

**KATLANIP AÇILABİLEN KOMPOZİT BİR
REFLEKTÖR TASARIMI VE
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS

Mehmet Fatih ARIK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ömer SOYKASAP

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2010

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KATLANIP AÇILABİLEN KOMPOZİT BİR REFLEKTÖR TASARIMI
VE
ANALİZİ

Mehmet Fatih ARIK

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ömer SOYKASAP

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2010

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Ömer SOYKASAP danışmanlığında, **Mehmet Fatih ARIK** tarafından hazırlanan ‘**KATLANIP AÇILABİLEN KOMPOZİT BİR REFLEKTÖR TASARIMI VE ANALİZİ**’ başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca --/-----/--- tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Üye : Doç. Dr. Ömer SOYKASAP

Üye : Cesim ATAŞ

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
.sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KATLANIP AÇILABİLEN KOMPOZİT BİR REFLEKTÖR TASARIMI VE ANALİZİ

Mehmet Fatih ARIK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr.Ömer SOYKASAP

Bu çalışmada, yeryüzünü gözetleme maksatlı uydularda kullanılan katlanıp açılabilen kompozit bir reflektörün tasarım ve analizleri yapılmıştır. Reflektörün katlanma sebebi, reflektörde ağırlık ve hacimsel olarak düşüş yapabilmektir. Düşünülen reflektör tasarımının $\frac{1}{4}$ ölçekli prototipi üretilmiştir. Bu prototip sayesinde reflektör katlanmış ve kendi kendine açılması sağlanarak, tasarımın çalışma prensibi gözlenmiştir. Tam ölçekli reflektör, Abaqus sonlu elemanlar programında modellenmiştir. Reflektör yüzey kalınlığı ve destek elemanları tasarım parametresi olarak ele alınmış ve yapılan analizlerle reflektörün mekanik performansı belirlenmiştir. Analizlerde reflektör ağırlığı, doğal frekans, statik yükler altında malzeme hasarı, şekil değiştirme ve burkulma göz önüne alınmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda en uygun tasarım belirlenmiştir. Daha sonra reflektörü hafifletmek için destek yüzeylerine çeşitli şekillerde pencereler açılmıştır. Bu pencerelere sahip yapıların analizleri yapılarak reflektör performansında iyileştirmeye gidilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda, yüzey kalınlığının, reflektöre yerleştirilen farklı kesitli destek elemanlarının ve açılan pencerelerin yapının performans değerlerinde olumlu etki yaptığı gözlenmiştir.

2010, 100 sayfa

Anahtar Kelimeler: Uydu, Reflektör, Abaqus, Kompozit Malzemeler

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

ANALYSIS AND DESIGN OF DEPLOYABLE COMPOSITE REFLECTOR

Mehmet Fatih ARIK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Advisor: Doç.Dr. Ömer SOYKASAP

In this study the design and analysis of deployable composite reflector antenna for earth observation mission is presented. $\frac{1}{4}$ scale prototype of the reflector is manufactured. This prototype reflector is folded and provides self-deployment; and hence the design principles are observed. Full-scale reflector is modeled using the Abaqus finite element modeling software. Thickness of the reflector surface and the types of support elements are taken as design parameters. Mechanical performance of the reflector is obtained in the analyses. In the analyses, the reflector weight, natural frequency, material damage under static load and buckling are taken into account.

A result of this analysis the most appropriate design is determined. Cut-outs are introduced in the reflector to lighten it. The performance improvements are realized by the reflector with cut-outs.

Positive effect on the performance of the reflector is observed by varying type and dimension of support elements and by introducing cut-outs.

2010, 100 page

Key words: Satellite, Reflector, Abaqus, Composite Material

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yapmış olduğu çok değerli katkı ve yönlendirmeler ile bana büyük destek veren ve elinden gelen yardımları esirgemeyen Sayın Prof.Dr.Süleyman TAŞGETİREN'e, danışmanım Sayın Doç. Dr. Ömer SOYKASAP ve Arş.Gör.Şükrü KARAKAYA hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu güne gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Fatih ARIK
AFYONKARAHİSAR, Haziran 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1.Yörüngeler ve Dolanımlar.....	3
2.2.Roketler ve Uzay İstasyonları	3
2.3.Roketlerin Uzaya Gönderilmesi ve Karşılaşılan Zorluklar	7
2.4.Uyduların Yapısı ve İşleyişleri.....	9
2.5.Uydu Çeşitleri	9
2.5.1 Yer Çevresinde Yörüngeye Giren Uydular	10
2.5.2 Kutup Yörüngeli Uydular	11
2.5.3 Ekvator Uydular	11
2.5.4 Rasgele Uydular	12
2.5.5.İnsanlı Uydular.....	12
2.6.Uydu Tasarımı.....	15
2.7.Kompozit Malzemeler.....	17
2.7.1.Kompozit Teknolojisinin Gelişimi.....	18
2.7.2.Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları.....	18
2.7.3.Kompozit Türleri ve Sınıflandırılması	20
2.7.3.1.Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler.....	20
2.7.3.2.Yapım Şekillerine Göre Kompozitler	22
2.7.4.Lif Takviyesi	23
2.7.5.Karbon Fiber Üretimi.....	23
2.8.Literatür Bilgisi	24
2.9.Amaç ve Kapsam	27

3.METARYAL VE METOT	28
3.1.Metaryal	28
3.1.1.Reflaktör Model Metaryelleri	28
3.1.2.Prototip Tasarımı ve Metaryali	31
3.1.3 Analiz Metaryalleri	32
3.2.Metot	33
3.2.1.Sonlu Elemanlar Metodu.....	33
3.2.2.Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulanışı	34
3.2.3.Cismin Sonlu Elemanlara Bölünmesi	35
3.2.4.Sonlu Eleman Tipleri	35
3.2.5.Üç Boyutlu Sonlu Eleman Reflaktör Modelinin Oluşturulması	36
3.2.5.1.Parça Modelleme Kismi	36
3.2.5.2.Malzeme Özellikleri.....	38
3.2.5.3.Step Analiz Kismının Belirlenmesi ve Sınır Şartlarının Belirlenmesi	39
3.2.5.4.Modelin Sınır Şartlarının ve Yüklerin Belirlenmesi	39
3.2.5.5.Üç Boyutlu Modelin Ağ Oluşturması ve Sınır Şartlarının Uyg.....	40
3.2.5.6.Üç Boyutlu Model İçin Çözüm Oluşturma	41
4.BULGULAR	43
4.1.Yuvarlak Kesitli Kiriş Sistemine Sahip Reflaktörün Analiz Bulguları	43
4.1.1.Yüzey Kalınlığı 0,01 mm Olan Reflektör	44
4.1.2. Yüzey Kalınlığı 0,1 mm Olan Reflektör	44
4.1.3. Yüzey Kalınlığı 0,2 mm Olan Reflektör	47
4.1.4. Yüzey Kalınlığı 0,3 mm Olan Reflektör	47
4.1.5. Yüzey Kalınlığı 0,4 mm Olan Reflektör	47
4.1.6. Yüzey Kalınlığı 0,5 mm Olan Reflektör	48
4.2.Kare Kesitli Kiriş Sistemine Sahip Reflaktörün Analiz Bulguları.....	48
4.2.1. Yüzey Kalınlığı 0,01 mm Olan Reflektör	49
4.2.2. Yüzey Kalınlığı 0,1 mm Olan Reflektör	49
4.2.3. Yüzey Kalınlığı 0,2 mm Olan Reflektör	51
4.2.4. Yüzey Kalınlığı 0,3 mm Olan Reflektör	52
4.2.5. Yüzey Kalınlığı 0,4 mm Olan Reflektör	52
4.2.6. Yüzey Kalınlığı 0,5 mm Olan Reflektör	52
4.3.L Kesitli Kiriş Sistemine Sahip Reflaktörün Analiz Bulguları	53

4.3.1. Yüzey Kalınlığı 0,01 mm Olan Reflektör	54
4.3.2. Yüzey Kalınlığı 0,1 mm Olan Reflektör	54
4.3.3. Yüzey Kalınlığı 0,2 mm Olan Reflektör	57
4.3.4. Yüzey Kalınlığı 0,3 mm Olan Reflektör	57
4.3.5. Yüzey Kalınlığı 0,4 mm Olan Reflektör	57
4.3.6. Yüzey Kalınlığı 0,5 mm Olan Reflektör	58
4.4.T Kesitli Kiriş Sistemine Sahip Reflektörün Analiz Bulguları	58
4.4.1. Yüzey Kalınlığı 0,01 mm Olan Reflektör	59
4.4.2. Yüzey Kalınlığı 0,05 mm Olan Reflektör	59
4.4.3. Yüzey Kalınlığı 0,055 mm Olan Reflektör	60
4.4.4. Yüzey Kalınlığı 0,06 mm Olan Reflektör	60
4.4.5. Yüzey Kalınlığı 0,1 mm Olan Reflektör	60
4.4.6. Yüzey Kalınlığı 0,2 mm Olan Reflektör	63
4.4.7. Yüzey Kalınlığı 0,3 mm Olan Reflektör	63
4.4.8. Yüzey Kalınlığı 0,4 mm Olan Reflektör	63
4.4.9. Yüzey Kalınlığı 0,5 mm Olan Reflektör	64
4.5.L Kesitli Kiriş Sistemine Sahip Reflektörün Analiz Bulguları	64
4.5.1. Yüzey Kalınlığı 0,01 mm Olan Reflektör	65
4.5.2. Yüzey Kalınlığı 0,1 mm Olan Reflektör	65
4.5.3. Yüzey Kalınlığı 0,2 mm Olan Reflektör	68
4.5.4. Yüzey Kalınlığı 0,3 mm Olan Reflektör	68
4.5.5. Yüzey Kalınlığı 0,4 mm Olan Reflektör	68
4.5.6. Yüzey Kalınlığı 0,5 mm Olan Reflektör	69
4.5.7. Değişik Kesitli Takviye Elemanlarının Karşılaştırılması	69
4.6.Reflektörde Hafifletme Çalışmaları	70
4.6.1.Alt Yüzeyi İki Delikli Yapının Analiz Sonuçları.....	71
4.6.2.Alt Yüzeyi Dört Delikli yapının Analiz Sonuçları.....	71
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
6.KAYNAKLAR	75
6.1 İnternet Kaynakları.....	75
7. ÖZGEÇMİŞ.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

v	Hız
R	Yeryüzü yarı çapı
g	Yerçekimi ivmesi
t	Zaman
U_{max}	Max şekil değiştirme
F_0	Frekans
A	Alan
E	Elastik modül
F	Kuvvet
G	Kayma Modülü
ν	Possion Oranı

2. Kısaltmalar Dizini

NASA	Amerikan uzay dairesi
ESRO	Uzay araştırmaları organizasyonu
ESA	Avrupa uzay ajansı
CFRP	Polimer matrisli kompozit malzeme
FEM	Sonlu elemanlar metodu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Avrupa uzay ajansının (ESA) geliştirdiği çok kademeli roketler	4
Şekil 2.2 ABD ‘de NASA’nın geliştirip kullandığı uzay mekiklerinden biri.....	5
Şekil 2.3 Rusların 2. Nesil Mir uzay istasyonu.....	8
Şekil 2.4 Uyduların fırlatılış ve yörüngeye giriş periyodunu gösteren tem res... .	10
Şekil 2.5 Kutup yörüngeli uydular.....	11
Şekil 2.6 Temsili bir uzay laboratuvarı.....	13
Şekil 2.7 Temsili geleneksel reflektör.....	16
Şekil 2.8 Kompozit reflektör.....	17
Şekil 2.9 Münih Teknik Üniversitesi kaburga yapılı membran reflektör.....	25
Şekil 2.10 Alenia’nın uçları katlanabilen reflektörü	25
Şekil 2.11 Astrium ince kabuk panelli reflektörü.....	26
Şekil 2.12 Cambridge Üniversitesi arkası esnek takviyeli reflektörü.....	26
Şekil 3.1 Eski dizayn reflektör tasarımlarımı.....	28
Şekil 3.2 Elastik enerji depolayabilen malzemeler (CFRP)	28
Şekil 3.3 Bilgisayar ortamında tasarlanan reflektörün ebatları.....	29
Şekil 3.4 Reflektör üst yüzey eğim grafiği.....	29
Şekil 3.5 Alt yüzeyine pencereler açılmış reflektör yapıları	30
Şekil 3.6 Destek giriş kesit görüntüleri.....	31
Şekil 3.7 Prototip reflektör.....	31
Şekil 3.8 Prototip reflektörün katlanmış görüntüsü.....	32
Şekil 3.9 Create part penceresi.....	37
Şekil 3.10 Reflektör yüzey eğiminin modellenmesi	37
Şekil 3.11 Reflektör yüzeyinin modellenmesi.....	37
Şekil 3.12 Reflektörün yapı elemanları.....	38
Şekil 3.13 Reflektörün montaj görüntüsü.....	39
Şekil 3.14 Load manager penceresi	40
Şekil 3.15 Creat boundary condution manager penceresi.....	40
Şekil 3.16 Reflektörün mesh ataması yapılmış görüntüsü.....	41
Şekil 3.17 Reflektörün çözüm yapılmış görüntüsü.....	42
Şekil 4.1 Yuvarlak giriş kesit görüntüsü.....	43

Şekil 4.2 Reflaktörün yandan görünüşü ve giriş uzunlukları	44
Şekil 4.3 Yuvarlak kesitli, kalınlığı 0.1mm olan yapının frekans analiz sonuç görüntüsü.....	45
Şekil 4.4 Yuvarlak kesitli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değiştirme analiz sonuç görüntüsü.....	45
Şekil 4.5 Yuvarlak kesitli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-wu (hasar) analiz sonuç görüntüsü.....	46
Şekil 4.6 Yuvarlak kesitli, kalınlığı 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç görüntüsü.....	46
Şekil 4.7 Kare giriş kesit görüntüsü.....	48
Şekil 4.8 Kare girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç görüntüsü.....	50
Şekil 4.9 Kare girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının frekans analiz sonuç görüntüsü.....	50
Şekil 4.10 Kare girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değiştirme analiz sonuç görüntüsü.....	51
Şekil 4.11 Kare girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-wu(hasar) analiz sonuç görüntüsü.....	51
Şekil 4.12 L giriş kesit görüntüsü.....	53
Şekil 4.13 L girişli, kal 0.1mm olan yapının frekans analiz sonuç gör.....	55
Şekil 4.14 L girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değiştirme analiz sonuç görüntüsü.....	55
Şekil 4.15 L girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-wu(hasar) analiz sonuç görüntüsü.....	56
Şekil 4.16 L girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç görüntüsü.....	56
Şekil 4.17 T giriş kesit görüntüsü.....	58
Şekil 4.18 T girişli, kal 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç gör.....	61
Şekil 4.19 T girişli, kal 0.1mm olan yapının frekans analiz sonuç gör.....	61
Şekil 4.20 T girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değiştirme analiz sonuç görüntüsü.....	62
Şekil 4.21 T girişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-Wu(hasar) analiz sonuç görüntüsü.....	62

Şekil 4.22 I kiriş kesit görüntüsü.....	64
Şekil 4.23 I kirişli, kal 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç gör.....	66
Şekil 4.24 I kirişli, kal 0.1mm olan yapının frekans analiz sonuç gör.....	66
Şekil 4.25 I kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değiştirme analiz sonuç görüntüsü.....	67
Şekil 4.26 I kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-Wu(hasar) analiz sonuç görüntüsü.....	67
Şekil 4.27 Abaqus programında alt yüzeye açılan iki adet pencere.....	70
Şekil 4.28 Abaqus programında alt yüzeye açılan dört adet pencere.....	70
Şekil 4.29 Reflaktörün alt yüzeyine iki adet pencere açılmış genel gör.....	71
Şekil 4.30 Reflaktörün alt yüzeyine dört adet pencere açılmış genel gör.....	72

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Sovyetler Birliği'ne ait ilk uyduların bazı özellikleri	12
Çizelge 3.1 Reflektör malzeme özellikleri.....	36
Çizelge 4.1 Yuvarlak kesite sahip yapının analiz sonuçları	43
Çizelge 4.2 Kare kesite sahip yapının analiz sonuçları.....	49
Çizelge 4.3 L kesite sahip yapının analiz sonuçları	54
Çizelge 4.4 T kesite sahip yapının analiz sonuçları	59
Çizelge 4.5 I kesite sahip yapının analiz sonuçları.....	65
Çizelge 4.6 T kesite ve alt yüzeyi iki delikli yapının analiz sonuçları	71
Çizelge 4.7 T kesite ve alt yüzeyi iki delikli yapının analiz sonuçları	72

1.GİRİŞ

Uydularda bulunan reflektörler, yeryüzünde meydana gelebilecek kara hareketleri, tarım, jeoloji ve bunun gibi her türlü dünyada meydana gelebilecek hareketleri düşük maliyetle gözlemleme olanağı sağlayan yapılardır. Fakat geleneksel olarak tasarlanan reflektörlerin ağırlıkları ve hacimlerinin büyük olmasından dolayı uzayda konumlandırılmaları bir hayli zor ve maliyetlidir.

Büyük boyutlu sayılabilecek uydular, uzaya gönderilmeden önce katlanılarak yüzey alanları ve hacimleri minimum seviyeye getirilmeye çalışılır. Bu durum sayesinde fırlatma aşamasından sistemin uzaya yerleşme aşamasına kadar olan çalışma zarfında maliyetinin (uyduyu konumlandırma maliyeti) düşürülmesi amaçlanır.

Bu çalışmada reflektör, kompozit malzemeler kullanılarak ağırlığının azaltılması ve katlanabilir bir tasarım gerçekleştireceği, bu nedenle uzaya gönderme anında da hacminin düşürülmesi düşünülmüştür.

Bizim çalışmamızda, kendi kendine konuşlandırılabilen yansıtıcı, güçlendirilmiş karbon fiber takviyeli çok ince kabuk yapısına sahiptir. Bağlama elemanı olarak ise esnek karbon malzemeler kullanılmıştır. Bu nedenden dolayı da yansıtıcı, orijinal pozisyonuna birkaç aşamada sahip olmaktadır. Yansıtıcının bu pozisyona geçişi ise esnek menteşelerin elastik enerjisi ile gerçekleştirilmektedir.

Düşünülen reflektör tasarımının $\frac{1}{4}$ ölçekli prototip yapılmış ve bu prototipte reflektörün kapanma ve açılmasındaki göstermiş olduğu tepkiler gözlenmiştir. Daha sonra bu reflektörün 1/1 ölçekli tasarımı Abaqus sonlu elemanlar programında modellenmiştir.

Modellenen bu reflektör yüzeyine farklı kalınlıklar atanmış ve aynı zamanda, yapı farklı (L, T, I, Kare ve yuvarlak) kesitli kirişler ile analizlere tabi tutulmuştur. Daha sonra Abaqus programında bu farklı kalınlık ve kirişlere sahip yapıların ağırlıkları, hasar, şekil değiştirme, frekans ve burkulma davranışları; böylece en uygun performans değerleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda T profil kesitli ve 0.06 kalınlıklı malzemeye sahip yapının en uygun tasarım olduğu bulunmuştur. Bulunan değerler sonunda model üzerinde hafifletme çalışmaları

yapılmış, alt yüzeye iki adet pencere açılarak yapılan tasarımın en uygun performans değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1 Yörüngeler ve Dolanımlar

Uyduların çizdiği eğri, yani yörüngesi, Yer'in merkezinin odaklardan birini oluşturduğu bir elipstir ve hareket hep aynıdır. Bu, en azından, uydunun belirli bir yükseklikle ilişkili olan yatay hızının belli bir değeri için doğrudur. Uydu yörüngesini tam olarak çizdiği, yani gökcisminin çevresinde tam bir tur yaparak daha önce bulunduğu konumlardan birine yeniden geldiği zaman bir dolanımını tamamlamış demektir. Bir dolanım için gerekli zamana *dolanım süresi* adı verilir. Uydunun Dünya'nın dönme yönünde, yani batıdan doğuya çizdiği yörüngeye *pozigrat*, karşıt durumdakine ise *retrograt* yörünge denir. Birinci halde kavuşum süresi (dolanım) yıldız dolanım süresinden (yörünge) daha büyük, ikincisindeyse gözlemcinin Dünya'nın dönmesine katılması nedeniyle, daha küçüktür (İnt.Kyn. 1).

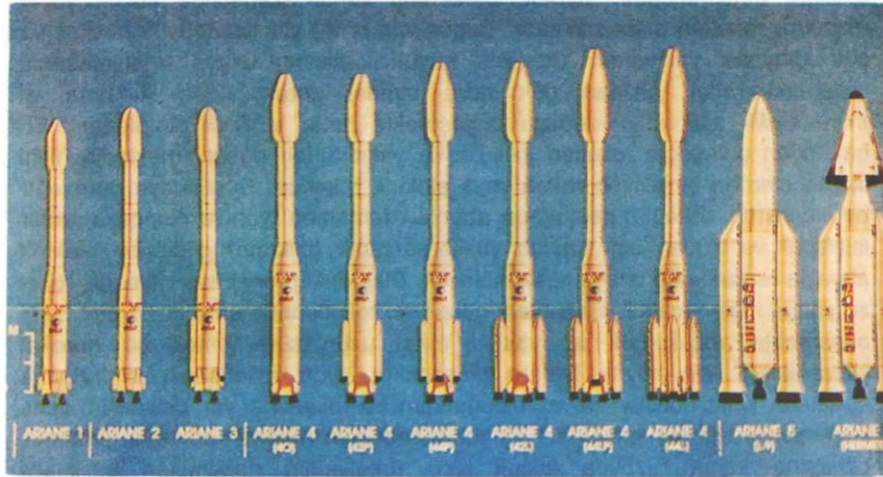
Uzay gemilerinin, tümüyle otomatik sondaların ve uyduların hemen hemen hepsi doğuya doğru fırlatılmıştır, dolayısıyla da Dünya'nın dönmesinin füzeye ilettiği başlangıç hızından yararlanmak için pozigrat yörüngelere yerleştirilmişlerdir; retrograt yörüngeler Dünya'nın dönmesinin etkisini ortadan kaldırmak için daha büyük enerji harcaması gerektirirler (İnt.Kyn. 3).

2.2 Roketler ve Uzay İstasyonları

Bilim insanları yüzyıllardır gökyüzünü yeryüzünden gözlemlediler ve bununla ilgili birçok bilgiler edinmişlerdir. Günümüzdeyse gelişen uzay teknolojisi bize yeni ufuklar açtı. Roketlerin uzay mekiklerinde kullanılmasıyla gök cisimleri uzaydan incelenmeye başlandı. Aynı zamanda uzay içinde bilinmeyenlere doğru yolculuk yapabilme şansı elde edildi.

