

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
HEZÂRFEN HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ
ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
UYDU TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI**

**ASTINSAT-1 KÜP UYDU TASARIMI, YAPISAL
ANALİZİ VE ÜRETKEK TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ALPER ŞANLI
1192101**

TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. ALİM RÜSTEM ASLAN

**İSTANBUL
ŞUBAT 2022**

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
HEZÂRFEN HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ
ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
UYDU TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI**

**ASTINSAT-1 KÜP UYDU TASARIMI, YAPISAL
ANALİZİ VE ÜRETKEN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ALPER ŞANLI
1192101**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04.02.2022

Tezin Savunulduğu Tarih: 13.01.2022

Tez Oy birliği / Oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Tez Danışmanı	Unvan Ad Soyad	İmza
Jüri Üyeleri	Prof.Dr. Alim Rüstem ASLAN	
	Prof.Dr. Cengiz HACIZADE	
	Dr.Öğr.Üyesi Serhat YILMAZ	

**İSTANBUL
ŞUBAT 2022**

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve ç) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 79 sayfalık kısmına ilişkin, 05/01/2022 tarihinde şahsım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Alper ŞANLI
04.02.2022

ETİK BEYAN

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Alper ŞANLI
04.02.2022



Sevgili eşime ve aileme,

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Rehberliği, desteği ve benimle paylaştığı bilgileri ile bu tezin ortaya çıkmasında büyük pay sahibi olan tez danışmanım Prof. Dr. Alim Rüstem ASLAN'a, bana değerli zamanlarını ayırdıkları için tez savunma jüri üyeleri Prof. Dr. Cengiz HACIZADE ve Dr. Öğr. Üyesi Serhat YILMAZ'a, öneri ve desteği ile çalışmama katkıda bulunan Dr. Tuncay Yunus ERKEÇ'e, çalışmalarım süresince bana yol gösteren USTTL ekibine, değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Melih BECEREN ve Egemen ÇATAL'a, beni her koşulda motive eden ve yaşama sevincim olan sevgili eşim Şeyma'ya ve hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

İstanbul; Şubat 2022

Alper ŞANLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZGÜNLÜK RAPORU	
ETİK BEYANI	
İTHAF	
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xii
TÜRKÇE ÖZ	xiii
İNGİLİZCE ÖZ (ABSTRACT)	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Tezin Önemi.....	4
1.3. Tezin Yönetimi	5
1.4. Tez Konusuyla İlgili Yurtiçi/Yurtdışında Yapılan Çalışmalar	5
1.5. Teze Genel Bakış	9
2. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU PROJESİ.....	11
2.1. Astin Sat 1 Küp Uydu Projesi Görevleri.....	13
2.2. Astin Sat 1 Küp Uydu Projesi Alt Sistemleri.....	13
3. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU TASARIM VE ANALİZ	
GEREKSİNİMLERİ	15
3.1. Astin Sat 1 Küp Uydu Fiziksel Gereksinimleri	15
3.2. Astin Sat 1 Küp Uydu Fırlatma Gereksinimleri	21
3.3. Astin Sat 1 Küp Uydu Uzay Ortamı Gereksinimleri	22
4. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU MODELLENMESİ	26
4.1. Astin Sat 1 Küp Uydu Alt Sistemlerinin Özellikleri	27
4.2. Astin Sat 1 Küp Uydu Seçilen Malzemeler	32
4.3. Astin Sat 1 Küp Uydu Yörünge Parametreleri	33
5. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU YAPI VE ISI ANALİZLERİ.....	37
5.1. Astin Sat 1 Küp Uydu Doğal Frekans Analizleri.....	37
5.2. Astin Sat 1 Küp Uydusu Statik Analizleri	43
5.3. Astin Sat 1 Küp Uydusu Isı Analizleri	47
6. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU YAPISININ ÜRETKEN TASARIM İLE	
MODELLENMESİ VE ANALİZ SONUÇLARI	54
7. SONUÇLAR	60
KAYNAKÇA	61
EK	64
ÖZGEÇMİŞ	65

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1: Uydu Sınıfları ve Kütle Aralığı	11
Tablo 2.2: Küp Uydu Boyut ve Kütleleri	12
Tablo 3.1: Her Ana Eksen Üzerinde Geometrik Merkezden Ölçülen Kabul Edilebilir Kütle Merkezi Konumlarının Aralıkları	18
Tablo 3.2: Malzemeler ve Özellikleri	21
Tablo 3.3: Fırlatma Araçları ve İvmelenme Değerleri	22
Tablo 3.4: PSLV Fırlatma Aracı PSD Değerleri	22
Tablo 4.1: Astin Sat 1 Kütle Bütçesi.	30
Tablo 4.2: Al 7075 T6 Malzemesi Özellikleri.....	33
Tablo 4.3: FR-4 Malzemesi Özellikleri.....	33
Tablo 5.1: Astin Sat 1 Küp Uydusunun Sabitsiz İlk 6 Doğal Frekans Sonuçları.....	38
Tablo 5.2: Astin Sat 1 Küp Uydusunun Sabit Yüzeyli İlk 6 Doğal Frekans Sonuçları.....	40
Tablo 5.3: Yapı Analiz Durumları	43
Tablo 5.4: Isı Analiz Sıcaklık Durumu, Malzeme ve Güç Tüketim Miktarı	48
Tablo 5.5: Isı Analiz Sıcaklık Durumu ve Kullanabilirlik Sonucu	53
Tablo 6.1: Seçilen Üretken Tasarım Modelinin Sabit Yüzeyli İlk 6 Doğal Frekans Sonuçları	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Küp Uydu Temsili Boyut Gösterimi	12
Şekil 3.1: 3U Küp Uydu Ray Tabanlı Yörünge Yerleştiricisi Örneği	17
Şekil 3.2: –Z Yüzünde Gösterilen İsteğe Bağlı Ekstra Hacim	18
Şekil 3.3: Önerilen Dağıtım Anahtarları ve Ayırma Yayı Konumları.....	19
Şekil 4.1: Astin Sat 1 Küp Uydu Modellemesi	30
Şekil 4.2: Astin Sat 1 Küp Uydu Modellemesi	31
Şekil 4.3: Astin Sat 1 Küp Uydu Patlatılmış Görüntüsü	31
Şekil 4.4: Astin Sat 1 Tasarımı ve Alt Sistemleri	32
Şekil 4.5: Kepler’in Yörünge Elementleri	34
Şekil 4.6: Astin Sat 1 Küp Uydusunun 10-11 Temmuz 2023 Tarihli Bir Tam Turu	35
Şekil 4.7: Yer İstasyonu Konumlandırması ve Astin Sat 1 Küp Uydusunun 10-11 Temmuz 2023 Tarihli Geçişleri	35
Şekil 4.8: Astin Sat 1 Küp Uydusunun 10-11 Temmuz 2023 Tarihli Yer istasyonu İle Haberleşme Zamanları ve Süreleri	36
Şekil 4.9: Astin Sat 1 Küp Uydusunun 10-11 Temmuz 2023 Tarihli Tutulma Süresi	36
Şekil 5.1: Astin Sat 1 Küp Uydusunun Sabitsiz İlk 2 Doğal Frekans Sonuçları	38
Şekil 5.2: Astin Sat 1 Küp Uydusunun Sabitsiz Son 4 Doğal Frekans Sonuçları	39
Şekil 5.3: Astin Sat 1 Küp Uydusunun Sabitlenen Kirişleri ve Yüzeyleri	40
Şekil 5.4: Astin Sat 1, Yörünge Yerleştirici İçerisindeki İlk 4 Doğal Frekans Sonuçları	41
Şekil 5.5: Astin Sat 1, Yörünge Yerleştirici İçerisindeki Son 2 Doğal Frekans Sonuçları	42
Şekil 5.6: Astin Sat 1, Yörünge Yerleştirici İçerisindeki İlk 200 Doğal Frekans Sonuçları	42
Şekil 5.7: Gerilim Gerinim Eğrisi	43
Şekil 5.8: 1.Durumdaki Toplam Deformasyon Miktarı	44
Şekil 5.9: 1.Durumdaki Toplam Eşdeğer Gerilim ve Güvenlik Faktörü	44
Şekil 5.10: 2.Durumdaki Toplam Deformasyon Miktarı	45
Şekil 5.11: 2.Durumdaki Toplam Eşdeğer Gerilim ve Güvenlik Faktörü	45
Şekil 5.12: 3.Durumdaki Toplam Deformasyon Miktarı	46

	Sayfa
Şekil 5.13: 3.Durumdaki Toplam Eşdeğer Gerilim ve Güvenlik Faktörü	46
Şekil 5.14: Uydunun Görevi Sırasında Karşılaştığı Çevresel Faktörler	47
Şekil 5.15: Astin Sat 1 Küp Uydusu Dış Yapısının Karşılaşabileceği En Yüksek Sıcaklıklar	49
Şekil 5.16: Astin Sat 1 Küp Uydusu İç Yapısının Karşılaşabileceği En Yüksek Sıcaklıklar	49
Şekil 5.17: Astin Sat 1 Küp Uydusu Dış Yapısının Karşılaşabileceği En Düşük Sıcaklıklar	50
Şekil 5.18: Astin Sat 1 Küp Uydusu İç Yapısının Karşılaşabileceği En Düşük Sıcaklıklar	50
Şekil 5.19: Isı Analiz Sonuç Gösterimi İçin Donanımların Renk Dağılımı	51
Şekil 5.20: Isı Analiz Sonuç Gösterimi İçin Alt Sistemlerin Renk Dağılımı	51
Şekil 5.21: Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği	52
Şekil 5.22: Zamana Bağlı Dünya Albedo Absorbe Akı Grafiği Dağılımı	52
Şekil 5.23: Zamana Bağlı Absorbe Güneş Akı Grafiği	52
Şekil 6.1: Yörünge Yerleştiricisi Hacmine Uygun Üretken Tasarım Modeli ...	54
Şekil 6.2: Üretken Tasarım Sırasında Korunan Bölgeler	55
Şekil 6.3: Oluşturulan Başlıca Üretken Tasarım Modelleri	56
Şekil 6.4: Seçilen Üretken Tasarım Modeli	56
Şekil 6.5: Seçilen Üretken Tasarım Modelinin Ayrıntılı Görselleri	57
Şekil 6.6: Seçilen Üretken Tasarım Modelinin Alt Sistemler İle Birleştirilmesi	58

SEMBOL LİSTESİ

a	: Yarı büyük Eksen
A	: Yapı Kesit Alanı
e	: Eksantriklik, Dışmerkezlilik
E	: Malzemenin Elastisite Modülü
F	: İki Nokta Kütleler Arasındaki Çekim Kuvvetinin Büyüklüğü
G	: Yerçekimi Sabiti
g	: Yer Çekimi İvmesi
i	: Eğim
m₁	: İlk Nokta Kütlesi
m₂	: İkinci Nokta Kütlesi
P	: Basınç
Q	: Toplam Isı Transferi
Q_{ışınım}	: Işınım İle Gerçekleşen Isı Transferi
Q_{iletim}	: İletim Yoluyla Gerçekleşen Isı Transferi
Q_{taşınım}	: Taşınım İle Gerçekleşen Isı Transferi
r	: İki Kütle Arasındaki Uzaklık
U	: Küp Uydu Birimi
v	: Gerçek Anomali
w	: Periapsis Bağımsız Değişkeni
ε	: Yer Değiştirme
σ	: Gerilme
Ω	: Yükselen Düğümün Uzunluğu

KISALTMALAR

NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
PSD	: Güç Spektral Yoğunluğu
RF	: Radyo Frekans
UHF	: Ultra High Frequency, Ultra Yüksek Frekans
VHF	: Very High Frequency, Çok Yüksek Frekans



ÖZ

ASTINSAT-1 K p Uydu Tasarımı, Yapısal Analizi ve  retken Tasarımı

Alper  ANLI

Millî Savunma Üniversitesi, Hezârfen Havacılık ve Uzay

Teknolojileri Enstitüsü

 stanbul, Şubat 2022

K p uydu sayısı her geçen gün artmakta ve sahip olduğu teknoloji gelişmektedir. Bu çalışmanın amacı, yakın zamanda yapılması planlanan Astin Sat 1 k p uydusunun tasarımı, yapı analizi, ısı analizi ve üretken tasarım modellemesini gerçekleştirmektir. Belirlenen görevlere uygun yörünge mekaniği analizleri yapılmıştır. Yapılan k p uydu tasarım çalışması sonucunda, k p uydu üzerinde tanımlanan yükler ve kısıtlamalar ile k p uydunun yapı analizleri yapılmıştır. Fırlatma koşullarında yörünge yerle tirici içerisindeki k p uydunun titreşim ve yapı analizleri yapılmış ve doğal frekans sonuçları bulunmuştur. Yörüngedeki k p uydunun ısı analizleri gerçekleştirilmiş ve alt sistemlerin göreve uygunluğu incelenmiştir. Bu analiz sonuçları değerlendirilerek k p uydunun görevlere uygunluğu adına çıkarımlar yapılmıştır. Günümüzde  retken tasarım uzay aracı tasarımlarında verimli tasarım elde etmek için kullanılmaktadır.  retken tasarım ile kolayca tasarlanamayacak karmaşık, mukavemetli modeller tasarlanabilmekte ve bu tasarımlar çeşitli üretim teknikleriyle hızlıca kullanılabilir. Bu tez çalışmasında tanımlanan yükler ve şartlar altında üretken tasarım gerçekleştirilmiş olup, bunun sonucunda en uygun k p uydu yapı tasarımları değerlendirilmiştir.  retken tasarım ile elde edilen yapı tasarımının yapı analizleri yapılarak mevcut tasarımın yapı analiz sonuçları ile kar ıla tırmaları yapılmıştır. Görevlere uygun k p uydu tasarımı, yapı analizi ve ısı analizi ışığında tasarlanan ve üretken tasarım ile elde edilen k p uydu tasarımı, yapı analizi sonuçlarının göreve uygunluğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: K p Uydu, Tasarım, Yapı Analiz, Isı Analiz,  retken Tasarım.

Bilim Kodu: 93106

Sayfa Sayısı: 79

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Alim Rüstem ASLAN

ABSTRACT

Design of ASTINSAT-1 and Structural Analysis, Use of Generative Design

Alper ŞANLI

National Defense University, Hezârfen Aeronautics and
Space Technologies Institute
Istanbul, February 2022

Cubesat production is increasing day by day and the technology it has is developing. The aim of this research is to model the design, structural analysis, thermal analysis, and generative design of the Astin Sat 1 cubesat, which is planned to be built in the near future. The analysis' of orbital mechanics has been done appropriately according to the missions. As a result of the cubesat design study, the structural analysis of the cubesat has been done by considering the loads and the restrictions which are designated on the cubesat. The vibration and structural analysis of the cubesat in POD has been made in launching conditions and the natural frequency results have been found. The thermal analysis of the cubesat has been made and the congruity of the subsystems for the mission has been examined. By evaluating these analysis results, inferences were made for the convenience of the cubesat for the missions. At the present time, generative design is being used for getting efficient results while designing spacecrafts. Through using generative design, complex and uncompliant models can be designed and these models can be used swiftly by means of several production techniques. In this thesis study, generative design has been used by considering the designated loads and conditions. As a consequence of this design study, the most convenient cubesat structure designs have been evaluated. The structural analysis of the structure designs, which are made by using generative design, has been done and the comparison of the analysis and the current model has been made. The cubesat design, which was designed in the light of structural analysis and thermal analysis in accordance with the tasks, and which was obtained by generative design, the suitability of the structural analysis results for the task was evaluated.

Keywords: Cubesat, Design, Structural Analysis, Thermal Analysis, Generative Design.

Science Code: 93106

Pages: 79

Supervisor: Prof.Dr. Alim Rüstem ASLAN

1. GİRİŞ

İçerisinde bulunduğumuz evrenin yaklaşık 100 milyar galaksi ve 200 milyar yıldızı bünyesinde barındırdığı düşünülmektedir. Büyük Patlama teorisi evrenin oluşumunu açıklayan ve bilim çevreleri tarafından en çok kabul gören teoridir. Bu teoriye göre evren yüksek enerjiye sahip bir noktanın patlamasıyla oluşmuş ve sürekli genişlemektedir. Gözlemlenebilir evrenin tahmini yaşı $13,799 \pm 0,021$ milyar yıl ve çapı $8,8 \times 10^{26}$ m'dir. Kütlesinin ise en az 10^{53} kg olduğu düşünülmektedir. Gözlemlenebilir evrenin içerişi ise %4,9 madde, %26,8 karanlık madde ve %68,3 karanlık enerjiden oluşmaktadır.

Dünya üzerinde yaşayan birçok canlı hayatlarını devam ettirebilmek için gökyüzünü kılavuz almıştır. Yıldızların gökyüzündeki konumları birçok canlıya yol bulmaları için faydalı olmuştur.

Havacılık ve uzay bilimleri insanoğlu için her zaman merak konusu olmuştur. Bu merak insanoğlunu uzay bilimini anlamaya itmiştir. İnsan, hayal gücünün peşinde teleskoplar ve yapay uydular yaparak uzaya erişmeye çalışmıştır.

Uydular, gezegenlerin çekim etkisinde kalarak gezegenlerin çevresinde dolanan araçlardır. Kütleye bağlı olarak kapalı veya açık yörüngelere sahip olabilmektedirler. Uydu ve gezegen birbirlerine karşı çekim kuvveti uygular ve dönme hareketi başlar. Doğal uydular ve yapay uydular olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal uydular, büyük kütleli gezegenlerin çevresinde dolanan doğal oluşumlu gök cisimleridir. Gezegenler sahip oldukları büyük kütleler ile bu cisimleri çevresinde tutarlar ve kendi çevrelerinde dolaşım hareketi sağlarlar. Güneş sistemimizde günümüzde 240 adet doğal uydu bulunmuştur ve araştırmalar hala devam etmektedir. Üzerine ayak basabildiğimiz tek uydu Dünya'nın doğal uydusu olan Ay'dır. Bir diğer uydu ise yapay uydulardır. İnsanoğlu tarafından yapılan uydulara yapay uydu denilmektedir. Yapılan ilk yapay uydu 1957 senesinde yapılan Sputnik 1'dir (Sellers ve diğ., 1994). Günümüzde kimliksiz uydular ile beraber yaklaşık 10.000 yapay uydu vardır.

Starlink projesi ile bu sayı giderek artmaktadır. Yapay uydular; bilimsel, yer gözlem, uzay teleskobu, haberleşme gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır.

İki cismin birbirlerine uyguladığı kuvveti F ile gösterilir ve Newton'un evrensel yerçekimi yasası ile bulabilmekteyiz. İki cismin kütleleri m_1 ve m_2 'dir. Aralarındaki mesafe r ve yerçekimi sabiti G olarak ifade edilmektedir.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.1)$$

Uzaya olan merak ve gözlemler; teknolojiyi ve sosyal yaşamı etkilemiştir. Teknolojinin gelişmesiyle bu etkileşim uzay gözlemleri ve uzaya ulaşma çabasını da hızla artırmıştır. İnsanoğlunun uzaya olan merakı ve ona ulaşma isteği uzay çağını başlatmıştır. Bu çağın başlangıcı olarak 4 Ekim 1957 yılında Sputnik 1 uydusunun fırlatılması kabul edilmiştir. 12 Nisan 1961 yılında Yuri Gagarin Vostok uzay aracı ile 327 km irtifaya ulaştı ve 108 dakika uzayda kalarak uzaya ulaşan ilk insan oldu. Ardından NASA 20 Temmuz 1969 yılında Apollo 11 ile ilk kez Ay'a insanlı iniş gerçekleştirilmiştir. Ay'a ilk adımını atan kişi ise Neil Armstrong'dur. Bu hızlı yükseliş roket teknolojisi, yazılım, bilgisayar ve diğer alanların da gelişmesini beraberinde getirmiştir. 1998 yılında alçak Dünya yörüngesine Uluslararası Uzay İstasyonu yerleştirilmiş ve yaşanabilen yapay uydu inşa edilmiştir. Günümüzde ise birçok ülkenin kendilerine ait bir uzay programı; uzayda ise bilimsel ve ticari amaçlı binlerce uydu bulunmaktadır. Uzay çağının özelleşmesi günümüzde son derece yaygınlaşmıştır ve bu şirketler arasında Boeing, SpaceX, Blue Origin ve Virgin Galactic gibi birçok özel şirket vardır. SpaceX, yeniden kullanılabilir roketler tasarlayarak uzaya ulaşımı son derece mümkün kılmıştır. Aynı zamanda Mars'ta koloni kurma görevi için yüksek teknolojiye sahip roket ve ayrıca Dünya'nın her yerine internet erişimini sağlayacak Starlink uydu takımını inşa etmektedir. SpaceX, Blue Origin ve Virgin Galactic isimli şirketler uzay turizmine yönelmiştir.

Türkiye 1994 yılında haberleşme uydusu Türksat-1A, Türksat-1B, 2003 yılında yer gözlem uydusu Bilsat-1 ve 2011 yılında yer gözlem uydusu Rasat gönderilmiştir. 2012 yılında Göktürk-2 ve 2016 yılında Göktürk-1 keşif uyduları gönderilmiştir. 13 Aralık 2018 tarihinde Türkiye Cumhuriyeti'nin ulusal uzay ajansı Türkiye Uzay Ajansı kurulmuştur. 2021 yılında Türksat-5A haberleşme uydusu gönderilmiştir. Yakın gelecekte geliştirilen ve gönderilmesi planlanan yüksek çözünürlüğe sahip

İmece uydusu, sentetik açıklıklı radar uydusu olan Göktürk-3 uyduları ve daha fazlası yapım aşamasındadır.

Küp uydular, 1999 yılında Stanford Üniversitesi ve Kaliforniya Politeknik Eyalet Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir ve küp uydular günümüzde uzaya erişimi son derece mümkün, ulaşılabilir kılmıştır. Küp uydular diğer yapay uydulara kıyasla son derece hafif ve boyutsal olarak küçüktür. Hafif ve küçük boyutta olmaları sayesinde diğer yapay uydulara kıyasla maliyet olarak daha uygundur. Günümüzde son derece ileri teknolojiler ile donatılmış küp uydular mevcuttur. Türkiye’de ilk olarak 2009 yılında İtü-p Sat 1 küp uydusu başarılı bir şekilde gönderilmiştir. Ardından Türkiye’de Türksat-3U Sat, Havelsat, BeEagle Sat, Ubakusat ve Aselsat küp uyduları üretilmiş ve yörüngelerine başarılı bir şekilde yerleştirilmiştir. Yakın gelecekte gönderilmesi planlanan ileri teknolojilere sahip küp uydu projeleri mevcuttur.

1.1 Tezin Amacı

Küp uydu sayısı her geçen gün artmakta ve sahip olduğu teknoloji gelişmektedir. Uzay alanında atılan son zamanlardaki büyük adımlar küp uydu teknolojisine daha kolay ulaşmamızı mümkün kılmaktadır. İnsanlığın içinde bulunduğu bazı şartlar için uzaya erişim günümüzde zorunlu hale gelmiştir. Haberleşme, gözlem, bilimsel ve askeri çalışmalar için kullanılmaktadır.

Bu tezin amacı görevi belli olan, yakın zamanda yapılması düşünülen Astin Sat 1 küp uydu modellenmesi ve küp uydu yapı tasarımıdır. Bu tasarım sonucunda küp uyduya tanımlanan yükler ve sınırlandırmalar ile küp uydunun statik yapı analizleri yapılmıştır. Tasarıma tanımlanan şartlar ile titreşim analizleri gerçekleştirilmiş olup doğal frekans sonuçları bulunmuştur. Uzayda görevler sırasında alt sistemlerin ulaşacağı sıcaklık aralıkları analiz edilmiştir. Isı analiz yapılarak alt sistemlerin uygunluğu bulunmuştur. Bu sonuçlar değerlendirilerek çıkarımlar yapılmış ve görevlere uygunluğu bulunmuştur. Günümüzde üretken tasarım hayatımıza hızlıca girmektedir ve hava, uzay aracı tasarımlarında verimli tasarım elde etmek için kullanılmaktadır. Üretken tasarım ile bir insanın kolayca tasarlayamayacağı karmaşık verimli modeller tasarlayabilir, bunları çeşitli üretim teknikleriyle hızlıca hayatımıza katabiliriz. Bu tez çalışmasında tanımlanan yükler ve şartlar altında üretken tasarım gerçekleştirilmiş olup, bunun sonucunda en uygun yapı modelleri değerlendirilmiş ve

mevcut tasarım ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda üretken tasarım ile elde edilen küp uydu formunun yapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar değerlendirilerek çıkarımlarda bulunulmuştur.

