

**KOMPOZİT MALZEMEDEN YAPILMIŞ
KATLANIP AÇILABİLEN BİR REFLEKTÖRDE
YÜZEY HASSASİYET ÖLÇÜMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdar KAPLAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ömer SOYKASAP

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mart, 2012

Bu tez çalışması 109M421 numaralı proje ile TUBİTAK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOMPOZİT MALZEMEDEN YAPILMIŞ KATLANIP
AÇILABİLEN BİR REFLEKTÖRDE YÜZEY HASSASİYET
ÖLÇÜMLERİ

Erdar KAPLAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ömer SOYKASAP

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mart, 2012

TEZ ONAY SAYFASI

Erdar Kaplan tarafından hazırlanan “Kompozit Malzemeden Yapılmış Katlanıp Açılabilen Bir Reflektörde Yüzey Hassasiyet Ölçümleri” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 22/03/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : (Doç. Dr. Ömer SOYKASAP)

Başkan : Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ
AKÜ, Teknoloji Fakültesi, İmza

Üye : Doç. Dr. Ömer SOYKASAP
AKÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, İmza

Üye : Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT
AKÜ, Teknoloji Fakültesi, İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Enstitü Müdürü
(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

22/03/2012

Erdar KAPLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOMPOZİT MALZEMEDEN YAPILMIŞ KATLANIP AÇILABİLEN BİR REFLEKTÖRDE YÜZEY HASSASİYET ÖLÇÜMLERİ

Erdar KAPLAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Ömer SOYKASAP

Açılabilir reflektör tasarımında en önemli noktalardan biri yüzey doğruluğu analizleridir. Elektronik performans reflektif yüzeyin yüzey hassasiyetine bağlıdır. Yeterli yüzey hassasiyeti doğru malzeme seçimi ve uygun tasarım konsepti oluşturulduğu zaman sağlanabilir. Bu araştırmada; uzay uygulamaları için, kompozit malzemeden imal edilmiş, hafif, katlanıp açılabilen reflektörler üzerinde yapılan yüzey doğruluğu ölçümleri sunulmuştur. Reflektörler esnek bir kabuk yapısına sahip olup, reflektörlerin yapısal bütünlüğünü koruyabilmesi için reflektif yüzey kendisini çevreleyen bir etek bağlantısıyla desteklenmiştir. Tam ölçekli reflektör tasarımının 1,5 ve 2 çapında prototipi üretilerek, yüzey doğruluğu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey doğruluğu ölçümleri için fotogrametri tekniği yazılım olarak ise PhotoModeler programı kullanılmıştır. Reflektif yüzey üzerinde yerçekiminden kaynaklanan deformasyonları tahmin etmek için reflektörün çeşitli bağlantı koşullarında yüzey RMS hatası değerleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, 1,5 m çapında reflektörün yüzey RMS hatası 0,49 mm olarak tespit edilmiştir.

2012, xi + 117 sayfa

Anahtar Kelimeler: Açılabilir reflektörler, Fotogrametri, PhotoModeler Yazılımı, Yüzey doğruluğu

ABSTRACT

M.Sc Thesis

SURFACE ACCURACY MEASUREMENTS OF A FOLDABLE COMPOSITE REFLECTOR

Erdar KAPLAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Ömer SOYKASAP

One of the most important points in design of foldable reflectors is surface accuracy tests. Electronic performance depends on surface accuracy of reflective surface. Sufficient surface accuracy can be provided when choose correct material and create convenient design. This research presents surface accuracy measurements of foldable reflectors which are made of the ultra-thin composite materials for space applications. The reflectors have a flexible shell structure and the reflective surface is supported by a skirt to maintain the structural integrity of reflectors which surrounds surface. 1,5 and 2 meter prototypes of the full-scale reflector design were manufactured and the accuracy of surfaces were measured. Photogrammetry technique and PhotoModeler software are used for measuring of surface accuracy. Root Mean Square (RMS) error of reflective surface at different connection types have been investigated to estimate the gravity-induced structural deformation in reflector surface. As a result of studies, the RMS error of 1,5 m diameter reflector surface was found 0,49 mm.

2012, xi + 117 pages

Key Words: Deployable reflectors, Photogrammetry, PhotoModeler Software, Surface accuracy

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ömer SOYKASAP'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Grv. şükrü KARAKAYA'ya, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Erdar KAPLAN
AFYONKARAHİSAR, 2012

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	i
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Açılabilir Yapılar	3
2.2 Açılabilir Uzay Yapıları.....	4
2.3 Açılabilir Reflektör Antenler	6
2.3.1 Açılabilir Reflektör Konseptleri	7
2.3.1.1 Membran Yapılı Reflektörler	7
2.3.1.2 İnce Kabuk Yapılı Reflektörler	11
2.3.1.3 Ağ Yapılı Reflektörler	20
2.3.1.4 Şişirilebilir Reflektörler	24
2.4 Uzay Antenlerinin Yüzey Doğruluğu Ölçümleri.....	27
2.4.1 Reflektör Antenlerde Kabuledilebilir Yüzey Hataları.....	27
2.4.2 Fotogrametri Tekniği ile Yüzey Ölçümleri	29
3. MATERYAL ve METOT	38
3.1 PhotoModeler Yazılımı ile Model Oluşturma.....	38
3.1.1 Kamera Kalibrasyonunun Sağlanması	39
3.1.2 Ölçüm Projesinin Planlanması	39
3.1.3 Nesnenin Fotoğraflarının Çekilmesi ve Programa Aktarılması	40
3.1.4 Nesnenin 3D Koordinatlarının Elde Edilmesi	42
3.2 Bilgisayar Masasının Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	46
3.2.1 Bilgisayar Masasının 3D Koordinatlarının Elde Edilmesi	46
3.2.2 İdeal Düzlemin Oluşturulması ve Hataların Belirlenmesi.....	51
3.3 Merkezci Uydu Anteninin Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	54

3.3.1 Merkezci Uydu Anten Geometrisi	54
3.3.2 Ölçüm Planının Yapılması	54
3.3.3 İdeal Parabol Eğrisinin Oluşturulması ve Hataların Belirlenmesi	56
3.4 1/3 Ölçekli Ofset Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	57
3.4.1 1/3 Ölçekli Ofset Reflektör Geometrisi.....	57
3.4.2 Ölçüm Planının Yapılması	59
3.4.3 Kamera Kalibrasyonunun Sağlanması	61
3.4.4 İdeal Parabol Eğrisinin Oluşturulması ve Hataların Belirlenmesi	62
3.4.5 Çeşitli Bağlantı Bölgelerinin Yüzey Hatalarına Etkisinin Araştırılması.....	63
3.4.5.1 Tek Noktadan Asılarak Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	64
3.4.5.2 İki Noktadan Asılarak Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	66
3.4.5.3 İki Noktadan Serbest Asılarak Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	68
3.4.5.4 Üç Noktadan Asılarak Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	69
3.4.5.5 Yansıtma Yöntemiyle Reflektörün Bir Bölümünün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	71
3.5 1/3 Ölçekli Reflektörün Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi	73
3.6 1/3 Ölçekli Reflektör Kalıbının İmalat Hatalarının Belirlenmesi	75
3.7 1/4 Ölçekli Reflektör Modelinin Yüzey Hatalarının Belirlenmesi	77
4. BULGULAR	81
4.1 Bilgisayar Masasının Fotogrametrik Analizinin İncelenmesi.....	81
4.2 Merkezci Uydu Anteninin Fotogrametrik Analizinin İncelenmesi	82
4.3 1/3 Ölçekli Ofset Reflektörün Fotogrametrik Analizinin İncelenmesi.....	83
4.3.1 Tek Noktadan Asılarak Ölçülen Ofset Reflektörün Analizi.....	84
4.3.2 İki Noktadan Asılarak Ölçülen Ofset Reflektörün Analizi	88
4.3.3 İki Noktadan Serbest Asılarak Ölçülen Ofset Reflektörün Analizi.....	91
4.3.4 Üç Noktadan Asılarak Ölçülen Ofset Reflektörün Analizi	94
4.3.5 Yansıtma Yöntemiyle Bir Bölümü Ölçülen Reflektörün Analizi	94
4.4 1/3 Ölçekli Kalıp İmalat Hatalarının Fotogrametrik Yöntemle İncelenmesi.....	99

4.5 1/4 Ölçekli Ofset Reflektörün Fotogrametrik Analizinin İncelenmesi.....	102
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	105
5.1 Sonuçlar	105
5.2 Öneriler	107
6. KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	105

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A, B, C	Düzlemin normalini oluşturan katsayılar
D	Ofset reflektörün çapı
D_a	Merkezcil reflektörün çapı
F	Odak uzaklığı
H_a	Merkezcil reflektör yüksekliği
Hz	Hertz
K	Hedef büyüklüğü
MHz	Megahertz
n	Nokta sayısı
W_o	Nesne genişliği
W_1	Bir fotoğraftaki minimum piksel sayısı
x, y, z	Lokal sistemdeki koordinatlar
X, Y, Z	Global sistemdeki koordinatlar
X_0, Y_0, Z_0	XYZ eksen takımındaki öteleme (ofset reflektör için)
X_c, Y_c, Z_c	Tüm noktaların koordinatlarına göre ağırlık merkezleri
X_i, Y_i, Z_i	Düzlem üzerindeki herhangi bir noktanın koordinatı
X_A	Öteleme uzaklığı
Z_i	Uygun parabolün eksenel uzunluğu
φ	X eksenindeki dönme açısı
θ	Y eksenindeki dönme açısı
ψ	Z eksenindeki dönme açısı
%	Yüzde
$\delta_{rms,z}$	Eksenel yüzey hatası(sapma miktarı)

Kısaltmalar

AETR	Arkası esnek takviyeli reflektör
AHUŞ	Astro havacılık ve uzay şirketi
BFP	Best Fit Paraboloid (İdeal Parabol)
CRFP	Karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit
EMS	Enerji İşletme Sistemi
ESA	Avrupa uzay ajansı
KYMAR	Kabuk yapılı membran anten reflektör
MDF	Orta yoğunluklu lif levha
NASA	Amerikan ulusal havacılık ve uzay dairesi
RF	Radyo frekans
RMS	Yüzey hatası(root mean square)
YNST	Yeni nesil uzay teleskopu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	1/2 Ölçekli membran reflektör modeli a) Reflektörün katlanmış hali b) Reflektörün açılmış hali	8
Şekil 2.2	Pellegrino'nun tasarladığı kaburga destekli membran yapılı reflektör modeli.....	9
Şekil 2.3	KYMAR grubu ölçekli reflektör modeli.....	10
Şekil 2.4	Hughes'in tasarladığı reflektör modeli.....	12
Şekil 2.5	Tam ölçekli arkası esnek takviyeli reflektör konfigürasyonu	13
Şekil 2.6	AETR modelinin açılmış ve paketlenmiş konfigürasyonu	15
Şekil 2.7	Ölçekli olarak imal edilmiş kabuk yüzeyli reflektör ve katlanmış hali.....	16
Şekil 2.8	Tibbalds'ın parçalı tip reflektör modeli ve katlanmış hali	17
Şekil 2.9	İnce kabuk panelli reflektör modelinin açılmış ve katlanmış hali	18
Şekil 2.10	Panellerden oluşan reflektörün açılma esnasında izlediği yol	19
Şekil 2.11	Astro firmasının tasarlamış olduğu ağ yapılı reflektör modeli	21
Şekil 2.12	Shintate ve arkadaşlarının tasarladığı ağ yapılı reflektör modeli.....	22
Şekil 2.13	Tensegrity reflektör modeli	23
Şekil 2.14	Şişirilebilir reflektör modeli	24
Şekil 2.15	Şişirilebilir reflektör modeli ve 3 boyutlu noktalar kümesi	31
Şekil 2.16	Yüzey doğruluğu ölçümü için kurulmuş düzenek ve kamera pozisyonları	32
Şekil 2.17	12 m çapında ön yüklemeli reflektör modeli	33
Şekil 2.18	Katlanıp açılabilen TEMBO reflektör modeli.....	34
Şekil 2.19	0,8 m çapında kabuk yapılı reflektör modeli.....	35
Şekil 2.20	Ka-Bant iletim reflektörleri için hazırlanan fotogrametrik ölçüm düzeneği	36
Şekil 3.1	Projede kullanılacak kameranın belirlenmesi	41
Şekil 3.2	Kamera parametrelerini gösteren pencere.....	41
Şekil 3.3	Fotoğrafların PhotoModeler programa aktarılması.....	42
Şekil 3.4	Kontrol noktalarının otomatik olarak işaretlenmesi.....	43
Şekil 3.5	Fotoğraflardaki hedef noktalarının birbirleriyle eşleştirilmesi.....	44
Şekil 3.6	PhotoModeler programında dengeleme işlemi	45

Şekil 3.7	PhotoModeler programında dengeleme işlemi sonucu oluşan hata miktarı	45
Şekil 3.8	3D noktalar kümesinin oluşturulması	46
Şekil 3.9	Bilgisayar masasının modellenmesinde kullanılan fotoğraf makinesi	47
Şekil 3.10	PhotoModeler programı için hazırlanmış kalibrasyon kalıbı	47
Şekil 3.11	Kamera kalibrasyonu için resim çekim algoritması	48
Şekil 3.12	Bilgisayar masasına yerleştirilen kontrol noktaları	49
Şekil 3.13	Üç nokta yöntemi ile koordinatların girilmesi	50
Şekil 3.14	Merkezcil uydu antenin perspektif bir görünüşü	54
Şekil 3.15	Merkezcil uydu anteni üzerine yerleştirilen hedef noktaları	55
Şekil 3.16	Merkezcil uydu anteninin PhotoModeler programı ile modellenmesi	56
Şekil 3.17	Ofset reflektörün elde edilmesi a) Ofset reflektörün geometrik belirtimi b) Ana parabol üzerinde 3 boyutlu ofset reflektör görüntüsü	58
Şekil 3.18	1/3 Ölçekli ofset reflektör modeli	59
Şekil 3.19	Ofset reflektör üzerine yerleştirilen kontrol noktaların yerleşim planı	60
Şekil 3.20	Kontrol noktalarının reflektör üzerine yansıtılması	60
Şekil 3.21	Kontrol noktalarının reflektör üzerine yapıştırılması	61
Şekil 3.22	Ofset reflektörün tek noktadan asılması	64
Şekil 3.23	Tek noktadan asma için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları	65
Şekil 3.24	Tek noktadan asılarak ölçülen reflektörün ölçeklendirilmesi	66
Şekil 3.25	Ofset reflektörün iki noktadan asılması	67
Şekil 3.26	İki noktadan asma için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları	67
Şekil 3.27	Ölçekli ofset reflektörün iki noktadan serbest asılması	68
Şekil 3.28	İki nokta serbest asma için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları	69
Şekil 3.29	Ölçekli ofset reflektörün üç noktadan serbest asılması	70
Şekil 3.30	Üç noktadan serbest asma için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları	70
Şekil 3.31	Yansıtma yöntemi için kurulan deney düzeneği	71
Şekil 3.32	Yansıtma tekniğiyle reflektörün bir bölümünün modellenmesi	72
Şekil 3.33	Yansıtma yöntemi için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları	72
Şekil 3.34	1/3 ölçekli reflektörün abaqus modeli	73
Şekil 3.35	Kontrol noktası sayılarının yüzey rms hatasına etkisi	74
Şekil 3.36	Kontrol noktalarının erkek kalıp üzerine yansıtılması	76

Şekil 3.37	Kontrol noktalarının erkek kalıp üzerine yapıştırılması.....	76
Şekil 3.38	Erkek kalıbın şekil ölçümleri için kamera pozisyonları ve açıları	77
Şekil 3.39	1/4 ölçekli reflektör modelinin şematik tabakadurumu.....	78
Şekil 3.40	Kontrol noktalarının 1/4 ölçekli reflektör üzerine yapıştırılması.....	79
Şekil 3.41	1/4 ölçekli reflektör için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları.....	80
Şekil 4.1	Tek noktadan asma için elde edilen ortalama piksel hataları.....	85
Şekil 4.2	Tek noktadan asma için elde edilen ortalama sıklık değerleri	86
Şekil 4.3	Tek noktadan serbest olarak asılan 1/3 ölçekli ofset reflektörün analizi ..	87
Şekil 4.4	İki nokta asma için elde edilen ortalama piksel hataları	88
Şekil 4.5	İki nokta asma için elde edilen ortalama sıklık değerleri.....	89
Şekil 4.6	İki noktadan asılan 1/3 ölçekli ofset reflektörün analizi	90
Şekil 4.7	İki noktadan serbest asma için elde edilen ortalama piksel hataları	92
Şekil 4.8	İki noktadan serbest asma için elde edilen ortalama sıklık değerleri.....	92
Şekil 4.9	İki noktadan serbest olarak asılan ofset reflektörün analizi	94
Şekil 4.10	Üç noktadan asma için elde edilen ortalama piksel hataları	95
Şekil 4.11	Üç noktadan asma için elde edilen ortalama sıklık değerleri.....	95
Şekil 4.12	Üç noktadan serbest olarak asılan ofset reflektörün analizi	96
Şekil 4.13	Yansıtma ile elde edilen kontrol noktalarının ortalama piksel hataları.....	98
Şekil 4.14	Yansıtma ile elde edilen kontrol noktalarının ortalama sıklık değerleri ...	98
Şekil 4.15	Kalıp ölçümünde elde edilen ortalama piksel hataları	100
Şekil 4.16	Kalıp ölçümünde elde edilen ortalama sıklık değerleri.....	101
Şekil 4.17	1/4 ölçekli reflektör için elde edilen ortalama piksel hataları	103
Şekil 4.17	1/4 ölçekli reflektör için elde edilen ortalama sıklık değerleri.....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Frekans bant tipine göre kabuledilebilir yüzey hataları.....	27
Çizelge 2.2	6 m çapında Astromesh reflektör için yüzey distorsiyonları	28
Çizelge 3.1	Nokta sayısının yüzey RMS hatasına ve odak uzaklığına etkisi.....	75
Çizelge 4.1	Bigisayar masasının kontrol noktalarının x,y ve z'ye göre sapma miktarları.....	82
Çizelge 4.2	Merkezcil uydu anteninin kontrol noktalarının x, y ve z'ye göre sapma miktarları.....	83
Çizelge 4.3	Tek noktadan asamada kontrol noktalarının x,y ve z'ye göre sapma miktarları.....	84
Çizelge 4.4	Tek noktadan asılarak ölçülen reflektörün yüzey RMS hatası	86
Çizelge 4.5	İki noktadan asamada kontrol noktalarının x,y ve z'ye göre sapma miktarları.....	88
Çizelge 4.6	İki noktadan asılarak ölçülen reflektörün yüzey RMS hatası	89
Çizelge 4.7	İki noktadan serbest asamada kontrol noktalarının x,y ve z'ye göre sapma miktarları.....	91
Çizelge 4.8	İki noktadan serbest asılarak ölçülen reflektörün yüzey RMS hatası	93
Çizelge 4.9	Üç noktadan serbest asmada kontrol noktaların x,y ve z'ye göre sapma miktarları.....	94
Çizelge 4.10	Üç noktadan serbest asılarak ölçülen reflektörün yüzey RMS hatası.....	96
Çizelge 4.11	Yansıtma için belirlenen kontrol noktalarının x, y ve z'ye göre sapma miktarları.....	97
Çizelge 4.12	Yansıtma yöntemiyle ölçülen reflektörün yüzey RMS hatası değerleri .	99
Çizelge 4.13	Kalıp ölçümü için belirlenen kontrol noktalarının x, y ve z'ye göre sapma miktarları.....	100
Çizelge 4.14	1/4 ölçekli reflektörün kontrol noktalarının x, y ve z'ye göre sapma miktarları.....	102

1. GİRİŞ

Büyük boyutlu ve yüksek hassasiyetli reflektörler, uydu haberleşme sistemleri ve astronomik araştırmalar için son derece önemli yapılardır. Bu tür yapıların imal edilmesi etkili bir Şekil kontrolü gerektirmektedir. Günümüzde, büyük boyutlu sayılabilecek çok ince uzay yapılarının Şekil ve dinamik ölçümleri gerçekleştirmek için yeni yöntemler geliştirilmektedir. Fotogrametri tekniği de bu yöntemlerden biridir. Fotogrametri, bir cismin fotoğraflarını kullanarak üç boyutlu Şeklini, boyutunu ve konumunu belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Büyük boyutlu uzay yapılarının üzerine kontrol noktaları yapıştırılarak yapının üç boyutlu ölçümünü fotogrametri tekniği ile gerçekleştirmek mümkündür. Bu tekniğin en önemli özelliği, cismin ayrıntılı olarak tam bir görünümünü verebilmesidir. Fotogrametri tekniğinin uzay yapıları gibi mühendislik uygulamalarında kullanılmasıyla önemli olan veri kaybı ve zaman gibi etkenler minimum seviyelere indirilmiştir.

Reflektörlerde sinyal kayıpları az olan radyo dalgalarını yansıtacak bir yüzeyin olması tercih edilir. Temel olarak yeterli yüzey hassasiyeti doğru malzeme seçimi ve uygun tasarım konsepti oluşturulduğu zaman sağlanabilir. İyi bir reflektif yüzey, anten performansını doğrudan etkiler. Anten performansı tasarlanan yapının yüzey doğruluğuna, reflektif yüzeyin yansıtma kalitesine, termal etkilere, yerçekimine ve uydunun konumlandırılması sırasında uzayda maruz kalacağı etkilere bağlı olarak değişir. Reflektörlerde yansıtıcı yüzeyin ideal Şeklinden sapması anten performansının düşmesine neden olur. İyi yapılmış bir Şekil kontrolü reflektörlerin yüzey deformasyonlarının belirlenmesine ve bunların düzeltilmesine olanak sağlar.

Reflektörlerde, yapının ideal Şeklinden sapmasının nedeni, üretim hataları ile birlikte, reflektif yüzey hatalarının belirlenen toleranslar içerisinde olmaması veya doğa olaylarından kaynaklanabilecek termal etkiler, rüzgar etkileri ve yerçekimidir. Reflektif yüzeydeki kabul edilebilir sapma miktarı reflektör boyutuna ve kullanılacak göreve göre de değişim göstermektedir. Başka bir ifadeyle, yüzey doğruluğu daha kötü, büyük çaplı bir reflektör kendisinden daha küçük, buna karşılık yüzey doğruluğu iyi olan bir reflektörlerle aynı verimliliği sağlayabilir (Tibert 2002). Fakat asıl önemli olan bu

reflektörlerin gerçek kullanım koşullarında gösterdiği performanstır. İletişim hizmetlerinin son yıllarda kullanım oranının hızlı bir şekilde artış göstermesi daha hızlı ve kaliteli veri iletimini beraberinde getirmiştir. Görev performansı açısından daha büyük boyutlarda uzay yapılarına ihtiyaç duyulması araştırmaların son yıllarda artmasına neden olmuştur. Bu araştırmaların çoğu yapısal şekil kontrolü üzerine yapılmış ve bu çalışmalarda fotogrametri tekniği esas alınmıştır (Tanaka 2010).

Günümüzde uzay yapılarının şekil, dinamik ve titreşim analizlerini gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çoğu hedefe ulaşmasına rağmen, son derece maliyetlidir. Fotogrametri tekniği, fotoğraflar modelleme yapıldığı için üç boyutlu tarama ve modelleme programlarına nazaran çok daha ucuzdur. Bu çalışmada; basit dokümalı karbon fiber ve epoksi reçine malzemesinden imal edilmiş, hafif, düşük hacme paketlenen, 1,5 ve 2 metre çapında katlanıp açılabilen reflektörler üzerinde yapılan şekil ölçümleri sunulmuştur. Üretimi gerçekleştirilen reflektörler çok ince kabuk yapısına sahiptir. Reflektörlerin yapısal bütünlüğünü koruyabilmesi için reflektif yüzeyi çevreleyen bir etek bağlantısı yapılmıştır. Ön çalışma olarak iki farklı cisim(bilgisayar masası ve merkezci uydu anteni) ele alınmıştır. Fotogrametrik ölçümü yapılan cisimlerin belirlenen açılardan fotoğrafları çekildikten sonra, PhotoModeler yazılımı kullanılarak cisim üzerine yerleştirilen kontrol noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Sonrasında, ölçüm sonucu elde edilen koordinat değerleri ele alınarak bu noktalara mümkün olduğu kadar yakın geçecek bir fonksiyon eğrisi elde edilmiş ve yapıların yüzey doğruluğu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak, reflektif yüzey üzerinde yerçekiminden kaynaklanan deformasyonları tahmin etmek için reflektörün çeşitli bağlantı koşullarında yüzey RMS hatası değerleri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Açılabilir Yapılar

Açılabilir yapılar istenildiğinde özerk bir şekilde kendi şeklini kolaylıkla değiştirebilme yeteneğine sahip yapılar olarak bilinirler. Geleneksel yapıların aksine hafif olmaları, basit parça ve mafsallardan oluşmaları, kolay paketlenebilme ve yüksek katlanma kabiliyetleri nedeniyle uzay uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılırlar. Genellikle küçük hacme paketlenebilme, gerektiğinde de tekrar eski şekillerine dönme avantajlarıyla taşıma ve depolamanın önemli olduğu uzay uygulamalarının vazgeçilmez yapılarıdır.

Katlanıp tekrar açılabilen yapıların hem dünya uygulamalarında hem de uzay uygulamalarında; özellikle inşaat, makine, havacılık ve uzay mühendisliklerinde bilinen pek çok örneği bulunmaktadır. Çadırlar, şemsiyeler, güneş panelleri, uzay antenleri ve reflektörler bilenen en iyi örnekler olarak sıralandırılabilir. Günümüzde katlanabilir yapıların özellikle inşaat mühendisliğinde büyük spor stadyumlarının katlanıp açılabilir çatılarında kullanılmasında ve uzay uygulamalarında da küçük hacme paketlenen büyük çaptaki uzay antenlerinin temel olarak uzaya götürülme sorunlarının ortadan kaldırılmasında kullanılmaktadır.

Açılabilir yapılar, eski Sovyetler Birliğinin uzaya 1957'de dünyanın ilk yapay uydusu olan Sputnik I uydusunu göndermesinden beri kullanılmaktadır (Tibert 2002). Küre şeklinde bir gövdesi ve bundan ayrılan 2,4 ve 2,9 m uzunluğunda dört anteni bulunan bu uydunun ağırlığı yaklaşık 80 kg, çapı ise 58cm'dir. 20 ve 40 MHz gücünde iki radyo vericisi bulunan dünyanın ilk yapay uydusu, iyonosferdeki elektron yoğunluğu ölçümlerinde kullanılmıştır. Uydu çeperinin bir gök taşı ile delinip delinmediğini takip etmek için uydunun iç basıncı ve sıcaklığı yeryüzünden sinyallerle kontrol edilmiştir. Uydunun basınçlı iç bölgesi azot gazıyla doldurulmasına rağmen, yörünge sırasında uydu çeperinin hiç delinmemesi gelecekteki uzay uçuşları için dünya yörüngesinin güvenli olduğunu kanıtlamıştır (İnt.Kyn. 1).

Başlangıçta; tüm uzay yapıları, fırlatma araçlarının sınırlı kapasiteleri nedeniyle hedeflenen büyüklükten çok daha küçüklerdi. Görev performansı açısından daha büyük boyutlarda uzay yapılarına ihtiyaç duyulması araştırmaların son yıllarda artmasına neden olmuştur. Yakın gelecekte fırlatma araçlarının kapasiteleri değişmeden kalması, bununla birlikte çok büyük boyutlarda uzay yapılarının imal edilmesi düşünülmektedir. 25 m çapında Yeni Nesil Uzay Teleskopu (YNUT) bu boyutlardaki uzay araçlarına bir örnek olarak verilebilir (Lake 2001).

1960'lı yıllardan beri uzay araçlarının tasarımında kullanılması düşünülen yapılar üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Uzaya gönderilmesi düşünülen yapıların uzay koşullarında maruz kalacağı etkiler yeryüzü şartları ile aynı değildir. Araştırmacılar tasarımlarında kullanacakları malzemeleri, yapıların maruz kalacağı etkileri göz önüne alarak seçerler. Bu malzemeler yüksek teknoloji ürünü olan malzemelerdir. Ayrıca bu malzemelerden oluşturulan yapılar, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) gibi uluslar arası uzay kuruluşlarının çalıştığı kritik teknolojilerden biridir (Soykasap 2011).

Tüm açılabilir yapıların tasarımında en önemli noktalardan biri paketlenmiş yapı ile açılmış yapı arasında büyük hacim farkıdır. Açılabilir yapılar paketlenme esnasında diğer yapılara nazaran daha büyük yüklere dayanarak minimum hacme paketlenirler. Açılma esnasında ise sadece düşük olan yörünge yüklerine maruz kalabildikleri gibi, kendi içlerinde depoladıkları enerjiyle, yörüngede istenilen şekli alabilirler. Akıllı yapılar olarak sınıflandırılan açılabilir yapılar, içerisinde barındırdıkları muhteşem özellikleri ile geleceğin popüler çalışma alanlarından biri olmaya adaydırlar (Tibert 2002).

2.2 Açılabilir Uzay Yapıları

Geçmişten günümüze kadar boyutları fırlatma araçlarının kapasitelerinden büyük uzay yapılarının uzaya götürülebilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Büyük açılabilir uzay yapıları için genellikle yüksek katılık/kütle oranı, uzaya götürülebilmesi için küçük hacme paketlenmesi 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 (Soykasap et al. 2004, Soykasap 2006). Fırlatma maliyetleri bir uzay yapısının kendi görevinin toplam maliyeti içerisinde önemli yer tutmaktadır. Bazı durumlarda tasarlanan yapıyı fırlatmak için harcanacak miktar yapının kendi maliyetini dahi aşabilir. Bu durum uzaya taşıma maliyetinin kilogram başına 10 000-25 000\$ olduğu göz önüne alındığında oldukça önemli bir konudur (Soykasap 2011). Fırlatma maliyetleri kullanılacak fırlatma aracına, yörüngeye ve fırlatmanın yeryüzünde nereden yapılacağına bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilir. Uydunun atılacağı yörüngenin yüksekliği ve konumuna göre fırlatma aracının harcayacağı yakıt miktarı aynı değildir. Yörünge ne kadar yüksekse o kadar fazla yakıt harcanacak, daha büyük fırlatıcı kullanılacak ve buna bağlı olarak da maliyet artacaktır (İnt. Kyn. 2). Fiyatlar arasında büyük farklılıklar olduğundan fırlatıcı seçerken sadece fiyata değil aynı zamanda fırlatma yerinin konumu, fırlatıcının teknik ve yapısal özellikleri ve en önemlisi de fırlatıcının güvenilirliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu maliyetleri değiştirme imkânı çok fazla olmadığı için tasarlanan yapıyı mümkün olduğu kadar hafif ve rijit seçmek aynı zamanda küçük hacme paketlemek uzay yapılarında çalışan en önemli konuların başında gelmektedir.

Son yirmi yıl içerisinde açılabilir uzay yapıları üzerinde önemli derecede araştırmalar yapılmıştır. İncelenen yapılar arasında bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Bu yapıların bazıları katlanırken oluşturdukları enerjiyi depolayarak açılma esnasında kullanırken diğerleri, açılma esnasında ekstra bir yapıya ihtiyaç duyarlar. Kendi enerjisini depolayamayan yapılar, açılma esnasında motor gibi başka bir mekanizma tarafından uyarılması gerekmektedir. Pellegrino vd. (2000)'ne göre, açılabilir uzay yapılarının tasarımında en önemli noktalardan biri yapının açılma esnasında yapısal bütünlüğünü koruyabilmesidir. Ona göre seçilen birçok yapı uzay şartlarındaki yüklere dayanabilse bile, bu yapılardan tamamen açılana kadar tam bir rijitlik elde edilemeyebilir. Açılabilir uzay yapıları üzerine o kadar çok araştırma yapılmasına rağmen, bazı göz ardı edilemeyen hatalara hala çözüm bulunamamıştır. Tibert (2002)'e göre, bir yapının uzayda hacminin küçülmesi veya daralması performans açısından önemli değildir fakat özellikle fırlatma maliyetleri düşünüldüğünde göz ardı edilmemesi gereken bir konudur.

Uzay yapılarda meydana gelen hatalar düzeltilmesi zor ve maddi açıdan da pahalı hatalardır. Bu yapılarda çözülemeyen hataların büyük bir kısmı yapının davranışlarının tam anlamıyla bilinmemesinden kaynaklanmaktadır (You and Pellegrino 1994).

Havacılık ve uzay uygulamalarında açılabilir uzay yapıların üç ana çeşidi bulunmaktadır (Tibbert 2002). Bunlar;

- Açılabilir çubuklar
- Uzay antenleri
- Güneş Panelleri'dir.

Açılabilir çubuklar uzayda genellikle aynı frekansta iki titreşim dalgasının çakışması sonucu oluşan engellemeyi azaltmak amacıyla elektronik dalgaları ayırmak için veya uzay yapılarını desteklemek amacıyla kullanılırlar. Bu yapılar, ince cidarlı kompozit tüpler, boru şeklinde katlanabilir çubuklar, iç içe geçebilen çubuklar ve mafsallı çubuklar olarak sınıflandırılabilir (Mikulas and Thomson, 1994, Zwanenburg 1984). Uzay antenleri sadece dünya ile iletişim kurmak için değil, aynı zamanda astronomik çalışmalar ve dünya gözleme görevleri içinde kullanılırlar. Farklı görevler için birkaç çeşit uzay antenine ihtiyaç duyulabilir. Mevcut birçok anten türü arasında parabolik anten türü yüksek verimliliği nedeniyle bilinen en iyi ve düşük güçte yüksek veri aktarımı sağlayan en verimli antendir (Sultan 1999). Güneş panelleri ise üzerinde güneş enerjisini soğurmaya yarayan birçok güneş hücresi bulunduran enerji kaynaklarıdır. Bir güneş hücresinin performansı verimi ile ölçülmektedir (Pellegrino 1995).

2.3 Açılabilir Reflektör Antenler

Açılabilir reflektör antenler üzerine bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır. Freeland (1982), Roederer ve Rahmat-Samii (1989), Rogers (1993), Mikulas ve Thomson (1994), Pellegrino (1995), Hachkowski ve Peterson (1995) gibi bilim adamlarının yaptığı çalışmalar bilinen en temel örnekler olarak verilebilir. Freeland, Mikulas ve Thomson sadece Amerika'da yapılan çalışmalar üzerine odaklanırken özellikle

Pellegrino Amerika, Avrupa ve Japonya’da yapılan birçok açılabilir reflektör konseptleri üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. Hachkowski ve Peterson ise sadece reflektör konseptleri üzerinde değil, aynı zamanda anten ve farklı uzay yapılarının hassasiyetleri üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Son yıllarda bu çalışmalara ek olarak daha birçok çalışma yapılmasına rağmen, henüz temel konseptleri geride bırakacak yeni bir konsept geliştirilememiştir.

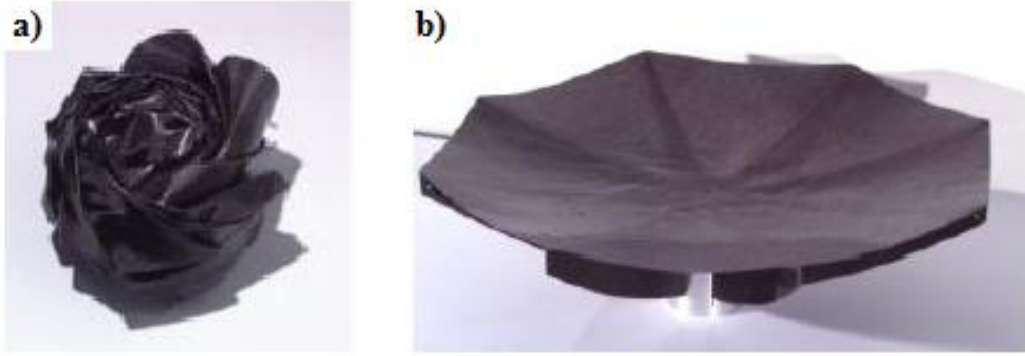
Büyük açılabilen uzay yapıları için uygulama amacına göre farklı konseptler vardır. Farklı tip ve boyuttaki reflektörlerin birbirlerine göre pek çok avantajları veya dezavantajları vardır. Bunların seçimi genellikle uzay görevleri ve geometrik büyüklüklere bağlıdır. Uzay uygulamalarında kullanılan açılabilir yapılardan beklenen özellikler yapısal rijitlik, katlanabilme kabiliyeti, tekrar açılabilme güvenilirliği, hafiflik, fırlatma ve yörünge yüklerine karşı dayanım olarak sıralandırılabilir. Bu gereksinimleri sağlamak üzere yansıtıcı yüzeyin cinsine göre çeşitli reflektör konseptleri vardır (Soykasap 2006). Önceden tasarımı yapılmış ve şu anda yörüngede olan reflektör tipleri yansıtıcı yüzeyin cinsine göre; membran yüzeyli reflektörler, ağ yapılı katlanabilir reflektörler, katlanabilir kabuk yapıdaki reflektörler, katı yüzeyli reflektörler, şişirilebilir veya hibrit şişirilebilir reflektörler olarak sıralandırılabilir. Bundan sonraki bölümde bu reflektör tipleri üzerine yapılan literatür çalışmaları sunulmuştur.

2.3.1 Açılabilir Reflektör Konseptleri

2.3.1.1 Membran Yapılı Reflektörler

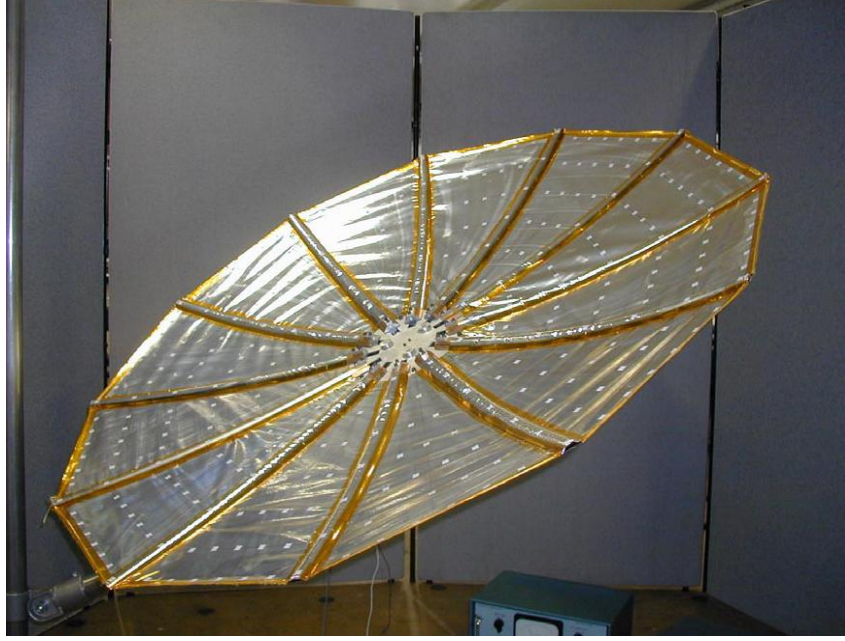
Açılabilir reflektör tiplerinin en çok bilinenlerinden biri olan membran yapılı reflektörler hafif, ince ve metalik mesh yapısı ile örülmüş yansıtıcı membran yüzeyden oluşurlar. Açılabilir mesh yapılı antenlerin membran yapının desteklemesine göre birçok konfigürasyonları mevcuttur (Mikulas and Thomson 1994). Genel olarak yansıtıcı yüzey membran yapısına sahip olup, bu yüzey kaburgalarla desteklenmekte ve bu yapılara ön gerilme verilerek membranın rijitliği sağlanmaktadır. Membran yüzeyli reflektörler düşük kütleyle sahipken, ana problemlerden biri yansıtıcı yüzey hatalarının

büyük olmasıdır (Soykasap 2011). Baier vd. (2001) yaptıkları bir çalışmada, yüksek hassasiyetli büyük katlanabilir uzay reflektör grupları için membran yüzeyli yapıları araştırarak yeni bir konsept önermişlerdir(Şekil 2.1). Reflektör destek yapısının (yansıtıcı yüzeyin alt tarafının) ek olarak halkalı kaburgalar ile kombine edilmiş radyal tek şeritli kaburgalardan ve gergin membran yapıdan oluşan reflektör tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma ile düşük kütle ve daha iyi yüzey hassasiyeti elde etmek, uygulanabilir farklı tasarım esnekliği ve yansıtıcı membran yapılar ile şekil kontrolü sağlamayı hedeflemişlerdir. Yapılan tasarım ile kontrollü katlanabilirlik sağlanmış ve önerdikleri tasarımın dizayn esnekliği sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 2.1 1/2 ölçekli membran reflektör modeli a) Reflektörün katlanmış hali b) Reflektörün açılmış hali (Baier 2001)

Membran yapıli reflektörler ile ilgili Pellegrino (2002) yapmış olduğu çalışmada çok amaçlı açılabilir membran yapıli reflektör konsepti geliştirilmiştir (Şekil 2.2). 1,5 m çapında olacak şekilde reflektör modeli oluşturularak açılma davranışı ve yüzey hassasiyeti deneysel olarak analiz etmiş ve yüzey hataları belirlemiştir. Yüzey hataları hem simetrik konfigürasyon hem de ofset konfigürasyon için bulunarak birbirleri ile kıyaslamıştır. Ön gerilmeli membran yapılar için doğal frekans değerlerini hesaplamıştır. Doğal frekans değerlerini bulmak için düzgün şekiller kullanılarak sonlu elamanlar modeli oluşturmuş ve elde ettiği sonuçlar analitik çözümler ile karşılaştırmıştır. Oluşturduğu modelin yüzey hassasiyetini bilgisayar kontrollü elektronik ölçüm aletiyle ölçmüş ve yüzey hatasını 2 mm olarak bulmuştur. Tekrarlı katlama ve açılma testleri yapılarak en iyi katlama konfigürasyonunu belirlemiştir.

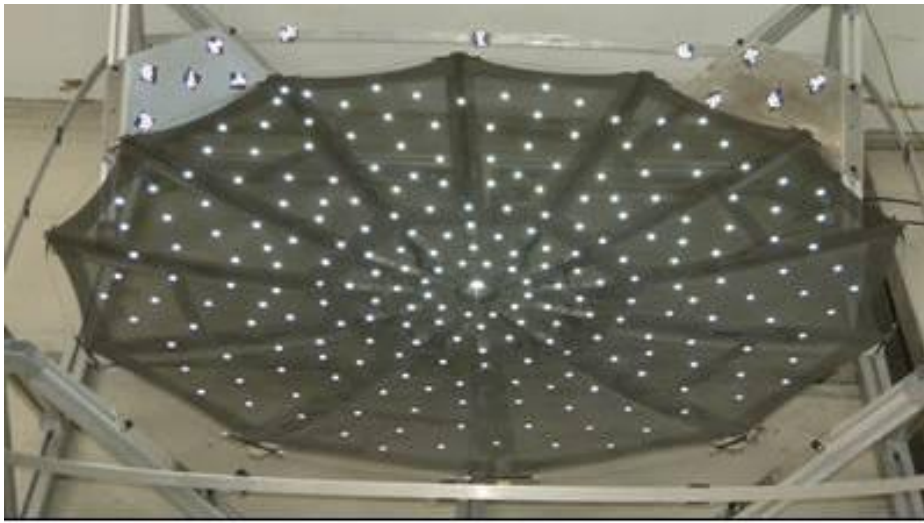


Şekil 2.2 Pellegrino'nun tasarladığı kaburga destekli membran yapılı reflektör modeli (Pellegrino 2002)

Datashvilli vd. (2005) yaptıkları çalışmada, karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit malzemeden yapılmış Kabuk Yapılı Membran Anten Reflektör Teknolojisi (KYMAR) reflektör grubu için yeni bir reflektör geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, reflektörün laboratuvar modelini oluşturarak termo-mekanik özelliklerini ve radyo frekans değerlerini belirlemek için yaptıkları testleri sunmuşlardır. Reflektörün termo-elastik davranışını ve dinamik analizlerini belirlemek için sonlu elamanlar modelini oluşturmuşlardır. 6 m çapında ofset reflektör konfigürasyonu kullanılarak ön gerilmeli durum için sonlu elamanlar modeli oluşturularak mod şekillerini, burkulma analizini, rijitlik optimizasyonu ve termo-elastik analizini incelemişlerdir. Termo-elastik analizini belirlemek için toplam olarak 10 termal yük durumu tanımlamışlar ve bütün yük durumları için Ansys programı kullanılarak termal deformasyonları hesaplanmışlardır. Ayrıca reflektif yüzeyin Root Mean Square (RMS) yüzey hatalarını belirlemişlerdir. Destek elemanlarının burkulmasını bertaraf etmek ve ön gerilmeli yapıların yüzey RMS'ni azaltmak için hafif yapılar enstitüsü tarafından geliştirilen optimizasyon programı kullanılarak rijitlik optimizasyonu yapılmıştır.