19. ve 20. yüzyıllarda gerçekleşen teknolojik ilerlemeler sonunda, bir çok kimse roketlerle Ay'a gidilebileceğine inanmaya başlamıştır. Rusyada N.I.Kibalchich (1853- 1881) insan taşıyan roketlerin yapılabileceğini savunmuş ve 1890'da Alman H. Gansvindt (1856- 1934) bu düşünciyi daha da geliştirerek roketlerle yönlendirilebilen insanlı uzay araçlarının yapılabileceğini göstermeye çalışmıştır.

1898 de Rus K.Tsiolkovsky (1857- 1935) roket operasyonunun matematiksel formülleri üzerine ilk çalışmasını tamamlamış, roketlerde katı yakıt yerine sıvı yakıt kullanımının gerekliliği üzerinde durmuştur. Sıvı yakıtla daha fazla güç elde edildiğini ve bu gücün daha kolay kontrol edilebildiğini göstermiştir. Tsioikovsky daha sonraki çalışmalarıyla çok kademeli roket kavramını geliştirmiştir. 1927'de kurulan Alman Uzay Uçuşları Derneği de sıvı yakıtlı roket denemelerine başlamıştır. Bu denemeleri yapanlardan biri de o zaman çok genç olan W. Von Braun (1912- 1977) dur. Almanya'da roket çalışmaları 1932'de ordu tarafından ele alınmış, 1937 'de bir deneme istasyonu kurulmuş ve sonra bu istasyonda V- 2 roketleri geliştirilmiştir. Bir tonluk savaş başlığı taşıyan bu sıvı yakıtlı roketler, bugünkülerin öncüsü olarak savaşların gidişini değiştirdi ve Dünya'nın uzay çağına girişinde önemli bir rol oynadılar. Şekil 2.1 de ise Esa'nın geliştirmiş olduğu roket modelleri bulunmaktadır(İnt.Kyn.2).



Şekil 2.1 Avrupa uzay ajansının (ESA) geliştirdiği çok kademeli roketler(İnt.Kyn.2).

Roketlerdeki itici gücün kaynağı roket motorlarında oluşturulan sıcak gazın hızla dışarı atılmasından doğan tepkidir. Nevvton'un üçüncü yasasına göre her etkiye zıt yönlü bir tepki kuvveti oluşur. Roketlerde roket motorlarından hızla püskürülen gaz, rokete zıt yönlü bir hareket sağlar. Roketlerde bu itici gücü daha iyi anlamak için şişirilmiş bir balonu, ağzını bağlamadan havaya bırakın, balonun sönerken çıkardığı havanın itme gücüyle zıt yönde hızla hareket ettiğini göreceksiniz. Roketler sıvı veya katı bir yakıtın yanında ateşleyici olarak ayrıca

oksijen taşırlar. Yakıt ve oksijen ayrı ayrı tanklarda depolanır ve pompalama sistemiyle belli oranlarda yanma odasına püskürtülür. Yanma odasında oluşturulan küçük bir kıvılcım reaksiyonu başlatır. Ortaya çıkan sıcak gaz büyük bir basınçla dışarı püskürtülerek zıt yönünde etki- tepki prensibine göre hareket sağlanır. Hareketin hızı, roketin kütlesi yanında püskürtülen gazın ilk hızına ve birim zamanda püskürtülen gazın kütlesine bağlıdır. Birim zamanda püskürtülen yakıt kütlesi arttırılarak çok büyük kütleli roketler uzaya fırlatılabilir. Ancak bu durumda, uçuş boyunca fazla yakıt gerekeceğinden, büyük kütleli roketlerin fırlatılmasında yakıt depolarının büyük olması yanında, püskürtülen gazın ilk hızı da arttırılarak daha fazla tepki kuvveti sağlanır. Roketleri jet motorlarından ayıran tek özellik, jet motorlarında oksijen tankı bulunmamasıdır. Jet motorları oksijeni atmosferden alırlar. Ancak bu nedenle jetler sadece oksijeni bol olan alt atmosfer katmanlarında uçabilirler. Roketlerse atmosferin üst katmanlarında hatta boşlukta da etki-tepki prensibine göre hareketlerini sürdürebilirler(İnt.Kyn.2).



Şekil 2.2 ABD ‘de NASA’nın geliştirip kullandığı uzay mekiklerinden biri(İnt.Kyn.2).

1980’li yıllarda hem ABD’de hem Rusya’da uzay mekikleri ve tekrar tekrar kullanılabilen uzay araçlarında önemli gelişmeler gerçekleştirildi. Uzay mekikleri güçlü roketlerle uzaya fırlatılmakta, Dünya etrafındaki yakın uzayda görevlerini yaptıktan sonra tekrar kullanım için tıpkı bir uçak gibi yer yüzüne inebilmektedir. 1980’li yılların başında ABD tarafından uygulamaya sokulan uzay mekikleri birbirine bağlı üç roketle hareket ettirilmekte, yakıt olarak ayrı tanklarda sıvı hidrojen ve sıvı oksijen kullanılmaktadır. Ek olarak yanlarda iki tane katı yakıtlı

roket bulunmaktadır. Mekik, Yer çekiminden yavaş yavaş kurtuldukça kademeli olarak işi biten yakıt depolarını okyanus üstlerinde boşluğa bırakmaktadır. Bugün için roket yakıtları büyük hacimli ve ağır kimyasal yakıtlardır. Özellikle büyük kütlelerin uzaya fırlatılmasında kullanılan roket yakıtları çok fazla olması gerektiğinden, fırlatma işi mühendislik açısından oldukça zorlaşmakta hatta tehlikeli olmaktadır. Bu bakımdan geleceğin roketleri için başka yakıt türleri düşünülmektedir. Yeni düşüncelerden birisi iyon roketi veya elektrik roketidir. Düşünceye göre ağır bir elementin, örneğin; sezyumun atomları tamamen iyonize oluncaya kadar ısıtılacak ve oluşan çok sayıda yüklü parçacık (plâzma) güçlü bir elektrik alanıyla hızlandırılıp uzaya püskürtülecek. Etki tepki prensibine göre de roket zıt yönde hızlanacaktır. Hesaplara göre iyon roketlerinde itme gücü çok fazla olmamakta ancak çok az yakıtla roket uzun süre ivmeli bir hareket yapabileceği için büyük hızlara ulaşacaktır, iyon roketlerinin ilk fırlatma sırasında yakıt kütleleri de az olduğundan bu roketlerle yer çekiminin daha kolay yenileceği sanılmaktadır. (İnt.Kyn.2).

Geleceğin roketleri için diğer bir düşünce nükleer güçten yararlanmaktır. Nükleer denizaltılarda olduğu gibi bir reaktörden alınan atomik güçle bir sıvı, örneğin; sıvı hidrojen veya su, sıcak gaz hâline dönüştürülüp uzaya püskürtülerek rokete zıt yönde hız verecektir. Daha da önemli bir düşünce yıldızların merkez bölgelerinde var olan nükleer enerji üretim mekanizmalarının roketlerde uygulanmasıdır. Bilindiği gibi yıldızların merkezlerinde dört hidrojen çekirdeği, yüksek sıcaklık ve basınç altında birleşip bir helyum çekirdeğine dönüşmekte ve çok büyük bir nükleer enerji açığa çıkmaktadır. Gök yüzünde yıldızlar çok uzak oldukları hâlde bu nükleer enerjinin çok büyük olması nedeniyle parlamaktadırlar. Gelecekte roketlerde böyle bir enerji üretim mekanizması çalıştırılabilirse, evrende en bol madde hidrojen olduğuna göre roket yıldızlararası maddeden aldığı hidrojeni enerjiye dönüştürerek yıldızlararası yolculuk yapabilecektir. Bugün kademeli roketlerle gerçekleştirilen başarılı uzay uçuş projeleri, proje adlarıyla (örneğin Apollo projesi) bilinmektedir. Sovyetlerin en başarılı uzay uçuş projeleri sırasıyla; Sputnik, Vostok, Voskhod, Soyuz ve Venera projeleridir, önemli ABD uzay uçuş projeleri ise; Vanguard, Pioneer, Mercury, Apollo, Gemini ve Voyager projeleridir. Ayrıca ilk uluslararası uçuş projesi olan Apollo- Soyuz test projesi

15-24 Temmuz 1975'te gerçekleştirilmiştir. Rusya ve ABD'den sonra gelişmiş Batı Avrupa ülkeleri, Çin, Japonya, Kanada, Hindistan, Brezilya ve Avustralya gibi birçok ülke uzay araştırmalarında önemli adımlar atmıştır. Ancak uzay araştırmaları çok pahalı bir uğraş olduğundan, Rusya ve ABD dışındaki çalışmalar insansız küçük projelerle sınırlı kalmıştır(İnt.Kyn.2).

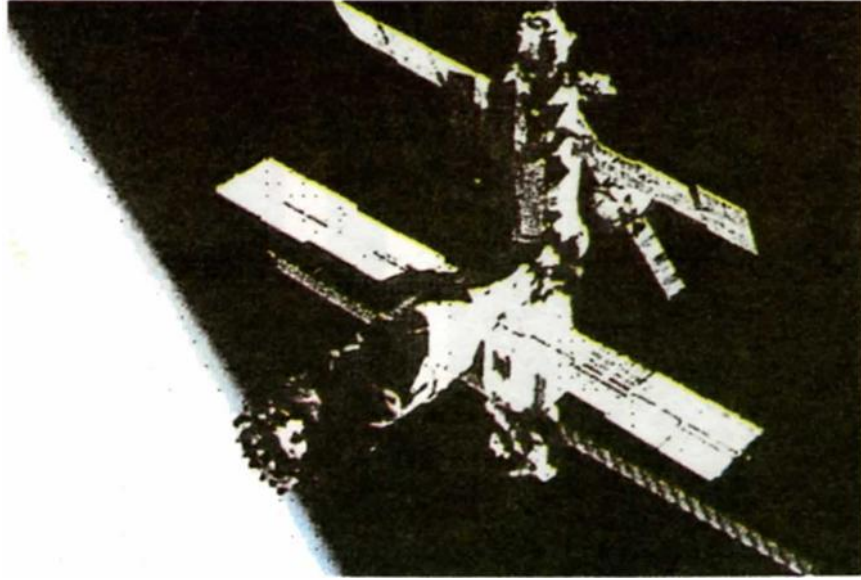
ABD'deki uzay araştırmalarını Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi- NASA yürütmektedir, ilk 20 yılda NASA sivil ve askerî amaçlar için 90 trilyon dolar harcamıştır, yarım milyondan fazla insan çalıştırmaktadır. Rusya'da bu işi Bilimler Akademisi ve bu kuruma bağlı Kozmik Araştırmalar Enstitüsü yürütmektedir. Uzay araştırmalarında üçüncü güç 1964'te Avrupa Uzay Araştırmaları Organizasyonu- ESRO olarak kurulup 1975'te Avrupa Uzay Ajansı- ESA ya dönüşen Avrupa ortaklığıdır. Bugün ESA; Belçika, Danimarka, Fransa, Almanya, İtalya, Hollanda, İspanya, İsviçre ve İngiltere'den oluşmaktadır (İnt.Kyn.3).

2.3 Roketlerin Uzaya Gönderilmesi ve Karşılaşılan Zorluklar

Uzay çalışmaları uzay araçlarıyla yer atmosferinin dışından yapıldığı için uygulamada bir dizi zorluklar vardır. Bu zorluklar belli ilkeler uygulanarak aşılar, öncelikle uzay aracını yer atmosferinin dışına belli bir yüksekliğe kadar çıkarmak gerekir. Bunun için kademeli roketler kullanılır. Kalkışta roketin uzay aracına vereceği ivme, 9.8 m/sn^2 olan yer çekimi ivmesinden çok daha büyük olması gerekir. Kademeli roketler kullanıldıkça boşalan tanklar atılır ve araç hafifler. Diğer taraftan araç yükseldikçe yer çekimi etkisi de azaldığından ivmelenme kolaylaşır. Aracın atmosfer dışında Yer çevresinde dolanacağı yörüngesine oturabilmesi için en az 8 km/s hıza ulaşması, yeri terk edip gezegenler arası ortama çıkabilmesi için bu hızın en az 10 km/s olması gerekir, ivmelenmenin üst sınırını uzay aracının gövdesine ve içindeki âletlere zarar vermeden dayanabileceği hız sınırı belirler. Ayrıca insanlı uçuşlarda, insanın, araç içindeki konumuna göre katlanabileceği ivmenin yüzeyde yer çekimi ivmesinin 8-10 katından fazla olmaması gerektiği anlaşılmıştır(İnt.Kyn.1).

Uzayda sadece kütle çekimi etkisinde bulunan bir uzay aracının hareketi 17. yüzyıldan beri bilinen Kepler ve Nevvton yasaları ile bellidir. (İnt.Kyn.2).

Yer'e dik olarak fırlatılan uydu istenilen yükseklikte yörünge hızına yaklaştığında hareketi yer yüzeyine paralel olacak şekilde yavaş yavaş eğilir. Bu aşamada merkezkaç kuvveti yer çekimi kuvvetine eşitlenmiş olur ve böylece araç Yer çevresinde dolanmaya başlar, 200 km yükseklikte yörünge hızı 8 km/sn komşuluğundadır. Bu yükseklikte hava yoğunluğu çok düşük olduğu için, aerodinamik yavaşlatma (sürtünme) çok küçüktür ve uydu uzun süre yörüngede kalabilir. Araç yörüngeye oturtulurken Yer'in dönme hızından da yararlanılmak istenirse, aracın hareket yönü doğru olarak seçilir. Bu durumda tıpkı hızla giden bir trenden gidiş yönünde atılan bir cismin hızının, trenin hızı ile atış hızının toplamına eşit olduğu gibi; aracın yörünge hızı da yerin dönme hızı (ekvatorda 0.46 km/sn) ile roket itmesinin verdiği hızın toplamına eşit olur. Böylece Yer'in dönme hızından yararlanarak daha az enerji harcanmış olur. Bu nedenle yapay uydu fırlatmaları hangi yükseklikten olursa olsun doğuya doğru yapılır (İnt.Kyn.2).



Şekil 2.3 Rusların 2. Nesil Mir uzay istasyonu (İnt.Kyn.2)

2.4 Uyduların Yapısı ve İşleyişleri

Uzay gemilerinde olduğu gibi, uyduların yapımı da, atmosferin dışındaki uzayın içinde bulunma koşullarıyla saptanır. Yapımcılar pek çok durumla karşı karşıya kalmaktadırlar. Uydunun, fırlatmanın yol açtığı hızlanmalara ve titreşimlere dayanması gereklidir. Ayrıca, dış uzayın düşük basınçlarına da uyum sağlamalıdır; boşluğa yerleştirilen bileşenler parçalanabilir ve bazı gereçler buharlaşabilir ya da işleyiş niteliklerini yitirebilirler. Sıcaklık için de aynı durum söz konusudur; uydu, Dünya atmosferinin koruması olmaksızın doğrudan Güneş ışınlamıyla karşılaşır; oysa sıcaklık elektronik aletlerin yaşam süresine doğrudan negatif bir etki yapar. Uydular ayrıca Evren'den ya da Güneş'ten gelen şiddetli ışınlamaların etkisinde kalır (örneği Güneş Rüzgarları – Kosmos vs). Bir uydunun yapısı görevine bağlıdır; insanlı bir uzay gemisinin yapısıyla geri gelmesi düşünülmemiş olan bir haberleşme uydusunun yapısı tümüyle aynı olamaz. İnsanlı bir uzay gemisinin dış biçimi ve kullanılan yapı gereçleri, atmosferin içine girişteki hıza göre yapılır, tasarlanır. Giriş sırasında oluşan son derece yüksek sıcaklık, ya uzay gemisinin yüzeyindeki ısısal (termik) ısıma yoluyla, ya da yüzeysel bir tabakanın buharlaşması veya kaynamasıyla yok edilir. Geminin içindeki atmosferi ayarlamak, gerekli elektrik enerjisini sağlamak, yüksekliği, yörüngeyi, uygun hızı saptamak ve korumak, telekomünikasyonu sağlamak amacıyla hazırlanmış olan ikincil, uzay gemisinin içine yerleştirilir. (İnt.Kyn.5).

2.5 Uydu Çeşitleri

Uzay araçlarını genelde iki gruba ayırırız:

1. İnsanlı uzay araçları
2. İnsansız uzay araçları

Bunlarda girdikleri yörüngelere göre üçe ayrılırlar:

1. Yer etrafında yörüngeye girecek olanlar
2. Ay çevresinde yörüngeye girecek olanlar ya da Ay'a inecek olanlar
3. Gezegen yörüngelerine girecek olanlar ya da Güneş çevresinde dolananlar

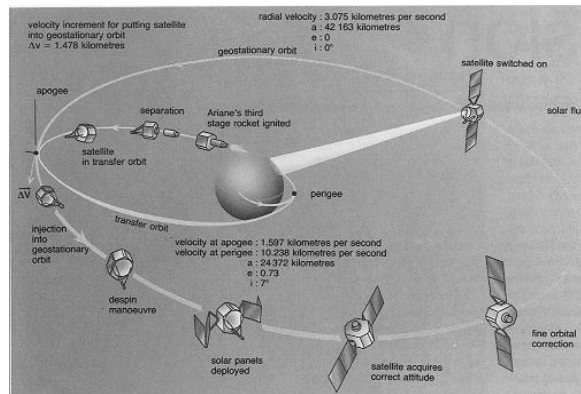
İnsansız uzay araçlarının yeri terk ettikten sonra geri dönmelerine gerek yoktur. Ancak insanlı olanların yere dönmeleri gerekmektedir. Bu nedenle içlerinde insan metabolizması için gerekli olan donanımın bulunması gerekmektedir.

Başka bir sınıflama da amaca göre sınıflamadır. Buna göre:

1. Bilimsel amaçlı uydular (genelde tek bir uydudan oluşurlar)
2. Hizmet amaçlı uydular (birden fazla uydunun ortak çalışması vardır, örneğin, metroloji uyduları, haberleşme uyduları bu türdendir)
3. Askeri amaçlı uydular (erken uyarı sistemleriyle donatılmış aynı zamanda askeri haberleşme amacıyla kullanılırlar)
4. Casus uyduları, yapıları, amaçları, ömürleri saklı tutulan, düşman topraklarını gözleyen uydular
5. İmha uyduları, askeri uyduların bir cinsidir. Düşmana ait bir askeri veya casus uyduyu işlemez hale getirmek için fırlatılan uydulardır. Bir bomba olarak düşünülebilir(İnt.Kyn.2).

2.5.1 Yer Çevresinde Yörüngeye Giren Uydular

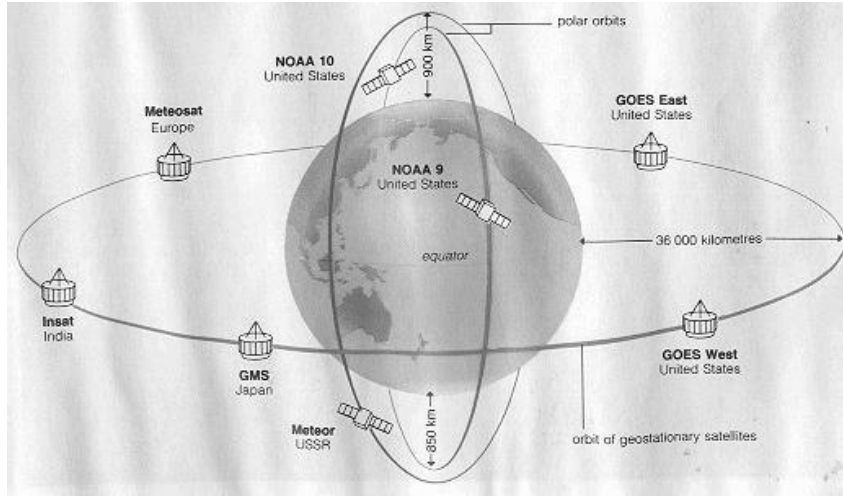
Bu tür uydular genellikle insansızdır. Şu anda yer yörüngesi etrafında binlerce uydu bulunmaktadır. Uydu bir merkezi cisim etrafında (yer, gezegen, güneş gibi) eliptik veya dairesel yörüngeye girmek üzere imal edilmiş araçlardır. İçlerinde ve dışlarında yapacakları işe göre uygun aletlerle donatılmıştır (İnt.Kyn.2).



Şekil 2.4 Uyduların fırlatılış ve yörüngeye giriş periyodunu gösteren temsili resim(İnt.Kyn.2)

2.5.2 Kutup Yörüngeli Uydular

Bu tür uydular, yeryüzünün boylam çizgilerine paralel olarak dolanırlar. Yer küresi döndüğü için devamlı olarak yeryüzünün farklı bölgelerini gözlerler. Genelde Yer'in iyonosfer tabakası, kutup bölgeleri, okyanuslardaki akıntılar, erozyon, tarımsal ürünlerin tespiti, yeryüzünün fotoğrafının çekilmesi, askeri bölgelerdeki hareketlilik, maden ve petrol yataklarının tespiti gibi, yer küresine ait bilgi toplama işleri bu tür yörüngeli uydular vasıtasıyla yapılırlar. Alçak yörünge uydularıdır ve dolanma periyotları kısadır(İnt.Kyn.2).



Şekil 2.5 Kutup yörüngeli uydular (İnt.Kyn.2)

2.5.3 Ekvator Uydular

Yer'in ekvator düzlemine paralel ve o düzlem içinde dolanan uydulardır. Yörüngelerinin en öte noktası yaklaşık olarak 36000 km, periyotları da 24 saat civarındadır. Bu nedenle yeryüzünden bakıldıklarında sabit görünürler ve **ampul uydu** diye adlandırılırlar. Haberleşme amacıyla atılan uydular, erken uyarı askeri uyduları, meteoroloji uyduları bu tür uydulardır. Yaşam süreleri daha uzundur (İnt.Kyn.2).

2.5.4 Rasgele Uydular

Genellikle yörüngeleri yer ekvatoruyla belli bir açı yapan uydulardır. Çoğunlukla haberleşme ve meteoroloji uydularıdır (İnt.Kyn.2).

2.5.5.İnsanlı Uydular

İlk insan taşıyan uydu Sovyetler Birliği'nin 12 Nisan 1961 de fırlattığı **Vostok-1** uydusudur. Böylece Sovyetler Birliği içinde insan bulunan bir uyduya tam bir dönüş yaptırmayı başarmışlardır. Uzaya çıkan bu ilk insanın adı **Yuri Gagarin** idi. Sovyetler daha sonraları da uzaya gönderdikleri uyduları karaya indirmeyi başarmışlardır. İnme olayı, uydu atmosfere girdikten sonra, atmosferin alt kademelerinde paraşüt açarak sağlanmıştır. Halbuki bugün bile ABD paraşütle karaya uydu dönüşü yapamamaktadır. Bunun için uzay mekiği teknolojisini geliştirmiştir. Sovyetler Birliği'nin **Vostok, Salyut, Soyuz** serileri ile ABD'nin **Mercury ve Gemini** serilerine ait uydular insanlı ya da canlı yük (deney hayvanları) serileridir. (İnt.Kyn.2).