Üretilecek yapay uydu, fırlatma aşamasında yüksek titreşimlere, statik ve dinamik yüklemelere; uzay ortamında ise yüksek ve düşük sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu yüklemeler, titreşimler ve sıcaklık değişimleri etkisindeki yapay uydunun dış iskeleti ve alt sistemleri zarar görmektedir. Yapay uydu uzaya fırlatılmadan önce yer testleri yapılarak yükler ve titreşimler altında durumu incelenmektedir. Uzay ortamında da maruz kalacağı sıcaklık değişimleri incelenmektedir. Bu analizler bilgisayar ortamında ve çeşitli düzenekler ile oluşturulan deney düzenekleri üzerinde yapılabilir. Yapay uyduların fırlatma ve uzay ortamında sağlamlık ve bütünlüklerinin bozulmaması için yapı analiz, titreşim analiz ve ısı analiz çok önemlidir. Bu tezin amacı ileride yapılması düşünülen Astin Sat 1 küp uydu projesinin yapı, titreşim ve ısı analizlerini gerçekleştirmektir. Küp uydunun uzay ortamı ve roket içerisinde bütünlüğünün ve sağlamlığının korumasını sağlayarak analiz sonuçları elde edilmiştir. Üretken tasarım ile yapı modelinde verimli ve düşük kütleli modeller oluşturulmuştur. Üretken tasarım modelinin yapı analizi yapılarak mevcut yapı ile karşılaştırması yapılmıştır.

Astin Sat 1 küp uydu modellenmesi, yapı ve ısı analizlerinin ışığında küp uydunun göreve uygunluğunun değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bir diğer hedef ise üretken tasarım ile ortaya çıkan sonuçların analiz edilerek göreve uygunluğunun değerlendirilmesidir.

1.2 Tezin Önemi

Bu tez çalışması ile görevi daha öncesinde belirlenmiş Astin Sat 1 küp uydu projesinin yapı tasarımı, modellenmesi yapılarak göreve uygunluğu ortaya konulmuştur. Yapı ve ısı analiz sonuçları ışığında roket içerisinde ve uzay ortamında maruz kalacağı yükler ve sıcaklık değişimleri etkisinde alt sistemlere etkileri analiz edilmiştir. Alt sistem isterleri araştırılmış olup karşılaştırmalar yapılmıştır. Küp uydu tasarımı üzerinde üretken tasarım kullanarak yeni modeller oluşturulmuştur. Bu modellerin uzay ortamı ve roket içerisindeki davranışları incelenmiştir. Mevcut tasarımların ötesine geçerek üretken tasarım ile insanın tasarlayamayacağı daha

mukavemetli ve hafif modeller oluşturulmuştur. Üretken tasarım bakış açısı ile uzay araçları tasarlayarak bilime yenilikçi bir bakış açısı kazandırmıştır.

Tezin çalışmasından ortaya çıkan sonuçlar neticesinde Astin Sat 1 küp uydu projesi için uygun alt sistemler, roket seçimi yapılabilecektir. Havacılık ve uzay bilimlerinde üretken tasarımın önemli rolü ortaya çıkmıştır. Kritik parça ve donanım tasarımlarında üretken tasarım verimli tasarım sonuçlarıyla faydalı olmuştur. Üretken tasarım ile isterlere uygun tasarlanması mümkün olmayan modeller ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım uzay ve hava araçlarına önüne çıkan zorluklar karşısında yatsınamaz somut yenilikler ortaya koyacaktır.

1.3 Tezin Yönetimi

Bu tez kapsamında Astin Sat 1 küp uydusunun modellenmesi için Catia, Autodesk Fusion 360, Solid Works ve Ansys Space Claim tasarım programları kullanılmıştır. Yapı ve titreşim analizi aşamalarında Ansys Mechanical ve Autodesk Fusion 360 Simulation programları kullanılmıştır. Isı analizi için System A, Autodesk Fusion 360 ve Ansys programları kullanılmıştır. Üretken tasarım modellerinin oluşturulması için Autodesk Fusion 360 Generative Design programları kullanılmıştır. Küp uydu yörünge parametrelerin belirlenmesinde Agi Systems Tool Kit ve General Mission Analysis Tool programları kullanılmıştır. Bahsedilen programlar içerisinde veriler toplanmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarının bir kısmı Microsoft Office Excel programında görselleştirilmiştir. Analizler sonucunda sayısal verilere dayalı değerlendirmeler yapılmıştır.

1.4 Tez Konusuyla İlgili Yurtiçi/Yurtdışında Yapılan Çalışmalar

Bu tez kapsamında ayrıntılı literatür çalışmaları yapılmıştır. Yurtiçi ve yurtdışında yapılan çalışmalar incelenmiş, sonuçları belirtilmiştir.

Aslan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (Aslan ve diğ., 2007) Türkiye'nin ilk pikosatı İtü-p Sat 1 küp uydusunun tasarımı ve görev analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada küp uydunun yörünge, alt sistemlerinin özellikleri ve test aşamaları anlatılmaktadır. Küp uydu 23 Eylül 2009 tarihinde başarılı bir şekilde gönderilmiştir ve günümüzde aktif olarak çalışmaya devam etmektedir.

Cihan ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada (Cihan ve diğ., 2011) uydu tasarım sürecini modelleme, analiz, imalat, entegrasyon ve test olmak üzere beş adımda tanımlamışlardır. Bu çalışma kapsamında İtü-p Sat 2 küp uydusunun modellenmesi ve analizi yapılmıştır. Görevleri belirtilmiş küp uydu için iki farklı yapı tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda İtü-p Sat 2 küp uydusunun statik ve modal analizleri yapılmıştır.

Eiswy ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmalarında (Eiswy ve diğ., 2011) küp uydu modeli için, sonlu elemanlar kullanarak yapı statik, dinamik ve modal analizler gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda statik, dinamik analiz ve doğal frekans değerleri uygun bulunmuştur. Kütle optimizasyonları yapılmıştır ve güvenlik faktörü ile yapının güvenli olduğu bulunmuştur.

Süer, yüksek lisans tez çalışmasında (Süer, 2013) Türksat 3U Sat küp uydu yapısı Avrupa Uzay Ajansı tarafında belirlenen tasarım kriterlerine uygun olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen uydu yapı tasarımının roket içerisinde ve uzay ortamındaki etkileri analiz edilmiştir. Türksat 3U Sat küp uydusu 26 Nisan 2013 tarihinde fırlatılmıştır ve çalıştığı kanıtlanmıştır.

Bürger ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (Bürger, 2013) Aesp 14 küp uydusu için sonlu eleman analizlerinden sonuçlar elde etmişlerdir. Küp uydu yapısının ana fırlatma araçlarının yüklerine dayanabildiğini göstermişlerdir. Yerel üretim kapasitesi değerlendirilene ve Aesp 14 küp uydu yapısının tasarlanıp üretileceği sonucuna varmışlardır.

Aslan ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada (Aslan ve diğ., 2014) BeEagleSat küp uydusunun tasarımı gerçekleştirilmiş ve kritik tasarım aşaması başarı ile tamamlanmıştır. Üretilen tüm alt sistemlerin uzay ortamı ve titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. BeEagleSat küp uydusu 2017 yılında başarılı bir şekilde uzaya gönderilmiştir.

Ampatzoglou ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (Ampatzoglou ve diğ., 2014) küp uydu yapılarının tasarımında kompozit malzemelerin kullanımı araştırılmıştır. Kompozit malzemeden üretilen yapının statik, dinamik ve modal analizleri sonucunda uygun olduğu bulunmuştur. Çalışma sonucunda tüm gereksinimleri karşılamak için hem alüminyum hem de kompozit malzeme bileşenlerinden oluşan hibrit bir yapı düşünülmüştür.

Menteş, 2015 senesinde yaptığı yüksek lisans çalışmasında (Menteş, 2015) alüminyum ve karbon kompozit yapılı dört ayrı 3U küp uydunun, fırlatma ve uzay ortamı koşullarında maruz kalabilecekleri mekanik ve ısı yükleri altındaki yapı davranışları incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda birden fazla sayıda farklı tasarımlara sahip kompozit ve bir tane alüminyum uydu modeli oluşturulmuştur.

Herrera Arroya ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise (Herrera Arroya ve diğ., 2016) CIII Sat küp uydusu için fırlatma koşulları simüle edilmiştir. Küp uydu için hem statik hem de dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda küp uydunun Ariane 5 fırlatma aracına ve rampasının mekanik koşullarına dayanabildiği gösterilmiştir.

Shinde ve arkadaşları 2017 yılında yaptığı çalışmada (Shinde ve diğ., 2017) alçak irtifa yörüngesindeki küp uydu görevinin gerekliliğini karşılayabilecek bir pasif ısı kontrol sisteminin geliştirilmesi için bir ısı analiz yapılmıştır. Analitik analizlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak en iyi performans gösteren malzemenin kalınlığı optimize edilmiştir.

Sekerere ve Mushiri yaptıkları çalışmalarında (Sekerere ve Mushiri, 2017) küp uydunun çerçeve yapısını incelemişlerdir. Küp uydu yapısının; fırlatma statik ve dinamik titreşimler etkisinde bozulmadan dayanabildiğini göstermişlerdir. Sınır şartlarında maruz kalınan doğal frekanlarda küp uydunun sağlamlığını kanıtlamışlardır.

Ampatzoglou ve Kostopoulos çalışmasında (Ampatzoglou ve Kostopoulos, 2018) Upsat küp uydunun yapı tasarım optimizasyonu ve geliştirilmesi incelenmiştir. Çalışmanın amacı, küp sat yapısını analiz ederek tasarlamak, inşa etmek ve doğrulamak ve test etmektir. Upsat Sat küp uydusu başarılı bir şekilde uzaya gönderilmiştir.

2018 yılında yapılan Maliky ve Bermani'nin çalışmasında (Maliky ve Bermani, 2018) Kufa Sat küp uydu yapısının fırlatma için uyumluluğunu araştırmışlardır. Analizler sonucunda doğal frekans sonuçları ve lineer burkulma analizinden hesaplanan deformasyon, Al7075 T6'nın daha sert olduğunu göstermiştir.

2018 yılında Garzon ve arkadaşları (Garzon ve diğ., 2018) geliştirilmekte olan Libertad 2 uydusu için öngörülen özelliklere sahip üç üniteli bir küp uydunun ön ısı analizini gerçekleştirmiştir. Aşırı sıcaklıklar çoğunlukla en hassas uydu bileşeninin

Çalışma aralığı içindeydi, $0^{\circ} \leq T \leq 60^{\circ}$, böylece görevin uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Barsoum ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışmada (Barsoum ve diğ., 2019) fırlatma aşamasında kp uydunun birincil yapısının statik ve dinamik performansı araştırılmıştır. Kp uydunun analiz sonuçları ile fırlatıcı tarafından verilen mukavemet gereksinimleri karşılaştırılmıştır. Alüminyum 6061-T6 malzemesinin kp uydu yapısı için uygun olduğu belirtilmiştir.

Chau ve Vo yaptıkları çalışmada (Chau ve Vo, 2019) Igo Sat kp uydusunun fırlatma sırasında maruz kalacağı yükler altında modal, harmonik ve rastgele titreşim analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Tasarımın kp uydu yapısı için uygun olduğu gösterilmiştir.

Alhammadive arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada (Alhammadive ve diğ., 2020) fırlatma sırasında kp uydunun maruz kalabileceği yükler ve şartlar tanımlanmıştır. Bu durum simüle edilerek kp uydunun yapı analiz sonuçları elde edilmiştir. Statik ve modal analizler için iki tip model geliştirilmiş ve simüle edilmiştir. Bu alışma sonucunda Mysat-1 kp uydusunun fırlatıcı tarafından kalifikasyonu ve uçuşa uygunluğu sağlanmıştır.

Zosimovych alışmasında (Zosimovych, 2020) kp uydu teknolojisini incelemiştir ve küp uydu platformunun tasarımını, üretimini tanımlamıştır. Mühendislik çalışmalarının uzmanlaşması açısından, bazı optimal tasarım çözümleri, temel parametrelerin uyumluluğu ve özelliklerini bulmak için tasarım süreci kavramı formüle edilmiştir. Kp uyduya esneklik özelliği sağlayacak ABS gibi plastik malzemelerin kullanımı araştırılmıştır.

2020 yılında Morettini ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada (Morettini ve diğ., 2020) kp uyduyu yapı olarak doğrulamak için karşılaşılması gereken tüm kritik aşamaların geniş ve derinlemesine literatür araştırması yapmışlardır. Analizinden türetilen sonuçlar kapsamlı ve kritik bir çerçevede sunulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda bir küp uydunun yapı çalışması için gerekli tüm isterler tanımlanmış ve vurgulanmıştır.

1.5 Teze Genel Bakış

Birinci bölüm tezin giriş bölümüdür. Giriş bölümünde evren ve uzay hakkında genel bilgiler verilmiştir. Uydulara etkileyen Newton'un evrensel yerçekimi yasasından bahsedilmiştir. Ardından uzay bilimlerinin kısa tarihçesi anlatılmıştır. Tarihteki önemli anlar paylaşılmış olup, yapay uydulara örnekler verilmiştir. Günümüzdeki uzay çalışmaları hedefleriyle açıklanmıştır. Türkiye’de gerçekleştirilmiş yapay uydu projelerine değinilmiş, gelecekteki yapay uydu projelerine örnekler verilmiştir.

Tezin amacı, önemi ve yöntemi açıklanmıştır. Modelleme, yapı, titreşim ve ısı analiz ve üretken tasarımların amacı belirtilmiş, kullanılan programlardan bahsedilmiştir. Tez konusuyla ilgili yurtiçi ve yurtdışında yapılan çalışmalar incelenmiş olup amaç ve sonuçlarıyla açıklanmıştır.

İkinci bölümde küp uyduların özellikleri açıklanmış ve genel bilgiler verilmiştir. Yapılmış küp uydu projelerine örnekler verilmiştir. Gelecekte yapılması düşünülen küp uydu projelerinden bahsedilmiştir. Tez kapsamında modellenen Astin Sat 1 küp uydusunun görev tanımlaması yapılmıştır. Küp uydularda var olan alt sistemler tanıtılmıştır. Alt sistemlerin görev tanımları yapılarak örnekler verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise Astin Sat 1 küp uydu projesinin yapı tasarım gereksinimlerinden bahsedilmiştir. Küp uydunun görevini yapabilmesi için öncelikle bu görevde karşılaçağı zorluklar karşısında dayanıklı olmalıdır. Küp uydunun roket içerisindeki fiziksel sınırlamaları, kütle, hacim ve malzeme karşılaştırmaları yapılarak uygun küp uydu fiziksel tasarımı yapılmıştır. Fırlatma ve uzay ortamında görev sırasında gereksinimleri dahilinde çeşitli roketlerin titreşim, statik, dinamik ve ısı şartlarından bahsedilmiştir. Ardından küp uydunun uzay ortamında karşılaçağı yük, sıcaklık ve maruz kalacağı ortam şartlarından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde küp uydu projesinin yapı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çeşitli alt sistemlerin karşılaştırması yapılarak uygun alt sistem belirlenmiş, bu alt sistemin özellikleri açıklanmıştır. Küp uydu projesinde kullanılacak olan malzemeler karşılaştırma sonunda belirlenmiş, özellikleri ve kullanım yerleri açıklanmıştır. Küp uydunun yörünge parametrelerinden bahsedilerek uzaydaki konumlandırması, periyodu, yarı büyük eksen uzunluğu ve Güneş panellerinin Güneş’e maruz kalma sürelerinden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde küp uydunun titreşim, yapı analizleri ve ısı analiz sonuçları paylaşılmıştır. Küp uydunun yapı ve ısı analiz kurulumları açıklanmış, küp uyduya etkileyen yüklemeler, sıcaklık değişimleri ve kısıtlamalar gösterilmiştir. Küp uydunun yerleştirilmesi, sabitlenmesi ve kurulumu sağlanarak yapı ve ısı analiz sonuçları çıkarılmıştır. Statik, modal ve ısı analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde ise Astin Sat 1 küp uydu projesinin üretken tasarım ile modellenmesi yapılmıştır. Üretken tasarımdan ve faydalarından bahsedilerek örnekler verilmiştir. Küp uydunun üretken tasarım kurulumu yapılmıştır. Üretken tasarım için yüklemeler ve kısıtlamalar koyulmuş olup ulaşılmak istenen hedef belirlenmiştir. Üretken tasarım model sonuçları belirlenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Astin Sat 1 küp uydu projesi için en uygun üretken tasarım modeli belirlenmiştir. Üretken tasarım modelinin yapı analizi gerçekleştirilerek göreve uygunluğu belirtilmiştir.

Yedinci bölüm sonuç kısmıdır. Sonuç bölümünde ulaşılan hedeflerden bahsedilmiştir. Yapılan çalışma özetlenerek tez sonunda varılan sonuç değerlendirilmiştir.

2. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU PROJESİ

Yapay uydular ilk olarak büyük boyutlu ve yüksek maliyetli teknolojilerdi. Bilimin ve teknolojinin zaman içerisinde ilerlemesiyle yapay uydu boyutları, kütleleri ve maliyetleri azaldı. Uzay bilimine katkı yapan özel şirketler bu süreci daha da hızlandırmıştır. Gelişen teknolojinin ürünü olarak küçük uydu teknolojisi hakkında çalışmalar artmıştır. Küçük uydular kütlelerine göre sınıflandırılarak mikrouydular, nanouydular, pikouydular, femtouydular ve attouydular olarak adlandırılmıştır.

Tablo 2.1: Uydu Sınıfları ve Kütle Aralığı.

Uydu Sınıfı	Kütle Aralığı
Büyük uydular	1 ton üzeri
Orta boy uydular	500 kg–1 ton
Mini uydular	100–500 kg
Mikrouydular	10-100 kg
Nanouydular	1–10 kg
Pikouydular	0,1–1 kg
Femtouydular	0,01–0,1 kg
Attouydular	1–10 g

Küp uydu ilk olarak 1999 yılında Stanford Üniversitesi ve Kaliforniya Politeknik Eyalet Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Diğer yapay uydulardan farklı olarak boyutları küçük, kütleleri ise azdır. Diğer uyduların yapabileceği görevleri daha küçük ölçeklerde gerçekleştirmektedir. Düşük maliyetli olmaları ve erişilebilir olmaları sayesinde günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Küp uyduların geliştirme süreleri diğer yapay uydulara göre daha kısa sürebilmektedir. Küp uydular sayesinde günümüzde daha sık yapay uydu fırlatma şansı yakalandı ve bu sayede uzaya erişimi

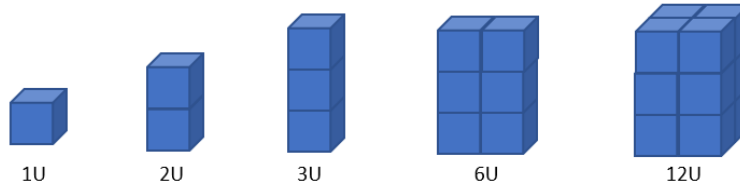
arttırmışlardır. Çoklu sayıda takım uydular sağlanarak görevlerin başarısız olma riskini azaltmışlardır. Günümüzde çok sayıda özel ve resmi kaynaklı küp uydular mevcuttur. Üniversiteler, özel şirketler ve kamu kuruluşları kendi küp uydularını kolaylıkla yapabilmektedirler.

Küp uydu boyutları genellikle 1U, 2U, 3U, 6U, 12U ve 16U şeklinde olabilmektedir. 1U tasarımı genellikle $100 \times 100 \times 113,5$ mm boyutlarındadır. 2U tasarımı genellikle $100 \times 100 \times 227,0$ mm boyutunda; 3U ise genellikle $100 \times 100 \times 340,5$ mm boyutundadır. Yörünge yerleştiriciye (POD) konulan küp uyduların kütleleri ise en fazla 1U için 2 kg; 2U için 4 kg; 3U için 6 kg değerindedir (Johnstone, 2020).

Tablo 2.2: Küp Uydu Boyut ve Kütleleri

Küp Uydular	1U	2U	3U	6U
Boyutlar	100×100×113,5 mm	100×100×227 mm	100×100×340,5 mm	100×226,3×366 mm
Kütle	2 kg	4 kg	6 kg	12 kg

Küp uydular günümüzde eğitim, bilimsel, yer gözlem, haberleşme, keşif, askeri gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Birçok üniversite eğitim amaçlı küp uydu tasarlamaktadır. Bunlara örnek olarak İtü-p Sat 1, BeEagleSat küp uyduları örnek verilebilir. Özel şirketler haberleşme ve alt sistem tasarımlarının denemesi için küp uydular yapmaktadır. Örnek olarak Türksat 3U, Aselsat küp uyduları verilebilir. Küp uydular Dünya dışı görevlerde de kullanılmaktadır. Buna örnek olarak Mars Cube One görevi verilebilir.



Şekil 2.1: Küp Uydu Temsili Boyut Gösterimi.

2.1 Astin Sat 1 K p Uydu Projesi Görevleri

Bu tez kapsamında görevi belirlenmiş k p uydu projesi kullanılacaktır. Belirlenen görevler sırasıyla şöyledir:

- 1- K p uydu üzerindeki sensörler yardımıyla telemetri verilerinin elde edilmesi ve telemetri verilerinin k p uydudan yer istasyonuna aktarılması görevi.
- 2- K p uydu alt sistemine eklenecek verici marifeti ile belirlenmiş ve daha önce k p uyduya eklenmiş bir bilginin uzay ortamından Dünya'ya yayımlanması görevi.
- 3- K p uydu alt sistemine eklenecek sensör ile uydunun hareketi boyunca yörünge Manyetosfer bilgilerini okuması, yer istasyonuna aktarılması ve yer istasyonunda "Dünya Manyetik Alan Modellemesi" oluşturma görevi.
- 4- K p uydu alt sistemine eklenecek metre üstü  z n rl kl  kamera sayesinde istenen zamanda yer yüzeyinden görüntü elde edinimi ve yer istasyonuna aktarması görevi.

 lk görev olarak uydu üzerindeki sensörler ile telemetri verilerinin elde edinimi, telemetri verilerinin yayımlanması, yer istasyonu tarafından okunması ve anlamlaştırılması görevi k p uydunun öncelikli görevidir.  kinci olarak k p uydu üzerindeki verici ile daha önce k p uyduya eklenmiş bir bilginin yayımlaması toplum ilgisini çekici görev olarak tanımlanmıştır.    nc  olarak k p uydu üzerindeki sensör ile yörünge manyetosfer bilgilerini okuması ve yer istasyonuna aktarılması bilimsel görev olarak belirlenmiştir. Dördüncü görev olan kamera sayesinde istenen zamanda yer yüzeyinden görüntü elde edinimi ve yer istasyonuna aktarılması ileri düzey test görevi olarak düşünülmektedir. Bu görevleri yerine getirecek k p uydu modellemesi yapılmıştır. Astin Sat 1 k p uydusunun ismi Milli Savunma Üniversitesi Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü'nün  ngilizce karşılığından gelmektedir. Astin Sat 1 k p uydu projesi 3U standartlarında belirlenmiştir.

2.2 Astin Sat 1 K p Uydu Projesi Alt Sistemleri

Yapay uydularda genel olarak yedi alt sistem bulunmaktadır. Bu alt sistemler şöyledir:

- 1- Yapı Alt Sistemi
- 2- Elektrik Güç Alt Sistemi
- 3- Haberleşme Alt Sistemi
- 4- Komut ve Veri Yönetim Alt Sistemi
- 5- Yönelim Belirleme Alt Sistemi
- 6- Isı Alt Sistemi
- 7- İtke Alt Sistemi

Yukarıda belirtilmiş bu yedi alt sistemin başlıca önemli görevleri vardır. Bu alt sistemlerin doğru çalışması sonucunda yapay uydu görevlerini sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Küp uydular için hayati öneme sahip bu alt alt sistemler günümüzde oldukça küçük boyutlardadır ve kütleleri azdır.

Yapı alt sistemi; yapı, yapay uydunun tüm sistemlerini bir arada tutmaya yarar ve fırlatma öncesi, fırlatma anı ve görev süresi boyunca yapay uyduyu çevresel etkilere karşı korumaktadır.

Elektrik güç alt sistemi; yapay uydunun ana donanımlarını, görev yükü ve alt sistemlerin çalışması için yeterli gücü vermektedir.