Datashvilli ve Baier (2009)'in KYMAR reflektör grubu için yaptıkları başka bir çalışmada membran yapılardan oluşturulmuş reflektörleri ele almışlardır. Bu reflektörler

temel olarak yeni geliştirilmiş karbon fiber ile güçlendirilmiş silikon kompozit malzemelerden oluşturulmuştur (Şekil 2.3). Reflektörde membran yapıların kullanılması hafiflik, diğer konseptlere göre kolay paketlenabilirlik ve katlanıp açılabilirlik sağlamakla birlikte, mekanik olarak yeniden düzenlenmeye olanak sağlamaktadır. Temel olarak yeterli yüzey hassasiyeti doğru malzeme seçimi ve uygun tasarım konsepti oluşturulduğu zaman sağlanabilir. Yaptıkları çalışmada, KYMAR'lerde membran yapılar kullanılarak hem rijitlik hem yüzey hassasiyeti sağlamak amaçlanmış, yapılan çalışmalar sonucunda karbon fiber ile güçlendirilmiş silikon ile mekanik ve uygun yüzey özellikleri oluşturulmuştur. Şekil doğruluğu ölçümleri laboratuvar şartlarında parabolik uçak uçuşları üzerinden yapılan testlerle tartışılmıştır. 6-12 m çapında reflektör konsepti için bir laboratuvar modeli oluşturularak yüzey performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Telekomünikasyon dünya gözlemleme ve uzay görevleri için geliştirilen membran reflektörün L ve Ku-Bant frekanslarını destekleyebileceği, 20-25 m çapa kadar reflektörün üretilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca yüzey hassasiyetinin 1 mm ile 0,5 mm, hatta daha düşük çaplar için daha iyi yüzey hassasiyeti elde edilebileceği, ihtiyaçlar doğrultusunda yüksek tasarım esnekliği ve uyarlanabilirlik sağlayacağını belirlemişlerdir. Açılma ve katlanma testleri yapılarak paketlenimle kabiliyeti ve güvenilebilirliği ispatlanmıştır. Sonlu elemanlar modeli oluşturularak, ön gerilme, burkulma ve rijitlik testleri, termo-elastik analizler yapmışlar ve mod şekillerini belirlemişlerdir.



Şekil 2.3 KYMAR grubu ölçekli reflektör modeli (Datashvilli and Baier 2009)

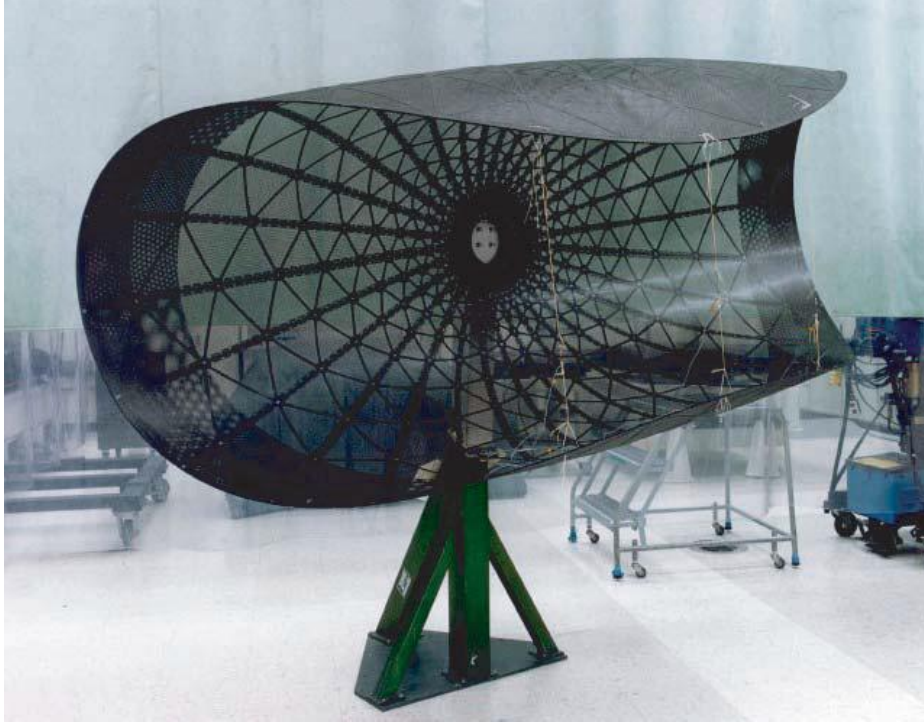
Kishimoto vd. (2006) membran reflektör gurubu üzerine yaptıkları bir çalışmada, uzay antenleri, güneş yelkenleri ve güneşsel uydular gibi büyük uzay yapıları için membran yapılardan oluşturulan kompakt olarak paketlenen ve uzaya kolay uyum sağlayabilen çeşitli konseptleri incelemişlerdir. Doğadaki yapı sistemleri ve uzay yapıları morfolojik değişimler doğrultusunda incelenmiştir. Radyasyon, tekrarlı katlanıp açılabilme ve yerçekimi kuvvetleri gibi morfolojik değişimlerin etkileri üzerinde durmuşlardır. Özellikle kelebek, yusufçuk böcekleri ve ağustos böceklerinin başkalaşımını inceleyerek yeni katlanıp açılabilen bir membran yapılı reflektör konsepti geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada katlanma açılma davranışını nümerik sonuçlar ile sunmuşlardır. Uzaya gönderilen yapılardaki ağırlık sınırlamasından dolayı uygun katlanma davranışlarını analiz edilerek uygun katlama konfigürasyonu belirlemişlerdir.

2.3.1.2 İnce Kabuk Yapılı Reflektörler

Günümüzde üzerinde en fazla çalışma yapılan reflektör tiplerinden biri olan açılabilir ince kabuk yapılı reflektörlerde yansıtıcı yüzey, ince kabuk yapısına sahip olup, bu yüzeyi destekleyen parçalar yüzeyin katlanması ve açılmasına izin verecek şekilde tasarlanmaktadır. Genel olarak katı yüzeyli reflektörlerde yansıtıcı yüzey rijit kabuk yapısına sahiptir. Genellikle katlanabilmesi için panel yapılar kullanılmaktadır. Panel yapılar birbirine menteşelerle bağlı olup, reflektör oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu tip yapılar yüksek yüzey hassasiyetine sahip olmalarına rağmen yüksek kütle ve açılabilmesi için karmaşık bir mekanizmaya gereksinim duymaktadır. Şekil değiştirebilen ince kabuk yapılı reflektörlerin ise yüzey hataları diğerlerine nazaran daha iyidir (Soykasap 2006). Bu bölümde ince kabuk yapılı reflektörler üzerine yapılan literatür çalışmaları sunulmuştur.

İnce kabuk yapılı reflektör grubundan olan arkası esnek takviyeli reflektör (AETR) konsepti, Hughes Uzay ve İletişim Şirketi tarafından diğer konseptlerden tamamen farklı olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu reflektör konsepti elastik olarak katlanabilen, kenarları boyunca takviye elamanları ile desteklenmiş ince yansıtıcı yüzeyden oluşmaktadır(Şekil 2.4). Tasarlanan bu reflektörün katlanmış hacmi diğer antenler ile karşılaştırıldığında oldukça büyük, reflektör yüksekliği ise neredeyse reflektör çapı ile

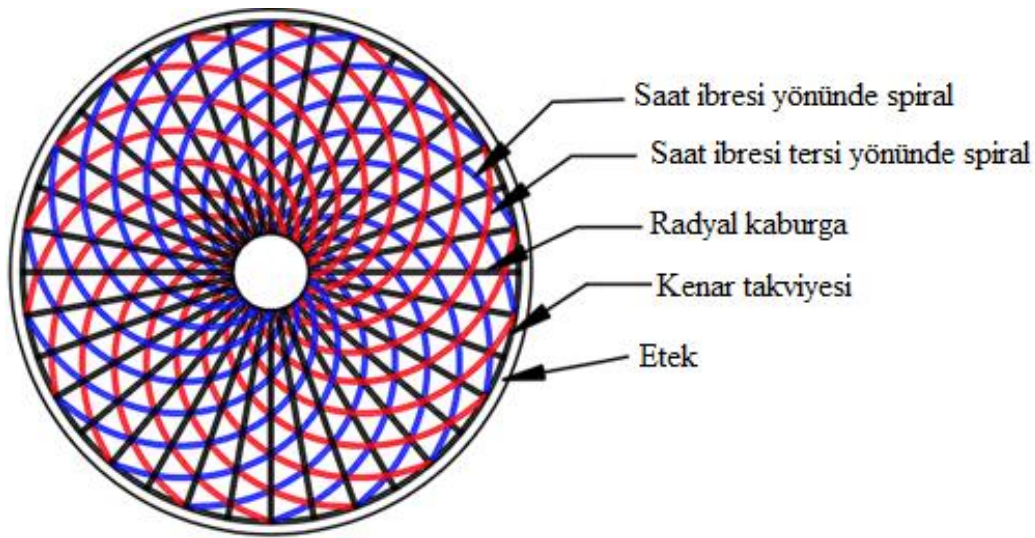
aynıdır. Yörüngede reflektörün açılması, reflektör uçlarından bağlanan kabloların kesilmesi ve katlanma esnasında depolanan elastik enerji ile gerçekleşir. AETR ilk kez 1996 yılında uzaya gönderilen MSAT-1 mobil uydusunda kullanılmıştır. Bu reflektör modeli 20 kg ağırlığında, 6,8 ve 5,25 m boyutlarında elips şeklindedir (Miura1993).



Şekil 2.4 Hughes'in tasarladığı reflektör modeli (Tan and Pellegrino 2004).

Baier vd. (2007) ince kabuk yapılı reflektörler üzerine yaptıkları bir çalışmada, büyük boyutlu reflektör antenlerini incelemişlerdir. ESA tarafından desteklenen bu teknik çalışma, 4-8 m çapındaki Ku-bant frekans aralığındaki reflektör antenlerin mekanik testleri, nümerik analizleri, modal analizleri, radyo frekans (RF) analizleri, yüzey doğruluğu analizlerini ve termal analizlerini içermektedir. Projede dört farklı reflektör konsepti birbirleriyle karşılaştırılmışlar ve bu konseptler arasından arkası esnek takviyeli reflektörün tasarımını ve mekanik performans analizlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar ile bu reflektörün; uçları katlanabilen panel reflektör, ince kabuk panelli reflektör ve kaburgalı membran reflektör konseptlerine göre mekanik performans ve maliyet açısından daha üstün olduğunu saptamışlardır.

Soykasap ve Tan (2007) yaptıkları çalışmada, tam ölçekli hali 6 m çapında arkası esnek takviyeli ofset reflektör tasarlayarak 0,8 m çapında bir modelini üretmişlerdir. Yaptıkları çalışmada arkası esnek takviyeli reflektörün fizibilite ve kullanılabilirliğini göstermenin yanı sıra, büyük ölçekli ofset modelinin reflektör antenleri için gerekli olan yüksek hassasiyetli iletişimi ve gerekli olan diğer özellikleri karşılayabileceğini göstermişlerdir. AETR kenarlar boyunca elastik, katlanabilir, yekpare ve karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit bir kabuktur. Reflektör 36 adet radyal olarak destekleyici ile güçlendirilmiştir. Bunların 18'i saat yönünde desteklenmiş diğer 18'i ise saat yönünün tersi yönünde reflektörü desteklemektedir (Şekil 2.5). Katlanabilir reflektör malzemesinden olan etek yapısı ile reflektörün genel rijitliliği büyük ölçüde artmaktadır ve aynı zamanda bu yapı elastik olarak paketlenabilmektedir. Üretilen reflektörün 25,5 kg kütleye, termal sapmalara karşı 3,5 mikron maksimum RMS değerine ve 1,66 Hertz (Hz) doğal frekansa sahip olduğu saptamışlardır. Bu çalışmalara ilave olarak reflektörün mekanik performansını belirlemek için Abaqus programında sonlu elemanlar modeli oluşturmuşlar, termo-elastik, doğal frekans, burkulma ve dinamik analizleri yapmışlardır. Tasarlanan bu reflektörün; uçları katlanabilen reflektör, ince kabuk panelli reflektör ve kaburgalı membran reflektör konseptlerine göre mekanik performans, düşük kütle ve maliyet açısından üstün olduğunu tespit etmişlerdir. Özellikle arkası esnek takviyeli reflektör tek parça olarak karbon fiber takviyeli plastikten imal edilebilmekte ve üretim kolaylığı sağlamaktadır (Soykasap 2005).

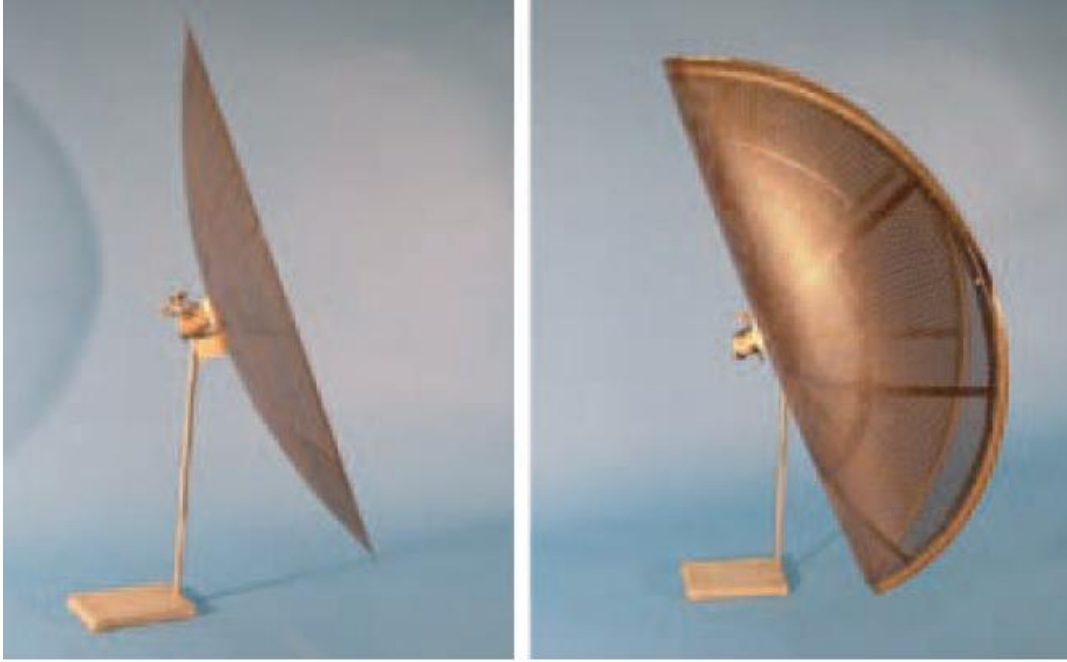


Şekil 2.5 Tam ölçekli arkası esnek takviyeli reflektör konfigurasyonu (Soykasap and Tan 2007)

Tan ve Pellegrino (2004) yaptıkları bir çalışmada, reflektörün toplam kütesinin %10'undan daha az bir kütleyle sahip kenar destekleyicisinin, açılmış haldeki reflektörün yumuşak deformasyon modundaki rijitliğini 48 kat daha arttırdığını ve doğal titreşim frekansını 6,8 kat arttırdığını göstermişlerdir. Bu değerler 4,6 m çapında ve odak uzaklığı oranı 0,28 olan bir parabolik reflektör için yapılacak olan kenar güçlendiricinin optimize edilmiş tasarımına göre esas alınmıştır. Üretim işlemi esnasında artan soğuma gerilmelerine bağlı olarak karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit (CFRP) yapılarda oluşan büyük sapmalar yüzey hassasiyetini azaltmaktadır. Tasarlanan kenar güçlendiriciler üzerinde yapılan analizler, yüzeyde oluşan üretim kaynaklı hassasiyet kaybını azalttığını göstermiştir. Diğer bir çalışmada, reflektör etrafına katlanabilir kenar takviyesi ile bu tür yapıların rijitliğini artırmak için genel bir konsept sunmuşlardır. Kenar takviyeli ve takviyesiz, ince kabuklu reflektör yapısının deformasyon modu ile ilgili analitik bir ifade (frekans/rijitlik) kullanmışlardır. Katlanma esnasında kenar takviyeleri elastik olarak katlanmaktadır. Bu davranış kenar takviyesi içinde veya reflektör ile kenar takviyesi arasında uygun hale getirilerek sağlanmıştır. Kenar takviyesi için farklı seçenekler ele alınmış ve belirli bir düzen seçerek optimize edilmiştir (Tan and Pellegrino 2004, 2006).

AETR üzerine yapılan bir diğer çalışmada Tan vd. (2005), Tan ve Pellegrino'nun yaptıkları tasarım konseptine göre, 0,8 m çapında bir model üreterek üzerinde çeşitli testler yapmışlardır. 0,8 m çapında ölçekli model, kalınlığı 0,13 mm olan üç eksenli karbon fiber malzemeden üretilmiştir. Bu çalışmalarında AETR konseptinin uygunluğunu ve kullanılabilirliğini deneysel ve analitik olarak araştırmışlardır. Katlanabilirlik testleri yapılarak reflektörün paketlenme davranışlarını incelenmişlerdir. Yapılan testler sonucunda, 12 Hz frekans değerine ve 0,78 mm yüzey hassasiyetine sahip, ağırlığı 100 gr'dan daha düşük olan bir reflektör tasarımını seçmişlerdir. Yaptıkları bir diğer çalışmada ise; herhangi bir tahrik elamanı olmadan (motor, menteşe gibi), kendi depoladığı enerjisi ile açılabilen, kompakt olarak katlanan bir reflektörün tasarımını ve mekanik deneyleri sunmuşlardır. Tan vd. (2007) yaptığı bu çalışmada kompakt olarak katlanan, hafif, yeterli yüzey hassasiyetine sahip, yarıklı (oluklu) ince kabuk yapılı bir reflektör geliştirmiştir. Yaptığı testler sonucunda geliştirdiği bu reflektörün şu ana kadar geliştirilmiş ve en iyi performans verdiği düşünülen diğer

kabuk reflektör modellerine göre %50 oranında daha iyi performans verdiğini ve aynı zamanda katlanabilme oranının ise %35 daha iyi olduğunun sonucuna varmışlardır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 AETR modelinin açılmış ve paketlenmiş konfigürasyonu (Tan et al. 2005)

Soykasap ve Pellegrino (2004) yaptıkları bir çalışmada, dünyayı gözlemleme görevi için gerekli olan düşük maliyetli L-bant iletişim kabiliyeti yüksek yeni bir açılabilir reflektör konsepti geliştirmişlerdir (Şekil 2.7). Bu konsept bir besleme dizisi ve ofset parabolik silindir şekline sahiptir. İçi boş katıdan oluşan yeni konsept, köşeleri boyunca esnek menteşeler ile bağlanmış ve karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit ince levhalardan oluşmaktadır. Önerilen bu yapı, ince duvarlı kutu şeklinde üretildiği için çok yüksek rijitlik/kütle oranına sahiptir. Araştırmacılar yarım ölçekli olarak üretilen konseptin tasarımını, üretimini ve deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yapısal analizler için reflektörün tam ölçekli bir hali Abaqus sonlu elmanlar programında modellenerek katlanma konfigürasyonları için statik, dinamik ve yapının bükmeye karşı tepkisi analiz edilmiştir. İlk olarak oluşturulan 4 yüzey ayrı olarak tanımlanmıştır. Daha sonra yapı, bağlantı yan duvarları boyunca reflektif yüzeye ve arka yüzeye monte edilmiştir. Yapı oluşturulduktan sonra rijitlik ölçümleri, yüzey doğruluğu ölçümleri yapılmıştır. Son olarak yarı ölçekli fiziksel modeli oluşturularak, model üzerinde katlanma ve açılma

testleri yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda yüzey hassasiyetini 3 mm ve paketlenme yoğunluğunu açılma hacminin 1/20'si olarak elde etmişlerdir (Soykasap et al. 2004b, Soykasap et al. 2005).

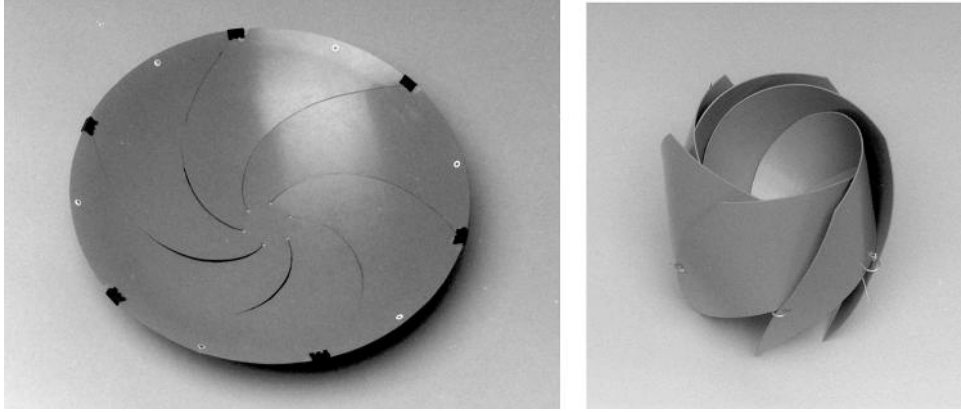


Şekil 2.7 Ölçekli olarak imal edilmiş kabuk yüzeyli reflektör ve katlanmış hali (Soykasap and Pellegrino 2004).

Datashvili vd. (2005), yaptıkları bir çalışmada; 4-8 m reflektör grubu için Ku-bant frekans gereksinimlerini karşılayacak, beş konseptten ikisi seçilerek yapılan mekanik ve elektriksel araştırmaların sonuçlarını sunmuşlardır. Karbon fiber ile güçlendirilmiş kabuk membran, 3 eksenli karbon fiber kumaştan ve kür silikon elastomer S 690 malzemesinden oluşmaktadır. Oluşturulan yapının termo-mekanik analizlerini, çizgisel dinamik analizlerini, titreşimlerin temel doğal frekans analizlerini ve termik bozulmalar nedeniyle meydana gelen yüzey RMS hatalarını analiz etmişlerdir. Bu iki reflektör Cambridge Üniversitesi katlanabilir yapılar laboratuvarı ve Münih Hafif Yapılar Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir.

Tibbalds vd. (2004), elastik olarak katlanabilen, ince kabuk yapıya sahip, karbon fiber ile güçlendirilmiş malzemelerin kullanıldığı reflektörler için yeni bir konsept önermişlerdir (Şekil 2.8). Yüzey belirli bir merkez etrafında kavisli hatlar boyunca katlanabilen 6-8 kanada(pedala) bölünmüştür. Açılma esansında kanatlar, katlama

sırasındaki depoladıkları elastik enerji ile açılmaktadır. Çanak çapı 0,9 m ve odak uzaklığı 0,4 m olan bir modeli optimize etmişlerdir. Paketleme düzenini analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak en uygun paketleme şeklini tanımlamışlardır.

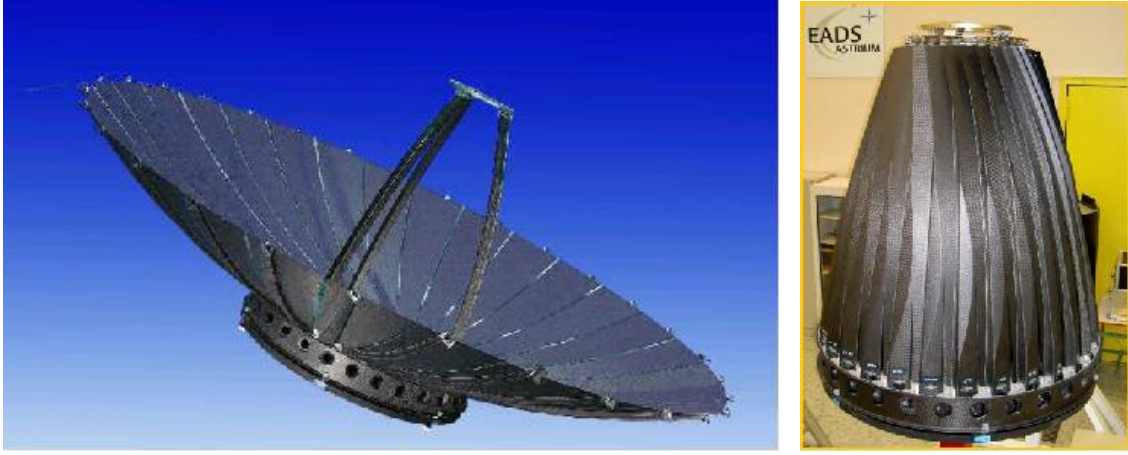


Şekil 2.8 Tibbalds'ın parçalı tip reflektör modeli ve katlanmış hali (Tibbalds et al. 2004)

Lang vd. (2005), Q/V-bant uygulamaları için, 3 kg'dan daha düşük kütlede termal ve nem kararlılığı yüksek yeni bir reflektör konsepti önermişlerdir. Bu çalışma için farklı seçeneklerini birbiriyle kıyaslayarak değerlendirmişlerdir. Birinci bölümde yapı için farklı aday malzemelerinin avantaj ve dezavantajlarını kıyaslanmışlardır. Daha sonra rijitlik için farklı temel düzenekler ve destek yapısı için topoloji optimizasyonu sunmuşlardır. Yapının sonlu elemanlar modelini oluşturarak termo-mekanik analizlerini yapmışlardır. Son olarak üretim sonrası alınması gereken bazı tasarım fikirleri ve bu hassas yapıların yörüngede ayarlanması konusuna değinmişlerdir.

Schmid ve Barho (2003) yaptıkları bir çalışmada, 3 m çapında merkez bir disk etrafında sarılarak katlanan, 30 adet güçlendirilmiş karbon fiberden yapılmış kanatlardan (panel) oluşan reflektörün tasarım ve üretimini gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.9). Tasarımın minimum kütle, maksimum paketlenilebilir ve kabul edilebilir yüzey hassasiyeti sağladığını belirlemişlerdir. Bu tasarımda her ince levha panel, karbon fiber ile güçlendirilmiş elemanlar tarafından desteklenmektedir. 30 adet katlanabilen panelin tamamı katlandıktan sonra birbirlerinden bağımsızdır. Bu bakış açısı ile bakım veya onarım faaliyetleri için bir panel parçasını değiştirme olanağı sağlanmıştır. Yapılan çalışmada asıl amacın tasarlanan konseptin mekanik performansının yapılacak olan testlerle doğrulanması ile birlikte bu konsept için önemli bir gelişme sağlanmıştır.

Temel tasarım X-bant uygulamaları için düşünülmüş olsa da daha yüksek frekanslardaki uygulamada da kullanılabilir olması en büyük avantajlarındanır.



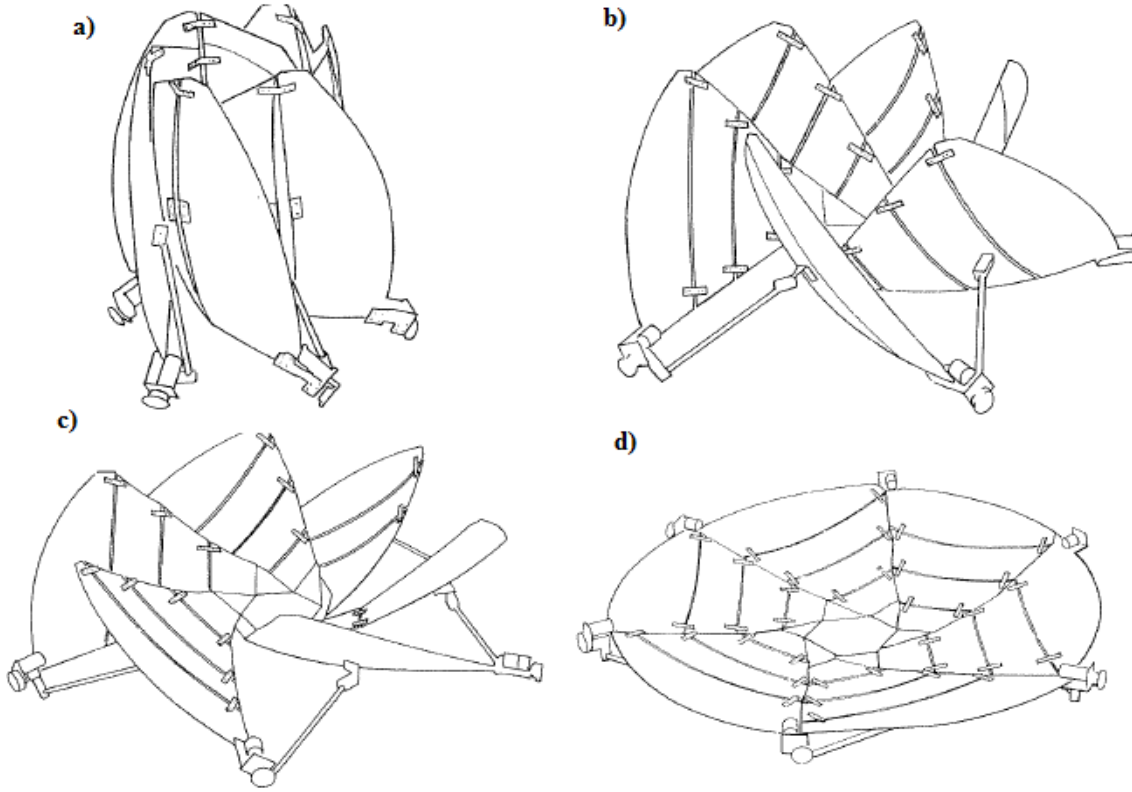
Şekil 2.9 İnce kabuk panelli reflektör modeli (Schmid and Barho 2003)

Varslase (2006) yaptığı bir çalışmada, tasarım hedefi olarak rijitlik, katlanabilirlik ve düşük kütle özelliklerini göz önüne almış, şekil hafızalı kompozit malzemeleri katlanabilir membran reflektörlerde kullanarak yeni bir tasarım sunmuştur. Bu çalışmada, üretim zamanını ve maliyetini düşürmeyi daha geniş tasarım parametreleri sağlamayı,(düşük kütle, kompakt hale paketlenabilirlik, sertlik, yekpare imal edilebilirlik), kontrollü açılma sağlamayı, mesh ve şişirebilir reflektörlere göre daha iyi yüzey hassasiyeti elde etmeyi amaçlamıştır. Yaptığı çalışmada, tasarladığı reflektörün metal mesh yapılı reflektörlere göre daha iyi yüzey hassasiyeti sağladığını ispatlamıştır.

Datashvilli vd. (2007), kabuk yapılı membran reflektör gruplarını göz önüne alarak termo-mekanik ve radyo frekans değerlerini belirlemek için sayısal ve deneysel çalışmalar sunmuşlardır. Geliştirilen reflektör tasarımı karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit malzemedan yapılmış yansıtıcı yüzeyden oluşmaktadır. Reflektörün arka yüzeyindeki yapıda da membran sistem kullanılmıştır. Reflektörün arka destek yapısını nümerik olarak analiz etmişlerdir. Sonlu elemanlar modeli kullanılarak rijitlik, burkulma ve yörünge davranışı belirlenmiştir.

Guest ve Pellegrino (1996), rijit panellerden oluşan açılabilir bir reflektör konsepti önermişler ve ölçekli bir modelinin performansını belirlemek için yaptıkları testleri

sunmuşlardır. Bu tasarımda, yansıtıcı yüzey bölünmüş bir merkez etrafında paketlenerek katlanabilen birçok panelden oluşmaktadır. Paneller arasındaki bütün bağlantılar geriye ve aşağıya doğru kıvrılmış mafsallardan oluşmaktadır. Tasarımı düşünülen reflektörün ölçekli bir modeli üreterek katlanma testleri yapmışlardır. Reflektif yüzey 3 mm kalınlığında cam elyaftan üretilmiştir. Savundukları katlama tekniği eski konseptlerden daha iyi paketlenme ve mekanik kolaylıklar sağlamıştır. Reflektörün çapı 1,48 m olmasına rağmen katlandığı zaman 0,55 m çapında ve 0,8 m yüksekliğinde olmaktadır. Toplam açılma süresi 30 saniye (sn) süren reflektörün Şekil 2.10'da açılma esnasında izlediği yörünge fotoğraf halinde gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Panellerden oluşan reflektörün açılma esnası izlediği yol (Guest and Pellegrino 1996)

Soykasap vd. (2007) yaptıkları bir çalışmada, dünya yörüngesindeki bir uzay aracından ölçülebilir biyokütle seviyelerine sahip, P-bandı çift polarizasyon (antenin duruş şekli) anten için düşük kütleli 50 metrekare (m^2) boyutunda katlanabilir yeni bir reflektör konsepti sunmuşlardır. Katlanabilir büyük antenlerde esnek bant kullanılarak tek parçalı imal edilen yapı, düşük frekanslı antenler için yüksek potansiyele sahip tasarım olarak

tanımlanmıştır. Önerilen konsept katlanırken depoladığı elastik enerjiyi açılma esnasında kullanır. Tasarlanan reflektörün katlamadan önce ve katlandıktan sonraki RF performansını belirlemek ve mekanik yönlerini göstermek için deneyler yapmışlardır. Yaptıkları analitik ve deneysel çalışmalar sonucunda; tasarlanan yapının, büyük antenlerde ortaya çıkan problemlere kalıcı çözüm getirdiğini kanıtlamışlardır.

2.3.1.3 Ağ Yapılı Reflektörler

1990'lı yıllarda Astro Havacılık ve Uzay Şirketi (AHUŞ) tarafından açılabilir reflektör konseptleri üzerine geniş çaplı bir araştırma yapılmış ve bu çalışmalar sonucunda Astromesh adını verdikleri ağ yapılı reflektörler tasarlanmıştır (Şekil 2.11). Ağ yapısına sahip reflektörler geniş açıklık alanları sayesinde tercih edilen reflektör tipleridir. 6 m ve daha büyük boyutlarda olan bu reflektörlerin yüzeylemelerinin paketlenebilirlikleri ve tekrar açılabilirlikleri oldukça zordur. Bu çalışmada, Astromesh reflektörün yüksek iletişim gücüne sahip olması için gerekli olan yüksek yüzey hassasiyeti ve çok düşük pasif ara modülasyon değerleri optimize edilmiştir. Geliştirilmiş bu reflektör, yüksek katlanabilirlik ve düşük hacme paketlenebilirlik sunmaktadır. 6 ve 12 m çapında iki farklı tasarım yapılmış, bu tasarımlar için uzay koşulları göz önüne alınarak çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 6 ve 12 m çapındaki reflektör için elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Astromesh reflektörü ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada ise Ku ve Ka-bant radyo uydu görevlerini desteklemek için Astromesh reflektörlerinin potansiyeli araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda mesh yapılı reflektörün yansıtıcı performansı Ka ve Ku-bant uygulamaları için toplam kayıp tahminleri elde edilmiştir. Astromesh reflektörün bu alanda uygulanmasıyla, kütle, enerji ve maliyet açısından büyük kazanç sağlayabileceği ispatlanmıştır (Thomson 1999,2002).

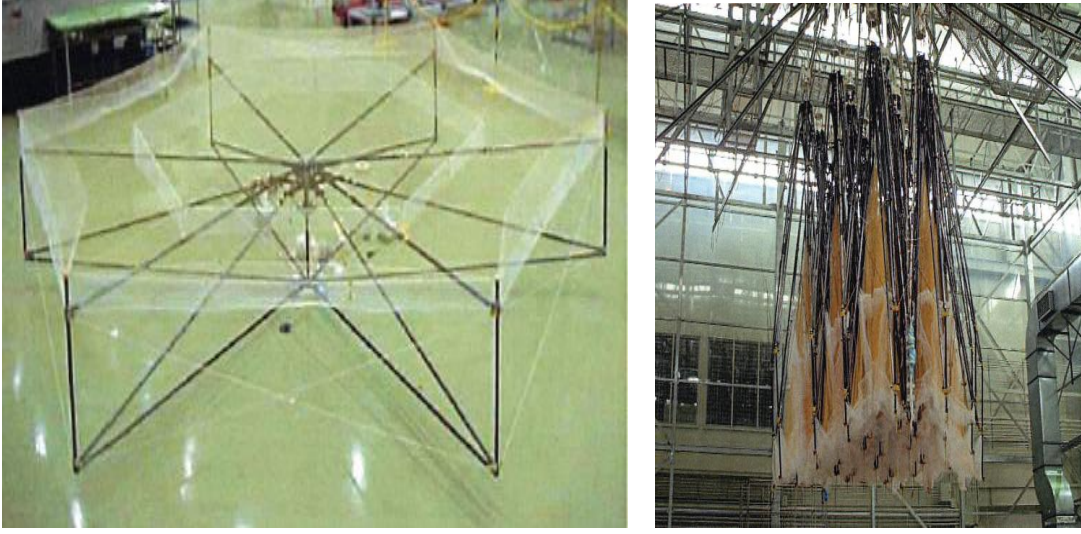
Tibert ve Pellegrino (2001), katlanabilir ağ yapılı reflektörler için yeni bir konsept önermişlerdir. Önerilen yapı, gergin bağlar bağlanmış (ön ve arka olmak üzere) iki özdeş tel ağı ve katlanabilir halka yapıdan oluşmaktadır. Halka yapının telleri için grafit fiber kullanmışlardır. Bu çalışmada, 3 m çapında, odak uzaklığı/çap oranı 0,4 olan bir reflektör tasarlanmışlardır. Yansıtıcı yüzey, ağ yapılı reflektörün ön yüzündedir ve 0,025

kg /m² yüzey yoğunluğuna sahip altın-tabaklı molibden telinden oluşmaktadır. Bu büyüklükteki tasarım parametrelerinin etkisini ve yapının içindeki kuvvetlerin dağılımını analiz etmişlerdir. Reflektörün sadece statik değil aynı zamanda kinematik özellikleri üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca destek yapıda meydana gelen kuvvetleri hesaplamışlardır. Tasarlanan konseptin yapılabirirliğini, 0,47 m çapında küçük ölçekli fiziksel bir model oluşturularak ispatlamışlardır.



Şekil 2.11 Astro firmasının tasarlamış olduğu ağ yapılı reflektör modeli (Thomson 1999)

Shintate vd. (2003) yaptıkları bir çalışmada, yaklaşık yüzey ölçüleri 19x17 m olan, oldukça yüksek yüzey hassasiyetine sahip (2,4 mm), S- bant iletişim desteği 2,5/2,6 GHz olan büyük katlanabilir reflektörün mekanik analizlerini gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.12). Üzerinde çalıştıkları konular; katlanabilir yapının mühendislik tasarımı, modüler katlanabilir yapının doğrulama testleri, kafes yapılarının bağlama analizi ve esnek yapının açılma esnasındaki hareket analizidir. Tasarladıkları reflektör metal kafes ve kablolardan oluşmaktadır. Katlanabilirlik kafes yapı tarafından sağlanmaktadır. Tasarlanan yapı oldukça iyi yansıma yüzeyine sahip olmakla birlikte etkin katlama formları sunmaktadır. Bu çalışmada da çeşitli katlanıp açılma analizlerini (çubuk yapıların açılma testleri, reflektör açılma testleri), dalga titreşim analizlerini, akustik analizlerini, termal vakum testlerini gerçekleştirmişlerdir.



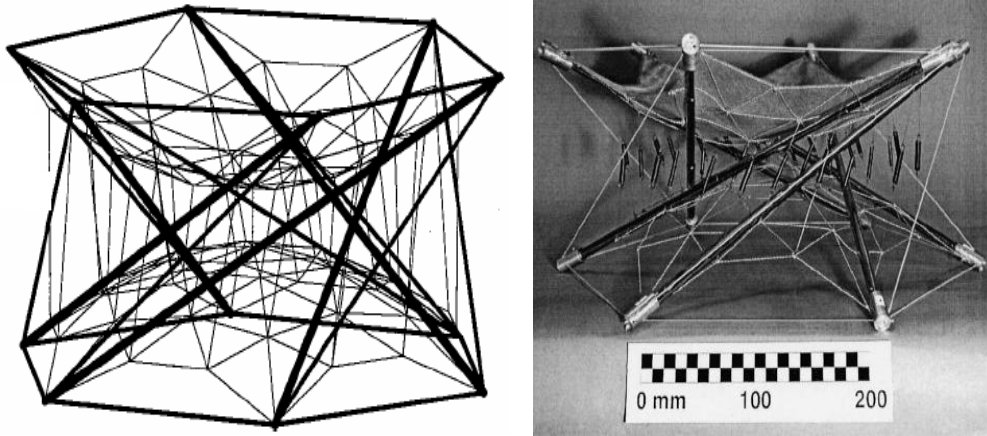
Şekil 2.12 Shintate ve arkadaşlarının tasarladığı ağ yapılı reflektör modeli (Shintate et al. 2003)

Murata vd. (2005) yaptıkları bir çalışmada, JAXA tarafından geliştirilen M-V roketine sığdırabilecekleri radyo astronomi için yeterli yüzey hassasiyeti elde etmek amacıyla büyük bir uydu geliştirmişlerdir. Tasarımı yapılan reflektör 7 adet hegzagonal modülden oluşmakta ve 9 m çapındadır. Anten modülüne 0,4 mm yüzey hassaslığına kadar yüzey hassasiyetini sağlamak için radyal kaburga (kiriş) adapte etmişlerdir. Yüzey hassasiyetini kontrol etmek için tam ölçekli bir test modeli geliştirmişlerdir. Yüzey modülünü ayarlamak, yüzey hassasiyetini ölçmek ve katlanma mekanizmasını kontrol etmek için testler yapmışlardır. Her bir modülün parabolik yüzeyi, kullanılan altın kaplanmış molibden tel yardımıyla sağlanmıştır. Sonra modüller bağlantı elemanları ile bağlanmıştır. Yapının katlanması her bir modülün ortasına yerleştirilmiş olan şemsiye tipli bağlantı çubuklarını kontrol eden motorlar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Her bir motor birbiriyle senkronize çalışmaktadır. Yapının ağırlığı, yüzey doğruluğu, açılma zamanı daha önce üretimi gerçekleştirilen ve 2006'da fırlatılan benzer konsept olan ETS-VIII reflektörüyle karşılaştırılmıştır. Yaptıkları testlerle bu modelin kullanılabilirliğini doğrulamışlardır.

Kloster vd. (2005), uzay uygulamaları için 12 m çapında büyük katlanabilir bir ofset reflektörün tasarımını, analizlerini ve üretimini gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan reflektör radyal kaburga yapısına sahiptir. Reflektörün katlanma tekrarlanabilirliğini, yüzey doğruluğunu, yer çekimi etkisi altındaki davranışını, yansıtıcının açılışını,

yansıtıcının katlanabilirliğini, akustik, vakum, termal çevrim, elektriksel ve optik özelliklerini belirlemek için çeşitli mekanik testler yapmışlardır.

