

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**ACİL VE AFET ANINDA KABLO GÜDÜMLÜ ALÇAK İRTİFA HAVA
PLATFORMUNUN HABERLEŞME AMAÇLI KULLANIMININ
DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Şamil YÜCEL

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

ARALIK 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**ACİL VE AFET ANINDA KABLO GÜDÜMLÜ ALÇAK İRTİFA HAVA
PLATFORMUNUN HABERLEŞME AMAÇLI KULLANIMININ
DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ahmet Şamil YÜCEL
(705161022)**

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa HELVACI

ARALIK 2019

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705161022 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ahmet Samil YÜCEL**'in, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ACİL VE AFET ANINDA KABLO GÜDÜMLÜ ALÇAK İRTİFA HAVA PLATFORMUNUN HABERLEŞME AMAÇLI KULLANIMININ DEĞERLENDİRMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Mustafa HELVACI**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. A. Rüstem ASLAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Murat BULUT

Türksat Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş

Teslim Tarihi : 15 Kasım 2019

Savunma Tarihi : 16 Aralık 2019





Eşime ve Aileme,



ÖNSÖZ

Tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Helvacı'ya tanıdığım andan itibaren şahsıma vermiş olduğu öneri ve sınırsız desteklerinden dolayı şükranlarımı sunarım. Sabır ve desteğinden dolayı kıymetli eşime, maddi ve manevi her zaman yanımda olan değerli aileme, jüri olarak isimlerini yazmaktan onur duyduğum Prof. Dr. Rüstem Aslan ve Dr. Murat Bulut'a müteşekkirim.

Aralık 2019

Ahmet Şamil Yücel



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Kapsam ve Sınırlar	1
1.3 Literatür Araştırması	2
1.4 Tez Planı.....	3
1.5 Terim Tanımlamaları.....	4
1.6 Karar Matrisi	6
2. HAVADAN HAFİF YAPILAR VE TEORİSİ	11
2.1 Kaldırma Kuvveti Temel İlkeleri	13
2.1.1 Kaldırma gazlarının genel karakteristiği.....	14
2.2 Havadan Hafif Sistem Dinamikleri ve Sistem Üzerine Binen Yükler	15
2.2.1 Aerostatik yükler	16
2.2.2 Aerodinamik yükler	18
2.2.3 Reynolds sayısı	20
2.2.4 Aerodinamik sürüklenme ve sürüklenme katsayısı	21
2.3 Uçuş İrtifası ve Atmosfer Etkisi	23
2.3.1 İrtifaya göre atmosferik değişimler.....	24
2.3.2 İrtifaya göre rüzgâr hızı tahmini	25
2.3.3 Diğer atmosferik etkiler	26
2.4 Gövde Şekilleri ve Tasarım Kriterleri	27
2.4.1 Damla model	28
2.4.2 Küre model.....	29
2.4.3 Elipsoidal model	29
2.4.4 Helikite model.....	30
3. KABLO GÜDÜMLÜ HAVA PLATFORMU VE ALT SİSTEMLERİ.....	31
3.1 KGHP Gövdesi.....	34
3.1.1 Kuyruk ve yönlenme dümeni	35
3.1.2 Balonet	35
3.1.3 KGHP gövde materyali	37
3.2 Halat ve Kablo Alt Sistemi.....	42

3.2.1 Halat materyali	44
3.2.2 Enerji ve veri kablosu.....	46
3.3 Demirleme İstasyonu ve Vinç alt sistemleri.....	47
3.3.1 Demirleme istasyonu.....	47
3.3.2 Vinç sistemi.....	48
3.3.3 Yer kontrol istasyonu	49
3.4 Görev Yüğü ve Elektronikler	49
3.4.1 Patlatma ünitesi	50
3.4.2 Enerji dağıtım ünitesi	50
4. HABERLEŞME MODELİ VE BAZ İSTASYONU	51
4.1 Acil Durum Haberleşmesi	51
4.2 GSM Mimarisi ve Alt Sistemleri.....	51
4.2.1 BSS (Base station systems)	52
4.2.2 MSC (Mobile switching service center).....	53
4.2.3 MS (Mobil station).....	53
4.3 Baz İstasyonu Hücre Tipleri.....	53
4.3.1 Piko hücre tipi	54
4.3.2 Mikro hücre tipi.....	54
4.3.3 Makro hücre tipi.....	55
4.4 Serbest Uzay Yol Kaybı	55
4.4.1 Alınan sinyal gücü.....	55
4.4.2 Okumura-Hata yol kaybı modeli.....	56
4.4.3 COST231 yol kaybı modeli	57
4.4.4 ECC33 yol kaybı modeli	58
4.5 Hava Yer Haberleşmesi	59
4.5.1 LOS	59
4.5.2 NLOS	59
5. SİSTEM OPTİMİZASYONU VE ANALİZİ	61
5.1 Baz İstasyonu İrtifa Optimizasyonu	61
5.1.1 900/1800 Mhz Hata-Okumura modeli yol kaybı analizi.....	62
5.1.2 900/1800 Mhz Cost231 modeli yol kaybı analizi	63
5.1.3 İrtifa optimizasyonu	65
5.1.4 Kapsama alanı ve görüş açıklığı.....	66
5.2 İrtifaya Göre Platform Optimizasyonu	69
5.2.1 İrtifa çevre koşulları	70
5.2.2 Gövde tasarım modeli	70
5.2.3 Zarf ve halat materyalinin belirlenmesi	71
5.2.4 Toplam kütle ve minimum hacmin belirlenmesi.....	73
5.2.5 Gövde üzerine etkiyen aerodinamik ve aerostatik yükler	74
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKÇA	77
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

AGL	: Yer Seviyesinden Yükseklik (Above Ground Level)
BTK	: Bilgi Teknolojileri Kurumu
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering)
CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)
FEA	: Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis)
GSM	: Mobil İletişim Sistemi (Global System for Mobile Communications)
HAP	: Yüksek İrtifa Platformu (High Altitude Platform)
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (Intl. Civil Aviation Org.)
IOT	: Nesnelerin İnterneti (Internet Of Things)
ISA	: Uluslararası Standart Atmosfer (Intl. Standard Atmosphere)
KGHP	: Kablo GÜdümlü Hava Platformu
LAP	: Alçak İrtifa Platformu (Low Altitude Platform)
LOS	: Görüş Hattı (Line Of Sight)
LTAS	: Havadan Hafif Sistemler (Lighter Than Air Systems)
NLOS	: Görüş Hattı Olmayan (Non Line Of Sight)



SEMBOLLER

g	: Yer çekimi ivmesi
V_{volume}	: Gövde hacmi
ρ_{air}	: Hava yoğunluğu
ρ_{gas}	: Kaldırma gazı yoğunluğu
m	: Sistem kütlesi
L_{net}	: Net kaldırma kapasitesi
W_{total}	: Toplam kütle
F_L	: Kaldırma kuvveti
F_D	: Sürüklenme kuvveti
F_T	: Halat çekme kuvveti
U	: Akışkan hızı
L_h	: Gövde kaldırma kuvveti
D_h	: Gövde sürüklenme kuvveti
M_{nose}	: Gövde burnuna göre moment
q_0	: Dinamik hal basıncı
k_{1-3}	: Gövde eksenel ve yanal katsayılar
η_k	: Gövde verim oranı
$(Cd_c)_h$: Gövde çapraz akım sürüklenme katsayısı
$(Cd_c)_0$: Gövde sıfır hücum açısına göre sürüklenme katsayısı
S_h	: Gövde ıslak alanı
Re	: Reynold Sayısı
μ	: Akışkan viskozitesi
V_∞	: Serbest akım hızı
A	: Yapı kesit alanı
z_{ref}	: Yerde ölçülen rüzgar hızı
α	: Yüzey prözlülüğü
V_0	: Yerdeki rüzgar hızı
h_0	: Yerdeki yükseklik değeri
V_B	: Balonet hacmi
S_B	: Balonet yüzeyi
r_B	: Balonet yarıçapı
$T(s)$: Halat gerilimi
θ	: Halatın yer ile yaptığı açı
P_t	: Verici anten sinyal gücü
G_t	: Verici anten kazancı
G_r	: Alıcı anten kazancı
f	: Frekans
h_b	: Baz istasyonu yüksekliği
$a(h_m)$: Alıcı anten düzeltme faktörü

h_m	: Mobil anten yüksekliği
A_{FS}	: Boş alan yol kaybı
A_{bm}	: Sabit yol kaybı
l_p	: Görüş hattı
l_{msd}	: Çoklu yüzey kırılımı
l_{rts}	: Yapı yüzeyinden kırılım



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Gereksinim ağırlıkları dağıtılmamış karar matrisi analizi.....	8
Çizelge 1.2 : Gereksinim ağırlıkları dağıtılmış karar matrisi analizi.	9
Çizelge 2.1 : 20 °C deniz seviyesindeki kaldırma gazları yoğunlukları	14
Çizelge 2.2 : Kaldırma gazlarının kıyaslanması	15
Çizelge 2.3 : 1976 Nasa standart atmosfer ölçüm denklemleri	25
Çizelge 2.4 : Kablo güdümlü hava platformu modellerinin kıyaslanması	28
Çizelge 3.1 : KGHP uygulamaları	33
Çizelge 3.2 : Yüksek performanslı lif türleri	39
Çizelge 3.3 : Lamine materyallerin çevresel ve yapısal özellikleri	40
Çizelge 3.4 : Gövde materyali test prosedürü parametreleri	40
Çizelge 3.5 : Halat materyal özellikleri	45
Çizelge 3.6 : Halat materyal değerleri	45
Çizelge 4.1 : Baz istasyonları hücre tipi kıyaslaması	54
Çizelge 5.1 : Küresel ve Elipsoidal model için yüzey alanı ve hacim hesabı	71
Çizelge 5.2 : Gövde materyalleri geçirgenlik katsayıları	72
Çizelge 5.3 : Küresel ve Elipsoidal model kesit alanı	74



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Topsis yöntemi aşamaları.....	7
Şekil 2.1 : Hava araçları sınıflandırması.....	12
Şekil 2.2 : Farklı hacim ve kaldırma kapasitesine sahip sistemler.	12
Şekil 2.3 : Akış içerisindeki eliptik KGHP serbest cisim diyagramı.....	16
Şekil 2.4 : Havadan hafif gazın gövdeye uyguladığı iç basınç değişimi.	17
Şekil 2.5 : Gövde üzerine binen kuvvetler.....	19
Şekil 2.6 : Kütle ve Re sayılarının değişimi.	21
Şekil 2.7 : Farklı tasarımların sürüklenme miktarları.....	22
Şekil 2.8 : d/l oranı sürüklenme katsayısı değişimi.	23
Şekil 2.9 : İrtifaya göre ortalama rüzgar değerleri.....	26
Şekil 2.10 : Damla model.	29
Şekil 2.11 : Küre model.	29
Şekil 2.12 : Elipsoidal model.....	30
Şekil 2.13 : Helikite modeli.....	30
Şekil 3.1 : KGHP farklı görev yükü entegrasyonu.....	31
Şekil 3.2 : Sabit lokasyon KGHP.	32
Şekil 3.3 : Mobil KGHP.	32
Şekil 3.4 : KGHP gövde şekilleri.	34
Şekil 3.5 : Kuyruk ve yönlenme dümeni.	35
Şekil 3.6 : KGHP balonet basınç kontrol sistemi.	36
Şekil 3.7 : Çok katmanlı bir biri üzerine lamine edilmiş balon kumaşı.	38
Şekil 3.8 : Zarf katmanları.....	39
Şekil 3.9 : Zarf materyal birleştirme yöntemi.....	41
Şekil 3.10 : Birim uzunluğundaki halat üzerine etkiyen kuvvetler.	43
Şekil 3.11 : KGHP halat modeli örneği.....	46
Şekil 3.12 : Büyük gövdeli KGHP için demirleme istasyonu.	47
Şekil 3.13 : Küçük gövdeli KGHP için demirleme istasyonu.	47
Şekil 3.14 : Sabit ve mobil vinç sistemi.	48
Şekil 3.15 : Slipring ve sarım klavuzu.....	48
Şekil 3.16 : KGHP görev yükü entegrasyonu.....	49
Şekil 4.1 : GSM şebekesi alt sistemleri.	52
Şekil 4.2 : Kapsama alanlarına göre baz istasyonu türleri.....	54
Şekil 4.3 : LOS görüş hattı.	59
Şekil 4.4 : NLOS görüş hattı.	60
Şekil 5.1 : Baz istasyonun irtifasına göre Hata-Okumura yol kaybı analiz grafiği.	62
Şekil 5.2 : Mobil istasyon uzaklığına göre Hata-Okumura yol kaybı analiz grafiği.	63
Şekil 5.3 : Baz istasyonun irtifasına göre COST231 yol kaybı analiz grafiği.....	64
Şekil 5.4 : Mobil istasyon uzaklığına göre COST231 yol kaybı analiz grafiği.....	64

Şekil 5.5 : Optimum baz istasyonu yüksekliği.	65
Şekil 5.6 : Optimum irtifadaki görüş hattı.	66
Şekil 5.7 : Optimum irtifadaki gerçek servis aralığı.	67
Şekil 5.8 : Alıcı verici arasındaki Fresnel Bölgesi.....	67
Şekil 5.9 : 50 Metre baz istasyonu LOS görüş alanı.....	68
Şekil 5.10 : 300 Metre baz istasyonu LOS görüş alanı.....	69
Şekil 5.11 : Küresel ve elipsoidal gövde tasarım modelleri.	71
Şekil 5.12 : Gövde materyallerinin geçirgenlik kıyaslaması.	72



ACİL VE AFET ANINDA KABLO GÜDÜMLÜ ALÇAK İRTİFA HAVA PLATFORMUNUN HABERLEŞME AMAÇLI KULLANIMININ DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Sel taşkınları, kasırgalar ve depremler gibi doğal afetler yeryüzünde birçok ülkede yaşanan gerçekliktir. Son 20 yılda ortalama gözlemlenen yeryüzünde ki doğal afet sayısı ikiye katlanmıştır. Afet sayısındaki artış, arama kurtarma çalışmalarında gerek arama kurtarma ekiplerinin gerekse afet zedelerin kullanımına yönelik teknolojilerde artış yaşanmıştır. Afet sonrası haberleşmenin sürekliliğini sağlayacak sistemler en önemli ihtiyaçlardan biri olmuştur [1]. Acil ve afet durumunda ilk 24 saat çok önemlidir. Krizin doğru yönetilmesi, arama kurtarma ekiplerinin koordinasyonu, afetzedenin ihtiyaçlarının temin edilebilmesi ve taleplerini yardım ekiplerine iletebilmesi için haberleşmenin sürekliliği en önemli gereksinimdir. Bu felaketler sebebiyle haberleşme alt yapısının tamamen çöktüğü Sandy ve Irma kasırgaları bunun acı bir örneğidir [2]. Afet alanında haberleşme alt yapısının zarar görme, yetersiz kalma ya da olmama ihtimaline karşı devreye alınacak haberleşme platformunun hızlı bir şekilde oluşturulması gerekmektedir.

Acil ve afet durumu haberleşme gereksinimleri göz önünde bulundurulduğunda, haberleşme platformunun sisteme alınabilme hızı, sisteme alınan platforma kullanıcı tarafından erişim kolaylığı ve uygun bir lokasyona mobil bir şekilde konuşlandırılan platformun kapsama alanının geniş olması en önemli parametrelerdir. Bu parametreler değerlendirilerek acil ve afet durumunda haberleşme platformlarının karar matrisi analizi yapılarak en uygun platformun kablo güdümlü hava platformu olabileceği tahmini yürütülmüştür.

Kablosuz haberleşmenin sağlandığı platform üzerindeki baz istasyonunun iletişim ağı hesabında ve hücre planlanmasının oluşturulmasında yol kaybının tahmini çok önemlidir. Yurtiçi operatörlerin 900-1800 Mhz çalışma frekansındaki haberleşme görev yükü olan baz istasyonunun çevre, yüzey şekilleri ve yapı yüksekliğinden kaynaklanan sinyal yol kayıplarını yenmek için Okumura-Hata ve Cost231 yol kaybı hesabı metotları değerlendirilerek baz istasyonunun çalışabileceği en efektif irtifa belirlenmiştir. Bu irtifada çalışacak baz istasyonu görev yüküne göre kablo güdümlü hava platformunun optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon minimum gövde hacmi için; gövde ve halat materyali dayanımları, sistemin sürekli, sürdürülebilir ve stabil olarak işletilebilmesi için minimum alt sistemleri, irtifadaki çevre koşullarını ve sistemle olan etkileşimini içermektedir.

Bunun yanında havadan hafif yapıların teorisi, gövde üzerine binen aerostatik ve aerodinamik yükler, görev irtifasındaki çevre koşullarının tahmini, gövde şekil tasarımları, gövde - halat üretiminde kullanılan materyal özellikleri ve kablo güdümlü hava platformu alt sistemleri değerlendirilmiştir.

Haberleşme tarafında ise GSM mimarisi ve baz istasyonu alt sistemleri, kapsama alanı hücre tipleri, LOS ve NLOS hesabı, yol kaybı ve link bütçesi modelleri üzerinde araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Baz istasyonu ve alt sistemlerin ağırlıklarına göre kablo güdümlü hava platformunun oluşturulabilmesi için gerekli olan irtifanın belirlenmesi gerekmektedir.

Gövde ve halat Materyali dayanımları üzerine gelişmeler, kablo güdümlü hava platformunun sürdürülebilir, sürekli ve stabil olarak kullanılmasına sebebiyet vermiştir. Kablo güdümlü hava platformunun sistem dinamikleri, güncel materyaller ile yapılan üretim teknikler, kavramsal ve yapısal tasarımı üzerine çalışma yapılmıştır.



EVALUATION OF THE USE OF TETHER GUIDED LOW ALTITUDE AIR PLATFORM FOR COMMUNICATION PURPOSES IN EMERGENCY AND DISASTER

SUMMARY

Natural disasters such as floods, hurricanes and earthquakes are a reality in many countries on earth. The average number of natural disasters observed on earth has doubled in the last 20 years. Increase in the number of disasters, there has been an increase in technologies for the use of both search and rescue teams and disaster victims in search and rescue activities. Systems to ensure continuity of post-disaster communication has been one of the most important needs [1]. The first 24 hours is very important in case of emergency and disaster. The most important requirement is the proper management of the crisis, the coordination of search and rescue teams, the provision of the needs of the disaster victim and the continuity of communication in order to communicate their requests to the relief teams. Sandy and Irma hurricanes, where the communication infrastructure has completely collapsed due to these disasters, are a painful example of this [2]. In case of damage, insufficiency or lack of communication infrastructure in the disaster area, the communication platform to be commissioned should be established quickly.

The speed at which the communication platform can be taken into the system, the ease of access by the user to the platform taken into the system and the wide coverage area of the platform deployed to an appropriate location in a mobile way are the most important parameters when considering the emergency and disaster situation communication requirements. By evaluating these parameters, decision matrix analysis of communication platforms in case of emergency and disaster was carried out and it was estimated that the most suitable platform could be a tether-guided air platform.

Tether-guided platforms are mainly used to enhance the detection range and coverage area capability of the remote sensing sensor or communication payload. It can be designed in different volumes and sizes according to the required lifting capacity. The altitude of the body providing aerostatic lifting is controlled with the help of rope. The energy required for the payload is provided by the cable in the rope. Advanced cable designs enable data transfer as well as energy transfer. It is used for ground observation and surveillance with remote sensing sensors such as radar, camera and lidar. It is also used for communication with useful loads such as base station, communication relay.

The body shapes are designed to maximize lifting while keeping drag as low as possible against the wind. Spherical, ellipsoidal and streamlined geometry designs are the most commonly used body shapes. The hull is equipped with a rudder to direct the wind, wings and aerofoils attached to the hull or tail in order to minimize structural vibrations and unwanted oscillations and to provide stabilization.

The design of many lighter than air structures is based on the minimum volume principle. Minimum volume principle; It is a design made according to duty altitude, payload weight and amount of energy it needs. The energy requirement and data transfer capacity determine the cross-section and strength characteristics of the cable in the rope.

The first step in applying the minimum volume principle is to limit the altitude at which the cable-guided aerial platform will work. Excess lifting capacity makes the maintenance and sustainability of the system more difficult. Because the volume of the trunk will increase, the internal and external loads to be exposed at altitude will be high. At increased wind speeds, drag in the hull will cause discontinuity of the system. It is very important to limit altitude for these reasons. Body and rope design is realized for payload weight and energy requirement by limiting altitude.

The estimation of path loss is very important in the network account of the base station on the platform where wireless communication is provided and in the formation of cell planning. The most effective altitude to which the base station can work was determined by evaluating the Okumura-Hata and Cost231 path loss calculation methods in order to overcome the signal path losses caused by the environment, surface shapes and structure height of the base station that is the communication payload of the domestic operators at 900-1800 MHz frequency.

The optimization of the tether guided air platform was carried out according to the payload of the base station at this altitude. For minimum body volume at optimization consist of body and rope material strengths, minimum subsystems for endurance, sustainable and stable operation of the system, altitude environmental conditions and interaction with the system.

In addition, the theory of lightweight structures, aerostatic and aerodynamic loads on the body, estimation of environmental conditions at duty altitude, body shape designs, material properties used in body and rope production, tether guided aerial platform subsystems were evaluated.

On the communication side, research has been carried out on GSM architecture and base station subsystems, coverage cell types, LOS and NLOS calculation, road loss and link budget models. The altitude required for establishing a tether guided aerial platform should be determined according to the weight of the base station and subsystems.

For this purpose, cable-guided air platform decided in case of emergency and disaster;

- It can be included in the communication network in a very short time,
- Ease of mobile deployment by integrating subsystems on vehicles such as vans and trailers,
- Provides a wide coverage area where terrestrial disturbances are minimum compared to fixed and mobile terrestrial base station systems,
- Uninterrupted supply of energy requirements and data transfer requirements for the payload via cable,
- Direct access to mobile telephones without the need for extra technology or interfaces for the user to join the network,

It is expected to provide an advantage over other platforms in terms of providing the general needs of emergency and disaster communication.

Advances on the strength of the hull and rope material have led to the sustainable, continuous and stable use of the tether guided aerial platform. System dynamics of tether guided aerial platform, production techniques made with current materials, conceptual and structural design were studied.





1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı günümüzde gözetleme istihbarat ve askeri haberleşme amacıyla kullanılan kablo güdümlü hava platformunun acil ve afet durumunda kullanımına yönelik gereksinimleri belirleyerek; baz istasyonu hatlarının çalışmadığı, kapasitesinin yetmediği veya haberleşme alt yapısının olmadığı anlarda kullanılacak en uygun haberleşme destek platformu olduğunu ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda platform üzerine entegre edilecek bir baz istasyonunun çalışabileceği en efektif irtifayı belirleyerek platformun temelini dayandığı teoriyi, prensipleri ve pratik kullanımındaki etkenleri tezde sunmaktır.

Ayrıca, acil ve afet durumunda can ve mal kaybını minimuma indirmek amacıyla haberleşme destek platformunun sisteme alınabilme hızı, sisteme alınan platformdaki baz istasyonuna afet alanındaki kullanıcının bağlantı erişimi, bağlantı erişiminin olabildiğince geniş olması ve istenilen lokasyonda kurulum rahatlığını sağlaması gibi zaruri haberleşme gereksinimleri doğrultusunda optimizasyonu gerçekleştirmektir.

1.2 Kapsam ve Sınırlar

Kablo güdümlü hava platformunun görev yükü ihtiyacına göre minimum hacim prensibiyle hareket edilmiştir. Gerekli olan görev yükü kapasitesinden büyük bir platform hem maliyet hem de kullanım yönüyle avantaj sağlamayacaktır. Bu nedenle kentsel bölgelere konuşlandırılacak bir baz istasyonunun yol kaybı hesabıyla çalışabileceği en efektif irtifa belirlenerek, platformun irtifası baz istasyonu yüksekliği olan yer seviyesi yüksekliğinden (AGL) 300 metrede kısıtlanmıştır. Baz istasyonu irtifası belirlenirken BTK'nın belirlemiş olduğu yurtiçi çalışma frekansı olarak 900/1800 Mhz frekanslarına göre analizler gerçekleştirilmiştir. Uçuş irtifasındaki kıyaslamalar için ICAO'nun belirlediği standart atmosfer değerleri (ISA) baz alınmıştır. Sistem üzerine binen aerodinamik kuvvetlerin gövde sürüklenme etkisi

değerlendirilerek halat üzerindeki sürüklenme miktarı ihmal edilebilecek düzeyde olduğu için hesaba katılmamıştır.

1.3 Literatür Araştırması

20'inci yüzyıla kadar havadan hafif yapıların insan taşımacılığının yanında gözetleme, istihbarat ve taktiksel bombalama gibi amaçlar doğrultusunda 1'inci ve 2'inci Dünya Savaşları boyunca aktif olarak kullanılmıştır [1] . Taki 1937 yılında havada infilak eden hidrojen dolu rijit bir hava platformunun infilak etmesi sonucu 36 kişinin yaşamını yitirdiği Hidenburg felaketine kadar. Bu olay sonrasında havadan hafif yapılara olan güven azalarak hidrojen gazı yerine aktif bir şekilde helyum gazı kullanımına yönelik çalışmalar gerçekleştirildi. Hidrojen gazına nazaran helyum gazının tedarikinin zorluğu ve maliyetinden dolayı havadan hafif yapının en önemli unsurlarından biri olan zarf materyali üzerine çalışmalar hız kazanmıştır.

Yapıların büyümesi ve tahrik sistemlerinin gelişmesiyle kontrol ve stabilizasyonu açıklamak amacıyla Bairstow tarafından 1915 yılında matematik modeli geliştirilerek analizi yapılan havadan hafif yapıların hareket denklemleri tanımlanmıştır [3].

Kablo güdümlü hava platformu esnek ve esnek olmayan halat materyallerinin, parçalı diferansiyel denklemler ile modern analizi 1972 yılında Delaurier tarafından gerçekleştirilmiştir. Kablo güdümlü sistemlerin çok sonradan bilimsel amaçlı irdelenmesinin sebebi uzaktan algılama ve kablosuz haberleşme teknolojilerinin kısıtlı olması ve halat içerisinden enerji, veri iletimi üzerine materyallerin henüz yeterli dayanımlara sahip olmamasıydı. Kablo güdümlü hava platformunun toplam kütle ayrıklaştırılması ile ilgili 3 boyutlu dinamik modeli 1982 yılında John ve Kaurisman tarafından oluşturuldu. Bu model genişletilerek düzensiz rüzgarlarda kablo güdümlü yapı gövdesinin tepkisi bütünsel kütleli (lumped mass) dinamik modeli John ve Delaurier tarafından geliştirilmiştir. Bu alanda yıllardır çalışma yapan TCOM firması, John ve Delaurier'in tanımladığı modeli 71 metrelik kablo güdümlü hava platformunda uygulandı. Bu uygulamada gövde üzerine yerleştirilen GPS sensörleri ve algılama sensörleriyle, 6 serbestlik dereceli hareketinin yanında gövdeye etkiyen 3 eksenindeki rüzgar değerleri kayıt altına alınmıştır [3].

1997’de kablo güdümlü hava sistemlerine yönelik bir çok çalışma yürüten Willamson ve Goverhen rüzgar etkisi ile oluşan osilasyon genliği ve sürüklenme katsayısının gövdenin şekline göre %100’e kadar sebebiyet verdiğini ortaya koymuştur [4]. Farklı halat uzunlukları ve kalınlıkları üzerine vorteks etkisini araştırmışlardır. 2005 yılında kablo güdümlü hava platformunun doğal salınım frekansı üzerine ‘back-in’ olayını tanımlamışlardır.

