

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

## **UÇAK MOTORU TAŞIMA ARABASI TASARIMI**

### **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serkan BACAĞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ergün NART**

**Nisan 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UÇAK MOTORU TAŞIMA ARABASI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan BACAĞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Bu tez 9/4/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Emin Kart  
Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi  
Üye

Doç. Dr. Ali D. Ayhan  
Üye

## **TEŐEKÜR**

Tez çalıőmamın hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen ve çalıőmamı teővik eden danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Ergün NART 'a teőekkürü borç bilirim. Çalıőmamda Abaqus 6.9. programının kullanımı ile ilgili yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Muharrem AKTAŐ 'a teőekkürlerimi sunarım. alıőman sırasında bilgi ve kaynak konusunda yardımcı olan Defar Kalıp Makine Yedek parça sahibi Ercan GÖKÇEK 'e ve çalıőanlarına őükranlarımı sunarım. Tez yazım aşamasında bana yardımcı olan aileme ve tüm dostlarıma teőekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı ve Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	2
BÖLÜM 2.	
UÇAK MOTORLARI TEMEL BİLGİLERİ.....	3
2.1. Uçak Motorlarının Çalışması.....	3
2.2. Uçak Motorlarından Beklenen Özellikler.....	4
2.2.1. Hafiflik.....	4
2.2.2. Güvenilirlik.....	4
2.2.3. Ekonomi.....	4
2.2.4. Özgül yakıt sarfıyatı.....	5
2.2.5. Motorun bakımı.....	5
2.2.6. Gürültü ve titreşim.....	5
2.3. Uçaklarda Kullanılan Motor Çeşitleri.....	6
2.3.1. Pistonlu motorlar.....	6
2.3.2. Turboprop motorlar.....	7
2.3.3. Turbojet motorlar.....	9

2.3.4. Turbofan motorlar.....	10
2.3.5. Ramjet ve pulsejet motorlar.....	10
2.4. V2500 Turbofan Motorları.....	10
2.4.1. V2500 Motorlarının kullanıldığı uçaklar ve özellikleri .....	12

### BÖLÜM 3.

UÇAK BAKIM TEKNOLOJİLERİ	15
3.1. Uçakla İlgili Bakımlar.....	16
3.2. Havacılık Kuralları.....	17
3.3. Far'lar ve Jar'lar.....	17
3.4. Kuralların Tarihçesi.....	18
3.5. Uçak Kazaları Nedenleri ve Önleme Yöntemleri.....	19
3.6. Uçak Bakımı.....	21
3.6.1. Türkiye'de uçak bakımı ve onarımı.....	22
3.6.1.1. Türk hava yolları'nda uçak bakım ve onarımı .....	23
3.6.2. Uçak gövde ve motor bakımı.....	25
3.6.3. Uçak elektronik bakımı.....	26
3.7. Uçak Bakımında Karşılaşılan Hatalar.....	27
3.8. Uçak Bakımını Olumsuz Etkileyen Faktörler.....	28
3.9. Uçak Motoru Bölümleri Ve Parçaları.....	29
3.9.1. Alçak basınç kompresörü fan Bölümü.....	32
3.9.2. Yüksek basınç türbini bölümü.....	33
3.9.3. Alçak basınç türbini bölümü.....	34

### BÖLÜM 4.

ALÇAK BASINÇ TÜRBİNİ (LPT).....	37
4.1. Alçak Basınç Türbini Modülü.....	37
4.1.1. Alçak basınç türbini modülünün motordan sökülmesi .....	38
4.1.2. Alçak basınç türbini modülünün motora takılması .....	44
4.2. Alçak Basınç Türbini Taşıma ve Depolama Aparatı.....	48
4.3. Alçak Basınç Türbini Aparatı Tasarım Kriterleri.....	49

## BÖLÜM 5.

PROTOTİP TASARIMI.....	52
5.1. Prototiplerin Modellenmesi (CAD-CAE).....	52
5.1.1. Modellemede kullanılan CAD yazılımı Catia .....	52
5.1.1.1. Catia'nın tarihçesi.....	52
5.1.2. Catia ile katı modelleme.....	54
5.1.2.1. Parça bölümü.....	55
5.1.2.2. Montaj bölümü.....	67
5.1.3. Modellemede kullanılan CAE yazılımı Abaqus .....	74
5.1.3.1. Abaqus programının kullanılması.....	76
5.2. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapısal Çözümlerin Elde edilmesi...	93

## BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	96
6.1. Prototipler.....	96
6.1.1. Prototip 1.....	96
6.1.2. Prototip 2.....	100
6.1.3. Prototip 3.....	103
6.1.4. Prototip 4.....	106
6.1.5. Prototip 5.....	109
6.1.6. Prototip 6.....	112
6.1.7. Prototip 7.....	115
6.1.8. Prototip 8.....	118
6.1.9. Prototip 9.....	121
6.1.10. Prototip 10.....	124
6.1.11. Prototip 11.....	127
6.1.12. Prototip 12.....	130
6.1.13. Prototip 13.....	133
6.1.14. Prototip 14.....	136
6.1.15. Prototip 15.....	139
6.2. Taşıma Aracının İncelenmesi.....	142
6.3. İmalatı Etkileyen Tasarım Değişiklikleri.....	145

6.4. Elde Edilen Sonuçların Kıyaslanması .....	148
<b>BÖLÜM 7.</b>	
<b>TARTIŞMA VE ÖNERİLER .....</b>	<b>156</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>158</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>159</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AD	: Uçuşa elverişlilik
ATC	: Hava trafik kontrol
C	: Derece Isı birimi
CAD	: Computer-Aided Design, Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	: Computer-Aided Engineering Bilgisayar Destekli Mühendislik
CAM	: Computer-Aided Manufacturing- Bilgisayar Destekli Üretim
d/dakika	: Devir / Dakika Dönme hızı birimi
DOT	: Department of Transportation
FAA	: Federal Aviation Authorities
FAR	: Federal Aviation Regulations
gr/mm <sup>3</sup>	: Gram / milimetrekür Özgül ağırlık birimi
Gpa	: Gigapascal Basınç birimi
HABOM	: Havacılık Bakım Onarım ve Modifikasyon
HP	: High Pressure
IAE	: International Aero Engine
İnch	: İngiliz uzunluk ölçüsü birimi
JAA	: Joint Aviation Authorities
JAR	: Joint Aviation Regulations
Kg/Hp	: Kilogram / Beygirgücü
Kg/Kg	: Kilogram / Kilogram
KN/KN	: Kilonewton / Kilonewton
Km/saat	: Kilometre / saat
lb	: libre
lb/s	: libre / saniye hava akışı birimi
lbf/b/hr	: libre / saat yakıt tüketimi birimi
LP	: Low Pressure ( Alçak Basınç )
mm	: Milimetre



Mach	: Jet uçakları hız birimi
N	: Newton kuvvet birimi
PLM	: Product Lifecycle Management- Ürün Yaşam Çevrimi
RAM	: Random Acces Memory - Rastgele erişimli bellek
Tl	: Türk lirası
SGHM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Uçak motoru çalışma şeması.....	3
Şekil 2.2.	Pistonlu motor çalışma şeması.....	6
Şekil 2.3.	Turbojet motoru.....	9
Şekil 2.4.	V2500 motorunu üreten firmaların motor üzerindeki parçaları . . .	11
Şekil 2.5.	V2500 motoru kesit görünüşü.....	11
Şekil 2.6.	Airbus A319 uçağı.....	12
Şekil 2.7.	Airbus A320 uçağı.....	12
Şekil 2.8.	Airbus A321 uçağı.....	13
Şekil 2.9.	Boeing MD-90 uçağı.....	13
Şekil 2.10.	V2500 motoru genel bölümleri.....	14
Şekil 3.1.	Türkiye'deki ilk uçak bakım hangarından resimler.....	22
Şekil 3.2.	İlk hangar içinden motor ve gövde bakımı resimleri.....	23
Şekil 3.3.	Motorun kanattan sökülmesi ve motorun tamamen parçalarına ayrılması.....	24
Şekil 3.4.	Motorun sökülmesi.....	26
Şekil 3.5.	Uçak gövde bakımı.....	26
Şekil 3.6.	Uçak motoru genel bölümleri.....	30
Şekil 3.7.	Motor genel parçaları.....	30
Şekil 3.8.	İlk hareket mekanizması bölümleri ve motora bağlanması.....	31
Şekil 3.9.	Alçak Basınç türbini-Yüksek basınç türbini- Alçak basınç kompresörü.....	32
Şekil 3.10.	Alçak basınç fanı Parçaları.....	32
Şekil 3.11.	Yüksek basınç türbini kanatçık resimleri.....	33
Şekil 3.12.	Yüksek basınç ve Alçak basınç türbinleri genel bölümleri . . . . .	33
Şekil 3.13.	Alçak basınç Modülü.....	34
Şekil 3.14.	Alçak basınç ve Yüksek basınç kompresörleri . . . . .	34

Şekil 3.15.	Alçak basın. ve Yüksek basınç türbinleri cad model gösterimi . . . .	35
Şekil 3.16.	Alçak basınç türbini bölümleri.....	35
Şekil 3.17.	Alçak basınç türbini içindeki kanatçıklardan bazıları.....	36
Şekil 4.1.	Alçak basınç türbini modülü ve bölümleri.....	37
Şekil 4.2.	Alçak basınç türbininin sökülmesi sırasında yataklanması . . . . .	38
Şekil 4.3.	Ön kısımdaki yataklama aparatı ve itici mil.....	39
Şekil 4.4.	Mil ile kanatçıklar arasında koruyucu görevi gören aparatların takılması.....	40
Şekil 4.5.	Alçak basınç modülünün motordan ayrılması.....	40
Şekil 4.6.	Kanatçık koruyucu aparatının sabitlemesi.....	41
Şekil 4.7.	Alçak basınç türbininin yerinden çıkarılırken kanatçık aparatının sağa-sola çevrilmesi.....	41
Şekil 4.8.	Alçak basınç milini desteklemek için takılan aparat ve itici mili destekleyen aparat.....	42
Şekil 4.9.	Alçak basınç türbininin araca takılması ve araç aparatlarının bağlantılarının yapılması.....	42
Şekil 4.10.	Alçak basınç milinin taşıma aracının ön kısmına bağlantı şekli . . .	43
Şekil 4.11.	Taşıma aracına bağlanmış şekilde Alçak basınç türbini . . . . .	43
Şekil 4.12.	Alçak basınç türbininin ölçü ve toleranslarının kontrol edilip kayıt edilmesi.....	44
Şekil 4.13.	Mil ile kanatçıklar arasında koruyucu görevi gören aparatların takılması.....	44
Şekil 4.14.	Alçak basınç türbininin taşıma aracından sökülmesi . . . . .	45
Şekil 4.15.	Alçak basınç milinin yerine takılması ve itme milinin ısıtılması... .	45
Şekil 4.16.	Kanatçıkları koruyan aparatın ve Alçak basınç mili desteğinin sökülmesi.....	46
Şekil 4.17.	Isıtma aparatının sökülmesi ve Hidrolik pistonun alçak basınç miline bağlanması.....	46
Şekil 4.18.	Alçak basınç türbininin motora bağlanması.....	47
Şekil 4.19	Alçak basınç türbininin arka aparatının sökülmesi ve mil türbin eşksenlilik kontrolü.....	47
Şekil 4.20.	Alçak basınç türbininin bağlanmasından sonra motorun tamamı..	47

Şekil 4.21.	Yanma odasında oluşan hasarlar ve sökülmüş kanatçıkları . . . . .	48
Şekil 4.22.	Alçak basınç türbini taşıma aracı temsili . . . . .	49
Şekil 4.23.	Alçak basınç türbini taşıma aracına bağlanmış şekli . . . . .	50
Şekil 5.1.	CATIA kullanıcı ara yüzü . . . . .	54
Şekil 5.2.	Parça bölümü . . . . .	55
Şekil 5.3.	Çizim araçları araç çubuğu ve Profil araç çubuğu . . . . .	56
Şekil 5.4.	Operasyon araç çubuğu . . . . .	57
Şekil 5.5.	Sınırlamalar araç çubuğu . . . . .	58
Şekil 5.6.	Çizim bölümü . . . . .	59
Şekil 5.7.	Çizim tabanlı katı oluşturma araç çubuğu . . . . .	59
Şekil 5.8.	Yükseltme ayarları ve Boşaltma ayarları araç çubuğu . . . . .	60
Şekil 5.9.	Mil ve mil boşaltma araç çubuğu . . . . .	61
Şekil 5.10.	Delik açma araç çubuğu . . . . .	61
Şekil 5.11.	Kiriş ve giriş boşaltma araç çubukları . . . . .	62
Şekil 5.12.	Yardımcı çizim araç çubuğu . . . . .	63
Şekil 5.13.	Pah ve köşe radüsü araç çubukları . . . . .	63
Şekil 5.14.	Eğimli yüzey araç çubuğu . . . . .	64
Şekil 5.15.	Kabuk araç çubuğu . . . . .	64
Şekil 5.16.	Kalınlık araç çubuğu . . . . .	65
Şekil 5.17.	Diş ve delik içi kademe araç çubuğu . . . . .	65
Şekil 5.18.	Yüzey silme araç çubuğu . . . . .	66
Şekil 5.19.	Parça bölümünde oluşturulmuş bir katı parça . . . . .	66
Şekil 5.20.	Ürün yapılandırma araç çubuğu . . . . .	67
Şekil 5.21.	Hareketlendirme araç çubuğu . . . . .	68
Şekil 5.22.	Elle hareketlendirme araç çubuğu . . . . .	69
Şekil 5.23.	Kumpas ve kumpasın menüsü . . . . .	69
Şekil 5.24.	Patlatma araç çubuğu . . . . .	70
Şekil 5.25.	Sınırlandırma araç çubuğu . . . . .	70
Şekil 5.26.	Merkezleme ve çakışma aracı . . . . .	71
Şekil 5.27.	Mesafe aracı . . . . .	71
Şekil 5.28.	Açı sınırlama araç çubuğu . . . . .	72
Şekil 5.29.	Beraber kilitleme araç çubuğu . . . . .	72

Şekil 5.30.	Catia unsur ağacı.....	73
Şekil 5.31.	Catia'da katı olarak çizilen prototiplerden biri.....	74
Şekil 5.32.	Abaqus Kullanıcı arayüzü.....	75
Şekil 5.33.	Abaqus uygulamaları.....	76
Şekil 5.34.	Abaqus programına katı model aktarımı ve dosya türü seçimi . . . .	76
Şekil 5.35.	Özellikler bölümüne giriş.....	77
Şekil 5.36.	Malzeme özelliklerinin belirlenmesi.....	77
Şekil 5.37.	Malzemelerin oluşturulduğu ve özelliklerinin kontrol edildiği bölüm.....	78
Şekil 5.38.	Malzeme özelliği oluşturulması.....	78
Şekil 5.39.	Malzemelerin parçalara atanması.....	79
Şekil 5.40.	Montaj bölümüne geçiş.....	80
Şekil 5.41.	Montaj bölümüne parça aktarılması.....	81
Şekil 5.42.	Step bölümüne geçiş.....	81
Şekil 5.43.	Adım oluşturma değerlerinin programa girilmesi.....	82
Şekil 5.44.	Adım yönetimi.....	82
Şekil 5.45.	Etkileşim bölümüne geçiş.....	83
Şekil 5.46.	Sınırlama oluşturma menüsü.....	83
Şekil 5.47.	Sınırlama özelliklerinin girildiği menü.....	84
Şekil 5.48.	Sınırlama yönetimi ve tüm sınırlamaların düzenlendiği bölüm . . . .	84
Şekil 5.49.	Sınırlamaların otomatik bulunması.....	85
Şekil 5.50.	Yükleme bölümüne geçiş.....	85
Şekil 5.51.	Yükleme çeşitleri ve yükleme menüsü.....	86
Şekil 5.52.	Sabitleme menusu, sabitleme çeşitleri ve sabitlemelerden birinin menüsü.....	86
Şekil 5.53.	Mesh bölümüne geçiş.....	87
Şekil 5.54.	Genel değerler menüsünden parçacık boyutunun girilmesi . . . . .	88
Şekil 5.55.	Mesh kontrol ile parçanın mesh şeklinin seçimi.....	88
Şekil 5.56.	Element tipi ve meshin element özelliklerinin seçimi . . . . .	89
Şekil 5.57.	Meshleme işlemi ve meshlenmiş parça.....	90
Şekil 5.58.	İş bölümüne geçiş.....	90
Şekil 5.59.	İş menüsü ve analiz için gereken bilgilerin girilmesi . . . . .	91

Şekil 5.60.	İş yönetimi.....	91
Şekil 5.61.	Analiz sonucu ekranı.....	92
Şekil 5.62.	Analiz sonuçlarından biri.....	92
Şekil 5.63.	Bir sonlu eleman modelinde nod noktaları ve elemanlar.....	94
Şekil 6.1.	Prototip 1.....	97
Şekil 6.2.	LPT mili eğilmesi.....	97
Şekil 6.3.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi.....	98
Şekil 6.4.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi.....	99
Şekil 6.5.	Prototip 1 çökme resmi ve değerleri.....	100
Şekil 6.6.	Prototip 2.....	101
Şekil 6.7.	LPT mili eğilmesi.....	101
Şekil 6.8.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi.....	102
Şekil 6.9.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi.....	102
Şekil 6.10.	Prototip 2 çökme resmi ve değerleri.....	103
Şekil 6.11.	Prototip 3.....	104
Şekil 6.12.	LPT mili eğilmesi.....	104
Şekil 6.13.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi.....	105
Şekil 6.14.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi.....	105
Şekil 6.15.	Prototip 3 çökme resmi ve değerleri.....	106
Şekil 6.16.	Prototip 4.....	107
Şekil 6.17.	LPT mili eğilmesi.....	107
Şekil 6.18.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi.....	108
Şekil 6.19.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi.....	108
Şekil 6.20.	Prototip 4 çökme resmi ve değerleri.....	109
Şekil 6.21.	Prototip 5.....	110
Şekil 6.22.	LPT mili eğilmesi.....	110
Şekil 6.23.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi.....	111
Şekil 6.24.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi.....	111
Şekil 6.25.	Prototip 5 çökme resmi ve değerleri.....	112
Şekil 6.26.	Prototip 6.....	113
Şekil 6.27.	LPT mili eğilmesi.....	113
Şekil 6.28.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi.....	114

Şekil 6.29.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	114
Şekil 6.30.	Prototip 6 çökme resmi ve değerleri.....	115
Şekil 6.31.	Prototip 7.....	116
Şekil 6.32.	LPT mili eğilmesi.....	116
Şekil 6.33.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	117
Şekil 6.34.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	117
Şekil 6.35.	Prototip 7 çökme resmi ve değerleri.....	118
Şekil 6.36.	Prototip 8.....	119
Şekil 6.37.	LPT mili eğilmesi.....	119
Şekil 6.38.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	120
Şekil 6.39.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	120
Şekil 6.40.	Prototip 8 çökme resmi ve değerleri.....	121
Şekil 6.41.	Prototip 9.....	122
Şekil 6.42.	LPT mili eğilmesi.....	122
Şekil 6.43.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	123
Şekil 6.44.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	123
Şekil 6.45.	Prototip 9 çökme resmi ve değerleri.....	124
Şekil 6.46.	Prototip 10.....	125
Şekil 6.47.	LPT mili eğilmesi.....	125
Şekil 6.48.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	126
Şekil 6.49.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	126
Şekil 6.50.	Prototip 10 çökme resmi ve değerleri.....	127
Şekil 6.51.	Prototip 11.....	128
Şekil 6.52.	LPT mili eğilmesi.....	128
Şekil 6.53.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	129
Şekil 6.54.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	129
Şekil 6.55.	Prototip 11 çökme resmi ve değerleri.....	130
Şekil 6.56.	Prototip 12.....	131
Şekil 6.57.	LPT mili eğilmesi.....	131
Şekil 6.58.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	132
Şekil 6.59.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	132
Şekil 6.60.	Prototip 12 çökme resmi ve değerleri.....	133

Şekil 6.61.	Prototip 13.....	134
Şekil 6.62.	LPT mili eğilmesi.....	134
Şekil 6.63.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	135
Şekil 6.64.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	135
Şekil 6.65.	Prototip 13 çökme resmi ve değerleri.....	136
Şekil 6.66.	Prototip 14.....	137
Şekil 6.67.	LPT mili eğilmesi.....	137
Şekil 6.68.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	138
Şekil 6.69.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	138
Şekil 6.70.	Prototip 14 çökme resmi ve değerleri.....	139
Şekil 6.71.	Prototip 15.....	140
Şekil 6.72.	LPT mili eğilmesi.....	140
Şekil 6.73.	Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi . . . . .	141
Şekil 6.74.	Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi . . . . .	141
Şekil 6.75.	Prototip 15 çökme resmi ve değerleri.....	142
Şekil 6.76.	Hali hazırda kullanılan taşıma aracının LPT milin eğilmesi . . . . .	143
Şekil 6.77.	Hali hazırda kullanılan taşıma aracındaki direklerin eğilmesi . . . . .	144
Şekil 6.78.	Hali hazırda kullanılan Taşıma aracındaki direklerin eğilmesi . . . . .	144
Şekil 6.79.	Hali hazırda kullanılan Taşıma aracındaki yükleme sonrası çökme . . . . .	145
Şekil 6.80.	LPT mili küresel bağlama mekanizması . . . . .	146
Şekil 6.81.	LPT mili küresel bağlama mekanizması . . . . .	146
Şekil 6.82.	LPT mili küresel bağlama mekanizması . . . . .	147
Şekil 6.83.	LPT milin eğilme açıları.....	148
Şekil 6.84.	Direk eğilme açıları . . . . .	149
Şekil 6.85.	a, P ve a + P açılarının araç üzerindeki konumları . . . . .	150
Şekil 6.86.	a + P açısı değerleri.....	151
Şekil 6.87.	90- (a + P) açısı değerleri.....	152
Şekil 6.88.	Direk altı çökme değerleri . . . . .	152
Şekil 6.89.	Taşıma aracının ön kısmında oluşan çökme . . . . .	153
Şekil 6.90.	Taşıma aracının arka kısmında meydana gelen çökme değerleri... .	154



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Alçak Basınç Türbini, Statik Analiz, Tasarım, Jet Motoru

Günümüzde havayolları taşımacılığında hali hazırda kullanılmakta olan Turbo Fan Jet motorlarından olan V2500 serisi motorlar; yapımından bu yana gelen süreçte teknolojik yenilikleri yakında takip etmiş ve kendisini sürekli olarak yenilemiştir. Bu yeniliklerin V2500 motorlarının Tamir-Bakım aparatları içinde aynı ilerleme hızında uygulanması gerekmektedir. Günümüzde Tamir-Bakım teknolojisinin Uçak Motoru imalatı hızına yetişerek bu sektördeki yenilenme açığını kapaması gerekmektedir. Bu yenilenmenin imalat, mühendislik ve üretim teknolojileriyle paralel olarak gerçekleşmesi sektör açısından büyük önem taşımakta ve sektörün gelişim hızını gerek ülkemizde gerekse dünya çapında artırmaktadır.

Bu tezde, uçak motorlarının tamir ve bakımı esnasında kullanılan sökme-takma ve taşıma-depolama aparatlarından olan LPT (alçak basınç türbini) taşıma arabasının üzerine gelen statik yüklerin incelenerek, Günümüz teknolojisinin ve tasarım olanaklarının kullanılarak maliyetinin ve LPT modülünün üzerine gelen kuvvetlerle oluşan yüklemelerinin minimize edilerek mevcut tasarımın geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu bağlamda tasarım gereksinimleri kullanılarak mevcut tasarımın 3 boyutlu tasarım programlarında güncellenerek yeni prototip tasarımlar oluşturulmuş ve bu prototiplerin statik analizleri yine 3 boyutlu olarak analiz programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, maliyet ve tasarım kriterleri optimize edilerek LPT taşıma aracı için yapılan prototipler arasında en uygun tasarımın bulunması hedeflenmiştir.

# AIRCRAFT ENGINE TROLLEY DESIGN

## SUMMARY

**Key words:** Low Pressure Turbine, Static Analysis, Design, Jet Motor

V2500 series motors which are one of the Turbo fan jet motors, are being used nowadays in air transport. Many technological developments and renovation processes have been made since the motors were first produced. Nevertheless, repairing and maintenance apparatuses (equipments) are needed for these renewals also. However, at the present time, repairing and maintenance technology need to reach the accuracy in the developments of the plane motors production. At this area, the renovation of repairing and maintenance technology should have the same development rate with manufacturing, engineering and production technologies. Lately, the development rate of this area is increasing rapidly in our country and in the world.

In this thesis, a LPT carrying vehicle under the static loading, which is one of the repairing and maintenance equipments of the plane motors has been investigated and developing the design parameters and the cost by using todays technology and design possibilities was aimed.

For this reason, several prototype designs were prepared and updated by using the requirements for designing in 3D design programmes. Also the statical analyses of the prototypes were performed with the 3D analysing programmes. The obtained results were used to choose the most suitable LPT carrying vehicle from the designs.

# **BOLUM 1. GİRİŞ**

## **1.1. Problemin Tanımı ve Onemi**

Günümüzde yolcu taşımacılığında ilk sırada yer alan havayolu taşımacılığında kullanılan uçakların düzenli ve hassas bir biçimde bakımın gerçekleştirilmesi hayati önem taşımaktadır. Uçak bakımı ve onarım dünya çapında başlı başına dev bir sektör meydana getirmiştir. Bu sektör her geçen gün artan talebi karşılayarak, gelişen teknolojiye ayak uydurarak gelişimine devam etmektedir.

Uçak bakımı denildiğinde ilk olarak akla gelen ve uçak için hayati önem taşıyan kısım uçak motoru kısmıdır. Uçak motorları belli uçuş saatleri arasında bakım ve gerekli bölümleri onarımı yapılması hayati önem taşımaktadır. Bu durumda bakım ve onarımın önemini artırmaktadır. Uçak motorları uçak için ne kadar önemli ise Uçak bakımı ve onarımında kullanılan sökme-takma, taşıma-depolama araç ve gereçleri bakım için o kadar önemlidir.

Kullanılan araç ve gereçlerin hassas, kullanımı kolay ve maliyet bakımında optimum düzeyde olması, bakım onarım işleminin hızlanması ve en uygun koşullar altında en sağlıklı biçimde gerçekleştirilmesini sağlar. Bu durumda günümüzde en çok tercih edilen ve en güvenilir ulaşım olarak havayolu ulaşımının neden tercih edildiğini anlamamızı sağlar. Uçak bakım ve onarımında uçak üzerinde yapılan her işlem kayıt altına alınmaktadır. 'uçak ağırlığınca dosya ile uçar' değimi bunu basitçe açıklar. Bu durum ayrıca yolcuya yani insana verilen öneme havacılık sektöründe ne kadar özen gösterildiğini açıkça göz önüne sermektedir.

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Uçak bakım işleminin kalbinde bulunan uçak motoru bakımı hassas ve bir o kadar meşakkatli bir süreçtir. Bu süreç içinde en uygun araç gereçler kullanılması büyük önem taşır. Kullanılan araç gereçlerin hassasiyetlerinin yanında amacına uygunluk ve hızlı temini de önem taşır. Bakımı yapılacak motorun sökülüp gerekli onarım ve bakımlarının yapılması motorun uçuş saatine göre 3 ila 6 aya kadar zaman alabilmektedir. Bu noktada üzerinde onarım yapılmayacak parçaların sökülüp depolanması ön plana çıkar.

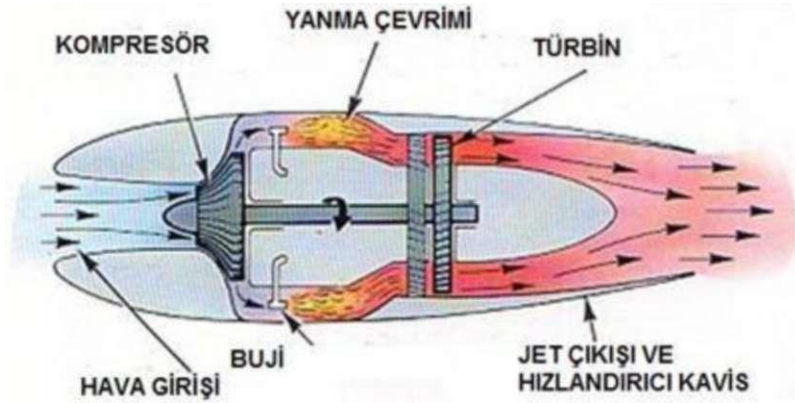
Yapılan bu çalışmada uçak motorunun bölümlerinden olan LPT ( Alçak Basınç Türbini ) kısmının uçak motorunun söküldükten sonra taşınarak depolanmasında kullanılmak amacıyla taşıma ve depolama arabası için uygulanabilir prototip araçlar incelenmiştir.

Taşıma arabası, tasarım kriterlerini uygun olarak CATIA adlı 3D CAD programında gerekli 3 boyutlu çizimleri yapılmıştır. Kullanışlılığı artırmak ve maliyeti azaltmak için değişiklikler yapılarak farklı prototipler elde edilmiştir. Elde edilen prototiplerin statik kuvvetler altında verdiği tepkiler ABAQUS adlı analiz programında incelenmiş ve alınan sonuçlar değerlendirilmiştir.

## BOLUM 2. UÇAK MOTORLARI TEMEL BİLGİLERİ

### 2.1. Uçak Motorlarının Çalışması

Jet motorları basit bir anlatımla, ön taraftan fan ile içeri alınan havanın yakıt ile karıştırılıp patlatılarak arkadan çıkarılıp itiş kuvveti elde edilmesiyle çalışır. İçeride sıkıştırılan hava aniden dışarı çıkmak ister ve motorun arka kısmında çok büyük bir itme kuvveti oluşturur. Etki-Tepki Prensibini göz önüne aldığımızda itilmek istenilen hava bu kuvvete tepki gösterecek ve motorun ileriye doğru hareket etmesini sağlayacaktır. Önden alınan hava çok büyük bir vakum oluşturmaz, yani motor fanının büyüklüğü ve devri ölçüsünde havayı motor içerisine alır. Fakat motor içerisinde meydana gelen patlamayla birlikte arkaya verilen hava itışı çok fazladır.



Şekil 2.1. Uçak motoru çalışma şeması

Uçaklarda kullanılan motorların iki ana görevi vardır. Bunlardan ilki, kalkış yapan uçağın yer sürüklenmesini yenilerek uçağın ivmelendirilmesidir. İkinci ana görevi ise, uçağın öngörüldüğü hızlarda uçuşu esnasında meydana gelen sürüklenme kuvvetine eşit bir çekme kuvveti (veya tepki kuvveti) sağlamasıdır.

## 2.2. Uçak Motorlarından Beklenen Özellikleri

### 2.2.1. Hafiflik

Genel olarak uçak motorlarından hafif ve güçlü olmaları beklenir. Bunun başlıca nedeni yerçekimi kuvvetini yenmek için kullanılacak tepki kuvvetini azaltmak olarak söylenebilir. Uçak motorlarında Hafiflik terimin birimi; Pervaneli güç gruplarında beygirgücü başına kuru motor ağırlığı (Kg/Hp), Jet motorlarında statik tepki kuvveti başına kuru motor ağırlığıdır. (kg/kg,Lb/Lb,KN/KN) Çeşitli motorlar için Hafiflik değerleri :

Pistonlu Motorlar :0.50-0.30 Kg/Hp

Turboprop Motorlar :0.15-0.25 Kg/Kg

Turbojet Motorlar :0.25-0.35 Kg/Kg

Turbofan Motorlar :0.17-0.25 Kg/Kg

Eğer motorların belirtilen ağırlık özelliklerine dayanılarak bir karşılaştırma yapılmaya çalışılırsa hafiflik yönünden avantajları ve dezavantajları tam olarak ortaya çıkmayacaktır. Yukarıda verilen değerlere göre yapılan karşılaştırmada pistonlu motorlu uçakların diğerlerine nazaran dezavantajlı oldukları, öte yandan Turbojet ile Turbofan motorları arasında çok büyük bir fark olmadığı görülmektedir.

### 2.2.2. Güvenilirlik

Uçağı havada tutabilmek için gerekli itiş gücünü sağlayan motorun güvenilir olması gerekmektedir. Uçuş sırasında, kalkış sırasında sorunsuz olarak çalışması ve tamir bakımının kolay ve hızlı olması güvenilirliği belirleyen etkenlerdir.

### 2.2.3. Ekonomi

Uçaklarda kullanılacak olan motorun özgül yakıt sarfiyatının, ilk alış fiyatının, uçuş saati başına yapılan bakım onarım maliyetinin minimum seviyede olması aranan bir özelliktir.

#### **2.2.4. Özgül yakıt sarfiyatı**

Yakıt sarfiyatları seyahat uçuşu esnasında, sürüklenmeye eşit olan çekme kuvvetlerinin kullanıldığı hallere karşılık gelmektedir. Bu özgül yakıt sarfiyatına, jet motorlarında tepki özgül yakıt sarfiyatı (thrust specific fuel consumption- tsfc,ct) denmektedir. Turboprop motorlar pistonlu motorlardan daha fazla yakıt sarf etmelerine rağmen, benzinden daha ucuz olan kerozen yakıtını kullanırlar. Turbojet motorları en yüksek yakıt sarfiyatına sahip uçak motorlarıdır. Turbofan motorları ise mach = 0.4~0.5 in üzerindeki hızlarda en düşük yakıt sarfiyatlı motorlar olup, bypass oranı arttıkça yakıt sarfiyatı daha da azalmaktadır.

#### **2.2.5. Motorun bakımı**

İki Motor ana bakımı zamanı arasındaki zaman, normal emişli pistonlu motorlarda 1500~2000 saat (motorun çalışma saati), süper şarjlı pistonlu motorlarda 1000~1500 saat civarındadır. İyi bir Turboprop motor için bu değer 4000 saati bulmaktadır.

#### **2.2.6. Gürültü ve titreşim**

Özellikle kalkış ve tırmanışta sırasında maksimum güçle çalışan uçak motorlarının hava alanlarının yakınındaki yerleşim bölgelerindeki rahatsız edici gürültü yapmaması beklenir. Pistonlu motorların en büyük handikabı pistonların gidip gelme hareketinden kaynaklanan titreşim ve gürültüdür. Turboprop motorlardaki mekanik gürültü seviyesi pervane gürültüsüne nazaran daha azdır. Jet motoru uçağın içerisinde oturanlar açısından en sessiz motor tipidir. Fakat yerdeki bir gözlemciye göre özellikle kalkış ve yaklaşma esnasında maksimum gürültü seviyesine sahiptir. Motordan çıkan gazların düşük egzoz hızları nedeniyle Turbofan motorlar Turbojet motorlara nazaran daha sessizdirler.

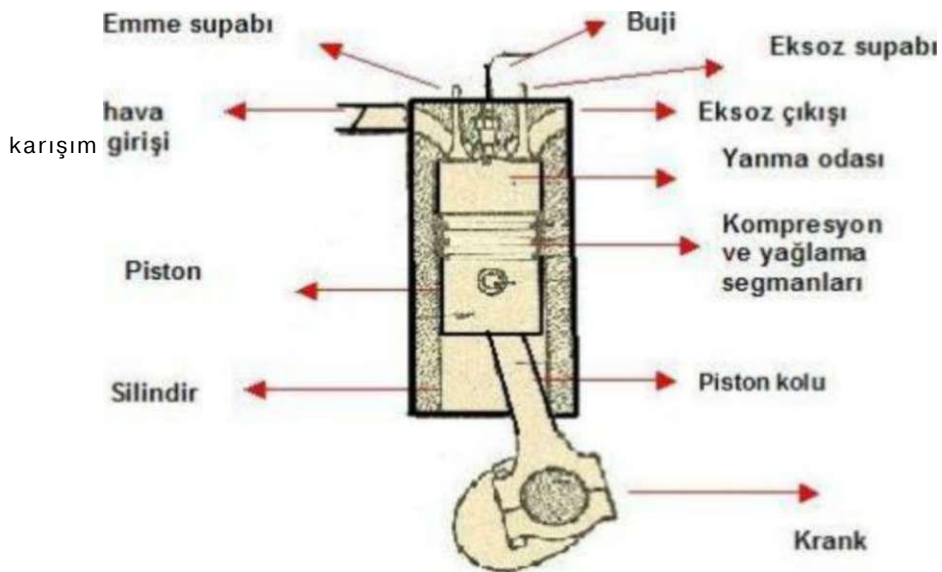
## 2.3. Uçaklarda Kullanılan Motor Çeşitleri

Uçaklarda Kullanılmakta olan motor çeşitlerini genel olarak şu şekilde sıralayabilir.

- Pistonlu Motorlar
- Turboprop Motorlar
- Turbojet Motorlar
- Turbofan Motorlar
- Ramjet ve Pulsejet Motorlar
- Roket Motorları

### 2.3.1. Pistonlu motorlar

Uçakçılığın gelişmeye başladığı yirminci yüzyılın başlarından beri uygulanmakta olan güç gruplarından pistonlu motor ve pervane bileşimi günümüzde de hızı 500 km/saat den az olan birçok uçak tipi için seçilmektedir. Uçak güç sistemleri için geliştirilen motor tipleri sıvı soğutmalı ve hava soğutmalı olarak sınıflandırılabilirse de, günümüzde yalnız hava soğutmalı motorlar kullanılmaktadır. Pistonlu motorların beygir gücünü belirleyen faktörler, ortalama efektif basınç, devir adedi ve piston hacmi (strok x alan x piston adedi) olarak sınıflanabilir.



Şekil 2.2. Pistonlu motor çalışma sistemi



Ortalama efektif basınç ve devir adedi (dönme hızı) gerek yanma verimi gerekse malzeme mukavemeti sebebi ile limitine ulaşıncaya yapımıcılar motor gücünü arttırmanın çaresini silindir adedini arttırmada görmüşler. Bu nedenle; sıra ve karşılıklı silindirli motorlar: 2, 4, 6 yıldız motorlar: 3, 5, 7, 9 silindirli olabilmektedir. Yıldız motorların güçlerini daha da arttırmak amacıyla 7 ve 9 silindirli yapılar, iki veya dört sıra şeklinde arka arkaya yerleştirilerek 14, 18, 28 ve 36 silindir şeklinde yıldız-sıra motorlar da geliştirilmiştir.

Pistonlu motorların verimi hava yoğunluğu ile azaldığından, yükseklere çıkıldıkça güç azalacaktır. Ayrıca pervanenin verimi de hava yoğunluğu ile düşecektir. Uçuş hızı arttıkça, pervanenin çekme kuvvetini oluşturan hava akımının hızı da artacaktır. Bu bileşke hız, pervanenin açılma hızının teğetsel bileşeni ile uçak ileri hızının bileşeninden oluştuğu için, uçak 0,6 Mach' a yaklaştığında pervanenin uç kesiti de ses hızına ulaşacak, bu nedenle verimi azalmaya başlayacaktır.

Pervanenin teğetsel hızını (devir adedini) azaltmak, aynı zamanda motorun devir sayısını gerekli değerler de tutmak için, pistonlu uçak motorlarına 300 hp.' nin üzerindeki güçler için sisteme bir redüktör ilave edilir. Bu redüktör genelde planet dişli şeklinde yapılır. Pistonlu motorların yükseklikle verimlerinin azalmasını önlemek için aşırı besleme (süperşarj) ile emme basıncını arttırmak kabildir ve uçak motorlarında uygulanmaktadır. Ayrıca, uçağın değişik hızlarında pervane verimini maksimum değerde tutabilmek için değişken hatveli (sabit hızlı) pervane sistemleri geliştirilmiştir. Bütün bu çabalara rağmen, pistonlu motor ve pervane ile donatılmış uçakların uçuş hızları, tırmanma hızları ve uçuş yükseklikleri sınırlı kalmıştır.

### **2.3.2. Turboprop motorlar**

1940 yıllarında, egzoz türbinli kompresörler ile de donatılan en gelişmiş pistonlu motorlar uçuş yüksekliğinin arttırılmasına ve dolayısı ile seyahat hızının ve uçuş ekonomisinin arttırılmasına, yeterli olamayınca; yükseklik ile verimi o kadar fazla etkilenmeyen gaz türbinlerinin pervane ile birlikte kullanılması yoluna gidilmiştir.

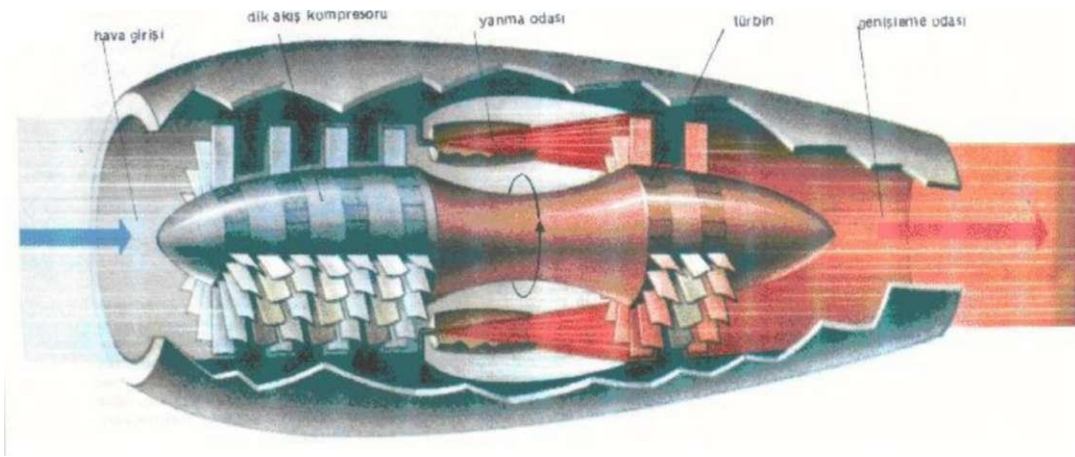
Bu tür güç sistemleri önceleri ikinci dünya savaşında kullanılan birkaç avcı uçağının uçuş yüksekliği ve hızını arttırmada uygulamıştır.

1950 yıllarında Rolls-Royce firmasının geliştirdiği dart tipi turboprop motorları Vickers fabrikalarının yaptığı Viscount ve Vanguard uçaklarında başarı ile kullanılmıştır. Sonraları, bu tip güç sistemleri birçok yolcu ve yük uçağı için uygulanmıştır. Bilindiğı gibi bu tür güç grupları helikopterlerde de uygulanmaktadır. Bu uygulamada motor pervane yerine helikopterin rotorunu çevirmektedir. Helikopterlerde kullanılan bu tür motorlara turboşaft motor ismi verilmektedir. Türbin motorunun pistonlu motora kıyasla daha güvenilir olması az titreşim yapması, aynı güç için daha küçük sürüklenme kuvvetine neden olması (daha küçük kesit alan) ve yakıtın daha ucuz elde edilmesi gibi üstünlükleri vardır. Ancak, günümüze kadar geliştirilen gaz türbinleri genellikle 400 şaft beygir gücünün üstündeki güçlerde yapıldığından hafif uçaklar çaresiz olarak pistonlu motorlarla donatılmaktadır.

Turboprop güç sistemlerinin de pervane verimi ile sınırlı olduklarını unutmamak gerekir. Uçuş hızı ve uçuş yüksekliğı ile pervane verimi azalmakta, bu nedenle uçuş ekonomisini artırılması ve daha hızlı ulaşım olanağı sınırlı olmaktadır. Gaz türbinlerinin her rejim için (yani tam devirle kalkışta, ekonomik seyahat gücü devrinde ve düşük devirlerde) belirli bir dönme hızı (d/dakika) olacağı için, pervanenin sabit hızlı yani değışken hatveli olması gerekir. Ayrıca, türbinlerin verimli olabilmeleri için gerekli dönme hızları (devir sayısı) yüksek olduğundan (10000-35000 d/dakika) motorun kompresör şaftı ile pervane şaftı arasına 1/8 ila 1/22 oranında planet dişli şeklinde redüktör yerleştirilir. Turboprop tip motorlar radyal veya aksenal tip kompresörlü yapılmakta ve güçleri de 450 ile 10000 şaft beygir gücü arasında değışmektedir. Pistonlu uçak motorları için gerekli olan yüksek oktanlı (100/130) özel benzin yerine, turboprop motorları için gazyağı özelliğinde olan ve alevlenme sıcaklığı benzinden daha yüksek olan emniyetli jet yakıtı (kerozen) kullanırlar.

### 2.3.3. Turbojet motorlar

Sivil ve askeri havacılığın amaçlarından biride uçuş hızını arttırmak ve bu artışı en düşük özgül yakıt sarfiyatı ile sağlamaktır. 1940 yıllarında ilk defa gaz türbinlerinin uçaklarda güç sistemi olarak kullanılmaları araştırma konusu olmuştur. Uçak hızlarının artırılması için gerekli olan iki ana şartı, yani uçuş yüksekliği ve uçuş hızı ile verimin azalmamasını, en iyi olarak yerine getiren bu güç grubu, çok kısa bir sürede ileri düzeyde geliştirilmiş ve 1950 yıllarından sonra orta ve uzun menzilli yolcu uçakları ile avcı ve bombardıman uçaklarına uygulanmaya başlamıştır.



Şekil 2.3. Turbojet motoru

Günümüzde, hafif uçaklarla özel amaçlı bazı uçakların dışında, tüm sivil ve askeri uçaklarda turbojet veya turbofan motorları kullanılmaktadır. Jet motoru giriş ağzından alınan havaya yakıtın karışıp yanmasıyla enerji kazandırarak, meydana gelen gaz karışımını geriye doğru hızlandırır. Bu hızlanma, diğer bir deyişle momentum değişimi bir kuvvet doğurur. Meydana gelen bu kuvvet kendisine eşit, fakat aksi yönlü bir tepki oluşturur.

### **2.3.4. Turbofan motorları**

Jet motorlarının geliştirilmesi sırasında, verimliliklerinin artırılması, özellikle deniz seviyesine yakın yüksekliklerde ve düşük hızlarda (örneğin kalkış ve tırmanış sırasında) tepki artırılırken yakıt sarfiyatının azaltılması için hava akımının artırılması yönüne gidilmiştir. Motorun içinden geçen hava kütlesini arttırmak için, kapalı bir çember içinde çalışan pervaneyi andıran ve fan denilen kısımlar jet motoruna eklenmiştir.

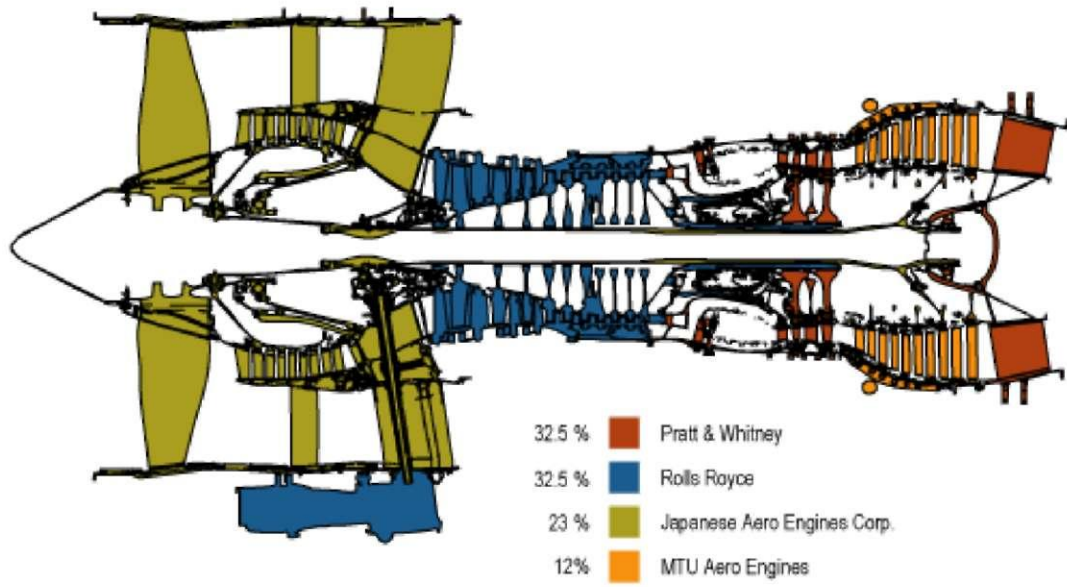
By-pass tipi jet motorlarında da, motorda yanma ve yanma odalarının soğutulması için kullanılan hava akımına ek olarak kompresörden alınan havanın bir kısmı motor dışındaki bir kılıftan geçirilerek egzozla karıştırılır.

### **2.3.5. Ramjet ve Pulsejet motorları**

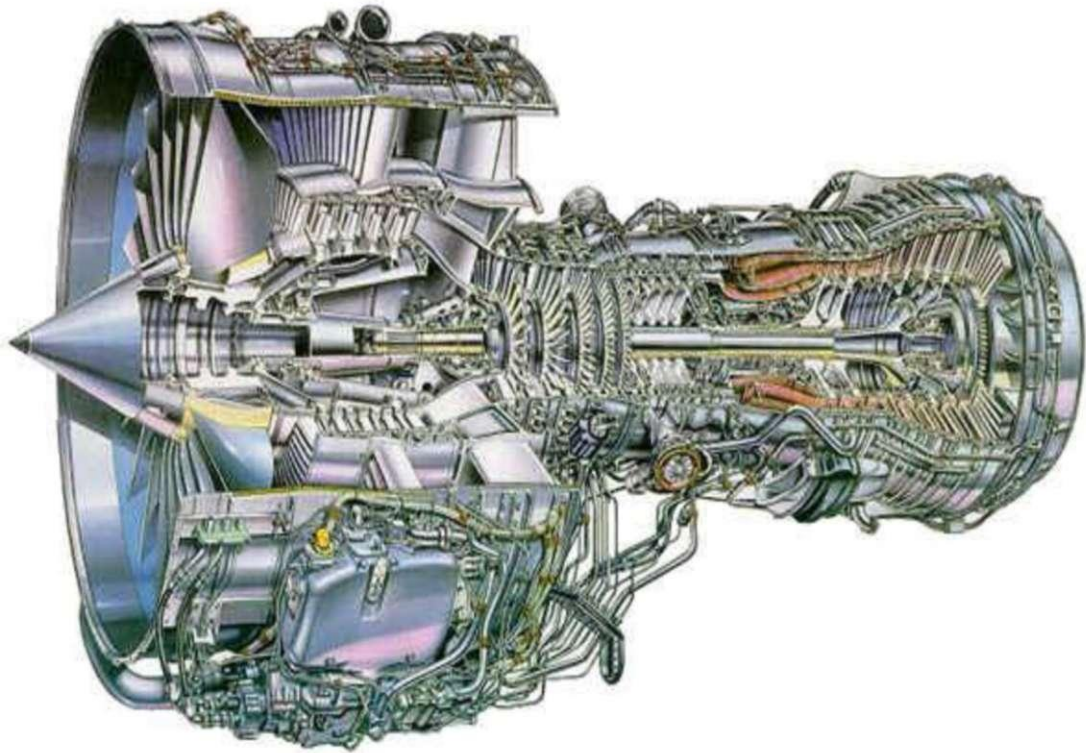
Uçaklarda çok az uygulanan, ancak pilotsuz uzaktan kumandalı uçaklar, uçan bombalar ile deneysel amaçlarla kullanılan bu tip motorların jet motorlarından farkı, dönen bir kompresör ve türbin kısmının bulunmayışıdır. Ramjet motorunda hava giriş kısmına çarpan havanın oluşturduğu basınç artışından yararlanır ve ısı enerjisi eklenerek, oluşan gazlar yüksek hızla, egzoz borusunda atılarak tepki sağlanır. Pulsejet motorunda da yanma odasındaki basınç, geçici olarak egzoztan çıkan havanın emmesi ile düşürülerek önden yeniden hava girişi sağlanır. Ramjet motorları uçak hızı artıkça daha verimli olmaktadır.

## **2.4. V2500 Turbofan Motorları**

V2500 Turbofan motorları ilk olarak 1982 yılında 5 ortak tarafından yapılmaya başlanmıştır. (Pratt & Whitney-Roll Royce-Japanese Aero Engines Corp.-MTU Aero Engines ve Ford Corp.) Bu 5 şirketin kurmuş olduğu ortaklığa IAE (international Aero Engines) adı verilmiştir. 1989 yılında tamamlanan V2500 motorları günümüzde halen kullanılmakta olan motorlardandır. [1]



Şekil 2.4. V2500 Parçalarını üreten firmaların motor üzerindeki parçaları



Şekil 2.5 V2500 Motoru Kesit Görünüşü

### 2.4.1 V2500 Motorlarının kullanıldığı uçaklar ve özellikleri



Şekil 2.6. Airbus A319 uçağı

V2522-A5 / V2524-A5 [1]

Kullanıma girdiği tarih	:Haziran 1997-Ekim 1998
Kalkış esnasındaki itme (lb)	:22 000 / 24 000
Sabit Sıcaklığı (C)	: 55
Fan Çapı (inch)	: 63.5
Hava Akışı (lb/s)	: 770 / 781
Tahliye oranı	: 4.9
Tırmanma basınç oranı	: 32.8
Yakıt tüketimi oranı(lbf/lb/hr)	:0.543 / 0.538
Güç tüketimi (lb)	: 7500



Şekil 2.7. Airbus A320 uçağı

V2500-A1 / V2527-A5 / V2527E-A5 [1]

Kullanıma girdiği tarih	:Mayıs 1989-Kasım 1993
Kalkış esnasındaki itme (lb)	:25 000 / 27 000
Sabit Sıcaklığı (C)	: 30/46
Fan Çapı (inch)	: 63.5
Hava Akışı (lb/s)	: 792 / 811
Tahliye oranı	: 5.4 / 4.8
Tırmanma basınç oranı	: 35.8 / 32.8
Yakıt tüketimi oranı(lbf/lb/hr)	:0.543 / 0.538
Güç tüketimi (lb)	: 7400 / 7500



Şekil 2.8. Airbus A321 uçağı

V2530-A5 / V2533-A5 [1]

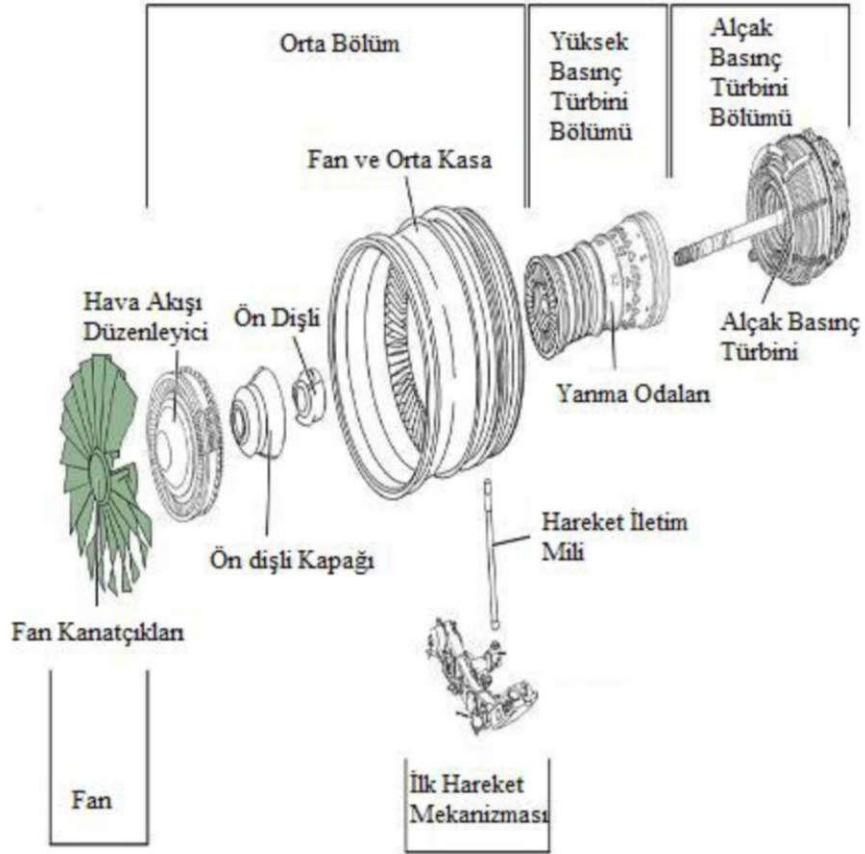
Kullanıma girdiğı tarih	:Mart 1993-Nisan 1997
Kalkış esnasındaki itme (lb)	:31 400 / 33 000
Sabit Sıcaklığı (C)	: 30
Fan Çapı (inch)	: 63.5
Hava Akışı (lb/s)	: 858 / 872
Tahliye oranı	: 4.6/ 4.5
Tırmanma basınç oranı	: 35.2
Yakıt tüketimi oranı(lbf/lb/hr)	: 0.538
Güç tüketimi (lb)	: 7500



Şekil 2.9. Boeing MD-90 uçağı

V2525-D5 / V2528-A5 [1]

Kullanıma girdiğı tarih	:Nisan 1995
Kalkış esnasındaki itme (lb)	:25 000 / 28 000
Sabit Sıcaklığı (C)	: 30
Fan Çapı (inch)	: 63.5
Hava Akışı (lb/s)	: 795 / 833
Tahliye oranı	: 4.8/ 4.7
Tırmanma basınç oranı	: 34.5 / 35.2
Yakıt tüketimi oranı(lbf/lb/hr)	: 0.543
Güç tüketimi (lb)	: 7900



Şekil 2.10. V2500 Motoru genel bölümleri [2]



### **BOLUM 3. UÇAK BAKIM TEKNOLOJİLERİ**

Havacılık, tüm dünyada sürekli gelişim halinde olan sektörlerden biridir Sivil ve askeri havacılık faaliyetleri ülkeler açısından stratejik öneme sahiptir. Günümüzde bu alanda ulusal ve uluslararası anlamda yoğun bir rekabet vardır. Sanayileşmiş ülkeler havacılık sektörüne ilişkin özel politikalar uygulamaktadır. Bu ülkelerde hava ulaşım hizmetlerinin yanı sıra uçak bakım teknolojisine de önem verilir. Bu koşullarda bir ülkede havacılık sektörünün gelişmesi için alana yatırım yapılması ve nitelikli iş gücünün istihdam edilmesi gerekir.

Ülkemizde ise hava taşımacılığı uzunca bir süre kamu kurumu olan Türk Hava Yolları tarafından yapılmıştır. 72 yıllık geçmişi olan Türk Hava Yolları, bu alanda hizmet veren köklü bir kurumdur. Özel hava yolu şirketleri ise 1990'lı yıllardan sonra kurulmuştur. Yurt içi ve yurt dışında hava taşımacılığı hizmeti veren işletmelerin çoğalmasıyla birlikte uçak sayıları artmıştır. Dolayısıyla bu uçakların bakım onarım işlemleriyle ilgili iş alanları da genişlemiştir. [3]

Hava trafiği, taşıma hizmetleri ve teknik alt yapı gibi unsurları içeren sivil havacılık faaliyetleri belli kurallar çerçevesinde yapılır. Uluslararası uçuşlar ülkelerin hava sahalarının güvenliğini yakından ilgilendirir. Bunun yanı sıra hava taşımacılığında can ve mal güvenliğinin sağlanması da önemlidir. Uçakların bakım-onarım işlemleri ve bu işlemlerin yapıldığı ortamlardaki çalışma koşulları da güvenliğin bir başka boyutunu oluşturur. Dünyada havacılık sektörünün kurallarını belirleyen iki otorite;

ABD'de, Federal Aviation Authorities (FAA), Avrupa'da, Joint Aviation Authorities'dir. (JAA) Ülkemiz 4 Nisan 2001 tarihinde Türkçe karşılığı Avrupa Sivil Havacılık Otoritesi olan Joint Aviation Authorities'e tam üye olmuştur. Bu tam üyelikle birlikte;

- Havacılık ile ilgili kuralların ve prosedürlerin standart duruma getirilmesi,
- Üye ülkeler arasına uçak, uçak parçası ve bakım personeli alışverişinin kolaylaştırılması,
- Sivil havacılık faaliyetlerinde en yüksek emniyet standartlarının geliştirilmesi sağlanmıştır.

Uçuş ekipleri ve teknik personel de uluslararası havacılık otoritelerinin belirlediği kriterlere göre eğitilir. Uçak bakım atölyelerinde çalışan bu elemanların görevleri "uçuş emniyeti" açısından büyük önem taşır. Uçak motorunun üzerinde unutulmuş küçük bir civata, yüzlerce insanın hayatını kaybetmesine ve milyonlarca dolarlık uçağın düşmesine neden olabilir. Bu nedenle uçak bakım onarım alanında görev yapan kişilerin titiz ve dikkatli olması, disiplinli çalışması gerekir.

### **3.1.Uçakla İlgili Bakımlar**

Uçak bakımları, kontrol, tamir, planlı bakımlar, koruma ve parça değişim işlemlerini kapsar. Uçak bakım personeli, uçağın servise verilebileceğini belirten, tanımlanmış standartlara uygun kayıtları tutmak zorundadır. Aynı şekilde sökülen cihaz, malzeme veya komponentlerin de kayıtları tutulmalı faal ya da gayri faal oldukları plakartlarla işaretlenerek ayrı mahallerde depolanmalı, bekletilmelidir. Bir başka deyişle "uçaklar ağırlıkları kadar kâğıtla uçmaktadırlar".

Öte yandan, bakım veya koruyucu bakımdan sorumlu, onaylayıcı teknisyenlerin, işi yapma konusunda yeterli olduklarını sağlamak üzere onaylı bir eğitim sürecinden geçmiş ve yeterli derecede İngilizce bilgisine sahip olmaları gerekir. Ayrıca onaylayıcı personelin FAA kuralları ve AD'ler konularında tazeleme eğitimleri görmeleri de gerekmektedir.

Tüm bakımlar, bakım organizasyonu el kitabı "maintenance organisation exposition (MOE) de, bakımla ilgili genel prensipler teknik prosedürler (TPM) el kitabında, teknik işlemlerin nasıl yapılacağı teknik el kitabında (TEK) yer almaktadır.

