



**DİZ ALTI PROTEZ BACAK VE KOMPOZİT AYAK TASARIMI VE
İMALATI**

Şeyda ÖZKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Şeyda ÖZKAN tarafından hazırlanan “DİZ ALTI PROTEZ BACAK VE KOMPOZİT AYAK TASARIMI VE İMALATI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Elmas SALAMCI

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Ziya ESEN

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 14/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Şeyda ÖZKAN
14/06/2019

DİZ ALTI PROTEZ BACAK VE KOMPOZİT AYAK TASARIMI VE İMALATI
(Yüksek Lisans Tezi)

Şeyda ÖZKAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Kaza sonucu, hastalık durumunda veya doğuştan meydana gelen amputasyonlardan biri de diz altı amputasyonudur. Bu tezde diz altı protez bacak ve kompozit malzemeli ayak tasarımı ve imalatı anlatılacaktır. Günümüzde kullanılan bacak malzemelerine ek olarak hem maliyet, hem dayanıklılık, hem de hafiflik açısından alüminyum alaşımlı malzeme ve yüksek dayanım gerektiren yerlerde ise paslanmaz çelik tercih edilmiştir. Ayak kısmında Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg ve Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg malzeme tercih edilmiştir. Hem daha dayanıklı hem de daha hafif olması açısından kompozit malzeme seçilmiştir. Analizlerin verdiği sonuçlar neticesinde çok katmanlı yapıdan kaçınılmış olup bize maliyet açısından fayda sağlamıştır. Bacak ve ayak kısımları 3 boyutlu çizim programı olan Catia V5 programında tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS programında da ayak kısmında her bir parçanın ne kadar katman oluşturulacağı belirlenmiş ve buna göre belirlenen yük uygulanarak analizleri yapılmıştır. İstenilen sonuç alınmadığında tekrardan katman sayısında değişiklik yapılmıştır. Bacak kısmında ise sadece yük uygulanıp analiz yapılmıştır. Çıkan sonuçlar değerlendirilmiş olup tasarım iyileştirmesine gerek duyduğumuz parçaların tasarımları yeniden yapılmıştır ve analizlerde istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonrasında ayak için serim kalıplarının tasarımı yapıp karbon fiber malzemelerin serimleri yapılmıştır. Ortaya çıkan kompozit ayak tasarım modeline göre jet taşı ile fazlalıkları kesilmiştir. En son aşamada ortaya çıkan ürünlerin montajı yapılmıştır. Bütün işlemler bittikten sonra kompozit malzemedan oluşan ayağın ve alüminyum ve çelikten oluşan bacağın basma testi yapılmıştır.

Bilim Kodu : 91417
Anahtar Kelimeler : Protez Bacak, Kompozit Malzeme, Protez Ayak, Amputasyon
Sayfa Adedi : 173
Danışman : Doç. Dr. Elmas SALAMCI

DESIGN AND MANUFACTURING OF BELOW-KNEE PROSTHETIC LEG AND COMPOSITE FOOT

(M. Sc. Thesis)

Şeyda ÖZKAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

One of the amputations that occur as a result of an accident, illness or congenital amputation is the below-knee amputation. In this project, design and manufacturing of below-knee prosthesis leg and composite foot will be explained. In addition to the leg materials used today, aluminum alloy material is preferred both in terms of cost, durability and light weight, and stainless steel is preferred where high strength is required. Epoxy carbon UD (230 GPa) Prepreg and Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg materials were preferred in the foot section. Composite material has been chosen to be both more durable and lighter. As a result of the results of the analysis, the multi-layered structure has been avoided and it has benefited us in terms of cost. The legs and parts of foot are designed in the 3D drawing program Catia V5. Using the finite element method, ANSYS program determined how many layers of each part will be formed in the foot part and analyzed by applying the determined load. When the desired result was not obtained, the number of layers has been changed again. In the leg section, only the load was applied and analyzed. The obtained results were evaluated and the parts that we needed to improve was re-designed and the desired results were obtained in the analysis. Afterwards, the design of the spreading molds for the foot was made and carbon fiber materials were laid. According to the resulting composite foot design model, the trimming was made with jet stone. At the last stage, the final products are assembled. After the completion of all procedures, the compression test of the foot made of composite material and the leg made of aluminum and steel were carried out.

Science Code : 91417

Key Words : Prosthetic Leg, Composite Material, Prosthetic Foot, Amputation

Page Number : 173

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Elmas SALAMCI

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım süresince güven ve desteğini esirgemeyen, değerli zamanını ayırıp beni yönlendiren, güler yüzü ve yaklaşımıyla bu çalışmayı severek yapmamı sağlayan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Elmas Salamcı'ya can-ı gönülden teşekkür ederim. Bu tezin ortaya çıkmasına kadar geçen zamanda bana her konuda zaman tanıyan, destek olan, imkan veren ve katkı yapan Öznur SAVUNMA A.Ş.'ye, testlerde ve analizlerde yardımını esirgemeyen araştırma görevlisi Mehmet Çağrı TÜZEMEN'e ve kompozit ile ilgili çalışmamda Ernes Kompozit Tekn. San. Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederim. Sevgili annem, babam, ağabeyim ve eşime hayatımda her zaman olduğu gibi bu çalışmamda da desteklerini ve dualarını esirgemedikleri ve desteklerini her zaman hissettirdikleri için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Amputasyon ve Alt Ekstremitte Amputasyon Türleri	3
2.1.1. Amputasyon.....	3
2.1.2. Alt ekstremitte amputasyon ve dezartikülasyon seviyeleri	3
2.2. Ayağın Yapısı ve Hareketleri	6
2.2.1. Ayak iskeleti.....	6
2.2.2. Ayak kavisleri.....	7
2.2.3. Ayak hareketleri	8
2.3. Adım ve Yürüme Evreleri.....	10
2.3.1. Adım.....	10
2.3.2. Yürüme evreleri.....	10
2.4. Ayaktaki Yük Dağılımı.....	11
2.5. Diz Altı Protez Bacak	11
2.5.1. Soket.....	11
2.5.2. Pylon.....	12
2.5.3. Ayak	12