Materyal teknolojisinin dayanım ve geçirgenlik özelliklerinin giderek iyileşmesi, uzaktan algılama ve haberleşme teknolojilerinin hafiflemesi havadan hafif yapıların bir çok alanda kullanımının artmasına sebebiyet vermiştir. Özellikle savunma amaçlı kullanımı yaygınken halat dayanımları üzerine gelişmeler, halat üzerinden enerji ve veri transferi noktasındaki iyileştirmeler haberleşme amaçlı kullanımlarına da imkan tanımıştır. Alçak irtifada yapılan gözetleme, istihbarat amaçlı askeri uygulamalar ve haberleşme ve amaçlı çalışmaların dışında yenilenebilir enerjiler üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalardan biri magnus prensibi ile rüzgar etkisiyle hareket eden platform gövdesinin bağlı olduğu alternatörleri çalıştırmasıyla enerji üretimidir. Yine bu alanda özel gövde tasarımına sahip kablo güdümlü hava platformu gövdesinin merkezine yerleştirilen türbinler, rüzgar hızının fazla olduğu irtifalara yükseltilmesiyle irtifada üretilen enerjiyi halat içerisindeki kablo yardımıyla yerdeki şebekeye ileten çalışmalar bulunmaktadır. Alçak irtifa haricindeki çalışmalardan biri, stratosfer tabakasında görev ifa eden balona haberleşme amaçlı entegre edilen baz istasyonları üzerine Google’ın çalıştığı yüksek irtifa Google Loon projesidir.

1.4 Tez Planı

Literatürde geçen havadan hafif sistemler için kullanılan terimlerin ve farklı tasarımları oluşturduğu kavram karmaşasını ortadan kaldırmak amacıyla ilk olarak 1.6’da terim tanımlamaları yapılmıştır. 1.7’de acil ve afet durumunda haberleşme gereksinimleri belirlenerek, bu ihtiyaca cevap verebilecek haberleşme destek platformlarının karar matrisi analizi gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 2’de havadan hafif yapıların atmosfer içerisindeki statığı ve dinamiği yapıların dayandığı temel teorisi bu bölümde anlatılmaya çalışılmıştır. Bu bölümde kaldırma enerjisini sağlayan gazların türleri ve teknik değerleri, atmosfer içerisindeki gövdenin

içerisinde bulunan kaldırma gazının gövdeyle olan statik etkileşimi, kaldırma gazından kaynaklı sistem üzerine binen aerostatik ve gövde etrafındaki hava akımından kaynaklı aerodinamik yükler tanımlanmıştır. Uçuş performansını etkileyen hava yoğunluğu, rüzgar hızı, sıcaklık ve basınç gibi atmosferik parametrelerin öngörülmesi ile ilgili denklemler incelenerek, bu parametrelerin sistem üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Bölüm 3’de acil ve afet durumunda haberleşme platformu olarak kullanılması düşünülen kablo güdümlü hava platformu sistemleri ve alt sistemleri değerlendirilmiştir. Alt sistemlerin temel görev gereksinimlerinin özellikleri yansıtılmıştır. Bu değerlendirmede gövde, halat, demirleme istasyonu, görev yükü ve elektronik alt sistemleri ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Özellikle gövde ve halat üretiminde kullanılan materyallerin özellikleri ve gereksinimleri tespit edilmiştir. Güncel kullanılan materyal değerlerinin kıyaslamaları yapılmıştır.

Bölüm 4’de platform üzerine entegre edilecek baz istasyonu sisteminin alt sistemleri, hücre planlamaları, çalışacağı irtifadaki yol kaybını hesaplayabilmek için Okumura-Hata, Cost 231 ve ECC 33 yol kaybı hesaplama modelleri teorisi anlatılmıştır. Görev yapılan irtifada haberleşme sisteminin oluşturabileceği kapsama alanını öngörebilmek için LOS ve NLOS kapsama ve görüş alanı teorilerinden faydalanılmıştır.

Bölüm 5’de diğer bölümlerde teorisi ifade edilen havadan hafif yapılar, kablo güdümlü hava platformu, haberleşme modelinin optimizasyonu ve analizi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonun ilk adımı olan, Hata-Okumura ve COST 231 yol kaybı modelleri değerlendirilerek haberleşme görev yükünün 900-1800 Mhz frekasında çalışabileceği en efektif irtifa belirlenmiştir. Ardından belirlenen irtifada görev yapacak kablo güdümlü hava platformunun belirlenecek görev yükü ağırlığına göre gerekli kaldırma kapasitesini oluşturacak minimum hacim hesabı, değişen atmosferik değerler karşısında gövde ve halat dayanımının kavramsal tasarımı ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

1.5 Terim Tanımlamaları

Havadan hafif sistemlerin literatürde kullanılan temel terimlerin tanımlamasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu tanımlamaların yapılmasının amacı literatür terimlerinin oluşturduğu

kavram karmaşasını ortandan kaldırılmak istenmesidir. Bu bölümde havadan hafif yapıların veya vasıtaların tanımlamalarını içermektedir. Bu tanımlamalar yapıların daha anlaşılır olmasına ve literatür taramasının daha doğru yapılmasına yardımcı olacaktır.

Aerostat: Kapalı bir hacim içerisine alınmış havadan hafif bir gazın, statik hava içerisinde gövdeye sağladığı kaldırma kapasitesi sayesinde havada yüzen yada yükselebilen yapıdır.

Airship: Havadan hafif gaz sayesinde yükselebilen bir gövdenin, tahrik sistemleri veya motorlar yardımıyla atmosfer içerisinde yönlendirilebilme imkanı olan yapıdır.

Balloon: Herhangi bir akışkan gaz ile şişirilmiş basit bombeli membran veya zarftır.

Blimp: Kaldırma gazı vasıtasıyla havada yükselebilen rijit olmayan bir gövdenin konuşma dilindeki kullanımınıdır.

Conventional Airship: Tahrik sistemleri veya motorlar yardımıyla tek yönlü hareket edebilen rijit, yarı-rijit veya rijit olmayan tasarımlarda olabilen yapıdır.

Drigible Airship: Belirlenen bir rota da tahrik sistemleri veya motorlar yardımıyla hareket edebilen ve yönlendirilebilen yapıdır.

Helistat: Her iki tarafı simetrik dikmeler veya kollar üzerine yataklanmış helikopter tipi rotorlarla yönlendirilebilen, havadan hafif gaz ile havada yüzebilen yada yükselebilen yapıdır.

Hybrit Airship: Yükselmeyi yada yüzmeyi aerostatik kaldırmanın yanında üzerinde bulunan tahrik sistemleri veya motorlar yardımı ile de gerçekleştirebilen aerodinamik ve aerostatik tasarıma sahip yönlendirilebilen yapıdır.

Non-Rigit Airship: Gövde içerisinde herhangi bir kafes veya destek sistemi bulunmayan, gövde şeklini sadece iç basınç yardımıyla sağlayabilen yönlendirilebilir yapıdır.

Rigit Airship: Hafif materyaller ile kafes-kiriş veya iskelet yapısına sahip gövde üzerine membranın veya zarfın gerdirilmesiyle aerodinamik şekil kazandırılan, tahrik sistemleri veya motorlar yardımıyla atmosfer içerisinde yönlendirilebilme imkanı olan yapıdır.

Semi-Rigit Airship: Gövde içerisindeki omurga destek yapıları bulunan , gövde dış şeklini sadece iç basınç yardımıyla sağlayabilen, tahrik sistemleri veya motorlar yardımıyla atmosfer içerisinde yönlendirilebilme imkanı olan yapıdır.

Stratospheric Balloon: Ultra ince tek katmanlı materyal ile gövde yapısı oluşturulan, atmosferin stratosfer katmanında görev yapabilen, herhangi destek yapıları ve yönlendirme sistemleri bulunmayan yapıdır.

Tethered Aerostat: Vinçe bağlı halat ile tek bir doğrultuda yüzdürülen yada yükseltilebilir, rüzgara karşı pasif olarak yönlenebilen dümene sahip rijit olmayan yapılardır.

Zeppelin: İsmi Luftschiffbau Zeppelin GmbH firması tarafından alan 1938 yılına kadar üretilen, Havadan hafif gaz sayesinde yükseltilen bir gövdenin, tahrik sistemleri veya motorlar yardımıyla atmosfer içerisinde yönlendirilebilme imkanı olan yapıdır.

LTA Platform (Lighter Than Air): Havadan hafif gazlar vasıtasıyla havada yüzdürülebilen platformlardır.

LAP (Low Altitude Platform): Deniz irtifasından 5 km irtifaya kadar havadan hafif gazlar vasıtasıyla yüzdürülebilen veya yükseltilebilen platformların tümüdür.

HAP (High Altitude Platform): Atmosfer içerisinde rüzgar hızlarının minimum olduğu 17-22 km arasında havadan hafif gazlar vasıtasıyla yüzebilen platformlardır.

1.6 Karar Matrisi

Literatürde çok kriterli karar verme yöntemine yakın bir metot olan karar matrisi analizi, gelecekteki gerçekleşebilecek yada etken parametreleri karmaşık ve çözümü istenen olayların, geçmiş ve mevcut tecrübeler göz önünde bulundurularak varılacak en doğru sonucu tahmin etme yöntemidir. Analiz sonucunda ortaya çıkacak olguyu mutlak sonuç olarak değerlendirilmemelidir. Yalnız doğru yaklaşımla yapılan bir karar matrisi analizi mutlak doğru sonuç olasılığını yükseltir. Metot da önemli olan etken parametreleri doğru seçmek ve parametrelerin amaç üzerindeki ağırlıklarını doğru tayin edebilmektir. Şekil 1.1'de çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSİS Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) temel karar verme şeması karar matrisi analizine yakın yöntemlerden biridir. [5]



Şekil 1.1 : Topsis yöntemi aşamaları.

Bu kapsamda haberleşmenin koptuğu baz istasyonlarında yada kapasitenin yetersiz kaldığı anlarda mevcut sisteme destek unsuru olarak acil ve afet durumunda kullanılabilir haberleşme platformları değerlendirilmiştir. En uygun platformun belirlenebilmesi için gerekli olabilecek faktörler göz önünde bulundurularak çarpan ağırlıkları atanmıştır. Belirlenen görev gereksinimlerinin çarpan etkileri sonucunda en uygun platformun karar matrisi yaklaşım analizi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1.1’de acil ve afet durumunda çok önemli olan faktörler, bu faktörlerin çarpan ağırlıkları ve farklı platformlar tarafından gereksinim karşılanma ağırlıkları bulunmaktadır. Acil ve Afet durumu haberleşme gereksinim ağırlıkları 1 ile 5 arasında derecelendirilmiştir. 5 en yüksek ağırlık olup acil durum haberleşmesinde çok önemlidir. Platformların gereksinimleri karşılama ağırlıkları 1 ile 10 arasında derecelendirilmiştir. 10 en yüksek karşılama ağırlığı olup acil durum haberleşmesi gereksinimlerini karşılayan en uygun platformdur.

Haberleşmenin koptuğu ya da kapasitenin yetmediği durumlarda kullanılabilir mobil kara aracından haberleşme uydularına kadar sisteme alınabilecek farklı destek platformları bulunmaktadır.

Çizelge 1.1 : Gereksinim ağırlıkları dağıtılmamış karar matrisi analizi.

	Gereksinim Önemi (1 - 5)	Mobil Kara Aracı	Teleskobik Mast	Baz İstasyonu kulesi	İnsansız Hava Aracı/ Drone	Aerostat	Hava Gemisi/ Zepin	Hava Araçları	Yüksek İrtifa Platformu	Haberleşme Uyduları	Kusursuz Platform
Mobilite	5	9	7	1	9	9	4	5	3	2	10
Veri Kapasitesi	4	5	5	7	2	8	8	6	6	9	10
Görev yükü Kapasitesi	4	7	6	8	1	9	9	7	5	4	10
Sürdürülebilirliği	3	7	7	8	7	6	5	5	4	3	10
Sürekliliği	4	4	4	7	1	6	7	5	5	9	10
Stabilitesi	2	9	8	7	4	6	6	7	6	8	10
Sisteme Alma hızı	5	9	9	2	8	7	6	6	2	1	10
Maliyet	1	7	7	5	9	8	4	2	4	1	10
Kullanım Kolaylığı	2	8	8	7	6	7	3	2	2	1	10
Müdehale Kolaylığı	2	8	7	6	8	8	4	3	3	1	10
Konuşlandırma Kolaylığı	5	8	8	3	7	8	5	4	2	1	10
Amaca Yönelik Görev yükü	5	2	3	4	2	9	9	8	6	5	10
Entegrasyonu (Ad-Hoc)											
Teknoloji Ulaşılabilirliği	2	7	6	9	8	8	5	6	4	2	10
Çevre Koşullarına Dayanımı	2	8	7	9	6	6	5	6	4	5	10
Kullanıcı Bağlantı Erişimi	5	2	3	9	2	7	4	2	4	1	10
Şebeke Değişim Kolaylığı (Hand-over)	3	2	8	7	8	7	4	4	3	2	10
Sistem Enerjisi Sürekliliği	4	9	9	7	2	8	5	4	4	7	10
Kapsama Alanı	5	1	2	4	3	8	8	8	9	10	10

Acil ve afet durumu haberleşmesinde hızlı bir şekilde afet alanında bulunabilmesi için platformun mobil olması, afet durumunda ilk 12 saat çok önemli olduğu için haberleşmeyi bir an önce sağlamak amacıyla sisteme alınabilme hızı, sisteme alınan platforma afet alanındaki kullanıcının bağlantı erişimi, bağlantı erişiminin olabildiğince kapsama alanının geniş olabilmesi, platformun en uygun lokasyonda kurulabilmesi gibi gereksinimlerin önemi en yüksek ağırlıklardadır. Böyle bir durumda düşünülmesi gereken en son düşünülmesi gereken maliyet olduğu için bu gereksinim en düşük ağırlıkta tutulmuştur. Örnek bir bakım kolaylığı gereksiniminin platforma göre derecelendirmesinde, arıza durumunda bakımı zorlaştıracak sistem kompleksliği ve irtifa olacaktır. Bu bakımdan yeryüzüne yakın olan basit platformların gereksinim karşılama ağırlıkları en yüksek, haberleşme uydularının gereksinim karşılama ağırlığı haliyle en düşük olacaktır.

Çizelge 1.2: Gereksinim ağırlıkları dağıtılmış karar matrisi analizi.

	Gereksinim Önemi (1 - 5)	Mobil Kara Aracı	Teleskobik Mast	Baz İstasyonu kulesi	İnsansız Hava Aracı/ Drone	Aerostat	Hava Gemisi/ Zeplin	Hava Araçları	Yüksek İrtifa Platformu	Haberleşme Uyduları	Kusursuz Platform
Mobilite	5	45	35	5	45	45	20	25	15	10	50
Veri Kapasitesi	4	20	20	28	8	32	32	24	24	36	40
Görev yükü Kapasitesi	4	28	24	32	4	36	36	28	20	16	40
Sürdürülebilirliği	3	21	21	24	21	18	15	15	12	9	30
Sürekliliği	4	16	16	28	4	24	28	20	20	36	40
Stabilitesi	2	18	16	14	8	12	12	14	12	16	20
Sisteme Alma hızı	5	45	45	10	40	35	30	30	10	5	50
Fiyat	1	7	7	5	9	8	4	2	4	1	10
Kullanım Kolaylığı	2	16	16	14	12	14	6	4	4	2	20
Müdehale Kolaylığı	2	16	14	12	16	16	8	6	6	2	20
Konuşlandırma Kolaylığı	5	40	40	15	35	40	25	20	10	5	50
Amaca Yönelik Görev Yükü Entegrasyonu (Ad-Hoc)	5	10	15	20	10	45	45	40	30	25	50
Teknoloji Ulaşılabilirliği	2	14	12	18	16	16	10	12	8	4	20
Çevre Koşullarına Dayanımı	2	16	14	18	12	12	10	12	8	10	20
Kullanıcı Bağlantı Erişimi	5	10	15	45	10	35	20	10	20	5	50
Şebeke Değişim Kolaylığı (Hand-over)	3	6	24	21	24	21	12	12	9	6	30
Sistem Enerjisi Sürekliliği	4	36	36	28	8	32	20	16	16	28	40
Kapsama Alanı	5	5	10	20	15	40	40	40	45	50	50
TOPLAM		369	380	357	297	481	373	330	273	266	630
Kusursuz Platforma Yaklaşım Olasılığı		0,585714	0,603175	0,566667	0,471429	0,763492	0,592063	0,52381	0,433333	0,422222	1

Acil ve afet durumu haberleşmesi gereksinimlerinin tümünü karşılayan kusursuz bir platformun olduğunu düşünerek, hedef referans olarak alınan kusursuz bir hayali

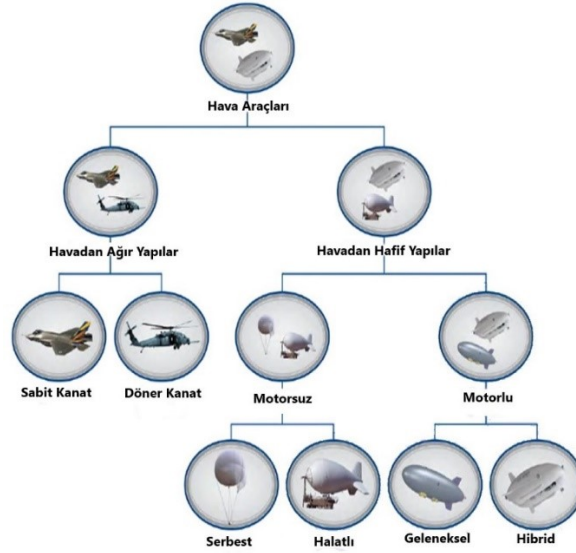
platforma olasılık olarak en çok yaklaşan 0,76 olasılıkla en uygun platformun kablo güdümlü hava platformu (Aerostat) olabileceği tahmini yürütülmüştür.



2. HAVADAN HAFİF YAPILAR VE TEORİSİ

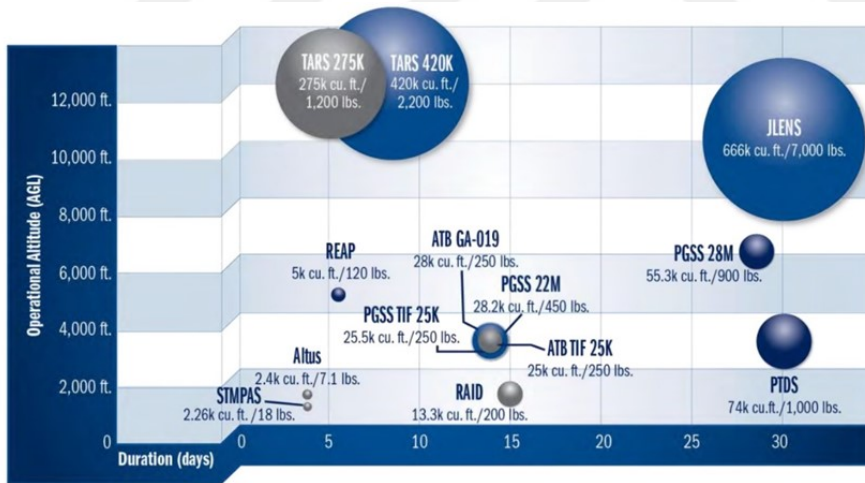
Gövdesinde bulunan kaldırma gazı sebebiyle atmosfer içerisinde kütle/hacim oranı bakımından havadan hafif hale gelen sistemler; aktif yönlendirmenin yapılabildiği motorlu ve aktif yönlendirmenin yapılamadığı aerostatik kuvvetlerle genelde dikey yönlü hareket edebilen motorsuz yapılardan oluşmaktadır. Görev yaptığı irtifaya göre yüksek irtifa platformu ve alçak irtifa platformu olarakta sınıflandırmak mümkündür. Şekil 2.1'de havadan hafif yapıların motor durumuna göre sınıflandırması bulunmaktadır. Motorlu yapılar iki türe ayrılmaktadır. İlk türü üzerinde ki motor vasıtasıyla yönlendirmeyi, gövdesindeki havadan hafif gaz vasıtasıyla da kaldırmayı gerçekleştiren iç iskelete sahip geleneksel yapılardır. Diğer türü ise kaldırma gazının yanında, üzerindeki motorlar vasıtasıyla gövdeye hem yönlendirme hem kaldırma uygulayabilen hibrit yapılardır.

Gövdesinde Motor ve aktif yönlendirme sistemine sahip olmayan motorsuz yapılar sınıfında, herhangi bir nokta ile bağlantısı olmayan balonlar ve bir veya birden çok noktaya bağlanmış sadece dikey yönde yönlendirmenin yapılabildiği KGHP sistemleri bulunmaktadır. [6]



Şekil 2.1 : Hava araçları sınıflandırması.

Farklı hacimlerde aerostat çalışma irtifası, görev süresi ve kaldırdığı görev yükü kapasitesi bakımından istatistiksel Şekil 2.2’de bu alandaki birçok proje gösterilmiştir [6].



Şekil 2.2 : Farklı hacim ve kaldırma kapasitesine sahip sistemler.

Bir çok model görev tanımına göre tasarlanmaktadır. Görev tanımında; sistemin görev yapacağı irtifa, sağladığı kaldırma kapasitesi, görev süresinin uzunluğu ve maliyet gibi birçok faktör etkili olabilir.

2.1 Kaldırma Kuvveti Temel İlkeleri

Hareket halindeki kanadın hava ile etkileşim sonucu oluşan kaldırma kuvveti Bernoli ilkesine dayanırken, havadan hafif gaz ile doldurulan yapıların oluşturduğu kaldırma Arşimet ilkesine dayanmaktadır. Havadan hafif yapı üzerine yapılan araştırmaların temelini aerodinamik etkilerin olduğu kadar aerostatik etkilerden oluşturmaktadır.

Aerostatik terimi atmosfer içerisindeki her hangi bir hacmin, su içerisindeki hidrostatik etki tanımlamasında olduğu gibi, statik kaldırmasının ifadesidir [7]. Rüzgar etkilerinin olmadığı durağan bir havada yüzen, belirli bir hacimdeki havadan hafif bir gazın oluşturduğu kaldırma kuvvetinin ifadesi;

$$B = g \cdot V_{gövde} (\rho_{hava} - \rho_{gaz}) \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de B yüzen bir havadan hafif yapının gövdesine yukarı doğru etkiyen kaldırma kuvvetini, $V_{gövde}$ sadece havadan hafif gaz ile doldurulan (helyum-hidrojen) gövde hacmini, g yer çekimi ivmesini, ρ_{hava} ve ρ_{gaz} sırası ile bütün gövdenin etrafını saran kaldırılan ortamdaki havanın yoğunluğunu ve havadan hafif yapı içerisinde bulunan gazın yoğunluğunu ifade eder. Burada havadan hafif yapının iç ve dış basınç değişimleri ihmal edilmiştir. Sistemin yukarı yönlü hareketini sağlayabilmesi için havadan hafif gazın yapının toplam ağırlığını aşmak zorundadır.

$$mg < g \cdot V_{gövde} (\rho_{hava} - \rho_{gaz}) \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’de ki eşitsizlik havadan hafif yapının havaya doğru hareketini sağlayacaktır. Sistemin havada kalması yada yukarı yönlü hareket edebilmesi için gazdan kaynaklı kaldırma kuvveti B ’nin sistemin toplam ağırlığından (W_{toplam}) büyük olması gerekir. Bu sebeple net yukarı doğru kaldırma kuvvetinin ifadesi;

$$L_{net} = B - W_{toplam} \quad (2.3)$$

Sistemin toplam ağırlığı W_{toplam} ; havadan hafif yapının gövde kumaşı, kanatları, bağlantı elemanları, gövde içerisinde bulunan gazın ağırlığı görev yükü, kaldırılacağı irtifaya kadar uzatılacak halat ağırlığı gibi direkt olarak gövdeye etkiyen ağırlıkların ifadesidir.

Denklem 2.1 ve 2.3 yeniden düzenlenirse aerodinamik ve basınç değişimlerinin ihmal edildiği, gövde etrafında hava akışının olmadığı durağan bir ortamda net kaldırma;

$$L_{net} = (\rho_{hava} - \rho_{gaz}) * g * V_{gövde} - W_{toplam} \quad (2.4)$$

Gövde askıda kaldığında denklem 2.4'deki L_{net} değerinin 0 olduğunun göstergesidir. Denklem 2.4'e göre pozitif olarak elde edilecek sonuç kadar görev yükü kaldırma imkânı sağlaması demektir. Pozitif sonucun elde edilmesinde toplam ağırlığın hafif olması kadar irtifadaki hava yoğunluğuna da bağlıdır. Hesaplamalarda orijin olarak kabul edilen 20 °C de deniz seviyesinde havanın ve kaldırma gazlarının yoğunluklar Çizelge 2.1'deki gibidir.

Çizelge 2.1: 20 °C deniz seviyesindeki kaldırma gazları yoğunlukları.

GAZ	YOĞUNLUK
ρ_{hava}	1.225 kg/m ³
ρ_{He}	0.169 kg/m ³
ρ_{H_2}	0.084 kg/m ³

2.1.1 Kaldırma gazlarının genel karakteristiği

Kaldırma gazlarının en önemli karakteristiği, belirli bir hacimdeki gazın, aynı hacimde içinde bulunduğu ortamdan daha hafif olmasıdır. En çok bilinen kaldırma gazları helyum ve hidrojen gazıdır. Kapalı bir hacme doldurulmuş kaldırma gazlarının genel karakteristiğini ve oluşturacağı kaldırma miktarını belirleyebilmek için, içinde bulunduğu ortam değerlerinin net olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu kıyaslamaları yapmak amacıyla ICAO'nun belirlediği Milletler Arası Atmosfer (ISA) değerleri kullanılır. Deniz seviyesinde 15 °C sıcaklıkta belirlenmiş atmosferin yoğunluk değeri 1.225 kg/m³ , basınç değeri ise 1013.25 milibardır (101325 Newton/m²) . Kaldırma gazlarının içinde bulunduğu ortama göre özellikle kaldırma kuvveti ve yoğunluk değerleri ISA tarafından belirlenen standart hava değerlerine göre hesaplanmaktadır. Kapalı bir sistemdeki gazın, içerisinde bulunduğu yapıya kaldırma kuvveti oluşturabilmesi için gaz yoğunluğunun atmosfer yoğunluğundan daha düşük bir değer olması gerekir.

Bu bakımdan atmosferden daha düşük yoğunluktaki en yaygın kaldırma gazları Çizelge 2.2’de gösterilmektedir. Ayrıca standart atmosfer koşullarına göre havadan hafif hidrojen, helyum, sıcak hava, metan gazlarının yoğunluk ve kaldırma kuvveti özellikleri gösterilmektedir.

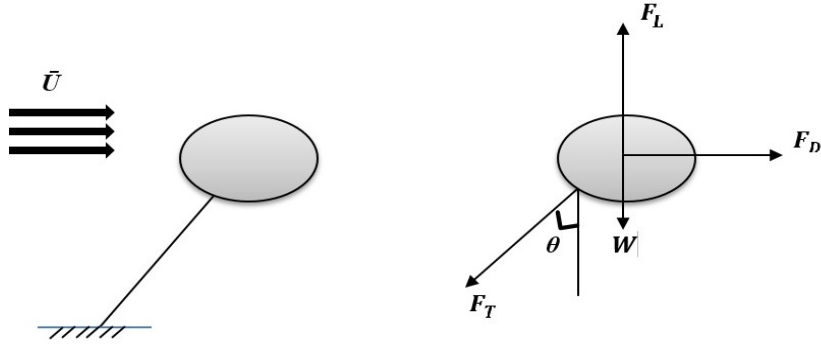
Çizelge 2.2 : Kaldırma gazlarının kıyaslanması [8].