Çizelge 2.1 Sovyetler Birliği'ne ait ilk uyduların bazı özellikleri (İnt.Kyn.2)

Atılış Tarihi	Adı	Ağırlık (kg)	Uzaklık	Özellik
12 Nisan 1961	Vostok-1	4725	181-327	İlk insanlı uçuş
6 Ağustos 1961	Vostok-2	4722	183-244	İki insanlı
16 Haziran 1963	Vostok-6	4713	181-231	İlk kadın kozmonot
6 Ekim 1964	Cosmos-47	5300	177-418	Test amaçlı
14 Ekim 1964	Voskhod-1	5320	177-408	Üç insanlı
22 Şubat 1965	Cosmos-57	5600	175-512	-
18 Mart 1965	Voskhod-2	5682	173-498	İki insanlı
2 Temmuz 1965	Cosmos-9	5700	Yör.girmedi	Köpek taşıyordu
22 Şubat 1966	Cosmos-10	5700	187-904	2 köpek

1985 yıllarından sonra uydular tek amaçlı olarak fırlatılmıyorlar. Bir uydunun üzerine farklı amaçlı aletler yerleştirilerek daha çok bilgi toplama yoluna gidiliyor. Ayrıca yörüngeye bir uzay laboratuvarı görevi gören ve içinde insanların yaşayabileceği kabinler bırakılıyor. Bunlara genellikle **uzay laboratuvarları** deniyor. Buralara malzemeler ve insanlar belirli dönemlerde gidiyorlar. Ancak bu tür incelemeler büyük maliyet gerektirdiğinden birçok ülke birleşerek böyle büyük projeleri gerçekleştirebiliyorlar.



Şekil 2.6 Temsili bir uzay laboratuvarı.(İnt.Kyn.2)

Örneğin European Space Agency (ESA) tarafından 1982 yılında ERS (Remote Sensing Satellite) adı verilen bir proje başlatıldı ve ERS1 (1991) ve ERS2 (1993) uyduları yeryüzünden yaklaşık olarak 777 km yükseklikte bir yörüngeye oturtuldular. Bu uydular kutup yörüngeli uydular olup Yer'in belirli bir noktasından 15.3 günde bir geçecek şekilde yörüngelerinde dolanıyorlardı. Spektral bandı 5.3 GHz ve 3.7, 11, 12 mikronda yeryüzünü taramaktaydı. Ticari amaçlı uydular olup çözünürlüklerine göre elde ettikleri haritalar satılmaktadır. Ayrıca Japonlar 1987 de MOS (Maritime Observation Satellite) adını verdikleri bir proje başlattılar ve 19 Şubat 1987 de MOS1 uydusunu 908 km yükseklikte bir yörüngeye oturtular. Gerek Avrupalıların gerekse de Japonların uyduları aynı amaçlıydı. Bu uydular özellikle infrared, görsel ve mikrodalga boyunda gözlemler

yapıyorlardı. Aynı yıllarda yani 1987'li yıllarda Ruslar Cosmos serisi uydularla, uzayda laboratuvar kurup deney ve gözlem yapma yollarını arıyorlardı.

Bu arada ABD ve Fransa ayrı ayrı projeler geliştiriyorlardı. Birden fazla uydu aynı amaçla çalışarak, yeryüzündeki değişiklikleri tespit edecekti. Bu amaçla ABD 27 Eylül 1985 de LANSAT projesini, Nisan 1986 da Fransa'da SPOT (Satellite Pour Observation de la Terre) projesini başlattılar. LANSAT uyduları 700 km yükseklikte, SPOT uyduları 832 km yükseklikte yörüngelere oturtuldular. Yörüngede 7 LANSAT ve 4 SPOT uydusu vardır. SPOT4 uydusunda 10 m çözünürlüğe kadar inilmiştir. Bugün LANSAT verileri, içinde Türkiye'nin de bulunduğu birçok ülkenin bilimsel merkezleri tarafından incelenmektedir (İnt.Kyn.2).

Yapay uyduların en yararlısı, hiç kuşkusuz, “haberleşme” uydularıdır. Bunlar telefon ve televizyon sinyallerini bütün dünyaya iletirler. Sinyaller yerdeki bir istasyondan uyduya iletilir. Uydu sinyali alır ve “büyütür” ya da güçlendirir ve güçlenmiş olan sinyali otomatik olarak başka bir yer istasyonuna iletir. Son geliştirilen uydular ki “Intelsat” serisi de bunlardandır. Aynı anda birçok televizyon kanalıyla uğraşabilmekte ve yüzlerce telefon konuşmasını iletebilmektedir. Bunlar ilk haberleşme uydularından çok daha yoğun bir “trafiği” kaldırabildikleri gibi, Dünya’dan 35.700 km yükseklikte durağan bir yörüngede dururlar. Bu ise Dünya’daki alıcı ve verici istasyonların uydu ile sürekli ilişkide bulunmasını sağlar. . Yeryüzünden yüzlerce kilometre yükseklikte yörüngeye oturtulan bu uydular, atmosferin durumu üzerinde çeşitli bilgiler alıp bunları gerisin geri Dünya’ya iletirler. Daha da önemlisi, yeryüzünün üzerindeki bulut oluşumlarının TV fotoğraflarını çekerler. Meteoroloji uzmanları bu filmlere bakarak fırtına ve kasırgaların yolunu saptar, nerede patlayacaklarını önceden kestirir ve meydana gelebilecek zararlara karşı insanları uyarırlar. Meteoroloji uyduları, kendilerini sürekli olarak Dünya’nın değişik kesimleri üzerinde dolaştıran yörüngelere oturtulur. Uyduların gelecekte “denizcilik” alanında da büyük yararlar sağlayacağı sanılıyor. ABD Deniz Kuvvetleri’nce bir süre kullanılan “Transit” denizcilik uyduları sistemi şimdi ticaret gemilerince de kullanılıyor. Bu sistemi ilk kullanan yolcu gemilerinden biri de Cunard’m Queen Elizabeth 2 adındaki gemisidir. Bu sistemde özel bir donatım sayesinde

uydulardan gelen sinyaller alınır, böylece geminin 200 km. içindeki kesin yeri belirlenir. Üstelik sistem her türlü hava koşulunda çalışabilmektedir. Yapay uydulardan en çok haberleşme, meteoroloji ve denizcilik alanlarında yararlanılmaktadır. Ancak başka alanlarda kullanılan yapay uydular da vardır; bilimsel araştırma amacıyla uzaya fırlatılan yapay uydular gibi. Bilimsel araştırma uydularında uzayın çeşitli kesimlerindeki koşulları ölçmeye yarayan türlü araçlar vardır. Bunlar ısıma, manyetizma, göktaşları üzerinde çeşitli bilgiler göndererek evren üzerindeki temel bilgilerimizi artırır. Uzay Çağı'nın başlarında, bilginler uydulardan aldıkları bilgiler sayesinde Dünya'nın üzerinde çok yükseklerde yoğun ısıma kuşaklarının var olduğunu keşfettiler ve bunlara "Van Ailen" kuşakları adını verdiler. Bu kuşaklar bulunmasaydı, uzun süreli insanlı uzay uçuşları için büyük bir tehlike meydana getirebilirdi (İnt.Kyn.2).

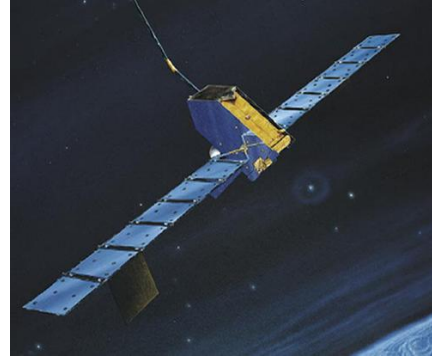
2.6 Uydu Tasarımı

Uydu tasarımı, çok sayıda alt sistemin geliştirilmesini içerir. Yapı; ısı denetimi; yükseklik denetimi; güç; elektrik dağıtımı; telemetri; bilimsel aygıtlar ve fotoğraf makineleri gibi donanım. Uydunun, hem olabildiğince fazla yük taşıyabilmesi için hafif malzemelerden yapılması, hem de fırlatılma sırasında oluşan etkiler karşısında bütünlüğünü koruması gerekir. Genellikle alüminyum alaşımları ve çağdaş uçak yapım teknikleri kullanılır. Zemin levhaları, yan duvarlar ve güneş panoları, alüminyumdan ya da petekli cam elyafı levhalarından yapılır. Peteklere yerleştirilen gömme dişler, aygıtları monte etmede kullanılır. Tezgâhlarda işlenerek üretilmesi gereken parçalar, magnetik olmamaları, sağlamlıkları ve ısı dengeleri nedeniyle alüminyum alaşımları, titanyum ve berilyumdan yapılır. Uydu, tek bir eksen çevresinde dönecek biçimde ayarlandığı için, her türlü koşulda tam dengede kalabilmelidir. Duyarlı elektronik aygıtlar, — 40°C ile +50°C sınırları içinde tutulmalıdır. Uydu bazen güneş ışığı altında, bazen de tam karanlıkta kalabilir. Bu yüzden, üstündeki aygıtların sıcaklık değişikliklerine dayanıklı olması, içindeki aygıtların ısı dengede tutulmaları gerekir. Uydu içinde duyarlı deneylerin yapılması söz konusu değilse, yalın bir soğutma sistemi kullanılabilir. Sözelimi, açık renk ya da parlak bir kaplama ışınlamı soğurup salmaz, ama siyah bir kaplama soğurur (İnt.Kyn.3).

Bazı bölgeleri yalıtımda çok katlı, kıvrımlı alüminyum kaplı plastik tabakalardan yapılmış ısı örtüleri kullanılır. Daha karmaşık uydularda, ısı denetim sistemleri kullanılır. Araç duvarına yerleştirilmiş bir pencere sistemiyle iç sıcaklık denetlenir ya da ısı borularıyla fazla sıcaklık, uydunun yan duvarlarına aktarılır.

Son yıllarda uzay araçlarında kompozit malzemelerin kullanılması hafif ve dayanıklı olmalarından dolayı yaygınlaşmıştır.

Şekil 2.7 'de geleneksel olarak tasarlanmış reflektörler verilmekte olup ağırlığı, hacmi ve bu yüzdende konumlanması bir hayli zor ve maliyetlidir. Bizim çalışmamızda uydularda kullanılan reflektör, kompozit malzemeler (Şekil 2.8) kullanılarak ağırlığı azaltılacak ve katlanabilir bir tasarım gerçekleştirilebileceğinden, uzaya gönderme anında hacmi de düşürülecektir. Burada kullanılacak olan malzeme CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) kompozit malzemedir.



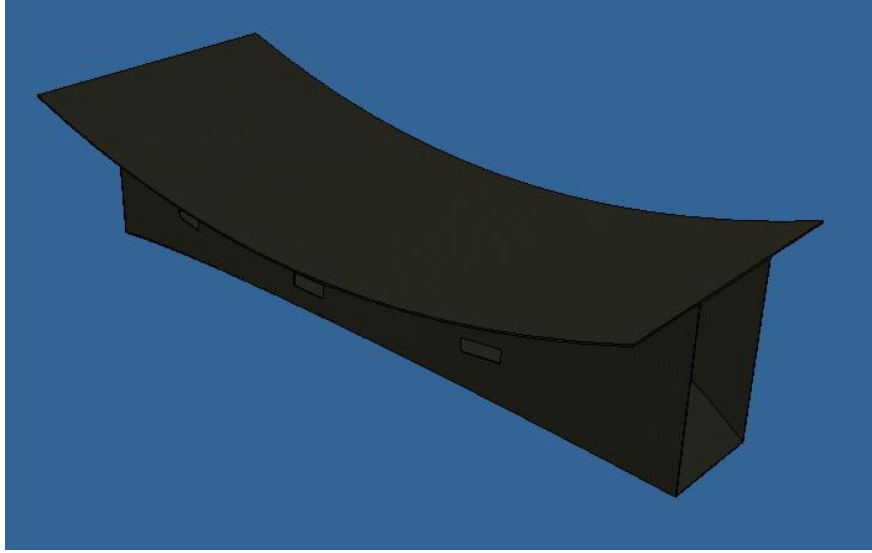
Şekil 2.7 Temsili geleneksel reflektör

Katlanıp açılabilen reflektör ile, yeryüzünde meydana gelebilecek kara hareketleri, tarım, jeoloji ve bunun gibi her türlü dünyada meydana gelebilecek hareketleri düşük maliyetle gözlemleme olanağı sağlayacaktır. Ayrıca bu yeni sistemin eski sistemlere göre bazı avantajları vardır.

Bunlar;

- Düşük maliyet,
- Yüzey rijitliği,
- Hafiflik, olarak saymamız mümkündür.

Büyük boyutlu sayılabilecek uydular, uzaya gönderilmeden önce katlanılarak yüzey alanları ve hacimleri minimum seviyeye getirilmeye çalışılır. Bu durum sayesinde fırlatma aşamasından sistemin uzaya yerleşme aşamasına kadar olan çalışma zarfında maliyet (uyduyu konumlandırma maliyeti) düşürülür. Bu uydular ultra hafif güçlendirilmiş karbon fiber malzemelerinden üretilmektedirler. Bunun diğer bir sebebi ise, bu malzemelerin yansıtıcı özelliklerinin yüksek olmasıdır. Güçlendirilmiş karbon fiberler sistemdeki ağırlık oranını büyük oranda düşürür. (Soykasap 2006)



Şekil 2.8 Kompozit reflektör

2.7 Kompozit Malzemeler

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir. İç yapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına rağmen mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde

çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir. Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme bulunmakta, bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. (İnt.Kyn.4).

2.7.1 Kompozit Teknolojisinin Gelişimi

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı inşaat sektörüdür. Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindendir. Bugün taş, kum, kireç, demir, ve çimento ile oluşturulan kompozit malzeme evlerimizi oluşturmaktadır. Kompozit malzemeye en güncel örneklerden biri de kağıttır. Selüloz ve reçineden oluşan kağıt, günümüzde yaşamımızın her alanında eşsiz bir kullanım aracı olarak insanlığın hizmetine sunulmuştur. Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanı çok geniş boyutlara ulaşmıştır. (İnt.Kyn.4).

2.7.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. . Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir.

Yüksek Mukavemet :Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir.

Kolay Şekillendirebilme : Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde kaplanabilir.Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Elektriksel Özellikler : Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet : Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı : Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Titreşim Sönümlendirme : Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümleme ve şok yutabilme özelliği vardır.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.

- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez. Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümleyecek bir malzemedir (İnt.Kyn.4).

2.7.3 Kompozit Türleri ve Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler yapılarını oluşturan malzemeler ve yapım metotlarına göre iki ayrı şekilde sınıflandırılmıştır. Bunları sıralayacak olursak;

2.7.3.1 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler

Fiber ve matris olarak kullanılabilen malzemeler amaca uygun olarak çok çeşitli olabilmektedirler. Fakat genellikle cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır.

Plastik - Plastik Kompozitler

Fiber olarak kullanılan plastik yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik esneklik verici, darbe emici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır.

Plastik – Cam Elyaf Kompozitler

İsteğe göre termoplastikler veya termoset plastikten oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonundan üretilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle cam lifler birçok durumda metal, asbest, sentetik elyaf ve pamuk ipliği gibi liflere tercih edilebilirler. Ancak cam elyafı kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılğan olmasından dolayı çok düşük dirençlidirler. Bu tür malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanılan plastik reçineler uygun seçilerek arzu edilen şekle sokulabilir.

Plastik – Metal Fiber Kompozitler

Endüstride çok kullanılan metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler oldukça hafif ve mukavim bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kompozitler, metal fiberlerin (Bakır, Bronz, Alüminyum, Çelik v.s.) poli – etilen ve poli – propilen plastiklerini takviyelendirmesi amacı ile elde edilmekte ve kullanılmaktadır.

Plastik – Köpük Kompozitler

Bu tür kompozitlerde plastik, fiber olarak görev yapmakta; Köpük ise matris, reçine konumunda olmaktadır. Köpükler, hücreli yapıya sahip, düşük yoğunlukta, gözenekli ve doğal halde bulunduğu gibi, büyük kısmı sentetik olarak elde edilmiş hafif maddelerdir. Köpük, hücre yapısına göre sert, kırılgan, yumuşak ya da elastik olabilmektedir.

Metal Matrisli Kompozitler

Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılgan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedir. Bakır ve alüminyum matrisli, Wolfram ve Molibden fiberli kompozitler ve Al-Cu kompoziti bize bu kompozisyonu en iyi veren örneklerdir. Fiberlerin malzemeyi kuvvetlendirme derecesi, yüzeysel boşlukların olmayışına bağlıdır. Böylece teorik duruma yaklaşılabılır. Fiberlerin çaplarına ve matrisle olan adezyon kuvvetinin niteliğine bağlı olarak belli bir kritik uzunluktan daha kısa olmalıdır.

Seramik Kompozitler

Metal veya metal olmayan malzemelerin bileşiminden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık

Özelliği gösterirler. Üç ayrı grupta toplanan seramik kompozitler şu şekilde sıralanabilir:

A) Seramik - Seramik Sistemi : İki seramik fazın karışmasından oluşmaktadır. Örnek olarak saf çini verilebilir.

B) Seramik - Cam Sistemi : Yaşamımızın her alanında kullanılan porselen, bir seramik cam kompozitidir. Kuartz fiberlerin bir cam matris içersine çini ile birlikte hamurlanıp yerleştirilmesiyle oluşmuştur.

C) Seramik - Metal Sistemi : Bu tür kompozitler, çok fazlı bir yapıya sahiptirler. Bir metal faz, bir seramik faz, bir gözenek fazı ve daha çok karmaşık formlarda seramik ve metalin ilave fazlarından meydana gelmiştir. Endüstride kullanılan ve elmas olarak adlandırılan kesme aletleri en iyi örneklerdir. Bir kobalt matris içine dağılmış tungsten karpit parçalarından oluşan bu kompozit malzeme büyük bir dayanım sağlamaktadır.

2.7.3.2. Yapım Şekillerine Göre Kompozitler

Karışık Malzeme ve Sinterleme

Endüstride kullanılan çok çeşitli karışık kompozit malzeme vardır. İnce bir kalıp kumun bir plastik malzeme ile bağlanması ve plastiğin yüksek sıcaklıkta polimerize olmasından yararlanılarak dökümcülükte kullanılan kalıp malzemeleri ortaya çıkmıştır. . Karışık malzemelerin birleştirilmesinde bir başka yöntem de sinterlemedir. Sinterleme, küçük parçaları (çoğu kez metalleri) yüksek sıcaklıkta, basınç altında birbirine bağlama ile gerçekleşir. Sinterleme olması için ya bir sıvı faz meydana gelmeli ya da katı halde yayınma ile parçaların arasında bir bağ oluşmalıdır. Sıvı fazlı sinterlemede bağlayıcı metal erir ve karbür taneleri arasında sürekli bir faz oluşur. Fakat sinterlemeden sonra kristalleşir, kuvvetli ve rijit bir yapı meydana getirir. Küçük parçaları birbirine bağlamada reçine kullanıldığı zaman aynı şekilde tanelerin yüzeyini kaplaması gerekir. Kristalleşme yerine, reçine polimerize olur ve akışkanlığını kaybederek kuvvetli bir bağ yapar.. Birçok toz metal parça ve dielektrik seramik malzeme katı sinterleme ile yapılır. Ayrıca volfram ve kolumbiyum gibi refrakter metaller bu malzemeleri içinde ergitecek potaların ve kalıpların pratik olarak mümkün olmamasından dolayı katı sinterleme

ile şekillendirilir. Sinterlemeden önce parçacıklar arasında iki yüzey vardır. Yüzeydeki atomların yalnız bir taraflarında atom olduğu için yüzeyler yüksek enerji yerleridir. Çünkü iki parça birbirine çok yakın görünse bile aralarındaki açıklık birçok atom alacak kadar geniştir ve atomlar arası çekim kuvveti buralarda çok zayıftır. Ancak sinterleme işleminde, yüksek sıcaklıkta yeterli zaman verilirse atomlar yayınma ile hareket eder ve parçalar arasındaki noktalara genişlerler. Bu şekilde iki ayrı yüzey yerine iki parça arasında ortak bir yüzey meydana getirirler. Oluşan ortak yüzeyde atomların yakın komşuları olduğundan, önceki yüzeylerin her ikisinden de alçak enerjide olurlar (İnt.Kyn.4).

2.7.4 Lif Takviyesi

Malzeme mekanik özelliklerini yükseltmek için malzeme yapısı içine çok sert ve ince fazların serpilmesi yöntemidir. Bu tür kompozitler ana fazdan beklenen bazı özelliklerin elde edilmesi ya da geliştirilmesi amacıyla üretilirler. Ana faz (matris), ikincil fazlarla (fiber)belirli doğrultularda takviyelendirilir. Böylece mukavemet, korozyon ve aşınma direnci, ısı izolasyonu, rijitlik ve ağırlık gibi özelliklerde daha verimli hale getirilir. Bu arada cam takviyeli plastik, kord beziyle takviyeli otomobil lastiği ve demir ile takviyeli betondan söz edilebilir. Bu tür kompozitlerde hem fiber hem de matris malzeme yeterince büyük olduklarından, her birinin etkisini ayrı ayrı hesaplayıp, bu hesapları kompozit malzeme üzerinde birleştirmek gerekmektedir (İnt.Kyn.4).

2.7.5.Karbon Fiber Üretimi

Karbon fiberler, germe ve termoset işlemleriyle sentetik fiberlerden üretilmekte. Polyacrylonitrile (PAN) ve zift karbon fiber üretimi için kullanılan en genel ham maddelerdir.PAN önceden üretilmiş ve makaralara sarılmış durumdadır. Zift ise bir petrol türevi olup eritilip biri dizi işlemde geçirilerek fiber haline getirilir.

1.asama

Isıl işlem aşamasında fiberlere gerilme uygulanıp 400° C yi aşmayacak şekilde

ısıtılır. Bu işlem karbon zincirlerinin birbirleriyle kesişmesini sağlayarak daha sonraki ısı işlemlerde erimesini önler.

2.aşama

Karbonizasyon aşamasında fiberler oksijensiz ortamda 800° C ye kadar ısıtılır.Bu işlem karbon olmayan empürileri ortadan kaldırır,

3.asama

Grafitizasyon aşamasında fiberler %50 ila %100 uzayacak şekilde gerilmeye maruz bırakılır ve 1100° C ila 3000° C arasında ısıtılır. Gerilme,istenilen kristal oryantasyonu sağlayarak istenilen young modülü değerinin (300-600 Gpa) elde edilmesini sağlar. Son olarak, epoxy boyutlandırması ve yüzey işleme aşamaları, karbon fiber / epoxy arası bağ kuvvetlerini güçlendirmek amacıyla yapılmaktadır. Bu son iki aşama yerine daha değişik yöntemlerde kullanılabilir (İnt.Kyn.4).

