ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YERSABİT YÖRÜNGE HABERLEŞME UYDULARININ ASTRONOMİK GÖZLEM AMAÇLI KULLANIMININ TEKNİK VE MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Caner ALTIKULAÇOĞLU

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2022

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YERSABİT YÖRÜNGE HABERLEŞME UYDULARININ ASTRONOMİK GÖZLEM AMAÇLI KULLANIMININ TEKNİK VE MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Caner ALTIKULAÇOĞLU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışmanı: Prof. Dr. Selim Osman SELAM

Ülkemizde henüz astronomik amaçlı gözlem uydularının bulunmamasından yola çıkarak yer sabit yörüngede ülkemize ait ve TÜRKSAT A.Ş. tarafından işletilen haberleşme uyduları üzerinde astronomik gözlem amaçlı uzay teleskoplarının kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir.

Mayıs 2022, 44 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yersabit uydu, teleskop, astronomik uzay gözlemi

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

TECHNICAL AND COST EVALUATION OF USING GEOSTATIONARY COMMUNICATION SATELLITES FOR ASTRONOMICAL OBSERVATIONS

Caner ALTIKULAÇOĞLU

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Selim Osman SELAM

Based on the fact that there are no astronomical observation satellites owned by our country yet, a feasibility study was done to investigate the usability of astronomical space telescopes on communication satellites belonging to our country and operated by TÜRKSAT A.S. in geostationary orbit.

May 2022, 44 pages

Key Words: Geostationary Satellite, Telescopes, Astronomical space observation

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Ticari ve askeri alana yönelik olarak faaliyet gösteren uydularımız bulunmasına rağmen bilimsel amaca yönelik olarak kullanılabilen bir gözlem uydusu için ülkemizde henüz yeterince kaynak ve mevcut planlama bulunamamaktadır.

Bu durumdan yola çıkarak mevcut ülke kaynakları dikkate alındığında uygun maliyet sunan konsept tasarımlar ile belirli ihtiyaçların karşılanabileceği düşüncesi ile bu tez çalışmasında astronomik gözlem amacına hizmet edebileceği düşünülen bir uydu gözlemevi konseptinin fizibilite çalışmasının yapılması, bu tasarım için kapsam, gereken efor ve kabaca maliyet etkisi değerlendirmesinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini paylaşıp desteklerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. Selim Osman SELAM'a ve çalışma süresince bana destek olan Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Caner ALTIKULAÇOĞLU
Ankara, Mayıs 2022

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iv
KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
1.1 Problem 2
1.2 Amaç 3
1.3 Önem 3
1.4 Tanımlar 3
2. YÖNTEM 7
3. BULGULAR VE YORUMLAR 8
3.1 Yer Sabit Yörünge Dinamikleri 8
3.2 Yıldız İzlerler 9
3.3 Dalga Boyları 12
3.3.1 Gamma ışınları 12
3.3.2 X-ışınları 13
3.3.3 Optik Bölge 14
3.3.4 Kızılötesi 15
3.3.5 Radyo dalgaları 15
3.4 Kısıtlar 16
3.4.1 Yerleşim kısıtları 16
3.4.1.1 Yer Sabit Yörünge (GEO) 16
3.4.1.2 Antenler 18
3.4.1.3 İtki sistemi 19
3.4.1.4 Güneş panelleri 20
3.4.2 Operasyonel kısıtlar 22
3.4.2.1 Güç bütçesi 22
3.4.2.2 Termal stabilite 23
3.4.2.3 Pozlama süresi 24
3.4.2.4 Görüntü aktarımı ve veri boyutu 24
3.4.2.5 Bias, Dark ve Flat 25
4. KONSEPT TASARIM 28
5. MALİYET ETKİSİ 33
5.1 Tasarım Maliyeti 33
5.1.1 Uydu Tasarım 33
5.1.2 Donanım 33
5.2 Fırlatma Maliyeti 34
5.3 Sigorta Maliyeti 37
5.4 İşletme Maliyeti 38
6. YORUMLAR 39
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 41
KAYNAKLAR 42
ÖZGEÇMİŞ 44

KISALTMALAR DİZİNİ

APS	Active Pixel Sensor
BI	Back Illuminated
CCD	Coupled Charged Device
CGRO	Compton Gamma Ray Observatory
CMOS	Complimentary Metal Oxide Semiconductor
CoG	Center of Gravity
FF	Full Frame
FoV	Field of View
FT	Frame Transfer
GEO	Geostationary Orbit
HST	Hubble Space Telescope
LEO	Low Earth Orbit
MLI	Multi Layer Insulation
NIR	Near Infra Red
TEC	Termo-Electric Cooling
UV	Ultraviolet
VIS	Visible

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Elektromanyetik ışınımın dalga boyları ve Yer atmosferini aşabilme durumu 2
Şekil 3.1 Yer sabit yörünge 8
Şekil 3.2 ESA'nın uydularında kullandığı ASTRO APS yıldız izler ekipmanı ve teknik bilgileri 10
Şekil 3.3 HYDRA yıldız izlerinin bölümlerini gösterir kesit teknik çizimi (Majewski vd. 2017). 11
Şekil 3.4 TÜRKSAT 3A uydusuna ait yıldız izlerlerin (Star Tracker) yerleşimi 12
Şekil 3.5 Chandra x-ışın gözlem uydusunun Yüksek Çözünürlüklü Ayna Düzeneği (HRMA). 14
Şekil 3.6 Yer sabit yörünge uydusunun Güneş panellerinin duruş pozisyonu 16
Şekil 3.7 Ekliptik ile ekvator düzleminde yıllık harekete göre gözlem için uygun bakış doğrultusu 17
Şekil 3.8 Ekliptik'e göre Ay yörüngesinin eğikliği 17
Şekil 3.9 Ekliptik ve Ay yörüngesi dikkate alındığında kalan gözlem bakış alanı 18
Şekil 3.10 AIRBUS-Eutelsat9B haberleşme uydusunda Dünya'ya bakan yüz 19
Şekil 3.11 Kimyasal İticilerin yerleşimi 19
Şekil 3.12 Haberleşme uydularında güneş panellerinin katlanmış ve açık görünümü 20
Şekil 3.13 Güneş panelleri üzerine yerleştirilen kanatçıklar 21
Şekil 3.14 Yıldız izler ekipmanına ait FOV ve kaçınma açıları 22
Şekil 3.15 MELCO üretimi Telemetri/Transmitter ekipmanı ve teknik özellikleri 25
Şekil 4.1 Tipik bir haberleşme uydusu ile HTS'nin kapsama alanlarının temsili karşılaştırılması (Nguyen 2020) 30
Şekil 5.1 SpaceX Falcon 9 roketi fırlatıcı fiyat bilgisi 35
Şekil 5.2 Arine Space Paylaşımlı Roket için uydu boyutsal aralıkları 36
Şekil 5.3 Yıllara göre bazı fırlatıcılar için kilogram başına maliyetler ve gelecek dönemdeki fiyat öngörüleri 37
Şekil 6.1 Konsept tasarımımızda ortaya konan görülebilir gökyüzü alanlarından bir örnek 40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 TÜRKSAT 3A haberleşme uydusu teknik özellikleri 6
Çizelge 4.1 Teledyn firmasına ait uzay kalifiye üç CCD sensörünün özellikleri 32
Çizelge 6.1 Ekvator düzleminden 30° ile 86° arası deklinasyon açıları arasından kalan bölgede gözlemlenebilecek takım yıldızlar 39

1. GİRİŞ

Hermann Noordung'un (1929) Dünya'ya göre sabit yörünge (Geostationary Orbit - GEO) kavramını tanımladığı "*Das Problem der Befahrung des Weltraums (The Problem of Space Flight)*" kitabı ve Arthur C. Clarke'ın (1945) Dünya haberleşmesinin ve yayıncılığının yere göre sabit uydular aracılığı ile nasıl yapılabileceğini anlattığı popüler bilim yazısı ile yapay uyduların ve olası kullanım alanlarının temellerinin atıldığından bahsedilebilir. 1957 yılında ise Sovyetler Birliği tarafından yörüngeye yerleştirilen Sputnik I yapay uydusu ile ilk kez uydudan yayınlanan radyo dalgaları yeryüzünden algılanmıştır.

Sputnik I ile uydu teknolojisi alanındaki gelişmeler büyük hız kazanmış, ticari ve bilimsel alanda çok çeşitli yatırımlar yapılmış ve yapay uydular hayatımızın vazgeçilmezleri arasına girmiştir.

Ülkemizde uydu serüveni ise 1990 yılında Fransız Aerospatiale ile imzalanan TÜRKSAT-1A ve TÜRKSAT-1B haberleşme uydularının üretimi ve yörüngeye yerleştirilmesi kapsamındaki sözleşme ile başlamıştır. 24 Ocak 1994 tarihinde fırlatılan TÜRKSAT-1A'nın fırlatmadan 12 dakika sonra fırlatıcı roket arızası nedeniyle kaybedilmesinden sonra 11 Ağustos 1994 tarihinde fırlatılarak yörüngesine yerleştirilen TÜRKSAT-1B uydusu ülkemiz tarafından işletilen ilk uydu olma niteliğini taşımaktadır. Günümüze kadar GEO lokasyonunda TÜRKSAT-1C, TÜRKSAT-2A, TÜRKSAT-3A, TÜRKSAT-4A, TÜRKSAT-4B ve TÜRKSAT-5A uyduları TV yayın ve data haberleşmesi kapsamında TÜRKSAT tarafından işletilmiş ve işletilmektedir.

Haberleşme uydularından sonra LEO lokasyonda Dünya gözlem amaçlı uydulara ilişkin çalışmalar ülkemizde başlatılmış olup, ülkemizin kullanımına sunulmuş olan uydular aşağıda belirtilmiştir.

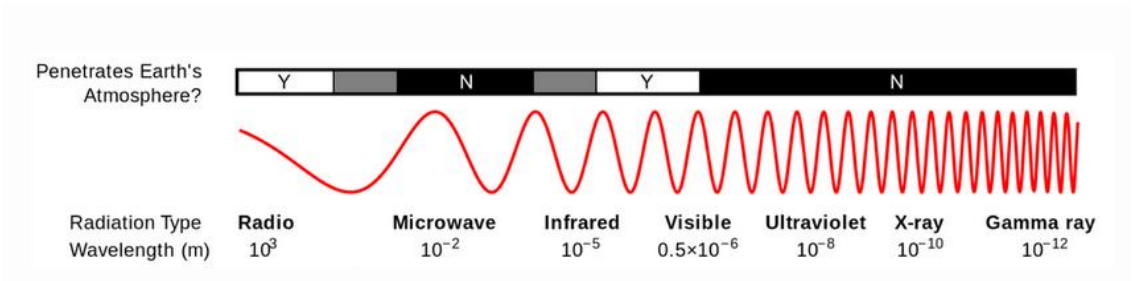
- 27 Eylül 2003 tarihinde BİLSAT,
- 17 Ağustos 2011 tarihinde RASAT,
- 18 Aralık 2012 tarihinde Göktürk-2,
- 5 Aralık 2016 tarihinde Göktürk-1

Ülkemizde ticari ve askeri alana yönelik olarak faaliyet gösteren uydularımız bulunmasına rağmen bilimsel amaca yönelik olarak kullanılabilen bir gözlem uydusu için henüz yeterince kaynak ve planlama bulunmamaktadır.

Bu durumdan yola çıkarak, bu tez çalışmasında mevcut ülke kaynakları dikkate alındığında uygun maliyet sunan konsept tasarımlar ile belirli ihtiyaçların karşılanabileceği, özellikle astronomik gözlem amacına hizmet edebileceği düşünülen ve bir uydu üzerinde çalışabilecek teleskop/kamera konseptinin fizibilite çalışması ile birlikte bu tasarım için kapsam, gereken efor ve kabaca maliyet etkisi değerlendirmesinin yapılması amaçlanmıştır.

1.1 Problem

Elektromanyetik spektrumdaki birçok dalgaboyu Dünya'nın atmosferinin sönümlemesi ya da yansıtmasından dolayı Dünya'ya ulaşamamaktadır. Şekil 1.1'de görüleceği üzere aslında sadece görünür ışık, kızılötesinin sınırlı bir parçası ve radyo dalga boyları Dünya atmosferini geçerek yeryüzüne ulaşabilmektedir. Moröte (ultraviyole, UV), x-ışın, gama ya da kızılötesi dalga boylarında gözlem yapılabilmesi için Dünya atmosferinin dışında ve genellikle Dünya yörüngesine uydu yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca Uzay teleskopları, Dünya atmosferinin bulanıklaştırıcı (blurring) etkilerinin üzerinde olma avantajına sahiptir.



Şekil 1.1 Elektromanyetik ışınımın dalga boyları ve Yer atmosferini aşabilme durumu

Ancak ülkemiz, atmosfer dışı astronomik amaçlı bir bilimsel gözlem uydusuna henüz sahip değildir. Bilimsel amaçlı olarak kullanılan benzeri uzay sistemleri için ülkemizde henüz yeterince kaynak ve planlama bulunamamaktadır. Dolayısıyla, atmosferik etkilere maruz kalmadan uydu üzerinden alınan kaliteli gözlemsel veriler, başka ülke veya ülke ortaklıklarının uyduları tarafından alınan ve bunların oluşturduğu veri tabanlarından

sağlanmaktadır. Yani, atmosfer dışı uydu kaynaklı verilerin alınması ve dağıtımı (sahipliği) hususunda ciddi bir dışa bağımlılık söz konusudur.

1.2 Amaç

Bu tez çalışmasında, hali hazırda ülkemizde TÜRKSAT A.Ş. tarafından işletilen ve TV/data haberleşmesi için kullanılan uyduların belirli astronomik gözlemleri yapabilecek yapısal uygunluğa sahip olup olmadığının değerlendirilmesi, astronomik gözlem açısından kapsamının belirlenmesi ve uygulanabilir olması durumda üretilecek yeni bir uydu için ne tür ek maliyetler getireceğinin değerlendirilerek ortaya konması amaçlanmıştır.

1.3 Önem

Ülkemizin mevcut haberleşme uyduları (TÜRKSAT) üzerinde yer alacak şekilde tasarlanacak olan ve belirli astronomik gözlemleri yapma kabiliyetine sahip bir sistemin kurulumunun gerçekleştirilmesi, ülkemizde bu alanda önemli kazanımlar elde etmemizi sağlayacaktır.

Bu şekilde tasarlanacak bir sistemin maliyetinin; spesifik olarak tasarlanan astronomik gözlem uydularının maliyetinden çok daha düşük olacağı tahmin edilmektedir. Her ne kadar Hubble, Kepler, Tess ve Gaia uydularının kabiliyetleri kadar geniş kapsamlı olmayacak olsa da gözlemsel astronomi alanında yoğun çalışmalar gerçekleştiren ülkemiz araştırmacıları için doğrudan erişebilir bir uydu gözlem verisi kaynağının oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

1.4 Tanımlar

TÜRKSAT Haberleşme uyduları Yer sabit (Geostationary) yörünge olarak tabir edilen lokasyonda yer almaktadır. Uydunun açısal hızının Dünya ile aynı olduğu bu özel yörünge sayesinde, uydunun Dünya üzerinde gördüğü kapsama alanı daima aynı kalmakta ve kesintisiz bir şekilde iletişim sağlamaya imkân vermektedir.