### **3.2.Havacılık Kuralları**

Uluslararası Yasalar (International Laws) , Ulusal Yasalar (National Laws) Ulusal Havacılık Kuralları (National Aviation Requirements) , Şirket Politikaları ve Prosedürleri (yönetmelikler, MOE,TPM,KEK,MME, v.b) , ICAO (UN) Annex'ler, JAR (JAR-OPS ,JAR-145, JAR-147), FAR'lar uyulması gereken kurallardır. Ancak tüm alanlarda olduğu gibi havacılıkta da uyulması gereken temel kural "etik" "ahlaki" kurallardır. (Law of Ethics) öte yandan FAR'larla JAR'ların uyum çalışmaları da devam etmektedir. [3]

Uçak bakım teknisyenlerinin eğitim süreci ve sürecin adımları , bakım , imalat ve eğitim yapan tüm kurumların ortak sorunu niteliğini taşımaktadır. Sektör, yeniliklerin en iyi şekilde yansımaları , eğitimin en yenilikçi metotlarla sürdürülebilmesi, havacılığın mali sıkıntılar yaşadığı günümüzde maliyet boyutu ile de gündemdedir. İyi eğitilmiş bir uçak teknisyeninin, ticari filo için önemi açık ve nettir. Ancak havacılıktaki maliyet faktörlerinin . Kısıtlı kaynakların dağılımının her alana yayılmakta olduğu da kaçınılmaz bir gerçektir.

### **3.3. Far'lar ve Jar'lar**

Amerikan / Avrupa tescilli uçakların motor, assembly, komponent, parça bakımlarını yaparak, servis onayını verecek personel için zorunlu kurallar; ICAO, "FAR" ve daha sonra "JAR" kapsamında yer almaktadır. Söz konusu kuralların gereği; bakım hizmetinin kalitesini yükseltmek, uçuş emniyetini en üst düzeye yükseltmek, teknik nedenli gecikmeleri ortadan kaldırmak ve aksaklıkları en aza indirmek ihtiyacından doğmuştur. JAR ve / veya FAR yasa değildir. Havacılıkta geçmişe dayanan deneyimlerden, yaşanan kazalardan ders alınarak, tekrarını önlemeye yönelik tedbirleri ve standartları açıklayan sistemlerdir. [3]

### 3.4. Kuralların Tarihçesi

Genel olarak, havacılık kuralları, denizcilikteki kurallara benzetilerek başlatılmıştır. Havacılıkta kuralların konuşunun öncüsü ABD'dir. ABD'de ilk kural koyucu 1914'de Aircraft Production Board olup, uçak imalatı ile ilgili kuralları belirlemiştir. 1915'de ABD Başkanının talimatı ile NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) kurulmuştur. Uzay çalışmaları ile NASA'ya dönüşmüştür. (National Aeronautics and Space Administration) Birinci Dünya Savaşı, gelişmeleri hızlandırmış, sektörde çalışanların sayısı, İkinci Dünya Savaşı'na gelinirken 5000'den 175.000'e çıkmıştır. [3]

1938'de ABD Sivil Havacılık Yasası yürürlüğe girmiştir. Sivil Havacılık Otoritesi Civil Aeronautics Authority teşkilatı kurulmuştur. 01.09.1939'da Alman panzerlerinin Polonya'ya girişiyle İkinci Dünya Savaşı başlayınca, Başkan Roosevelt 50.000 uçak yapılması talimatını vermiştir. Bu talimat büyük bir seri üretimi gerektirdiğinden "montaj hattı" (assembly line) yöntemi üretim modeli haline gelmiştir. Montaj hattı modeli, birçok imalatın diğer kuruluşlara (subcontractor) yaptırılmasını gerekmiştir. Bu gereksinim ise diğer kuruluşlardan alınan mal ve hizmetlerin çok iyi kontrol edilme zorunluluğunu doğurmuştur. Kısaca, 1940'lı yıllarda kurallar, İkinci Dünya Savaşındaki yoğun üretim ve kalitenin kontrol edilmesi ihtiyacından kaynaklanmıştır. Aynı zamanda askeri standartların geliştirilmesi de bu yıllara rastlar. (MIL-Q-9858A sayılı Kalite Sistem Standardı) öte yandan, 1947'de Birleşmiş Milletlerin bünyesinde Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (International Standardisation Organisation = ISO) kurulmuştur. 1958'de FAA Federal Aviation Act (agency) FAA yasası, 1966'da kurulan Department of Transportation (DOT) Ulaştırma Bakanlığı'na bağlanmıştır.

FAA Federal Aviation Administration'a dönüşmüştür. 1970'de ABD'de "ürün sorumluluk yasası" ile "kalite yönetimi" çalışmaları hızlanmıştır. 1990'larda Avrupa'da ISO 9000 standartları ve FAR'lardan esinlenerek Avrupa Sivil Havacılık "JAR " "Joint Aviation Regulations" oluşturulmaya başlanmıştır.

FAA kuralları "Federal Aviation Regulations" (FAR'lar), ABD sivil havacılık otoritesi FAA tarafından belirlenen kurallar olup, ABD için, uyulması zorunludur[3].

ISO 9000'ler ise kalite güvence standartlarıdır. Uyulması zorunlu değildir. Ancak İSO'lar, kaliteli hizmet üretmeyi ve FAR ya da JAR kurallarına uyumu kolaylaştırır. FAA, ABD sivil havacılık otoritesidir. Türkiye Cumhuriyetinin sivil havacılık otoritesi ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğüdür. (SHGM) kuralları tanımlar ve kontrol eder. Kuralların ana kaynağı ICAO kurallarıdır. SHGM de Türkiye Cumhuriyeti adına ICAO'nun üyesidir. 1944 yılında 52 üyenin katılımıyla kurulan ICAO'nun bugün 185 üyesi bulunmaktadır. JAA ise Avrupalı ülkelerin sivil havacılık otoritelerinin oluşturduğu, gönüllülük esasına dayanan, 27 üyeli bir kuruluştur. JAA üyesi ülkelerin üyeleri, yabancı tescilli uçakların, Avrupa meydanlarındaki transit konaklamalarında, uçuşa elverişliliklerini habersiz denetleme uygulamasını başlatmışlardır. Uygulama "SAFA" Safety Assesments of Foreign Aircraft olarak tanımlanmıştır. Denetlemeler, ICAO ve JAR kuralları çerçevesinde yapılmaktadır. Bu denetlemeler kapsamında uçağın sertifikaları, pilotların sertifikaları, sağlık kontrolleri, uçaktaki acil durum teçhizatları, tehlikeli madde taşıma gibi konular bulunmaktadır. Amaç, hava sahaları ve hava limanlarındaki riskleri en aza indirmek ve uçuş güvenliğini sağlamaktır. Uçuşa elverişlilik (AD) Yayınları Uçak işleticilerine, operatörlere potansiyel bir emniyetsiz durumu bildirmektedir. Söz konusu yayınlara belirtilen süre içinde uyulması zorunludur. Uçağın uçuşa elverişliliğinden uçağı işleten operatör / havayolu birinci derecede sorumludur. AD'ler FAA tarafından yayınlanır ve ülkenin sivil havacılık otoritesi tarafından onaylanarak uygulaması izlenir. Her türlü erteleme yine otoritenin onayına bağlıdır. [3]

### **3.5. Uçak Kazaları Nedenleri ve Onleme Yöntemleri**

Uçak kazalarının temelinde uçuş kabini hataları, olumsuz hava koşulları ve teknik sebepler yatmaktadır. Kazaya maruz kalan uçaklar genelde havalimanına yakın noktalara çarpmaktadırlar. Kazalar, can kaybının yanı sıra, büyük oranda maddi hasara yol açmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de meydana gelen uçak kazaları da coğrafi şartlar yâda teknik hatalardan kaynaklanmaktadır.

Uçak üreticisi Boeing firması 1959 ve 2001 yılları arasında meydana gelen jet motorlu ticari uçak kazalarını inceleyen bir raporu 2002 yılında yayınlamıştır.

Bu rapora göre belirtilen dönemde toplam 1307 kaza olmuş ve bu kazalarda 24.700 kişi hayatını kaybetmiştir. [2] Bu kazaların toplam 681 tanesinde uçaklar tamamen hasar almıştır. Ölümlü kaza sayısı ise 498'dir . Boeing'in bu Raporunda uçak kazalarının ana nedenleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- 1- Uçuş ekibi,
- 2- Uçağın kendisi,
- 3- Elverişsiz Hava koşulları,
- 4- Bakım,
- 5- Havaalanı / Hava trafik kontrol(ATC)
- 6-Çeşitli / diğer faktörler. [3]

Kazaların oluş nedenlerinde "insan faktörünün" yol açtığı kazaların oranı şaşırtıcıdır. Uçuş ekibi, uçak, bakım, hava koşulları, hava limanı ve trafik kontrol gibi ana başlıklar altında incelenmekte olan kaza nedenlerinin ortadan kaldırılması havacılıkla uğraşan tüm sektörlerin amacıdır. Bakımdan kaynaklanan kazaların ana nedenlerinden biri insan faktörüdür.

Havacılık sektöründe yukarıda da saydığımız ana nedenlere azami dikkat gösterilmesini gerektiren hassa bir sektördür. Uçuş öncesi, uçuş esnasında ve uçuştan sonra gerekli talimatlara uyulması ve maksimum dikkat içerisinde gerekli işlemlerin yapılması gerekmektedir. Yapılması unutulmuş bir işlem veyahut motorda unutulmuş bir cıvata korkunç felaketlere yol açabilir.

Bu kazaları önleme yöntemleri olara Far'lar ve Jar'ları gösterebilir. Bu kurallar dışında yapılan her bakımın, uçak üzerinde yapılan her işlemi kaydı tutulmakta ve gerekli durumlarda kullanılmaktadır. Daha önce bahsettiğim üzere "Uçak ağırlığınca kâğıtla uçar" deyimi vuku bulmaktadır.

Genel olarak bakıldığında; kaza nedenlerinde insan faktörü öne çıkmaktadır. İlk uçuşun gerçekleştiği 1903' ten bu yana uçak kazalarının nedenlerine bakıldığında; "makine" den kaynaklanan kazaların azaldığı, buna karşılık insandan kaynaklanan kazalarda artış olduğu gözlenmektedir.

1959-1986 yıllarında yapılan araştırmalara göre, 476 uçak kazasında bakımdan kaynaklanan nedenlerin payı % 3 oranında iken, 1987-1996 yılları arasındaki toplam 145 kazada % 6 olarak verilmektedir. (National Academy Press ABD) İnsan hataları pasif, aktif ve deneyimden kaynaklanan hatalar olmak üzere 3 bölümde ele alınmaktadır. Pasif hatalar, yanlış anlamak, unutmak, aşırı iş yükü altında çalışmak, aktif hatalar, prosedürlere uymamak olarak ele alınmakta, eğitim ve deneyim eksikliğinden ötürü yanlış karar verme konularına ise ayrıca dikkat çekilmektedir.

İnsan Faktörleri ile ilgili eğitim ICAO tarafından ve JAR kapsamında zorunlu eğitim olarak öngörülmüştür. Bu konu uçakların tasarımından imalat aşamasına ve sertifikasyona kadar olan tüm süreçlerde özenle ve önemle dikkate alınmaktadır. Uçak , "insan" fonksiyonlarına göre dizayn edilmektedir. Uçağı uçuran kokpit ve kabin ekibinin, uçağın bakımını yapan teknik ekiplerin de tüm faaliyetlerini "insan faktörleri" zerine temellendirilerek kazaların insandan kaynaklanan hataların önlenmesi hedeflenmektedir.

### **3.6. Uçak Bakımı**

Uçak bakımı havacılık endüstrisinin en temel bileşenidir. Hava trafiğindeki artış ve uçuş kalitesinin yükseltilmesi için gösterilen çabalar, uçak bakımına ayrılan süreleri ciddi biçimde etkilemektedir. Günümüzde havayollarına verilen oldukça artmış gerek yolcu gerek yük taşımacılığında en güvenli yol olmuştur. Bu güvenin sürekliliğinin sağlanması uçak bakımının belirlenen süre içinde doğru ve kaliteli olarak yapılmasından geçer. Bu aşamada gerek ülkemizde gerekse dünya çapında milyon dolarlık yatırımlarla bakım üsleri kurulmuştur ve kurulmaya devam etmektedir.

### 3.6.1. Türkiye'de Uçak Bakım ve Onarımı

1912 yılında Mahmut Şevket Paşa tarafından Yeşilköy ile Sefaköy arasındaki bölgeye yaptırılan ilk havaalanında 2 tane de uçak bakım hangarı bulunuyordu. 1935 yılında Ankara Güvercinlik havaalanında kurulan Türkkuşu'na ait bakım hangarlarında, Devlet Hava Yolları İdaresine, uçak revizyonu hizmeti veriliyordu.



Şekil 3.1. Türkiye'deki ilk uçak bakım hangarından resimler[4]

1945 yılındaki DC-3 uçaklarının bakımları Ankara Etimesgut'taki Türk Hava Kuvvetleri'nin uçak ve motor fabrikalarında yapılıyordu. 1940 yılından beri değişik uçak tiplerine ait motorların bakım onarımının yapıldığı Tayyare Fabrikası, 1950 de Kayseri Hava İkmal Bakım Merkezi'ne dönüşüyordu.

1953 yılında tamamlanan Yeşilköy Uluslararası Havalimanı, bakım hangarlarına da sahip bulunuyordu. [4]



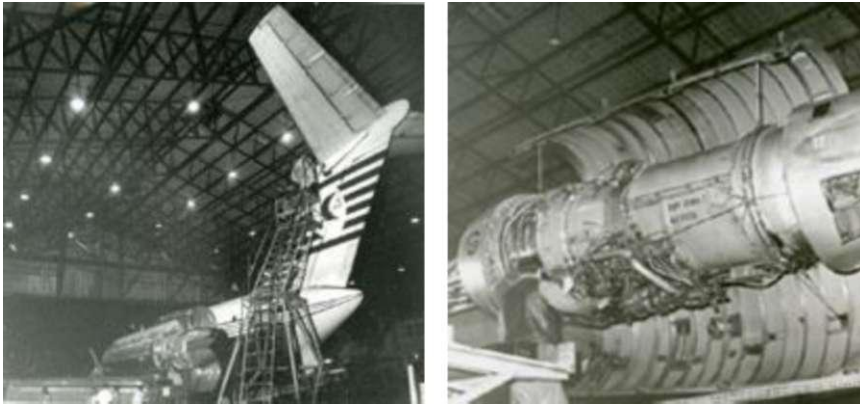
### 3.6.1.1. Türk hava yolları'nda uçak bakım ve onarımı

1933 yılında Devlet Hava Yolları adıyla kurulan ülkenin ilk sivil havacılık kuruluşu, 21 Mayıs 1955 tarihinde her nevi hava nakliyatı ve buna benzer işleri yapmak üzere Türk Havayolları A.O. adını alarak yeniden yapılandırıldı.

1957 yılında 28 uçaklık filodaki 3 adet DC-3 uçağının bakım ve revizyonları Yeşilköy atölyelerinde gerçekleştirilmiş, motor revizyonu da yapılan tesisler kısa zamanda modern bakım tekniklerine ulaşmış ve yabancı havayollarından da sipariş almaya başlamıştır.

1959 yılında, bakım atölyelerinin teknik bakım üssü haline gelmesi ile THY, Hava Kuvvetleri ve yabancı şirketlerin uçaklarının bakımlarının yapılabilmesi için Lockheed Int. ile anlaşma yapılmıştır. Yeşilköy'de projesine başlanan uçak bakım ve revizyon üssünün verimli çalıştırılabilmesi için personel eğitimlerine başlanmış, 28 pilot, 9 mühendis ve 57 teknisyen Amerika'da, 62 teknisyen de kendi eğitim kurumlarımızda eğitime tabi tutulmuştur.

1960 yılının ikinci yarısında, teknik bakım atölyeleri, pistonlu ve turboprop uçakların bakım onarım ve revizyonlarını yapacak kapasiteye ulaşmış, Viscount, P-27 ve DC-3 uçaklarının her türlü bakımları ile komponentlerinin %50'den fazla kısmının revizyonları yapılmıştır. [4]



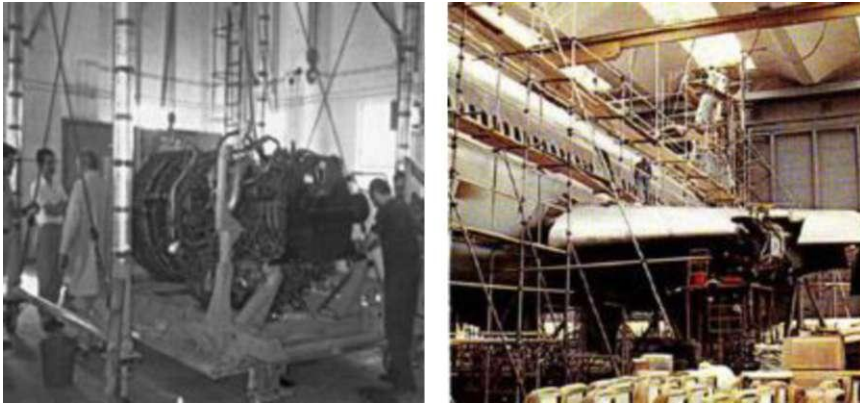
Şekil 3.2. İlk hangar içinden motor ve gövde bakımı resimleri[4]

1963 yılı sonu itibariyle atölyelerimiz teçhizat ve teknik yönden uluslararası sivil havacılık düzenlemelerine uygun olarak, gövde, motor ve aksesuarlarının her türlü bakım, tamir, tadilat ve revizyonlarını yapacak kapasiteye ulaşmıştır. [4]

1968 yılında Teknik Müdürlük çalışmaları azami seviyeye ulaşmış, uçak bakım ve revizyon atölyelerinde bakımları yapılan uçak sayısı 15 adedi bulmuş, DC-9 Uçaklarına ait 70' e yakın komponentin tamir ve revizyonları da yapılmıştır.

Yeni yatırımlarla, özel takım ve avadanlıklarla teçhiz edilmiş atölyelerimiz ve sivil havacılık lisansına haiz tecrübeli personelimiz ile Türk sivil havacılığına büyük katkılarda bulunmak amacıyla, tesislerimizin uluslararası standartlarda olduğunu belirten 820-1F numaralı FAA Sertifikası 8 Mart 1973 tarihinde alınmıştır.

THY A.O.' nun yeni uçak bakım üssünü teşkil eden motor test binası, hangar, annex ve atölyeler, üs bakım atölyeleri ve enerji santrali binalarının kaba inşaatları 1975 yılı sonunda % 95 seviyesine getirilmiştir.



Şekil 3.3. Motorun kanattan sökülmesi ve motorun tamamen parçalarına ayrılması [4]

AB ülkeleri ortak havacılık otoritesi (JAA), THY'nin, Teknik bakım ve Uçuş İşletme yapılanmasını, kendi oluşturduğu kurallara uygun bularak, 1996 yılında Ortak Havacılık Kuralları (JAR) sertifikasını vermiş, böylece teknik bakım merkezimiz, FAA ve JAA tarafından uluslararası standartlara uygun bakım hizmeti vermeye yetkili kılınmıştır. 1999' un ilk ayında, filodaki tüm uçakların bakım ve onarım işlemlerinin uluslararası standartlarda yapılmasına imkân verecek ve modern

teknolojinin tüm gereklerine sahip 13.000 m2'lik kapalı alan ve 67.200 m2'lik ek bina bölümü olan 2. Bakım Üssü kullanıma açılmıştır. [4]

2. Bakım Üssü'nün devreye alınması ile birlikte, her geçen yıl büyüyen THY filosunun bakım-onarım gereksinimi karşılanırken, müşteri uçakları talepleri de eskiye oranla daha çok karşılanmaya başlanmış, artan yerli ve yabancı müşteri uçakları taleplerini karşılayabilmek, pazardan daha fazla pay alabilmek için Havacılık Bakım Onarım ve Modifikasyon (HABOM) projesi geliştirilmiştir. [1]

### **3.6.2. Uçak gövde motor bakımı**

Uçağın ve diğer hava araçlarının güç sistemlerini, mekanik ve elektrik sistemlerini, kapsayan hat bakım işlerinin yapılması ve bunun sonucunda "bakım çıkış sertifikasını" düzenlenerek, etkin olarak kontrolü basit testlerin yapılması, hat bakım işlemi esnasında değiştirilebilir aviyonik birimlerin sökülmesi ve yerine takılması sivil havacılık yöntemlerine uygun olarak yapılması uçak gövde ve motor bakımını kapsar.

Genel olarak uçak gövde motor teknisyeninin yapması gereken işlemler şunlardır:

- İş planı yapmak,
- Uçakların motor kısmını kontrol etmek,
- Uçakların gövde ve motorlarının bakım ve onarımını yapmak,
- Arızalı parçaların tekrar kullanıma sunmak,
- Arızalı parçaların servis dışı edilmesi işlemlerini yapmak,
- Hat bakımı esnasında basit testler gerektiren aviyonik birimleri sökmek ve takmak,
- Bakım çıkış sertifikasını düzenlemek,
- Bakım ve onarım kataloglarını okumak,
- Bakım onarım testlerini yapmak,
- Meslekî gelişime ilişkin etkinliklere katılmak.



Şekil 3.4. Motorun sökülmesi



Şekil 3.5. Uçak gövde bakımı

### 3.6.3. Uçak elektronik bakımı

Uçakların ve diğer hava araçlarının aviyonik ve elektronik sistemlerinin her türlü bakımının yapılması ve gerekli hat evraklarının düzenlenmesi, hat bakım sırasında elektronik sistemlerin sökülmesi ve yerine takılması işlemlerinin yapılması elektronik bakım olarak adlandırılır. Genel olarak uçak elektronik bakım teknisyeninin yapması gerekenler aşağıdadır.

- İş planı yapmak,
  - Uçakların aviyonik sistemlerini kontrol etmek,
  - Uçakların elektrik ve aviyonik sistemlerinin bakım ve onarımını yapmak,
  - Arızalı parçaların tekrar kullanıma sunmak,
  - Arızalı parçaların servis dışı edilmesi işlemlerini yapmak,
  - Hat bakımı esnasında basit işlem gerektiren gövde ve motor birimlerini sökmek ve takmak,
  - Bakım çıkış sertifikasını düzenlemek,
  - Bakım ve onarım kataloglarını okumak,
  - Bakım onarım testlerini yapmak,
- Meslekî gelişime ilişkin etkinliklere katılmak.

### **3.7. Uçak Bakımında Karşılaşılan Hatalar**

Uçak bakım hizmeti, doğrudan doğruya insana bağımlı bir hizmettir. Otomasyon, teknolojik olanaklar hatta ekonomik destek ne kadar ileri düzeyde olursa olsun, bakımı ve kontrolünü gerçekleştirecekler sistemin en değerli elemanlarıdır. Hataları önleyecekler, hata yapmayı engelleyecek sistemleri kuracak olanlar yine "onlar"dır. Bakımın amacı teknik tehir ve arızaları en düşük düzeyde tutarak, emniyetli bir uçuş sağlamaktır. Bakımdaki insan hatalarına da bu çerçeveden bakmakta yarar vardır. Hatalar, teknisyenin neden olduğu ve teknisyenin neden olmadığı arızalar modelinde 2 şekilde ortaya çıkmaktadır.

Bunlardan en önemlisi uçak bakıma girmeden önce "var olmayan" arızalardır. Bakım sırasında uygulanan her bakım işlemi istenmeyen ve beklenmeyen bir arızanın ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu arıza fark edilmeyebilir. Herhangi bir komponentin yanlış montajı, bir kablonun kopması, conta takılmaması gibi. İkinci tür arızalar ise bakıma giren uçakta var olanlardır. Bu tür arızalarda kritik olan konu; bakım kartında kontrolü gereken fakat kontroller sırasında belirlenemeyen arızalardır. Gözle kontrol gerektiren yapısal bir çatlığın veya korozyonun görülememesi, hatalı arıza arama sonucunda, arızalı bir komponent yerine başka bir komponentin değiştirilmesi gibi olaylarla karşılaşılabilir.

İngiliz Sivil Havacılık Kuruluşu-UK CAA, uçak bakımında karşılaşılan hataları aşağıdaki başlıklarda sınırlamıştır:

1. Komponentlerin hatalı montajı,
2. Yanlış parçaların takılması,
3. Elektrik kablolarında yapılan hatalar,
4. Uçakta takım vb malzemenin unutulması,
5. Yetersiz yağlama yapılması,
6. Kaportaların, Access panellerin, fairinglerin tespit edilmemesi,
7. İniş takımı Locke pinlerinin kalkıştan önce sökülmemiş olması,
8. Bağlama elemanlarının tam olarak takılmaması veya torklanmaması[5]

Tüm sistemlerin ve regülasyonların öngördüğü en önemli konu ; yapılan işlemlerin kayıtlarının, işlem yapıldıkça ve beklemeden tutulmasıdır. Yani basit bir anlatımla kuralımız: "yazılanı yap, yaptığını yaz" olarak özetlenebilir. Filoyu uçuşa elverişli durumda tutabilmek üzere, uçak üreticileri için, Boeing'in bir yılda yayınladığı dokümanların yüksekliğinin Everest tepesinden daha fazla olduğu belirtilmektedir. Bu noktada "uçak ağırlığınca kâğıtla uçar" deyimini bir defa daha tekrarlanmış olmaktadır. Ancak bakımda kullanılan tüm bu bilgilerin güncel ve kullanıcılar (mühendisler, onaylayıcı teknisyenler, bakım teknisyenleri, inspektörler) tarafından kolay anlaşılabilir nitelikte olması gerekmektedir. İngilizce dokümanların basitleştirilmiş İngilizce ile hazırlanması büyük önem taşır.

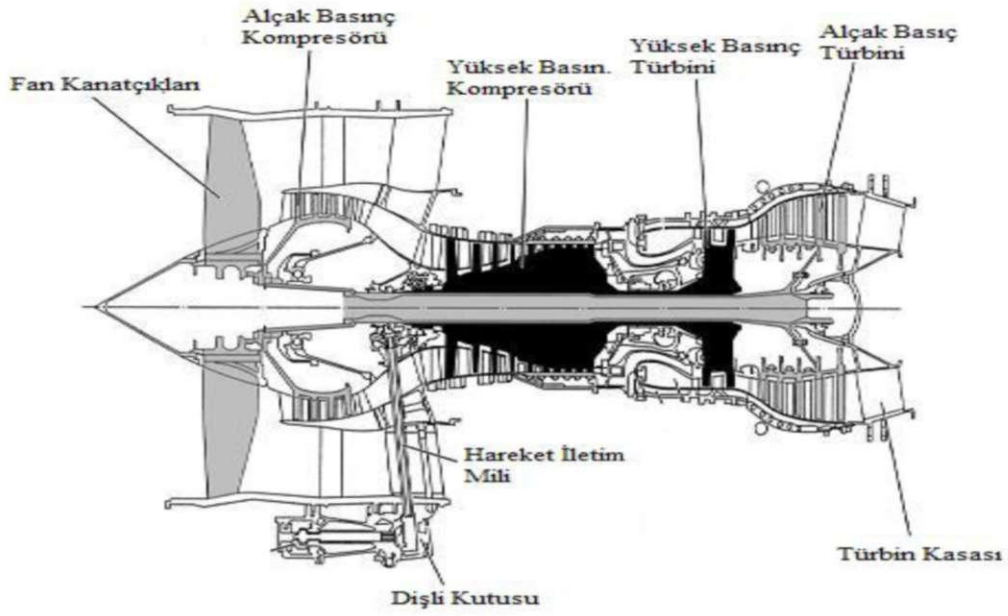
### **3.8. Uçak Bakımını Olumsuz Etkileyen Faktörler**

Gece vardiyasında çalışanların uykusuz kalması, olumsuz hava koşulları, zamanında yetiştirebilme baskısı, vardiya değişimlerinde eksik iletişim, çalışanları morallerinin bozuk olması, ailevi problemlerin performansı düşürmesi, insan gücü eksikliği, havaalanı emniyeti ile ilgili sorunların işe yansımaları (steril alana giriş / çıkış, apronda araç kullanma, vb.), iş yükü, bürokrasi / kırtasiye işlemleri nedeniyle zaman kaybı yâda bu işlemlerin bazılarının yerine getirilmemesi, iş birliği / ekip çalışması sırasında uyumsuzluk veya ekip üyeleri aralarında birbirine aşırı güven, yapılan

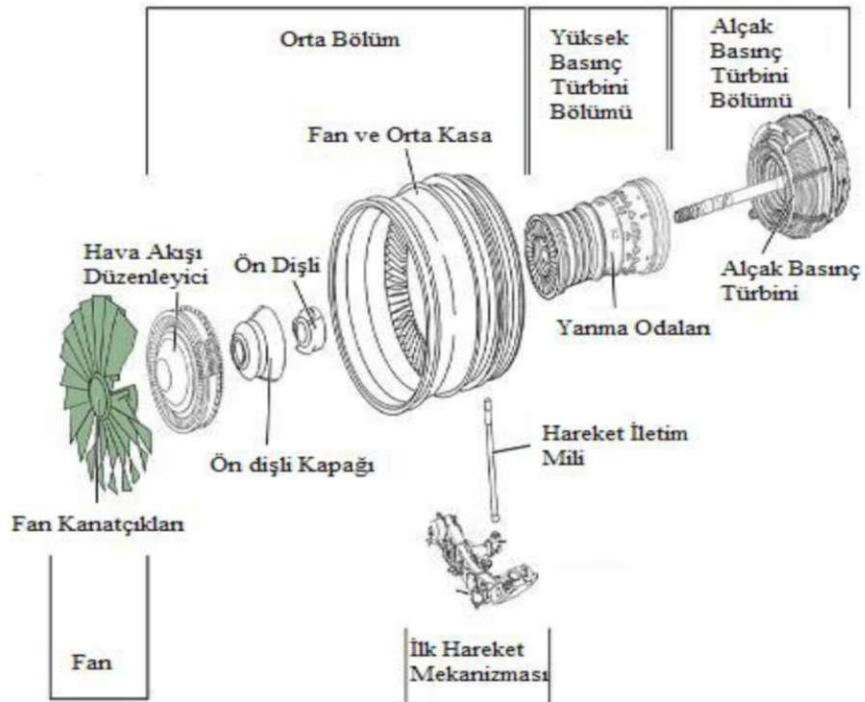
sözleşmelerin uzaması, maddelerinin uygulayıcılar tarafından bilinmemesi, ertelenmiş bakım işlerinin yoğunluğu, işin herhangi bir nedenle, yarıda kesilmesi / ara verilmesi, uygun eğitim eksikliği veya yetersizliği, zayıf iletişim, donanım eksikliği, prosedürlerin eksikliği / anlaşılabilirliği / erişilememesi, unutkanlık, dini faktörler, (ramazan, Cuma, bayramlar ), toplu sözleşme dönemleri, uzun tatiller, politik istikrarsızlıklar, gibi faktörler, uçak bakımlarını ve çalışanların performansını olumsuz anlamda etkiler.

### **3.9. Uçak Motoru Parçaları**

Turbofan uçak motorları temel olarak 3 Ana bölümden oluşurlar. Havanın içeri alındığı Alçak Basınç Türbini (LPT) Fan bölümü, Havanın sıkıştırıldığı Yüksek Basınç Kompresör Fan bölümü, Yanma (patlama) olayının gerçekleştiği Yüksek Basınç Yanma bölümü, Yanma olayı gerçekleştikten sonra basınçlı havanın çıktığı Yüksek Basınç Türbini bölümü, HP Core - HP Compressor ve HP Turbine HP Modülü veya HP sistemi olarak ta adlandırılır.



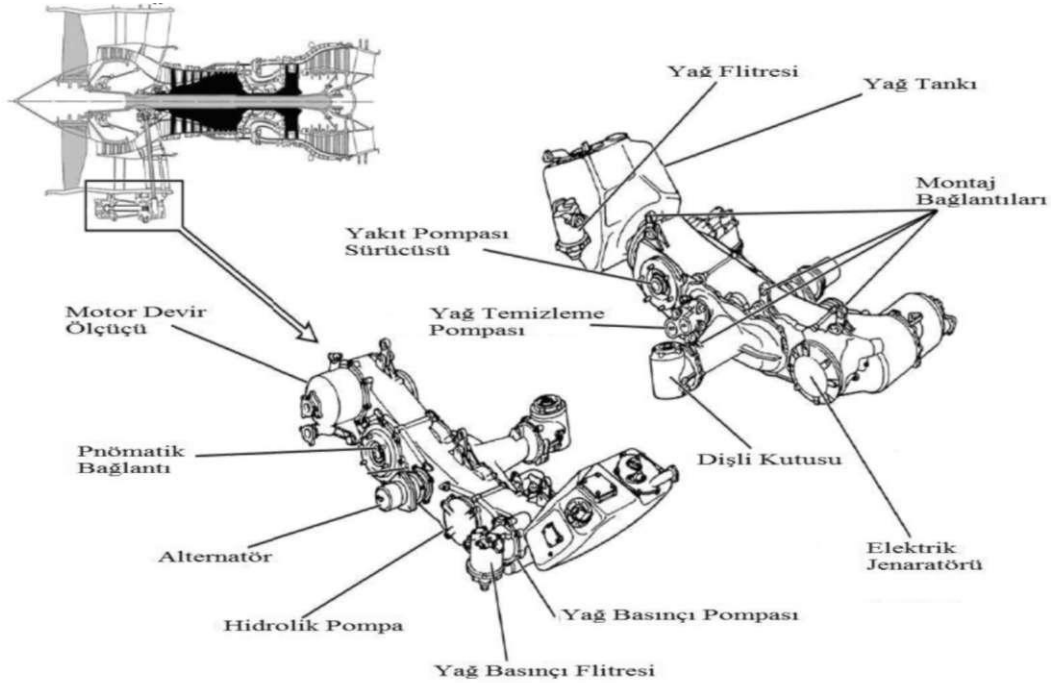
Şekil 3.6. Uçak Motoru Genel Bölümleri[2]



Şekil 3.7. Motor Genel Parçaları[2]

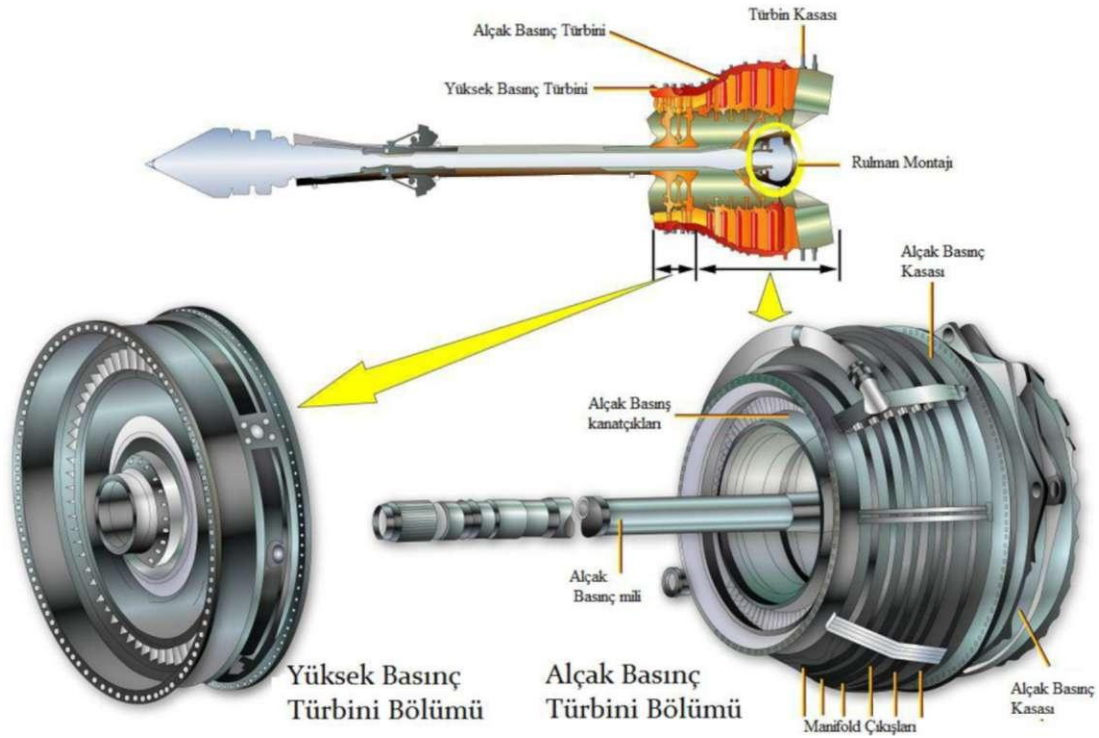


Bu saydığımız 3 genel bölüm dışında motorun çalışması ve sürekliliğini sağlaması için ilave bölümlerde mevcuttur. Bunlar Şekil 3.7. gösterilmiştir.



Şekil 3.8. İlk hareket mekanizması bölümleri ve motora bağlanması [2]

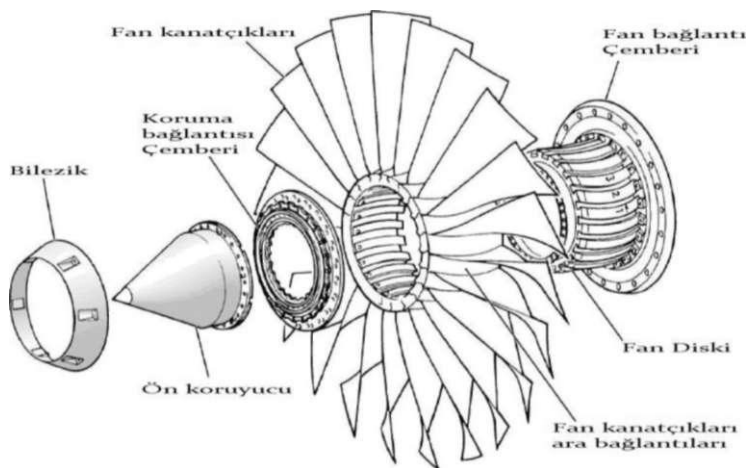
İlk hareket mekanizması (External Gearbox) bölümü motorun ilk çalışmasını sağlayan bölümdür. Otomobillerdeki marş motoru görevini görür. Fakat buradaki çalışma devri otomobillere göre çok fazladır. Motorun alt kısmına bağlanarak fanların hareket ettirmek için Power OffTake Shaft ile Fanların bulunduğu Case'e bağlıdır. Motorun ön kısmındaki Alçak basınç kompresör (LPC) fan bölümünün de içinde bulunduğu kısma genel olarak Intermediate denilir. Bu kısımda LPC fanları hareketli bağlantılar için özel rulmanlar ve External Gearbox'un bağlantısı olan İnternal Gearbox bulunmaktadır. Bunların dışında motora giren hava akışını düzenlemesi için kanatçıklardan oluşan Fan Rotor ve Booster denilen bölümlerde mevcuttur.



Şekil 3.9. Alçak basınç türbini - Yüksek basınç türbini - Alçak basınç kompresör[2]

### 3.9.1. Alçak basınç türbini fan bölümü

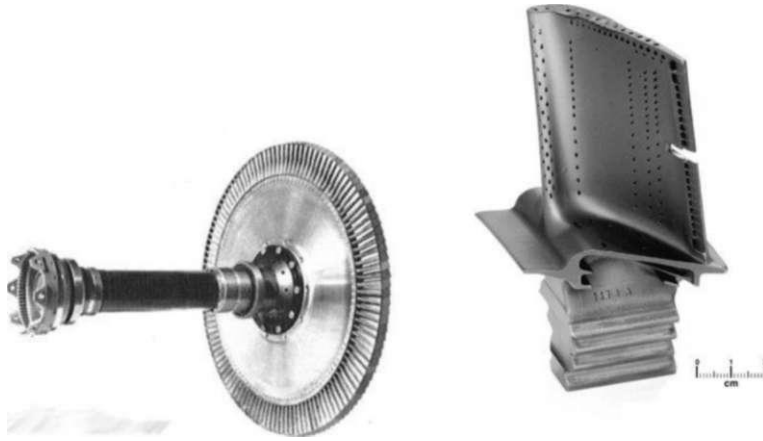
Genel olarak LPT bölümünden hareketini alarak motora daha fazla ve belli akış yönünde hava alınmasını sağlar.



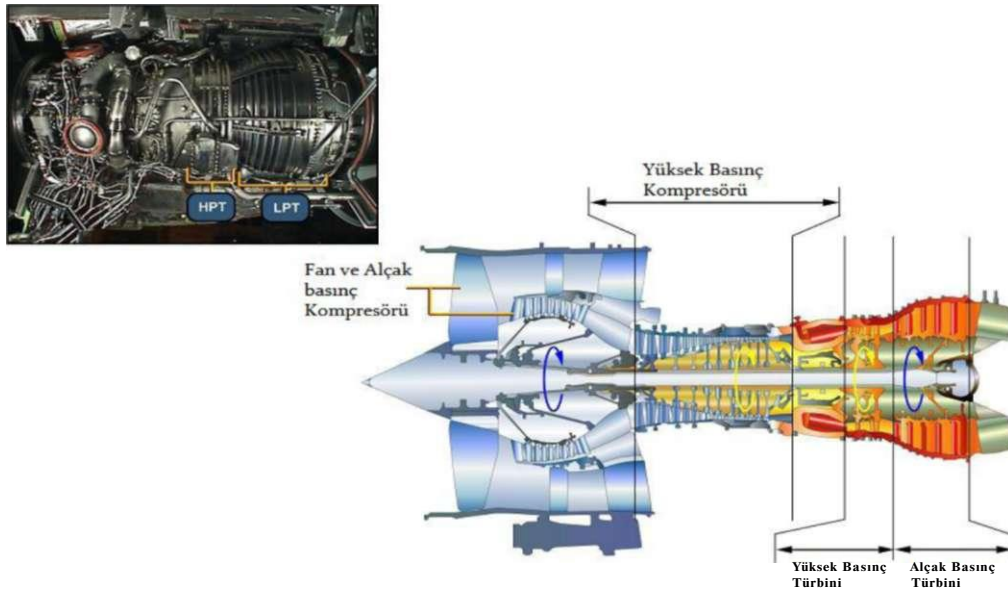
Şekil 3.10. Alçak basınç kompresör fanı parçaları [2]

### 3.9.2. Yüksek basınç türbin (HPT) bölümü

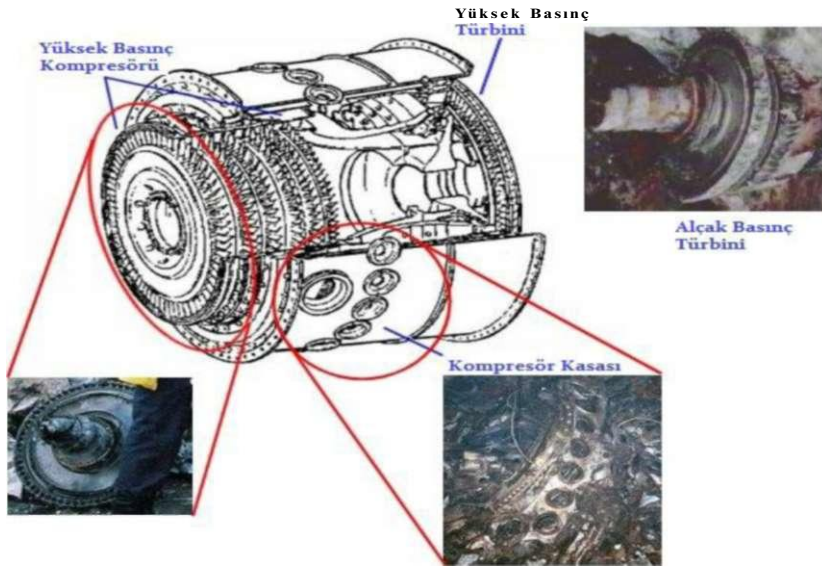
Motora giren havanın sıkıştırılması ve yanma ( patlama ) olayının gerçekleştiği bölümdür. Genel olarak HP türbine ve HP core bölümlerinden oluşur. Bu bölümdeki kanatların yapısı yanma olayını destekleyici ve çıkan sıcak gazlardan en az şekilde etkilenecek şekilde olmalıdır. Bu yüzden motor imalatında bu kanatların tasarımı ve imalatı büyük önem taşır.



Şekil 3.11. Yüksek basınç türbini kanatçık resimleri [2]



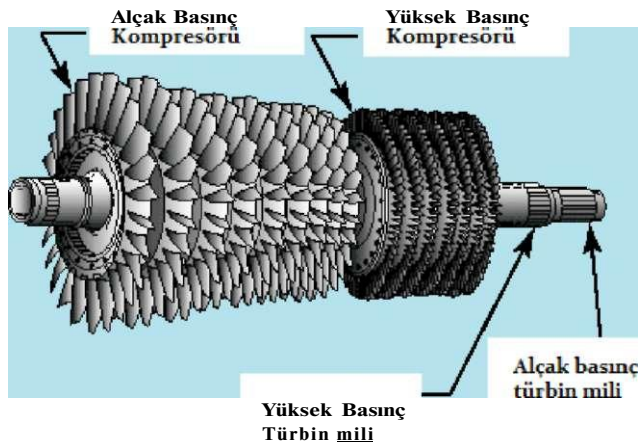
Şekil 3.12. Yüksek basınç ve alçak basınç genel bölümleri [2]



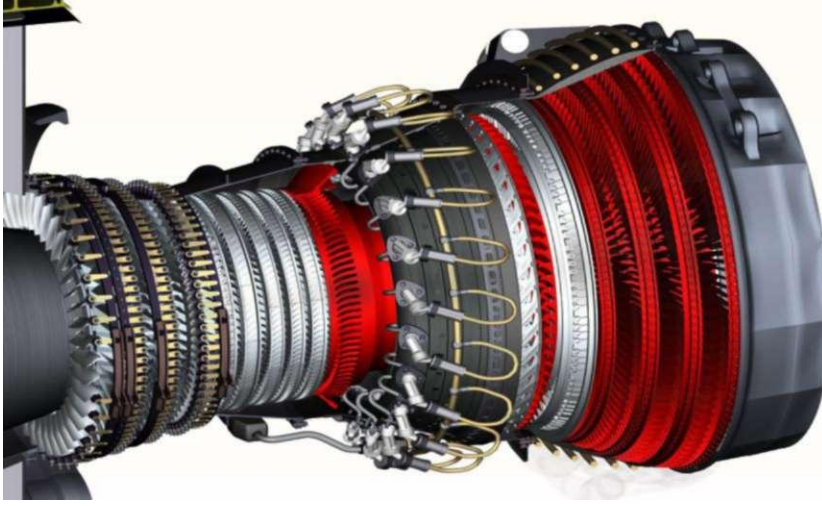
Şekil 3.13 Yüksek Basınç Modülü

### 3.9.3. Alçak basınç türbin bölümü

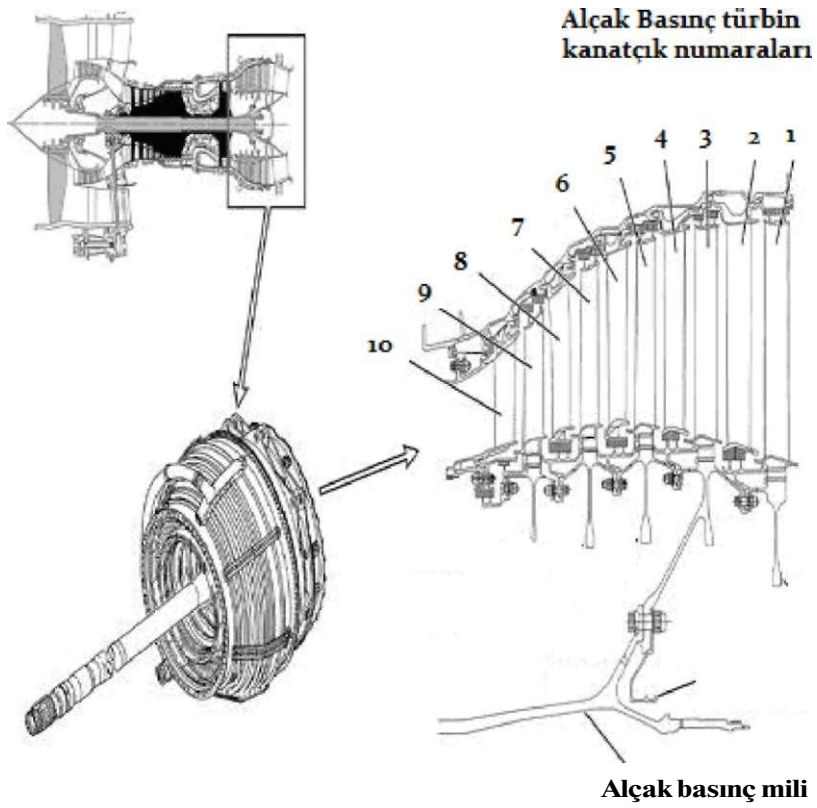
Motordan yanma sonucu çıkan yüksek basınçtaki gazların itme gücünü azaltmadan akışını düzenlemek ve LP kompresör fanına hareket gücü iletmek ana görevleridir. Bu görevler nedeniyle birçok kanatçıktan oluşmuştur. Bu kanatçıkların tasarımı ve imalatı tüm motor parçaları gibi motorun uzun süre ve güvenle kullanılmasında büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3.14 Alçak basınç ve Yüksek basınç kompresörleri



Şekil 3.15. Alçak basınç ve Yüksek basınç Türbinleri cad model gösterimi



Şekil 3.16 Alçak basınç türbini bölümleri[2]

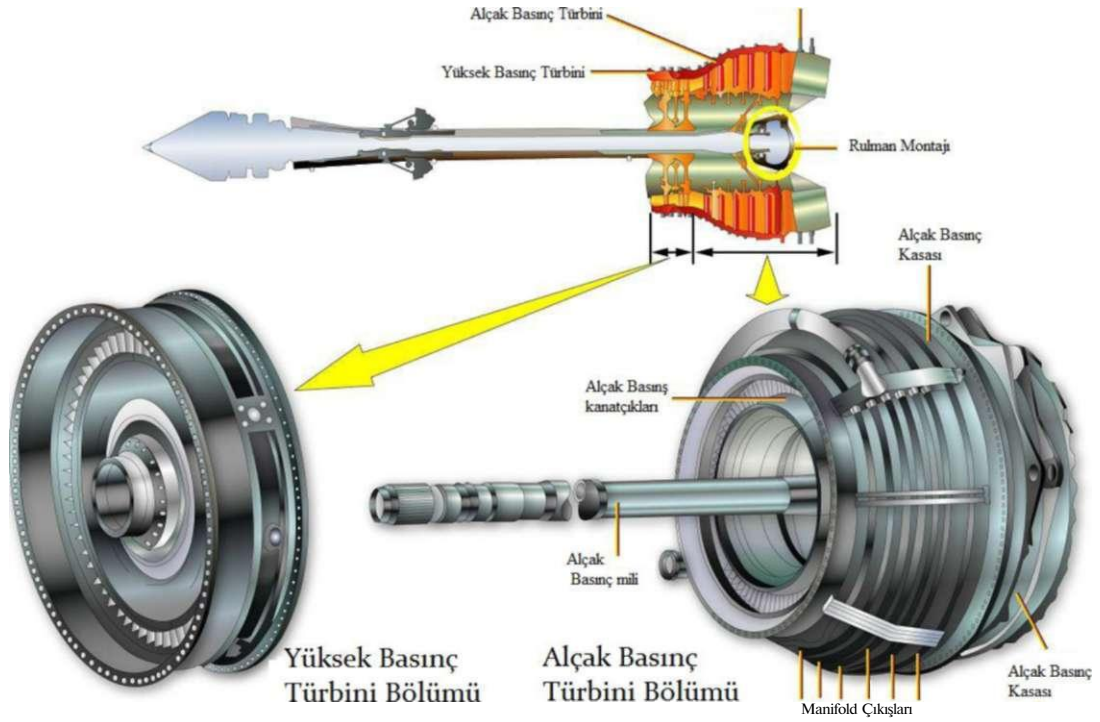


Şekil 3.17 Alçak basınç türbini içindeki kanatçıklardan bazıları [2]

## BOLUM 4. ALÇAK BASINÇ TURBİNİ (LPT)

### 4.1. Alçak Basınç Türbini (LPT) Modülü

Alçak basınç türbini (LPT) modülü genel olarak; motora giren hava akımını artırarak motorun verimini artırmak için, çıkan yanmış gazlardan aldığı kuvveti motorun ön kısmındaki alçak basınç kompresör iletir. Diğer taraftan çıkan gazların akışını da düzenler. Motor için önemli bölümlerinden biridir. Bakım için söküldüğünde içindeki kanatçıklar kontrol edilir. Kanatçıklarda deformasyon tespit edilirse kanatçıkların yenileriyle değiştirilmesi için alçak basınç türbini modülünün içi sökülür.

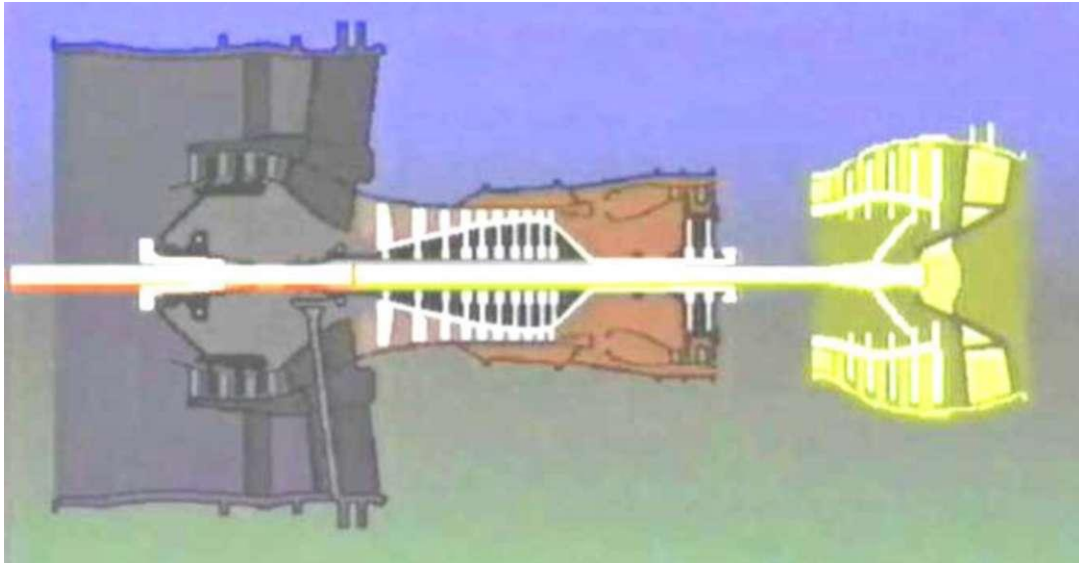


Şekil 4.1. Alçak basınç modülü ve bölümleri[2]

Alçak basınç türbini modülündeki kanatçıkların o anki durumu tamamen motorun kullanım şartlarına, en son yapılan bakım ile arasında olan çalışma saatine göre değişiklik göstermektedir.

#### 4.1.1. Alçak basınç türbini modülün motordan sökülmesi

Lifte alınmış şekilde duran uçak motorundan alçak basınç türbini (LPT) modülünü sökmeden önce modülün arka ( çıkış ) kısmının güvenliğini sağlamak ve sökülmesinde yardımcı olmak amacıyla, modülün yan ve arka kısmını kaplayan bir aparat monte edilir. Bu bağlanan aparatın diğer bir amacıyla lift ile alçak basınç türbininin arasında bağlantıyı oluşturmaktır.



Şekil 4.2. Alçak basınç türbininin sökülmesi sırasında yataklanması[2]

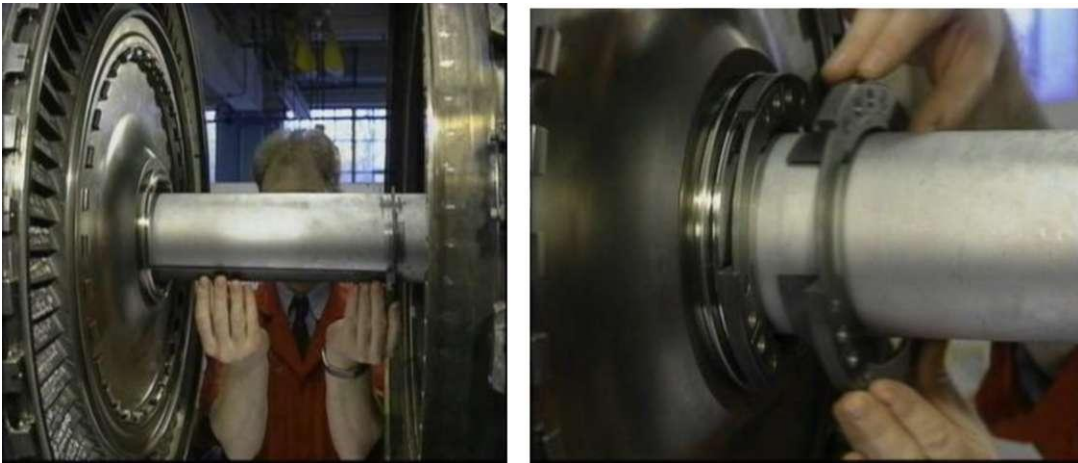
Alçak basınç türbini (LPT) yerinden sökülürken türbin mili yüksek basınç (HP) modülünün içindeki kanatçıklara çarpmaması için motorun önünden ve arkasından yataklanması gerekir. Bu yataklama işlemi yapılırken aynı zamanda motora montaj esnasında da kullanılan yataklama aparatları kullanılır.





Şekil 4.3. Ön kısımdaki yataklama aparatı ve itici mil [2]

İlk olarak motorun ön kısmında yataklama yapılarak Alçak basınç türbinini lift yardımıyla bir miktar yerine çıkarılır. Daha sonra yüksek basınç ve alçak basınç modülleri arasında oluşan boşluktan arka bölümün yataklanması yapılır.



Şekil 4.4. Mil ile kanatçıklar arasında koruyucu görevi gören aparatların takılması[2]



Şekil 4.5. Alçak basınç modülün motordan ayrılması [2]

Alçak basınç türbininin yerinden çıkarılırken her aşamada, Yüksek basınç türbini içindeki kanatçıkları korunması ve yataklanmanın sağlanarak milin zarar görmesini engellemek için koruyucu aparatlar monte edilir. Bu aparatlar alçak basınç modülü sökülürken sağa-sola çevrilerek kanatçıklarla milin temasını engeller.



Şekil 4.6. Kanatçık koruyucu aparatının sabitlenmesi[2]

Alçak basınç mili, yüksek basınç modülünün içinden tam olarak çıkmadan önce kanatçıkların korunması için takılan aparat sabitlenerek kanatçıklara herhangi bir yabancı maddenin girişi engellenir. Bunun dışında mili itmek için kullanılan milde aparat ile eşksenli olarak sabitlenir.

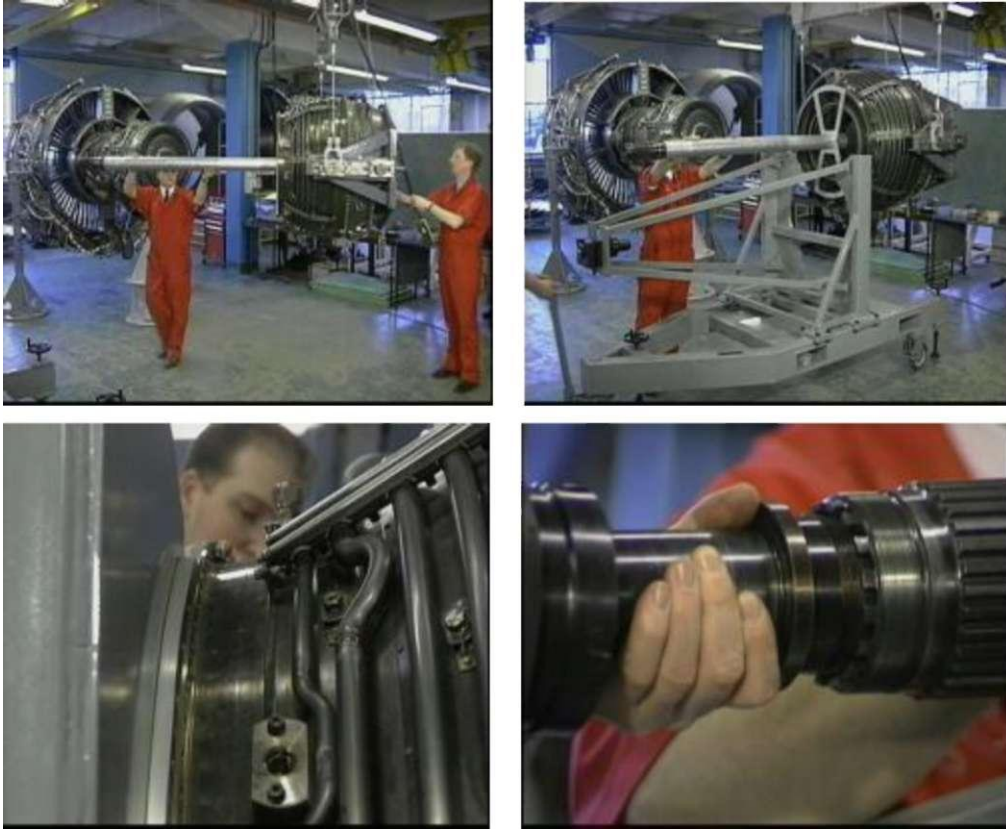


Şekil 4.7. Alçak basınç türbininin yerinden çıkarılırken kanatçık aparatının sağa-sola çevrilmesi[2]

Yerinden çıkarılan alçak basınç modülü lift yardımıyla taşıma arabasına monte edilebileceği uygun bir yere getirilir. Taşıma aracı alçak basınç modülünün alt kısmına getirilir. Yukardan aşağıya doğru indirilen alçak basınç modülü taşıma aracının uygun bölümüne geldiğinde milin sabitlenmesi için aracın önünde bulunan aparatlar mile bağlanır.