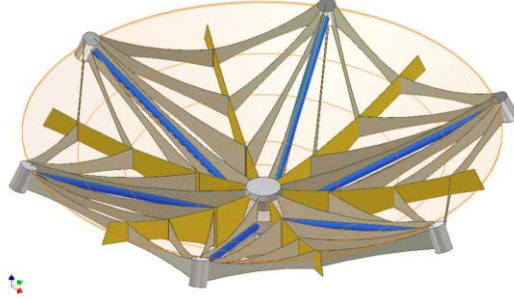
2.8 Literatür Bilgisi

Büyük açılabilen uzay yapıları için genellikle yüksek katılık/kütle oranı, uzaya götürülebilmesi için küçük hacme paketlenebilmesi ve uzayda paketlenmeden önceki konumuna açılabilmesi gerekmektedir. Günümüzdeki çalışmalar bu gereksinimleri sağlamakla beraber parça sayısını azaltarak üretim maliyetini düşürmeyi ve üretilecek parçaların imalat, montaj ve testlerinin kolaylaştırılması hedefine yöneliktir. Büyük açılabilen reflektör kavramlarını yansıtırıcı yüzeyin cinsine göre şu grupta toplamak mümkündür: ağ yapılı, membran yüzeyli, şekil değiştirebilen kabuk yapılı, katı yüzeyli, şişirilebilen membranlar, melez şişirilebilen yapılar, esnek kabuk-membran yapılar.

Ağ yapılı reflektörlerde reflektör yüzeyi katlanabilen kafes yapıları ile, menteşeli kaburga yapıları ile yada kabloların gerilmesi ile desteklenir.

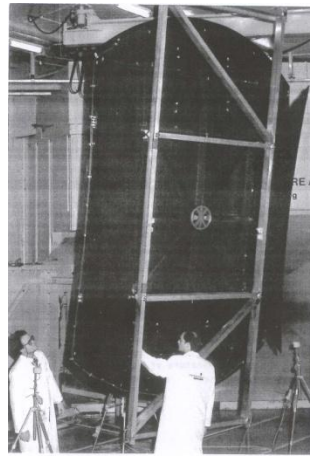
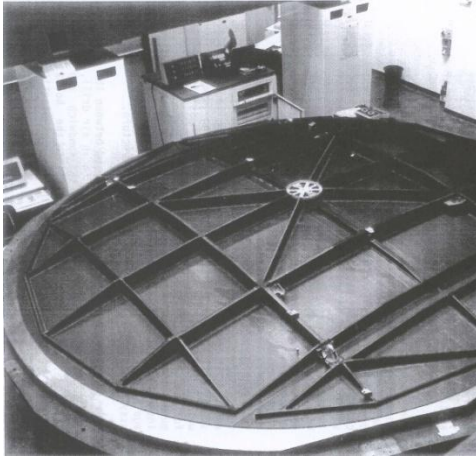
Membran yüzeyli reflektörlerde ise, reflektör yüzeyi ince membran yapısına sahiptir. Yüzey kaburgalarla desteklenmekte ve bu yapılara ön gerilme verilerek membranın rijitliği sağlanmaktadır. Ağ yapılı ve membran yüzeyli reflektörler

düşük kütleyle sahipken, ana problemlerden biri yansıtıcı yüzey hatalarının büyük olmasıdır (Soykasap 2006).



Şekil 2.9 Münih Teknik Üniversitesi kaburga yapılı membran reflektör
(Soykasap 2006)

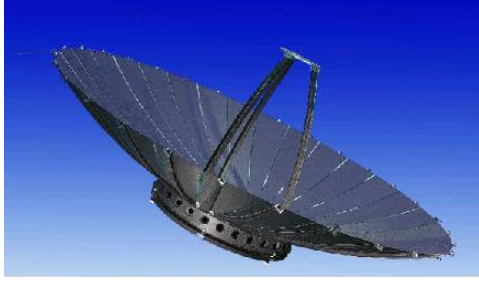
Katı yüzeyli reflektörlerde yansıtıcı yüzey rijit kabuk yapısına sahiptir. Genellikle katlanabilmesi için panel yapıları kullanılmaktadır. Panel yapıları birbirine menteşelerle bağlı olup, reflektör oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu tip reflektörler yüksek yüzey hassasiyetine sahip olmaları avantajına karşın yüksek kütle ve açılabilmesi için karmaşık bir mekanizmaya gereksinim duymaktadır.



Şekil 2.10 Alenia'nın uçları katlanabilen reflektörü (açılmış reflektör solda, katlanmış reflektör sağda) (Soykasap 2006).

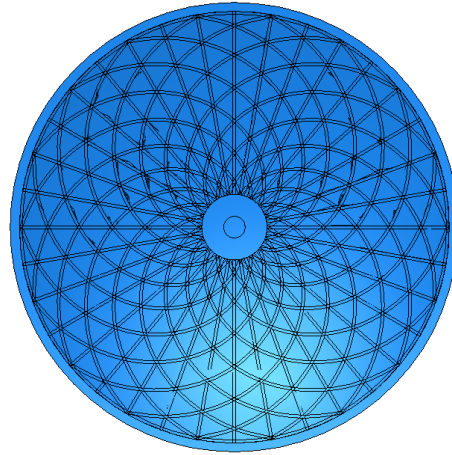
Şekil değiştirebilen kabuk yapılı reflektörlerde ise yansıtıcı yüzey, ince kabuk yapısına sahip olup ve bu yüzeyi destekleyen parçalar yüzeyin katlaması ve

açılmasına izin verecek şekilde tasarlanmaktadır. Yüzey hataları nispeten daha iyidir.



Şekil 2.11 Astrum ince kabuk panelli reflektörü (açılmış reflektör solda, katlanmış reflektör sağda) (Soykasap 2006).

Esnek kabuk-membran reflektörde esnek kabuk ve membran reflektörün özelliklerinin birleştirilmesi düşünülmüştür. Yüksek tasarım esnekliği ve performans açısından geliştirilebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 2.12 Cambridge Üniversitesi arkası esnek takviyeli reflektörü. (Hughes reflektörü solda, gelişmiş reflektör sağda) (Soykasap 2006)

Son olarak şişirilebilen membran reflektörler, membran yüzeyin uzayda şişirilerek elde edilmesini amaçlamaktadır. Şişirilen yüzey daha sonra buharlaşmış Alüminyum kullanılarak rijitliği sağlanmaktadır. Yine membran yüzeylerin öngerilmesi için çevresine şişirilen bir yapı eklenerek melez şişirilebilen reflektör oluşturulmaktadır. Ancak bu reflektörlerin görevi sırasında gaz kaçakları meydana gelmesi en büyük problemlerden biridir. Şişirilebilen reflektörler küçük paket hacmine sahip olmakla birlikte yansıtıcı yüzey hataları ise yüksektir (Soykasap 2006).

2.9 Amaç ve Kapsam

Uydularda bulunan reflektörler, yeryüzünde meydana gelebilecek kara hareketleri, tarım, jeoloji ve bunun gibi her türlü dünyada meydana gelebilecek hareketleri düşük maliyetle gözlemleme olanağı sağlayan yapılardır. Fakat geleneksel olarak tasarlanan reflektörlerin ağırlıkları ve hacimlerinin büyük olmasından dolayı uzayda konumlandırılmaları bir hayli zor ve maliyetlidir (Soykasap et al, 2004).

Bu çalışmada reflektör, kompozit malzemeler kullanılarak ağırlığının azaltılması ve katlanabilir bir tasarım gerçekleştireceği, bu nedenle uzaya gönderme anında da hacminin düşürülmesi düşünülmüştür.

Düşünülen reflektör tasarımının ¼ ölçekli portatifi yapılmış ve bu prototipte reflektörün kapanma ve açılmasındaki göstermiş olduğu tepkiler gözlenmiştir. Daha sonra bu reflektörün 1/1 ölçekli tasarımı Abaqus sonlu elemanlar programında modellenmiştir.

Daha sonra modellenen bu reflektöre 0.01-0.05-0.055-0.06-0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 mm olmak üzere farklı kalınlıklar atanmış ve aynı zamanda yapı farklı (L,T,I,Kare ve yuvarlak) kesitli kirişler ile dizayn edilmiştir ve daha sonra Abaqus programında bu farklı kalınlık ve kirişlere sahip yapıların ağırlıkları,şekil değiştirmesi,tahribat oranı, frekans ve burkulma davranışları bunun yanında performans değerleri incelenmiştir.

3. MATERİYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Reflektör Model Materyelleri

İlk gönderilen uydularda yansıtıcı olarak metal levhalar kullanılmıştır. Bu levhalar uzaya gönderilirken belli şekillerde katlama işlemi yapıp, daha sonra mekik yörüngesine ulaştığında çeşitli elemanlarla (motor, yay,vb) tahrik edilip kanatlarının açılması işlemi gerçekleştiriliyordu.



Şekil 3.1 Eski dizayn reflektör tasarımları

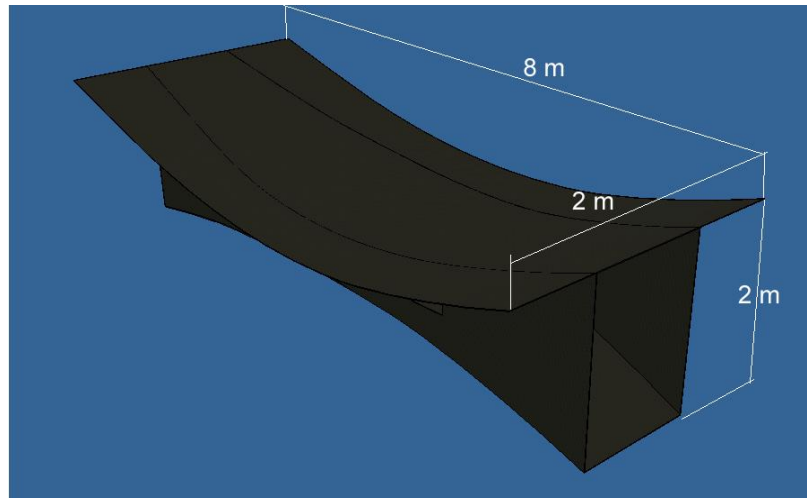
Uydunun temel elemanlarından reflektör sistem üç ana unsurdan oluşmaktadır. Bunlar, başlangıçta yansıtıcının açılmasını kısıtlayan sistem, destekleme yapısı ve yansıtıcı sistem olarak sayabiliriz. Katlanabilir uydu antenlerinde kullanılan temel tasarım şekli mekanik olarak yapıyı parçalara bölmektedir. Bu nedenden dolayı, yapı bu bölünme durumunda çeşitli destek elemanlarına ihtiyaç duyar. Son yıllarda rijit destek elemanlarının yerini elastik enerji depolayabilen karbon fiberlerden yapılmış destek elemanları almıştır. Bu destek elemanları Şekil 3.2 ‘de gösterilmiştir. (Thomson 2000-Soykasap.2005)



Şekil 3.2 Elastik enerji depolayabilen malzemeler (CFRP)

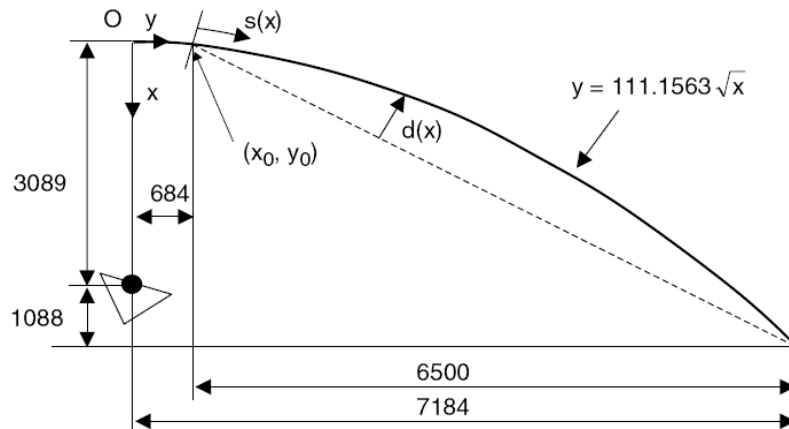
Bu çalışmada, kendi kendine konuşlandırılabilen yansıtıcı, güçlendirilmiş karbon fiber takviyeli çok ince kabuk yapısına sahiptir. Bağlama elemanı olarak ise esnek karbon malzemeler kullanılmıştır. Bu nedenden dolayı da yansıtıcı, orijinal pozisyonuna birkaç aşamada sahip olmaktadır. Yansıtıcının bu pozisyona geçişi ise esnek menteşelerin elastik enerjisi ile gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada düşünülen reflektör öncelikle Autodesk Inventör Programında modellenmiştir.



Şekil 3.3 Bilgisayar ortamında tasarlanan reflektörün ebatları

Modelleme yapılırken reflektörün yansıtıcı görevi gören üst yüzeyi şekil 3.4 de ifade edilen parabolik denklem ile bulunmuş ve modellenmiştir. (Soykasap O.and S. Pellegrino 2004)



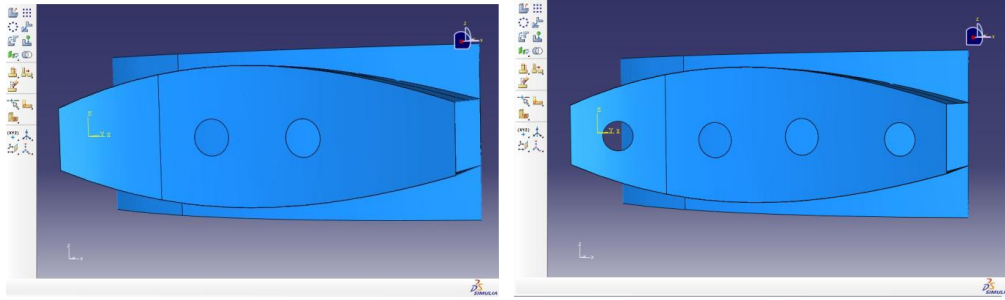
Şekil 3.4 Reflektör üst yüzey eğim grafiği (Soykasap and Pellegrino 2004)

Yan yüzeyler modellenirken ise, rijit bir yapının olması ve üst yüzeyin parabolik özelliğini kaybetmemesi için, reflektörün orta kısmı kalın, uçlara doğru geldikçe hafif incelen bir yapı olacak şekilde tasarlanmıştır. Katlama esnasında hem rahat bir katlama olması hem de reflektörün malzemesinin çatlak ve yırtık hasarına uğramaması için yan yüzeylere 3'er adet olacak şekilde 6 pencere açılmıştır.

Alt yüzey ise, üst yüzeyin parabolik eğimi ile aynı değerlere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır ve yapının alt kısmına yerleştirilmiştir.

Yapının daha rijit ve gelecek yüklere daha dayanıklı olabilmesi için, uç kısımlara çerçeve halinde destek kirişleri konulmuştur. Yapının alt yüzeyinde de pencereler açılmış ve hafifletme çalışmaları yapılmıştır.

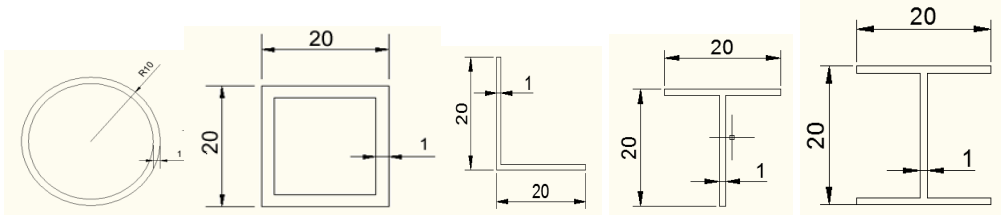
Yan yüzeylerde bulunan pencereler ise, yapının katlanma aşamasında deforme olmasını önlerler.



Şekil 3.5 Alt yüzeyine pencereler açılmış reflektör yapıları

Bunun yanında reflektör yüzeyleri 0.01-0.05-0.055-0.06-0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 mm kalınlıklarda tasarlanmıştır. Reflektör dört kenardan mesnetleşmiş ve her farklı kalınlıktaki reflektör için burkulma ve yayılı yük uygulanmıştır. Aynı zamanda bu yapıların ayrı ayrı frekans değerleri ve ağırlıkları bulunmuştur. Bulunan bu değerlerin performans denklemi oluşturularak en uygun performansı veren yapı incelenmiştir.

Bununla birlikte farklı kalınlıklara sahip her reflektöre, destek elemanı olan kirişleri beş farklı profil kesiti ile dizayn edilmiştir. Bu kesitler, yuvarlak, kare, L, T ve I kesitli profillerdir(Şekil 3.6). Kirişlerde kullanılan malzeme ise reflektörde kullanılan malzeme ile aynı özelliklere sahiptir.



Şekil 3.6 Destek kiriş kesit görüntüleri

3.1.2 Prototip Tasarımı ve Materyali

Bu çalışmada tasarlanan reflektörün orijinal ölçülerinin $\frac{1}{4}$ ölçekli prototipi yapılmıştır.(Şekil 3.7) Bu prototip hazırlanırken, ana malzeme olarak piyasada yumuşak şeffaf plastik olarak bilinen malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeden reflektörün yan, alt ve üst yüzeyleri $\frac{1}{4}$ ölçekli olarak önceden hazırlanan şablon yardımıyla kesilmiştir. Hazırlanan bu yüzeylerin birleştirme işlemi ise çift taraflı selülozik bant ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7 Prototip reflektör



Şekil 3.8 Prototip reflektörün katlanmış görüntüsü

Reflektörün destek elemanları olan kirişlerde ise L alüminyum profiller kullanılmıştır. Bu alüminyum profiller M3x10 cıvatalar ile reflektöre sabitlenmiştir.

Son olarak ise reflektörün ön boşluğundaki burulma ve eğilmeleri önlemek için misina ipi kullanılmış ve bu misina ipleri çaprazlama bir şekilde bağlanmıştır.

3.1.3 Analiz Materyalleri

Bu çalışmada reflektörün 8mx2m şeklinde 1/1 ölçekli hali Abaqus programında modellenmiştir(Şekil3.3). Bu modelleme işleminden sonra reflektör hasar kriteri (Tsai-Wu), şekil değiştirme (U_{max}), burkulma (Buckling) ve frekans(f_0) değerlerinin bulunması için çeşitli analizlere tabi tutulmuştur.

- Tsai-Wu Hasar Kriteri

Modele etki eden yükler sonunda model üzerinde oluşan hasar kriteri

- U_{max} Şekil Değiştirme, Deplasman

Modele uygulanan yük sonrasında modeldeki şekil değiştirme.

-G.Buckling (Burkulma)

Bu değer, modelin maruz kaldığı burkulma yükünün kaç katına dayanabileceğini ifade etmektedir.

-Frekans

Reflektörün birinci doğal frekans değerini ifade etmektedir.

- Performans Değeri

Mekanik performans için reflektör ağırlığı, malzeme hasarı, doğal frekans, burkulma gibi kriterler göz önüne alınmıştır. Bunun için bu kriterlere belirli ağırlık katsayısı verilerek tek bir performans kriteri elde edilmiştir. Bu kriter elde edilirken yuvarlak kiriş sistemine sahip, yüzey kalınlığı ise 0,3 mm olan reflektör referans alınmış ve bu reflektörün performansı 1 olarak kabul edilmiştir. Katsayı değerleri ise, $K_1=10/25$, $K_2=7/25$, $K_3=5/25$, $K_4=1/25$, $K_5=2/25$ olarak verilmiştir(Soykasap and Pellegrino 2004- Soykasap et al 2005).

Denklemden;

m : Kütle,

μ : Deplasman,

f_0 : Doğal frekans

F_{TW} : Tsai-Wu hasar kriteri

B_L : Burkulma Marjini

$$F = K_1 \frac{m_{ref}}{m} + K_2 \frac{u_{ref}}{u} + K_3 \frac{f_0}{f_{0ref}} + K_4 \frac{F_{TWref}}{F_{TW}} + K_5 \frac{B_{Lref}}{B_L}$$

3.2 Metot

3.2.1 Sonlu Elemanlar Metodu

Mühendislik uygulamalarında karşılaşılan problemler çoğu zaman doğrudan çözülemez. Problem, çözümü daha kolay olan alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır hale getirilmeye çalışılır. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek esas problemin çözümü yapılabilir. Problemin tam çözümü yerine kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözümü tercih edilir. Öyle problemler vardır ki, bunlarda yaklaşık çözüm tek yol olarak benimsenir. Örneğin, gerilme analizi üzerine çalışan mühendisler gerilme problemini basit kiriş, plak, silindir gibi

geometrisi bilinen benzer şekillerle sınırlarlar. Bu çözümler çoğu kez gerçek problemin yaklaşık çözümüdür. Sonlu Elemanlar Yöntemi; bir nümerik teknik olup, özellikle katı mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim gibi problemlerin bilgisayar yardımıyla çözümünde kullanılan çok gelişmiş bir tekniktir. Sonlu Elemanlar Yönteminde (FEM) modeller sonsuz sayıda elementlere bölünür. Bu elementler belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, buna düğüm (node) denir. Katı modellerde her bir elementteki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elementlerin gerilmeleriyle ilişkilidir. Sonlu Elemanlar Yöntemi bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir. Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık, vs.) sonsuz sayıda farklı değere sahiptir. Diğer taraftan sürekli bir ortamın belirli bir bölgesinin de aynı şekilde ortam özelliği gösterdiği bilinmektedir. Bu alt bölgede alan değişkenlerinin değişimi sonlu sayıda bilinmeyişi olan bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer veya yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özelliği gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait alan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden lineer denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilebilir. Sonlu elemanlar metodu ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, günümüze kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen bir çok makine elemanının mukavemet analizini kısa bir sürede yapıp, optimum dizaynı gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir.

3.2.2. Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulanışı

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi öncelikle bir elemana ait sistemin özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp daha sonra tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait denklem takımının elde edilmesidir.

3.2.3. Cismin Sonlu Elemanlara Bölünmesi

Sonlu eleman probleminin çözümünde birinci adım eleman tipinin belirlenmesi ve çözüm bölgesinin elemanlara ayrılmasıdır. Seçilen elemanların çözüm bölgesini temsil etmeleri oranında elde edilecek neticeler gerçek çözüme yaklaşmış olacaktır.

3.2.4. Sonlu Eleman Tipleri

Sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar boyutlarına göre dört kısma ayrılabilir.

Tek boyutlu elemanlar: Bu elemanlar tek boyutlu olarak ifade edilebilen problemlerin çözümünde kullanılır.