Uydular yapısal olarak incelendiğinde, Payload (Faydalı Yük Modülü) ve Platform (Servis Modülü) olarak iki ana kısımdan oluştuğu söylenebilir. Payload, müşterinin

ihtiyaçları doğrultusunda yapacağı görev için özel olarak tasarlanmış kısımdır. Platform ise Payload'un görevini sağlıklı bir şekilde yapması için gereken ortam şartlarını sağlayan ve ihtiyaçlara göre bunları düzenleyen kısımdır.

Jenerik (genel-geçer) olarak bir uydunun platform kısmını oluşturan alt sistemler ve görevleri aşağıdaki başlıklar altında kısaca özetlenmiştir:

Yapısal Alt Sistem (Structural Subsystem (S/S)): Yapısal Alt Sistemi'nin temel işlevi uydu üzerindeki bütün alt sistemlerin bir arada tutulmasını sağlamaktır. Bu nedenle Yapısal Alt Sistem bileşenlerinin yer operasyonları, fırlatma ve yörünge ömrü boyunca ortaya çıkabilecek mekanik yüklere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Merkezi silindir, yapısal paneller gibi elemanlar bu alt sistem içerisinde yer almaktadır.

Isıl Kontrol Alt Sistem (Thermal Control Subsystem T/C/S): Uydunun bulunduğu ortamda ısıl etkilere karşı korunması ve uydu için tanımlanan operasyonel en yüksek ve en düşük sıcaklık senaryolarında, ekipman ve alt sistem sıcaklıklarının belirtilen sınırlar içerisinde kalmasını sağlayan alt sistemdir.

İtki Alt Sistemi (Propulsion Subsystem P/S): Uydunun görev yörüngesine transfer, transfer yörüngesinde yönelim kontrol, görev yörüngesinde mevzi koruma, momentum boşaltma ve mezarlık yörüngesine transfer manevralarını gerçekleştirmek için kullanılan alt sistemdir. Genelde kimyasal ve elektrikli olmak üzere iki tür itki alt sistemi mevcuttur. İtki motorları, yakıt ve basınç tankları bu alt sistem içerisinde yer almaktadır.

Yönelim ve Yörünge Kontrol Alt Sistemi (Attitude and Orbital Control Subsystem A/O/C/S): Bu alt sistem uydunun uzayda belirli bir konumda durmasını sağlamaktadır. Uydu üzerinde otonom bir şekilde yörünge, yönelim ve açısal hız belirlemesi yapan alt sistemdir.

Uydunun Dünya üzerinde belirlenen odak noktasına göre sensörler ile duruş bilgisini elde eden ve sapmaları hesaplayan alt sistemdir.

Ayrıca yerden gelen bir başlangıç yörünge bilgisinin ilerletilmesi ile istenen bir zaman için uydunun konumu ve hızı; Güneş ve Ay konumları ile tutulma zamanları hesaplayan; uydu üzerinde ihtiyaç duyulan koordinat dönüşümü işlevleri gerçekleştiren algoritmalara sahiptir. Yörüngenin yanında yönelim ve açısal hız ölçümleri ile kestirimleri de yapabilmektedir. Yıldız izler sensörü, güneş algılayıcı, dönüölçer, tepki tekeri ve kızılötesi dünya dedektörü bu alt sistem içerisinde yer almaktadır.

Uydu Yönetim Birimi Alt Sistem (Satellite Management Subsystem S/M/S): Uydunun tüm işlevlerini yönetmekten ve denetlemekten sorumlu birimdir. Sahip olduğu otonomi özelliği ile uydunun sağlığını denetler ve acil durumlarda uyduyu güvenli moda alır. Yer İstasyonu ile olan tüm haberleşme işlevlerini yönetir.

Uydunun yörünge ömrü boyunca üzerindeki yazılımı ile sistemlerin fonksiyonlarını yerine getirmesini sağlayarak yöneten alt sistemdir. Uydudaki tüm alt sistemden telemetri alarak uydunun yönetimini, verilerin arşivlenmesini ve hata durumlarında otonom olarak gerekli aksiyonları alan alt sitemdir.

Bu alt sistemin temel görevleri;

- Komutların gönderilmesi,
- Ölçümlerin toplanması,
- Diğer alt sistemlerin denetlenmesi ve kontrol edilmesi,
- Zaman kontrolünün yapılmasıdır.

Telemetri, Telekomut ve Mesafe Ölçüm Alt Sistem (Telemetry Commanding and Ranging Subsystem T/C/R/S): Uydu ile yer istasyonu arasındaki iki yönlü bilgi aktarımına imkân sağlayan birimdir. Uydu yaşam döngüsünün tüm aşamalarında yer istasyonu ile iletişimi sağlar. Uyduya gelen uz komutlarını görev bilgisayarına aktaran ve görev bilgisayarında oluşturulan uz ölçüm verilerinin yer kesimine iletilmesi işlemlerini gerçekleştiren aktif ve pasif Radyo-Frekans (RF) ekipmanlardan oluşur. Yer istasyonundan gelen mesafe ölçüm sinyalini tekrardan yer istasyonuna göndererek uydunun mesafe ölçüm işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlar. TTM Alt Sistemi bunların yanında işaret sinyali gönderimi de yapabilmektedir.

Güç Alt Sistem (Power Subsystem PWR/S): Güç Alt Sistemi, uydu faydalı yüklerine ve platform birimlerine tüm öngörülen koşullarda, tüm görev fazlarında güvenilir enerjiyi sağlamak ve hata yayılımını önlemekten sorumlu birimdir. Güç Alt Sistemi elektrik enerjisini üreten, depolayan, kontrol eden, düzenleyen ve dağıtan alt birimlerden oluşmaktadır. Güneş Panelleri, Bataryalar, güç regülasyonu ve dağıtım ekipmanları bu alt sistem içerisinde yer almaktadır.

Bu tip uydulara örnek vermek açısından TÜRKSAT 3A uydusunun bazı teknik özellikleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 TÜRKSAT 3A haberleşme uydusu teknik özellikleri

Kütle	3,060 kg
Boyutlar	2.8m x 2.3m x 1.8m (fırlatma konfigürasyonu için)
Güç	8500 Watt
Görev yeri	42 derece Doğu Boylamı
Ömrü	Yaklaşık 20 yıl
Transponder (Aktarıcı)	24 adet Ku band

2. YÖNTEM

Yer sabit yörüngede haberleşme amacıyla işletilen bir uyduya entegre edilebilecek bir teleskop için en az maliyet ve tasarım gereksinimi ile belirlenecek kısıtlamalara uyum sağlayabilecek bir optimum çözüm bulunmaya çalışılacaktır. Optimum çözüm için referans olarak kullanılacak başlangıç noktası, yer sabit yörünge haberleşme uyduları ve farklı birçok yörüngedeki uydu tasarımında hali hazırda kullanılan yıldız izler (star tracker) cihazları olacaktır. Bu cihazlar işlev, ebat, yerleşim ve çalışma sıcaklığı gibi birçok açıdan düşünülen konsept tasarım için uygun argümanları barındırmaktadır. Öncelikle bu cihaz kısaca irdelenerek konsept tasarımda kullanılabilecek kriterler değerlendirilecektir.

Daha sonra gözlem için elverişli olan dalga boyları değerlendirilerek elde edilen kriterler ile tasarlanabilecek bir teleskop için temel bilgiler elde edilmeye çalışılacaktır.

Uzayda hizmet veren uydularda birçok kısıtlama bulunmaktadır. Yörünge düzlemi, yerleşim, ısıl denge, kirlilik, enerji gibi. Bu alanlardaki değerlendirmeler ile kapsam ve kriter sayısı daraltılmaya çalışılacaktır.

Elde edilen tüm kriterler ile konsept tasarım teleskobun hangi misyon ve hangi bakış doğrultusunda gözlem yapabileceği ortaya konacaktır. Ortaya çıkan tasarıma göre gözlem yapılabilecek alana giren gökyüzü bölgeleri, içeriğinde Gaia ve Hipparcos gibi yıldız katalogları bulunan uygun bir haritalama programı kullanılarak belirlenecektir.

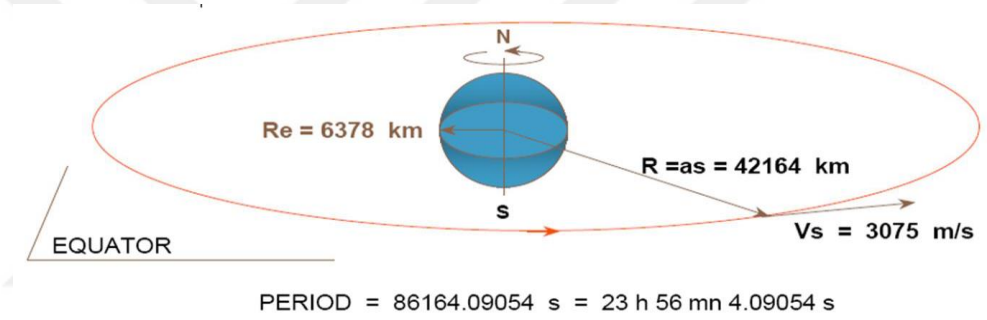
Son kısımda ise elde edilen konsept için tasarım, fırlatma, işletme gibi faktörlerin maliyet etkileri değerlendirilecektir.

3. BULGULAR ve YORUMLAR

Bu kısımda Yer sabit yörünge dinamiklerinden, Bölüm 2'de bahsedilen ve yörünge yönelim alt sistemi ekipmanı olan yıldız izler ekipmanından, mevcut konsept için uygun dalga boylarından ve işletme açısından meydana gelebilecek kısıtlardan bahsedilecektir.

3.1 Yer Sabit Yörünge Dinamikleri

Yer sabit (Geostationary) yörünge olarak tabir edilen lokasyonda yer alan TÜRKSAT Haberleşme uyduları, ekvator düzleminde ve Yer yüzeyinden yaklaşık 35,678 km uzaklığındadır (Şekil 3.1). Uydunun açısal hızının Yer'in açısal dönme hızına eşit olduğu bu yörünge sayesinde uydu Yer üzerinde değişmeyen bir kapsama alanına sahip olur ve bu alanla kesintisiz bir şekilde iletişim sağlar.



Şekil 3.1 Yer sabit yörünge

Uydu platformunda yer alan sensörler ve eyleyiciler, uydunun haberleşme için kullanılan anten grubunun bulunduğu yüzünün sürekli olarak Dünya'ya dönük kalmasını sağlayacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Böylece kesintisiz bir iletişim elde edilir.

Astronomik gözlem amaçlı uzay teleskoplarının birçoğunda gözlem yapılması için seçilen bir alan doğrultusunda uydunun yöneliminin stabil kalması, dolayısıyla uzun pozlama süresi ile kaliteli ve sürekli gözlem yapılması istenir. Benzer nitelikte bir gözlemin yer sabit yörüngede çalışan bir uydu üzerindeki teleskop ile sağlanabilmesi için teleskobun hareket kabiliyetinin olması gerekmektedir. Bu kabiliyete sahip bir teleskop sistemi için teleskobun ilave bir hareketli mekanik düzenek ile beraber entegre edilmesi gerektiği aşikardır.

Küçük bir değerlendirme yapmak gerekirse bu tip bir mekanizmanın radyasyon etkisiyle yıpranabileceği mutlaka dikkate alınmalıdır. Ayrıca bahse konu mekanizmanın yapacağı her açısal adım hareketinin ilave bir tork yaratacağı, teleskobun hizalanma açılarını bozmaması için yüksek hassasiyetle stabilizasyon sağlayan ek donanımlar gerektireceği akıldan çıkarılmamalıdır. Bu ve buna benzer hareket edebilen sistemlerin tasarıma yüksek maliyetler getirdiği bilinmektedir.

Dolayısıyla, optimum çözüm kapsamında bu tez çalışmasında uydu üzerinde sabit yerleşimli bir teleskop konsept tasarımı üzerinden devam edilmesi tercih edilmiştir.

3.2 Yıldız İzlerler

Tezde referans olarak kullanılacak olan yıldız izler ekipmanı, yıldızların önceden belirlenmiş konum bilgisinden hareketle uydunun yönelim bilgisinin hassas bir şekilde kestirilmesine imkân sağlayan cihazlardır. Genel olarak baffle, optik birim, dedektör ve elektronik kutu olmak üzere 4 ana birimden oluşmaktadır. Örnek olması açısından ESA'nın uydularında kullanılan ASTRO APS yıldız izlerinin görseli ve teknik özellikleri Şekil 3.2'de verilmiştir.

Size & Mass		
Dimensions	154 mm x 154 mm x 237 mm	including baffle
Mass	approx. 2 kg	including baffle, GEO-shielding, DC/DC-converter, MIL1553
Imaging System Design		
Optics	refractive, focal length 43 mm, f/1.2	aspherical lens technology, rad-hard glass material
Detector Resolution	1024 x 1024 pixels	
Field of View	20 deg	circular
Detector Options	HAS2	APS CMOS radiation tolerant
	STAR1000	APS CMOS radiation hard
Temperature Range		
Operational	-30 °C ... +60 °C	typical cooler controller set point at TAPS=+30°C
Non-operational	-40 °C ... +70 °C	
Attitude Performance		
Random Error	< 1 arcsec [1σ], across boresight < 8 arcsec [1σ], boresight	includes LSFE, HSFE, TE
Bias Error	< 5 arcsec, all axes	over full operational temperature range
Acquisition Time	< 10 sec, after switch-ON < 5 sec, re-acquisition "lost in space"	direct entry to attitude tracking with apriori information
Slew Rate & Acceleration	< 0.3 deg/sec, ≤ 0.3 deg/sec²	full performance
	≤ 3.0 deg/sec, ≤ 2.0 deg/sec²	STAR1000 single head capability
	≤ 5.0 deg/sec, ≤ 7.0 deg/sec²	HAS2 single head capability
Sensitivity	6.0mi G0-reference star	end of life performance
Sampling Rate	10 Hz	
	16 Hz	others up to 32 Hz on demand
Stray Light	Sun: 26 deg exclusion angle	half cone
	Earth: < 20 deg	depending on orbit height and Earth illumination conditions
	Moon: accepted in field of view	
Interfaces		
Data	MIL-STD-1553B	optional selectable, others on demand
	RS422	
Power	28V nominal	optional selectable for either regulated or unregulated
	50V nominal	primary power s/c bus architectures
	100V nominal	other voltages on demand
Power Consumption		
MIL-STD-1553B	< 6 W, Peltier Cooler OFF	end of life
data interface	< 12 W, Peltier Cooler ON_{MAX}	
RS422	< 5 W, Peltier Cooler OFF	end of life
data interface	< 11 W, Peltier Cooler ON_{MAX}	
Operations		
Reliability	460 FIT, $T_{I/F}$=20°C	with Class 1 EEE parts
Operational Modes	Boot	fully autonomous mode switching from Power-ON to NAT
	Standby-Mode	by software parameter set-up possible
	Autonomous Attitude Determination (AAD)	
	Nominal Attitude Tracking (NAT)	
	Photo, Upload/Download, Self-Test	