Şekil 4.8. Alçak basınç milini desteklemek için takılan aparat ve itici mili destekleyen aparat[2]



Şekil 4.9. Alçak basınç türbininin araca takılması ve araç aparatlarının bağlantılarının yapılması[2]

Daha sonra bu aparatlar araç üzerindeki yerlerine yerleştirilerek sabitlenir. Alçak basınç modülünün arka kısmı da aracın üzerinde bulunan eksenle eşksenli olacak şekilde civatalar yardımıyla alçak basınç türbini üzerindeki deliklere bağlanır.



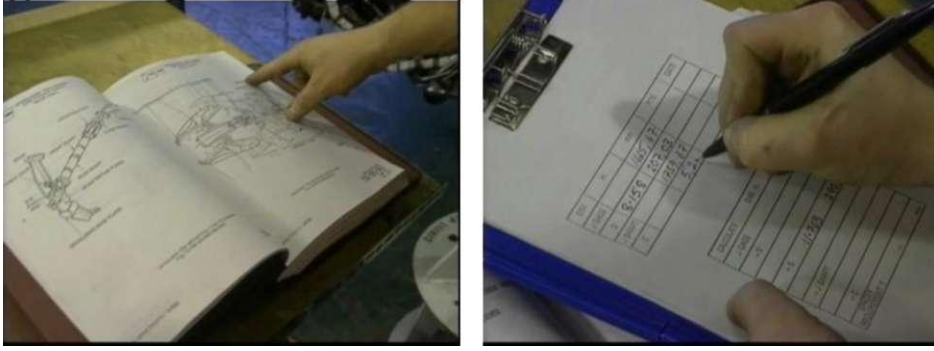
Şekil 4.10. Alçak basınç milinin taşıma aracının ön kısmına bağlantı şekli[2]



Şekil 4.11 Taşıma aracına bağlanmış şekilde Alçak basınç türbini[2]

#### **4.1.2. Alçak basınç türbini modülünün motora takılması**

Alçak basınç modülünün gerekli ölçü ve toleransları bakım esnasında ölçülüp kayıt edilir. Bakım esnasında elde edilen değerlerle hesaplanan kalınlıktaki bir bilezik alçak basınç miline, motora bağlanması esnasında takılır.



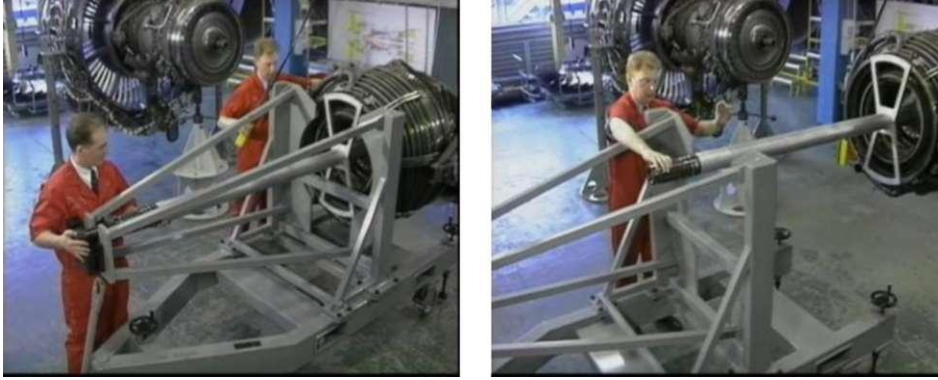
Şekil 4.12. Alçak basınç türbinin ölçü ve toleranslarının kontrol edilip kayıt edilmesi[2]

Taşıma aracı liftin altına getirilir, Alçak basınç modülü lifte bağlanır. Alçak basınç türbinine bağlı olan aparatları sökülerek alçak basınç türbini lifte alınır. Araç liftin altından çıkarılır. Alçak basınç modülü motora bağlanacağı yere alınır.

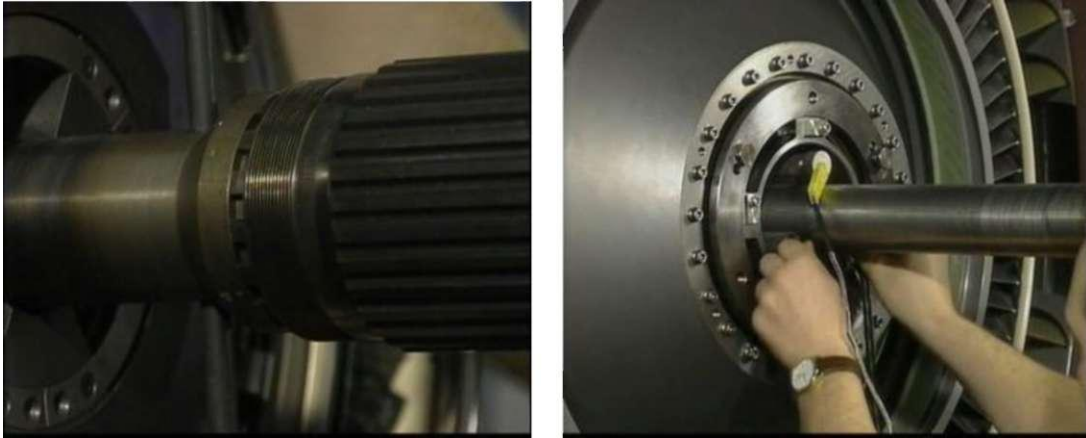


Şekil 4.13. Alçak basınç modülüne ölçüleri hesaplanan bileziğin takılması [2]

Sökme işlemi esnasında itme için kullanılan mil alçak basınç miline bağlanır. Mili yataklamak için bağlanmış olan aparat sökülür. Yavaş yavaş alçak basınç türbini yerine doğru itilir. Alçak basınç mili yerine girmeye başladığında, milin yerine daha rahat geçmesini sağlamak için sökme işleminde ön kısımda yataklama işlemi için kullanılan aparat mili ısıtmaya başlar. Milin ısınmasıyla birlikte genişerek alçak basınç mili yerine daha rahat bir şekilde oturur. Isıtma işleminde sonra kanatçıkları koruma amacıyla bağlanan aparat sökülür. Alçak basınç türbini ile alçak basınç mili arasında destek görevi gören aparatta sökülür.



Şekil 4.14. Alçak basınç türbininin taşıma aracından sökülmesi[2]



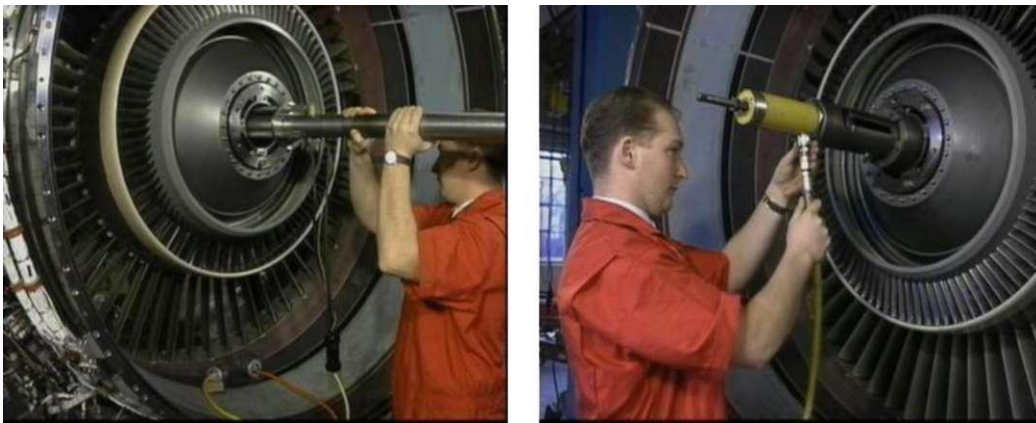
Şekil 4.15. Alçak basınç milinin yerine takılması ve itme milinin ısıtılması[2]

Isıtma işlemi bittiğinde ısıtma ve yataklama için kullanılan aparatta yerinde sökülür. Daha sonra Alçak basınç türbini yerine çekirmek için hidrolik silindir on kısma monte edilir. Silindirin bir parçası alçak basınç miline bağlanarak alçak basınç türbini yerine doğru çeker.



Şekil 4.16. Kanatçıkları koruyan aparatın ve Alçak basınç mili desteğinin sökülmesi[2]

Alçak basınç türbini yerine oturduktan ve cıvatarla yerine sabitlendikten sonra motorun ön kısmında bulunan alçak basınç kompresör kısmı ile alçak basınç mili arasında olan bağlantı yapılır. Ön bağlantıları ve önde yapılan test ve ölçümler bittikten sonra arka bölümü korumak ve lift ile bağlantıyı sağlamak için takılan aparat alçak basınç türbininden sökülür. Monte işleminin bitiminden sonra alçak basınç türbininin arka bölümünde modül ve milin eşksenliliği kontrol edilir. Yapılan tüm ölçümler ve tüm testler kayıt edilir.



Şekil 4.17 Isıtma aparatının sökülmesi ve hidrolik pistonun Alçak basınç miline bağlanması[2]





Şekil 4.18. Alçak basınç türbininin motora bağlanması[2]



Şekil 4.19. Alçak basınç türbininin arka aparatının sökülmesi ve mil türbin eksenlilik kontrolü[2]

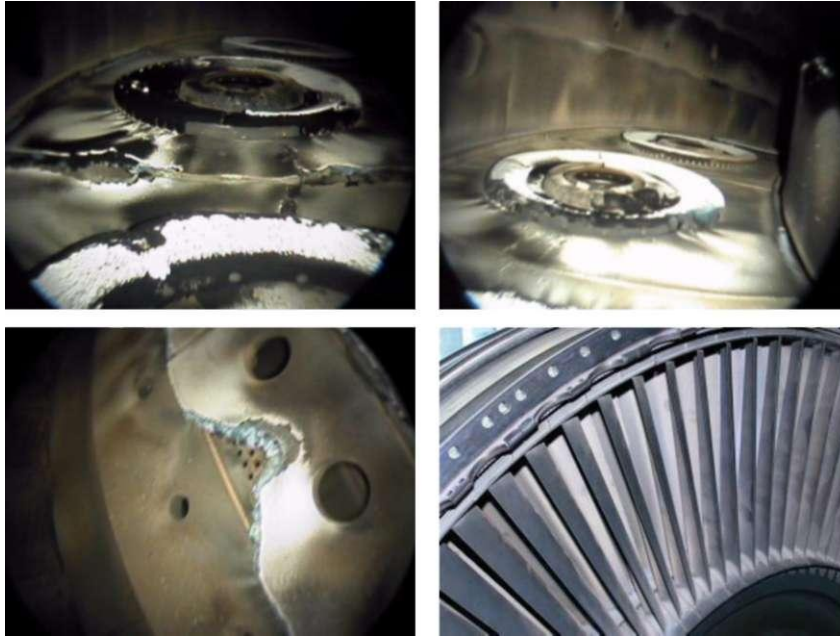


Şekil 4.20. Alçak basınç türbininin bağlanmasından sonra motorun tamamı[2]

## 4.2. Alçak Basınç Türbini Taşıma ve Depolama Aparatı

Alçak basınç türbini taşıma ve depolama aparatı uçak motorunun ağır bakımlarında kullanılan yeri geldiğinde taşıma ve söküp takma işlemlerinde kullanılan yeri geldiğinde ise depolama işlemi için kullanılan bir alettir. Motorun kullanım şartlarına göre ve uçuş saatine göre motorun belli kısımları sökülür belli kısımları sökülmez.

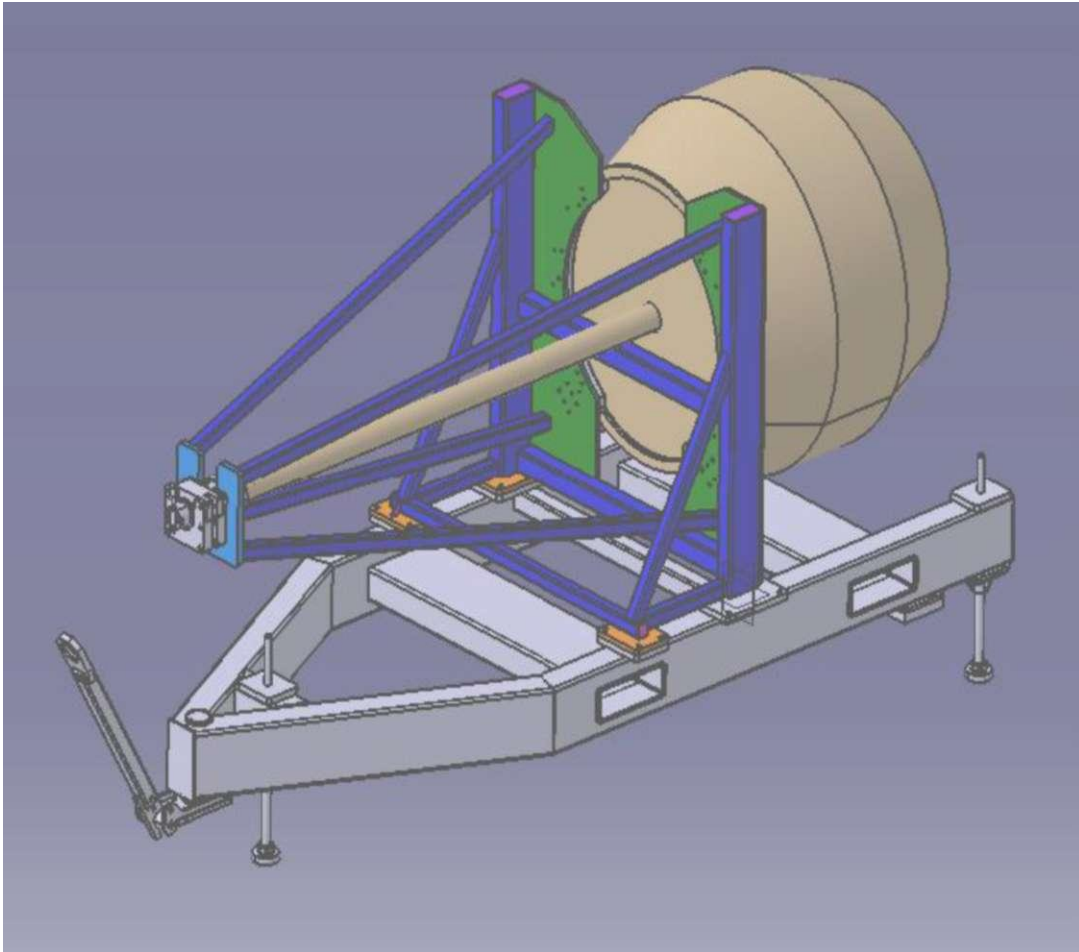
Bu kısımlar arasında alçak basınç türbini ve yüksek basınç türbini kanatçıkları ve yanma odaları kısımlar bulunur. Bu kısımlar baroskop yardımıyla kontrol edilirler. Eğrilme, kırık, çatlak, erime vb hasarlar mevcut ise bu kısımlar sökülerek yenileriyle değiştirilir. Alçak basınç türbini için bu yenileme işlemi sırasında modül taşıma ve depolama aracında muhafaza edilir. Kanatçıkların sökülmesi ve yenilerinin takılması taşıma ve depolama aracında yapılır.



Şekil 4.21. Yanma odasında oluşan hasarlar ve sökülmüş kanatçıkları [2]

### 4.3. Alçak Basınç Türbini Taşıma ve Depolama Aracı Tasarım Kriteri

Alçak basınç türbini taşıma ve depolama aracının şuan hali hazırda kullanılan modelinde Alçak basınç milini etkileyen kuvvetler karşısında mil  $5.24 \times 10^{-7}$  derecelik bir eğilme göstermektedir. Bunun dışında Alçak basınç türbininin bağlandığı ana direklerin de bu yükleme esnasında eğilmesi  $4.36 \times 10^{-7}$  derecedir. Bu değerler alçak basınç türbini taşıma aracı prototip tasarımında kullanacağımız değerlerdir.

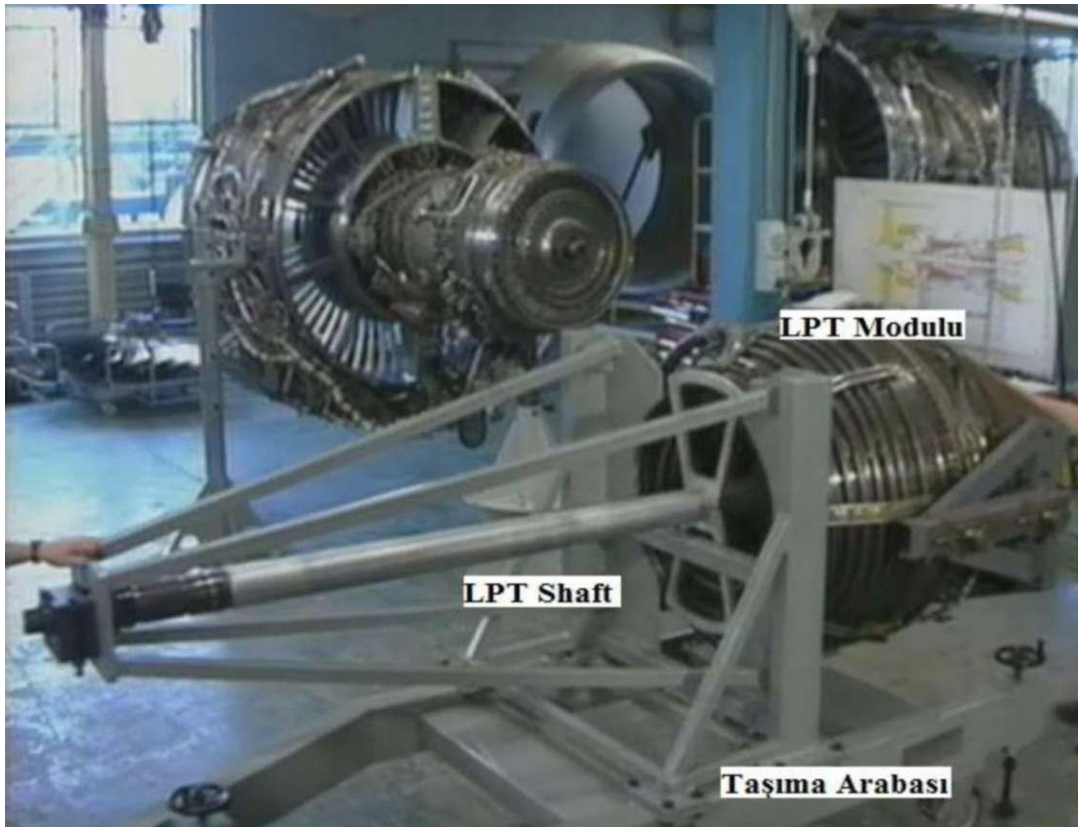


Şekil. 4.22. Alçak basınç türbini taşıma aracı temsili resmi

Eğilme değerlerinin dışında taşıma aracının ana gövdesini oluşturan alt gövdenin yer değiştirmesini de göz önüne almamız gerekmektedir.

Bu değerlerden dışında LPT aracının tasarımında yapısal kriterlerden farklı olarak dikkat edilmesi gereken diğer kriterler;

- Taşıma aracının kolayca hareket ettirilmesini sağlamak ( insan gücü veya çekici araçlar ile )
- Üst gövde ile alt gövdenin gerektiğinde birbirinden ayrılması ( gerekli görülen durumlarda LPT modülün içinin sökülmesi için )
- Maliyet değerlerini minimum değerlerde tutacak şekilde en sağlıklı malzemelerin kullanılması
- LPT modülünün taşıma aracına kolaylıkla takılıp sökülmesini sağlanması
- Taşıma ve Depolama işlemleri sırasında kazalara sebebiyet vermeyecek en uygun ve kullanımı en kolay tasarımın kullanılması
- LPT modülü ölçülerine uyumluluk sağlaması



Şekil 4.23. Alçak basınç türbini taşıma aracına bağlanmış şekli

Kriterlerin taşıma arabasının tasarım aşamasında enine boyuna düşünülerek aracın tasarlanması uygun olacaktır. Tasarım aşamasında kriterlerin tamamlanması ve en uygun tasarımı bulmak için teknolojiyi kullanarak tasarım aşamasında maliyeti ile tasarım süresini azaltarak maksimum uygunlukta tasarımı gerçekleştirmek hedeflenir.

Taşıma arabası kriterlerinin yanı sıra imalat ve kullanım esnasında uyulması gereken gelen standartlar ve prosedürlerde mevcuttur. Tüm bu kriterler ve uyulması gereken genel standartlar uçak bakımı için hayati önem taşırlar ve kesinlikle uygulanmaları gerekir.

## **BOLUM 5. PROTORIPLERIN TASARIMI**

### **5.1. Prototiplerin Modellenmesi (CAD-CAE)**

Prototip tasarımıdaki amacımız; uçaklarda kullanılan motorlarının bakımını esnasında alçak basınç türbininin gerekli görüldüğü durumlarda sökülmesi ve tekrar montajı, gerekli görülmediği durumlarda ise depolanması için gerekli olan ve taşıma amaçlıda kullanılan taşıma arabalarının belirlenen kriterlere göre prototip tasarımının CAD programlarında yapılıp; sonlu elemanlar yöntemiyle (CAE) yapısal çözümlerinin yapılarak uygunluklarının kontrol edilmesi ve kullanıma hazır hale getirilmektir.

#### **5.1.1. Modellemede Kullanılan CAD Yazılımı CATIA**

Teknik ve bilimsel uygulamalarının bilgisayarlar uyarlamaları ancak ikinci jenerasyon kabul edilen 60'lı yıllarda yapılandırılan bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmiştir. İkinci jenerasyon bilgisayarlarda tüpler yerini günümüze kadar gelen güvenli transistörlere bırakıyordu. Kritik hesaplamaların gerekli olduğu Uçak endüstrisinde özellikle bilgisayarla tasarım önem kazanmaktaydı. Uçak konstrüktörleri uçak formunun optimizasyonu ve ağırlığının minimize edilebilmesi için gerekli olan akışkan hareketleri ve mukavemet testleri adına bir takım programlar geliştirdiler. [10]

##### **5.1.1.1. Catia'nın Tarihçesi**

Bundan birkaç zaman önce Fransız uçak imalatçıların dan Dassault Aviation şirketi yüzeyleri bir bilgisayarda oluşturabilmek için çalışmalara başladı. Bu amaçla 1969 da interaktif bir grafik programın oluşturulması faaliyetlerine önyak oldular. Bu programın yardımıyla sırt ve kanat yüzeylerinin taslağı bilgisayarda saklandığı gibi çizilebiliyordu.

Bu veriler daha sonra aerodinamik araştırmalar, yapı analizi ve NC tezgâhların kumanda edilmeleri için kullanıldı. Bu tarzda geliştirilmiş ilk uçak Alpha-jet'dir.

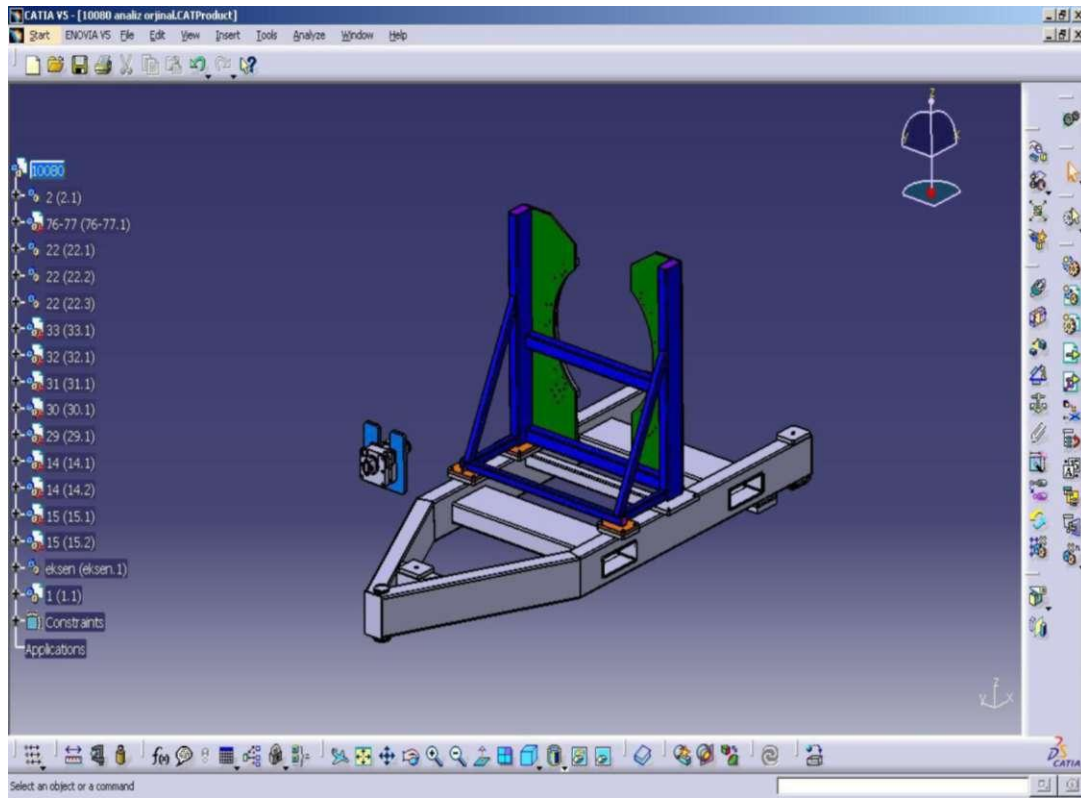
1975 de Dassault Aviation bir Amerikan firması olan Lockheed den 2d çizim paketi olan Cadem' i aldı. 3d geometrik tanımlamalar için bu programa karşılık, gelişimine 1977'de başlanan kendine has bir yazılım tasarlandı. Buna da CATIA (computer aided three-dimensional interactive application) ismi verildi. 1979 öncesi CATIA ile ilk hava kanalı modeli 4 hafta içerisinde tamamlandı. Daha önceleri bu çalışma için 6 haftaya ihtiyaç duyuluyordu. Zaman içinde Francis Bernard'ın idaresindeki geliştirme grubundaki eleman sayısı 3 den 15'e çıktı. Geliştirilmesine gerekli olan yüksek maliyet açığını kapatmak için CATIA'yı pazara sunma kararına varıldı. 1981 de Dassault Systemes firması Dassault Aviation'un bünyesinde barınan bir şube olarak tesis edildi. Yine aynı yıl IBM ile yazılımın pazarlanması hususunda sözleşme yapıldı.

1981 Kasım ayında CATIA v1, IBM tarafından mainframe ortamına aktarıldı. CATIA'nın teknolojik avantajları ve hardware'deki fiyat düşüşü hızlı bir gelişime sebep oldu. 1985'de v2 tanıtıldı. 1988'de v3 ile birlikte iş istasyonuna dönüşme devresi başladı. CATIA v4 1993 senesinde pazara sunuldu. Bu esnada Dassault Systemes'in çalışanlarının sayısı 1000'i aştı. 1999 senesine geldiğimizde CATIA v5 versiyonunu pazara sunarak otomotiv ve uçak sektöründe yaygın olarak kullanılan bir CAD/CAM/CAE programı haline gelmiştir. Son olarak 2009 yılında v6 versiyonu duyurulmuştur.

CATIA özellikle otomotiv sektörü, uçak üretim ve diğer simülasyon sektörlerinde ihtiyaçlara cevap verebilecek bir program olduğundan çok kullanılır. CATIA her sektörden kesime hitap etmektedir. İşbirliği temelli ürün geliştirme için lider PLM çözümleri ( Ürün Yaşam Çevrimi ) konusunda üstün bir yazılımdır. Dünya'da hemen - hemen tüm otomotiv ana sanayi tarafından bilgisayar destekli tasarım ve imalatta kullanılmaktadır. CATIA üretilecek olan ürünlerin, üretimi esnasında tasarlanan süreçlerin sanal ortamda gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Bir ürün, tasarımcı tarafından CATIA programında tasarlandıktan sonra ergonomi uzmanı, tasarımın ergonomisini araştırır. Bir sonraki aşamada mühendisler tasarlanmış parçanın her

türlü dayanım hesaplamaları, kalıplanması ve son şekillerin oluşturulması işlemlerini yaparlar. [10]

Ardından sıra imalata yönelik çalışmalara gelir. Son olarak parçanın ne şekilde imal edileceği hesaplanır ve parça sanal ortamda imal edilir. İmalat sırasında her türlü yüzey analizleri yapıldıktan sonra parça gerçek imalata girer. Özetleyecek olursak Catia programı; endüstriyel amaçlı tüm ürünlerin hem tasarımı hem analizi hem de imalatını son derece hızlı, kolay ve güvenilir yapan bir bilgisayar yazılımıdır.



Şekil 5.1 CATIA kullanıcı ara yüzü

### 5.1.2. Catia ile katı modelleme

Prototiplerin bilgisayar ortamında CAD modellerinin oluşturularak, oluşturulan modeller üzerinde gerekli analizlerin yapılması işleminde Cad modellerin oluşturulması aşaması Catia programında gerçekleştirilmiştir.



Catia programında prototiplerin parçalarının tek tek oluşturulduğu parça ve oluşturulan bu parçaların montajının yapıldığı montaj bölümlerinde kullandığımız komutları ve açıklamaları aşağıdadır.

### 5.1.2.1. Parça bölümü

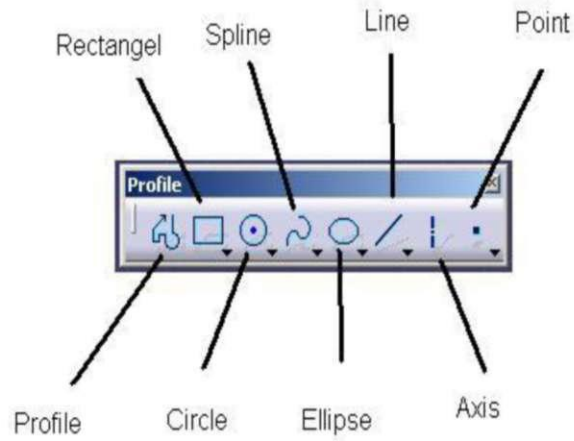
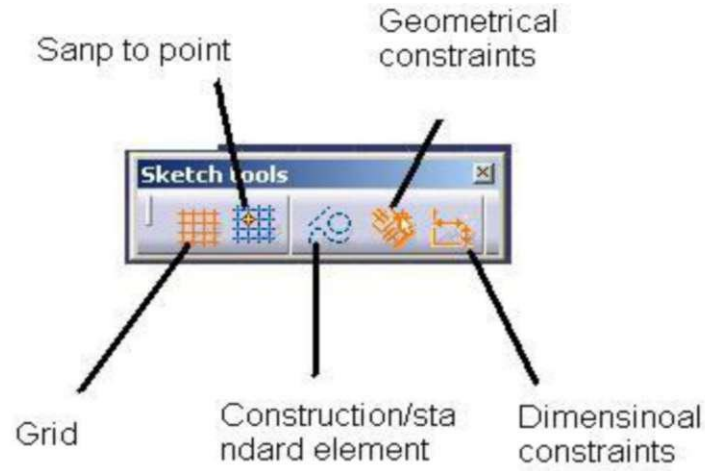
İlk olarak oluşturacağımız katının iki boyuttaki ana görünüşünü çizmemiz gerekmektedir. Bunun için sol taraftaki menüden çizim simgesine tıklayarak çizim bölümüne geçilir. Bu bölümde sol taraftaki araç çubukları kullanılarak gerekli şekil oluşturulur.



Şekil 5.2. Parça bölümü

Şekil oluşturulurken çizim araç çubukları kullanılır (Şekil 5.3). Çizim araçları araç çubuğunda, Izgara (Grid) çizim alanı arka planında bize yardımcı olacak 5 mm ye 5 mm aralıkta ızgara alanını aktif veya inaktif hale getirmek için kullanılır. Nokta yakalama (Snap to point) , ızgaranın kesiştiği noktaları farenin imleciyle kolayca yakalamamıza izin verir. Standart element, çizmekte olduğumuz şeklin yardımcı yâda temel çizgi olacağını seçtiğimiz bölümdür. Geometrik kısıtlamalar, çizim

esnasında geometrik sınırlamaların kullanılıp kullanılmayacağını belirttiği bölümdür. Ölçü kısıtlamaları, ölçü sınırlarının kullanılıp kullanılmayacağını belirttiği bölümdür.

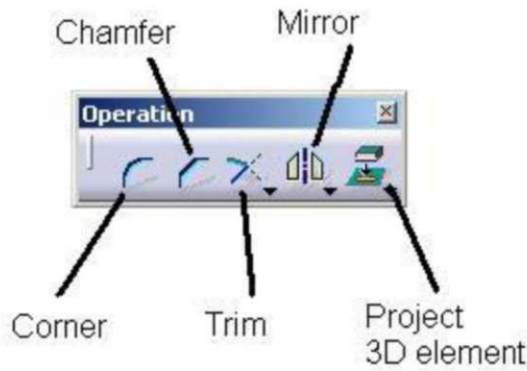


Şekil 5.3. Çizim araçları araç çubuğu ve profil araç çubuğu

Profil araç çubuğunda bulunan genel çizim öğelerine gelecek olursak; Profil, bu menüdeki genel çizim için kullanılan yöntemlerin tamamını bir arada kullanılabildiği çizim işlemini hızlandıran bir araçtır.

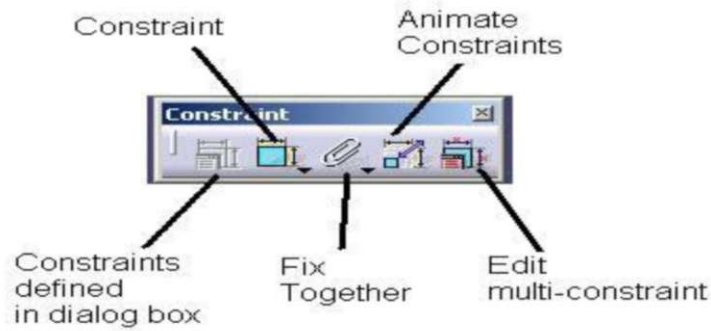
Dikdörtgen (Rectangle) kare dikdörtgen gibi köşegenlerin çiziminde kullanılan araçtır. Daire (Circle) daire çiziminde kullanılan araçtır. Eğri (Spline) serbest çizgi çizebildiğimiz araçtır. Elips (Ellipse) çizimi için kullanılan araçtır. Çizgi (Line) düz çizgi çizmek için kullanılan araçtır.

Eksen (Axis) çizilen şekil de gerek duyulduğunda eksen çizilmesinde kullanılan araçtır. Point. Çizilen şekilde gerek duyulduğunda nokta koymak için kullanılan araçtır.



Şekil 5.4. Operasyon araç çubuğu

Operasyon araç çubuğundaki araçlar oluşturulan çizimlerdeki detayları tamamlamak için kullanılır. Köşe (Corner) çizimdeki köşelere radüs kırmak için kullanılan araçtır. Pah (Chamfer) çizimdeki köşelere pah kırmak için kullanılmaktadır. Budama (Trim) çizimdeki fazlalık kısımları çizimden çıkarmak için kullanılan araçtır. Aynalama (Mirror) gerektiğinde şeklin tamamını yâda bir kısmını aynalamak için kullanılan araçtır. Project 3D element bu araç oluşturulan diğer katıların üzerinden izdüşümü almak için kullanılır.



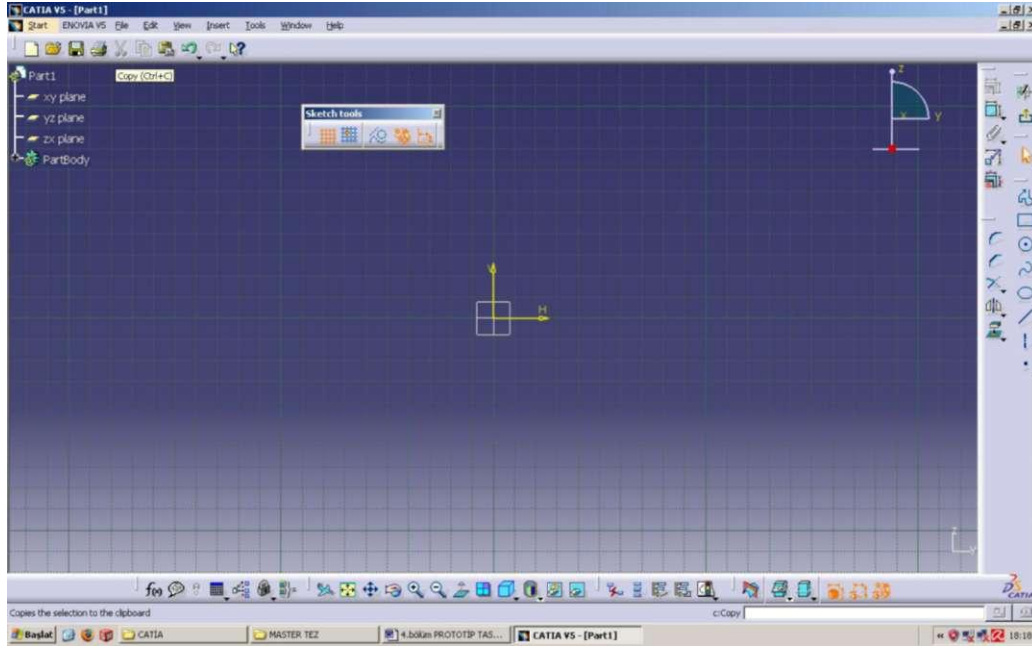
Şekil 5.5. Sınırlamalar araç çubuğu

Sınırlamalar araç çubuğu genel olarak çizimi yapılan şeklin öğeleri arasındaki ilişkileri tanımlamak ve düzenlemek için kullanılır. Sınırlama (Constraint) iki öğe arasında ilişki tanımlamak için kullanılır. Tanımlanabilecek ilişkiler şunlardır:

Distance	: mesafe
Length	: uzunluk
Angel	: açı
Fix	: sabitleme
Raidus/Diameter	: radüs ve çap ölçüsü
Symmetry	: simetriklik
Midpoint	: orta nokta
Equidistant point	: merkez nokta
Coincidence	: keşişme
Concentricity	: eşmerkezlilik
Parallelism	: paralellik
Perpendicular	: diklik
Horizantal	: yatay
vertical	: dikey

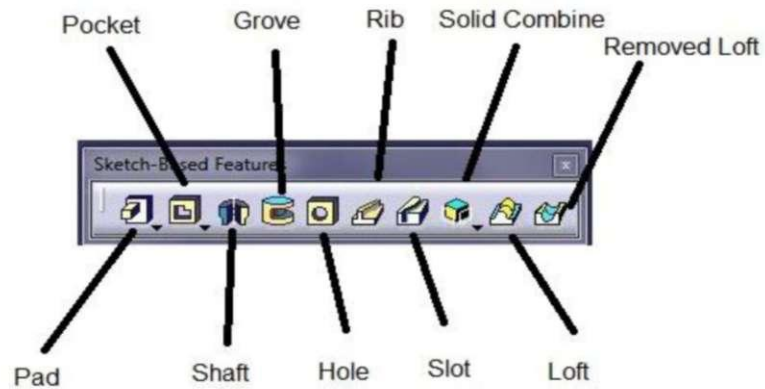
Bu belirtilen şartlar çizimini yaptığımız şeklin sınır şartlarını belirlemek ve en sağlıklı şekilde çizimimizi gerçekleştirmek için kullanılır. (Constraint define in dialog box) Sınırlama ayarları için yukarıda saydığımız ilişkilerin menüsünü açmakta kullanılır. Menüü açmadan şart atamak için sınırlama kullanılır. Kilitleme (Fix together) aracı herhangi bir şekli sabitlemek için kullanılır.

Hareket sınırlama (Animate Constraint) ise şekilde belirtilmiş sınırlamaların yerini düzenlemek için kullanılır. Çoklu sınırlama yarıları (Edit multi-constraint) ise sınırlamaları düzenlemek için kullanılan araç çubuğudur.

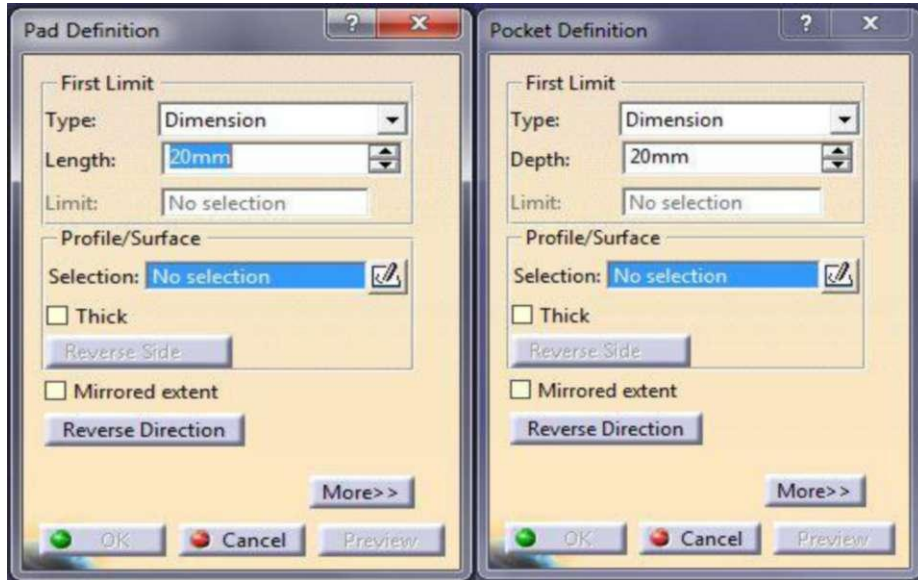


Şekil 5.6. Çizim bölümü

Çizim bölümündeki çizimler işlemler bittiğinde parça bölümüne tekrardan geri dönülür. Geri döndükten sonra parça bölümünde katı oluşturulmaya başlanır.



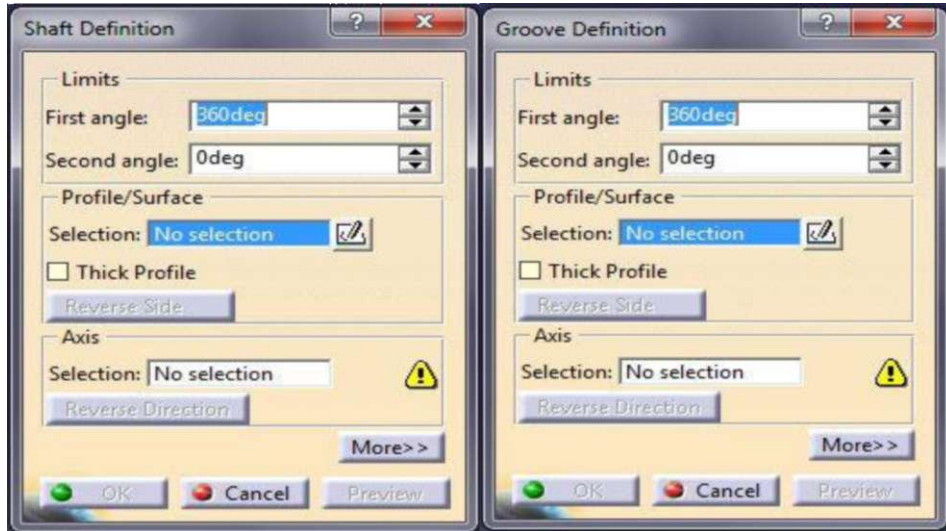
Şekil 5.7. Çizim tabanlı katı oluşturma araç çubuğu



Şekil 5.8. Yükseltme ayarları ve Boşaltma ayarları araç çubuğu

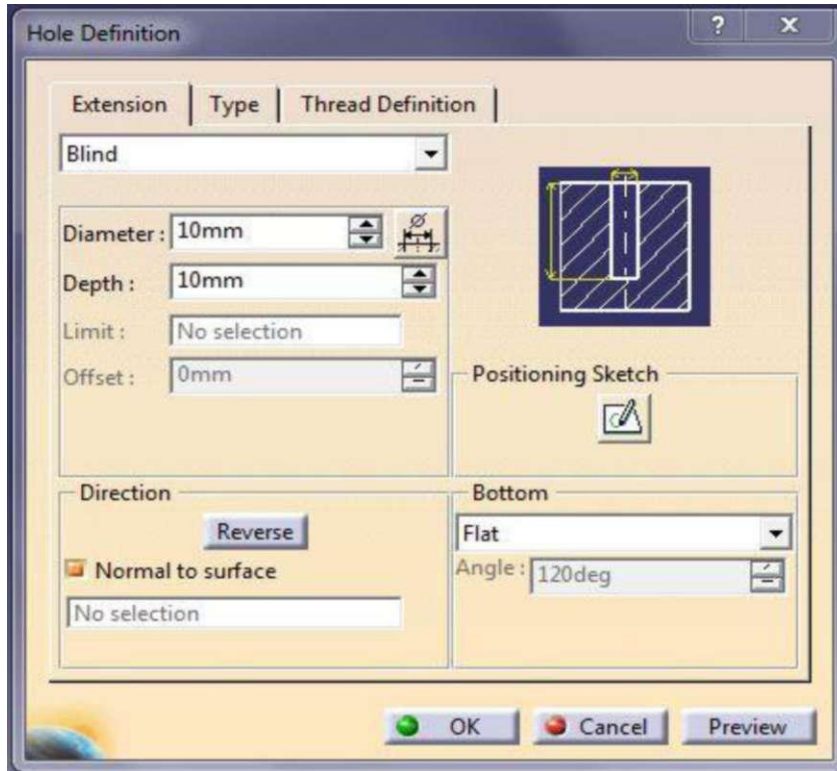
Katı oluşturmak için kullanılan araçlar çizim tabanlı katı oluşturma (Sketch-Based features) araç çubuğunda sıralanmıştır. Bunlardan ilki yükseltme ayarları (Pad definition) aracıdır. Sketch de çizilen 2 boyutlu çizim bu araç çubuğundaki araçlar yardımıyla katıya dönüştürülür. Pad araç çubuğunda çizim uzatılarak katı elde edilir. Boşaltma (Pocket) araç çubuğu ise katılardan belli şekilleri boşaltmak için kullanılır. Bu iki komut birbirine çok benzer nitelikler içerir. İkisinin de araç çubuğu aynı araçları içerir (Şekil 5.8).

Silindirik parçalar oluşturulmak için ise mil (Shaft) ve mil boşaltma (Grove definition) araç çubukları kullanılır. Mil (Shaft) aracı genel olarak çizimi belirtilmiş bir eksen etrafında istenilen açı değeri kadar çevirerek katı oluşturulmasında kullanılır. Mil boşaltma (Grove) aracı ise Shaft'ın tam aksine belirtilen eksen etrafında çevrilen kısmı boşaltmak için kullanılır. Bu iki araç birbirine benzeyen özelliklerden oluşurlar. Bu komut yardımıyla silindirik ve acısı belli katılar oluşturmak çok kolaylaştırılmıştır (Şekil 5.9).



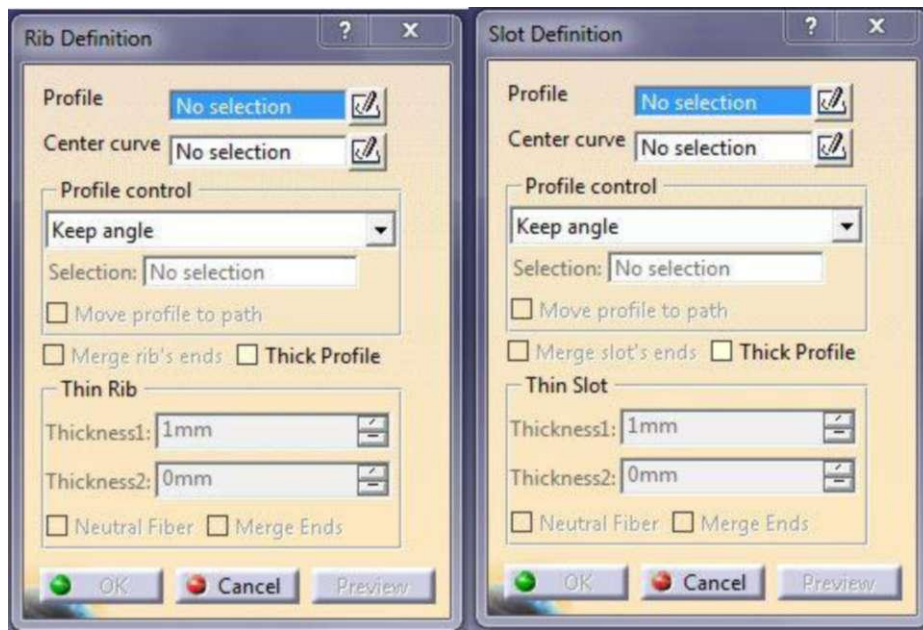
Şekil 5.9. Mil ve Mil boşaltma araç çubuğu

Delik açma (Hole) aracı oluşturulan katıda delik açmak ve bu deliğin özelliklerini ve ölçülerini düzenlemek için kullanılır. Bu araç çubuğunda deliğe dış, kademe veya acı değerleri verebilirsiniz (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Delik açma araç çubuğu

Kiriş (Rib) aracı 2 boyutlu çizimi belli bir yol üzerinden sürüklenmesiyle katı oluşturan araçtır. Buradaki yol düzlemsel, açısız veya eğrisel (spline) olabilir. Genellikle boru, profil vb parçaların çizilmesinde kullanılır. Kiriş boşaltma (slot) aracı ise Rib aracının tam tersi olarak boşaltma işlemi yapmaktadır. Rib ile çizilen katıların içini boşaltmakta veya belli bir yol üzerinde belirtilen şekli boşaltmakta kullanılır. Rib ve Slot birbine benzeyen komutlardır (Şekil 5.11).

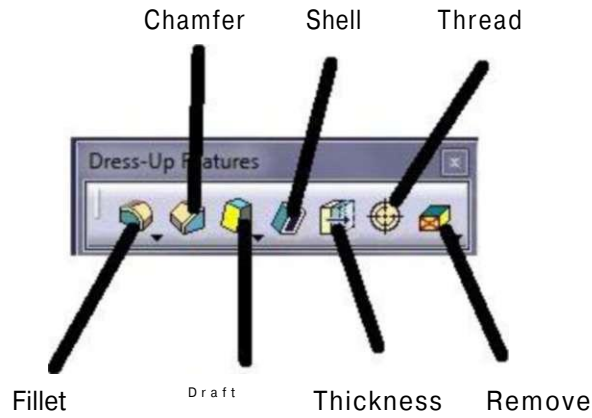


Şekil 5.11. Kiriş ve Kiriş boşaltma araç çubukları

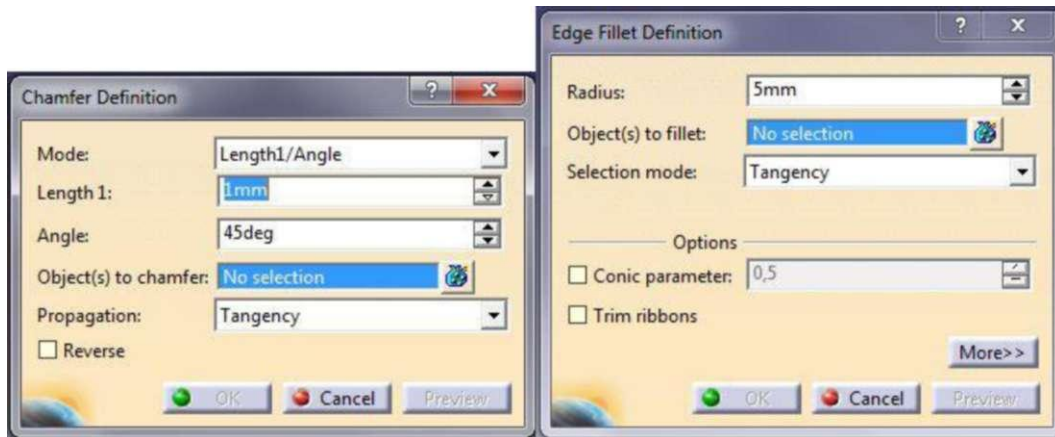
Bu araçların dışında kombine katı (Solid Combine) araç çubuğu 2 veya daha fazla 2 boyutlu çizimden katı oluşturmak için kullanılan araçtır. Solid Combine komutu katını ön üst ve yan görüşlerinin çizilip katı yapılmasında kullanılması temeline dayanır. Loft ve Removed Loft ise yine 2 veya daha fazla 2 boyutlu çizimi aralarında belli bir mesafe bırakılarak biri yol gibi birleştirilerek katı oluşturan araçtır.

Genel katı oluşturma araçlarının dışında katı oluşturmaya yardımcı ve tamamlayıcı diğer araçlar vardır. Bunlar yardımcı çizim (Dress-Up Features) araç çubuğunda toplanmıştır. Radüs (Fillet) komutu oluşturulan katının kenarlarına radüs kırmak için kullanılan araçtır (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13).



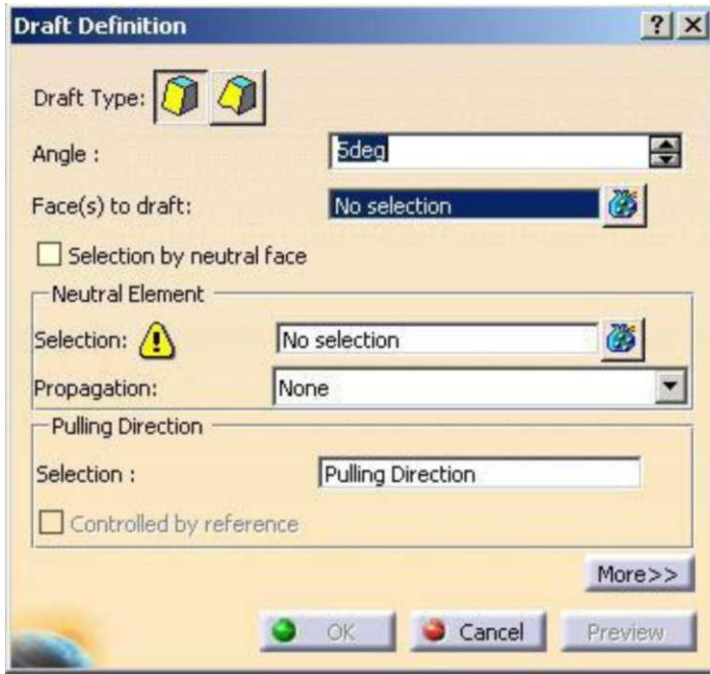


Şekil 5.12. Yardımcı çizim araç çubuğu



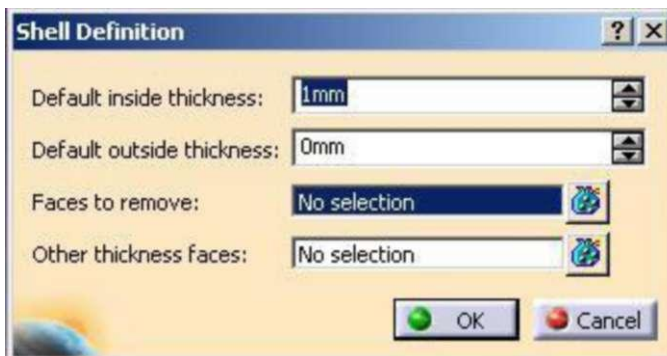
Şekil 5.13. Pah ve Köşe radüsü Araç çubukları

Pah (Chamfer) aracı oluşturulan katının kenarlarına pah kırmak için kullanılan araçtır. Bu araçla pahın özellikleri kontrol edilir. Seçilen köşeler ve pahın ölçüleri de buradan kontrol edilir (Şekil 5.13).



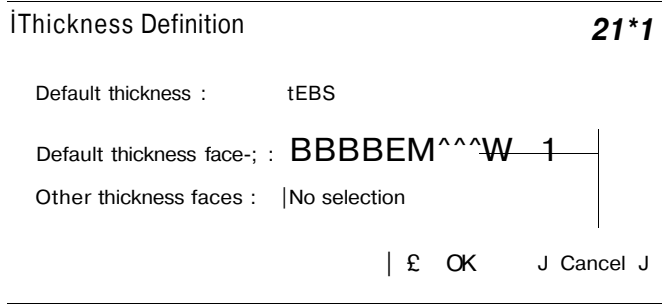
Şekil 5.14. Eğimli yüzey araç çubuğu

Eğimli yüzey (Draft) aracı oluşturulan katını istenilen yüzeylerine açı vermek için kullanılan araçtır. Seçilen yüzey veya yüzeyler, açı değeri ve diğer özellikler buradan kontrol edilir (Şekil 5.14).



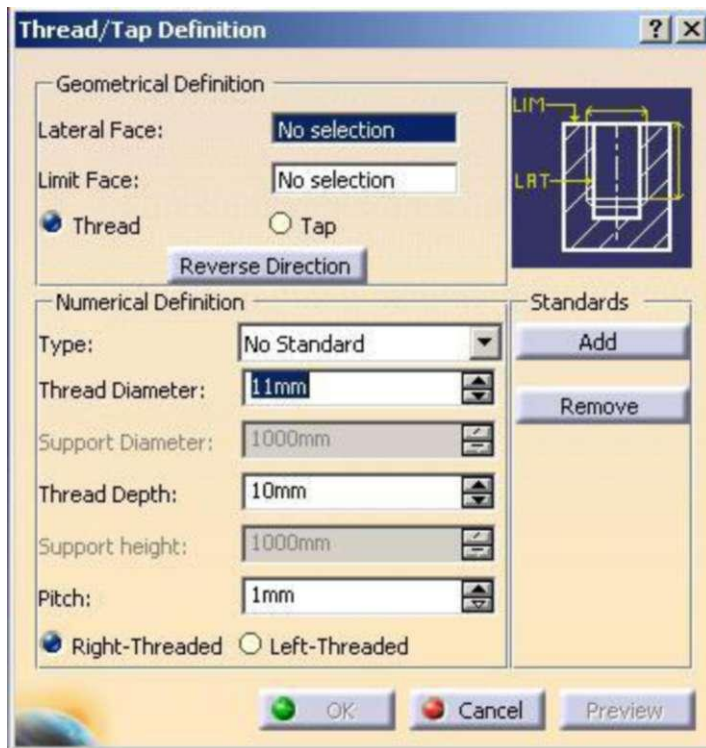
Şekil 5.15. Kabuk araç çubuğu

Kabuk (Shell) aracı katının istenilen ölçülerde kabuğunun alınması sağlayan araçtır. Araç çubuğundan seçilen yüzeyler ve sabit kalmasını istediğimiz yüzeylerle kabuğun kalınlığı kontrol edilir (Şekil 5.15).



Şekil 5.16. Kalınlık araç çubuğu

Kalınlık (Thickness) aracı katının seçilen yüzeyini istenilen ölçüde uzatmak için kullanılan araçtır. Araç çubuğundan seçilen yüzey ve uzatılmasını istediğimiz değer kontrol edilebilir (Şekil 5.16).



Şekil 5.17. Diş ve delik içi kademe araç çubuğu

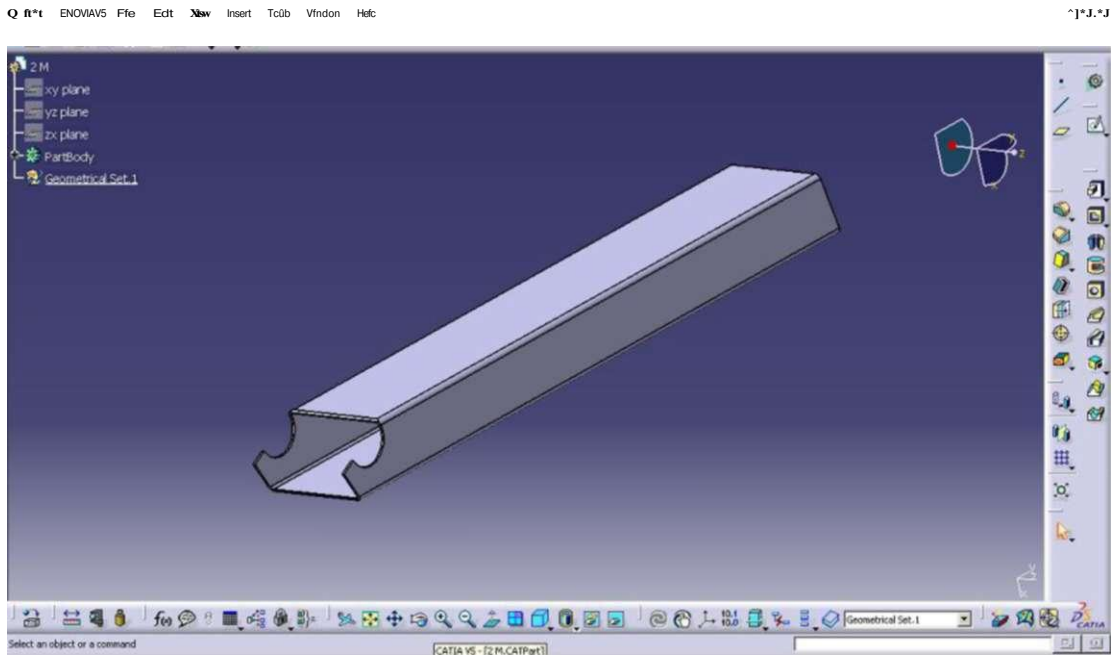
Diş (Thread) aracı delik içlerine diş açmak ve bu dişin özelliklerini belirtmek için kullanılan araçtır. Dişin tüm özellikleri ve ölçüleri bu araçla düzenlenir (Şekil 5.17).



Şekil 5.18. Yüzey silme araç çubuğu

Yüzey silme (Remove face) aracı katıdaki yüzeyleri seçerek katının belli kısımlarını silmemizi sağlayan araçtır (Şekil 5.18).