İki boyutlu elemanlar: İki boyutlu problemlerin çözümünde kullanılırlar. Bu grubun temel elemanı üç düğümlü üçgen elemandır. Üçgen elemanın altı, dokuz ve daha fazla düğüm ihtiva eden çeşitleri de vardır. Düğüm sayısı seçilecek interpolasyon fonksiyonunun derecesine göre belirlenir. İki üçgen elemanın birleşmesiyle meydana gelen dörtgen eleman problemin geometrisine uyum sağladığı ölçüde kullanışlılığı olan bir elemandır. Dört veya daha fazla düğümlü olabilir.

Dönel elemanlar: Eksenel simetrik özellik gösteren problemlerin çözümünde dönel elemanlar kullanılır. Bu elemanlar bir veya iki boyutlu elemanların simetri eksenini etrafında bir tam dönme yapmasıyla oluşurlar. Gerçekte üç boyutlu olan bu elemanlar, eksenel simetrik problemleri iki boyutlu problem gibi çözmeye imkanı sağladığı için çok kullanışlıdır.

Üç boyutlu elemanlar: Bu grupta en temel eleman üçgen piramittir. Bunun dışında dikdörtgenler prizması ve daha genel olarak altı yüzlü elemanlar üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan eleman tipleridir.

İzoparametrik sonlu elemanlar: Çözüm bölgesinin sınırları eğri denklemleri ile tanımlanmışsa kenarları doğru olan elemanların bu bölgeyi tam olarak tanımlaması mümkün değildir. Böyle durumlarda bölgeyi gereken hassasiyetle tanımlamak için elemanların boyutlarını küçültmek, dolayısıyla adetlerini arttırmak gerekmektedir. Bu durum çözülmesi gereken denklem sayısını artırır ve dolayısıyla gereken bilgisayar kapasitesi ve zamanın büyümesine sebep olur. Bu olumsuzluklardan kurtulmak için çözüm bölgesinin eğri denklemleri ile tanımlanan sınırlarına uyum sağlayacak eğri kenarlı elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece hem çözüm bölgesi daha iyi tanımlanmakta hem de daha az sayıda eleman kullanılarak çözüm yapılabilir. Bu elemanlar üzerindeki düğüm noktaları bir fonksiyon ile tanımlanır. İzoparametrik sonlu elemanın özelliği, her noktasının konumunun ve yer değiştirmesinin aynı mertebeden aynı şekil (interpolasyon) fonksiyonu ile tanımlanabiliyor olmasıdır. İzoparametrik elemanlara eş parametrelili elemanlar da denir.

3.2.5 Üç boyutlu sonlu eleman reflektör modelinin oluşturulması

Reflektör üç boyutlu olarak tasarlanırken, en uygun malzeme kalınlığının bulunabilmesi için dokuz farklı kalınlıkta dikkate alınmıştır. Tasarımda düşünülen malzeme ise karbon fiber malzemedir. Bu malzemenin özellikleri Çizelge 3.1 belirtilmiştir.

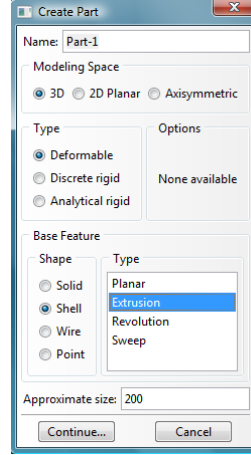
Çizelge 3.1 Reflektör malzeme özellikleri (Soykasap and Pellegrino 2004)

0/45/90 Basit Dokumalı Kompozit	
E_1 (GPa)	50,4
E_2 (GPa)	50,4
G_{12} (Gpa)	19,2
ν_{12}	0,312
ρ (kg/m ³)	1560

3.2.5.1 Parça modelleme kısmı

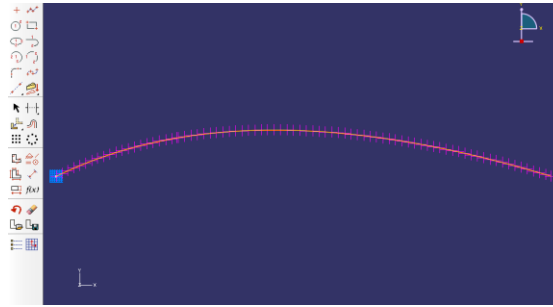
Modül bölümünden yada model gösterim ağacından **Part** kısmı seçilir. buraya parça ismi olarak her hangi bir isim girilir. Parçaya Türkçe karakterli isim verilmesi durumunda karakter farklarından dolayı çözümlemede problem

yaşanabilir. Modelleme örneği olarak üç boyutlu bir parça oluşturacağımız için 3D seçeneği seçilir. Modelleme tipi deformeye maruz kalacağından dolayı model type kısmında deformable olarak seçilir. Model biçimimiz kabuk şeklinde elemanların birleşiminden oluşacağı için Shell seçeneği seçilir. Bu seçimden sonra ise Extrusion seçilir.

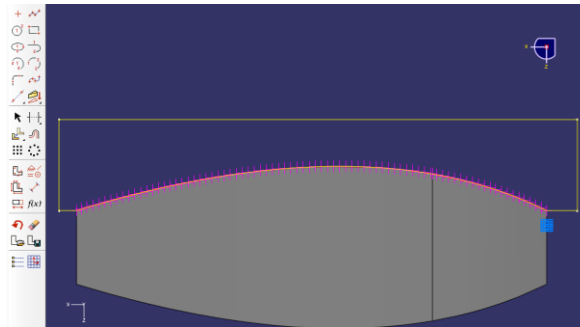


Şekil 3.9 Create part penceresi

Daha sonra reflektörün bütün yüzeyleri sahip oldukları eğim ve açılara göre çizilip kabuk halinde oluşturulur ve gerekli kesme işlemi yapılır.



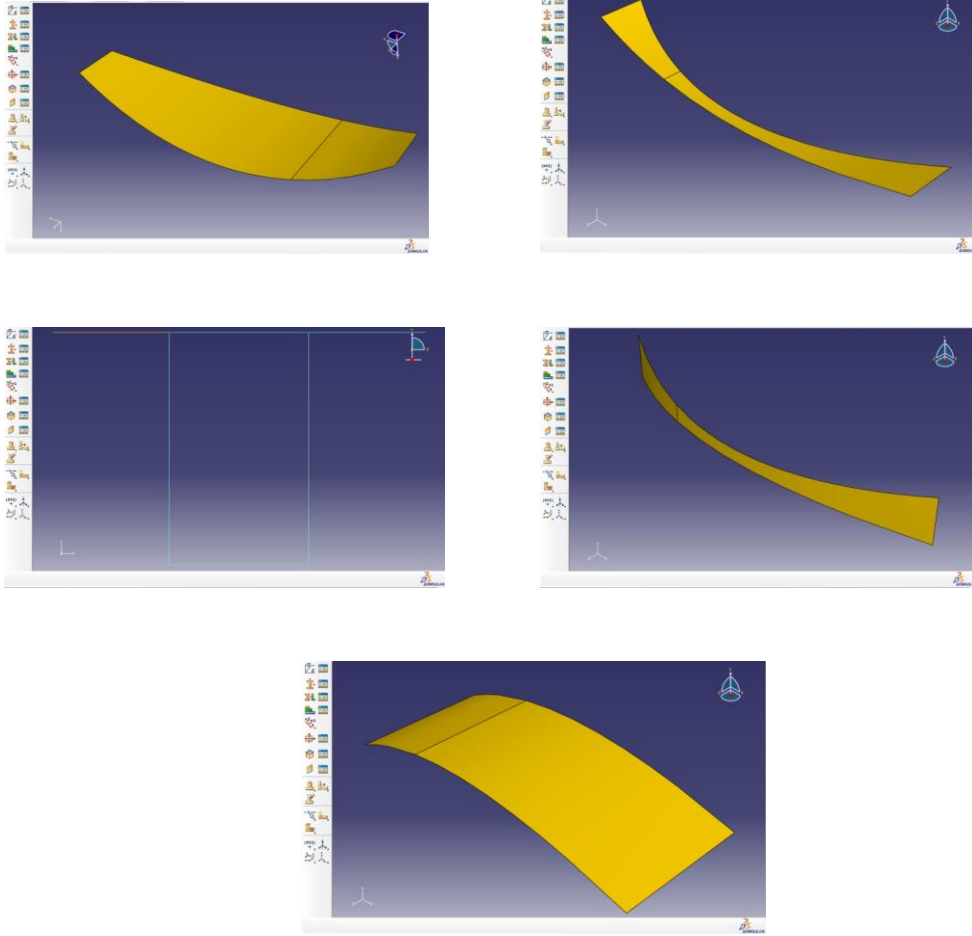
Şekil 3.10 Reflektör yüzey eğiminin modellenmesi



Şekil 3.11 Reflektör yüzeyinin modellenmesi

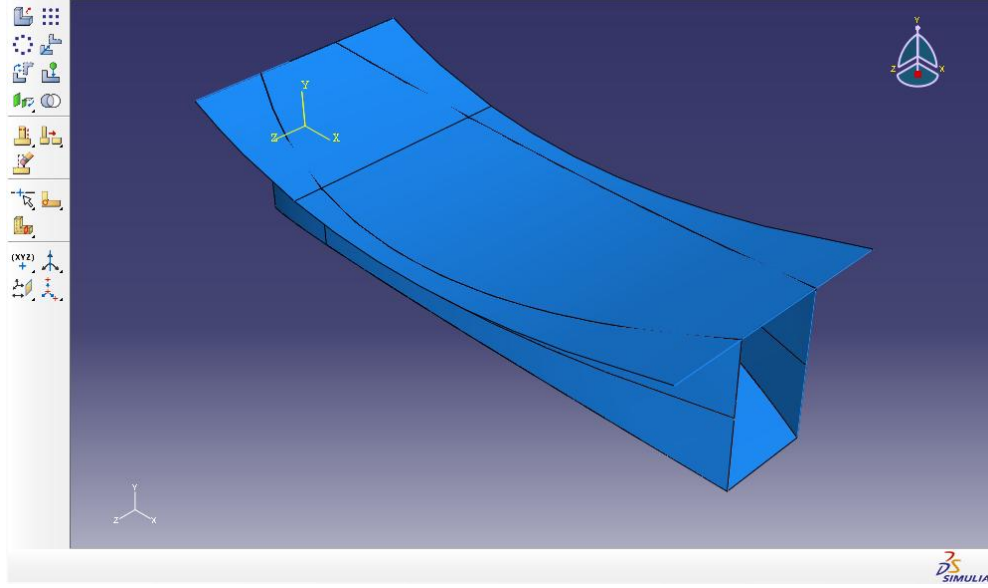
3.2.5.2 Malzeme özellikleri

Modül kısmından “property” kısmı seçilir ve model ağacından “material” kısmı seçilerek, reflektörün materyal özellikleri belirlenir. Bunun için “creat metarial” tıklanır. Açılan “edit material” iletişim kutusundan “Name” kısmına malzeme ismi girilir. “Description” kısmı boş bırakılabilir. Daha sonra malzemenin yoğunluk değeri ve elastik değer sayıları girilir.



Şekil 3.12 Reflektörün yapı elemanları

Reflektörün her parçası çizildikten sonra Assembly menüsünden, parçaların montajı gerçekleştirilir.



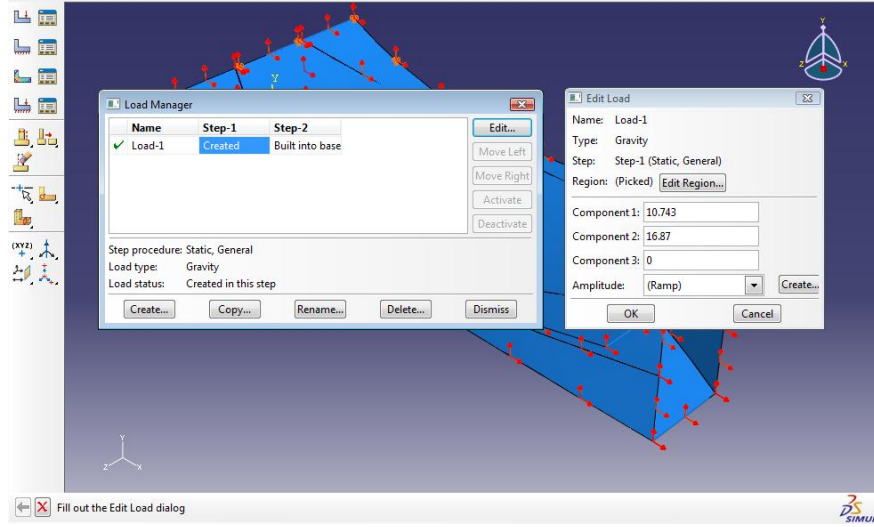
Şekil 3.13 Reflektörün montaj görüntüsü

3.2.5.3 Step analiz kısmının belirlenmesi ve sınır şartlarının belirlenmesi

Ölçülecek değerlerin ve kısıtlamaların belirlenmesi step bölümünde yapılır. Yüklemenin ve bunun sonucunda ölçülecek değerlerin belirlenmesi için “Create Step” bölümüne basılır. Açılan “creat step” iletişim kutucuğundan ilk basamakta “procedure type” kısmı genel ve statik olduğu için general, static kısmı seçilir. Daha sonra ikinci basamakta frekans değeri için “procedure type” kısmı “Linear perturbation” kısmı seçilir ve oradan da “Frequency” kısmı seçilir ve son olarak ta burkulma analizi yapılacağı için “Linear perturbation” kısmından “Buckle” seçilir.

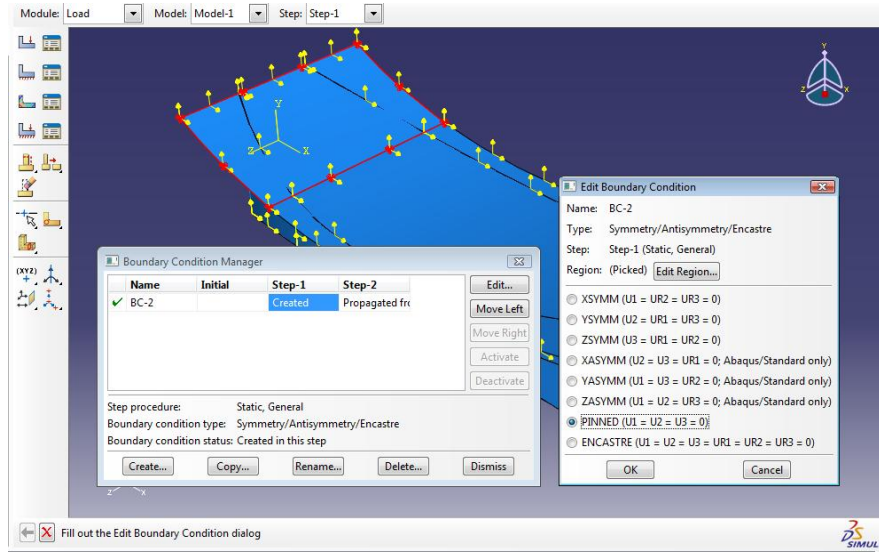
3.2.5.4 Modelin sınır şartlarının ve yüklerin belirlenmesi

Sınır şartları ve yüklerin uygulanması “Load” kısmından yapılır. Öncelikle “Load Manager” kısmından yapıya etki edecek yükler girilir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Load manager penceresi

Daha sonraki işlemde ise, Creat boundary condution manager kısmından yapının mesnet noktaları belirlenir (Şekil 3.15).



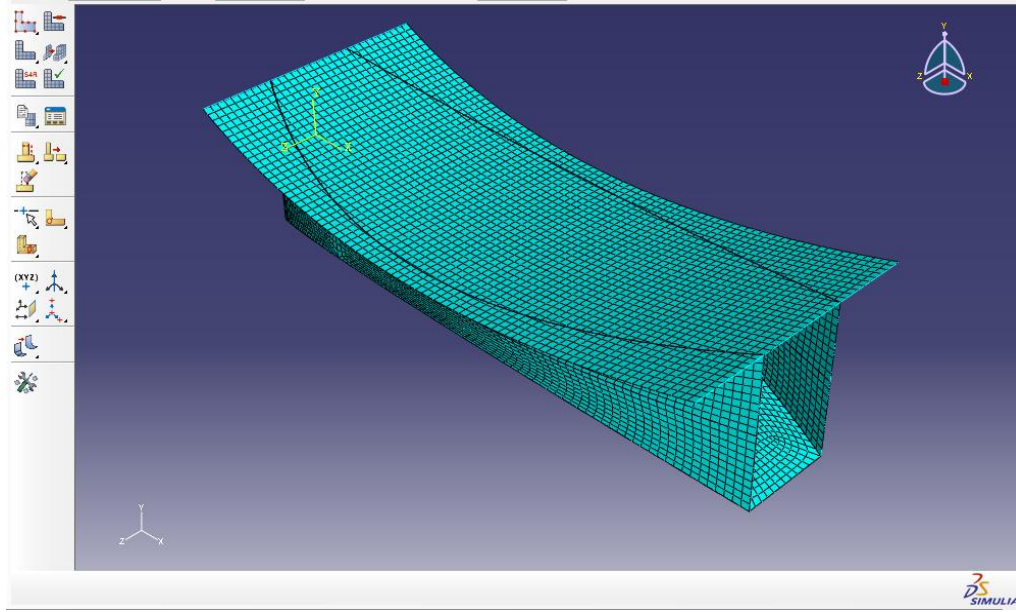
Şekil 3.15 Creat boundary condition manager penceresi

Bununla birlikte aynı sınır şartları kabul edilerek frekans,statik ve burkulma analizleri yapılmıştır.

3.2.5.5 Üç boyutlu modelin ağ oluşturması ve sınır şartlarının uygulanması

Ağ oluşturmak için model bölümünden mesh seçilerek seed part instance komutu tıklanır. Açılan iletişim penceresi olan global seeds içinde sizing controls de

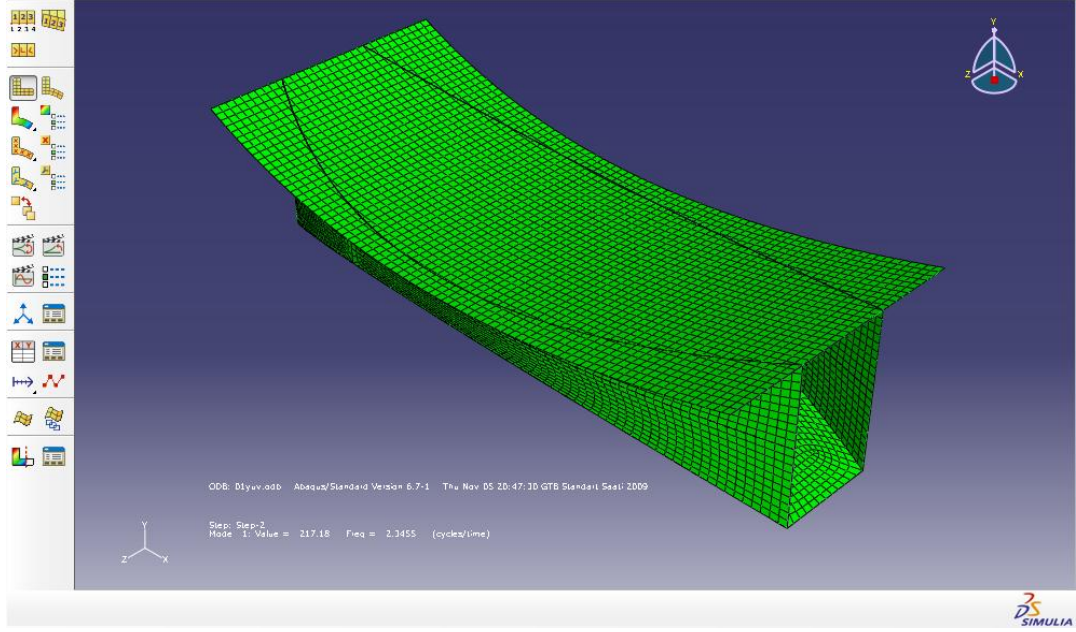
approximate global size 0.1 yazılır diğer komutlara dokunmadan ok tıklanır. Done tuşuna basılır. Model ağacından assing element tipe butonuna basılarak element library den satandat, Geometric order'dan lineer seçilerek, Family bölümünden 3D stres seçilerek diğer kısımlara dokunulmadan çıkılır. Böylece ağ oluşturma için gerekli bilgiler oluşturulmuştur. Ok tuşuna basılarak çıkılır. Mesh part tuşuna basılarak ağ oluşturulacak parça seçilir ve ok tuşuna basılarak ağ özellikleri parçaya atanır.(Şekil 3.16)



Şekil 3.16 Reflektörün mesh ataması yapılmış görüntüsü

3.2.5.6 Üç boyutlu model için çözüm oluşturması

Modül kısmında job seçilerek, create job kısmına basılır ve açılan Create job iletişim kutunda çözgü ipliğine isim verilir. Eğer herhangi bir isim verilmez ise program job uzantılı bir isim verir. Continue denilerek Edit job penceresi açılır. Açılan pencerede hiçbir şeye müdahale etmeden ok tuşuna basılır. Daha sonra job manager tuşuna basarak aynı isimli açılan iletişim penceresinde submit kutucuğuna tıklanarak iş çözümlemeye başlanır. Status kısmı completed olduğunda iletişim kutusundan results kısmına basılarak modül kısmı otomatik olarak visualization bölümüne gelir. Bu bölümde ise yapı ile ilgili bütün analiz sonuçları görülür (Abaqus 6.7 Manual 2006).



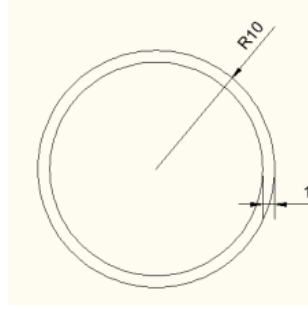
Şekil 3.17 Reflektörün çözüm yapılmış görüntüsü

4.BULGULAR

Bu bölümde farklı kalınlıklarda ki reflektörlerin, farklı kiriş kesitlerinde (yuvarlak, kare, L, T ve I) analizleri yapılmış ve ayrı ayrı analiz sonuçları verilmiştir.