Haberleşme alt sistemi; yer istasyonundan komutlar alarak yapay uyduya iletir; görev yükü ve mühendislik verilerini ise yapay uydudan yer istasyonuna iletmektedir.

Komut ve veri yönetim alt sistemi; yapay uyduya gönderilen komutları ve yapay uydu üzerindeki veriyi yönetmektedir. Alt sistemlere gönderilen komutların işleyişini organize etmektedir.

Yönelim belirleme alt sistemi; yapay uydunun yönelimini belirler ve istenen duruma göre düzeltir. Yapay uydunun dış etkiler ve kendi oluşturduğu etkiler altındaki davranışını incelemektedir.

Isı alt sistemi; yüksek sıcaklık farklılıkları altında ana donanımlarını, görev yükü ve alt sistemlerin sıcaklık düzenlemelerini yaparak yapay uydunun korunmasını sağlamaktadır.

İtke alt sistemi; yapay uydunun irtifa kontrolünü sağlamaktadır. Yörünge ve yönelim kontrol düzeltme manevraları için gerekli olan itkiyi sağlamaktadır.

Küp uydu projesi için bu alt sistemler yapılan karşılaştırmalar ile belirlenmiştir. Belirlenen alt sistemler ve karşılaştırmalar tezin dördüncü bölümünde anlatılmıştır. Belirlenen alt sistemler modellenerek analizlere uygun hale getirilmiştir.

3. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU TASARIM VE ANALİZ GEREKSİNİMLERİ

Alışılmış yapay uydularla karşılaştırıldığında, küp uydular boyut olarak daha küçüktür ve daha hafiftir. Diğer uydulara benzer şekilde görevleri yerine getirirler ancak daha az sayıda görev yükü yönetebilirler (Aslan ve diğ., 2014). Alt sistemler; yapı alt sistem, elektrik güç alt sistemi, haberleşme alt sistemi, komut ve veri yönetimi alt sistemi, yönelim belirleme ve kontrol alt sistemi, ısı alt sistem, itki alt sistemidir (itki sistemi genellikle kullanılmamaktadır) (Aslan ve diğ., 2007).

Astin Sat 1 küp uydu projesi modellenmeden önce fiziksel tasarım gereksinimleri, fırlatma gereksinimleri ve uzay ortamı gereksinimleri dikkate alınmıştır. Bu gereksinimler ile tasarım şartları oluşturulmuştur. Oluşturulan model fiziksel tasarım gereksinimleri, fırlatma gereksinimleri ve uzay ortamı gereksinimlerini karşılamaktadır. CubeSat Design Specification Rev. 14 belgesine göre küp uydunun genel gereksinimleri mevcuttur. Fırlatma, uzaya bırakılma ve çalışma sırasında tüm parçalar küp uyduya bağlı kalmalıdır. Küp uydu AFSPCMAN 91-710 belgesine uygun olmalıdır. Küp uydu malzemelerinin toplam kütle kaybı %1,0 veya daha az olmalıdır. Küp uydu malzemeleri, %0,1'e eşit veya daha az toplanan uçucu yoğunlaştırılabilir malzemeye sahip olmalıdır. Herhangi bir pasif mıknatısın manyetik alanı, küp uydu statik zarfının dışında, Dünya'nın manyetik alanının üzerinde 0,5 Gauss ile sınırlandırılmalıdır (Johnstone, 2020).

3.1 Astin Sat 1 Küp Uydu Fiziksel Gereksinimleri

Küp uyduların boyut ve kütle sınırlamaları vardır. Boyutsal olarak küp uydular 1U, 2U, 3U, 6U ve 12U olabilmektedir. 1U tasarımı, $100 \times 100 \times 113,5$ mm ölçülerindedir. Astin Sat 1 küp uydu projesinde modellenen yapay uydu 3U boyutlarındadır $100 \times 100 \times 340,5$ mm ölçülerindedir. Kütle olarak 3U küp uyduların sahip olduğu en fazla kütle 6 kg'dır. Astin Sat 1 küp uydusunda modellenen 3U küp uydunun kütlesi ise 3230 gramdır. Küp uydu yapısında kullanılacak malzemenin; fırlatma, görev ve testlerde etki edecek yükler altında yapısını bozacak

deformasyonlara uğramaması gerekmektedir. Bu yükler altında malzeme, akma dayanımı değerine ulaşmamalıdır. Küp uydu yapısına burkulma kuvvetleri etki etmektedir. Burkulma kuvvetleri küp uydu yapısını bozmamalıdır. Küp uydu yapısı direngenlik seviyesini, en düşük frekans gereksinimini karşılamalıdır. Sınır şartları ve gereksinimler fırlatıcı tarafından verilmektedir. Fırlatıcı tarafından verilen güvenlik faktörü genellikle 1,25'tir. ECSS-E-HB-32-26A ve ECSS-E-ST-32-03C belgeleri dikkate alınmıştır.

Küp uydu fırlatma öncesinde küp uydu, fırlatıcı ve birincil fırlatma aracı yükünün güvenliğini sağlamak için çeşitli yer testlerinden geçmektedir. Bunlar titreşim testleri, ısı vakum testleri, şok testleri, güç testleri, yazılım testleri, haberleşme testleri olabilmektedir (Bürger ve diğ., 2013).

Astin Sat 1 küp uydu projesinde modellenen küp uydunun toplam kütlesi 3230 gram; küp uydu yapısının kütlesi ise 225 gramdır. Küp uydu yapısının 18,1 g en fazla fırlatma ivmesine dayanması gerekmektedir. İşlem yapılan fırlatma ivmesi çok büyük olduğu için gerçek şartları daha iyi yakalamak adına güvenlik faktörü ile çarpılmamıştır. Frekans değerleri fırlatıcı tarafından verilmektedir. Küp uydu yapısının yatay ekseninde doğal frekans değeri 100 Hz, dikey eksenindeki doğal frekans değeri 100 Hz'i karşılaması gerekmektedir. ECSS-E-HB-32-26A ve ECSS-E-ST-32-03C belgeleri dikkate alınmıştır. Küp uydunun doğal frekansları bu değerlerin üzerinde olmalıdır. Küp uydular fırlatma esnasında roket içerisinde bulunan yörünge yerleştiricisine konulmaktadır. Yörünge yerleştiricisi içerisinde küp uydu yapısının bozulmaması gerekmektedir. Küp uydu parçalarının bütükleşik tek parça halinde olması sağlanmalıdır. Astin Sat 1 küp uydu projesinde tasarlanan küp uydu bütünlüklü, tek parça halinde bir yapay uydudur. Küp uydu tasarımı, fırlatıcı roket ve diğer uydulara zarar vermemelidir. Küp uydu, yörünge yerleştiricisi içerisinde hareketsiz kalmaktadır. Yörünge yerleştiricisi küp uydunun yan panelleri, köşeleri ve ayrılma rayları ile sabitlenmiş haldedir. Yörünge yerleştiricisinde küp uydunun hiçbir alt sistemi çalışmamalıdır. Böylece alt sistemlerin elektriksel frekans ve radyo frekansından etkilenmemesi sağlanmaktadır. Gerçek zamanlı saatlerin frekansları 320 kHz'den az olacak ve kısıtlı şekilde çalıştırılmasına izin verilebilir. Gerçek zamanlı saat devreleri, 10 mA'dan daha az akımla sınırlandırılmalıdır. Alt sistemlerin çalışmaması için uçuş öncesi kontrol pimleri kullanılmaktadır. Küp uydu yörünge yerleştiricisine konulmadan önce uçuş öncesi kontrol pimleri çıkartılır ve küp uydu

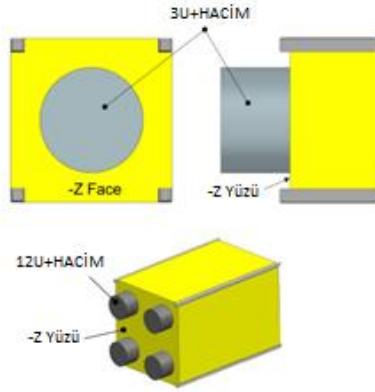
yörünge yerleştiricisine yerleştirilmektedir. Yörünge yerleştiricisi içerisinde kontrol pimi yapısına benzer pim yapıları vardır ve bu yapılar sayesinde küp uydunun enerjisi kesilmiş olur. Kontrol pimlerinin boyutları yörünge yerleştiricisi tarafından belirlenmektedir. Kontrol pimi, küp uyduya tam olarak yerleştirildiğinde küp uydu ray yüzeyinden 6,5 mm'den fazla çıkıntı yapmamalıdır. Küp uydu, iletimi engellemek için en az üç bağımsız kontrol pimi engellemesine sahip olmalıdır. Fırlatıcı tarafından uzaya taşınan küp uydu yörünge yerleştiricisinden itici plakalar ile yörüngeye itilir. İtici plakaların arkasında yay sistemleri mevcuttur ve yay, itici plakalara tahrik uygular, bu sayede küp uydu yörüngeye itilir. Yörünge yerleştiricisi içerisinde sabit bulunan kontrol pimlerinden ayrılan küp uydunun elektrik enerjisi çalışmaya başlar. Bataryadan alt sistemlere elektrik enerjisi iletilir (Johnstone, 2020).



Şekil 3.1: 3U Küp Uydu Ray Tabanlı Yörünge Yerleştiricisi Örneği.

Johnstone, A. (2020). Cubesat Design Specification (1U-12U) Rev 14 CP-CDS-R14. The Cubesat Program, Cal Poly SLO, July.

CubeSat Design Specification Rev. 14 belgesine göre küp uydunun mekanik gereksinimleri vardır. Küp uydu, Ek 1’de tanımlanan koordinat sistemini kullanacaktır. Küp uydu koordinat sisteminin orijini, küp uydunun geometrik merkezinde bulunur. Küp uydu konfigürasyonu ve fiziksel boyutları, Ek 1’in uygun bölümüne göre olacaktır. 3U, 6U ve 12U küp uydular için ek hacim mevcut olabilir. Bu hacim, şekilde gösterilmektedir ve bazen “ton balığı konservesi” hacmi olarak adlandırılır (Johnstone, 2020).



Şekil 3.2: –Z Yüzünde Gösterilen İsteğe Bağlı Ekstra Hacim.

Johnstone, A. (2020). Cubesat Design Specification (1U-12U) Rev 14 CP-CDS-R14. The Cubesat Program, Cal Poly SLO, July.

Küp uydunun –Z yüzü, önce yörünge yerleştiricisine konulacaktır. Sarı gölgeli kenarlardaki hiçbir bileşen, ray düzleminden yüzeye normal olarak 6,5 mm'den daha fazla çıkıntı yapmayacaktır. Ayrılma rayları, rayın kenarından her bir yüzdeki ilk çıkıntıya kadar ölçülen en az 8,5 mm genişliğe sahip olacaktır. Rayların yüzey pürüzlülüğü 1,6 μm 'den az olmalıdır. Bu, tipik olarak, ray malzemesinin uygun şekilde anodize edildiğini gösterir. Rayların kenarları en az 1 mm yarıçapında yuvarlatılmalıdır. Z yüzündeki rayların uçları, komşu küp uydu rayları ile en az 6,5 mm x 6,5 mm temas alanına sahip olacaktır. Rayın en az %75'i dağıtıcı rayları ile temas halinde olmalıdır. Rayların %25'i girintili olabilir. Küp uydu 3U standartları için en fazla 4 kg kütlede olmalıdır. Küp uydu kütle merkezi, tabloda belirtilen aralıklar içinde olmalıdır (Johnstone, 2020).

Tablo 3.1: Her Ana Eksen Üzerinde Geometrik Merkezden Ölçülen Kabul Edilebilir Kütle Merkezi Konumlarının Aralıkları.

Küp Uydu	X Eksen	Y Eksen	Z Eksen
1U	+2 cm / -2 cm	+2 cm / -2 cm	+2 cm / -2 cm
1,5U	+2 cm / -2 cm	+2 cm / -2 cm	+3 cm / -3 cm
2U	+2 cm / -2 cm	+2 cm / -2 cm	+4,5 cm / -4,5 cm
3U	+2 cm / -2 cm	+2 cm / -2 cm	+7 cm / -7 cm
6U	+4,5 cm / -4,5 cm	+2 cm / -2 cm	+7 cm / -7 cm
12U	+4,5 cm / -4,5 cm	+4,5 cm / -4,5 cm	+7 cm / -7 cm

Johnstone (2020) 'den uyarlandı.

Küp uydu yapısı alüminyum alaşımından yapılmalıdır. Tipik olarak, hem ana küp uydu yapısı hem de raylar için alüminyum 7075, 6061, 6082, 5005 veya 5052 kullanılır. Alüminyum dışında malzemeler kullanılıyorsa, küp uydu geliştiricisi, dağıtıcı, üreticisi ile iletişime geçilmelidir. Ayrılma rayları ile temas halinde olan raylar ve ayırıcılar gibi tüm alüminyum küp uydu dış yüzeyleri, yörünge yerleştiricisi içinde herhangi bir soğuk kaynağı önlemek için sert anodize edilmelidir. Küp uydu ayırma mekanizmasının en yaygın yerleşimi, şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 3.3: Önerilen Dağıtım Anahtarları ve Ayırma Yayı Konumları.

Johnstone, A. (2020). Cubesat Design Specification (1U-12U) Rev 14 CP-CDS-R14. The Cubesat Program, Cal Poly SLO, July.

Küp uyduda kullanılan malzemeler küp uydunun fırlatma ve görevler sırasında karşılaştığı yükler karşısında dayanıklı olmalıdır ve malzeme akma dayanımı değerine ulaşmamalıdır (Cihan ve diğ., 2011). Küp uydunun yapı tasarımını bozacak aşırı uzamalara sebebiyet vermemelidir. Küp uyduda uzay şartlarına dayanabilecek malzeme seçimleri yapılmalıdır. Küp uydunun kütlesi, fırlatma için son derece önemli olduğu için hafif malzemeler kullanılmalıdır. Uzay ortamında küp uydu aşırı sıcaklık değişimlerine maruz kalmaktadır. Bu sıcaklık değişimlerinden küp uydunun etkilenmemesi gerekmektedir. Sıcağa dayanıklı malzeme seçimleri yaparak küp uydu alt sistemlerinin yüksek sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi sağlanmalıdır. Küp uydunun dış yüzey sıcaklığı -150 °C ve 150 °C arasında olabilmektedir. İç yüzeyleri ise -40 °C ve 70° C arası sıcaklığında olabilmektedir. Güneş ışınlarını yansıtıcı özelliğe sahip malzemeler kullanılmaktadır. Yapay uydularda aktif ısı kontrolü yapabilen sistemler mevcuttur. Tez kapsamında modellenen Astin Sat 1 küp uydu projesinde aktif ısı kontrolü sadece elektrik güç alt sistemi içerisinde bulunan batarya

da mevcuttur. Malzeme seçiminde düşünülmesi gereken bir diğer önemli özellik ise uzaydan gelen yüklü parçacıkların oluşturduğu elektrik alanın yapay uydular üzerindeki zararlı etkisidir. Bunu karşılayabilmek için malzeme seçiminde iletkenliğe dikkat edilmelidir.

Yapay uydu yapısında alüminyum, kompozit, çelik, berilyum, titanyum, plastik ve seramik çeşitleri kullanılabilir. Alt sistemler genellikle FR4 malzemesi üzerine tasarlanmaktadır (Chau ve Vo, 2019). FR4, epoksi reçinenin alkali içermeyen cam elyaf kumaşla yüksek sıcaklık ve basınç altında bastırılmasıyla elde edilen bir laminant levhadır. Yüksek ısı, nem direnci, işlenebilirlik ve mekanik dayanım sağlamaktadır. Küp uydu yapısı küp uydu yapısı alüminyum alaşımından yapılmalıdır. Genellikle alüminyum 7075, 6061, 6082, 5005 veya 5052 kullanılmaktadır. Alüminyumun oksidasyona karşı direnci büyüktür, hafiftir. Mekanik dayanımı ve iletkenliği yüksektir. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 megapascal iken alaşımlandırıldığında bu değer 700 megapascal olmaktadır. Alüminyumun mekanik işlenmesi, üretimi kolay ve ucuzdur. Kompozit malzemeler farklı iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle üretilmektedir. Kompozitlerde genellikle matris ve takviye malzemesi bulunmaktadır. Takviye malzemesi taşıyıcı; matris malzemesi ise birarada tutarak desteklemeye fayda sağlamaktadır. Malzemelerin farklı özellikleri kompozitte birleşmektedir. Kompozit kütleleri son derece hafiftir ve titreşimler karşısında yüksek sönümleyici özellik göstermektedirler. Karbon fiber ile güçlendirilmiş polimer matrisli kompozit malzemeler uzay alanında kullanılmaktadır. Çelik; yapısında demir ve %0,2 ila %2,1 oranında karbon bulunduran bir alaşım malzemesidir ve çelik alaşımlarında magnezyum, krom, vanadyum ve volfram gibi farklı elementler kullanılabilir. Çelik malzemesinin sertliği yüksek ve düşük süneklik. Çelik alaşımları yapay uyduların itki sistem yapılarında kullanılabilir. Berilyum malzemesi hafif ve sert bir malzemedir. Berilyum malzemesinin erime noktası yüksektir. Berilyum malzemesi, alüminyum ile kıyaslandığında daha hafiftir ve mekanik dayanımı daha yüksektir. Berilyum malzemesinin mekanik işlenimi zordur. Titanyum malzemesi son derece hafiftir ve mekanik dayanımı, korozyona karşı direnci güçlü bir malzemedir. Titanyum alaşımları; demir, alüminyum, vanadyum, molibden gibi elementler ile yapılabilir. Titanyum malzemesini işlemek zordur ve elektriksel ve ısı

iletkenliği dūřúktür. Plastik malzemesi son yıllarda deneysel olarak kúp uydularda da kullanılmaya başlanmıştır. Plastik malzemeler, kırılđan oldukları için ařırđ yúklere karşısında dayanıklılığı koruyamayabilmektedir. Ařırđ ısı değişimlerinden hızlı etkilenmektedir. Seramik malzemeler, metalik olmayan inorganik malzemelerdir. Seramik malzeme yüksek sertliğe ve sıcaklık dayanımına sahiptirler. Yörünge yerleştiricisi genellikle alúminyum 7075 veya alúminyum 6061-T6 malzemelerinden úretilmektedir. Kúp uydu yapısı içinde alúminyum 7075 veya alúminyum 6061-T6 malzemesi kullanılması tavsiye edilmektedir (Raviprasad ve Nayak., 2015).

Tablo 3.2: Malzemeler ve Özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk [g/cm ³]	Akma Dayanımı [MPa]	Genleşme Katsayısı [μm/m-°C]	İşlenebilirlik
Paslanmaz elik	7,76	790	20,5	Kolay
Titanyum	4,43	900	8,9	Zor
Al 6061 T6	2,85	320	23,6	Kolay
Al 7075 T6	2,8	340	23,6	Kolay
Al 7075 T73	2,81	435	23,6	Kolay
Özel Kompozitler	1,4 - 1,7	100 - 800	11 - 18	Kolay/Zor

3.2 Astin Sat 1 Kúp Uydu Fırlatma Gereksinimleri

Kúp uydu fırlatma esnasında statik ve dinamik yúklere maruz kalmaktadır. Fırlatıcı tarafından kúp uyduya tasarım kriterleri ve sınır şartları tanımlanır. Bu gereksinimler dahilinde kúp uydu modellemesi yapılmaktadır. Her fırlatıcı için tanımlanan gereksinimler farklıdır.

Kúp uydu yapısı; fırlatma, görev ve testler sırasında etki edecek yúklar altında yapısını bozacak deformasyonlara uğramaması gerekmektedir. Malzeme, akma dayanımı değerinin altında olmalıdır. Burkulma kuvvetleri kúp uydu yapısını bozacak şekilde etki etmemelidir. Fırlatıcı tarafından sınır şartları ve tasarım gereksinimleri belirlenmektedir. Kúp uydu yapısının 18,1 g en fazla fırlatma ivmesine dayanması gerekmektedir. Kúp uydu yapısının yatay ekseninde doğal frekans değerı 100 Hz, dikey eksenindeki doğal frekans değerı 100 Hz'in úzerinde olmalıdır. Belirlenen güvenlik faktörü genellikle 1,25'tir. Fırlatma ivmesi için verilen 18,1 g

değeri çok yüksek bir değer olduğu için gerçek şartları sağlamak adına güvenlik katsayısı ile çarpılmamıştır. Küp uydunun ilk Türk Sonda Roketi ile beraber yörünge altı uçuş için 400 km'ye roketin ilk uçuşunda fırlatılması planlanmaktadır. Bazı roketlerde uyduyu etkileyen yüklemeler tabloda verilmiştir. JX-ESPC-101133-B belgesi dikkate alınmıştır.

Tablo 3.3: Fırlatma Araçları ve İvmelenme Değerleri.

Fırlatma Aracı	İvmelenme [g]
HTV	8,34
ATV	12,37
SpaceX	8,67
Orbital Cygnus	18,1

JX-ESPC-101133-B belgesinden uyarlandı.

Rastgele titreşim testleri ile fırlatıcı içerisindeki küp uydunun davranışı analiz edilmektedir. Her frekanstaki genlik değeri güç spektral yoğunluk ile tanımlanmaktadır. Rastgele titreşim gerekli ve kabul edilebilir değerleri tabloda belirtilmiştir.

Tablo 3.4: PSLV Fırlatma Aracı PSD Değerleri.

Frekans [Hz]	PSD [g^2/Hz]
20 - 110	0,002
110 - 250	0,002 - 0,034
250 - 1000	0,034
1000 - 2000	0,034 - 0,009
2000	0,009

Ayrıca yedek küp uydu üzerine 10 ms içerisinde ani 50 g yüklemelere karşı şok testleri yapılmaktadır.

3.3 Astin Sat 1 Küp Uydu Uzay Ortamı Gereksinimleri

Yapay uydular, evrensel kütleçekim yasası ile Dünya'nın çevresindeki yörüngelerde hareket etmektedirler. Bu yörüngeler alçak irtifa yörüngesi, orta irtifa yörüngesi, eşzamanlı (yerdurağan) yörüngesi ve yüksek irtifa yörüngesidir. Alçak irtifa

yörüngesi, 160 km ile 2.000 km arasında bulunmaktadır. Burada yer gözlem uyduları, Uluslar Arası Uzay İstasyonu bulunmaktadır. Orta irtifa yörüngesi, 2.000 km ile 35.786 km arasında bulunmaktadır. Bu yörüngede konumlandırma uyduları bulunmaktadır. Eşzamanlı (yerdurağan) yörüngesi, 35.786 km'dedir. Bu yörüngede Dünya ve yapay uydular aynı dönme süresine sahiptirler ve haberleşme uyduları bulunmaktadır. Yüksek irtifa yörüngesi ise 35.786 km üzerinde bulunmaktadır. Küp uydu projesi alçak irtifa yörüngesinde bulunacaktır.

Astin Sat 1 küp uydu projesinde gerçekleştirilecek yapay uydunun irtifası 400 km'dir. Dış merkezlik değeri 0° 'dir. Gerçek fırlatma sırasında sonda roketi kullanılacaktır. Roket özelliklerinin değişmesi ile yörünge tipi değişiklik gösterebilir. Yörüngesinin eğimi 45° 'dir. Yükselen düğüm boylamı 0° 'dir. Gerçek anomali değeri 0° 'dir. Yerberi açısı 0° 'dir. Bu yörünge parametreleri küp uydu yörüngeye fırlatıldıktan sonra gerçek değerlerinden sapacaktır.

Uzay ortamı, yörüngede görev yapmakta olan yapay uydular için büyük tehlikeler barındırmaktadır. Uzay ortamı, yapay uydunun sahip olduğu alt sistemleri etkileyerek alt sistemlerin sağlıklı çalışmasını engelleyebilir. Radyasyon etkisi, sıcaklık etkisi, vakum etkisi, oksitlenme etkisi, plazma etkisi, nötral atmosfer etkisi, uzay çöpleri ve küçük yapıları kayalar uzay ortamında yapay uyduların çalışmasını etkilemektedir. Bu etkilerden olabildiğince etkilenmeyecek şekilde küp uydu yapı tasarımı yapılmaktadır. Çeşitli önlemler ile alt sistemlere etkileri azaltılmaktadır.