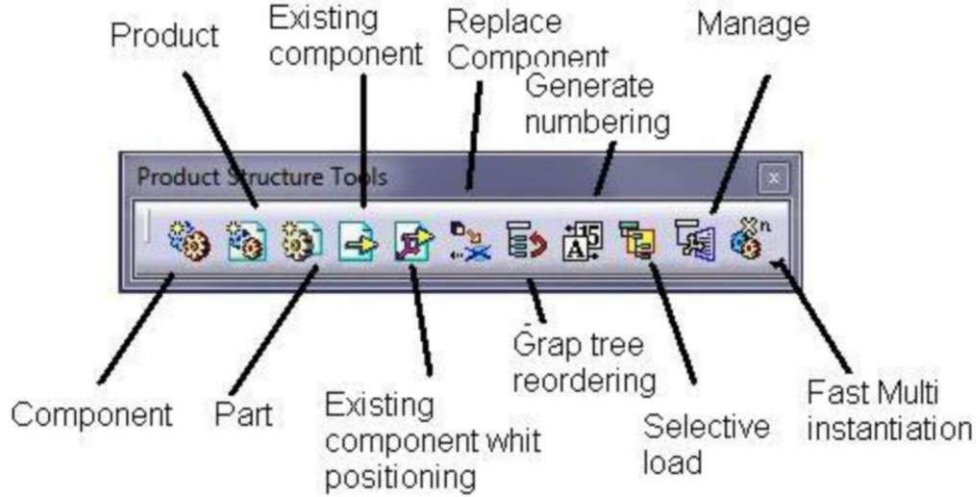
Tüm bu belirtilen araç çubukları kullanılarak istenilen ölçülerde ve istenilen geometrik şekillerde prototip için gerekli katı parçalar oluşturulur. Sonraki aşamada ise bu katı parçaların montajlanarak yani birleştirilerek prototiplerin son halini alması ve analize hazır olması sağlanır.



Şekil 5.19. Parça bölümünde oluşturulmuş bir katı parça

### 5.1.2.2. Montaj bölümü

Montaj (Assembly) bölümü teker teker oluşturulmuş olan parça katı datalarının montaj kurallarına uygun ve istenilen şekil ve adetlerde montajlarının oluşturulup ürünün tamamının oluşturulduğu bölümdür.

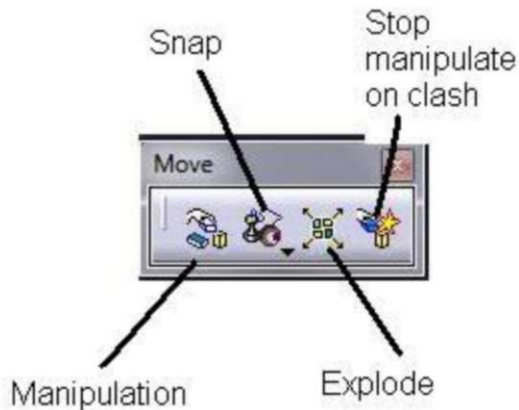


Şekil 5.20. Ürün yapılandırma araç çubuğu

Genel olarak montaj bölümüne parça atmak ve bu parçaların datalarını düzeltmek için kullanılan araç çubuğu ürün yapılandırma (Product Structure Tools) araç çubuğudur (Şekil 5.20). Burada bulunan araçlar şunlardır:

- Bileşen (Component) montaja yeni bir ürün eklemek için kullanılır. Ürün tek bir parça veya bir montaj olabilir.
- Ürün (Product) ise direkt olarak montajın altına başka bir montaj eklemek için kullanılır.
- Parça (Part) ise montaj içine parça eklemek için kullanılan araçtır.
- Bileşen seçme (Existing Component) aracı montaj penceresinden çıkarak yeni bir pencerede istediğimiz montaj yâda parçayı görerek montaja eklememizi sağlayan araçtır.
- Existing Component whit positioning ise Existing component gibi çalışır fakat ekleyeceğimiz montaj yâda parçanın konumunu bizim ayarlayabilmemize olanak sağlayan araçtır.

- Bileşen değiştirme (Replace Component) ise montaja eklediğimiz alt montaj yâda parçaların bilgisayarımız içindeki yerleri değiştiğinde veya dataların yenilerini oluşturduğumuzda yerlerini göstermek için kullanılan araçtır.
- Unsur ağacı düzenleme (Grap Tree Reordering) ise unsur ağacını düzenlemek için kullandığımız araç çubuğudur.
- Numaralandırma (Generate numbering) genel olarak montaj içindeki bütün alt montaj ve parçaları numaralandıran araçtır. Bu numaralandırma teknik resim esnasında kullanılır. Selective load (seçilene yüklemek) ve Manage (yönetmek) unsur ağacının özellikleri ve dataların yerlerinin düzenlendiği araçlardır.
- Hızlı çoğaltma (Fast multi instantiation) ise montaja eklenen alt montaj yâda parçaların çizim esnasında belirtilen sınırlamalara göre montaja eklenmesini sağlayan araçtır.



Şekil 5.21. Hareketlendirme araç çubuğu

- Hareketlendirme (Move) araç çubuğunda bulunan araçlarla montaja eklenen alt montaj veya parçalar montaj içinde konumlandırılır (Şekil 5.21). Hareketlendirme araç çubuğundaki araçlar şunlardır:
  - Elle hareket verme (Manipulation) Bu araç montajın eksenlerini kullanarak parça yâda alt montajların konumlarının değiştirilmesinde kullanılır. Manipulation ile X, Y ve Z eksenleri boyuca veya seçilen herhangi bir eksenle parça yâda alt montaj yeniden konumlandırılabilir. XY, YZ ve ZX düzlemleri boyuca veya seçilen herhangi bir düzlemde parça yâda alt montaj yeniden konumlandırılabilir. X, Y ve Z

eksenleri etrafında veya seçilen herhangi bir eksende butonlar kullanarak çevirme ve taşıma işlemi yapılabilir (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Elle hareketlendirme araç çubuğu

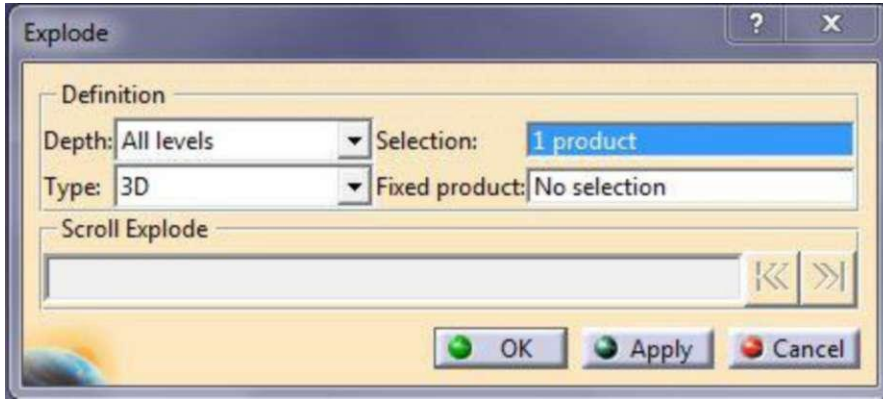
Elle hareketlendirme aracı dışında catia ekranında ekranın sol üst köşesinde bulunan ve kumpas adı verilen yardımcı ile de parça yâda alt montajlar konumlandırılabilir. Kumpasa tıklandığında montajın ana eksenleriyle ilgili bilgilere de ulaşılabilir ve bu bilgiler değiştirilerek kullanılabilir (Şekil 5.23, Şekil 5.24).



Şekil 5. 23. Kumpas ve kumpasın menüsü

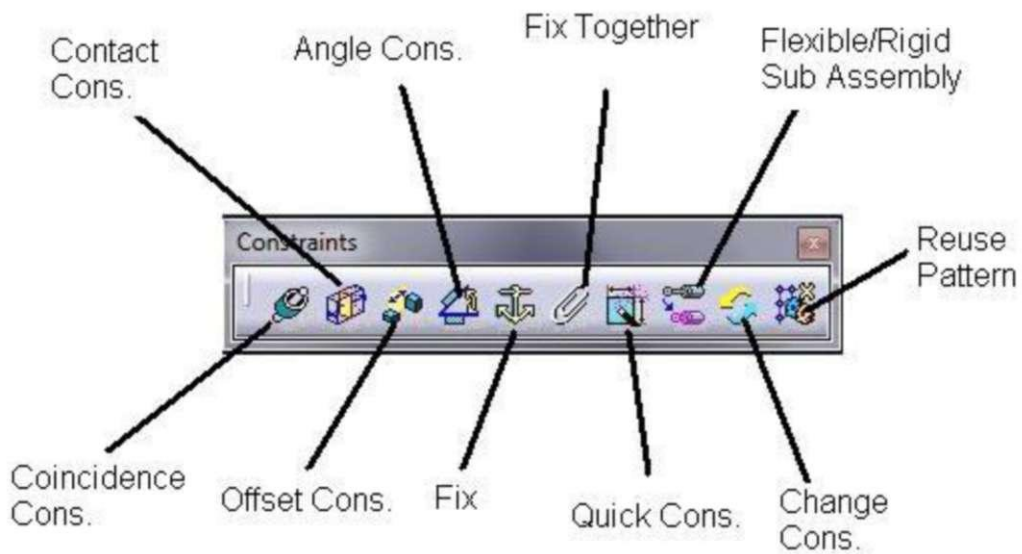
Yakalama (Snap) aracı ise farklı iki parçadan seçilen iki eleman çakıştırılarak parçalar birbirine göre konumlandırılır. Seçilen elemanlar nokta, doğru veya düzlem

olabilir. Patlatma (Explode) aracı ise montaja atılmış olan parça ve montajları birbirlerinden ayırmak için kullanılır. Montaj atılan parça ve alt montajlar ilk olarak montajın merkez noktasında üst üste geleceği için bu araç kullanılmaktadır (Şekil 5.24).



Şekil 5.24. Patlatma araç çubuğu

Çarpışmalarda hareketi durdurma (Stop manipulate) aracı ise seçili olduğu durumlarda hareket ettirilen parçaların birbirleriyle temas ettiklerinde durmalarını ve kullanıcıya uyarı verilmesini sağlayan araçtır. Özellikle karmaşık montaj işlemi sırasında parçaların konumlandırılmasında kullanılır.

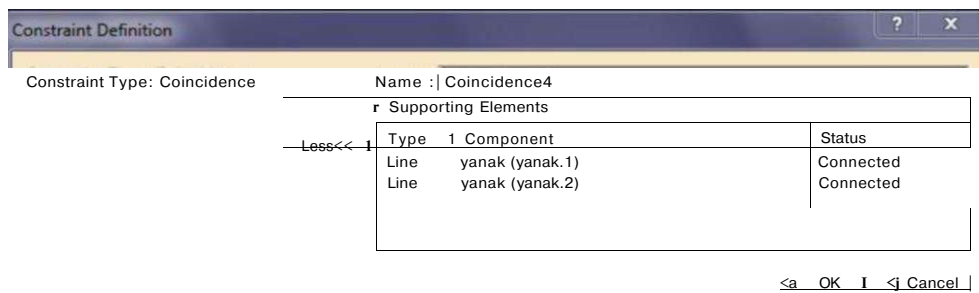


Şekil 5.25. Sınırlandırma araç çubuğu



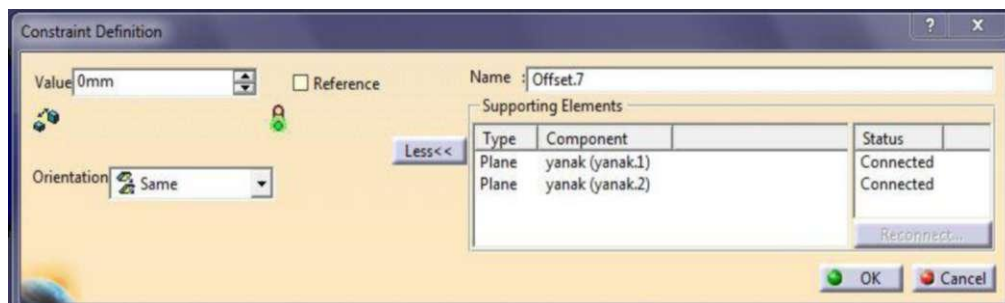
Montaj işleminde gerekli geometrik sınır şartlarının verildiği ve birleştirilmelerin tanımladığı araç çubuğu sınırlandırma (Constraints) araç çubuğudur. Bu araç çubuğundaki bölümler montajdaki alt montajların veya parçaların birleştirilmesinde kullanılır.

Merkezeleme (Coincidence) ve çakışma (Contact) ile seçilen iki eleman çakıştırılır. Nokta, doğru veya düzlem veya eksen takımı seçilebilir. Bunların dışında düzlemsel yüzler düzlem olarak, silindirik ve konik yüzeylerin eksenini doğru olarak ve küresel parçaların merkezi nokta olarak seçilebilir. Şekil 5.26.



Şekil 5.26. Merkezeleme ve Çakışma aracı

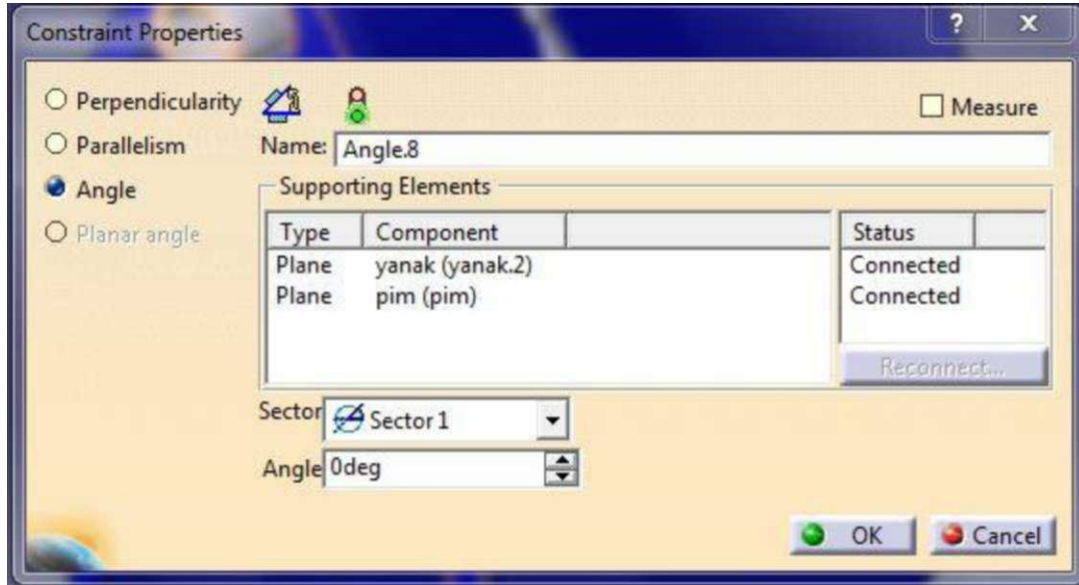
Mesafe (Offset) aracı ile seçilen iki referans eleman arasında mesafe verilir. Nokta, doğru veya düzlem seçilebilir. Bunların dışında düzlemsel yüzler; düzlem olarak, silindirik ve konik yüzeylerin eksenini; doğru olarak ve küre merkezi nokta olarak seçilebilir (Şekil 5.27).



Şekil 5.27. Mesafe aracı

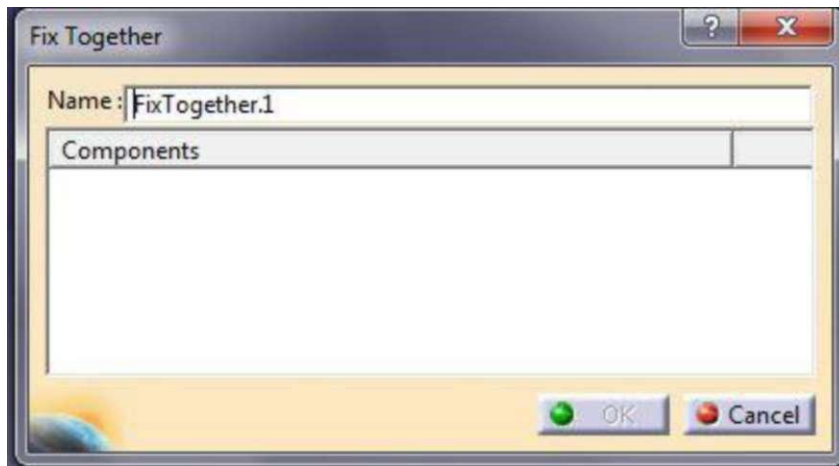
Açı (Angle) sınırlama aracı ile iki bileşen arasında açı tanımlanabilir. Bileşenlerde kenar, yüzey, eksen, eksen gibi yardımcı elemanları arasında bu şartlar

oluşturulabilir. Diklik (Perpendicularity) ve paralellik (parallelism) tanımlaması yapılabilir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28. Açı sınırlama araç çubuğu

Kilitleme (Fix) ve birlikte kilitleme (Fix together) araçlarıyla montajda bulunan parça veya alt montajların komutları sabitlenir. Bu araç çubukları bu sabitleme işlemlerinin yöneltmesi içinde kullanılır. İsteğe göre sabitleme işlemi kaldırılıp tekrar konulabilir (Şekil 5.29).

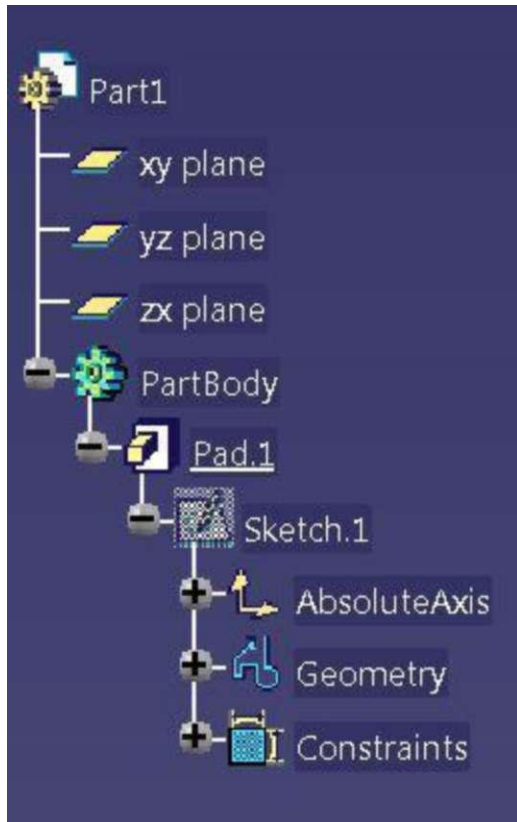


Şekil 5.29. Beraber kilitleme araç çubuğu

Hızlı sınırlama (Quick Constraint) aracı ise yukarda saymış olduğumuz bağlantı yapma yöntemlerini programın tanıyarak daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan bir araçtır.

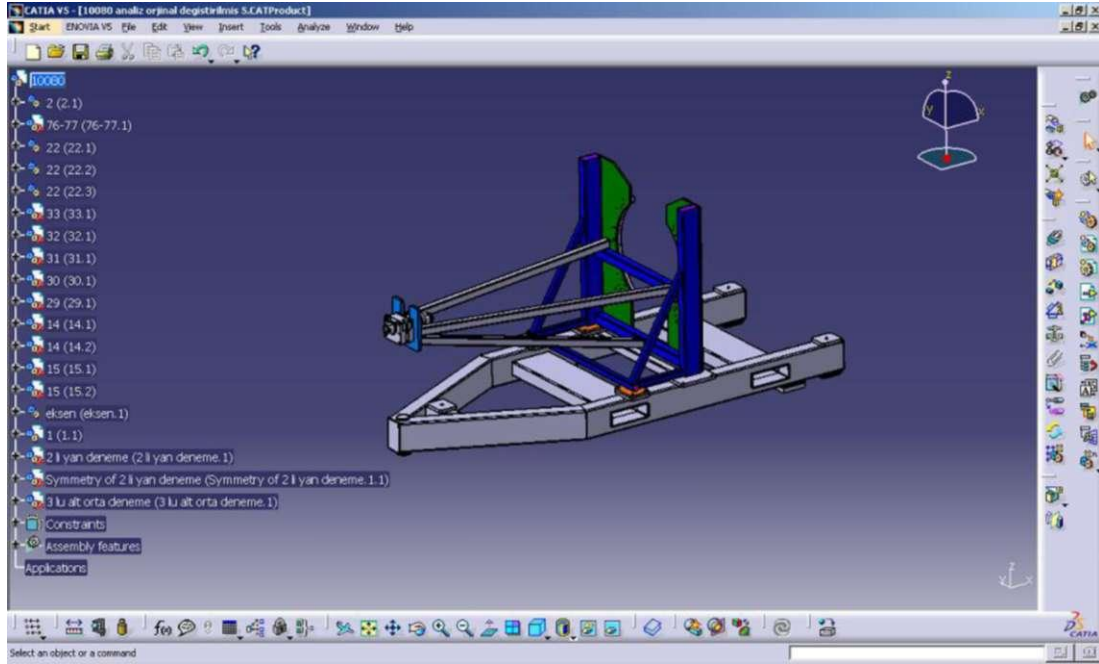
Alt montaj kontrol (Flexible/rigid Sub Assembly) aracı ise alt montajların kontrol edilmesinde kullanılan bir araçtır. Alt montajların hareketli yâda sabit olacağını buradan ayarlayabilir. Bazı montajlarda alt montajlarında üst montajlarla beraber hareket edip verilen harekete tepki vermesi istenir. Böyle durumlarda kullanılan ara. Flexible/Rigid Sub Assembly aracıdır.

Sınırlama değiştirme (Change Constraint) aracı montajda daha önceden tanımlanmış olan constraintlerin tekrardan düzenlenmesi için kullanılan araçtır. Çoğaltmaları kontrol (Reuse Pattern) aracı ise pattern ile çoğaltılmış olan parça yâda montajlar üzerinde yapılan constraint işlemlerini yapmak için kullanılır.



Şekil 5.30. Catia unsur ağacı

Catia kullanılarak belirlenmiş tasarım kriterlerine göre tasarımlar 3D katı model olarak oluşturulur. Sonraki aşamada CAE programı yardımıyla tasarım kriterleri kontrol edilerek yapılmış olan 3 boyutlu prototipin uygun olup olmadığına bakılır.

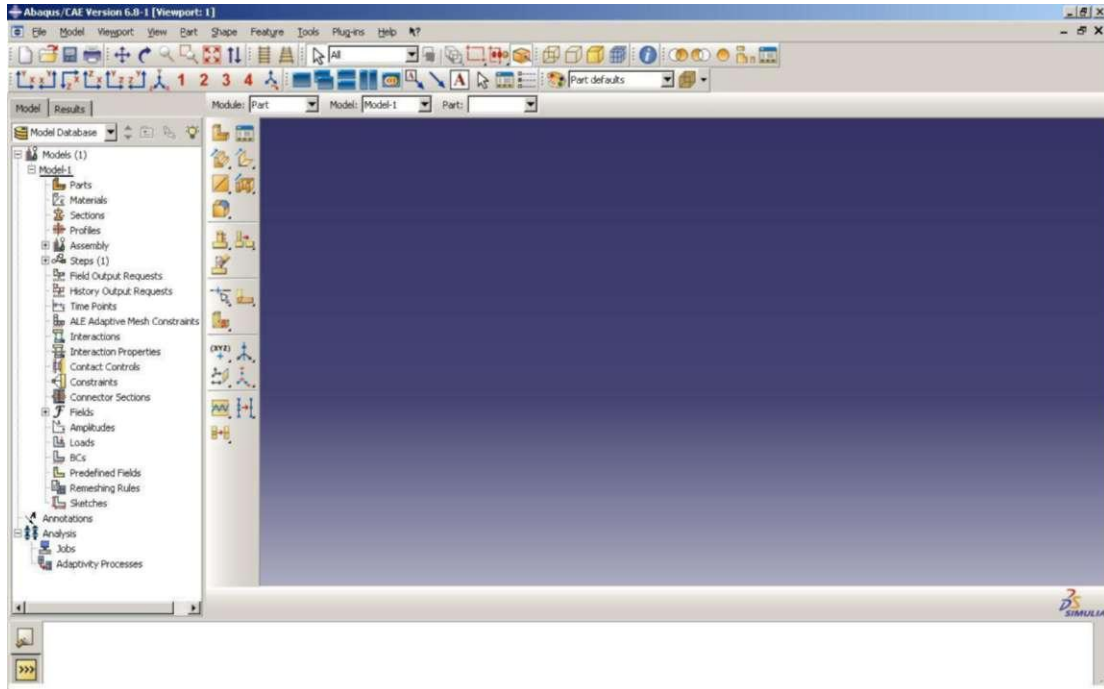


Şekil 5.31. Catia'da katı olarak çizilen prototiplerden biri

### 5.1.3. Modellemede Kullanılan CAE Yazılımı Abaqus

Abaqus, örtük (implicit) çözüm yöntemini kullanan genel amaçlı bir SE yazılımıdır. Doğrusal ve doğrusal olmayan statik, dinamik, ısı transferi, akustik ve bağlaşımlı (çift etkili: ısı-yapı, akustik-yapı gibi) mühendislik problemlerinin hızlı, kararlı ve güvenilir şekilde çözülmesinde kullanılır. Benzersiz çözümleme yeteneklerine, yüksek başarıma (performans) ve ayrıntılı kullanıcı kitaplarına sahiptir. Yüksek nitelikli ve "sınıfının en iyisi olmak" geliştirme görüşüyle geliştirilen Abaqus, birçok mühendislik çözümleri için en güçlü ve en güvenilir bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Birçok fiziksel problemin benzetiminde, yapısına ve değişen çalışma şartlarına göre farklı çözüm yöntemlerinin birlikte kullanılması gerekmektedir. Bu türden problemlerin çözümü, tek başına ne örtük (Implicit) ne de belirtik (Explicit) sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilebilmektedir. İki farklı çözüm yaklaşımının birlikte kullanılması gerekmektedir. Abaqus, her iki yaklaşımı da aynı kullanıcı ara

yüzü altında, aynı eleman ve malzeme modelleri ile birlikte kullanabilen kendi alanındaki tek sonlu elemanlar yazılımıdır. [6], [11]

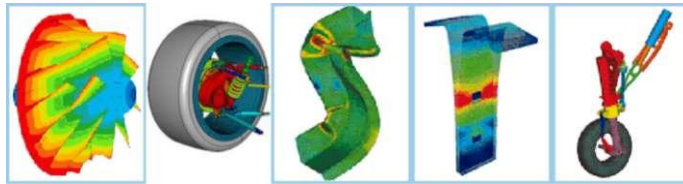


Şekil 5.32. Abaqus kullanıcı ara yüzü

Tek bir sonlu elemanlar yazılımı içerisinde, aynı elemanları ve malzeme modellerini kullanarak örtük (Implicit) ve belirtik (Explicit) yöntemle çözümleme yapmak mümkün olduğundan;

- Doğrusal ve doğrusal olmayan (non-linear) mukavemet çözümlenmeleri
- Doğrusal ve doğrusal olmayan (non-linear) dinamik çözümlenmeleri
- Doğal frekans çözümlenmeleri
- Doğrusal ve doğrusal olmayan burkulma (buckling) çözümlenmeleri
- İleri seviye dinamik cevap (dynamic response, frequency&transient response, random response, shock response) çözümlenmeleri
- Geostatik çözümlenmeler
- Isı transferi çözümlenmeleri
- Elektro-Mekanik
- Isıl-Mekanik
- Mekanizmaların benzetimleri ve uzuvlardaki gerilme değişimlerinin hesabı

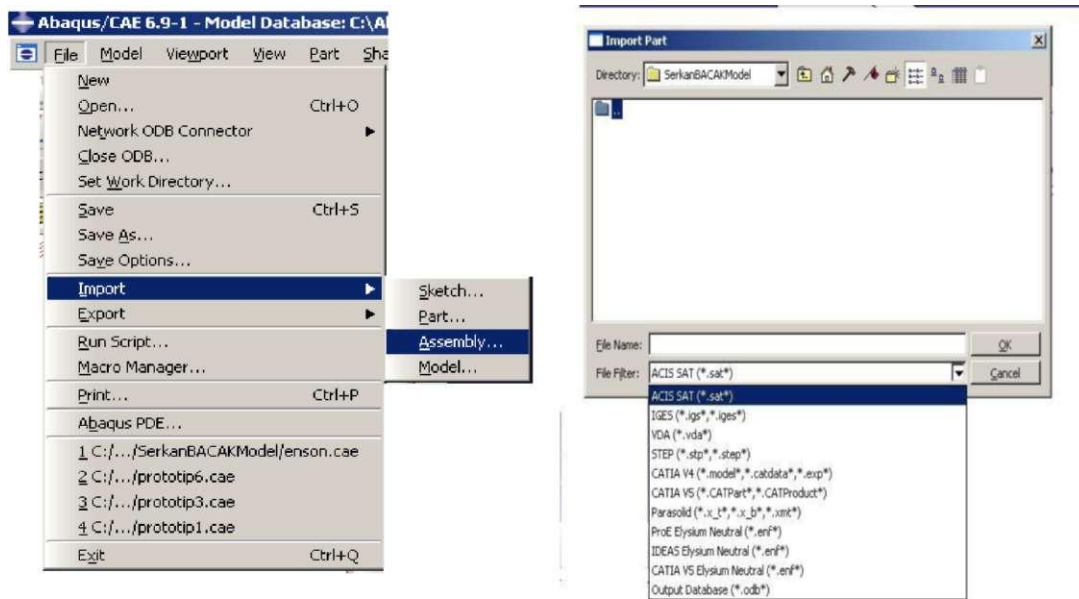
- Derin çekme ve geri yaylanma çözümlenmeleri
- Ürün şekillendirme ve haddeleme çözümlenmeleri
- SAPAT (Su Altı Patlama) ve Şok çözümlenmeleri
- Araç çarpışma ve devrilme benzetimleri
- vb. çözümlenmeler Abaqus ile yapılabilmektedir. [6]



Resim 5.33. Abaqus uygulamaları [6]

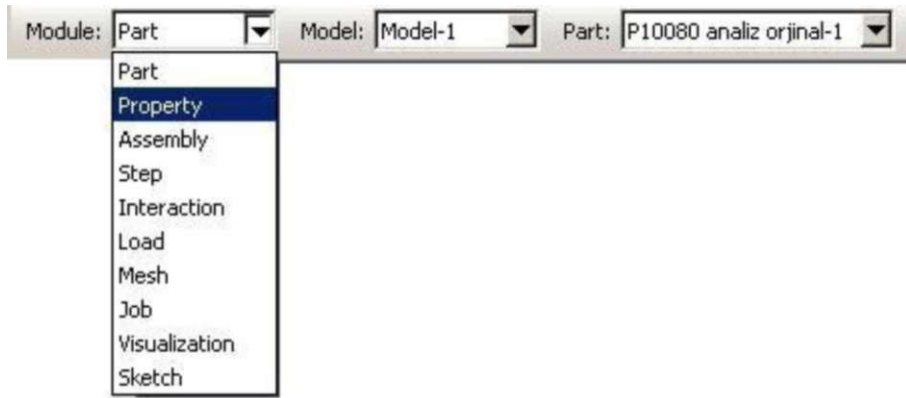
### 5.1.3.1. Abaqus programının kullanılması

Abaqus programında analiz yapabilmek için öncelikle analizini yapmak istediğimiz problemin modelini hazırlamamız gerekmektedir. Biz modelimizi CATIA da 3D (3 boyutlu) olarak hazırlamıştık. Bu modeli ABAQUS'e aktararak modelle ilgili gerekli tanımları yaparak modelimizin analiz işlemini gerçekleştirebiliriz. [11]



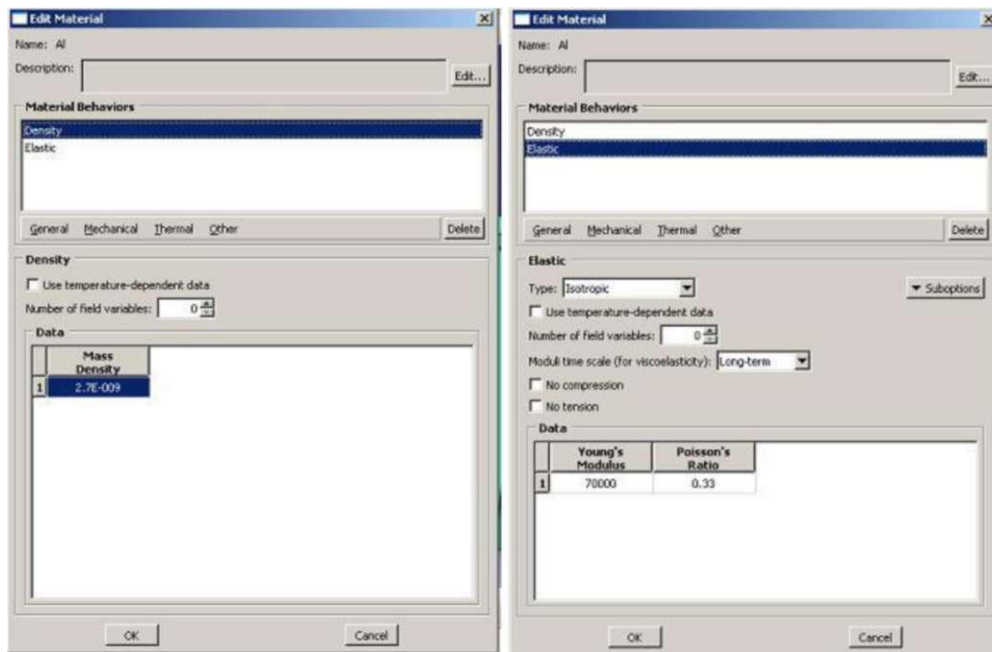
Şekil 5.34. Abaqus programına katı model aktarımı ve dosya türü seçimi

Abaqus programında üst araç çubuğunda sırasıyla file/import/assembly'yi tıklayarak açılacak menüde açmak istediğimiz datanın yerini ve türünü belirterek çözümünü yapmak istediğimiz problemin katı datasını abaqus içine atarız. Şekil 5.34.



Şekil 5.35. Özellikler bölümüne giriş

Program katı modeli dışarıdan aktarmayı bitirdiğinde; programın analizi gerçekleştirmesi için gerekli malzeme özelliklerini parçalara girmek için özellikler (Property) bölümüne geçeriz (Şekil 5.35). Burada programın kullanacağı malzemeyi ve bu malzemelerin özelliklerinin tanımlanmasıyla birlikte malzemelerin katı modeldeki parçalara atanması işlemleri gerçekleşir.



Şekil 5.36. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Bizim yapmış olduğumuz modellemeye ve buna bağlı analiz işleminde 2 metal kullanılmıştır. Bunlar 6000 serisi alüminyum ve 1010 serisi soğuk çekme demir olarak tanımlanabilir. Bu metallerin özellikleri sırasıyla:

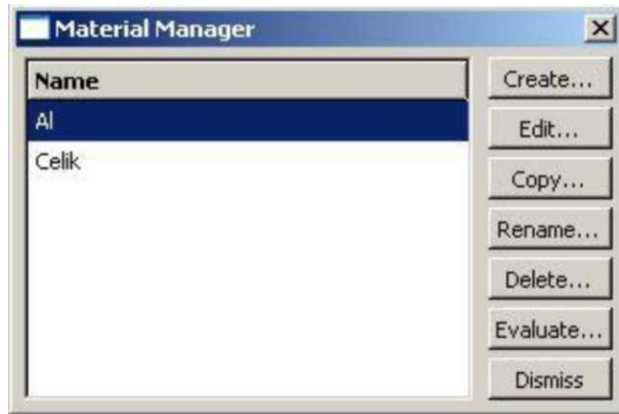
6000 serisi alüminyum

Özgül ağırlık : 2.7 gr/mm<sup>3</sup>  
Elastiklik modülü : 70 Gpa  
Poissons raito : 0.330

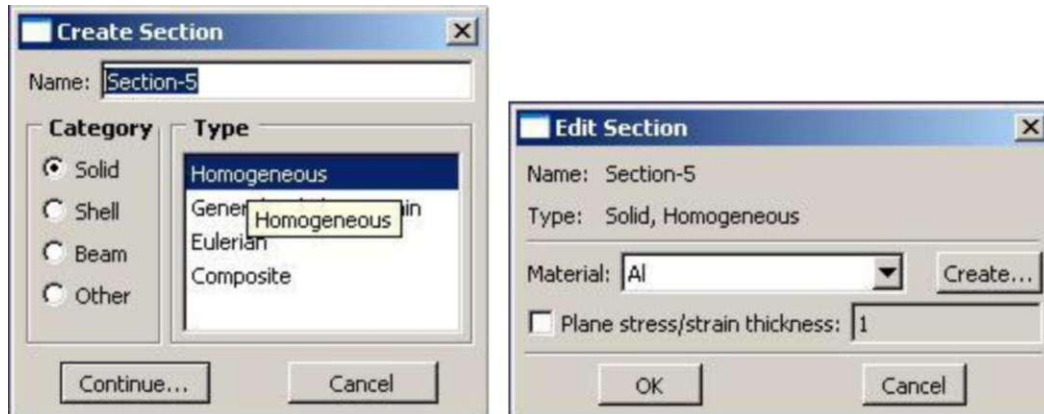
1010 Soğuk Çekme demir

Özgül ağırlık :7.87 gr/mm<sup>3</sup>  
Elastiklik modülü :205 Gpa  
Poissons ratio :0.290

Bu değer programda tanımlanarak programda bu iki metal oluşturulur (Şekil 5.37).



Şekil 5.37 Malzemelerin oluşturulduğu ve özelliklerinin kontrol edildiği bölüm

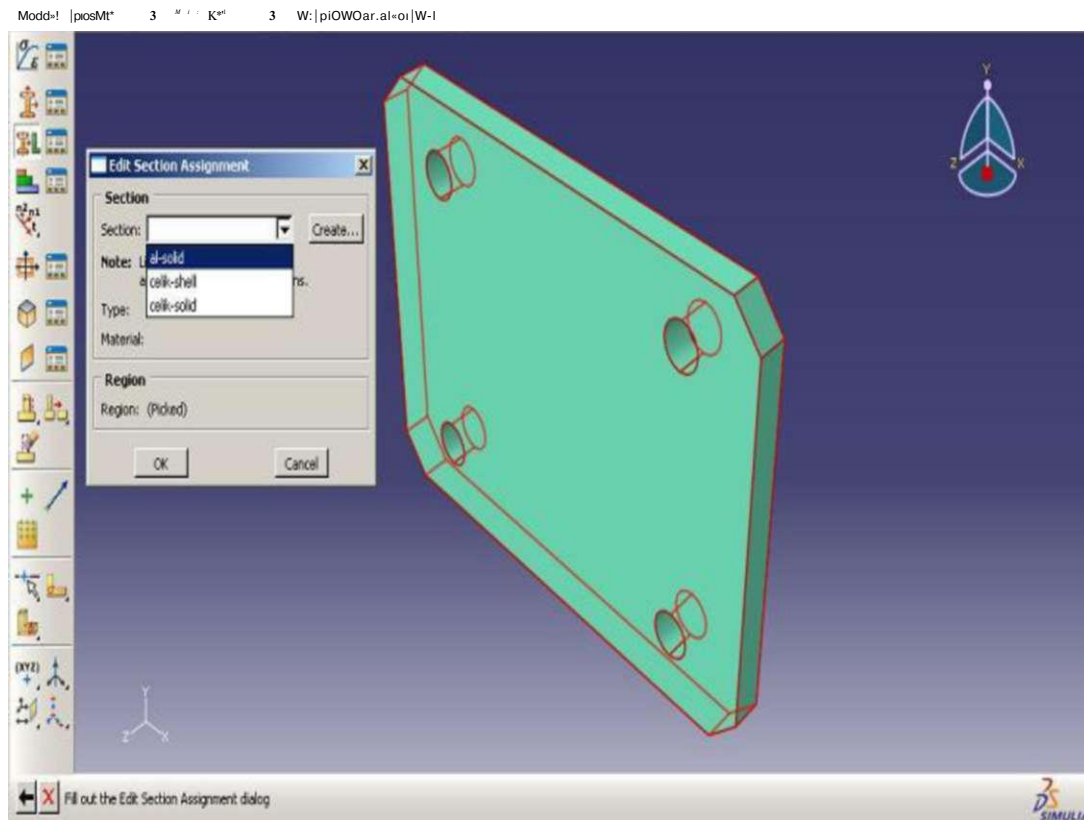


Şekil 5.38. Malzeme özelliği oluşturulması



Malzemeler oluşturulduktan sonra bu malzemelerin programın içine attığımız katı modelimize atanması işlemine geçilir. Bu işlemde ilk önce programın kullanmasını istediğimiz meshleme yöntemine uygun section seçmemiz gerekir. Oluşturulan katı modeldeki parçaların geometrik şekillerine ve bizim analiz sonunda istediğimiz sonuçları alabilmemiz ve inceleyebilmemiz için uygun sectionları oluşturmamız gerekir (Şekil 5.38).

Sectionların oluşturulmasından sonra bu sectionların katı modellere atanması işlemine geçilir. Bu işlem sırasında hangi malzeme ve section hangi modele ait olduğunun karıştırılmaması gerekir.



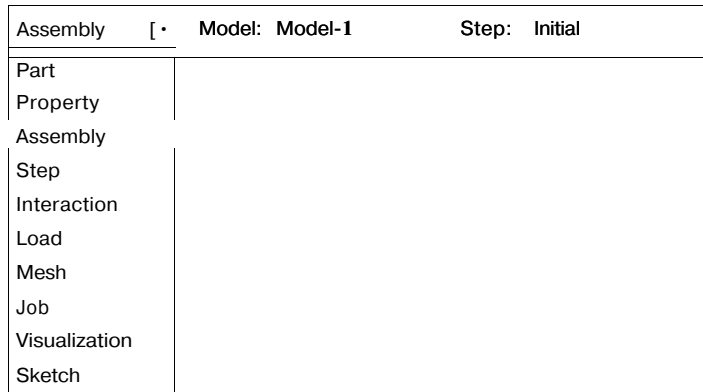
Şekil 5.39. Malzemelerin parçalara atanması

Ekranın solundaki araç çubuğundan Assign section aracı seçilir. Seçim yapıldıktan sonra bizden malzeme atayacağımız katı parçayı seçmemiz istenir. Malzeme atanacak parçayı seçip seçimi onayladıktan sonra açılan menüden hangi sectionun katı parçaya atanacağı seçerek seçimi onaylarız (Şekil 5.39).

Bu malzeme atama işlemini çözümünü yapmak istediğimiz katı modeldeki tüm parçalar için tek tek yapmamız gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta parça-malzeme eşleşmelerini karışmamızdır.

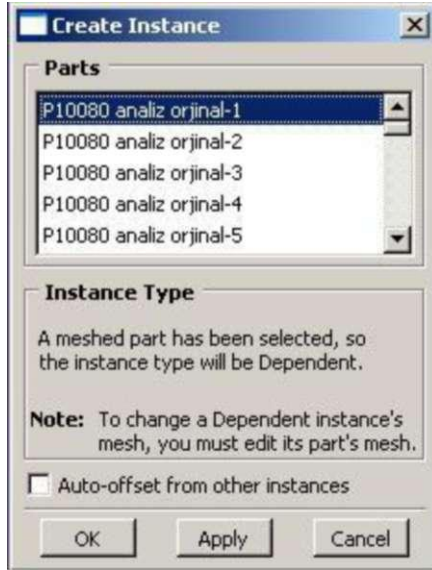
Malzeme atama işlemi bittikten sonra, abaqus içine attığımız modelin assembly kısmında montajının oluşturulmasına geçilir. Tek bir parçanın analizini yapacak dahi olacak olsak, tek parçayı da assembly bölümüne aktarmamız gerekmektedir. Bunun nedeni abaqus programının assembly bölümdeki modellerin analizi yapmasıdır. Bu bölüme eklenen parçalar analizde yer alır. Bu bölümden çıkarılan parçalar tüm özellikleri ve meshlemeleri yapılsa dahi analizde yer almaz.

Montaj (Assembly) bölümüne geçmek için ekranın üstündeki araç çubuğundan assembly yazısı seçilir (Şekil 5.40).

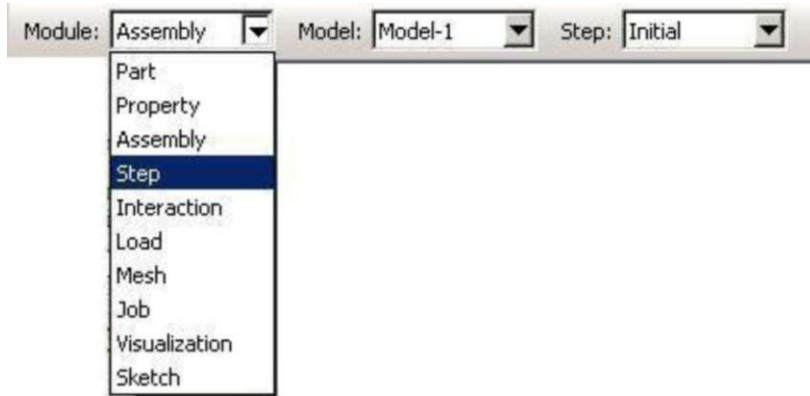


Şekil 5.40. Montaj bölümüne geçiş

Montaj bölümüne geçildikten sonra modeli oluşturan parçaların bu bölüme atılmasına geçilir. Bu işlem için assembly bölümündeki ekranın solundaki araç çubuğundan crate instance seçilir. Açılan pencerede parça isimlerinden eklenecek parçalar seçilerek seçim onaylanır. Seçilen parça seçildiği an ekrandaki yerini alır. Buna bakılarak doğru parça seçilip seçilmediği anlaşılabilir. Şekil 5.41. Parçaların assembly ye aktarılmasından sonra modelimizin geometrisi doğru değilse eğer modeldeki parçaların yerlerinin değiştirilmesi ve düzenlenmesi için ekranın en üstündeki menüden Instance ve Constraint menüleri kullanılabilir.

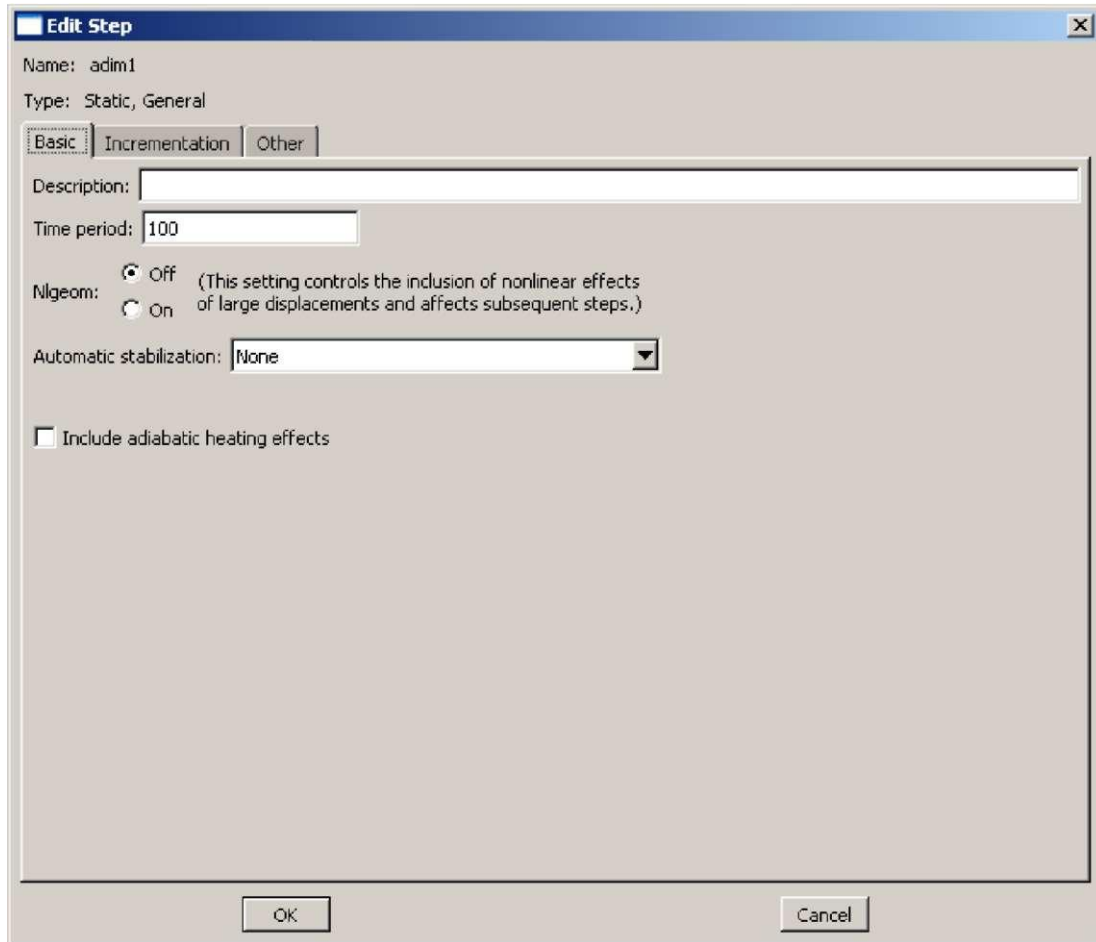


Şekil 5.41 Montaj bölümüne parça aktarılması

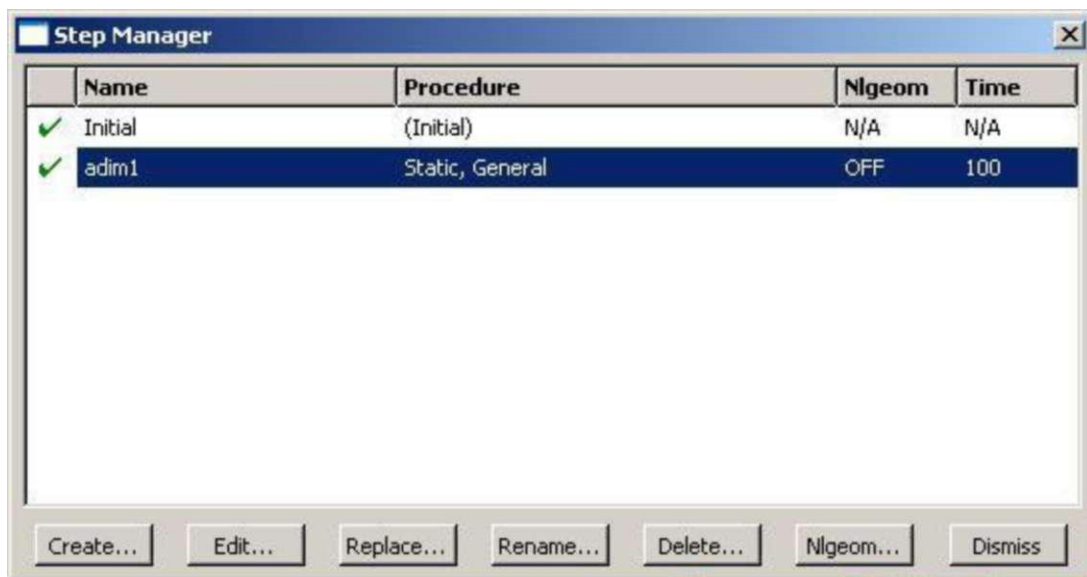


Şekil 5.42. Adım oluşturma bölümüne geçiş

Montaj (Assembly) bölümünde işimiz bittikten sonra step bölümüne geçeriz (Şekil 5.42). Bu bölümde analizin çözüm aşamalarıyla ilgili programın ihtiyaç duyduğu bilgileri programa gireriz. Çözümün zaman aralığı, kaç adımda çözüme ulaşılacağı gibi bilgiler burada programa girilir. Program bu değerlerin içinde analizin çözümünü arar. Bu değerler içinde her hangi bir çözüme ulaşamazsa programa uyarı vererek değerleri değiştirmemizi ister (Şekil 5.43).



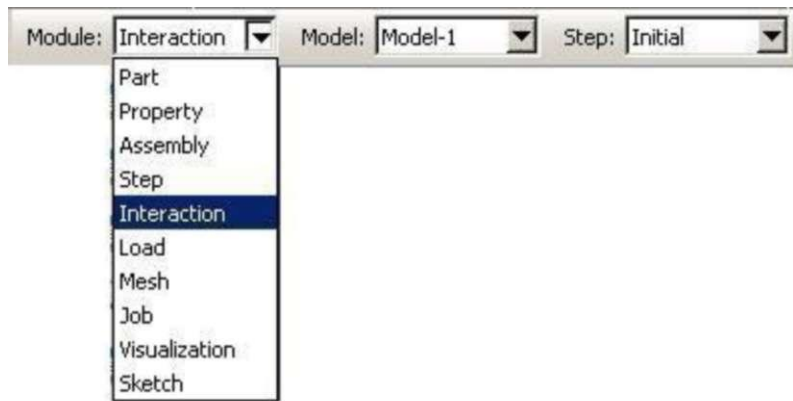
Şekil 5.43. Adım oluşturma değerlerinin programa girilmesi



Şekil 5.44. Adım yönetimi

Çözümünü yapacağımız modele ve istediğimiz sonuca bakılarak birden fazla step tanımlanabilir. Bunun için adım yönetim bölümü kullanılır (Şekil 5.44).

Step bölümünde işlemiz bittikten sonra etkileşim (Interaction) bölümüne geçeriz. Bu bölümde genel olarak modelimizin parçaları arasındaki bağlantıları tanımlarız (Şekil 5.45).



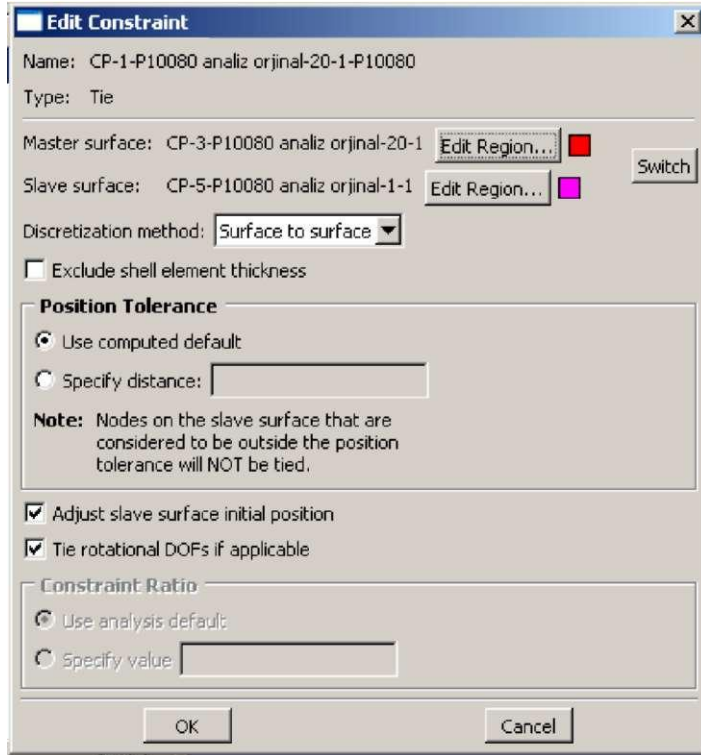
Şekil 5.45. Etkileşim bölümüne geçiş

Bu bölümde montajda kullanılan parçalar için gerekli bağlantıları tanımlamak için ekranın solundaki menüden sınırlama oluşturma (Create Constraint) aracı seçilir. (Şekil 5.46).



Şekil 5.46. Sınırlama oluşturma menüsü

Açılan menüden montajda kullanılan parçaların bağlantı şekline göre en uygun olan seçenek seçilir. Daha sonra bağlantı yapılacak parçaların bağlanacak yüzeyleri sırasıyla seçilir. Bağlantının özellikleri tanımlandıktan sonra bağlantı işlemi tamamlanır (Şekil 5.47).



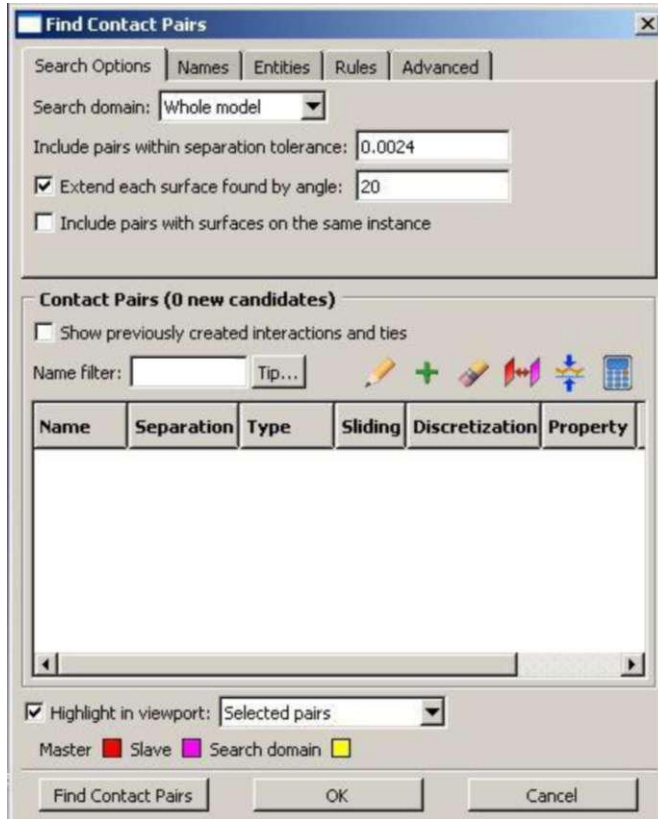
Şekil 5.47. Sınırlama özelliklerinin girildiği menü

Name	Type
CP-152-P10080 analiz o	jinal-61- -P100 Tie
CP-183-P10080 analiz o	jinal-61- -P100 Tie
y CP-184-P10080 analiz o	jinal-61- -P100 Tie
CP-185-P10080 analiz o	jinal-61- -P100 Tie
CP-186-P10080 analiz o	jinal-61- -P100 Tie
CP-187-P10080 analiz o	jinal-61- -P100 Tie
CP-188-P10080 analiz o	jinal-69- -P100 Tie
y CP-189-P10080 analiz o	jinal-69- -P100 Tie
v CP-190-P10080 analiz o	jinal-70- -P100 Tie
y Constraint-1	Coupling
y Constraint-181	Equation
y Constraint-182	Equation
Constraint-183	Equation
y Constraint-184	Equation
y Constraint-185	Equation
Constraint-186	Equation

i > r

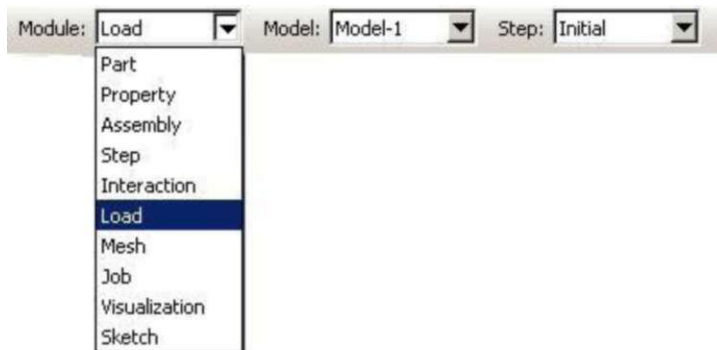
Create... | Edit... | Copy... | Rename... | Delete... | Dismiss

Şekil 5.48. Sınırlama yönetimi ile tüm sınırlamaların düzenlendiği bölüm



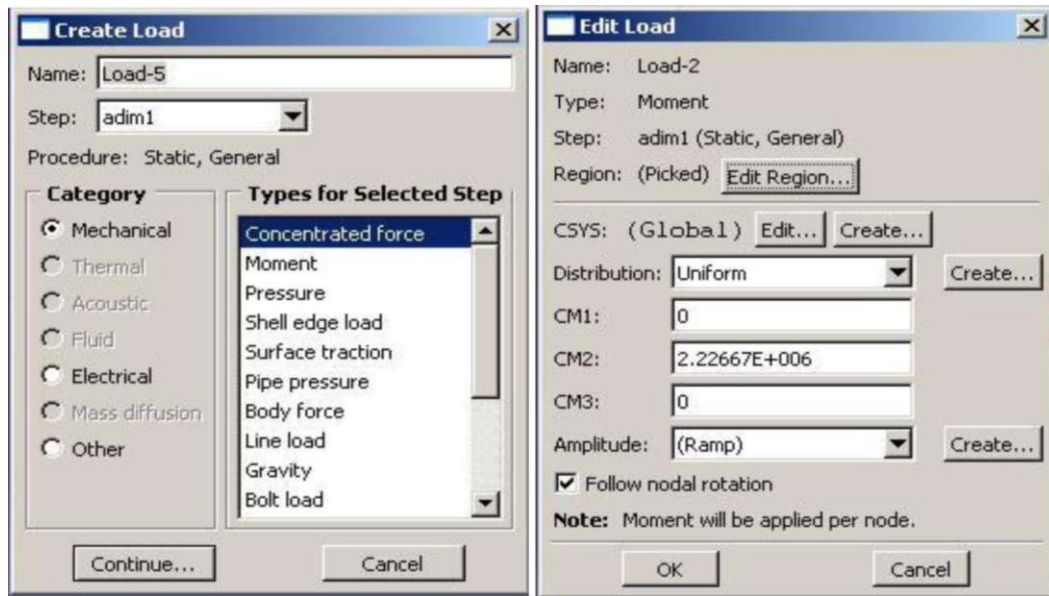
Şekil 5.49. Sınırlamaların otomatik bulunması

Bu yöntem dışında tüm çakışmaları bulan find contact pairs menüsü de kullanılarak constraintler tanımlanabilir (Şekil 5.49). Bu menü montajımızda oluşan tüm çakışmaları bulur ve bize gösterir. Bizim bağlantının özelliklerimizi seçmemize izin vererek bağlantıları oluşturur. Karmaşık montajların bağlantılarının oluşturulmasında büyük kolaylık sağlar.