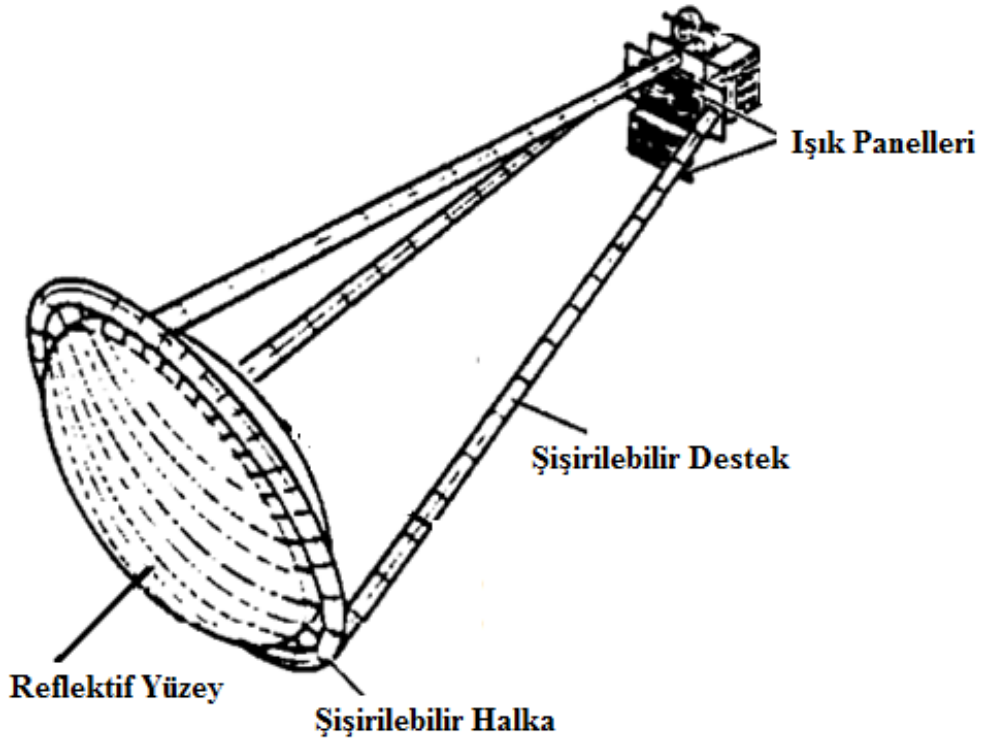
Tibert ve Pellegrino (2002) yaptıkları bir çalışmada, uydu görevleri için katlanabilir, gergin yeni bir reflektör konsepti önererek bu konseptin tasarımını, üretimini ve reflektörde oluşacak kuvvetleri hesaplamışlardır (Şekil 2.13). Bu çalışmada gerilim bağları ile birleştirilen iki özdeş tel ağı (önde ve arkada) ile yansıtıcı yüzeyi ön ağa bağlayan açılabilen prizmatik halka yapıdan oluşan alternatif bir yaklaşım önermişlerdir. Gergin prizma ile yapıda meydana gelen sıkıştırmayı azaltmak için yapının geometrik konfigürasyonunu optimize etmişlerdir. Önerilen konseptin küçük ölçekli fiziksel modelini oluşturmuşlardır. Kompakt olarak paketlenen reflektörün yüksekliği 0,8 m'den daha az, çapı 3 m, odak uzaklığının çapa oranı 0,4, frekans değeri ise 10 GHz'tir. Önerilen konseptin tel ağları Astromesh reflektörde olduğu gibi iki özdeş tel ağına karşı ön gerilmelidir. Ancak bu konsept ile Astromesh reflektör arasında iki temel fark vardır. Birincisi açılabilir tel ağları ile gergin yapının kullanılmasıdır. Bu mekanik mafsallar için önerilebilir. Böylelikle maliyet azaltarak potansiyel yapının geometrik doğruluğu artırılabilir. İkincisi ise sıkıştırma etkisini azaltmaktır. Bunun için yapının geometrik konfigürasyonu reflektör eksenini etrafındaki iki tel ağı ile optimize edilebilir. Böylelikle düşük kütlede hassas bir tasarım gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.13 Tensegrity reflektör modeli (Tibert and Pellegrino 2002)

2.3.1.4 Şişirilebilir Reflektörler

Uzay uygulamalarında kullanılan düşük kütleli ve küçük paketleme hacmine sahip şişirilebilir reflektörler, hafiflik, düşük maliyet, katlanıp açılabilirlik gibi birçok gereksimi yerine getirirler. Şekil 2.14’de görüldüğü gibi bu konseptte şişirilebilir içi boş halka sayesinde reflektif yüzey profili oluşturulmaktadır. Bu reflektörlerde membran yüzeyin uzayda şişirilerek elde edilmesi amaçlanmaktadır. Şişirilebilir destek yapıları veya esnek katlanabilir destekler vasıtasıyla reflektörün odak noktası diğer önemli ekipmanları tutulabilmektedir. Şişirilen yüzeyin rijitliği buharlaşmış alüminyum kullanılarak sağlanmaktadır. Bu reflektörlerin görevi sırasında gaz kaçakları meydana gelmesi en büyük problemlerden biridir (Soykasap 2006). Bu reflektörlerin en belirgin özellikleri düşük kütlede yüksek paketlenme kabiliyeti sunmalarıdır. Ancak yüzey hataları diğer konseptlere nazaran yüksektir. Bu bölümde şişirilebilir reflektör konsepti üzerine yapılan literatür çalışmaları verilmiştir.



Şekil 2.14 Şişirilebilir reflektör modeli (Veal and Freeland 1995)

Maji ve Starnes (2000) yaptıkları bir çalışmada, şişirilebilir antenlerin şekil bozukluklarını ve bu yapıların yüzeylerinin şekil kontrollerini incelemişlerdir. Yüzey şekil bozukluklarının geometrik çizgisel olmayan deformasyonlar yüzünden olduğunu saptamışlar ve membran yapının kontrol edilebilirliğini deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Şişirilebilir polietilen membranın basınç yüklemesi altındaki davranışını poliviniliden florür film kullanarak belirlemişler ve deney sonuçlarını doğrulamak için yaptıkları çalışmaları analitik çözümler ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma ile, piezoelektrik hareketle şişirilebilir bir yapının şeklinin kontrol edilebilirliğini göstermişler ve anten teknolojisinde kullanılan mikron seviyedeki şekil düzeltmelerinin gelecekteki muhtemel uzay tabanlı sensörler için mümkün olacağını doğrulamışlardır.

Veal ve Freeland (1995) yaptıkları bir çalışmada, 14 m çapında, şişirilebilir katlanan parabolik ofset reflektörün sıfır yerçekimi ortamında katlanıp açılabilirliğini doğrulamak için yaptıkları testleri sunmuşlardır. Büyük ölçekli katlanabilir uzay anten yapılarına çeşitli uygulamalar için ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yapıların düşük maliyetli, düşük kütleli ve mekanik olarak güvenilir olması gerekir. Şişirilebilir katlanan anten konseptleri bu özellikleri sağlayacak potansiyele sahiplerdir. Yapılan deneylerin amacı 14 m çapında reflektörün düşük maliyetli ve düşük kütlede olduğu doğrulamaktır. Aynı zamanda gerçekçi bir çalışma ortamında açılma güvenilirliğini ve reflektör yüzey duyarlılığını göstermektir. Deneyler temel olarak şişirilebilir yapıların incelenmesi (bir merceksi yapı oluşturmak için ince membran reflektör yapıları ve açık örtü yapılar), yansıtıcının yüzey doğruluğunu belirlemek için yapılan yüzey ölçümleri, basıncı belirlemek ve gaz akışını kontrol altında tutmak için yapılan şişirme deneylerinden oluşmaktadır. Yüzey hassasiyeti ölçümleri değişken yörüngesel koşullarda görüntü işleme yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem ile ışık kaynakları ve yansıma bölgeleri verildiğinde yansıma yüzeyindeki eğim hesaplanabilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda şişirilebilir yapı teknolojisinin büyük anten yapılarında kullanılabileceğini ve düşük kütle, düşük hacme paketlenilme özelliği sağlayabileceği ispatlanmıştır.

Huang vd. (2002), şişirilebilir antenleri diğer antenlerle karşılaştırılarak anten performansını, paketleme verimliliğini ve açılma kontrolünü incelenmişler ve büyük

boyutlardaki antenlerde yüksek kazançlar sağlamak için kütle ve depolama hacmini en aza indirilerek şişirilebilir anten teknolojilerini geliştirmişlerdir. Son zamanlarda uzay aracı uygulaması için üç şişirilebilir anten geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi 3,3x1 m boyutlarında L-bant iletişim gücüne sahip yapay açıklıklı radar (SAR), ikincisi X-bant uygulamaları için 1 m çapında telekom yansıtıcıları, üçüncüsü ise 3 m çapında Ka-Bant iletişim reflektörüdür. Bu üç antenin yapımı birbirine benzemektedir. Her biri desteklenen şişirilebilir boru biçiminde bir yapıdan oluşur ve mikro şerit yama ile basılmış çok tabakalı ışın yayan yüzeye sahip ince membran yapılardan oluşmaktadır. Yapılan çalışma şişirilebilir yapılarla oluşturulan bu antenlerin mikrodalgalar ve milimetre düzeyinde dalga spektrumları karşısında uygun olabileceğini göstermektedir.

Şişirilebilir reflektör antenler üzerine yapılan başka bir çalışmada, şişirilebilir yapıları geçerli kılmak ve uzay yapılardan beklenen özellikleri elde etmek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Uzay yapılarından açılma güvenilirliği, düşük hacme paketlenabilirlik, mekanik olarak paketlenme verimliliği, geometrik hassasiyet, termal stabilite ve uzun vadeli ölçümsel stabilite sağlanması beklenmektedir. Bu çalışma ile, bu özellikleri sağlamak, anten performansını en üst seviyeye çıkarmak ve aynı zamanda maliyeti en aza düşürmek amacıyla şişirilebilir yapıların anten teknolojisindeki uygulama alanları incelenmiştir. Antenler incelenirken uygulama alanları, boyutları, teknik olarak birbirlerine karşı üstün özellikleri ve taşıdığı riskler göz önüne alınmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda reflektör çapı artıkça meydana gelebilecek olan risklerde artmaktadır. Bu riskleri en aza indirmek ve kabul edilebilir özellikleri elde etmek için uzay yapıları incelenerek en iyi konsept oluşturulmaya çalışılmıştır (Satter and Freeland 1995).

Willey vd. (2001) yaptıkları bir çalışmada, katlanabilir hibrit ve şişirilebilir yapıya sahip reflektörün prototip olarak tasarım ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada şişirilebilir reflektörlerle ilgili en büyük problemlerden olan ilk katlanma ve sonrası açılabilirlik vurgulanmıştır. İstifleme konfigürasyonları üzerinde durularak katlanma tipi belirlenmiştir. Yapı şişirildikten sonra yapı üzerinde şekil analizleri inceleyerek en uygun şekli seçmişlerdir ve şişirme basıncı analizleri yaparak en düşük şişirme basıncını saptamışlardır. Ayrıca bu çalışmada, reflektörün performansını

belirlemek için yüzey doğruluğu ölçümleri yapmışlardır. Son olarak bu çalışma ile prototip üretim sonrası Ka-bant frekans aralığında çalışan ve yüzey hataları minimize edilmiş bir reflektör üretmişlerdir.

2.4 Uzay Antenlerinin Yüzey Doğruluğu Ölçümleri

2.4.1 Reflektör Antenlerinde Kabul Edilebilir Yüzey Hataları

Uzay antenlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri yüksek yüzey hassasiyetidir. Reflektörlerde kabul edilebilir (izin verilebilir) yüzey hataları anten tipine bağlı olarak değişmektedir (Tibert 2002). Örneğin, uydu haberleşme sistemlerinde genellikle C-bant, X-bant, Ku-bant ve Ka-bant olmak üzere dört farklı frekans bandı kullanılmaktadır. Her bandın kendine özgü bir frekans değeri ve etkili olabileceği yüzey doğruluk aralığı vardır. Bir reflektörün performansı temel olarak üç mekanik faktör tarafından etkilenir. Bunlar rastgele yüzey hatası, faz ve genlik hatalarından kaynaklanan ışın hatası ve odak uzaklığı hatasıdır. Çizelge 2.1’de her bir frekans bandı için olası yüzey hatası değerleri verilmiştir (Megura et. al 2003).

Çizelge 2.1 Frekans bant tipine göre kabul edilebilir yüzey hataları(Megura et al. 2003)

Frekans bant tipi	Dalga boyu (mm)	Kabul edilebilir yüzey hatası (mm)
L	300–150	6,0–3,0
S	150–75	3,0–1,5
C	75–37,5	1,5–0,75
X	37,5–25	0,75–0,50
Ku	25–16,7	0,50–0,33
K	16,7–11,1	0,33–0,22
Ka	11,1–7,5	0,22–0,15

Bununla birlikte kabul edilebilir sapma miktarı reflektör çapına ve kullanılacak göreve göre değişim göstermektedir. Başka bir ifadeyle, yüzey doğruluğu daha kötü, büyük çaplı bir reflektör kendisinden daha küçük fakat buna karşılık yüzey doğruluğu iyi olan bir reflektörlerle aynı verimliliği sağlayabilir.

Genel olarak reflektörlerde hata toleransı dalga boyunun 1/50'si ($\lambda/50$) olarak kabul edilir. Miyasaki vd. (2001), yaptıkları bir çalışmada dalga boyunun 1/50'si kuralını kullanarak, S bant uygulaması için tasarladıkları 13 m'lik ETS-VIII antenin kabul edilebilir yüzey sapma miktarının 1,3 mm'den daha az olduğunu belirlemişlerdir.

Hedgepeth vd. (1991), çapı 23,56 m olan Astromesh (reflektör verilen isim) ofset reflektör üzerinde yaptıkları çalışmalarda, izin verilen yüzey sapma miktarını C bant uygulamaları için $\lambda/50$ veya 1 mm olarak kabul etmişlerdir. Bu çalışmada, toplam hatalara ilk olarak yansıtıcı yüzey boyutundan kaynaklanan hatalar eklenmiştir. Bu hata miktarı çalışma frekansı için $\lambda/200$ veya 0,25 mm olarak kabul edilmiştir. Diğer sistematik hataların nereden geldiğini ise aşağıdaki gibi tanımlamışlardır.

- Yerçekimi etkisinden kaynaklanan hatalar
- Uydunun savrulması ile oluşan merkezkaç güçleri
- Gerginlik bağlarında meydana gelen yükler
- Üretim sırasında yüksek sıcaklık değişimi (termal etkiler) veya ön gerilmeden kaynaklanan sistematik hatalar

6 m çapında Astromesh reflektör üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen toplam yüzey hatası Çizelge 2.2'de ayrıntı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2 6 m çapında Astromesh reflektör için yüzey distorsiyonları (Tibert 2002).

Hata Kaynakları	Hata	
	(mm)	(%)
Yüzey boyutu	0,33	32,7
Üretim	0,41	50,4
Mesh yapısı	< 0,10	3
Açılma tekrarlılığı	< 0,08	1,9
Termal ısı	0,2	12
Toplam Hata(rms)	<1,14	100

Toplam yüzey RMS hatasına eklenen üretim ve termal genişleme katsayısı çeşitliliğinden kaynaklanan hatalar 0,5 mm'den daha az, fotogrametrik yüzey ölçümleri

esnasında yerçekiminden kaynaklanan yüzey bozulmaları ise 0,07 mm olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar çeşitli kaynakların yüzey RMS'i üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.

2.4.2 Fotogrametri Tekniği ile Yüzey Ölçümleri

Fotogrametri sabit veya hareketli bir cismin bir veya birkaç resimden yararlanılarak şeklinin, boyutunun ve konumunun hassas bir biçimde belirlenmesini amaçlamaktadır. Resimler üzerinde yapılan ölçmeleri kullanan bu tekniğin en önemli özelliği, cismin ayrıntılı olarak tam bir görünümünü vermesidir. Resim ölçmesi, geniş kapsamlı olarak aslına uygun merkezi perspektiflerin oluşturulmasına ait optik teknik yöntem olan fotoğrafçılığın ortaya çıkması ile pratikleşerek, zamanla modern tekniğin gelişmesiyle hemen hemen her alanda yerini almıştır. Fotogrametrinin bu denli gelişme göstermesinin en önemli nedeni fotogrametrinin temel işlevlerinin, pozitif bilim dallarının temel kabul ettiği doğruluk, esneklik ve pratiklik prensiplerini esas kabul etmesidir. En genel anlamıyla fotogrametri, görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri oluşturan ve bu bilgilerin analizini yapan bir bilim dalı olarak tanımlanabilir (Anonim 2009, Duran and Toz 2002, Pappa et all 2001).

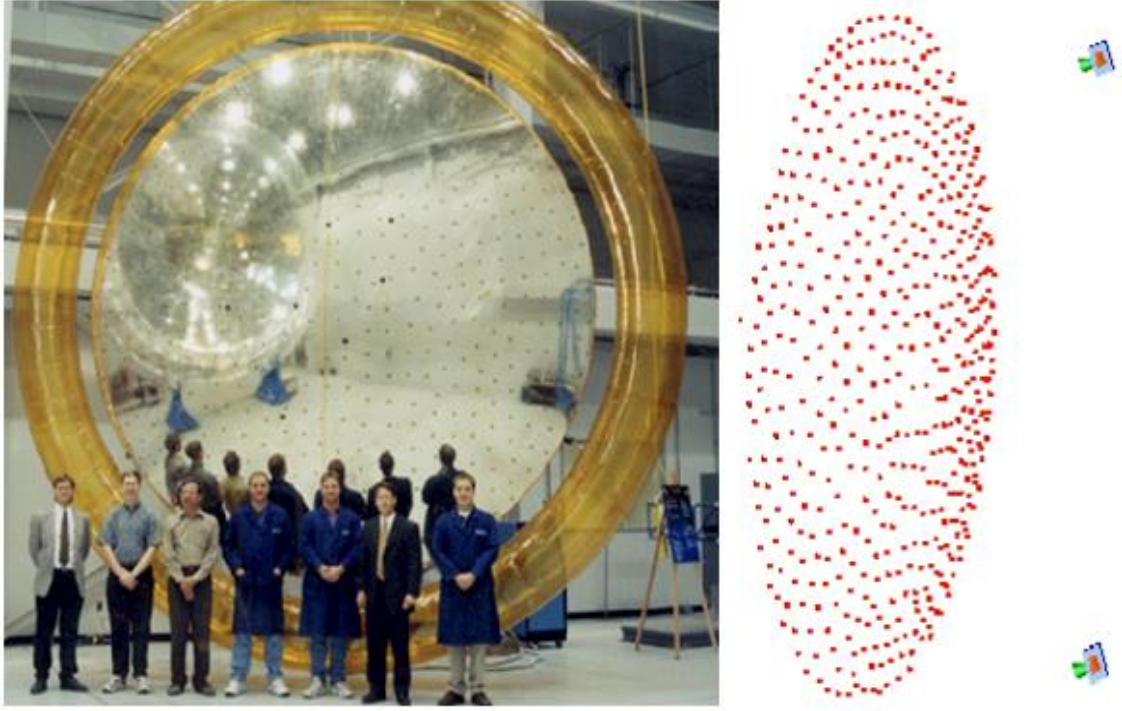
Fotogrametrinin temelini oluşturan merkezi izdüşüm ve perspektifle ilgili kavramların Leonarda da Vinci ve Albrecht Dürer gibi sanatçılar tarafından uzayın, düzlem perspektiflerde ve üç boyutlu resimlerin yeniden inşa edilmesinde kullanılmaya başlanması fotogrametri biliminin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (İnt. Kay. 3).

Fotogrametride dijital görüntülerin kullanılması yolundaki önemli gelişmeler, mikro elektronik ve yarı iletkenlerdeki teknolojik ilerlemelere bağlı olarak ortaya çıkmış ve yarı iletken dizi ve video görüntüleme sistemleri fotogrametrik uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fotografik yöntemler diğer yöntemlerin uygulanamadığı alanlarda uygulanabilmesiyle büyük avantajlar sağlamıştır. Cisimlere dokunmadan resimler üzerinden ölçümlerin gerçekleştirilebilir olması, karmaşık yapıları ve hareket halindeki cisimlerin şekil ve davranışlarının kolaylıkla belirlenebilir olması,

ölçme işleminin yer ve zaman yönünden resim çekme işleminden bağımsız olup sakin ve rahat bir ortamda her an yapılabilir olması en önemli avantajlarındanır.

Dijital fotogrametrik sistemler, optik, elektronik, matematik, fotoğrafçılık ve bilgisayar teknolojisi gibi çeşitli bilim dallarından yararlanılarak oluşturulmuş bir mühendislik uygulamasıdır. Bu sistemlerde, gerek kullanılan donanım ve yazılım, gerekse yapılan işlemlerin tümü dijital olarak ele alınmaktadır. Fotografik emülsiyon ve optik kamera kombinasyonlarının gelişmesi, yüksek çözünürlük ve düşük distorsiyonlu (merceklerin izdüşümündeki fiziksel etkiler) resimlerin elde edilmesini sağlamıştır. Özellikle dijital fotogrametri, görüntülerin yüksek çözünürlükte ve çok sayıda renklerin bilgisayarda elde edilmesi sayesinde, hızla gelişme göstermektedir. Dijital görüntü işleme bir bilgisayar yardımı ile görüntülerin elde edilmesi, depolanması, işlenmesi ve çeşitli ölçme ve yorumlama amaçları için farklı türdeki gösterimlere hazır hale getirilmesi, fotogrametrinin hızla gelişmesini sağlamıştır. Dijital fotogrametri ile mühendislik uygulamalarında önemli olan veri kaybı, zaman gibi etkenler minimum seviyelere indirilmiştir. Bu bölümde fotogrametrinin temel esasları belirtildikten sonra uydu antenleri üzerindeki uygulama alanları incelenmiştir.

Pappa vd. (2002), fotogrametri tekniklerini kullanarak 5 m çapında şişirilebilir bir reflektör üzerinde şekil ölçümlerini sunmuşlardır. Fotoğraf makinesi olarak KodakDC290 marka dijital fotoğraf makinesi, yazılım olarak da fotogrametrik yazılım paketlerinden PhotoModeler programını kullanmışlardır. Fotogrametrik analizler yapılırken ilk olarak kameralar kalibre edilmiş ve reflektörün belirlenen açılardan görüntülerini aldıktan sonra PhotoModeler programına aktarmışlardır. Daha sonra PhotoModeler programına aktarılan fotoğraflar üzerinden hedef noktalar belirlenerek birbiriyle eşleştirmişler ve bu noktaların 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşmışlardır. Reflektif yüzey üzerine 521 adet hedef noktası yapıştırılarak ölçüm hassasiyetini sağlamışlardır. Tüm noktaların koordinat değerlerinden yararlanarak reflektörün yüzey modelini oluşturmuşlardır (Şekil 2.15). 3,048 m odak uzaklığına sahip olacak şekilde tasarlanan reflektörün odak uzaklığını 3,050 m ve ideal parabol eğrisinden sapmasını (yüzey RMS hatası) 1,5 mm olarak ölçmüşlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, bu tekniğin titreşim ve dinamik analizlerde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

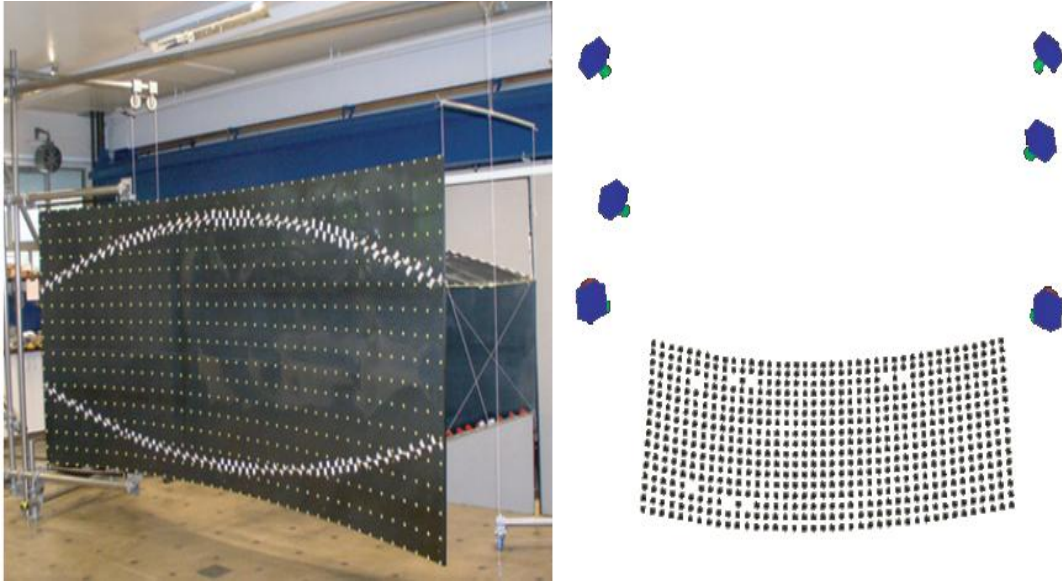


Şekil 2.15 Şişirilebilir reflektör modeli ve 3 boyutlu noktalar kümesi (Pappa et al. 2002)

Pappa vd. (2001) yaptıkları başka bir çalışmada ise, hafif ve ince uzay yapılarının ölçüm problemlerini fotogrametrik metotlarla geliştirmek için NASA araştırma merkezinde yedi farklı uzay yapısını ele almışlar ve bu yapıların şekil, titreşim ve dinamik analizlerini incelemişlerdir. 5 m çapında şişirilebilir reflektör modeli ve 15 m uzunluğunda şişirilebilir rijit tüp üzerinde şekil analizi, 1m uzunluğunda özel lens ve 2 m uzunluğunda güneş paneli üzerinde şekil ve dinamik analizler yapmışlardır. Ayrıca 3 m çapında Hexapod (örümcek şeklinde) reflektör ve 0,7 m boyutunda membran yapı üzerinde şekil ve titreşim analizleri, 4,5 m uzunluğunda şişirilebilir tiripod üzerinde ise dinamik analizler yapmışlardır. Şişirilebilir reflektör modeli uzaya gönderilebilecek şekilde üretilmiş, diğerleri ise sadece araştırma amaçlı yapılmıştır. Temel olarak, dijital kameralar ve uygun yazılım (PhotoModeler) kullanarak fotogrametri ve videogrametri teknikleri ile yapıların şekil, titreşim ve dinamik ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçların kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğunu ispatlamışlardır (Pappa et. all 2001, 2002, 2003).

Soykasap ve Pellegrino (2005) yaptıkları bir çalışmada, yeni bir reflektör konsepti geliştirmişler ve bu konsept üzerinde yaptıkları yüzey doğruluğu ölçümlerini

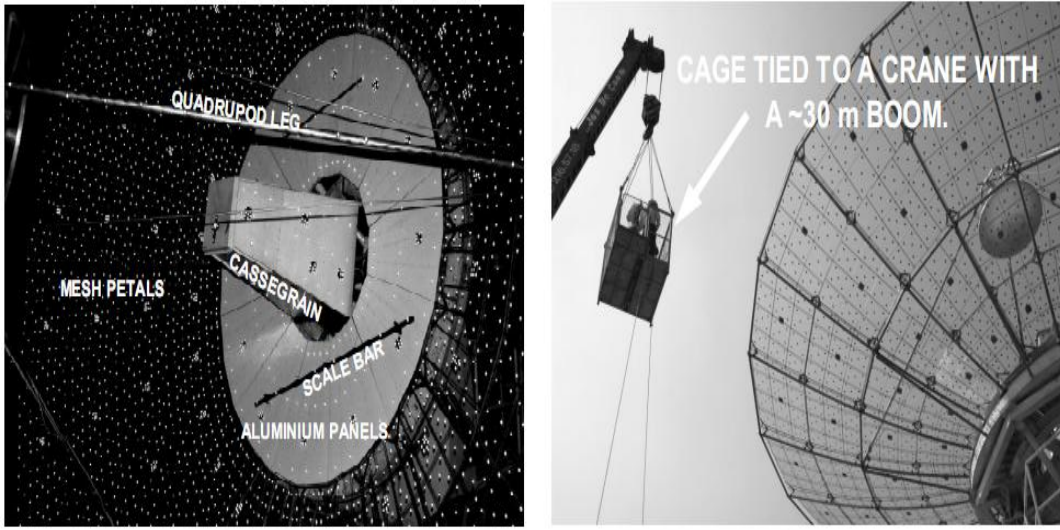
sunmuşlardır (Şekil 2.16). Reflektörün yüzey doğruluğunu belirlemek için Olympus C4000 marka dijital fotoğraf makinesi, fotogrametrik yazılım programlarından ise PhotoModeler programı kullanılmışlardır. Cismin üzerine, eşit aralıklı olacak şekilde 680 adet hedef noktası yapıştırılarak ölçüm hassasiyetini sağlamışlardır. PhotoModeler programında hedef noktaların koordinat değerlerine ulaşıldıktan sonra bu değerler kullanılarak bu noktalardan geçen en iyi parabol eğrisi oluşturmuşlardır. Paketlenmeden önce elde edilen yüzey RMS hatasını 3,8 mm, odak uzaklığını ise 1550 mm olarak elde etmişlerdir. Tasarlanan reflektörün odak uzaklığı ve RMS hatası Abaqus programından alınan değerler (odak uzaklığı 1544,5 mm, RMS hatası 4 mm) ile karşılaştırılmıştır. Reflektörün kenarlarından itibaren yüzey alanının en az %25 oranında kaldırıldığında yüzey RMS hatası 3,4 mm'ye kadar düşürülmüştür. Paketlenip tekrar açıldıktan sonra elde edilen yüzey RMS hatası 5,1 mm, odak uzaklığı ise 1547,1 mm olarak ölçülmüştür. Reflektörün alanı diğer çalışmada olduğu gibi %25 oranında göz ardı edilerek yüzey RMS hatası 3,3 mm'ye kadar iyileştirilmiştir.



Şekil 2.16 Yüzey doğruluğu ölçümü için kurulmuş düzenek ve kamera pozisyonları (Soykasap and Pellegrino 2005)

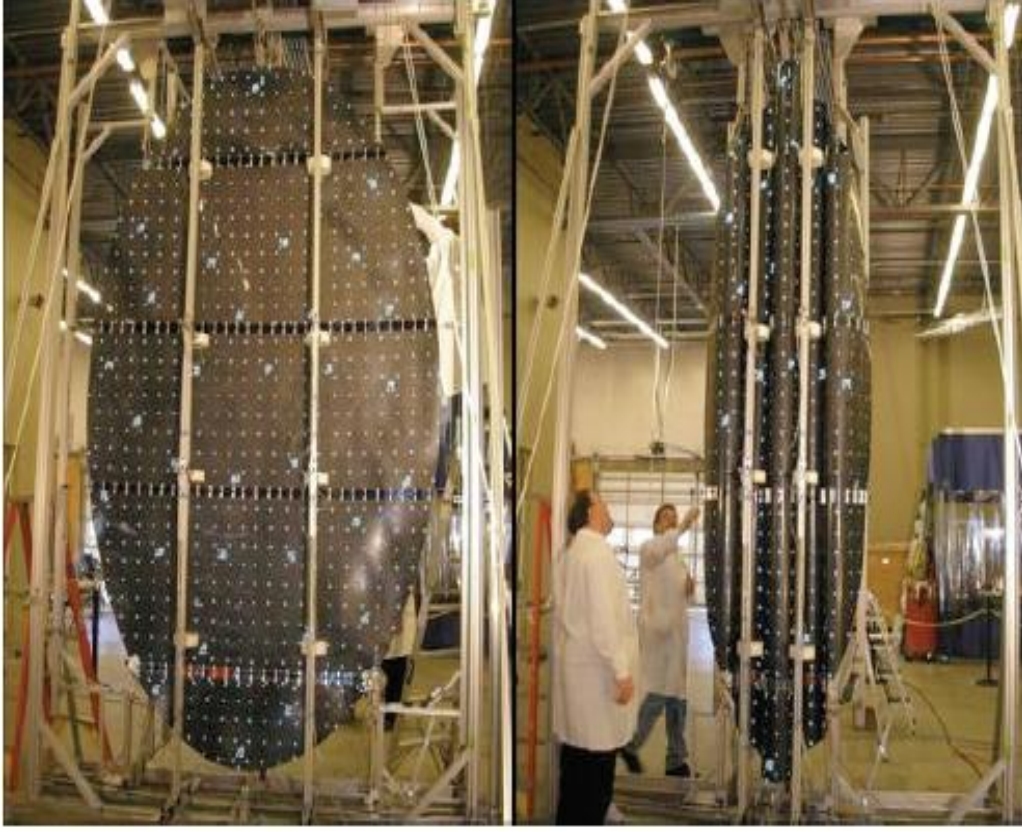
Shankar v.d (2009) yaptıkları çalışmada, radyal ve çevresel elemanlar ile desteklenmiş, ön yüklemeli, 12 m çapında, 4,8 m odak uzaklığına sahip, parabolik anten üzerinde fotogrametri tekniklerini kullanarak yaptıkları şekil analizlerini ve fotogrametrik ölçümleri sunmuşlardır (Şekil 2.17). Ölçüm hassasiyeti için reflektif yüzey üzerine 5052

adet hedef noktası yerleştirmişlerdir. Dijital fotoğraf makinesi kullanılarak çeşitli açılardan reflektif yüzeyin fotoğrafları alınmış ve V-Stars yazılımı kullanılarak bu reflektif yüzey üzerine yerleştirilen hedef noktalarının üç boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. 15° , 30° , 45° , 60° , 75° ve 90° 'lik bakış açılarında, standart parabol eğrisinden sapmalar hesaplanarak yüzey RMS hataları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en iyi yüzey RMS hatası (10,9 mm) reflektöre dik bakışta 90° de ve en düşük yer değiştirme değerleri yine 90° lik bakış açısında elde edilmiştir.



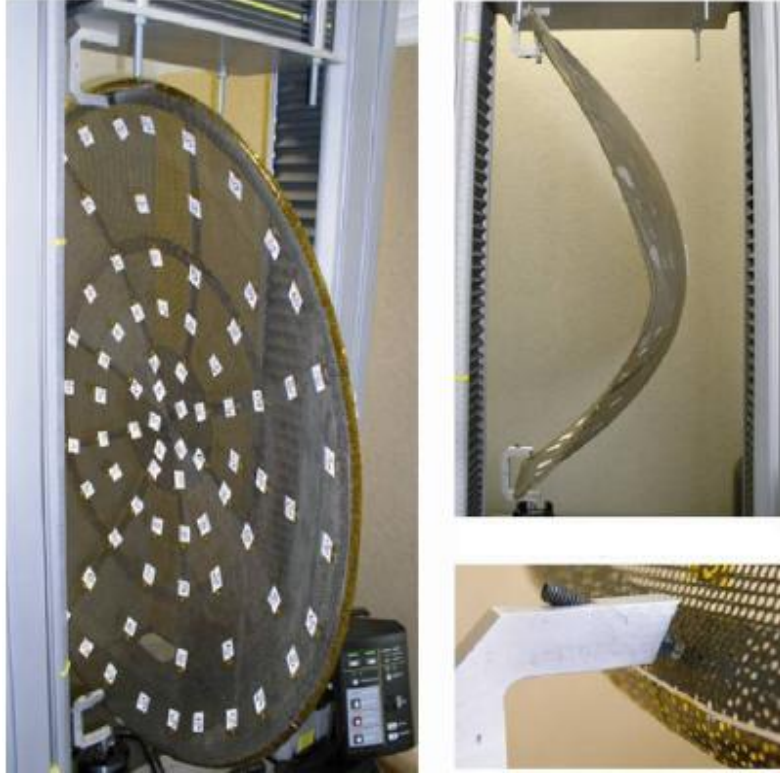
Şekil 2.17. 12 m çapında ön yüklemeli reflektör modeli (Shankar et al. 2009)

Taylor vd. (2010) yaptıkları bir çalışmada, 4 m yüksekliğinde ve 2,5 m eninde yansıtıcı yüzeyi çeşitli destek yapıları ile desteklenmiş, parabolik reflektör üzerinde fotogrametri tekniklerini kullanarak yaptıkları şekil analizlerini sunmuşlardır (Şekil 2.18). Fotogrametrik ölçümleri, açılma sonrası yüzey tekrarlanabilirliğini değerlendirmek ve yüzey RMS hatalarını belirlemek için çoklu ölçümler şeklinde yapmışlardır. İstiflenmeden önce ve açıldıktan sonraki nokta bulutlarının 3 boyutlu koordinatları değerlendirilerek yüzey RMS hatalarını belirlemişlerdir. Z (derinlik) ekseninde noktaların koordinatları referans alınarak reflektif yüzeyin yüzey RMS hatasını 0,27 mm olarak belirlemişlerdir. Bu çalışma ile, üretilen reflektörün benzerlerine göre daha yüksek frekans ve daha iyi yüzey hassasiyetine sahip olduğunu göstermişlerdir. Aynı zamanda başarılı bir şekilde katlanarak zarar görmeden tekrar açılabilen bu reflektör üzerinde yapılan testler, veri transfer kapasitesinin de oldukça iyi olduğunu ispatlamıştır.



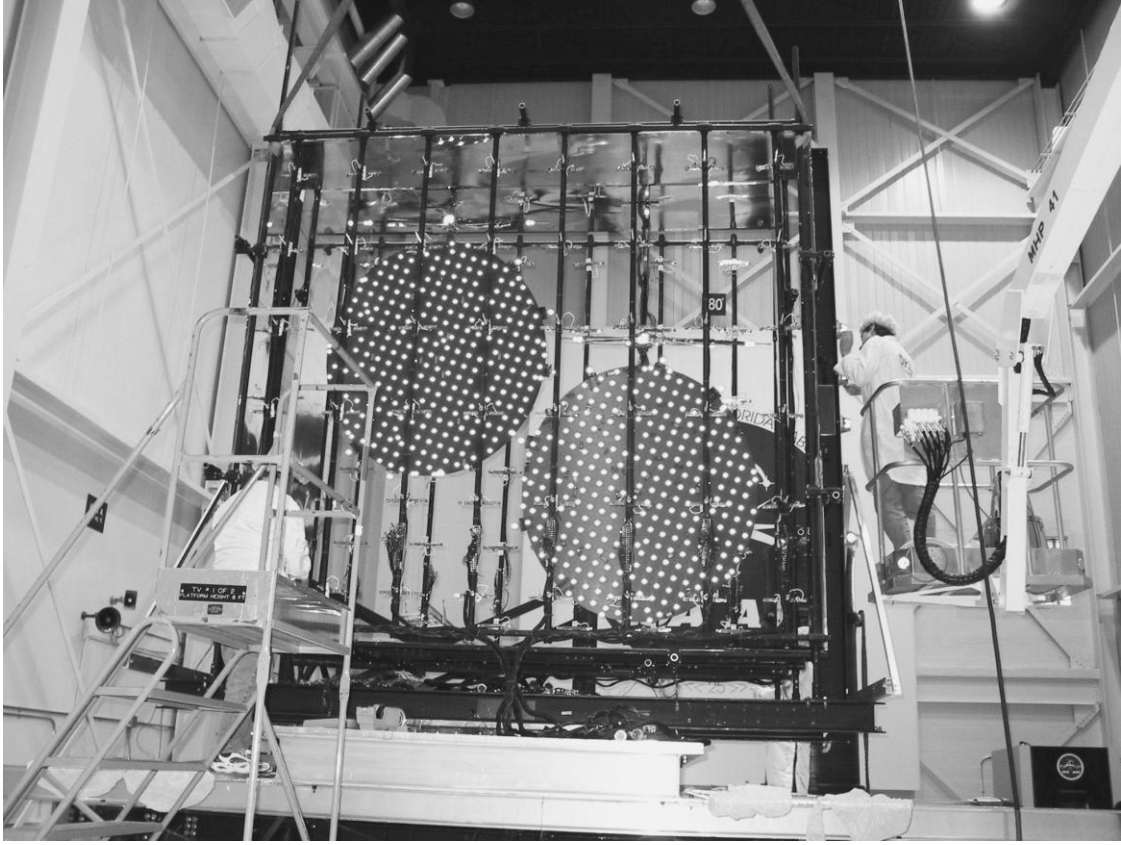
Şekil 2.18. Katlanıp açılabilen TEMBO reflektör modeli (Taylor et al. 2010)

Datashvili vd. (2005) yaptıkları çalışmada, 0,8 m çapında ürettikleri ölçekli model üzerinde fotogrametrik teknikleri kullanarak yaptıkları şekil ölçümlerini sunmuşlardır. Dikey olarak asılmış reflektörün üzerine 98 hedef noktası yapıştırılmıştır (Şekil 2.19). Reflektörün merkezi hafifçe deney ortamındaki panoya bağlanarak reflektörün dönmesini engellenmeye çalışmışlardır. Farklı açılardan 9 adet fotoğraf çektikten sonra, fotogrametrik yazılımlardan PhotoModeler programı kullanılarak hedef noktaların koordinat değerlerine ulaşmışlardır. Reflektörün odak uzaklığı F , 3 öteleme (x_0, y_0, z_0) ve euler açıları olarak bilinen 3 döndürme açıları (ϕ, θ, ψ) olmak üzere toplam 7 parametreden oluşan bir program oluşturularak en iyi parabol eğrisini elde etmişlerdir. Oluşturulan en iyi parabol ile gerçek parabol arasındaki sapmaları belirleyerek yüzey RMS hatasını hesaplamışlardır. 0,40 m odak uzaklığına sahip olacak şekilde üretilen reflektörün, odak uzaklığı hedef noktalarının koordinatları kullanılarak 0,395 m olarak ölçülmüştür. Bu esnek reflektörde oluşan % 1,25'lik farkın yer çekiminden kaynaklanmış olabileceği sonucuna varmışlar ve elde ettikleri yüzey RMS hatası ise 0,78mm'dir.



Şekil 2.19. 0,8 m Çapında Kabuk Yapılı Reflektör Modeli (Datashvili 2005)

Wiktowy vd. (2003) yayınladıkları makalelerinde Eneji İşletme Sistemi(EMS) teknolojileri tarafından geliştirilen 1,4x1,6 m çapında Ka-bant iletişim reflektörleri üzerinde yaptıkları yüzey ölçümlerini sunmuşlardır (Şekil 2.20). Kompozit malzemedan yapılmış her iki reflektör eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Ölçümler bu iki reflektörün deney ortamına aynı anda asılması ile gerçekleştirilmiştir. Dikey asılmasından ve kendi ağırlığından kaynaklanabilecek deformasyonları en aza indirmek için reflektörler deney düzeneğine yatay olarak asılmıştır. İlk ölçümler ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiş, daha sonra farklı sıcaklıklarda tüm ön ve arka yüzeylerin şekil ölçümleri yapılmıştır. Böylelikle sıcaklık farkından doğabilecek hataları belirlemeyi amaçlamışlardır. Fotoğraf makinesi olarak 6,3 megapiksel dijital fotoğraf makinesi kullanmışlardır. Dairesel kontrol noktalarını, deney ortamına yerleştirilen yansıtma cihazları ile reflektif yüzey üzerine yansıtılmışlardır. Referans noktalarını ise deney ortamının belirlenen yerlerine yapıştırmışlardır. Kamera açıları belirlenip görüntüler alındıktan sonra tüm fotoğraflar bilgisayara aktarılarak tüm noktaların 3 boyutlu koordinatlarını elde etmişler ve birbirleriyle karşılaştırmışlardır.. Elde edilen sonuçlar reflektif yüzeylerde herhangi bir bozulmanın olmadığını göstermiştir.



Şekil 2.20 Ka-Bant iletim reflektörleri için hazırlanan fotogrametrik ölçüm düzeneği (Wiktowy et al. 2003)

Edmundson vd. (2001) yaptıkları bir çalışmada, dünyanın en büyük yekpare radyo teleskopu olan Arecibo (Teleskopa verilen isim) teleskopunun şekil ölçümlerini sunmuşlardır. Bu teleskopun parabolik yüzeyi 3x6 feet boyutlarında yaklaşık olarak 38 000 alüminyum panelden oluşmaktadır. Paneller kuzey-güney ve doğu-batı yönünde yerleştirilmiş rijit kablolar ile desteklenmektedir. Fotogrametrik ölçümler için Geotedic Services firması tarafından geliştirilen metrik film kameralar kullanılmıştır. Çalışmanın ilk adımında standart film boyutları(23x23 cm) baz alınarak kameralar kalibre edilmiştir. Reflektif yüzey üzerine yaklaşık boyutları 3 inç olan 40000 adet kontrol noktası yerleştirilmiştir. Teleskopun boyutu çok büyük olduğundan reflektif yüzey belirli bölümlere ayrılarak yüzey doğruluğu ölçümleri yapılmıştır. Kamera istasyonları her bir bölme için ayrı ayrı uygun ölçüm yapmaya elverişli olacak şekilde seçilmiştir. Bir kule üzerinden yapılan ölçümler gün boyunca 20 dakika aralıklar ile çekilerek gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak 1928 kontrol noktası ele alınarak 48 fotoğraf değerlendirmişler ve tüm noktaların ölçümü yaklaşık olarak 256 saat sürmüştür. Bu

çalışmalar sonucunda elde edilen yüzey RMS hatasını yaklaşık olarak 5,5 mm'dir.

Dreizin ve Sharay(2004), düşük kütleli, X-bant iletişim gücü yüksek SAR reflektör grubu için geliştirdikleri parabolik reflektör anten üzerinde yaptıkları fotogrametrik ölçümleri sunmuşlardır. Fotogrametrik ölçümlerde ilk olarak 10 mm çapında kontrol noktalarını reflektif yüzey ve kaburgalar üzerine yapıştırmışlardır. Tüm noktaların 3 boyutlu koordinatlarına ulaşmak için 4 ile 6 fotoğrafı birbirleriyle eşleştirmişlerdir. Bu yöntemle elde edilen yüzey RMS hatasını 0,1 mm olarak belirlemişler ve kaburga yüzeyinde elde edilen yüzey RMS hatasını ise 0,4 mm olarak belirlemişlerdir. Reflektörün yüzey hatalarını tam olarak belirlemek ve optimum odak uzaklığını hesaplamak için Best-Fit Paraboloid (BFP) ideal parabol eğrisi yöntemini kullanarak yeni bir program tasarlamışlardır. Ayrıca kaburga destek yapılarının konumunun hassas bir şekilde ayarlanması için ideal parabol eğrisi oluşturma yöntemini baz almışlardır. Çalışmaları doğrulamak için yatay tarama cihazı kullanarak reflektif yüzeyin yüzey kayıplarını hesaplamışlar ve yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen yüzey kaybını 0,8 desibel olarak bulmuşlardır.