4.1 Yuvarlak Kesitli Kiriş Sistemine sahip reflektörün analiz bulguları

Bu bölümde reflektörün destek elemanı olan kirişlerler yuvarlak kesitli şekilde dizayn edilmiştir. Kirişte kullanılan malzeme reflektörün malzemesi ile aynı özelliklere sahip Carbon fiber (CFM) malzemedir. Kirişin et kalınlığı 1 mm, çapı ise 20 mm olarak verilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Yuvarlak kiriş kesit görüntüsü

Bu özelliklere sahip reflektörün farklı yüzey kalınlıklarındaki analiz sonuçları Çizelge 4.1 verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yuvarlak kesite sahip yapının analiz sonuçları

$t1(mm)$	$t2(mm)$	$b0(m)$	$b1(m)$	$Kütle(kg)$	$U_{max}(m)$	$f0(Hz)$	$Tsai-Wu$	$G.Buckling$	$performans$
0.01	0.01	2	2	2,48	0,016	0,42	1,04E-04	0,14	5,43
0.1	0.1	2	2	10,72	0,078	2,34	2,31E-04	13,342	1,40
0.2	0.2	2	2	19,89	0,049	3,43	1,67E-04	44,067	1,09
0.3	0.3	2	2	29,06	0,038	3,30	1,38E-04	82,537	1,00
0.4	0.4	2	2	38,22	0,032	2,99	1,21E-04	130,77	0,99
0.5	0.5	2	2	47,38	0,029	2,76	1,09E-04	189,25	1,01

$t1$: Üst yüzey malzemesi kalınlığı,

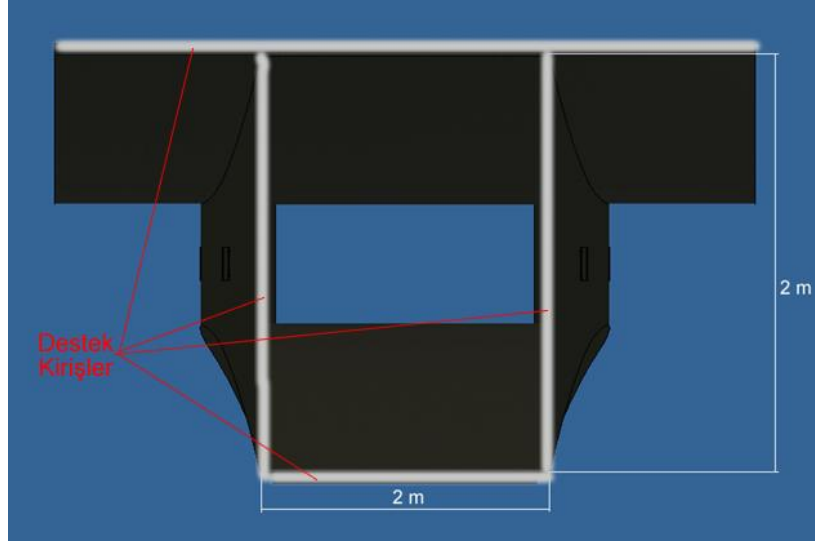
$t2$: Yan yüzey malzemesi kalınlığı,

$b0$: Reflektör yüksekliği,

b1 : Reflektör yatay uzunluğu.

4.1.1 Yüzey kalınlığı 0,01 mm olan reflektör

Öncelikle reflektör yapının üst, yan ve alt yüzeylerinin malzeme kalınlıkları 0.01 mm'lik, kiriş uzunlukları ise 2m x 2m ile olacak şekilde tasarlanmış ve yuvarlak kesitli kiriş sistemine sahip yapının analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.2 Reflektörün yandan görünüşü, kirişler ve uzunlukları

Yapılan analizler sonucunda bu kalınlık değerine sahip reflektörün ağırlığının 2.48 kg olduğu gözlenmiştir. Yapının frekans değeri ise 0,42 Hz olarak bulunmuştur. Uzayda hava olmadığından dolayı sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirme ölçüsü de 0.016 mm olduğu gözlenmiştir.

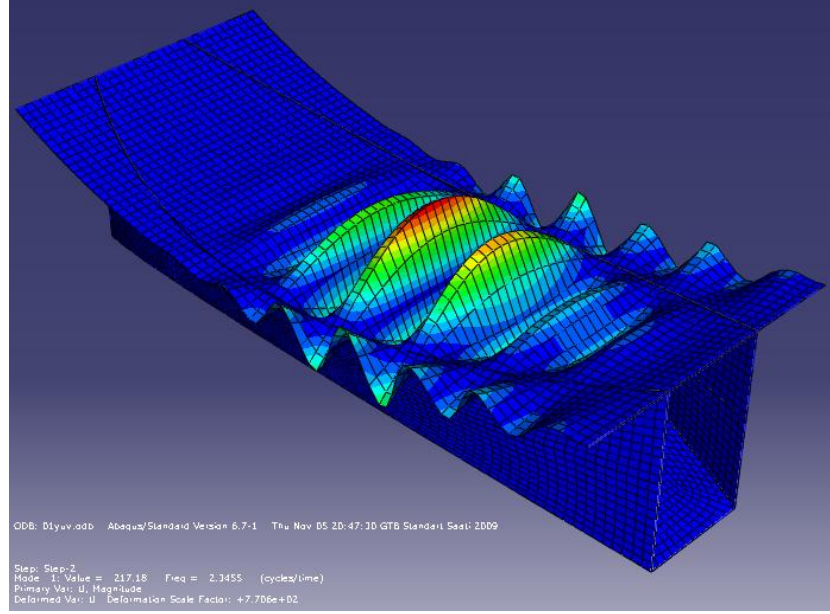
Aynı şekilde reflektörün uzayda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 0.14 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 5,43 olduğu gözlenmiştir. (Çizelge 4.1)

4.1.2 Yüzey kalınlığı 0,1 mm olan reflektör

Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,1 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 10,72 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,34

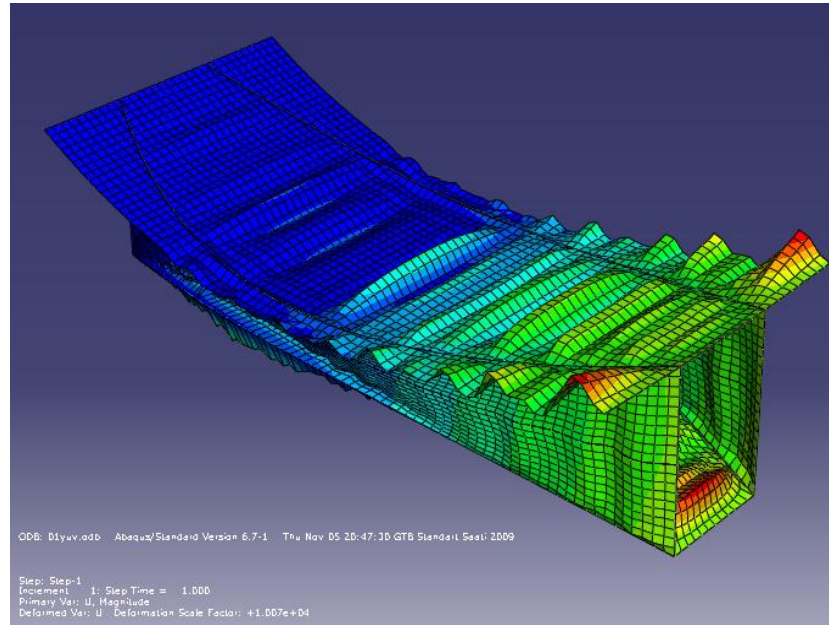
Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,078 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3 Yuvarlak kesitli, kalınlığı 0.1mm olan yapının frekans analiz sonucu

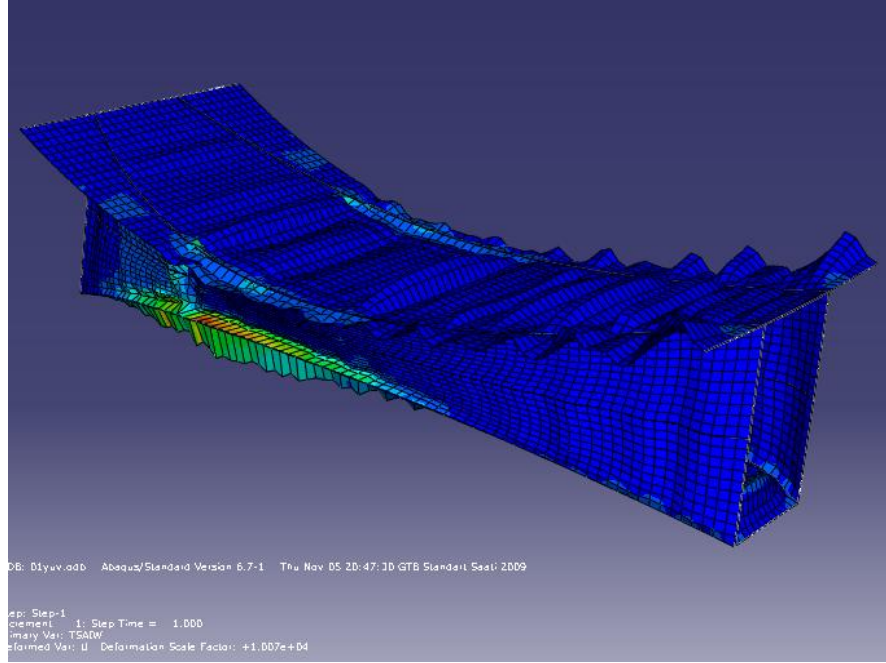
1. Mod şekli

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 13,342 katına dayanabileceği bulunmuştur.

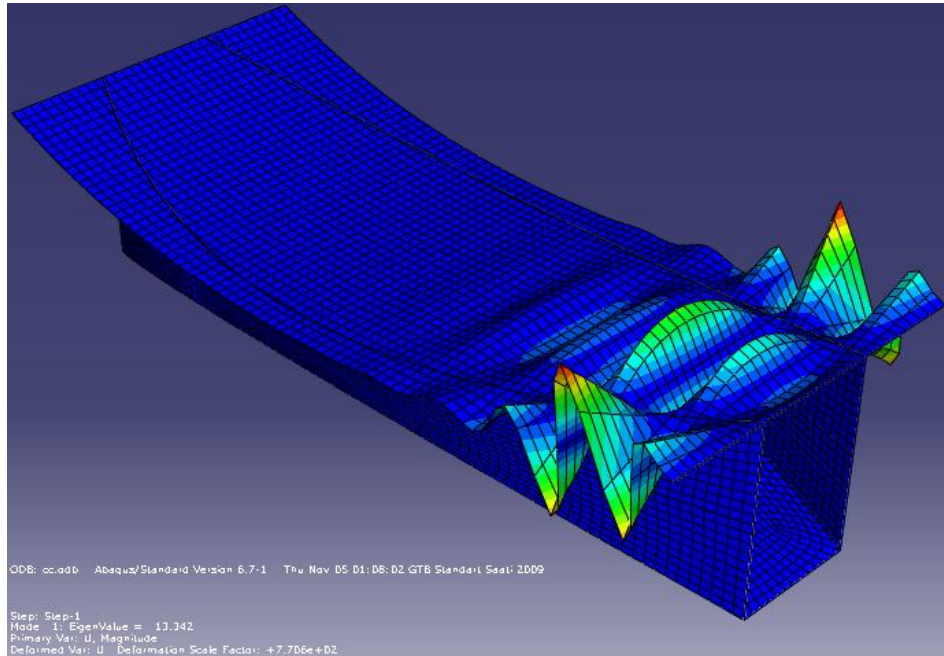


Şekil 4.4 Yuvarlak kesitli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değiştirme analiz sonuç görüntüsü

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflaktörün performans değerinin 1,40 oluğu gözlenmiştir.



Şekil 4.5 Yuvarlak kesitli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-Wu (hasar) analiz sonuç görüntüsü



Şekil 4.6 Yuvarlak kesitli, kalınlığı 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç görüntüsü

4.1.3 Yüzey kalınlığı 0,2 mm olan reflektör

Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,2 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 19,89 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,43 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,049 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 44,067 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,09 olduğu gözlenmiştir.

4.1.4 Yüzey kalınlığı 0,3 mm olan reflektör

Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,3 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 29,06 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,30 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,038 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 82,537 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,00 olduğu gözlenmiştir.

4.1.5 Yüzey kalınlığı 0,4 mm olan reflektör

Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,4 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 38,22 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,99 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,032 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 130,77 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 0,99 olduğu gözlenmiştir.

4.1.6 Yüzey kalınlığı 0,5 mm olan reflektör

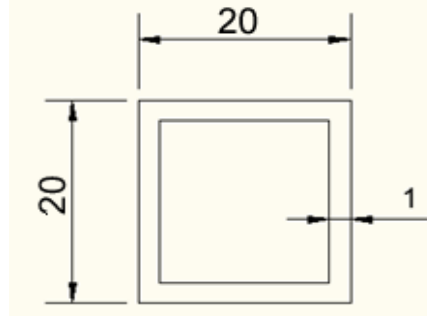
Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,5 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 47,38 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,76 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,029 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 189,25 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,01 olduğu gözlenmiştir.

4.2 Kare Kesitli Kiriş Sistemine sahip reflektörün analiz bulguları

Bu bölümde reflektörün destek elemanı olan kirişler kare kesitli şekilde dizayn edilmiştir. Kirişte kullanılan malzeme reflektörün malzemesi ile aynı özelliklere sahip Carbon fiber (CFM) malzemedir. Kirişin et kalınlığı 1 mm, ölçüleri ise 20x20 mm olarak verilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Kare kiriş kesit görüntüsü

Bu özelliklere sahip reflektörün farklı yüzey kalınlıklarındaki analiz sonuçları Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Kare kesite sahip yapının analiz sonuçları

<i>t1(mm)</i>	<i>t2(mm)</i>	<i>b0(m)</i>	<i>b1(m)</i>	<i>Kütle(kg)</i>	<i>Umax(m)</i>	<i>f0(Hz)</i>	<i>Tsai-Wu</i>	<i>G.Buckling</i>	<i>performans</i>
0,01	0,01	2	2	2,90	0,017	0,42	1,26E-04	0,11	4,70
0,1	0,1	2	2	11,15	0,08	2,34	2,43E-04	13,345	1,35
0,2	0,2	2	2	20,32	0,049	3,43	1,72E-04	44,129	1,07
0,3	0,3	2	2	29,48	0,038	4,05	1,41E-04	82,66	1,04
0,4	0,4	2	2	38,65	0,031	3,71	1,23E-04	130,96	1,04
0,5	0,5	2	2	47,81	0,028	3,44	1,11E-04	189,58	1,07

4.2.1 Yüzey kalınlığı 0,01 mm olan reflektör

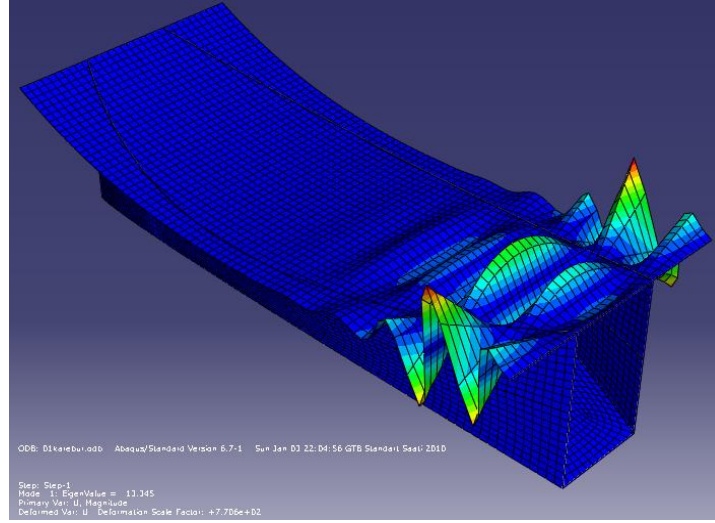
Yapılan analizler sonucunda bu kalınlık değerine sahip reflektörün ağırlığının 2.90 kg olduğu gözlenmiştir. Yapının frekans değeri ise 0,42 Hz olarak bulunmuştur. Uzayda hava olmadığından dolayı sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirme ölçüsü de 0.017 mm olduğu gözlenmiştir.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 0.11 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 4,70 olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.2).

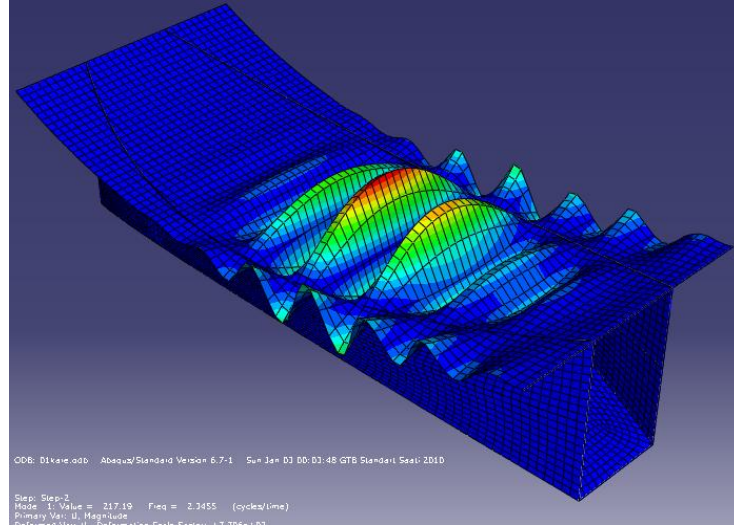
4.2.2 Yüzey kalınlığı 0,1 mm olan reflektör

Çizelge 4.2 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,1 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 11,15 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,34 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,08 mm olarak bulunmuştur.



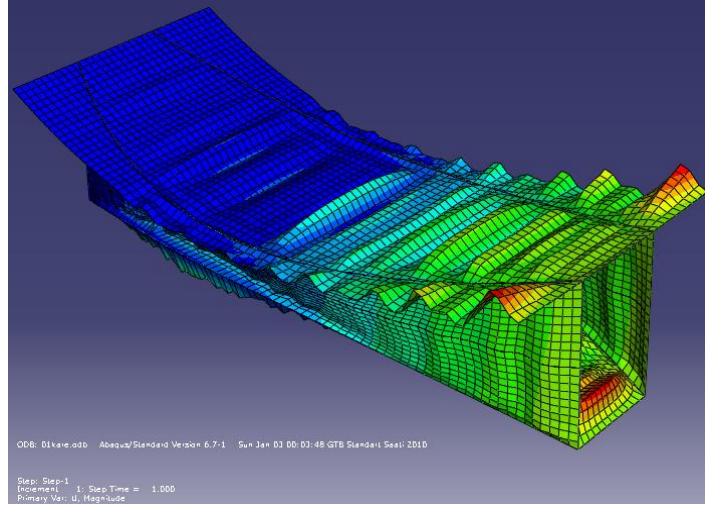
Şekil 4.8 Kare kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç görüntüsü

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 13,345 katına dayanabileceği bulunmuştur.

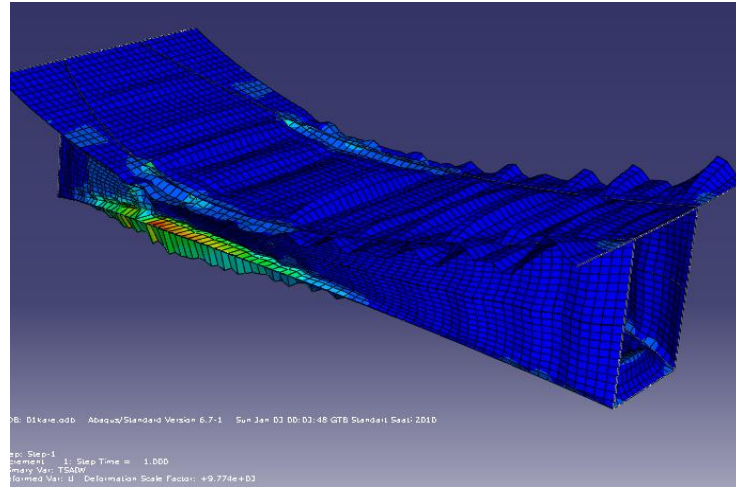


Şekil 4.9 Kare kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının frekans analiz sonuç görüntüsü

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,35 olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.10 Kare kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değıştirme analiz sonuç görüntüsü



Şekil 4.11 Kare kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-Wu(hasar) analiz sonuç görüntüsü

4.2.3 Yüzey kalınlığı 0,2 mm olan reflektör

Çizelge 4.2 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,2 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 20,32 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değeri de 3,43 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değıştirmesi ise 0,049 mm olarak bulunmuştur. Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 44,129 katına dayanabileceği bulunmuştur. Bütün bu değeri göz

önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,07 oluğu gözlenmiştir.

4.2.4 Yüzey kalınlığı 0,3 mm olan reflektör

Çizelge 4.2 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,3 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 29,48 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 4,05 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,038 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 82,66 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,04 oluğu gözlenmiştir.

4.2.5 Yüzey kalınlığı 0,4 mm olan reflektör

Çizelge 4.2 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,4 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 38,65 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,71 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,031 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 130,96 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,04 oluğu gözlenmiştir.

4.2.6 Yüzey kalınlığı 0,5 mm olan reflektör

Çizelge 4.2 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,5 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 47,81 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,44

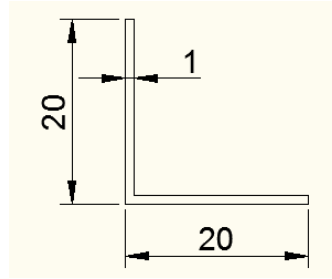
Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,028 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 189,58 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,07 olduğu gözlenmiştir.

4.3 L Kesitli Kiriş Sistemine sahip reflektörün analiz bulguları

Bu bölümde reflektörün destek elemanı olan kirişler L kesitli şekilde dizayn edilmiştir. Kirişte kullanılan malzeme reflektörün malzemesi ile aynı özelliklere sahip Carbon fiber (CFM) malzemedir. Kirişin et kalınlığı 1 mm, ölçüleri ise 20x20 mm olarak verilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 L kiriş kesit görüntüsü

Bu özelliklere sahip reflektörün farklı yüzey kalınlıklarındaki analiz sonuçları Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3 L kesite sahip yapının analiz sonuçları

<i>t1(mm)</i>	<i>t2(mm)</i>	<i>b0(m)</i>	<i>b1(m)</i>	<i>kütle(kg)</i>	<i>Umax(m)</i>	<i>f0(Hz)</i>	<i>Tsai-Wu</i>	<i>G.Buckling</i>	<i>performans</i>
0,01	0,01	2	2	1,93	0,015	0,42	7,68E-04	0,189	6,76
0,1	0,1	2	2	10,18	0,075	2,34	2,15E-04	13,303	1,46
0,2	0,2	2	2	19,35	0,05	2,81	1,61E-04	43,487	1,06
0,3	0,3	2	2	28,51	0,041	2,55	1,35E-04	80,898	0,94
0,4	0,4	2	2	37,68	0,035	2,38	1,19E-04	126,44	0,93
0,5	0,5	2	2	46,84	0,031	2,26	1,08E-04	180,99	0,95

4.3.1 Yüzey kalınlığı 0,01 mm olan reflektör

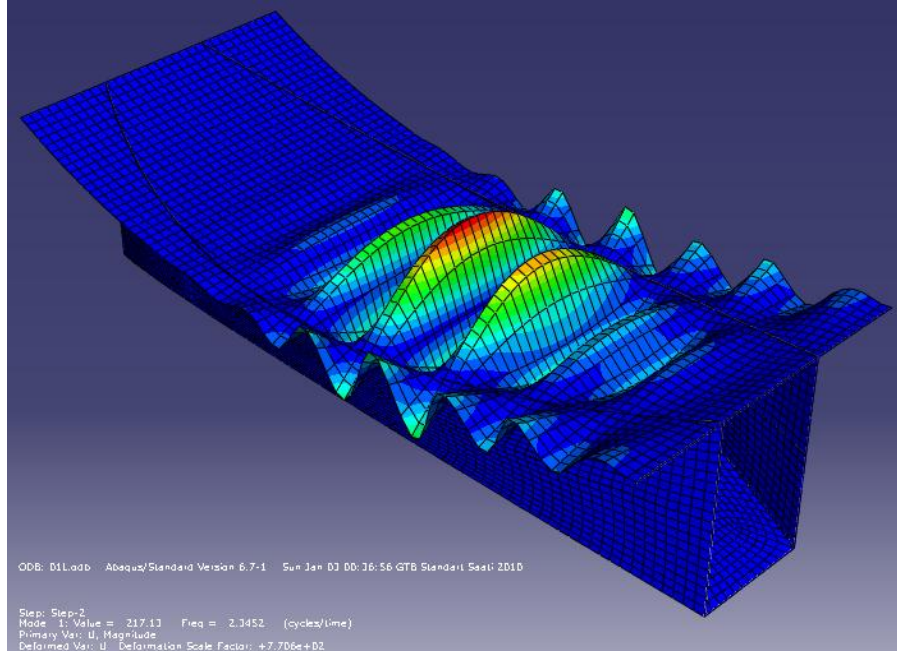
Yapılan analizler sonucunda bu kalınlık değerine sahip reflektörün ağırlığının 1,93 kg olduğu gözlenmiştir. Yapının frekans değeri ise 0,42 Hz olarak bulunmuştur. Uzayda hava olmadığından dolayı sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirme ölçüsü de 0.015 mm olduğu gözlenmiştir.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 0.189 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 6,76 olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.3).