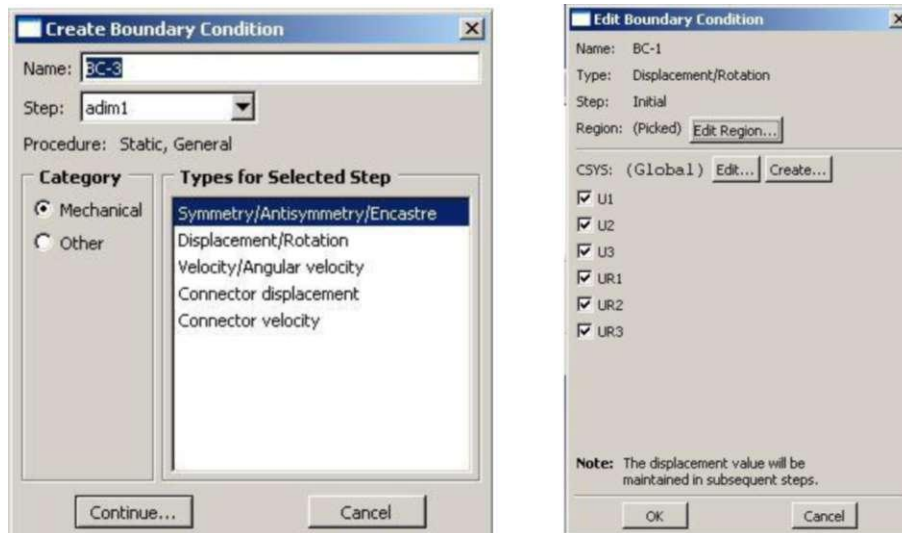


Şekil 5.50. Yükleme bölümüne geçiş

Etkileşim bölümünden sonra Load bölümüne geçilir (Şekil 5.50). Bu bölümde modelimizi etkileyen kuvvetler, kuvvetlerin değerleri, yönleri, sabitleme noktaları, sabitleme dereceleri vb... değerler tanımlanır. Bu işlem için ekranın solundaki araç çubuğu kullanılır. Bu araç çubuğundan sabitleme veya yükleme için gerekli araç seçilir. Daha sonra yükleme yâda sabitleme yapacağımız yüzey seçilir. Seçim onaylandıktan sonra çıkan menüden sabitleme veya yükleme ile ilgili değerler girilir ve onaylanır (Şekil 5.51, Şekil 5.52).



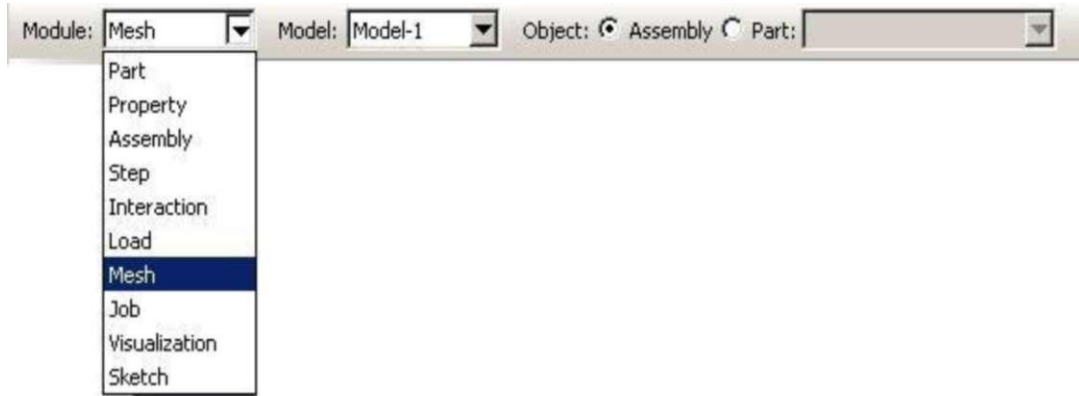
Şekil 5.51. Yükleme çeşitleri ve yükleme menüsü



Şekil 5.52. Sabitleme menüsü, sabitleme çeşitleri ve sabitlemelerden birinin menüsü



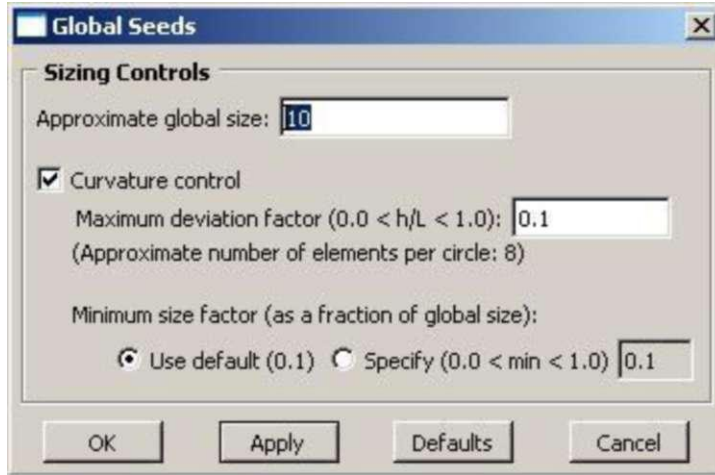
Yükleme (Load) menüsünde modele yüklenen kuvvetler arasında alçak basınç türbininin ağırlığı ve bu ağırlıktan ileri gelen moment mevcuttur. Alçak basınç türbini ağırlığı 582 kg'dır. Bu ağırlığı programın kullanacağı şekilde çevirecek olursak bu değer 5709.42 N olur. Bu değer modele uygulanacak değer olarak programa girilir (Şekil 5.51).



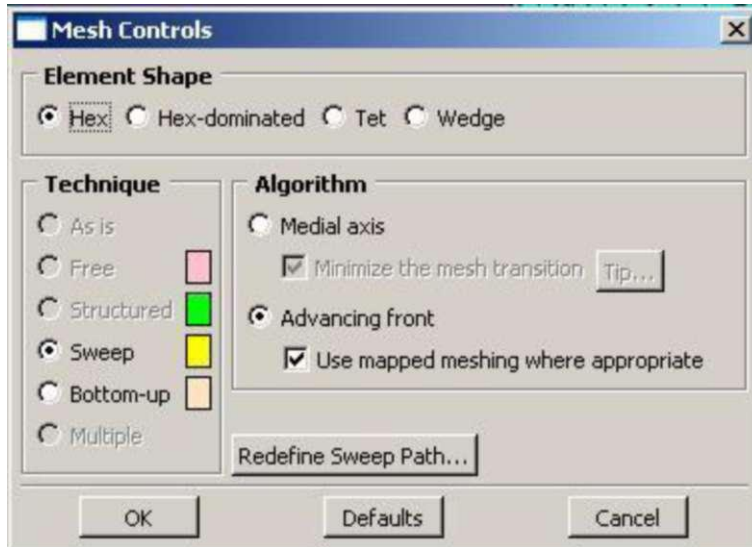
Şekil 5.53. Mesh bölümüne geçiş

Yükleme bölümünde yüklemeleri yaptıktan sonra analiz için önemli olan mesh bölümüne geçeriz (Şekil 5.53). Bu bölümde modelimizdeki tüm parçaları mesh yaparak programın analiz işleminde kullanacağı duruma getirmemiz gerekmektedir. Bu işlem için Abaqus dışında çalışan bir çık program bulunmaktadır. Mesh işlemi çok önemli bir işlemdir ve analizin kalbini oluşturuyor diyebiliriz. Oluşturduğumuz parçaların meshleri direkt olarak çözümü ve sonucu etkiler. Mesh genel olarak montajdaki parçaların daha ufak parçacıklara ayrılması olarak tanımlanabilir. Bunun amacı modelimize etki eden kuvvetlerin modeldeki bütün parçaları nasıl ve ne kadar etkilediğini görebilmemizi sağlamak ve programın analiz işlemini çözmesi için yardımcı olmaktır. Mesh işlemini modelimizi oluşturan tüm parçalar için ayrı ayrı yapmamız gerekir. Mesh işlemi yaparken dikkat etmemiz gereken bir husus ise malzeme tanımlama işlemi esnasında yaptığımız sectionlara uygun meshleme işlemi yapmaktır. Mesh işlemi yapmak için ekranın solundaki menüleri kullanarak sırayla parçalara malzemelerine göre özelliklerini tanımlamamız gerekir.

İlk olarak genel değerler (Global seeds) bölümünden modeldeki parçanın meshin oluşturacak parçacıkların boyutları seçilir (Şekil 5.54).



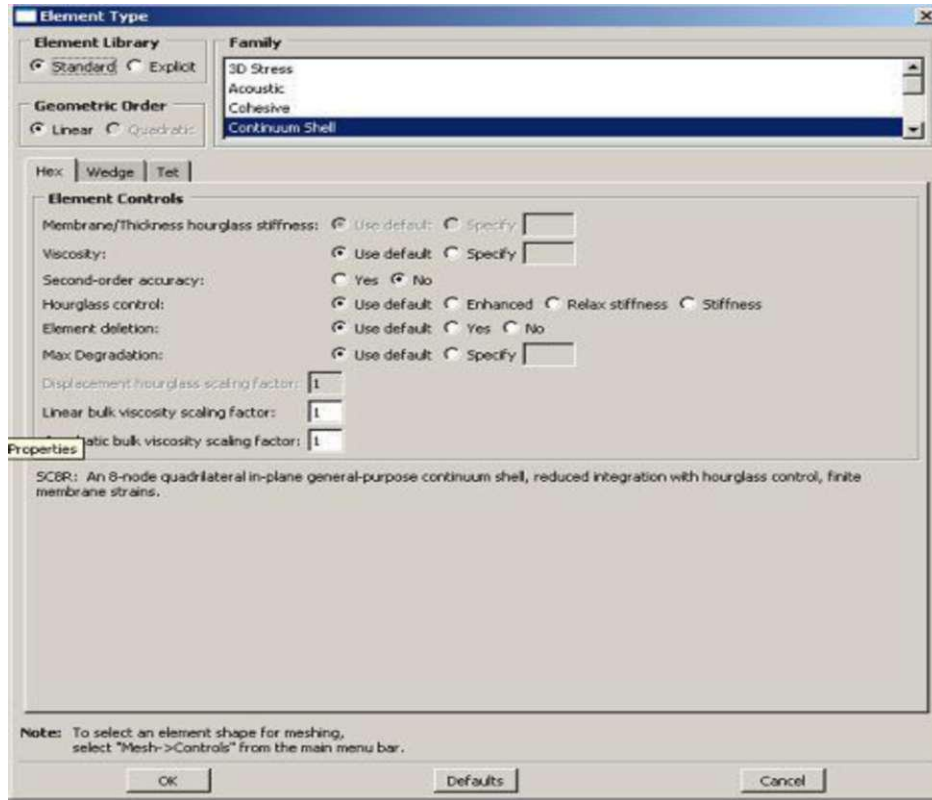
Şekil 5.54. Genel değerler menüsünden parçacık boyutunun girilmesi



Şekil 5.55. Mesh kontrol ile parçanın mesh şeklinin seçimi

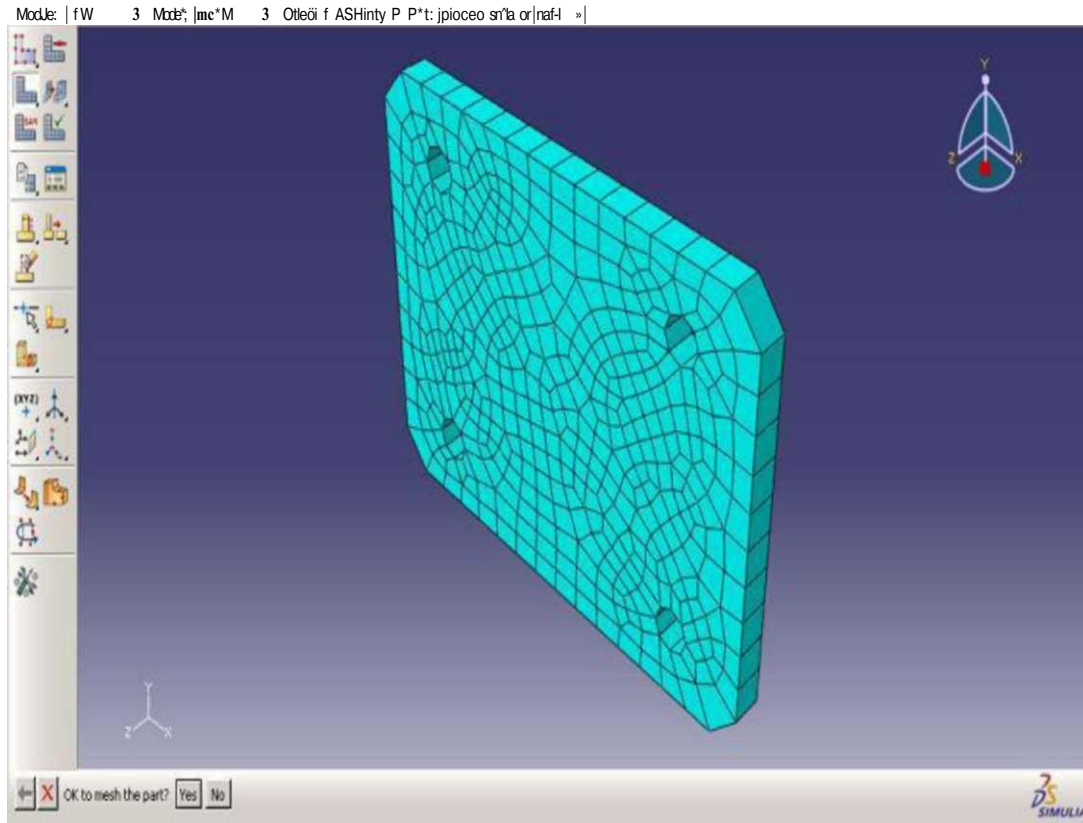
Mesh kontrol seçimi ile parçanın mesh yöntemi ve meshlerin geometrik şekilleri ve mesh parçacıklarının özellikleri belirlenir (Şekil 5.55).

Daha sonra element şekli aracı seçilir. Bu araç malzeme tanımlamada kullanılan section ile aynı özellikleri taşır ve mesh parçacıklarına, modeldeki parçaya atanan malzeme özelliklerini atamak için kullanılır (Şekil 5.56).



Şekil 5.56. Element şekli ve meshin element özelliklerinin seçimi

Bütün bu seçimler yapıldıktan sonra programın seçilen parçayı meshleme işlemini yapması için sol menüden mesh parça aracı seçilir ve ekranın altından onaylanarak meshleme işlemi yapılır (Şekil 5.57). Bu meshleme işlemi bütün parçalar için tek tek yapılır. Burada önemli olan ve dikkat edilmesi gereken önemli husus malzeme atama işlemi esnasında yapılan section ile meshleme işlemi esnasında seçilen element tipi menüsündeki özelliklerin aynı olmasıdır. Bu özellikler doğru olmaz ise program çözüm işlemi esnasında hata vererek bizi uyarır. Mesh büyüklükleriyle ilgili olarak mesh parçacıklarının değerlerini ne kadar ufak yaparsak parçanın mesh sayısı o kadar artar. Bu da çözümün daha hassa olması sağlar; fakat çözülecek denklemlerin artmasından dolayı çözüm işleminin de uzamamasını sağlar. Uygun mesh büyüklüğünün seçilmesine dikkat edilmesi gerekir.

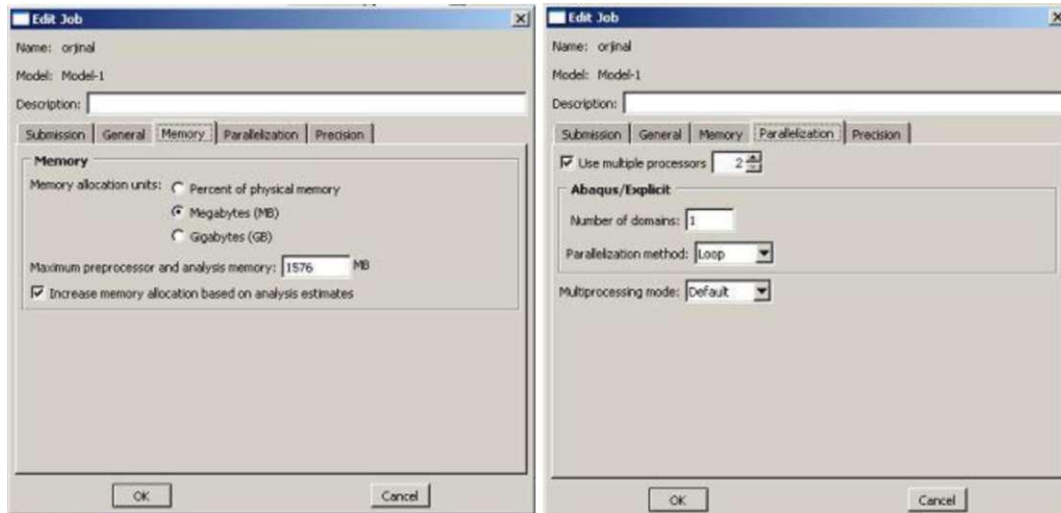


Şekil 5.57. Meshleme işlemi ve meshlenmiş parça

Mesh bölümünden sonra çözümün yapılacağı bölüm olan iş (Job) bölümüne geçilir. Şekil 5.58. Bu bölümde bir iş belirleyerek çözüm işlemi yapılır. İş belirlenirken bilgisayarın işlemi çözmesi için gerekli olan özellikleri programa girilir. İşlemci sayısı, RAM'in ne kadarının kullanılacağı vb özellikler belirtilerek analizin çözüm süresi kısaltılarak daha sağlıklı bir sonuç elde edilmesi sağlanır (Şekil 5.59).

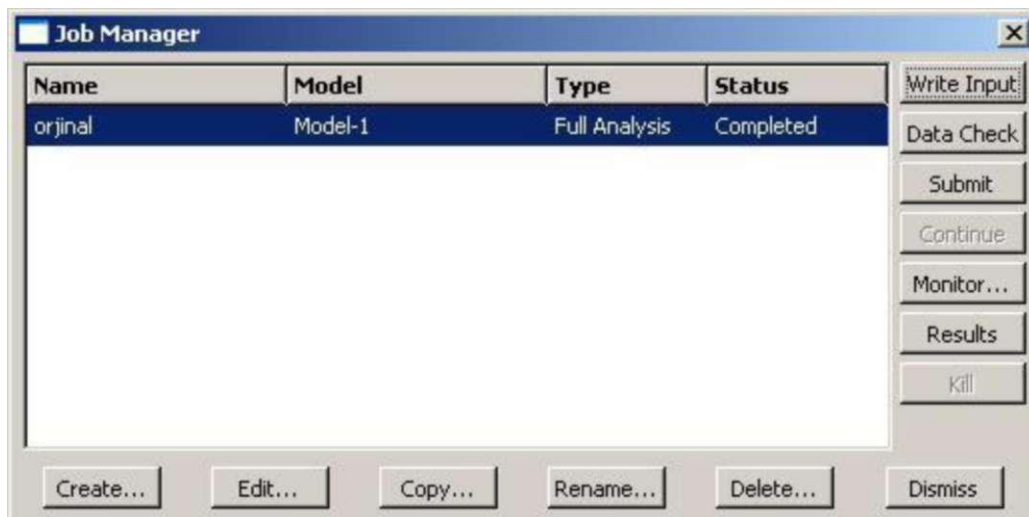
Job	F	Model:  Model-I	H	Step:  lInitial	<b>zi</b>
Part					
Property					
Assembly					
Step					
Interaction					
Load					
Mesh					
Job					
Visualization					
Sketch					

Şekil 5.58. İş bölümüne geçiş



Şekil 5.59. İş menüsü ve analiz için gereken bilgilerin girilmesi

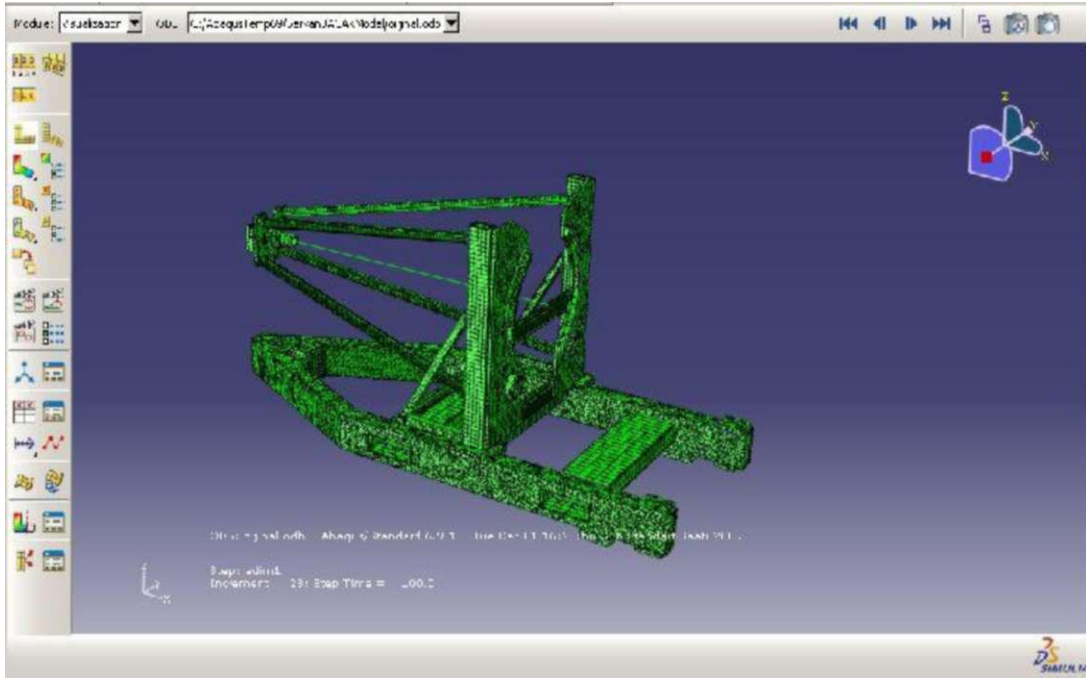
İş tanımlandıktan sonra çözüm işlemin yapılması için iş yönetimi (job manager) açılır. Daha sonra buradan çözüm (submit) butonu tıklanarak çözüm işlemi başlatılır. Yapılan analiz işlemine bakılarak çözüm işlemi dakikalar yâda saatler alabilir (Şekil 5.60).



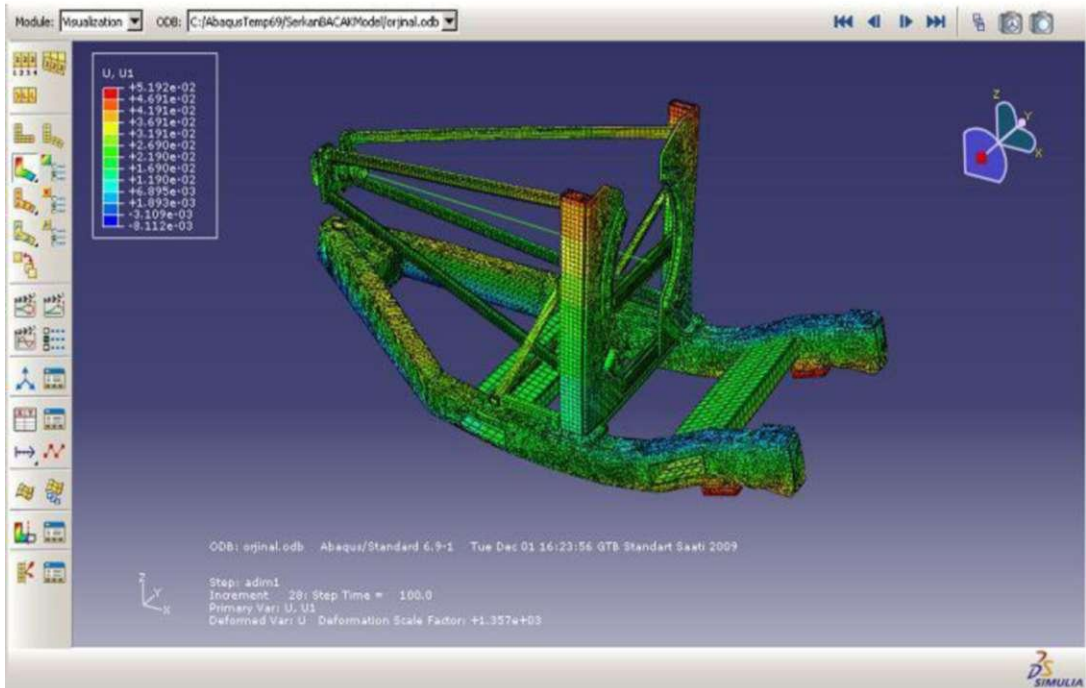
Şekil 5.60. İş yönetimi

Çözüm işlemi yapıldıktan sonra job manager menüsünden sonuçlar (Results) tıklanarak çözüm menüsü olan görüntüleme (Visualization) menüsüne geçilir. Buradan analiz işle ilgili sonuçlar istenilirse tablo olarak istenirse görsel olarak çıktı

elde edilir. Bu veri çıktılarını elde etmek için ekranın solundaki araç çubukları ve ekranın en üstündeki menü kullanılır.



Şekil 5.61. Analiz sonucu ekranı



Şekil 5.62. Analiz sonuçlarından biri

## 5.2. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal çözümlerin elde edilmesi

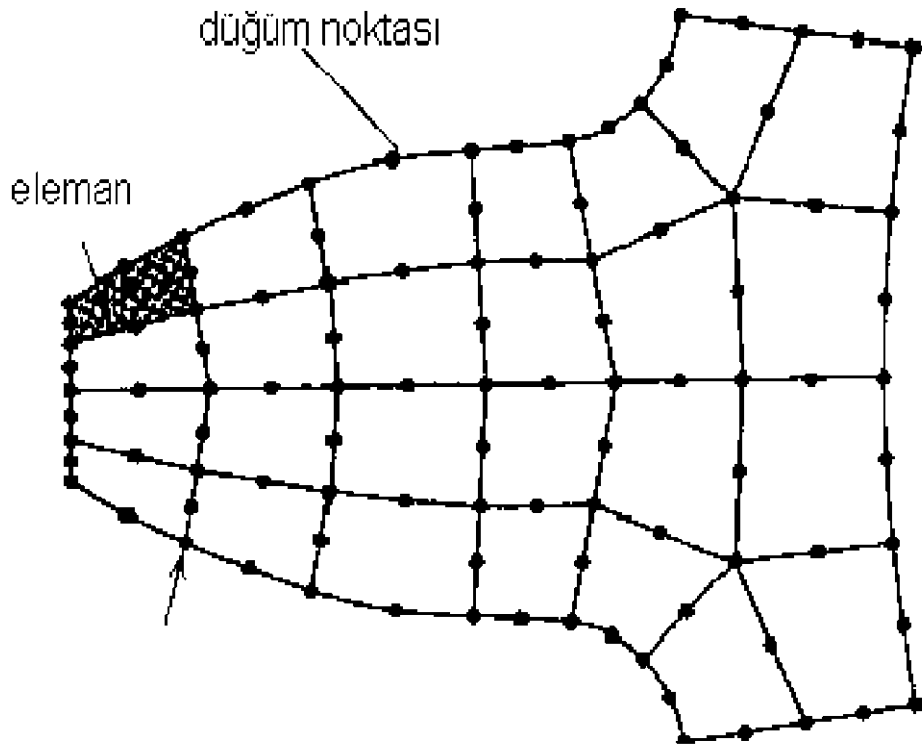
Bölüm 4.3.'de belirtilen kriterler çerçevelerinde tasarımları CAD programı Catia'da yapılan prototipler Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapısal çözümleri elde edilmek için Abaqus (sonlu elemanlar programı) programına aktarılır. Programda gerekli yüklemeler ve sabitlemeler yapılarak her prototip için modeller oluşturulur ve her model için çözüm gerçekleştirilir.

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlandı. İlk çalışmalar yarı analitik analiz metotlarıdır. İlk olarak virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirilmiştir. Önce bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa 1960 yılında çalışmalarda telâffuz edilmiştir. Metodun üç- boyutlu problemlere uygulanması iki-boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleşmiştir. [7]

İlk gerçek kabuk elemanlar aksenal simetrik elemanlar olup, bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir. Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında non-lineer problemlerle ilgilenmeye başladılar. Araştırmacılar geometrik olarak non-lineer problemler için bir çözüm tekniği geliştirdi. Sonlu elemanlar metoduyla stabilite analizi ise ilk olarak 1965 yılında tartışılmıştır. Statik problemlerin yanı sıra dinamik problemlerde sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlandı. 1943 yılında bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanılarak bir burulma problemi için çözüm üretilmiştir. [7]

Yapı alanı dışındaki problemlerin sonlu elemanlar metoduyla çözümü 1960 'lı yıllarda başlamıştır. 1965 yılında sonlu elemanlar metodu ile Poisson denklemini çözmüştür. 1970 yılında ise bu metod potansiyel akışa uygulamıştır. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer birçok alana uygulanmaktadır. [7] Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlandı. 1990 yıllarının ortaları itibarıyla sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40.000 makale ve kitap yayınlanmıştır. [7]

Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akısı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir öneme sahiptir. [7],[8]



Şekil 5.63. Bir sonlu eleman modelinde nod noktaları ve elemanlar



Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler (Şekil 5.63). Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Sonlu elemanlar metodunda temel fikir sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın nodlarındaki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur.

Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler nodlardaki değerlerdir. Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi) kullanılarak büyüklük alanının nodlardaki değerleri için bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının matris formundaki gösterimi

$$[K] \cdot [D] = [R]$$

şeklindedir. Burada  $[D]$  büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör,  $[R]$  bilinen yük vektörü ve  $[K]$  ise bilinen sabitler matrisidir. Gerilme analizinde  $[K]$  rijitlik matrisi olarak bilinmektedir.

## **BOLUM 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

Bölüm 5'de bahsedilen kriterlere uygun tasarlanmış olan prototiplerin avantajlı ve dezavantajlı yönleri ile kıyaslanması amacı ile prototipler ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış çözümler burada verilmiştir. Bu sonuçlara göre taşıma aracı için en uygun ve en ekonomik tasarımın hangisi olduğuna karar verebiliriz.

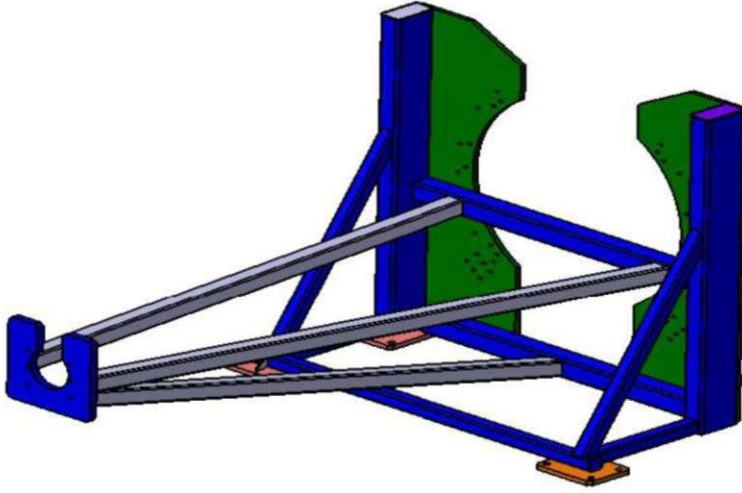
Prototiplerin tasarımın esnasında imal edilebilirlik, ekonomik olması, kullanışlı olması ve bakım işlemini en hızlı şekilde yapılmasını olanak sağlayacak şekilde olmasına dikkat edilmiş ve bu imkânları sağlayacak prototipler tasarlanmıştır.

### **6.1. Prototipler**

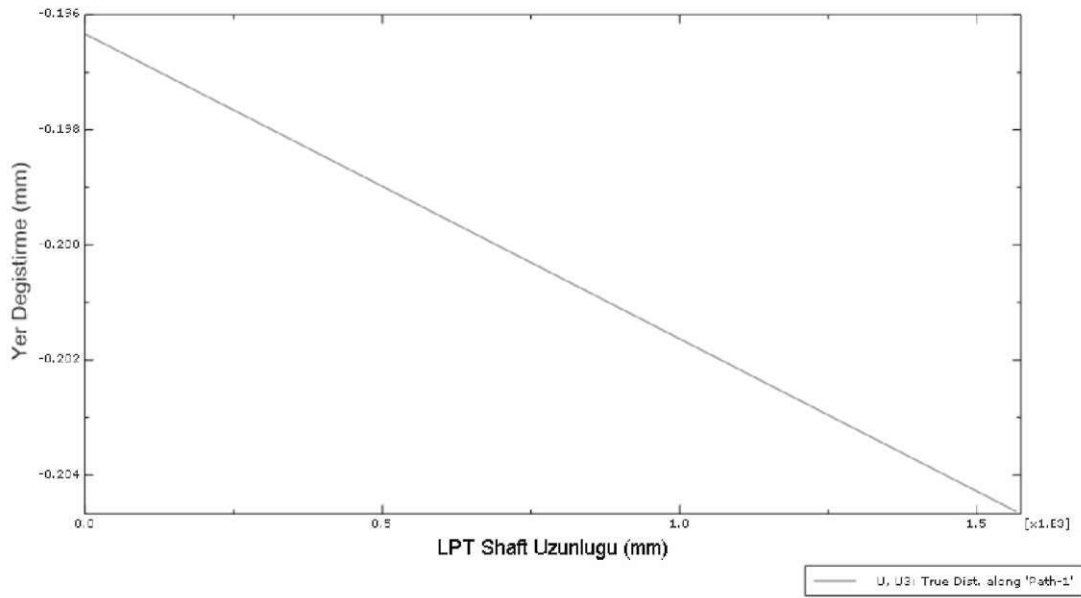
Sırasıyla prototipler ve sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilmiş sonuçları vererek prototipler hakkında bilgiler verebiliriz.

#### **6.1.1. Prototip 1**

40X40 kutu profilden ( Et kalınlığı 3 mm ) 3 ana dirsek ile LPT milin desteklenmesini sağlayan prototiptir. 2 profil ortada bulunan profile bağlanarak mili desteklemesi düşünülmüştür. Alta bulunan diğer profil ile ise ağırlığın dengelenerek LPT milinin eğilmesi engellenmeye çalışılmıştır. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.1. Prototip 1



Şekil 6.2. LPT mili eğilmesi

Şekil 6.2.'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek

$$\tan \theta = (u_1 - u_2) / dx$$

Formülünü uygulamamız gerekir. Formülde  $u_1$  ve  $u_2$  milin iki ucundaki yer değiştirme değerleridir.  $dx$  ise milin uzunluğudur. Şekilden çıkan değerleri uygulayacak olursak

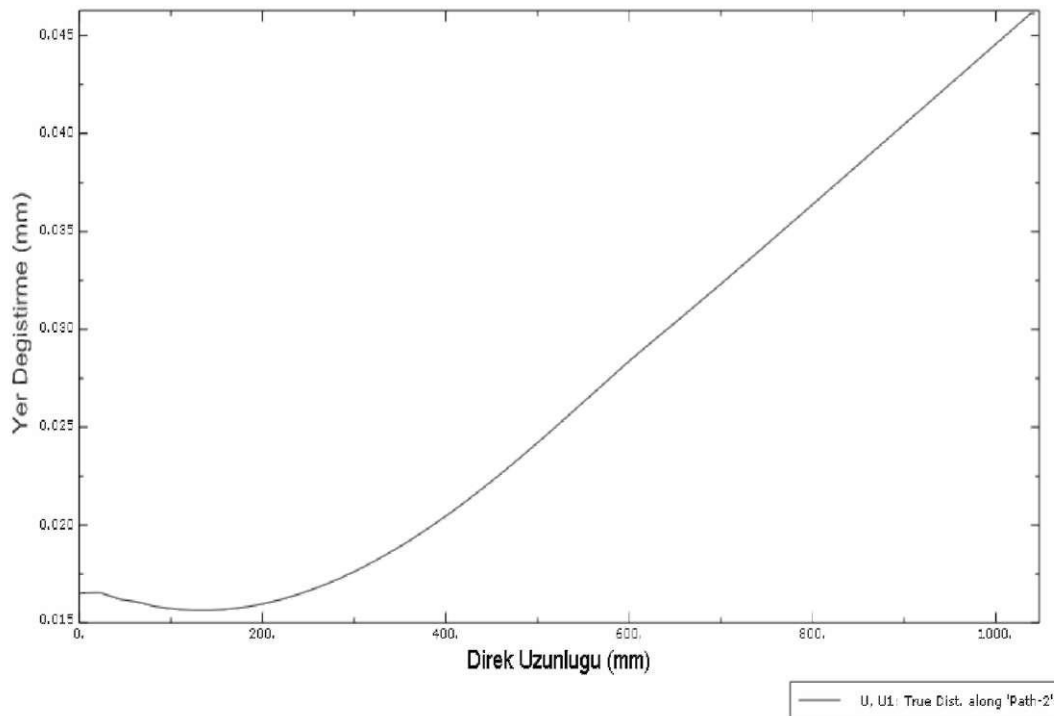
$$\tan \theta = (0.204 - 0.196) / 1500$$

$\tan \theta = 0.0000000931$  değeri bulunur. Bu değer  $9.31 \times 10^{-8}^\circ$  dir.

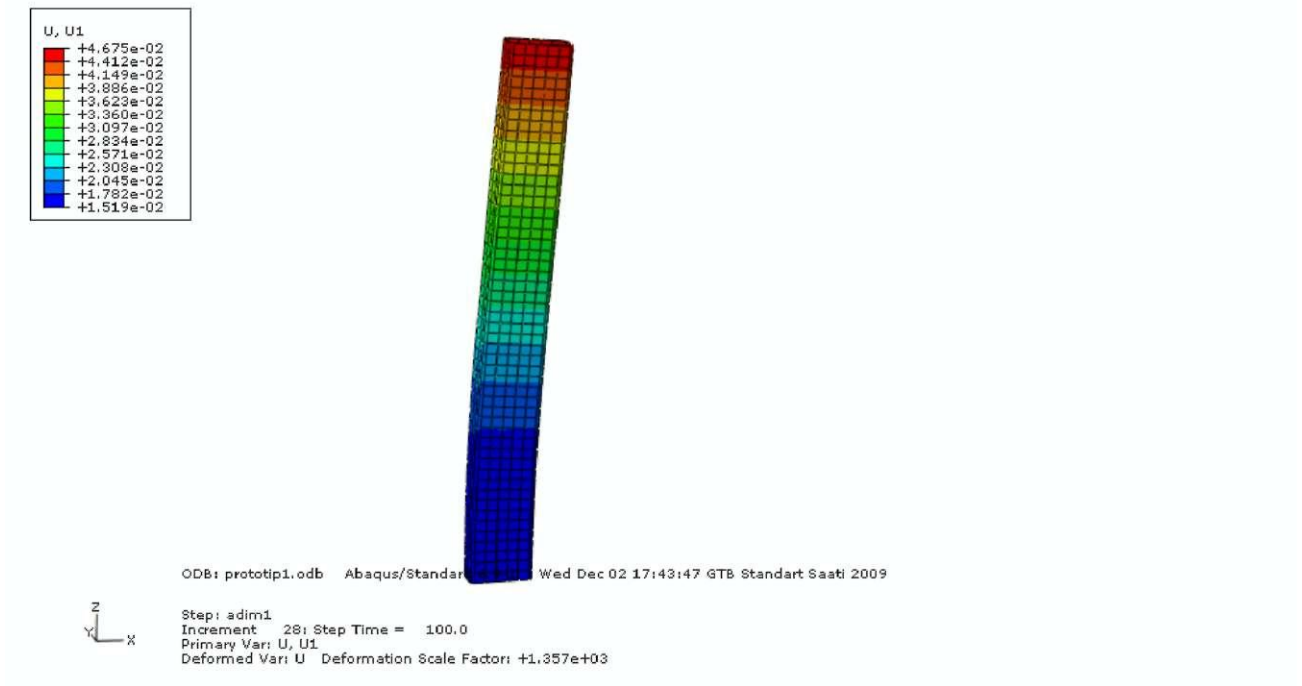
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.3).

$$\tan \theta = (0.045 - 0.015) / 1000$$

$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7}^\circ$  değeri bulunur.

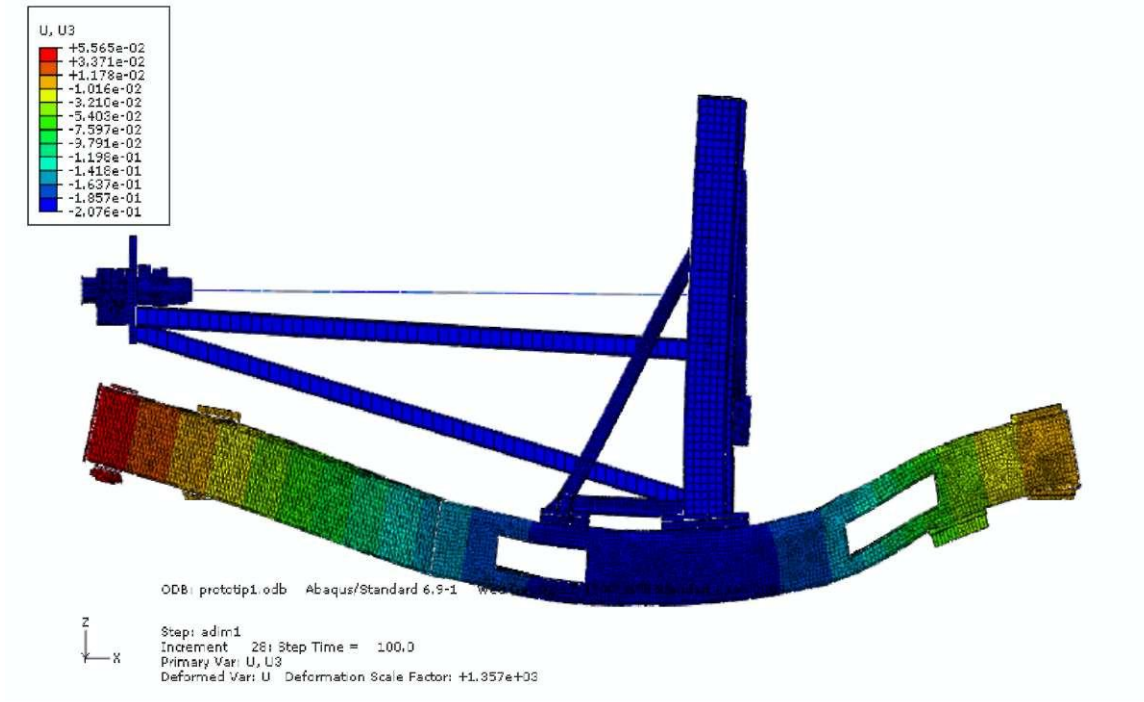


Şekil 6.3. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.4. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değıştirmesi

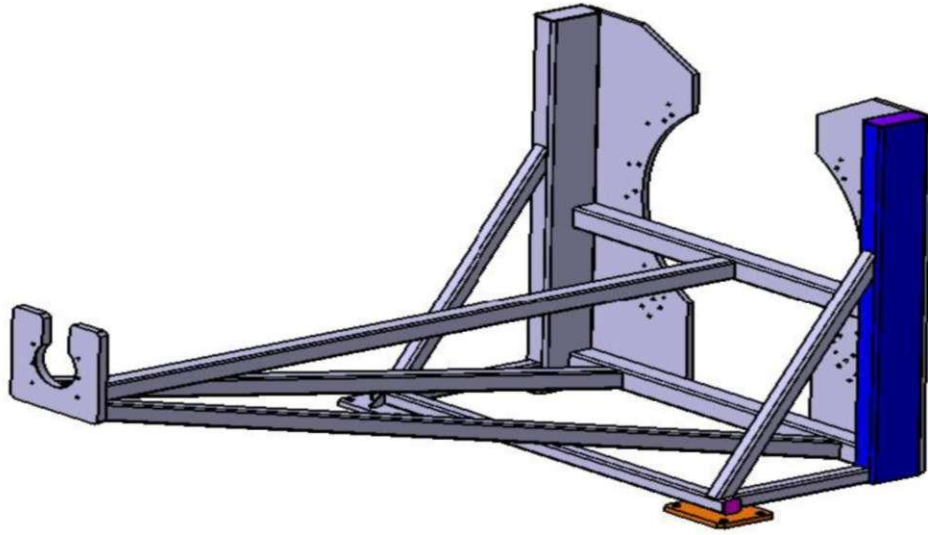
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.5'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değıştirme  $2.076 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değıştirme gözlenir. Öndeki yer değıştirme  $5.565 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değıştirme ise  $1.178 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



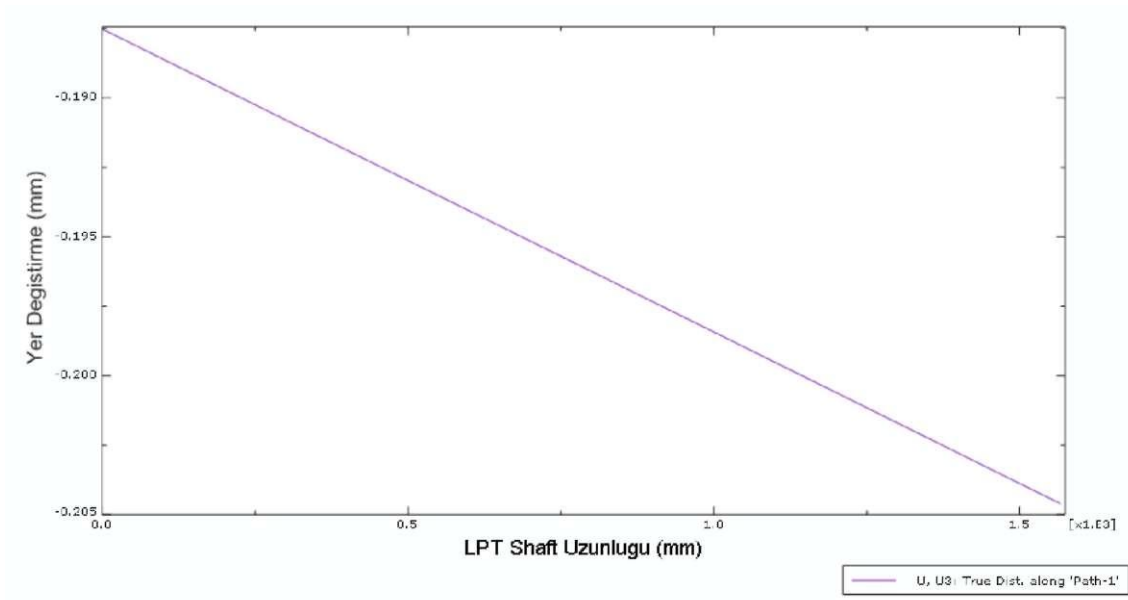
Şekil 6.5. Prototip 1 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.2. Prototip 2

Prototip 2'de prototip 1 gibi 40X40 kutu profilden ( Et kalınlığı 3 mm ) 3 ana profil ile LPT milini destekleyen bir yapıdadır. Tam orta kısımdaki profil LPT milinin eğilmesini engellemek için konulmuştur. Alt kısma bağlantısı yapılan diğer profiller ağırlığı dengelenmek için konulmuştur. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.6. Prototip 2



LPT Shaft Uzunluğu (mm)

U, U3: True Dist. along 'Path-

Şekil 6.7. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.7.'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

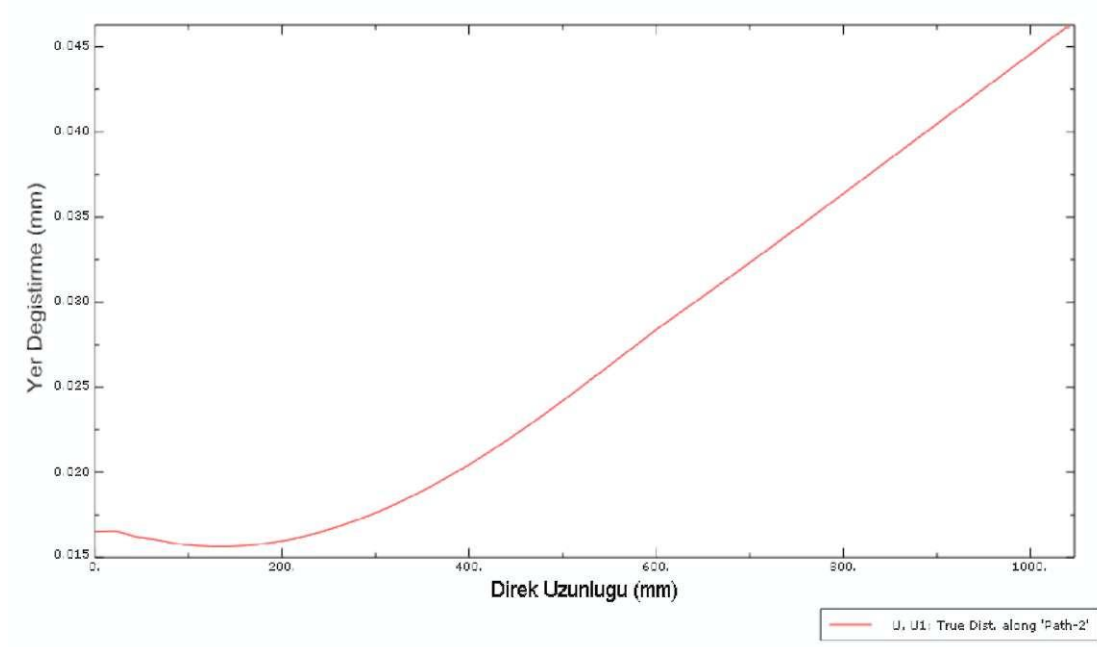
$$\tan \theta = (0.205 - 0.190) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000175$  değeri bulunur. Bu değer  $1.75 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

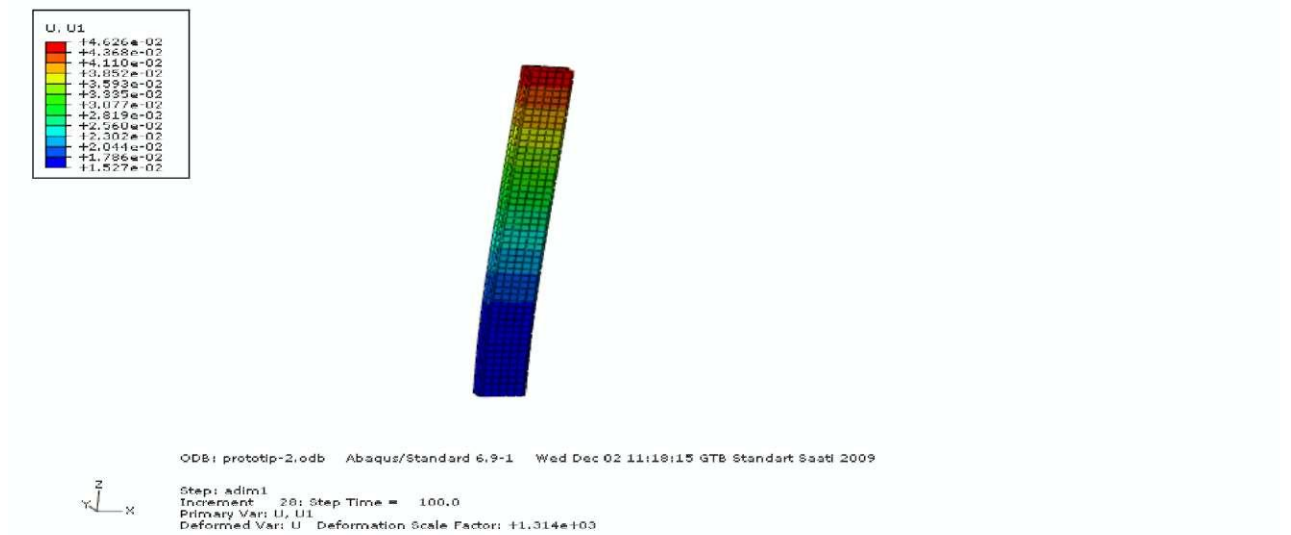
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.8).

$$\tan \theta = (0.045 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$



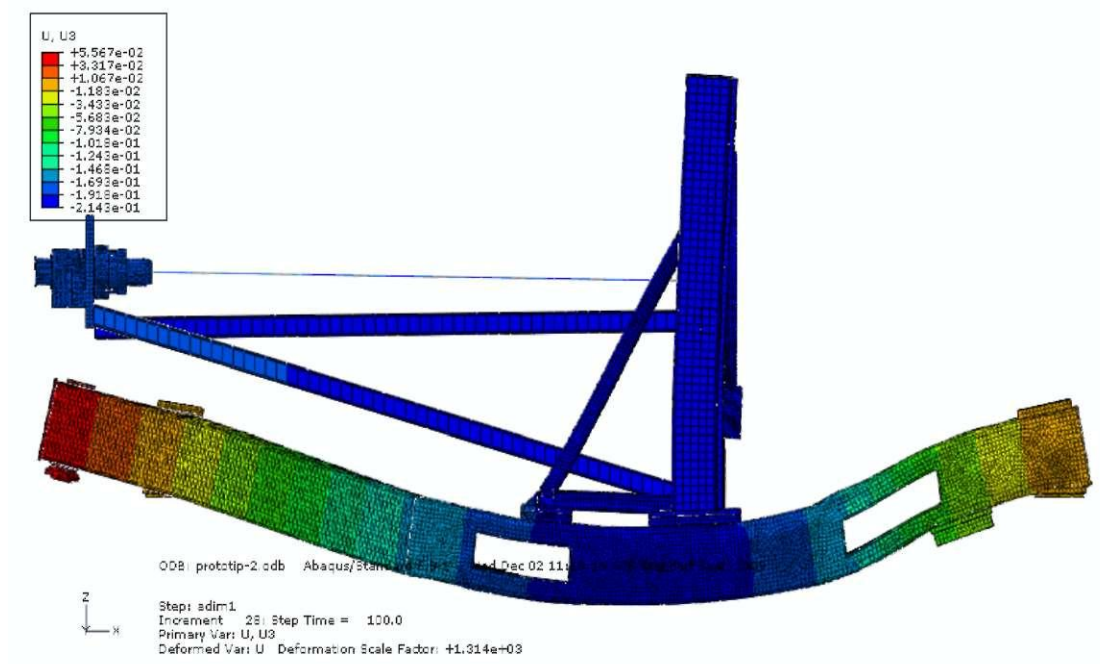
Şekil 6.8. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.9. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi



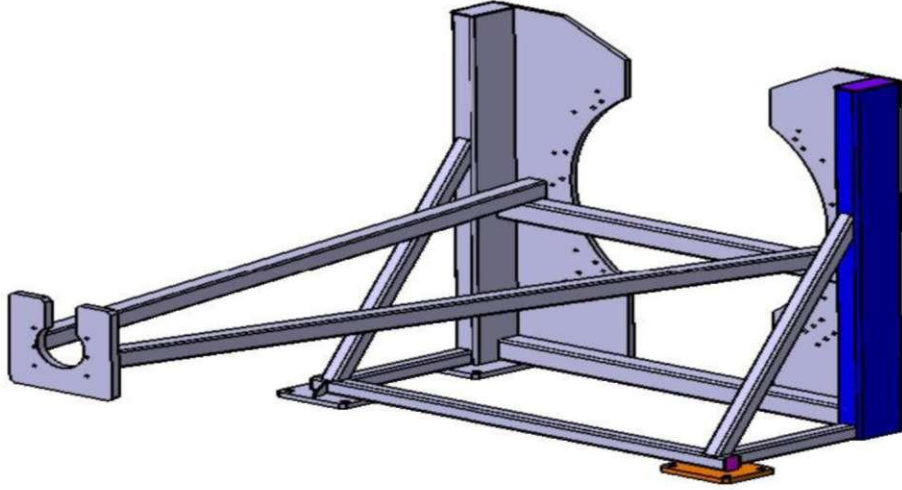
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.10'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.143 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.567 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.067 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



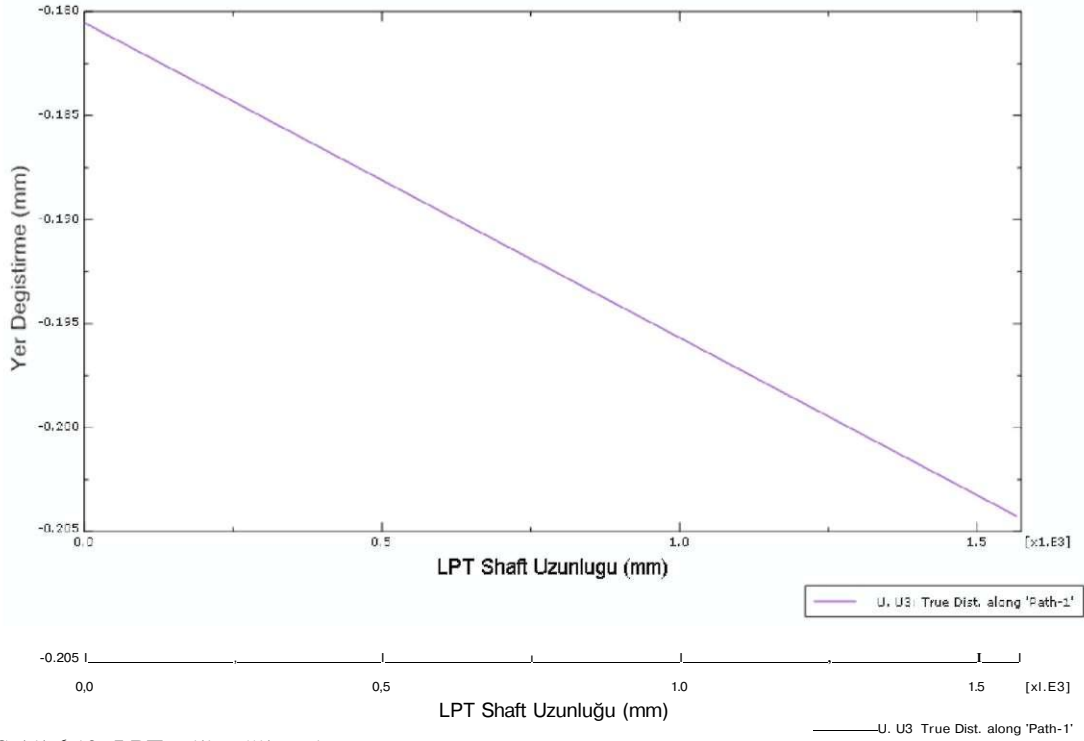
Şekil 6.10. Prototip 2 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.3. Prototip 3

Prototip 3 prototip 1 ve 2 gibi 40X40 kutu profilden ( Et kalınlığı 3 mm ) oluşur fakat prototip 3'de 3 yerine 2 adet profil kullanılır. Bu profiller LPT milini desteklerler. Milin sağ ve solunda yer alarak hem ağırlığa hem de milin eğilmesine karşı görev yaparlar. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.11. Prototip 3



Şekil 6.12. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.12.'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

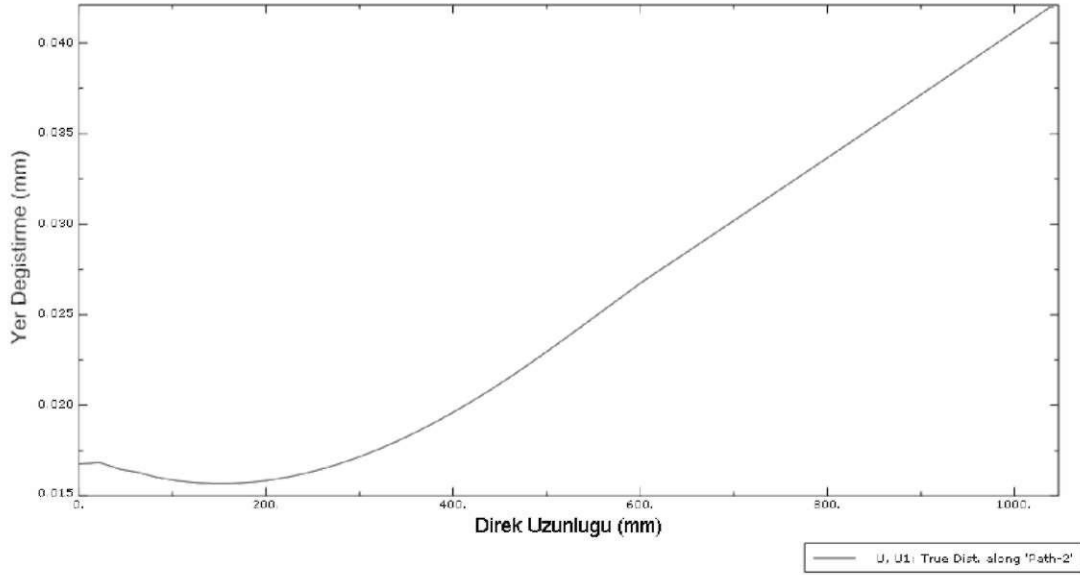
$$\tan \theta = (0.205 - 0.180) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000291$  değeri bulunur. Bu değer  $2.91 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

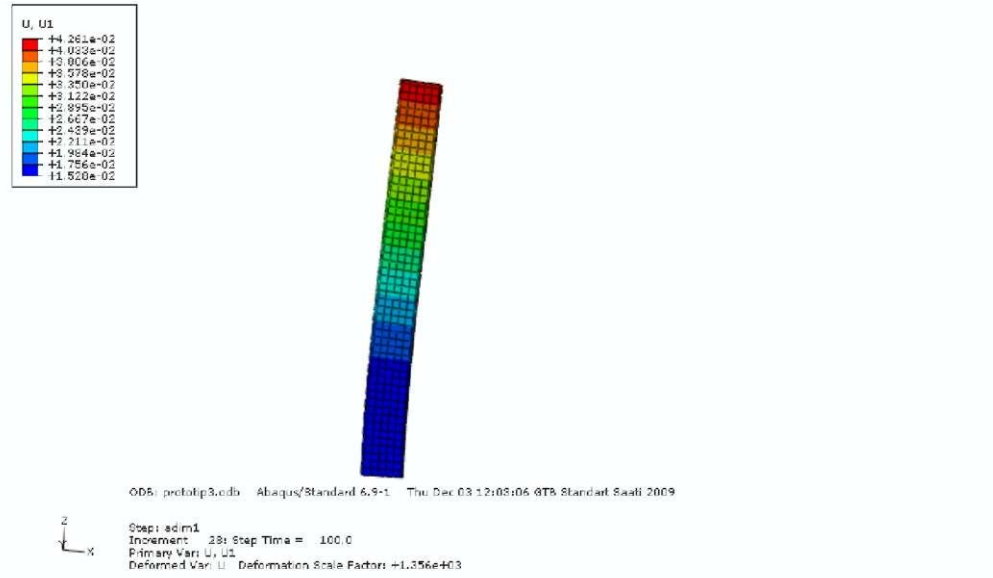
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.13).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 4.36 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