Genelde reflektörlerin yüzey deformasyonları; anten performansları değiştirilerek veya geleneksel deformasyon hesaplama yöntemleri ile hesaplanabilir. Tanaka (2011) yaptığı bir çalışmada, şekil kontrol parametrelerini hesaplamak ve reflektif yüzey deformasyonlarını düzeltmek için yeni bir analitik metot geliştirmiştir. Geleneksel deformasyon hesaplama yöntemine anten bozukluğundan kaynaklanan deformasyonları da eklenerek yeni bir program geliştirilmiştir. 5,6 m çapında anten üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda reflektif yüzey hatasını 0,34 mm olarak belirlemiştir. Bu yöntemin uygulanabilirliğini göstermek için sonlu elemanlar programı kullanılarak sayısal simülasyonlar yapmıştır. Simülasyon sonuçları bu yöntem ile yüzey deformasyonlarının giderilebileceğini göstermiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, 90x65 cm boyutlarında bir bilgisayar masası, 90 cm çapına bir uydu anteni, 1,5 ve 2 metre çapında kompozit malzemeden üretilmiş reflektörlerde üzerinde yapılan fotogrametrik ölçümlerde kullanılan fotoğraf makinelerinden ve bunların özelliklerinden, PhotoModeler programı ile 3 boyutlu koordinatların nasıl elde edildiğinden, 3 boyutlu koordinatlar elde edildikten sonra, fotogrametrik ölçümü gerçekleştirilen yapıların ideal şeklinin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir.

3.1 PhotoModeler Yazılımı ile Model Oluşturma

PhotoModeler programı Eos System Inc şirketi tarafından geliştirilen hassas, hızlı ve düşük maliyetli 3D modelleme programıdır. İlk olarak 1992 yılında üretilmiş ve şu ana kadar 3 farklı versiyonu piyasaya sürülmüştür. Birçok dünya ülkesinde yaygın ve etkin şekilde kullanılmaktadır. Adında anlaşılacağı gibi bir nesnenin farklı açılardan çekilen fotoğraflarını kullanarak 3D modelleme imkânı sunmaktadır. Fotoğrafla modelleme yapıldığı için HandyScan, FastScan, FaroArm gibi bilinen 3D tarama cihazları ve modelleme sistemlerine nazaran çok ucuzdur.

PhotoModeler programı Windows 95 ve daha üstü versiyonlarında çalışabilen ve minimum şartları; 16 megabayt (MB) Ram, 30 MB boş alan, 800x600 ekran çözünürlüğü ve 32000 renkli özelliklere sahip Pentium model bilgisayarlarda kullanılır.

PhotoModeler programı birçok alanda kullanılmaya uygundur. PhotoModeler 3D modelleme programı, mimari ve arkeolojik uygulamalarda, yer altı kazı ölçümlerinde, yer kabuğu hareketlerinin ölçümünde, yapısal hareket ve deformasyonların ölçülmesinde, baraj deformasyonlarının ölçülmesinde, 3 boyutlu modellemede, gemi inşası ve tasarımında, uçak ve otomobil sanayisinde, haberleşme antenlerinin ölçülmesinde, sanayi boru sistemlerinin montajında, adli tıp uygulamalarında, kazalarda araç ezilmelerinin ölçülmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. PhotoModeler programındaki işlem adımlarını 4 ana başlık altında toplayabiliriz (İnt. Kay. 4).

3.1.1 Kamera Kalibrasyonunun Sağlanması

Fotogrametride kamera kalibrasyonu, kamera sistemini en iyi şekilde ifade eden parametrelerin bulunması olarak ifade edilir. Bu parametreler, resim çekme merkezinin resim düzlemine uzaklığı, piksel olarak görüntü boyutları, resim koordinat eksenlerinin yönleri ve dönüklükleri ile distorsiyon parametreleridir. Fotogrametride bu parametreler fotoğraf üzerindeki noktalar ile uygun geometrik ilişkiyi oluşturmak için kullanılır. PhotoModeler programında farklı fotoğraf makineleri kullanılarak modelleme yapılabilir. Modelleme yapılırken kullanılan fotoğraf makinesine ait birtakım spesifik değerler (odak uzaklığı, görüntü ölçeği, görüntü merkezi vb.) girilmelidir.

Ayarlanmış bir kamera modeli, yazılım ile birlikte sağlanan kalibrasyon modelleri analiz edilerek oluşturulabilir. Yaklaşık bir kamera modeli de kameranın tasvir verileri girilerek oluşturulabilir fakat bunun doğruluğu düşük olabilir. Değerlerin doğru bir biçimde girilmesi hatasız ölçüm imkânı sunmaktadır. Fotoğraf makinesinin tanımlanması sadece bir kere yapılır ve bundan sonra aynı fotoğraf makinesi ile yapılan projelerde bu tanımlama bilgisi kullanılır. Tanımlama bilgisi fotoğraf üzerindeki noktalar ve üç boyutlu noktalar arasındaki uygun geometrik ilişkiyi oluşturmak için kullanılır.

3.1.2 Ölçüm Projesinin Planlanması

Ölçüm projesinin planlanması, hedef büyüklüğün ve şeklin kararlaştırılması, nesnede hedeflerin uygulanması, kamera pozisyonlarının ve çekilecek fotoğraf sayısının kararlaştırılması işlemlerine dayanır. Birden fazla fotoğraf yardımıyla değerlendirmede modellenecek tüm nokta ve hatların en az iki veya daha fazla fotoğrafta kesin geometrik kısıtlamaları karşılması gerekir. Bundan dolayı fotoğrafların çekimi sırasındaki konumlar dikkate alınmalıdır.

PhotoModeler programında hedefin büyüklüğü kameranın piksel çözünürlüğüne bağlıdır. Fotoğraflar planlanırken istenilen her nokta ve detayın fotoğraf çekilirken görüntülenmesine dikkat edilmelidir. Nesnenin sadece dış yüzeyi boyutlandırılacak ise

nesneyi bütün olarak görecek uzak mesafeli fotoğraflar çekilmelidir. Ancak bazı süslemeler ve detaylar da boyutlandırılacaksa yakından çekilen fotoğraflar kullanılmalıdır. Ölçüm planlanmasında dikkat edilecek önemli detaylardan biride ortam ışığının iyi ayarlanmasıdır.

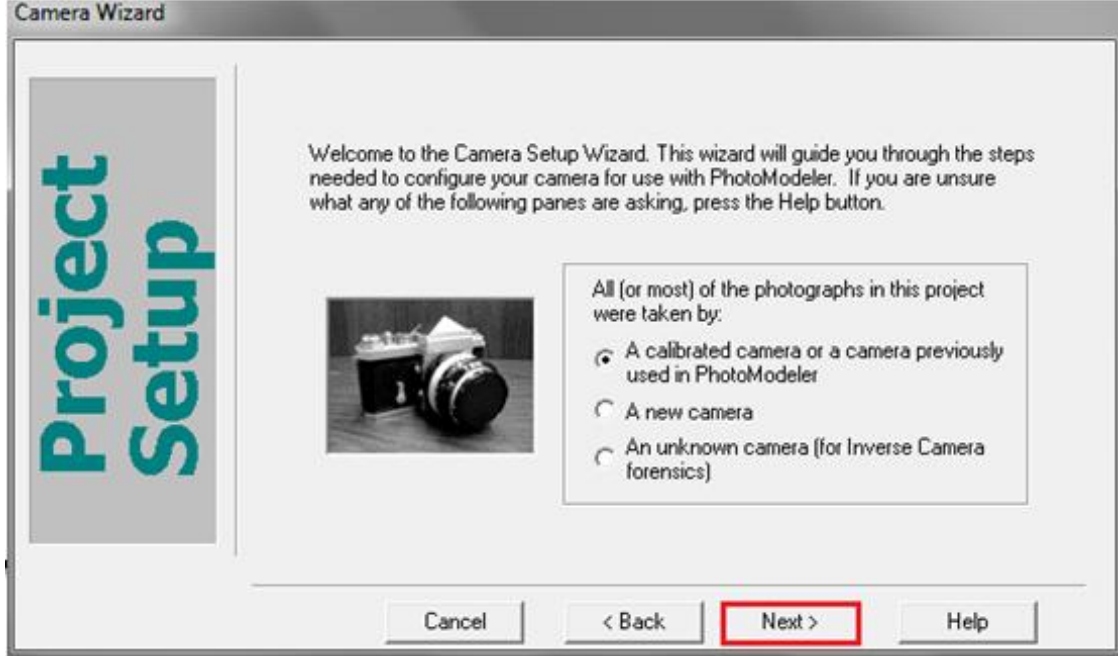
3.1.3 Nesnenin Fotoğraflarının Çekilmesi ve Programa Aktarılması

Bu bölümde, ilk olarak kamera istasyonları belirlenir. Kameralar modellenecek nesneyi görebilecek şekilde farklı konumlara yerleştirilir. Daha hassas çekim yapmak için tripod veya kamera sabitleyici kullanılabilir. Fotogrametrik ölçümlerde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri kamera açıları ve kamera yakınlıklarıdır. Eğer kamera pozisyonları arasındaki açı çok düşükse, x ve y koordinatlarındaki noktaların hassasiyeti (noktaların tüm fotoğraflardaki konumu, duyarlılığı) iyi, z (derinlik) koordinatındaki hassasiyet ise oldukça düşük olur. Kamera pozisyonları arasındaki açı çok yüksek ise, z koordinatındaki hassasiyet iyi buna karşın x ve y koordinatındaki hassasiyet düşük olur. Kameralar arasındaki ideal açı 90^0 - 100^0 olmalıdır (Wiktovy 2003). Kamera açıları belirlendikten sonra tüm istasyonlardan resimler alınır. Tek bir kamera kullanılacak ise her bir konumdan diğerine geçmeden önce birkaç resim çekilir. Bu resimlerin sadece en iyi olanı kullanılır.

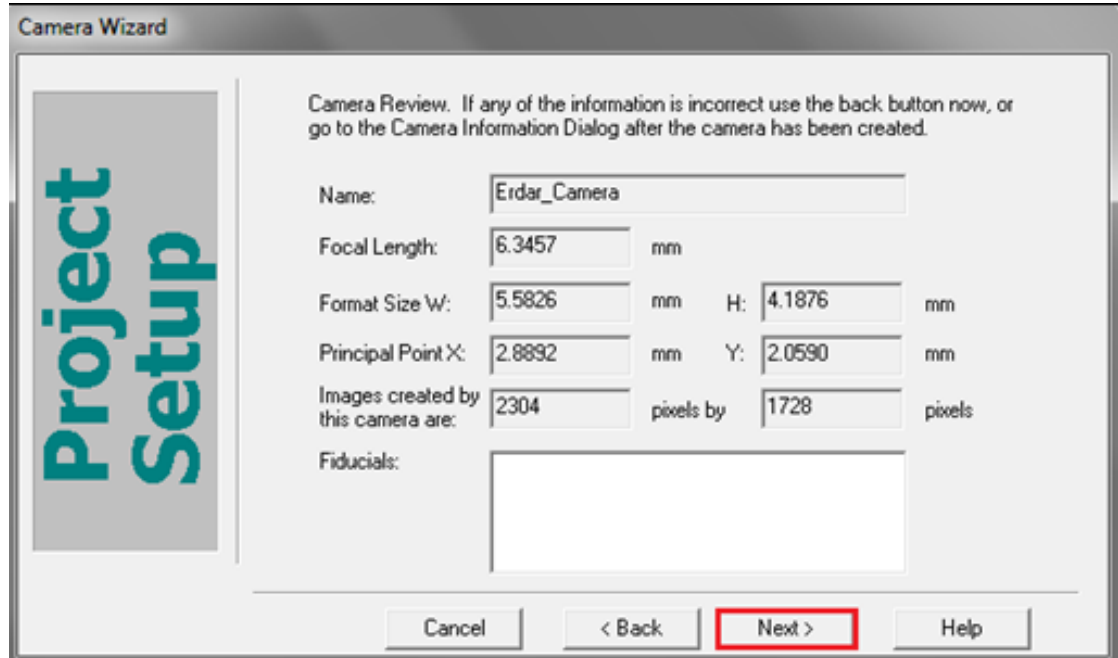
PhotoModeler programında proje dört şekilde oluşturulabilir. Standart proje, kamera kalibrasyonun sağlanması için kullanılan kalibrasyon projesi, sadece fotoğrafları düzenlemek için kullanılacak olan proje ve son olarak kontrol noktalarını otomatik işaretleme yaparak model oluşturulması sağlayan otomatik projedir. Proje parametreleri için m, inç, cm veya mm gibi uzunluk birimlerinden biri seçilerek objenin yaklaşık boyutu girilir. Sonrasında Next(Sonraki) ikonu seçilerek kamera ayarlarına geçilir. Bu bölüm; kullanılan kameranın daha önce programda kullanılmış ya da ilk defa kullanılacak olduğunun belirlendiği aşamadır. Kameraya ait kalibrasyon dosyası oluşturulmuş ise A camera used by Photomodeler previously (daha önce PhotoModeler tarafından kullanılmış kamera) ikonu, yeni bir kamera kullanılacak ise A New Camera (yeni bir kamera) ikonu seçilerek kamera belirlenir (Şekil 3.1).

Sonraki ikonuna tıklandıktan sonra kalibrasyon dosyasından alınan kamera

parametrelerinin gösterildiği ekran oluşur. Bu ekranda odak uzaklığı, piksel olarak görüntü boyutları, görüntü genişliği ve yüksekliği ile görüntü orijin noktası koordinatları yer alır (Şekil 3.2).

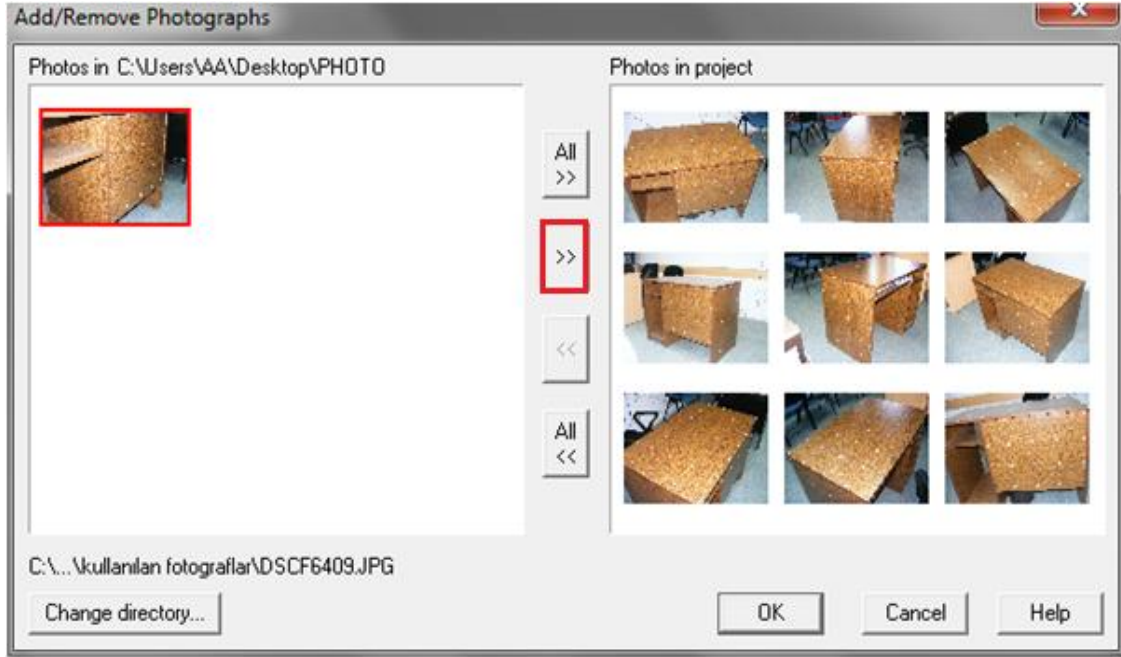


Şekil 3.1 Projede kullanılacak kameranın belirlenmesi



Şekil 3.2 Kamera parametrelerini gösteren pencere

Bundan sonraki aşama çekilen fotoğrafların PhotoModeler programına aktarılması aşamasıdır. İlk olarak kamera parametrelerinin gösterildiği pencerede sonraki butonuna basılır. Fotoğraflar Add/Remove Images (Resim ekle/çıkart) butonu seçilerek programa aktarılır. Son olarak işlenmeye uygun olan fotoğraflar sağa aktarma ikonu yardımıyla projeye tek tek veya toplu halde alınır (Şekil 3.3) ve fotoğraflar üzerinde noktaların işaretlenmesi aşamasına geçilir.

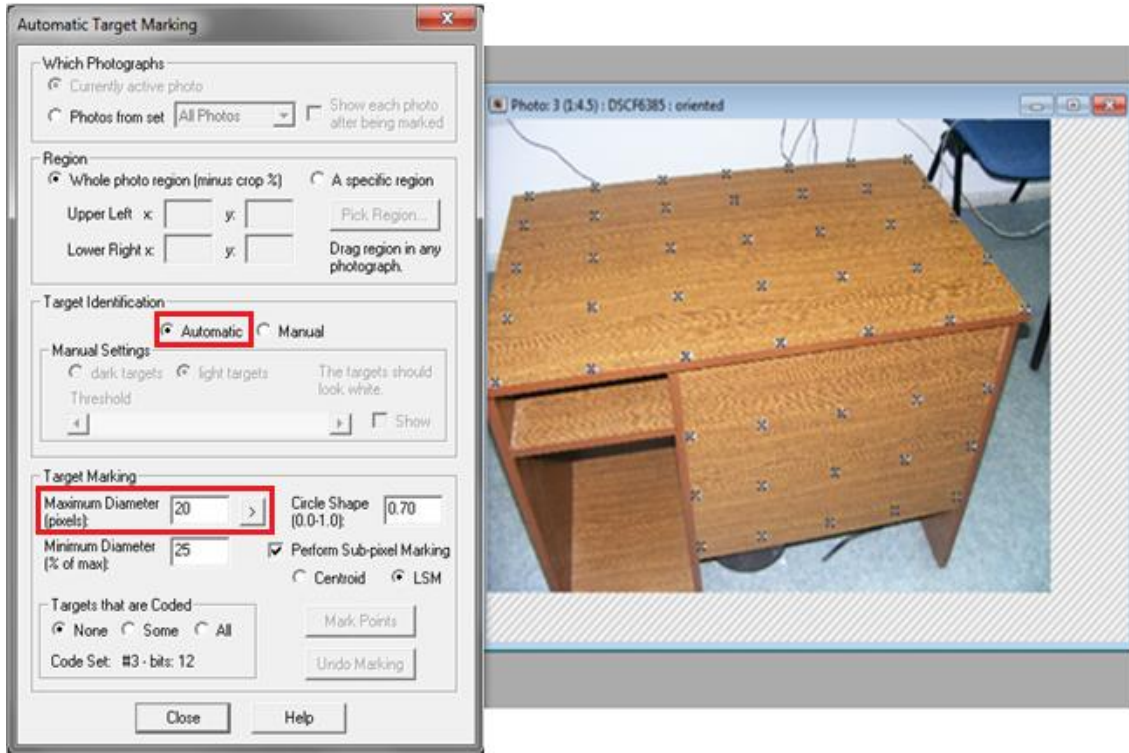


Şekil 3.3 Fotoğrafların PhotoModeler programına aktarılması

3.1.4 Nesnenin 3D koordinatlarının Elde Edilmesi

PhotoModeler yazılımı ile model oluşturulurken fotoğraf sayısının fazla olması daha hassas bir model oluşturmak anlamına gelmemektedir. Önemli olan kamera açıları esas alınarak en uygun fotoğrafların seçilebilmesidir. Fotoğraflarda önemli olan ise, ana hatları göstermek için noktaların işaretlenmesi veya çizilmesidir. Fotoğraflar programa eklendikten sonra tek tek açılarak hedef noktaları işaretlenir. İşaretleme işlemi otomatik olarak veya elle yapılabilir. Otomatik olarak yapılması hedef noktalarının daha hassas bir şekilde bulunmasına olanak vermekle birlikte nokta koordinatlarının belirlenmesinde hatasız işlem yapılmasını sağlamaktadır.

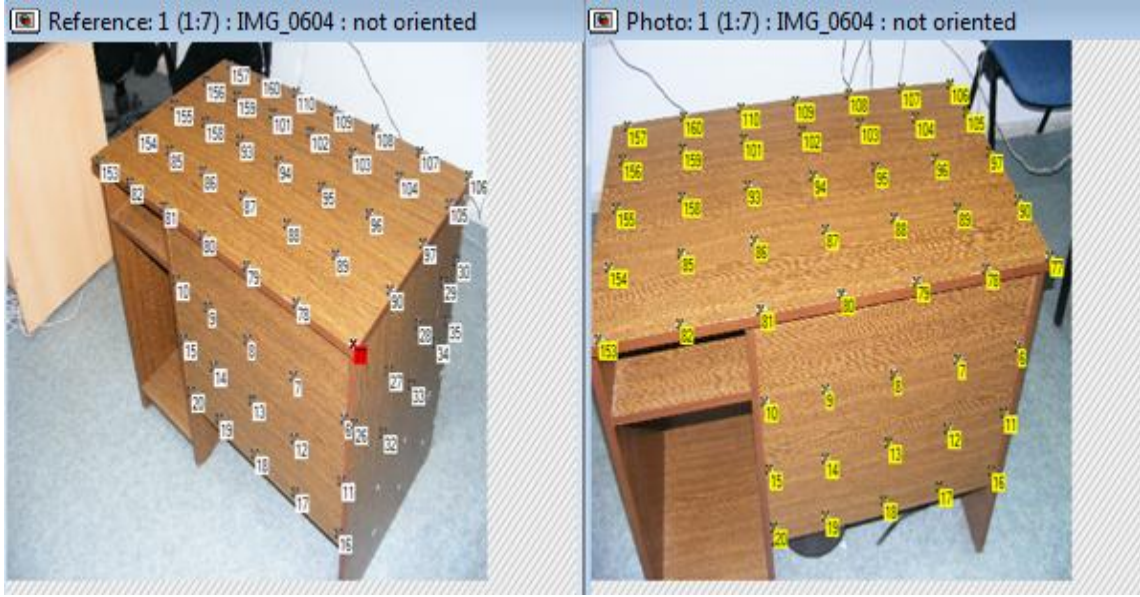
Otomatik işaretleme yapılabilmesi için ilk olarak menü çubuğunda Marking (İşaretleme) ikonu altında Automatic Target Marking (Otomatik hedef işaretleme) ikonu seçilir. Ayrıca Target Identification (Hedef tanıma) bölümünde otomatik sekmesinin işaretli olması gerekmektedir. Otomatik işaretlenme yapılırken ilk olarak hedef noktalarının piksel boyutu girilir. Piksel boyutu yaklaşık olarak girilebileceği gibi Maximum Diameter (Maksimum çap) ikonuna tıklanarak pencere özelliği ile piksel boyutu programa hesaplatılabilir. Son olarak Mark Points (İşaretleme noktaları) ikonuna tıklanarak hedef noktaları otomatik olarak bulunur. Bu işlemler kullanılacak olan tüm fotoğraflar için tek tek uygulanmalıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kontrol noktalarının otomatik olarak işaretlenmesi

Üç boyutlu modelde noktaların nerede olduğunu belirlemek için farklı fotoğraflardaki aynı noktaların eşleştirilmesi gerekir. Bir fotoğrafta nokta veya çizgi gösterildiğinde aynı nokta veya çizgiyi bulduran diğer fotoğraflarda da işaretleme yapılmalıdır. Aksi halde program fotoğraflardan noktaların nerede olduğu bilgisine ulaşamaz. Eşleştirme işlemi için menü çubuğunda Referencing (Referanslama) ikonu altında Reference mode (Referans modu) ikonu seçilerek, kaynak fotoğraf (referans alınacak fotoğraf)

seçilmelidir. Fotoğraf seçildikten sonra fotoğraf üzerinde fotoğraf yazısı yerine referans yazısı oluşur. Daha sonra kaynak fotoğraftaki noktalar seçilerek hedef fotoğraflar üzerinde işaretlenmelidir. Aynı noktanın iki resimde eşleştirilmesi dengeleme için yeterlidir ancak nokta konumunun daha hassas bir şekilde belirlenebilmesi için her bir noktanın en az üç fotoğrafta eşleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 3.5).

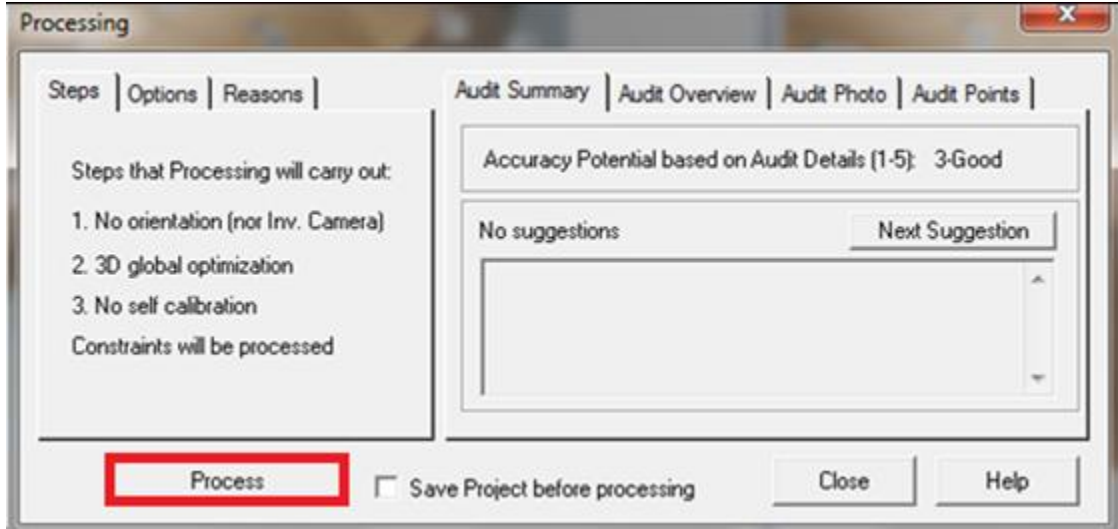


Şekil 3.5 Fotoğraflardaki hedef noktalarının birbirleriyle eşleştirilmesi

İşaretleme ve referans işlemi tamamladıktan sonra, verinin dengelenmesi Processing (İşleme) butonu seçilerek gerçekleştirilir. Eğer makul ölçüde dikkatlice çalışılmışsa, PhotoModeler verilerden üç boyutlu model oluşturmak için birkaç dakika çalışacaktır. Dengeleme işleminin süresi işaretlenen noktaların ve fotoğrafların sayısına bağlı olarak değişir.

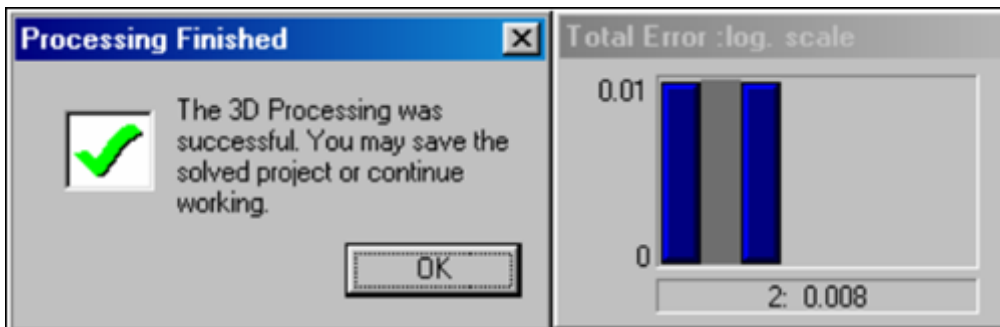
PhotoModeler verileri işlemek için gelişmiş matematiksel teknikleri kullanır. İşlem basamağı iki aşamadan oluşur. Bunlardan biri denetim diğeri ise düzenlemedir. Denetim projeyi değerlendirir, referans noktaları, işaretlenmiş noktalar ve kamera konumlarını kapsayan birçok hesaplama gerçekleştirir ve hedef noktaların doğruluğunu iyileştirmek için öneriler sunar. Denetim hiç öneri kalmayıncaya kadar sürdürülür. Düzenleme aşamasında ise, hedef noktaların, kamera pozisyonlarının ve açıların üç boyutlu koordinatlardaki hatalarını minimize ederek, referans noktaları, kameranın bağlı

pozisyonları ve açıları tanımlamak için birkaç algoritma kullanılır. Ekranı gelen işleme penceresinde proje bilgileri yer alır. Herhangi bir hata var ise öneriler kısmında nasıl düzeltilebileceği gösterilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 PhotoModeler programında dengeleme işlemi

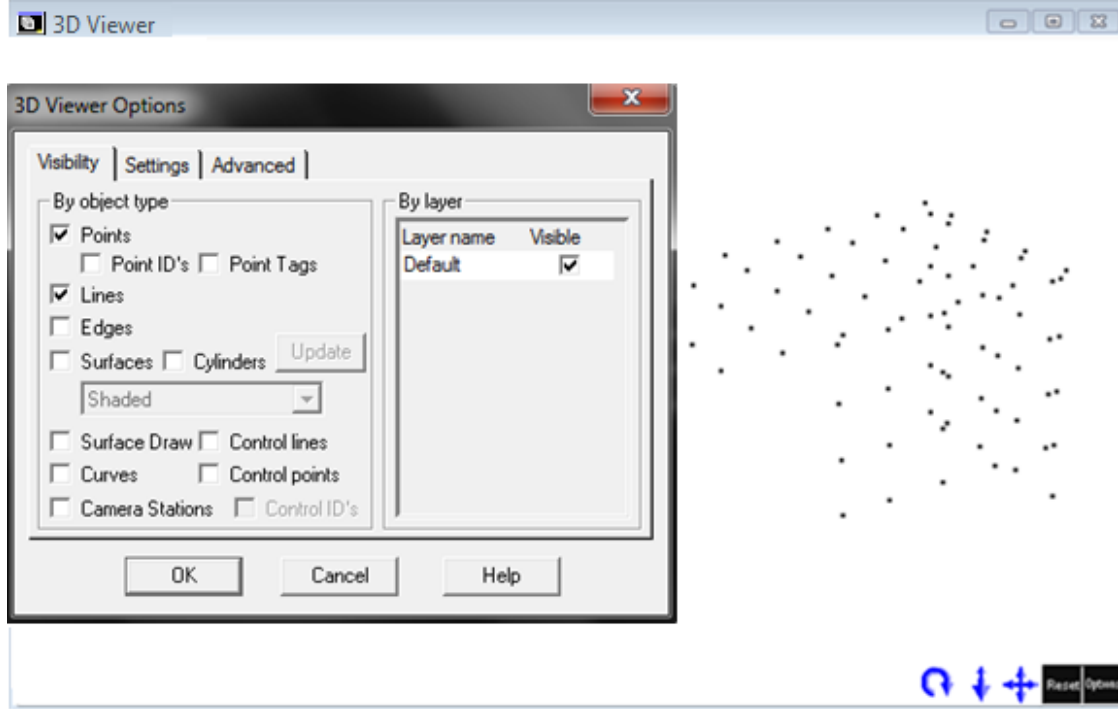
İşleme butonuna tıklandığında, program fotoğraf makinesi istasyonlarının açılarını ve pozisyonlarını, nesne noktalarının ve kenarlarının pozisyonlarını her bir tekrarlama ayarlayarak işleme tabi tutar. İşlemin başarılı olup olmadığını gösteren bir pencere oluşur (Şekil 3.7). Dengeleme işleminin başarılı olması durumunda projeye devam edilir. Başarılı olmaması durumunda işlem adımları kontrol edilerek hatanın nerde olduğu bulunmalı ve düzeltilerek işlem adımları tekrarlanmalıdır.



Şekil 3.7 PhotoModeler programında dengeleme işlemi sonucu hata miktarı

Üç boyutlu model PhotoModeler yazılımı ile oluşturulduktan sonra proje PhotoModeler ortamında saklayabilir ya da bilgisayar destekli tasarım ya da grafik programına

aktarılabılır. Üç boyutlu model dxf, 3ds, obj, vrml, iges ya da raw dosyası okuyabilen programlar yardımıyla açılabilir. Üç boyutlu modelin farklı bir programa aktarılması için öncelikle PhotoModeler programı tarafından formatının dönüştürülmesi gerekir. İşlem tamamlandıktan sonra 3D noktalar kümesi ve model oluşturulabilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 3D noktalar kümesinin oluşturulması

3.2 Bilgisayar Masasının Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

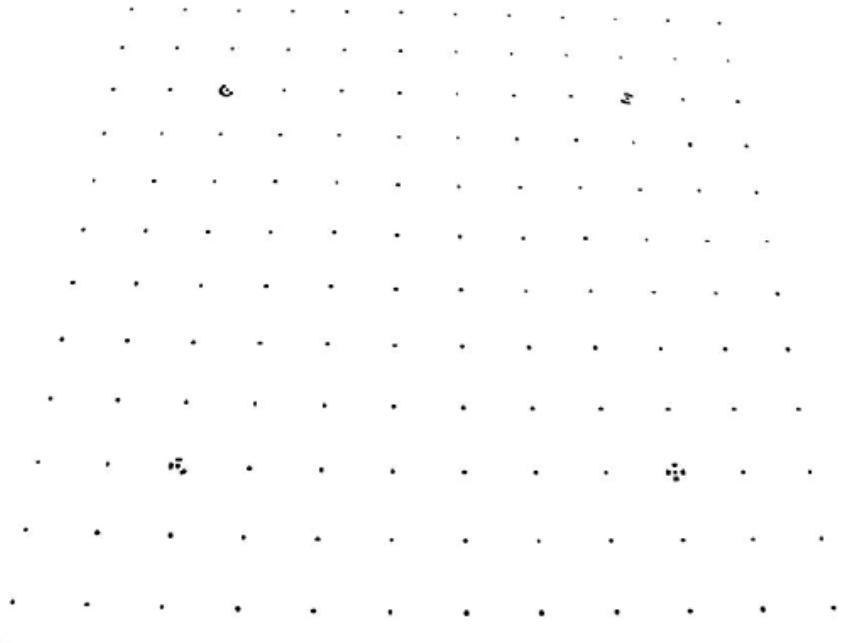
3.2.1 Bilgisayar Masasının 3D Koordinatlarının Elde Edilmesi

Bu çalışmada, 95x60 cm boyutlarında tahtadan yapılmış bir bilgisayar masasının üst yüzeyinin hataları belirlenmiştir. İlk olarak çalışmada kullanılacak olan fotoğraf makinesinin kalibrasyonu sağlanmıştır. Çalışmada Fujifilm FinePix S5700 marka, 7 Megapiksel efektif çözünürlüğe sahip, odak uzaklığı 30 cm olan, akıllı flaş sistemi ile nesnenin boyut ve uzaklığını ölçerek pozlama ve flaş değerini otomatik ayarlama imkânı sunan, ISO 1600 ışık hassasiyetine sahip bir dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır (Şekil 3.9). Kullanılan fotoğraf makinesi, fotoğraf dengeleme özelliği ile son derece yüksek çekim hızlarında çekim yapma olanağı sağlayarak fotoğraflardaki bulanıklık etkilerini ortadan kaldırmaktadır.



Şekil 3.9. Bilgisayar masasının modellenmesinde kullanılan fotoğraf makinesi

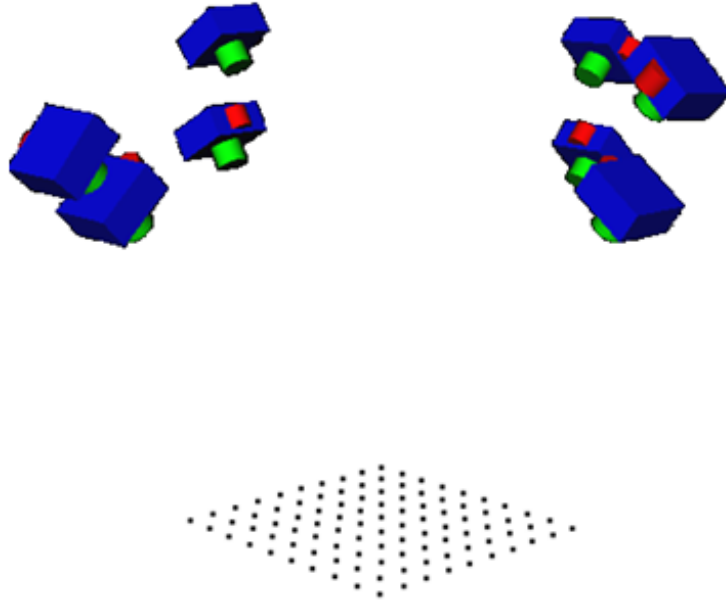
PhotoModeler programında fotoğraf makinesinin kalibrasyonun sağlanması için program içerisinde kalibrasyon için hazırlanmış dokümanın çıktısı A4(210x297 mm) boyutlarında alınarak düz bir zemin üzerine (çalışma alanına) yerleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. PhotoModeler programı için hazırlanmış kalibrasyon kalıbı

Kâğıdın her yönünden resme göre kamera açısı sıfır ve doksan derece olacak şekilde 8 adet fotoğraf çekilmiştir. PhotoModeler programında kalibrasyon projesi kullanılarak kamera kalibrasyonu sağlanmıştır. Çekilen fotoğraflar programa atılarak hedef noktaları otomatik olarak işaretlenmiş ve kendi aralarında eşleştirilmiştir. İşleme komutu ile kameradan alınan veriler işleme tabi tutularak hata oranı belirlenmiştir.

Kamera kalibrasyonunu gözden geçirmek, sonuçların doğru olup olmadığını gözlemlemek için Show Report (Sonuçları göster) komutu ile ortaya çıkan problem ve öneriler, işlem seçenekleri, toplam hatalar, fotoğraf ve kameraya ait bilgiler görüntülenebilir. Kamera kalibrasyonunu sağladıktan sonra toplam hataya bakmak gerekir. Elde edilen toplam hata oranı 0,3'den küçük olması kamera kalibrasyonu için yeterlidir. Fakat çok iyi kamera kalibrasyonu isteniyorsa hata oranı 0,02'den düşük olmalıdır veya en büyük hedef noktası değeri 1 pikselden düşük olmalıdır. Kamera kalibrasyonu sağlandıktan sonra kamera kaydedilerek işleme hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.11'de kamera kalibrasyonu için oluşturulan resim çekim algoritması verilmiştir.



Şekil 3.11 Kamera kalibrasyonu için resim çekim algoritması

Bir sonraki aşama, kullanılacak kontrol noktalarının tipi ve boyutlarının belirlenmesi, bu noktaların nesne üzerine nasıl yerleştirileceğinin karar verilmesi, kamera pozisyonları ve kullanılacak fotoğraf sayısının belirlenmesini içermektedir. Hedef

noktasının büyüklüğü temel olarak kullanılacak kameranın piksel çözünürlüğüne dayanır. En azından hedef noktasının merkezinde, yüksek hassasiyet ve verim açısından 4 piksel olması gerekir. Hedef noktasının rengi modellenecek nesnenin rengine zıt renklerde seçilmesi hedef noktalarının PhotoModeler programı tarafından daha kolay bulunmasına olanak verir. Hedef noktası büyüklüğü aşağıdaki formülle hesaplanabilir. Hedef büyüklüğü K ile gösterilirse;

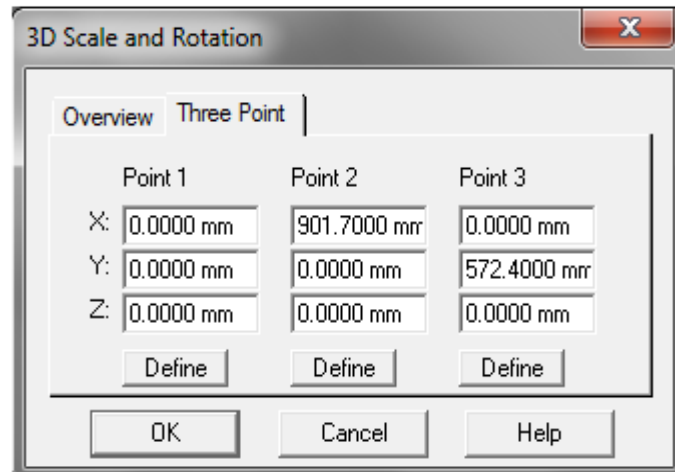
$$K = \frac{4W_0}{W_1} \quad (3.1)$$

denklemdaki W_0 nesnenin genişliği, W_1 ise görüntüdeki piksel sayısı olarak ifade edilir. $W_0 = 950$ mm ve $W_1 = 640$ mm alınarak, minimum hedef büyüklüğü $4 \times 950 / 640 = 5,93$ mm olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde PhotoModeler programı içerisinde Create Coded Target (Hedef oluşturma) komutu ile kalibre edilen fotoğraf makinesi seçilerek kontrol noktası çapı belirlenebilir. Daha iyi doğruluk sağlamak için, iç çapı 6 mm(en az 5,93 olması gerekir) olan kontrol noktaları kullanılmıştır. Masanın üç yüzeyine 15 cm'lik aralıklar ile kontrol noktaları yapıştırılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Bilgisayar masasına yerleştirilen kontrol noktaları

Belirli açılardan 20 adet fotoğraf çekildikten sonra uygun olan 10 fotoğraf PhotoModeler programına aktarılarak model oluşturuldu. Toplam hata oranı 0,018 olarak belirlenmiştir. Ölçekleme işleminin yapılması için Scale/Rotate (Ölçek/Döndürme) komutu kullanılmıştır. Ölçek komutu iki nokta arasındaki mesafeleri belirlemek için kullanılan bir komuttur. Hata oranını en aza indirmek için en uzak noktalar arasındaki mesafe girilmelidir. Bu komutun içerisinde bulunan Translate (Çevirme) komutu referans noktası belirlemek için kullanılan bir komuttur. Döndürme komutu ise x,y,z eksenlerini belirlemek için kullanılan komuttur. 3D koordinatları belirlemek için kullanılan başka bir yöntem ise Three Points (Üç nokta) komutudur. Bu komut ile 3 nokta esas alınarak tüm noktaların koordinatlarına ulaşılmaktadır. Bu uygulamada birinci nokta referans noktası olarak kabul edilir. İkinci ve üçüncü nokta için referans noktasına en uzak mesafedeki noktalar seçilerek X, Y, Z değerleri girilir Şekil 3.13’de üç nokta yönteminin uygulama aşaması gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Üç nokta yöntemi ile koordinatların girilmesi

Ölçekleme işlemi tamamlandıktan sonra, masanın üst yüzeyinin yüzey RMS hatasının belirlenebilmesi için yüzeylere yapıştırılan hedef noktalarının koordinat değerleri elde edilmiştir. Bunun için Tables (Tablolar) komutu altında Point Table (Nokta tabloları) ikonu kullanılmıştır. Nokta tabloları bölümde noktaların koordinat değerlerine, nokta konumlarının hassasiyetlerine noktaların hangi fotoğraflar ile işlendiği gibi kontrol için gerekli bilgilere ulaşmak mümkündür.

3.2.2 İdeal Düzlemin Oluşturulması ve Hataların Belirlenmesi

Bu bölümde, üç boyutlu koordinatları PhotoModeler programı ile belirlenmiş bu noktalardan geçen ideal düzlem oluşturularak masanın üst yüzeyinde meydana gelen hata miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İdeal düzlemi oluşturmak için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. En küçük kareler yöntemi, birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağlantıyı, mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan, standart bir regresyon yöntemidir. Bir başka deyişle bu yöntem, ölçüm sonucu elde edilmiş veri noktalarına mümkün olduğu kadar yakın geçecek bir fonksiyon eğrisi bulmaya çalışır.

En küçük kareler yöntemine göre, bir set halinde 3 boyutlu noktalar verildiğinde, bu noktaların belirli bir düzlem üzerinde belirlenen toleranslar içerisinde bulunması gerekir. İlk olarak bu noktalar üzerine yansıtılabilecek bir düzlem belirlenir. Üç boyutlu düzlem en kısa halde şu şekilde ifade edilebilir.

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (3.2)$$

denkleminin düzlemin normalini verdiğini varsayılsa, bu denklemde A, B ve C katsayıları denklemin normalini veren katsayılardır. Diğer bir ifadeyle düzlemin normali, $N = (A, B, C)$ koordinatlarıdır. Herhangi bir nokta ile düzlem arasındaki mesafe nokta ile ifade edilmek istenirse, $p_i = (x_i, y_i, z_i)$ şeklinde ifade edilebilir. Düzlem ile ifade edilirse,

$$d_i = Ax_i + By_i + Cz_i - D = 0 \quad (3.3)$$

denklemini ifade edilebilir. Verilen nokta kümelerine göre p_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$), öyle bir düzlem oluşturulması gerekir ki p_i noktası (herhangi bir nokta) ile düzlem arasındaki uzaklık belirli bir şekilde minimize edilmiş olsun.