Sayfa

2.6. Paslanmaz Çelik ve Alüminyum Malzemeler.....	15
2.6.1. Paslanmaz çelik malzemeler	15
2.6.2. Alüminyum ve alüminyum alaşımlı malzemeler	16
2.7. Kompozit Malzemeler	17
2.7.1. Kompozit malzemenin temel özellikleri	18
2.7.2. Kompozit malzemenin sınıflandırılması	18
2.7.3. Matris malzemeli kompozitler.....	19
2.7.4. Takviyeli kompozitler	20
2.7.5. Kompozitlerin uygulama alanları	25
2.7.6. Kompozit üretim yöntemleri	25
3. KOMPOZİT AYAĞIN TASARLANMASI.....	27
3.1. Topuk.....	27
3.2. Omurga	28
3.3. Darbe Sönümleyici	29
4. KOMPOZİT AYAK PARÇALARININ ANALİZİ	31
4.1. Topuk Parçasının Analizi.....	31
4.1.1. ACP (Pre)	31
4.1.2. Static structural.....	40
4.2. Omurga Parçasının Analizi	49
4.2.1. ACP (Pre)	49
4.2.2. Static structural.....	60
4.3. Darbe Sönümleyici Parçasının Analizi	68
4.3.1. ACP (Pre)	68
4.3.2. Static structural.....	78
5. KOMPOZİT AYAK ÜRETİMİ İÇİN SERİM KALIP TASARIMI.....	89
5.1. Topuk Üretimi İçin Serim Kalıbı.....	89

Sayfa

5.2. Omurga Üretimi İçin Serim Kalıbı	91
5.3. Darbe Sönümleyici Üretimi İçin Serim Kalıbı	92
6. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERİM İŞLEMİ.....	95
7. BACAK TASARIMI	107
7.1. Ayak Adaptörü.....	107
7.2. Ayak Adaptör Piramiti.....	109
7.3. Pylon Adaptörü	110
7.4. Pylon Tüpü.....	111
7.5. Pylon Sıkma Adaptörü.....	112
7.6. Soket Piramiti	113
7.7. Soket Adaptörü	114
8. BACAK PARÇALARININ ANALİZİ.....	117
8.1. Ayak Adaptör Parçasının Analizi	117
8.2. Ayak Adaptör Piramit Parçasının Analizi	122
8.3. Pylon Adaptör Parçasının Analizi.....	126
8.4. Pylon Parçasının Analizi.....	131
8.5. Pylon Sıkma Adaptör Parçasının Analizi	136
8.6. Soket Piramit Parçasının Analizi	141
8.7. Soket Adaptör Parçasının Analizi.....	146
9. BACAK PARÇALARININ ÜRETİMİ VE MONTAJI	155
10. BACAK VE KOMPOZİT AYAK PARÇALARININ MONTAJI.....	159
11. AYAK PARÇASINA BASMA TESTİNİN YAPILMASI	161
12. MALİYET ANALİZİ.....	165
12.1. Serim Kalıbı Maliyet Analizi.....	165
12.2. Kompozit Serim Malzemelerinin Maliyeti	165

	Sayfa
12.3. Bacak Parçalarının Maliyeti.....	166
13. SONUÇ ve ÖNERİLER	169
13.1. Sonuç	169
13.2. Öneriler	170
KAYNAKLAR	171
ÖZGEÇMİŞ	173



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. 316 paslanmaz çelik mekanik özellikleri.....	15
Çizelge 2.2. 316 paslanmaz çelik kimyasal bileşenleri.....	15
Çizelge 2.3. Malzemelerin çekme mukavemeti	16
Çizelge 4.1. Topuk modelinin mesh ve yükleme durumlarına göre analiz sonuçları.....	49
Çizelge 4.2. Omurganın meshlere ve yükleme durumlarına göre analiz sonuçları	68
Çizelge 4.3. Darbe sönümleyicinin meshlere göre analiz sonuçları	87
Çizelge 4.4. Analizler sonucu belirlenen ayak parçalarının katman sayıları	87
Çizelge 11.1. Basma testinin test parametreleri.....	161
Çizelge 12.1. Kalıp maliyet listesi	165
Çizelge 12.3. Serim malzemelerinin maliyet listesi.....	166
Çizelge 12.2. Bacak parçalarının maliyet listesi	167

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri.....	21
Şekil 2.2. Karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin özellikleri.....	23
Şekil 11.1. Basma testi kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	162



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Ayaktaki amputasyon bölgeleri	4
Resim 2.2. Syme amputasyonu için çıkarılabilir protez	5
Resim 2.3. Ayak iskelet bölgeleri	7
Resim 2.4. Ayak kavisleri.....	8
Resim 2.5. Ayağın dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon hareketleri.....	9
Resim 2.6. Ayağın supinasyon ve pronasyon hareketleri	9
Resim 2.7. Yürüme faz bölgeleri	10
Resim 2.8. Diz altı protez bacak	11
Resim 2.9. Soket	12
Resim 2.10. Pylon örnekleri.....	12
Resim 2.11. Tek eksen ayak ve bilek mafsalı	13
Resim 2.12. SACH ayak ve hareketsiz bilek adaptörü	13
Resim 2.13. Safe ayak.....	14
Resim 2.14. Dinamik ayak.....	14
Resim 2.15. Kompozit ayak.....	14
Resim 2.16. Kompozit malzemede kullanılan fiber ve reçine	18
Resim 2.17. Kompozit malzemenin takviye ediciye göre sınıflandırılması	19
Resim 2.18. Karbon fiber wet.....	23
Resim 2.19. Karbon fiber prepreg.....	24
Resim 3.1. Ayak modeli.....	27
Resim 3.2. Topuk modeli.....	28
Resim 3.3. Topuk model ölçüleri.....	28
Resim 3.4. Omurga modeli	29
Resim 3.5. Omurga model ölçüleri	29