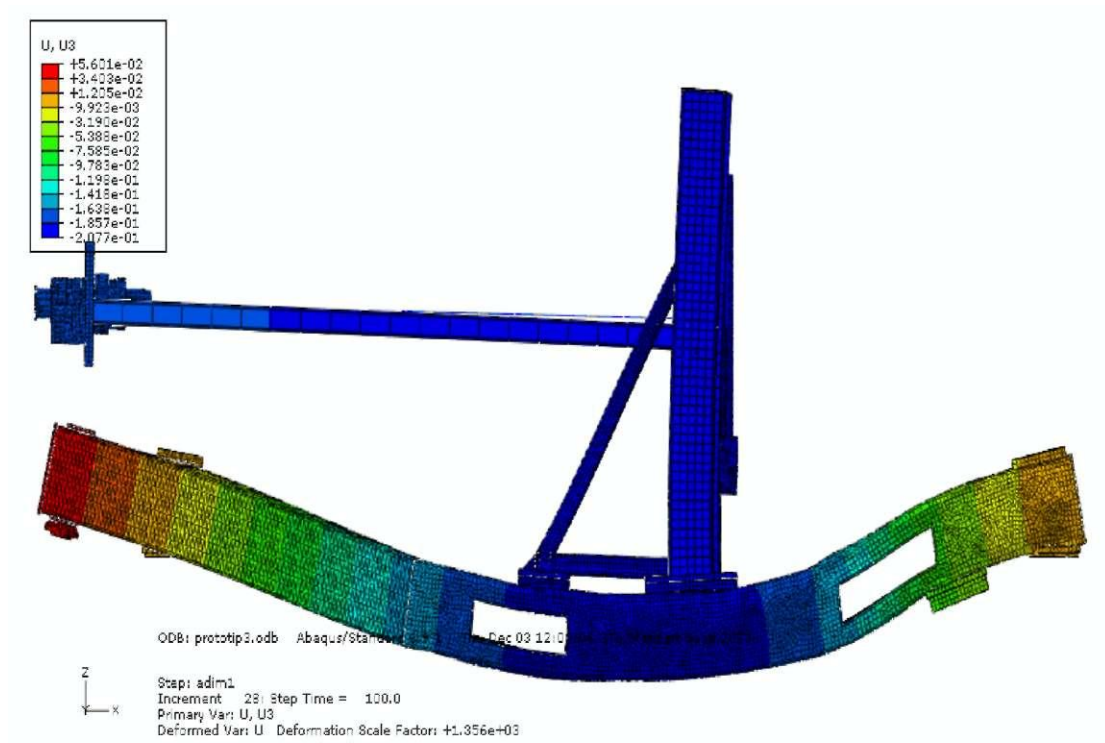


Şekil 6.13. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.14. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değişmesi

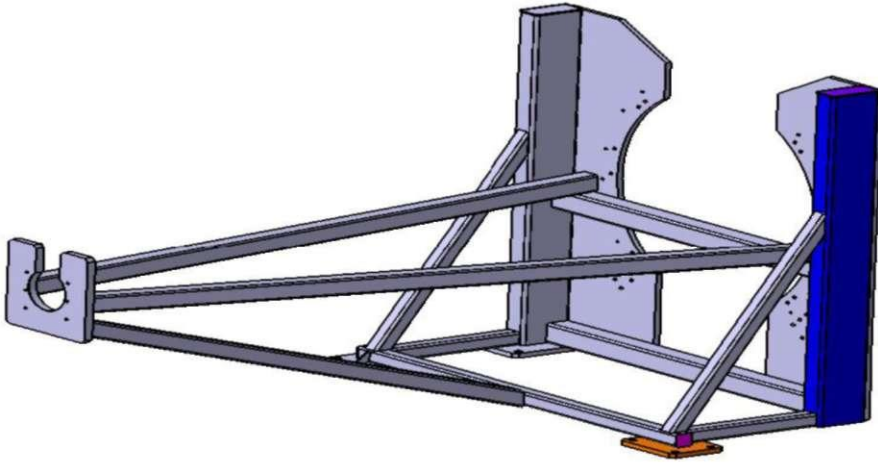
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.15'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.077 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.601 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.205 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



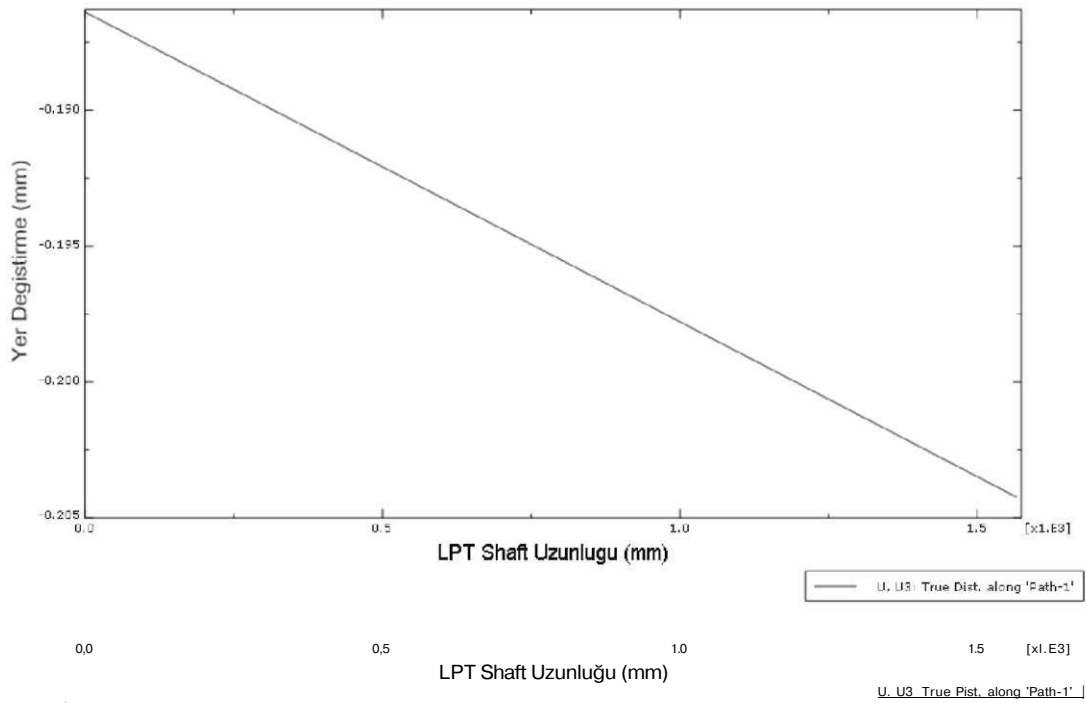
Şekil 6.15. Prototip 3 çökme resmi ve değerleri

#### 6.1.4. Prototip 4

Prototip 4 prototip 1 ve 2 gibi 40X40 kutu profilden ( Et kalınlığı 3 mm ) ve 3 profilden oluşur. 2 adet profil ortada buluna profilin üst kısmından bağlanır. Diğer profil ise milin altında yer alarak eğilmesini engellemeye çalışır. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.16. Prototip 4



Şekil 6.17. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.17.'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

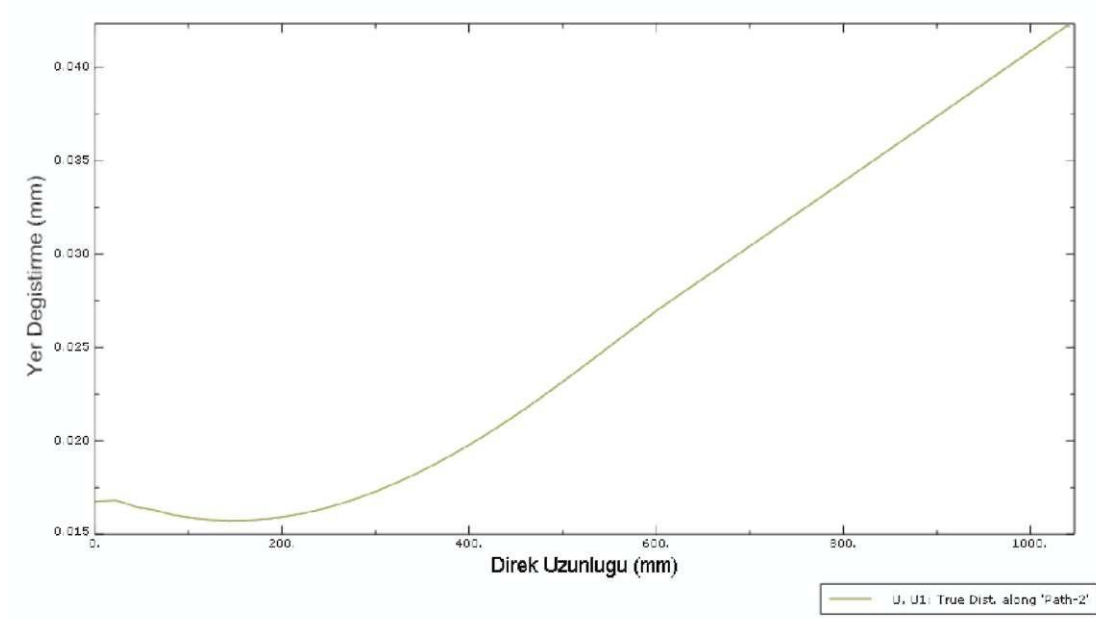
$$\tan \theta = (0.205 - 0.188) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000198$  değeri bulunur. Bu değer  $1.98 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

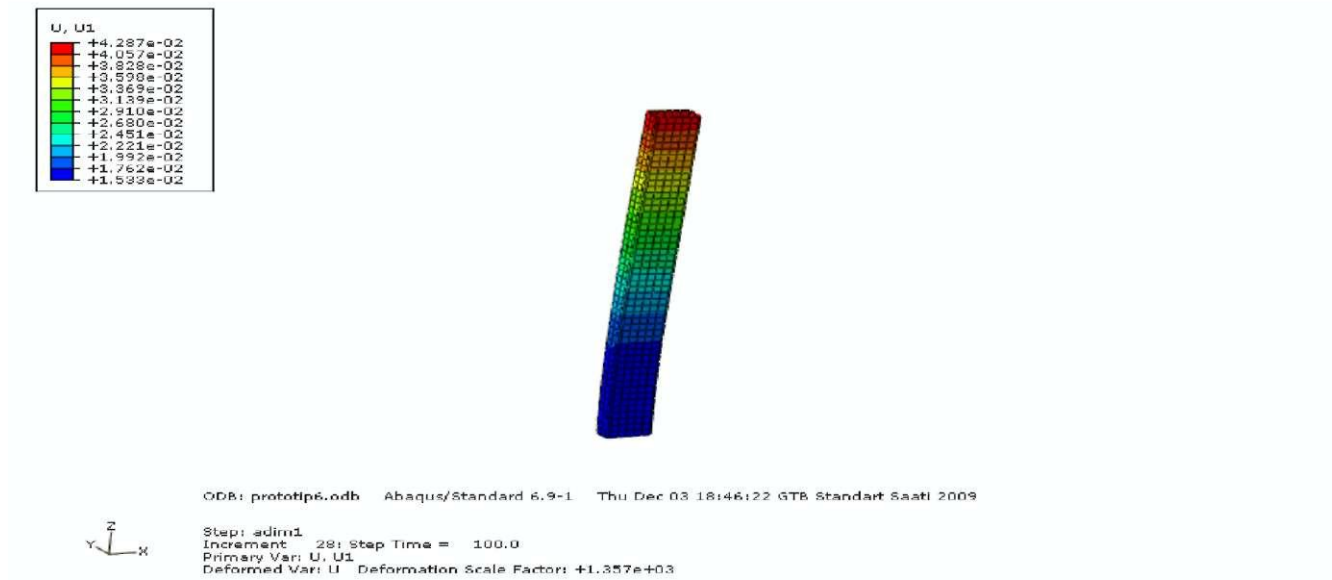
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.18).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$\tan \theta = 4.36 \times 10^{-7}$  ° değeri bulunur.

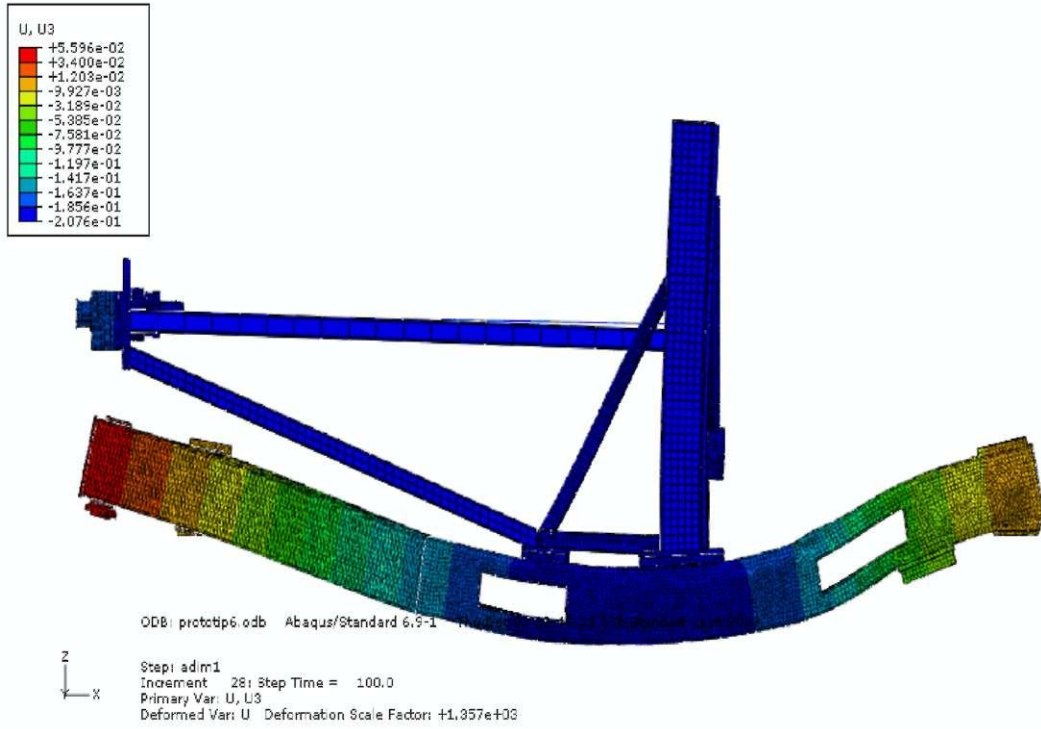


Şekil 6.18. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.19. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi

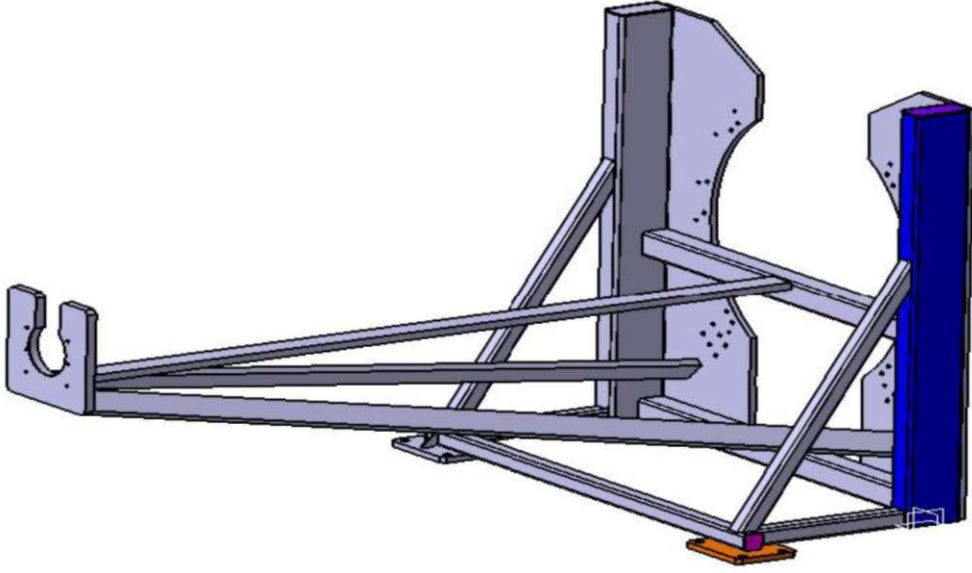
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.20'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.076 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.596 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.203 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



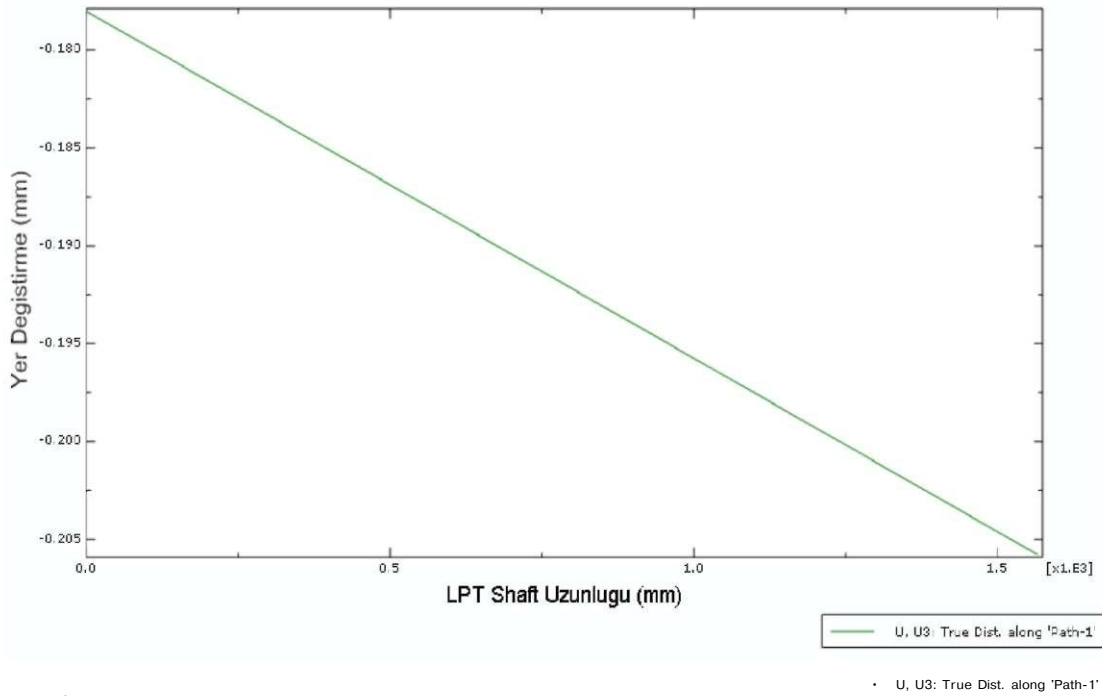
Şekil 6.20. Prototip 4 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.5. Prototip 5

Prototip 5 prototip 3 adet lama bağlantıdan oluşur. Bu bağlantılar orta ana profil ve alttaki bağlantı saçlarına kaynak ile yapılmıştır. Lamalar 60 X 18 mm ebatlarında yapılmıştır. Orta lama LPT milin altına yerleştirilerek milin eğilmesini engellemek için konulmuştur. Diğer 2 lama ise ağırlığı dengelemek için konulmuştur. Alt kısım ile bağlantı değişmemiştir.



Şekil 6.21. Prototip 5



Şekil 6.22. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.22'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

$$\tan \theta = (0.205 - 0.180) / 1500$$

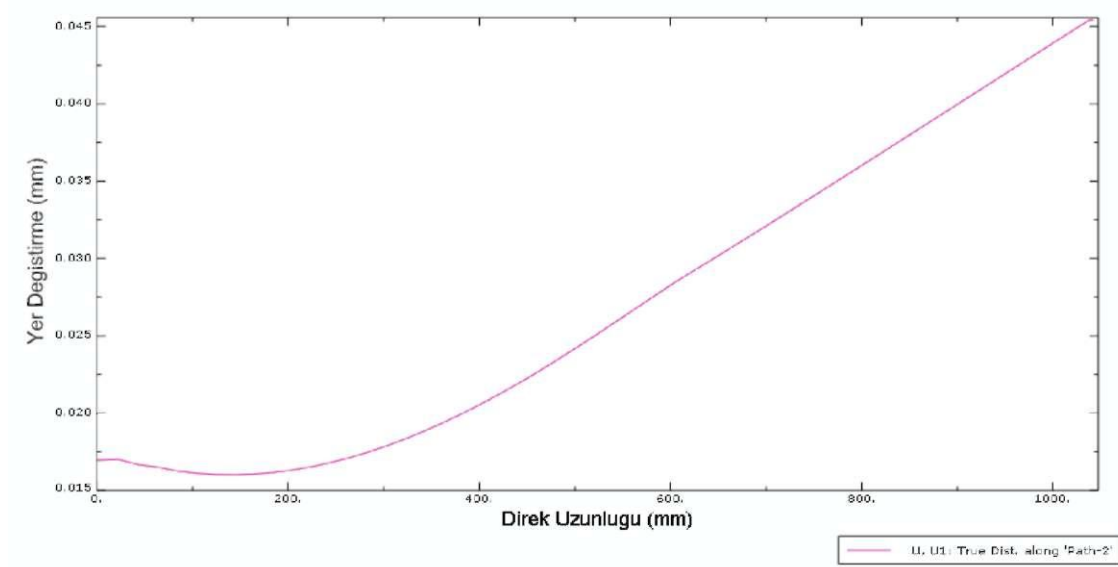
$\tan \theta = 0.000000291$  değeri bulunur. Bu değer  $2.91 \times 10^{-7}^\circ$  dir.



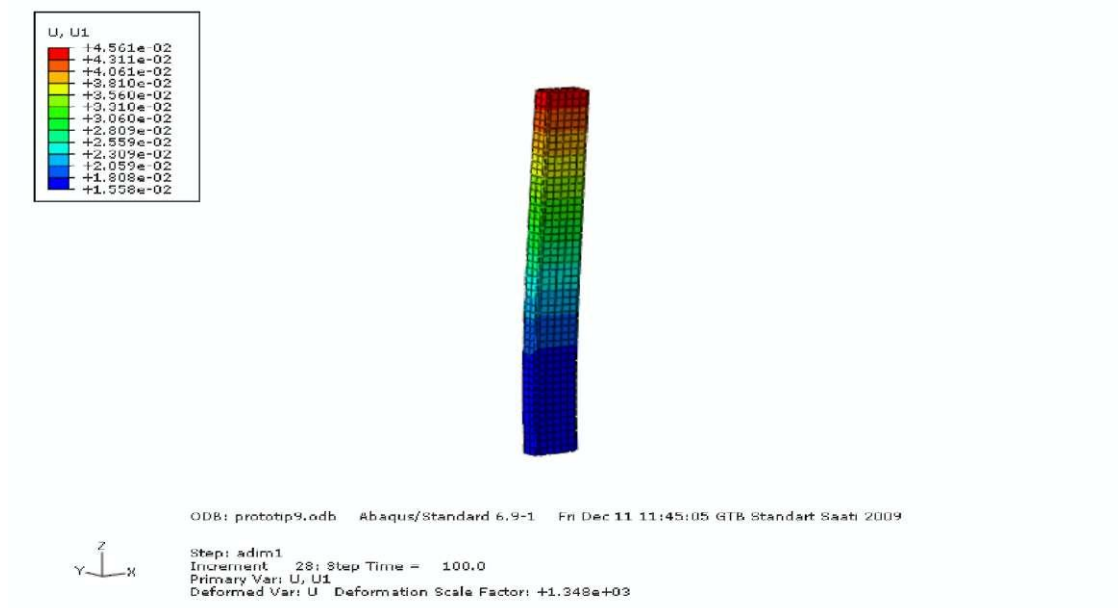
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.23).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

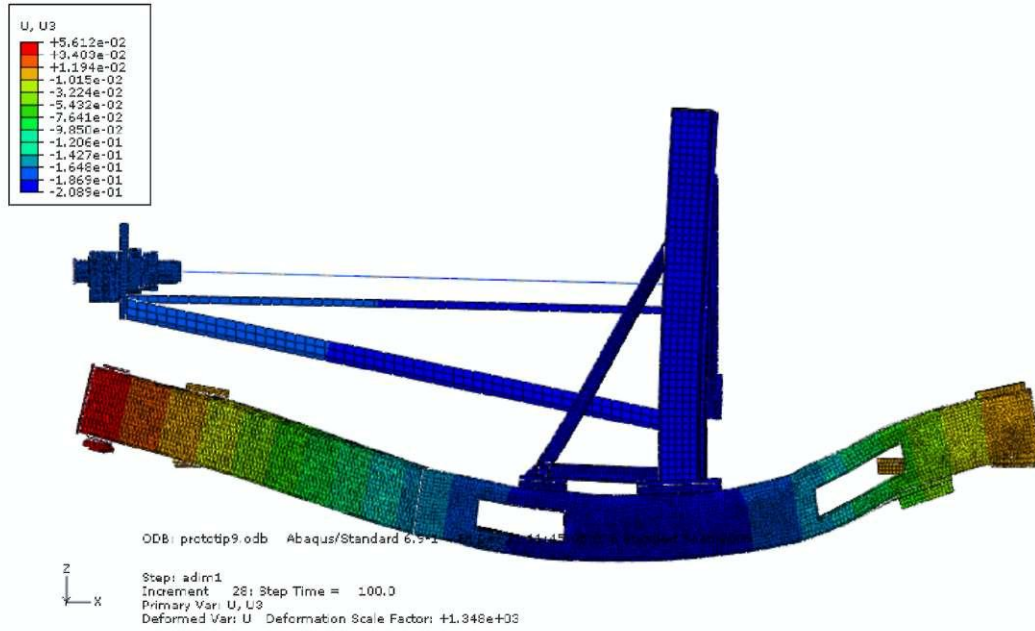


Şekil 6.23. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.24. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi

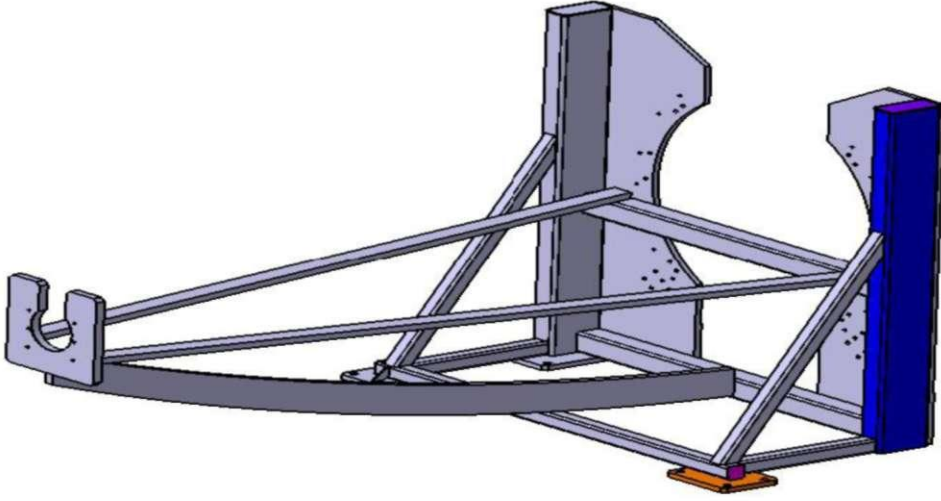
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.25'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.089 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.612 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.194 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



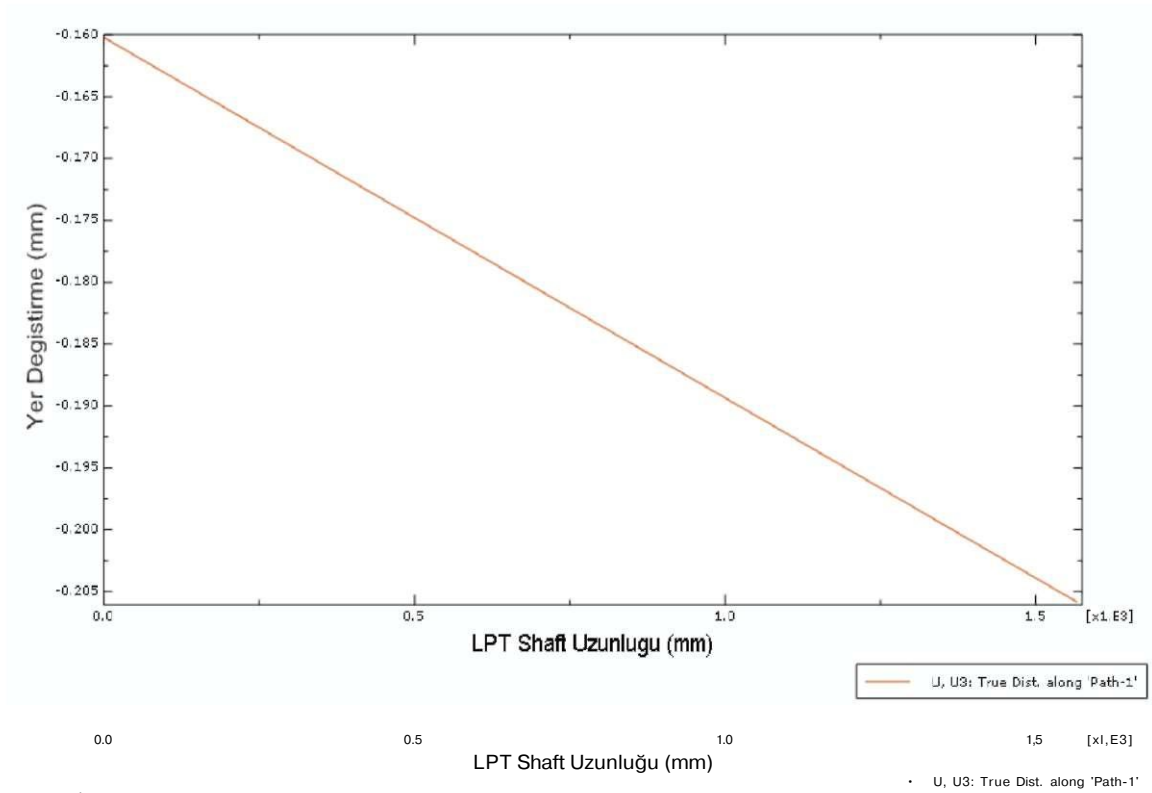
Şekil 6.25. Prototip 5 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.6. Prototip 6

Prototip 6 lamalardan oluşur. 18X60 2 adet lama ve yay şeklinde özel olarak şekillendirilmiş bir lamadan oluşmuştur. Prototip 6'da 2 adet lama orta profile bağlanarak ağırlığın dağıtılması sağlanmıştır. Yay şeklindeki lama ise alt kısımdaki profile bağlanır ve LPT milin eğilmesini engellemeyi amaçlar. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.26. Prototip 6



Şekil 6.27. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.27'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

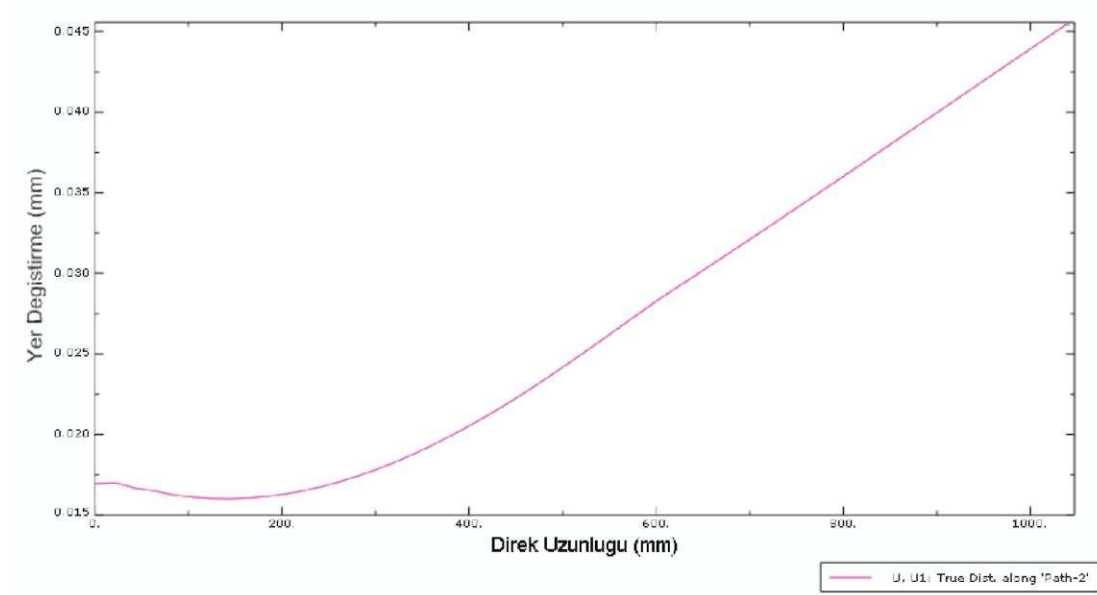
$$\tan \theta = (0.205 - 0.160) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000524$  değeri bulunur. Bu değer  $5.24 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

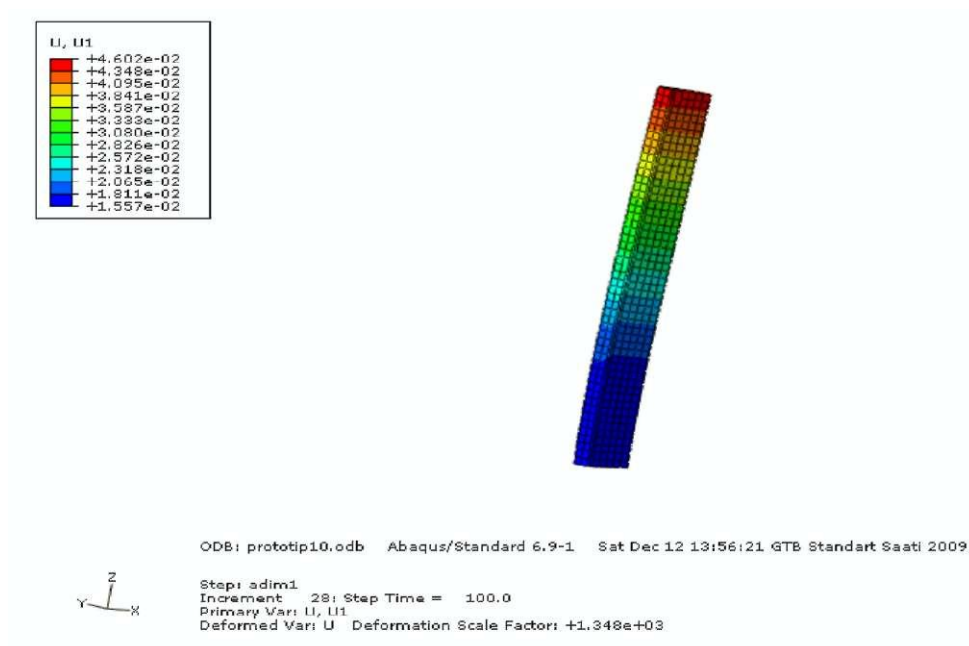
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.28).

$$\tan \theta = (0.045 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 4.36 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

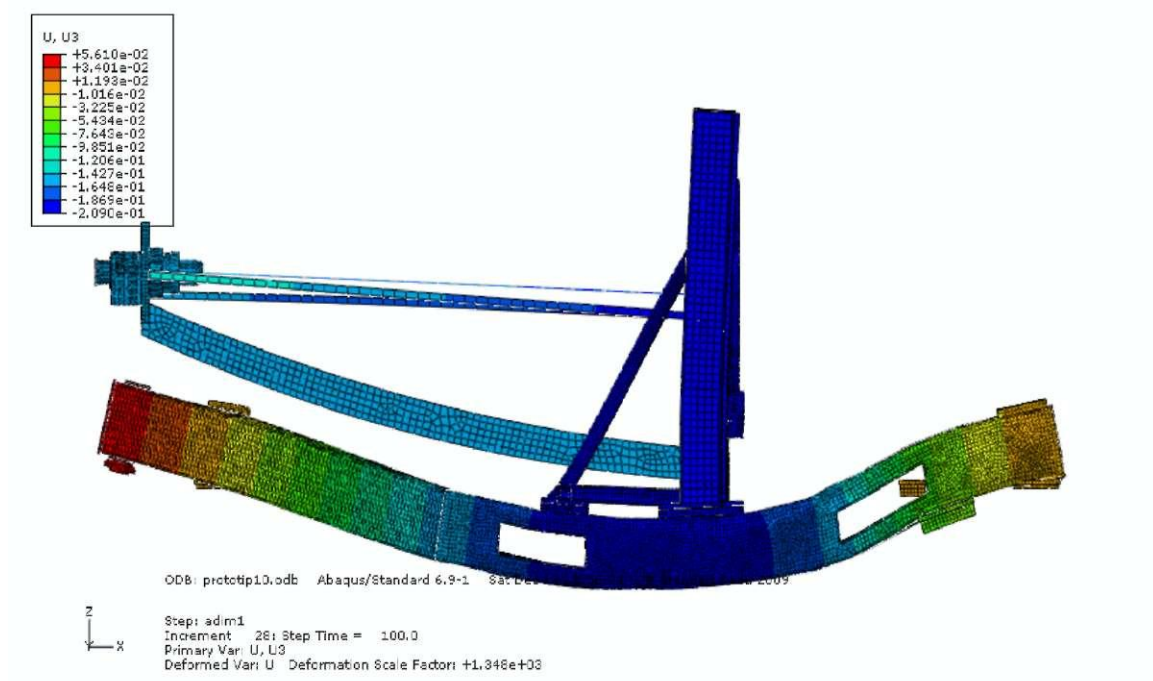


Şekil 6.28. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.29. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi

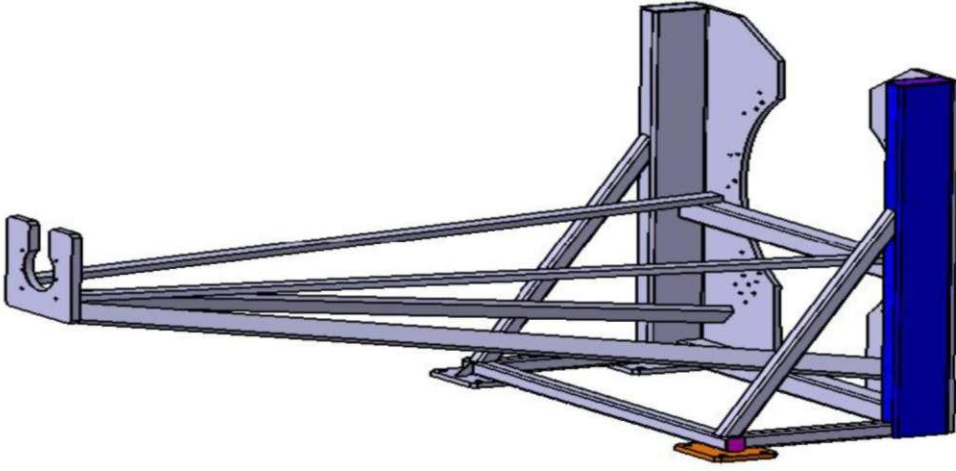
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.30'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.090 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.610 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.193 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



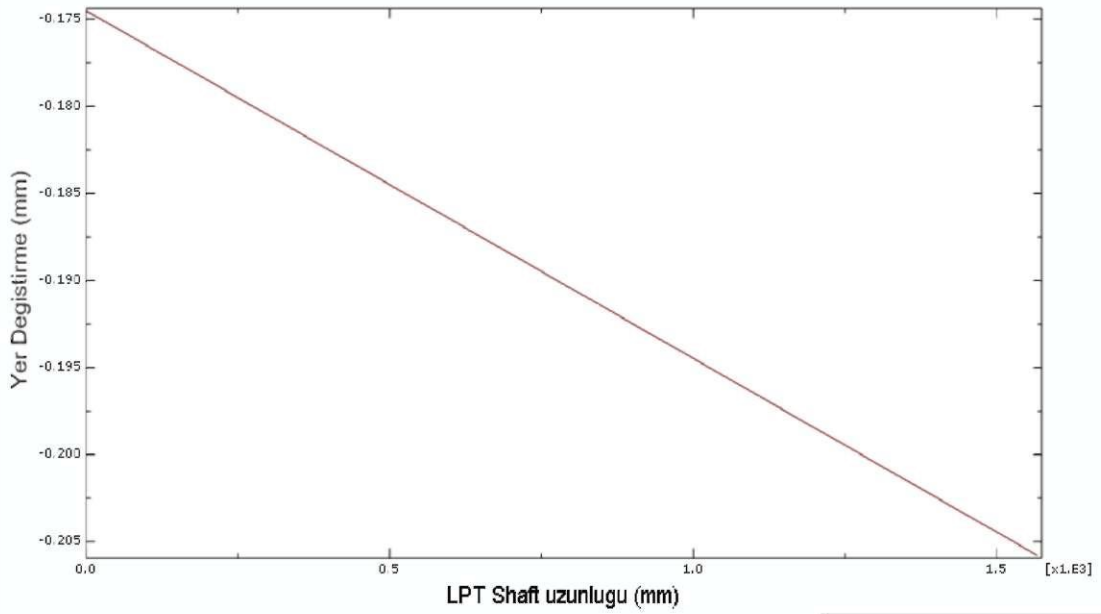
Şekil 6.30. Prototip 6 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.7. Prototip 7

Prototip 7 prototip 8 deki gibi lamalardan oluşur. 18X60 4 adet lamadan oluşur. 2 adet lama alt kısımda ağırlığı dengelemek amacıyla konulmuştur. Diğer iki lama ise milin eğilmesini engellemek için konulmuştur. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.31. Prototip 7



U, U3 True Dist. along 'Path-1'

U, U3 True Dist. along 'Path-1'

Şekil 6.32. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.32'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

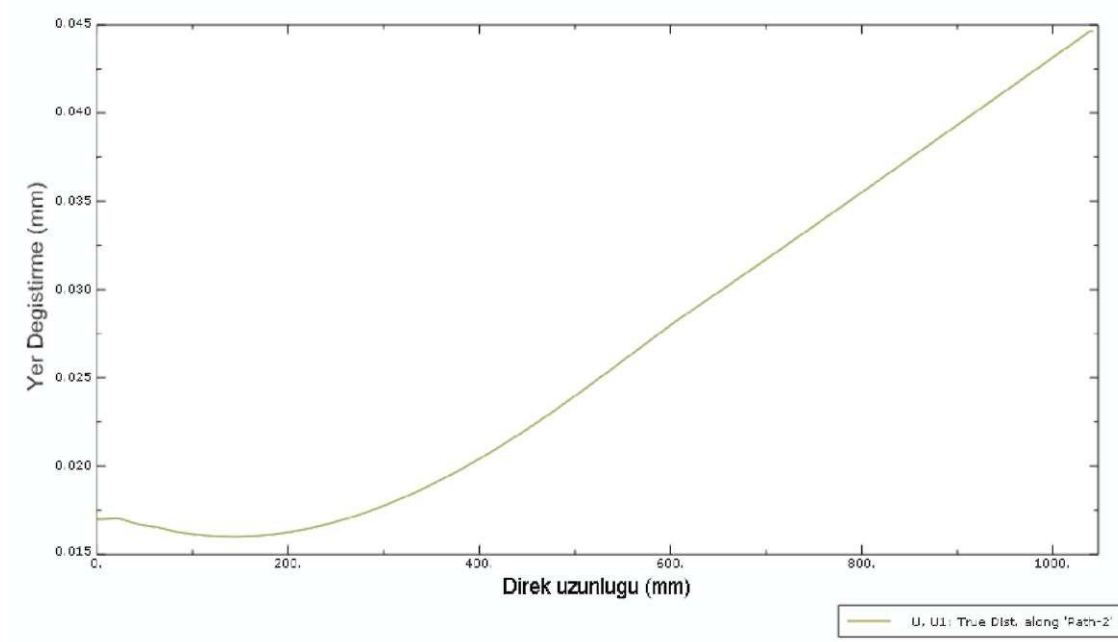
$$\tan \theta = (0.205 - 0.175) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000349$  değeri bulunur. Bu değer  $3.49 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

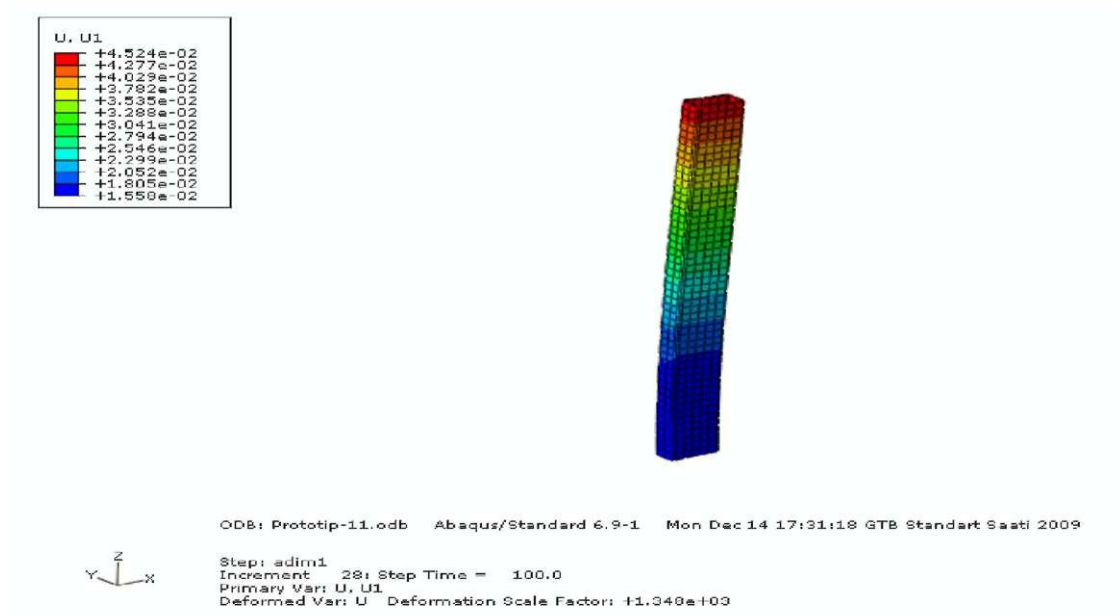
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.33).

$$\tan \theta = (0.045 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 4.36 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

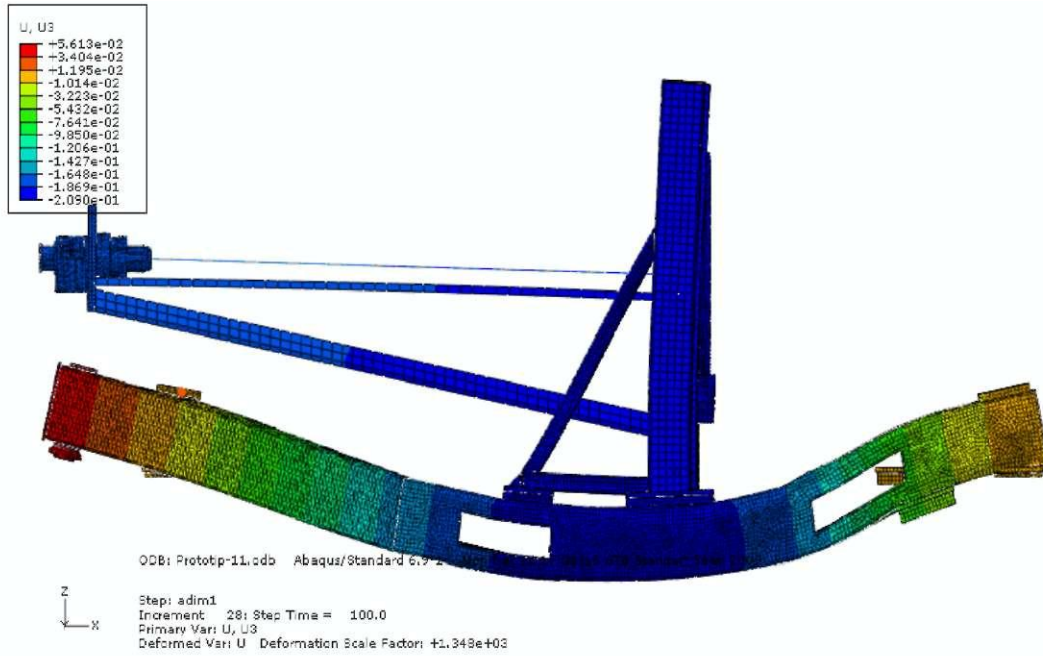


Şekil 6.33. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.34. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değıştirmesi

Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.35'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.090 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.613 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.195 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.

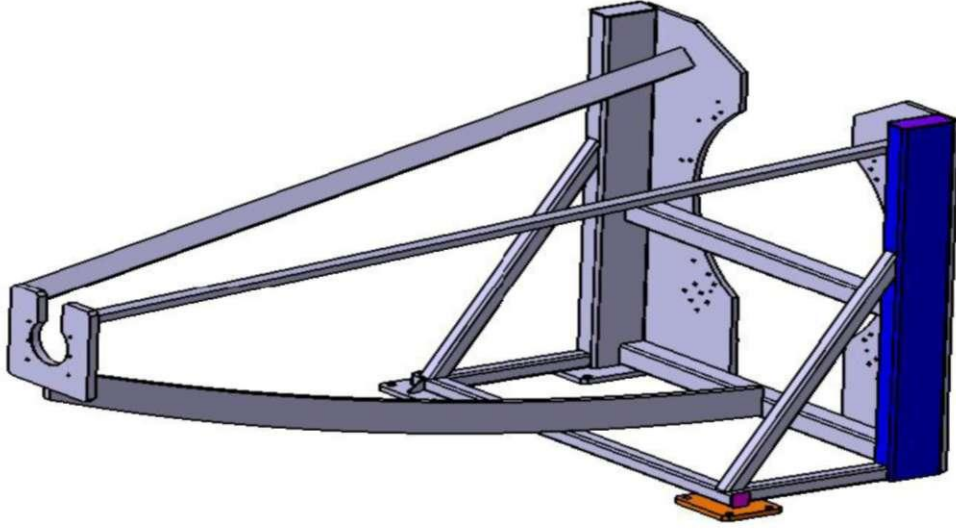


Şekil 6.35. Prototip 7 çökme resmi ve değerleri

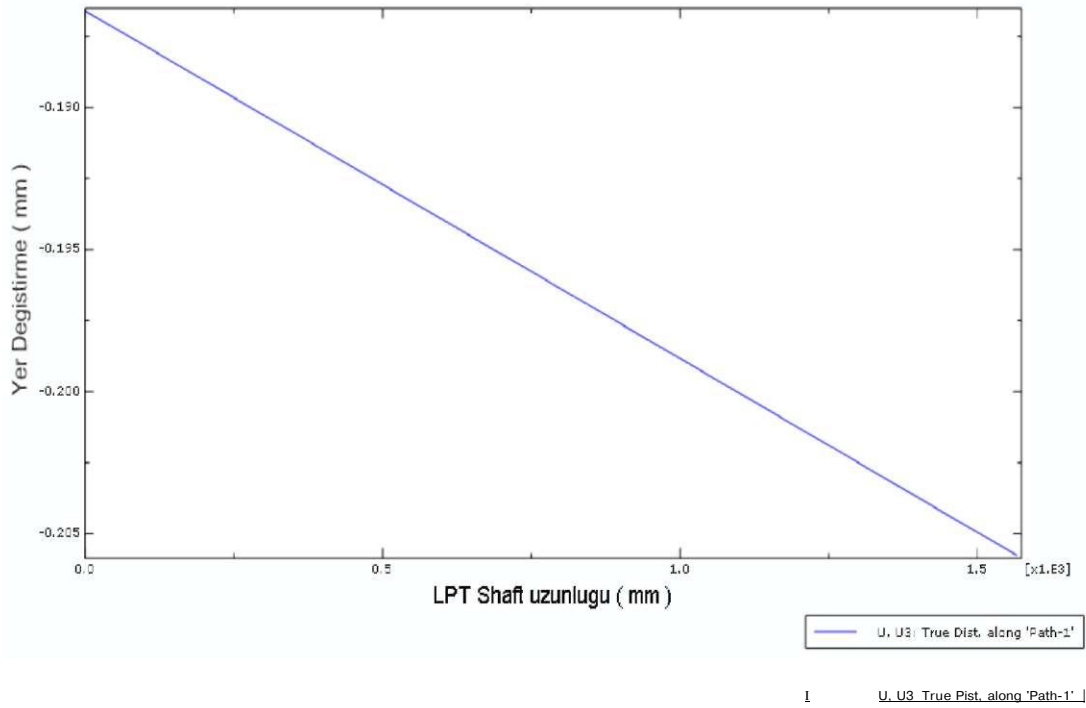
### 6.1.8. Prototip 8

Prototip 8 prototip 6 ve 7 gibi lamalardan oluşur. 18X60 2 adet lama ve yay şeklinde özel olarak şekillendirilmiş bir lamadan oluşmuştur. Prototip 8'de 2 adet lama 2 direk arasındaki saçlara bağlanır. Yay şeklindeki lama ise alt kısımdaki profile bağlanır. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.