Düzlem tanımlandıktan sonra p_i noktalar kümesi ve düzlem arasındaki gerçek mesafe hesaplanabilir. Diğer bir ifadeyle her bir noktanın düzleme olan uzaklığı bulunabilir.

d_i negatif ve pozitif olduğunda d_i 'nin en uygun minimizasyonu en küçük kareler yöntemi ile hesaplanabilir. A, B, C, D noktalarının bulunmasına eş değer olan aşağıdaki denklem ile d_i minimize edilebilir.

$$\phi(A, B, C, D) = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n d_i^2 (Ax_i + By_i + Cz_i - D)^2 \quad (3.4)$$

Bu denklem aşağıdaki doğrusal eşitlikler ile çözülebilir.

$$[(\delta\phi)/(\delta A)] = 2 \sum_{i=1}^n [Ax_i + By_i + Cz_i - D]x_i = 0 \quad (3.5)$$

$$[(\delta\phi)/(\delta B)] = 2 \sum_{i=1}^n [Ax_i + By_i + Cz_i - D]y_i = 0 \quad (3.6)$$

$$[(\delta\phi)/(\delta C)] = 2 \sum_{i=1}^n [Ax_i + By_i + Cz_i - D]z_i = 0 \quad (3.7)$$

$$[(\delta\phi)/(\delta D)] = 2 \sum_{i=1}^n [Ax_i + By_i + Cz_i - D] = 0 \quad (3.8)$$

denklemler çözüldüğünde, $\delta\phi/\delta D = 0$ ve $D = Ax_c + By_c + Cz_c$ olduğu görülür.

Hesaplamaları daha basit hale getirmek için noktaların ağırlık merkezlerini bulmak yeterli olabilir. Çünkü ağırlık merkezinden geçen düzlem en iyi düzlemi vermektedir. Ağırlık merkezleri şu şekilde bulunabilir.

$$X_c = \sum_{i=1}^n x_i/n \quad (3.9)$$

$$Y_c = \sum_{i=1}^n y_i/n \quad (3.10)$$

$$Z_c = \sum_{i=1}^n z_i/n \quad (3.11)$$

$A_x + B_y + C_z + D = 0$ (3.1) denkleminde istenilen A,B,C değerleri ise aşağıdaki determinantı çözerek bulunabilir.

$$\begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Determinantı çözmek için bilinmeyen değerler aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$a_{00} = \sum_{i=1}^n (x_i - x_c)^2 \quad (3.13)$$

$$a_{11} = \sum_{i=1}^n (y_i - y_c)^2 \quad (3.14)$$

$$a_{22} = \sum_{i=1}^n (z_i - z_c)^2 \quad (3.15)$$

$$a_{01} = a_{10} = \sum_{i=1}^n (x_i - x_c)(y_i - y_c) \quad (3.16)$$

$$a_{02} = a_{20} = \sum_{i=1}^n (x_i - x_c)(z_i - z_c) \quad (3.17)$$

$$a_{12} = a_{21} = \sum_{i=1}^n (y_i - y_c)(z_i - z_c) \quad (3.18)$$

Determinant çözüldüğünde $A=B=C=0$ olur. Anlamlı çözüme (bir grup homojen lineer denklem takımının değişkenlerinden en az birinin sıfırdan farklı olduğu çözüm) göre $A^2+B^2+C^2=1$ 'dir. Buradaki sabitle, yukarıdaki çözümün bir öz değer çözümü olduğu görülmektedir. Problem çözüldüğünde üç tane çözüme ulaşılır. Bu çözümlerin sonuca yakın olanı en iyi çözümü, sonuca en uzak olanı ise en kötü çözümü temsil eder.

Bu çalışmada, oluşturulan determinantı (3.12) çözmek için MATLAB programı kullanılmıştır. Elde edilen A,B ve C değerleri göz önüne alınarak masanın üst yüzeyin yüzey RMS hatası belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında ayrıntılı olarak verilmiştir. Genel olarak yüzey RMS hatası aşağıdaki formülle elde edilebilir.

$$\delta_{rms,z} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \sum_{i=1}^n A_i (\hat{Z}_i - Z_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3.19)$$

3.3 Merkezci Uydu Anteninin Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

3.3.1 Merkezci Uydu Anten Geometrisi

Bu çalışmada, çelik malzemeden yapılmış, 90 cm çapında merkezci bir uydu anteninin yüzey doğruluğu ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.14). İlk olarak merkezci antenin parametreleri bir mezura yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 3.14. Merkezci uydu antenin perspektif bir görünüşü

Bir reflektörün yüksekliği biliniyorsa, odak uzaklığı

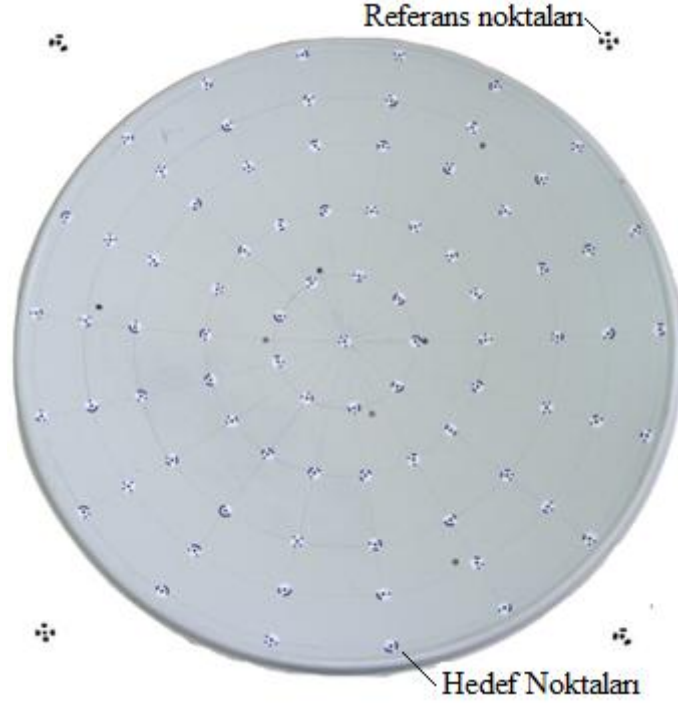
$$H_a = \frac{D_a^2}{16F} \quad (3.20)$$

denklemleri ile bulunabilir. Bu denklemde (3.20), H_a reflektörün yüksekliğini, D_a reflektör çapını, F ise odak uzaklığını gösterir. $10 = 90^2/16F$, denklemi ile odak uzaklığı $F=50,625$ cm olarak belirlenmiştir.

3.3.2 Ölçüm Planının Yapılması

Bu aşamada merkezci uydu anteni üzerine yerleştirilecek kontrol noktalarının büyüklükleri belirlenip yerleşim planı yapılmıştır. Kontrol noktasını çapı belirlemek için (3.1) $K = 4W_0/W_1$ denklemi kullanılarak uydu anteni üzerine yapıştırılacak olan noktaların boyutları belirlenmiştir. Ölçüm hassasiyetini sağlamak için 10 cm aralıklarla

daireler anten üzerine çizilmiştir. Merkezden itibaren 20° lik açılar ile doğrular çizilmiştir. Merkeze bir kontrol noktası, merkezden sonraki ilk daireye 9 kontrol noktası, diğer dairelere de 18'er kontrol noktası olmak üzere 90 cm'lik uydu antenine 82 adet kontrol noktası yapıştırıcı yardımıyla yapıştırılmıştır. Ölçekleme işlemini daha kolay yapmak için reflektör etrafına 4 adet referans noktası yapıştırılmıştır (Şekil 3.15).

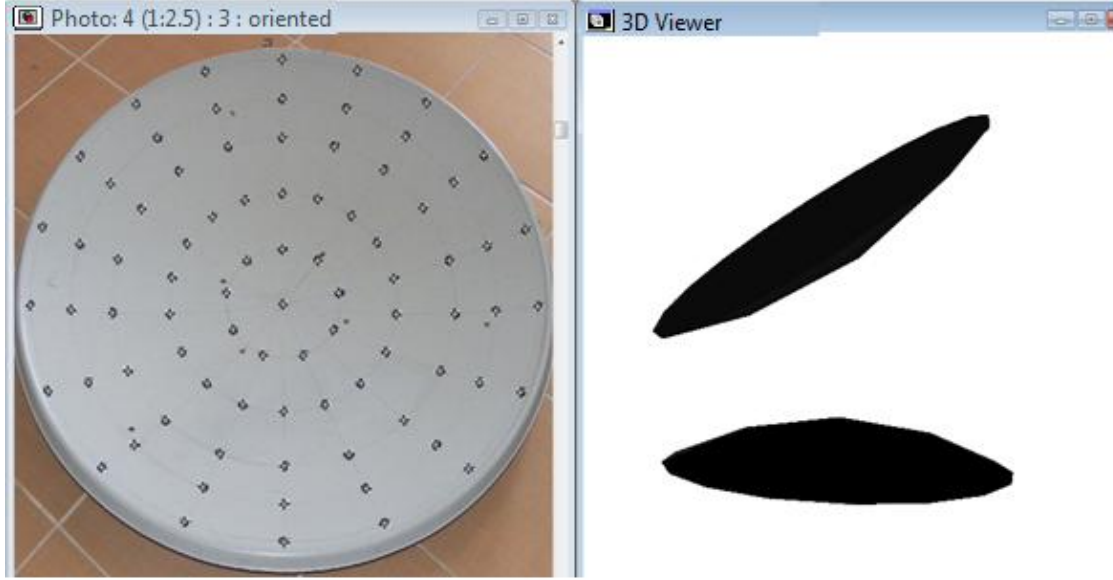


Şekil 3.15 Merkezci uydu anteni üzerine yerleştirilen hedef noktaları

Bu çalışmada diğer çalışmada olduğu gibi Fujifilm FinePix S5700 marka fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Kamera kalibrasyonu daha önce sağlandığı için direk olarak fotoğraf çekimine geçilmiştir. İlk olarak uydu anteni düz bir zemin üzerinde sabitlenmiştir. Kamera istasyonları belirlendikten sonra nesnenin 8 farklı açıdan fotoğrafları çekilmiştir. Daha sonra çekilen fotoğraflar PhotoModeler programına aktırılmıştır. Şekil 3.16'da kamera pozisyonları ve açıları ile birlikte tüm kontrol noktalarına genel bir bakış verilmiştir. PhotoModeler programında fotoğrafların her biri tek tek açılarak hedef noktaları işaretlenmiştir. Sonrasında noktalar kendi aralarında eşleştirilerek, verilerin işlenmesi için hazır hale getirilmiştir.

Son olarak uydu antenin üzerine yapıştırılan hedef noktalarından 3 boyutlu noktalar kümesi elde edilmiş ve bu noktalardan yararlanarak uydu anteni modellenmiştir. (Şekil

3.16). Referans noktalarından yararlanılarak ölçekleme yapıldıktan sonra her bir noktanın x, y ve z koordinat değerlerine ulaşılmış ve seçilen kontrol noktalarının belirlenen koordinat sisteminde mm hassasiyetinde koordinatları ölçülmüştür.



Şekil 3.16. Merkezci uydu anteninin PhotoModeler programı ile modellenmesi

3.3.3 İdeal Parabolün Oluşturulması ve Hataların Belirlenmesi

Basit bir uydu anteni yansıtıcı parabolik bir yüzeye sahiptir. Parabolik çanak antenini, çapı sıfır olan (nokta) çember altta olmak üzere çapları giderek ve sıralı büyüyen sonsuz sayıda çemberin üst üste konmasıyla elde edilen, bir yapı olarak tanımlayabiliriz. Çemberin merkezini birleştiren doğru parabolün eksenini oluşturur. Işınlarmın eksenini kestiği nokta tektir ve bu noktaya parabolün odak noktası denir. Parabolün iç yüzeyinin ayna olduğu düşünülürse gelen ışınlar parabolün yüzeyinden yansıyarak eksen üzerinde bir noktada toplanır. Bu nedenle iyi bir parabolik çanak antenin ölçüleri imalata uygun bir şekilde ve düzgün olmalıdır.

Merkezci uydu anteninin yüzey RMS hatası, mümkün olduğu kadar yüzeydeki sapma miktarını minimize eden Best Fit Paraboloid (İdeal parabol eğrisi) oluşturma yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu aşamada, hedef noktalarından geçen ideal parabol eğrisi oluşturulmaya çalışılmıştır. Kartezyen koordinat sisteminde reflektif yüzey

birbirlerinden bağımsız noktalardan geçen en iyi parabol eğrisi ile hesaplanır.

$$z = \frac{x^2 + y^2}{4F} \quad (3.21)$$

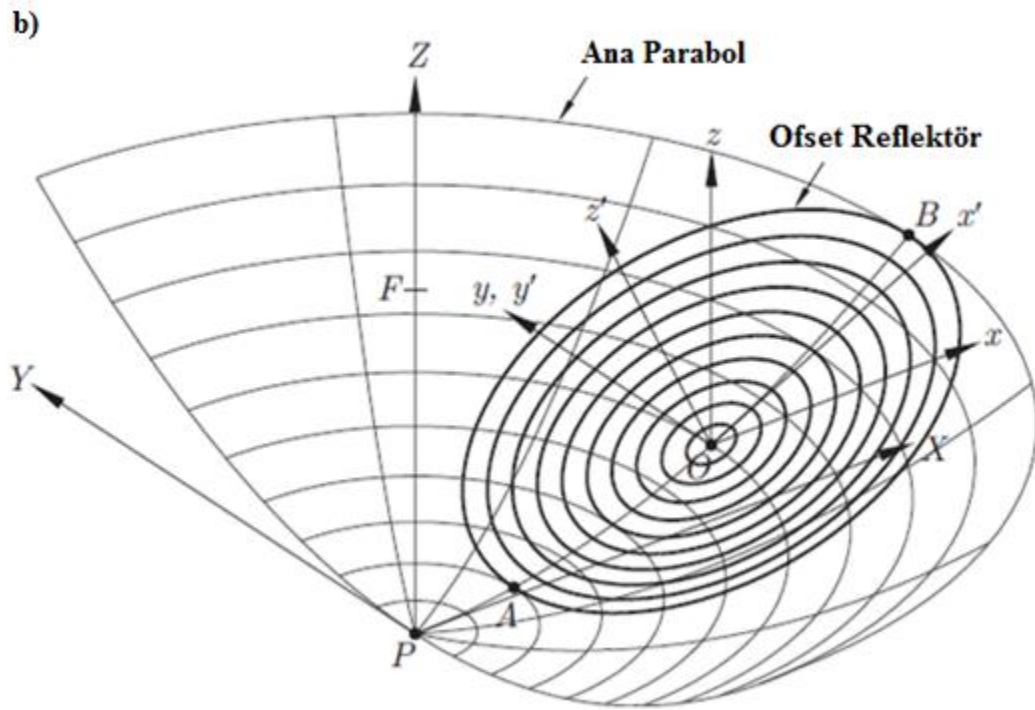
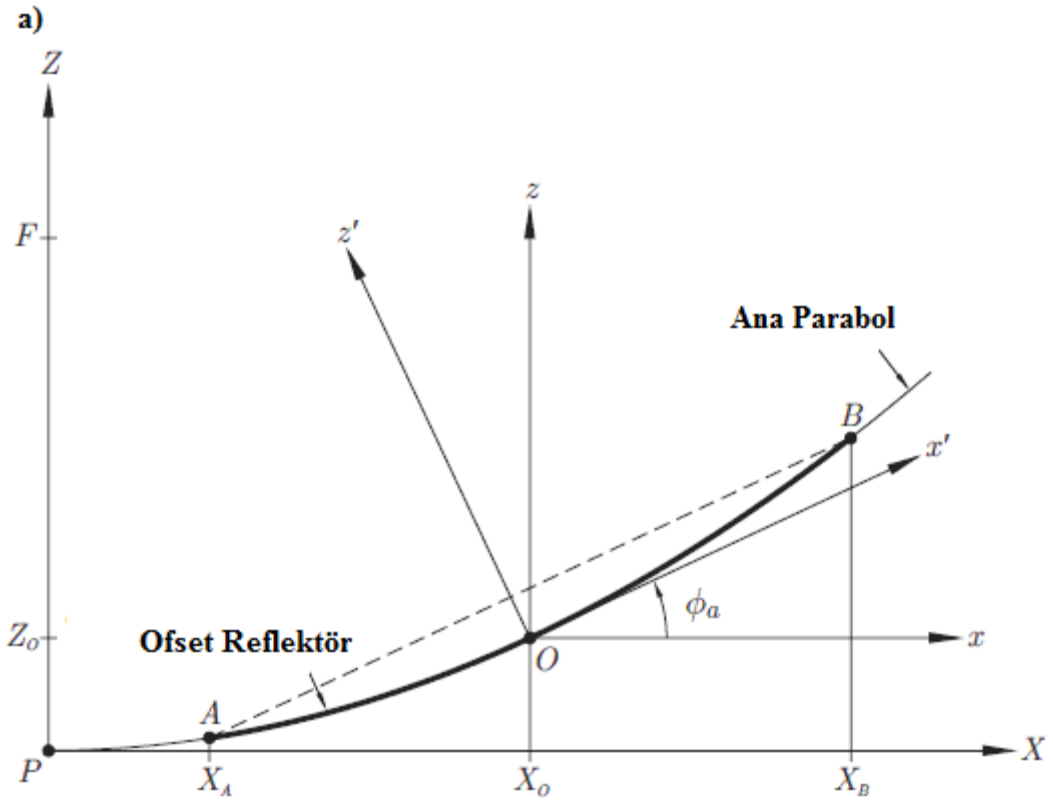
Bu denklemde F ideal odak uzaklığını ifade eder. Haberleşme antenlerinde reflektif yüzeyin yüzey doğruluğu genellikle uygun parabolik yüzey eğrisi ile ölçülen reflektif yüzeyden yansıyan ışınların arasındaki farkın yarısının karekökü Root-Mean-Square(RMS) ile hesaplanır. Reflektif yüzeyin performansı tüm reflektörün rijit hareketinden kaynaklanan bozulmalardan reflektör besleyicinin yer değiştirmesi şartıyla etkilenmez(Tibert 2002). Merkezci reflektörlerin en büyük dezavantajlarından biri anten besleyicisinin gelen ışınları bloke etmesidir. Böylelikle reflektör performansı düşmektedir. Bir reflektör yüzeyi üzerindeki (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) , ..., (X_n, Y_n, Z_n) , noktalarının koordinatları biliyorsa, bu nokta koordinatları yardımıyla reflektif yüzeyin herhangi bir eksenindeki yüzey RMS hatası 3.19 denklemiyle belirlenebilir.

Bu çalışmada, hesaplamaları daha kolaylaştırmak için MATLAB programında bir program yazılarak, PhotoModeler programından alınan 3 boyutlu koordinatlar kullanılarak reflektif yüzeyin sahip olduğu odak uzaklığı ve yüzey RMS hatası hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.4 1/3 Ölçekli Ofset Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

3.4.1 Ölçekli Ofset Reflektör Geometrisi

Odak uzaklığı 1,6 m, çapı 2 m olarak üretilen reflektör üç tabakalı (0/45/0), 94 g/m² alan yoğunluğu olan basit dokumalı karbon fiber ve epoksi reçine malzemesinden yapılmıştır. Her bir tabakanın kalınlığı 0,11 mm'dir. Ortalama kalınlığı 0,4 mm, ağırlığı ise 1,780 kg olarak ölçülmüştür. Üretimi gerçekleştirilen ölçekli reflektörün F/D oranı 0,8'dir. Ana parabol (3.21) denklemi ile oluşturulmuştur. Ofset reflektör için ana parabolik eğri merkezinden belli bir uzunlukta ofset yapılmış ve ana parabolik eğri, belirli bir çaptaki silindir tarafından kesilerek oluşturulmuştur (bkz Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Ofset reflektörün elde edilişi a) Ofset reflektörün geometrik belirtimi b) Ana parabol üzerinde 3 boyutlu ofset reflektör görüntüsü (Tibert 2002)

Üretimi yapılan reflektörün ofset miktarı $X_A=0,1m$ reflektör çapı ise X_B-X_A 2 m'dir. Ayrıca reflektörün dış çapını çevreleyen etek bağlantısı vardır. Bu eteğin uzunluğu ise 0,05 m'dir. Etek bağlantısı reflektörde rijitlik sağlamak için düşünülmüştür. Şekil 3.18'te üretilen reflektörün modeli verilmiştir. Reflektörün nasıl üretildiğini ve üretim aşamalarını ayrıntılı olarak incelemek için 109M421 nolu Tübitak Projesi 2 ara raporu incelenebilir.

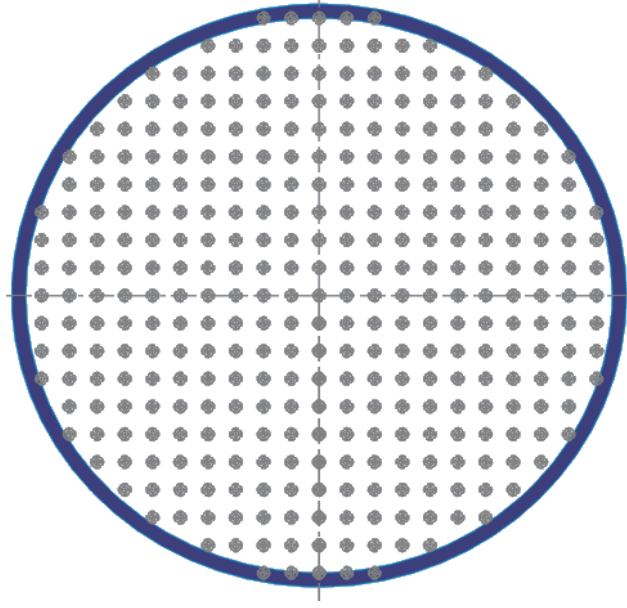


Şekil 3.18. 1/3 ölçekli ofset reflektör modeli

3.4.2 Ölçüm Planının Yapılması

Bu bölümde, reflektör üzerine yapıştırılacak kontrol noktalarının boyutları ve reflektör üzerine yapıştırma düzeni belirlenmiştir. $K = 4W_0/W_1$ (3.1) denklemi kullanılarak nesnenin genişliği W_0 , yaklaşık olarak 2 m ve kullanılacak olan fotoğraf makinesinin bir fotoğraftaki minimum piksel sayısı 640 mm alındı ve kontrol noktası büyüklüğü $K=12,5$ mm olarak belirlenmiştir.

Daha hassas çalışma yapmak ve programın kontrol noktalarını tanımasını kolaylaştırmak için iç çapı 15 mm olan kontrol noktaları, kendinden yapışkanlı kâğıt üzerine alınmıştır. Dairesel olarak kesilen kontrol noktaları reflektif yüzey üzerine yapıştırılmak üzere işleme hazır hale getirilmiştir. Sonrasında, Solidworks programında 2 boyutlu ölçekli reflektör modeli çizilerek yerleşim planı yapılmıştır (Şekil 3.19).



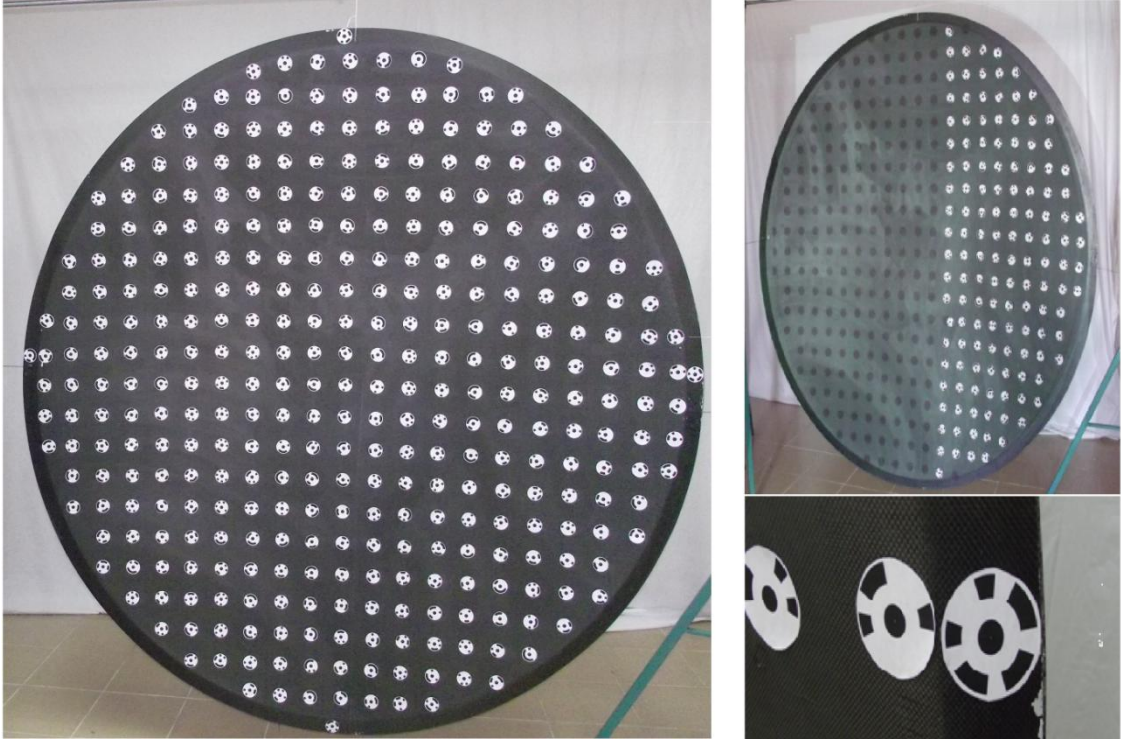
Şekil 3.19. Ofset reflektör üzerine yerleştirilen kontrol noktalarının yerleşim planı

Şekil 3.19’da reflektörü çevreleyen koyu renkli kısım reflektörün etek kısmıdır. Kontrol noktalarının reflektör üzerine düzgün bir şekilde yapıştırılmasını sağlamak için dijital projektör cihazı kullanılmıştır. İlk olarak reflektör bir ucundan bağlanarak test alanına misinayla asılmıştır. Reflektörün dönmesini engellemek için reflektör iki ucundan hafifçe misina yardımıyla bağlanmıştır. Reflektörün yerleşim düzeninin 1/10 ölçekli hali A4 kâğıdına çıktı alınarak reflektör üzerine yansıtılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Kontrol noktalarının reflektör üzerine yansıtılması

341 adet kontrol noktası reflektör üzerine tek tek yapıştırılmıştır. Şekil 3.21’de reflektif yüzey üzerine yapıştırılan kontrol noktaları ile birlikte detay görüntüsü verilmiştir. Yapıştırılan kontrol noktaların toplam ağırlığı 43,94 gr’dır.



Şekil 3.21 Kontrol noktalarının reflektör üzerine yapıştırılması

3.4.3 Kamera Kalibrasyonun Sağlanması

Bu çalışmada, Canon Pc1210 DC7 marka, 12,1 megapiksel efektif çözünürlüğe ve 6x optik zoom özelliğine sahip, kameranın objektifi 35 - 210mm odak uzaklığı değerlerine sahip, 4000x3240 piksel dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Fotogrametrik yazılım programlarından ise, Eos Systems Inc. firması tarafından geliştirilen hassas, hızlı ve düşük maliyetli 3D modelleme programı olan PhotoModeler programı kullanılmıştır.

Fotoğraf makinesinin kalibrasyonun sağlanması için program içerisinde kalibrasyon için hazırlanmış dokümanın çıktısı kendinden yapışkanlı kağıt üzerine alınarak düz bir zemin üzerine (çalışma alanına) yerleştirilmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalara nazaran kontrol noktaları kendinden yapışkanlı kağıt üzerine alınarak yapıştırma

düzlemi üzerinde homojenlik sağlamak amaçlanmıştır. 8 farklı açıdan fotoğraflar çekilerek PhotoModeler programına aktarılmıştır. PhotoModeler özel kalibrasyon projesi kullanılarak fotoğraflar işlenmiş ve kamera kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.

3.4.4 İdeal Parabol Eğrisinin Oluşturulması ve Hataların Belirlenmesi

Ofset reflektörde, merkezci reflektörlerde olduğu gibi yüzey RMS hatası ideal parabol eğrisi oluşturma yöntemi ile hesaplanabilir. Yansıtıcı yüzeyin yüzey doğruluğu genellikle uygun parabolik yüzey eğrisi ile ölçülen reflektif yüzeyden yansıyan ışınlar arasındaki farkın yarısının karekökü (Root-Mean-Square) ile hesaplanır (denklem 3.19). Reflektif yüzeyin RMS hatası mümkün olan en küçük hatayı belirleyebilen ideal parabol eğrisi oluşturma yöntemi ile hesaplanmıştır.

İlk olarak merkezi X_0 olan, xyz lokal koordinat sisteminde yerel bir koordinat sistemi seçilmiştir. Buradaki x eksenini yansıtıcı yüzeye teğet olan eksen olarak tanımlanmıştır. Tasarım aşamasında, ana parabolik eğri, merkezden belli bir uzunlukta öteleme yapılarak belirli bir çaptaki silindir tarafından kesilerek oluşturulmuştur.

1/3 Ölçekli ofset reflektörde yüzey hataları belirlenirken Matlab programı kullanılmıştır. Odak uzaklığı F; xyz eksen takımındaki öteleme (x_0, y_0, z_0) ve döndürme açıları (Euler açıları θ, ϕ, φ) kullanılarak ideal parabol oluşturulmuştur. Böylelikle yedi parametre kullanarak ölçüm noktalarına en yakın geçebilecek ideal parabol oluşturulmuştur. Euler açıları θ , x eksenindeki dönme miktarını; ϕ , y eksenindeki dönme miktarını; φ ise z eksenindeki dönme miktarını ifade etmektedir. En uygun parabol denklemi (3.21) denklemi ile ifade edilir. PhotoModeler programından aktarılan 3D koordinatlar x, y ve z koordinatlarıdır. Bu noktalardan geçirilebilecek en iyi parabolün yeni bir XYZ eksen takımında olduğu düşünülürse (bkz Şekil 3.17), yeni eksen takımındaki koordinatlar için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = BCD \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$B = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & \sin(\psi) & 0 \\ -\sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

$$D = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) & 0 \\ -\sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Elde edilen koordinat değerleri kapsamında n tane nokta için en uygun parabole göre, Z eksenindeki RMS hatası, bilgisayar masasının yüzey hatalarının bulunmasında kullanılan (3.19) denklemi ile hesaplanabilir.

Bu çalışmada, 1/3 ölçekli ofset reflektörün yukarıdaki formüller dâhilinde belirli bağlantı koşullarında elde edilen yüzey RMS hatası ve odak uzaklığı değerleri hem deneysel olarak hem de Abaqus sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiştir.

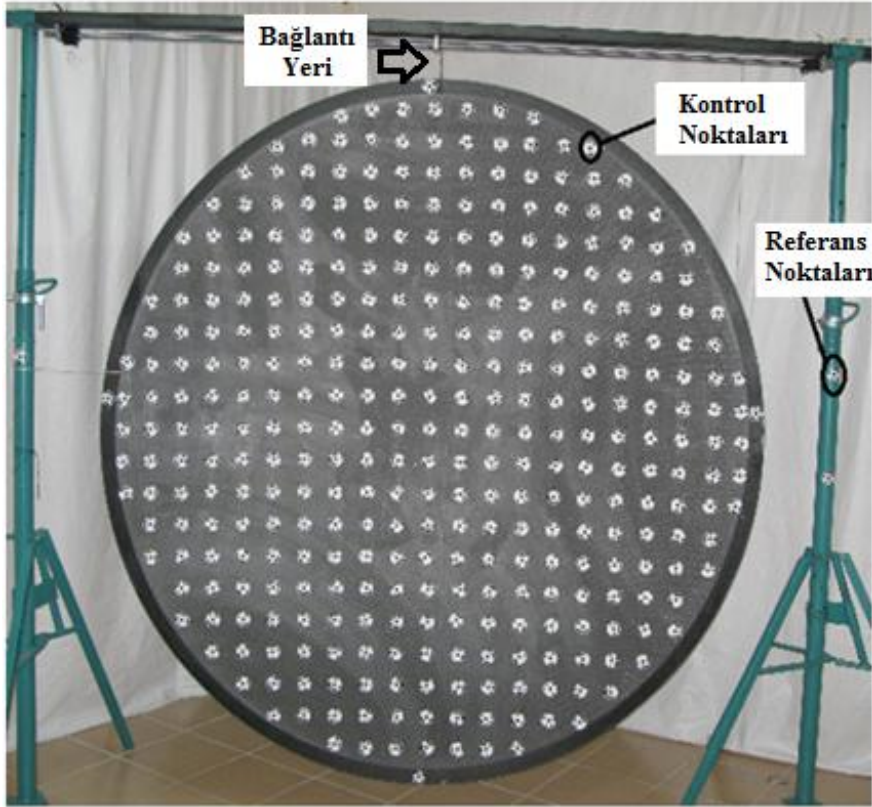
3.4.5 Çeşitli Bağlantı Bölgelerinin Yüzey Hatalarına Etkisinin Araştırılması

Bu çalışmada, kompozit malzemeden, 2 m çapında üretilen ofset reflektörün yüzey RMS hataları farklı bağlantı bölgeleri seçilerek belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçülen reflektörde, reflektörün hem kendi ağırlığı hem de reflektif yüzey üzerine yerleştirilen kontrol noktalarının ağırlığından dolayı yer çekiminin de etkisiyle gözle görülebilecek şekilde çökme meydana gelmektedir. Reflektif yüzey üzerine yapıştırılan kontrol noktalarının toplam ağırlığı yaklaşık 44 gr'dır. Bu çökmenin oluşturulacak parabole etkisini minimum seviyeye indirmek için birtakım asma bölgeleri ve reflektörün dönmesini de engellemek için çeşitli destek elemanları kullanılmıştır. Bu çalışmada üç

farklı bağlantı şekli ele alınarak yapılan ölçüm testleri ile elde edilen yüzey hatası değerleri Abaqus programında yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

3.4.5.1 Tek Noktadan Asılarak Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

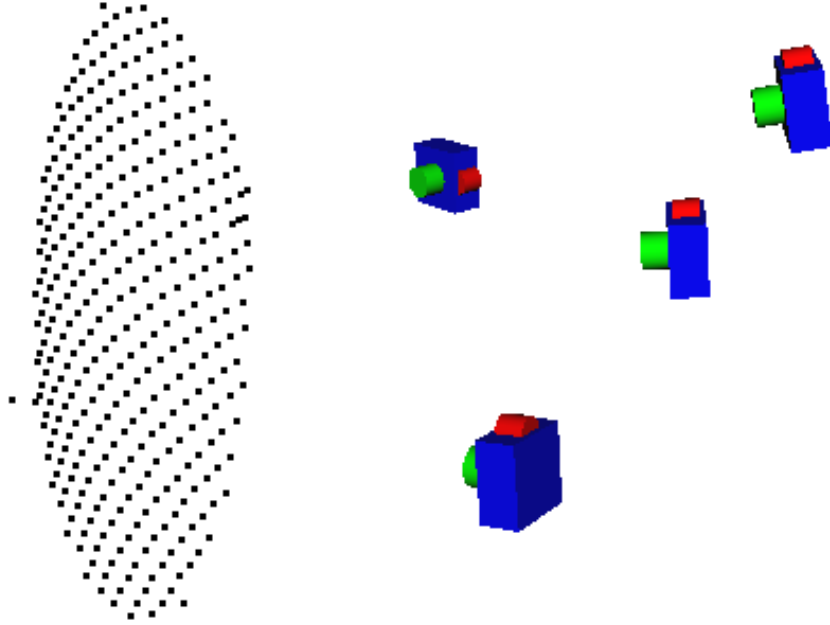
Bu çalışmada; ölçekli reflektör etek kısmının ortasından (merkezden) bir ip yardımıyla deney ortamına asılmıştır. Asılı halde reflektörün dönmesini engellemek için reflektörün bir ucu misina yardımıyla direğe bağlanmış ve reflektör serbest bırakılmıştır. Ayrıca ölçekleme işlemini daha basit hale getirmek için reflektörün etek kısmına 4 adet kontrol noktası yapıştırılmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Ofset reflektörün tek noktadan asılması

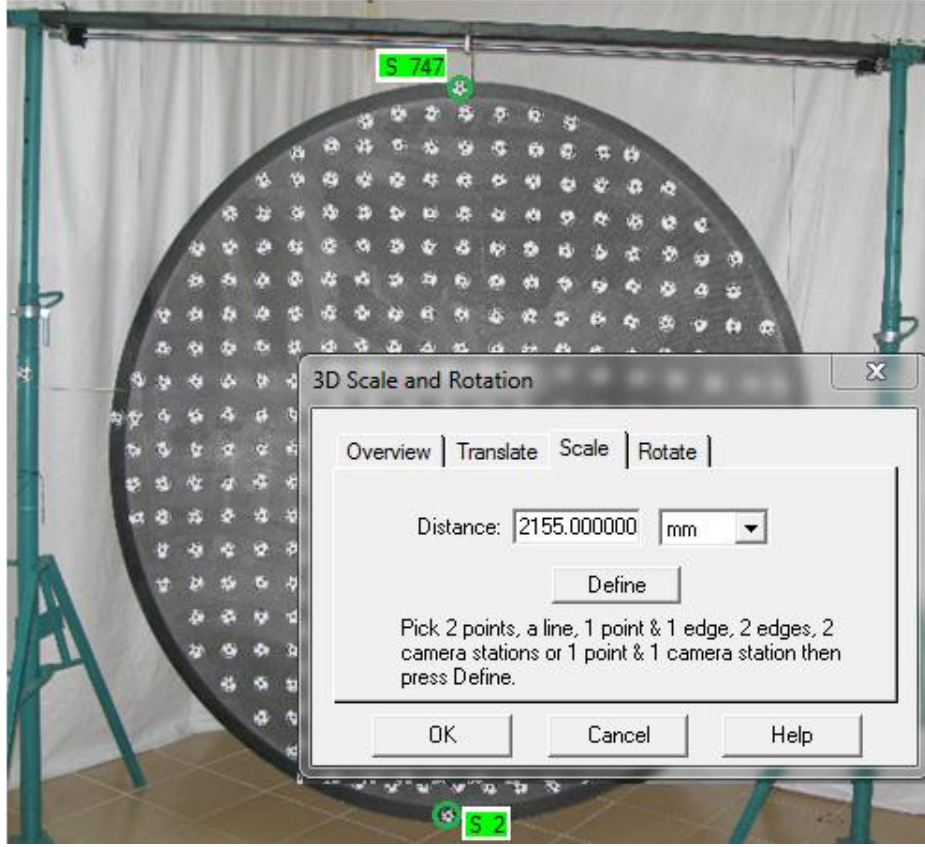
Kamera istasyonları (pozisyonları), kontrol noktaları ve referans noktaları net olarak görülebilecek şekilde belirlenmiştir. Belirlenen açılardan 8 adet fotoğraflar çekildikten sonra, uygun olan 4 adet fotoğraf PhotoModeler programına aktarılmıştır. Fotoğraflar PhotoModeler programı ile işlendikten sonra, reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının 3D koordinat değerleri elde edilmiştir. Programdan alınan uzunluk ölçüleri temel

alınarak, kartezyen koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 3.23’de tek noktadan asılarak ölçülen reflektörün kamera pozisyonları ve açıları, bununla birlikte tüm kontrol noktalarına genel bir bakış verilmiştir.



Şekil 3.23 Tek noktadan asma için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları

Bir sonraki aşamada, her bir noktanın x , y ve z' ye göre duyarlılıkları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında ayrıntılı olarak verilmiştir. Elde edilen ölçüleri kontrol etmek için reflektif yüzey üzerindeki bazı noktaların doğruluğu bir mezura yardımıyla ölçülerek değerlendirilmiştir. Reflektif yüzey üzerindeki en uzak kontrol noktaları arasındaki mesafe (Nokta 2, Nokta 747) ölçek alınarak girilmiştir. Reflektör asılı halde iken kontrol noktaları arasındaki fark ölçülerek programdan alınan ölçüler karşılaştırılmıştır. Aradaki farkın 0,10 ile 0,25 mm arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Şekil 3.24’te ölçekleme işleminde reflektörün hangi noktalardan ve nasıl ölçeklendirildiği gösterilmiştir.



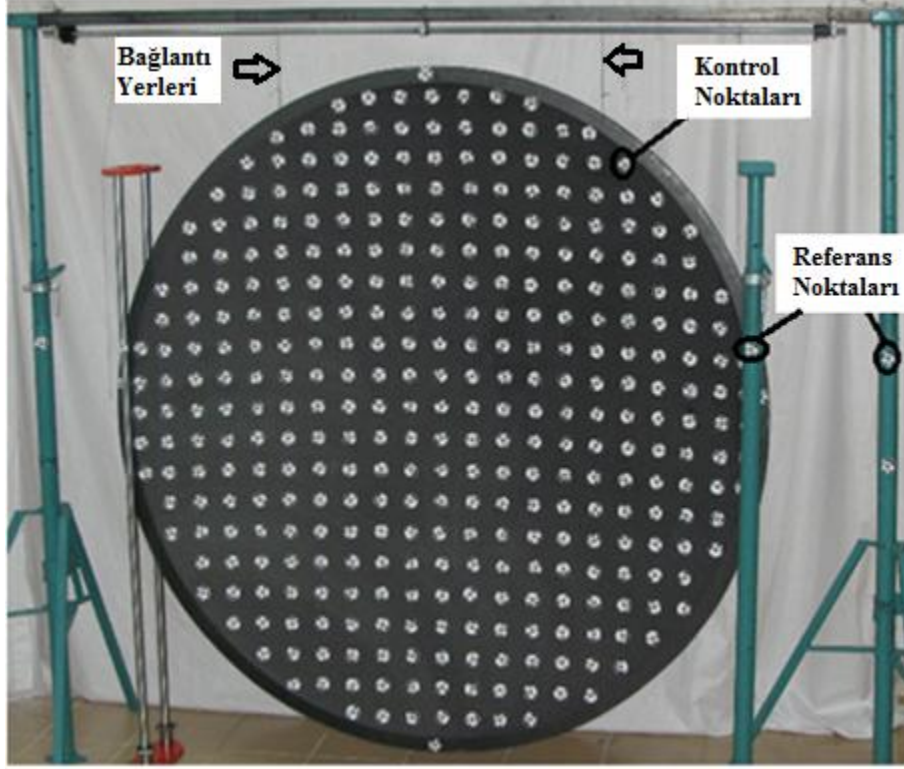
Şekil 3.24 Tek noktadan asılarak ölçülen reflektörün ölçeklendirilmesi

3.4.5.2 İki Noktadan Asılarak Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

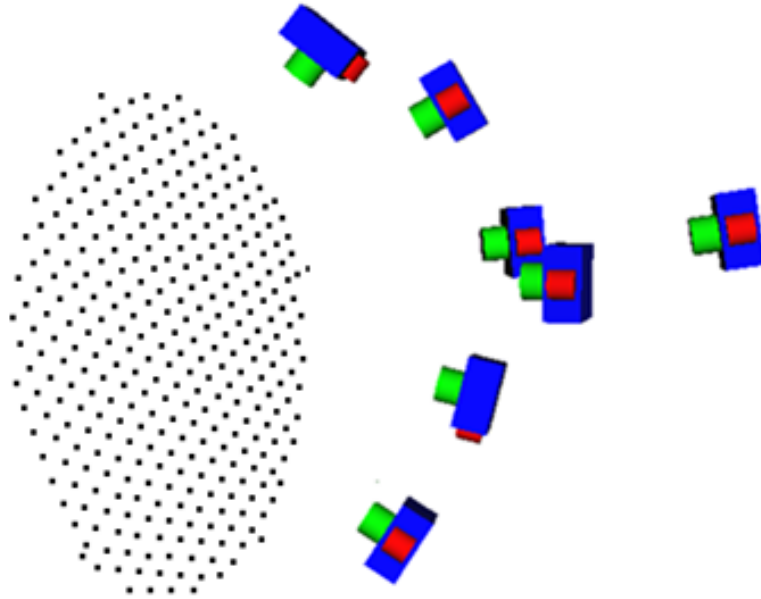
Bu çalışmada, ilk olarak reflektör merkezinin (bir önceki bağlantı noktası) sağ ve sol tarafına 60 cm'lik aralıklar ile 3 mm çapında asma bölgeleri açılmış ve reflektör bir ip yardımıyla bu bölgelerden çalışma ortamına asılmıştır. Asılı halde reflektörün dönmesini ve ağırlığının etkisiyle öne doğru gelmesini (y yönünde hareketini kısıtlamak) engellemek amacıyla direkler kullanılmıştır (Şekil 3.25).