Resim	Sayfa
Resim 3.6. Dabe sönümleyici modeli	30
Resim 4.1. Topuk modelinde ACP (Pre) modülü	31
Resim 4.2. Topuk modelinde malzeme seçimi	32
Resim 4.3. Geometry bölümünde topuk step datasını çağırma	32
Resim 4.4. Thin surface komutundaki topuk modeli	33
Resim 4.5. 1 mm mesh atılmış topuk modeli.....	33
Resim 4.6. 3 mm mesh atılmış topuk modeli.....	34
Resim 4.7. 5 mm mesh atılmış topuk modeli.....	34
Resim 4.8. 7 mm mesh atılmış topuk modeli.....	34
Resim 4.9. 10 mm mesh atılmış topuk modeli.....	35
Resim 4.10. Topuk modelinde epoxy carbon ud prepreg malzeme seçimi	35
Resim 4.11. Topuk modelinde epoxy carbon woven prepreg malzeme seçimi.....	36
Resim 4.12. Topuk modelinde sub laminate komutunda katman oluşturma.....	36
Resim 4.13. Topuk modelinde element sets bölümü	37
Resim 4.14. Topuk modelinde rosettes bölümü.....	37
Resim 4.15. Topuk modelinde orientedselectionset bölümü	38
Resim 4.16. Topuk modelinde modelinggroup bölümü	38
Resim 4.17. Topuk modelinde solid models bölümü	39
Resim 4.18. 10 Katlı topuk modelinin yakından gösterimi	39
Resim 4.19. 10 Katlı topuk modelinin uzaktan gösterimi	40
Resim 4.20. Topuk modelinde static structural modülü	40
Resim 4.21. Topuk modelinde 1. yükleme durumu.....	41
Resim 4.22. Topuk modelinde 2. yükleme durumu.....	41
Resim 4.23. Topuk modelinde solution kısmında değerlendirilecek faktörler.....	42
Resim 4.24. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki T.D.....	43
Resim 4.25. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki E.E.S.....	43

Resim	Sayfa
Resim 4.26. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki E.S.	44
Resim 4.27. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki S.F.	45
Resim 4.28. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki I.R.F.....	46
Resim 4.29. Topuk modelinde 2. yükleme durumundaki T.D.....	46
Resim 4.30. Topuk modelinde 2. yükleme durumundaki E.E.S.....	47
Resim 4.31. Topuk Modelinde 2. yükleme durumundaki E.S.....	47
Resim 4.32. Topuk modelinde 2. yükleme durumundaki S.F.	48
Resim 4.33. Topuk modelinde 2. yükleme durumundaki I.R.F.....	48
Resim 4.34. Omurga modelinde ACP (Pre) modülü	50
Resim 4.35. Omurga modelinde malzeme seçimi	50
Resim 4.36. Geometry bölümünde omurga step datasını çağırma	51
Resim 4.37. Thin surface komutundaki omurga modeli.....	51
Resim 4.38. 1 mm mesh atılmış omurga modeli	52
Resim 4.39. 3 mm mesh atılmış omurga modeli	52
Resim 4.40. 5 mm mesh atılmış omurga modeli	52
Resim 4.41. 7 mm mesh atılmış omurga modeli	53
Resim 4.42. 10 mm mesh atılmış omurga modeli	53
Resim 4.43. Omurga modelinde epoxy carbon ud prepreg malzeme seçimi.....	54
Resim 4.44. Omurga modelinde epoxy carbon woven prepreg malzeme seçimi.....	54
Resim 4.45. Omurga modelinde sublamine komutunda katman oluşturma	55
Resim 4.46. Omurga modelinde element sets bölümü	56
Resim 4.47. Omurga modelinde rosettes bölümü.....	56
Resim 4.48. Omurga modelinde orientedselectionset bölümü	57
Resim 4.49. Omurga modelinde modelinggroup bölümü.....	57
Resim 4.50. Omurga modelinde modelingply bölümü.....	58
Resim 4.51. Omurga modelinde solid models bölümü.....	58

Resim	Sayfa
Resim 4.52. 15 katlı omurga modelinin yakından gösterimi	59
Resim 4.53. 15 katlı omurga modelinin uzaktan gösterimi	59
Resim 4.54. Omurga modelinde static structural modülü.....	60
Resim 4.55. Omurga modelinde 1. yükleme durumu	60
Resim 4.56. Omurga modelinde 2. yükleme durumu	61
Resim 4.57. Omurga modelinde solution kısmında değerlendirilecek faktörler	61
Resim 4.58. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki T.D.....	62
Resim 4.59. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki E.E.S.	62
Resim 4.60. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki E.S.....	63
Resim 4.61. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki S.F.....	63
Resim 4.62. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki I.R.F.	64
Resim 4.63. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki T.D.....	65
Resim 4.64. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki E.E.S	65
Resim 4.65. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki E.S.....	66
Resim 4.66. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki S.F.....	67
Resim 4.67. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki I.R.F	67
Resim 4.68. Darbe sönümleyici modelinde ACP (Pre) modülü	69
Resim 4.69. Darbe sönümleyici modelinde malzeme seçimi	69
Resim 4.70. Geometry bölümünde darbe sönümleyici step datasını çağırma	70
Resim 4.71. Thin surface komutundaki darbe sönümleyici modeli.....	70
Resim 4.72. 1 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli	71
Resim 4.73. 3 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli	71
Resim 4.74. 5 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli	72
Resim 4.75. 7 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli	72
Resim 4.76. 10 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli	72
Resim 4.77. Darbe sönümleyicide epoxy carbon ud prepreg malzeme seçimi	73

Resim	Sayfa
Resim 4.78. Darbe sönümleyicide epoxy carbon woven prepreg malzeme seçimi.....	73
Resim 4.79. Darbe sönümleyici modelinde katman oluşturma	74
Resim 4.80. Darbe sönümleyici modelinde element sets bölümü	74
Resim 4.81. Darbe sönümleyici modelinde rosettes bölümü.....	75
Resim 4.82. Darbe sönümleyici modelinde orientedselectionset bölümü	75
Resim 4.83. Darbe sönümleyici modelinde modelinggroup bölümü	76
Resim 4.84. Darbe sönümleyici modelinde modelingply bölümü.....	76
Resim 4.85. Darbe sönümleyici modelinde solid models bölümü.....	77
Resim 4.86. 15 katlı darbe sönümleyici modelinin gösterimi	77
Resim 4.87. Darbe sönümleyici modelinde static structural modülü	78
Resim 4.88. Darbe sönümleyici modelinde 1. yükleme durumu	79
Resim 4.89. Darbe sönümleyici modelinde 2. yükleme durumu	79
Resim 4.90. Darbe sönümleyici modelinde solution kısmında değerlendirilecek faktörler	80
Resim 4.91. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki T.D.....	80
Resim 4.92. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki E.E.S.	81
Resim 4.93. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki E.S.....	81
Resim 4.94. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki S.F.....	82
Resim 4.95. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki I.R.F.	82
Resim 4.96. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki T.D.....	83
Resim 4.97. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki E.E.S.	84
Resim 4.98. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki E.S.....	84
Resim 4.99. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki S.F.....	85
Resim 4.100. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki I.R.F.	86
Resim 5.1. Topuk modeli için kalıp.....	89
Resim 5.2. Topuk kalıp ölçüleri.....	90
Resim 5.3. Topuk kalıbının CNC tezgahında işlenmesi	90