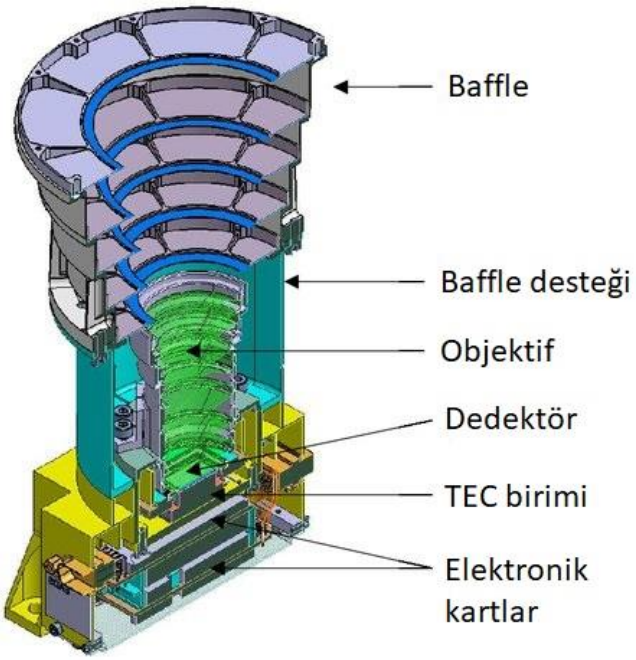


Şekil 3.2 ESA'nın uydularında kullandığı ASTRO APS yıldız izler ekipmanı ve teknik bilgileri

Bir yıldız izlerin yapısında;

- İstenmeyen ışıkların dedektör üzerine düşmesini önleyen Baffle
- Görüntü oluşturma işlevini yerine getirmek amacıyla tasarlanan optik birim, yani objektif (genellikle mercek kombinasyonlarından oluşur).
- Işığı (fotonları) elektronik sinyallere dönüştüren CCD (Charged Couple Device), CMOS (Complimentary Metal Oxide Semiconductor), APS (Active Pixel Sensor) gibi matris optik algılayıcılar ve bu algılayıcıları soğutan termo-elektrik soğutucuların (TEC) bulunduğu birim,
- Optik algılayıcılar ve TEC'nin işlevlerini kontrol eden elektronik kutu

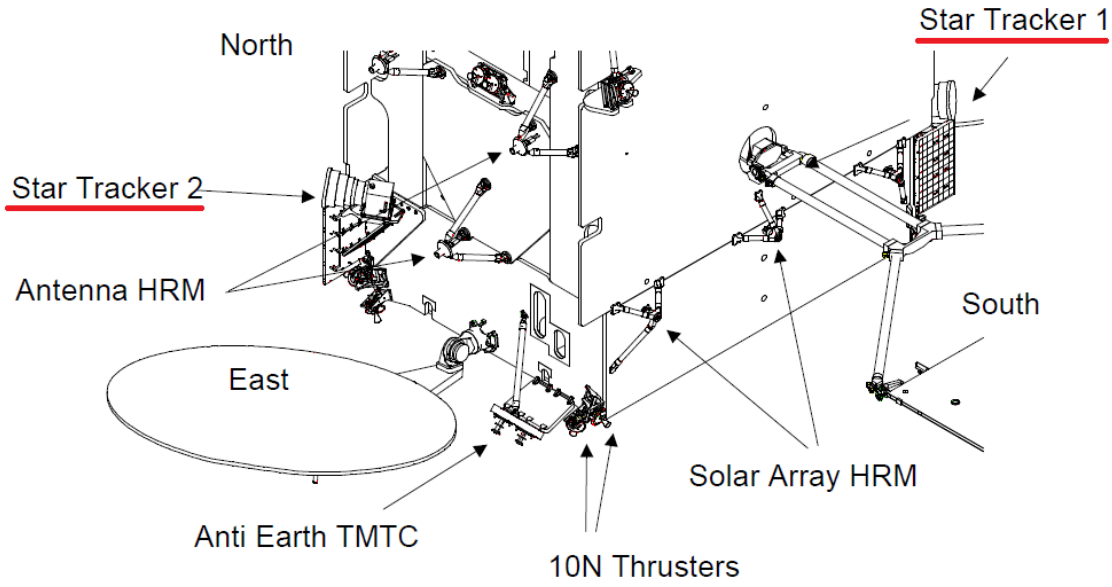
bulunmaktadır. (bkz. Şekil 3.3)



Şekil 3.3 HYDRA yıldız izlerinin bölümlerini gösterir kesit teknik çizimi (Majewski vd. 2017).

Bu ekipmanın, Şekil 3.3'de yer alan tasarım kesitinden de görüleceği üzere, odak düzlemine bir CCD kamera yerleştirilmiş tipik bir teleskop yapısında olduğu söylenebilir. Temel görevi ise elde etmiş olduğu görüntüleri belleğinde bulunan yıldız haritaları ile eşleştirerek konum belirleme amacı için anlamlandırılmış gökyüzü görüntüleri oluşturmaktır. Tipik yıldız izlerler 6-8 kadire kadar olan yıldızları tespit edebilme imkânına sahiptirler ve uydu üzerinde sabit bir konumda bulunmaktadırlar. Uydu yöneliminin sağlanması için kullanılan ana sensör olduğundan tam zamanlı olarak çalışırlar.

Bu ekipmanın tipik bir teleskop olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yapılacak konsept tasarımda boyut, ısıl özellik, güç bütçesi ve bakış doğrultusu (görüş alanı) gibi yönlerden uygun bir model olacağı düşünülmüştür. TÜRKSAT örneği olması açısından bu ekipmanın TÜRKSAT 3A uydusu üzerindeki yerleşimi Şekil 3.4 'te verilmiştir.



Şekil 3.4 TÜRKSAT 3A uydusuna ait yıldız izlerlerin (Star Tracker) yerleşimi

3.3 Dalga Boyları

Aşağıda maddeler halinde farklı dalga boylarında gözlem yapabilen teleskopların konsept tasarım için uygunluk durumu değerlendirilecektir. Dolayısıyla uyduya minimum düzeyde yapısal ilave yük getirecek sistem üzerinde çalışabilmek açısından gözlem yapılabilecek dalga boylarının kapsamını belirlememiz fayda sağlayacaktır.

3.3.1 Gamma ışınları

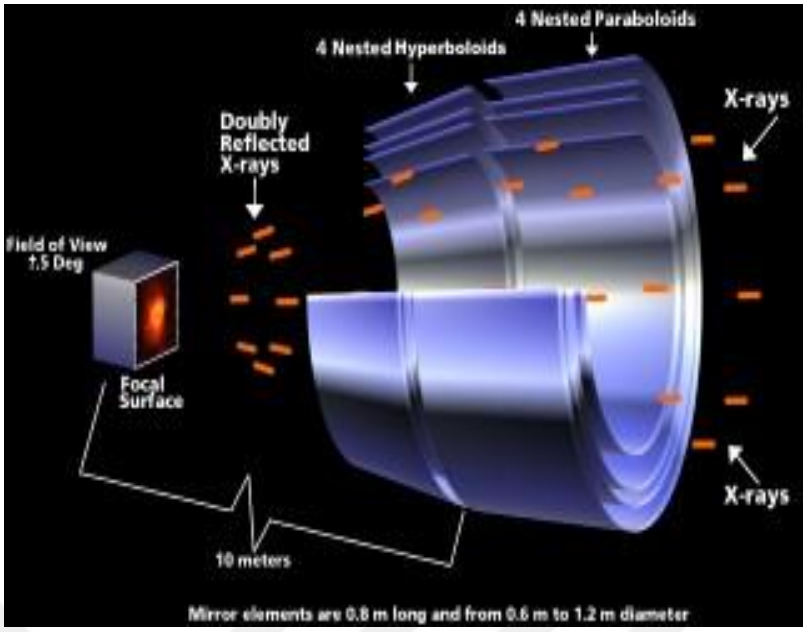
Gama ışınları, elektromanyetik tayfın en kısa dalgaboylu (yaklaşık 0,1 angstrom veya daha az) ışınım bölgesindedir ve bu nedenle elektromanyetik tayfdaki en yüksek enerjilere sahiptirler. Foton enerjisi ne derece yüksek olursa geçtikleri ortamla etkileşimleri o derece azalır. Belirli bir eşik dalga enerjisine sahip fotonlar içinden geçtikleri maddenin elektronlarıyla çarpışarak yönlerini değiştirebilirler. Ancak, Gama ışınları çok yüksek enerjili fotonlar ile taşındığından standart bir optik teleskobun aynasından hiç etkileşmeden geçip giderler. Bu nedenle gama ışınlarını algılamak için "Compton Etkisi" adı verilen olguyu temel alan teleskop/algılayıcı türleri kullanılır. Gama ışınları, parıldama dedektörü (Scintillation detector – Gama Radyasyonu fotonunun düşük enerjili ışık fotonu haline dönüşmesi) gibi özel olarak tasarlanmış bir cihazda malzeme ile etkileşime girdiğinde ürettikleri optik flaşlar sayesinde algılanırlar. Algılanan yüklü parçacık türünden, onun saçılmasına sebep olan gama ışınının enerjisi

(dalgaboyu) hakkında ve hangi açıyla algılayıcı materyaline çarptığı gibi bilgiler elde edilir. Bu şekilde doğrudan algılanamaz olan gama ışınları dolaylı yoldan algılanmış olur. Ancak daha kompakt yapılar üzerinde çalışmalar olsa da (3U Sat gibi) bu misyon için kullanılan CGRO uydusu ve FERMI gama ışını uzay teleskobu gibi sistemler incelendiğinde, düşünülen konsept tasarımda değerli verilerin elde edilebilmesi için yeterli yerleşim alanın olmayacağından bu çalışma için kapsam dışında tutulmuştur.

3.3.2 X-ışınları

X-ışınları, enerjisi yüksek fotonlar aracılığı ile taşınan görece kısa dalgaboylu elektromanyetik dalga biçimidir. Gama ışınlarının odaklanması imkansız iken x-ışınlarının belirli noktaya odaklanması olasıdır. Ancak, bu odaklama görünür ışık için kullanılan tekniklerden biraz farklıdır ve daha zordur. X-ışınları özel olarak geliştirilmiş bir ayna sistemi ile bir noktaya odaklanabilir. Burada kritik öneme sahip olan kavram, x-ışın fotonlarının yansıtılması için kullanılacak ayna yüzeyine çarpma (geliş) açılarıdır. X-ışınları söz konusu olduğunda dikkate alınması gereken durum tüm maddelerin kırılma indisinin yaklaşık 1 olacak şekilde davranmasıdır. Bu da kıran ortam olarak ne kullanırsak kullanalım kırılma indisinin, "boşluk (vakum)" ortamının kırılma indisine eşit olacağı anlamına gelir. X-ışınları mercekli bir teleskop ile kırıldığında, sapma açısı son derece küçük olur ve bu durumda oldukça büyük bir odak uzaklığı ile karşı karşıya kalırız. Çünkü X ışınları kritik bir açıdan (~1º) daha büyük bir geliş açısı ile bir yüzeye çarptıklarında yansımayacaklar ya soğurulacak ya da yüzey yeteri kadar ince ise hiç etkileşmeden içinden geçeceklerdir.

X-ışınlarının sahip oldukları yüksek enerji, onların pratikte merceklerle kırılarak odaklanmasına uygun değildir. Görünür bölgede kullandığımız parabolik yüzeyli aynalar da kullanılamaz, çünkü x-ışınları kritik bir açıdan (~1º) büyük bir açı ile bir yüzeye çarptıklarında yansımazlar, ya soğurulurlar ya da yüzey yeteri kadar inceyse hiç etkileşimde bulunmadan geçip giderler. Bu nedenle enerisi 10 keV'dan daha düşük olan x-ışınlarını odaklamak için küçük açı yansıtmalı ayna sistemleri (yüzey alanını genişletmek için iç içe geçirilmiş yüzük şeklinde silindirik yapılar) kullanılır. Şekil 3.5'te Chandra X-ışın Teleskobu'nun aynasına ait tasarım şeması verilmiştir. Kullanılan ayna biçimleri, ebatları ve açıklık dikkate alındığında düşünülen konsept tasarım için fazla yer kaplayacağından dolayı bu tez çalışması kapsamı dışında tutulacaktır.



Şekil 3.5 Chandra x-ışın gözlem uydusunun Yüksek Çözünürlüklü Ayna Düzeneği (HRMA)

3.3.3 Optik Bölge

Optik teleskoplar elektromanyetik tayfın "Görünür Bölge" olarak adlandırılan ve ağırlıklı olarak 350-800 nm dalgaboyları aralığını kapsayan kısmındaki ışığı toplayarak odak düzleminde odaklayan teleskop türüdür. Bu tür teleskoplar, izlenecek gök nesnelerinin, gözümüzün algılayabildiği ışık bölgesinde doğrudan görüntülerinin belirli büyütme oranlarında elde edilmesi amacıyla kullanılır. Odak düzlemlerinde oluşturdukları bu görüntüler konvansiyonel fotoğraf çekme teknikleri veya elektronik görüntü sensörleri ile kaydedilerek işlenebilir veri haline getirilir. Özet olarak, optik teleskoplar esasen elektromanyetik tayfın görünür bölgesinde ilgilendiğimiz gök cisimlerinin ışınım özelliklerini barındıran fotonları veri olarak kaydetmemize aracı olurlar.

Optik teleskopların üç ana tipi vardır:

- Kırılmalı teleskoplar (refraktörler), ışık (foton) toplama yüzeyi olarak mercekleri kullanır, teleskoba gelen ışık objektif de denen bu yakınsak mercekten geçer burada kırılır ve göz merceğine (okülere) odaklanır.
- Yansıtmalı teleskoplar (reflektörler), ışık (foton) toplama yüzeyi olarak aynaları kullanır, teleskoba gelen ışık objektif görevi gören birincil aynaya gelir, buradan

odaklanarak yansıtılır ve ikincil aynaya gönderilir. İkincil ayna odaklanmış görüntüyü yansıtarak kullanıcının izleme yapacağı odak düzlemine iletir. Tipik basit örneği Newton tipi (Newtonian) teleskoptur.

- Katadiyoptrik teleskoplar ise, hem kırılmalı hem de yansıtmalı teleskopların özelliklerini taşırlar. Hem mercek hem de aynaların görüntü elde etmek için kullanıldığı hibrit optiklere sahiptirler.

Konsept tasarım için yapısal gereksinimlerin sağlanabileceği uygun bir dalga boyu aralığı olduğu söylenebilir.

3.3.4 Kızılötesi

Elektromanyetik tayfın görünür bölgesindeki ışınıma oranla daha uzun dalgaboylarına sahip olan kızılötesi ışınımı toplamak için kullanılan teleskop ve algılayıcılar genel olarak görünür bölge teleskopları ile benzerdir.