GAZ TÜRÜ	YOĞUNLUK (kg/m³)	KALDIRMA KUVVETİ (N/m³)	ÖZELLİĞİ
Hidrojen	0,085	11,2	Yanıcı ve patlayıcı, Kimyasal tepkimeye girebilen, Üretimi kolay, Düşük maliyet
Helyum	0,169	10,2	Yanmaz, Kimyasal tepkimeye girmeyen, Üretimi zor, Yüksek maliyetli
Sıcak hava	0,906	3,14	Kimyasal tepkimeye girmeyen, Temini kolay ve düşük maliyetli
Metan	0,756	4,5	Yanıcı, Üretimi kolay, düşük maliyetli

Havadan hafif yapılarda en çok kullanılan gazlardan helyum gazı hidrojen gazına nazaran kaldırma kapasitesi %7 daha düşüktür [1]. Hidrojen gazının kaldırma kapasitesinin yüksek olması, kolay temin edilebilmesi ve etkin maliyetli olmasına rağmen yanıcılığından dolayı tercih edilmemektedir. Tepkimeye girmeme, yanmama gibi özellikleriyle güvenilir olmasından dolayı en çok tercih edilen gaz helyum gazıdır.

2.2 Havadan Hafif Sistem Dinamikleri ve Sistem Üzerine Binen Yükler

Akışkan içerisindeki havadan hafif yapı üzerine etkiyen kuvvetler; kütesinden kaynaklı yer çekimi kuvveti, bu kuvvete aynı doğrultuda fakat ters yönde etkiyen havadan hafif gazdan kaynaklı kaldırma kuvveti, yapı ile akışkanın bağıl hareketinden kaynaklı sürüklenme kuvvetlerdir [9]. Yapı eğer halatla bir noktaya bağlı ise sürüklenme kuvvetini ve kaldırma kuvvetini yenmek için bu kuvvetlere ters yönde oluşan çekme kuvveti de hesaba katılır. Bu kuvvetler Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Akış içerisindeki eliptik KGHP serbest cisim diyagramı.

Şekil 2.3’de KGHP gövdesi üzerine gelen U hızındaki rüzgârın oluşturduğu F_D sürüklenme kuvvetini, içerisindeki havadan hafif gazın oluşturduğu F_L toplam kaldırma kuvvetini, W yapının toplam ağırlığını, F_T ise kaldırma ve sürüklenme kuvveti sonucu oluşan belirli bir açıyla konuşlanmış halatın çekme kuvvetini ifade etmektedir. F_L kaldırma kuvvetinin oluşmasında ağırlıklı aerostatik etkiler mevcuttur. Fakat gövdenin hücum açısı ve tasarımına göre aerodinamik etkilerden kaynaklı kaldırma da söz konusu olacaktır. Motorlu yapılarda sürüklenme kuvvetini yenmek için ve yapının ileri yönlü hareketini sağlamak amacıyla sürtünme kuvvetine ters yönde itki kuvveti de serbest cisim diyagramına eklenmelidir.

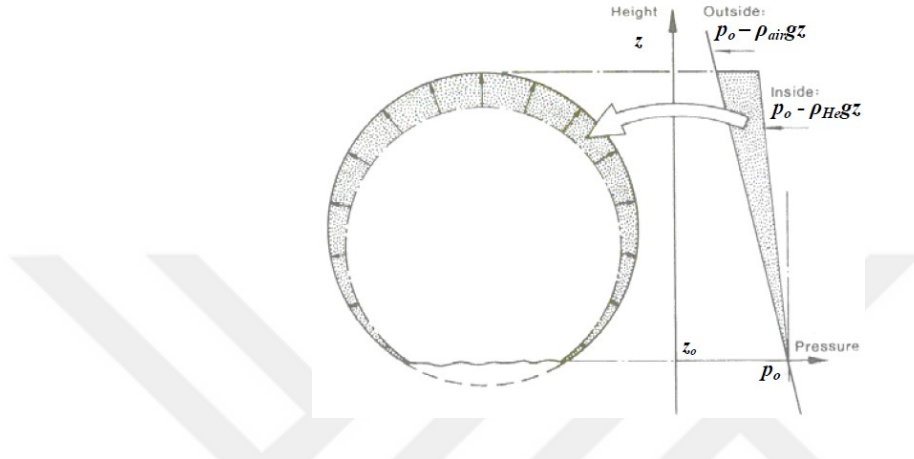
Aerodinamik etkileri oluşturan en önemli parametre rüzgar hızı iken, kaldırma kapasitesini belirleyecek en önemli parametre havanın yoğunluğudur. Havanın statik basıncı, viskozitesi, sıcaklığı, havanın yoğunluğu ve rüzgâr hızına nazaran hesaplamalarda daha az etkilidir.

2.2.1 Aerostatik yükler

Atmosfer içerisinde yüzen havadan hafif yapıların asılı kalması havanın statik taşıma özelliği olarak açıklanır. Asılı kalması halinde yapıya etkiyen toplam kuvvet sıfırdır. Denklem 2.5’deki ifade yapının statik dengede olduğunun göstergesidir. Statik denge bir akışkan içerisinde batırılmış bir hacmin ağırlığına eşit yukarı yönlü bir kuvvete maruz kaldığının göstergesidir.

$$B - W_{\text{toplam}} = 0 \quad (2.5)$$

Yapının toplam ağırlığı değişmeyeceğini varsayarsak aerostatik dengenin bozulmasına sebep olacak en önemli parametre atmosfer yoğunluğudur. Kapalı bir hacimdeki gazın yoğunluğu değişmeyeceğinden dolayı, sabit bir hacim içerisindeki gazın yoğunluğunu sabit kabul edilir. Sabit hacim içerisindeki havadan hafif gazın zarfa uygulamış olduğu Şekil 2.4 'deki basınç değişimine göre düşen hava yoğunluğunda gövdenin alt tarafı ilk olarak şeklini değiştirir. [7]



Şekil 2.4 : Havadan hafif gazın gövdeye uyguladığı iç basınç değişimi [7].

Aerostatik yüklerin dengelenmesinde ağırlık merkezinin tayini önem arz etmektedir. Görev yükü, gövde, kuyruk ve gövde üzerinde ki ağırlıkların sabit bir noktaya göre moment hesabı yapılarak gövdenin stabil durması için aerostatik denge sağlanır. Küresel yapıların avantajı ağırlık merkezi, aerodinamik merkez ve kaldırma merkezinin gövdenin simetrik olmasından dolayı halat doğrultusunda hizalanır. Bu açıdan aerodinamik basınç merkezi, kaldırma kuvveti merkezi ve ağırlık merkezi hesapları kolaydır.

Aerostatik yüklerin hesaplanmasında havanın statik basıncı önem arz etmektedir. Statik basınç gövdenin içinde yüzdüğü havanın barometrik basıncından oluşur. Hava kütlelerinin ağırlığından dolayı oluşan etkidir. Herhangi bir irtifada oluşan statik basınç gövde üzerindeki bütün noktalara eşit etki eder. Deniz seviyesindeki ft^2 düşen havanın ağırlığı 2116 lb 'dir (14.7 PSI). Deniz seviyesinden yükseklerle doğru çıkıldıkça havanın yoğunluğunun düşmesinden dolayı statik basıncıda azalır. Haliyle rijit olmayan yapılar irtifa arttıkça, gövde maksimum değerine ulaşıncaya kadar genişlemeye devam eder.

2.2.2 Aerodinamik yükler

Atmosfer içerisinde hava hareketlerine maruz kalan ya da atmosferde hareket eden hava aracının üzerinde oluşan kuvvet ve momentlerin belirlenebilmesi için, hava aracı etrafındaki akışa ait karakteristiklerin belirlenmesi, hava aracına ait boyutsal ve yüzeysel özelliklerin tayini aerodinamiğin en temel problemlerinden biridir [9].

Hava aracının atmosfer içerisinde hareket etmesiyle ortaya çıkan aerodinamik etkiler, rüzgârlı bir ortamda durağan bir hava aracının üzerine binen etkileri ve hesapları temelde aynıdır. Farklı olarak algılandığında aslında bu iki olay aynı denklikte incelenir [10]. Çünkü önemli olan hava ile hava aracı arasında ki bağıl harekettir. Burada en önemli iki parametre havanın cisim yüzeyindeki sürtünme, bu sürtünme ve basınç dolayısıyla oluşan dirençtir. Oluşan direnç kuvvetlerinden ilki yüzey üzerindeki sürtünme gerilmeleri, diğeri ise yüzeye etkiyen basınç kuvvetleridir.

Hava Platformları üzerindeki oluşan direnci en aza indirmek için tasarım ve mühendislik hesapları devreye girer. Böylelikle sistem üzerine binen yükler en aza indirilerek sistemin istenilen irtifada sürekliliği ve sürdürülebilirliği sağlanır. Gürültü ve titreşimin azaltılmasıyla hava platformu üzerine gelen anlık yükler elimine edilir.

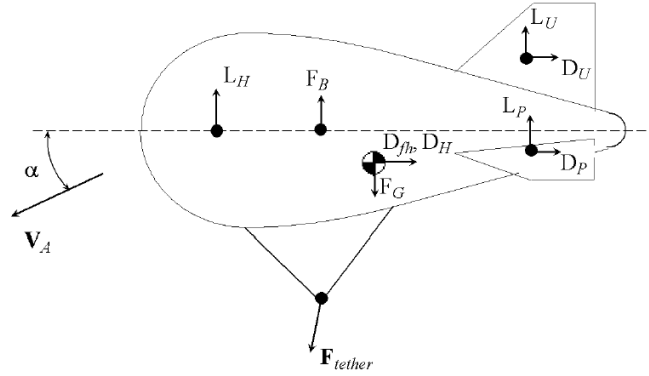
Farklı geometriler üzerine akış durumları uzun yıllar boyunca deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Küresel model, damla model Kutuplardan basık küresimsi ve tasarımları hava platformları bilindik en yaygın geometrileridir.

Sistem üzerindeki akışın incelenmesinde iki farklı yöntem ilk etapta değerlendirilebilir. Bunlardan ilki Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, farklı akışkanların değişen koşullar altındaki analizini yapmaya yarayan bir yöntemdir. Bu yöntemde süreklilik, momentum ve enerji üç ana konu değerlendirilir.

Denklemleri sayısal olarak çözülerek akış alanı içerisindeki basınç, hız ve sıcaklık dağılımları verilerine ulaşılır. Son yıllardaki bilgisayar tabanlı simülasyon programlarının gelişmesiyle hesaplamalı akışkanlar dinamiği teorisi sistem üzerindeki etkisi daha rahat değerlendirilmektedir [10].

Diğer bir yöntem olan Sonlu Hacimler Yönteminde ise yapı üzerinde temel problemin fiziksel büyüklüğü arasındaki bağı ifade eden küçük bir bölgede oluşturularak değerlendirilir. Böylelikle şekilde gerçek yapının davranışı, bu bölgelerin sayısı artırılarak çözümün duyarlılığı da o derece artırılmaktadır.

Gerçek yapının davranışını anlayabilmek için gövde üzerine etkiyen kuvvetlerin gövde burun kısmına olan moment hesabının yapılması gerekmektedir. Moment oluşturan kuvvetleri ve hesaba katılan moment bölgelerinin ayrıntılandırılmasıyla davranış hassasiyeti artar. Temel olarak gövde üzerine etkiyen kuvvet merkezlerini ve kuvvet bölgelerinin Şekil 2.5'deki sürekli bir akış içerisindeki gövde üzerine binen kaldırma kuvveti, aerodinamik kuvvet ve momentumun serbest cisim diyagramının ifadesi;



Şekil 2.5 : Gövde üzerine binen kuvvetler.

Kararlı bir akışta gövde üzerine etkiyen aerodinamik kuvvetler L_h ve D_h denklem 2.6 ve 2.7'deki yöntemle hesaplanır [3]. Burada L_h ve D_h sırasıyla kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerini, bu kuvvetlerin gövde ön burun kısmında oluşturduğu yunuslama momentini M_{nose} (Denklem 2.8) ifade eder.

$$L_h = q_0 [(k_3 - k_1)\eta_k I_1 \sin(2\alpha) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + (Cd_c)_h J_1 \sin\alpha \sin|\alpha|] \quad (2.6)$$

$$D_h = q_0 [(Cd_c)_0 S_h \cos^2 \alpha - (k_3 - k_1)\eta_k I_1 \sin(2\alpha) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)] \quad (2.7)$$

$$M_{burun} = -q_0 [(k_3 - k_1)\eta_k I_3 \sin(2\alpha) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + (Cd_c)_h J_2 \sin\alpha \sin|\alpha|] \quad (2.8)$$

Burada q_0 kararlı hal dinamik basıncı, α hücum açısını, k_1 eksenel ve k_3 yanal ilave katsayısını, η_k kuyruk tarafından gövde üzerine etkisini hesaplayabilmek için gövde verim oranını, $(Cd_c)_h$ gövdenin çapraz akımdan kaynaklı sürüklenme katsayısını, $(Cd_c)_0$ gövdenin sıfır hücum açısı durumunda ki eksenel sürüklenme katsayısını, S_h gövdenin ıslak alanı yani referans alanını temsil eder.

Aerodinamik sürüklenme hesaplamalarda havadan hafif yapıya etkiyen önemli bir parametredir. Ayrıntılı bir modellemede yapının hücum açısı ve geometriden kaynaklı aerodinamik kaldırmada hesaba katılır. Küçük gövdeli kablo güdümlü yapılardaki aerodinamik kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri halat dayanımı hesabı yapılırken göz önünde bulundurulur. Genelde kablo güdümlü yapılarda kaldırma kuvveti hesabı yapılırken sadece yapı gövdesinde bulunan gazın oluşturduğu kaldırma miktarı göz önüne alınır.

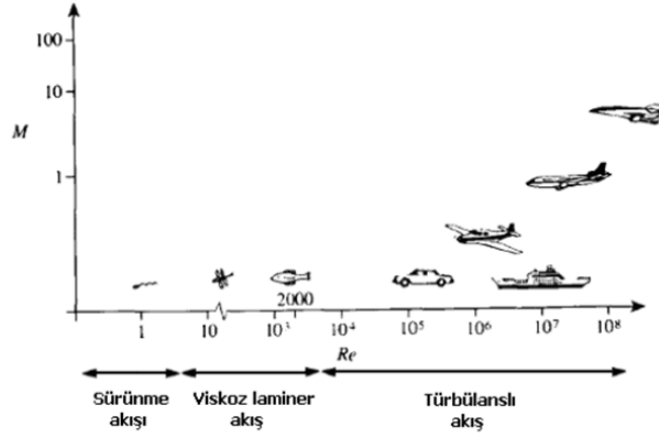
2.2.3 Reynolds sayısı

Reynolds Sayısı, akış rejimlerinde yapının akış ile olan etkileşimini hesaplamada, akışın türbülanslı ya da laminar yapıda olduğunu tanımlamak için sıkça kullanılan boyutu olmayan bir parametredir. Atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranlanması ile bulunan Re sayısı (denklem 2.9) ;

$$Re = \frac{\rho V_{\infty} D}{\mu} \quad (2.9)$$

Boru içindeki akışı tanımlamak amacıyla Osborne Reynolds tarafından oluşturulan denklem 2.9'da ρ yoğunluğu, V_{∞} serbest akım hızını, D boru çapını ve μ akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnci yani dinamik viskoziteyi ifade etmektedir.

Orta ölçekli havadan hafif yapılar rüzgârla olan etkileşimi dolayısıyla düşük Reynolds aerodinamiği içerisinde değerlendirilebilir. Hesaplamalarda akışların düşük Reynolds akışları olarak değerlendirilebilmesi için değerlerin 50000-500000 arasında olması gerekir [11]. Şekil 2.6'da farklı hacimlerin akış ile etkileşimi farklı olan yapıların yaklaşık Re değişimi görünmektedir [11].



Şekil 2.6 : Kütle ve Re sayılarının değişimi [9].

Düşük Reynold akışlarında, hareketlenen hava parçacıklarının belirli katmanlar halinde, aynı hızla düzgün bir şekilde düşük hızlarda laminar akış gözlemlenir. Kritik akış hızı seviyesine ulaşan havanın düzenliliği bozulur türbülanslı akış başlar. Türbülanslı akış havadan hafif yapının gövde üzerinde salınım hareketlerinin sebebi olabilir. Büyük gövdeli havadan hafif yapılar damla modeli tasarımına yakınken küçük gövdeli havadan hafif yapılarda düşük Reynolds aerodinamiğinden dolayı bu zorunluluk tasarım zorunluluğu bulunmayabilir.

2.2.4 Aerodinamik sürüklenme ve sürüklenme katsayısı

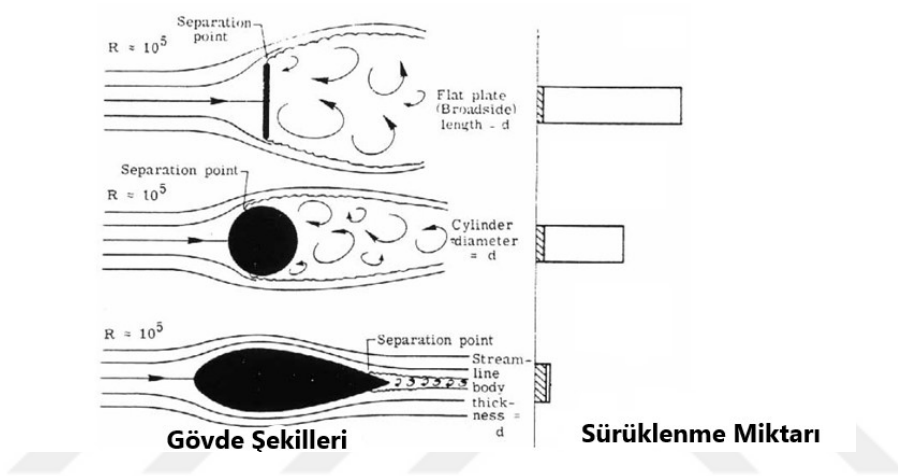
Havadan hafif yapılarda aerodinamik sürüklenme istenmeyen durumların en başında gelir. Özellikle halatlı yapılarda hava aracının bulunduğu irtifada her koşulda sürekliliği isteniyorsa aerodinamik tasarım ön plana çıkmaktadır. Sürüklenme, akışkanın temas ettiği gövde tasarımının ve yüzey materyalinin oluşturduğu türbülans ve süreksizlik neticesinde ortaya çıkar. Akışkanın gövdeyle etkileşimi sonucunda oluşan sürüklenme aerodinamik yükleri tayin eder.

Kanatlı yapılarda hücum açısı ön plana çıkmasının sebebi kaldırmayı kanatın üstünde ve altındaki basınç farkından oluşturulmak istenmesidir. Özellikle küresel ve damla geometrili yapılarda kaldırma sadece gövde içerisinde bulunan gazla oluşturulmak istenir. Sürüklenme kuvvetlerinden parazit, indüklenmiş ve şekil sürüklenme tiplerinden, özellikle üzerinde durulacak şekil (basınç sürüklemesi) sürüklemesi olacaktır. Toplam sürüklenme bahsedilen sürüklemelerin tümüdür. Fakat havadan hafif yapının üzerinde sürüklemenin tamamına yakını şekil sürüklemesi oluşturur. Sürüklenme hesabı

yapının geometrik şeklinin yanında yapının hücum açısı, reynold sayısı ve Mach sayısına bağlıdır. Basınç sürüklenme kuvveti denkleminin (denklem 2.10) ifadesinde;

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A \quad (2.10)$$

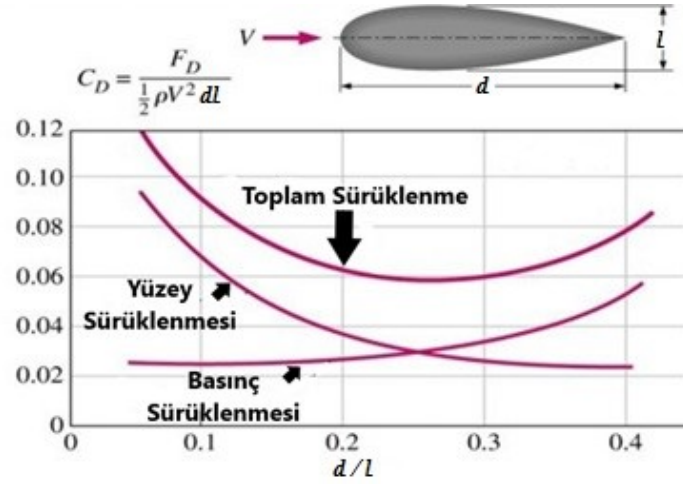
Denklem 2.10'da A yapının kesit alanını, U yapının rüzgara göre bağıl hızını, ρ bulunulan irtifadaki hava yoğunluğunu ve C_D tasarıma göre değişen sürüklenme katsayısını ifade eder. Denklem 2.10'a göre havadan hafif yapının sürüklenme kuvvetini etkileyen en temel faktörler gövde üzerine gelen rüzgar hızı , gövdenin tasarımı ve gövdenin ıslak alanıdır.



Şekil 2.7 : Farklı tasarımların sürüklenme miktarları [12].

Islak alanı aynı olan farklı geometrik şekillerin aynı reynold sayılarındaki sürüklenme miktarı Şekil 2.7'de gösterildiği gibidir [12]. Şekilde hacmi olmayan d uzunluğundaki düz bir yüzey, d çapındaki küresel bir model ve yine veter uzunluğu d olan damla model üzerindeki rüzgarın oluşturduğu sürüklenme miktarlarında en az sürüklemeyi damla model sağlamaktadır. Özellikle halatla yönlendirilen sistemlerde yönlendirme halatının ve yapının rüzgara karşı etkisini minimumda tutmak için tercih edilen model damla modeldir. Fakat toplam ürettiği kaldırma miktarı ve üretim kolaylığı bakımından genelde küresel model tercih edilir.

Sürüklenme katsayısı ise hava ile etkileşim içerisine giren yapının şekil, eğim ve akış koşullarının birbiri ile olan bağlantısını modellemek için kullanılan katsayıdır [13]. Yapının akışa karşı gösterdiği direnç katsayısı da denilebilir. Boyutsuz olan sürüklenme katsayısı hava ile etkileşen küt cisimlerde yüksekken, damla modele doğru yaklaştıkça bu katsayı azalır.



Şekil 2.8 : d/l oranı sürüklenme katsayısı değişimi.

Şekil 2.8’de artan d/l oranına karşı basınç, yüzey ve toplam sürüklenme eğrileri görülmektedir. d/l oranı arttıkça sürüklenme katsayısı ile birlikte gövde üzerindeki basınç sürüklenmesi de artmaktadır. Yani gövde kütleştikçe gövdeye uygulanan sürüklenme kuvveti de artmaktadır. Sürüklenme katsayısının hava ile etkileşen gövde ıslak alanını ve rüzgar hızı ile ilişkisi önemlidir. Havadan hafif yapılarda gövde büyüdükçe özellikle gövde ve halat dayanımları hesabı daha da önemli hale gelmektedir. Küçük gövdeli yapılarda gövdeye etkileyen aerodinamik sürüklenme kuvveti eğer gövde ve halat dayanım sınırları içerisinde kalıyorsa minimum hacme yönelik tasarımın gerçekleştirilmesi, üretimi kolay olan yapının seçilmesi daha doğru olacaktır.

2.3 Uçuş İrtifası ve Atmosfer Etkisi

Sistem bileşenlerini seçerken bölgenin coğrafi ortamının ve hava koşullarını dikkate almak gerekir. Misyona bağlı olarak havadan hafif yapılar yüksek yapıları kentsel alanlarda kullanılabildiği gibi çöllerin, ovaların bulunacağı karasal ortamlarda da konuşlandırılması gerekebilir [14]. Hava yoğunluğundaki azalma veya sıcaklık değişimi havadan hafif yapıların kaldırma kapasitesini azaltacaktır. Bu sebeple hava yoğunluğu daha yüksek irtifalarda ve artan hava sıcaklığına bağlı olarak azalan hava yoğunluğu görev yükü kapasitesini düşürecektir.

Uçuş esnasında gövdeye yerleştirilecek sensörler vasıtasıyla uçuş durumunu ve atmosfer etkilerini saptamak mümkündür. Fakat uçuş öncesi başta uçuşun yapılıp yapılacağını öngörmek, bulunacağı irtifayı kestirmek amacıyla belli parametrelerin saptanması ve ortam hesaplarının yapılması gerekir. Atmosfer etkilerini ve çevre koşullarını saptamak amacıyla bulunulan irtifanın özellikle yoğunluğu ve rüzgar hızını tahmini doğruya yakın bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu sebeple bu başlık altında temel ortam parametre hesaplarını yapabilmek amacıyla irtifadaki sıcaklık yoğunluk, rüzgar hızı ve basınç hesapları değerlendirilmiştir.

2.3.1 İrtifaya göre atmosferik değişimler

Her bir irtifada havadan hafif yapının uçuş dinamiğinin ve aerostatik kaldırma miktarının hesaplanabilmesi için yoğunluk ve rüzgar hızı ile birlikte basınç, sıcaklık değerlerini de yapının davranışını anlayabilmek için önem arz etmektedir.

Alçak irtifa aralığında artan irtifada atmosfer yoğunluğu, sıcaklık ve basınç düşerken, rüzgar hızı artmaktadır. Özellikle yoğunluktaki azalmanın temel sebebi, yeryüzü yer çekiminin yer yüzünden uzaklaştıkça azalmasıdır. Dolayısıyla atmosfer yüzeye yakın yerlerde yoğunlaşarak hacimdeki ağırlığı artar. Bu sebeple sabit bir hacimdeki havadan hafif yapının kaldırma kapasitesi denize yakın seviyede maksimuma ulaşır. Hava yoğunluğunu etkileyen diğer sebepler basınç ve sıcaklık değişimleridir. Sabit bir irtifada atmosfer basıncı hava yoğunluğuyla doğru, sıcaklıkla ters orantılı bir şekilde hareket eder. Sıcaklık Troposfer katmanı içerisinde her 1000 metrede sabit bir oranla (-6,5 °C) düşer. Çizelge 2.3’de havadan hafif yapıların özellikle Troposfer katmanına kadar yükseklik değerine göre yoğunluk, basınç ve sıcaklık değerlerini tahmin etmek için oluşturulmuş denklemler gösterilmektedir.

Çizelge 2.3 : 1976 Nasa standart atmosfer ölçüm denklemleri [15].