Resim	Sayfa
Resim 5.4. Omurga modeli için kalıp	91
Resim 5.5. Omurga kalıp ölçüleri	91
Resim 5.6. Omurga kalıbının CNC tezgahında işlenmesi	92
Resim 5.7. Darbe sönümleyici modeli için kalıp	93
Resim 5.8. Darbe sönümleyici kalıp ölçüleri	93
Resim 5.9. Darbe sönümleyici kalıbının CNC tezgahında işlenmesi	94
Resim 6.1. Topuk kalıbına serilecek malzeme ebatının belirlenmesi	95
Resim 6.2. Omurga kalıbına serilecek malzeme ebatının belirlenmesi	96
Resim 6.3. Darbe sönümleyici kalıbına serilecek malzeme ebatının belirlenmesi	96
Resim 6.4. 0 derece ve 90 derece epoxy carbon woven prepreg	97
Resim 6.5. Tek yönlü olan epoxy carbon ud prepreg	97
Resim 6.6. Topuk kalıbına serilecek kompozit malzemeler	98
Resim 6.7. Omurga kalıbına serilecek kompozit malzemeler	98
Resim 6.8. Darbe sönümleyici kalıbına serilecek kompozit malzemeler	99
Resim 6.9. Kalıpların ilk katına epoxy carbon ud prepreg malzeme serilme işlemi	99
Resim 6.10. Kalıp üzerine release film serilmesi	100
Resim 6.11. Release film üzerine battaniye atılması	100
Resim 6.12. Sızdırmazlık bandının yapıştırılması	101
Resim 6.13. Vakum naylonunun serilmesi	101
Resim 6.14. T Bağlantı borusunun vakum naylonuna yapıştırılması	102
Resim 6.15. İnfüzyon hortumunun takılması	102
Resim 6.16. Kalıpların vakumlanması	102
Resim 6.17. Vakumlanan kalıpların kurutma makinesi ile kurutulması	103
Resim 6.18. Diğer katların serilme işlemi	103
Resim 6.19. Kalıpların fırına alınması	104
Resim 6.20. Kalıptan çıkarılan sırasıyla darbe sönümleyici, topuk ve omurga parçaları	104

Resim	Sayfa
Resim 6.21. Parçaların trim işleminden sonraki hali ve jet taşı.....	105
Resim 6.22. Trim işlemi bittikten sonra parçaların montajlanması.....	105
Resim 7.1. Ayak adaptörünün ayak modelindeki konumu.....	107
Resim 7.2. Ayak adaptörü.....	108
Resim 7.3. Ayak adaptör ölçüleri.....	108
Resim 7.4. Ayak adaptör piramiti.....	109
Resim 7.5. Ayak adaptör piramit ölçüleri.....	109
Resim 7.6. Pylon adaptörü.....	110
Resim 7.7. Pylon adaptör ölçüleri.....	111
Resim 7.8. Pylon tüpü.....	111
Resim 7.9. Pylon tüp ölçüleri.....	112
Resim 7.10. Pylon sıkma adaptörü.....	112
Resim 7.11. Pylon sıkma adaptör ölçüleri.....	113
Resim 7.12. Soket piramiti.....	113
Resim 7.13. Soket piramit ölçüleri.....	114
Resim 7.14. Soket adaptörü.....	114
Resim 7.15. Soket adaptör ölçüleri.....	115
Resim 8.1. Ayak adaptör modelinin malzeme seçimi.....	117
Resim 8.2. Ayak adaptör modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması.....	118
Resim 8.3. 3 mm mesh atılmış ayak adaptör modeli.....	118
Resim 8.4. Ayak adaptör modeline kuvvet uygulanması.....	119
Resim 8.5. Ayak adaptör modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler.....	119
Resim 8.6. Ayak adaptör modelinde yükleme durumundaki T.D.	120
Resim 8.7. Ayak adaptör modelinde yükleme durumundaki E.E.S.....	120
Resim 8.8. Ayak adaptör modelinde yükleme durumundaki E.S.	121
Resim 8.9. Ayak adaptör modelinde yükleme durumundaki S.F.	121

Resim	Sayfa
Resim 8.10. Ayak adaptör piramit modelinin malzeme seçimi	122
Resim 8.11. Ayak adaptör piramit modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması	123
Resim 8.12. 3 mm mesh atılmış ayak adaptör piramit modeli.....	123
Resim 8.13. Ayak adaptör piramit modeline kuvvet uygulanması	124
Resim 8.14. Ayak adaptör piramitinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler...	124
Resim 8.15. Ayak adaptör piramit modelinde yükleme durumundaki T.D.....	125
Resim 8.16. Ayak adaptör piramit modelinde yükleme durumundaki E.E.S	125
Resim 8.17. Ayak adaptör piramit modelinde yükleme durumundaki E.S.	126
Resim 8.18. Ayak adaptör piramit modelinde yükleme durumundaki S.F.....	126
Resim 8.19. Pylon adaptör modelinin malzeme seçimi	127
Resim 8.20. Pylon adaptör modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması	127
Resim 8.21. 3 mm mesh atılmış pylon adaptör modeli.....	128
Resim 8.22. Pylon adaptör modeline kuvvet uygulanması.....	128
Resim 8.23. Pylon adaptör modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler....	129
Resim 8.24. Pylon adaptör modelinde yükleme durumundaki T.D.....	129
Resim 8.25. Pylon adaptör modelinde yükleme durumundaki E.E.S.....	130
Resim 8.26. Pylon adaptör modelinde yükleme durumundaki E.S.	130
Resim 8.27. Pylon adaptör modelinde yükleme durumundaki S.F.	131
Resim 8.28. Pylon modelinin malzeme seçimi	132
Resim 8.29. Pylon modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması	132
Resim 8.30. 3 mm mesh atılmış pylon modeli.....	133
Resim 8.31. Pylon modeline kuvvet uygulanması.....	133
Resim 8.32. Pylon modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler.....	134
Resim 8.33. Pylon modelinde yükleme durumundaki T.D.....	134
Resim 8.34. Pylon modelinde yükleme durumundaki E.E.S.	135
Resim 8.35. Pylon modelinde yükleme durumundaki E.S.	135