Temelde görüntüleme sistemlerinin çalışma prensibi görünür bölgedekilerle aynı olsa da kızılöte bölgede kullanılan algılayıcıların farkı ciddi seviyede ve hassas olarak soğutma ihtiyacı hissetmesidir. Doğadaki her türlü madde içinde bulundukları ortama göre sahip olacakları sıcaklıklarından dolayı ısınır ve ışınım yapar. Oda sıcaklığında olan nesneler çoğunlukla elektromanyetik tayfın kızılötesi bölgesinde ısısal ışınım yaparlar. Eğer algılayıcımızı mutlak sıfır seviyesinde (273 K) veya buna yakın değerlerde soğutamazsak, bizden çok uzaktaki gökcisimlerinden gelen zayıf kızıötesi ışınım yakın çevremizden yayılan ardalan ışınımı tarafından bastırılır. Soğutma yeryüzünde kullandığımız kızılöte optikler ve algılayıcılar için çok büyük bir sorun teşkil etmese de, uydularda beklenen düzeyde başarı sağlayacak soğutma işlemini yapmak oldukça zordur. Önemli ölçüde ek donanım ve maliyet yükü getirir. Ayrıca, tasarlanmakta olan sistemin ömrüne belirli bir sınır da koyar.

3.3.5 Radyo dalgaları

Radyo dalgaboylarında sinyalin yakalanması için çok büyük çapta antenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez kapsamındaki hedef platform ve bunun tasarıma getirdiği kısıtlardan dolayı radyo dalgaboylarında çalışan bir teleskop, konsept tasarım fikirlerinin dışında tutulmuştur. Ayrıca, TÜRKSAT uydularımızın haberleşme ve yayın

sistemi radyo dalgaboylarını kullandığından dolayı, yayınlarda bozucu etkiler yaratma olasılığı da vardır. Zaten TÜRKSAT'larda mevcut olanlara ek ve oldukça büyük bir radyo antenin konsept tasarımda kullanılması hiç uygun değildir.

3.4 Kısıtlar

3.4.1 Yerleşim kısıtları

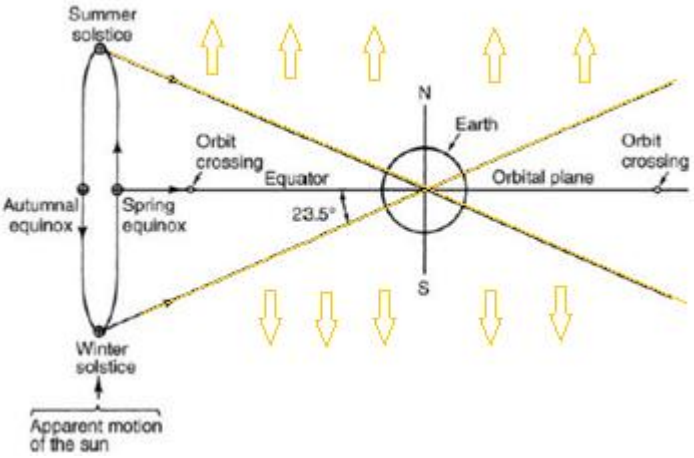
3.4.1.1 Yer Sabit Yörünge (GEO)

Yer sabit bir yörüngede işletilen haberleşme uydularında, güneş panelleri, maksimum verim açısından Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ekvator düzlemine dik olacak şekilde konumlandırılır.



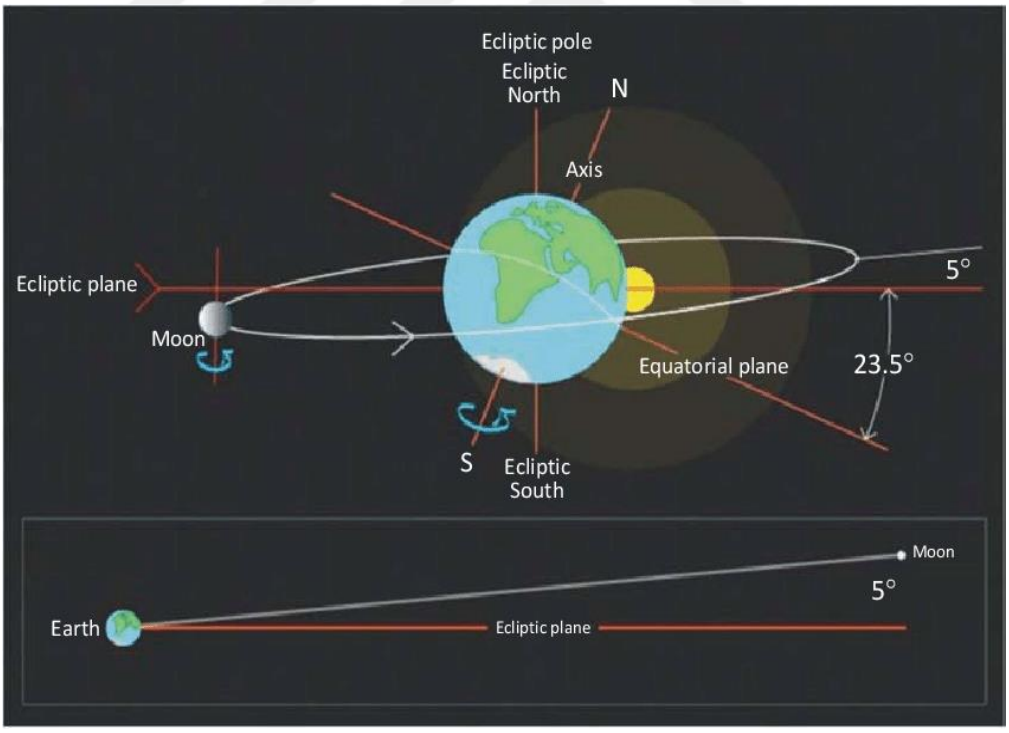
Şekil 3.6 Yer sabit yörünge uydusunun güneş panellerinin duruş pozisyonu

Konumlandırılması planlanan teleskop şayet Güneş gözlemi amacı ile kullanılmayacak ise Güneş'ten kaynaklanan ışık kirliliğine maruz kalmaması tercih edilmelidir. Bu kapsamda uydunun Yer ile birlikte ekliptik düzlemdeki yıllık hareketi göz önünde bulundurulduğunda 23.45°'lik eğikliğin hariç tutulduğu bakış alanı Şekil 3.7'de verilmektedir.



Şekil 3.7 Ekliptik ile ekvator düzleminde yıllık harekete göre gözlem için uygun bakış doğrultusu

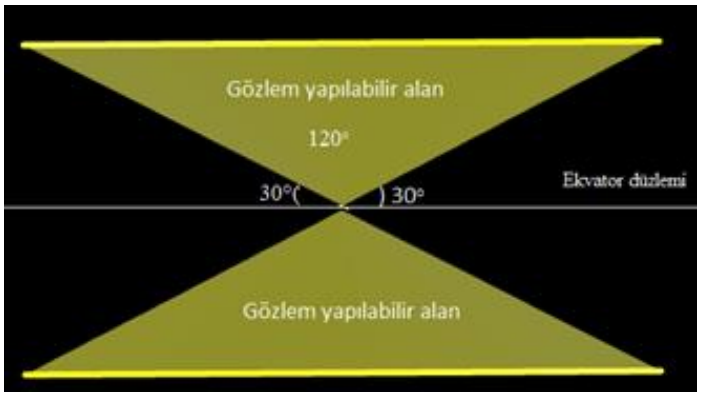
Aynı şekilde Ay'dan yansıyan Güneş ışınlarının kirliliğinden tamamen kaçınmak için ise Şekil 3.8'deki Ay'ın ekliptik düzlem ile yapmış olduğu +/- 5 °'lik açıyı da dikkate almamız gerekmektedir.



Şekil 3.8 Ekliptik'e göre Ay yörüngesinin eğikliği

Güneş ve Ay'dan kaynaklı kısıtlamalar dikkate alındığında ekvator düzlemine göre yaklaşık +/- 30° kullanılamayacak gözlem alanının bulunduğu anlaşılmaktadır.

Tersinden bakılırsa kabaca Şekil 3.9'da gösterildiği üzere +y ve -y eksenlerinde 120° tepe açısı olan koni şeklinde bir gözlem alanımızın kaldığından söz edilebilir.



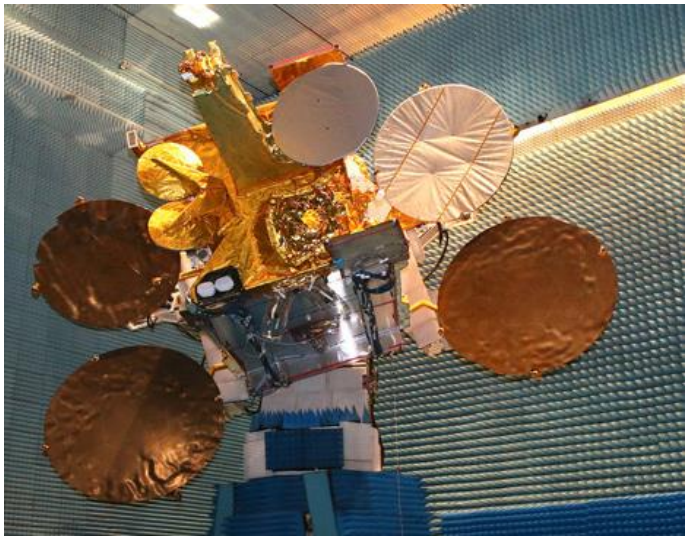
Şekil 3.9 Ekliptik ve Ay yörüngesi dikkate alındığında kalan gözlem bakış alanı

Uydu yapısalının dış kısmında yer alan ekipmanların yerleştirilmesi düşünülen teleskobun görüş açısını engelleme durumlarının da dikkate alınması gerekmektedir. Bu kapsamda temel olarak engellemeleri oluşturabilecek ekipmanlar aşağıda sıralanmıştır.

- Antenler
- Güneş panelleri
- İtki sistemleri

3.4.1.2 Antenler

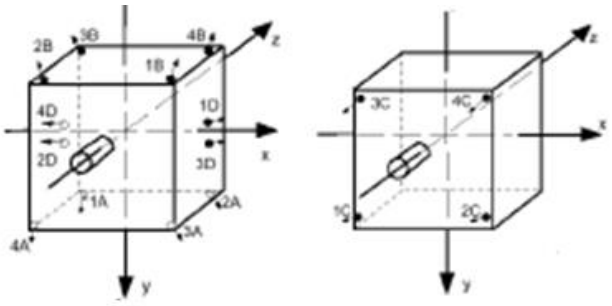
Haberleşme uydularında TV/data haberleşmesi ve veri alışverişini sağlayan alıcı-verici antenler bulunmaktadır. Bu antenlerin dünyaya bakan panelde sabit antenler, doğu-batı yönündeki panellerde de açılabilir antenler yer almaktadırlar. Dolayısıyla, bu alanda yoğun bir yerleşim vardır. İlave bir teleskobun bu alana yerleşimi ve işletilmesi uygun değerlendirilmemektedir. Fikir vermesi açısından bir haberleşme uydusu örneği Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 AIRBUS-Eutelsat9B haberleşme uydusunda Dünya'ya bakan yüz

3.4.1.3 İtki sistemi

Uydunun hedef yörüngeye varması ve yörünge düzeltmeleri için kimyasal veya elektrikli itki sistemleri kullanılmaktadır. Örnek olarak kimyasal itki sistemine ait itici motorların yerleşimi Şekil 3.11'de görünmektedir. Harf ve rakamla ifade edilen ve hemen hemen uydu yapısalının tüm yüzey lokasyonlarında yer alan ve yörünge düzeltme manevraları için kullanılan yardımcı iticiler ile silindir şeklinde -z ekseninde (Dünya'ya bakan yüzün tersi) görünen yapı ise uydunun fırlatıcıdan ayrıldıktan sonra hedef yörüngeye ulaşması için yörünge yükseltme manevralarında kullanacağı ana iticidir.



Şekil 3.11 Kimyasal İticilerin yerleşimi

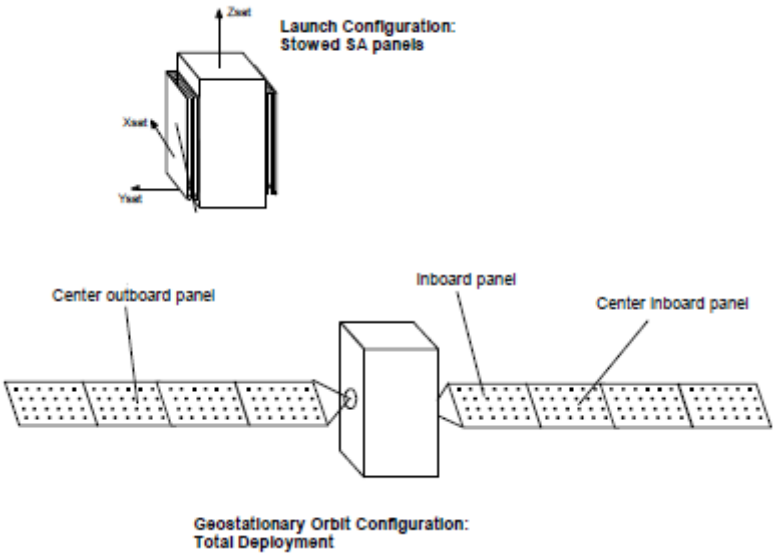
Bu ekipmanlar kimyasal tepkime sayesinde itme kuvveti oluşturarak uydunun yörüngesinde bozucu etkilerden kaynaklanan eğiklik ve basıklık değişimlerini kontrol altında tutmak için istenilen yönde hareketleri sağlamaktadırlar. Tepkime esnasında

oluşan atık parçacıklar optik yüzeyi olan ekipmanlar üzerinde kirlenme etkisi oluşturmakta ve ekipmanın sağlıklı çalışmasını engelleyebilmektedir. İtki sisteminden kaynaklı bu etki analizler ile saçılma davranışı modellenerek, optik cihazlar üzerinde kirlenme oluşmayacağı şekilde uygun lokasyona yerleştirilmektedir. Uydunun tasarımına göre değişkenlik gösteren bu etki bu çalışmada dikkate alınmamakla birlikte, ana motorun bulunduğu ve görev yörüngesindeyken dünyayı görmeyen yüzeyde bir teleskop bulunmasının optik üzerinde oluşturacağı kirlenmeden dolayı kısıt oluşturabileceği değerlendirilmektedir.

Yardımcı itkilerin teleskobun optiği üzerinde oluşturabileceği kirlenme miktarının öngörülebilmesi için detaylı saçılma analiz çalışmaları yapılması gerekmektedir. Bu analiz tasarım aşamalarında gerçekleştirilmekte olup teleskobun yerleşim lokasyonunu ve bakış doğrultusunun belirlenmesinde rol oynayacaktır.

3.4.1.4 Güneş panelleri

Uydunun kuzey-güney doğrultusunda yer alan güneş panelleri, fırlatma aracına sığabilmesi için Şekil 3.12'deki gibi katlanılabilir şekilde dizayn edilmektedirler.