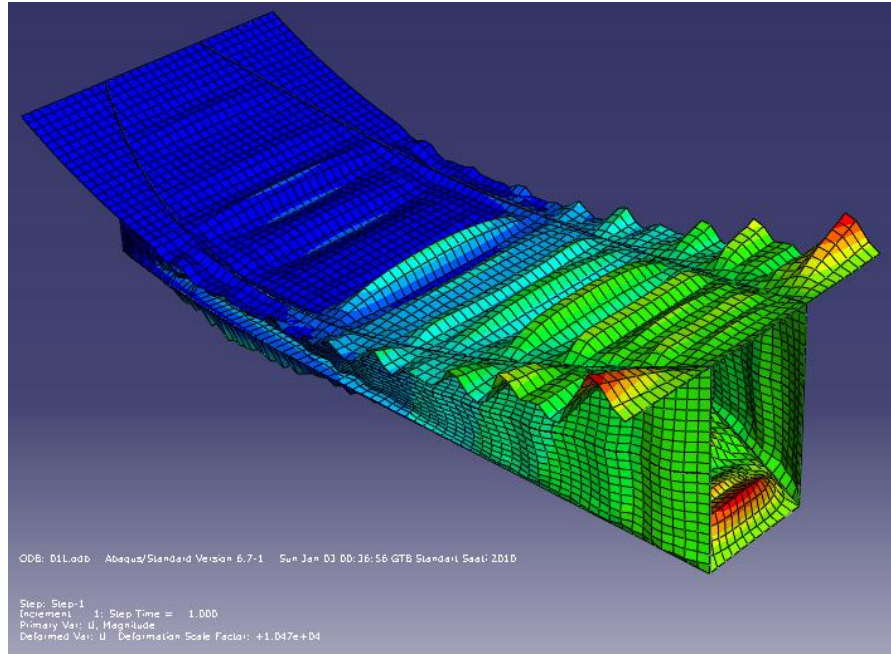
4.3.2 Yüzey kalınlığı 0,1 mm olan reflektör

Çizelge 4.3 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,1 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 10,18 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,34 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,075 mm olarak bulunmuştur.



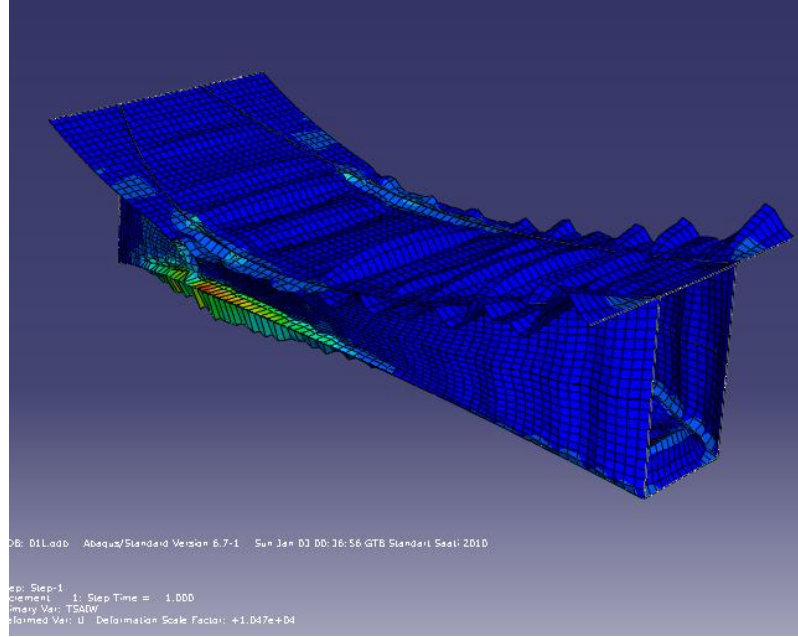
Şekil 4.13 L kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının frekans analiz sonuç görüntüsü

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 13,303 katına dayanabileceği bulunmuştur.

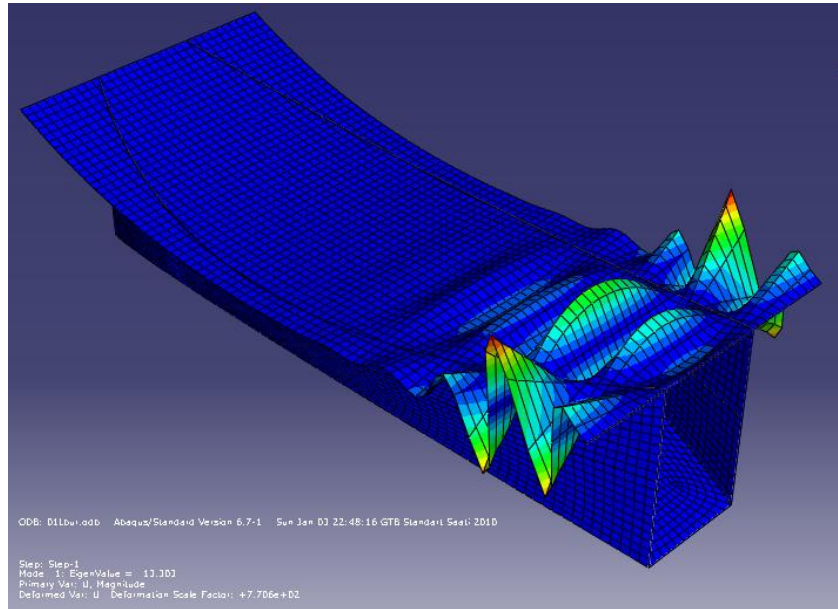


Şekil 4.14 L kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değiştirme analiz sonuç görüntüsü

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,46 oluğu gözlenmiştir.



Şekil 4.15 L kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-Wu(hasar) analiz sonuç görüntüsü



Şekil 4.16 L kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç görüntüsü

4.3.3 Yüzey kalınlığı 0,2 mm olan reflektör

Çizelge 4.3 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,2 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 19,35 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,81 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,05 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 43,487 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,06 oluğu gözlenmiştir.

4.3.4 Yüzey kalınlığı 0,3 mm olan reflektör

Çizelge 4.3 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,3 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 28,51 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,55 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,041 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 80,898 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 0,94 oluğu gözlenmiştir.

4.3.5 Yüzey kalınlığı 0,4 mm olan reflektör

Çizelge 4.3 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,4 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 37,68 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,38 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,035 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 126,44 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,04 oluğu gözlenmiştir.

4.3.6 Yüzey kalınlığı 0,5 mm olan reflektör

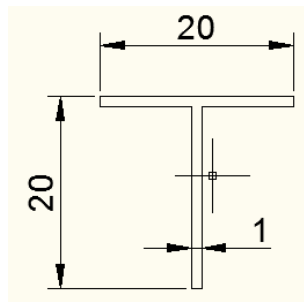
Çizelge 4.3 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,5 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 46,84 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,26 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,031 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 180,99 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 0,95 oluğu gözlenmiştir.

4.4. T Kesitli Kiriş Sistemine sahip reflektörün analiz bulguları

Bu bölümde reflektörün destek elemanı olan kirişler T kesitli şekilde dizayn edilmiştir. Kirişte kullanılan malzeme reflektörün malzemesi ile aynı özelliklere sahip Carbon fiber (CFM) malzemedir. Kirişin et kalınlığı 1 mm, ölçüleri ise 20x20 mm olarak verilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 T kiriş kesit görüntüsü

Bu özelliklere sahip reflektörün farklı yüzey kalınlıklarındaki analiz sonuçları Çizelge 4.4 verilmiştir.

Çizelge 4.4 T kesite sahip yapının analiz sonuçları

<i>t1(mm)</i>	<i>t2(mm)</i>	<i>b0(m)</i>	<i>b1(m)</i>	<i>Kütle(kg)</i>	<i>Umax(m)</i>	<i>f0(Hz)</i>	<i>Tsai-Wu</i>	<i>G.Buckling</i>	<i>performans</i>
0,01	0,01	2	2	1,93	0,015	0,42	7,69E-04	0,189	6,76
0,05	0,05	2	2	5,60	0,014	1,49	2,75E-04	3,427	2,95
0,055	0,055	2	2	6,06	0,013	1,61	2,66E-04	4,227	2,86
0,06	0,06	2	2	6,52	0,012	1,72	2,58E-04	5,13	2,80
0,1	0,1	2	2	10,18	0,078	2,34	2,15E-04	13,313	1,46
0,2	0,2	2	2	19,35	0,051	3,38	1,61E-04	43,434	1,09
0,3	0,3	2	2	28,51	0,04	3,59	1,35E-04	81,121	1,01
0,4	0,4	2	2	37,68	0,034	3,49	1,19E-04	127,81	1,00
0,5	0,5	2	2	46,84	0,03	3,38	1,08E-04	184,17	1,04

4.4.1 Yüzey kalınlığı 0,01 mm olan reflektör

Yapılan analizler sonucunda bu kalınlık değerine sahip reflektörün ağırlığının 1,93 kg olduğu gözlenmiştir. Yapının frekans değeri ise 0,42 Hz olarak bulunmuştur. Uzayda hava olmadığından dolayı sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirme ölçüsü de 0.015 mm olduğu gözlenmiştir.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 0.189 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 6,76 olduğu gözlenmiştir. (Çizelge 4.4)

4.4.2 Yüzey kalınlığı 0,05 mm olan reflektör

Çizelge 4.4 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,05 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 5,60 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 1,49 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,014 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 3,427 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 2,95 olduğu gözlenmiştir.

4.4.3 Yüzey kalınlığı 0,055 mm olan reflektör

Çizelge 4.4 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,055 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 6,06 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 1,61 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,013 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 4,227 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 2,86 olduğu gözlenmiştir.

4.4.4 Yüzey kalınlığı 0,06 mm olan reflektör

Çizelge 4.4 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,06 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 6,52 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 1,72 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,012 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 5,13 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 2,80 olduğu gözlenmiştir.

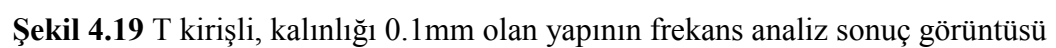
4.4.5 Yüzey kalınlığı 0,1 mm olan reflektör

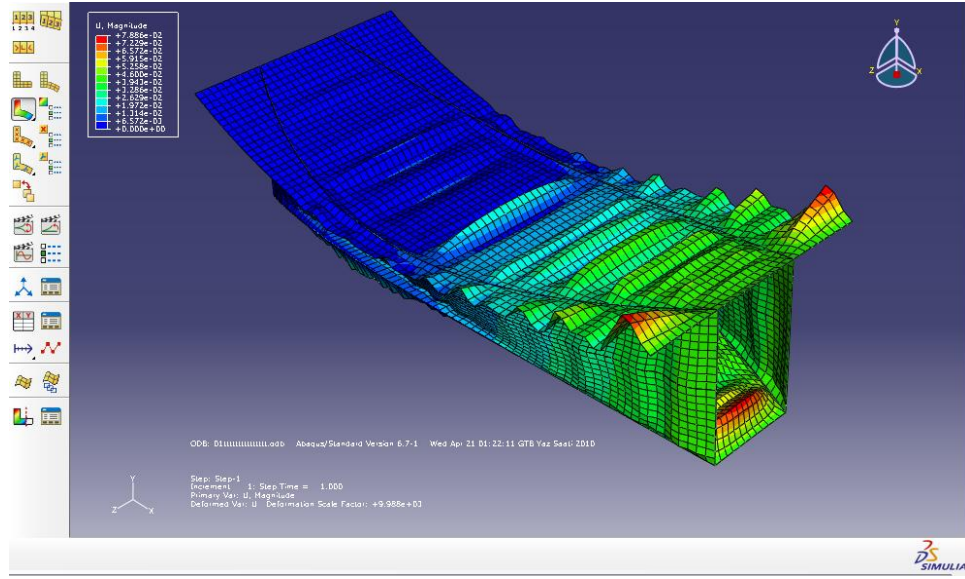
Çizelge 4.4 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,1 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 10,18 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,34

ODB: D1Tbur.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Sun Jan 03 23:19:25 GMT Standard Sess1 2010

Step: Step-1
 Mode 1: EigenValue = 13.113
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +7.706e+02

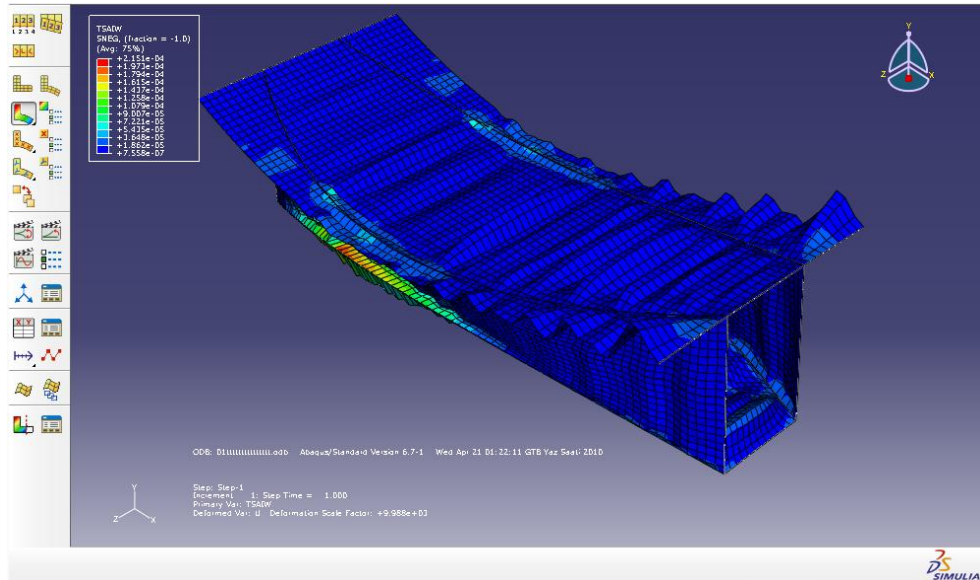
Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 13,313 katına dayanabileceği bulunmuştur.





Şekil 4.20 T kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değıştirme analiz sonuç görüntüsü

Bütün bu değler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflaktörün performans değerin 1,46 oluğu gözlenmiştir.



Şekil 4.21 T kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-Wu(hasar) analiz sonuç görüntüsü

4.4.6 Yüzey kalınlığı 0,2 mm olan reflektör

Çizelge 4.4 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,2 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 19,35 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,38 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,051 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 43,434 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,09 oluğu gözlenmiştir.

4.4.7 Yüzey kalınlığı 0,3 mm olan reflektör

Çizelge 4.4 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,3 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 28,51 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,59 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,04 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 81,121 dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,01 oluğu gözlenmiştir.

4.4.8 Yüzey kalınlığı 0,4 mm olan reflektör

Çizelge 4.4 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,4 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 37,68 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,49 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,034 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 127,81 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,00 oluğu gözlenmiştir.

4.4.9 Yüzey kalınlığı 0,5 mm olan reflektör

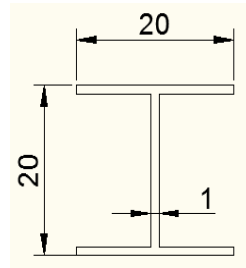
Çizelge 4.4 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,5 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 46,84 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,38 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,03 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 184,17 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,04 oluğu gözlenmiştir.

4.5 I Kesitli Kiriş Sistemine sahip reflektörün analiz bulguları

Bu bölümde reflektörün destek elemanı olan kirişler I kesitli şekilde dizayn edilmiştir. Kirişte kullanılan malzeme reflektörün malzemesi ile aynı özelliklere sahip Carbon fiber (CFM) malzemedir. Kirişin et kalınlığı 1 mm, ölçüleri ise 20x20x20 mm olarak verilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 I kiriş kesit görüntüsü

Bu özelliklere sahip reflektörün farklı yüzey kalınlıklarındaki analiz sonuçları Çizelge 4.5 verilmiştir.

Çizelge 4.5 I kesite sahip yapının analiz sonuçları

$t1(mm)$	$t2(mm)$	$b0(m)$	$b1(m)$	$Kütle(kg)$	$Umax(m)$	$f0(Hz)$	$Tsai-Wu$	$G.Buckling$	$performans$
0,01	0,01	2	2	2,43	0,016	0,42	1,02E-04	0,145	5,53
0,1	0,1	2	2	10,68	0,077	2,34	2,29E-04	13,322	1,41
0,2	0,2	2	2	19,84	0,049	3,42	1,67E-04	43,762	1,09
0,3	0,3	2	2	29,01	0,039	4,06	1,38E-04	81,656	1,04
0,4	0,4	2	2	38,17	0,034	3,9	1,21E-04	128,05	1,02
0,5	0,5	2	2	47,34	0,03	3,72	1,09E-04	183,8	1,05

4.5.1 Yüzey kalınlığı 0,01 mm olan reflektör

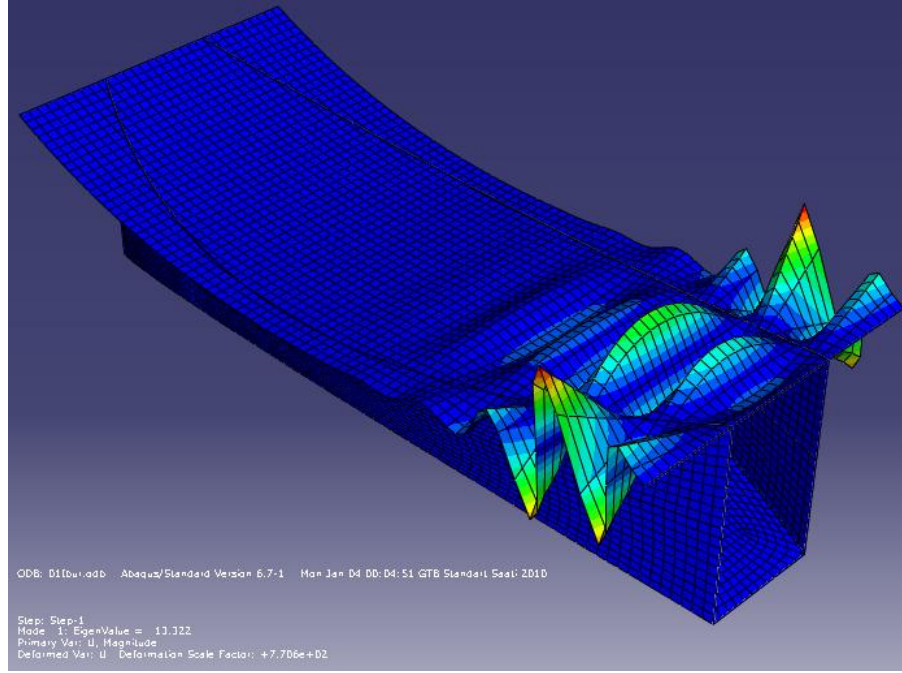
Yapılan analizler sonucunda bu kalınlık değerine sahip reflektörün ağırlığının 2,43 kg olduğu gözlenmiştir. Yapının frekans değeri ise 0,42 Hz olarak bulunmuştur. Uzayda hava olmadığından dolayı sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirme ölçüsü de 0.016 mm olduğu gözlenmiştir.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 0.145 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 5,53 olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.5).

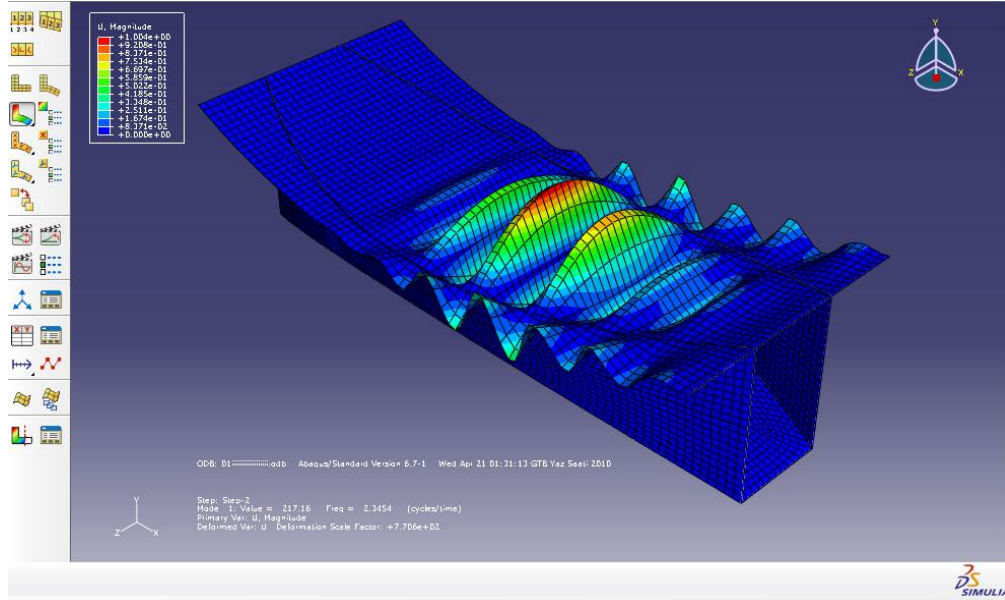
4.5.2 Yüzey kalınlığı 0,1 mm olan reflektör

Çizelge 4.5 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,1 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 10,68 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 2,34 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,077 mm olarak bulunmuştur.