Resim	Sayfa
Resim 8.36. Pylon modelinde yükleme durumundaki S.F.....	136
Resim 8.37. Pylon sıkma adaptör modelinin malzeme seçimi	137
Resim 8.38. Pylon sıkma adaptör modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması.....	137
Resim 8.39. 3 mm mesh atılmış pylon sıkma adaptör modeli	138
Resim 8.40. Pylon sıkma adaptör modeline kuvvet uygulanması	138
Resim 8.41. Pylon sıkma adaptörünün solution kısmında değerlendirilecek faktörler ..	139
Resim 8.42. Pylon sıkma adaptör modelinde yükleme durumundaki T.D.	139
Resim 8.43. Pylon sıkma adaptör modelinde yükleme durumundaki E.E.S	140
Resim 8.44. Pylon sıkma adaptör modelinde yükleme durumundaki E.S.....	140
Resim 8.45. Pylon sıkma adaptör modelinde yükleme durumundaki S.F.	141
Resim 8.46. Soket piramit modelinin malzeme seçimi.....	142
Resim 8.47. Soket piramit modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması.....	142
Resim 8.48. 3 mm mesh atılmış soket piramit modeli.....	143
Resim 8.49. Soket piramit modeline kuvvet uygulanması	143
Resim 8.50. Soket piramit modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler	144
Resim 8.51. Soket piramit modelinde yükleme durumundaki T.D.	144
Resim 8.52. Soket piramit modelinde yükleme durumundaki E.E.S.....	145
Resim 8.53. Soket piramit modelinde yükleme durumundaki E.S.	146
Resim 8.54. Soket piramit modelinde yükleme durumundaki S.F.	146
Resim 8.55. Soket adaptör modelinin malzeme seçimi	147
Resim 8.56. Soket adaptör modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması	147
Resim 8.57. 3 mm mesh atılmış soket adaptör modeli	148
Resim 8.58. Soket adaptör modeline kuvvet uygulanması	148
Resim 8.59. Soket adaptör modelinin sabit tutulduğu yer	149
Resim 8.60. Soket adaptör modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler	149
Resim 8.61. Soket adaptör modelinde yükleme durumundaki T.D.	150

Resim	Sayfa
Resim 8.62. Soket adaptör modelinde yükleme durumundaki E.E.S.	151
Resim 8.63. Soket adaptör modelinde E.E.S.nin maksimum olduğu yer	151
Resim 8.64. Soket adaptör modelinde yükleme durumundaki E.S.....	152
Resim 8.65. Soket adaptör modelinde E.S.'in maksimum olduğu yer	152
Resim 8.66. Soket adaptör modelinde yükleme durumundaki S.F.....	153
Resim 9.1. Ayak adaptörü.....	155
Resim 9.2. Ayak adaptör piramiti	155
Resim 9.3. Ayak adaptör piramiti ile ayak adaptörünün montajlı hali	156
Resim 9.4. Pylon adaptörü	156
Resim 9.5. Pylon tüpü.....	156
Resim 9.6. Pylon sıkma adaptörü	157
Resim 9.7. Soket piramiti.....	157
Resim 9.8. Soket adaptörü ile soket piramitinin montajlı hali.....	157
Resim 9.9. Pylon tüpüne pylon adaptörünün ve sıkma adaptörünün montajlı hali	158
Resim 9.10. Soket adaptörünün pylon sıkma adaptörüne montajlanmış hali	158
Resim 9.11. M8 Setskur cıvata	158
Resim 10.1. Ayak parçalarına montajlanan ayak adaptörü.....	159
Resim 10.2. Pylon adaptörünün ayak adaptörüne montajlanması	159
Resim 10.3. Diz altı protez bacak ve kompozit ayak.....	160
Resim 11.1. Basma testinin yapıldığı dartec makine	161
Resim 11.2. Kompozit ayak modeli basma testi.....	162

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Kg	Kilogram
m	Metre
m²	Metrekare
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
TL	Türk Lirası

Kısaltmalar

Açıklamalar

E.E.S.	Equivalent elastic strain
E.S.	Equivalent stress
EOP	Edge of part
I.R.F	Inverse reverse factor
S.F.	Safety factor
T.D.	Total deformation

1. GİRİŞ

Çeşitli nedenlerle beslenmesi engellenen, hastalık taşıyan ve fonksiyon kaybına neden olan ekstremitelerin kemiği ile birlikte kesilerek atılmasına amputasyon denir. Amaç sadece patolojik dokuların atılması değil, kalan doku desteği ile birlikte örtünmeyi de iyi sağlamaktır. Protez kullanımına uygun güdük yeri yapılması gereklidir. Dezartikülasyon ise kesme işleminin eklem seviyesinden yapılmasıdır. Eski dönemlerden beri bilinen cerrahi işlemlerden biridir [1].

İlk zamanlarda kullanılan protezler kanca ya da tahta bacak gibi ilkel aletlerdi. Protezlerle ilgili çalışmalara ikinci dünya savaşı sırasında başlanmıştır. Birinci Dünya Savaşı'nda daha belirgin olarak ortaya çıkan protez ihtiyacı Amerikan Protez ve Ortez Derneği'nin kurulmasıyla ve inovatif tasarımların ve malzemelerin kullanılmasıyla, protez teknolojilerinin gelişimi hız kazanmıştır.

Protez ayaklar ilk zamanlarda yürüme aktivitesini gerçekleştirmek için tasarlanmaktadır. Ancak zamanla daha yeni ve aktif alt uzuv amputeleri ihtiyaçlarına cevap verebilecek yeni nesil ayak protezlerine ihtiyaç duymuştur. Böylece enerji depolama yeteneğine sahip ayak protezleri ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ayak omurgasının darbe emici ve enerjiyi depolayarak özellikte olması beklenmektedir. Bu amaçla enerji depolayan malzeme olarak ayaklarda grafit kompozit, kevlar, delrin, poliüretan elastomerler ve esnek kauçuk malzemeler kullanılabilmektedir.