DEĞER	DENKLEM	AÇIKLAMA
YOĞUNLUK	$\rho = \rho_0 e^{-\frac{z}{H\rho}}$	ρ İrtifadaki tahmini yoğunluk (kg/m ³), ρ_0 yerde ölçülen yoğunluk (kg/m ³), z platform irtifası (km), $H\rho$ Ölçek Yüksekliği (8,55 km). (2.11)
BASINÇ	$p = p_0(1 - 0.0065 \frac{h}{T_0})^{5.2561}$	p irtifadaki tahmini basınç (hPa), p_0 yerde ölçülen basınç (hPa), h platform irtifası (m), T_0 yerde ölçülen sıcaklık (°K). (2.12)
SICAKLIK	$T = T_0 - 6.5 \frac{h(m)}{1000}$	T irtifadaki tahmini sıcaklık (°C), T_0 yerde ölçülen sıcaklık (°C), h platform irtifası (m). (2.13)

2.3.2 İrtifaya göre rüzgâr hızı tahmini

Havadan hafif yapıların, bulunduğu irtifadaki gövdenin oluşturduğu toplam sürüklenme kuvvetinin ve yapının rüzgar dayanımının bilinmesi operasyonun sağlığı açısından çok önemlidir. Özellikle halat ile bağlı yapıların aşırı rüzgar karşısında sistemin tümüne vereceği tahribat çok daha fazla olacaktır. Bu sebeple havadan hafif yapının görev yapacağı ortamı ve irtifanın hava koşullarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bulunulan irtifada en doğru okunması gereken parametreler yoğunluk ve rüzgar hızıdır. Rüzgar dayanımı bilinen yapının uçuş yapıp yapamayacağını kararını vermek için rüzgar hızının doğru tahmin edilmesi gerekmektedir.

İrtifaya göre rüzgar hızı hesaplamada önemli etkenlerden biri yer yüzeyinin pürüzlü olup olmamasıdır. Bu sebeple yer yüzeyi sınır tabakasının oluşturduğu türbülans ve düşey eksendeki rüzgar profili yüzey pürüzlülüğüne göre belirlenir [16]. Düşey eksendeki rüzgar profilini tahmin etmede kullanılan litaretür de en çok kullanılan iki denklemden ilki (Denklem 2.14) ;

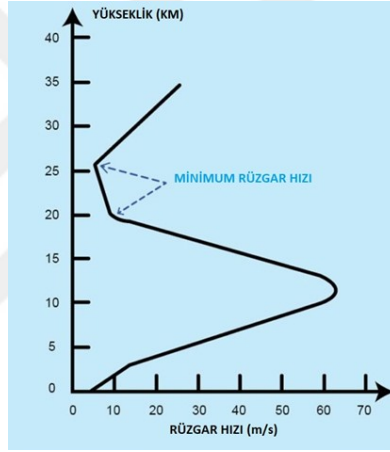
$$V = \ln \frac{z}{z_0} / \ln \frac{z_{ref}}{z_0} \quad (2.14)$$

Denklem 2.14'de z rüzgar hızının tahmin edileceği irtifayı (m), V bu irtifadaki belirlenmek istenen rüzgar hızı (m/sn), z_{ref} yerde ölçülen rüzgar hızı (m), z_0 ortamdaki yüzey pürüzlülüğünün yüksekliği olarak tanımlanır. Açık alandaki bir çim yüzey için z_0 0,01m olarak değerlendirilebilir. Yüzey pürüzlülüğü en az değeri durgun su yüzeylerinde alır. Diğer rüzgar hızı tahmini denklemi (Denklem 2.15);

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha \quad (2.15)$$

Denklem 2.15’de h havadan hafif yapının bulunacağı irtifayı(m), h_0 yerdeki yükseklik değerini, V yapının irtifasındaki istenilen rüzgar hızı değerini, V_0 yerdeki rüzgar hızı değerini ve α ise yüzeyin pürüzlülük sınıfı katsayısını ifade etmektedir. Her iki denklemlerde (denklem 2.14, 2.15) ki bağlantıya göre irtifa arttıkça rüzgar hızı artacaktır. Burada üzerinde durulması gereken yüzeyin pürüzlülük katsayısının doğru olarak atanmasıdır [16].

Yalnız bu denklemlerden elde edilecek rüzgar hızı sonucu 0-12 km arasındaki Troposfer katmanı için doğru tahmini verir. Stratosfer katmanına geçildiğinde durum biraz daha farklıdır.



Şekil 2.9 : İrtifaya göre ortalama rüzgar değerleri.

Şekil 2.9’da Troposferin üst katlarına doğru rüzgar hızı artmaktadır. Bu durumda Troposferde irtifa yükseldikçe halatlı havadan hafif yapıların sürdürülebilirliği zorlaşır. Özellikle stratosfer tabakası içerisindeki 20-25. Km arasında rüzgar hızı minimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu irtifada minimum rüzgar hızından dolayı yüksek irtifa platformları için en elverişli irtifadır.

2.3.3 Diğer atmosferik etkiler

Deniz yüksekliğinden 25 km mesafeye kadar görev irtifası bulunan havadan hafif sistemlerin hava olayları ile etkileşimi kaçınılmazdır. Yağmur, kar ve yıldırım düşmesi gibi birçok atmosfer etkisinin havadan hafif sistem üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Özellikle su emici özelliği özelliği olan gövde materyallerinde yağmur

ve kar platformun çalışma irtifasını azaltarak sistemin kaldırma kapasitesini düşürür. Bu olumsuzluğu gidermek adına gövde yüzeyine su itici özelliği bulunan kaplamalar uygulanır. Gövde materyalinin su itici olması yada emici özelliğinin bulunmaması bu bakımından önemlidir.

Diğer atmosfer olaylarından biride sistem üzerine yıldırım düşmesidir. Havadaki iyon yoğunluğunu ve yağmur olasılığını değerlendirilerek, ölçüm yapılan lokasyona yıldırım düşme tahmininde bulunan sistemler kullanılmaktadır. Yıldırım düşme ihtimalinin yüksek olduğu anlarda platform görev irtifasından park haline çekilir. Yada paratoner mantığında çalışan bir sistemi platformun üst noktasına entegre edilerek yer ile topraklama hattı oluşturulur. Sistemin güvenliği amacıyla oluşturulan topraklama hattı görev yükü kapasitesini düşürür.

2.4 Gövde Şekilleri ve Tasarım Kriterleri

Havadan hafif yapılar üzerine yıllardır sürdürülen çalışmalar minimum sürüklenme ve maksimum stabilizasyon ve kaldırma kapasitesi üzerine gerçekleştirilmiştir [17]. Havadan hafif yapı tasarım parametrelerini belirlerken; kullanım amacı, kaldırma kapasitesi ,stabilizasyon ihtiyacı olan görev yükü türü ve ağırlığı, kullanılan alandaki çevre koşulları, çalışma irtifası, manevra kabiliyeti, uçuş süresi, üretim kolaylığı, maliyet gibi etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Her gereksinim analizi sonucu karar verilmesi gereken tasarım modelini ortaya koymaktadır. Görev özelliğine göre tasarıma gitmek en doğrusu olacaktır. Hava aracı tasarımları arasında ihtiyaca göre alt sistem ve tasarımların şekillendiği en belirgin olanlardan biri havadan hafif yapılardır.

Model tasarımlarının avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumların belirtildiği Çizelge 2.4'de aynı hacimde sürüklenme miktarı, kaldırma kapasitesi, irtifada stabil olma durumu ve demirleme kolaylığı bakımından kıyaslama yapılmıştır.

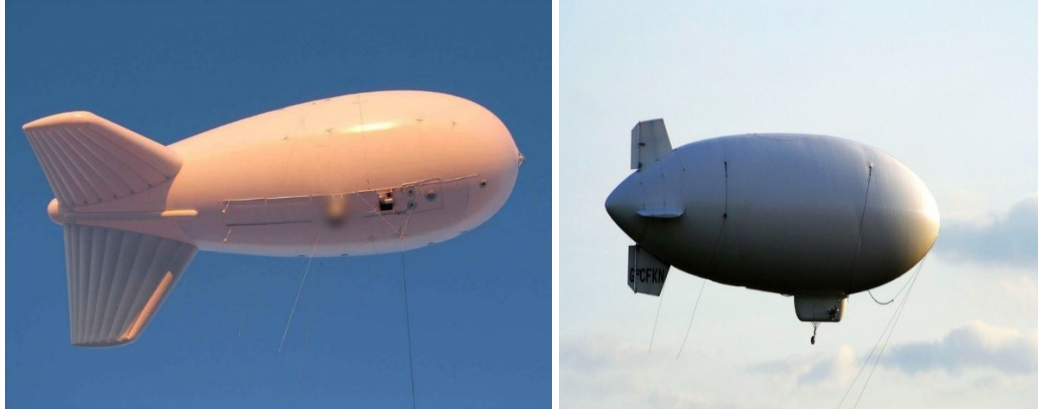
Çizelge 2.4 : Kablo GÜdümlü Hava Platformu modellerinin kıyaslanması.

Model	Model Örneği	Sürükleme	Kaldırma	Stabilizasyon	Demirleme
Damla Model	TCOM LP Tactical	+++	+	+++	+
Küre Model	Rosaero Aerolift	+	++	+	+++
Elipsoidal Model	Aero Drum	++	+++	++	+++
Helikite Model	Allsopp	++	++	++	+

Hava aracı şekil tasarımlarının görev özelliğine, çalışacağı irtifaya ve gerekli kaldırma miktarına göre gereksinimler tanımlanarak uygun bir model seçiminin yapılması gerekir. Örneğin küre biçime sahip bir hava platformu tasarımı görev yükü kaldırma kapasitesi ve demirleme kolaylığı için tercih edilebilirken, hava akışının sert olduğu ortamlarda gövdeyi stabil tutmak isteniyorsa damla model en doğru seçim olacaktır.

2.4.1 Damla model

Hava akımı karşısında en düşük sürükleme katsayısına sahip aerodinamik şekil olduğundan, sürüklemeyen kaynaklı gövde ve halat üzerine binen yükler aynı hacimdeki diğer tasarımlara nazaran daha düşüktür. Bu tasarımla (Şekil 2.10) hava akımının oluşturduğu yük altında yıpranma seviyesini en aza indirilir. Uzun süreli operasyonlarda ve dış etkilerin fazla olduğu olduğu ortamlarda tercih edilir. Aynı hacimdeki diğer modellere nazaran kaldırma kapasitesi düşüktür. Kaldırma merkezi, ağırlık merkezi ve halat bağlantı noktası aynı hat üzerinde olmadığından dolayı üretim öncesi ayrıntılı hesap ve analiz yaparak tasarlanır.



Şekil 2.10 : Damla model (Tars & Lindstrand).

2.4.2 Küre model

Gövde tasarımı tam bir küredir (Şekil 2.11). Laminar rüzgar akımlarında gövdenin osilasyon yapma ihtimali yüksektir. Gövdeye 3 boyutlu şekil verilirken birleştirilmesi gereken parça sayısı az olduğundan ve kaldırma merkezi ile ağırlık merkezi aynı eksen üzerinde olduğundan dolayı yük altında rijit yapısını korur. Az bağlantı dolayısıyla taşıma kapasitesi yüksektir. Yüksek rüzgar akımlarında Re sayısının artmasıyla sürüklenme katsayısı düşerek daha stabil davranış gösterir. Rüzgar geliş yönüne yönlendirmeyi sağlayan dümen olarak genelde gövde altından serbest olarak salınmış dayanımı yüksek hafif kumaş tercih edilir.



Şekil 2.11 : Küre model (Rosaeros & Aero Drum).

2.4.3 Elipsoidal model

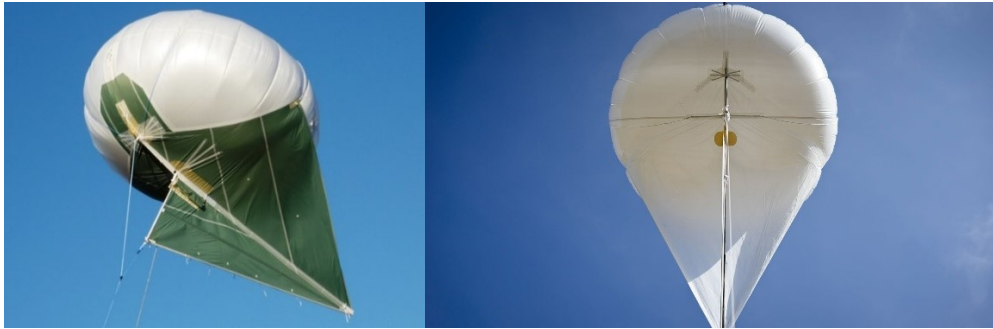
Küre modelin üstlerden basık gövde çevresinden şişkin haldir (Şekil 2.12). Genelde yönlendirme dümeni olarak gövdenin altından salınmış hafif kumaş tercih edilir. Bu modelin en büyük avantajı kaldırma gazının yukarı yönlü oluşturduğu kuvvetin olabildiğince düz bir yüzeye uyguladığından dolayı kaldırma kapasitesi yüksektir.



Şekil 2.12 : Elipsoidal model (Aero Drum & Wasp).

2.4.4 Helikite model

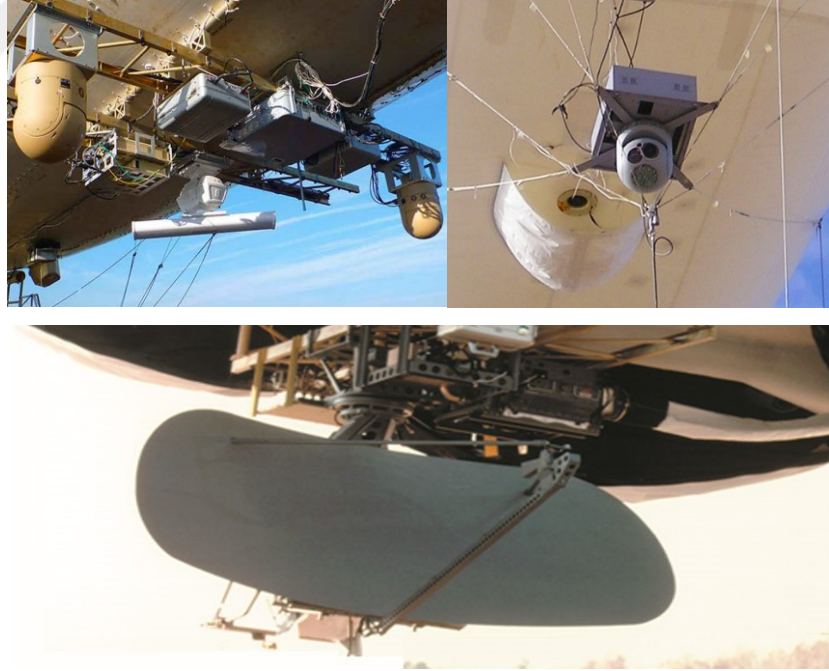
Literatürde helikite modeli olarak geçen uçurtma tipi tasarım İngiltere menşeli bir firma tarafından üretilen patentli bir modeldir [18]. Helikite denmesinin sebebi kaldırmanın teoride Bernoli ve Arşimed prensibine dayanmasıdır. Her iki prensibin hafif yapı ve uçurtma kanadı formu olarak bu modelde birleşimdir. Şekil 2.13’de görülen tasarımda gövde altına dikilmiş kanatlar ve arkaya kadar mast yardımıyla desteklenmektedir. Kanatların açısı itibariyle aslında yarı damla model tasarımıda denilebilir . Üretici firma tarafından bu tasarımın gövdeye ekstra stabilite ve kaldırma sağladığını öngörmektedir.



Şekil 2.13 : Helikite modeli (Allsopp).

3. KABLO GÜDÜMLÜ HAVA PLATFORMU VE ALT SİSTEMLERİ

KGHP'ler temelde uzaktan algılama sensörünün veya haberleşme görev yükünün algılama ve kapsama kabiliyetini artırmak için kullanılır. Gerekli olan kaldırma kapasitesine göre farklı hacim ve ebatlarda tasarlanabilir. Aerostatik kaldırma sağlayan gövde, halat yardımıyla irtifası kontrol edildiği gibi görev yükü için gerekli olan enerji halat içerisindeki kablo vasıtasıyla sağlanır. Gelişmiş kablo tasarımlarıyla enerji transferi ile birlikte veri iletimi de sağlanmaktadır. Radar, kamera, lidar gibi uzaktan algılama sensörleri; baz istasyonu, haberleşme rölesi gibi haberleşme görev yükleri ile yer gözlem, gözetleme ve haberleşme amaçlı yıllardır kullanılmaktadır. Gelişen sensör teknolojilerinin hafiflemesi ve kabiliyetinin artmasıyla KGHP'ların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.



Şekil 3.1 : KGHP farklı görev yükü entegrasyonu (Tcom 22M görev yükü).

Görev gereksinimleri göz önünde bulundurularak göre KGHP gövdesinden alt sistemlerine kadar optimize edilmesi gerekir. Alan kontrolü gerektiren Şekil 3.2'de

görünen sabit bir lokasyonda kullanılabilceği gibi, demirleme istasyonunun (mooring station) kara araçlarına sabitlenmesiyle Şekil 3.3'deki gibi mobil olarak istenilen lokasyona kolayca konuşlandırılabilir. KGHP'ler ultra hafif kablo yardımıyla 5 km'ye kadar başarılı bir şekilde yönetilebilir. Diğer yandan havada kalma süresi 30 güne kadar çıkabilen tasarımlar bulunmaktadır.



Şekil 3.2 : Sabit lokasyon KGHP (Allsopp & Raven Aerostar).



Şekil 3.3 : Mobil KGHP (Tcom & Drne).

KGHP sistemleri hava koşullarına göre stabil kalması , sürdürülebilir olması ve bulunduğu irtifada sürekli kalabilmesi gibi temel görevleri karşılması istenir. Stabilitate, aerodinamik tasarımı sayesinde minimum sürüklenme kuvvetine sahip sistem gövdesi ile yüksek rüzgar hızlarında bulunduğu irtifada stabil olarak görev yapmasını tanımlamaktadır.

Sürdürülebilir olması, alt sistemlerin bakım onarım kolaylığının olması, minimum personel ile sistemin işletilebilmesi , alt sistemlerin parça tedarikinde problem yaşanmaması gibi sistemin idamesini tanımlamaktadır. Süreklilik, görevini kesintisiz yerine getirebilen, görev yükü enerji beslemesini sürekli olarak yapmasını tanımlamaktadır. Temel üç gereksinimi karşılayabilen sistem kabul edilebilir bir sistemdir. Çizelge 3.1’de farklı gereksinimlere ve amaçlara göre KGHP sistemlerinin kullanıldığı farklı alanlar bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 : KGHP uygulamaları.

Acil Durum Yönetimi	Orman Yangınları Algılama
	İnsan Kaynaklı Afet Yönetimi
	Doğal Afet Yönetimi
	Arama Kurtarma
Ulusal Güvenlik	Acil Durum Haberleşmesi
	Sınır Güvenliği
	Sahil & Liman Güvenliği
	Kritik Alan Güvenliği (Petrol)
	Tesis Güvenliği
Yurtiçi Emniyet	Askeri Haberleşme
	Kalabalık Yönetimi
	Acil Müdahale & Olay Yeri Görüntüleme
Bilimsel Araştırmalar	Trafik Kontrolü
	Caydırıcılık Amaçlı Kullanımı
	İrtifaya Dayalı Bilimsel Veri Toplama
	Uzaktan Algılama Araştırmaları
	Cihaz Test ve Kalibrasyonları
	Kapsama Alanı Araştırmaları

Çizelge 3.1’de gösterilen farklı amaç ve görev irtifalarına yönelik tasarımlara sahip KGHP sistemlerinin ortak özellikleri ve ortak bileşenleri aşağıdaki gibidir;

- Sabit bir lokasyonda konuşlandırmak yada mobil olarak lojistiğini sağlamak amacıyla kamyonet ve römork gibi kara araçları üzerinde kullanılması,
- Kaldırma gazı ile dolu aerodinamik tasarıma sahip bir gövdenin uçuş öncesi veya uçuş sırasında halat yardımıyla irtifa kontrol istasyonuna bağlı bulunması,
- Temelde gövdeyi demirlemek, gövde üzerindeki görev yükünün enerjisini ve veri transferini sağlamak amacıyla halatın kullanılması,

- Gövdeye bağlı halatın gerginliğinin ayarlanması ve yükseltme işlemleri için vinç sisteminin kullanıldığı demirleme istasyonunun bulunması,
- Gövde içerisine gaz takviyesi yapmak için otomatik veya manüel olarak gaz boşaltma valflerinin bulunmasıdır.

Ortak olarak bahsedilen temel bileşenlere sahip KGHP sistemleri, görev ve amaca göre alt sistemleri farklılaşabilmektedir.

3.1 KGHP Gövdesi

Gövde şekilleri mümkün olduğunca rüzgar karşısında sürüklemeyi minimum tutarken kaldırmayı maksimum yapacak şekilde tasarlanır. Küresel, elipsoidal, damla geometri tasarımları en yaygın kullanılan gövde şekilleridir. Gövdede rüzgara karşı yönlenmeyi sağlayan dümen, yapısal titreşimleri ve istenmeyen salınımları minimum tutmak ve stabilizasyonu sağlamak amacıyla gövdeye yada kuyruk kısmına tutturulmuş kanatlar ve aerofoiller bulunur. Şekil 3.4’de farklı ebat ve tasarımlardaki KGHP gövdeleri bulunmaktadır.



Şekil 3.4 : KGHP gövde şekilleri (Drne & Star Tower 200).

Genellikle boyutlandırmasında genişlik ve uzunluk veya çap ve uzunluk olarak ifade edilir. Hacimsel olarak kübik metre olarak ölçü birimi atanır. Basit standart bir damla modeli küçük zarf örneği 3 metre uzunluğunda 2 metre yükseklikte 6 metreküp civarında olabilirken , geniş gövdeli zarf tasarımı 63 metre uzunlukta 21 metre yükseklikte 12 bin metreküp hacime kadar ulaşan KGHP sistemleri bulunmaktadır.

Bu büyüklükteki bir KGHP'nin taşıma kapasitesi ve irtifası 5 kilometreye kadar çıkabilirken taşıyabileceği görev yükü kapasitesi 1 tona kadar ulaşabilmektedir. Yapısal özelliği olmayan büyük gövdeli yapılarda gövde bazen destek yapıları ile gövde desteklenerek rijitliği sağlanır. Bir çok KGHP sistemi üreten firma müşterinin gereksinimine göre tasarım yapmaktadır. Müşterinin özel ihtiyaçları karşılamak için özelleştirilmiş çözümler sunmaktadır.

3.1.1 Kuyruk ve yönlenme dümeni

Şekil 3.5'de görünen kuyruk ve yönlendirme dümeni gelen rüzgara karşı yönlendirmeyi sağlayan, yatay ve düşey ekseninde gövdeyi stabil konumda tutan yapılardır. Gövde üzerine gelen rüzgara karşı yönlenmeyi sağlayan yapı, gövdenin istikrarlı kalmasını sağlar. Bir nevi pasif istikamet dümenidir. Diğer bir görevi gövde etrafında ki hava akışını düzenleyerek gövde hücum açısının minimum seviyede kalmasını sağlamaktır. Kuyruk ve yönlendirme dümeni gövde üzerinde oluşacak titreşimleri ve istenmeyen gövde salınım/dönme hareketlerini azaltır.

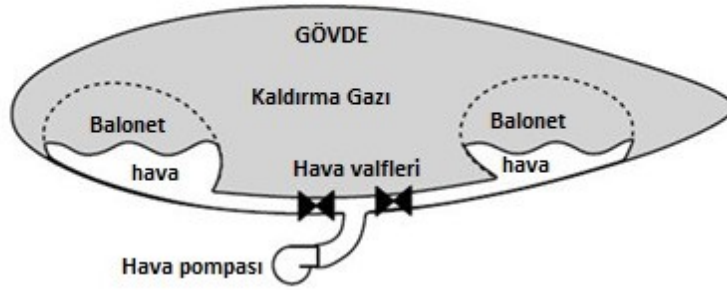


Şekil 3.5 : Kuyruk ve yönlenme dümeni (Tcom & Allsopp & Drne).

3.1.2 Balonet

Balonetlerin kullanılmasının önemi operasyon anında ani basınç değişikliklerine karşı yapının şeklinin değişmemesini sağlamaktır. Balonet yardımıyla iç ve dış basınç dengesi ayarlandığı gibi, gövdenin rüzgar karşısında aldığı pozisyonu ve düzlemsel duruşu ile birlikte bir çok modelde iç basıncın düşmesiyle büzüşen gövde Şekil 3.6'daki iç basınç ayarlanarak gövdenin şekli sabit tutulur.

Gövde içerisindeki balonet ve taşıyıcı gaz birbirinden tamamen yalıtılmış bölümlerdir. Gövdenin içine yerleştirilmiş balonet denizaltılarındaki balast tanklarına benzemektedir. Balonet içerisindeki hava gövde içerisindeki taşıyıcı gaza karışmamaktadır. Ayrıca özellikle damla modellerde gövdenin iki ucuna yerleştirilen balonet sistemi, gövdenin minimum sürüklenmesini sağlamak amacıyla gövdenin hücum açısını sıfıra yakın tutmasını sağlar. Hücum açısı artan gövdenin ön balonet kısmına valfler yardımıyla doldurulacak hava, taşıyıcı gazı arkaya doğru itecek ve taşıyıcı gazdan ağır hava ile dolu olan balonet burun kısmını ağırlaştırarak hücum açısını düşürecektir.



Şekil 3.6 : KGHP balonet basınç kontrol sistemi.

Tipik KGHP gövdesinde balonet sayısı bir ile dört adet arasında değişmektedir. Küresel ve elipsoidal tasarımlarda sayı bir olurken, damla model tasarımlarda dörde kadar çıkabilmektedir. Genelde damla model gövdesinde kullanılan balonet sayısı ön ve arkada olmak üzere iki adettir. Balonetlerin özel bir şekli yoktur. Genelde silindirik yada küresel şekil tercih edilir. Yalnız küçük gövdeli küresel tasarımda balonet küresel tasarımın minimum yüzey alanına olmasından dolayı toplam kütleyi minimize etmek için küresel tasarım en uygundur. Küresel tasarım tercih edilen balonet hacmi ve yüzey hesabı denklem 2.16'da ki gibi hesaplanır.

$$V_B = n_B \left(\frac{4}{3} \pi r_B^3 \right), \quad S_B = n_B (4 \pi r_B^2) \quad (2.16)$$

Burada V_B balonet hacmi, n_B gövde içerisindeki balonet sayısı, r_B balonet yarıçapı, S_B ise balonet yüzey alanını ifade etmektedir. Balonetin bulunduğu yapılarda kaldırma hesabı yapılırken balonet hacmi toplam hacimden çıkartılarak sadece kaldırma gazının bulunduğu hacim hesaba katılır.

3.1.3 KGHP gövde materyali

KGHP sisteminde en önemli yapısal elemanlardan biridir. Uzun ömürlü platform tasarmı için sistemin temel bileşeni gövdeyi oluşturan membrandır . Gövde üzerine etkiyen aerodinamik ve aerostatik yükleri, havadan hafif gazın sebep olduğu yüzey gerilme etkileri, basınç kuvvetlerini, halatın uyguladığı kuvvetleri ve diğer görev yükü ağırlığı bindiğinden dolayı gövde materyalini önemli kılmaktadır. Rijit olmayan KGHP'ler yapısal taşıyıcı iskelet olmamasından dolayı kumaş daha da önem arz etmektedir.