Radyasyon kuşakları, galaktik kozmik ışınlar ve Güneş rüzgarları radyasyon etkisi oluşturmaktadır. Güneş rüzgarları, Dünya'nın çevresinde bulunan manyetosfer katmanında takılı kalarak enerji içeren yüklü atomik parçalar halinde bulunmaktadır ve iki katman oluşturmuşlardır. Bunlar Van Allen kuşaklarıdır. İlk kuşak 6.000 km civarına kadar yüksek enerjili proton ve elektronlar içermektedir. İkinci kuşak ise 60.000 km yüksekliğe kadar yüksek enerjili elektronlar içermektedir. En dıştaki katman daha fazla elektron barındırmaktadır. Bu katmanlar insan sağlığı açısından büyük tehlike arz etmektedir. Uzaya insan taşıyan uzay araçları bu katmanlardan geçtikleri için radyasyon kalkanları tasarlanmıştır. Bu enerji yüklü atomik parçacıklar ve fotonlar radyasyon etkisi oluşturarak küp uydu alt sistemlerine zarar verebilmektedir. Ultraviyole radyasyonun etkisi altındaki malzemede sertleşmeler meydana gelerek kırılmalara sebebiyet verebilmektedir. Partikül radyasyon ise polimer gevreklemesine neden olabilmektedir. Malzemelerin özellikleri ve

performansları yüksek enerjili atomik parçalar sebebiyle düşmektedir. Yıldız patlamaları ile oluşan galaktik kozmik ışınlar, Dünya'ya ulaşarak düşük akım enerjiye sahip parçacıklar ve radyasyon oluşturabilmektedir. Güneş patlamaları Dünya üzerindeki radyasyon miktarı için çok önemlidir. Proton, alfa parçacıkları ve ağır elementler Güneş patlamalarıyla Dünya'ya ulaşmaktadır. Güneş panellerinde bulunan güneş hücreleri bu etkilerden çok fazla etkilenmekte ve Güneş enerjisinden ürettikleri enerji zamanla düşmektedir.

Sıcaklık etkisi, yapay uydunun alt sistemlerinin sağlıklı çalışması açısından önemli bir etkidir. Yapay uydu belirli periyotlar ile Güneş ışınlarına maruz maruz kalmaktadır. Yörüngede aydınlık ve karanlık ortamda hareket etmektedir. Küp uydunun dış yüzeyi aydınlık ortamda ortalama 100 °C sıcaklığa ulaşmaktadır. Karanlık ortamda ise dış yüzey sıcaklığı ortalama -100 °C sıcaklığındadır. Alt sistemlerin sağlıklı çalışması için küp uydu iç yüzey sıcaklığının sıcaklık sınır şartları içerisinde olması gerekmektedir. Aydınlık ortamda küp uydu iç sıcaklığı ortalama 40 °C sıcaklığındadır. Karanlık ortamda ise küp uydu iç sıcaklığı ortalama -40 °C sıcaklığındadır. Küp uydu yörünge parametrelerine göre çok sık aydınlık ve karanlık ortama girebilmektedir. Ani sıcaklık değişimleri küp uydunun yapısında fazla deformasyonlar oluşturmamalı, alt sistemlerin sağlıklı çalışmasını engellememelidir. Küp uydunun yapısı ani sıcaklık değişimlerine dayanıklı, sıcaklığı yansıtabilen malzemelerden üretilmelidir. Isı kontrolünü sağlamak için aktif ve pasif ısı kontrol alt sistemleri mevcuttur. Astin Sat 1 küp uydu projesinde herhangi bir enerji tüketimi olmayan pasif ısı kontrol alt sistemi kullanılmıştır.

Yapay uydular yüksekliğin sebebiyet verdiği düşük basınç ortamlarında bulunurlar ve vakum ortamında bulunan uçucu gazlar düşük basınçlı ortamlarda malzemeden koparak gaz halinde uçmaktadır. Bu gazlar yapay uydu üzerinde birikerek, yapay uydu alt sistemlerine ve yapısına zarar verebilmektedir. Vakum etkisi özellikle optik alt sistemler ve görev yüklerinin üzerinde katman oluşturarak verimini düşürebilmektedir.

Alçak irtifa yörüngesinde atomik oksijen bulunmaktadır ve bu atomik oksijen küp uydu yapısını oluşturan malzemeler ile kimyasal tepkimeye girerek küp uydu yapısında hasar oluşturmaktadır. Alçak irtifa yörüngesi 160 km ile 2.000 km arasındır ve bu yörünge içerisinde atomik oksijen sayısı fazladır. Küp uydu yapıları atomik

oksitletme etkisine karşı dayanıklı malzemeler ile üretilmelidir. Astin Sat 1 küp uydu projesi alçak irtifa yörüngesinde bulunacaktır.

Elektron, çevresinde dolandığı atom çekirdeğinin elektriksel çekiminden ayrılmak için enerji aldığı sırada plazma üretilmektedir. Bunun sonucunda negatif yüklü elektronlar ve pozitif yüklü atomlardan (iyonlar) oluşan plazma ortamı oluşmaktadır. Morötesi ışınlar ve parçacık radyasyon alçak irtifa yörüngesinde azot ve oksijen atomlarını ısı etkisiyle iyonlaştırır ve plazma ortamı oluştururlar. Küp uydu içerisinde bulunan hassas alt sistemler plazma etkisiyle ani elektrik yüklemelerine maruz kalabilmektedirler. Bu durum alt sistemlerin sağlıklı çalışmasını etkileyebilir. Bunun önüne geçebilmek için yalıtkan malzemeler kullanılmaktadır.

Nötral atmosfer etkisi, 1.000 km irtifaya kadar görülebilmektedir. Alçak irtifa yörüngesinde bulunan yapay uydular için önemli bir etkidir. Hidrojen, oksijen, azot, helyum, argon nötral atmosferde bulunmaktadır. Bu molekül ve atomlar küp uydu ile fiziksel ve kimyasal etkileşimlere girerek küp uydunun yapısında büyük hasarlar meydana getirebilmektedir. Bu parçalar küp uyduya temas ederek aerodinamik sürüklenme kuvveti oluşturur ve küp uyduda irtifa kayıpları meydana gelmektedir. Ayrıca bu parçalar küp uyduya temas ettiklerinde enerji ortaya çıkarak fiziksel saçınım oluşturabilmektedirler. Parçaların küp uyduya çarpma enerjisi, malzemeyi oluşturan atomların kimyasal bağ enerjisinin üzerinde olması halinde fiziksel saçınım oluşmaktadır.

Yapay uydular için günümüzdeki en büyük tehlike uzay çöpleridir. Mikron seviyesinden santim seviyesine kadar günümüzde yaklaşık bir milyon çöpü olduğu düşünülmektedir. Geçmişte kullanılan roket ve yapay uydu enkazlarının santim seviyesinde olan enkazları radar sistemleri ile gözlenebilir ve uzay çöpleri tespit edilebilmektedir. Yapay uydular uzay çöplerinden kurtulamak için manevra yapabilirler. Boyutları çok küçük ve çok hızlı hareket eden uzay çöplerinin çoğu zaman tespit edilebilmesi zordur. Günümüzde iki yapay uydunun çarpışması da mümkündür. 10 Şubat 2009 tarihinde Rus yapay uydusu aktif bir İridyum ticari yapay uydusu ile çarpışmıştır. Dünya'nın evrensel kütleçekim yasası etkisine kapılan küçük yapılı kayalar da belli periyetlar ile yörüngede hareket etmektedirler. Uzay çöpleri ve küçük yapılı kayalar yapay uydular için tehlike arz etmektedir.

4. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU MODELLENMESİ

Bu tez kapsamında modellenen Astin Sat 1 küp uydu projesinin başlıca dört görevi vardır. Bu görevlerin ilki küp uydu telemetri verilerinin sensörler ile ölçülmesi ve ölçülen telemetri verilerinin yer istasyonuna iletilmesidir. İkinci görev, küp uydu üzerinde yer alan verici sistemin uzay ortamından Dünya'ya daha önce belirlenmiş bir bilgiyi yaymaktır. Üçüncü görev ise sensör yardımıyla yörüngedeki manyetik alan bilgisini okumak, yer istasyonuna göndermek ve manyetik alan modellemesi oluşturmaktır. Astin Sat 1 küp uydu projesinin son görevi ise Dünya'ya bakan bir kamera sayesinde istenilen zaman aralıklarıyla görüntü elde etmek ve yer istasyonuna göndermektir. Bu görevler sırasıyla öncelikli görev, toplum ilgisini çekici görev, bilimsel görev ve ileri düzey test görevidir. Astin Sat 1 küp uydu projesinin belirtilen görevleri yerine getirebilmesi için görevlere uygun alt sistemler seçilmiştir.

Astin Sat 1 küp uydu projesi yapı tasarımı 3U küp uydu standartlarına göre tasarlanmıştır. Eni 100 mm; boyu 100 mm; yüksekliği 340,5 mm'dir. Yapı alt sistem kütlesi 225 gramdır. 3U yapısı 3 adet 1U'nun birleşimi şeklinde oluşturulmuştur. Yapı küp uydu 3U standartlarında belirtilen yörünge yerleştiricisine konulabilir ölçülerdedir. Yapının malzemesi alüminyum 7075 T6'dır. Küp uydunun iç hacmi alt sistem PCB PC/104 standartı form faktöründeki kartlar yerleştirilebilecek şekilde oluşturulmuştur.

İlk Türk Sonda Roketi ile beraber yörünge altı uçuş için 400 km'ye roketin ilk uçuşunda fırlatılması planlanmaktadır.

Yapı analiz sonucunda küp uydu yapısının 18,1 g fırlatma ivmesine dayanması gerekmektedir. Malzeme belirtilen fırlatma ivmesine maruz kaldığı esnada, akma dayanımı değerine ulaşmamalıdır. Küp uydu yapısının yatay ekseninde doğal frekans değeri 100 Hz, dikey eksenindeki doğal frekans değeri 100 Hz'in üzerinde olmalıdır. 50 g mekanik şok etkisine dayanıklı olmalıdır. Küp uydunun güvenlik faktörü 1,25 veya üzerinde olmalıdır. Şasi paneller ile kapatılmıştır. Panel kalınlığı en fazla 0,2 mm'dir. Alt sistemler dişli çubuk ve aralayıcılar ile konumlandırılmıştır. Dişli

ubukların merkezleri arasındaki mesafe alt sistem kartları yerleştirilebilecek şekilde kp uydu standartlarına uygundur. Kp uydu şasisi ve panelleri civata ile bağlanmıştır.

4.1 Astin Sat 1 Kp Uydu Alt Sistemlerinin zellikleri

Astin Sat 1 kp uydu projesi yedi alt sistemden oluşmaktadır. Bu alt sistemler sırasıyla yapı alt sistemi, elektrik güç alt sistemi, haberleşme alt sistemi, komut ve veri yönetim alt sistemi, yönelim belirleme alt sistemi, ısı alt sistemi, itki alt sistemidir.

Yapı alt sistem, kp uyduyu zorlu fırlatma şartlarından ve uzay ortamında görev sırasında karşılaşabileceği zorluklardan korumaktadır. Astin Sat 1 kp uydu projesindeki yapı alt sistemi 3U standartlarındadır. Yapı alt sistem tasarımları yapan firmaların ürünleri incelenmiştir. Isispace, Stm, Sputnik firmalarının üretmiş olduğu 3U yapı modelleri vardır. Isispace ürününün kütlesi 304 gramdır ve boyutları 100×100×340,5 mm'dir. Yapı oklu PCB boyutlarını desteklemektedir. Alt sistemler dişli çubuk ve aralayıcılar yardımıyla konumlandırılmıştır. Stm firmasının üretmiş olduğu yapı ürün 357 gramdır ve boyutları 100×100×340,5 mm'dir. Üç adet 1U veya iki adet 1,5U ile birleştirilerek oluşturulmuş 3U sistemleri vardır. Alt sistemler dişli çubuk ve aralayıcılar ile konumlandırılmıştır. Sputnik firmasının yapmış olduğu 3U yapı ürünün kütlesi 455 gramdır. Bu ürünün boyutları ise 100×100×340,5 mm'dir.

Elektrik güç alt sistemi, kp uydunun tüm alt sistemlerinin ve görev yüklerinin çalışması için gerekli gücü sağlamaktadır. Astin Sat 1 kp uydu projesi kapsamında elektrik güç alt sistem ürünleri incelenmiştir. Gomspace, Gumush ve Sputnik firmalarının elektrik güç alt sistemi ürünleri mevcuttur. Gomspace'in üretmiş olduğu ürün 2600 mAh nominal kapasiteye sahip 18650 Li-Ion pillere sahiptir. 6,0 - 8,4 V ve 12,0 - 16,8 V alışma aralığına vardır. Ürünün pil ile birlikte kütlesi ise 270 gramdır. Gumush şirketinin üretmiş olduğu rn 40 W'a kadar g yönetimi yapabilmektedir. Düzenlenmiş voltaj aralığı 3,3 V, 5 V, 12 V veya opsiyoneldir. Düzenlenmemiş voltaj aralığı ise 6,2 V - 8,3 V aralığındadır. Ürünün pilsiz kütlesi 103 gramdır. Sputnik firmasının ürün kapasitesi 10,6 Ah'tir. Batarya voltajı ise 5 V - 8,5 V aralığındadır. Ürünün pil ile kütlesi 360 gramdır. Pil aktif ısı kontrol mekanizması içermektedir. Güneş panelleri için Gomspace ve Endurasat şirketlerinin

ürünleri incelenmiştir. Gomspace ürünü %30 verimli güneş pilleri içermektedir ve alçak irtifada 6,9 W'a kadar güç üretmektedir. Endurasat ürününün verimi %30'dur ve düşük yörüngede 8,4 W güç üretmektedir. Triple Junction Güneş pilleri vardır.

Haberleşme alt sistemi, yer istasyonu ile küp uydu arasındaki iletişimi sağlamaktadır. Komutlar, mühendislik verileri ve görev yükü verileri aktarılır. Isispace şirketi ve Cape Peninsula Teknoloji Üniversitesi'nin haberleşme alt sistemleri incelenmiştir. Isispace firmasının Vhf uplink/Uhf downlink yapabilen çift yönlü alıcı, verici ürünü vardır. Alıcı 0,48 W, verici 4 W güç tüketmektedir. Frekans aralığı 435 - 438 MHz veya 400,15 - 402 MHz'tir. Veri hızı 9600 bps'tir. Ürünün kütlesi ise 75 gramdır. Cape Peninsula Teknoloji Üniversitesi küp uydu görevleri için tasarlanmış kompakt bir telemetri ve komut ürünü geliştirmiştir. Çift yönlü alıcı, verici özelliğine sahiptir. 1200 ve 9600 bps veri hızlarıyla iletim sağlamaktadır.

Haberleşme için anten sistemleri incelenmiştir. Isispace firmasının ürünü incelenmiştir. Isispace firmasının ürünü küp uydunun alt bölümünde yer almaktadır ve açılan mekanizmaya sahiptir. Uhf ve Vhf uyumlu dört adet anten mevcuttur. Uhf bant genişliği 50 MHz (-10 dB bant genişliği), Vhf bant genişliği ise 10 MHz (-10 dB bant genişliği). En fazla Rf gücü 2 W'tır. Kütlesi 100 gramdır.

Beacon görevi için Big Red Bee firmasının Rf verici ürünü incelenmiştir. Ürün, 70 cm amatör radyo bandında çalışmaktadır. Ürün, 16 mW Rf verici, +12 dBm en fazla Rf çıkış gücüne sahiptir. Uzunluğu 70 cm olan sma anteni ile çalışmaktadır. Bu anten küp uydu paneline eklenmiştir ve direnç yakılarak anten mekanizmasının açılması sağlanmaktadır.

Komut ve veri yönetim alt sistemi, küp uydu komutlarını ve küp uydu verilerini yönetmektedir. Stm ve Isispace firmalarının üretmiş olduğu uydu bilgisayarı ürünleri incelenmiştir. Stm firmasının ürünü güç tüketimi 1,5 W'tır ve kütlesi 100 gramdır. Sdram kapasitesi 32 Mb olup, sram kapasitesi 8 Mb'tır. Isispace firmasının ürünü güç tüketimi 400 mW'tır. Sdram kapasitesi 32 Mb'tır. Ürün kütlesi 100 gramdır.

Yönelim belirleme alt sistemi, küp uydunun yönelimini düzenleyerek küp uyduyu istenen açığa getirir. Cube Space ve Space Inventor firmalarının ürünleri incelenmiştir. Cube Space şirketinin yaptığı üründe üç eksenli kontrol sağlamak için üç reaksiyon tekerleği vardır. Açılır manyetometre, manyetik tork çubukları, Güneş takibi, yer noktası takibi sensörleri mevcuttur. Kütlesi 1 kilogramı bulmaktadır. Space Inventor firmasının ürünü dört reaksiyon tekeri ve üç manyetik tork çubukları

içermektedir. Nadir, Güneş takibi, yer noktası takibi mevcuttur. Yönelim belirleme alt sisteminin kendi bilgisayarı mevcuttur. Bu bilgisayarın kontrolünü uydu bilgisayarı sağlamaktadır.

Küp uydunun üst panelinin üzerinde Gnss parçalı, yamalı anten mevcuttur. Isispace ve New Space Systems firmalarının ürünleri incelenmiştir. Isispace şirketinin ürünü 3,5 W, 9 mA şartlarında güç tüketmektedir. Frekans değeri 1575 MHz'dir ve kütlesi 16 gramdır. 5,5 dBi'ye kadar anten kazancı ve 34,5 dB'ye kadar sinyal kazancı mevcuttur. New Space Systems firmasının ürünü ise 80 mW güç tüketmektedir. Frekans değeri 1575 MHz'dir ve kütlesi 80 gramdır. Gnss alıcıları küp uyduya eklenmiştir. Gnss alıcısı üreten Hexagon firması incelenmiştir. Bu firmanın üretmiş olduğu Gnss alıcısı Gps, Glonass, BeiDou, Galileo gibi konum ve takip yapabilen yapay uydulardan veri alabilmektedir. Ürün kütlesi 31 gramdır.

Görev yükü olarak 9 eksenli sensör ve kamera ürünleri incelenmiştir. 9 eksenli sensör ile mutlak konum, Euler vektörü, açısal hız vektörü, ivme vektörü, manyetik alan şiddeti vektörü, doğrusal ivme vektörü, yerçekimi vektörü ve sıcaklık gibi değerler okunabilmektedir. Kamera için ArduCam ve C3188A modelleri incelenmiştir. Kamera bilgisayarı mevcut değildir. Görüntü sıkıştırma ve boyut küçültme görevini uydu bilgisayarı üstlenecektir.

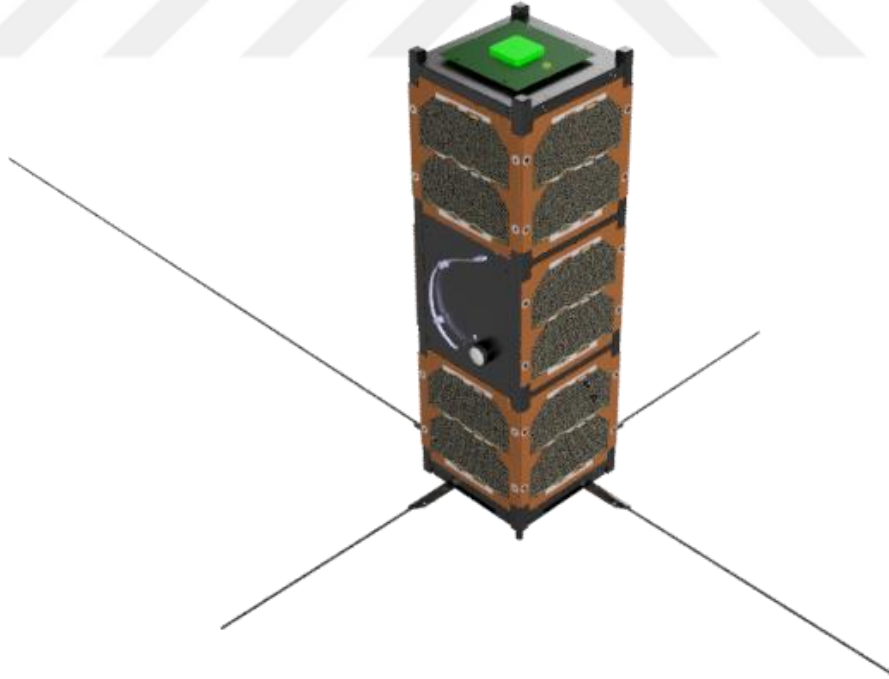
Astin Sat 1 küp uydusunda itki alt sistemi yoktur.

Isı alt sistem için pil üzerinde aktif ısı kontrol alt sistemleri mevcuttur.

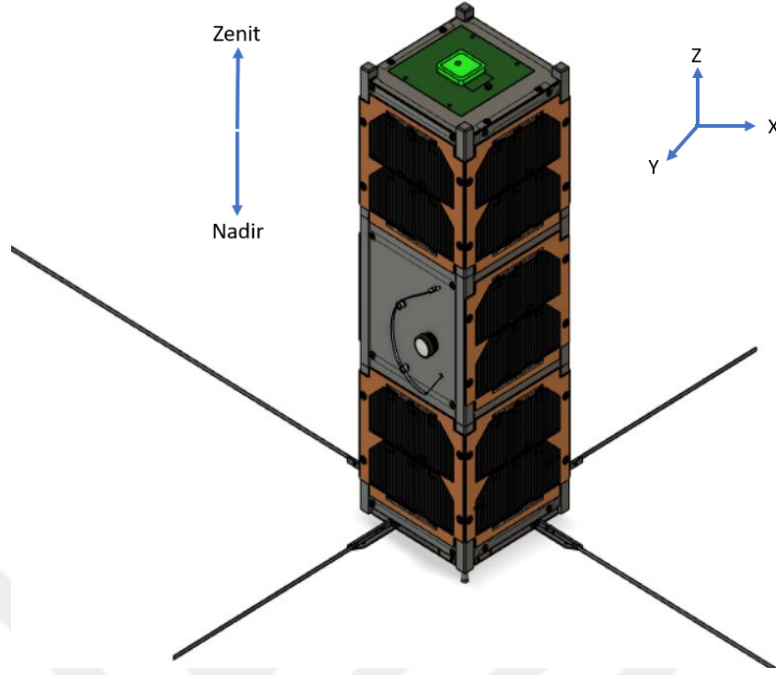
Astin Sat 1 küp uydu projesi tasarım modellemesi yapılırken yapı alt sistem için Isispace ürünü; elektrik güç alt sistem ve güneş panelleri için Gomspace ürünü; haberleşme alt sistemi için Isispace ürünü; beacon görevi için Big Red Bee ürünleri; uydu bilgisayarı sistemi için Isispace ürünü; yönelim belirleme alt sistemi için Cube Space ürünü; Gnss parçalı, yamalı anten için Isispace ürünü; Gnss alıcısı için Hexagon ürünü; görev yükü için 9 eksenli sensör ve ArduCam kamera ürünleri seçilmiştir.

Tablo 4.1: Astin Sat 1 K t le B t  esi.