Daha sonraki aşamada kamera pozisyonları belirlenip fotoğraflar çekilmiştir. Uygun olan 7 adet fotoğraf PhotoModeler programına aktarılarak kendi aralarında eşleştirilmiştir. Diğer çalışmaya nazaran daha fazla kamera kullanılarak daha hassas çalışma yapmak planlanmıştır. Tüm aşamalar tamamlandıktan sonra reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 3.26'da kamera açıları ve pozisyonları verilmiştir. Son olarak elde edilen bu koordinatlar Matlab

programına aktarılarak iki noktadan asma için yüzey hataları belirlenmiştir. elde edilen sonuçlar bulgular kısmında ayrıntı olarak verilmiştir.



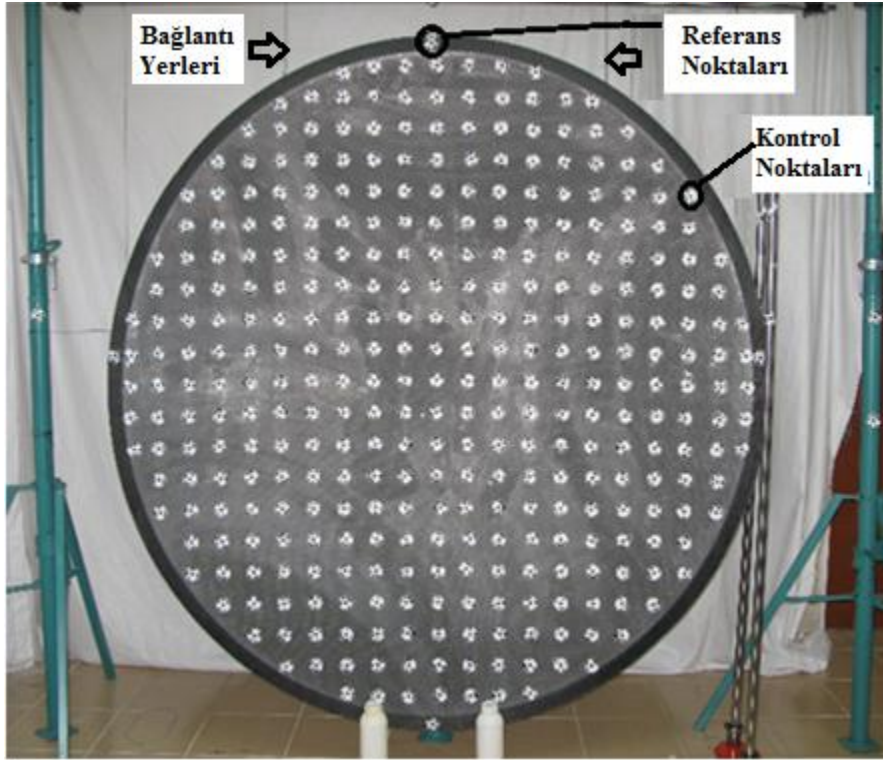
Şekil 3.25 Ofset reflektörün iki noktadan asılması



Şekil 3.26 İki noktadan asma için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları

3.4.5.3 İki Noktadan Serbest Asılarak Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, ölçekli reflektör merkezinin sağ ve sol tarafından 60cm'lik aralıklarla bir ip yardımıyla asılmıştır. Asılı halde reflektörün dönmesini engellemek için bir ucu misina ile bağlanmış ve aparatlar kullanılmıştır. Başka bir ifadeyle bir önceki çalışmadaki reflektörün kenar kısımlarındaki sınır şartları (direkler) kaldırılmıştır (Şekil 3.27).

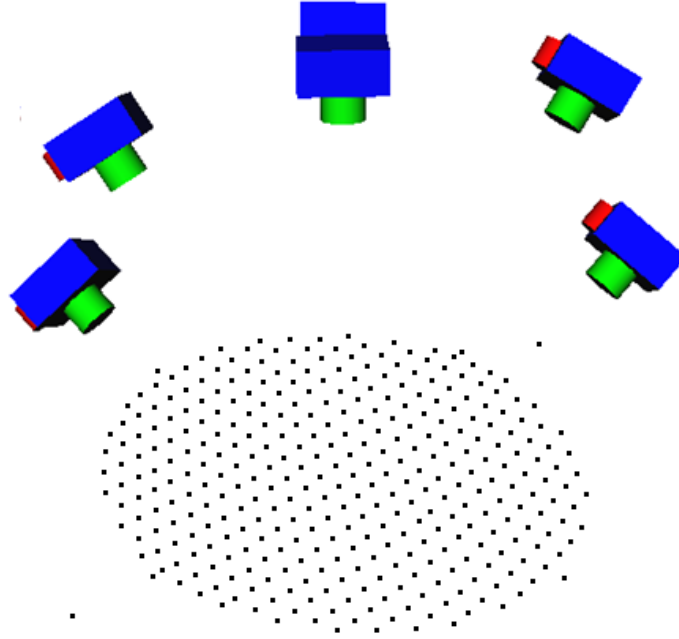


Şekil 3.27 Ölçekli ofset reflektörün iki noktadan serbest asılması

Uygun olan 6 adet fotoğraf PhotoModeler programına aktarılarak işlenmiş ve reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 3.28'de kamera açıları ve pozisyonları ile birlikte ölçekli reflektör üzerine yerleştirilen kontrol noktalarına ve referans noktalarına genel bir bakış verilmiştir.

Bir sonraki aşamada her bir noktanın x,y ve z koordinatlarına göre hassasiyetleri belirlenmiştir. Son olarak elde edilen bu koordinatlar Matlab programına aktararak ideal parabol eğrisi oluşturma yöntemi ile iki noktadan serbest asma için elde edilen

yüzey hatalarına ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında ayrıntı olarak verilmiştir.

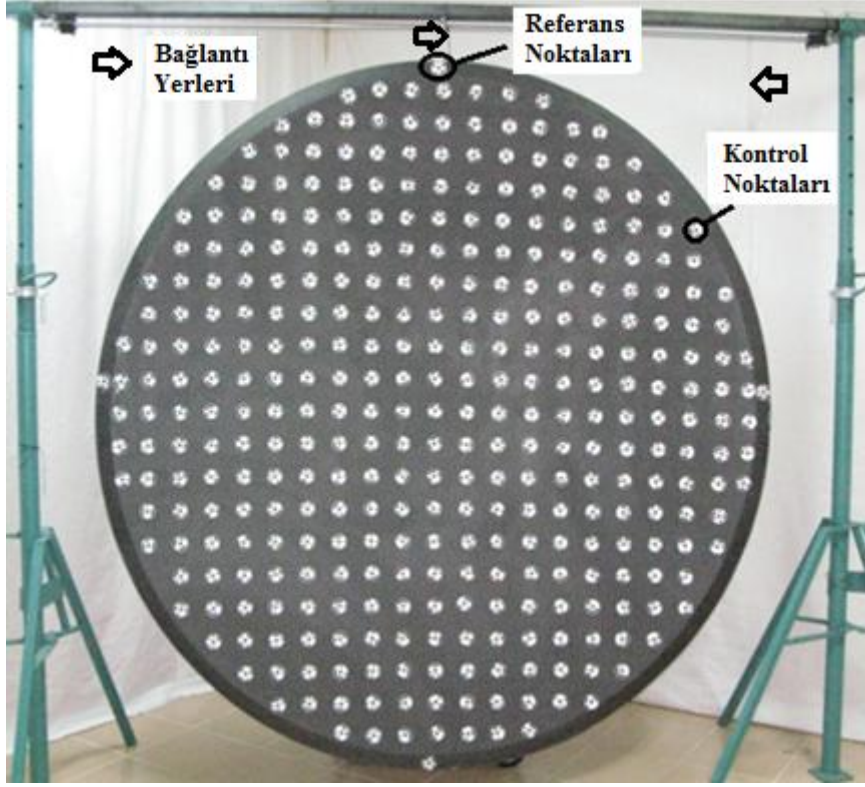


Şekil 3.28 İki nokta serbest asma için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları

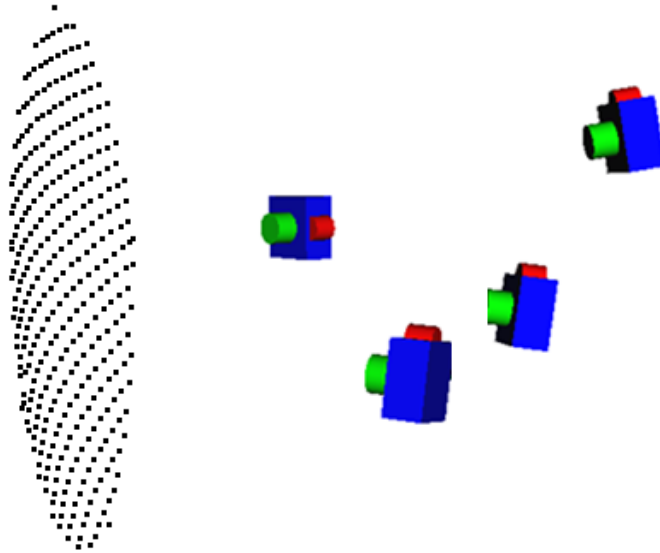
3.4.5.4 Üç Noktadan Asılarak Reflektörün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, ölçekli reflektör merkezinden ve merkezin sağ ve sol tarafından (kanatlardan) bir ip yardımıyla asılmıştır. Asılı halde reflektörün dönmesini engellemek için bir ucu ipe bağlanmıştır. Reflektör serbest şekilde bırakılarak yüzey doğruluğu ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.29).

Kamera pozisyonları belirlenip fotoğraflar çekildikten sonra, uygun olan 4 adet fotoğraf PhotoModeler programına aktarılarak reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 3.30'da kamera pozisyonları ve açıları ile birlikte kontrol noktaları ve referans noktalarına genel bir bakış verilmiştir. Bu çalışmada, mümkün olduğu kadar sınır şartları minimum seviye indirilmiştir. Referans noktaları reflektörün etek kısmında bulunan noktalar seçilmiştir.



Şekil 3.29 Ölçekli ofset reflektörün üç noktadan serbest asılması



Şekil 3.30 Üç noktadan serbest asma için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları

Bir sonraki aşamada her bir noktanın x,y ve z koordinatlarına göre ölçüm hassasiyeti belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında ayrıntı olarak verilmiştir.

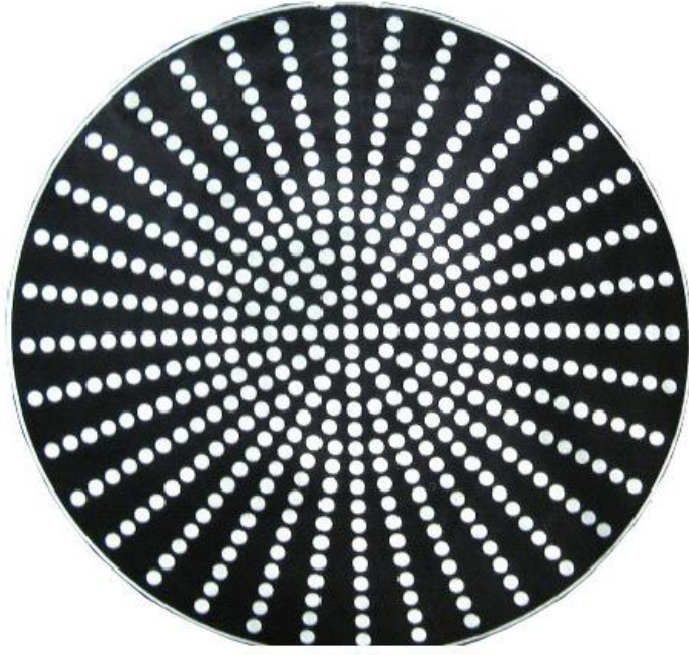
3.4.5.5 Yansıtma Yöntemiyle Reflektörün Bir Bölümünün Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, ölçekli reflektör iki noktadan serbest olarak asılmış, yaklaşık olarak reflektörün %50'lik kısmına dijital projeksiyon yardımıyla 8 mm çapında daireler yansıtılarak reflektör modellenmiştir. Bu çalışmanın amacı, reflektör üzerine kontrol noktaları yapıştırılmadan reflektörün PhotoModeler programı ile modellenmesini gerçekleştirmektir. Şekil 3.31'de reflektif yüzeye kontrol noktalarını yansıtmak için kurulan düzenek verilmiştir. İlk olarak Autocad programında reflektif yüzey üzerine yerleştirilecek noktaların yerleştirme planı yapılmıştır. 2 m çapında reflektif üzerine yerleştirilen kontrol noktalarının 1/10 ölçekli hali A4 (210x297 mm) kağıdına çıktı alınmıştır. Dijital tepegöz kullanılarak projeksiyon yardımıyla kontrol noktaları reflektif yüzey üzerine yansıtılmıştır.



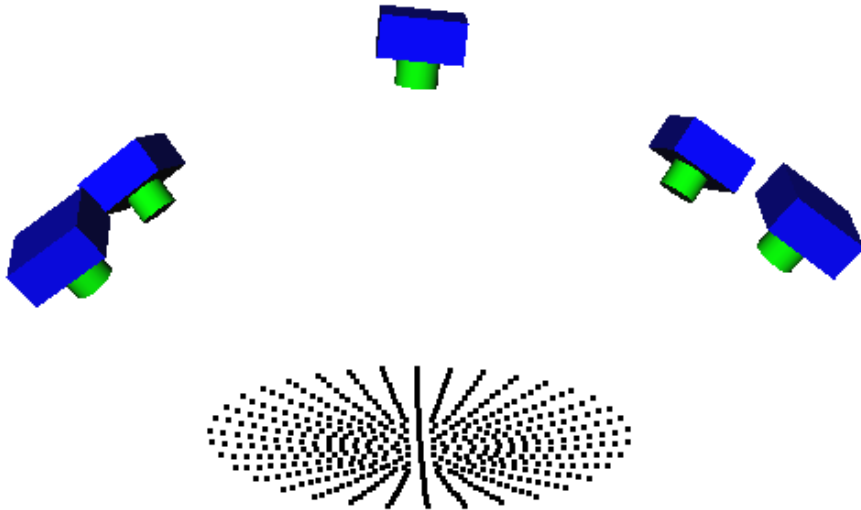
Şekil 3.31 Yansıtma yöntemi için kurulan deney düzeneği

Reflektörün dönmesini engellemek için iki ucu misina yardımıyla bağlanmıştır. 473 adet kontrol noktası reflektif yüzey üzerine yansıtılarak kontrol noktası yapıştırılmadan reflektörün yüzey doğruluğu ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Yansıtma tekniğiyle reflektörün bir bölümünün modellenmesi

Fotoğraf çekimi gerçekleştirildikten sonra, uygun olan 5 adet fotoğraf PhotoModeler programına aktarılarak reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 3.33’de kamera açıları ve pozisyonları ile birlikte kontrol noktalarına genel bir bakış verilmiştir.

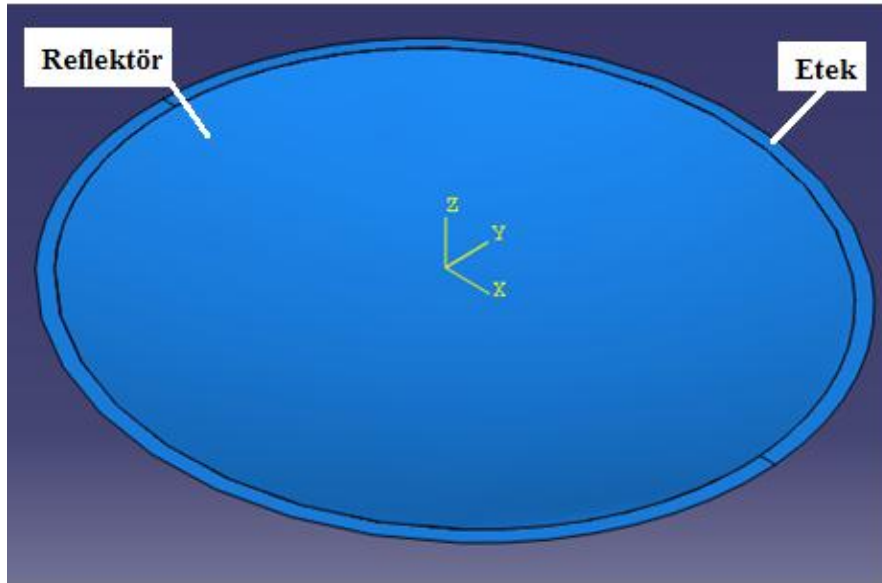


Şekil 3.33 Yansıtma yöntemi için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları

Diğer çalışmalarda olduğu gibi bir sonraki aşamada her bir noktanın x,y ve z koordinatlarına göre hassasiyetleri belirlenerek diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Son olarak elde edilen bu koordinatlar Matlab programına aktarılarak yansıtma yöntemi ile elde edilen yüzey hatalarına ulaşılmıştır. Bulgular kısmında elde edilen sonuçlar ayrıntı olarak verilmiştir.

3.5 1/3 Ölçekli Reflektörün Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi

Bu çalışmada, 2 m çapında 1/3 ölçekli reflektör modeli Abaqus programında modellenerek gerçekte (deneysel) yapılan çalışmalar ile uyum içersinde olup olmadığı incelenmiştir. Şekil 3.34'de 1/3 ölçekli reflektör modeli görülmektedir. Tasarlanan model iki parçadan oluşmaktadır. Bunlar, reflektif yüzey ve reflektörün dış çapını çevreleyen etek kısmıdır. Reflektör malzemesi olarak basit dokumalı karbon fiber ve epoksi reçine kullanılmıştır. Reflektörün yansıtıcı yüzeyi ve etek kısmı Abaqus programında ayrı ayrı modellenmiş ve tie kısıtı (bağlama şekli) kullanılarak montajlaşmıştır. Mesh yapısı için üçgen elemanlar kullanılmıştır.



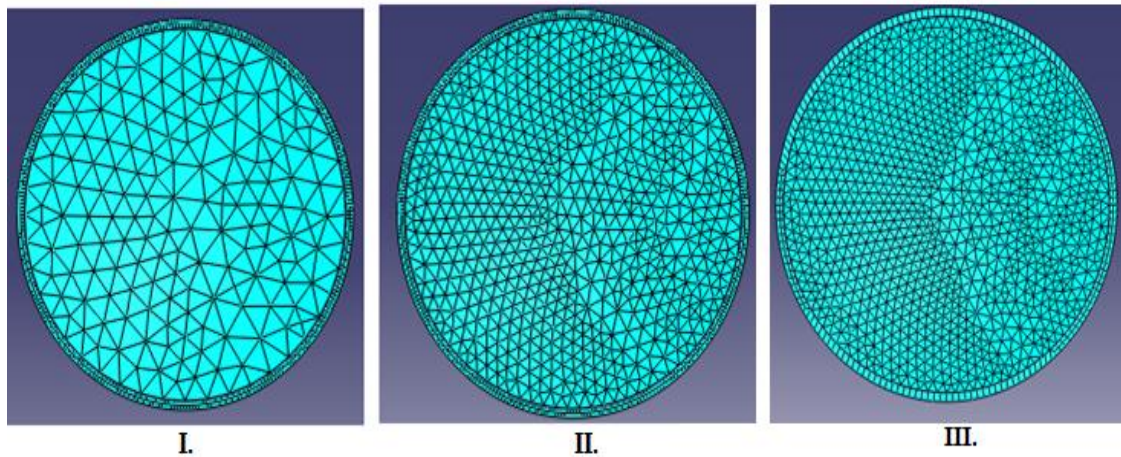
Şekil 3.34 2 m çapında ölçekli ofset reflektörün abaqus modeli

Üretimi gerçekleştirilen 1/3 ölçekli reflektör modeli 3 tabakalı (0/45/0) basit dokumalı kompozit malzemeden oluşmaktadır. Ofset reflektörün toplam kalınlığı Abaqus programında 0,33 mm olarak girilmiştir. Modelleme işlemi tamamlandıktan sonra, ofset

reflektöre deneylerde yapıldığı gibi çeşitli yerlerden sınır şartları verilerek ve analizler sonucunda meydana gelebilecek yer değiştirmeler göz önüne alınarak yüzey RMS hatası ve reflektörün odak uzaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Abaqus programında analizler yapılmadan önce, 2 m çapında ölçekli reflektör belirlenen mesh sayılarına ayrılarak reflektör üzerindeki data sayısının reflektörün odak uzaklığına ve RMS hatasına etkisi incelenmiştir. Bire bir ölçekli şekilde Abaqus programında modellenen reflektör üzerinden üç farklı mesh sayısı ele alınarak RMS hatası ve odak uzaklığı incelenmiştir (Şekil 3.35).

I. modelde daha kaba bir mesh yapısı ele alınmış, mesh koordinatları yardımıyla ölçekli reflektörün odak uzaklığı ve yüzey RMS hatası belirlenmiştir. I. Modelde 169 (analizlerde kullanılan mesh sayısı) noktanın koordinatı ele alınarak reflektif yüzeyin RMS hatası 0,043 mm, odak uzaklığı ise 1600,17 mm olarak elde edilmiştir. II. Modelde ise 666 noktanın koordinatı ele alınarak reflektif yüzeyin RMS hatası 0,00015 mm, odak uzaklığı ise 1600,00 mm olarak elde edilmiştir. III. Modelde, 1035 noktanın koordinatı ele alınmış, yüzey RMS hatası 0,00009 mm, odak uzaklığı ise 1600,00 mm olarak elde edilmiştir. Çizelge 3.1’de te mesh sayısına bağlı olarak yüzey RMS hatası ve odak uzaklığı sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde, nokta sayısı artıkça daha hassas çözümlere ulaşıldığı sonucuna varılabiliriz.



Şekil 3.35 Kontrol noktası sayılarının yüzey rms hatasına etkisi

Çizelge 3.1 Nokta sayısının yüzey RMS hatasına ve odak uzaklığına etkisi

Mesh Sayısı	Yüzey RMS Hatası(mm)	Odak Uzaklığı (mm)
169	0,04371	1600,17
666	0,00015	1600,00
1035	0,00009	1600,00

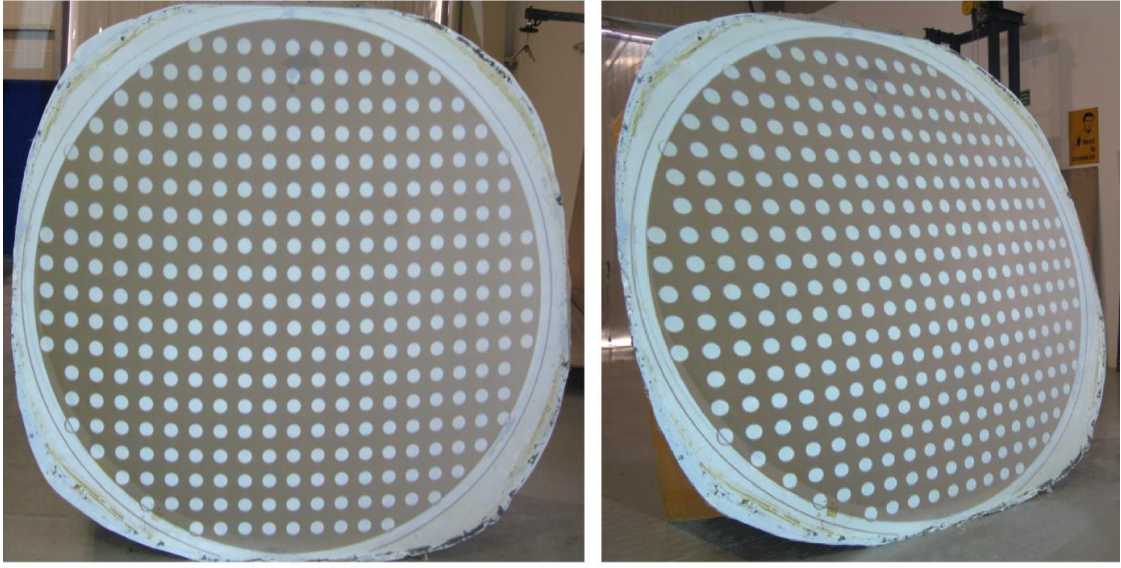
Tasarlanan Odak uzaklığı: 1600 mm

3.6 1/3 Ölçekli Reflektör Kalıbının İmalat Hatalarının Belirlenmesi

Bu bölümde, 2 m çapında ofset reflektör üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek ve üretilen kalıbın doğruluğunu tespit etmek için yapılan şekil ölçümleri sunulmuştur.

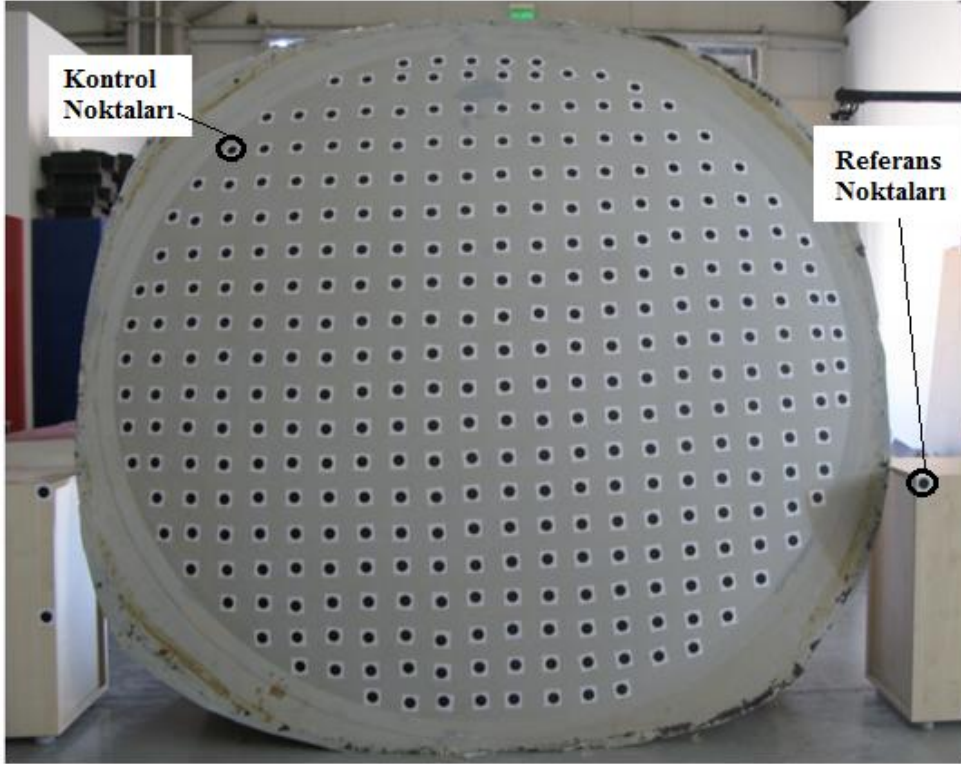
Tasarımı Solidworks programında gerçekleştirilen 2m'lik ofset reflektör eğrisi üzerinden, MDF (Orta Yoğunlukta Lif Levha) malzemesinden ilk olarak bir dişi kalıp imal edilmiştir. MDF malzemesi günümüz teknolojisinde sıkça kullanılan, özellikle CNC(Bilgisayarlı sayısal kontrol) tezgâhlarında hatasız işleme imkânı sunan, elverişli bir malzemedir. Bu malzemedен üretilen dişi kalıp CNC tezgâhında 0,07-0,08 mm hassasiyetle işlemiştir. Bir sonraki aşamada, dişi kalıp üzerinden Epoksi H12 AP1370-A malzemesi ile tekrar bir erkek kalıp imal edilmiştir. Epoksi malzemesinden imal edilen erkek kalıbın yüzey doğruluğu reflektörde olduğu gibi fotogrametrik tekniklerle ölçülmüştür. Fotogrametrik ölçümler aynı fotoğraf makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak kalıp üzerine yapıştırılacak olan kontrol noktalarının çapı 30 mm olarak belirlenmiş ve kendinden yapışkan kâğıt üzerine çıktısı alınmıştır. Fotoğraf çekimini daha basit hale getirmek için erkek kalıp dik pozisyona getirilmiş, dijital tepegöz ve dijital projeksiyon yardımıyla reflektif yüzey üzerine yapıştırılacak hedef noktaları kalıp üzerine yansıtılmıştır (Şekil 3.36). Bu çalışma yapıştırılacak kontrol noktalarının yerlerini tespit etmek amacıyla yapılmıştır.



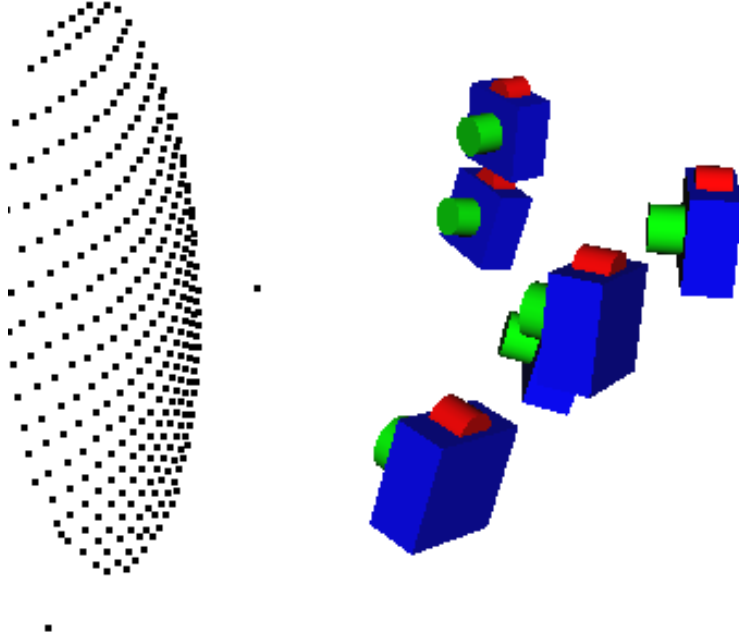
Şekil 3.36 Erkek kalıp üzerine kontrol noktalarının yansıtılması

Yapıştırılacak olan kontrol noktalarının konumları belirlendikten sonra, kontrol noktaları tek tek 10 cm aralıklar ile kalıp üzerine yapıştırılmıştır (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 Erkek kalıp üzerine kontrol noktalarının yapıştırılması

Bir sonraki aşamada, kamera pozisyonları ve açıları belirlenerek 6 adet fotoğraf çekilmiştir. Şekil 3.38’de kamera pozisyonları ve açıları ile birlikte kontrol noktaları ve referans noktalarına genel bir bakış verilmiştir.



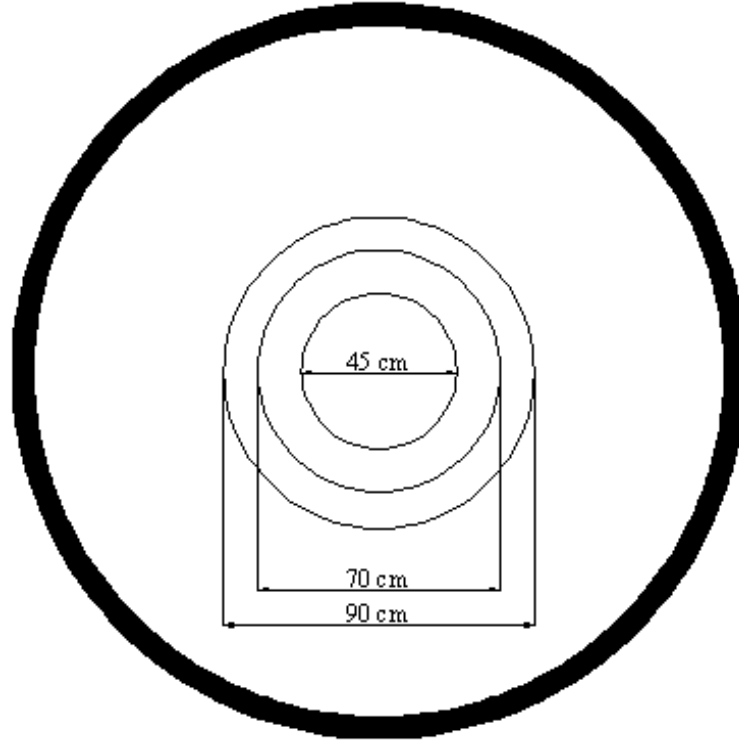
Şekil 3.38 Erkek kalıbın şekil ölçümleri için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları

Son olarak çekilen 6 adet fotoğraf PhotoModeler programına aktarılarak reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Bu çalışma ile kalıp hataları belirlenerek reflektörün yüzey doğruluğu ölçümleri esnasında yerçekiminden kaynaklı hatalar hakkında bilgi edinmek hedeflenmiştir. Bir sonraki aşamada, ölçüm hassasiyetini kontrol etmek için her bir noktanın x, y ve z' ye göre hassasiyetleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında ayrıntı olarak ifade edilmiştir.

3.7 1/4 Ölçekli Ofset Reflektör Modelinin Yüzey Hatalarının Belirlenmesi

Odak uzaklığı 1,2 m, çapı 1,5 m olarak tasarlanan ofset reflektör modeli diğer çalışmada olduğu gibi basit dokumalı karbon fiber malzemeden üretilmiştir. Ofset miktarı 75 mm olan ölçekli reflektör modeli reflektif yüzey ve yüzeyi çevreleyen 62,5 mm genişliğinde etek kısmından oluşmaktadır. Reflektörün rijitliğini sağlamak için dört farklı

tabakalama düşünülmüştür. Merkezden itibaren 45 cm'lik çapa her birinin kalınlığı 0,11 mm olan karbon tabakalardan sekiz adet [0/45/0/45]_s; 45 cm'den 70 cm'ye kadar (250 mm'lik mesafe) beş adet [0/45₃/0]; 75 cm'den 90 cm'ye kadar 3 adet ve etek kısmına kadar olan bölgeye ise 2 adet [0/45] tabaka yerleştirilmiştir. Reflektörün etek kısmı ise 3 tabakadan [0/45/0] oluşmaktadır (Şekil 3.39). Koyu kısım reflektörün etek kısmını göstermektedir.



Şekil 3.39 1/4 ölçekli ofset reflektör modelinin şematik tabaka durumu

Bu çalışmada ilk olarak kullanılacak olan kamera kalibre edilmiştir. Fujifilm FinePix S1600 marka, 12 Megapiksel efektif çözünürlüğe sahip, geniş açıdan telefotoya kadar tüm odak uzaklık değerlerinde yüksek görüntü kalitesi sergileyen, ISO1600 ışık hassasiyetine sahip dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Fotoğraf makinesinin makro odak uzaklığı değeri 5 cm'dir. Diğer çalışmalarda beklenen sonuçlara ulaşılamaması nedeniyle farklı bir fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Kamera kalibrasyonun sağlanması için 90x90 cm boyutlarında kalibrasyon kalıbı kullanılmıştır. Böylelikle daha hassas bir çalışma yapmak hedeflenmiştir. Çekilen standart fotoğraflar PhotoModeler programına aktarılarak kamera kalibrasyonu sağlanmıştır. PhotoModeler programından elde edilen kamera odak uzaklığı ise 4,9935 cm'dir.

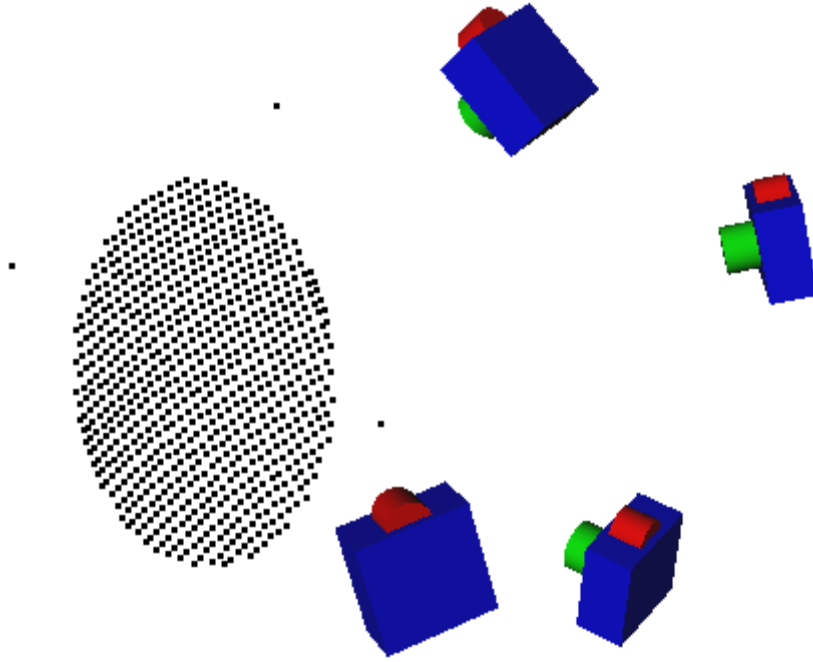
Fotoğraf çekimlerine geçmeden önce ölçekli ofset reflektörün yerçekiminin etkisiyle ağırlığından dolayı hem kenarlardan hem de alt bölgesinden öne doğru kaymasını engellemek için bir kafes yapısı oluşturulmuştur. Böylelikle fotogrametrik ölçümler esnasında ideal parabolden sapma miktarı en az seviye indirilerek daha hassas çalışma yapmak hedeflenmiştir. Reflektör, profil malzemelerden hazırlanmış çalışma ortamına (kafes yapısına) bağlama aparatları yardımıyla sabitlenmiştir. Bir sonraki aşamada, 15 mm çapında kendinden yapışkanlı kâğıt üzerine beyaz tonda basılmış etiketler reflektör üzerine plastik cetvel yardımıyla 5 cm'lik aralıklar ile yapıştırılmıştır. Ölçüm hassasiyetini sağlamak için 765 adet kontrol noktası esas alınmıştır. Ayrıca koordinat düzlemini belirlemek için üç adet referans noktası kafes yapısı üzerine yapıştırılmıştır (Şekil 3.40)



Şekil 3.40 Kontrol noktalarının 1/4 ölçekli reflektör üzerine yapıştırılması

Daha sonraki aşamada, kamera pozisyonları belirlenmiştir. İki kamera arasındaki açı maksimum 90^0 olacak şekilde 4 adet fotoğraf çekilerek PhotoModeler programına

aktarılmıştır. Bu çalışmada PhotoModeler 6.2 Scanner versiyonu kullanılmıştır. 4 adet fotoğraf programa aktarıldıktan sonra fotoğraflar tek tek açılarak kontrol noktaları işaretlenmiş ve birbirleriyle eşleştirilmiştir. Fotoğraflar kendi aralarında işlendikten sonra reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 3.41’de kamera pozisyonları ve açıları ile birlikte kontrol noktaları ve referans noktalarına genel bir bakış verilmiştir.



Şekil 3.41 1/4 ölçekli reflektör için belirlenen kamera pozisyonları ve açıları

Son olarak PhotoModeler programı tarafından elde edilen 3 boyutlu koordinatlar Matlab programında daha önce hazırlanmış olan programa aktarılarak reflektörün odak uzaklığı ve yüzey RMS hatası belirlenmiştir. Ölçüm hassasiyetini kontrol etmek için her bir noktanın x, y ve z koordinatlarına göre duyarlılıkları, nokta koordinatlarından yola çıkılarak ortalama piksel hataları ve sıklık değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında ayrıntı olarak ifade edilmiştir.

4. BULGULAR

Bu bölümde, bilgisayar masası, merkezci uydu anteni ve kompozit malzemeden yapılmış iki farklı çaptaki reflektörlerin yüzey doğruluğu ölçümleri incelenmiştir. 2 m çapında ofset reflektörde hem kendi ağırlığı hem de reflektif yüzey üzerine yerleştirilen kontrol noktalarının ağırlığından dolayı yer çekiminin de etkisiyle gözle görülür şekilde çökme meydana gelmektedir. Bu çökme ideal parabol eğrisinin hesaplanmasında birtakım problemlere yol açmaktadır. Bu problemleri ortadan kaldırmak, elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve daha iyi sonuçlara ulaşmak için farklı bağlantı bölgeleri esas alınmıştır. Sadece 1/3 ölçekli reflektör için farklı bağlantı bölgeleri ele alınarak yüzey doğruluğu ölçümleri yapılmış ve elde edilen test sonuçları bilgisayar ortamından alınan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Diğer çalışmalarda ise tek ölçüm yapılmış ve elde edilen sonuçlar literatürde yapılan çalışmalar ile değerlendirilmiştir.

4.1 Bilgisayar Masasının Fotogrametrik Analizinin İncelenmesi

Bu bölümde; düzgün yüzeylere sahip, 95x60 cm boyutlarında tahtadan yapılmış bir bilgisayar masasının üst yüzeyinin yüzey hataları belirlenmiştir. PhotoModeler programından elde edilen koordinat değerleri baz alınarak bilgisayar masasının ortalama yüzey RMS hatası 0,9451 mm olarak elde edilmiştir. İdeal düzlemin oluşturulmasında en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak 3.9, 3.10 ve 3.11 numaralı denklemler kullanılarak noktaların x, y ve z koordinatlarındaki ağırlık merkezleri bulunmuştur. Daha sonra 3.12 denklemi ile her bir noktanın determinant değerleri Microsoft Excel programıyla çözümlenerek elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Böylelikle çözüm için gerekli olan determinant değerleri (a_{00} , a_{01} , a_{02} , a_{11} , a_{12} ve a_{22}) elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Matlab programına aktarılarak çözüldüğünde ideal düzlem için gerekli olan A, B ve C değerlerine ulaşılmıştır.

İdeal düzlem oluşturulduktan sonra, bu düzlemine göre tüm noktaların yeni koordinat değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen koordinat değerleri referans alınarak iki düzlem arasındaki sapma miktarı belirlenmiştir. Toplam hata belirlenirken, hataların artı ve eksi çıkma olasılığı göz önüne alındığında hataların kareleri alınarak hesaplanması en uygun

olanıdır. Elde edilen sonuçlar, bilgisayar masasının belirli bölgelerinde 2 mm'ye kadar çökme olduğunu göstermektedir. Bu çökmeler imalattan kaynaklı problemler veya masa üzerine etkiyen yüklerden kaynaklanan çökmeler olarak tanımlanabilir. Bu çalışma ile bir cisim çekilen fotoğrafları yardımıyla modellenerek cisim şekil ölçümlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Ölçüm hassasiyetini kontrol etmek için her bir noktanın buldukları konumlara göre sapmaları incelenmiştir. Çizelge 4.1de noktaların bulunduğu konuma göre sapmalarının en iyi, en kötü ve ortalama değerleri verilmiştir. Z eksenini derinlik eksenini, başka bir ifadeyle çökmeyi temsil etmektedir.

Çizelge 4.1 Bilgisayar masasının kontrol noktalarının x,y ve z'ye göre sapma miktarları

Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,1391	0,4756	0,2567
Y	0,0010	0,3071	0,1415
Z	0,1510	0,6423	0,4012

Bilgisayar masasının yüzey hatası belirlenirken temel olarak Z koordinatı(çökme eksenini) esas alınmıştır. Kontrol noktalarının sapma miktarları incelendiğinde Z koordinatındaki ortalama sapma miktarının yaklaşık olarak 0,4 mm olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen değer bilgisayar masasının ölçümü için uygun olabilir, fakat iyi bir uydu haberleşme anteni için yeterli bir değer değildir. Sonuç olarak bu çalışmada; bilgisayar masasının ortalama yüzey hatası yaklaşık 1 mm olarak tespit edilmiş ve diğer çalışmalar için iyi bir ön hazırlık olmuştur.

4.2 Merkezci Uydu Anteninin Fotogrametrik Analizinin İncelenmesi

Bu bölümde, çelik malzemedan imal edilmiş, 90 cm çapında merkezci uydu antenin yüzey doğruluğu ölçümleri incelenmiştir. PhotoModeler programından alınan koordinat değerleri baz alınarak merkezci uydu antenin reflektif yüzeyinin yüzey RMS hatası 0,8895 mm olarak elde edilmiştir. Belirlenen koordinat değerlerinden geçen en uygun parabol eğrisinin oluşturulmasında Best-Fit Paraboloid(ideal parabol) oluşturma yöntemi kullanılmıştır.

İlk olarak PhotoModeler programından alınan kontrol noktalarının buldukları konumlara göre duyarlılıkları belirlenmiştir. Çizelge 4.2’de noktaların bulunduğu konuma göre hassasiyetinin en iyi, en kötü ve ortalama değerleri verilmiştir. Z değeri dikey eksen (derinliği) temsil etmektedir. Çizelge 4.2 incelendiğinde kontrol noktalarının bulunduğu konuma göre ortalama değerlerinin 0,025 mm olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ideal bir fotogrametrik ölçüm yapıldığını göstermektedir.