Şekil 6.36. Prototip 8



Şekil 6.37. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.37'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

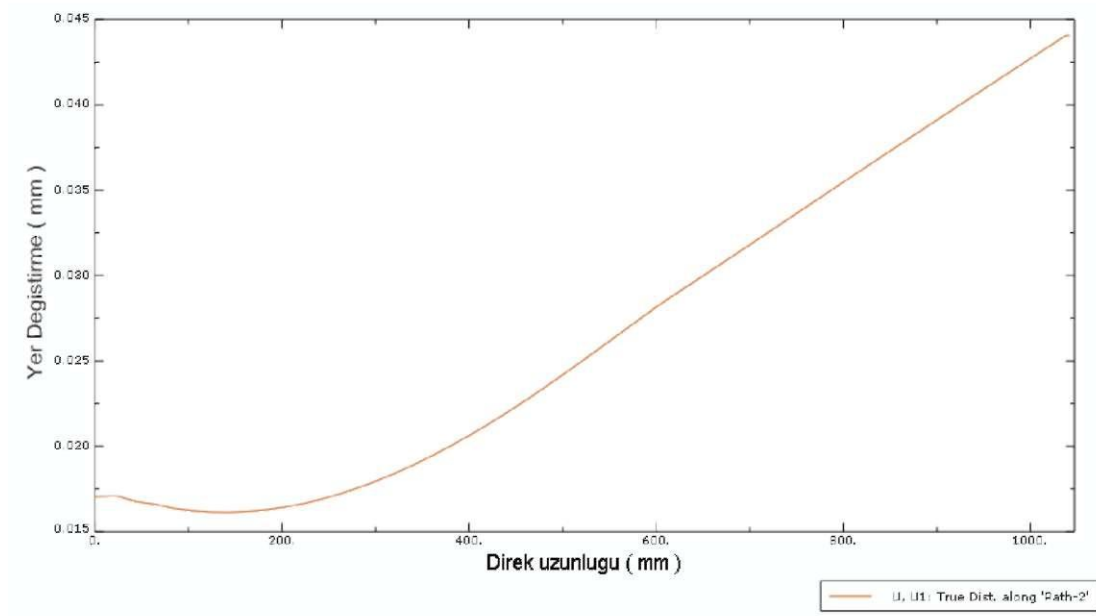
$$\tan \theta = ( 0.205 - 0.186 ) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000221$  değeri bulunur. Bu değer  $2.21 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

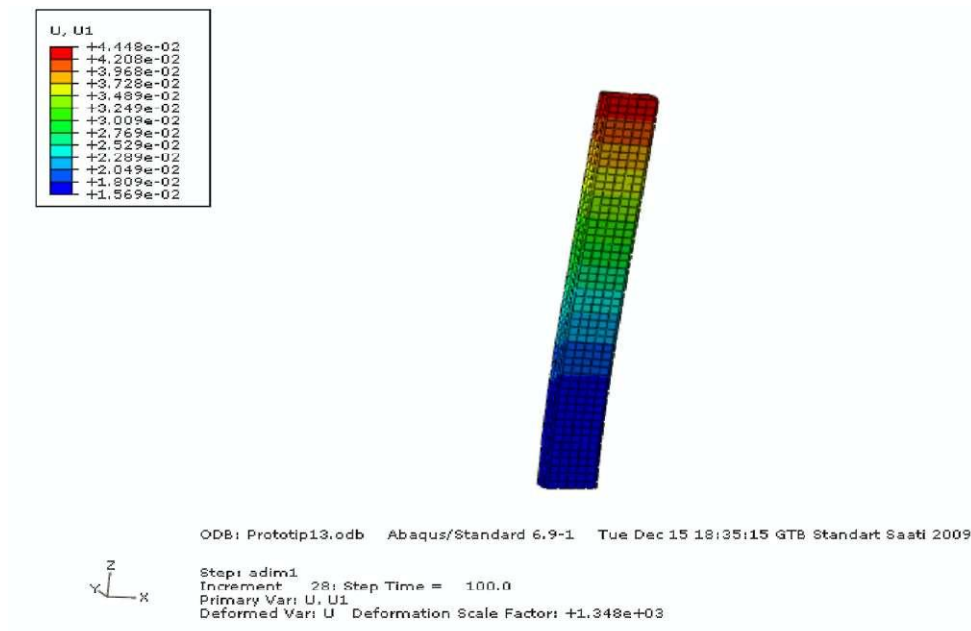
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.38).

$$\tan \theta = (0.045 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 4.36 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

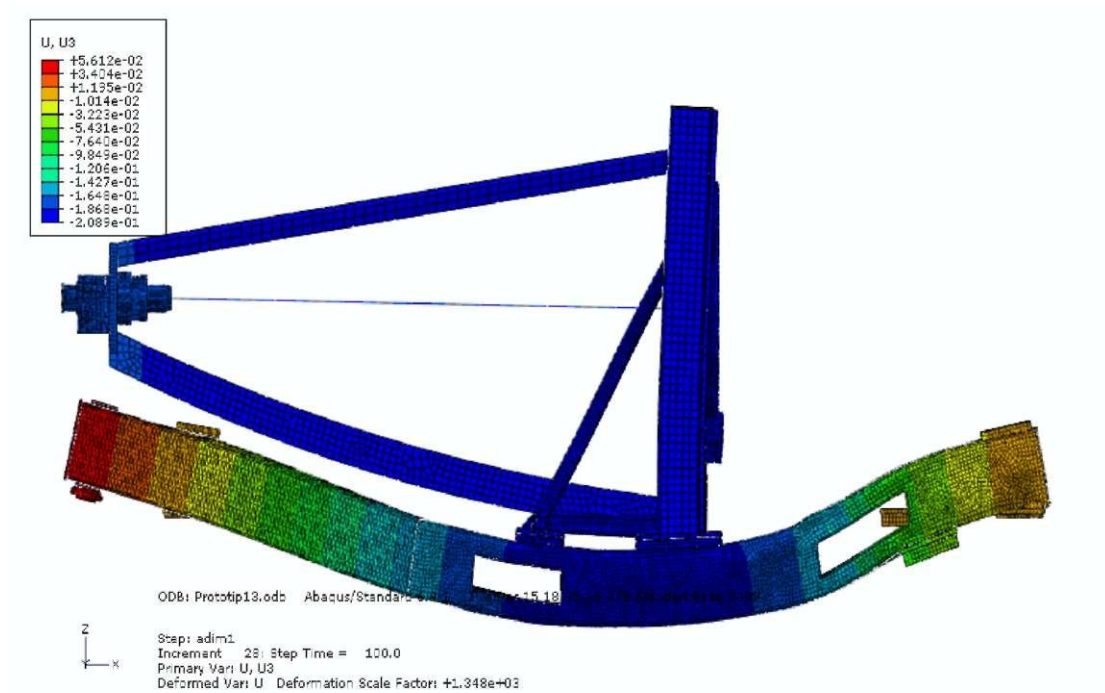


Şekil 6.38. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.39. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi

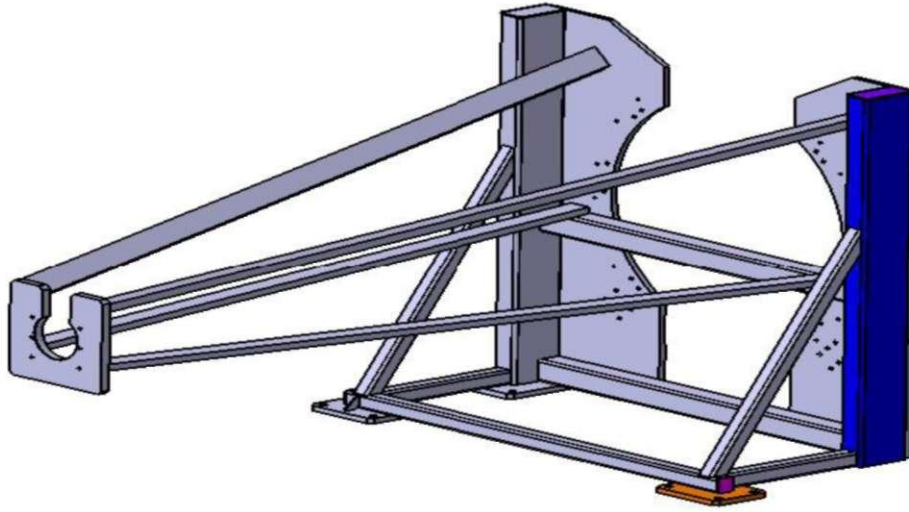
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.40'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.089 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.612 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.195 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



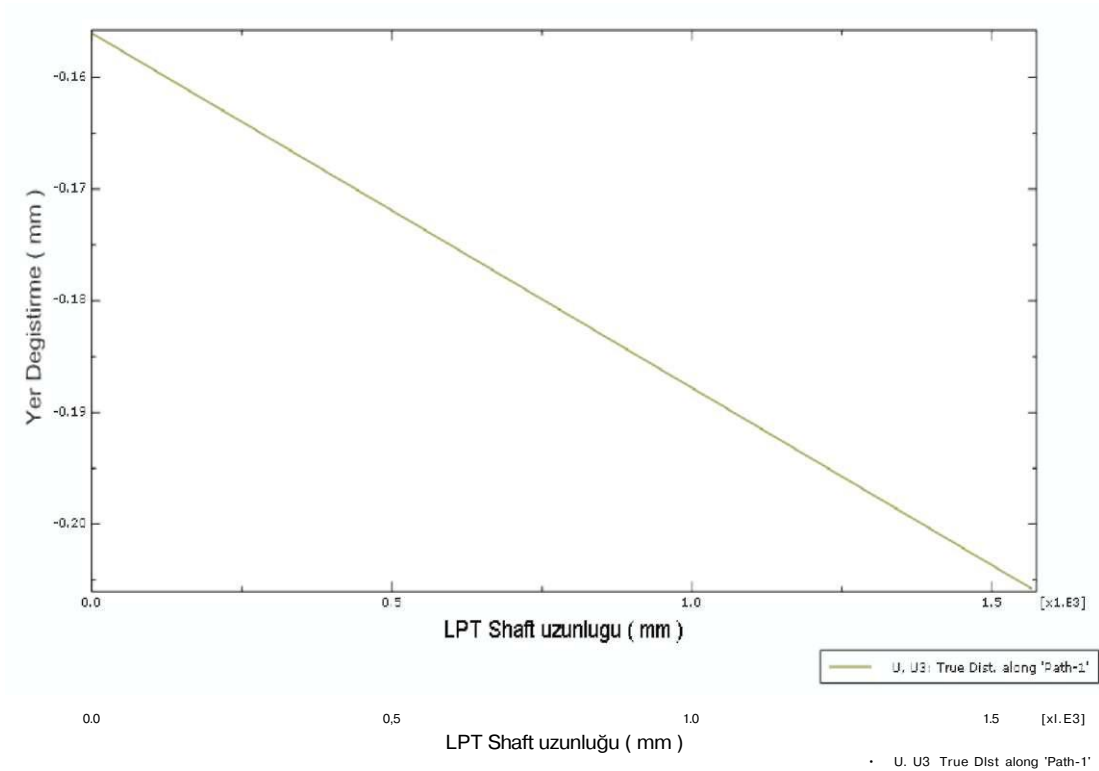
Şekil 6.40. Prototip 8 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.9. Prototip 9

Prototip 9 diğer prototiplerin aksine 4 adet lamadan oluşur. 18X60 2 adet lama 2 direk arasındaki saçın üst kısmına, aynı ebatlardaki 2 lamada 2 direk arasındaki profilin üst kısmına bağlanır. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.41. Prototip 9



Şekil 6.42. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.42'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

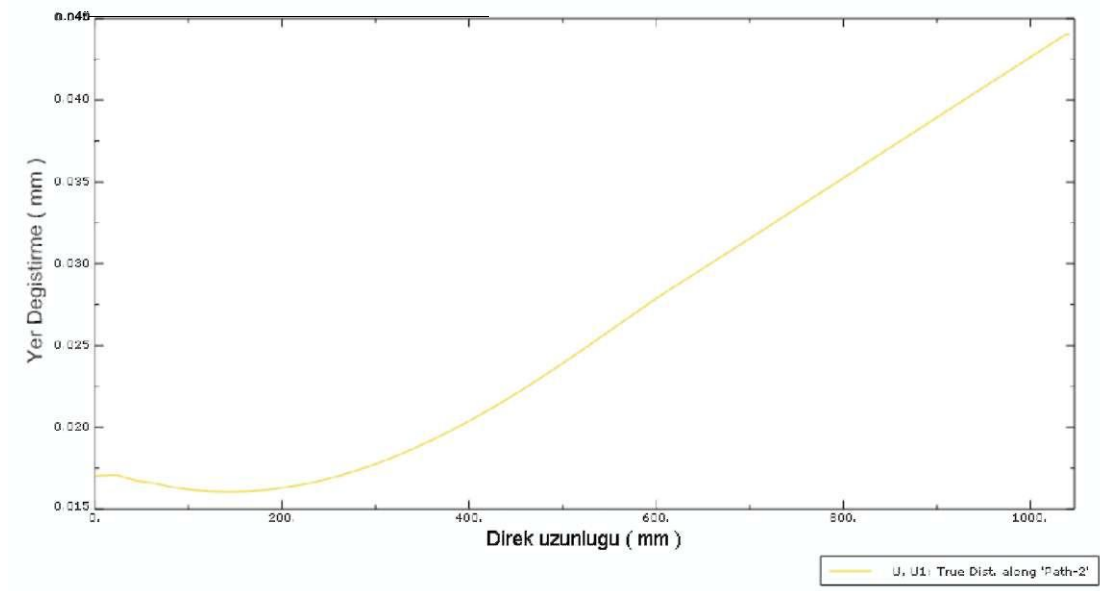
$$\tan \theta = ( 0.200 - 0.160 ) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000465$  değeri bulunur. Bu değer  $4.65 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

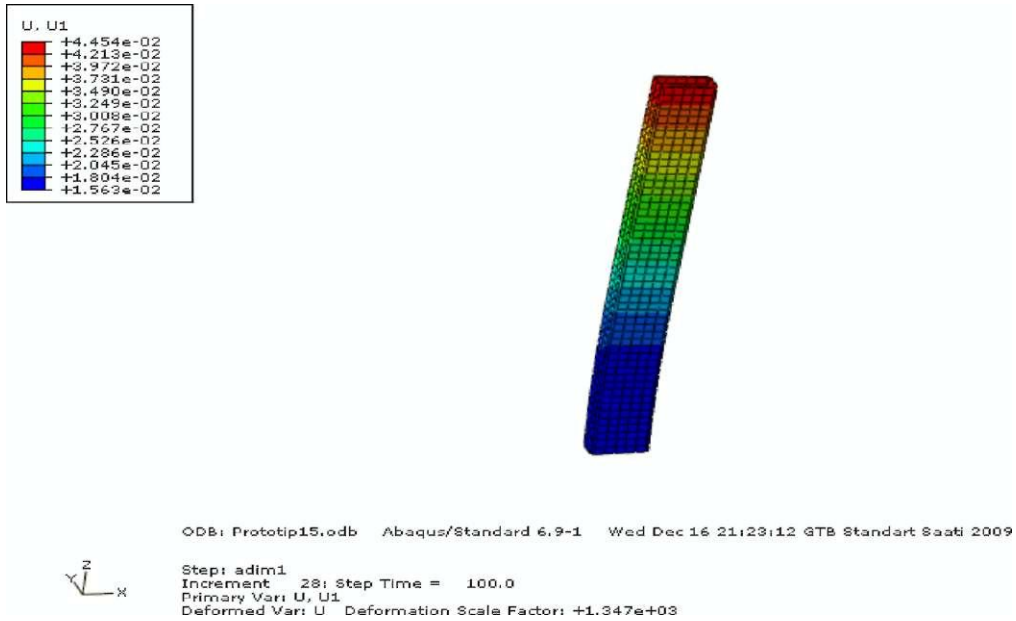
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.43).

$$\tan \theta = (0.045 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 4.36 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

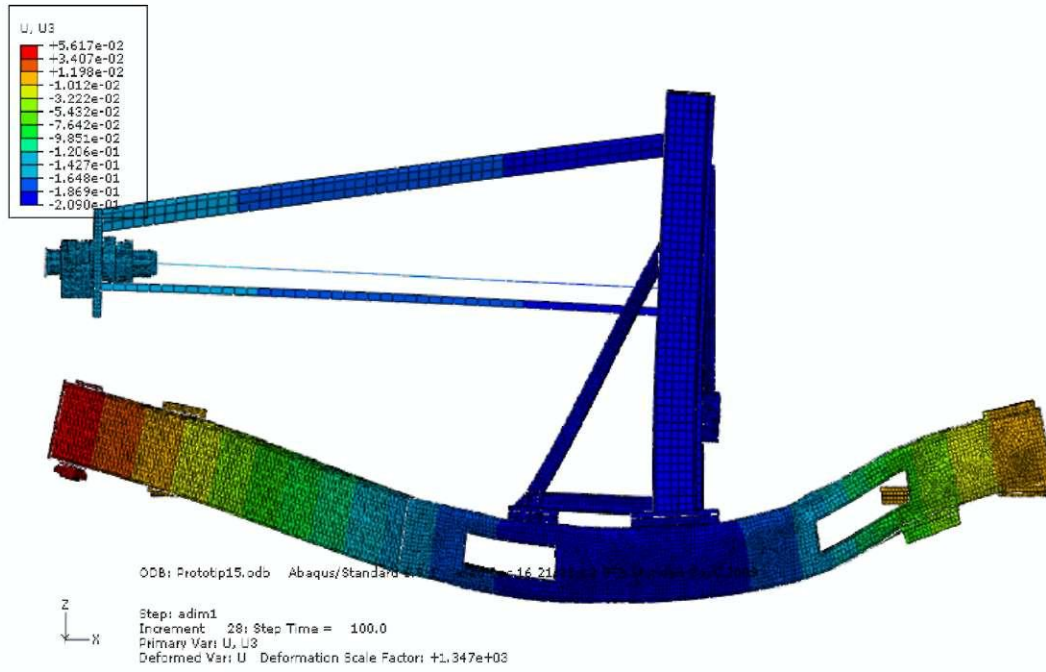


Şekil 6.43. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.44. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi

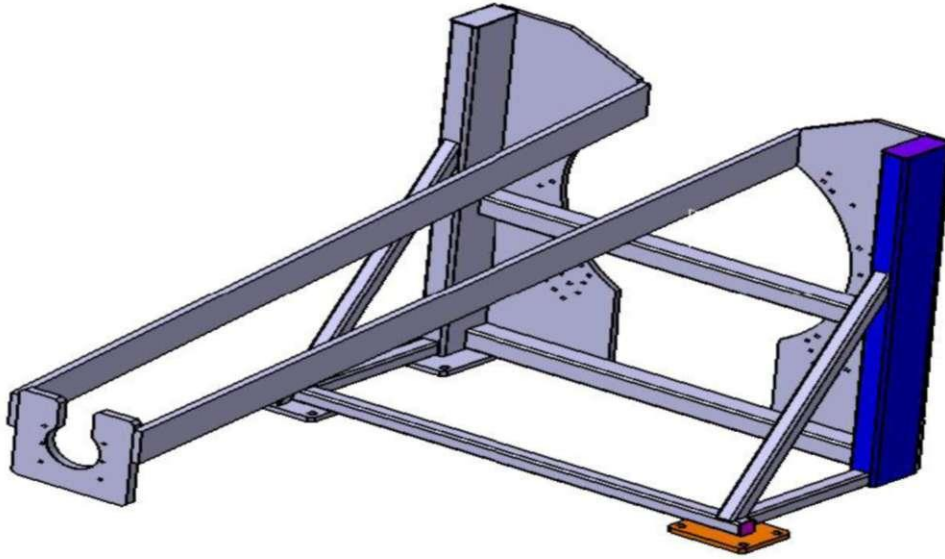
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.45'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.090 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.617 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.198 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



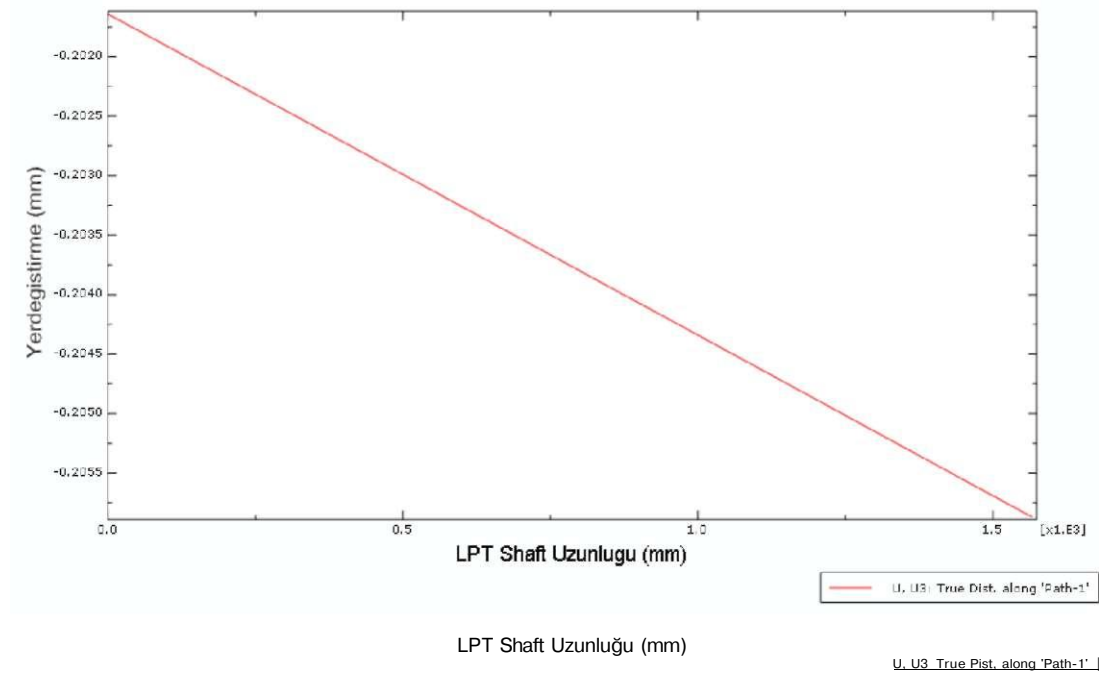
Şekil 6.45. Prototip 9 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.10. Prototip 10

Prototip 10 2 adet lama bağlantıdan oluşur. 18X100 mm olan bu bağlantılar destek saçlarının üst kısmı ile öndeki bağlantı kısmının dışları arasında bağlantı sağlar. Lamalar ile hem ağırlık hem de milin eğilmesi engellenmeye çalışılmıştır. Bağlantılar kaynakla yapılmıştır. Alt bölüm ile bağlantı değiştirilmemiştir.



Şekil 6.46. Prototip 10



Şekil 6.47. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.47'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

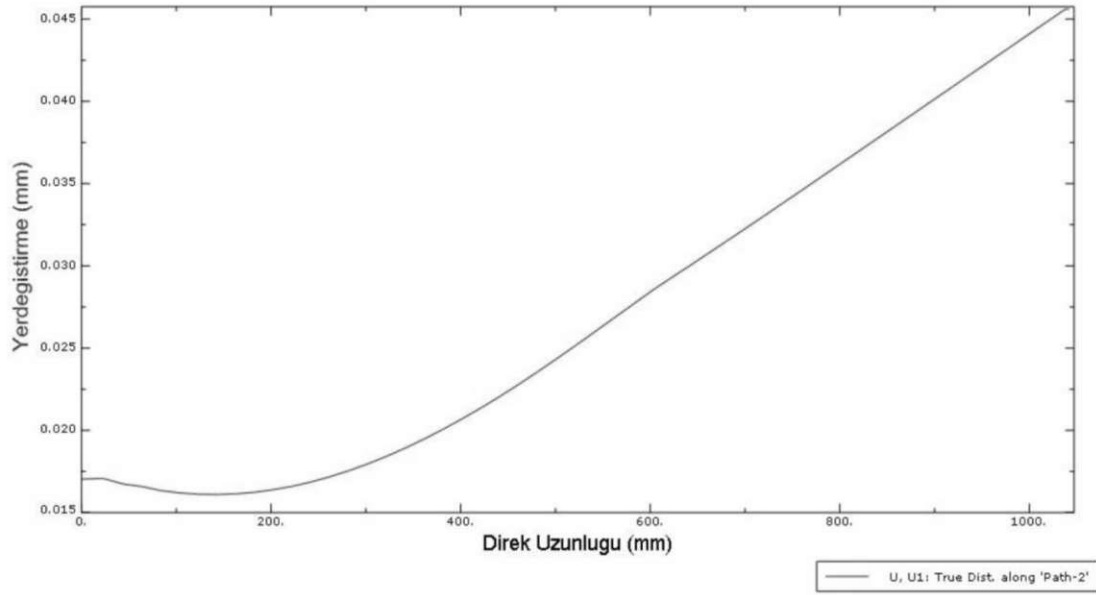
$$\tan \theta = (0.2020 - 0.2055) / 1500$$

$\tan \theta = 0,000000041$  değeri bulunur. Bu değer  $4.1 \times 10^{-8}^\circ$  dir.

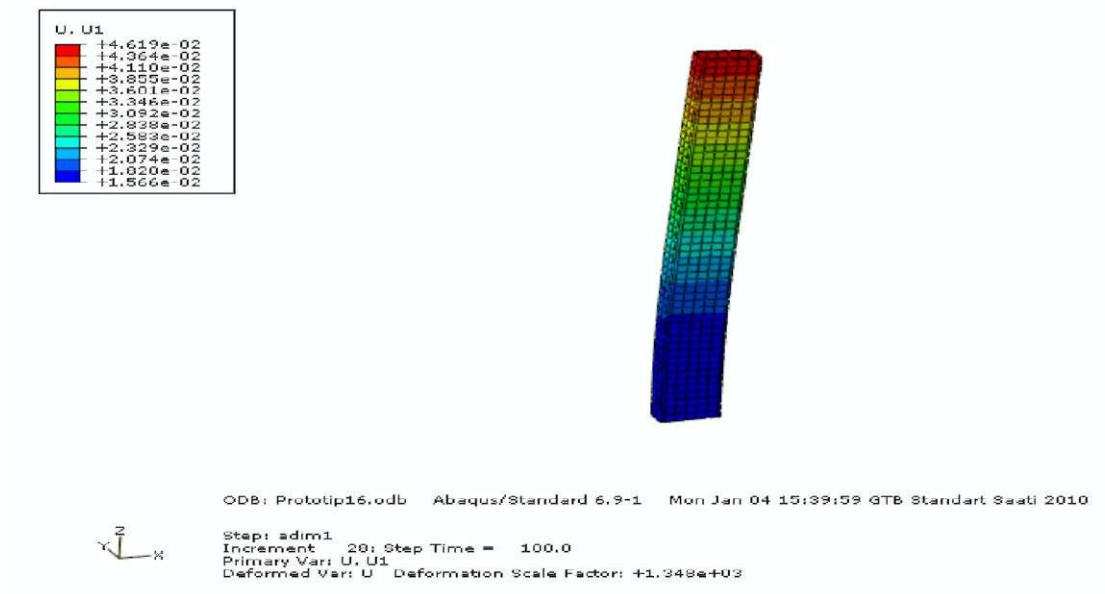
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.48).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7} \text{ değeri bulunur.}$$



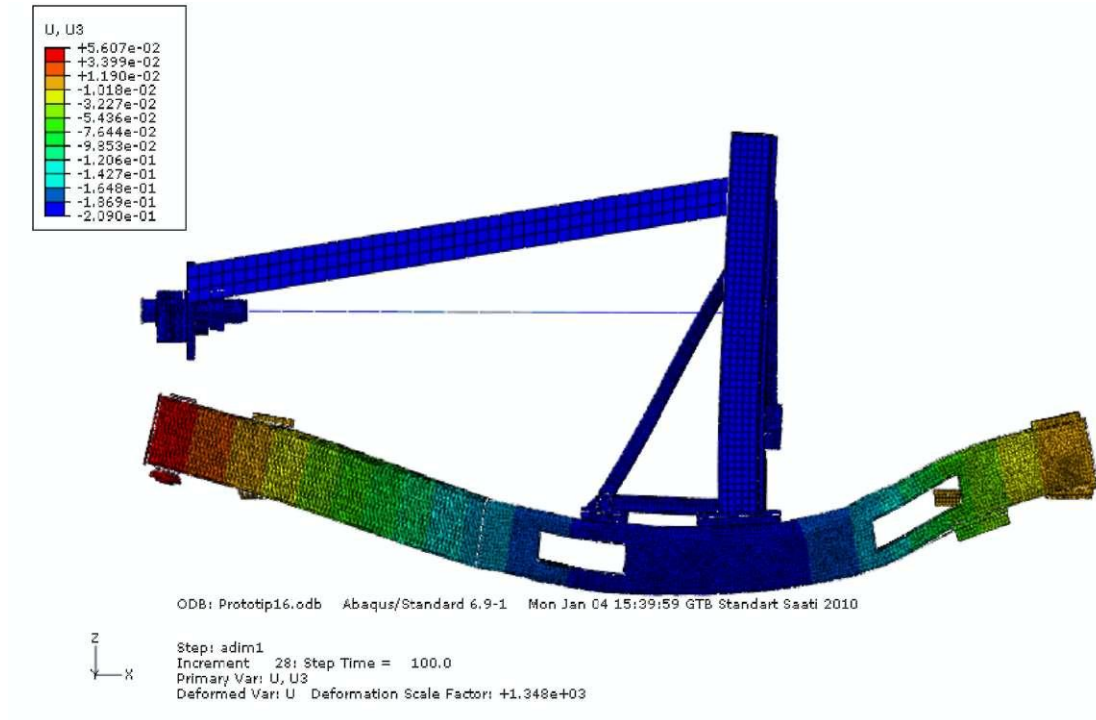
Şekil 6.48. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.49. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değişmesi



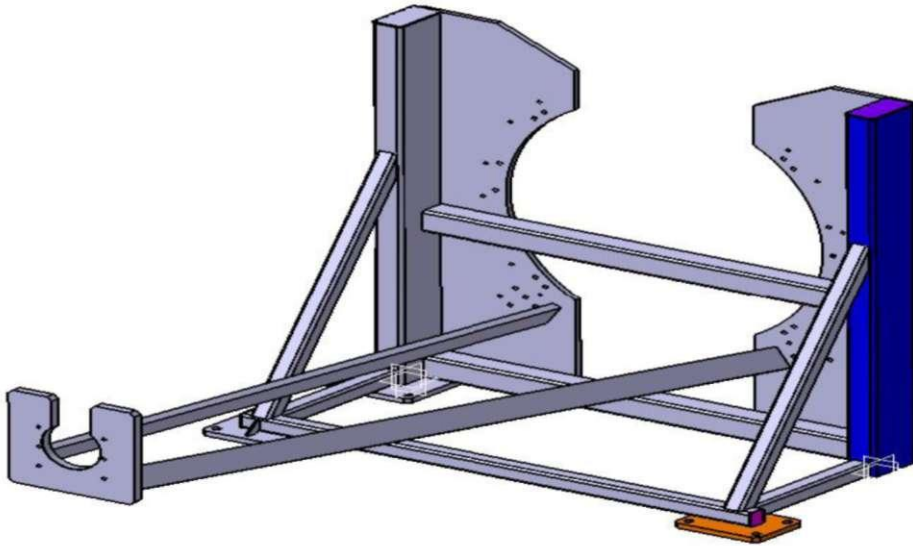
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.50'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.090 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.617 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.019 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



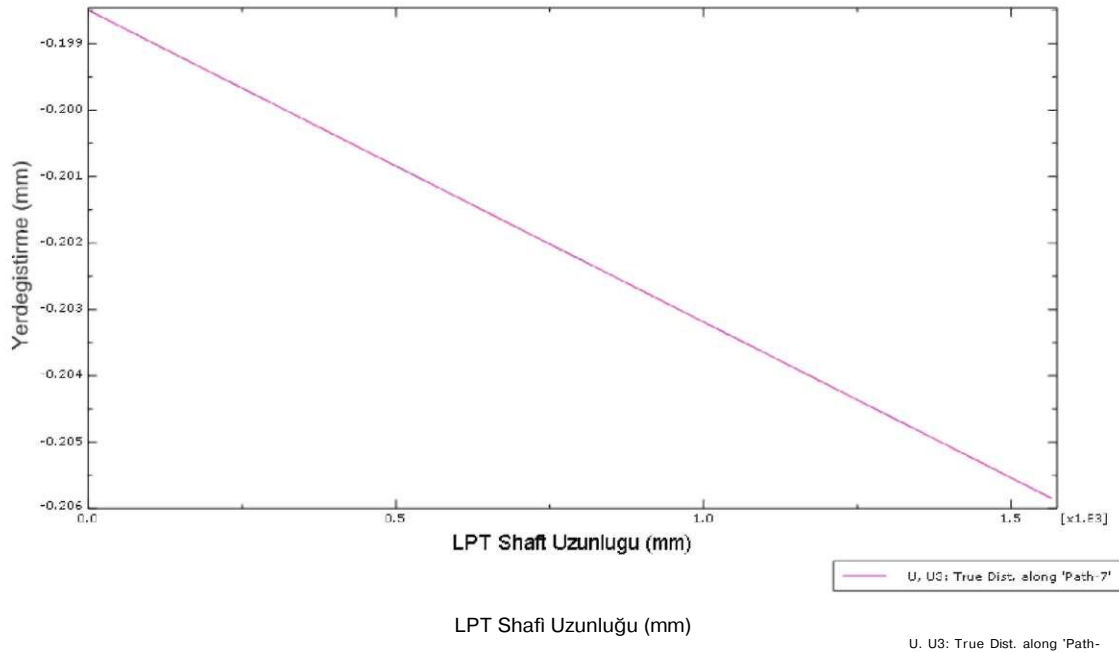
Şekil 6.50. Prototip 10 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.11. Prototip 11

Prototip 11 2 adet lama bağlantıdan oluşur. 18X60 mm olan bu bağlantılar destek saçlarının alt kısmı ile öndeki bağlantı kısmı arasında bağlantı sağlar. Bağlantılar kaynakla yapılmıştır. Alt bölümde değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 6.51. Prototip 11



Şekil 6.52. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.52'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

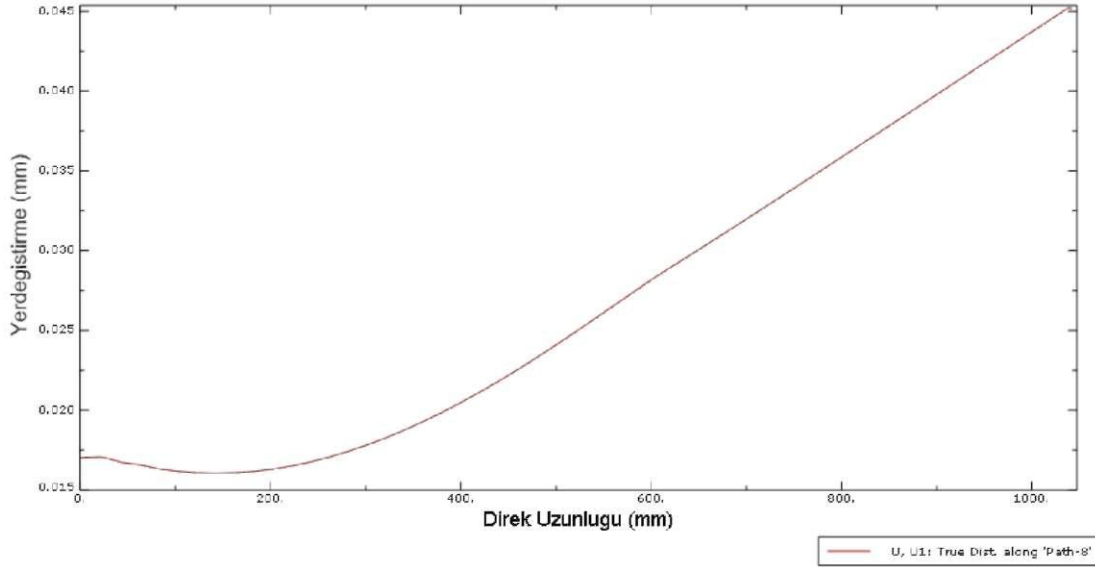
$$\tan \theta = (0.199 - 0.204) / 1500$$

$\tan \theta = 0,000000081$  değeri bulunur. Bu değer  $8.1 \times 10^{-8}^\circ$  dir.

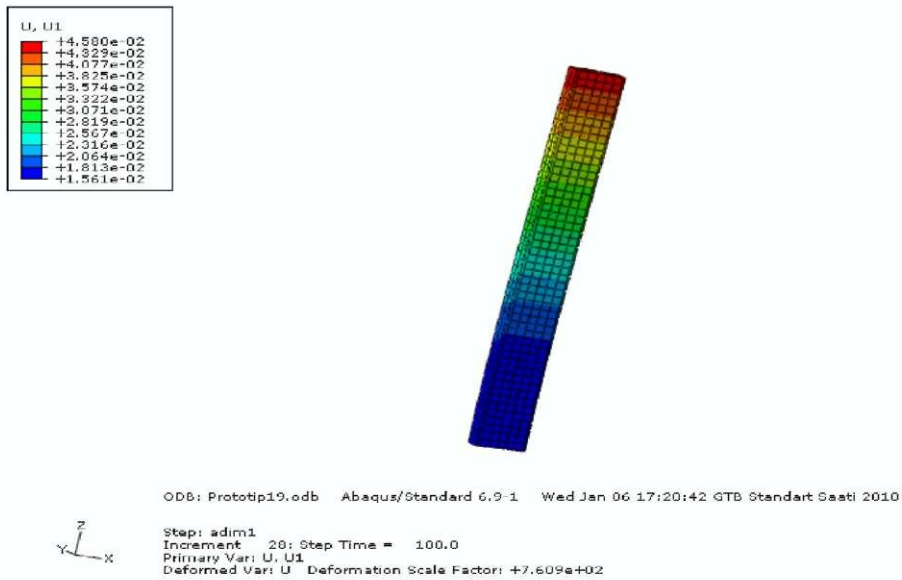
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil6.53).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

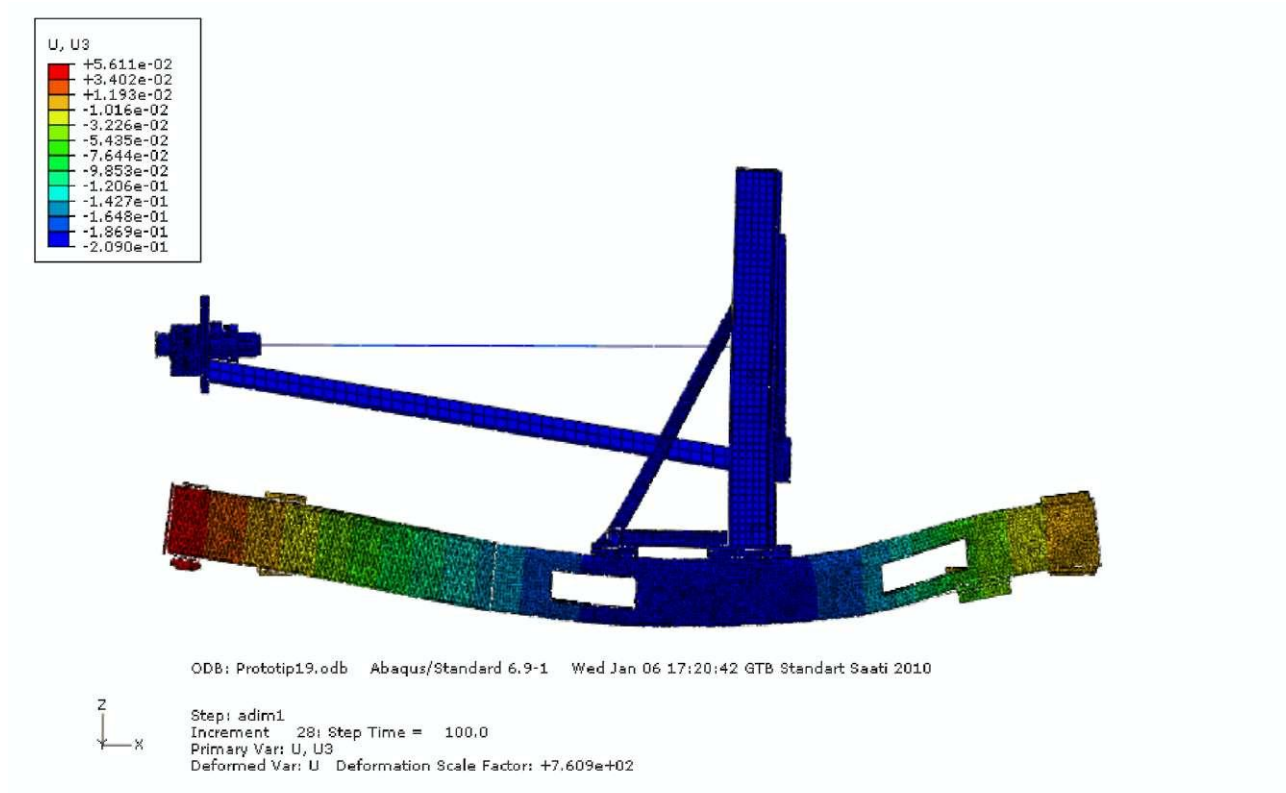


Şekil 6.53. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.54. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi

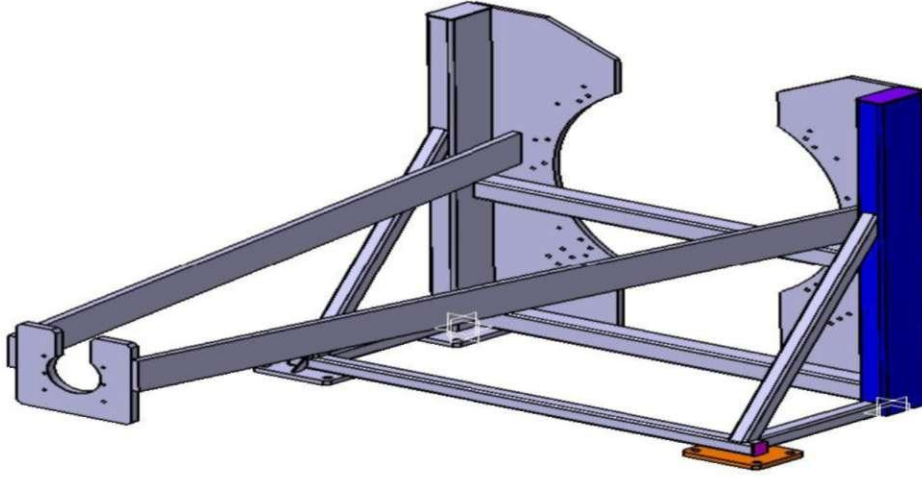
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.55'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.090 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.611 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.193 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



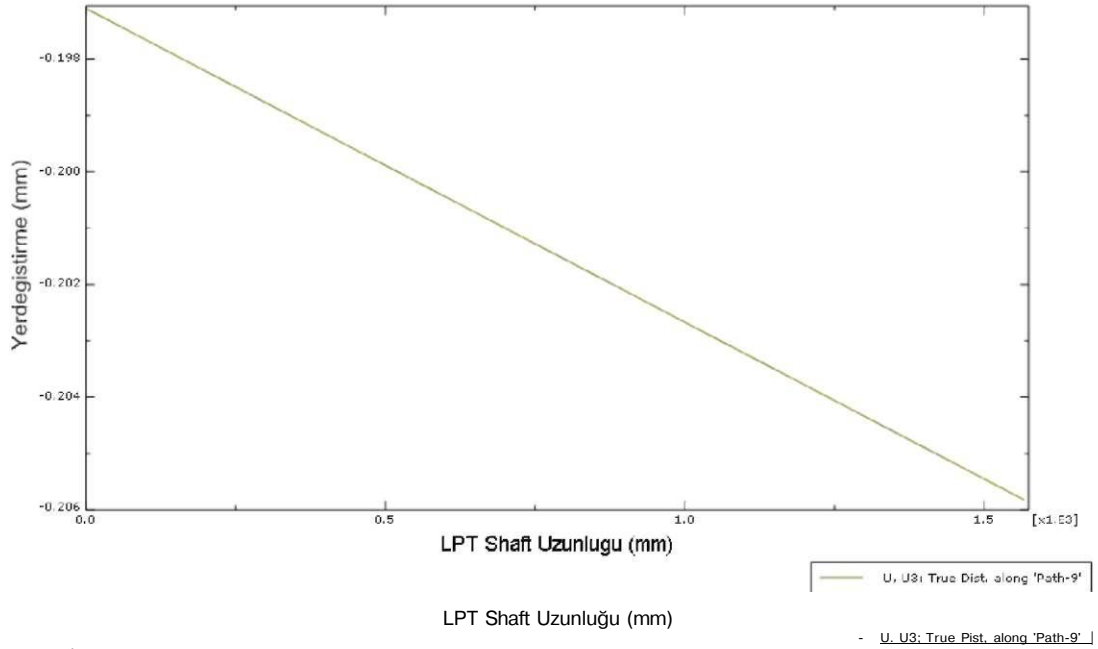
Şekil 6.55. Prototip 11 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.12. Prototip 12

Prototip 12 prototip 11 gibi lamalardan oluşur. 18X60 2 adet lamanın destek saçlarının orta kısmından ön kısımdaki bağlantı saçının yan kısımlarına bağlanması ile oluşmuştur. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır. Bağlantılar kaynak ile sağlanır.



Şekil 6.56. Prototip 12



Şekil 6.57. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.57'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

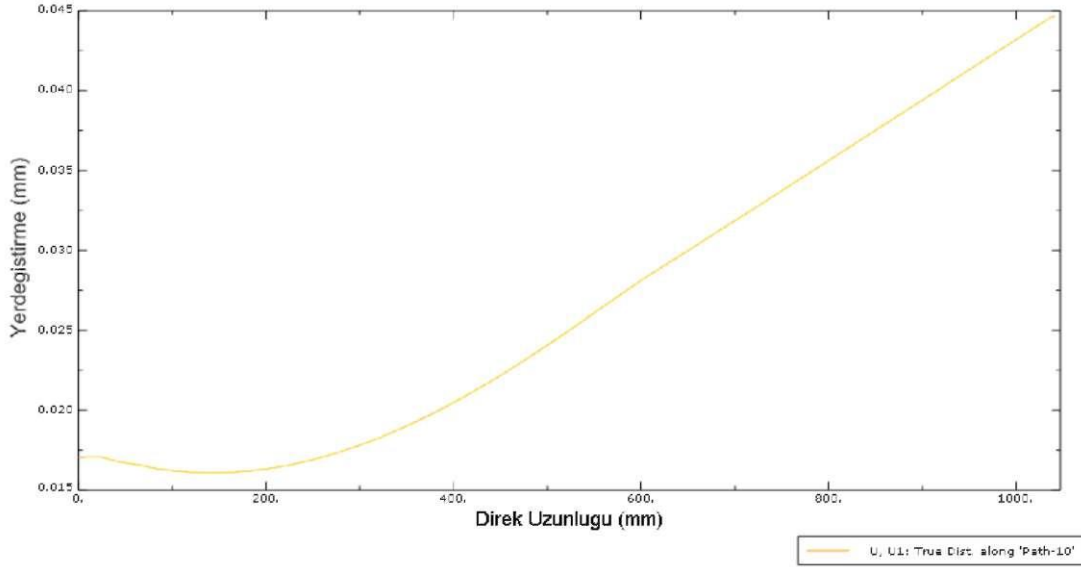
$$\tan \theta = (0.190 - 0.204) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000105$  değeri bulunur. Bu değer  $1.05 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

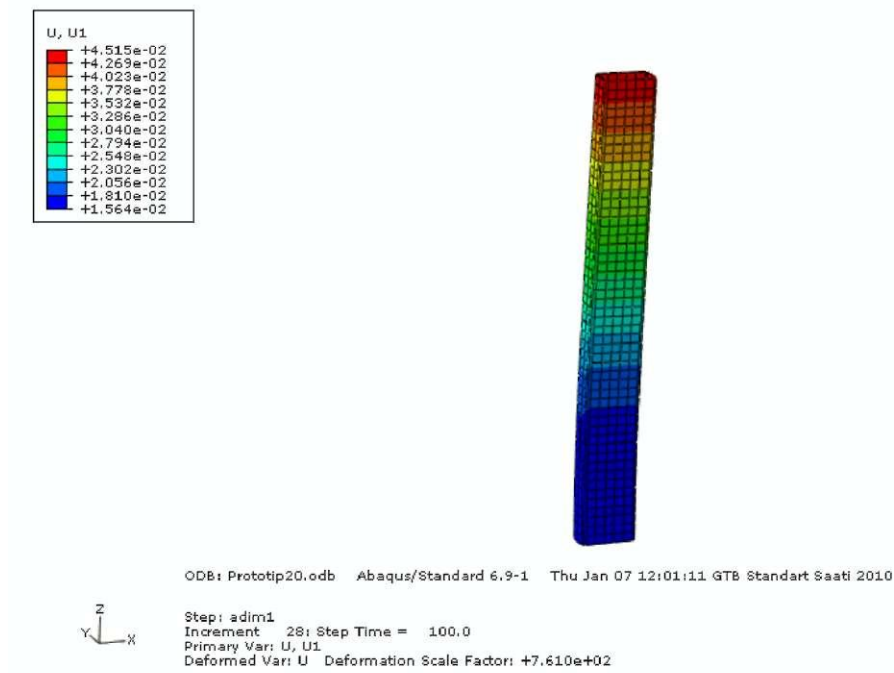
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.58).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$



Şekil 6.58. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.59. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değişimi

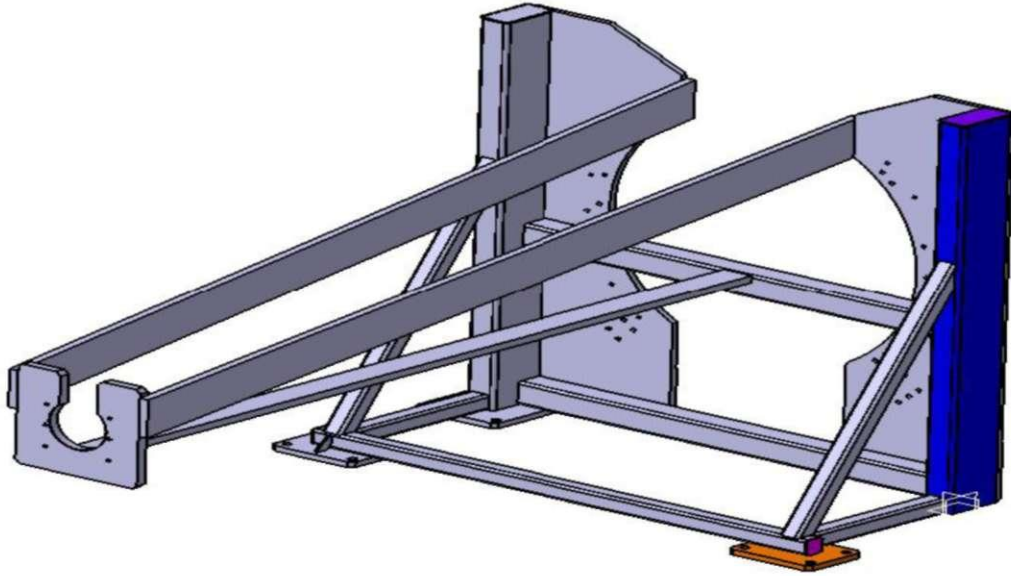
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.60'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.09 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.612 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.016 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



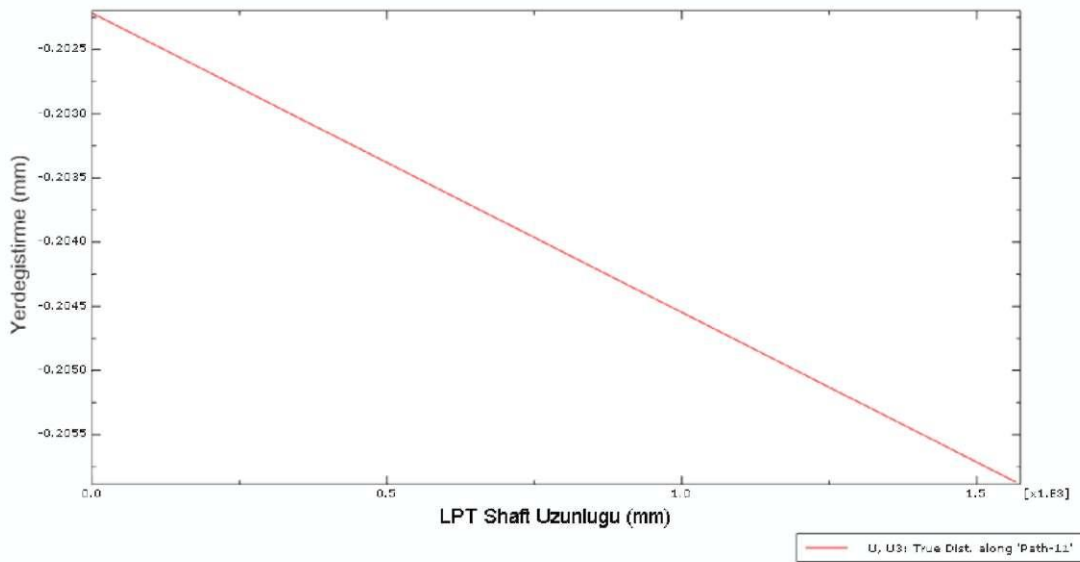
Şekil 6.60. Prototip 12 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.13. Prototip 13

Prototip 13 prototip 11 ve 12 gibi lamalardan oluşur. 18X100 2 adet lamanın destek saçlarının üst kısmından ön kısımdaki bağlantı saçının yan kısımlarına bağlanması ile oluşmuştur. Orta kısımdaki 18\*60 lama orta dirsek ile ön bağlantı parçası arasında destek sağlamaktadır. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır. Bağlantılar kaynak ile sağlanır.



Şekil 6.61. Prototip 13



LPT Shaft Uzunluğu (mm)

- u, U3: True Dist. along 'Path-11' |

Şekil 6.62. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.62'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

$$\tan \theta = (0.2025 - 0.2055) / 1500$$

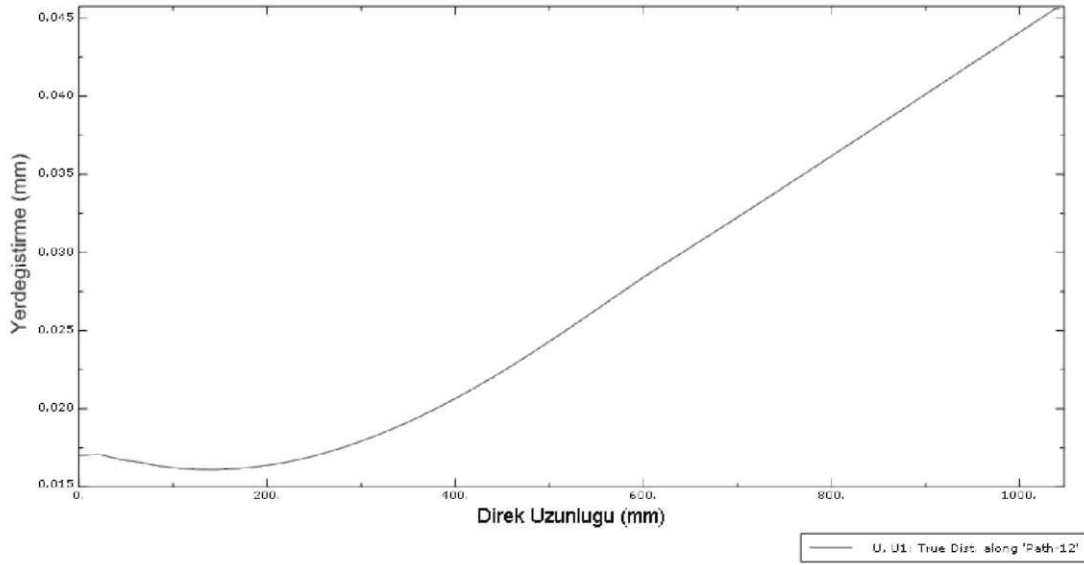
$\tan \theta = 0.000000035$  değeri bulunur. Bu değer  $3.50 \times 10^{-8}^\circ$  dir.



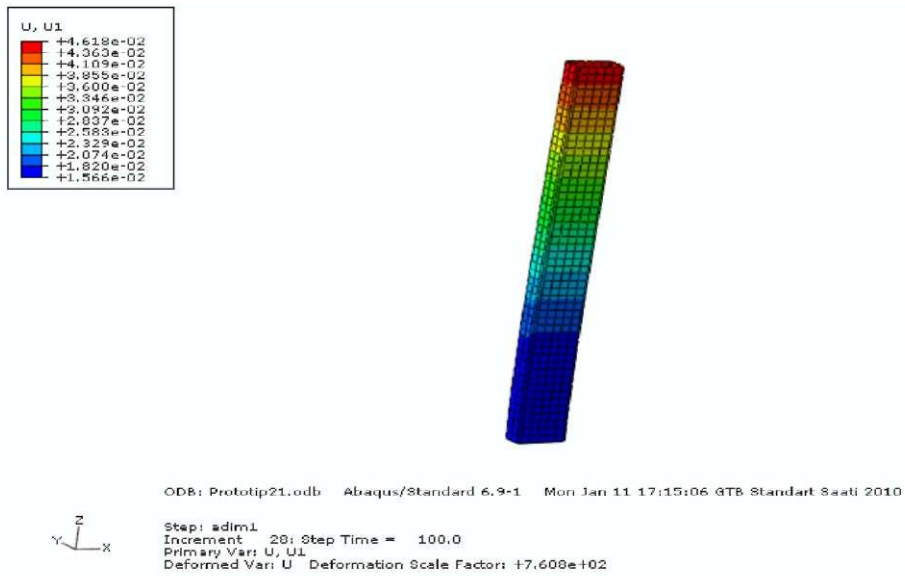
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.63).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

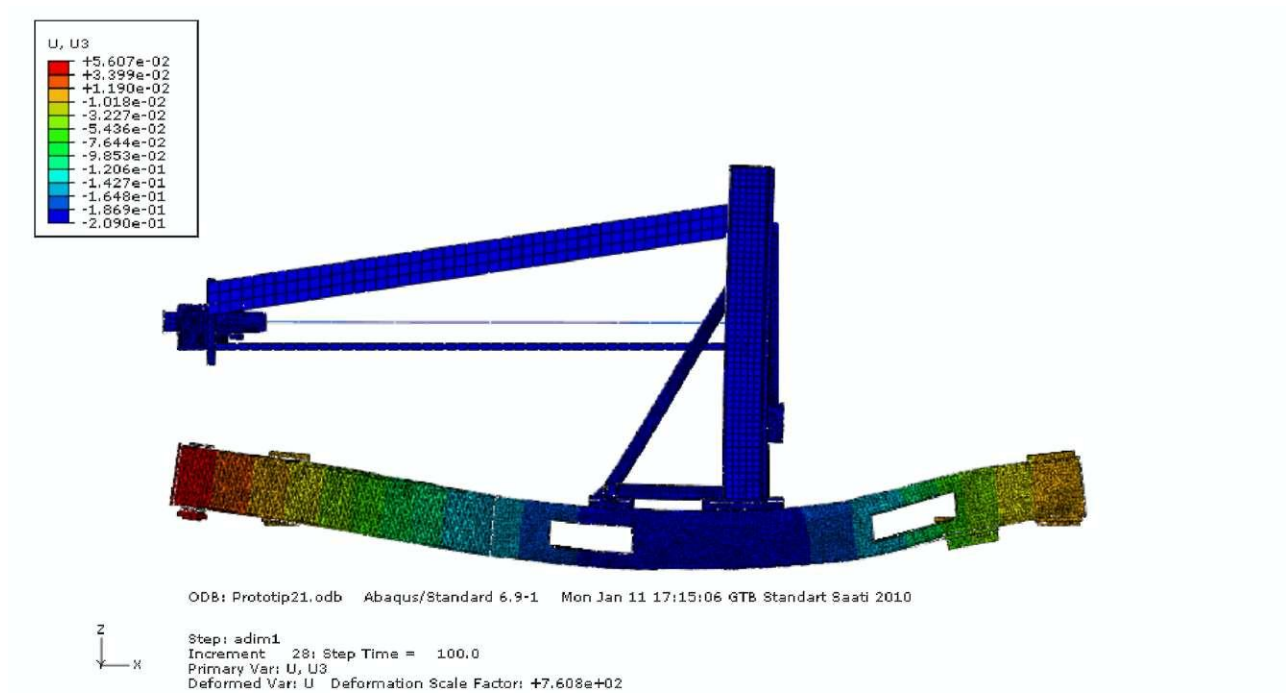


Şekil 6.63. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.64. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değiştirmesi

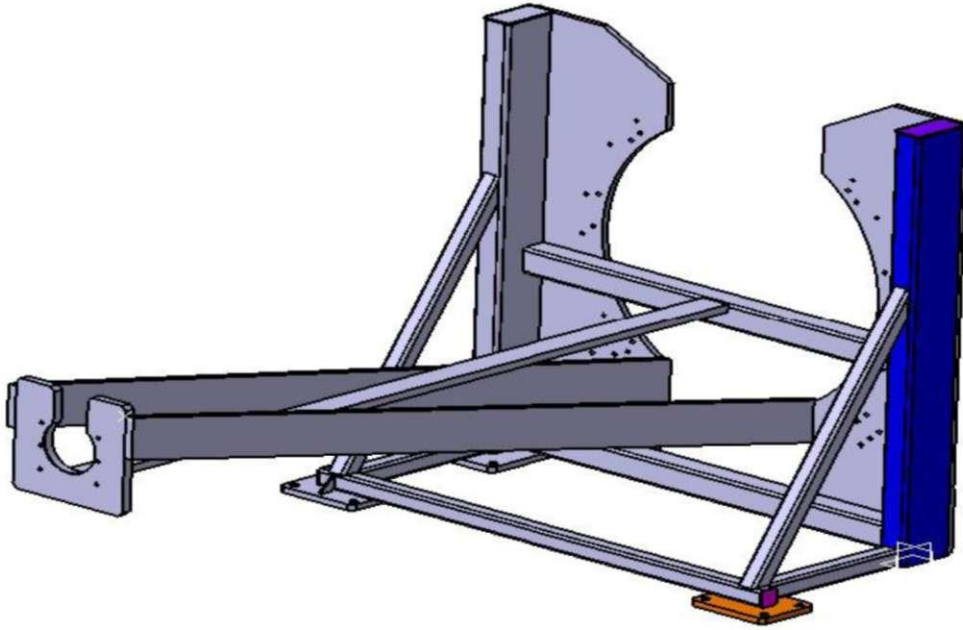
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.65'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.09 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.607 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.018 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



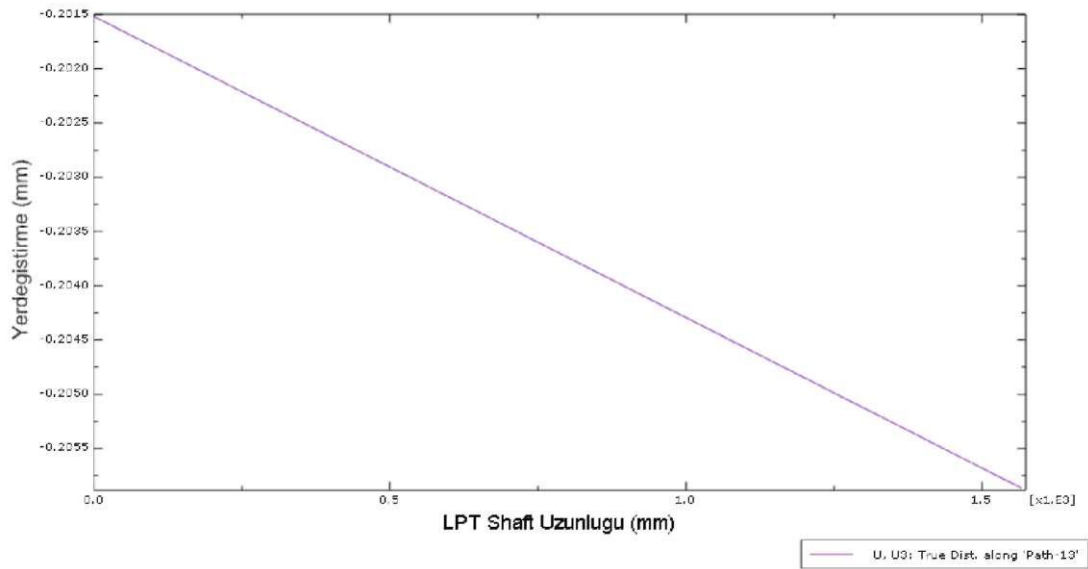
Şekil 6.65. Prototip 12 çökme resmi ve değerleri

#### 6.1.14. Prototip 14

Prototip 14 prototip 13 gibi 2 adet 18X100 ve bir adet 18X60 lamadan oluşmuştur. 2 adet lama destek saçlarının alt kısmından öndeki bağlantı saçının yanlarına giderken diğer lamada orta direktten ön bağlantıya giderek destek görevi görür. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.66. Prototip 14



Şekil 6.67. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.67'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

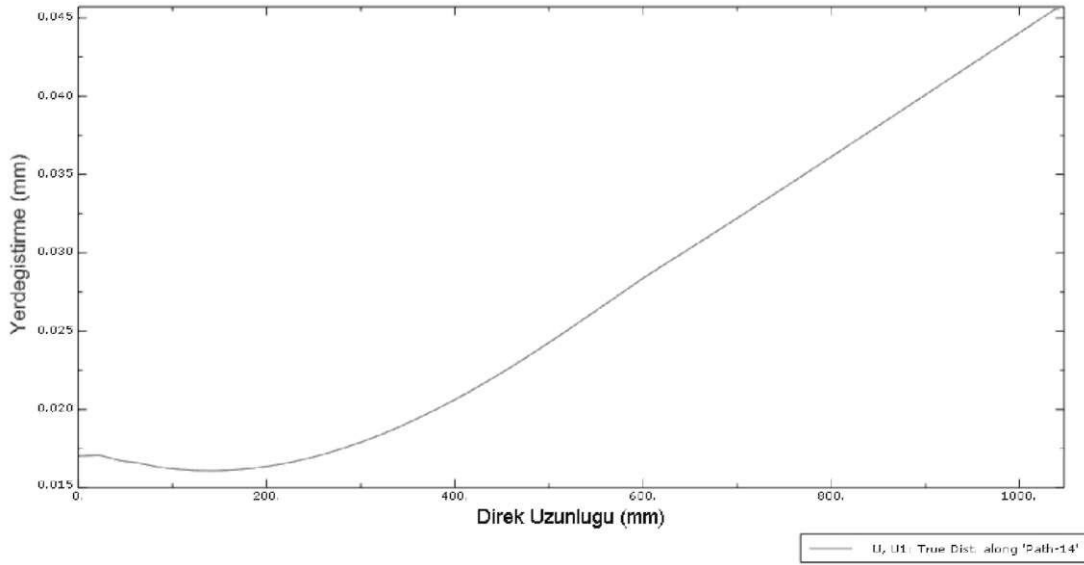
$$\tan \theta = ( 0.2015 - 0.2055 ) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000047$  değeri bulunur. Bu değer  $4.70 \times 10^{-8} \text{ }^\circ$  dir.