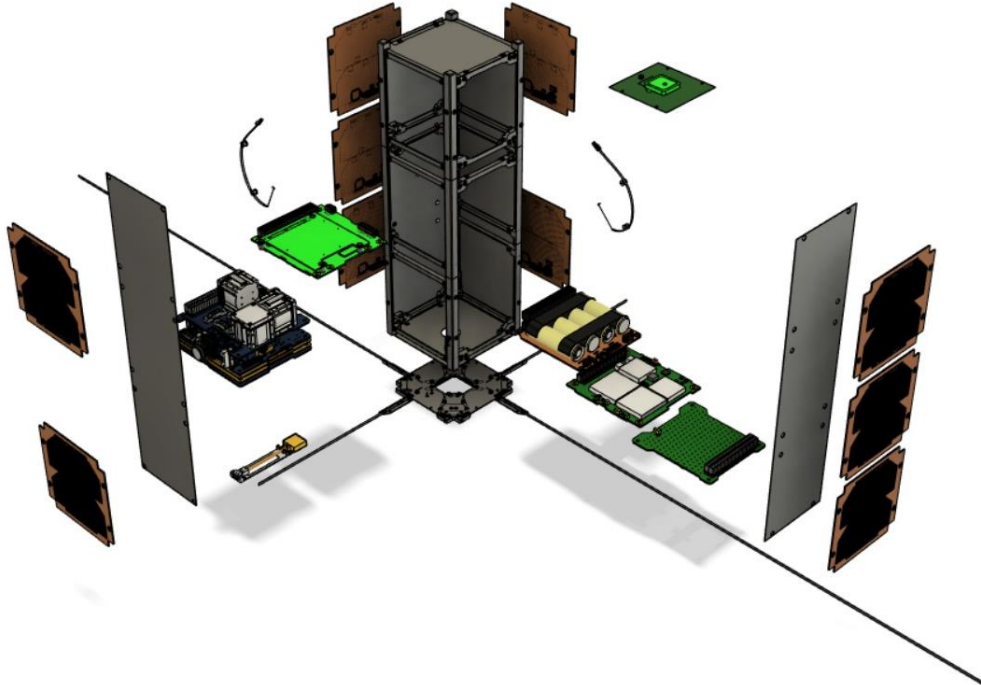
ALT S�STEMLER	K�T�LE [GRAM]
Yapı	225
Gnss Yama Anten	30
Gnss Modülü	50
Uydu Bilgisayarı	100
Beacon	50
Elektrik Güç Sistemi ve Batarya	300
Yönelim Belirleme ve Kontrol Sistemi	1000
Alıcı-Verici (Tranciever)	75
Verici (Transmitter)	75
9 Serbestlik Dereceli Duyarga	50
Kamera Sistemi	125
Anten Mekanizması (UHF ve VHF)	150
Güneş Panelleri ve Güneş Hücreleri	1000
AST�NSAT-1 Toplam K�t�lesi	3230



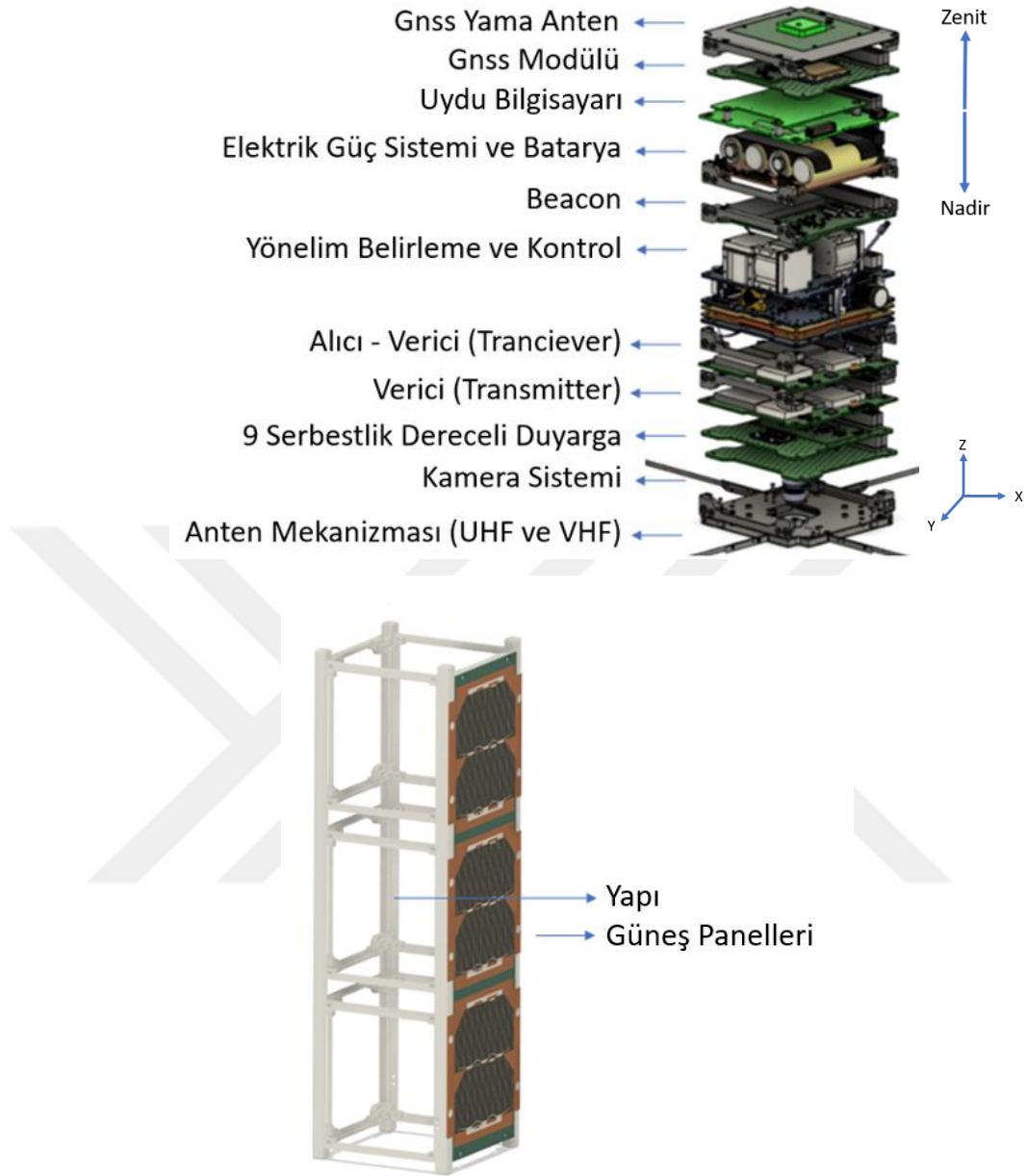
Şekil 4.1: Astin Sat 1 K p Uydu Modellemesi.



Şekil 4.2: Astin Sat 1 K p Uydu Modellemesi.



Şekil 4.3: Astin Sat 1 K p Uydu Patlatılmış Görüntüsü.



Şekil 4.4: Astin Sat 1 Tasarımı ve Alt Sistemleri.

4.2 Astin Sat 1 Küp Uydu Seçilen Malzemeler

Alüminyum, kompozit, çelik, berilyum, titanyum, plastik ve seramik çeşitleri yapay uydu yapısında kullanılan malzemelerdir. Küp uydu yapımında alüminyum malzemesi kullanılmaktadır. Alüminyum 6061-T6 veya alüminyum 7075-T73 malzemesi yapı alt sisteminde kullanılmaktadır. Bu malzeme küp uydunun fırlatma şartlarında küp uydunun bütünlüğünü sağlamaktadır. Küp uydu alt sistemleri FR4 malzemesi üzerine tasarlanmıştır.

Yapı analizlere başlamadan önce malzeme özellikleri modele atanmıştır. Küp uydu yapı malzemesi ile yörünge yerleştiricisi malzemesi aynıdır. Malzeme fırlatma ivmesine maruz kaldığı esnada, akma dayanımı değerine ulaşmamalıdır. Bu tez kapsamında alüminyum 7075-T6 malzemesi kullanılmıştır. Yörünge yerleştiricisi malzemesi de alüminyum 7075-T6'dır. Alüminyum 7075-T6 mukavemeti yüksek, korozyona karşı direnci yüksek ve kolay işlenebilen bir malzemedir.

Tablo 4.2: Al 7075 T6 Malzemesi Özellikleri.

Malzeme	AL 7075 T6
Yoğunluk [kg/m ³]	2804
Young Modülü [MPa]	71700
Poisson Oranı	0,33
Esneklik Modülü [Pa]	$7,0294 \times 10^{10}$
Kesme Modülü [Pa]	$2,6995 \times 10^{10}$

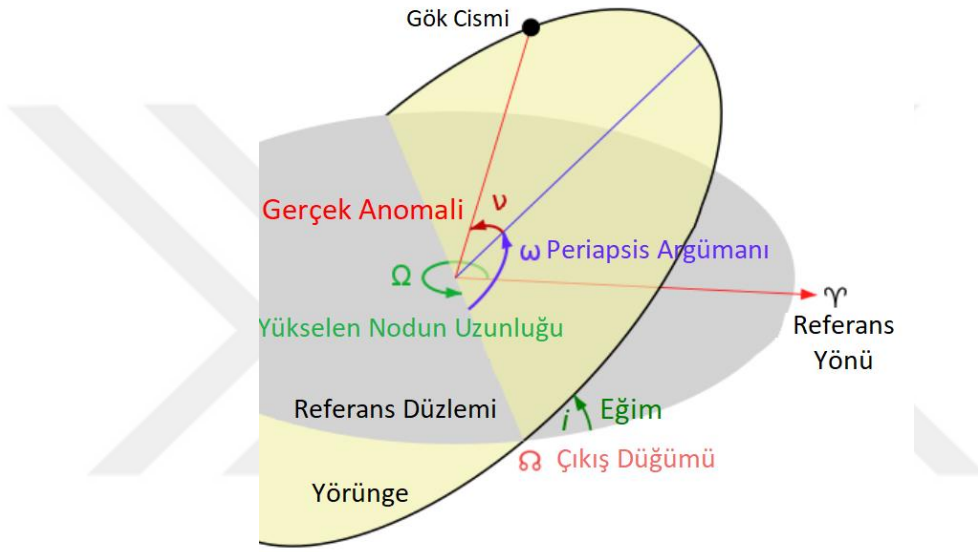
Tablo 4.3: FR-4 Malzemesi Özellikleri.

Malzeme	FR-4
Yoğunluk [kg/m ³]	1840
Young Modülü [MPa], X Ekseni	$2,04 \times 10^{10}$
Young Modülü [MPa], Y Ekseni	$1,84 \times 10^{10}$
Young Modülü [MPa], Z Ekseni	$1,5 \times 10^{10}$
Poisson Oranı, X Ekseni	0,11
Poisson Oranı, Y Ekseni	0,09
Poisson Oranı, Z Ekseni	0,14
Kesme Modülü [Pa], X Ekseni	$9,2 \times 10^9$
Kesme Modülü [Pa], Y Ekseni	$8,4 \times 10^9$
Kesme Modülü [Pa] Z Ekseni	$6,6 \times 10^9$

4.3 Astin Sat 1 Küp Uydu Yörünge Parametreleri

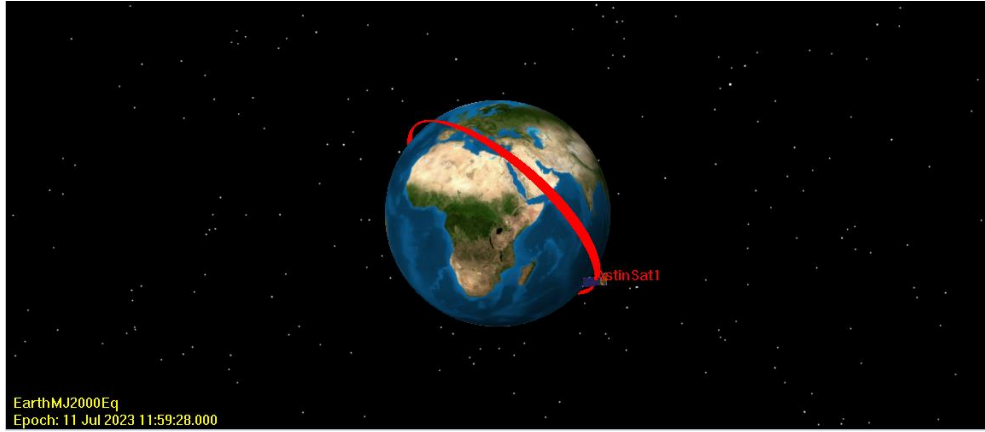
Yapay uydu yörüngeler parametreleri Kepler elemanları ile tanımlanmıştır. Bu bilgiler ile yapay uydunun uzaydaki konum vektörü ve hız vektörü tespit edilebilir. Yarıbüyük eksen (yarımajör eksen), dış merkezlik (eksantriklik), eğim, periapsis bağımsız değişkeni (yerberi açısı), yükselen düğümün uzunluğu (yükselen düğüm boylamı), gerçek anomali zamanı yörünge elemanlarını oluşturmaktadır. Yarıbüyük

eksen uzunluğu, elips şeklindeki yörüngenin büyük eksen uzunluğunun yarısıdır. Dış merkezlik, yörüngenin geometrik şeklini belirlemektedir. Yörünge daire, elips, parabol veya hiperbol olabilmektedir. Yükselen düğüm boylamı, referans yönü ve düzlemi ile uydunun yörüngesi arasındaki açıdır. Yerberi açısı, yükselen düğüm ile yörüngenin yerküreye en yakın noktası arasındaki açıdır. Gerçek anomali, yerberi noktasından yapay uyduya olan açısal uzaklıktır. Gerçek anomali, zamana bağlı tek parametredir.



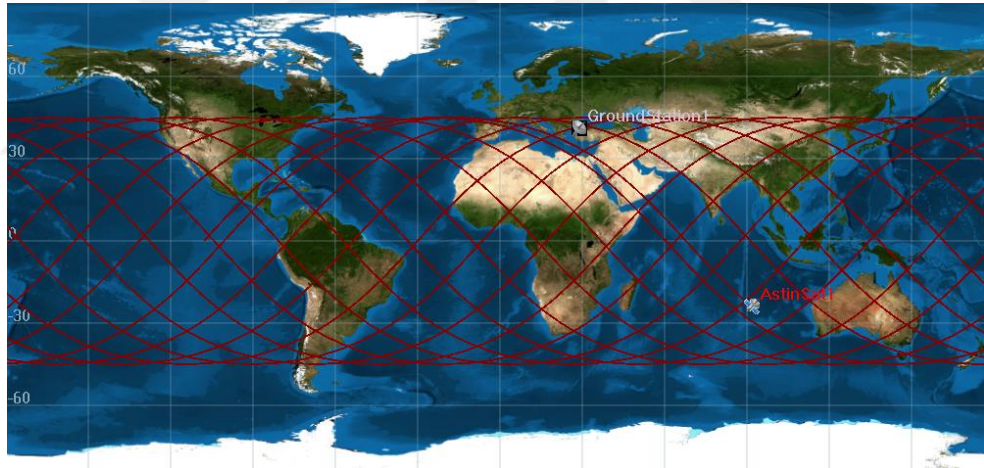
Şekil 4.5: Kepler'in Yörünge Elementleri.

Astin Sat 1 küp uydu projesinde gerçekleştirilecek yapay uydunun irtifası 400 km'dir. Dış merkezlik değeri 0° 'dir. Gerçek fırlatma sırasında sonda roketi kullanılacaktır. Roket özelliklerinin değişmesi ile yörünge tipi değişiklik gösterebilir. Yörüngesinin eğimi 45° 'dir. Yükselen düğüm boylamı 0° 'dir. Gerçek anomali değeri 0° 'dir. Yerberi açısı 0° 'dir. Bu yörünge parametreleri küp uydu yörüngeye fırlatıldıktan sonra gerçek değerlerinden sapacaktır. Astin Sat 1'in 10-11 Temmuz 2023 tarihindeki 1 tam turunu kapsayan tutulma zamanı, yer istasyonunu görme zamanları ve yörünge elemanları analiz edilmiştir. Yörünge mekaniği analizleri GMAT programında yapılmıştır.



Şekil 4.6: Astin Sat 1 K p Uydusunun 10-11 Temmuz 2023 Tarihli Bir Tam Turu.

Yer istasyonu 40,968220 enlem ve 28,840420 boylamda yer almaktadır. Astin Sat 1 k p uydusunun 10-11 Temmuz 2023 tarihindeki geişı resmedilmiştir.



Şekil 4.7: Yer İstasyonu Konumlandırması ve Astin Sat 1 K p Uydusunun 10-11 Temmuz 2023 Tarihli Geçişleri.

10-11 Temmuz 2023 tarihli yapılan yörünge mekaniği analizlerinde Astin Sat 1 k p uydusunun gün içerisinde 6 kez yer istasyonu ile haberleşebileceği bulunmuştur. En uzun haberleşme süresi 422,233 saniye; en kısa haberleşme süresi ise 300,147 saniyedir.

Target: AstinSat1					
Observer: GroundStation1					
Start Time (UTC)		Stop Time (UTC)		Duration (s)	
10 Jul 2023	12:29:52.348	10 Jul 2023	12:34:52.496	300.14766853	
11 Jul 2023	05:05:56.111	11 Jul 2023	05:11:40.870	344.75858063	
11 Jul 2023	06:41:48.795	11 Jul 2023	06:48:51.028	422.23365011	
11 Jul 2023	08:18:58.151	11 Jul 2023	08:25:43.794	405.64282655	
11 Jul 2023	09:55:54.134	11 Jul 2023	10:02:55.009	420.87456412	
11 Jul 2023	11:32:54.190	11 Jul 2023	11:39:09.275	375.08495506	
Number of events : 6					

Şekil 4.8: Astin Sat 1 Küp Uydusunun 10-11 Temmuz 2023 Tarihli Yer İstasyonu İle Haberleşme Zamanları ve Süreleri.

Astin Sat 1 küp uydusunun 10-11 Temmuz 2023 tarihlerinde görev sırasında yörüngede Güneş ışığını görmediği zaman aralıkları hesaplanmıştır. Tutulma süresi sırasında güç tüketimini üzerindeki pil aracılığı ile sağlamaktadır. 10-11 Temmuz 2023 tarihleri arasında 15 defa tutulma yaşanmıştır. En uzun tutulma süresi 2139,504 saniye; en kısa tutulma süresi ise 2121,361 saniyedir.

Spacecraft: AstinSat1							
Start Time (UTC)	Stop Time (UTC)	Duration (s)	Occ Body	Type	Event Number	Total Duration (s)	
10 Jul 2023 12:55:52.025	10 Jul 2023 12:56:00.758	8.7326158304	Earth	Penumbra	1	2133.8956755	
10 Jul 2023 12:56:00.758	10 Jul 2023 13:31:17.243	2116.4851068	Earth	Umbra	1	2133.8956755	
10 Jul 2023 13:31:17.243	10 Jul 2023 13:31:25.921	8.6779528297	Earth	Penumbra	1	2133.8956755	
10 Jul 2023 14:28:17.699	10 Jul 2023 14:28:26.426	8.7266959017	Earth	Penumbra	2	2134.2565004	
10 Jul 2023 14:28:26.426	10 Jul 2023 15:03:43.285	2116.8585458	Earth	Umbra	2	2134.2565004	
10 Jul 2023 15:03:43.285	10 Jul 2023 15:03:51.956	8.6712587276	Earth	Penumbra	2	2134.2565004	
10 Jul 2023 16:00:43.351	10 Jul 2023 16:00:52.072	8.7206782191	Earth	Penumbra	3	2125.9539186	
10 Jul 2023 16:00:52.072	10 Jul 2023 16:36:09.305	2117.2332404	Earth	Umbra	3	2125.9539186	
10 Jul 2023 17:33:17.726	10 Jul 2023 18:08:35.353	2117.6266460	Earth	Umbra	4	2126.2838784	
10 Jul 2023 18:08:35.353	10 Jul 2023 18:08:44.010	8.6572324508	Earth	Penumbra	4	2126.2838784	
10 Jul 2023 19:05:34.672	10 Jul 2023 19:05:43.381	8.7051287947	Earth	Penumbra	5	2135.3994323	
10 Jul 2023 19:05:43.381	10 Jul 2023 19:41:01.421	2118.0399940	Earth	Umbra	5	2135.3994323	
10 Jul 2023 19:41:01.421	10 Jul 2023 19:41:10.071	8.6503095226	Earth	Penumbra	5	2135.3994323	
10 Jul 2023 20:38:00.307	10 Jul 2023 20:38:09.010	8.7032877607	Earth	Penumbra	6	2135.8073919	
10 Jul 2023 20:38:09.010	10 Jul 2023 21:13:27.471	2118.4607339	Earth	Umbra	6	2135.8073919	
10 Jul 2023 21:13:27.471	10 Jul 2023 21:13:36.114	8.6433702498	Earth	Penumbra	6	2135.8073919	
10 Jul 2023 22:10:25.924	10 Jul 2023 22:10:34.621	8.6970877717	Earth	Penumbra	7	2136.2084301	
10 Jul 2023 22:10:34.621	10 Jul 2023 22:45:53.496	2118.8751270	Earth	Umbra	7	2136.2084301	
10 Jul 2023 22:45:53.496	10 Jul 2023 22:46:02.132	8.6362153525	Earth	Penumbra	7	2136.2084301	
10 Jul 2023 23:42:51.556	10 Jul 2023 23:43:00.247	8.6905061966	Earth	Penumbra	8	2136.5976210	
10 Jul 2023 23:43:00.247	11 Jul 2023 00:18:19.525	2119.2783928	Earth	Umbra	8	2136.5976210	
11 Jul 2023 00:18:19.525	11 Jul 2023 00:18:28.154	8.6287219310	Earth	Penumbra	8	2136.5976210	
11 Jul 2023 01:15:17.212	11 Jul 2023 01:15:25.896	8.6836976814	Earth	Penumbra	9	2136.9825980	
11 Jul 2023 01:15:25.896	11 Jul 2023 01:50:45.573	2119.6779503	Earth	Umbra	9	2136.9825980	
11 Jul 2023 01:50:45.573	11 Jul 2023 01:50:54.194	8.6209500208	Earth	Penumbra	9	2136.9825980	
11 Jul 2023 02:47:42.845	11 Jul 2023 02:47:51.522	8.6768071284	Earth	Penumbra	10	2137.3752545	
11 Jul 2023 02:47:51.522	11 Jul 2023 03:23:11.607	2120.0853199	Earth	Umbra	10	2137.3752545	
11 Jul 2023 03:23:11.607	11 Jul 2023 03:23:20.221	8.6131275049	Earth	Penumbra	10	2137.3752545	
11 Jul 2023 04:20:17.067	11 Jul 2023 04:55:37.570	2120.5033566	Earth	Umbra	11	2129.1087792	
11 Jul 2023 04:55:37.570	11 Jul 2023 04:55:46.175	8.6054225452	Earth	Penumbra	11	2129.1087792	
11 Jul 2023 05:52:33.852	11 Jul 2023 05:52:42.515	8.6627679644	Earth	Penumbra	12	2138.1882955	
11 Jul 2023 05:52:42.515	11 Jul 2023 06:28:03.443	2120.9277059	Earth	Umbra	12	2138.1882955	
11 Jul 2023 06:28:03.443	11 Jul 2023 06:28:12.041	8.5978216259	Earth	Penumbra	12	2138.1882955	
11 Jul 2023 07:25:07.921	11 Jul 2023 08:00:29.282	2121.3613154	Earth	Umbra	13	2121.3613154	
11 Jul 2023 08:57:24.707	11 Jul 2023 08:57:33.356	8.6490098038	Earth	Penumbra	14	2139.0465808	
11 Jul 2023 08:57:33.356	11 Jul 2023 09:32:55.170	2121.8147155	Earth	Umbra	14	2139.0465808	
11 Jul 2023 09:32:55.170	11 Jul 2023 09:33:03.753	8.5828555282	Earth	Penumbra	14	2139.0465808	
11 Jul 2023 10:29:50.196	11 Jul 2023 10:29:58.839	8.6424370296	Earth	Penumbra	15	2139.5045986	
11 Jul 2023 10:29:58.839	11 Jul 2023 11:05:21.125	2122.2865385	Earth	Umbra	15	2139.5045986	
11 Jul 2023 11:05:21.125	11 Jul 2023 11:05:29.701	8.5756229935	Earth	Penumbra	15	2139.5045986	
Number of individual events : 40							
Number of total events : 15							
Maximum duration (s) : 2139.5045986							
Maximum duration at the 15th eclipse.							

Şekil 4.9: Astin Sat 1 Küp Uydusunun 10-11 Temmuz 2023 Tarihli Tutulma Süresi.

5. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU YAPI VE ISI ANALİZLERİ

Astin Sat 1 küp uydusu fırlatma ve uzay şartlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Fırlatma esnasında yapı analiz, uzay ortamında ise ısı analiz daha fazla önemlidir.

5.1 Astin Sat 1 Küp Uydu Doğal Frekans Analizleri

Yapıların doğal frekansı dinamik karakteristik için önemli bir özelliktir; kütleye ve esnekliğe bağlı titreşim frekansıdır. Her yapının kendine özel doğal frekansları mevcuttur. Fırlatma aracının tetiklemesiyle küp uydunun doğal frekansları ortaya çıkmaktadır. Doğal frekans w_n , yay katsayısı k ve yapının kütlesi m olarak ifade edilmektedir.

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.1)$$

Doğal frekanslar ve modlar küp uydunun fırlatma aracına uygunluğu için önemli bir şarttır. Analiz sonucunda bulunan doğal frekanslar 100 Hz'in üzerinde olmalıdır.