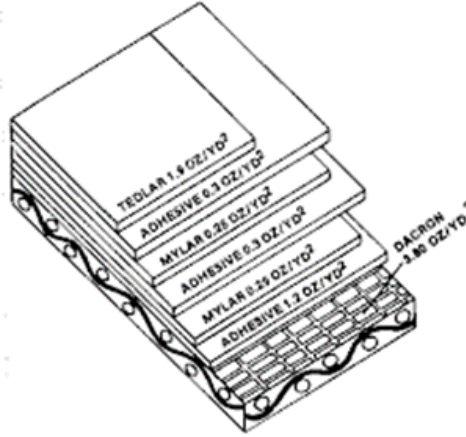
Floropolimer tedlar film havadan hafif sistemlerde gövdeye uygulanan en çok kullanılan materyaldir. Malzemenin dışında flamentlerin inceliği, büküm sayısı, kat adeti, aşınma dayanımını etkileyen faktörler kumaşın mukavemetini etkiler. Fiziksel deformasyonlardan kaynaklı zorlu hava koşulları, sıcaklık değişimleri, iç ve dış balonun birbirine sürtünmesi toz gibi küçük ölçekli parçacıkların yüzeye yapışması malzeme üzerindeki aşınmayı artırarak balon kumaşı raf ömrünü azaltır. Balonun çalışma irtifası, operasyonun gerçekleştirdiği yerdeki hava koşulları, gaz maliyetlerini düşürmek için minimum geçirgenlik, kumaşın uzun raf ömürlü olması ve bu şartları sağlarken ultra hafiflikte olması materyal seçiminde en önemli etkenlerdir.

Gövde kumaşı bir veya iki katlı olarak polyester, polivinil veya poliüretan gibi sentetik kumaşlardan elde edilir. Kumaşların apreslenmesiyle aşınmaya ve korozyona karşı güçlendirilebildiği gibi ekstra kumaş üzerine lamine materyallerle ultraviyole karşı güçlendirilebilmektedir [19]. Farklı tasarım ve ihtiyaçlar için kullanılan materyaller;

- Tek katlı Kumaşlar: Taşıyıcı flamentlerin atkı ve örgü yapısı üzerine lamine edilmiştir. Tek yaprak şeklindedir. Kullanılan bazı kumaşlar pvc, nylon, polyester ve kevlardan oluşabilir.
- Kaplamalı Kumaşlar: Seçilen yapısal taşıyıcı kumaş üzerine çevresel etkenlere karşı dayanımı artırmak, yıpranmayı ve geçirgenliği azaltmak amacıyla kauçuk, neopren, poliüretan(pu) mylar veya tedlar gibi materyaller ile kumaş kaplanır.
- Lamine Edilmiş Kompozit Kumaşlar: havadan hafif yapılarda en çok kullanılan kumaş türüdür. Lamine kumaşlar geçirgenliği azaltıcı helyum bariyer katmanı, yüklemeleri dağıtmak için yük katmanı dış faktörelre karşı

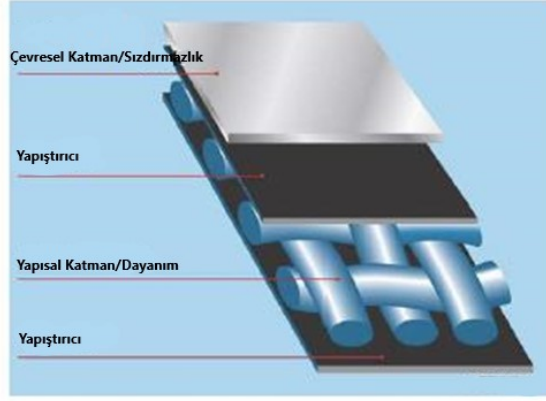
dayanımı artırmak için koruyucu katman oluşturularak lamine edilir. Metalize polimer (metallized polymer- metapoly) yaygın kullanılan lamine kumaşlardan biridir [20].

KGHP gövdesinin çok katmanlı, iç ve dış balon olmak üzere iki katlı yada tek katmanlı dokunmuş olarak tercih edilebilen balon kumaşı göreve ve ihtiyaca göre seçilebilmektedir. KGHP sisteminin sürdürülebilirliği için seçilen materyal daha sağlam daha hafif ve daha verimli kullanılabilmesi amacıyla seçilen gövde materyali tüm sistemde önemli bir faktördür. Şekil 3.7’de gösterilen TCOM firmasının gövde için kullandığı Dupont firmasının polyvinilifülöril/polyester ile lamine edilmiş Tedlar/mylar/dacron fiksle kaplamalı kumaşını (271gr/m²) yirmi beş yılın üzerinde kullanılmaya devam etmektedir [4].



Şekil 3.7 : Çok katmanlı bir biri üzerine lamine edilmiş balon kumaşı (Dupont).

Üretim teknikleri ve materyallerin gelişmesiyle KGHP gövdesinde kullanılacak kumaştaki temel gereksinimleri karşılayacak materyallerin gelişmesine sebep olmuştur. Son yıllarda KGHP gövde tasarımı üzerine geliştirilen lamine materyallerin kullanımı mevcut doğal fiberlere göre artış sağlamıştır [4]. Geniş gövdeli sistemlerin çevresel etkiler ile etkileşimi fazla olacağından dolayı yüke dayanımı ve gaz sızdırmazlığı daha da önemli hale gelmektedir. Yapının gövdesinde kullanılan sentetik fiberlerin gelişmesiyle bir çok değişime ve kullanım alanlarının artmasına sebebiyet vermiştir. Özellikle havadan hafif yapılarda Şekil 3.8’de görünen tipik bir zarf örneğinde, yapısal bütünlüğü sağlayan filament üzerine geçirgenliği minimum olan film yapıştırıcı ile lamine edilir.



Şekil 3.8 : Zarf katmanları (Dupont).

Gövdede kullanılan yüksek performanslı yapısal filament üzerine lamine edilebilen materyaller çevre ve yapısal ihtiyaca göre seçim gerçekleştirilmelidir. Hemen hemen çoğu KGHP gövde materyallerinde Çizelge 3.2’deki yüksek mukavemetli filamentler kullanılır. Mevcut filamentler arasında en güçlü lif yapısına sahip Zylon® ve Spectra®’dır. Diğer yüksek performanslı lifler arasında Vectran® ve Kevlar® bulunur. M5® geliştirilme süreci devam eden yeni bir lif türüdür [21]. İdeal bir gövde materyali, dayanımları yüksek yapısal lif katmanıyla geçirgenliği minimum olan film katmanının birleştirilmesiyle oluşturulur.

Çizelge 3.2 :Yüksek performanslı lif türleri [22].

Lif	Dayanım g/den	Avantajları	Dezavantajları
M5	PIPD >40	Çevre dayanımı mükemmel, yapısal dayanıklılık iyi	Kısıtlı teknik veri, ticari olarak ulaşılamamakta
Zylon®	PBO 42	Yapısal dayanıklılık iyi	Düşük esneklik, zayıf Uv dayanımı
Spectra	PE 25-40	Yapısal dayanıklılık esneklik ve çevre dayanımı iyi	Düşük erime noktası, sürünme dayanımı zayıf, birleştirme zor
Thonel	Carbon 30	Yapısal dayanımı iyi, çevre ve yüksek sıcaklık dayanımı mükemmel	Zayıf esneklik, işlenmesi zor, düşük uzama
Vectran	LCP 23	Yapısal, çevresel ve yırtılma dayanımları mükemmel	Zayıf UV dayanımı spectra ve zylon gibi dayanıklılığı yüksek değil
Kevlar	Aramid 22	Yapısal, çevresel ve yırtılma dayanımları mükemmel	Aşınma ve katlanma dayanımı düşük
Kosa	PET 7-9	Uzun ömürlü, çevresel dayanımı iyi, ucuz	Zayıf yapısal dayanım

Yapısal mukavemet sağlayan dayanımı yüksek liflere lamine edilebilen materyallerin ilk olarak gözetildiği gaz geçirgenliği değerleri baz alınarak, çevre dayanım, esneme yorulması, yapışma ve ısı birleşme özellikleri Çizelge 3.3’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Büyük gövdeli yapı membranının da eğer koruyucu kumaş tabakası varsa PVDC (Saran) minimum geçirgenliği sağlayan en etkili lamine materyalidir. Çevre dayanımlarının önemli olduğu stratosfer de çalışacak bir platformda PVF(Tedlar) ve PTFE(Teflon) bu amaç için en uygun lamine materyallerinden biridir.

Çizelge 3.3 : Lamine materyallerin çevresel ve yapısal özellikleri [23].

Lamine Materyali	Geçirgenlik	Çevre Dayanımı	Esneme Yorulması	Yapışma	Isıl Birleşme
PVF(Tedlar®)	İyi	Mükemmel	İyi	Zayıf	Yok
PTFE(Teflon®)	İyi	Mükemmel	İyi	Zayıf	>500 °F
Poliüretan	Orta	İyi	Mükemmel	Mükemmel	Var
Silikon Rubber	Zayıf	Mükemmel	Mükemmel	Zayıf	Yok
PVC	Orta	İyi	İyi	Mükemmel	Var
Düşük yoğunluklu Poliüretan	Orta	Orta	Mükemmel	Zayıf	Var
PVDC(Saran®)	Mükemmel	Zayıf	Orta	Orta	Var
Naylon	Mükemmel	Zayıf	Mükemmel	Orta	Var
Polyester(Mylar®)	İyi	Orta	Orta	Orta	Yok

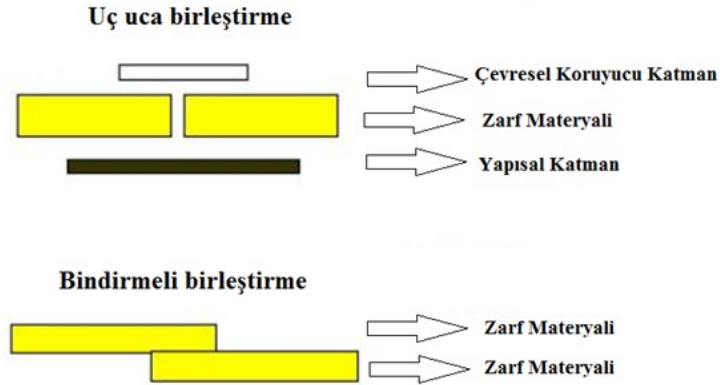
Performans, maliyet, risk ve hizmet ömrü gibi farklı gereksinimlerin de dikkate alınması gerekir. Görev özelliğine göre KGHP tasarımında ve inşasında yapısal ve çevresel gereksinimleri karşılaması amacıyla kapsamlı kalifikasyon test prosedürleri Çizelge 3.4’de görülmektedir.

Çizelge 3.4 : Gövde materyali test prosedürü parametreleri [24] [1].

YAPISAL DAYANIM	TEST PROSEDÜRÜ	İDEAL ÖZELLİK
Ağırlık	FED-STD-191, TM5041	Çok Hafif
Gaz sızdırmazlığı	ASTM D 1434	Minimum geçirgenlik
Yırtılma Dayanımı	FED-STD-191, TM5134	Maksimum
Gerilme Dayanımı	FED-STD-191, TM5102	Maksimum
Genleşme&Esneme	ASTM D 3882	Minimum
Birleştirme&Yapıştırma Özelliği	FED-STD-191, TM5970	Maksimum
İletkenliği	Vendor Test Method	Minimum
Yanmama Özelliği	Vendor Test Method	Maksimum
ÇEVRESEL DAYANIM	TEST PROSEDÜRÜ	İDEAL ÖZELLİK
Sıcaklık Dayanımı	FED-STD-191 TM5872	Maksimum
Düşük sıcaklıklarda esneklik	ASTM D 2136	Maksimum

Yüzey tutunması (Toz , partikül)	FED-STD-311/3203	Minimum
Su iticiliği	FED-STD-191 TM5504	Maksimum
UV dayanımı	Infrared Spectrophotometry	Maksimum

Aerostatik ve aerodinamik yüklemelerin balon gövdesine düzgün dağılabilmesi için materyal kadar kumaş kesim şekli ve birleştirme yöntemi de iyi seçilmelidir. Küçük gövdeli balonlarda kullanılan kumaşın özelliği, kaldırma gaz kapasitesi düşük olduğundan çevresel koşullara olan dayanımı daha düşüktür. Dikiş ve yapıştırma ile birleştirilen parçalar yükü düzgün bir şekilde dağıtması gerekmektedir. Normal kumaşa göre birleşme yerleri ekstra güçlendirilmiş yapılar ve dikişlerle desteklenmelidir. Bu sebeple diğer geniş gövdeli tasarımlara göre ultra hafif tek tip yırtılmaz örgü dokumasına sahip kumaş türleri kullanılmaktadır [4]. Yüksek dayanım/hafiflik oranına, yapıştırma ve birleştirme kolaylığı özelliklerine sahip polyesterlerden dacron gibi, polyamidlerden naylon ve polyüretan gibi en elverişli kumaş türleridir [4]. Maksimum yapısal verimlilik için birleşme yerlerinin çekme dayanım özellikleri ana kumaştan daha yüksek olması gerekmektedir [23]. Küçük hacimli KGHP gövde kumaşı birleştirme yöntemlerinden minimum gövde ağırlığı sağlayabilmek için bindirmeli birleştirme yöntemi daha çok tercih edilir.



Şekil 3.9 : Zarf materyal birleştirme yöntemi.

Genel olarak kullanılan Şekil 3.9'daki birleştirme yöntemlerinden, uç uca birleştirme yöntemi bindirmeli birleştirme yöntemi daha basittir. Fakat birleştirilen parçaların birbirine bakan taraflarının yapısal olarak iyi birleştirilebilir olması gerekmektedir.

Birleşimden önce kesilen parçalar farklı kaynaklama yöntemi uygulanarak gövdenin bütünsel şekli ortaya çıkarılır. Gövde materyali kaynak yöntemleri arasında;

- Ultrasonik kaynak yöntemi : Belirli bir basınç altında üst üste bindirilen parçalara ultrasonik titreşimler gönderilerek materyal birleştirilir. Sentetik tekstil ürünleri ve termoplastik bazlı filmlerin birleştirilmesinde tercih edilir. Statik termoplastik materyallerin kaynaklanmasında kullanılan yöntemdir.
- RF kaynak yöntemi : Üretilen yüksek frekanstaki dalgaların bindirilen parçaların binme bölgesine gönderilmesiyle birleşme yeri iç içe geçerek birleştirmektedir. Yarı sürekli termoplastik birleştirmeler için kullanılan yöntemlerdendir.
- Termal kaynak Yöntemi : Üretilen ısının konvansiyonel olarak belirli bir basınç altındaki materyale direkt temas eritme yöntemiyle birleştirilmesidir. Mekanik birleştirme bağlantı elemanlarının birleştirilmesinde kullanılır.

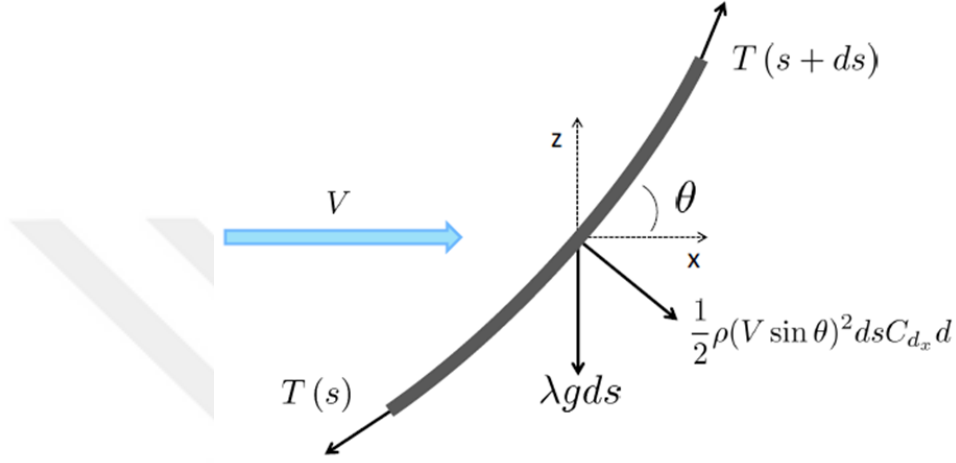
3.2 Halat ve Kablo Alt Sistemi

Halat ağırlığı ve boyutları genel kaldırma kapasitesini azalttığından önemli bir husustur. Görev yükü için gerekli olan enerji, görev yükü tarafından alınan veya basılacak veri veya yıldırım durumlarına karşı topraklama hattını içerebilir. Uçuş dinamiğini etkilemesi sebebiyle yer istasyonu bağlama noktası ve irtifadaki gövde bağlantısı arasında uygun uzunlukta olması gerekir. İçerisindeki kablonun belirli bir enerji taşıma kapasitesi olduğundan fazla enerji gereksinimleri durumunda kapasitesini aşan enerji verilmemelidir. Temel olarak kablonun görevi;

- Yukarıya kaldırılan sistemin stabilizasyonu sağlayarak bulunduğu irtifada idame edilmesini sağlar.
- Halat içerisindeki bakır kablodan ve fiberden görev yükü için gerekli olan enerji ve görev yükü yer istasyonu arasındaki veri transferini sağlar.

KGHP sistemlerinde genelde halat içerisinden enerji iletimini sağlamak amacıyla üretim esnasında kablo yerleştirilir. Halat içerisinden geçen esnek bakır kablo koruyucu içine alarak yalıtım sağlanmalıdır. Buna ek olarak üretilen veriyi iletmek için halat içerisinden yada dışından geçen fiber optik kablo eklenebilir. Fiberin kırılma kaybı ve esneme özelliği olmamasından dolayı fiber hattına sahip halat tasarımı işini zorlaştırır [14].

Halatın sistemde kullanımı sırasında bir ucu gövdeye tutturulurken diğer ucu vinç üzerindeki tambura sarılır. Yükselme anında halat vinç ile boşa serbest bırakılır. Doygunluk irtifası ve halatın yeterli gerginliği sağlanacak şekilde serbest bırakma işi durdurulur. Bu esnada halat üzerine tamburun sarım işlemi sırasında oluşturduğu yükler, irtifadaki gövdenin kaldırma kuvvetinin oluşturduğu yükler, rüzgarlı bir anda gövdenin sürüklenme kuvvetinin oluşturduğu yükler ve halatın kendi ağırlığı halat üzerine etkiyen bileşke yükler biner.



Şekil 3.10 : Birim uzunluğundaki halat üzerine etkiyen kuvvetler.

Şekil 3.10’da statik dengedeki ds birim uzunluğu üzerindeki etkiyen çekme kuvvetlerini, halatın ağırlığı ve rüzgardan kaynaklı sürüklenme kuvvetinin x ve z yönündeki denge ilişki matrisi Denklem 3.1’deki gibi oluşturulur [25].

$$\begin{bmatrix} T_x(s+ds) - T_x(s) \\ T_z(s+ds) + T_z(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\rho V^2 d C_{dx} \sin^3 \theta ds \\ \frac{1}{2}\rho V^2 d C_{dx} \sin \theta^2 \cos \theta ds \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \lambda g ds \end{bmatrix} = 0 \quad (3.1)$$

Burada s halat boyunca mesafeyi, s in bir fonksiyonu olarak $T(s)$ halat gerilimini, y birim uzunluktaki halat kütleini, g yer çekimi ivmesini, V rüzgar hızını, ρ hava yoğunluğunu, d halat çapını, θ halatın bağlantı noktasıyla yapmış olduğu açığı, C_{dx} sürüklenme katsayısını ifade eder. Halat üzerindeki Gerginlik, Denklem 3.1’de belirtilen statik yüklerin diferansiyel olarak çözümüne bağlıdır. Statik dengedeki halat gerilim hesabında dinamik kuvvetler ihmal edilmiştir. Bir çok kablo modellemesinde dinamik kuvvet olan darbe kuvveti ihmal edilir [3]. Fakat anlık binen yükün sönümlenmesi önemlidir.

Halat üzerine binen gövdenin oluşturduğu aerostatik yüke nazaran, gövdenin oluşturduğu aerodinamik sürüklenme yükü daha fazla olabilmektedir. Sürekli ve anlık oluşan yüklerin oluşturduğu kopma gerilmesi halat tasarımındaki en etkili emniyet faktörü parametresidir. Halat emniyet faktörü halatın minimum kopma gerilmesinin emniyetli olarak taşıyacağı maksimum yüke oranıdır. Halatın dayanabileceği maksimum rüzgar hızı değerlerinin iyi hesaplanarak, bu değerlerin üzerindeki kopma dayanımının üzerindeki gerilme ihtimallerine karşı uçuşun iptal edilmesi gerekmektedir. Halatın maksimum gerilme kuvveti hesabından hesabından yola çıkarak halat emniyet faktörü (denklem 3.2) değerlerini geçmeyecek şekilde tasarım gerçekleştirilir.

$$\text{Emniyet Faktörü} = \frac{\text{Halatın Minimum Kopma Gerilmesi}}{\text{Halatın Emniyetli Olarak Taşıyacağı Maks.Yük}} \quad (3.2)$$

Böylelikle emniyetli uçuş faktörü, minimum kopma gerilmesi değerinin halatın taşıyabileceği maksimum yüke olan oranıdır [26]. Burada halatın maksimum emniyetli olarak taşıyabileceği yük hesabı yapılırken halat üzerine binen farklı doğrultudaki yükler belirlenir. Halat üzerine binen temel yükler Denklem 3.3’de belirtildiği gibi halat gerilimi hesaplanır.

$$T = \sqrt{(B - W_{AERO})^2 + D^2} \quad (3.3)$$

Gazın oluşturduğu serbest kaldırma B , gövdenin toplam ağırlığı W_{AERO} ve gövdenin aerodinamik sürüklenmesi olan D halat gerginliği olan T ’nin bileşenleridir.

3.2.1 Halat materyali

KGHP sistemlerinde kullanılan halatlar Çizelge 3.5’de özellikleri ile gösterilen sentetik elyaf liflerden meydana gelir. Farklı gerilmelere ve gövde rüzgar dayanımlarını yenmek için lif sayısına yoğunluğuna ve kalınlığı gibi bir çok değer hesaplanır. Bu hesaplar doğrultusunda halatın birim uzunluğundaki ağırlığı atanır [14]. Yük için gerekli taşıma kapasitesi oluşturulurken, yorulma, aşınmaya, dönmeye ve korozyon etkilerine karşı dayanımları da göz önünde bulundurulmak zorundadır.

Çizelge 3.5 : Halat materyaller özellikleri [25].

HALAT MATERYALİ	DAYANIM ÖZELLİKLERİ
ZYLON (PBO)	Düşük esneklik ve sünme, zayıf Uv dayanımı, ısıya karşı yüksek dayanıma sahiptir.
VECTRAN (LCP)	Düşük esneklik ve sünme, gerilme dayanımı ve çevre direnci yüksek
ARAMİD (KEVLAR-TEKNORA)	Yapısal, çevresel dayanımları mükemmel, UV direnci düşük, sürtünmeye karşı dayanaksızdır.
DYNEEMA/SPECTRA (HMPE)	Düşük erime noktası, çok düşük esneme, gerilme dayanımı, sürtünme, çevre ve UV dayanımları yüksek
POLİPROPİLEN	Gerilme ve UV dayanımı düşük, genel dayanımları düşük, uygun maliyet
DAKRON/TERİLEN (POLYESTER)	Gerilme ve sürtünme dayanımı yüksek, çevre dayanımı iyi
NAYLON (POLYAMİD)	Isıl dayanımı düşük, esneme dayanımı düşük, yapısal ve çevre dayanımları iyi

Halat KGHP sisteminin çalışacağı ortam ve yapısal dayanım gereksinimleri göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır [3]. Eğer halat merkezinden geçecek bir enerji kablosu bulunuyorsa, kablo içerisindeki bakırın esneme oranı düşük olduğundan halat materyalinin esneme bakımından zylon, vektran, dayneema gibi esneme oranları minimum olan materyaller tercih edilir. Gövde tarafından oluşturulan yüklere dayanımı fazla olması isteniyorsa aramid, zylon gibi materyaller tercih edilmelidir. Çizelge 3.6’da sunulan materyallerin kopma gerilmesi, elastite modülü, mukavemet ağırlık oranı ve yoğunlukları bakımından teknik değerleri gösterilmektedir.

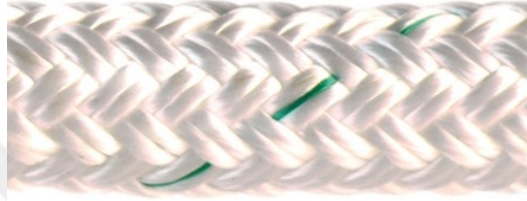
Çizelge 3.6 : Halat materyal değerleri [3] [27].

HALAT MATERYALİ	YOĞUNLUK Pt (kg/m³)	KOPMA GERİLMESİ Sb (GPA)	ELASTİSİTE MODÜLÜ E (GPA)	DAYANIM/KÜTLE ORANI Sb/pt (*10⁵ m²/s²)
KEVLAR 49	1000	0,86	11	8,6
SPECTRA	840	0,98	17	12
PLASMA	840	1,26	38	15
VECTRAN	1050	1,09	28	10
STEEL	4400	0,71	80	1,6

Spectra ve plasma gibi materyaller ile düşük hafifliğinden dolayı gövdeye binecek ağırlığı azaltabilirken, vectran ile yüksek kopma gerilmesi dayanımına sahip halat tasarlanabilir. İçerisinden kablo geçen minimum uzama değerlerine sahip olması gerekliliğinden elastisite modülü düşük olan kevlar tercih edilmelidir. KGHP sisteminin minimum görev şartlarını yerine getirebilmesi için gövde şekli, zarf

materyali gibi halat göreve özel tasarlanmalıdır. Şekil 3.11’de gösterilen örnek bir tasarımda materyal haricinde etkiyen diğer faktörler;

- Örme açıları
- İplik numarası
- Lif çapı
- Demet sayısı
- Üretim esnasında iplik gerilme değerleri
- Demet büküm oranlarıdır.



Şekil 3.11 : KGHP halat modeli örneği.

Halat üretiminde kullanımı etkileyecek tüm değişken parametreleri göz önünde bulundurularak uygulamak zordur. Bu sebeple halat test prosedür sayısı gövde materyallerinde uygulanan test prosedürü sayısı gibi fazla değildir.

3.2.2 Enerji ve veri kablosu

Kablo seçimi yapılırken ortam koşulları, maruz kalacağı dış yükler ve bu etkenler karşısında vereceği tepki değerlendirilmelidir. Kablo türü belirlenerek görev yükü için gerekli enerji ve veri miktarına göre kesit büyüklüğü atanmalıdır. Sistemin enerjisini sağlayan kablo yetersiz kesit sebebiyle ısınmalara ve halat materyalinin erimesine sebebiyet verebilir. Uçuşun amaca ulaşması için enerji ve veri transferi sürekliliğinin sağlanması gerekir. Kablo güdüml yapılarda kullanılan yüke karşı yüksek dayanım ve minimum esneme özelliklerinin yanında;

- Akım/veri taşıma kapasitesi
- Gerilim düşümü/Veri kaybı
- Minimum Bükülme yarıçapı

parametrelerinin uygun olması gerekir. Özellikle enerji kablosunun darbelere ve ezilmelere karşı yalıtımının iyi olmaması sistemi tehlikeye atabilir.

3.3 Demirleme İstasyonu ve Vinç alt sistemleri

KGHP sistemlerinde demirleme istasyonu gövdeyi yükseltip alçaltma, istenilen irtifada sabitleme ve uçuş sonrası park halinde tutuk için kullanılır. İstasyon tek bir noktaya kurulabilir yada kamyon, römork gibi araçların üzerine montelenerek mobil hale getirilebilir. Büyük yada küçük gövdeli KGHP sistemlerinde kullanılan demirleme ve vinç istasyonunun ortak görevleri;

- İrtifa emniyetini sağlama
- Değişebilen halat sarım hızı ve fren kontrolü
- Kayar bilezik segmanı ile enerji ve veri iletimini sağlamaktır.