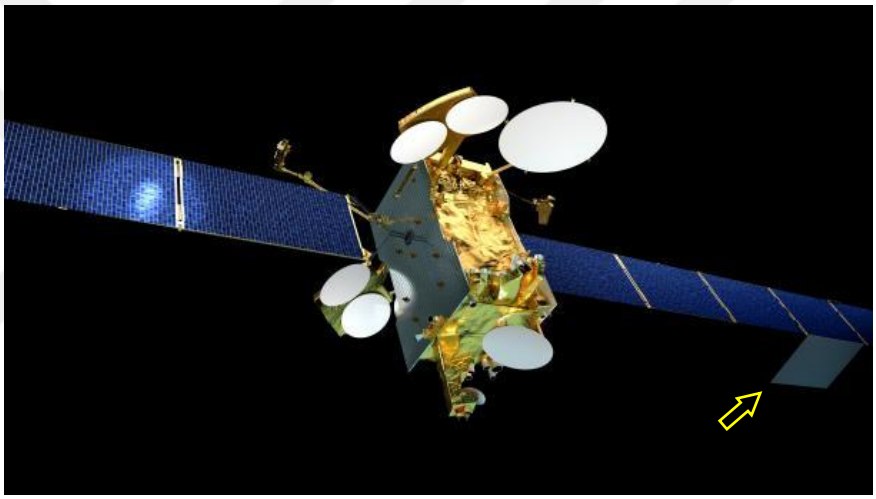


Şekil 3.12 Haberleşme uydularında güneş panellerinin katlanmış ve açık görünümü

Şekil 3.12'den de görüleceği üzere güneş panellerinin bulunduğu panele teleskop konumlandırmak makul bir çözüm olarak değerlendirilmemektedir.

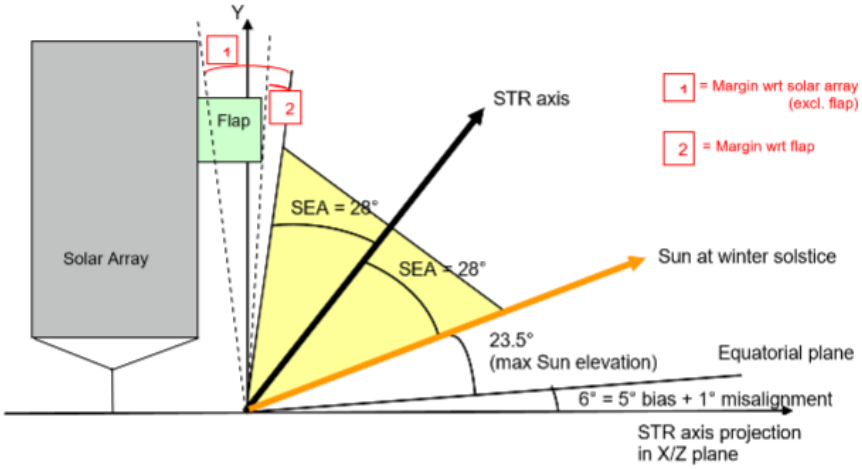
İlave olarak yılın Ekinoks zamanlarındaki kısa bir period (en uzun 72 dk) haricinde sürekli olarak güneşi gören Güneş panellerinden maksimum enerji üretilebilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda Güneş ışınlarının mümkün olduğu oranda dik gelebilmesi ve y ekseninde (ekvator düzlemine dik) 360° dönebilmesini sağlayan güneş paneli yönlendirme mekanizmaları mevcuttur. Dolayısı ile güneş panelleri gün içerisinde x ekseninde (ekvator düzlemine paralel) çember hareketi yapmaktadır.

Ayrıca Airbus DS firması tarafından geliştirilmiş olan E3000 platformunda olduğu gibi bazı uydu platform tasarımlarında Şekil 3.13'de görüleceği üzere güneş paneli üzerine yerleştirilen kanatçıklar yer almakta olup yörünge yönelim kapsamında kullanılmaktadır. Bu husus da görüş alanında kısıt meydana getirecektir.



Şekil 3.13 Güneş panelleri üzerine yerleştirilen kanatçıklar

Şekil 3.14'de hesaplanan kaçınma açıları ve görüş alanı verilmiştir. Sarı ile verilen açından görüleceği üzere uydunun +y ekseni boyunca 56 derecelik temiz bakış doğrultumuz kalmaktadır. Aynı bakış doğrultusu açısı simetrik olarak güneye yani - y ekseni boyunca da geçerli olacaktır.



Şekil 3.14 Yıldız izler ekipmanına ait FOV ve kaçınma açıları

3.4.2 Operasyonel kısıtlar

Bu kısımda uydu tasarımı yapılırken oluşturulan teknik bütçeler ve ilave edilmesi planlanan teleskobun hangi bütçelerde dikkate alınması gerektiği konusu irdelenmeye çalışılacaktır.

3.4.2.1 Güç bütçesi

Yer sabit yörüngede bulunan bir uydu güç ihtiyacını güneş panelleri vasıtasıyla sağlamaktadır. Güneş panelleri ise uydunun faydalı yükü ve platformun güç ihtiyacını uydu ömrü sonuna kadar karşılayacak şekilde göre tasarlanmaktadır. Güneş panellerinin ebatları belirlenirken kesintisiz bir haberleşmenin sağlanması amacıyla görev ömrü boyunca yaşanılacak en kötü senaryo dikkate alınmak zorundadır. En kötü senaryo için değerlendirme yapılırken güneş pillerinin yıllara göre performansındaki düşüş, ekipmanların eş zamanlı kullanım senaryoları ve ekvatoral düzlem kaynaklı sezonlara göre değişiklikler göz önünde bulundurulan temel etkenlerdir.

Bununla beraber yılda 2 defa 45 günlük periyotlar halinde olmak üzere uydunun güneşi göremediği eklips (tutulma) dönemleri bulunmaktadır. Uydu enerji ihtiyacını bu dönemde tamamen bataryalar üzerinden sağlamaktadır. Bataryaların tasarımında ise temel referans parametresi 72 dk süren en uzun eklips dönemidir.

3.4.2.2 Termal stabilite

Teleskoplar için en önemli kriterlerden birisi görüntü kalitesini doğrudan etkileyen çalışma sıcaklık aralığıdır. Teleskoplarda sinyal/gürültü oranını doğrudan etkileyen sıcaklık faktörü tasarımda dikkate alınması gereken en önemli faktörler arasından yer almaktadır. Teleskobun kriterlerinin belirlenmesinde yapılması gereken ısıl analiz de önemli bir kilometre taşı olacaktır.

Uzay ortamında uydunun güneşi görme zamanlarına göre -/+ 180 derece arasında sıcaklık farkı oluşmaktadır. Uydularda termal stabilitenin sağlanması kapsamında görevli alt sistem termal kontrol alt sistemidir. Bu alt sistem, çeşitli yöntemler kullanarak hem ekipman üzerinde hem de ekipmandan dışarıya atılacak ısının etkileyeceği alandaki termal stabilizasyonu sağlamak amacıyla görev yapmaktadır.

Termal alt sistem pasif ve aktif sistemlerden oluşur;

Aktif sistemler:

Isıtıcılar: ısınma ihtiyacı olan bölgeler için tasarlanmış olan ısıtıcılar vasıtası ile soğuk bölgelerde bulunan ekipmanların operasyonel sıcaklık aralığında tutulmasında rol oynar.

Heatpipe'lar: soğuma ihtiyacı olan bölgeler için tasarlanan içesinde genellikle amonyak bulunan kapalı devre ısı borusu sistemidir.

Termo-Electric Cooler (TEC): Peltier etkisini kullanarak iki farklı materyal arasında ısı aktarımı oluşturarak sıcak bölgedeki ısıyı soğuk bölgeye taşımayı amaçlamaktadırlar. Genellikle yıldız izler ekipmanlarındaki CCD'nin soğutulması maksadıyla bu donanım yer almaktadır.

Pasif sistemler:

MLI (Multi Layer Insulation): Çok katmanlı yalıtım battaniyesi olarak adlandırılan bu donanım ile ekipmanın belirli bölgelerinin kaplanması vasıtasıyla dış ortamdaki sıcaklıktan asgari düzeyde etkilenmesi amaçlanır.

3.4.2.3 Pozlama süresi

Dünya ile açısal hızın aynı olduğu yörüngede bulunan uydu bir günde bir tam tur, yani 360°'lik açı taramaktadır. Teleskobun görüş alanı (Field of View – FoV) değerine bağlı olarak saniyede asgari olarak kaç pozlama yapması gerektiği elde edilebilir. Elde edilen değere göre uygun CCD seçimi yapmak mümkün olacaktır. Ya da tam tersi olarak ihtiyaç duyulan pozlama süresinden teleskobun açılık değerine ulaşılabilecektir.

3.4.2.4 Görüntü aktarımı ve veri boyutu

Bir haberleşme uydusunun temel faydalı yükü aktarıcı (transponder/transmitter) olarak adlandırılır. Transponder'lar, uydunun yeryüzünün belirli bir lokasyonundan radyo frekansları aracılığıyla almış olduğu verileri yine radyo frekansları aracılığıyla geniş bir kapsama alanına aktarırlar. Veriler taşıyıcı (carrirer) bir sinyal üzerine çeşitli modülasyon teknikleri ile bindirilerek iletilmektedir. Ancak yeryüzünden iletilen sinyaller aradaki mesafeden dolayı uyduya erişene kadar güç kaybına uğramaktadır. Uydunun, aldığı sinyali tekrardan yeryüzüne iletebilmesi için sinyali güçlendirmesi gerekmektedir. Haberleşme uydularına ait faydalı yük kısmına ait temel fonksiyon bu şekildedir.

Düşünülen konsept tasarımda teleskoptan aldığımız ham veriler (görüntüler) uydu üzerinde oluşturulacağından hali hazırda kullanılan sisteme uygun değildir. Çünkü mevcut sistem, var olan bir sinyali aktarmaya yönelik oluşturulmuştur. Dolayısıyla teleskoptan elde edilen verilerin aktarılabilmesi amacıyla yeniden üretilen bir sinyale ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu uyumluluğun sağlanabilmesi açısından uydu alt sistemlerinden olan Telemetri Telekomut alt sistemi bizim için referans olabileceği düşünülmüştür. Bu alt sistem uydu üzerinde elde edilen "sağlık" verilerini telemetri olarak yer istasyonuna iletilmesi görevini icra etmektedir.

Bu sistem incelendiğinde sağlık verilerinin aktarılmasını sağlayan sinyalin üretildiği ve modülasyonunun sağlandığı bir telemetri transmitter ekipmanının var olduğu görülecektir.

Konsept tasarımda da teleskoptan alınan verilerin aktarılması için benzer bir transmitter ekipmanının uyduya ek olarak yerleştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ekipman eklendikten sonra uydunun mevcut haberleşme sisteminde bulunan kanallar üzerinde yapılacak birkaç tasarım değişikliği ile uygun konfigürasyon elde edilerek verilerin iletilmesi amacıyla kullanılabileceği teorik olarak mümkün görünmektedir. Örnek olması açısından MELCO (Mitsubishi Electric Corporation) firmasına ait telemetri transmitter ekipmanına ait görsel ve teknik performans değerleri Şekil 3.15'de verilmiştir.

Main Performances		
Operating Freqency Range		10.7 - 12.75 GHz
Output Power	(High Power)	28 dBm typ.
	(Low Power)	-7 dBm typ.
Frequency Stability at AT level		± 0.4 ppm
Frequency Stability over life		± 1.7 ppm
Spurious		< -60 dBc
Harmonics		< -30 dBc
Phase Noise	10 Hz	< -54 dBc/Hz
	100 Hz	< -74 dBc/Hz
	1 kHz	< -91 dBc/Hz
Power Consumption	(High Power)	11 W nom.
Dimension (L x W x H)		160 x 100 x 140 mm
Mass		< 1.2 kg

*Non contractual information. Subject to change without notice.



Şekil 3.15 MELCO üretimi Telemetri/Transmitter ekipmanı ve teknik özellikleri

Haberleşme uyduları belirlenen misyona uygun olarak üzerinde Ku,Ka,L ve X bant gibi çeşitli frekans bantlarında kullanım imkânı sunmaktadır. Bantların veri aktarım hızı bakımından bazı kısıtlamalar getirebileceği de dikkate alınmalıdır.

3.4.2.5 Bias, Dark ve Flat

Bilindiği üzere CCD kullanılarak yapılan gözlemlerde elde edilen görüntülerin içeriğinde istenmeyen bozucu etkiler bulunmaktadır. Bu istenmeyen etkilerin giderilmesi için çeşitli teknikler kullanılarak elde edilen görüntünün gürültülerden arındırılması sağlanmaktadır. Bu amaçla elde edilen görüntünün kalibrasyonu için aşağıdaki ilave pozlama yöntemleri uygulanmaktadır.

Bias (Zero) Görüntüler: Sistem elektroniğinden kaynaklı gürültünün arındırılması için sıfır saniye poz süresiyle CCD'nin üzerine hiç ışık düşürülmeden alınan "Bias" yada "Zero" olarak adlandırılan görüntülerdir. Elde edilen bias görüntüleri veya bu bias görüntülerinin birleştirilmesiyle elde edilen "master" görüntü ya da görüntüler, alınan diğer görüntülerden çıkarılarak bu etkiden arındırılır.

Dark Görüntüler: Sistemin sıcaklık değişimleri kaynaklı uyarılan bazı elektronlardan dolayı alınan görüntü üzerinde istenmeyen "kara akım" gürültüsü oluşmaktadır. Bu etkiden arındırılması için pozlama süresine eşit sürede fakat CCD dedektör üzerine ışık düşürülmeden alınan görüntüler "Dark görüntüler" olarak adlandırılır. Alınan bu dark görüntüleri uygun bir algoritmayla birleştirilerek tek bir master dark tüm görüntülerden çıkarılır. Böylece görüntüler kara akım gürültüsünden arındırılmış olur.

Flat Görüntüler: CCD üzerindeki her bir piksel aynı miktarda ışığa farklı algılama tepkisi verir. Bu farkın giderilmesi için tüm pikseller üzerine aynı ışık şiddeti uygulayarak piksellerin ışığa verdiği tepki farklılıklarını kaydeden Flat (Düz Alan) görüntüleri oluşturulur. Bilimsel amaçla alınan gökyüzü görüntüleri bias ve kara akım gürültülerinden arındırıldıktan sonra, düz alan görüntülerine bölünerek görüntüler bu etkiden arındırılmış olur.

Yer yüzünden yapılan gözlemlerde bias, dark ve bazı uygulamalarda da flat görüntüleri için objektifin önünde yer alan mekanik perde (shutter) kullanılarak ışıksız ortam oluşturulmaktadır.

Bölüm 3.1'de de belirtildiği üzere uzay ortamında gün içerisinde birden fazla kez kullanılması gereken bu tip bir hareketli mekanik sistemin tasarım maliyetinin ve uzun yıllar boyunca maruz kalacağı radyasyon etkisinden doğan riskleri büyük olacağı değerlendirilmektedir.