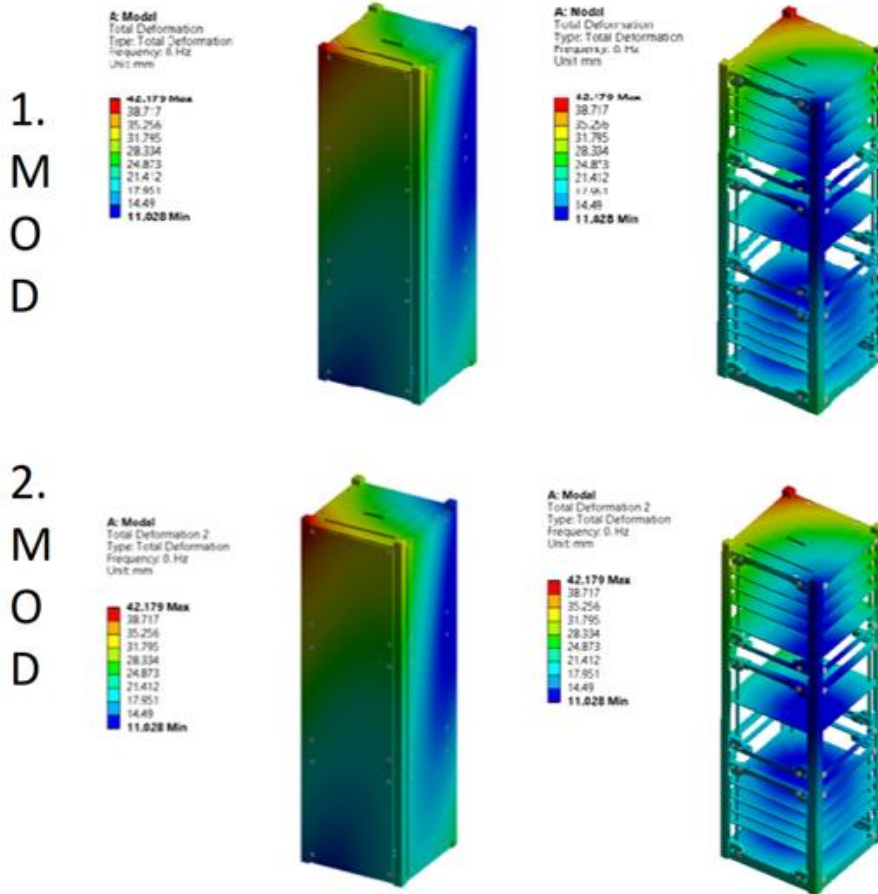
Küp uydu yapısı, alt sistemleri ile birlikte kurulumu yapılarak doğal frekansları nümerik olarak sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmıştır. Civata bağlantısı yapılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi kurulumu sırasında ECSS-E-HB-32-26A ve ECSS-E-ST-32-03C belgeleri dikkate alınmıştır. Analiz kurulumunun doğruluğunu öğrenmek için küp uydu kurulum sırasında sabitlenmemiştir. Küp uydunun rijitliğini sağlayabilmesi için ilk 6 doğal frekanslarının 0,005 Hz Hz'e eşit veya daha düşük olması beklenmektedir. Sabitsiz küp uydu doğal frekansları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 5.1: Astin Sat 1 K p Uydusunun Sabitsiz İlk 6 Doğal Frekans Sonuçları.

Modlar	Frekans [Hz]
1. Mod	0
2. Mod	0
3. Mod	0
4. Mod	$5,7686 \times 10^{-4}$
5. Mod	$6,1798 \times 10^{-3}$
6. Mod	$7,2385 \times 10^{-3}$

Sabitsiz k p uydu modelinin ilk 6 mod değeri 0,005 Hz'den düşüktür ve bu sonuç modelin rijit olduğunu göstermektedir. İlk 6 mod değerinin toplam deformasyonu g rselle tirilmi tir.

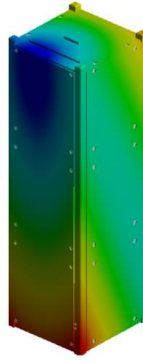


Şekil 5.1: Astin Sat 1 K p Uydusunun Sabitsiz İlk 2 Doğal Frekans Sonuçları.

3.
M
O
D

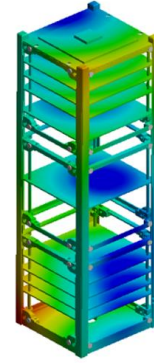
A: Model
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 0. Hz
Unit: mm

43.119 Max
39.133
35.148
31.162
27.176
23.191
19.205
15.219
11.234
7.248 Min



A: Model
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 0. Hz
Unit: mm

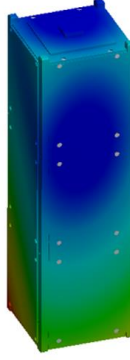
43.119 Max
39.133
35.148
31.162
27.176
23.191
19.205
15.219
11.234
7.248 Min



4.
M
O
D

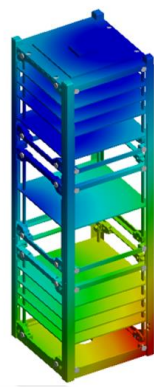
A: Model
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 0. Hz
Unit: mm

38.785 Max
35.158
31.531
27.905
24.278
20.651
17.025
13.398
9.7712
6.1445 Min



A: Model
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 0. Hz
Unit: mm

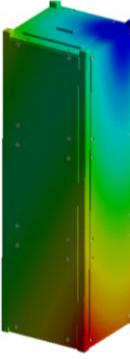
38.785 Max
35.158
31.531
27.905
24.278
20.651
17.025
13.398
9.7712
6.1445 Min



5.
M
O
D

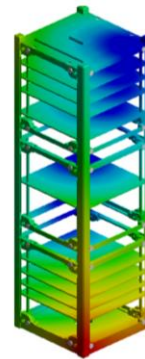
A: Model
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 5.7686e-004 Hz
Unit: mm

44.034 Max
39.606
35.177
30.749
26.32
21.891
17.463
13.034
8.6057
4.1771 Min



A: Model
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 5.7686e-004 Hz
Unit: mm

44.034 Max
39.606
35.177
30.749
26.32
21.891
17.463
13.034
8.6057
4.1771 Min



6.
M
O
D

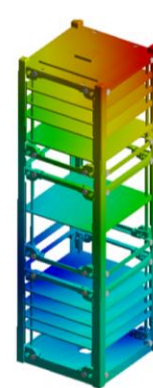
A: Model
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 6.1798e-003 Hz
Unit: mm

41.38 Max
36.794
32.208
27.623
23.037
18.452
13.866
9.2804
4.6948
0.10914 Min



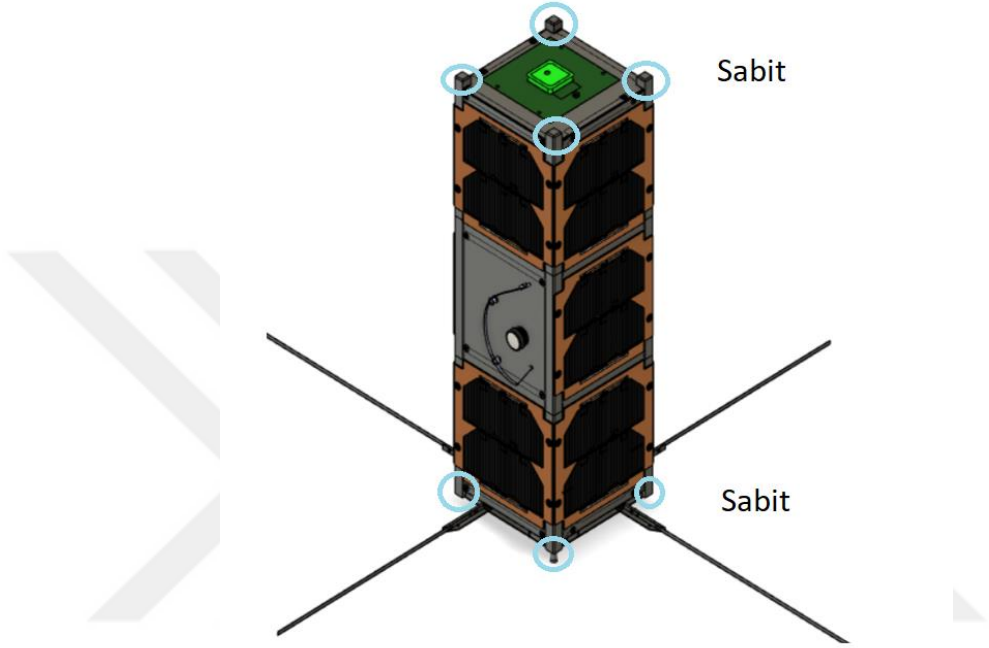
A: Model
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 6.1798e-003 Hz
Unit: mm

41.38 Max
36.794
32.208
27.623
23.037
18.452
13.866
9.2804
4.6948
0.10914 Min



Şekil 5.2: Astin Sat 1 Küp Uydusunun Sabitsiz Son 4 Doğal Frekans Sonuçları.

Rijitlik şartını karşılayan küp uydu yörünge yerleştiricisi (POD) içerisine konulmuştur ve ilk 6 mod için doğal frekans değerleri bulunmuştur. Küp uydu yapı kirişlerinden sabitlenmiştir ve sınır şartları belirlenmiştir. Sonuç olarak ilk 6 mod değeri 100 Hz'den fazladır.



Şekil 5.3: Astin Sat 1 Küp Uydusunun Sabitlenen Kirişleri ve Yüzeyleri.

Tablo 5.2: Astin Sat 1 Küp Uydusunun Sabit Yüzeyli İlk 6 Doğal Frekans Sonuçları.

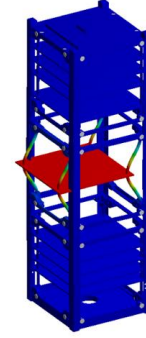
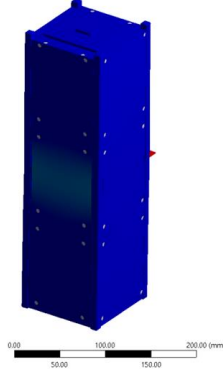
Modlar	Frekans [Hz]
1.Mod	113,96
2.Mod	117,32
3.Mod	139,02
4.Mod	152,96
5.Mod	215,03
6.Mod	239,46

Yapı kirişlerinden sabitleme yapılmıştır ve doğal frekans değerleri 100 Hz'in üzerinde çıkmıştır. İlk 6 mod değerinin toplam deformasyonu görselleştirilmiştir.

1.
M
O
D

B: Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 113.96 Hz
Unit: mm

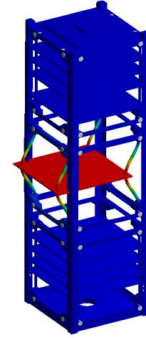
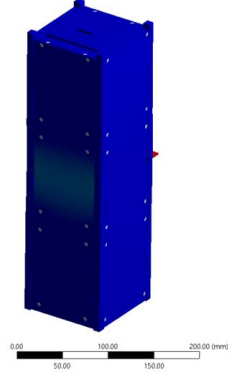
31.476 Max
27.978
24.481
20.984
17.486
13.989
10.492
6.9946
3.4973
0 Min



2.
M
O
D

B: Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 113.96 Hz
Unit: mm

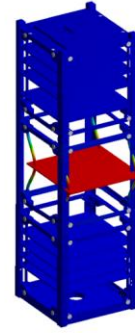
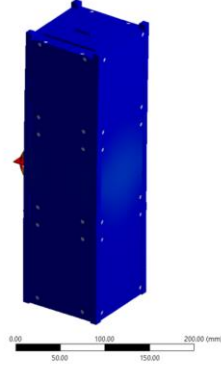
31.476 Max
27.978
24.481
20.984
17.486
13.989
10.492
6.9946
3.4973
0 Min



3.
M
O
D

B: Modal
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 117.32 Hz
Unit: mm

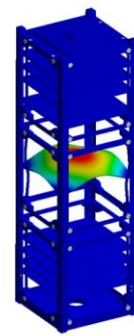
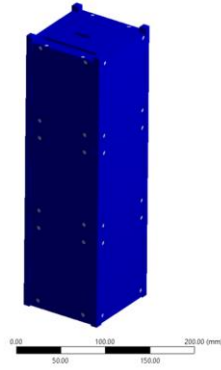
31.43 Max
27.938
24.445
20.953
17.461
13.969
10.477
6.9844
3.4922
0 Min



4.
M
O
D

B: Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 139.02 Hz
Unit: mm

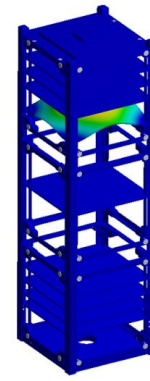
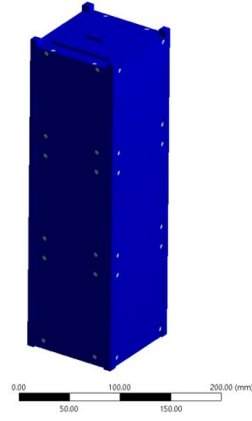
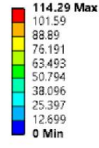
57.651 Max
51.245
44.839
38.434
32.028
25.622
19.217
12.811
6.4056
0 Min



Şekil 5.4: Astin Sat 1, Yörünge Yerleştirici İçerisindeki İlk 4 Doğal Frekans Sonuçları.

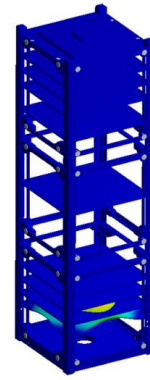
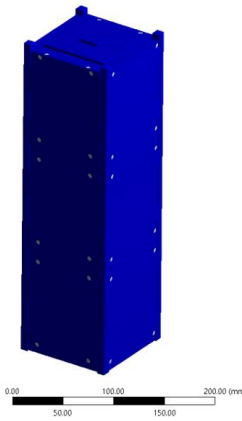
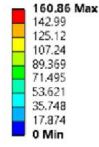
5.
M
O
D

B: Modal
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 152.96 Hz
Unit: mm



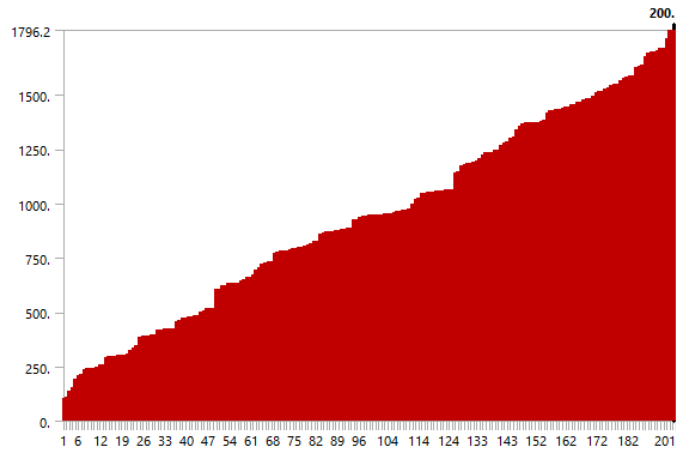
6.
M
O
D

B: Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 215.03 Hz
Unit: mm



Şekil 5.5: Astin Sat 1, Yörünge Yerleştirici İçerisindeki Son 2 Doğal Frekans Sonuçları.

İlk 6 doğal frekans 100 Hz'in üzerinde olduğu için fırlatma şartını karşılamaktadır. Analizi daha ayrıntılı incelemek için ilk 200 doğal frekans değeri bulunmuştur.



Şekil 5.6: Astin Sat 1, Yörünge Yerleştirici İçerisindeki İlk 200 Doğal Frekans Sonuçları.

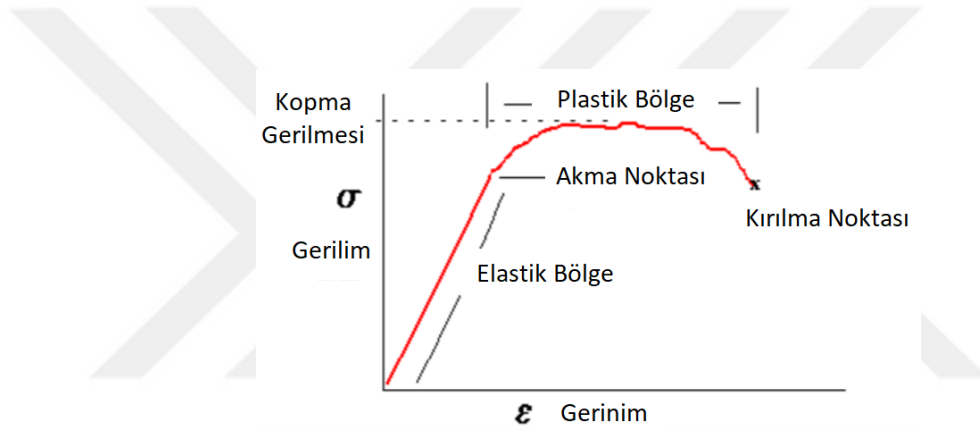
5.2 Astin Sat 1 Küp Uydusu Statik Analizleri

Yüklemeler etkisinde yapılarda gerilmeler oluşmaktadır ve buna bağlı olarak yapılarda şekil ve yer değiştirmeleri meydana gelmektedir. Yapı uzama sınırını aştığı durumda kırılarak yükü taşıyamaz hale gelmektedir. Gerilme σ , basınç P ve yapı kesit alanı A ile gösterilmektedir.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5.2)$$

Yüklemeler etkisindeki yapı yer değiştirmektedir. Yer değiştirme ε , gerilme σ ve malzemenin elastisite modülü E ile ifade edilmektedir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (5.3)$$



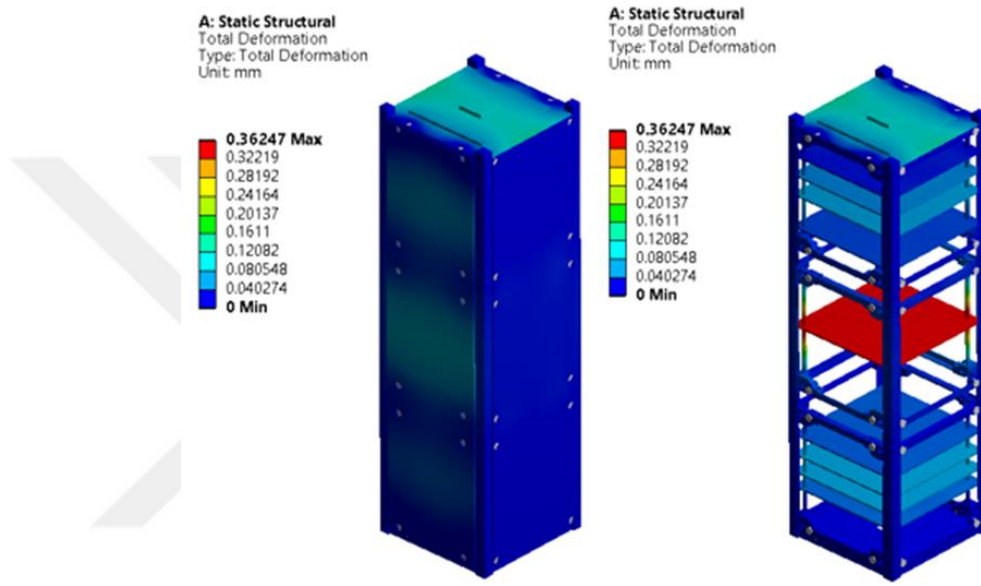
Şekil 5.7: Gerilim Gerinim Eğrisi.

Astin Sat 1, fırlatmada 3 eksenenden gelen g kuvvetinin ve z ekseninden gelen kuvvetin etkisi altında olacaktır. Yükler altında, deformasyon değerleri kabul edilebilir olmalı ve küp uydu yapısı sağlam kalmalıdır. Tüm durumlara -180 N kuvvet ve ilk durumda x ekseninde 18,1 g; ikinci durumda y ekseninde 18,1 g; ve üçüncü durumda z ekseninde 18,1 g kuvveti küp uyduya etki etmiştir.

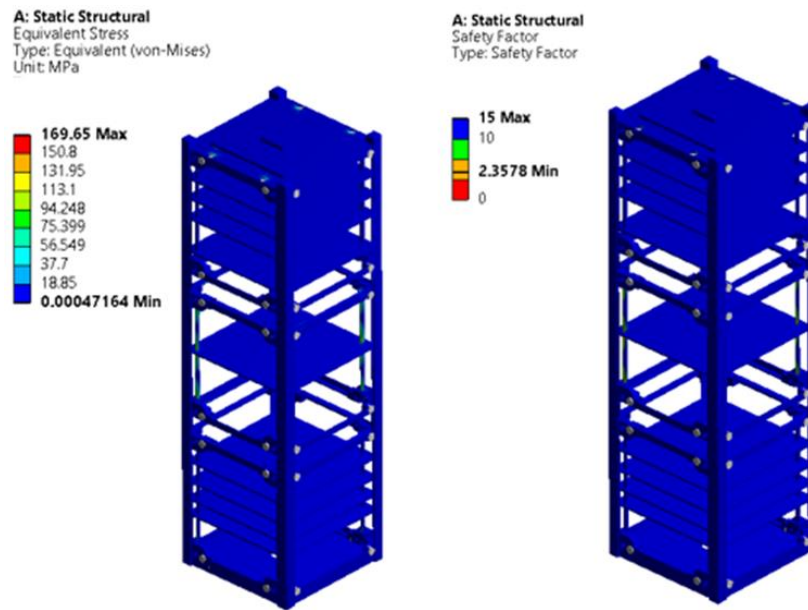
Tablo 5.3: Yapı Analiz Durumları.

Durumlar	X Ekseninde İvmelenme [g]	Y Ekseninde İvmelenme [g]	Z Ekseninde İvmelenme [g]	Kuvvet [N]
1.Durum	18,1	0	0	-180
2.Durum	0	18,1	0	-180
3.Durum	0	0	18,1	-180

Küp uydu yörünge yerleştiricisi (POD) içerisine konulmuştur. Fırlatma aşamasını analiz etmek amacıyla yapı kirişlerinden sabitleme yapılmıştır. Civatalar ile alt sistemler bağlanmıştır. Analiz kurulumu sırasında ECSS-E-HB-32-26A ve ECSS-E-ST-32-03C belgeleri dikkate alınmıştır. Üç durumdaki etkiler sonucunda yapıda bozulma meydana gelmemesi gerekmektedir. Üç duruma ait statik analiz gerçekleştirilmiştir.



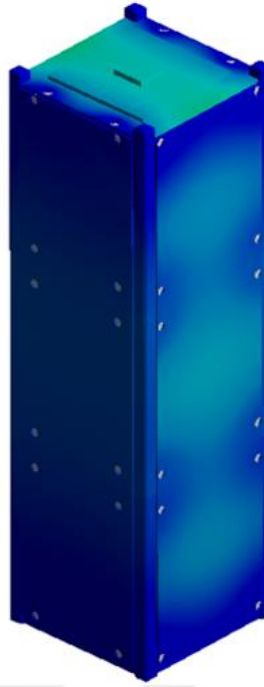
Şekil 5.8: 1.Durumdaki Toplam Deformasyon Miktarı.



Şekil 5.9: 1.Durumdaki Toplam Eşdeğer Gerilim ve Güvenlik Faktörü.

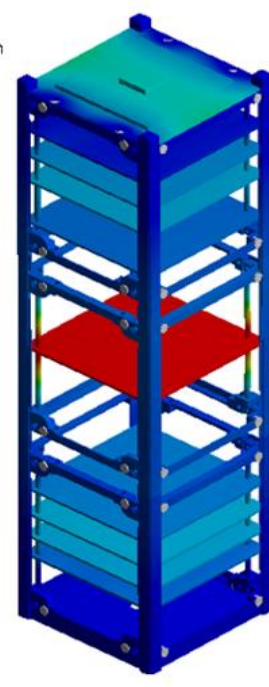
A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm

0.34863 Max
0.30989
0.27116
0.23242
0.19368
0.15495
0.11621
0.077473
0.038736
0 Min



A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm

0.34863 Max
0.30989
0.27116
0.23242
0.19368
0.15495
0.11621
0.077473
0.038736
0 Min



Şekil 5.10: 2.Durumdaki Toplam Deformasyon Miktarı.