Çizelge 4.2 Merkezci uydu anteninin kontrol noktalarının x,y ve z’ye göre sapma miktarları

Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,01849	0,02251	0,02108
Y	0,02157	0,03505	0,02723
Z	0,03178	0,04006	0,03592

Yapılan fotogrametrik çalışmalar sonucunda, 90 cm çapında, çelik malzemeden üretilen reflektörün yüzey RMS hatası yaklaşık 0,9 mm olarak belirlenmiştir. Ele alınan merkezci uydu anteni bir spot mağazasından alınmış, kullanılmış bir antendir. Üstelik bu antenin ölçüleri hassas şekilde bilinmemektedir. Uydu anteninin odak uzaklığı anten üzerinden alınan ölçüler ile kaba şekilde belirlenmiştir. Bir mezura yardımıyla ölçülerek odak uzaklığı 0,5062 m olarak belirlenen antenin fotogrametrik ölçümler sonucunda elde edilen odak uzaklığı 0,4996 m olarak belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen 7 mm’lik fark, reflektif yüzey üzerine yapıştırılan kontrol noktalarının yapıştırılması işleminde homojenlik sağlanamamasından kaynaklanmış olabilir. Bunun için bundan sonraki çalışmalarda kontrol noktalarının kendinden yapışkanlı kâğıt üzerine alınması düşünülmüştür. Ayrıca uydu antenin ölçülerinin net olarak bilinmemesi hata oranının artmasına neden olmuştur. Ancak bu çalışma diğer çalışmalar için iyi bir ön hazırlık olmuştur.

4.3 1/3 Ölçekli Ofset Reflektörün Fotogrametrik Analizinin İncelenmesi

Bu bölümde, 1/3 ölçekli reflektör için farklı bağlantı bölgeleri ele alınarak yüzey doğruluğu ölçümleri yapılmıştır. Büyük çaptaki hafif ve çok ince yapıların şekil doğruluğu ölçümleri oldukça zor ve karmaşıktır. Yerçekiminin yapı üzerinde etkisinin büyük olması yapının ideal şeklinden uzaklaşmasına neden olmakta bu durumda şekil

ölçümlerini önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmada; ilk olarak ölçekli reflektör PhotoModeler programında modellenmiş ve elde edilen koordinat değerleri ile yüzey doğruluğu ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca reflektörün 1/3 ölçekli hali Abaqus sonlu elemanlar programında tasarlanmış ve buradan elde edilen sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Abaqus programında reflektif yüzey 1035 mesh sayısına bölünmüş ve reflektöre etkiyen yük olarak yer çekimi ivmesi verilmiştir. Reflektif yüzey üzerine yerleştirilen kontrol noktalarının ağırlıkları ise ihmal edilmiştir.

4.3.1 Tek Noktadan Asılarak Ölçülen Ofset Reflektörün Analizi

Bu bölümde, ilk olarak PhotoModeler programından alınan nokta koordinatlarının buldukları konumlara göre sapmaları belirlenerek genel bir değerlendirme yapılmış, sonrasında tek noktadan asılarak ölçülen reflektörün yüzey hataları ve odak uzaklığı belirlenmiştir. Çizelge 4.3’de noktaların bulunduğu konuma göre sapmalarının en iyi, en kötü ve ortalama değerleri verilmiştir. X değeri reflektöre dik bakışta yatay eksenini(soldan sağa), z değeri dikey eksenini (aşağıdan yukarıya), y değeri ise derinliği temsil etmektedir. Derinlik eksenindeki sapmaların yaklaşık olarak 0,1 mm olması kamera açılarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir.

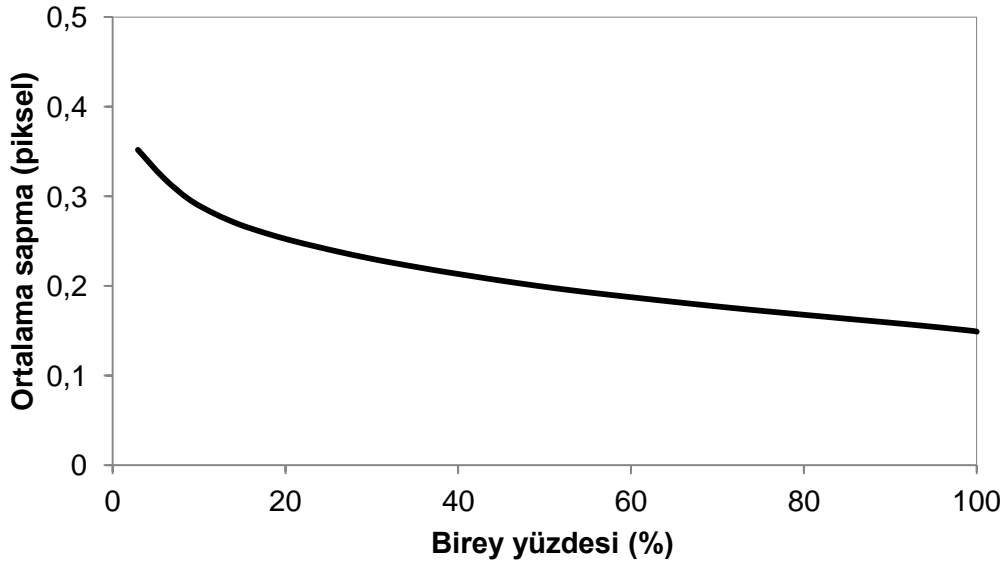
Çizelge 4.3 Tek noktadan asmada kontrol noktaların x,y ve z’ye göre sapma miktarları

Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,0288	0,0680	0,0452
Y	0,0896	0,1381	0,1012
Z	0,0412	0,0688	0,0513

Ölçüm hassasiyetini daha ayrıntı şekilde ele almak için PhotoModeler programından alınan birtakım spesifik değerler incelenmiştir. Fotogrametrik ölçümlerde ölçüm duyarlılığını, kamera istasyonlarının doğruluğunu, nesne üzerine yerleştirilen ve birbirleriyle eşleştirilen kontrol noktalarının doğruluğunu tespit etmek için iki temel değer dikkate alınır. Bunlardan biri, kamera düzlemi tarafından ölçülen ortalama karekök hatası Root Mean Square Residuals(piksel olarak ortalama sapma miktarı olarak tanımlayabiliriz), diğeri ise herhangi bir kontrol noktasına herhangi iki kameradan yansıyan ışınlar arasındaki en yakın mesafe Tightness(Sıklık) değeridir.

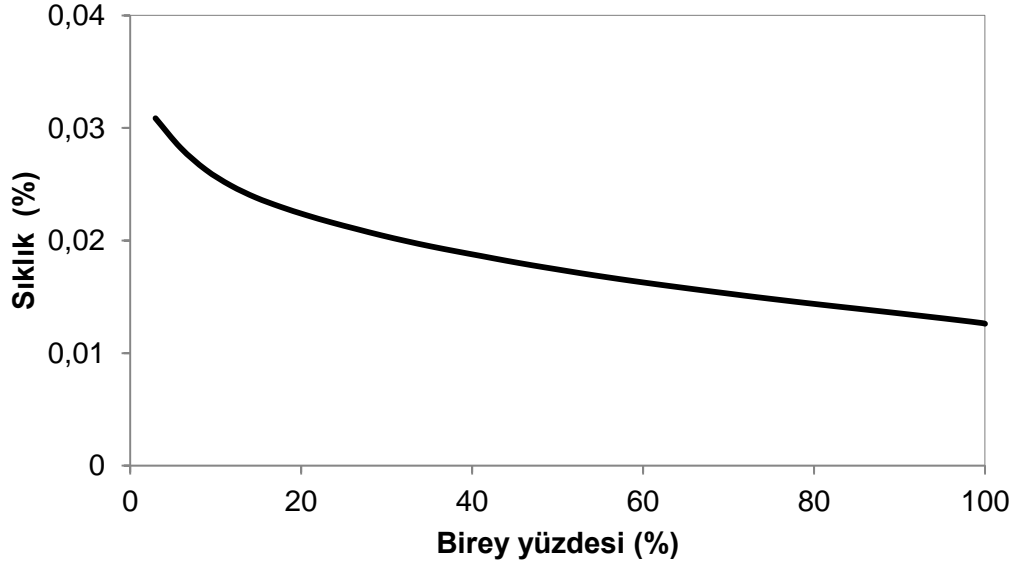
Kontrol noktalarının ortalama sapma miktarı piksel olarak hesaplanır ve hassas bir ölçüm için elde edilen hatanın 1 pikselden az olması beklenir. Sıklık değeri ise ışınlar arasındaki maksimum mesafenin nesne boyutuna bölünerek yüzdesinin alınmasıyla belirlenir. Sıklık değeri genel olarak şu şekilde hesaplanır. Örneğin, bir cismin fotoğraflarının 3 kamera istasyonundan çekildiğini varsayalım. 1'inci ile 2'inci kamera ışınları arasındaki maksimum mesafe 10 mm, 1'inci ile 3'üncü kamera ışınları arasındaki maksimum mesafe 20 mm ve 2'inci ile 3'üncü kamera ışınları arasındaki maksimum mesafe 50 mm olarak belirlemiş olsun. Ölçümü gerçekleştirilecek olan nesnenin boyutu da 2 m olarak kabul edilsin. O halde ışınlar arasındaki maksimum mesafe 50 mm olduğuna göre; sıklık değeri $T = (0,05/2) \times 100 = \%2,5$ olarak belirlenir.

Tüm noktalar için elde edilen ortalama sapma ve sıklık değerleri en kötüden en iyi doğru sıralanarak, tüm reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının ölçüm hassasiyeti elde edilmiştir. Şekil 4.1 ve 4.2'de tek noktadan asılarak ölçümü gerçekleştirilen reflektör için elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 4.1 Tek noktadan asma için elde edilen ortalama piksel hataları

Fotogrametrik ölçümlerde ideal bir çalışma için ortalama sapma değerlerinin bir pikselin altında olması beklenir. Şekil 4.1 incelendiğinde tüm noktaların ortalama sapma değerlerinin yaklaşık olarak 0,25 piksel olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar hassas bir ölçüm yapıldığını göstermektedir.



Şekil 4.2 Tek noktadan asma için elde edilen ortalama sıklık değerleri

Şekil 4.2 incelendiğinde ise, kontrol noktalarının yaklaşık %60'nın sıklık değerlerinin %0,02'nin altında olduğu görülmekte, buda yeterli hassasiyetle ölçüm yapıldığını göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışmada 4 adet kamera pozisyonu kullanılmış ve ideal bir ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Bir sonraki aşamada, ideal parabol eğrisinin hesaplanması için, kontrol noktaların 3 boyutlu koordinat değerleri daha önceden hazırlanan Matlab programına aktararak ölçekli reflektörün yüzey RMS hatası ve odak uzaklığı belirlenmiştir.(bkz Çizelge 4.4). Çözüm için oluşturulan Matlab programında sadece odak uzaklığı F ve xyz eksen takımındaki öteleme değerleri esas alınmıştır. Başka bir ifadeyle x, y ve z koordinatlarındaki dönmeler ihmal edilmiştir.

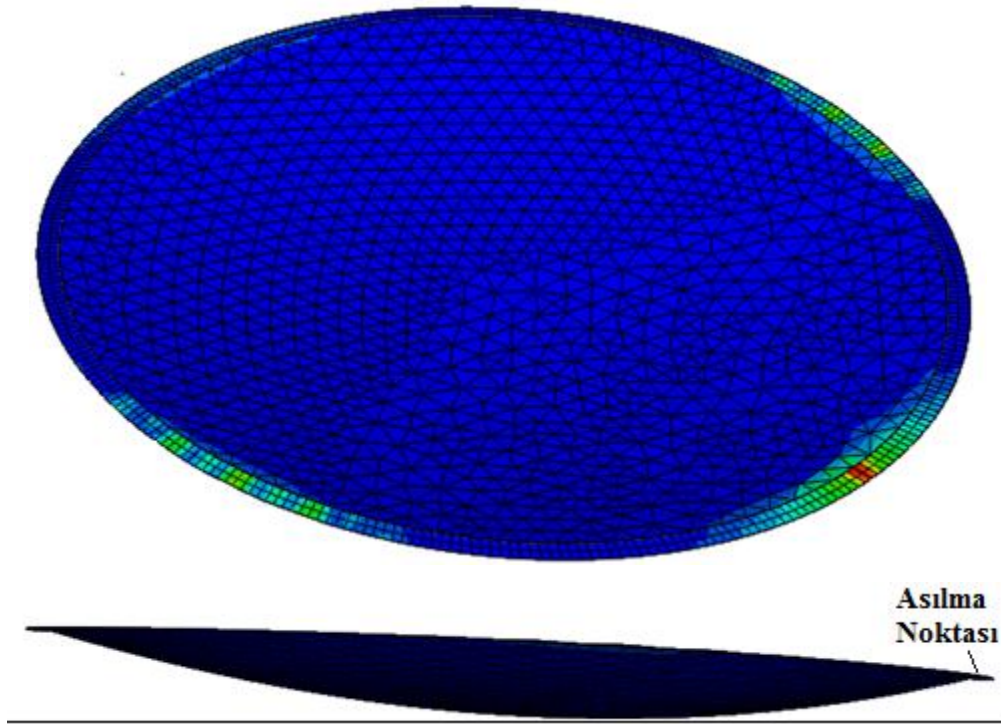
Çizelge 4.4 Tek noktadan asılarak ölçülen ofset reflektörün elde edilen yüzey RMS hatası

Yüzey Hatası (mm)	Odak Uzaklığı (mm)
9,0251	1875,69
Tasarlanan Odak uzaklığı: 1600 mm	

Elde edilen sonuçlar ölçekli reflektör tek noktadan asıldığında, yer çekiminin de etkisi ile reflektif yüzeyin parabol eğrisi, tasarlanan eğriden uzaklaşmakta buna bağlı olarak elde edilen yüzey RMS hatası artmaktadır. Çünkü yüzey hatası oluşturulan ideal parabol

eğrisi kapsamında hesaplanmaktadır. Şekil 4.3'de Abaqus programında tasarlanan ölçekli reflektör modeli görülmektedir. Şekil 4.3 incelendiğinde, tek noktadan asılı reflektör yer çekiminin de etkisiyle Y eksenine boyunca (derinlik) hareket etmektedir. Reflektörün ideal şekli belirlenen pozisyonun dışına çıkmasıyla odak uzaklığı tasarlanan odak uzaklığından uzaklaşmakta buna bağlı olarak yüzey RMS hatasını artırmaktadır.

Bu çalışma sonucunda, Abaqus programından alınan koordinatlar ile ölçekli reflektörün elde edilen odak uzaklığı 1522,08 mm, yüzey RMS hatası ise 5,3995 mm olarak bulunmuştur. Deneylerde elde edilen odak uzaklığı ise 1875,69 mm, yüzey RMS hatası ise 9,0251 mm'dir. Deneylerde elde edilen sonuçların yüksek çıkmasının nedeni, tek noktadan asılarak ölçülen reflektörün ağırlığının tam olarak alınamaması (tek noktanın yetersiz kalması), yerçekiminin bu yapı üzerinde etkisinin çok olması ve nokta sayısının az olması olabilir. Ayrıca yapının hafif, ince ve yekpare olarak imal edilmesi ölçüm zorluğuna sebep olmuştur. Bundan sonraki çalışmada ise ölçekli reflektör iki noktadan asılarak yüzey RMS hatası belirlenmeye çalışılmıştır. Böylelikle ağırlığının tam olarak alınması hedeflenmiştir.



Şekil 4.3 Tek noktadan serbest olarak asılan 1/3 ölçekli ofset reflektörün analizi

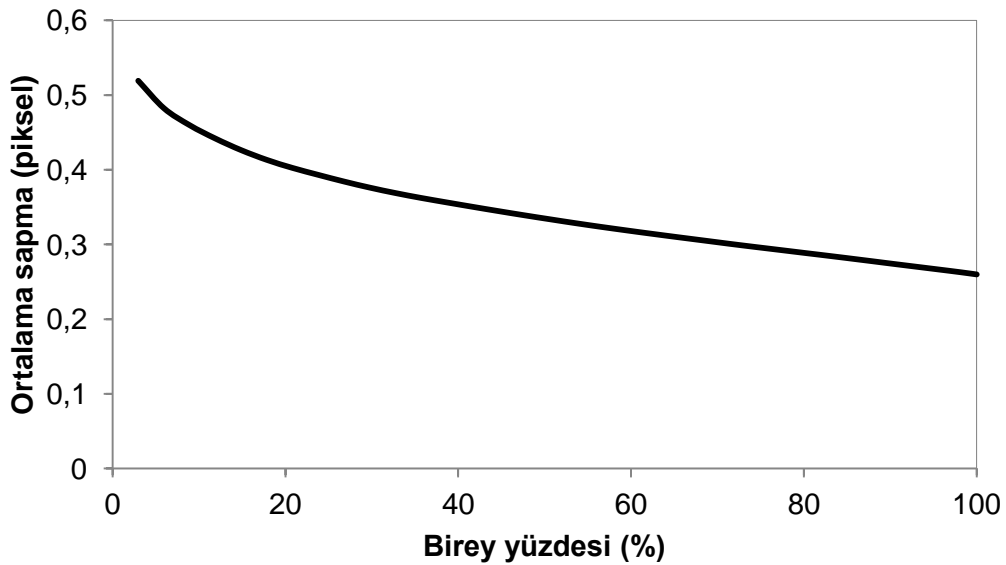
4.3.2 İki Noktadan Asılarak Ölçülen Ofset Reflektörün Analizi

Bu çalışmada, diğer çalışmada olduğu gibi ilk olarak PhotoModeler programından alınan noktalarının x, y ve z eksenine göre sapma miktarları belirlenmiştir. Toplam 337 adet kontrol noktasının değerleri ele alınmıştır. Çizelge 4.5’de bu noktaların bulunduğu konuma göre sapmalarının en iyi, en kötü ve ortalama değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar iyi bir fotogrametrik ölçüm için yeterlidir.

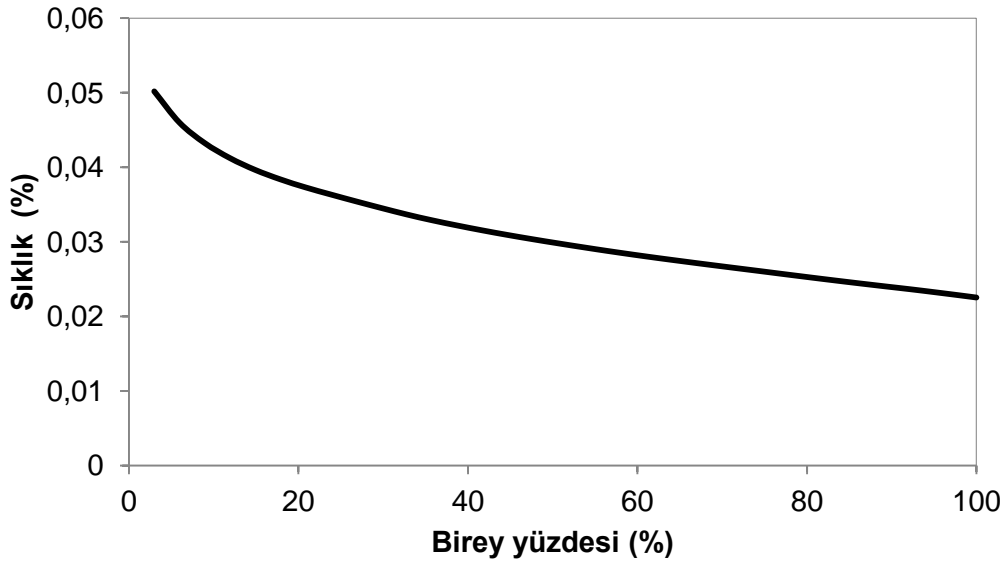
Çizelge 4.5 İki noktadan asmada kontrol noktalarının x,y ve z’ye göre sapma miktarları

Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,0342	0,0466	0,0381
Y	0,0459	0,0699	0,0576
Z	0,0438	0,0558	0,0496

Bir sonraki aşamada ölçüm hassasiyetini daha ayrıntılı şekilde kontrol etmek için kontrol noktalarının ortalama sapma miktarları (piksel olarak) ve sıklık değerleri incelenmiştir. Şekil 4.4 ve 4.5’de iki noktadan asılan reflektör için ölçüm hassasiyeti değerleri verilmiştir. Elde edilen ortalama sapma miktarları ve sıklık değerleri en kötüden en iyi doğru sıralanarak, tüm reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının ölçüm kontrolü yapılmıştır.



Şekil 4.4 İki nokta asma için elde edilen ortalama piksel hataları



Şekil 4.5 İki nokta asma için elde edilen ortalama sıklık değerleri

İdeal bir ölçüm için piksel hatalarının bir pikselin altında olması beklenir. Şekil 4.4 incelendiğinde tüm noktaların ortalama sapma miktarının 1 pikselin altında olduğu görülmektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde ise, kontrol noktalarının yaklaşık %60'nin sıklık değerlerinin %0,03'ün altında olduğu görülmektedir. Bir önceki çalışma (tek noktadan asılarak yüzey doğruluğunun ölçülmesi) ile karşılaştırıldığında, ölçüm hassasiyetinin belirlenen sınırlar içerisinde olduğu ayrıca derinlik eksenindeki hataların daha da düştüğü gözlemlenebilir.

Ölçekli ofset reflektörde odak uzaklığı ve yüzey hataları belirlenirken iki farklı Matlab programı kullanılmıştır. 1'inci program sadece odak uzaklığı F ve xyz eksen takımındaki ötelemeler ele alınarak oluşturulmuştur. Diğer programda ise, euler açıları olarak bilinen döndürme açıları da (θ , ϕ , φ) hesaba katılmıştır. Çizelge 4.6'da elde edilen sonuçlar verilmiştir.

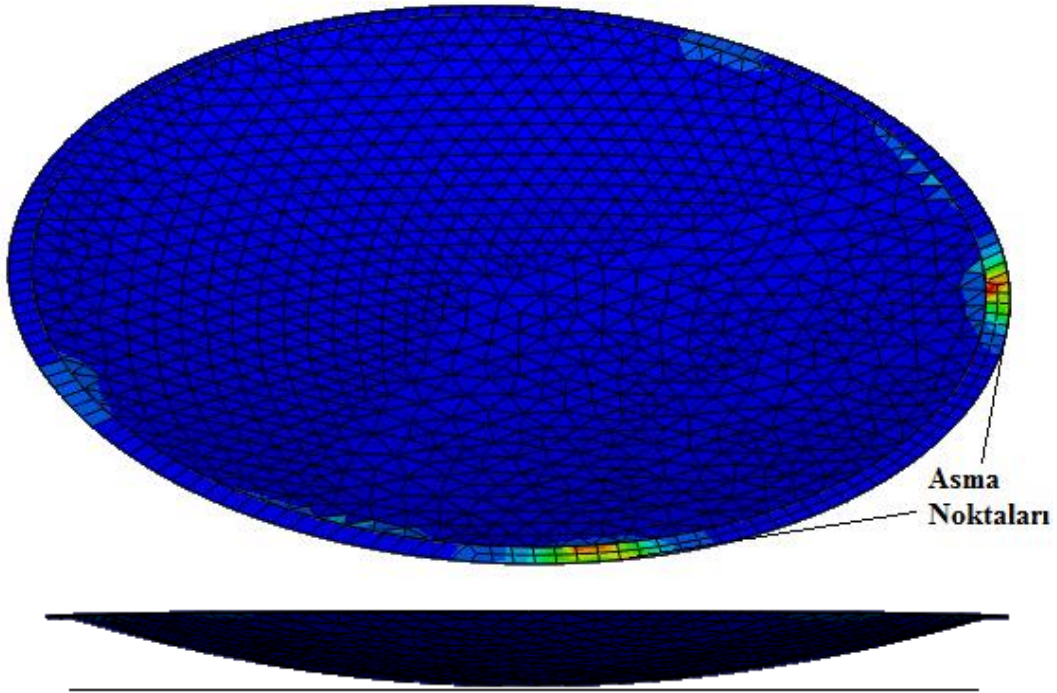
Çizelge 4.6 İki noktadan asılarak ölçülen reflektörün elde edilen yüzey RMS hatası

Program No	Yüzey hatası (mm)	Odak Uzaklığı (mm)
1.	3,3975	1620,63
2.	3,2616	1617,65

Tasarlanan Odak uzaklığı: 1600 mm

Sonuçlar incelendiğinde, tek noktadan asılarak ölçülen reflektöre göre çözüme daha yakın(F:1600 mm) değerler elde edildiği sonucuna varılabilir. X, y ve z'deki dönmelerinin ihmal edildiği program kullanıldığında odak uzaklığı 1620,63 mm olarak elde edilmiş (yaklaşık sapma 20 mm), buna karşılık 2 numaralı program kullanıldığında ise odak uzaklığı için daha iyi bir sonuç (1617,65 mm) elde edilmiştir. Yüzey RMS hatası ise yine 2 numaralı programda daha düşük çıkmasına rağmen beklenen sonuçlara ulaşılamamıştır.

Bir sonraki aşamada, Abaqus programında tasarlanan ölçekli reflektör iki noktadan asılmış, reflektöre etkiyen yük olarak diğer çalışmalarda olduğu gibi yer çekimi ivmesi girilmiştir. Reflektörün Y yönünde(derinlik) hareket etmesini kısıtlamak için kenarlardan Y yönünde tutulmuştur. Böylelikle reflektörün asıldıktan sonra öne doğru gelmesi engellenmeye çalışılmıştır. Daha sonra, yer değiştirme miktarları göz önüne alınarak reflektif yüzeyin mesh noktalarından yola çıkılarak yeni koordinat değerleri elde edilmiştir. Bu değerler referans alınarak reflektif yüzeyin RMS hatası belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.6'da iki noktadan asılan ofset reflektörün Abaqus programındaki analizi gösterilmiştir.



Şekil 4.6 İki noktadan asılan 1/3 ölçekli ofset reflektörün analizi

Şekil 4.6 incelendiğinde, iki noktadan asılı reflektör bir önceki çalışmada olduğu gibi Y yönünde fazla hareket etmemekte, fakat sınır şartının çok olması çıkan sonuçların gerçek sonuçlardan uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu çalışma sonucunda ölçekli reflektörün döndürme parametreleri ihmal edildiğinde elde edilen odak uzaklığı 1595,40 mm (Sapma miktarı yaklaşık 5 mm), yüzey RMS hatası ise 0,1718 mm olarak bulunmuştur. Döndürme parametrelili açıkken (euler açıları olarak bilenen döndürme açıları θ , ϕ , φ hesaba katıldığı program) elde edilen odak uzaklığı 1599,79 mm, yüzey RMS hatası ise 0,1201 mm 'dir. Deneylerde elde edilen sonuçlar(bknz Çizelge 4.6) ile karşılaştırıldığında, Abaqus programında elde edilen sonuçların aslında beklenen sonuçlara yakın olduğu, fakat gerçekte elde edilen sonuçlar ile uyumlu olmadığı sonucuna varılabilir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için, bir sonraki çalışmada ölçekli ofset reflektör iki noktadan serbest şekilde asılarak odak uzaklığı ve yüzey RMS hatası belirlenmeye çalışılmıştır.

4.3.3 İki Noktadan Serbest Asılarak Ölçülen Reflektörün Analizi

Bu bölümde, diğer çalışmalarda olduğu gibi ilk olarak PhotoModeler programından alınan nokta koordinatlarının buldukları konumlara göre sapmaları belirlenmiştir. Sonrasında ölçekli reflektörün yüzey RMS hataları ve odak uzaklığı hesaplanmıştır.

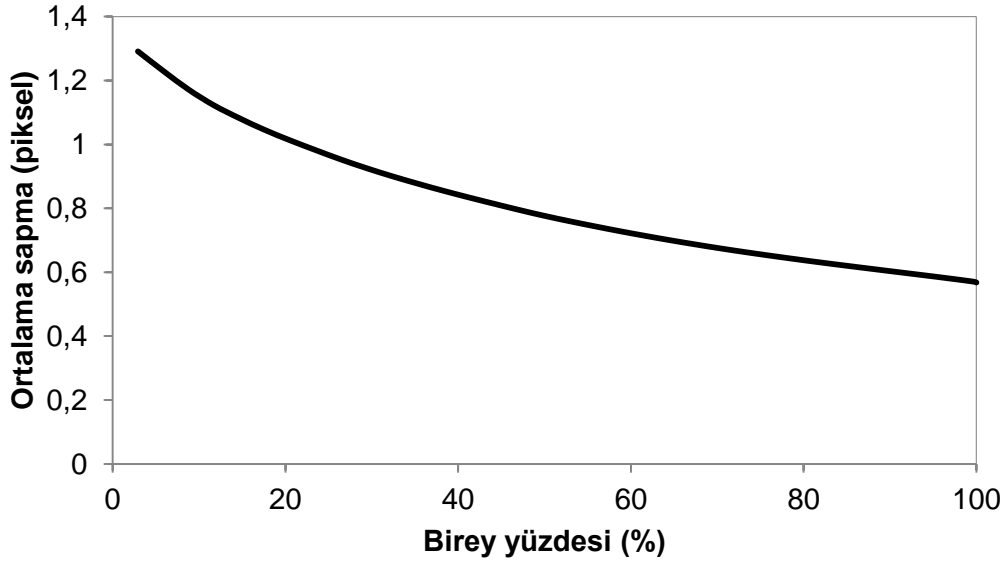
Çizelge 4.7'de noktaların bulunduğu konuma göre sapmalarının en iyi, en kötü ve ortalama değerleri verilmiştir. Yaklaşık olarak ortalama sapma miktarı 0,04 mm'dir. Bu sonuçlar iyi bir fotogrametrik ölçüm yapıldığını göstermektedir.

Çizelge 4.7 İki noktadan serbest asmada kontrol noktalarının x,y ve z'ye göre sapma miktarları

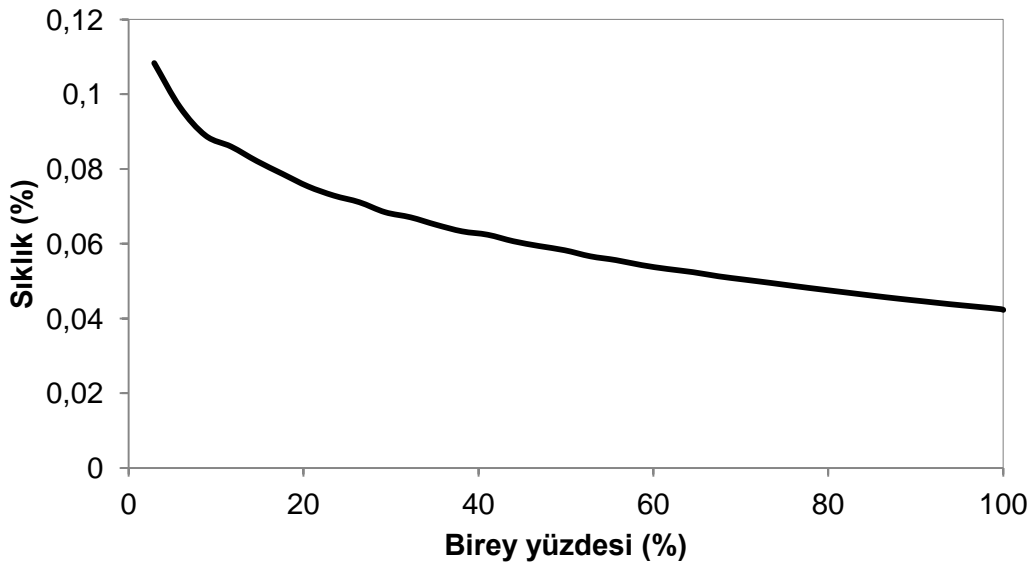
Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,0430	0,0667	0,0483
Y	0,0109	0,0284	0,0214
Z	0,0472	0,0813	0,0534

Bir sonraki aşamada, ölçüm hassasiyetini kontrol etmek için kontrol noktalarının ortalama sapma miktarları (piksel) ve sıklık değerleri incelenmiştir. Şekil 4.7 ve 4.8'de iki noktadan asılan reflektör için ölçüm hassasiyeti değerleri verilmiştir. Ortalama

sapma ve sıklık değerleri en kötüden en iyi doğru sıralanarak, tüm reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının ölçüm hassasiyeti elde edilmiştir.



Şekil 4.7 İki noktadan serbest asma için elde edilen ortalama piksel hataları



Şekil 4.8 İki noktadan serbest asma için elde edilen ortalama sıklık değerleri

Şekil 4.7 incelendiğinde kontrol noktalarının yaklaşık %90'nın 1 pikselin altında olduğu sonucuna varılabilir. Bu sonuçlar iyi bir fotogrametrik ölçüm için yeterlidir. Fakat diğer çözümler ile karşılaştırıldığında kontrol noktalarının ölçüm hassasiyeti beklenenden daha kötü çıkmıştır. Şekil 4.8 incelendiğinde ise, kontrol noktalarının yaklaşık %80'nin

sıklık değerlerinin %0,08'ün altında olduğu görülmektedir. Diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında kontrol noktalarının ölçüm hassasiyetinin belirlenen sınırlar içerisinde olduğu fakat daha kötü değerlerin elde edildiği sonucuna varılabilir. Sonuçların beklenen değerlerden uzak çıkması kamera pozisyonlarının iyi olmamasından veya serbest asmada reflektörün kendini bırakmasından kaynaklanabilir.

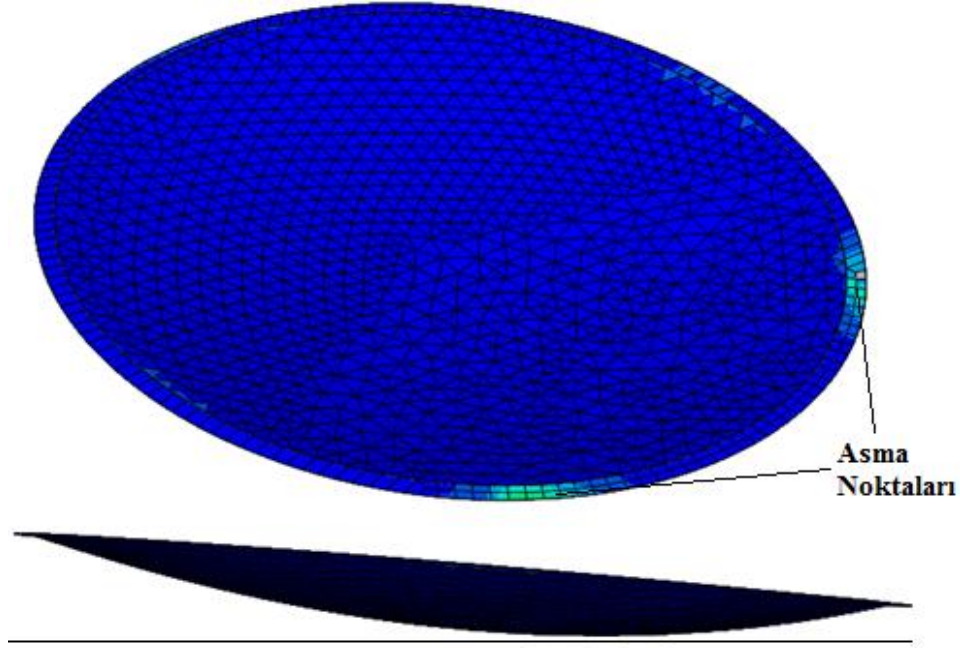
Çizelge 4.8'de iki noktadan serbest asma için elde edilen odak uzaklığı ve yüzey RMS hatası değerleri verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bir önceki çalışmaya nazaran ulaşılmak istenen çözüme daha uzak sonuçlar elde edildiği görülmektedir. 1 numaralı program(x,y ve z'deki dönme açılarının ihmal edildiği program) kullanıldığında odak uzaklığı:1682,11 mm (yaklaşık sapma miktarı 82 mm) olarak elde edilmiş, buna karşılık 2 numaralı program kullanıldığında ise odak uzaklığı:1632, 32 mm (yaklaşık sapma miktarı 32 mm) olarak elde edilmiştir. 1. programda yüzey RMS hatası 3,75 mm, 2. programda ise elde edilen yüzey RMS hatası 3,90 mm'dir. Sonuç olarak, reflektörün serbest bırakılması ideal parabolde uzaklaşmasına ve buna bağlı sonuçların beklenenden daha uzak çıkmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.8 İki noktadan serbest asılarak ölçülen reflektörün elde edilen yüzey RMS hatası

Program No	Yüzey hatası (mm)	Odak Uzaklığı (mm)
1.	3,7567	1683,11
2.	3,9012	1632,32

Tasarlanan Odak uzaklığı: 1600 mm

Bir sonraki aşamada; elde edilen sonuçları karşılaştırmak için Abaqus programında tasarlanan ölçekli reflektör bir önceki çalışmada olduğu gibi iki noktadan asılmış, reflektöre etkiyen yük olarak yer çekimi ivmesi girilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde, serbest olarak asılan ölçekli reflektör tek noktadan serbest asmada olduğu gibi Y yönünde (derinlik ekseni) hareket etmektedir. Bu çalışma sonucunda, reflektör için I. program kullanıldığında elde edilen odak uzaklığı 1569,01 mm(yaklaşık sapma 30 mm), yüzey RMS hatası ise 3,2928 mm'dir. II. program kullanıldığında(θ , ϕ , φ açılarının hesaba katıldığı program) elde edilen odak uzaklığı 1565,15 mm, yüzey RMS hatası ise 2,5572 mm'dir. Elde edilen sonuçların birbirleriyle uyum içerisinde olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.9 İki noktadan serbest olarak asılan 1/3 ölçekli ofset reflektörün analizi

4.3.4 Üç Noktadan Asılarak Ölçülen Reflektörün Analizi

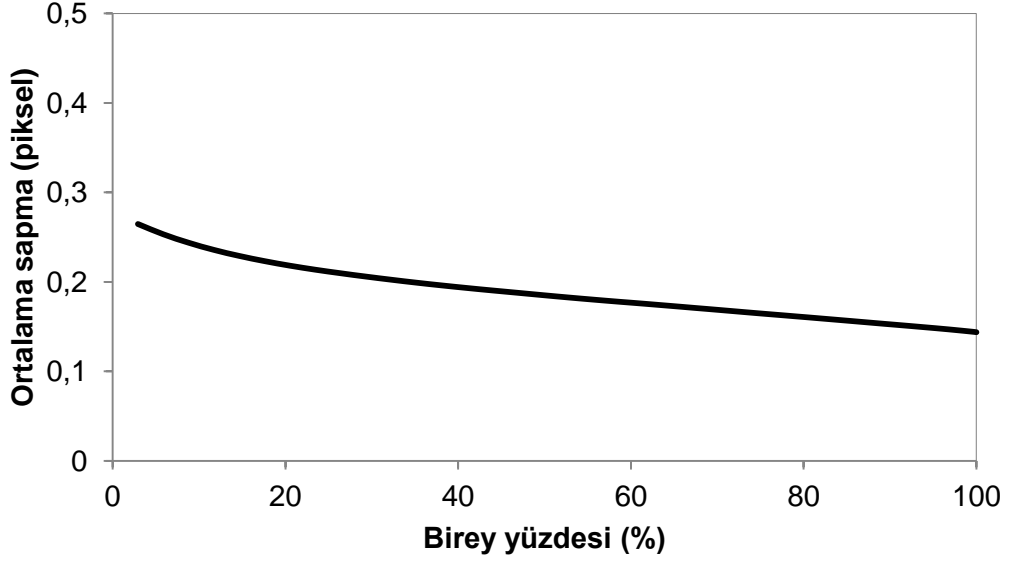
Bu çalışma ile ölçekli reflektörün üç noktadan serbest asılarak yüzey hataları ve odak uzaklığı belirlenmiştir. İlk olarak, PhotoModeler programından alınan noktaların koordinatları değerlendirilmiştir. Çizelge 4.9’da üç noktadan asma için noktaların bulunduğu konuma göre hassasiyetinin en iyi, en kötü ve ortalama değerleri verilmiştir. Bu çalışmada Y (derinlik) değerlerinin beklenenden büyük çıktığı diğerlerinin ise iyi bir fotogrametrik ölçüm için yeterli olduğu düşünülebilir. Y değerinin beklenenden büyük çıkması yapılan çalışmada odak uzaklığı ve buna bağlı olarak yüzey hatalarının yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.9 Üç noktadan serbest asmada kontrol noktalarının x,y ve z’ye göre sapma miktarları

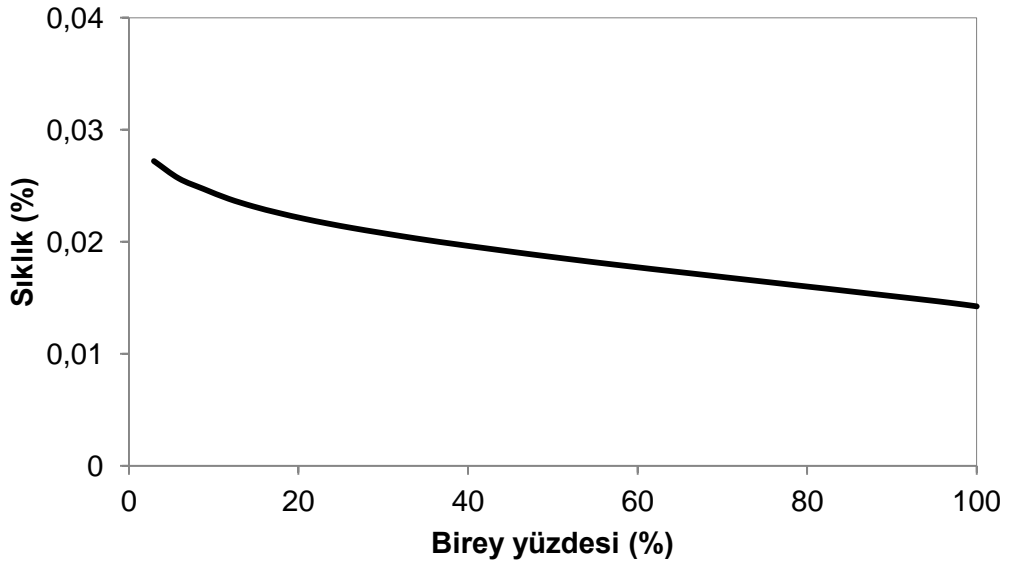
Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,0011	0,0978	0,0103
Y	0,1061	0,2849	0,1164
Z	0,0285	0,0470	0,0353

Bir sonraki aşamada, her bir noktanın bulunduğu konuma göre sapma miktarları ve sıklık değerleri incelenmiştir. Ölçüm hassasiyetini kontrol etmek için 341 adet kontrol

noktasının ortalama sapma miktarları ve sıklık değerleri incelenmiştir. Şekil 4.10 ve 4.11’de 3 noktadan serbest olarak asılan reflektör için ölçüm hassasiyeti değerleri verilmiştir.



Şekil 4.10 Üç noktadan asma için elde edilen ortalama piksel hataları



Şekil 4.11 Üç noktadan asma için elde edilen ortalama sıklık değerleri

Ortalama sapma(piksel) ve sıklık değerleri en kötüden en iyi doğru sıralanarak, tüm reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının ölçüm hassasiyeti elde edilmiştir. Şekil 4.10 incelendiğinde kontrol noktalarının tamamının 1 pikselin altında olduğu sonucuna

varılabilir. Bu sonuçlar yaklaşık olarak 0,2 piksel hatasıyla tüm noktalar için iyi bir fotogrametrik ölçüm yapıldığını göstermektedir. Şekil 4.11 incelendiğinde ise, kontrol noktalarının yaklaşık %80'nin sıklık değerlerinin %0,02'in altında olduğu görülmektedir.