Mekanik perdenin olmadığı durum için yeryüzünde yapılacak işlevsel testler esnasında vakum ortamında operasyonel çalışma sıcaklık aralığında belirli sıcaklık değerlerinde alınacak ölçümler ile bias ve dark görüntülerinin elde edilip her sıcaklık aralığında piksellerin davranışının modellenmesi sağlanarak görüntü indirgeme esnasında kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca CCD üzerinde ayrılmış olan üzeri kapalı şerit alanlar (overscan bölgeleri) kullanılarak pozlama öncesi veya esnasında bias ve dark görüntülerinin oluşturulabileceği, bu görüntülerin de yerdeki işlevsel testlerde alınmış olan bias ve dark görüntüleri ile karşılaştırılarak korele edilebileceği değerlendirilmektedir. TESS uzay teleskobunun kameralarında Dark görüntü oluşturma prensibi bu türden bir uygulamaya örnek olarak verilebilir.

Flat görüntü elde edebilmek için konsept teleskop sisteminde mekanik perde ve aydınlatma amaçlı lamba sisteminin kullanımının tasarımda getireceği zorluklardan dolayı kullanılması mümkün görünmemesi ve yer yüzünden yapılan gözlemlerdeki gibi alacakaranlık görüntüsünün de elde edilmesinin uzay ortamında mümkün olmamasından dolayı, flat görüntünün CCD'nin yıllanma etkisinden kaynaklanan davranış değişimi ihmal edilerek yer yüzünde vakum ortamında yapılacak işlevsel testlerden elde edilen master flat görüntülerin görev ömrü boyunca kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

4. KONSEPT TASARIM

Konsept tasarıma uygun nasıl bir teleskop tasarlanabilir? sorusu bu kısımda Bölüm 3'te elde edilen bulgular kullanılarak değerlendirilecektir.

Ekvator düzlemi ile Ekliptik düzlem arasındaki yörünge eğikliği (inclination) değerinin yıl içerinde değişmesinden kaynaklı olarak Güneş ve Ay'ın oluşturabileceği ışık kirliliğine maruz kalmaması amacıyla 3.4.1.1.'de kaçınma açıları da dikkate alınmış olup yaklaşık olarak hesap edilen kuzey ve güney yönlerdeki bakış doğrultularındaki kısıtlar ve görüş açısı Şekil 3.14 'te verilmiştir.

Ayrıca teleskobun uydu üzerinde konumlandırılabileceği yer kapsamında ise Bölüm 3.4.1.2, 3.4.1.3 ve 3.4.1.4'de elde edilen bulgularda belirtildiği üzere güneş panelleri, antenler ve itki sisteminin oluşturduğu kısıtlar dikkate alındığında, uydunun ekvatoral düzleme paralel olan yüzeylerinin yerleşim için elverişli olabileceği ortaya konulmuştur.

Aynı şekilde Bölüm 3.1'de bahsedildiği üzere kompleksliği, maliyeti ve ölçüm hatalarını azaltacak en optimum çözüm için sabit yerleşimli teleskopların kullanılması gerektiği değerlendirmiştir.

Bu hususlar dikkate alındığında uydunun +y ve - y eksenleri doğrultusunda 56'şar derecelik iki temel görüş alanı kapasitesine sahip olabileceği değerlendirilmiştir.

Dalga boyları kapsamında Bölüm 3.3'te elde edilen bulgular neticesinde Gamma ve X ışınlarını yakalayabilecek sistem ebatlarının çok büyük olması, kızılötesi bölge için yüksek hassasiyetle soğutma ihtiyacının olması, radyo dalgaları için ise sinyallerin yakalanabilmesi için çok büyük çapta antenlere ihtiyaç olması sebebiyle konsept dışında tutulmuştur. Ancak, kızılöte bölgenin tamamı kapsanmasa da 1000 nm'ye kadar olan yakın kızılöte bölge için mevcut optik sistemler kullanılarak gözlem yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Dolayısıyla konsept tasarım için uygun olarak görünür bölge ve yakın kızılötesi bölge olan 350-1000 nm dalga boyunda ölçüm yapılabileceği öngörülmektedir.

Bölüm 3.4.2'de ise sistem açısından öngörülen operasyonel kısıtlara değinilmiştir.

Güç bütçesi bakımından yerleştirilecek teleskop için değerlendirme yapılacak olursa konsept tasarım için referans alınan tipik bir yıldız izler ekipmanının harcadığı ortalama güç 15W civarındadır. Ayrıca, teleskoptan elde edilen verilerin yer istasyonuna aktarılması kapsamında da bir transmitter'a ihtiyaç bulunduğu 3.4.2.4'de ifade edilmiş olup, örnek olarak verilmiş olan transmitter'a ilişkin güç değeri olarak Şekil 3.15'teki teknik değerlerinde verilen 11 Watt referans olarak alınabilir ve toplamda sistemin kabaca 26 W'lık bir güç ihtiyacı bulunduğu söylenebilir.

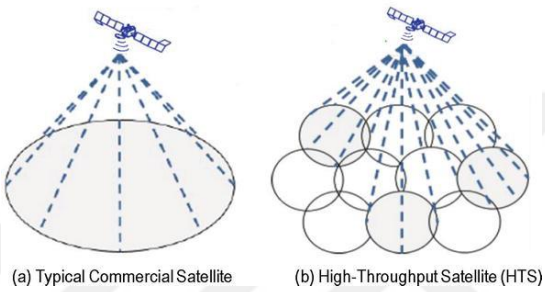
Ortalama büyüklükteki bir haberleşme uydunun yaklaşık olarak 8000W ile 15000W'lık enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Konsept tasarıma ait yapılacak harcamanın sistem bütçesine yaklaşık olarak %0,2 ile %0,4 arasında ilave yük getireceği düşünülmektedir. Her ne kadar güç bütçesi detaylı hesap edilmiş olsa bile beklenmeyen arızalardan kaynaklı oluşabilecek kayıplar için uluslararası kabul görmüş yaklaşımla %20-%25 ekstra marjin kullanılmaktadır. Aynı şekilde marjin yaklaşımı bataryalar içinde geçerlidir.

Uydunun güç bütçesi oluşturma yaklaşımına ve tolerans değerlerine bakıldığında bu harcamanın minör seviyede etki edeceği değerlendirilmekle birlikte bahse konu alt sistemin tasarımın olgunlaştıktan sonra ilave güç bütçesinin eklenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Termal stabilite kapsamında teleskobun odak düzlemine bağlı bulunacak olan CCD'nin alınan görüntülerinde ısıl ve elektronik gürültüyü azalmak için belirli sıcaklık aralığında tutulması gerekmektedir. Referans olarak alınan yıldız izler ekipmanında dahili olarak TEC bulunmaktadır. Yapılacak uydu sistem termal analizi sonucunda operasyonel sıcaklık aralığının dışında değerler görülmesi halinde CCD'nin montaj yüzeyinin ısı borulu sistem olarak tasarlanarak gereken ısı atımının daha efektif olmasının sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca teleskobun dış yüzeyinin çok katmanlı yalıtım battaniyeleri ile kaplanarak dış ortamla sıcaklık farkının asgariye indirilmesi ısıl denge için önemli bir fayda sağlayacaktır.

Elde edilen gözlem verilerin aktarılması kapsamında ise dar kapsama alanı ve yüksek verim sunan ve High-Throughput Satellite (HST) olarak adlandırılan yeni nesil uydu tipinin tercih edilmesi en optimum çözümü sunacaktır. TÜRKSAT 4B ve TÜRKSAT

5B uydusunda kullanılan bu sistem aynı frekans bandının tekrardan kullanılmasına imkân sağlamakta olup, maliyet açısından avantaj da sağlamaktadır. Örnek vermek gerekirse gelen sinyallerin tüm Türkiye'den alınabilmesi yerine bölgesel olarak sadece Ankara'dan alınabilmesi görev açısından yeterli olacağı düşünülmüştür. Ayrıca bu frekans bandının 500 Mbps'a varan aktarım kabiliyetinin bulunması da transfer edilecek olan görüntülerin boyutlarından kaynaklanacak problemlerin yaşanmaması adına ayrıca tercih sebebidir. Örnek olması açısından tipik bir haberleşme uydusu ile yeni nesil HTS kapsamaları Şekil 4.1'de temsili olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1 Tipik bir haberleşme uydusu ile HTS'nin kapsama alanlarının temsili karşılaştırılması (Nguyen 2020)

Elde edilen bulgular kapsamında konsept teleskop tasarımı için bazı kritik değerleri de hesaplayabiliriz.

Teleskoplarda ışık toplayan yüzeye "açıklık (objektif)" adı verilir ve genelde dairesel biçime sahip olan bu yapının çapı ile ölçülür. Teleskop açıklığının ölçüsü, birim zamanda toplanacak enerjiye, büyütme oranına, görüntü kalitesi ve çözünürlüğe (ayırma gücüne) doğrudan etki eder. Bütün teleskopların asıl işlevi insan gözüne oranla daha fazla foton (ışık) toplamaktır. Teleskobun açıklığı, objektif olarak kullanılan merceğin ya da aynanın çapına karşılık gelmektedir.

Bir teleskobun açıklığı ne kadar fazlaysa, o kadar fazla ışık toplar. Daha fazla ışık toplanması ise, daha sönük cisimlerin görüntülenebilmesi anlamına gelir.

Yeryüzünden yapılan gökyüzü gözlemlerinde veya farklı alanlarda yapılan bilimsel amaçlı "zayıf ışık" gözlemlerinde açıklık değerinin mümkün olduğu kadar yüksek tutulması amaçlanmaktadır. Düşünülen konsept tasarımda ise bulunduğu yörüngeden dolayı ışık kirliliğine maruz kalma durumu bulunmaktadır. Bu maksatla yıldız izler

cihazlarında olduğu üzere koruyucu bir baffle kullanılması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı baffle'dan kaynaklı kaplayacağı alan dikkate alındığında çok büyük açıklık değerlerinin kullanılamayacağı, referans olarak alınan tipik bir yıldız izler cihazının açıklık değeri ile hesaplamaların yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Referans olarak almış olduğumuz yıldız izler ekipmanının Şekil 3.2'de verilen odak uzaklığı (43mm) ve odak oranı (f/1.2) değerleri kullanılırsa;

Odak uzaklığı (mm) = açıklık (mm) × odak oranı formülünden

43mm= Açıklık * 1,2 => Açıklık: 35.83 mm olarak elde edilir.

Her teleskobun açıklığı ile orantılı olarak görebileceği bir eşik parlaklık değeri vardır. Bir teleskobun "Limit Parlaklığı" olarak adlandırılan bu özelliği yardımıyla gözümüzle teleskoptan baktığımızda görebileceğimiz en sönük gök cisminin eşik parlaklık değeri belirlenir. Bir teleskobun limit parlaklık değeri yaklaşık olarak

$$7.5 + 5\log(D)$$

formülü ile hesaplanır. *D* burada teleskobun açıklık değeridir.

35.83mm açıklığa sahip bir teleskop için hesap yapılırsa, anlık olarak en sönük $10^{m}.27$ parlaklığındaki yıldızları görebileceği söylenebilir.

Pozlama süresi kapsamında değerlendirme yapmak için sistem dinamiklerine değinilmesi gerekmektedir. Düşünülen konseptte teleskobun sabit bir yerleşimi olacağı ifade edilmiştir. Dolayısıyla bulunduğu yörüngeden kaynaklı olarak bir gün içerisinde bakış doğrultusunda bir halka şeklinde sürekli değişen alanları görecektir.

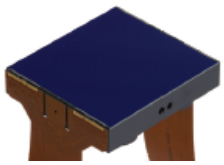
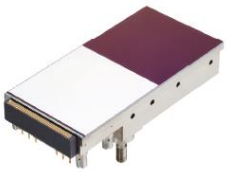
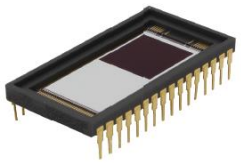
İhtiyacımız olan minimum pozlama süresini hesap edebilmek için yerleştirilecek teleskobun bir bütün halinde gökyüzünde görebileceği açısal alana, yani teleskobun "Görüş Alanı" (Field of View, FoV) değerine ihtiyacımız bulunmaktadır. Yine referans olarak almış olduğumuz yıldız izler ekipmanının Şekil 3.2'de verilen FoV değeri olan 20° kullanılırsa teleskobun gün içerisinde bir tam turu oluşturacağından hareketle 360/20=18 adet görüntü alması panoramik olarak tüm alanı taramasına yetecektir.

Referans alınan yıldız izlerin FoV değerinin 20° olmasının amacı üstlendiği misyon gereği geniş bir alanda en fazla miktarda parlak referans yıldızın tespit edilmesidir.

Yapılacak konseptin bilimsel gözlem amaçlı kullanılması düşünüldüğünden daha dar bir alan gören yüksek çözünürlüklü bir teleskop olarak tasarlanabileceği de akıldan çıkarılmamalıdır.

Kullanılabilecek olan CCD'ler incelendiğinde optik bölgeye ilave olarak yakın kızılöte bölgede de algılama imkanına sahip sensörlerin olduğu görülmüştür. Özellikle TELEDYNE firması tarafından geliştirilen yüksek başarımlı ve uzay kalifiye (space qualified) birçok tipte sensör bulunmaktadır. Seçilecek CCD sensörün uzay kalifiye olması önemli bir ayrıntıdır ve bu özellik CCD alıcının bir bütün olarak vakum uzay ortamında çok sayıda dış bozucu etkenden (aşırı sıcaklık farkları, yoğun radyasyon etkileri vb.) etkilenmeyeceğinin garantisidir. Örnek olması açısından uzay kalifiye üç adet sensörün teknik bilgileri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu CCD sensörler NEOSSat, Microvariability and Oscillations of Stars (MOST), CoRoT (Sodern SED Star Tracker) gibi uydu misyonlarında kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Teledyn firmasına ait uzay kalifiye üç CCD sensörünün özellikleri

Model no	CCD272-84	CCD42-80	CCD47-20
			
Sensör türü	CCD (FF-BI)	CCD (FT-BI)	CCD (FT-BI)
Piksel sayısı	4096 x 4096	2048 x 2048	1024 x 1024
Piksel Boyutu	12 x 12 µm	13.5 x 13.5 µm	13 x 13 µm
Görüntüleme alanı	49.15 x 49.15 mm	27.65 x 27.65 mm	13.3 x 13.3 mm
Çıkış Yükselteci	4 x VLN	2 x VLN	2 x VLN
Paketleme	Silicon Carbide	Metal Peltier	32-pin Ceramic
Toplam Piksel	16.8 MP	4.2 MP	1 MP
Okuma Gürültüsü	2.5 rms e^-	3 rms e^-	2 rms e^-
Dalgaboyu aralığı	Görünür: 400-700 nm Yakın Kızılöte:700-1000 nm	Görünür: 400-700 nm Yakın Kızılöte:700-1000 nm	Moröte: 193-400 nm Görünür: 400-700 nm Yakın Kızılöte: 700-1000 nm
Kuantum Etkinliği	%90 (@ λ=600nm)	%91 (@ λ=480nm)	%92 (@ λ=575nm)
Teknolojik Hazırlık Seviyesi	TRL8	TRL9	TRL9
Yer Aldığı Görevler	Euclid	CoRoT, Picard, ICON,	Integral, Rosetta, New Horizons, Selene, ATV, Cheops, Çeşitli Yıldız İzlerler

5. MALİYET ETKİSİ

Bu kısımda amaç öngörülen maliyet unsurlarını belirlemek olup somut bir maliyet sunulmayacaktır. Düşünülen konsept tasarımın getireceği ilave maliyetleri 4 ana madde olarak ele alabiliriz:

- Tasarım maliyeti,
- Fırlatma maliyeti,
- Sigorta maliyeti
- İşletme maliyeti

5.1 Tasarım Maliyeti

Mevcut haberleşme uydularına astronomik gözlem amaçlı teleskop(lar) yerleştirildiğinde, bu alt sistem için tasarımı mali yönden etkileyecek hususlar alt maddelerde verilmiştir.