Bu projede ayak kısmında daha az katmanlı yapı oluşturup daha az karbon fiber malzeme kullanılarak hem daha dayanıklı hem de daha az maliyetli, bacak kısmında ise darbeye çok maruz kalacak yerlerde paslanmaz çelik diğer yerlerde ise alüminyum kullanılarak hem daha dayanıklı hem de daha hafif ürün ortaya çıkarmak amaçlanmıştır. Sadece malzeme olarak değil tasarımsal olarak da değişiklikler yapılmıştır.

Projede üretilecek parçaların tasarımı Catia V5 programı, analizi ise ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Parçalar tasarlandıktan sonra her birinin analizi yapıp gerekli durumlarda ayak parçalarında katman sayısı değiştirilip bacak parçalarında ise tasarım değişikliğine gidilmiştir. Tasarım ve analiz bittikten sonra da üretim işlemi yapılmıştır. Ayak

parçaları serim işlemi uygulanılarak üretilmiştir. Bacak parçaları da CNC tezgahlarında üretilmiştir. Daha sonra montajlanan parçanın basma testi yapılmıştır.

Basma testi sonucunda ise ayak 1200 N yük karşılığında 1.06 mm yer değiştirme göstermektedir. Bu değer ayağın 1200 N yüke dayandığını göstermektedir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Amputasyon ve Alt Ekstremitte Amputasyon Türleri

2.1.1. Amputasyon

Çeşitli nedenlerle beslenmesi engellenen, hastalık taşıyan ve fonksiyon kaybına neden olan ekstremitelerin kemiği ile birlikte kesilerek atılmasına amputasyon denir. Amaç sadece patolojik dokuların atılması değil, kalan doku desteği ile birlikte örtünmeyi de iyi sağlamaktır. Protez kullanımına uygun güdük yeri yapılması gereklidir. Dezartikülasyon ise kesme işleminin eklem seviyesinden yapılmasıdır. Eski dönemlerden beri bilinen cerrahi işlemlerden biridir [1].

2.1.2. Alt ekstremitte amputasyon ve dezartikülasyon seviyeleri

Alt ekstremitte amputasyon ve dezartikülasyon seviyeleri aşağıdaki gibidir;

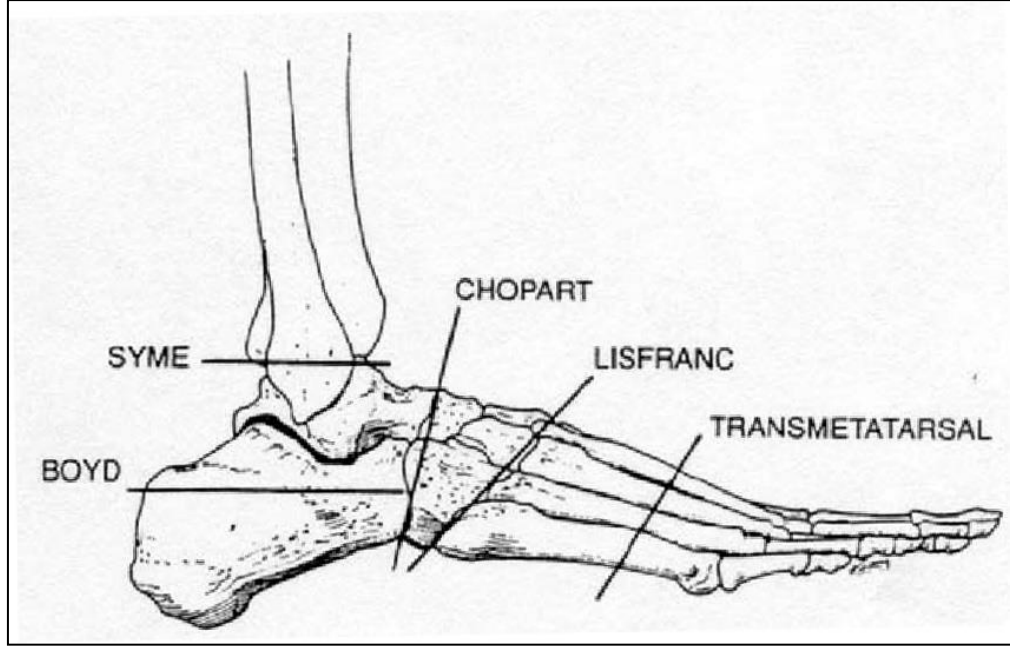
- Parsiyel ayak amputasyonu
- Syme amputasyonu
- Transtibial (diz altı) amputasyonu
- Diz dezartikülasyonu
- Diz üstü amputasyonu
- Kalça dezartikülasyonu ve Hemipelvektomi

Parsiyel ayak amputasyonu

Kısmi ayak amputasyonları, Uluslararası Standartlar Organizasyonu'nun tanımına göre, [2] ayağın önünü, ortasını veya arka kısmını içeren, ancak Syme gibi ayak bileği ekleminden dezartikülasyon yapmayan amputasyonlardır. Kısmi ayak amputasyonları, ya ayağın uzunluğu boyunca yapılan metatars veya sıra rezeksiyonları gibi longitudinal ya da ayağın enine yapılan transmetatarsal gibi transvers amputasyonlar şeklinde tanımlanabilir [3].