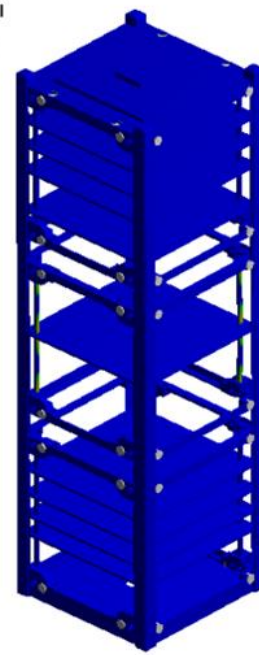
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises)
Unit: MPa

200.86 Max
178.54
156.23
133.91
111.59
89.273
66.955
44.637
22.319
0.0011846 Min

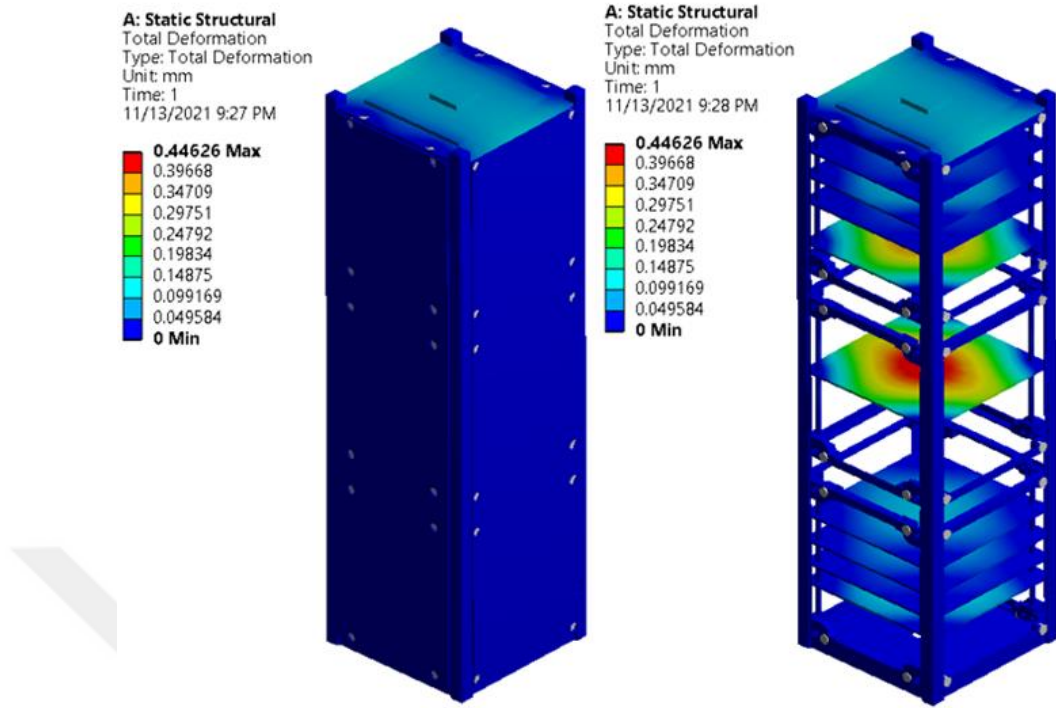


A: Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor

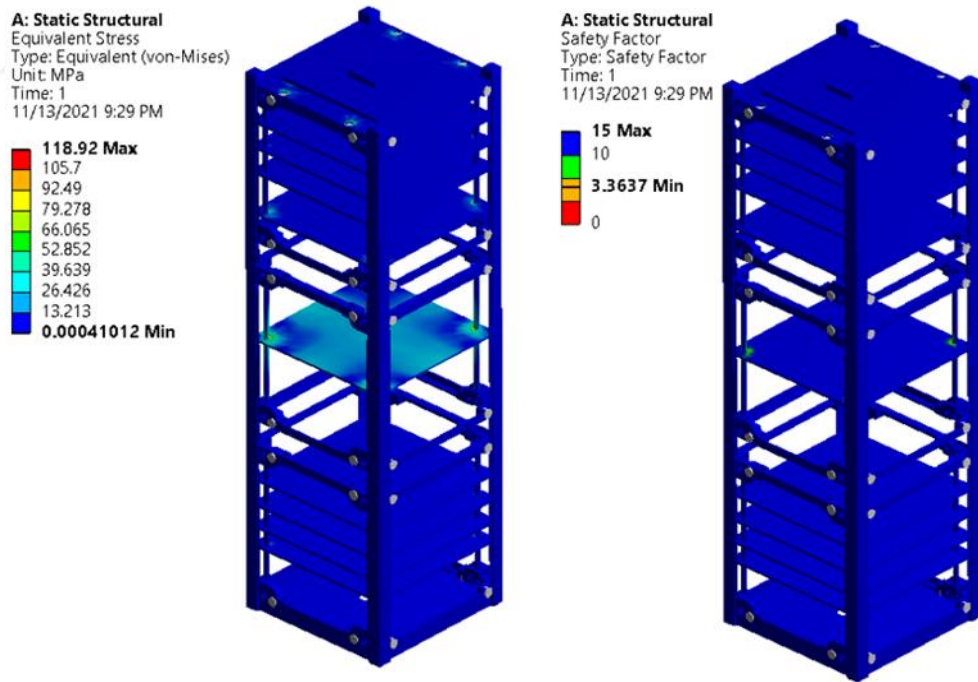
15 Max
10
1.9914 Min
0



Şekil 5.11: 2.Durumdaki Toplam Eşdeğer Gerilim ve Güvenlik Faktörü.



Şekil 5.12: 3.Durumdaki Toplam Deformasyon Miktarı.



Şekil 5.13: 3.Durumdaki Toplam Eşdeğer Gerilim ve Güvenlik Faktörü.

Birinci durumdaki toplam deformasyon miktarı en fazla 0,36247 mm'dir. Birinci durumdaki toplam eşdeğer gerilim 169,65 MPa ve güvenlik faktörü 2,3578'dir.

İkinci durumdaki toplam deformasyon miktarı en fazla 0,34863 mm'dir. İkinci durumdaki toplam eşdeğer gerilim 200,86 MPa ve güvenlik faktörü 1,9914'tür. Üçüncü durumdaki toplam deformasyon miktarı en fazla 0,44626 mm'dir. Üçüncü durumdaki toplam eşdeğer gerilim 118,92 MPa ve güvenlik faktörü 3,3637'dir. Üç durum için statik analizler yapılmıştır. En fazla deformasyon 3. durumda meydana gelmiştir. Deformasyon miktarı 0,44626 mm'dir. Alüminyum 7075 T6 çekme dayanımı 530 MPa'a kadardır. 2. durumda en fazla gerilme 200,86 MPa idi ve bu değer seçilen malzemenin çekme mukavemetinden daha düşüktür. En düşük 2. durumda güvenlik faktörü 1,9914 olarak bulunmuştur. Bu değer, sınır koşulu olarak kabul edilen 1,25'ten büyüktür.

5.3 Astin Sat 1 Küp Uydusu Isı Analizleri

Uzay ortamında sıcaklık farklılıklarından dolayı uydu yapısına ısı aktarımı gerçekleşmektedir. Isı aktarımı iletim, taşınım ve ışıınım yoluyla gerçekleşebilmektedir (Shinde ve diğ., 2017). Toplam ısı transferi Q , iletim yoluyla gerçekleşen ısı transferi Q_{iletim} , taşınım ile gerçekleşen ısı transferi $Q_{taşınım}$ ve ışıınım ile gerçekleşen ısı transferi $Q_{ışıınım}$ ile ifade edilmektedir.

$$Q = Q_{iletim} + Q_{taşınım} + Q_{ışıınım} \quad (5.4)$$

Yörüngedeki küp uydunun ısı analizleri gerçekleştirilmiştir. Görev sırasında çalışır haldeki alt sistem sıcaklıkları analiz edilmiştir. Bu sıcaklıklar etkisindeki alt sistemlerin göreve uygunluğu araştırılmıştır.

Malzemelere anotlama uygulanmıştır. Alt sistemlerin ürettiği W değerleri ve özellikleri tabloda gösterildiği gibidir.

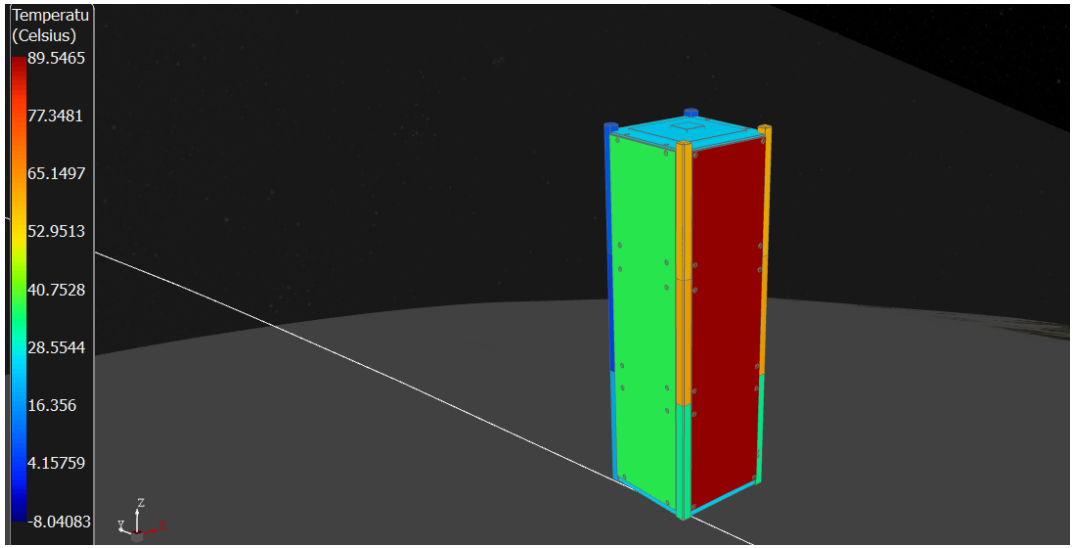


Şekil 5.14: Uydunun Görevi Sırasında Karşılaştığı Çevresel Faktörler.

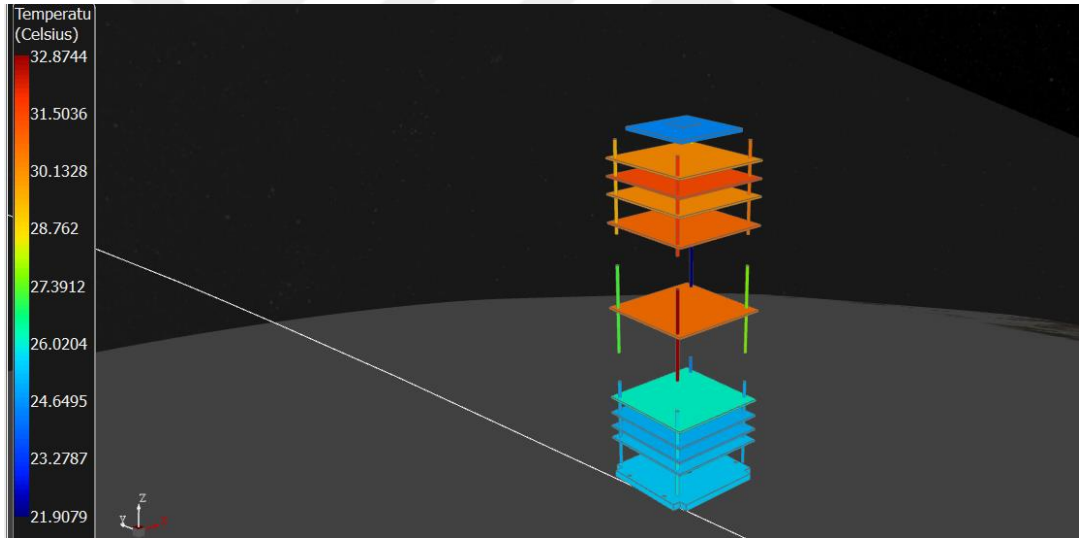
Tablo 5.4: Isı Analiz Sıcaklık Durumu, Malzeme ve Güç Tüketim Miktarı.

Alt Sistemler	Görev Sırasında Sıcaklığı [°C]	Görev Dışındaki Sıcaklığı [°C]	Malzemesi	Güç Tüketimi [W]
Yapı	-150 & +150	-150 & +150	Al 7075 T6 ve Anodize	0
Gnss Yama Anten	-40 & +85	-50 & +90	FR4 ve Bakır	0,05
Gnss Modülü	-40 & +85	-50 & +90	FR4 ve Bakır	1
Yerleşik Bilgisayar	-40 & +85	-55 & +95	FR4 ve Bakır	0,38
Elektrik Güç Sistemi ve Batarya	-20 & +60	-20 & +60	FR4 ve Bakır	0,1
Modem ve Beacon	-30 & +80	-30 & +80	FR4 ve Bakır	0,9
Yönelim Belirleme ve Kontrol	-20 & +70	-20 & +60	FR4 ve Bakır	0,15 - 2,5
Alıcı-Verici (Tranciever)	-25 & +60	-25 & +60	FR4 ve Bakır	0,15 – 1,5
Verici (Transmitter)	-25 & +60	-25 & +60	FR4 ve Bakır	0,15 – 1,5
9 Serbestlik Dereceli Duyarga	-30 & +50	-30 & +50	FR4 ve Bakır	1
Kamera Sistemi	-30 & +50	-30 & +50	FR4 ve Bakır	1
Anten Mekanizması (UHF ve VHF)	-100 & +120	-150 & +120	Al 7075 T6 ve Anodize	1,5
Güneş Panelleri	-40 & +100	-60 & +125	FR4	0,05

Küp uydunun sıcaklık karşısındaki dayanıklılığını arttırmak için malzemeler anodize kaplanmıştır. Alt sistemlerin görev sırasında ve görev dışındaki dayanım sıcaklıkları verilmiştir. Astin Sat 1 küp uydu alt sistemlerinin verimli çalışabilmesi için görev sırasında bu sıcaklıkların dışına çıkmaması gerekmektedir. Alt sistemler belirli zaman aralıkları ile çalışmaktadır. Isı analizi gerçekleştirilirken alt sistemlerin çalıştığı zaman aralıkları dikkate alınmıştır. Küp uydunun yörüngede karşılaşabileceği en yüksek sıcaklık hesaplanmıştır.

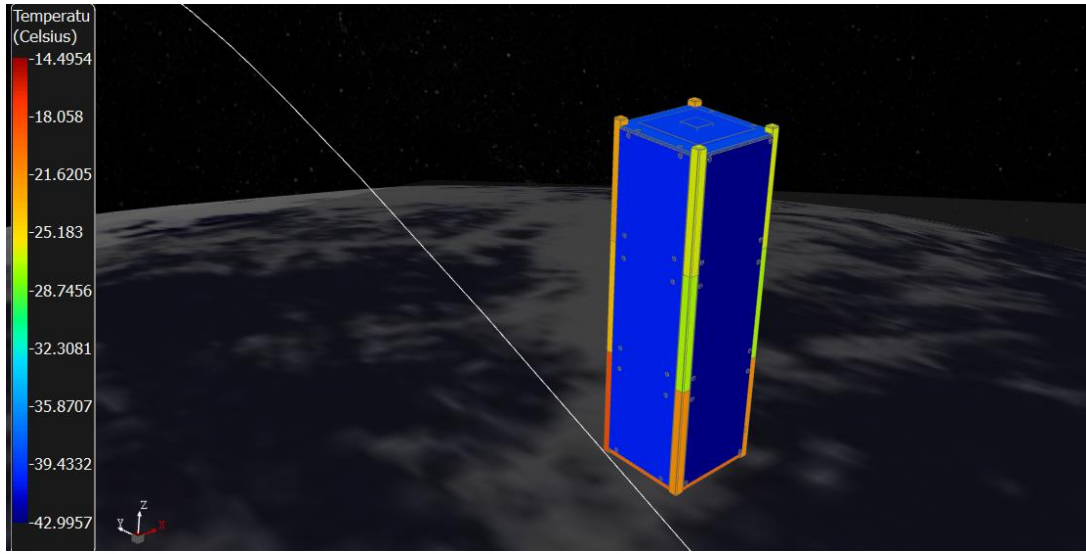


Şekil 5.15: Astin Sat 1 Küp Uydusu Dış Yapısının Karşılaşabileceği En Yüksek Sıcaklıklar.

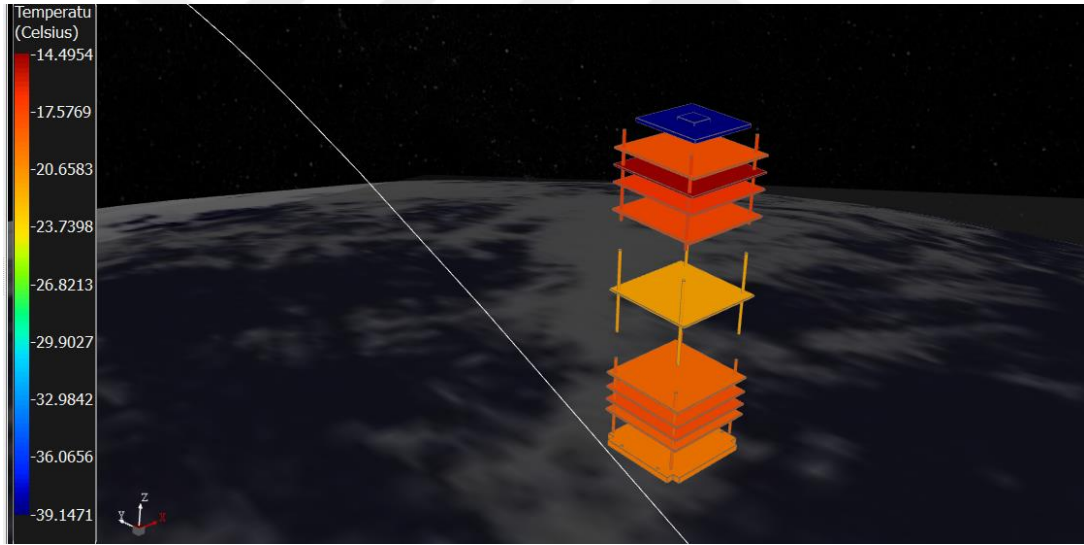


Şekil 5.16: Astin Sat 1 Küp Uydusu İç Yapısının Karşılaşabileceği En Yüksek Sıcaklıklar.

Küp uydunun yörüngede karşılaşabileceği en yüksek soğuk hesaplanmıştır.



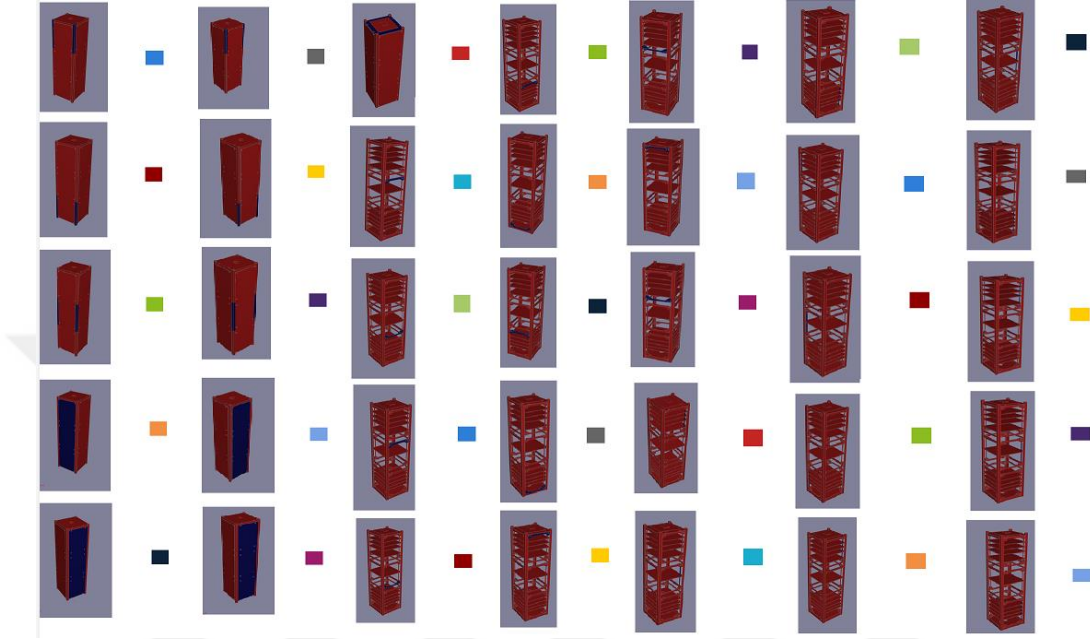
Şekil 5.17: Astin Sat 1 Küp Uydusu Dış Yapısının Karşılaşabileceği En Düşük Sıcaklıklar.



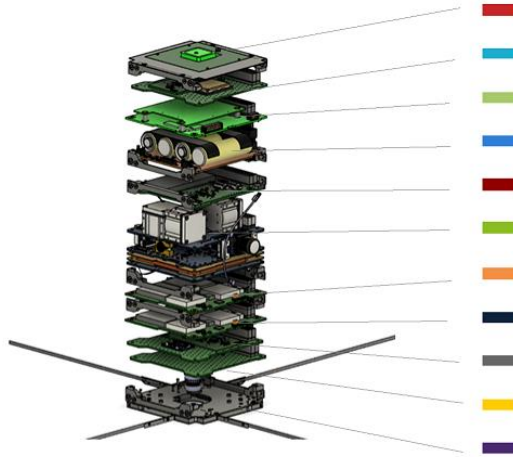
Şekil 5.18: Astin Sat 1 Küp Uydusu İç Yapısının Karşılaşabileceği En Düşük Sıcaklıklar.

Küp uydu yörüngede en fazla 89,5 °C'ye çıkmıştır. Güneş ışığının geldiği Güneş paneli en yüksek sıcaklık etkisindedir. Uydu alt sistemleri ise en fazla 31 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Küp uydunun en soğuk olduğu sıcaklık -42,9 °C'dir. Güneş paneli bu sıcaklık etkisindedir. Uydu alt sistemlerinin en düşük sıcaklığı -20 °C'dir.

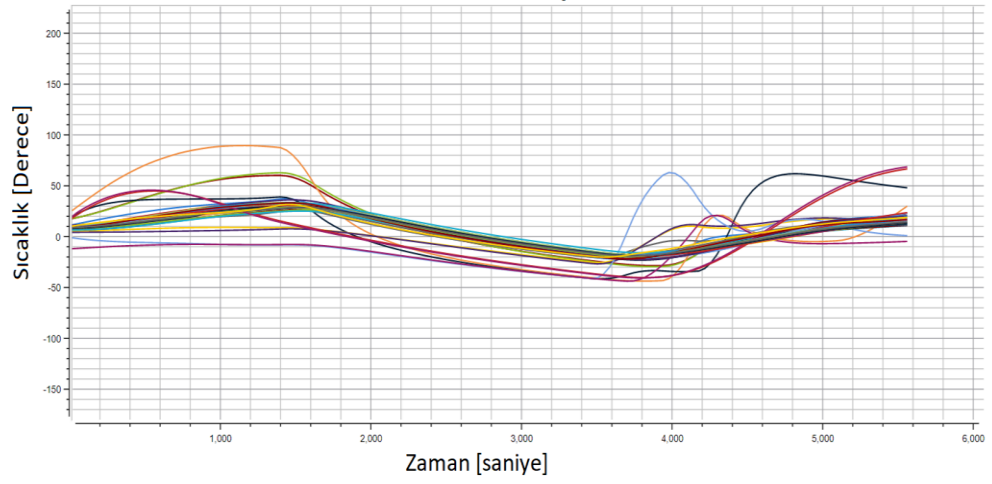
Astin Sat 1 küp uydusunun yörünge etrafındaki bir tam turu analiz edilmiştir. Zamana bağlı sıcaklık grafiği, zamana bağlı Dünya albedo absorbe akı grafiği ve zamana bağlı absorbe Güneş akı grafikleri elde edilmiştir.



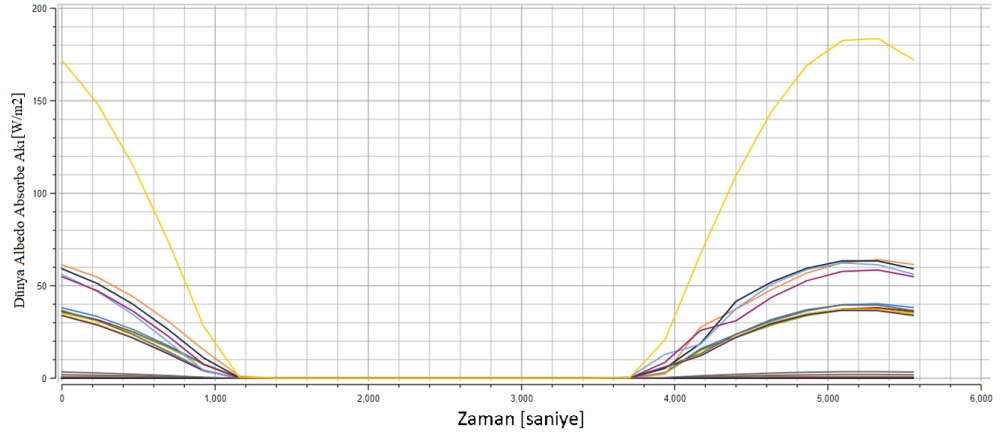
Şekil 5.19: Isı Analiz Sonuç Gösterimi İçin Donanımların Renk Dağılımı.