5.1.1 Uydu Tasarım

Uluslararası alanda, belirlenen konsept tasarım kapsamındaki görev amaçlı tarihçesi olan bir uydu platformu halihazırda bulunmadığından üreticinin özellikle yerleşim, ısıl, yapısal ve güç açısıdan tarihçeli tasarımında güncellemeler yapması gerekmektedir. Özellikle elde edilen ham verilerin zaman ve koordinat veri etiketlerinin eklenebilmesi için uydu bilgisayarı ile koordinasyonu gerekmektedir. Ayrıca elde edilen bulgular kısmında kullanılması gereken transmitter ekipmanın entegrasyonu ve mevcut sisteme uyumluluğu için ilave efor sarf edileceği dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla bir faydalı yük alt sistemi olarak düşünülmesi gerekmektedir.

5.1.2 Donanım

Teleskop: Temelde Optik düzenek ve görüntünün elde edileceği sensör sisteminin bütünü olarak tanımlanabilen teleskoplar için maliyeti etkileyecek birçok değerlendirme kriteri bulunmaktadır. Bunlar, gözlem yapılacak dalga boyları, kullanılacak CCD'nin türü, CCD sensörün sağlayacağı uzaysal çözünürlük, okuma hızı ve kuantum etkinliği gibi temel spesifikasyon bilgileridir ve hedef olarak ortaya konacak bir gözlem stratejisine göre değişkenlik gösterebilirler. Tipik bir yıldız izler donanımına sahip bir konsept tasarım üzerinden hareket edildiğinden, teleskop maliyetinin bu tür uzay

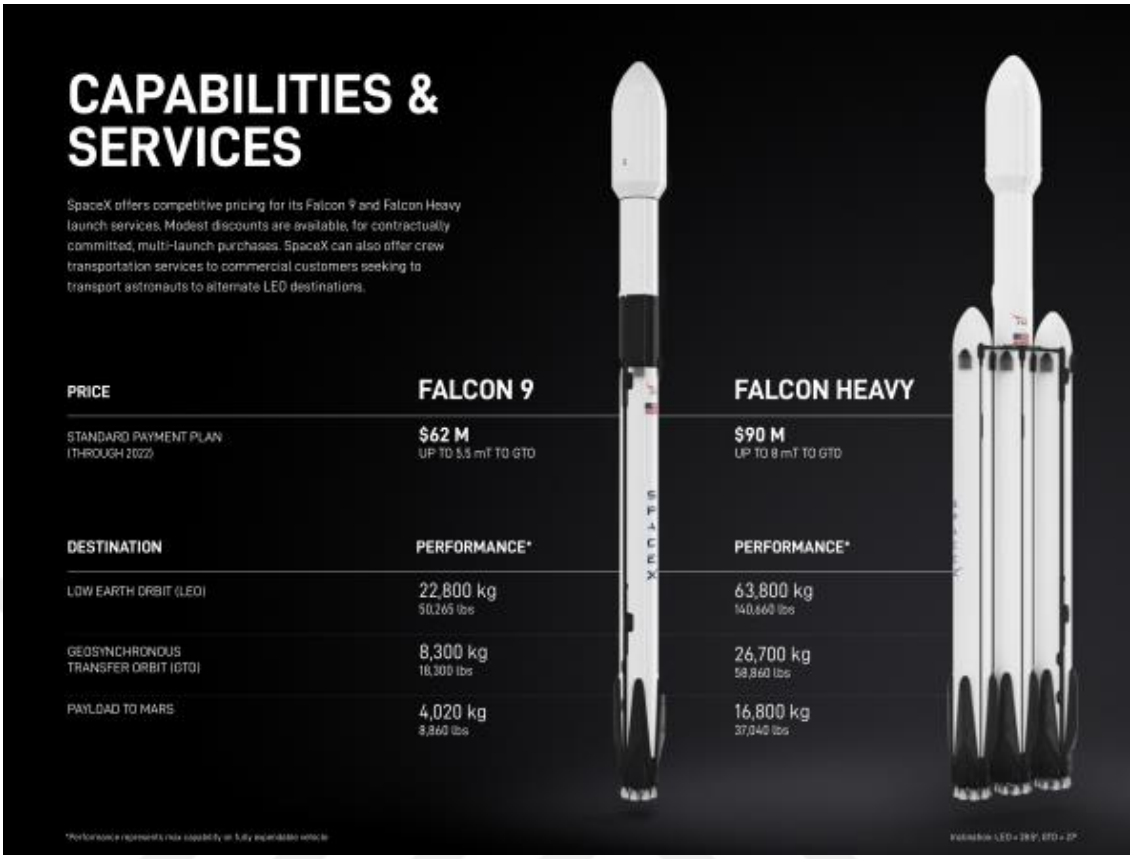
kalifiye donanımlardan çok da farklı olması beklenmemektedir. Bu kapsamda RocketLab firmasının 2013 yılından beri çok sayıda uzay görevinde yer alan yıldız izler maliyetlerini bir örnek olarak verebiliriz. Baffle seçenekleri ve gökyüzünde gördüğü FoV ile değişkenlik gösteren fiyatlar 120.000 ile 140,000 USD arasındadır.

Arayüz Bloğu: Verilerin işlenerek, uydu bilgisayarından alınan tarih ve koordinat bilgilerini görüntülere damga olarak ekleyip yer istasyonuna iletilebilir niteliğe getirebilecek bir arayüz gerektiği aşikardır.

Haberleşme: Bölüm 3.4.2.4'te belirtildiği üzere teleskoptan elde edilen verilerin yer yüzüne taşınabilmesi için, bu görev için yerleştirilmiş bir aktarıcı (transmitter) ekipmanına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ekipmanın yaklaşık maliyeti 500.000 USD civarındadır. Bu ihtiyaç, mevcut haberleşme sisteminde bulunan kanallar ve iletim hatları üzerinde yapılacak birkaç tasarım değişikliği ile mevcut sistem üzerinden kullanılabileceği, teorik olarak mümkün olduğu değerlendirilmektedir.

5.2 Fırlatma Maliyeti

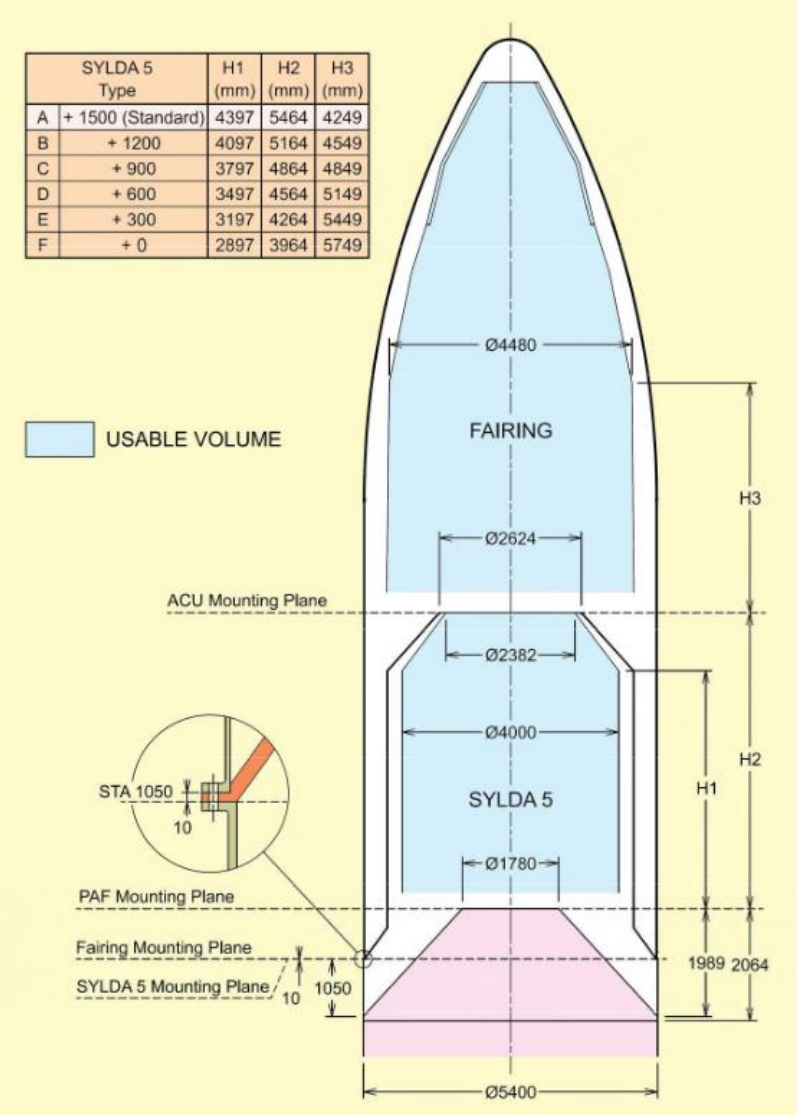
GEO uydularının fırlatılması için kullanılan fırlatıcılar incelendiğinde, uydunun fırlatmaya uygun olması için birçok kriter olmasına rağmen genel olarak 2 ana kriter üzerinde maliyet oluştuğu görülmektedir: Uydunun ağırlığı ve kapladığı hacim. Örnek olarak SpaceX firmasının Falcon 9 roketi katalog bilgileri Şekil 5.1'de yer almaktadır. Görüleceği üzere GEO'ya konuşlandırılacak bir faydalı yükün (bu katalogda tanımlanan payload'tan kastedilen uydudur) ağırlığının 8300 kg'ın üzerine çıkması halinde fırlatıcı modeli ve fiyatı ciddi miktarda değişim göstermektedir.



Şekil 5.1 SpaceX Falcon 9 roketi fırlatıcı fiyat bilgisi

Aynı şekilde paylaşımlı fırlatma (iki adet haberleşme uydusunu aynı fırlatıcıda yapabilen) kabiliyetine sahip olan ArianeSpace firmasında da alt ve üst kompartmana sığabilme durumuna göre fiyat skalası bulunmaktadır. Uydu üreticileri genellikle uygun maliyetli olduğundan alt kompartmana sığabilecek uydu tasarlamaya çalışmaktadırlar. SYLDA olarak tanımladığı ebat skalası Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

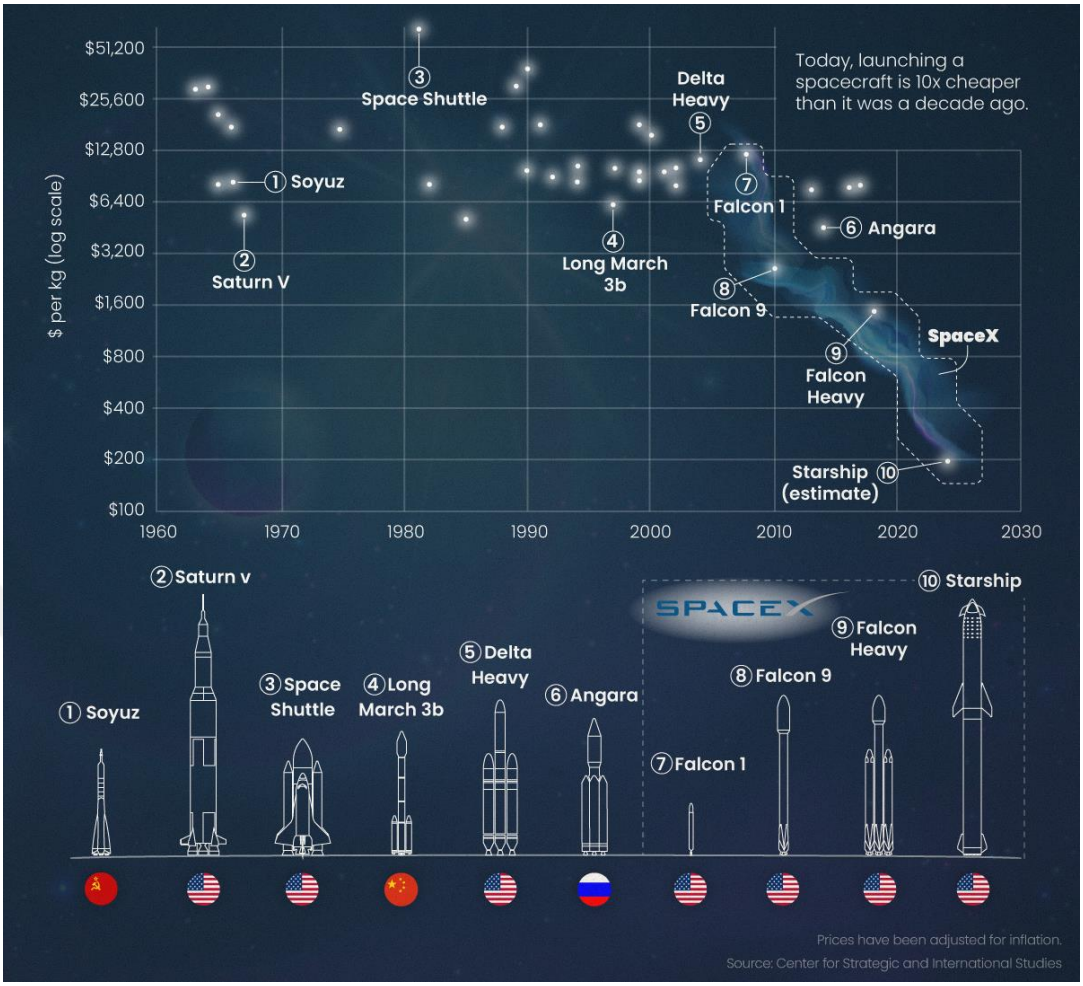
Bir uydu üreticisi açısından fırlatma maliyeti uydu üzerinde bulunan faydalı yüke endekslidir. Uydu üzerinde farklı bir kuruma ait faydalı yük bulunması durumunda fırlatma maliyeti konusunda genel yaklaşım faydalı yük ağırlık oranları veya kullanılacak transponder bant genişliği gibi objektif/ölçülebilir kriterler kullanılarak paylaşım oranı belirlenmektedir. Belirlenen bu oran fırlatma maliyeti, fırlatma sigortası ve yörüngede sigortalama maliyetleri için de kullanılmaktadır. Dolayısıyla uydu üzerine ilave edilmesi düşünülen alt sistem(ler), kütlesi ya da kullanacağı bant genişliği ile doğru orantılı olarak ek maliyet getirecektir.