Ayağın ön kısmını içeren parsiyel amputasyonlarda genellikle ayakkabı modifikasyonu veya parmak dolgusu yeterli görülmektedir. Parmak amputasyonu olan kişiler ayakkabı içerisine

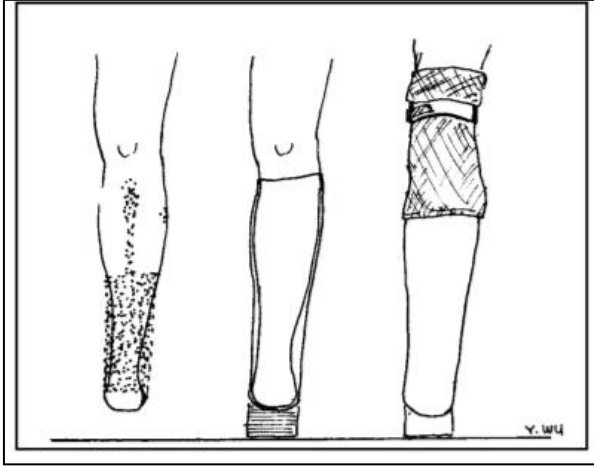
köpük dolgu, yün pamuk, ya da kauçuk dolgu yapılarak uzuv işlevi sağlanabilmektedir. Chopart, lisfranc ve body'i içeren transtarsal amputasyonlar cerrahide çok istenmese de ayak bileği hareketleri yeterli, kaslar denge halindeyse ve topuk yastığı mevcutsa fonksiyonel açıdan iyi olabilmektedir [4]. Ayak amputasyon bölgeleri resim 2.1'de [5] gösterildiği gibidir.



Resim 2.1. Ayaktaki amputasyon bölgeleri

Syme ampütasyonu

Transmetatarsal amputasyon ile tedavi edilemeyen destrüktif ve infektif ayak lezyonlarında kullanılan bir ayak bileği dezartikülasyonudur. Protez olmadan da kişi ayakta durabilir. Çıkarılabilir yapıdaki syme protezi bir medial pencere içerir [7] ve bununla malleol üzerinde süspansiyon sağlar. Ayak bileği hareketinin olmamasına uyum sağlamak için topuk yumuşak yapıda olmalıdır. Ekstremiteler arasında uzunluk farkı olması nedeniyle topuk ince olmalıdır [6].



Resim 2.2. Syme amputasyonu için çıkarılabilir protez

Diz altı (transtibial) amputasyonu

Dizden sonraki bölümün amputasyon olmasına denir. Diz altı amputelerde dizin tamamına yakın kullanımı ile oldukça elverişli bir yürüme sağlanmaktadır. Baldır kısmı endoskeletal ya da eksoskeletal olarak düzenlenebilir. Endoskeletal olanda ağırlık santral kısımda taşınırken, eksoskeletal olanda ağırlık dışdaki plastik duvar üzerindedir [6]. Erişkinlerde diz altı amputasyonlarda ideal güdük uzunluğu hastanın boyuna göre değişmektedir. Hasta boyunun her 30 cm de 2,5 cm olacak şekilde aşağı yukarı hesaplanabilmektedir [1]. Protez ayak, adaptör ve protez soketine bağlantı parçaları uygulama için gereklidir.

Diz dezartikülasyonu

Fibula ve tibia'nın diz seviyesinden çıkarılmasına diz dezartikülasyonu denir. Çoğunlukla enfeksiyon ve travmada kullanılan amputasyon türüdür. Genellikle soket olarak modifiye kuadrilateral kullanılır. Femoral kondiller de ağırlık taşıyabilir. Geçmişte diz dezartikülasyonu olan vakalarda diz ünitesinin proteze uyumu ampute ve nonampute tarafta diz merkezlerinin eşit olması nedeniyle bir problem olarak görülmekteydi fakat günümüzde dört barlı polisentrik diz ünitelerinin kullanılmasıyla bu sorunun büyük bir bölümü çözülmektedir [6].

Diz üstü (transfemoral) amputasyonu

Transtibial amputasyondan sonra en sık uygulanan cerrahi işlemdir. Hem iskemik, hem de non iskemik amputasyonda anterior ve posterior cilt flebi eşit uzunlukta bırakılmaktadır. [1].

Transfemoral amputasyon sonrasında iyileşme ve protez kullanmadaki en önemli faktör, amputasyon sırasında femurun optimal yük almak için pozisyonlanması ve rezidü ekstremitenin hacmidir [8].

Protezde eklemler hasta ihtiyaçlarına göre çok değişkenlik gösterebilir. Tek eksenli sabit sürtünmeli diz mafsallı kullanımı geleneksel bir standarttır. Sabit sürtünmeli diz mafsallı hafif, uzun ömürlü, basit ve ucuzdur. Ancak hastalar değişik hızlarda yürürlerken problem yaşarlar [9].

Kalça dezartikülasyonu ve hemipelvektomi

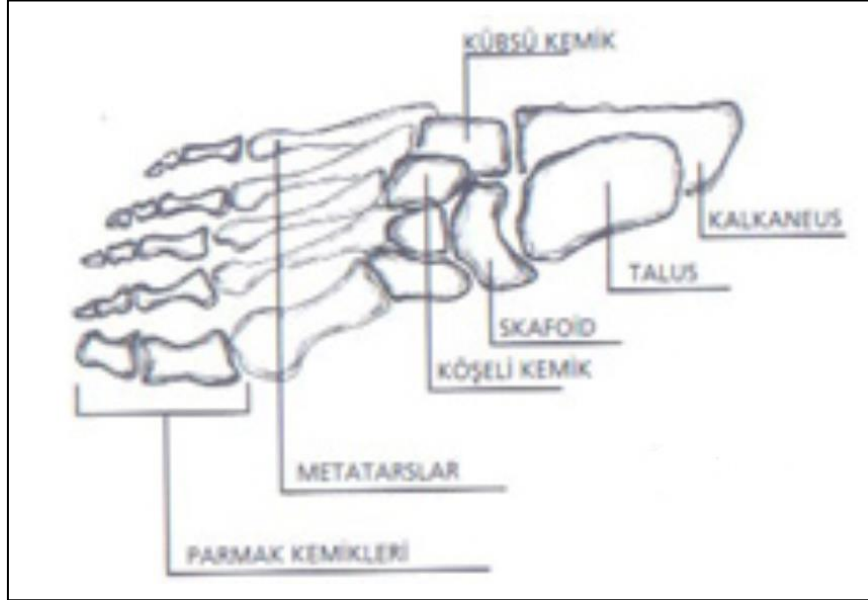
Kalça ekleminden yapılan amputasyona kalça dezartikülasyonu denir. Pelvis bir bölümün çıkarıldığı amputasyona ise hemipelvektomi denir. Hastanın amputasyon bölgesinde gerekli işaretler alındıktan sonra uygun alçı flepleri hazırlanmaktadır.