3.3.1 Demirleme istasyonu

Gövdenin boyutu demirleme istasyonunun büyüklüğünü belirler. Bazı demirleme istasyonlarında gövde özellikle park halindeyken rüzgar etkilerini minimuma indirmek için rüzgar yönüne döndürebilen alt sistemler bulunmaktadır. Büyük gövdeli KGHP sistemlerinde demirleme istasyonu Şekil 3.12'deki gibi kompleks olabilirken, Şekil 3.13'deki küçük gövdeli sistemler oldukça basittir. Gövde büyüdükçe demirleme istasyonu bileşenleri de artmaktadır. Küçük gövdeli KGHP sistemlerini park halinde tutmak için şişirilmiş bir yatak üzerine yada pürüzsüz mastlar üzerine indirilerek kordonlar yardımıyla sabitlenebilir.



Şekil 3.12 : Büyük gövdeli KGHP için demirleme istasyonu (Tcom & Star Tower).



Şekil 3.13 : Küçük gövdeli KGHP için demirleme istasyonu (Allsopp).

3.3.2 Vinç sistemi

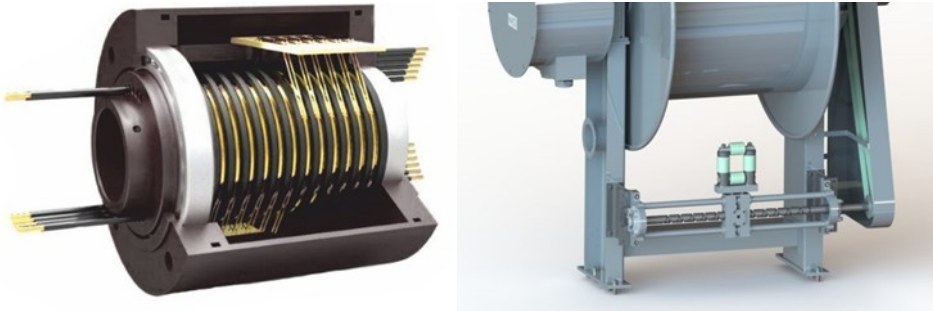
KGHP sistemlerindeki vinç, gövdeyi yükseltip alçaltmak için halatın bir tambur etrafına sarılması, enerji ve veri transferinin sürekliliğini sağlamak amacıyla tasarlanır. Şekil 3.14’de yere sabitlenebildiği gibi kamyonet ve römork gibi araçlar üzerinde mobil olarak da kullanılabilir. Hava yoğunluğunun düşmesinden yada içindeki kaldırma gazının azalmasından kaynaklı gövde irtifa kaybeder. Bazı vinç yapıları irtifa kaybeden gövdenin halat salma gerginliği ayarlamak için ekstra gerginlik mekanizması ile tasarlanır.



Şekil 3.14 : Sabit ve mobil vinç sistemi.

Vinç tahriki el yordamıyla olduğu gibi hidrolik yada elektrikli eyleyiciler tarafından da tahrik edilebilir. Gövde büyüdükçe halata binecek yük artacağından dolayı sarma işleminin gerçekleştirilebilmesi için daha büyük motor ile tahrik sağlanır. Hidrolik yada elektrikli motorlu vinçlerin genel bileşenleri ;

- Hızlandırma yavaşlatma kontrolörleri
- Halatı sarma esnasında ezilmesini önlemek ve tambur üzerine düzgün sarım yapmak için kullanılan Şekil 3.15’deki sarım kılavuzu
- Güç ve veri akışının sürekliliğini sağlamak amacıyla dönen tambur üzerindeki halatın demirleme istasyonuyla temasını sağlamak amacıyla slipring kullanılır.



Şekil 3.15 : Slipring ve sarım kılavuzu.

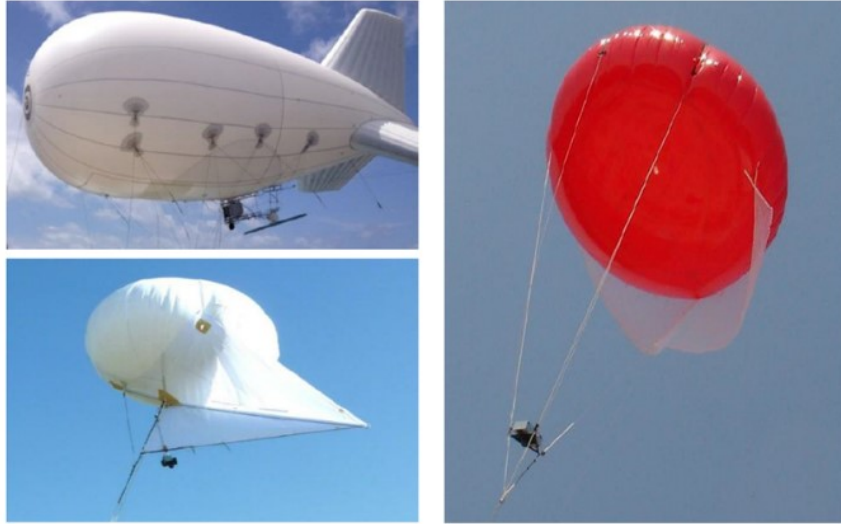
3.3.3 Yer kontrol istasyonu

Yer kontrol istasyonu kablo güdümlü sistemler için aşağıda belirtilen amaçlar doğrultusunda kullanılır;

- Kablo güdümlü hava platformu gövdesi üzerindeki sensörleri , görev yükü ve elektronikleri denetleme amacıyla yer kontrol istasyonu bilgisayarın ile irtibatlanabilir.
- Temin edilen görev yükü, sensör verilerinin analizi yapılabilir veya kayıt altına alınabilir
- Yer kontrol istasyonu bina, konteyner, şelтер, çadır gibi sabit bir lokasyonda muhafaza edilebildiği gibi, sistem nakliyesinin sağlandığı mobilize kamyonet veya römork gibi araçların üzerine konuşlandırılabilir.

3.4 Görev Yükü ve Elektronikler

Görev yükü, KGHP gövdesinin taşıyabileceği teçhizat ve elektronik ağırlık miktarıdır. Şekil 3.16'da gösterilen görev yükü gövdenin alt kısmına yerleştirilerek stabilizasyonu destek yapıları ve kordonlar yardımıyla yapılır.



Şekil 3.16 : KGHP görev yükü entegrasyonu (Kingfisher & Allsopp).

KGHP sistemlerine rüzgar hızı, sıcaklık, basınç, nem gibi algılama sensörlerinden yüksek çözünürlüklü stabilize EO/IR kameralar , tekrarlayıcılar , röle sistemleri, akustik dedektörler, radar ve lidar gibi bir çok görev yükü konuşlandırılabilir. Farklı gereksinimleri karşılamak amacıyla gövde altında modüler görev yükü; kolayca

entegre edilebilir, yükseltilebilir ve güncellenebilir yapıda olmalıdır. Görev yükü enerjisini sağlamak amacıyla güç dağıtım üniteleri (PDU), AC/DC konvertörler gövde üzerine entegre edilebilir.

3.4.1 Patlatma ünitesi

Gövde ile halat bağlantısı kopması durumunda gövde, görev irtifasının üzerinde PCB de tanımlanmış bir irtifaya ulaştığında devreye girer. İrtifa, üzerindeki basınç yada gps sensörleriyle algılanır. PCB de Tanımlanmış irtifaya ulaştığında gövde üzerine yapıştırılmış farklı büyüklükteki eritme rezistansları ısıtılarak gövde üzerinde gaz tahliye deliği açılır. Gaz tahliyesi başlayan gövde, üzerindeki tahliye deliği büyüklüğüne göre belirli bir hızda yere iner. Gövde üzerinde ki oluşan delikler özel yamalarla kapatılarak tekrardan kullanılabilir. Gaz tahliye işlemi aynı mantıkla çalışan valfler yardımıyla da yapılabilir.

3.4.2 Enerji dağıtım ünitesi

Gövde üzerindeki elektronik komponentlere verimli ve salınımsız olarak aktarılması görev yükünün sağlıklı çalışabilmesinden dolayı önemlidir. Elektroniklerin akım özellikleriyle beraber voltaj ve amper değerleri saptanarak sabit bir dağıtım ünitesi yada ayarlanabilir akıllı güç dağıtım ünitesi tasarlanabilir. Halat içerisindeki kablo üzerinden balon gövdesine kadar şehir şebekesinden yada jeneratörler tarafından üretilen alternatif akım, genellikle elektroniklerin besleneceği doğru akıma AC/DC konvertörler yardımıyla dönüştürülür. Dönüştürülen doğru akım yine kendi içerisinde farklı voltajlarda çalışan birden fazla elektroniği beslemek amacıyla DC/DC konvertörler yardımıyla farklı amper ve voltaj değerlerine dönüştürülebilir.

4. HABERLEŞME MODELİ VE BAZ İSTASYONU

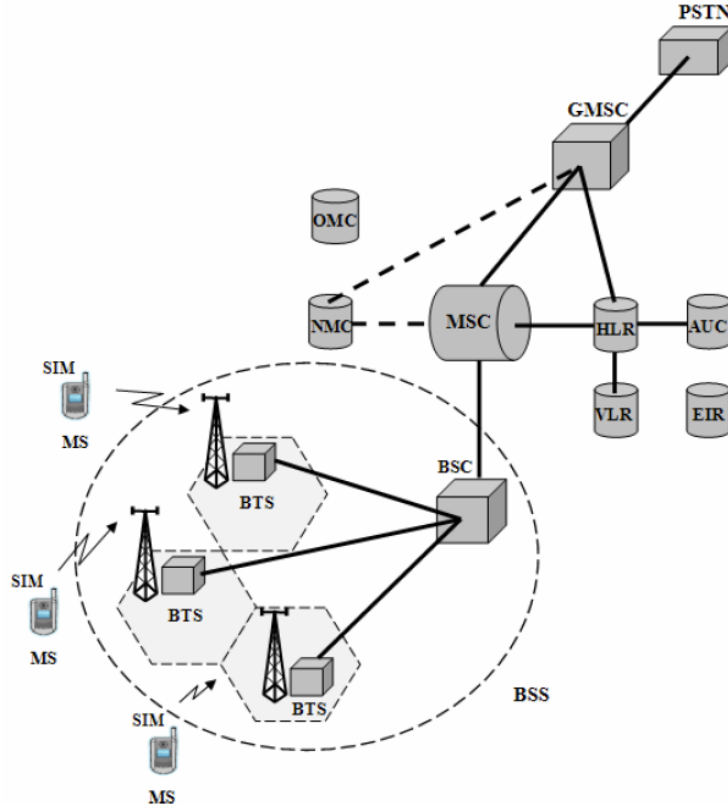
4.1 Acil Durum Haberleşmesi

Acil durum haberleşme ağı, haberleşme alt yapısının bulunmadığı, zarar gördüğü yada yetersiz kaldığı acil ve afet sonrası arama kurtarma ekiplerinin koordinasyonu veya kurtarılmayı bekleyen ihtiyaç sahibi afetzedeye haberleşme imkanı sunan sistemlerin tümüdür. Acil durum haberleşme ağının genel özelliği hızlı bir Şekilde sisteme alınabilmesi, mobil olarak afet bölgesine taŐınabilmesi, istenilen noktaya konuşlandırılabilir ve gerekli ortama adapte edilebilir olmasıdır.

Bu kapsam da değerlendirilen kablo güdümlü hava platformu mevcut haberleşme ağı oluŐturabilecek platformlara nazaran en büyük avantajları hızlı bir Şekilde konuŐlandırılabilmesi ve geniş kapsama alanı imkanı sunabilmesidir. Geniş kapsama alanı haberleşmesi imkanı sunmasının yanında LOS haberleşme linki gecikmesinin minimum olmasından dolayı servis kalitesini de yükseltmektedir [2].

4.2 GSM Mimarisi ve Alt Sistemleri

Tek hücreden her yönlü veya birden fazla hücreden oluşan sektörel bir baz istasyonu, haberleşme ağ mimarisindeki bir GSM hücresinde mobil aboneler ile iletiŐimi sağlayarak hem alıcı hem verici olarak görev yapan sistemlerdir. Baz istasyonu kapsama alanı hücresi içerisinde mobil aboneler tarafından oluşturulan bir çağrı baz istasyonuna uğrayarak, ilgili noktadaki baz istasyonu hücresi içerisinde bulunan kullanıcıya yönlendirilir [28]. Genel bir Şekil 4.1’de gösterilen GSM Şebekesi ;



Şekil 4.1 : GSM şebekesi alt sistemleri [38].

- Santral (MSC Mobile Service Switching Center)
- Baz istasyonu Sistemi (BSS Base Station systems)
- Mobil Telefon (MS Mobil Station)

alt sistemlerinden oluşur. Bir Baz istasyonu sistemi (BSS) temelde BTS ve BSC olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. BTS; GSM tarafından mobil cep telefonlarını (MS) şebekeye bağlamak için kullanılan bir dizi radyo ileticidir. BTS; alıcı-verici ünitesi ve antenlerinden oluşmaktadır. Radyo arabirimini kontrol ederek kanal kodlaması ve kod çözme işlemlerini yaparlar. BSC'ler ise BTS'leri kontrol arayüzü ünitesidir. Ana işlevi, çağrı sağlayarak BTS'lerin iletim gücünü kontrol ederler [28].

4.2.1 BSS (Base station systems)

Hücresel telefonun ağa hava arayüzü ile fiziksel olarak bağlanmasını sağlayan ekipmandan oluşmaktadır [29]. Mobil istasyon ve santral arasındaki erişim linkini oluşturur. BSS sistemi baz istasyonu denetleyicisi BSC (Base Station Controller) ve

alıcı-verici BTS (Base Transceiver Station) istasyonundan oluşur. Baz İstasyonu Kontrol Ekipmanı (BSC); birkaç ayrı BTS'nin çalışmasını kontrol eder [30]. BSS'ler üzerinden kanal tahsisi, güç yönetimi, bağlantı kalitesi, işaretleşme ve çağrı trafiği denetimi işlemleri gerçekleştirilir. Ayrıca BTS'ler arası geçişlerin sağlanması ve frekans atlamasından sorumludur .

4.2.2 MSC (Mobile switching service center)

Mobil Anahtarlama Merkezi (MSC); mobil cep telefonları için çağrı anahtarlama ve mobilite yönetim fonksiyonlarını yerine getiren sistem bileşenidir [30]. Santral olarak da adlandırılan MSC, GSM ağının operasyon ve yönetiminden de sorumludur. MS'den gelen veri BSS üzerinden MSC sistemine aktarılarak aktarılmak istenen noktaya bağlantısını gerçekleştirir. Ayrıca veri aktarımının başından sonuna kadar geçen süre veya kapasite miktarının alt servislerle olan bağlantılarını yürütür.

4.2.3 MS (Mobil station)

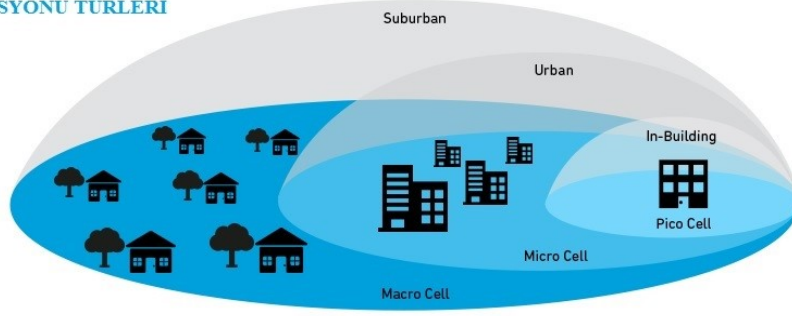
Mobil istasyonlar; cep telefonları, gezici telefonlar, faks sistemleri ve özel amaçlar için tasarlanmış gezici terminallerden oluşan sistemlerdir. Ses ve veri iletimini sağlayan mobil istasyonlar sürekli olarak hücrelerinde bulunduğu baz istasyonu ile iletişim halindedir. Mobil telefonların karşı tarafla kesintisiz olarak iletişimde bulunabilmesi için baz istasyondan gelen sinyalleri algılayabilecek mesafede bulunmalıdır.

4.3 Baz İstasyonu Hücre Tipleri

Hücrelerin planlaması; şehir dışı ve şehir içi, yüksek binaların olması, kapsama alanında bulunan GSM abone sayısının miktarına bağlıdır. Kapsama alanının büyüklüğüne göre dış mekan ve iç mekan olarak göre hücreler üçe ayrılmaktadır.

- Piko Hücreler
- Mikro Hücreler
- Makro Hücreler

BAZ İSTASYONU TÜRLERİ



Şekil 4.2 : Kapsama alanlarına göre baz istasyonu türleri [29].

Şekil 4.2’de görünen baz istasyonu türleri hücre tiplerinin çıkış gücü, hücre yarıçapı, kullanıcı sayısı değerleri Çizelge 4.1’de gösterildiği gibidir [29]. Kapsama Alanı ve kullanıcı sayısı bakımından havadan haberleşme modeline göre en uygun hücre tipi makro hücredir.

Çizelge 4.1 : Baz istasyonları Hücre Tipi Kıyaslaması.

Hücre Tipi	Çıkış Gücü (W)	Hücre Yarıçapı (Km)	Kullanıcı Sayısı	Lokasyon Tipi
Piko Hücresi	0,25-1	0,1-0,2	30-100	Açık/Kapalı Alan
Micro Hücresi	1-10	0,2-2	100-2000	Açık/Kapalı Alan
Makro Hücresi	10-50	8-30	>2000	Açık Alan

4.3.1 Piko hücre tipi

Piko hücre, mikro hücrelerin trafiğini kolaylaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Daha çok mevcut kapsama alanını genişletirler ve çok küçük alanları kapsama alanına katarlar. Fuarlarda, caddelerde, bina içlerinde kullanılırlar. Genel olarak piko hücrenin baz istasyonu anteni bina içinde veya açık alanlarda kurulmaktadır. Birkaç yayılım yolu vardır ve hücreler arası izolasyonun çok düşük olmasından dolayı yayılım gecikmesi çok düşüktür [31].

4.3.2 Mikro hücre tipi

Mikro hücre tipi; makro hücre tipinin kapsama alanına daha da genişletmek için kullanılan sistemlerdir. Böylelikle istenen kapasite sağlanabilir. Mikro hücrenin yarıçapı genel olarak bir ila üç km arasındadır. Mikro hücre baz istasyonu antenleri diğer binalardan daha küçük binaların çatılarına kurulduğundan dolayı, dalga yayılımı

çeşitli etkilere maruz kalmaktadır. Ancak hücre tipleri arasında izolasyon iyi yapıldığından dolayı yayılım gecikmesi azdır [31].

4.3.3 Makro hücre tipi

Makro hücreler genel olarak; geniş bir kapsama alanı oluşturmak amacıyla kurulmaktadır. 10-35 km yarıçaplı bir alana hizmet vermenin yanı sıra düşük nüfuslu alanlara kurulmaktadır. Makro hücreler, en yüksek binaların çatılarına monte edilmektedir. Hücreler arasında izolasyon zayıf olduğundan dolayı sinyal birçok etkiye maruz kalmaktadır. Yayılım gecikmesi bu nedenle yüksektir [31].

4.4 Serbest Uzay Yol Kaybı

Serbest uzay yol kaybı boşlukta ilerleyen bir elektromanyetik dalganın güç yoğunluğundaki azalmaya denir. Yol kaybı terimi kablosuz haberleşme ve sinyal yayılımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kablosuz ağ ve hücre planlanmasının ilk kurulumunda yol kaybının, radyo kanalının anahtar parametreleri ve matematiksel bir model aracılığıyla doğru karakterizasyonu, sinyal kapsamını, elde edilebilir veri hızlarını, alternatif sinyal ve alım planlarının belirli performans özelliklerini tahmini çok önemlidir [32]. Yayılma kaybını tahmin etmek için teorik ve deneysel olarak denenmiş modeller bulunmaktadır. Yayılım kaybı arazi yapısı, çalışma frekansı, yayılım ortamı, mobil terminalin hızı, antenler arasındaki mesafe ve konumu gibi birçok dinamik faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir.

4.4.1 Alınan sinyal gücü

Alınan sinyal gücü; verici ve alıcı arasındaki radyo sinyallerinin alıcı tarafındaki gücü ölçmek için kullanılan bir parametredir. Alınan sinyal gücü; radyo frekansının planlanma kalitesi ve baz istasyonu sayısına bağlıdır [33]. Her bir mobil istasyonunun bağlantı sağladığı aktif baz istasyonu ile bağlantının koptuğu bir eşik noktası vardır. Bu nedenle aktif baz istasyonu ile bağlantıyı sürdürmek için alınan sinyal gücünün kopma eşik noktasından büyük olması gerekir. Aktif baz istasyonundan uzaklaştıkça alınan sinyal gücü RSS (Received signal strength) zayıflar ve yaklaşılacak yeni bir baz istasyonuna doğru daha güçlü bir sinyal alır. Alınan sinyal gücü iletişimde bulunan aktif baz istasyonu bağlantı eşik noktasının altına indiğinden, sinyal gücünü daha yüksek alabildiği hücre içerisine geçiş gerçekleşir. Bu hücreler arası geçiş handoff olarak adlandırılır. Yol kaybı hesabında önemli bir faktör olan alınan sinyal gücü (Pr) hesabı;

$$P_r = P_t + G_t + G_r - PL - A \quad (4.1)$$

Denklem 4.1 ile ifade edilir. Bu eşitlikte; P_t verici antenden gönderilen sinyal gücünü, G_t verici anten kazancını, G_r alıcı anten kazancını, PL toplam yol kaybını ve A konnektör ve kablo kaybını ifade eder. Burada ki tüm değerler dBm cinsindedir. Alınan sinyal gücü Hata-Okumura, COST-231 ve ECC33 yol kaybı modelleri ile hesaplanabilir [32].

4.4.2 Okumura-Hata yol kaybı modeli

Hata modeli; Okumura tarafından sağlanan grafiksel yol kaybı verilerinin deneysel bir formülasyonudur ve kabaca aynı frekans aralığında olup 150 ila 1500 MHz arasındadır [32]. İki modelin birleşmesi ile Okumura-Hata modeli kentsel alanlar için kullanılmış, sinyal tahmini için kullanılan bir radyo yayılım modelidir. Bu modelin frekans kapsama alanı 200 MHz ile 1900 MHz aralığında ve mesafe olarak kapsama alanı 1-100 km arasındadır. Bu modelde; baz istasyonu etkili anten yükseklikleri için 30 metre ila 1000 metre arasında uygulanabilir. Model yoğun ve yüksek yapıya sahip şehirlerde kullanım için mükemmeldir. Model, çok fazla engelleyici yapı bulunmayan kentsel yapıya sahip şehirlerde kullanılması için idealdir. Kentsel, kenar mahalleler ve açık olanlar olmak üzere üç farklı alan için değerler üretilmiştir [34]. Okumura-Hata modeli uygulanan kentsel alanlardaki deneysel yol kaybı için standart formül;

$$PL(db) = A + B \log(d) \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'de $d(km)$ aradaki mesefeyi, A ve B serbest yol kayıplarını ifade eder. Deneysel olarak geliştirilen serbest yol kaybı (denklem 4.3, 4.4) değerleri;

$$A = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) \quad (4.3)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(h_b) \quad (4.4)$$

A ve B deneysel parametrelerinin ifadesinde f ölçülen frekans, $h_b(m)$ baz istasyonu yüksekliğini, $a(h_m)(dBm)$ alıcı anten düzeltme faktörünü ifade etmektedir. Etkili mobil anten yüksekliği $a(h_m)$ ifadesi ise (denklem 4.5);

$$a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7]h_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \quad (4.5)$$

olarak ifade edilir . Bu parametreleri $PL(db)$ denkleminde değerlendirilmesi ile ortalama bir şehir içerisindeki baz istasyonunun yol kaybı hesabı tamamlanır [32].

4.4.3 COST231 yol kaybı modeli

Cost231-Hata modeli; vericiden alıcı antene olan uzaklığı 20km'ye kadar olan mesafe için ortalama yol kaybını öngörmek için 150 MHz ile 2000 MHz frekans aralığında kullanılır. Verici anten yüksekliği 30 ila 200 metre arasında olduğu kabul edilir ve alıcı anten yüksekliği ise 1 ila 10 metre arasında bir değer alır. 150 MHz ila 2000 MHz frekans aralığında yol kaybını öngörmek için COST231-Hata modeli, hata modelinin bir uzantısı olarak oluşturulmuştur. Etkili frekans aralığı 1800 ila 2000 MHz'de çalışan kişisel iletişim sistemi uygulamaları için Hata-Okumura modelini genişletmek amacıyla Avrupa Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Komitesi COST231 modelini oluşturdu. Bu model hata modelinden türetilmiştir ve Okumura-Hata modelinde olduğu gibi yayılma kaybının tahmini dört parametreye bağlıdır. Bunlar;

- Frekans
- Alıcı anten yüksekliği
- Baz istasyonu yüksekliği
- Baz istasyonu ve alıcı anten arasındaki mesafedir.

COST-231 modeli, kentsel kenar mahalleler ve kırsal gibi üç farklı ortamda yol kaybını hesaplamak için kullanılır. Bu model yol kaybını hesaplamak için basit ve kolaylık yollar sağlar. COST-231 hata modeli ile kentsel alanlarda yol kaybını hesaplamak için standart formül;

$$PL(db) = 46.33 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) \quad (4.6) \\ + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d)$$

Denklem 4.6'nın ifadesinde f ölçülen frekans, $h_b(m)$ baz istasyonu yüksekliğini, $a(h_m)(dBm)$ alıcı anten düzeltme faktörünü ifade eder. Etkili mobil anten yüksekliğinin ifadesi aşağıdaki denklem 4.7'deki gibidir [32].

$$a(h_m) = [1.1\log(f) - 0.7]h_m - [1.56\log(f) - 0.8] \quad (4.7)$$

4.4.4 ECC33 yol kaybı modeli

ECC-33 yol kaybı modeli; Okumura modelinin ölçümlerinden hesaplanan ve varsayımlarını değiştirerek sabit bir kablosuz erişim sistemini daha yakından temsil etmesi için dönüştürülerek Elektronik İletişim Komitesi (ECC) tarafından geliştirilmiştir. Orijinal Okumura modeli 3 GHz'den daha büyük bir sonuç sağlayamamaktadır. ECC33-Okumura modelinin önceki bilgilerine dayanarak 3 GHz'den daha yüksek frekans modelini tahmin için bu yöntem uygulanır. Bu model ECC-33 modeli olarak tanımlanır [32]. ECC Modeli daha çok küçük kentsel şehirlerde ve kenar mahallelerde kullanılabilirliği uygundur [35]. ECC33-Okumura modelinin deneysel yol kaybı için standart formül hesabında yol kaybının ifadesi;

$$PL(db) = A_{FS} + A_{bm} - G_t - G_r \quad (4.8)$$

Denklem 4.8'de A_{FS} boş alan kaybını, A_{bm} sabit yol kaybını, G_t baz istasyonu anten yüksekliğine göre kazanç faktörünü, G_r alıcı anten yüksekliğine göre kazanç faktörünü ifade eder. ECC33-Okumura Yol kaybı deneysel parametrelerinin ifadesi ise;

$$A_{fs} = 92.4 + 20 \log(d) + \log(f) \quad (4.9)$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log(d) + 7.894 \log(f) + 9.56\log(f)^2 \quad (4.10)$$

$$G_t = \log\left(\frac{h_b}{200}\right) [13.958 + \{5.8 \log(d)\}]^2 \quad (4.11)$$

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log(f)][\log(h_m) - 0.585] \quad (4.12)$$

Parametere denklemlerinde (denklem 4.9, 4.10, 4.11, 4.12) f frekansı, d baz istasyonu ve mobil istasyon arasındaki mesafeyi, (h_m) alıcı anten yüksekliğini, (h_b) baz istasyonu yüksekliğini ifade eder. Bu parametrelerin standart formüle yerleştirilmesiyle ECC33-Okumura yol kaybı hesabı gerçekleştirilir [32].