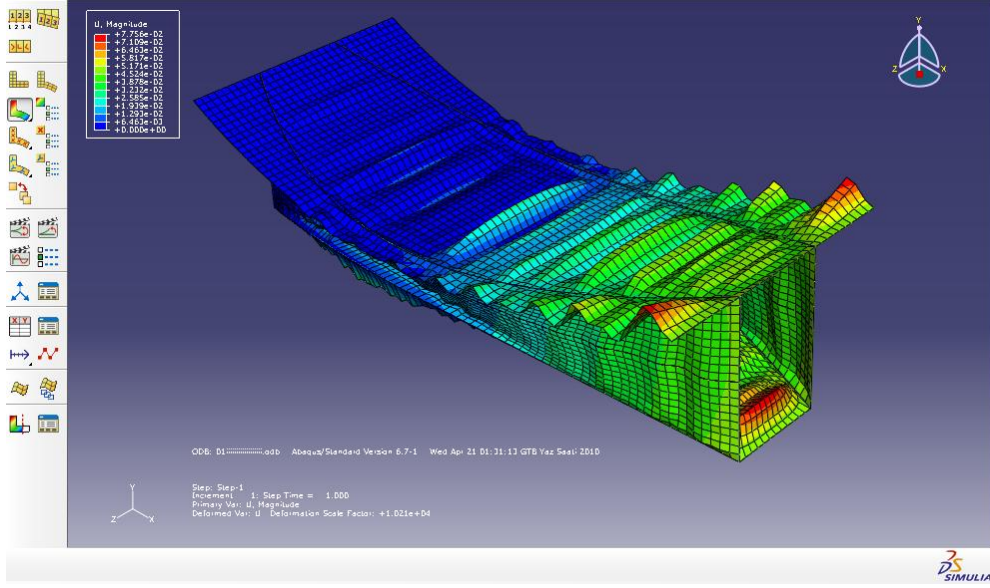


Şekil 4.23 I kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının burkulma analiz sonuç görüntüsü

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 13,322 katına dayanabileceği bulunmuştur.

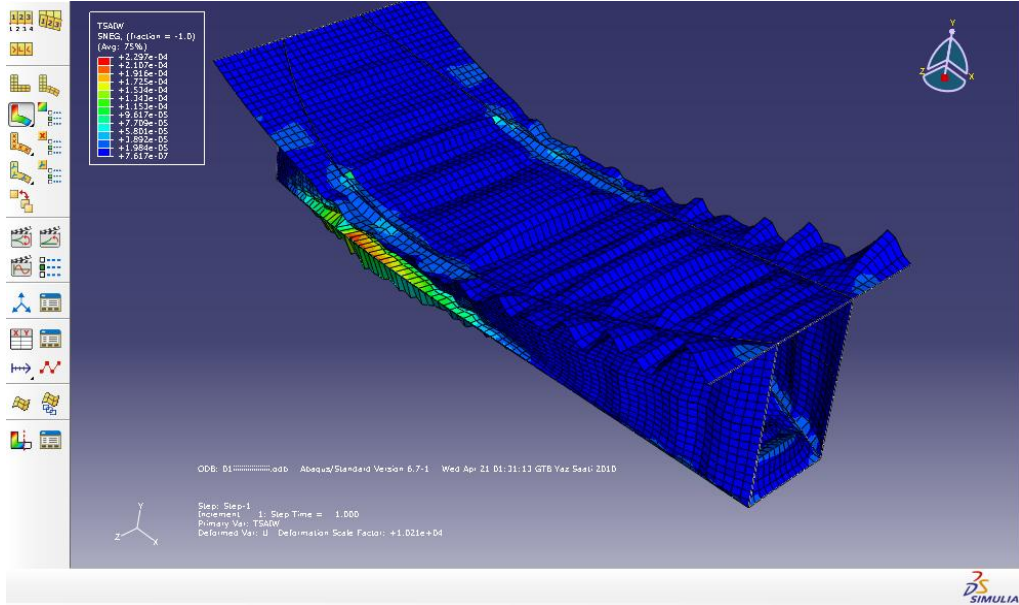


Şekil 4.24 I kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının frekans analiz sonuç görüntüsü



Şekil 4.25 I kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının şekil değiştirme analiz sonuç görüntüsü

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,41 oluğu gözlenmiştir.



Şekil 4.26 I kirişli, kalınlığı 0.1mm olan yapının Tsai-Wu(hasar) analiz sonuç görüntüsü

4.5.3 Yüzey kalınlığı 0,2 mm olan reflektör

Çizelge 4.5 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,2 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 19,84 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,42 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,049 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 43,762 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,09 olduğu gözlenmiştir.

4.5.4 Yüzey kalınlığı 0,3 mm olan reflektör

Çizelge 4.5 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,3 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 29,01 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 4,06 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,039 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 81,656 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,04 olduğu gözlenmiştir.

4.5.5 Yüzey kalınlığı 0,4 mm olan reflektör

Çizelge 4.5 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,4 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 38,17 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,90 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,034 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 128,05 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,02 olduğu gözlenmiştir.

4.5.6 Yüzey kalınlığı 0,5 mm olan reflektör

Çizelge 4.5 de görüldüğü gibi yüzeyleri 0,5 mm kalınlığa sahip reflektörün ağırlığı ise 47,34 kg olarak bulunmuştur. Aynı zamanda frekans değerinin de 3,72 Hz olduğu gözlenmiştir. Havasız ortamda sadece kendi ağırlığından dolayı meydana gelecek max şekil değiştirmesi ise 0,03 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde reflektörün havasız ortamda kendi ağırlığından dolayı olabilecek burkulma kuvvetinin 183,80 katına dayanabileceği bulunmuştur.

Bütün bu değerler göz önüne alınarak çıkartılan performans denkleminde bu kalınlıklara sahip reflektörün performans değerinin 1,05 olduğu gözlenmiştir.

olarak verilmiştir. Bundan sonra yapılan bütün analiz sonuçlarındaki performans değerleri de bu değer referans alınarak bulunmuştur.

4.5.7 Değişik Kesitli Takviye Elemanlarının Karşılaştırılması

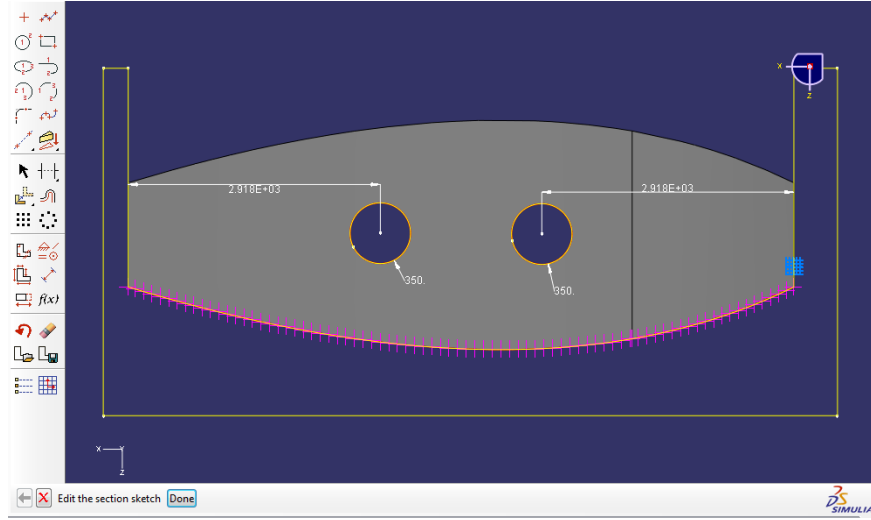
Yukarıdaki Çizelge 4.5 de görüldüğü gibi yuvarlak kesitli kiriş sistemine sahip 0.3 mm kalınlığındaki yapı referans alınmış ve bu yapının performans değeri 1.00dir. Yapılan analizler sonucunda yuvarlak, kare, L, T ve I profil kesitli kirişlere sahip reflektörlerde 0,1 mm kalınlığındaki yapıların gelen burkulma kuvvetinin yaklaşık olarak 13 katına dayanabildiği gözlenmiştir. Bu nedenle yapıların 0.1 mm kalınlıklarındaki performans değerlerine bakıldığında en uygun kiriş yapısının T profil yapısına sahip reflektörün olduğu gözlenmiştir.

Bulunan en uygun profil kesiti sonucunda yaklaşık olarak 13 kat burkulma emniyetine sahip yapının, emniyet oranının 5 kat olmasının yeterli olacağı düşünülmüştür. Bu nedenden dolayı T profil kesitli reflektör 0,01-0,05-0,055-0,06 mm kalınlıklarında tekrar dizayn edilmiş ve analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda ise 0,06mm kalınlığa sahip yapının yaklaşık olarak 5 kat emniyete sahip olduğu gözlenmiş ve en uygun yapının 0,06 mm kalınlıktaki T profil kirişine sahip yapının olduğu bulunmuştur.

4.6 Reflektörde Hafifletme Çalışmaları

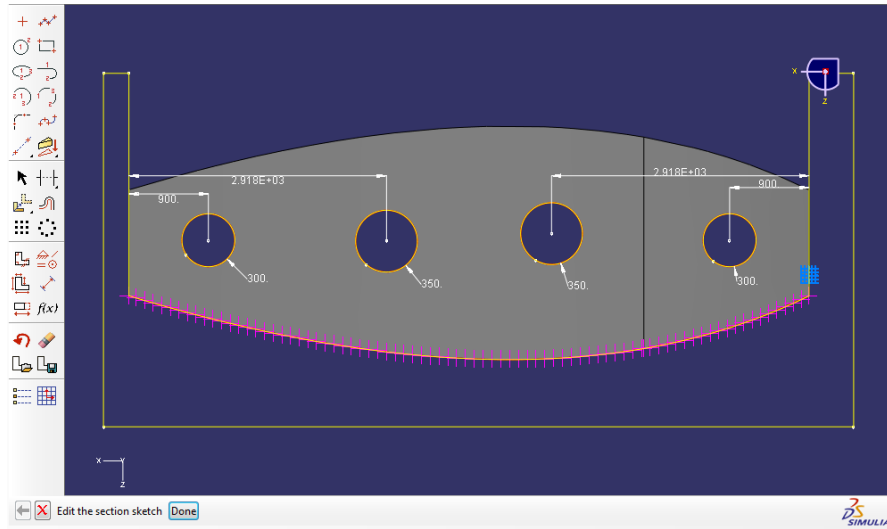
Yapılan analiz sonuçlarına göre en uygun değeri T profil kesitli kiriş sistemine sahip modelin verildiği gözlenmiştir. Bundan dolayı, hafifletme çalışmaları da T profil kesitli kiriş sistemine sahip yapılar üzerinde yapılmıştır.

Reflektör üzerinde iki tür hafifletme çalışması yapılmıştır. İlk çalışma, yapının alt yüzeyine iki adet çap 350'lik delik açılmıştır.



Şekil 4.27 Abaqus programında alt yüzeye açılan iki adet pencere

İkinci çalışmada ise yapının alt yüzeyine iki adet çap 350'lik, iki adet de çap 300'lük delik açılmıştır.



Şekil 4.28 Abaqus programında alt yüzeye açılan dört adet pencere

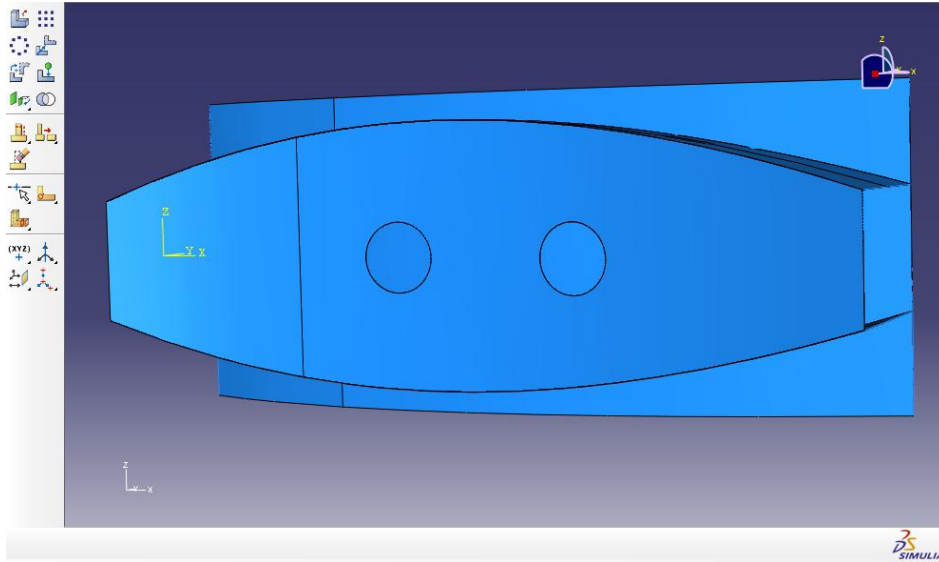
4.6.1 Alt yüzeyi iki delikli yapının analiz sonuçları

Alt yüzeyine iki delik açılarak hafifletilme çalışmaları yapılan reflektör modelinin analiz sonuçları tablo 4.6 de verilmiştir.

Çizelge 4.6 T kesite ve alt yüzeyi iki delikli yapının analiz sonuçları

$t1(mm)$	$t2(mm)$	$b0(m)$	$b1(m)$	mass	U_{max}	f_0	Tsai-Wu	G.Buckling	Performans
0,06	0,06	2	2	6,43	0,031	1,37	1,98E-04	1,61	2,26
0,08	0,08	2	2	8,23	0,029	1,61	1,69E-04	2,86	1,91
0,1	0,1	2	2	10,06	0,02	2,48	1,54E-04	4,39	1,88

Çizelge 4.6 de görüldüğü üzere iki delikle hafifletilmiş reflektör 0,06 - 0,08 ve 0,1 mm kalınlık ölçülerine sahip malzemeler ile tasarlanmıştır.



Şekil 4.29 Reflektörün alt yüzeyine iki adet pencere açılmış genel görüntüsü

Çizelge 4.6 deki değerler göz önüne alındığında 0,06 mm kalınlığa sahip yapının performans değeri 2.26, 0.08 mm kalınlığa sahip yapının 1,91 ve 0,1 mm kalınlığa sahip yapının ise performans değerinin 1.88 olduğu görülmektedir.

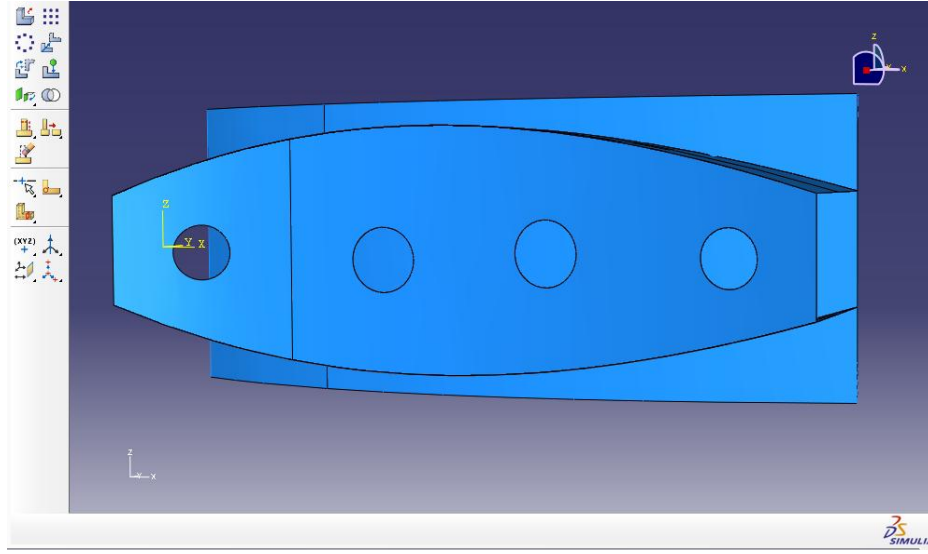
4.6.2 Alt yüzeyi dört delikli yapının analiz sonuçları

Alt yüzeyine dört delik açılarak hafifletilme çalışmaları yapılan reflektör modelinin analiz sonuçları tablo 4.7 de verilmiştir.

Çizelge 4.7 T kesite ve alt yüzeyi iki delikli yapının analiz sonuçları

$t1(mm)$	$t2(mm)$	$b0(m)$	$b1(m)$	Mass	U_{max}	f_0	Tsai-Wu	G.Buckling	Performans
0,06	0,06	2	2	6,38	0,047	1,18	1,72E-04	1,63	2,15
0,08	0,08	2	2	8,16	0,03	1,44	1,48E-04	2,89	1,91
0,1	0,1	2	2	9,96	0,021	2,16	1,31E-04	4,44	1,85

Çizelge 4.7 de görüldüğü üzere iki delikle hafifletilmiş reflektör 0,06 - 0,08 ve 0,1 mm kalınlık ölçülerine sahip malzemeler ile tasarlanmıştır.



Şekil 4.30 Reflektörün alt yüzeyine dört adet pencere açılmış genel görüntüsü

Çizelge 4.7 deki değerler göz önüne alındığında 0,06 mm kalınlığa sahip yapının performans değeri 2.15, 0.08 mm kalınlığa sahip yapının 1,91 ve 0,1 mm kalınlığa sahip yapının ise performans değerinin 1.85 olduğu görülmektedir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, uydularda yansıtıcı olarak kullanılan yapıların hafifletme ve hacimsel olarak düşürülme çalışmaları yapılmıştır. Öncelikle en uygun tasarım ve malzeme seçilmiş ve daha sonra bu tasarımın ¼ ölçekli prototipi dizayn edilmiştir. Bu prototip sayesinde ise sitemin kendi elastik enerjisiyle açılıp kapanması gözlenmiştir.

Bu gözlem sonucunda ise, reflektör yapının 1/1 ölçekli modeli Abaqus sonlu elemanlar programında tasarlanmıştır. Bu tasarlanan reflektörde ise yuvarlak, kare, I, L ve T kesitli olmak üzere beş farklı destek kiriş modeli kullanılmıştır. Daha sonra bu yapılara, farklı yüzey kalınlıkları atanarak, burkulma, frekans, ağırlık, hasar ve şekil değiştirme analizlerine tabi tutulmuşlardır.

Bu analiz sonuçlarına bağlı kalarak, en yüksek performans değeri, T kiriş sistemine sahip, yüzey kalınlığı ise 0,01 mm kalınlığa sahip reflektörün olduğu gözlenmektedir. Fakat performansı yüksek olmasının yanında, burkulma değerleri ise 1 ‘den küçük olduğu için, bu yapının burkulma yüküne dayanıksız olduğu gözlenmiştir.

Bu bilgiler doğrultusunda, güvenlik katsayısını da beş kat olarak verdiğimizde, T destek yapısına sahip reflektörde, en uygun yüzey kalınlığının 0.06 mm olduğu bulunmuştur.

Bu sonuçlar göz önüne alınarak, T destek yapısına sahip yapının alt yüzeyine pencereler açılarak hafifletme çalışmaları yapılmıştır. İlk önce reflektörün alt yüzeyine iki adet pencere açılmış ve üç farklı yüzey kalınlığı(0,06-0,08-0,1mm) atanarak aynı analizlere tabi tutulmuştur. Daha sonra ise, alt yüzeye farklı ölçülerde dört pencere açılarak, aynı analizler uygulanmıştır.

Bu analizler sonucunda, alt yüzeyi dört delikli olan yapının yaklaşık olarak bütün performans değerinin, alt yüzeyi iki delikli yapıya göre düşük olduğu gözlenmiştir. Fakat alt yüzeyine pencere açılmış, yüzeyi 0,06 mm kalınlığında olan bütün yapıların beş kat emniyet şartını karşılamadığı gözlenmiştir. Pencere açılmış yapılarda yaklaşık olarak bu şartı, yüzey kalınlığı 0,1 mm olan yapıların karşıladığı bulunmuştur.

Bu alışmalar sonucun da, alt yüzeyde pencereye sahip olmayan yapılar da uygun yüzey kalınlığının 0,06mm olduğu gzlen se de bu kalınlıktaki bir malzemenin temin edilmesi çok zordur. Piyasada kolaylıkla bulunabilecek malzemede göz önünde tutulacak olunursa en uygun yapı olarak 0.1 mm kalınlığındaki, T kiriş sistemine sahip, alt yüzeyinde ise iki pencereye sahip olan yapının olduğunu söyleyebiliriz.

Bundan sonraki çalışmalarda ise, reflektörde daha detaylı sonuçlara ulaşabilmek için, alt yüze ye farklı geometrik şekiller ve ebatlarda pencereler açılabilir ve bu pencerelerin yüzeydeki konumları değiştirilebilir.

6.KAYNAKLAR

Abaqus User Manual, 2006

Mark W. Thomson “The Astromesh Deployable Reflector” TRW Astro
Aerospace 6384 Via Real Carpinteria, CA, USA 93013-2920

Soykasap, Ö., Watt, A.M. and Pellegrino, S. 2004"New Deployable Reflector Concept," Proceedings of the 45th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Palm Springs, CA, 19 – 22 Nisan, 2004, AIAA Paper 2004-1574.

Soykasap O.and S. Pellegrino 2004 “Deployable Synthetic Aperture Radar Reflector” Department of Engineering University of Cambridge.

Soykasap Ö. 2005 “Uzay Antenleri İçin Açılabilen Arkası Esnek Takviyeli Reflektör Tasarımı” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi.

Soykasap O. and Sergio Pellegrino-Lin Tze Tan “Design & Manufacture of Sti@ened Spring-Back Reflector Demonstrator” Department of Civil & Environmental Engineering, University College London, Gower Street, London WC1E 6BT,UK-Department of Engineering, University of Cambridge, Trumpington Street, Cambridge CB2 1PZ,UK

Soykasap Ö. 2006 “Ku-Band Uzay Antenleri İçin Yeni Açılabilen Reflektör Konseptleri” Hasem06 Kayseri 6. Havacılık Sempozyumu Nevşehir

6.1 İnternet Kaynakları

1.http://www.dsozen.com/docs/Yapay_Uydular.pdf

2.www.astronomeuzaybilimleri.com

3.<http://www.teknolojik.tc>

4.<http://www.obitet.gazi.edu.tr/>

5.<http://www.istanbul.edu.tr/fen/astronomy>

7.ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Mehmet Fatih ARIK
Doğum Yeri	ÇORUM
Doğum Tarihi	10 / 07 / 1983
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	Çorum Atatürk Lisesi(1997-2000)
Ön Lisans	Ordu Meslek Y.O.(2002-2004)
Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Resmi ve Konstrüksiyon Öğretmenliği(2004-2007)
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı (2007-2009)

Çalıştığı Kurum / Kurumlar ve Yıl aralığı

Tübitak Projesi	2007-2008 (Proje Asistanı)
-----------------	----------------------------