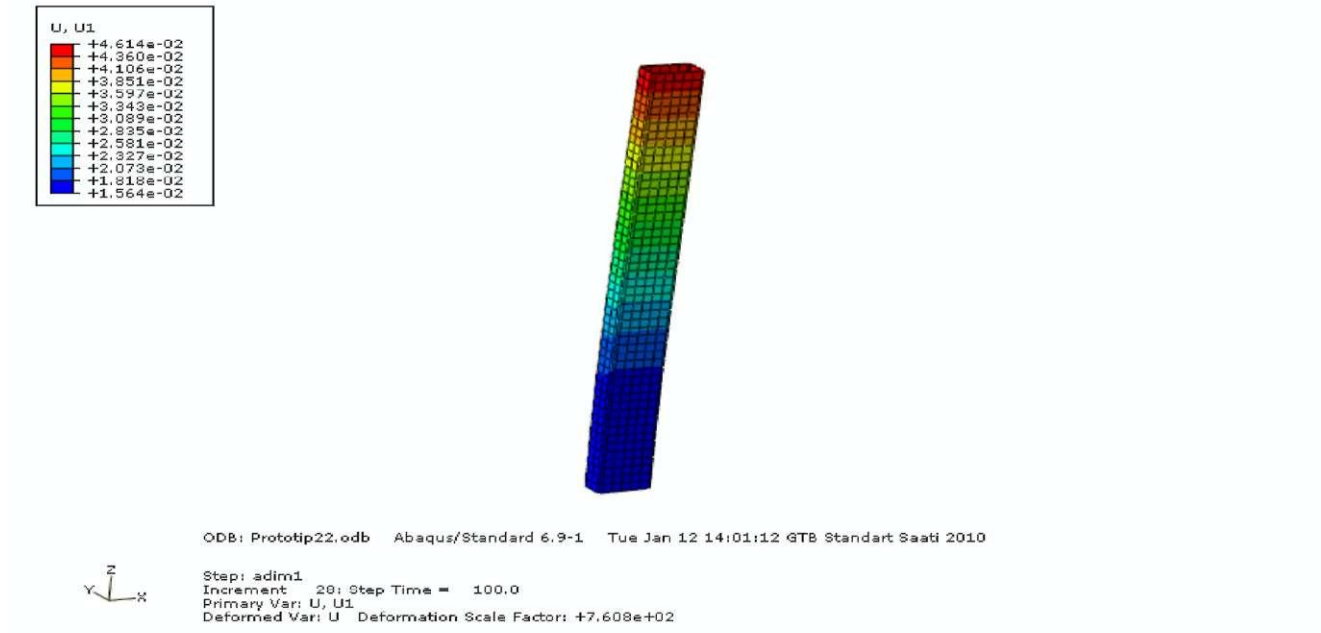
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.68).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

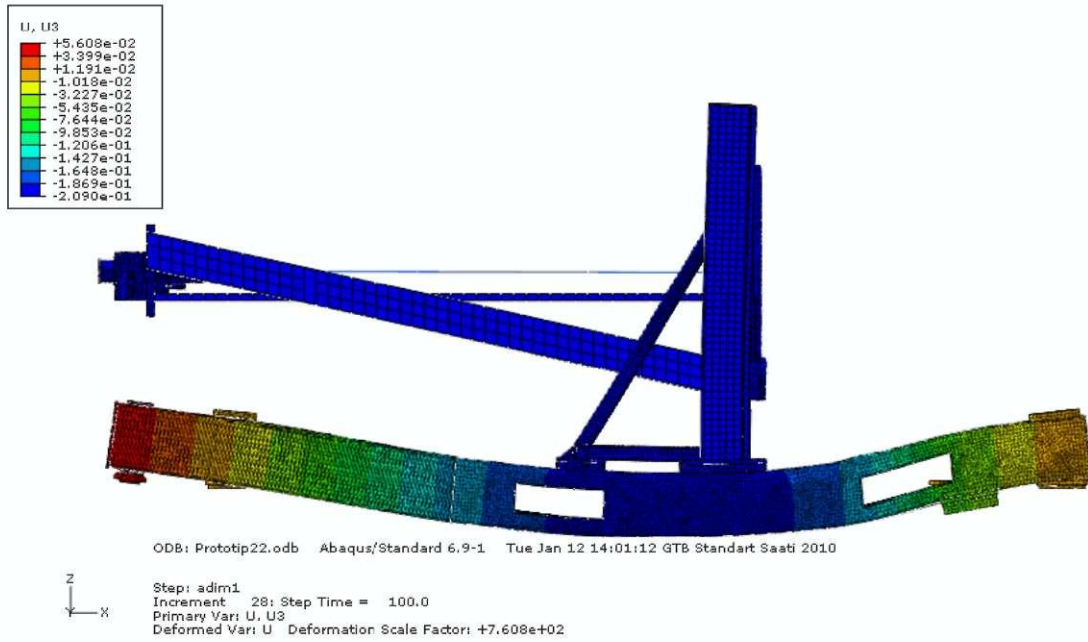


Şekil 6.68. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.69. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değıştirmesi

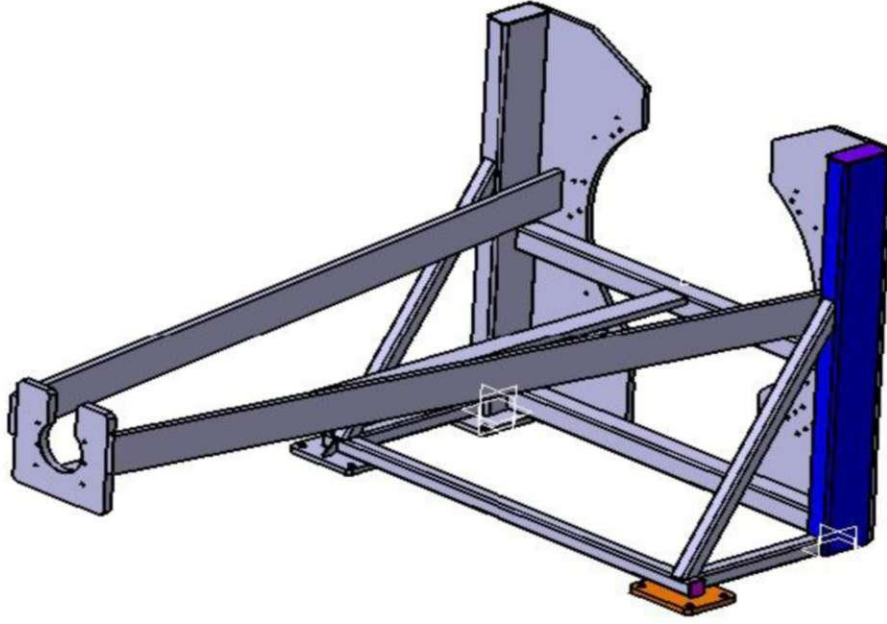
Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.70'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.09 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.608 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.018 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.



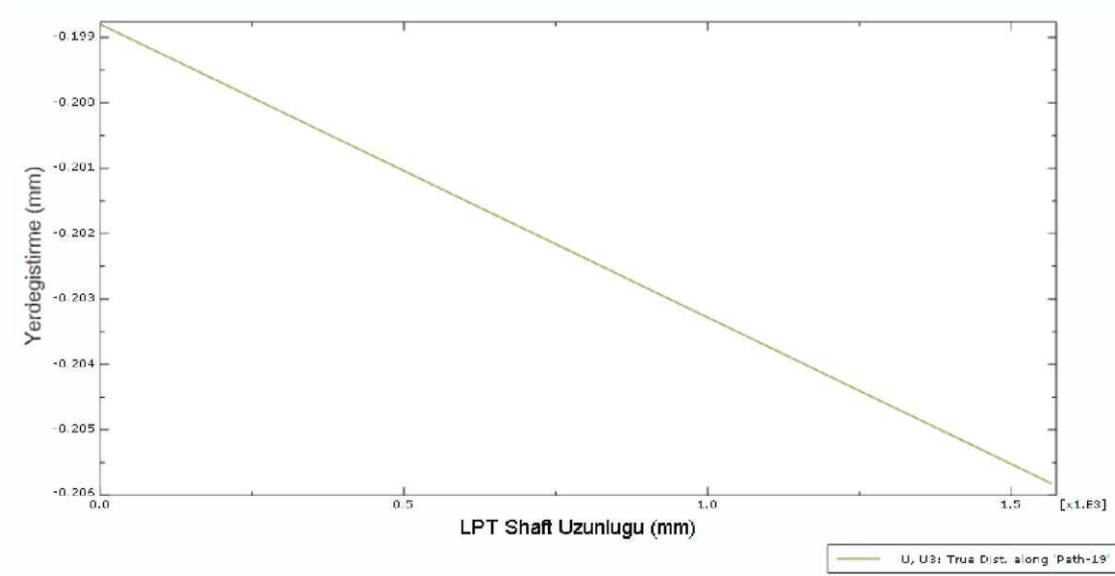
Şekil 6.70. Prototip 14 çökme resmi ve değerleri

### 6.1.15. Prototip 15

Prototip 15 prototip 13 gibi 2 adet 18X100 ve bir adet 18X60 lamadan oluşmuştur. 2 adet lama destek saçlarının orta kısmından öndeki bağlantı saçının yanlarına giderken diğer lamada orta direktten ön bağlantıya giderek destek görevi görür. Alt çekici kısım ile bağlantılar standarttır.



Şekil 6.71. Prototip 15



Şekil 6.72. LPT milin eğilmesi

Şekil 6.72'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek Prototip 1 içinde uyguladığımız formülümüzü uygularız. Sonuç;

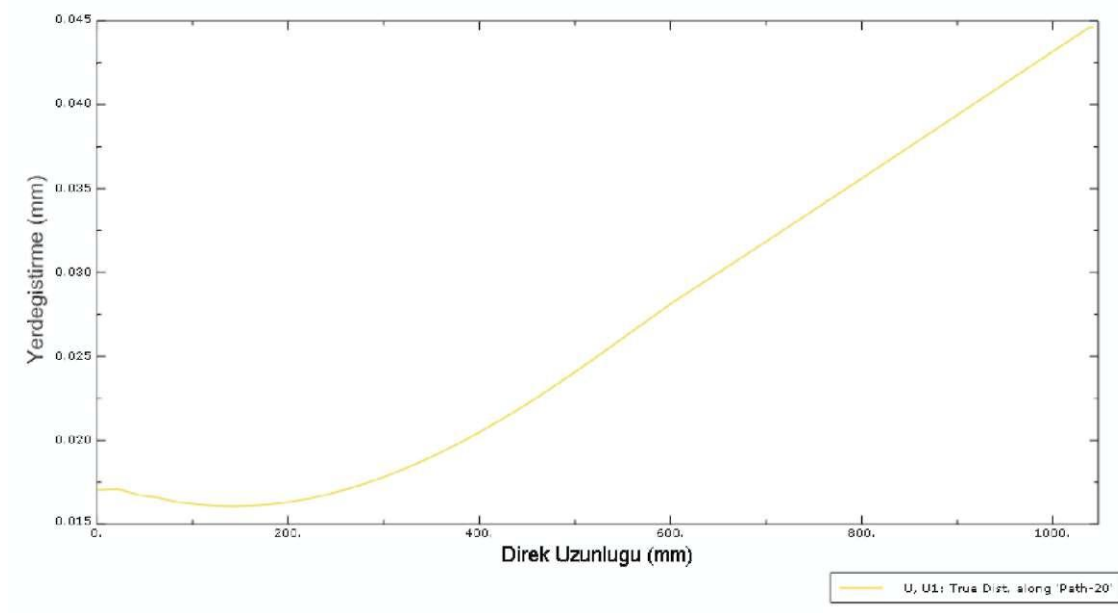
$$\tan \theta = (0.199 - 0.204) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000081$  değeri bulunur. Bu değer  $8.1 \times 10^{-8} \text{ } ^\circ$  dir.

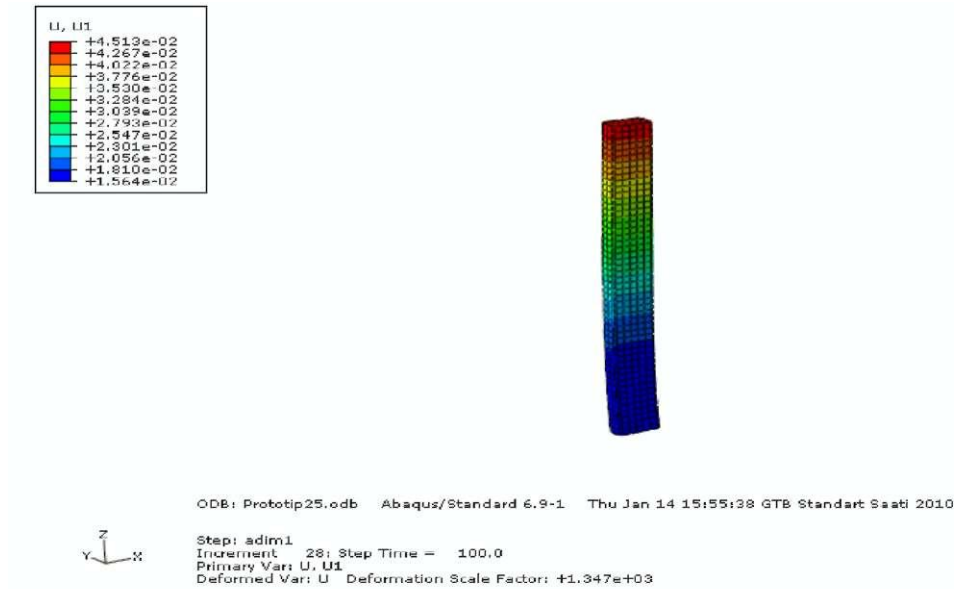
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.73).

$$\tan \theta = (0.040 - 0.015) / 1000$$

$$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7} \text{ }^\circ \text{ değeri bulunur.}$$

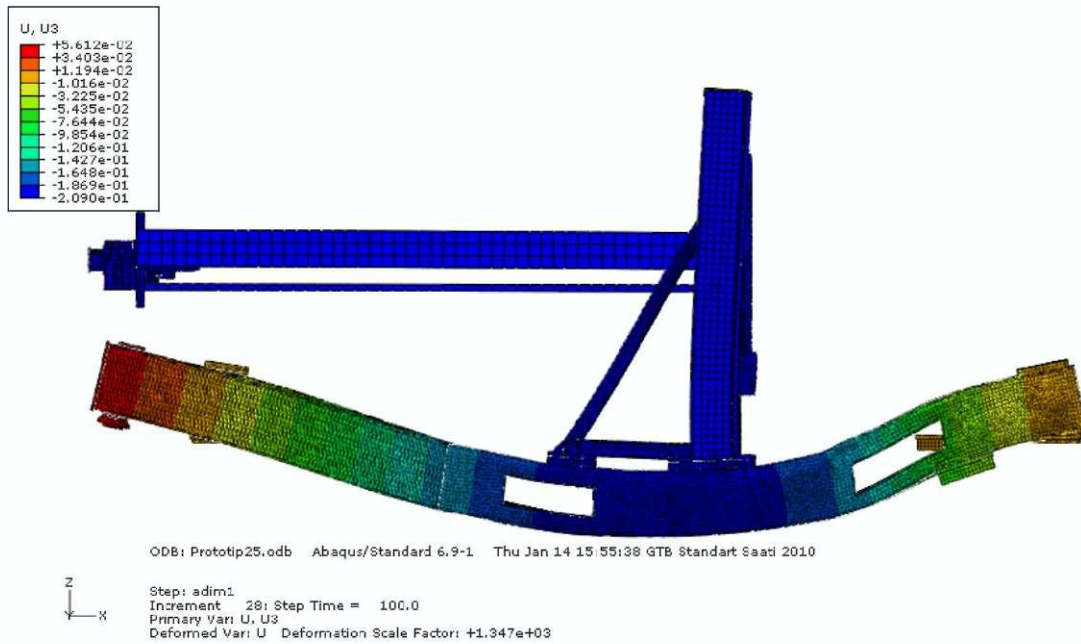


Şekil 6.73. Direk üzerine gelen kuvvetlerin sonucunda direğin eğilmesi



Şekil 6.74. Direğin üzerine gelen kuvvetler sonucunda yer değıştirmesi

Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.75'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir. Buradaki yer değiştirme  $2.09 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın ön ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.612 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.016 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.

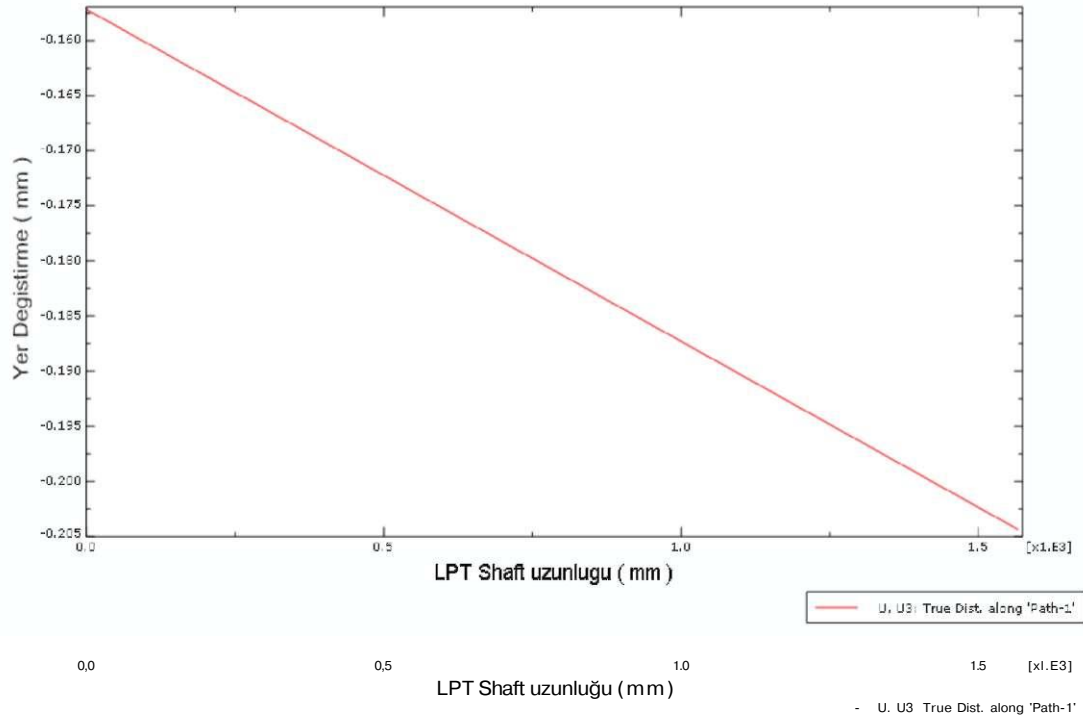


Şekil 6.75. Prototip 15 çökme resmi ve değerleri

## 6.2. Taşıma Aracının İncelenmesi

Hâlihazırda kullanılan taşıma aracının incelenerek LPT milinin üzerine gelen yükler sonucu kaç derecelik bir eğilmeye maruz kaldığını; yükleme sonunda taşıma aracında kaç mm'lik bir çökme meydana geldiğini ve ana direklerin yükleme sonucunda kaç derece eğildiğini bularak yapmış olduğumuz prototipler ile kıyaslayabiliriz.





Şekil 6.76. Hali hazırda kullanılan taşıma aracının LPT milin eğilmesi

Şekil 6.76.'e göre milin eğilme açısını bulmak istersek;

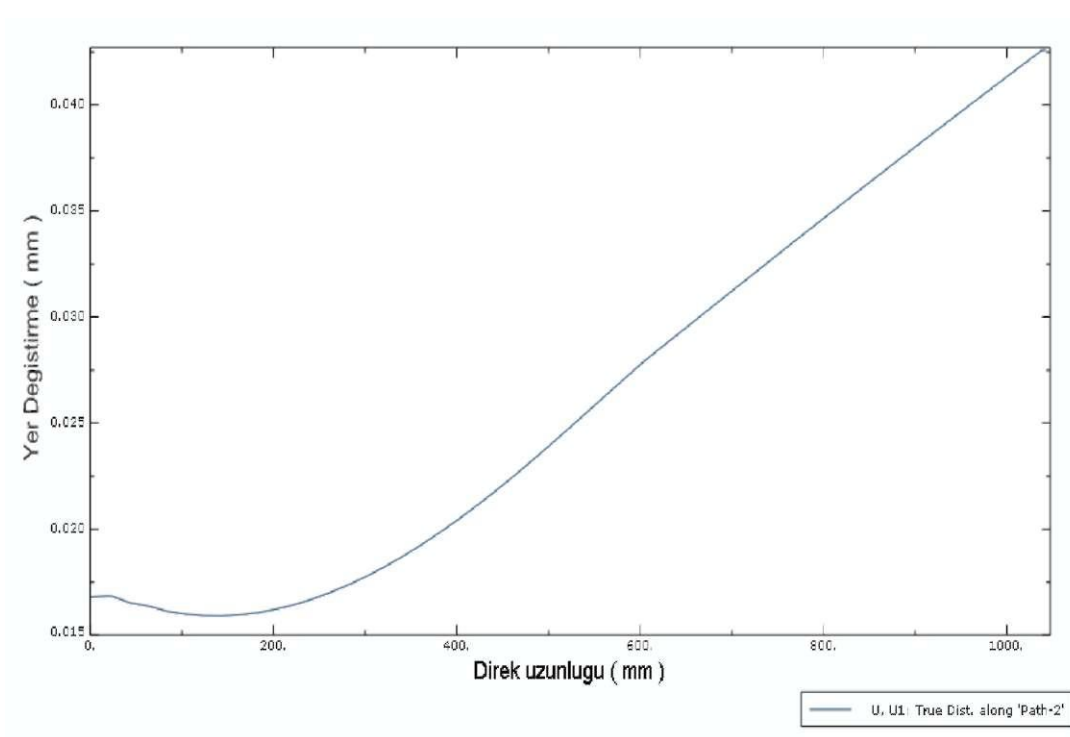
$$\tan \theta = ( 0.205 - 0.160 ) / 1500$$

$\tan \theta = 0.000000524$  değeri bulunur. Bu değer  $5.24 \times 10^{-7}^\circ$  dir.

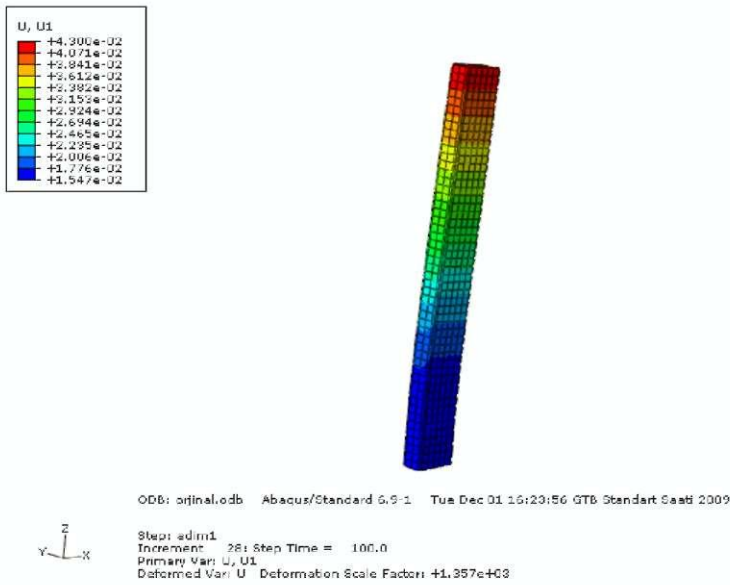
Yan direklere etki eden kuvvetlerin sonucunda direklerin nasıl etkilendiğine bakmak istediğimizde aşağıdaki tabloya bakarak sonuç çıkarabiliriz. Direğin eğilme açısını bulmak için yukarıda kullandığımız formülü kullanabilir (Şekil 6.77).

$$\tan \theta = ( 0.040 - 0.015 ) / 1000$$

$\tan \theta = 5.24 \times 10^{-7}^\circ$  değeri bulunur.



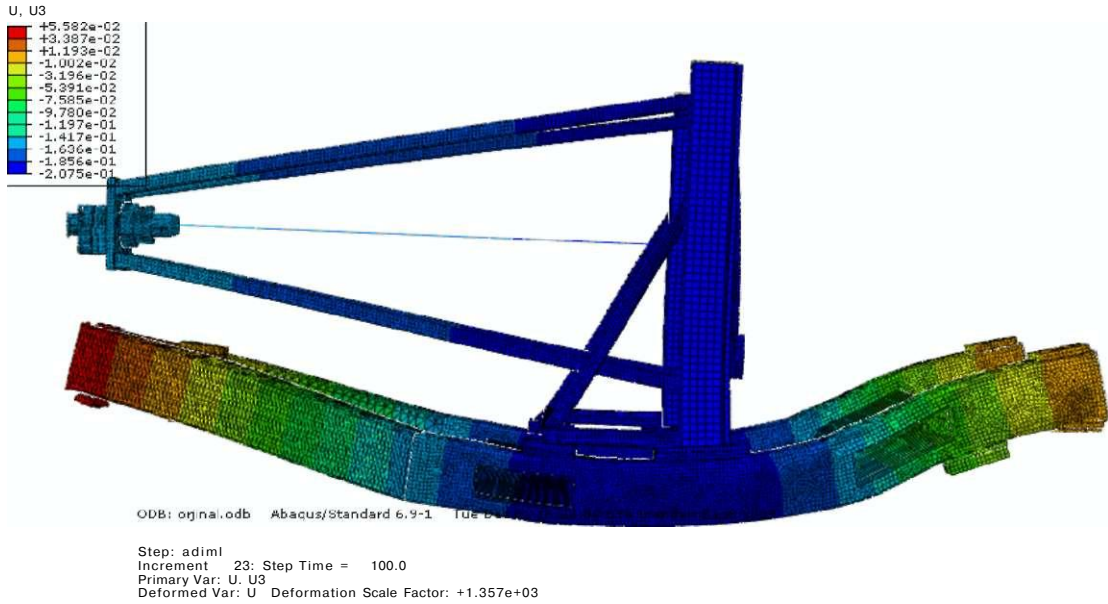
Şekil 6.77. Hali hazırda kullanılan taşıma aracındaki direklerin eğilmesi



Şekil 6.78. Hali hazırda kullanılan Taşıma aracındaki direklerin eğilmesi

Bu eğilmelerin dışında taşıma aracının üzerine gelen ağırlıktan dolayı bir miktar aşağıya doğru çökmesi söz konusudur. Bu çökme Şekil 6.79'de gösterilmiştir. Şekildeki verilere göre direklerin tabanı yüklemenin en çok etki ettiği yerdir.

Buradaki yer değiştirme  $2.075 \times 10^{-1}$  mm olarak görülmektedir. Bu yüklemenin ve yere basan tekerlek mesnet noktalarının da etkisiyle aracın n ve arka kısmında da aksi yönde bir yer değiştirme gözlenir. Öndeki yer değiştirme  $5.582 \times 10^{-2}$  mm arkadaki yer değiştirme ise  $1.193 \times 10^{-2}$  mm olarak görülmektedir.

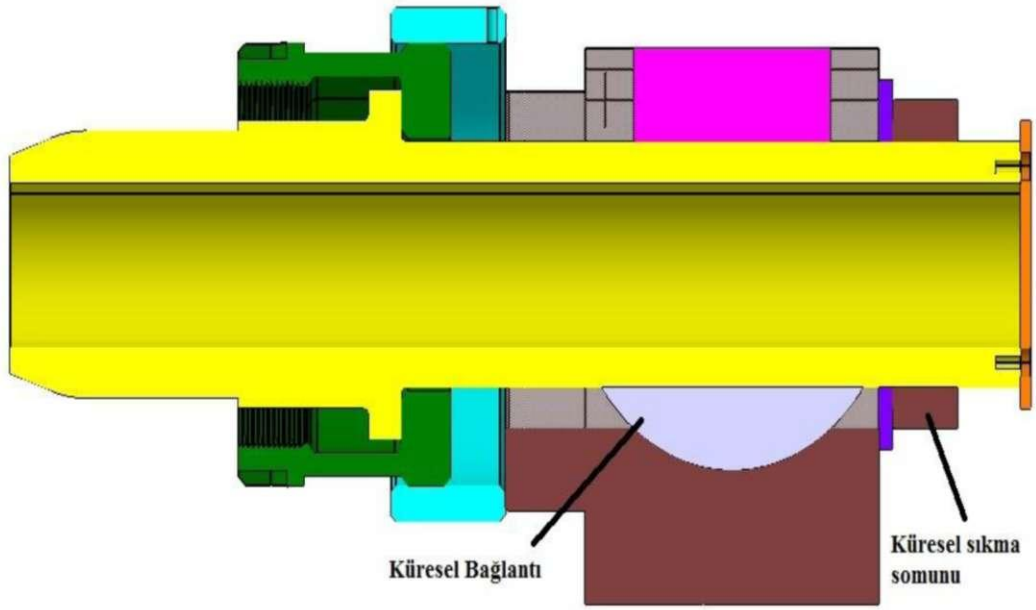


şekil 6.79. Hali hazırda kullanılan Taşıma aracındaki yükleme sonrası ckme

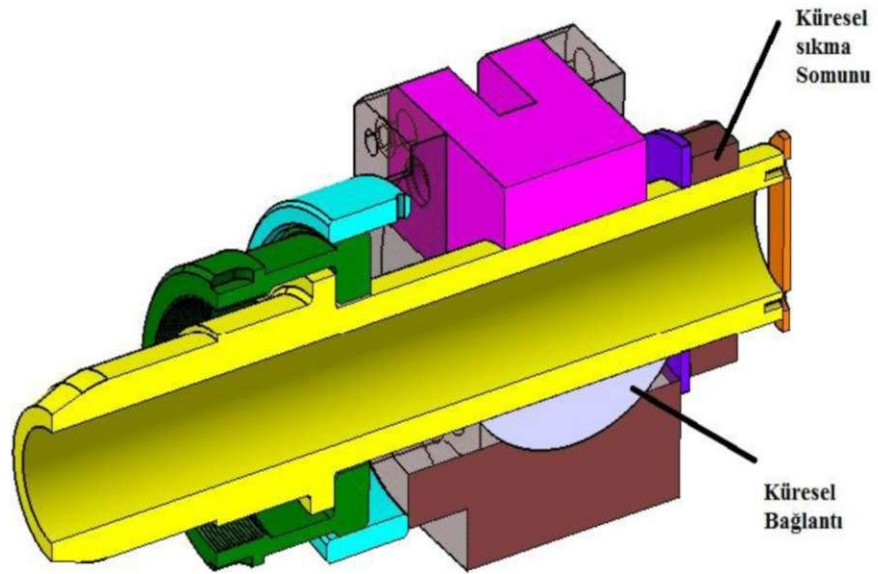
### 6.3. İmalatı Etkileyen Tasarım Değişiklikleri

Yukarıda bahsedilen ve analizi yapılan prototiplerin dışında, imalatı etkileyen ve LPT milinin bağlanması kolaylaştırarak imalat maliyetini düşürecek fakat yüklemeyi ve sistemi etkilemeyecek tasarım değişiklikleri de mevcuttur.

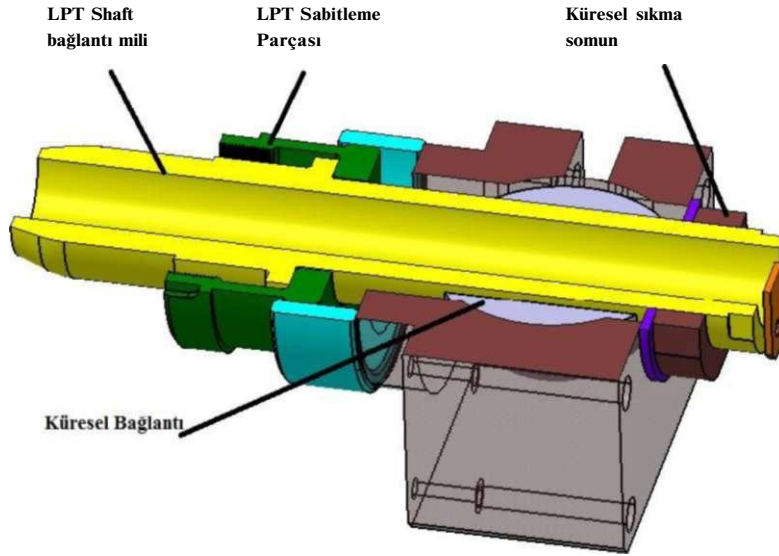
Bunlardan biri olarak LPT milinin uç kısmının bağlanması için gerekli olan mekanizmanın yenilenerek bağlama işlemi sırasında oluşabilecek eğilmelerin önlenmesini sağlayan küresel bağlama mekanizması gösterilebilir. Bu mekanizma sayesinde milin uç ve LPT modüle bağlanan kısımları arasındaki diklik otomatikman sağlanmış olur. Bu sayede taşıma aracının üst kısmın imalatı esnasında kaynak işlemlerinden sonra tekrardan işlenmesine gerek duyulmaz ve maliyet azaltılmış olur (şekil 6.80 , şekil 6. 81 ve şekil 6.82).



Şekil 6.80. LPT mili küresel bağlama mekanizması



Şekil 6.81. LPT mili küresel bağlama mekanizması



Şekil 6.82. LPT Mili küresel bağlama mekanizması

Şekilsel olarak gösterilen bu dizaynın geliştirilerek uygulanır hale getirilmesi gerekmektedir. Bu kısımda örnek teşkil etmesi ve uygulanabilir olduğu gösterilmiştir.

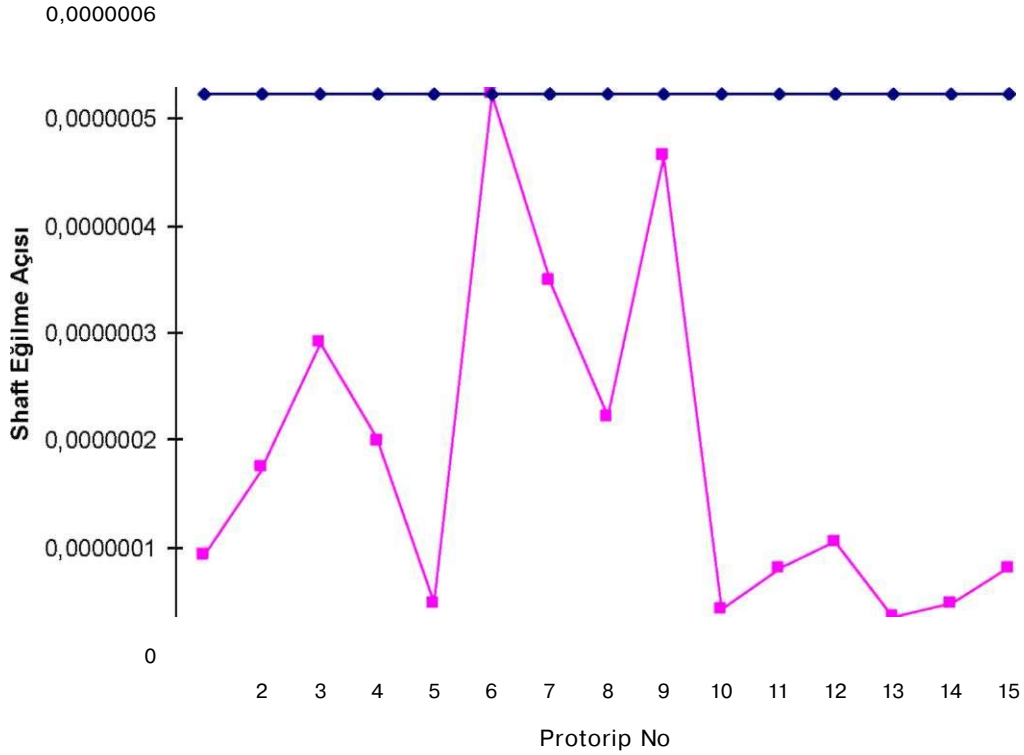
Bunun dışında aracın imalatında kullanılan yöntemlere de dikkat edilerek maliyetin azaltılması sağlanabilir. Aracın tamamına yakını kaynak işlemleriyle birleştirildiğinden, kaynak işlemi yapılırken birleştirmeye en uygun kaynak yöntemi seçilerek maliyeti minimum da tutmak mümkün olacaktır. Başka bir dikkat edilmesi gereken nokta ise araç üzerindeki kaynak dışındaki bağlantılardır. Bu bağlantıları sökülecek olanlar ve sökülmecek olanlar olarak iki bölümde ele alabilir. Sökülecek olan bağlantılar, LPT modülünün araca bağlanması ve araçtan sökülmesi esnasında kullanılan bağlantılardır. Bu bağlantıların kolayca sökülüp takılması ve LPT modülünün maksimum şekilde emniyetini sağlaması gerekir. Bu gereksinimlere uygun civata, somun vb. ekipmanları kullanarak maliyet minimum da tutulabilir.

Sökülmeyecek olan bağlantılarda ise aracın modülü maksimum emniyetli şekilde muhafaza edebileceği uygun ekipmanlar kullanılması yine maliyeti düşürecek faktörlerden biridir.

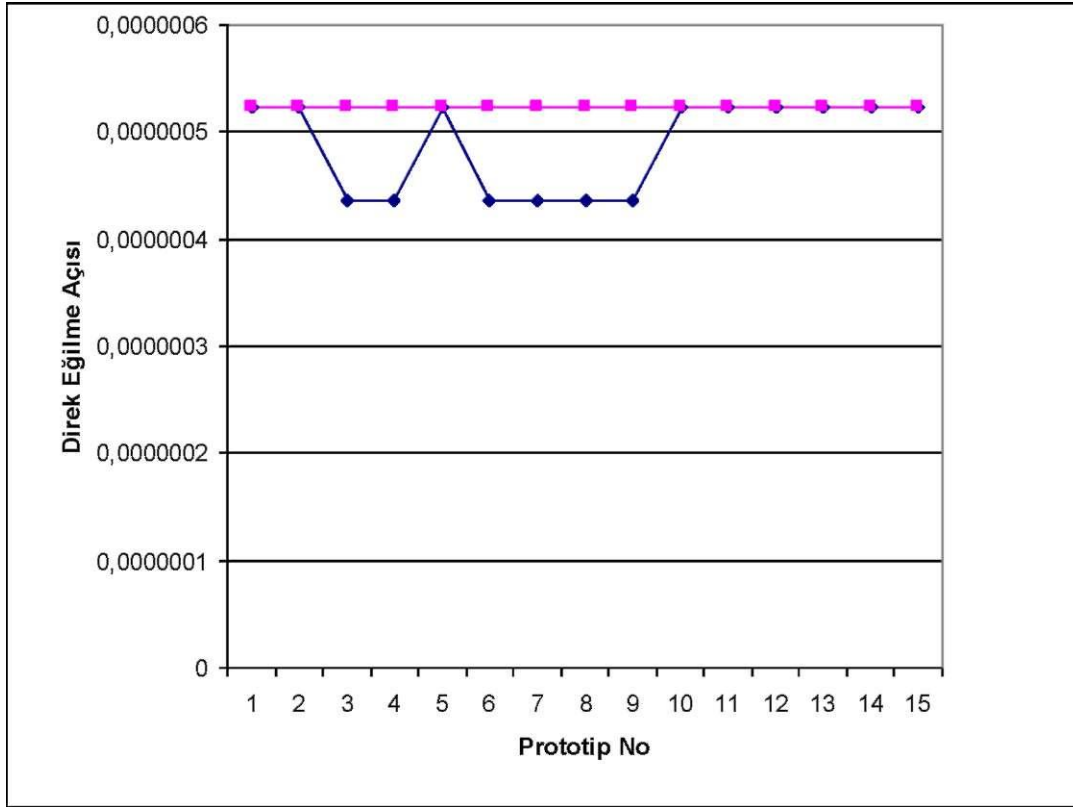
#### 6.4. Elde Edilen Sonuçların Kıyaslanması

Shaft eğilme açısı bakımından prototipleri incelediğimizde 13 numaralı prototipin hali hazırdaki LPT taşıma arabasındaki değer olan  $0,000000524^\circ$  ( $5.24 \times 10^{-7}$ ) değerine bakılarak en ufak değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Shaft eğilme açısı bakımından en düşük değeri 13 numaralı prototip karşılamaktadır.

Eğilme açısının minimum olduğu prototipler sırasıyla 5, 11, 10 olarak sıralanabilir. Bunların arkasından 1, 15, 14 ve 12 numaralı prototipler gelmektedir. Tüm prototip için LPT milin eğilme açıları Şekil 6.83'de görülmektedir.



Şekil 6.83. LPT milin eğilme açıları

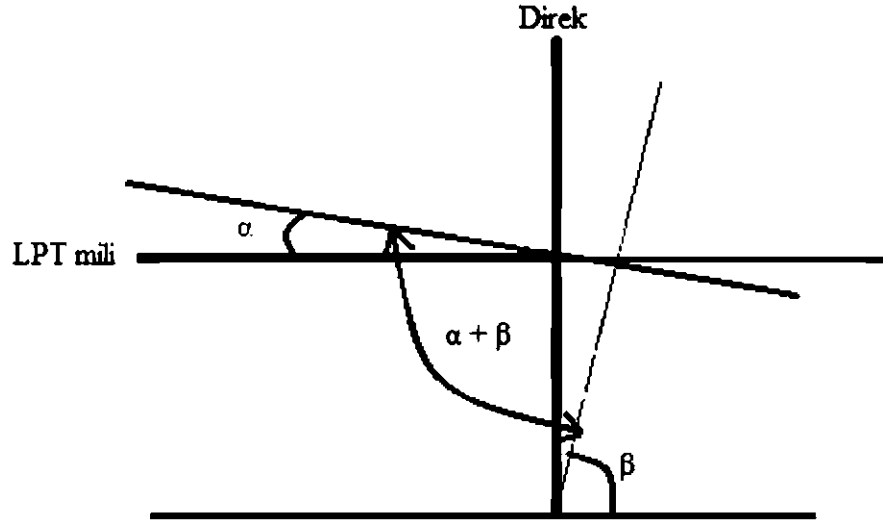


Şekil 6.84. Direk eğilme açıları

Direk eğilme açıları bakımından prototipler incelendiğinde 1, 2, 5, 10, 11, 12, 13, 14 ve 15 numaralı prototiplerin hali hazırda kullanılan taşıma arabasıyla aynı değer olan  $0,000000524^\circ$  ( $5.24 \times 10^{-7}$ ) değeri verdiğini görmekteyiz. Bu değerlerden daha iyi değerler ise 3, 4, 6, 7, 8 ve 9 numaralı prototiplerdir ve eğilme değerleri  $0,000000436^\circ$  ( $4.36 \times 10^{-7}$ ) olarak bulunmuştur.

Direk eğilme açısı bakımından 3, 4, 6, 7, 8 ve 9 numaralı prototipler uygunluk sağlamıştır. Şekil 6.84'de tüm prototiplerin eğilme açıları verilmiştir.

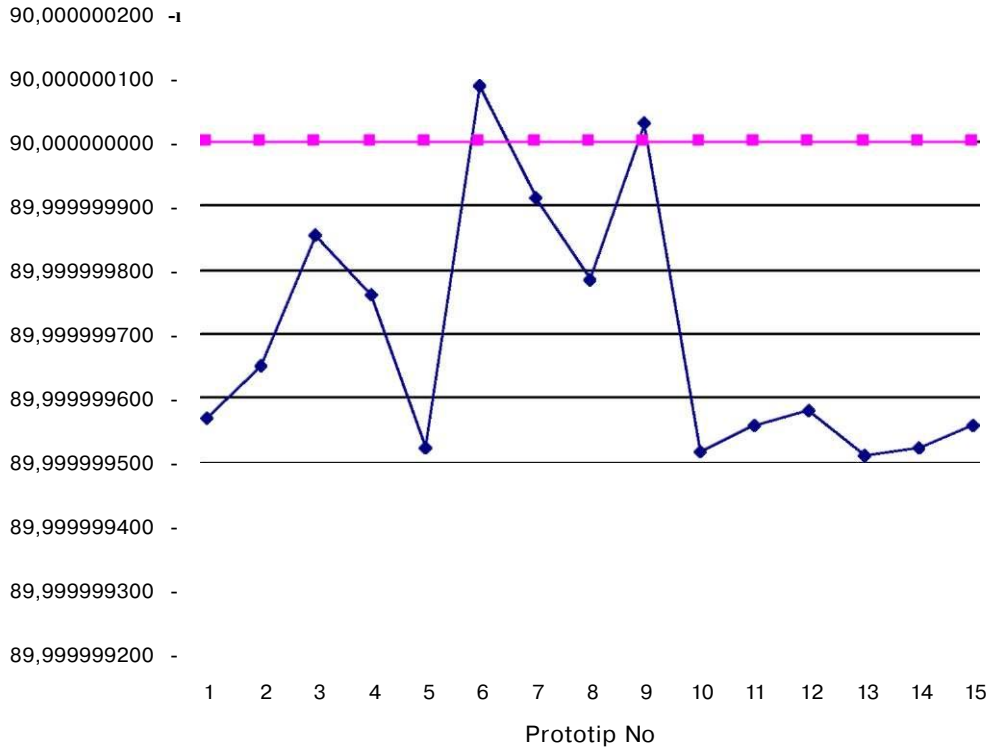
Taşıma aracında meydana gelen eğilmelerin oluşturduğu açıları birbirlerine bağlı olduklarından bağımsız olarak incelendikten sonra birbirleriyle olan ilişkileriyle incelenmiştir. Şekil 6.85 de a, P ve a + P açılarının araç üzerindeki konumları temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.85.  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\alpha + \beta$  açılarının araç üzerindeki konumları

Bu inceleme esnasına  $\alpha$  Shaft eğilme açısı ve  $\beta$  Direk eğilme açısı olarak kabul edilmiştir. İlk olarak  $\alpha + \beta$  açılarını toplayarak taşıyıcı arabanın bağlantı noktasında oluşan kiriş benzeri yapının eğilme açısını görebiliriz (Şekil 6.86).

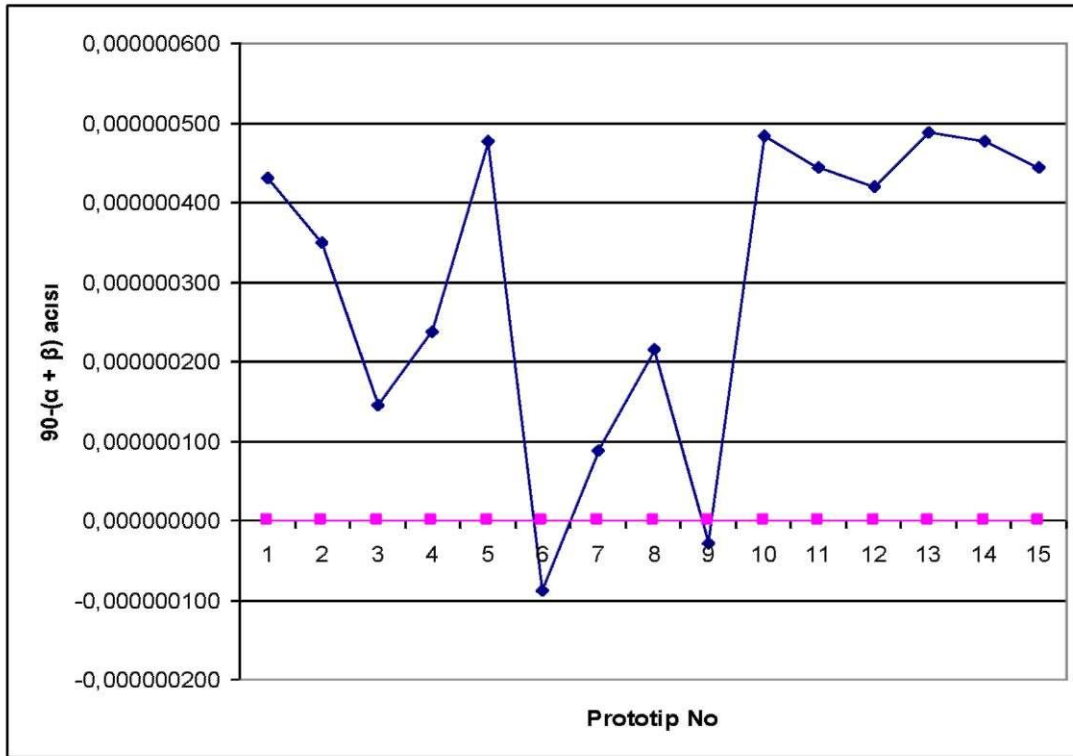




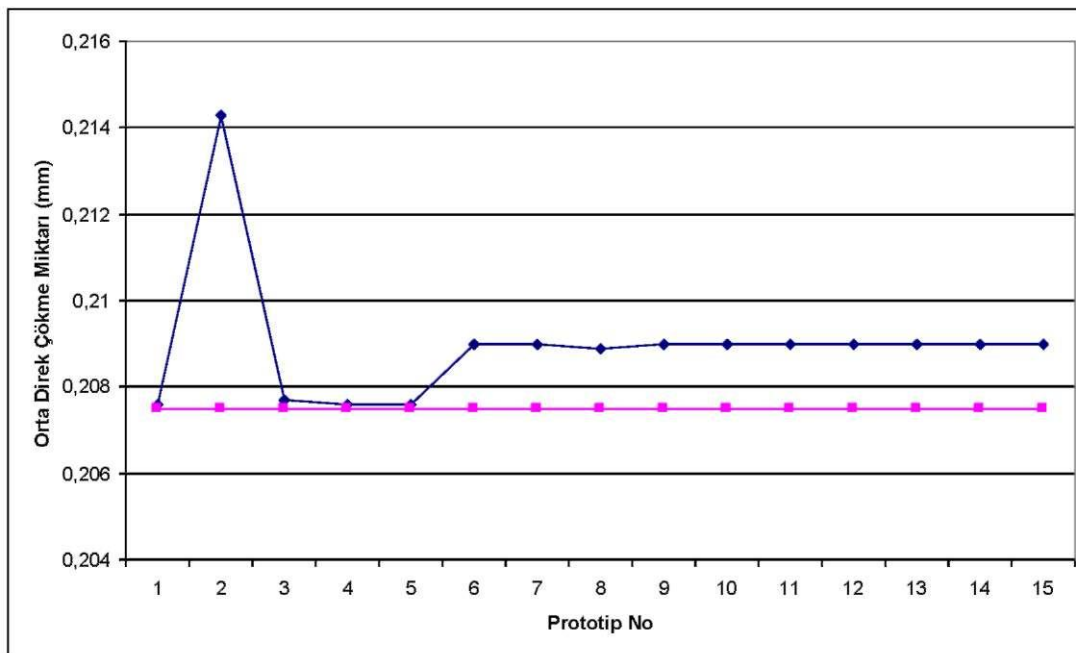
Şekil 6.86. a + P açısı değerleri

Bu tabloda minimum değeri 13 numaralı prototip sağlamaktadır. Bu değer  $89,999999511^{\circ}$  olarak bulunmuştur. Daha sonra sırasıyla 10, 14, 5 numaralı prototipler gelmektedir.

a + P açısı değerinin bağlantı noktasında oluşan  $90^{\circ}$  lik açıdan çıkararak prototiplerde oluşan eğilmeyi bulabiliriz. Bu eğilmenin minimum değerlerde tutularak mil üzerine gelen yüklerden dolayı milin etkilenmemesi gerekmektedir. Şekil 6.87 de görüldüğü gibi en düşük eğilme 13 numaralı prototip de meydana gelmiştir. 13 numaralı prototip değeri  $89,99999944^{\circ}$  olarak görülmektedir. Daha sonra sırasıyla 10, 14, 5 numaralı prototipler gelmektedir.



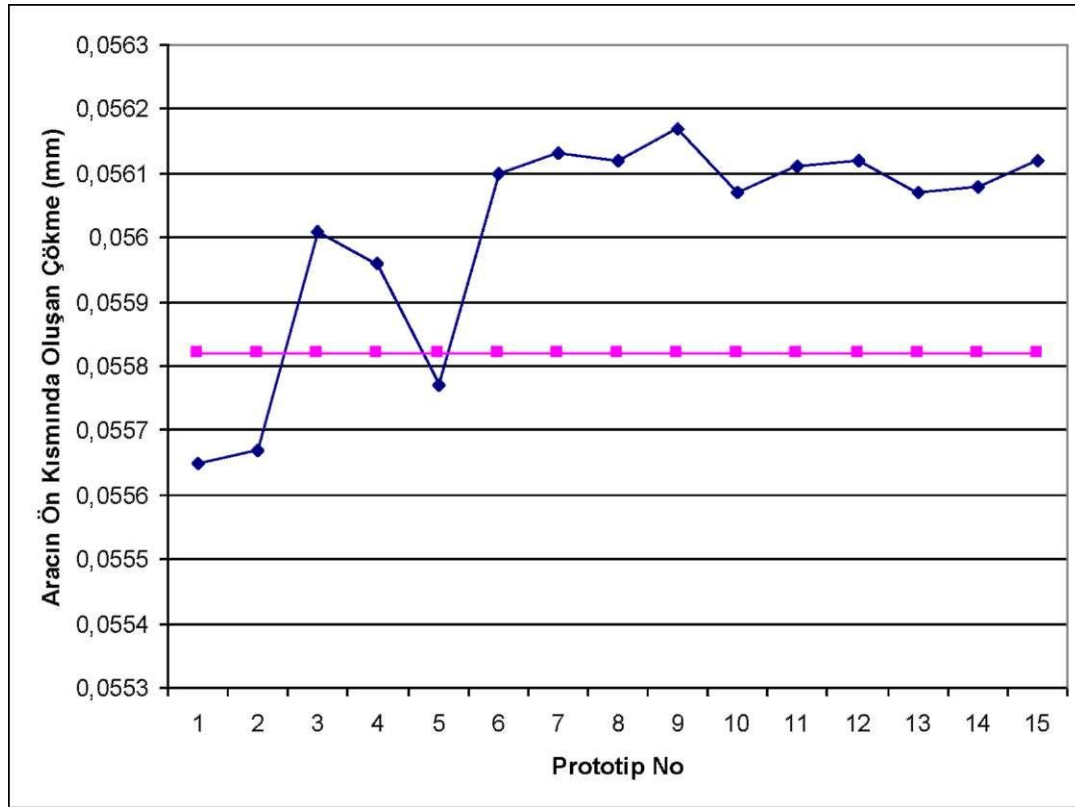
Şekil 6.87. 90- ( $\alpha + \beta$ ) açısı değerleri



Şekil 6.88. Direk altı çökme değerleri

Direk altı kısmına baktığımızda prototiplerin hali hazırdaki taşıma aracından daha fazla çökme yaptığını görmekteyiz. En fazla çökme yapan 2 numaralı prototip 0,2143 mm değer görülmektedir. Taşıma aracında ise bu değer 0,2075 mm olarak bulunmuştur. Bu değere en yakın değerdeki prototipler 3, 4 ve 5 numaralı prototiplerdir. Değerleri eşit olan bu prototiplerden elde edilen değer 0.2076 ve 0.2077 mm'dir. Şekil 6.88'de tüm prototiplerin direk altında meydana gelen çökme değerleri verilmiştir.

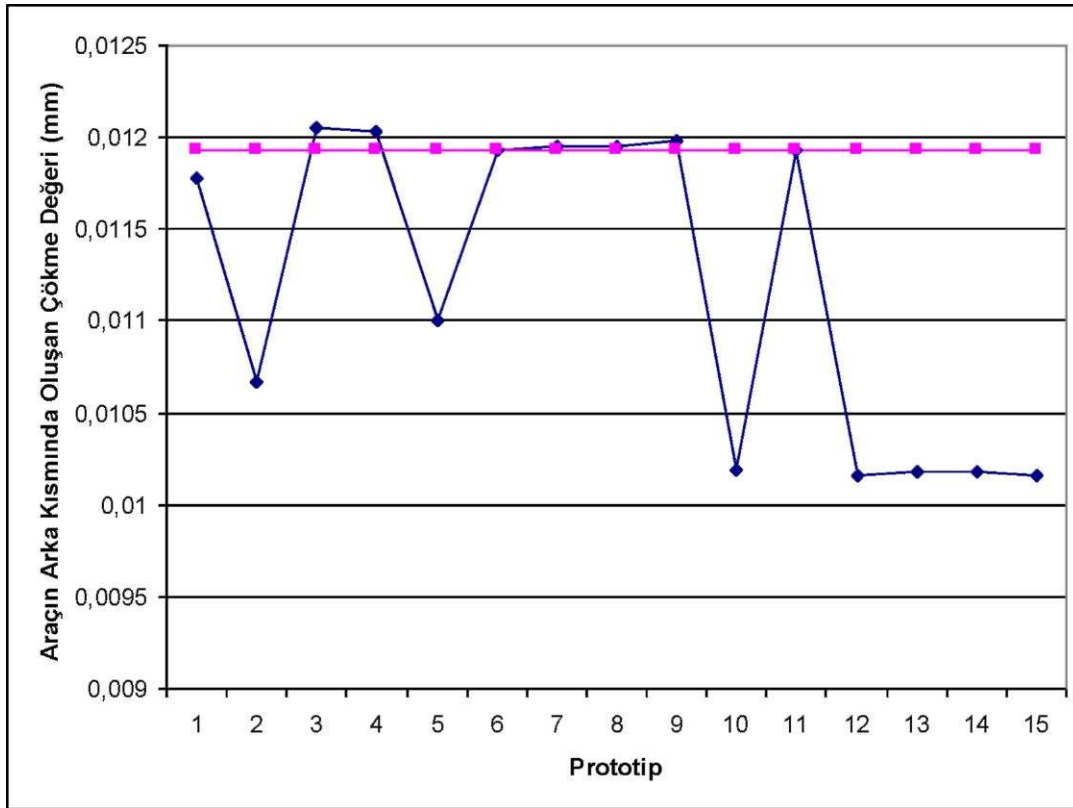
Bu durumda direk altında meydana gelen çökme değerlerine bakaran 3, 4 ve 5 numaralı prototiplerin gereken koşullarda olduğunu söyleyebilir.



Şekil 6.89. Taşıma aracının ön kısmında oluşan çökme

Taşıma aracının ön kısmında meydana gelen çökme miktarlarına baktığımızda ise bazı prototiplerin hali hazırda kullanılan aracın değerlerinin üzerinde çökme

değerlerine sahip olduklarını görmekteyiz. 0,05582 mm olan taşıma aracındaki değer altında değerler yakaladığımız prototipler 1, 2 ve 5 numaralı prototiplerdir. Diğer prototiplerdeki ön çökme değerleri hali hazırda kullanılan taşıma aracındakilerden fazla oldukları için gereken uygunlukta değildirler. Şekil 6.89.'de tüm prototiplerin ön kısımdaki çökme değerleri verilmektedir. Taşıma aracının arka kısmında meydana gelen çökmelere baktığımızda ise sırasıyla en az değerlerin elde edildiği prototipler 1, 2, 5, 10, 12, 13, 14 ve 15 numaralı prototiplerin olduğu görülmektedir. Diğer prototiplerin değerleri hali hazırda kullanılmakta olan taşıma aracından elde edilen değer olan 0,01193 mm'den fazla oldukları görülmektedir. Prototiplerden elde edilen en ufak değer 10'nolu prototipin değeri olan 0,01019 mm değeridir. Arka kısımda meydana gelen çökme değerindeki değerlere bakıldığında uygunluk sağlayan prototipler 10, 12, 13, 14 ve 15 numaradır (Şekil 6.90).



Şekil 6.90. Taşıma aracının arka kısmında meydana gelen çökme değerleri

Malzeme ve işçilik maliyetleri bakımından prototipleri incelediğimizde prototiplerin maliyetlerinin 7500 TL ile 7750 TL arasında değişen maliyetlerdedirler. Bu çıkan maliyet değerleri üretimi çok fazla etkilemeyeceğinden dolayı göz ardı edilebilir.

## **BOLUM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER**

Shaft eğilme açılarına bakıldığında 13 numaralı prototipin en düşük eğilme derecesine sahip olduğu görülmektedir. 13 numaralı prototip 2 adet 18x100 , ve 1 adet 18\*60 lamadan meydana gelmektedir. 2 adet lama öndeki mil bağlama kısmı ile arka kısımdaki LPT bağlantı saçını birleştirir. Diğer lama ise LPT milin tam altında destek vazifesi görmektedir. Yapılan bağlantı bakımından, uygun görülen yerlerden yapılan lama bağlantıları mil acısını en az şekilde etkileyen bağlantı şekilleridir.

Direk eğilme açısı olarak bakıldığında direklerin alt ve üst kısımlarına yapılan bağlantılar direğin eğilme açısının azalmasına sağlamaktadır. Mili sağ ve sol kısmında çift olarak yapılan bağlantılar gerek profil gerek lama olsun direği destekleyerek eğilme açısı minimum olmasını sağlamaktadır.

Taşıma arabasında meydana gelen çökmelere bakıldığında aracın üst kısmındaki bağlantıların ağırlığının artışı ile doğru orantılı olarak çökme miktarının arttığı görülmektedir. Çökme genel olarak yüklemenin aracın alt kısmına geçiş yaptığı direklerin bulunduğu kısımda en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Maliyetler bakımından bakıldığında, yapılan bağlantı sayılarının azaldığı prototiplerin maliyetinin de azaldığı görülmektedir. Profil ve lama ile olan bağlantıların maliyetleri arasında çok fazla fark olmadığından dolayı yapılan prototiplerin maliyetleri arasında çok fazla fark oluşmamaktadır.

Yapılan statik analizler ve tasarımlarda kullanılan kriterler sonucunda eğilme açılarına ve uygulanan imalat yöntemlerine bakılarak LPT mil bağlantı saçı ile LPT modülünün bağlandığı saç arasında oluşturulacak 3 noktadan bağlantı taşıma arabasının optimal değerlerini karşılayacak nitelikte olacaktır.

Bu bağlantıların lama veyahut profilden olması çok az miktarda maliyeti etkilemektedir. Bu bağlantıların uygulama noktaları ise çok fazla farklılık göstermemektedir. Yapılan bağlantılar kaynak ile yapılmalıdır.

LPT milin bağlantı noktasındaki yapılması planlanan değişiklik maliyet bakımından aracın maliyetini arttırmaktadır. Fakat kullanım kolaylığı bakımında bakıldığında LPT mil üzerine gelen yüklerin büyük bir bölümünü milin üzerinden alacağı için söküm, takım ve taşıma işlemlerinin kolaylaşmasını sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.i-a-e.com/engine/applications.shtml>  
12/2009 (V2500 motorları hakkında bilgi)
- [2] Boeing A319/320/321 Technical Training Manual Eğitim kitabı
- [3] <http://www.motorteknolojisi.com>  
12/2009 (uçaklar hakkında gene bilgi)
- [4] <http://www.thytekNIK.com/tr-TR/kurumsal/tarihce.aspx>  
12/2009 ( THY tarihçesi )
- [5] [www.ucuyorum.com/archive/index.php/t-8856.html](http://www.ucuyorum.com/archive/index.php/t-8856.html)  
12/2009 (Uçak motoru temel bilgileri )
- [6] <http://www.a-ztech.com.tr/abaqusstandart.html>  
11/2009 (Abaqus Programı Tanıtımı )
- [7] <http://www.biymed.com/>  
11/2009 (Abaqus hakkında bilgi)
- [8] <http://www.biymed.com/femmuH/analiz/fem/seynedir.html>  
11/2009 (Sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi)
- [9] Defar Kalıp Makine Yedek Parça  
(Sözlü olarak yardım alındı.)
- [10] CATIA Dassault Systèmes Firmasının PLM çözüm programı
- [11] ABAQUS Simulia Firmasının Sonlu elemanlar analiz programı



## ÖZGEÇMİŞ

Serkan Bacak, 19.05.1982 de Sakarya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarın'da tamamladı. 1999 yılında Sakarya Teknik Lisesi, Makine Bölümünden mezun oldu. 2000 yılında başladığı SAÜ Otomotiv Öğretmenliği bölümünü 2004 yılında bitirdi. 2004 - 2006 yılları arasında Can Can Meyve Presleri ve Endüstriyel Mutfak Eşyaları Makine İmalat Sanayinde tasarım ve Ar-ge elemanı olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin yeni ürün projeleri yanı sıra varolan ürünlerin modernizasyonu ve üretim planlamasında aktif rol aldı. 2007-2009 yılları Arasında Defar Makine Kalıp Ltd. Şti de teknik ressam ve makine tasarımcısı olarak görev aldı.