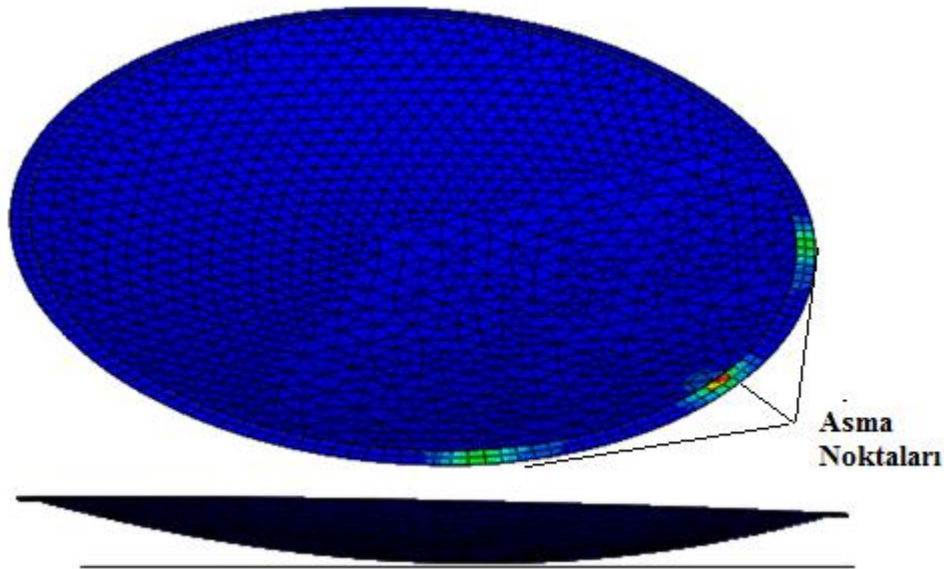
Daha sonraki aşamada, elde edilen koordinatlar Matlab programına aktarılmış yüzey RMS hatası ve odak uzaklığı belirlenmiştir. 1 numaralı program kullanıldığında odak uzaklığı, 1685,91 mm olarak elde edilmiş, buna karşılık 2 numaralı program kullanıldığında ise odak uzaklığı, 1651,93 mm olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10 Üç noktadan serbest asılarak ölçülen reflektörün yüzey RMS hatası

Program No	Yüzey hatası (mm)	Odak Uzaklığı (mm)
1.	4,8915	1685,91
2.	4,0454	1651,93

Tasarlanan Odak uzaklığı: 1600 mm

Son olarak ölçekli reflektör modeli Abaqus programında modellenerek analiz yapılmış ve belirlenen hatalar deneylerde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır(Şekil 4.13)



Şekil 4.13 Üç noktadan serbest olarak asılan ölçekli reflektörün analizi

Abaqus programında tasarlanan reflektör üzerinden alınan koordinatlar sonucunda elde edilen yüzey RMS hatası, döndürme parametreleri ihmal edildiğinde 1,3373 mm odak uzaklığı ise 1587, 71 mm'dir. Euler açıları olarak bilenen döndürme açıları θ , ϕ , φ hesaba katıldığında elde edilen odak uzaklığı 1588,48 mm, yüzey RMS hatası ise 1,4571 mm'dir. Bu çalışmada, bilgisayar ortamında elde edilen sonuçlar ile gerçekte elde edilen sonuçların uyum içerisinde olduğunu söyleyemeyiz. Bu da hafif yapılar için yerçekiminin ve bağlantı noktalarının yer tespitinin(reflektörün ağırlığının alınması için) ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Tüm yapılan çalışmalar sonucunda, yerçekiminin etkisi de göz önüne alındığında, reflektörün reflektif yüzeyindeki RMS hatası kontrol noktası yapıştirılarak net bir şekilde belirlenememiştir. Bundan dolayı bir sonraki çalışmada hem daha sık kontrol noktası hem de reflektörün belirli bölümü(merkezden itibaren yaklaşık 1 m'lik kısmı) ele alınarak yüzey RMS hatası belirlenmeye çalışılmıştır.

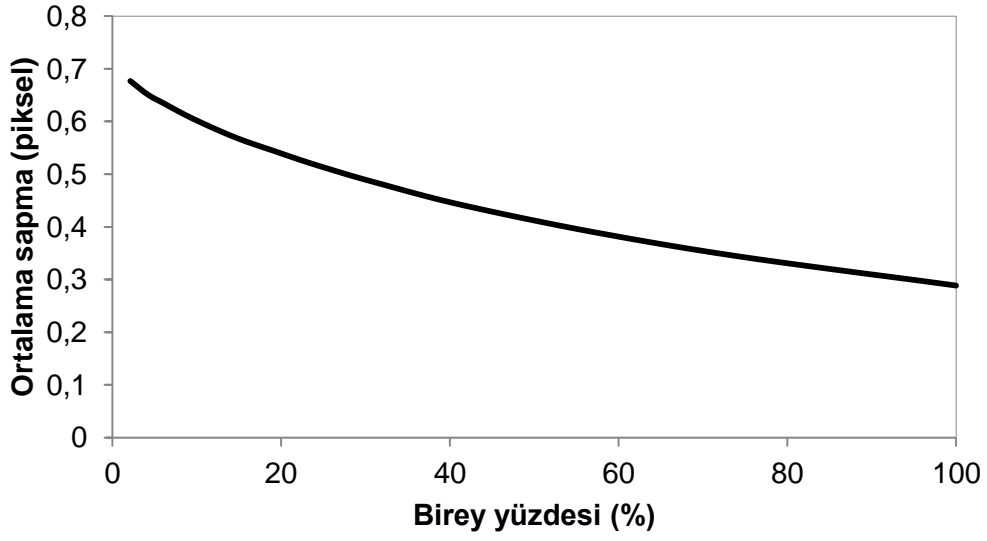
4.3.5 Yansıtma Yöntemiyle %50'lik Kısmı Ölçülen Reflektörün Analizi

Bu bölümde, reflektörün yaklaşık %50'lik kısmına kontrol noktaları yansıtılarak, 1 m'lik çap için odak uzaklığı ve yüzey hataları belirlenmiştir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi ilk olarak PhotoModeler programından alınan nokta koordinatlarının buldukları konumlara göre sapmaları belirlenmiştir. Çizelge 4.11'de noktaların bulunduğu konuma göre hassasiyetinin en iyi, en kötü ve ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.11 Yansıtma için belirlenen kontrol noktaların x,y ve z'ye göre sapma miktarları

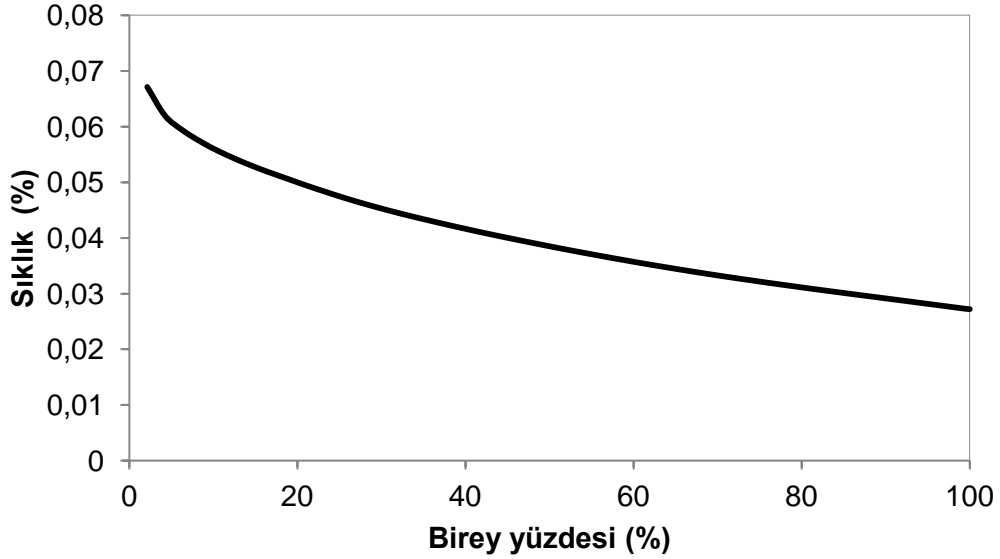
Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,0357	0,0417	0,0388
Y	0,0441	0,0591	0,0462
Z	0,0300	0,0361	0,0316

Fotogrametrik ölçüm verimliliğini kontrol etmek için 473 adet kontrol noktasının piksel olarak ortalama sapma ve sıklık değerleri incelenmiştir. Şekil 4.13 ve 4.14'de iki noktadan serbest olarak asılan ve yansıtma yöntemi ile yüzey RMS hatası belirlenen reflektör için ölçüm hassasiyeti değerleri verilmiştir.



Şekil 4.13 Yansıtma ile elde edilen kontrol noktalarının ortalama piksel hataları

Ortalama sapma ve sıklık değerleri en kötüden en iyi doğru sıralanarak, tüm reflektif yüzeydeki kontrol noktalarının ölçüm hassasiyeti elde edilmiştir. Şekil 4.13 incelendiğinde kontrol noktalarının sapma miktarının yaklaşık %70'nin 0,5 pikselin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14 Yansıtma ile elde edilen kontrol noktalarının ortalama sıklık değerleri

Şekil 4.14 incelendiğinde ise, kontrol noktalarının yaklaşık %80'nin sıklık değerlerinin %0,05'in altında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada 5adet kamera pozisyonu kullanılmış ve hassas bir ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Bir sonraki aşamada, reflektörün yüzey RMS hatalarını ve odak uzaklığını belirlenmiştir. Bunun için iki farklı program kullanılmıştır. 1 numaralı program(x,y ve z'deki dönmelerinin ihmal edildiği program) kullanıldığında odak uzaklığı, 1610,30 mm olarak elde edilmiş, buna karşılık 2 numaralı program(x,y ve z'deki dönmelerinin dâhil edildiği program) kullanıldığında ise odak uzaklığı:1602,12 mm olarak elde edilmiştir. İki numaralı program ile odak uzaklığına net bir şekilde yaklaşmıştır(Çizelge 4.12)

Çizelge 4.12Yansıtma yöntemiyle ölçülen reflektörün ele edilen yüzey RMS hatası değerleri

Program No	Yüzey hatası (mm)	Odak Uzaklığı (mm)
1.	2,1418	1610,30
2.	2,1525	1602,12

Tasarlanan Odak uzaklığı: 1600 mm

Reflektif yüzeydeki yüzey RMS hataları incelendiğinde ise 1 numaralı programla yüzey RMS hatası 2,14 mm, iki numaralı program ile 2,15 mm olarak elde edilmiştir. Tüm çalışmalardaki sonuçlar göz önüne alındığında reflektördeki yüzey RMS hatası en iyi olarak bu bağlama şekli ve yöntemi ile elde edilmiştir. Bu çalışma nokta sayısının ideal parabol eğrisini net bir şekilde belirlemek için etkili olduğu göstermektedir. Ayrıca reflektörün gerçek şeklini bu asma bölgeleri ile kenarlara yaklaştıkça bozduğu sonucuna varabiliriz.

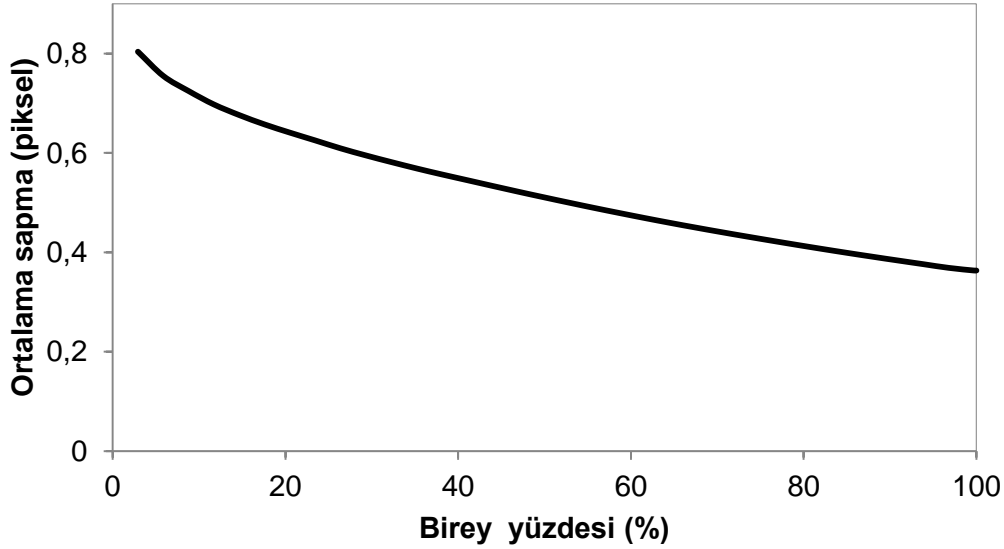
4.4 1/3 Ölçekli Kalıp İmalat Hatalarının Fotogrametrik Yöntemle İncelemesi

Bu bölümde, Epoksi H12 AP1370-A malzemesinden imal edilen erkek kalıp üzerindeki yüzey hataları reflektörde olduğu gibi fotogrametrik yöntemlerle belirlenmiştir. PhotoModeler programında nokta koordinat değerleri belirlendikten sonra ilk olarak noktaların buldukları konumlara göre sapma miktarları değerlendirilmiştir. Çizelge 4.13'de noktaların bulunduğu konuma göre duyarlılığının en iyi, en kötü ve ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.13 Kalıp ölçümü için belirlenen kontrol noktalarının x,y ve z'ye göre sapma miktarları

Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,0413	0,0357	0,0381
Y	0,0684	0,0848	0,0753
Z	0,0358	0,0426	0,0398

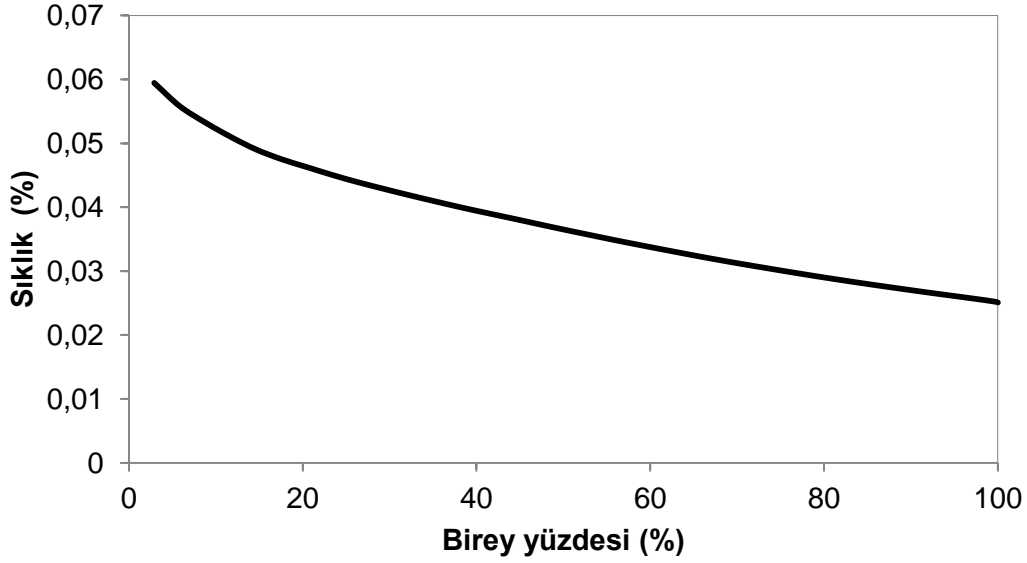
Ölçüm hassasiyetini kontrol etmek için erkek kalıp üzerine yerleştirilen 337 adet kontrol noktalarının PhotoModeler programından alınan ortalama sapma miktarları ve sıklık değerleri incelenmiştir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi, ortalama sapma miktarı ve sıklık değerleri en kötüden en iyi doğru sıralanarak, kalıp yüzeyindeki kontrol noktalarının ölçüm hassasiyeti belirlenmiştir(Şekil 4.15, 4.16).



Şekil 4.15 Kalıp ölçümünde elde edilen ortalama piksel hataları

İdeal bir fotogrametrik ölçümde elde edilen ortalama sapma değerlerinin 1 pikselin altında olması beklenmektedir. PhotoModeler programından alınan ortalama sapma değerleri, kamera düzlemi tarafından ölçülen ortalama karakök hatası olarak bilinir. Şekil 4.13 incelendiğinde kontrol noktalarının yaklaşık %80'ninin 0,6 pikselin altında olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kontrol noktalarının tamamı 1 pikselin altındadır. Bu sonuçlar ideal bir fotogrametrik ölçüm yapıldığını göstermektedir.

Şekil 4.14 incelendiğinde ise, kontrol noktalarının yaklaşık %80'nin sıklık değerlerinin %0,04'in altında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada 6adet kamera pozisyonu kullanılmış ve hassas bir ölçüm gerçekleştirilmiştir. Reflektöre dik bakışta iki kamera, reflektörün her iki yanından da ikişer kamera pozisyonu belirlenerek fotoğraf çekimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.16. Kalıp ölçümünde elde edilen ortalama sıklık değerleri

Bir sonraki aşamada, elde edilen kontrol noktalarının koordinat değerleri Matlab programında yazılan bir programa aktarılarak yüzey RMS hatası ve odak uzaklığı belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda odak uzaklığı 1634,78 mm, yüzey RMS hatası ise 2,2017 mm olarak bulunmuştur. Elde edilen yüzey RMS hatasının 2 mm civarında çıkması epoksi malzemesinden üretilen erkek kalıpta büyük miktarda hataların olduğunu göstermektedir. Bu hatalar üretimden kaynaklanan hatalar olmakla birlikte erkek kalıpta meydana gelebilecek çekmelerin hesaba katılmamasından da kaynaklanabilir. Sonuç olarak kalıp hatalarının planlanandan büyük olması reflektör üretimini de etkilemiş ve ölçekli reflektörün fotogrametrik ölçümü sonucu beklenen odak uzaklığı değerinden uzaklaşmasına neden olmuştur. Böylelikle hem odak uzaklığındaki sapmalar artmış hem de yüzey RMS hatası değerleri büyük çıkmıştır. Son olarak bu kalıbın hatalı olduğu sonucuna varılmış ve kalıbı düzeltme imkânı olmadığından çalışmada 1/4 ölçekli reflektör üretilmeye karar verilmiştir.

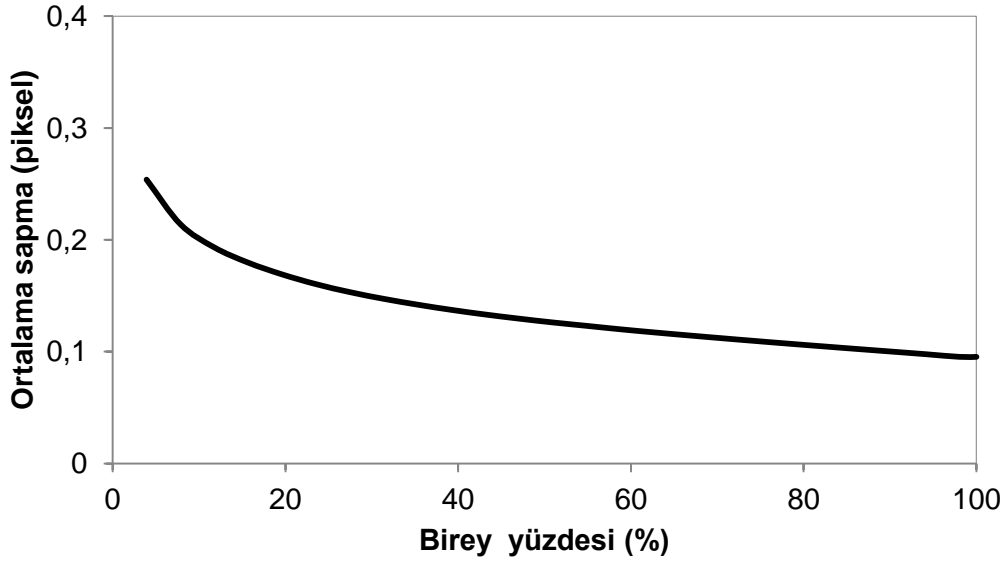
4.5 1/4 Ölçekli Ofset Reflektörün Fotogrametrik Analizinin İncelenmesi

Bu bölümde; 1,5 m çapında merkezden güçlendirilmiş reflektörün fotogrametrik yöntemlerle şekil ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak PhotoModeler programından alınan nokta koordinatlarının buldukları konumlara göre sapmaları belirlenerek genel bir değerlendirme yapılmıştır(Çizelge 4.14). Reflektif yüzey üzerine yerleştirilen 765 adet noktanın sapma değerleri referans alınmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu bölümde PhotoModeler 6.2 Scanner versiyonu kullanılmıştır. Çizelge 4.14 incelendiğinde ortalama sapma miktarının yaklaşık olarak 0,04 mm olduğu sonucuna varılabilir. Bu sonuçlar iyi bir fotogrametrik ölçüm için son derece yeterli sonuçlardır. Ayrıca diğer çalışmalarda olduğu gibi elde edilen sonuçlar arasında büyük farklar bulunmamaktadır. İdeal bir ölçüm için fotoğraf makinesinin odağı aynı noktaya odaklayacak şekilde fotoğraflar çekilmiştir. Bu durumda elde edilen sonuçların çok daha iyi çıkmasını sağlamıştır. X eksenini reflektöre dik bakışta dikey eksenini, y eksenini yatay eksenini, z eksenini ise derinliği temsil etmektedir.

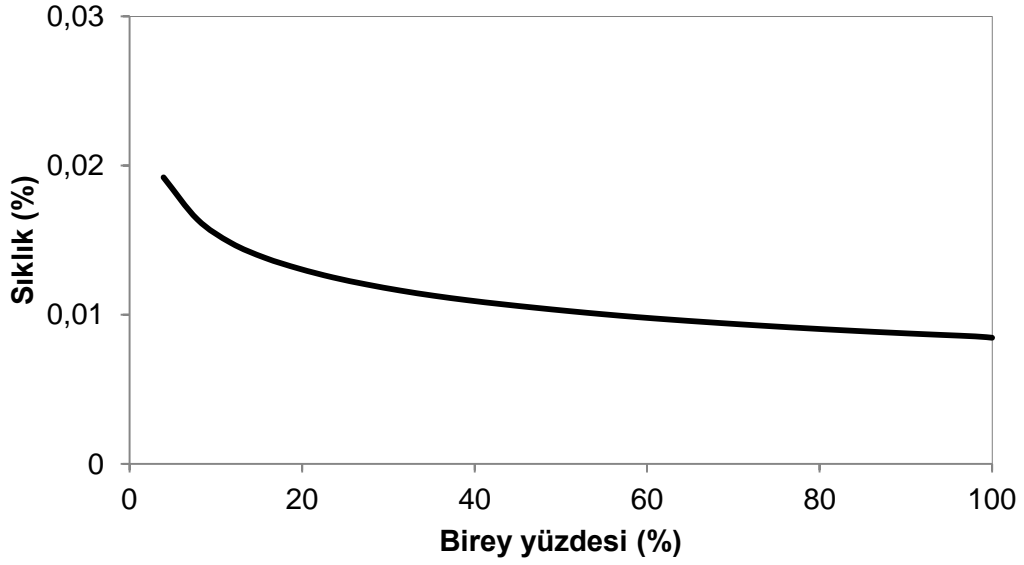
Çizelge 4.14 1/4 ölçekli reflektörün kontrol noktalarının x,y ve z'ye göre sapma miktarları

Koordinatlar	En İyi Değer (mm)	En Kötü Değer (mm)	Ortalama Değer (mm)
X	0,0310	0,0320	0,0314
Y	0,0335	0,0337	0,0336
Z	0,0579	0,0591	0,0583

Bir sonraki aşamada fotogrametrik ölçüm verimliliğini kontrol etmek için 765 adet kontrol noktasının ortalama sapma(piksel) ve sıklık değerleri incelenmiştir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi, ortalama sapma miktarı ve sıklık değerleri en kötüden en iyi doğru sıralanarak, reflektör yüzeyindeki kontrol noktalarının ölçüm hassasiyeti belirlenmiştir. Şekil 4.17 incelendiğinde noktaların yaklaşık %90'nın ortalama sapma miktarının 0,2 pikselin altında olduğu sonucuna varılabilir. Elde edilen sonuçlar diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Şekil 4.18 incelendiğinde ise, kontrol noktalarının yaklaşık %50'lik kısmının yüzde birin altında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada 4 adet kamera pozisyonu kullanılmış ve hassas bir ölçüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.17 1/4 ölçekli reflektör için elde edilen ortalama piksel hataları



Şekil 4.18 1/4 ölçekli reflektör için elde edilen ortalama sıklık değerleri

Daha sonraki aşamada, PhotoModeler programından alınan koordinat değeriyle ideal parabol eğrisi oluşturulmuştur. İdeal parabol diğer çalışmalarda olduğu gibi Best-fit Paraboloid (ideal parabol) oluşturma yöntemi ile hesaplanmıştır. Bunun için daha önceden Matlab programında hazırlanmış program kullanılmıştır. Programın hazırlama basamakları materyal ve metot kısmında ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen yüzey RMS hatası 0,499 mm, odak uzaklığı ise 1174,95 mm'dir. İdeal parabol eğrisinden sapma yaklaşık olarak 25 mm'dir. Bu sonuçlar iyi bir fotogrametrik ölçüm yapıldığını göstermektedir. Nokta sayısının çok olması, reflektörün ağırlığının büyük ölçüde alınması ve reflektörün dönmesini engellemek için kafes yapısının oluşturulması bir anlamda ideal parabolden sapmayı engellemiştir. Böylelikle beklenen sonuçlara yakın değerler elde edilmiştir.

1/4 ölçekli reflektörün kalıp hataları da fotogrametrik yöntemlerle belirlenmiştir. İlk olarak kalıp üzerine 15 mm çapında 295 adet kontrol noktası yapıştırılmıştır. Diğer çalışmalarda olduğu gibi fotoğraflar çekilerek PhotoModeler programına aktarılmış ve PhotoModeler programında tasarlanan yapının 3 boyutlu koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Sonrasında elde edilen koordinat değerleri kullanılarak kalıbın odak uzaklığı ve yüzey RMS hatası belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kalıbın odak uzaklığı 1199 mm, yüzey RMS hatası ise 0,32 mm olarak tespit edilmiştir. 1/4 ölçekli kalıp CNC (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) tezgâhında işlenmiştir. Bundan dolayı yüzey hatasının bu kadar büyük çıkmasının sebebi nokta sayısının az olması veya fotoğraf makinesinin konumlarından kaynaklanmış olabilir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, 95x60 cm boyutlarında tahtadan yapılmış bir bilgisayar masası, 90 cm çapından çelik malzemeden üretilmiş merkezci uydu anteni, 1,5 ve 2 m çapında kompozit malzemeden üretilmiş katlanıp açılabilen reflektörlerde yüzey doğruluğu ölçümleri yapılmıştır. 1/3 ölçekli reflektörün yüzey RMS hataları belirlenirken çeşitli bağlantı yerleri referans alınarak, ölçüm için ideal bağlantı yerleri tespit edilmiştir. Yapılan analizler ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Bir cismin bir veya birkaç resminden yararlanılarak modellenmesini sağlayan fotogrametri tekniğinin haberleşme antenlerinin yüzey doğruluğu ölçümleri için hızlı, pratik ve hassas ölçüm imkânı sunan bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.
2. Yapılan çalışmalarda fotogrametrik yöntemlerle reflektörlerin ve bazı yapıların şekil doğruluğu ölçümleri gerçekleştirilmiş ve uygun sonuçlar elde edilmiştir. Bu tekniğin yüzey doğruluğu ölçümleri için, lazer ile tarama yöntemlerine nazaran, hızlı, hassas, ve ucuz bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır
3. Ele alınan bilgisayar masasının ortalama yüzey RMS hatası en küçük kareler yöntemiyle 0,9451 mm olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bilgisayar masasının belirli bölgelerinde 2 mm'ye kadar çökme olduğunu göstermektedir.
4. 90 cm çapında merkezci uydu anteni üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yüzey RMS hatası 0,8895 mm olarak tespit edilmiştir. Ele alınan merkezci uydu anteni bir spot mağazasından alınmış, kullanılmış bir antendir. Üstelik bu antenin ölçüleri hassas şekilde bilinmemektedir. Uydu antenin odak uzaklığı anten üzerinden alınan ölçüler ile kaba şekilde belirlenmiştir. Bir mezura yardımıyla ölçülerek odak uzaklığı 506,2 mm olarak belirlenen antenin fotogrametrik ölçümler sonucunda elde edilen odak uzaklığı ise 499,6 mm'dir. Ölçümler sonucunda elde edilen 7 mm'lik fark, reflektif yüzey üzerine yapıştırılan kontrol noktalarının yapıştırılması işleminde

homojenlik sağlanamamasından veya üretim hatalarından meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

5. 1/3 ölçekli olarak üretilen kompozit reflektör üzerinde yapılan çalışmalarla, asılı haldeki reflektörün yer çekiminin etkisiyle öne doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir. Yer çekiminin etkisi ile reflektif yüzeyin parabol eğrisi, ideal eğriden uzaklaşmakta buna bağlı olarak elde edilen yüzey RMS hatası artmaktadır. Çünkü yüzey RMS hatası oluşturulan ideal parabol eğrisi kapsamında hesaplanmaktadır. Bu sonuçlar Abaqus sonlu elemanlar programında yapılan analizler ile desteklenmiştir.
6. 1/3 ölçekli reflektör kalıbı üzerinde yapılan fotogrametrik ölçümler kalıbın yaklaşık olarak 2 mm hatalı olduğunu göstermiştir. Bu üretim esnasında kalıpta meydana gelebilecek çekmelerin hesaba katılmaması 1/3 ölçekli reflektör üzerinde yapılan çalışmaları olumsuz yönde etkilemiştir.
7. 1/3 ölçekli reflektör üzerinde yapılan bağlantı bölgeleri tespitinde, ideal parabole en yakın fonksiyon reflektörün iki noktadan asılmasında elde edilmiştir. Elde edilen odak uzaklığı değeri 1617 mm, yüzey RMS hatası ise 3,26 mm'dir. 1/3 ölçekli reflektör yansıtma yönteminde de iki noktadan serbest olarak asılmıştır. Merkezden itibaren 1 m'lik çapı yansıtma yöntemiyle ölçülen reflektörün odak uzaklığı 1602 mm, yüzey RMS hatası ise 2,15 mm olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar kalıptaki hataların kenarlara yaklaştıkça arttığını göstermektedir.
8. 1/3 ölçekli reflektör üzerinde, yansıtma yöntemiyle yapılan çalışmalar, cismin üzerine yerleştirilmek istenilen kontrol noktalarının yansıtılması ile modellemesinin mümkün olabileceğini göstermiştir. Bu işlem, cismin üzerine kontrol noktası yapıştırılması sırasında meydana gelen zaman kaybını ortadan kaldırmak için uygulanmış ve yöntemin doğruluğu yapılan çalışmalar ile ispatlanmıştır.
9. 1/4 ölçekli reflektör üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen odak uzaklığı değeri 1174,95 mm, yüzey RMS hatası ise 0,499 mm olarak elde edilmiştir. Başka bir ifadeyle ideal parabolden sapma yaklaşık olarak 25 mm'dir. Bu çalışmada; kamera istasyonları belirlenirken iki kamera arasındaki açı maksimum 90^0 olacak şekilde belirlenmiş ve özellikle kameraların birbirine yakın olmamasına özen

gösterilmiştir. Ayrıca 765 adet kontrol noktası değeri kullanılmış ve hassas bir ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu da reflektif yüzey üzerine yapıştırılan noktaların sayısı artıkça ideale daha yakın sonuçlara ulaşıldığını göstermektedir.

10. 1/4 ölçekli reflektör kalıbı üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen odak uzaklığı değeri 1199 mm, yüzey RMS hatası değeri ise 0,32 mm'dir. Bu çalışmada 795 adet kontrol noktası kullanılmıştır. Kontrol noktası sayısının önemi bu çalışma ile yeniden ispatlanmıştır.

5.2 Öneriler

Günümüzde uzay yapılarının şekil, dinamik ve titreşim analizlerini gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çoğu hedefe ulaşmasına rağmen, son derece maliyetli yöntemlerdir. Bundan sonraki çalışmalarda, fotogrametrik tekniklerle bir yapının dinamik ve titreşim analizleri üzerinde çalışılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2009. Fotogrametrik rölöve alımı arazi çalışması 2008-2009. Harita Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Baier, H., Datashvili, L., Gogava, Z., Medzmariashvili E. and Montuori, V. (2001). Building blocks of large deployable precision membrane reflectors. 42nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference and Exhibit Seattle, WA 16-19.
- Datashvili, L., Baier, H., Lang M., Baier, H. and Sixt, T. (2005). Membrans for large and precision deployable reflectors. proceedings of the european conference on spacecraft structures. Materials and Mechanical Testing (ESA SP-581), Noordwijk, Netherlands.
- Datashvili, L., Nathrath, N., Lang, M., Baier, H., Fasold, D., Pellegrino, S., Soykasap, Ö., Kueh, A., Mangenot C., and Santiago, P. J. (2005). New concepts and reflecting materials for space borne large deployable reflector antennas. The 28th ESA Antenna Workshop on Space Antenna Systems and Technologies, Noordwijk, The Netherlands.
- Datashvili, L., Lang, M., Nathrath N., Zauner, Ch., Baier, H., Soykasap, Ö., Tan, L.T., Kueh, A. and Pellegrino S. (2005). Technical assessment of high accuracy large space borne reflector antenna. Final Technical Report, Institute of lightweight Structures Aerospace Department Technical University of Munich.
- Datashvili, L., Baier, H., Schimitschek, J., Lang, M. and Huber M.(2007). High precision large deployable space reflector based on pillow-effect-free technology. 48th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 23 - 26 April, Honolulu, Hawaii.

- Datashvili, L. and Baier, H. (2009). Large membran reflectors. *Antennas and Propagation, EuCAP 2009. 3rd European Conference, 23-27 March, 580-584, 23-27.*
- Dreizin, S. and Sharay Y. (2004). High accuracy horizontal scanner operating in X bant for the measurement of a spaceborn synthetic aperture radar (SAR) antenna. *Proceedings of EUSAR2004 Conference, May.*
- Duran, Z. and Toz, G. (2002). Tarihi eserlerin fotogrametrik yöntemle 3D modellenmesine örnek, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu,16-18 Ekim, Konya.
- Edmundson K. and Baker, L. (2001). Photogrammetric measurement of the arecibo primary reflector surface. *Coordinate Measurement Systems Committee Conference Albuquerque, NM August 13 – 17.*
- Freeland, R. E. (1982). Survey of deployable antenna concepts, In *Large Space Antenna Systems Technology*,vol.1:381–421, NASA CP-2269, NASA Langley Research Center, Houston, TX, USA.
- Guest, S.D. and Pellegrino, S. (1996). A new concept for solid surface deployable antennas. *Acta Astronautica*,PII: S0094-5765(96)00009, 4, January Vol: 38, No:2, 103-113(11).
- Hedgepeth, J. M., Thomson, M. W., and Chae, D. (1991). Design of large lightweight precise mesh reflector structures. *Astro Aerospace Corporation, Technical Report, 8 November. AAC-TN-1164.*
- Huang, J., Feria, A. and Lou, A.(2000). The development of inflatable array antennas. *Aerospace Conference Proceedings, 18-25 Marc, IEEE, 59 - 65 vol.5, ISBN 0-7803-5846-5.*

- Kishimoto, N. , Natori, M.C. and Higuchi K.. (2006). New deployable membrane structure models inspired by morphological changes in nature. 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Materials Technology for Gossamer Structures, 02-May, 1600 AIAA-1898.
- Klooster, V.K., Scialio, L., Cherniavski, A., Medzmariashvili, E., Korneev, V., Kravchenko, Y., Gulyayev, V., Magjanov, R., Santiago-Prowald, J., Scolamiero, L., Lubrano, V., Silvestrucci, F., Fei, E., Raboso, D. (2005). Large deployable antenna for various space applications. 5th International Conference on Antenna Theory and Techniques, Kyiv, Ukraine, 24-27 May.
- Lake, M. S. (2001). Launching a 25-meter space telescope: are astronauts a key to the next technically logical step after NGST. IEEE Aerosce Conference, Big Sky, MT, USA, 10–17 March, Page 460.
- Lang, M., Baier, H., Ernst, T. (2005). High precision thin shell reflectors - design concepts, structural optimization and shape adjustment techniques. Proceedings of the European Conference on Spacecraft Structures, Materials and Mechanical Testing (ESA SP-581), 10-12 May Noordwijk, The Netherlands.
- Maji, A.K. and Starnes, M.A. (2002). Shape measurement and control of deployable membrane structures. *Experimentel mechanics*, volume 40, number 2, Paper 154-159.
- Meguro, A., Tsujihata, A., Hamamoto, N., and Homma, M. (2000). Technology status of the 13 m aperture deployment antenna reflectors for engineering test Satellite VIII. *Acta Astronautica* 47, 2–9, 147–152.

- Mikulas, M. M., and Thomson, M. (1994). State of the art and technology needs for large space structures, vol. 1: New and Projected Aeronautical and Space Systems, Design Concepts and Loads of flight-vehicle materials, *Structures and Dynamics Assessment and Future Directions*, ASME, **3**:173–238.
- Miura, K. (1993). Concepts of deployable space structures. *International Journal of Space Structures* 8, 1&2, 3–16.
- Miyasaki, A., Homma, M., Tsujigata, A., Nakamura, K., Yamada, K., and Meguro, A. (2001) Design and ground verification of large deployable reflector. In *42nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference and Exhibit* (Seattle, WA, USA, 16-19 April, AIAA 2001-1480.
- Murata, Y., Hirabayashi, H., Natori, M.C., Umemoto, T., Asada, K. and Iikur, S. (2005). development of the large and high accuracy deployable antenna for the VSOP-2 mission. Japan Aerospace Exploration Agency/Institute of Space and Astronautical Science Yoshinodai 3-1-1.
- Pappa, R.S., Giersch, L.R. and Quagliaroli, J.M. (2000). Photogrammetry of a 5m inflatable space antenna with consumer digital cameras' NASA Langley Technical Report Server, December.
- Pappa, R.S., Black J.T., Blandino J.R. (2001). Photogrammetric measurement of gossamer spacecraft membrane wrinkling. NASA Langley Technical Report Server.
- Pappa, R.S., Black J.T., Walford, A., Robson, S. and Shortis, M.R. (2002). Photogrammetry methodology for gossamer spacecraft structures. NASA Langley Technical Report Server, 2002-211739.

- Pappa, R.S., Black J.T., Blandino J.R., Jones, T.W., Danehy, P.M. and Dorrington A.A. (2003). Dot-Projection photogrammetry and videogrammetry of gossamer space structures. Presented at the 21st International Modal Analysis Conference (IMAC), February 3-6, Kissimmee, Florida.
- Pellegrino, S. (1995). Large retractable appendages in spacecraft. *Journal of Spacecraft and Rockets* 32, 6, 1006–1014.
- Pellegrino, S., Kukathasan, S., Tibert, G. and Watt, A. (2000). Small satellite deployment mechanisms. CUED/D-STRUCT/TR190-Technical Report, University of Cambridge, Cambridge, UK.
- Pellegrino, S. (2002). Deployable membrane reflectors. The 2nd World Engineering Congress, USA.
- Roederer, A. G. and Rahmat-Samii, Y. (1989). Unfurlable satellite antennas. *Annales des Telecommunications*. 44, 9–10, 475–488.
- Rogers, C. A., Stutzman, W. L., Campbell, T. G. and Hedgepeth, J. M. (1993). Technology assessment and development of large deployable antennas. *Journal of Aerospace Engineering, ASCE* 6, 1, 34–54.
- Satter, C.M. and Freeland, R.E. (1995). Inflatable structures technology applications and requirements. AIAA 1995 Space Programs and Technologies Conference, September 26-28, Huntsville, AL.
- Schmid, M. and Barho, R. (2003). Development summary and test results of a 3 meter unfurlable cfrp skin antenna reflector. Proceedings of the 10th European Space Mechanisms and Tribology Symposium, San Sebastian, Spain. Compiled by R. A. Harris, ESA SP-524, 24-26 September, 145 – 151, Noordwijk, Netherlands.

- Shankar N. U., Duraichelvan R., Ateequlla C.M., Nayak A., Krishnan A., Yogi M.K.S., Koteswar C., Vidyasagar K., Jain R. and Mathur P. (2009). Photogrammetric measurements of a 12-metre preloaded parabolic dish antenna. National Workshop on the Design of Antenna & Radar Systems (DARS), February 13-14, ISRO Telemetry Tracking and Command Network (ISTRAC), Bangalore, INDIA.
- Shintate, K., Terada, K., Usui, M., Tsujihata, A. and Miyasaka, A.(2003). Large deployable reflector (LDR), Journal of the National Institute of Information and Communications Technology Vol.50 Nos.3/4.
- Soykasap, Ö. and Pellegrino, S. (2004). Deployable synthetic aperture radar reflector. Technical Report CUED/D-STRUCT/TR209, Department of Engineering University of Cambridge, January, Cambridge,UK.
- Soykasap, Ö., Watt, A.M., Pellegrino, S. (2004). New deployable reflector concept. Proc. 45th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference , Palm Springs, California, A.B.D., AIAA Paper 2004-1574.
- Soykasap, Ö. (2005). Uzay antenleri için açılabilen arkası esnek takviyeli reflektör tasarımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1(2), 1-12.
- Soykasap, Ö., Watt, A., Pellegrino, S. and Howard, P. (2005). Novel concept for all-composite deployable sar reflectors. Proc. European Conference on Spacecraft Structures, Materials & Mechanical Testing, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- Soykasap, Ö. (2006). Ku-band uzay antenleri için yeni açılabilen reflektör konseptleri. Kayseri IV. Havacılık Sempozyumu, Nevşehir.
- Soykasap, Ö., Pellegrino, S., Howardz, P. and Notter, M. (2006). Tape spring large deployable antenna. 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Confere, 1 - 4 May, Newport, Rhode Island.

- Soykasap, Ö. and Tan, L.T. (2007). Design and analysis of full-scale offset stiffened spring back reflector. Proc. 1st CEAS European Air and Space Conference, 10-13 September Berlin, Germany.
- Soykasap, Ö. (2011), Kompakt olarak katlanan ve kendi kendine açılabilen yeni bir reflektör anten tasarım ve analizi. TUBİTAK-109M 421nolu Proje 1. Ara Raporu, Afyon.
- Sultan, C. (1999). Modeling, design, and control of tensegrity structures with applications, Doctoral Thesis, Purdue University, West Lafayette, USA
- Tan, L.T. and Pellegrino, S. (2004). Ultra thin deployable reflector antennas. 45th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics & Materials Conference, 19 - 22 April, Palm Springs, California. 2004-1730.
- Tan, L.T., Soykasap, Ö. and Pellegrino, S. (2005). Design & Manufacture of stiffened spring-back reflector demonstrator. Proc. 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Austin, TX, A.B.D., AIAA Paper 2005-2048.
- Tan, L.T. and Pellegrino, S. (2006). Thin-Shell deployable reflectors with collapsible stiffeners. AIAA Journal 2006 0001-1452 vol.44 no.11, 515-2523.
- Tan, T.L. (2007). Slotted thin shell deployable reflectors. 48th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 23 - 26 April, Honolulu, Hawaii.
- Thomson, M. W. (1999). The astromesh deployable reflector. Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, 1516-1519 vol.3, Orlando, FL, USA.

- Thomson, M. W. (2002). Astromesh deployable reflectors for Ku- and Ka-band commercial satellites. 20th AIAA International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit, 12–15 May, Montreal, Quebec, Canada, AIAA-2032.
- Tibbalds, B., Guest, S. and Pellegrino, S.D. (2004). Inextensional packaging of thin shell slit reflectors. *Technische Mechanik*, Band 24, Manuskripteingang: 04 April, Heft 3-4, P.p 211–220.
- Tibert, A.G. and Pellegrino, S. (2001). Furlable reflector concept for small satellites. 42nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference and Exhibit Seattle, 16-19 April, WA.
- Tibert, G. (2002). Deployable Tensegrity Structures for Space Applications. Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, Department of Mechanics, Stockholm, Sweden.
- Tibert, A. G. and Pellegrino, S. (2002). Deployable tensegrity reflectors for small satellites. *Journal of Spacecraft and Rockets* Vol. 39, No. 5.
- Varlese, S.J. (2006). Shape memory composite applications for deployable membrane reflectors. Ball Aerospace & Technologies Corp, September 18, Mirror Technology Days.
- Veal, G., Garde, L. and Freeland, R. (1995). In-Step inflatable antenna description. *Acta Astronautica*, Volume 30, Pages 29-40.
- Willey, C.E., Schulze, R.C., Lin, J.H., Cadogan, D.P., Bokulic, R.S., Skullney, W.E. and Knoll, C.F. (2001). a hybrid inflatable dish antenna system for spacecraft. Proceedings of the 42nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Seattle, WA, AIAA Paper -1258.

Wiktovy M., Gardy M., Atkins G. and Sighal R. (2003). Photogrammetric distortion measurements of antennas in a thermal-vacuum environment. *Canadian Aeronautics and Space Journal*, Vol. 49, no 2, 65-71.

You, Z., and Pellegrino. (1994). Deployable mesh reflector in spatial, lattice and tension structures, *Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium*, J. F. Abel, J. W. Leonard, and C. U. Penalba, Eds., ASCE, 103–112, Atlanta, USA.

Zwanenburg, R. (1984). Olympus solar array structure and mechanisms, In *Proceedings of the Fourth European Symposium: Photovoltaic Generators in Space*, ESA-SP-210, ESA, 411–419, Cannes, France.

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

http://tr.wikipedia.org/wiki/Sputnik_1

20/11/2011

<http://www.elyadal.org/pivolka/07/uzay.htm>

29/11/2011

<http://www.belgeler.com/blg/2hik/aycan-tezy>

28/12/2011

<http://www.photomodeler.com/>

10/01/2012

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erdar KAPLAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bakırköy / 29.06.1987
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0535 588 20 66 / kaplan_erdar@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Plevne Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi (2001-2005)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Makine Resmi ve Konstrüksiyonu Öğ. (2005-2009)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği (2010-2012)
Brno University of Technology, Faculty of Mechanical
Engineering, Mechanical Engineering (2011-2012)