4.5 Hava Yer Haberleşmesi

Görüş hattı olan (LOS) ve görüş hattı olmayan (NLOS) yayılım birbirinden farklı bir şekilde ele alınır. Bu farkı oluşturan sebepler ortam yoğunluk, bina yüksekliği ve baz istasyonu-mobil istasyon arasındaki yükseklik açısı gibi sebeplerdir. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından tanımlanan ortak olasılıklı LOS modeli çeşitli ortamların genel geometrik durumlarına göre istatistiksel olarak değerlendirilmiştir [2]. Özellikle farklı çevreler için çevre bazlı parametreler belirlenmiştir.

4.5.1 LOS

Baz istasyonları ve mobil istasyonlar arasında direkt görüşün mümkün olduğu durumdur (Şekil 4.3). Verici ve alıcı arasında herhangi bir engel yoktur. Engel ve bozuntu kaynaklarının olmadığı bir durumda görüş hattı (LOS) denkleminin (denklem 4.13) ifadesinde;

$$l_p = 42.6 + 26 \log \left(\frac{d}{km} \right) + 20 \log \left(\frac{f}{MHz} \right) \quad (4.13)$$

f frekansı ve d baz istasyonu ve mobil istasyon arasındaki mesafedir [36].



Şekil 4.3 : LOS görüş hattı [36].

4.5.2 NLOS

NLOS yani engelli görüş durumu (Şekil 4.4); alıcı ver verici arasında direkt olarak görüşün olmadığı durumlardır. Alıcı ve verici arasındaki engellerden dolayı sinyal yansımaya, kırınım ve zayıflama gibi olaylara maruz kalır. NLOS durumundaki yayılım kaybı,

$$l_p = \begin{cases} l_0 + l_{rts} + l_{msd} & l_{rts} + l_{msd} > 0 \\ l_0 & l_{rts} + l_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (4.14)$$

Denklem (4.14) ile ifade edilir. Denklemde, l_0 serbest uzay kaybını, l_{msd} çoklu yüzey kırınım kaybını, l_{rts} en yüksek çatı yüksekliğinden sokağa doğru olan kırınım kaybını ifade etmektedir [36].



Şekil 4.4 : NLOS görüş hattı [36].

5. SİSTEM OPTİMİZASYONU VE ANALİZİ

Bir çok havadan hafif yapıların tasarım mantığı minimum hacim hesabına göre yapılır. Minimum hacim prensibi modeli irtifası belirlenen gövdenin, temelde görev yükü ağırlığına, ihtiyacı olan enerjiye ve yere indirilecek veri miktarına göre yapılan tasarımdır. Enerji ihtiyacı ve veri transferi kapasitesi halat içerisindeki kablonun kesitini ve dayanım özelliklerini belirler.

Minimum Hacim Prensibi uygulayabilmenin ilk adımı kablo güdümlü hava platformunun görev yapacağı irtifayı sınırlandırmaktır. Görev yüküne nazaran kaldırma kapasitesinin fazla olması, sistemin maliyeti başta olmak üzere idame ve sürdürülebilirliğini zorlaştırır. Çünkü gövdenin hacmi büyüyeceğinden dolayı irtifada maruz kalacağı iç ve dış yükler fazla olacaktır. Artan rüzgar hızlarında gövdedeki sürüklenme sistemin süreksizliğine sebebiyet verecektir. Sürüklemeyi yenmek için kullanılan halat dayanımını da gözden geçirmek gerekir. Dayanımı yüksek materyalin taşıyabileceğinin üzerinde bir yük oluşma ihtimaline karşı halatı kalınlaştırmak gerekir. Kalınlaşan halat sebebiyle sisteme binecek yük artacak gövdenin görev yükü kapasitesini düşürecektir.

Optimizasyonda baz istasyonu en efektif çalışabileceği irtifayı belirleyerek, kısıtlanmış irtifada görev yapacak kablo güdümlü hava platformu gövde tasarım modeli oluşturulması doğru olacaktır. İrtifayı kısıtlamak için, acil ve afet durumunda bir baz istasyonunun çalışabileceği en efektif irtifa Hata-Okumura ve COST 231 yol kaybı modellerinden elde edilen grafiklere göre belirlenmiştir.

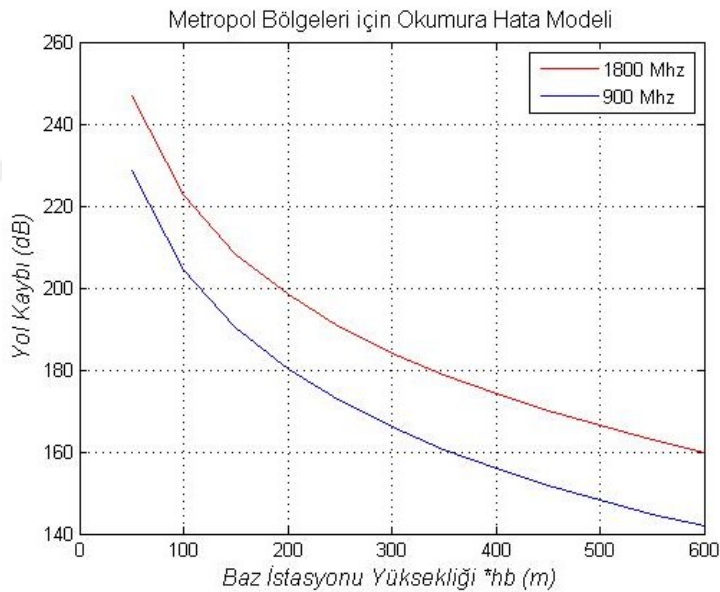
5.1 Baz İstasyonu İrtifa Optimizasyonu

Baz istasyon irtifası ve lokasyonu belirlenirken, BTK'nın belirlemiş olduğu 900/1800 Mhz mobil istasyonların çalışma frekans değerleri kullanılmıştır. Hata-Okumura ve Cost231 kentsel bölgeler için yol kaybı modelleri kullanılarak baz istasyonu irtifasına,

baz istasyonu ve mobil istasyon arasındaki mesafeye değişimlerine göre yol kaybı analizi gerçekleştirilmiştir. ECC33 Yol kaybı Modeli, 3 Ghz ve üzeri çalışma frekanslarına göre doğru sonuç vermesinden dolayı yol kaybı ve irtifa optimizasyonunda değerlendirilmemiştir. Hata-Okumura ve COST231 yol kaybı modelleri analizinden elde edilen grafiklere göre efektif baz istasyonu çalışma irtifası belirlenmiştir.

5.1.1 900/1800 Mhz Hata-Okumura modeli yol kaybı analizi

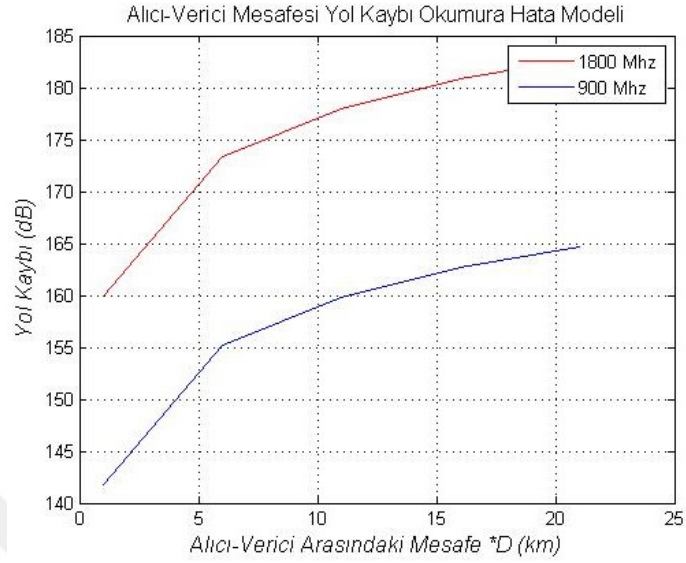
Hata-Okumura modeli 200-1900 Mhz çalışma frekansında, 30-1000 metre arasında yüksekliğe sahip baz istasyonunun çalıştığı kentsel bölgeler için teorik ve pratik çalışmalarla oluşturulmuş ideal yol kaybı modelidir. Yurtiçi 900/1800 Mhz iki ayrı çalışma frekansı da değişen baz istasyonu yüksekliği $h_b(m)$ değeri 50-600 metre, mobil istasyon yüksekliği h_m değeri 2 metre olarak aşağıdaki grafikler Matlab yoluyla yol kaybı grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 5.1 : Baz istasyoun irtifasına göre Hata-Okumura yol kaybı analiz grafiği.

Şekil 5.1'deki 30-1000 metre arasında çalışacak baz istasyonu yüksekliğine göre yol kaybı değişim grafiğine göre; baz istasyonu çalışma irtifası arttıkça yol kaybı azalmaktadır. Bunun temel sebebi, kentsel bölgelerdeki yüksek binalar ve sinyal yoğunluğu gibi bozucu etkilerin şehirden uzaklaştıkça azalmasıdır. 50-300 metre

yükseğinde bulunan baz istasyonunun yol kaybı arasına ki düşüş oranı 300-600 metre arasında bulunan bir baz istasyona nazaran çok daha fazladır.

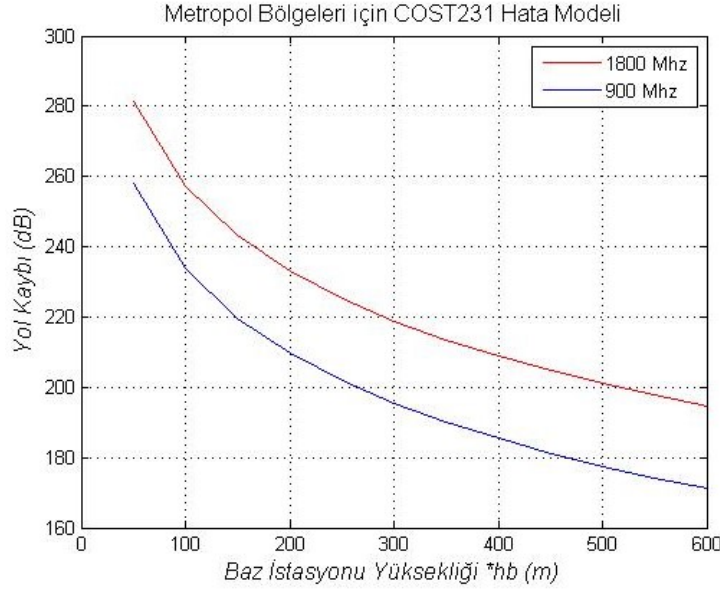


Şekil 5.2 : Mobil istasyon uzaklığına göre Hata-Okumura yol kaybı analiz grafiği.

Şekil 5.2'deki sinyalin, makro hücre tipine göre 300 metrede çalışan baz istasyonundan 2 metre yükseklikte bulunan mobil istasyonlara ulaşmaya kadar yol kaybı miktarı 25 km'ye kadar değişen kapsama alanında analiz edilmiştir. Şekil 5.2'deki grafiğe göre baz istasyonundan uzaklaşan bir mobil istasyona ulaşan sinyalin yoldaki kaybı daha fazladır. Yol kaybının artmasının diğer sebebi frekans değişimidir. Grafiğe göre yüksek frekanslardaki yol kaybı miktarı daha fazladır.

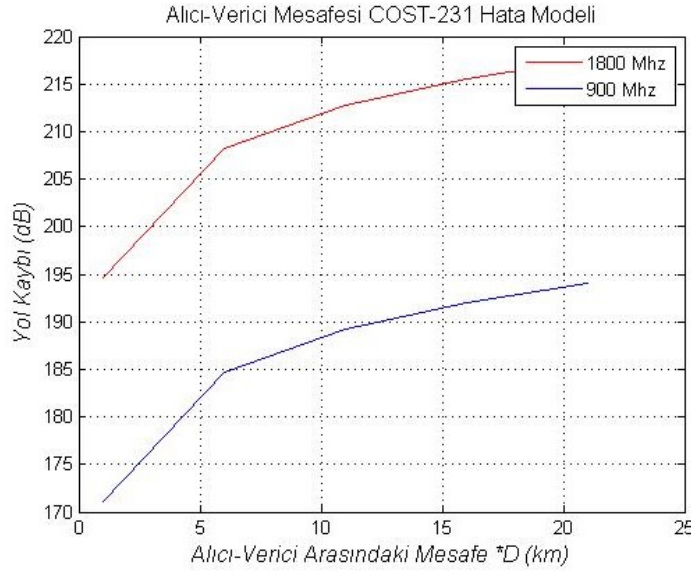
5.1.2 900/1800 Mhz Cost231 modeli yol kaybı analizi

COST231 Modeli, Avrupa Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Komitesi tarafından Hata-Okumura modelini genişletmek amacıyla oluşturulmuştur. Cost231 modeli 150-2000 Mhz çalışma frekansında, 30-200 metre arasında yüksekliğe sahip baz istasyonunun çalıştığı kentsel bölgeler için teorik ve pratik çalışmalarla oluşturulmuş mevcut 50 metre yüksekliğindeki baz istasyonları için ideal yol kaybı modelidir. Etkili çalışma frekans aralığı 1800-2000 Mhz baz istasyonları için daha doğru sonuç verir. Yurtiçi 900/1800 Mhz iki ayrı çalışma frekansında değişen baz istasyonu yüksekliği $h_b(m)$ değeri 50-600 metre, mobil istasyon yüksekliği $h_b(m)$ değeri 2 metre olarak yol kaybı grafiği (Şekil 5.3) oluşturulmuştur.



Şekil 5.3 : Baz istasyonun irtifasına göre COST231 yol kaybı analiz grafiği.

COST231 yol kaybı modelinde baz istasyonu parametre değerleri Hata-Okumura yol kaybı modelinde alınan değerler ile aynıdır. COST231 modelinde, Hata-Okumura modeline kıyasla 300 metre yüksekliğindeki bir baz istasyonu yol kaybı çok az farkla daha fazla görüldüğü değerlendirilmiştir.

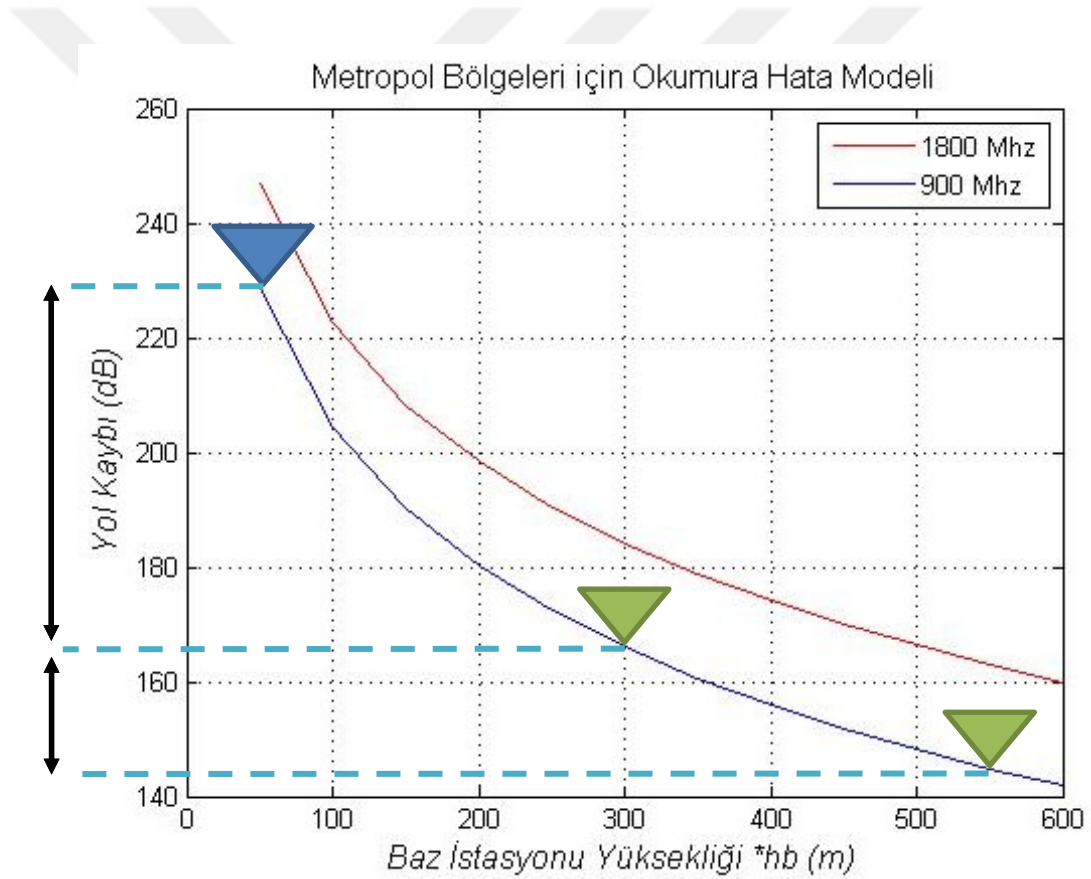


Şekil 5.4 : Mobil istasyon uzaklığına göre COST231 yol kaybı analiz grafiği.

Aynı değişkenlerle Hata-Okumura yol kaybı modeline göre kıyaslanan Şekil 5.4'deki grafik baz istasyonu ve mobil istasyonlarının aynı başlangıç mesafesinde ve artan mesafelerde yol kaybı değeri bu modelde daha fazladır.

5.1.3 İrtifa optimizasyonu

İki ayrı modelde de baz istasyonu irtifasına göre yaklaşık sonucu veren Şekil 5.1 ve Şekil 5.3'deki baz istasyonu yüksekliği yol kaybı grafikleri incelendiğinde sistemin çalışması gereken optimum irtifa Şekil 5.5'de belirtilmektedir. İrtifa belirlenirken yol kaybı modellerinden herhangi bir modeli değerlendirmek aynı sonucu verecektir. Bu sebeple 30-1000 metre değişen baz istasyonu yüksekliklerine göre tasarlanan Hata-Okumura yol kaybı modeli grafiği değerlendirilmiştir.



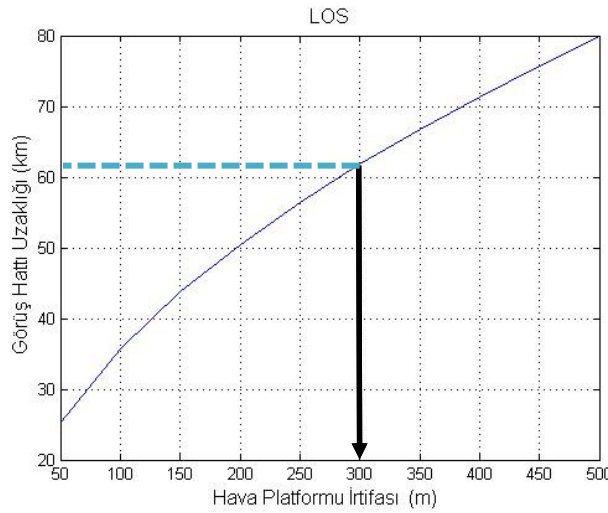
Şekil 5.5 : Optimum baz istasyonu yüksekliği.

Baz istasyonu yüksekliğine göre değerlendirilen Hata-Okumura yol kaybı modeli Şekil 5.5'deki grafiğine göre; mavi imleç ile gösterilen yükseklik standart baz istasyonları ortalama yüksekliği 50 metreyi, yeşil imleçler sırasıyla 300 metreyi ve 550

metreyi göstermektedir. Kıyaslamayı doğru değerlendirmek için standart baz istasyonu kule yüksekliğinden başlanarak 250 metrelik artan baz istasyonu yükseklikleri atanmıştır. Belirlenen 50 metre, 300 metre ve 550 metre baz istasyonu yüksekliklerine göre; 50-300 metre arasındaki yol kaybı, 300-550 metre arasındaki yol kaybı değerinden 3 kat daha fazladır. 300 metreye kadar olan yol kaybı miktarını en aza indirmek için kablo güdümlü sistem irtifası olacak en efektif baz istasyonu yüksekliği bu irtifadır.

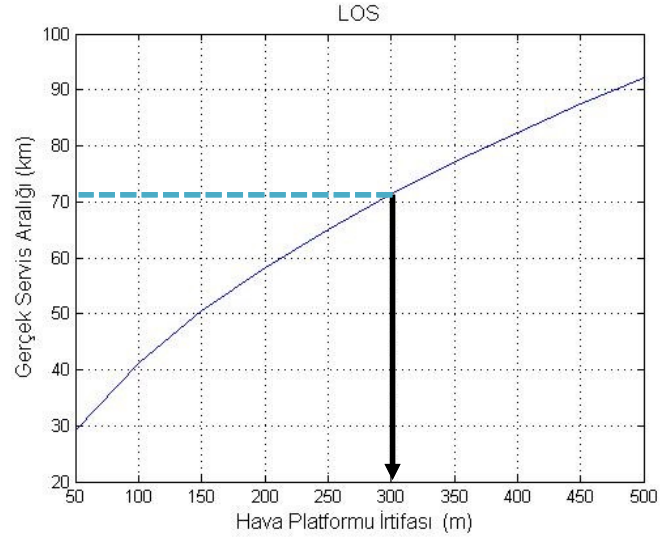
5.1.4 Kapsama alanı ve görüş açıklığı

Şekil 5.6, açık bir lokasyonda bulunan noktasında bulunan optimum irtifada kaldırılacak kablo güdümlü hava platformu üzerindeki göre baz istasyonunun, mobil istasyonun bulunduğu nokta ile birbirini direkt görebileceği görüş hattı (los) mesafesini ifade etmektedir.



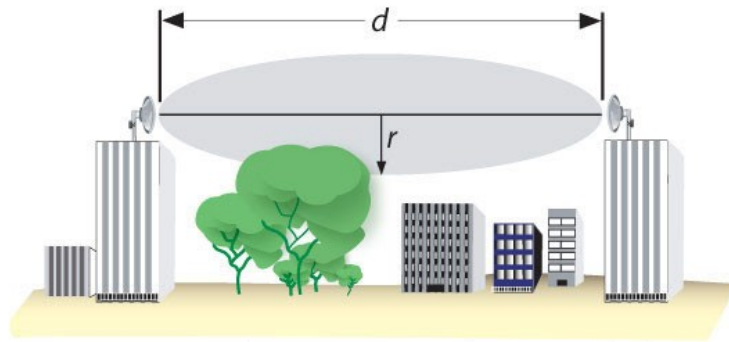
Şekil 5.6 : Optimum irtifadaki görüş hattı.

Şekil 5.7, baz istasyonunun görüş hattı mesafesine göre izdüşümü olan yer noktasından, mobil istasyon noktasına kadar olan yüzey mesafesini yani gerçek servis aralığının yarı çapını ifade etmektedir. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 değerlerinin farklı olmasının sebebi birinin görüş hattı diğerininse dünyanın eğikliğinden kaynaklı yüzey yay uzunluğu olmasıdır.



Şekil 5.7 : Optimum irtifadaki gerçek servis aralığı.

Kaliteli bir haberleşme için baz istasyonu ve mobil istasyon arasındaki Fresnel Bölgesi prensibindeki haberleşme hacminin (Şekil 5.8) bozuntuya sebep olabilecek her türlü engellerden arındırılması gerekmektedir. Bu bakımdan baz istasyonları konuşlandırma lokasyonu belirlenirken kullanıcı yoğunluğunun fazla olduğu etrafında engelleyici sebeplerin minimum olduğu alanlar tercih edilir.

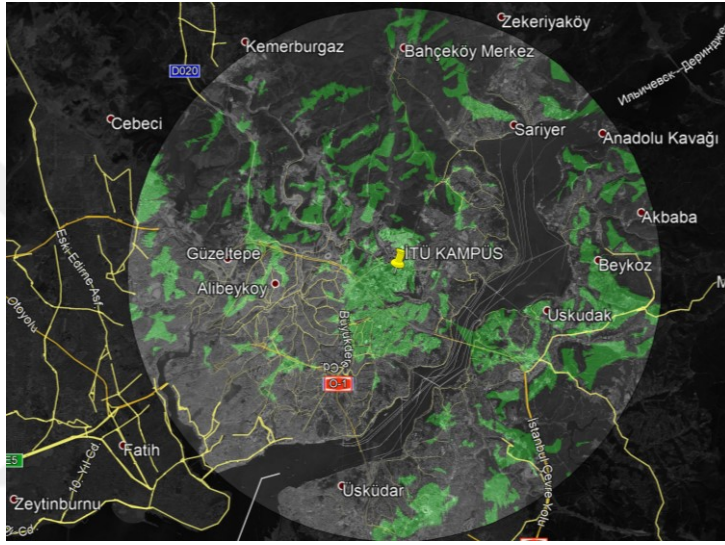


Şekil 5.8 : Alıcı verici arasındaki Fresnel Bölgesi [39].

Temelde Fresnel Bölgesi prensibi görüş hattı (LOS) mantığıyla aynıdır. Şekil 5.8'deki d görüş hattı (LOS) mesafesini r Fresnel Bölgesi hacminin en geniş olduğu mesafenin yarı çapını gösterir.

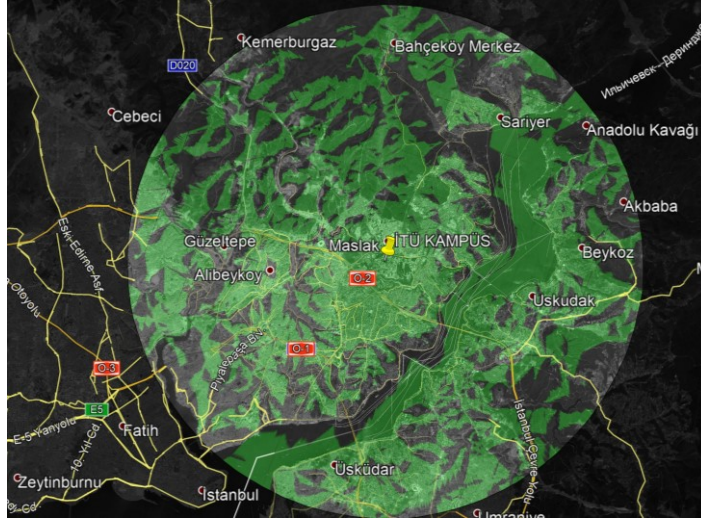
Baz istasyonu konuşlandırma lokasyonu belirlenirken Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uzmanı ve Haberleşme kapsama alanı analizcileri beraber hareket eder. İki farklı bilim dalındaki uzmanlar konuşlandırılan baz istasyonunun maksimum hizmet verebileceği

direk görüş hattının olduğu alanlar değerlendirilir. Bu değerlendirme yapılırken sayısal arazi modeli (SAM) ile entegre çalışan sayısal yükseklik modeli (SYM) Arcgis gibi programlar kullanılır. Yükseklik modeli ve LOS görüş hattı birleştirildiğinde baz istasyonunun görüş alanı elde edilir. Google Earth Pro programından elde edilen Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'daki görüntü, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağ Kampüsünde ki belirli bir noktadan 50 metre ve 300 metre baz istasyonu yüksekliğine göre oluşturulmuştur. Arazinin sayısal yükseklik modeli ile direk görüş hattının (Los) olduğu alanları ifade edilmektedir.



Şekil 5.9 : 50 Metre baz istasyonu LOS görüş alanı.