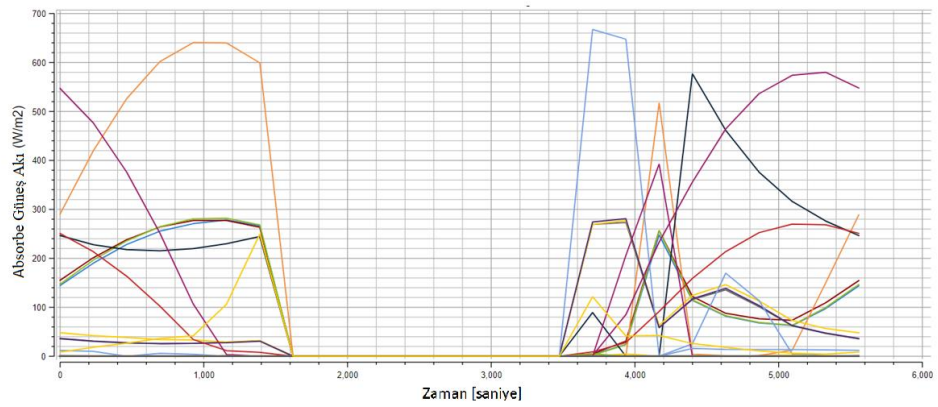
Şekil 5.20: Isı Analiz Sonuç Gösterimi İçin Alt Sistemlerin Renk Dağılımı.



Şekil 5.21: Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği.



Şekil 5.22: Zamana Bağlı Dünya Albedo Absorbe Akı Grafiği Dağılımı.



Şekil 5.23: Zamana Bağlı Absorbe Güneş Akı Grafiği.

Tablo 5.5: Isı Analiz Sıcaklık Durumu ve Kullanabilirlik Sonucu.

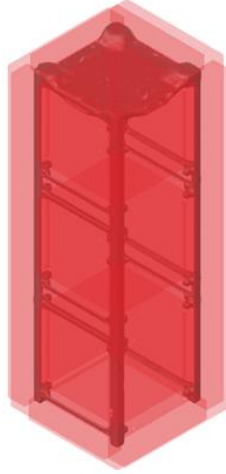
Alt Sistemler	Gerekli En Düşük Sıcaklık [°C]	Gerekli En Yüksek Sıcaklık [°C]	Ölçülen En Düşük Sıcaklık [°C]	Ölçülen En Yüksek Sıcaklık [°C]	Sonuç
Yapı	-150	+150	-35	+75	Olumlu
Gnss Yama Anten	-50	+90	-40	+30	Olumlu
Gnss Modülü	-50	+90	-17	+30	Olumlu
Uydu Bilgisayarı	-55	+95	-14	+31	Olumlu
Elektrik Güç Sistemi ve Batarya	-30	+80	-18	+30	Olumlu
Beacon	-20	+60	-18	+30	Olumlu
Yönelim Belirleme ve Kontrol Sistemi	-20	+70	-20	+30	Olumlu
Alıcı-Verici (Tranciever)	-25	+60	-18	+26	Olumlu
Verici (Transmitter)	-25	+60	-18	+26	Olumlu
9 Serbestlik Dereceli Duyarga	-30	+50	-19	+25	Olumlu
Kamera Sistemi	-30	+50	-18	+25	Olumlu
Anten Mekanizması (UHF ve VHF)	-100	+120	-18	+25	Olumlu
Güneş Paneleri	-60	+125	-42,9	+89,5	Olumlu

Isı analizleri yapılırken alt sistemlerin çalışma süreleri dikkate alınmıştır. Isı analizlerinde ulaşılan sonuçta küp uydu yörüngede en fazla 89,5 °C'ye çıkmıştır. Güneş ışığının geldiği Güneş paneli en yüksek sıcaklık etkisindedir. Yapı haricindeki uydu alt sistemleri ise en fazla 31 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Küp uydunun en soğuk olduğu sıcaklık -42,9 °C'dir. Güneş paneli bu sıcaklık etkisindedir. Yapı haricindeki uydu alt sistemlerinin en düşük sıcaklığı -20 °C'dir.

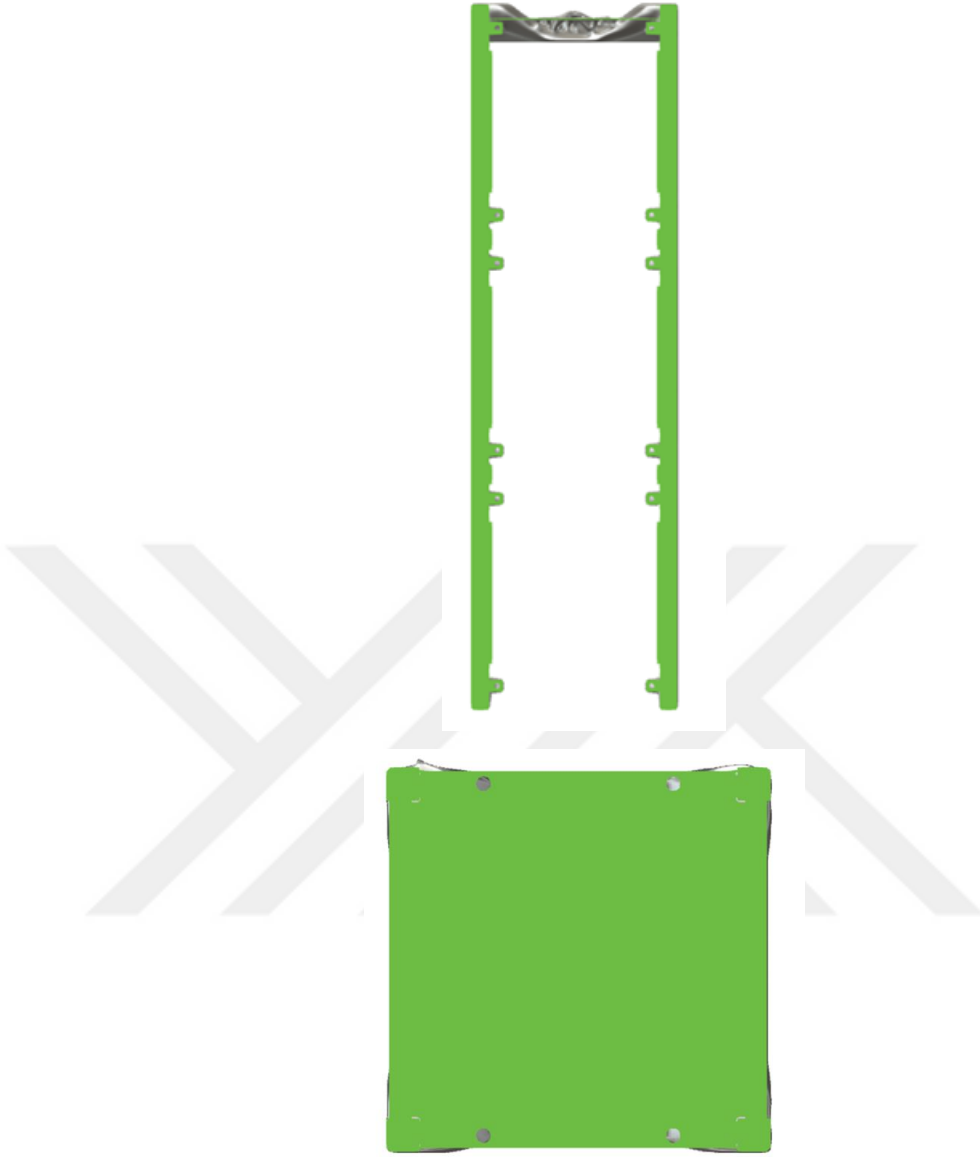
Isı analiz sonucu Astin Sat 1 küp uydusu için tasarlanan yapısı ve seçilen alt sistemleri belirtilen yörüngedeki görevleri için uygundur.

6. ASTIN SAT 1 KÜP UYDU YAPISININ ÜRETKEN TASARIM İLE MODELLENMESİ VE ANALİZ SONUÇLARI

Üretken tasarım, modellemesi kritik ve zor olan parça tasarımlarında kullanılmaktadır. Tasarlanan parçalar göreve, istere ve şartlara göre daha verimli, daha dayanıklı veya daha hafif kütleli modeller olabilmektedir. Üretken tasarım ile üretilen modeller karmaşıktır ve tasarlanması zordur. Üretken tasarım, tasarımcının belirlediği sınır şartları sonucunda göreve uygun verimli parça modellemeleri yapabilmektedir. Hava ve uzay aracı tasarımlarında kullanılan ve göreve uygun kritik parça modellemeleri üretken tasarım ile yapılabilir. Bu tez kapsamında küp uydu yapısı için üretken tasarım uygulaması yapılmıştır. Küp uydu tasarımı üzerinde üretken tasarım kullanılarak yeni modeller oluşturulmuştur. Bu modellerin uzay ortamındaki ve roketteki davranışları araştırılmıştır. Mevcut tasarımların ötesine geçerek, verimli tasarım ile daha dayanıklı ve daha hafif modeller oluşturulmuştur. Üretken tasarım, uzay aracını kendi bakış açısıyla tasarlayarak bilime yenilikçi bir bakış açısı getirmiştir. Küp uydu yapısının fırlatıcının verdiği boyutsal sınırlamaları sağlaması için şartlar getirilmiştir. Küp uydu içerisindeki alt sistemlerin kapladığı hacimlerde korunmuştur. Yörünge yerleştiricisi içerisine uygun yerleştirilmesi için yörünge yerleştiricisi iç hacminin dışına çıkılmamıştır.



Şekil 6.1: Yörünge Yerleştiricisi Hacmine Uygun Üretken Tasarım Modeli.



Şekil 6.2: Üretken Tasarım Sırasında Korunan Bölgeler.

Oluşturulacak üretken tasarım için en düşük güvenlik faktörü 2 olarak tanımlanmıştır. 18,1 g kuvvete ve z ekseninde -180 N'luk kuvvete dayanıklı üretken tasarım modelleri oluşturulmuştur.

12 adet ana üretken tasarım modeli elde edilmiştir ve her model en az 100 iterasyonla oluşturulmuştur. Yaklaşık 1200 farklı tasarım oluşturulmuştur. Eklemeli imalat, döküm kalıbı ve sayısal kontrollü bilgisayar ile üretilebilmektedir. Seri üretime uygun değildir, özel görevler için uygundur. Elektriği kesmek için anahtarlar ve RBF'ler kullanılmıştır.



Şekil 6.3: Oluşturulan Başlıca Üretken Tasarım Modelleri.

Görevlere uygun en verimli üretken tasarım modeli seçilmiştir. Seçilen üretken tasarım modelinin güvenlik faktörü 2'dir. Kütlesi ise 219,842 gramdır.



Şekil 6.4: Seçilen Üretken Tasarım Modeli.

Oluşturulan üretken tasarım modelinin iç yapısı boşluk görünümündür. Sert ve keskin hatlara sahip tasarımdan farklıdır. Yüklemelerin olduğu bölgelerde daha fazla malzame kütlesi bulunmaktadır. Seçilen modelin ayrıntılı tasarımı görsellerdeki gibidir.



Şekil 6.5: Seçilen Üretken Tasarım Modelinin Ayrıntılı Görselleri.

Alt sistemler üretken tasarım modeline entegre edilmiştir.



Şekil 6.6: Seçilen Üretken Tasarım Modelinin Alt Sistemler İle Birleştirilmesi.

Üretken tasarım ile modellenen küp uydunun sağlamlığı analiz edilmiştir. Rijitlik şartını karşılayan küp uydu yörünge yerleştiricisi (POD) içerisine konulmuştur ve ilk 6 mod için doğal frekans değerleri bulunmuştur. Fırlatma sırasında küp uydunun dağılmaması için ilk 6 doğal frekansı hesaplanmıştır.

Tablo 6.1: Seçilen Üretken Tasarım Modelinin Sabit Yüzeyli İlk 6 Doğal Frekans Sonuçları.

Modlar	Frekans [Hz]
1.Mod	77,545
2.Mod	147,57
3.Mod	221,97
4.Mod	248,63
5.Mod	284,1
6.Mod	285,11

Birinci moddaki doğal frekans değeri 100 Hz'in altındadır. İlk 6 doğal frekansı 77 Hz'in altında olan fırlatma sistemleri için üretken tasarım ile üretilen model uygundur. Fırlatma sırasında karşılaşılabilecek yüklemeler altında 18,1 g ve z ekseninde -180 N'luk kuvvet karşısında yapı dayanıklılığını kaybetmemiştir.

Üretken tasarım ile düşünülmeyecek yapılar ortaya çıkmıştır. Alt sistem yerleşimleri hazırlanmıştır. Yapı analizde, 3. durumda, z ekseninden 18,1 g ve -180 N'luk bir kuvvet etki etmektedir. Üretken tasarım, bu etkiyi en aza indirmek için yapının üst panelini güçlendirmiştir. Yapının güvenlik faktörü en az 2'ye yükselmiştir. Üretken tasarım ile modellenen yapının kütlesi 219,842 grama düşmüştür. Büyük hacimli ve kütleli yapay uydu tasarımlarında üretken tasarımın kullanımı yapay uydunun kütlesinde büyük azalmalar, mukavemet değerlerinde ise artışlar sağlayabilecektir.

7. SONUÇLAR

Tez kapsamında küp uydu teknolojileri hakkında genel bilgiler verilmiş olup Astin Sat 1 küp uydusunun ön tasarımı, titreşim analizleri, yapı analizleri, ısı analizleri ve yörünge mekaniği analizleri yapılmıştır. Fırlatıcı ve uzay ortamı gereksinimlerini karşılamak için bir tasarım yapılmıştır. Fırlatıcı şartları için gerekli doğal frekans sonuçları 100 Hz'in üzerindedir ve fırlatıcı gereksinimlerini karşılamaktadır. Yapı statik analiz 3 durumda incelenmiştir. Her durumda 3 ayrı ekseninde 18,1 g ve ayrıca z ekseninde -180 N kuvvet etki etmiştir. En uzun toplam deformasyon 3. durumda 0,44626 mm'dir. 2. durumda en yüksek gerilim 200,86 MPa'dır. Bu değer, alüminyum 7075 T6'nın çekme mukavemetinden daha düşüktür. Güvenlik sınırı faktörü 1,25'tir. En düşük değer 2. durumda meydana gelmiştir ve güvenlik faktörü 1,9914'tür. Küp uydu yörüngede en fazla 89,5 °C'ye çıkmıştır. Güneş ışığının geldiği Güneş paneli en yüksek sıcaklık etkisindedir. Uydu alt sistemleri ise en fazla 31 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Küp uydunun en soğuk olduğu sıcaklık -42,9 °C'dir. Güneş paneli bu sıcaklık etkisindedir. Uydu alt sistemlerinin en düşük sıcaklığı -20 °C'dir. Üretken tasarım kullanılarak küp uydu yapısı daha dayanıklı hale getirilmiştir. En verimli üretken tasarım ürünü seçilmiştir. Yapının kütlesi 219,842 grama düşmüş, güvenlik faktörü en az 2'ye yükseltilmiştir. Üretken tasarımı ile küp uydu yapısı daha dayanıklı bir şekilde oluşturulmuştur. Astin Sat 1 küp uydusu analiz sonuçlarının belirlenen görevler için uygun olduğunu kanıtlanmıştır. Sonraki çalışmalarda Astin Sat 1 küp uydusunun üretimi, üretken tasarımın küp uydularda ve büyük uydularda denenmesi ve Astin Sat 1 küp uydusunun tanımlanan yörüngelere fırlatılması amaçlanmaktadır.

KAYNAKÇA

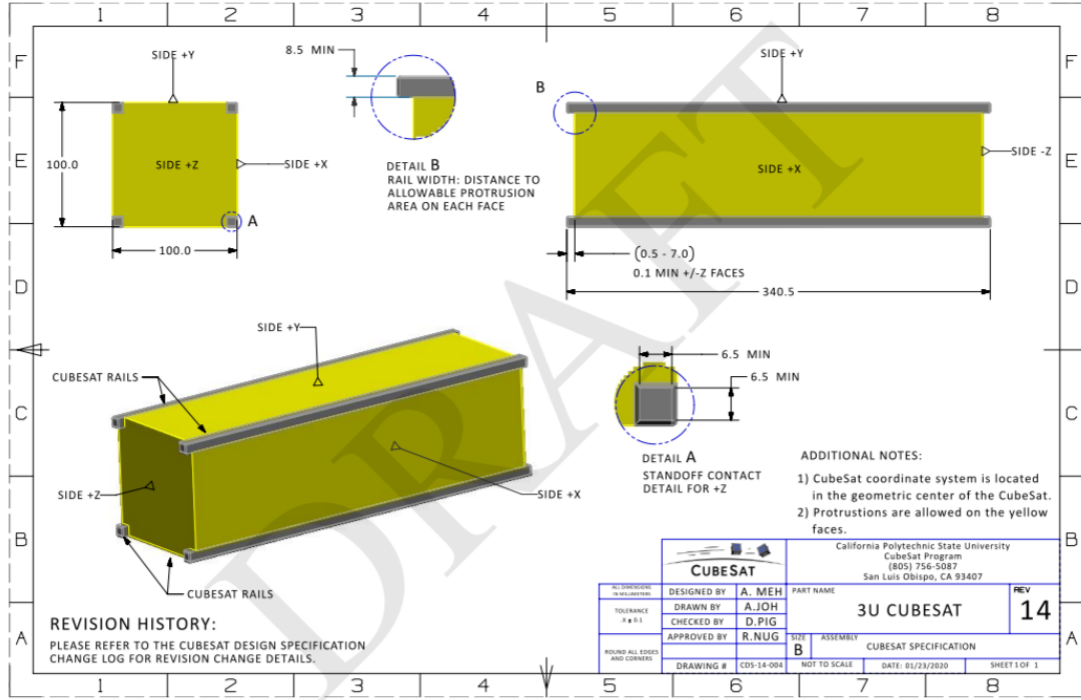
- Alhammadi, A. N., Jarrar, F., Al-Shaibah, M., Almesmari, A., Vu, T., Tsoupos, A., & Marpu, P. (2021). Effect of finite element model details in structural analysis of CubeSats. *CEAS Space Journal*, 13(2), 231-246.
- Ampatzoglou, A., & Kostopoulos, V. (2018). Design, analysis, optimization, manufacturing, and testing of a 2U cubesat. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2018.
- Aslan, A. R., Ümit, E., Şimşek, M., Uludağ, M. Ş., Aksulu, M. D., Sofyalı, A., ... & Kalemci, E. Qb50 Projesi Kapsamında Beeaglesat Küp Uydusunun Geliştirilmesi.
- Barsoum, G. I., Ibrahim, H. H., & Fawzy, M. A. (2019, Temmuz). Static and random vibration analyses of a university CubeSat project. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1264, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Brown, C. D. (2002). *Elements Of Spacecraft Design*. Aiaa.
- Bürger, E. E., Loureiro, G., Costa, L. L., Hoffmann, C. T., Zambrano, D. H., & Jaenisch, G. P. (2013). Development and analysis of a Brazilian CubeSat structure. In *IN: Proceedings of the 22nd International Congress of Mechanical Engineering–COBEM*.
- Chau, V. M., & Vo, H. B. (2019). Structural dynamics analysis of 3-U CubeSat. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 894, pp. 164-170). Trans Tech Publications Ltd.
- Cihan, M. (2011). *A New Conceptual Structure Design For Nanosatellites (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cihan, M., Çetin, A., Kaya, M. O., & İnalan, G. (2011, Haziran). Design and

- analysis of an innovative modular cubesat structure for ITU-pSAT II. In Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies-RAST2011 (pp. 494-499). IEEE.
- Erdoğan, E. (2019). Nano Uydu İle Konsept Derin Uzay Görevi Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Garzón, A., & Villanueva, Y. A. (2018). Thermal analysis of satellite librad 2: a guide to cubesat temperature prediction. Journal of Aerospace Technology and Management, 10.
- Herrera-Arroyave, J. E., Bermúdez-Reyes, B., Ferrer-Pérez, J. A., & Colín, A. (2016, September). CubeSat system structural design. In 67th International Astronautical Congress. Guadalajara, Mexico (pp. 1-5).
- Johnstone, A. (2020). Cubesat Design Specification (1U-12U) Rev 14 CP-CDS-R14. The Cubesat Program, Cal Poly SLO, July.
- Kılıç, Ç. (2015). Mission Analyses Of A Double Unit Cubesat Beeaglesat (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurtulus, C., Baltacı, T., Ulusoy, M., Aydın, B. T., Tutkun, B., Inalhan, G., ... & Unal, M. F. (2007, Haziran). ITU-pSAT I: Istanbul Technical University student pico-satellite program. In 2007 3rd International Conference on Recent Advances in Space Technologies (pp. 725-732). IEEE.
- Mahmood, R., Khurshid, K., & ul Islam, Q. (2011, Mart). Institute of Space Technology CubeSat: ICUBE-1 subsystem analysis and design. In 2011 Aerospace Conference (pp. 1-11). IEEE.
- Menteş, E. (2015). Kompozit 3U Küp Uyduların Yapısal Analiz Ve Tasarımları (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Morettini, G., Zucca, G., Braccisi, C., Cianetti, F., & Dionigi, M. (2021, Şubat). CubeSat Spatial Expedition: An Overview From Design To Experimental Verification. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1038, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.
- Raviprasad, S., & Nayak, N. S. (2015). Dynamic analysis and verification of

- structurally optimized nano-satellite systems. *Journal of Aerospace Science and Technology*, 1(2), 78-90.
- Secretariat, E. C. S. S. (2013). *Spacecraft Mechanical Loads Analysis Handbook*. European Cooperation For Space Standardization.
- Sellers, J. J., Larson, W. J., Astore, W. J., Shute, A., & Gay, D. (1994). *Understanding space: An introduction to astronautics*. New York: McGraw-Hill.
- Shinde, P., Quintero, A., Tansel, I., & Tosunoglu, S. (2017). CubeSat Thermal Analysis. In *30th Florida Conference on Recent Advances in Robotics*, Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida.
- Süer, M. (2013). *Türksat 3USat Uydusu'nun Yapısal Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Süer, M., Yakut, E., Oran, C., & Havacılık, G. G. U. S. Nart–Nano Ve Küp Uydular İçin Boyutlandırılabilir Modüler Uydu Yapısı Alt Sistemi.
- Yost, B., Weston, S., Benavides, G., Krage, F., Hines, J., Mauro, S., ... & Braun, B. (2021). *State-of-the-Art Small Spacecraft Technology*.
- Zosimovych, N. (2020). 1U CubeSat Platform Design. *Int. Journ. of Aerosp. Sc*, (8), 1.
- Wertz, J.R., Everett, D.F., Puschell, J.J., (2011). *Space Mission Engineering: The New SMAD*. Microcosm Press.

EK

Ek 1: 3U K p Uydu Tasarım Gereksinimleri



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Şanlı, Alper
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum tarihi ve yeri :
Telefon :
e-mail :

Eğitim

Derece

Lisans

Üniversite ve Bölüm

Yıldız Teknik Üniversitesi

Mezuniyet tarihi

28.06.2019

Meslekî Deneyim

Yıl

Yer

Görev

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınları

Patkavak, M., Şanlı, A. (2021).Determining Heat Transfer Coefficients of 0.08 mm, 0.1 mm Diameter Wires in Wind Tunnel. III. International Turkic World Congress on Science and Engineering, Niğde, Turkey.

Özdemir, Ö., Şanlı, A., Yaman, E. (2021). Yakıt Hücreli Elektrikli Araç (FCEV) Teknolojisi ve Araç Mimarisine Etkilerinin İncelenmesi. 10th International Automotive Technologies Congress, OTEKON 2020.

Tezden Türetilen Yayınları/Sunumları

Şanlı, A., Aslan A. R., (2021). Design Of Astinsat-1 and Structural Analysis, Use Of Generative Design. 7th International Congress On Engineering And Technology Management.