Şekil 5.2 Arine Space Paylaşımlı Roket için uydu boyutsal aralıkları

Son yıllarda SpaceX firması öncülüğünde geliştirilen tekrardan kullanılabilen roketler sayesinde diğer fırlatma firmalarının da benzer çalışmalar için Ar-Ge oluşturmaya başladığı bilinmektedir. Mevcut durumda fırlatıcının belirli parçalarını kısmi olarak geri dönüşünü sağlayan SpaceX firması yeni nesil olarak geliştirdiği ve fırlatıcının tamamının yeniden kullanabilme kabiliyeti olacak olan Starship fırlatıcısının piyasaya girmesiyle çok ciddi oranda fırlatma maliyetlerinin düşeceği öngörülmektedir.

Şekil 5.3'te 1960'lı yıllardan bu yana bazı fırlatıcılar için kilogram başına maliyetleri verilmiş olup gelecek dönemdeki fiyatlamalara ait öngörüler de yer almaktadır.



Şekil 5.3 Yıllara göre bazı fırlatıcılar için kilogram başına maliyetler ve gelecek dönemdeki fiyat öngörüleri

5.3 Sigorta Maliyeti

Uydular yüksek maliyetli ürünler olduklarından üretim aşamasından yörüngedeki ömrünün sonuna kadar meydana gelebilecek kazalara karşı sigortalanmaktadırlar. Sigortalar genel olarak aşağıda maddelerde belirtilen fazlara ayrılırlar.

- Entegrasyon ve sevkiyat
- Fırlatma
- Yörünge

Entegrasyon ve sevkiyat sigortaları çoğu programda yapılan sözleşmeye dahil olan hizmetlerden olup uydu üreticisi tarafından karşılanmaktadır.

Fırlatma sigorta maliyeti ise fırlatıcının başarılı fırlatma oranına göre sigorta firmaları tarafından belirlenmektedir. Yaklaşık olarak fırlatma maliyetinin %3'ü ila %10'u arasında değişmektedir.

Yörüngede sigortalama ise uydunun başarı tarihçesine ve yörüngede geçirdiği zamanla oranlı olarak değişiklik göstermekte olup, genellikle yıllık olarak yenilenmektedir. Bölüm 5.2'de bahsedilen paylaşım oranı kriteri sigortalama faaliyetlerinin tümünde geçerli olduğu söylenebilir.

5.4 İşletme Maliyeti

Mevcut TÜRKSAT haberleşme uydularının işletilmesi TÜRKSAT yerleşkesindeki operasyon merkezinde yürütülmektedir. Uydu üzerindeki tüm ekipmanların sağlıklı çalışıp çalışmadığının takibi yapılmaktadır. Uydu üzerinde bulunan ekipmanlar üzerinde yapılacak açma, kapama ve konfigürasyon değişikliği gibi operasyonlar TÜRKSAT yer istasyonları tarafından yapılmaktadır.

Ancak Uydu Teleskop'undan elde edilen verilerin alındıktan sonra uydu üzerinde belirlenecek frekans bandından yayınlanması uydu operasyonlarına dahil olup, yayınlanan verilen alınabilmesi için bir yer istasyonuna ihtiyaç vardır. Bu kapsamda bir yer istasyonunun da kurulması gerekmektedir.

Bu kapsamda elde edilen verilen geniş bir kapsamadan alınmasından ziyade dar bir kapsamada verilerin yere indirilmesi optimum bir çözüm olarak düşünülmüştür. Bu bağlamda yeni nesil TÜRKSAT uyduları üzerinde bulunan Ka-bant aktarıcılar vasıtası ile çözüm elde edilebileceğinin uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda kullanılacak frekans bant genişliğine göre TÜRKSAT tarafından alınacak kullanım bedelinin de dikkate alınması gerekmektedir.

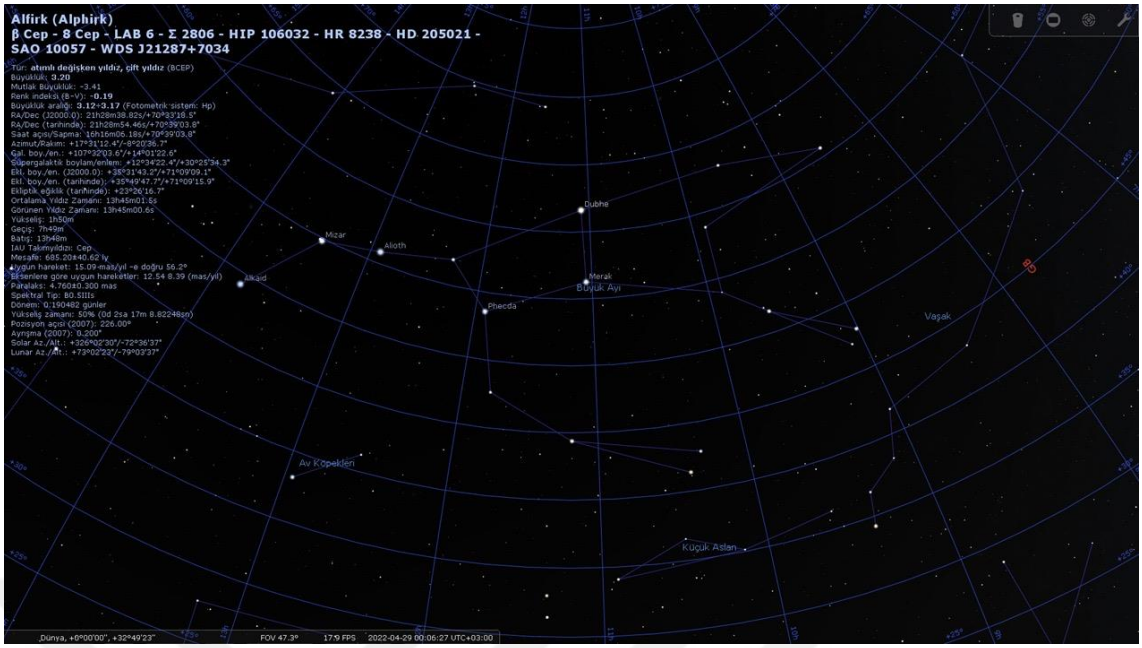
6. YORUMLAR

Bölüm 4 Konsept Tasarım kapsamında yapılan değerlendirmelerden yola çıkılarak ekvator düzleminden 30° ile 86° deklinasyon (kuzey veya güney) açıları arasında kalan teleskobun bakış doğrultusu kabiliyeti içerisinde yer alan bölgede gözlemlenebilecek olan takım yıldızlar, WEB destekli Stellarium uygulaması kullanılarak Çizelge 6.1'de listelenmiştir.

Çizelge 6.1 Ekvator düzleminden 30° ile 86° arası deklinasyon açıları arasında kalan bölgede gözlemlenebilecek takım yıldızlar

Kuzey Yarım Küre Takım Yıldızları	**Güney Yarım Küre Takım Yıldızları**
Büyük ayı	Anka kuşu
Vaşak	Turna
Kahraman	Tukan
Çalgı	Küçük su yılanı
Kuğu	Tavus kuşu
Kraliçe	Güney tacı
Kral	Saat
Ejderha	Kılıç balığı
Arabacı	Uçan balık
Zürafa	Sinek
Kertenkele	Güney üçgeni
Kuzey yarım Küre	Kurt

47 derecelik FoV kullanılarak elde edilen gökyüzü simülasyon görüntüsü Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 Konsept tasarımımızda ortaya konan görülebilir gökyüzü alanlarından bir örnek

Konsept tasarım olanaklarımız ile görünür bölgede izlenebilir yıldızların yanı sıra yakın kızılöte bölgede algılanabilir soğuk kırmız yıldızlar (cüce veya dev) ve yıldız oluşum bölgeleri ile yıldızlararası toz etkilerinin gözlemlenebileceği düşünülmektedir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan değerlendirmeler sonucunda yer sabit yörüngede hizmet veren haberleşme uydusu üzerine yerleştirilebilecek astronomik gözlem amaçlı teleskopların Gama, X-ışın ve Radyo dalgaboylarında kullanımının yerleşim kısıtlarından dolayı mümkün olmadığı, buna karşın Moröte (UV), Görünür (VIS) ve Kızılötesi (IR) dalgaboyları için çalışmada bahsedilen kısıtlamalar dışında kalabilecek ve sürekli görüş alanlarının bulunduğu konsept üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Referans olarak kullanılan yıldız izler ekipmanına ait veriler kullanılarak konsept bir teleskop için açıklık, limit parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışma ile ihtiyaç duyulması halinde uydu üzerinde hangi kapsama hitap edebilecek bir teleskop sisteminin yerleştirilebileceği de kabaca tanımlanmıştır. Yerli üretim kabiliyetinin de artması ile çeşitli varyasyonların yapılabileceği uyduların tasarımına olanak sağlanabileceği düşünülmektedir.

Dünya üzerinden gözlem yapmanın mümkün olmadığı diğer dalgaboyları için düşünülen konsept dahilinde yakın kızılöte (NIR) bölgesi dışında uygulanabilir bir çözüm önerisi bulunmamaktadır. Gelişen teknoloji ile daha kompakt düzenekler ile uygulanabilir çözümler bulunabileceği düşünülmektedir.

Düşünülen konsept tasarım ile ülke coğrafyamızdan gözlemin mümkün olmadığı güney yarım kürede bulunan yıldızların da gözlemlenebilmesi açısından elverişli olduğu görülmüştür. Uydu ömrü boyunca (minimum 15 yıl) sürekli gözlem imkânı veren bu tasarım ile elde edilecek değerli bir bilgi havuzu oluşması sağlanabilecektir.

Düşünülen konsept için fikir vermesi amacıyla maliyete etki eden hususlar da gözden geçirilmiştir.

Ülkemizin uydu uzay alanında öncü kuruluşu ve tek uydu operatörü olan TÜRKSAT'ın bilimsel çalışmalara destek olduğu birçok çalışma bulunmaktadır. Ticari faaliyet gösteren TÜRKSAT'ın milli menfaatler gözetilerek belirlenecek misyon doğrultusunda planlanan yeni TÜRKSAT uydularında astronomik gözlem amacıyla da kullanılabilmesi bir opsiyon olarak değerlendirebileceği düşünülmektedir. Bu kapsamda TÜRKSAT'a çok fazla ek maliyet oluşturmadan Devlet organlarından alınabilecek destek fonlarının kullanılması düşünülebilir.

KAYNAKLAR

AST404 Gözlemsel Astronomi Ders Notları, Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri, https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=123. Erişim Tarihi: 03.05.2022

Anonim 2022a. Web sitesi: https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main/index.html. Erişim Tarihi: 03.05.2022

Anonim 2022b. Web sitesi: https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/overview/index.html. Erişim Tarihi: 03.05.2022

Anonim 2022c. Web sitesi: https://tess.mit.edu/. Erişim Tarihi: 04.03.2022

Anonim 2022d. Web sitesi: https://sci.esa.int/web/gaia/home. Erişim Tarihi: 05.03.2022

Anonim 2022e. Web sitesi: https://www.jena-optronik.de/products/star-sensors/astro-aps.html. Erişim Tarihi: 06.03.2022

Anonim 2022f. Web sitesi: https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/cgro.html. Erişim Tarihi: 10.03.2022

Anonim 2022g. Web sitesi: https://fermi.gsfc.nasa.gov/. Erişim Tarihi: 20.03.2022

Anonim 2022h. Web sitesi: https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/main/index.html. Erişim Tarihi: 25.03.2022

Anonim 2022ı. Web sitesi: https://stellarium-web.org/. Erişim Tarihi: 03.05.2022

Anonim 2022i. Web sitesi: https://ecuip.lib.uchicago.edu/multiwavelength-astronomy/x-ray/impact/03.html. Erişim Tarihi: 01.04.2022

Anonim 2022j. Web sitesi: https://www.aerospace-technology.com/projects/european-data-relay-system-edrs/. Erişim Tarihi: 03.04.2022

Anonim 2022k. Web sitesi: https://www.airbus.com/en/products-services/space/telecom/eurostar-series. Erişim Tarihi: 06.04.2022

Anonim 2022l. Web sitesi: http://www.mitsubishielectric.com/bu/space/satellite_components/rf_equipment/index.html. Erişim Tarihi: 10.04.2022

Anonim 2022m. Web sitesi: https://tess.mit.edu/. Erişim Tarihi: 12.04.2022

Anonim 2022n. Web sitesi: https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/tess/data-products.html. Erişim Tarihi: 16.04.2022

Anonim 2022o. Web sitesi: https://www.teledyneimaging.com/en/home/. Erişim Tarihi: 16.04.2022

Anonim 2022p. Web sitesi: https://www.teledyneimaging.com/download/f7d554fd-0e44-4bff-8f11-59e62a80f8c9/. Erişim Tarihi: 17.04.2022

Anonim 2022r. Web sitesi: https://www.rocketlabusa.com/. Erişim Tarihi: 19.04.2022

Anonim 2022s. Web sitesi: https://www.rocketlabusa.com/assets/Uploads/RL-ST16RT2-Data-Sheet.pdf. Erişim Tarihi: 19.04.2022

Anonim 2022t. Web sitesi: https://www.spacex.com/. Erişim Tarihi: 22.04.2022

Anonim 2022u. Web sitesi: https://www.spacex.com/media/Capabilities&Services.pdf. Erişim Tarihi: 26.04.2022

Anonim 2022v. Web sitesi: https://elib.dlr.de/144171/1/Bildt.pdf. Erişim Tarihi: 03.05.2022

Anonim 2022y. Web sitesi: https://www.spacex.com/vehicles/starship/. Erişim Tarihi: 03.05.2022

Anonim 2022z. Web sitesi: https://www.visualcapitalist.com/the-cost-of-space-flight/. Erişim Tarihi: 03.05.2022

Clarke A. C., 1945, "Extra-Terrestial Relays: Can Rocket Stations Give World-Wide Radio Coverage", Wireless World, Vol.51, no: 11, pp.305-308

Majewski L., Blarre L., Perrimon N., Kocher Y., Martinez P.E., Dussy S., 2017, "Hydra multiple head star sensor and its in-flight self-calibration of optical heads alignment", Proc. SPIE 10566, International Conference on Space Optics — ICSO 2008, 105660T (21 November 2017); https://doi.org/10.1117/12.2308228

Nguyen J., 2020, in "Satellite Systems - Design, Modeling, Simulation and Analysis" (ed. Tien M. Nguyen), IntechOpen, https://doi.org/10.5772/intechopen.93227

Noordung H. 1929, "Das Problem der Befahrung des Weltraums: Der Raketenmotor", Richard Carl Schmidt & Co. Berlin W62