Şekil 5.9'da görünen yeşil alanlar, 10 km yarıçapında bir alanın merkezinden 50 metre yükseklikteki bir noktadan elde edilebilecek direk görüş hattının olduğu alanları belirtmektedir.



Şekil 5.10 : 300 Metre baz istasyonu LOS görüş alanı.

Kablo güdümlü hava platformunda bulunan optimum irtifadaki baz istasyonunun 300 metre yükseklikten oluşturmuş olduğu görüş alanı Şekil 5.10’da sunulmaktadır. Fresnel prensibine göre görüş alanının fazla olması, olabildiğince baz istasyonu ve mobil istasyon arasındaki kör noktanın yada engelin bulunmaması kaliteli bir haberleşmeye imkan verecektir. Baz istasyonunun olabildiğince yükseğe kurulması bu bakımdan önemlidir.

5.2 İrtifaya Göre Platform Optimizasyonu

Platform optimizasyonu gerçekleştirebilmenin ilk adımı, platforma entegre edilecek görev yükünün türüne göre algılama mesafesi veya kapsama alanı değerleri içerisinde kalmasını sağlamaktır. Entegre edilecek görev yükü algılama mesafesi veya haberleşme kapasitesin üzerinde bir platform tasarımı, sistemin sürdürülebilirliğini kısıtladığı gibi maliyetini artıracaktır. Bu sebeple görev yükü , kamera gibi uzaktan algılama sensörü ise; tespit, teşhis ve tanımlama (DRI) mesafelerine göre irtifa kısıtlanmalıdır. Algılama sensörlerinde, LOS hesabı yapılarak yerdeki bir hedefin havadaki platforma olan uzaklığı basit trigonometrik denklemler ile belirlenerek irtifa kısıtlanabilir.

Eğer platforma haberleşme amaçlı bir görev yükü entegre edilecek ise; ortamdaki sinyal yoğunluğu ve görüş hattı engelleri gibi bozuntulara sebep olabilecek etkenleri minimum olabileceği bir irtifa belirlenmelidir. Ayrıca Fresnel Prensibine göre, temiz

bir haberleşmenin sağlabilmesi için alıcı ve vericinin arasında bozuntulara sebep olabilecek engellerin minimum seviyede olmalıdır. Gerek görüş hattı, gerekse ortam kaynaklı bozuntuların sebep olabileceği yol kaybının Hata-okumura ve COST 231 gibi deneysel ve matematiksel olarak denenmiş yol kaybı modelleri ile irtifa kısıtlararak platform optimizasyonu gerçekleştirilebilir. Bu sebeple Hata-Okumura ve COST231 modellerinin analizi sonucu, afet ve acil anında yurt içi çalışma frekanslarına göre metropol bölgelerdeki bir baz istasyonunun en efektif çalışabileceği irtifa 300 metre olarak belirlenmiştir.

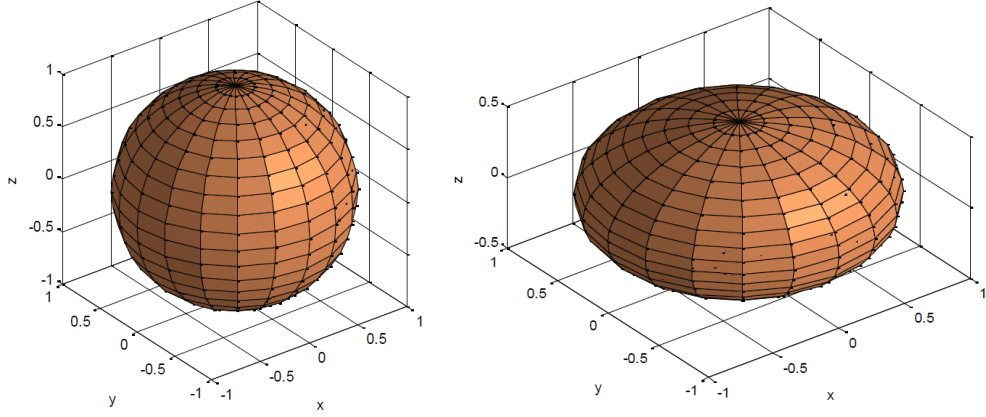
5.2.1 İrtifa çevre koşulları

Kısıtlanan irtifadaki gövde ve halat dayanımlarını belirleyebilmek için rüzgar hızının, net kaldırma miktarını belirleyebilmek için ise irtifadaki hava yoğunluğu sıcaklık ve basınç gibi temel parametrelerin net olarak bilinmesi gerekir. Bu amaçla ISA'nın belirlemiş olduğu standart atmosfer değerleri gösterge değeri olarak kabul edilerek, 300 metredeki irtifa değerleri Çizelge 2.3'teki (11), (12), (13) numaralı denklemlere göre belirlenerek net kaldırma miktarını belirleyebilmek amacıyla sıcaklık basınç ve yoğunluk değerleri atanır.

Gövde üzerine gelen rüzgarın oluşturduğu yükü hesaplayabilmek için, görev irtifasındaki rüzgar hızını belirlemek gerekir. Görev irtifasındaki rüzgar hızı tahmini denklem 2.14 ve 2.15'e göre yapılmalıdır.

5.2.2 Gövde tasarım modeli

Gövde tasarımı belirlenirken gövdenin maruz kalacağı rüzgar hızlarına göre model oluşturulmalıdır. Gövde şekilleri ve tasarım kriterlerini belirlemek için Çizelge2.4'e göre gereksinim sınırları belirlenmelidir. İrtifada görev yapacak hava platformu aşırı rüzgarlara dayanabilecek bir model olması isteniyorsa sürüklenme katsayısı minimum olan damla model seçilmelidir. Damla model seçimi genellikle geniş gövdeli hava yapılarında tercih sebebidir. Sisteme alma hızı, kaldırma kapasitesi ve demirleme kolaylığı bakımından acil ve afet durumunda ihtiyacı karşılayabilecek model elipsoidal veya küresel model en uygun tercih olacaktır.



Şekil 5.11 : Küresel ve elipsoidal gövde tasarım modelleri.

Belirlenen iki modele göre gövde hacmi hesabı ve yüzey alanı hesabı Çizelge 5.1'deki denklemlere göre gerçekleştirilir. Burada elipsoidal model yüzey alanı hesabında, eksantriklik değeri için $\alpha_{Eksantriklik}$ hesaplanır

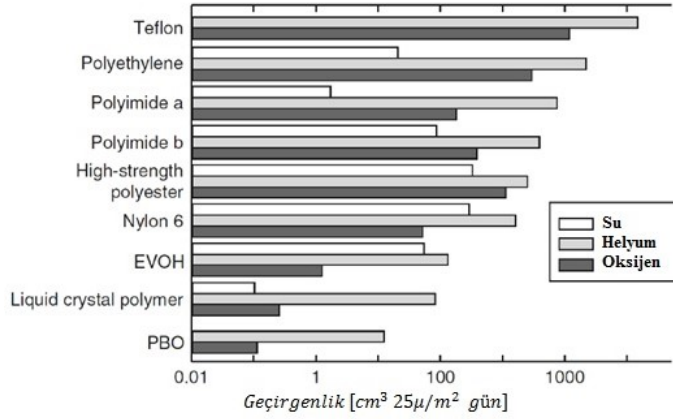
Çizelge 5.1 : Küresel ve Elipsoidal model için yüzey alanı ve hacim hesabı.

	HACİM $V (m^3)$	YÜZEY ALANI $S (m^2)$
KÜRESEL	$V_{Küresel} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a^3$	$S_{Küresel} = 4 \cdot \pi \cdot a^2$
ELİPSOİDAL	$V_{Elipsoidal} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a \cdot b^2$	$S_{Elipsoidal} = 2 \cdot \pi \cdot \left[a^2 + \frac{b^2}{\sin(\alpha)} \ln \left(\frac{1 + \sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} \right) \right]$ $\alpha_{Eksantriklik} = \arccos \left(\frac{b}{a} \right)$

5.2.3 Zarf ve halat materyalinin belirlenmesi

KGHP sistemlerinde kullanılan gövde materyalleri seçiminde, yapısal dayanımların ve çevresel dayanımları yüksek, özellikle kaldırma gazı geçirgenliği minimum olan çok katmanlı kumaşlar tercih edilir. Geçirgenlik bir platformun bulunduğu irtifadaki kalacağı süreyi belirlediğinden dolayı önemli bir parametredir. Şekil 5.12'de gösterilen [37] gövde materyallerinin geçirgenlik kıyaslamalarıyla belirlenecek Çizelge 5.2'de gösterilen en uygun geçirgenlik katsayısına göre havada kalma süresi atanmalıdır. Bu gibi gerekli dayanımları ve özellikleri sağlayan gövde materyalinin

minimum hafiflikte olması istenir. Kablo güdümlü hava platformu sistemlerinde kullanılan Çizelge 3.2’de belirtilen yüksek performanslı lif türlerine Çizelge 3.3’de lamine edilen materyallerin birleşimi zarf ağırlığını (gr/m²) belirler.



Şekil 5.12 : Gövde materyallerinin geçirgenlik kıyaslaması.

Çizelge 5.2 : Gövde materyalleri geçirgenlik katsayıları.

Zarf Materyali	Geçirgenlik Katsayısı (μ)
Teflon	$1.71 \cdot 10^{-17}$
Polietilen	$7.16 \cdot 10^{-18}$
Poliyamid a	$2.86 \cdot 10^{-18}$
Poliyamid b	$2.29 \cdot 10^{-18}$
Yüksek Dayanımlı Polyester	$2.00 \cdot 10^{-18}$
Naylon 6	$1.71 \cdot 10^{-18}$
Ethilen Vinil Alkol	$1.71 \cdot 10^{-19}$
Sıvı Kristal Polimer	$1.71 \cdot 10^{-19}$
PBO	$1.71 \cdot 10^{-19}$

Halat seçimi yapılırken yük altında kopma dayanımı yüksek, minimum ağırlıkta, yük altında halatın esneme değerlerinin halat içerisindeki enerji ve veri kablosu esneme değerlerinden altında olması istenir. Eğer içerisindeki kabloların üzerinde bir esneme değerine sahip bir halat, yük altında daha fazla esneyerek uzamasından dolayı içerisindeki daha az uzayan kabloların kopmasına sebebiyet verir. Halat sektöründe halatın en küçük kopma kuvveti dayanımı (kN) ve halat anma çapına (mm) göre ağırlık (gr/m) değerleri atanır. Bu değerler halat üretimini yapan firma tarafından müşteriye sunulur. emniyet faktörü sınırları içerisinde kalmak şartıyla, Denklem 3.3’e göre halat üzerine gelen yükleri karşılayabilecek dayanımlara sahip Çizelge 3.6’da belirtilen

kablo güdümlü hava platformları için kullanılan materyaller tercih edilmelidir. Halat ağırlığını kalınlık değeri başta olmak üzere, anma çapını oluşturan liflerin demet sayısı, örgü modeli ve sıklığı gibi bir çok parametre etkiler.

5.2.4 Toplam kütle ve minimum hacmin belirlenmesi

Net kaldırma miktarına göre minimum gövde hacminin belirlenebilmesi için KGHP sistemi üzerine binecek yüklerin tam olarak tanımlanması gerekmektedir. Sistemin toplam kütlesi (denklem 5.1);

$$m_{toplam} = m_{gövde} + m_{halat} + m_{görev\ yükü} + m_{gaz} \quad (5.1)$$

Denklemine göre hesaplanmalıdır. İrtifada görev yapacak KGHP sisteminin kısaca gaz haricindeki bütün kütleği Denklem 5.2'deki gibi,

$$m_{toplam} = m_{sistem} + m_{gaz} \quad (5.2)$$

gibi ifade edilebilir. Denklem 2.2'ye göre bir platformun havaya yükelebilmesi için platforma etkiyet toplam kütlelerin oluşturduğu ağırlığı yenmek gerekir. Denklem 5.2 ve Denklem 2.2 birleştirildiğinde,

$$m_{sistem} g < g \cdot V_{gövde} (\rho_{hava} - \rho_{gaz}) \quad (5.3)$$

$$(m_{toplam} - m_{gaz}) \cdot g < g \cdot V_{gövde} (\rho_{hava} - \rho_{gaz}) \quad (5.4)$$

$$m_{toplam} - m_{gaz} < V_{gövde} \cdot \rho_{hava} - m_{gaz} \quad (5.5)$$

$$V_{gövde} > \frac{m_{toplam}}{\rho_{hava}} \quad (5.6)$$

Minimum gövde hacmi sistemin toplam kütlesi ile hava yoğunluğunun oranı olarak elde edilir. Denklem 5.6'daki $V_{gövde}$ 'ye göre minimum gövde hacminin gövde tasarımına göre zarf ağırlığı $m_{gövde}$ 'yi hesaplayabilmek için yüzey alanı hesabı yapılmalıdır. Bu denklemdeki (denklem 5.6) görev yapılacak irtifadaki ρ_{hava} yoğunluğu denklem 2.11'e göre hesaplanmalıdır.

Görev yükü ağırlığı; gövdeye entegre edebilmek için kullanılan bağlantı elemanları, ekstra sensörler, patlatma ünitesi güç üniteleri bağlantı kabloları, baz istasyonu antenleri gibi tüm komponentler oluşturur. Denklem 5.7'deki görev yükünün ifadesi;

$$m_{faydalı\ yük} = \sum_1^{+i} m_{Komponent} \quad (5.7)$$

Gövde materyali haricindeki gövdede bulunan her bir elemanın toplamıdır.

5.2.5 Gövde üzerine etkiyen aerodinamik ve aerostatik yükler

Gövdenin kaldırma kapasitesini oluşturan gövde hacmi içerisindeki kaldırma gazı vasıtasıyla oluşan Aerostatik yüklerin hesabında ortamın hava yoğunluğu başta olmak üzere atmosfer değerleri önem arz etmektedir. Hesaplanan hacim içerisinde ki toplam gaz miktarı aerostatik kaldırmayı belirleyecektir. Aerostatik kaldırmanın haricinde oluşan aerodinamik kaldırma etkisi sistemin toplam kaldırma kapasitesi verilirken kablo güdümlü hava platformlarında hesaba katılmaz

Gövde üzerine cepheden gelen hava akımının oluşturduğu aerodinamik sürüklemeyi hesaplayabilmek için belirlenen tasarımın sürtünme katsayısına, akışkanın yoğunluğu, rüzgar hızı ve gövdenin kesit alanı belirlenmelidir. Gövdenin kesit alanı belirlenen küresel ve elipsoidal modellere göre Çizelge 5.3'teki gibi hesaplanmalıdır.

Çizelge 5.3 : Küresel ve Elipsoidal model kesit alanı.

Model	S_{YZ}
Küresel	$S_{Küresel\ kesit\ alanı} = \pi \cdot a^2$
Elipsoidal	$S_{Elipsoidal\ kesit\ alanı} = \pi \cdot a \cdot b$

Çizelge 5.3'de belirlenen kesit alanı, denklem 2.15'deki rüzgar hızı, denklem 2.11'e göre hava yoğunluğu ve tasarıma göre belirlenecek sürtünme katsayıları belirlenerek denklem 2.10'daki sürüklenme kuvveti miktarı hesaplanmalıdır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Acil ve afet durumunda, karasal segment ve uzay-yer segmenti haberleşme imkânı sunan platform sayısına nazaran, uzay-hava veya hava-yer haberleşmesi imkânı sunan platformlar yok denecek kadar azdır. Kriz anı yönetimi ve koordinasyonuna yönelik artan haberleşme gereksinimleri doğrultusunda; gelişen teknolojiler, hafifleyen sistemler ve dayanımı artan materyal ile havada görev yapabilecek platform ihtiyacını doğurmuştur. Acil ve afet anı haberleşme temel gereksinimlerini belirlemek ve bu gereksinimleri karşılayabilecek haberleşme destek platformlarını değerlendirmek için karar aşamasında kullanılan karar matrisi yöntemi etkili bir tahmin etme yöntemidir.

Bu yöntemle karar verilen KGHP platformunun acil ve afet durumunda;

- Çok kısa bir sürede haberleşme ağına dahil edilebilmesi,
- Alt sistemlerin, kamyonet ve römork gibi araçların üzerine entegre edilmesiyle mobil olarak konuşlandırılabilme kolaylığı,
- Sabit ve mobil karasal baz istasyonu sistemlerine nazaran karasal bozuntuların minimum olduğu kapsama alanı genişliği sağlaması,
- Görev yükü için gerekli enerji ihtiyacını ve veri transferi gereksiniminin platform gövdesine bağlı olan halat içerisindeki enerji ve fiber kablo üzerinden kesintisiz olarak sağlanabilmesi,
- Kullanıcıyı haberleşme ağına katılması için, ekstra teknoloji veya arayüz ihtiyacı olmadan mobil telefonlar ile direkt erişim sağlayabilmesi

gibi acil ve afet durumu haberleşme temel gereksinimlerinin genelini sağlaması bakımından diğer platformlara nazaran avantaj sağlayacağı öngörülmektedir.

Öngörülen KGHP sisteminin modellenmesi için ilk adımı; gövde üzerine entegre edilecek görev yükünün algılama mesafesine veya kapsama alanı kapasitesine göre

sistemin sürdürülebilirliği, sürekliliği ve stabilitesi bakımından çalışma irtifasının kısıtlandırılmasıdır. Özellikle metropol bölgelerindeki yüksek yapılaşma ve sinyal yoğunluğu sebebiyle oluşacak yol kayıplarını ve sinyal bozuntularını yenmek amacıyla, bir baz istasyonunun mobil istasyon ile efektif haberleşme imkanı sunacağı irtifa analizi Okumura-Hata ve COST231 yol kaybı modelleri ile belirlemek mümkündür. Bu modeller ile görev irtifası belirlenerek sistemin çalışacağı irtifa 300 metre olarak optimize edilmiştir. Optimize edilen irtifada baz istasyonunun sağlayacağı Fresnel prensibine göre görüş alanı açıklığı, LOS prensibine göre direk görüş mesafesi değerleri ortaya konmuştur.

Belirlenen irtifada görev yapacak KGHP'nun seçilen modele göre kaldırma kapasitesini gövde üzerine binen yükleri ve sistemin dayanımlarını hesaplayabilmek amacıyla, gövdenin bulunduğu ortam değerlerinin belirlenmesi gerekir. İrtifaya göre değişen yoğunluk, sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı gibi atmosferik değerlere göre eğer,

- Minimum hacim prensibine göre KGHP sisteminin kaldırma kapasitesinin yüksek olması isteniyorsa; yüzey alanı büyüklüğünün, yönlendirme dümeni yüzeylerinin ve eklenti yerlerinin minimum olduğu; aerodinamik sürüklenme, aerostatik kaldırma ve ağırlık merkezinin oluşturduğu vektörler gövde merkezi doğrultusunda olmasından dolayı tasarım öncesi hesapları daha basit olan eliptik model tercih edilmelidir.
- Yine aynı prensibe göre KGHP sisteminin zor şartlarda görev yapabilmesi ihtiyacı varsa; rüzgar dayanımlarının yüksek olduğu minimum sürüklenme katsayısına sahip, görev yapacağı irtifada daha stabil durabilecek damla model tercih edilmelidir. Bu modelin aerodinamik sürüklenme, aerostatik kaldırma, kütle merkezi ve halat çekme yükü vektörlerinin oluşturduğu moment hesapları daha ayrıntılı olduğu damla model tercih edilmelidir.

Ayrıca modellemede sürecinde hava akımının halat üzerinde oluşturduğu yükten dolayı sürüklenme ve kaldırma kapasitesi üzerindeki etkisi, hava akımı sırasında gövdenin hücum açısı değişimi ve bu değişim sonucu sürüklenme miktarı, tüm bu etkiler sonucunda görev irtifasındaki KGHP'nin sürüklenme mesafesi miktarı araştırılması gereken konular arasındadır.

KAYNAKÇA

- [1] **Stockbridge, C., Cerutti, A. ve Marzocca P.** (2012). Airship Research and Development in the Areas of Design, Structures, *Dynamics and Energy Systems, Int'l J. of Aeronautical & Space Sci.* 13(2), 170–187
- [2] **Gomez, K., Hourani, A., Goratti, L., Riggio, R., Kandeepan, S. ve Bucaille, I.** (2015). Capacity evaluation of aerial LTE base-stations for public safety communications, *IEEE European Conference on Networks*, 16(2), 619–641.
- [3] **Lambert, C.** (2006) Dynamics and Control of a Multi-Tethered Aerostat Positioning System , (Doktora Tezi), *Department of Mechanical Engineering McGill University*, Montreal.
- [4] **Miller, J.I.** (2005). The Design of Robust Helium Aerostats, (Yüksek Lisans Tezi), *Department of Mechanical Engineering*, McGill University, Montreal.
- [5] **Yurdakul, M. ve İç, Y. T.** (2001). Development of a performance measurement model for manufacturing companies using the AHP and Topsis approaches, *International Journal of Production Research*, 43(21), 4609-4641.
- [6] **Lemos, Z.** (2012). Report Of DoD Funded Lighter Than Air Vehicles, *Department of Defense (DoD)*, 112-96, s.7.
- [7] **Khoury, G.A. ve Gillet, J.D.** (2012). Airship Technology, *Cambridge University Press*, Cambridge, UK.
- [8] **Boon, N. K.** (2003) Mini Airship Patrol Craft, (Yüksek Lisans Tezi) ,*National University of Singapore, Department of Mechanical Engineering*, Singapore.
- [9] **Demircioğlu, T.K.** (2007). Bir Araç Modelinin Aerodinamik Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu, (Yüksek Lisans Tezi), *Balıkesir Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.
- [10] **Çengel, A. Y.** (2008) . Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları, *Güven Bilimsel Yayınevi*, İzmir. s.72-77.
- [11] **Karasu, İ.** (2011). Düşük Reynolds Sayılı Akışlarda Kanat Profili Üzerinde Türbülansa Geçişin ve Laminer Ayrılma Kabarcığının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.

- [12] **Theodore, A. T.** (1975). Introduction to the Aerodynamics of Flight, *Scientific and Technical Information Office National Aeronautics and Space Administration*, D.C. NASA SP-367, Washington.
- [13] **Url-1** <<https://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/dragco>>, *Erişim Tarihi: 17.10.2019.*
- [14] **Tethered Aerostat Systems Application Note**, (2013). Space and Naval Warfare Systems Center Atlantic, *Department of Homeland Security*, U.S. HSHQPM-12-X-00031, s. 24.
- [15] **NASA**, (1976). Standard Atmosphere, NASA-TM-X-74335.
- [16] **Kazıcı, M.S.** (2009). Rüzgar Enerjisi ve Türbin Seçiminin Maliyete Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul
- [17] **Yamasaki, T., ve Goto, N.** (2003). Identification of blimpdynamics via flight tests, *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, 46(153), s.195-295.
- [18] **Allsopp, S.** (2010). Helikites for High Altitude Radio-Relay White Paper, England.
- [19] **Yao, X. F., Lei, Y. M., Xiong, C. ve Wu, Q.** (2012). Mechanics Analysis on Helium Leakage of Flexible Composites, *Journal of Mechanics of Advanced Materials and Structures*, (19) , 603-612.
- [20] **McDaniels, K., Downs, R. J., Meldner, H., Beach ve C., Adams.** (2009). High Strength-to-Weight Ratio Non-Woven Technical Fabrics for Aerospace Applications, *Proceedings of AIAA Balloon Systems*, AIAA-2009-2802.
- [21] **Aglietti, G.S., Markvart, T., Tatnall, A.R. ve Walker, S.J.I.** (2008). Aerostat for Electrical Power Generation Concept feasibility, *Journal of Aerospace Engineering*, 222, 29-39.
- [22] **Honglian, Z. ve Anthony, E.** (2005) Material Challenges for Lighter-Than-Air Systems in High Altitude Applications, AIAA 5th Aviation Technology, *Integration, and Operations Conference (ATIO)*, AIAA 2005-7488.
- [23] **Zhai, H. ve Euler, H.** (2007). Material Challenges for Lighter-Than-Air Systems, AIAA 6th Aviation Technology, *Integration, and Operations Conference (ATIO)*, Virginia, AIAA 2007-7828.
- [24] **Url-2** <https://fedspecs.gsa.gov/FedSpecs_Fed_Standards_page>, *Erişim Tarihi: 10.09.2019.*
- [25] **Smoot ,S.** (2012). Conceptual Design And Passive Stability Of Tethered Platform, (Doktora Tezi), *Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford Universty* , s.38.
- [26] **Url-3** <<https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/7848/1/8554>> *Erişim Tarihi: 22.11.2019.*
- [27] **Leech, C.M., Hearle, J.W.S., Overington, M.S. ve Banfield, S.J.** (1993) Modelling Tension and Torque Properties of Fibre Rope and Splices, *Proceedings of the Third International Offshore and Polar Engineering Conference*, Singapore.

- [28] **Topbaş, Ö.** (2005). Gsm (900/1800 Mhz) Yayınlarının Kapsama Analizi ve Modellemeler, (Yüksek İlsans Tezi), *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü*, Ankara.
- [29] **Eriksson, M.** (2010). Conceptions of emergency calls: Emergency communication in an age of mobile communication and prevalence of anxiety, *Journal of Contingencies & Crisis Management*, 18(3), 165-174.
- [30] **ElJabu, B. ve Steele, R.** (2001). Cellular communications using aerial platforms, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 50(3), 686-700.
- [31] **Garcia, E., Gaona, E., Angulo, M. A. ve Muskus, E. G.** (2014). Survey analysis of voice quality and coverage in a GSM emergency network, *Ciencia e Ingenieria Neogranadina*, 24(2), 23-36.
- [32] **Kumar, M., Kumar, V. ve Malik, S.** (2012). Performance and Analysis of Propagation Models For Prediction Rss For Efficient Handoff, *International Journal Of Advanced Scientific And Technical Research*, (2)1, s.61-70.
- [33] **Nikordeh, N., Ibinabo, M. ve Omotayo, O.** (2016) Analysis of Mobile Networks Signal Strength for GSM Networks, *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 978-988-14047-1-8.
- [34] **Singh, Y.** (2012). Comparison of Okumura, Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength, *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887), (59),11.
- [35] **Tahcfullah, S. ve Riskayadi E.** (2015). Optimized Suitable Propagation Model for GSM 900 Path Loss Prediction, *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, (14)-1,s.154-162.
- [36] **Url-4** <<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/LOS-vs-NLOS-wireless-channel.html>>, *Erişim Tarihi: 01.12.2019*.
- [37] **Ha, L.L.** (2012) Literature Study on Improvements of the Vega Balloon Aerobots for In-Situ Exploration of Venus, (Doktora Tezi) *Technical University Delft*, Hollanda
- [38] **Akdağlı, A., Çalışkan, F. ve Demirci, Ş.** (2008). Gelişen Haberleşme Teknolojileri, *Mersin Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Elektronik Haberleşme Programı*, (Ders Notu), s.75. Mersin Üniversitesi.
- [39] **Url-5** <<https://www.proxim.com/en/products/knowledge-center/calculations/calculations-fresnel-clearance-zone> > *Erişim Tarihi: 27.11.2019*



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyadı : Ahmet Şamil Yücel

Doğum Yeri ve Tarihi : Develi / KAYSERİ / 1986

E-Posta : asamilyucel@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU :

- **Lisans** : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İletişim Sistemleri Anabilim Dalı, Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama

MESLEKİ DENEYİM :

- 2010-2014, ASTECPICO İleri Bilim ve Savunma Sanayi A.Ş., (Kurucu Ortak, Yönetim Kurulu Üyesi)
- 2014-Halen, TÜRKSAT Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş., (Teknik Uzman)