2.2. Ayağın Yapısı ve Hareketleri

2.2.1. Ayak iskeleti

Ayak iskeleti üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar parmaklar, tarsal ve metatarsal bölgeleridir ve toplam 26 kemikten oluşmaktadır. Metatarsal bölgede 5 adet tarak kemiği (metatras) bulunmaktadır. Tarsal bölgedeki kemikler sandal kemiği (skafoïd), kübsü kemiği (cuboide), topuk kemiği (calcaneus), aşık kemiği (talus), ve üç tane köşeli kemik (cuneiforme) olmak üzere toplam yedi adettir. Parmakların bulunduğu bölgesinde 14 tane parmak kemiği (flanks) bulunmaktadır. Bu kemiklerden extremitedekilere bağlanandara uç kemiği, ortadakilere bağlanana orta kemiş ve tarak kemiklerine bağlanana bağlantı kemiği denilir. Ayrıca 1. tarak ve 1. parmak kemiği ekleminde 2 tane susam kemiği bulunmaktadır. Susam kemiği

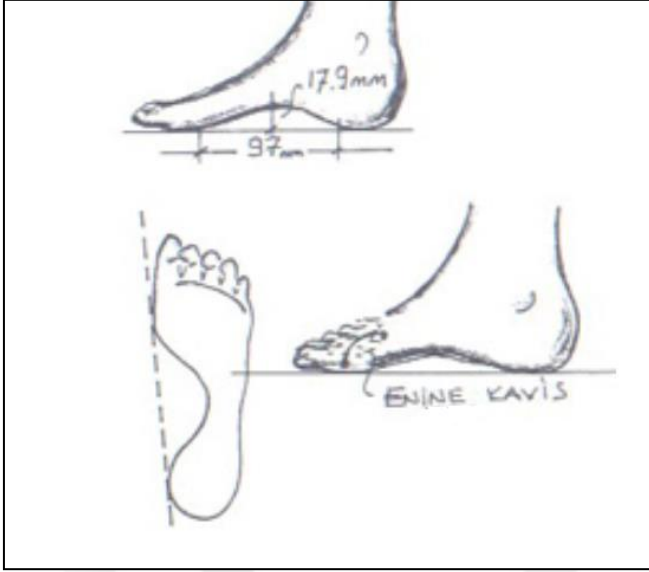
ileri yaşlarda oluşan hareketleri kolaylaştırmaktadır. Ayak iskelet bölgeleri resim 2.3'te gösterilmektedir.



Resim 2.3. Ayak iskelet bölgeleri

2.2.2. Ayak kavisleri

Ayak kavisleri 2 bölümden oluşur. Bunlar uzunlamasına kavis ve enine kavistir. Uzunlamasına kavis ayağın iç kısmında (medial) bulunan boyuna kavise denmektedir. Kavis boyu insandan insana değişiklik göstermektedir. Genellikle yetişkin normal bir ayakta kavis boyu yaklaşık 97 mm kavis yüksekliği ise 17.9 mm dir. Enine kavis ise 1. metatars ile 5. metatars başı arasında oluşan kavise denmektedir. Ayak kavis bölgeleri resim 2.4'te gösterilmektedir.



Resim 2.4. Ayak kavisleri

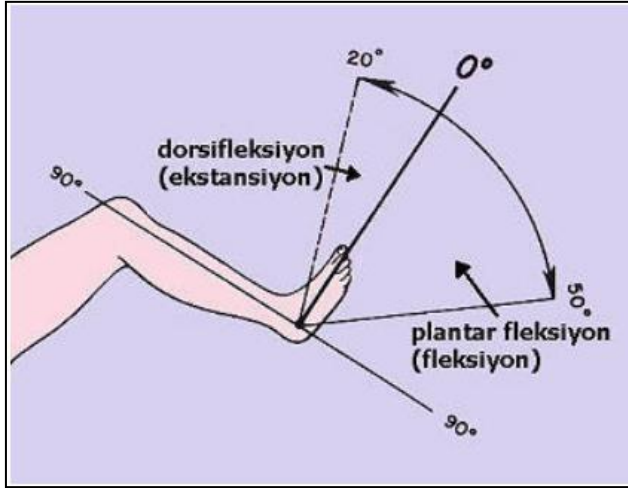
2.2.3. Ayak hareketleri

Yürüyüş sırasında ayağın sergilediği durumlar bulunmaktadır. Bu durumlar aşağıdaki gibidir.

1. Dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon hareketi
2. Supinasyon ve pronasyon hareketi

Dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon

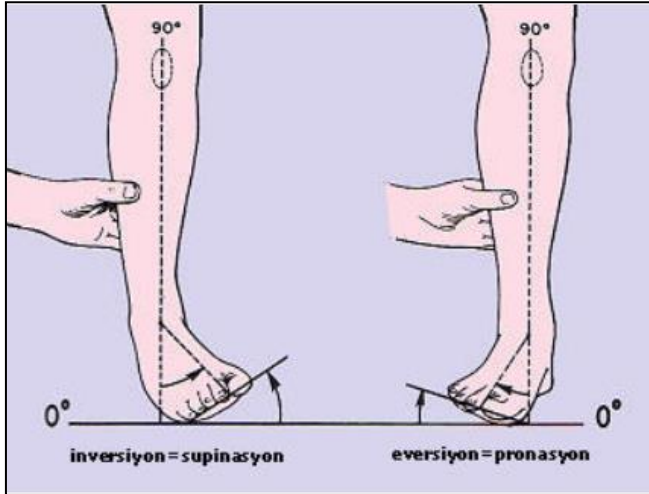
Ayak anatomik pozisyondayken ayağın yukarı doğru bükülme hareketine dorsifleksiyon aşağı doğru bükülme hareketine de plantar fleksiyon denir. Ayağın dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon hareketleri resim 2.5'te [10] gösterilmektedir.



Resim 2.5. Ayağın dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon hareketleri

Supinasyon ve pronasyon hareketi

Ayak tabanının iç tarafından görünecek şekilde ayağın bükülmesine supinasyon (inversiyon), ayak tabanının dış tarafa doğru bakacak şekilde dönmesine ise pronasyon (eversiyon) denir [13]. Ayağın supinasyon ve pronasyon hareketleri resim 2.6'da [10] gösterilmektedir.



Resim 2.6. Ayağın supinasyon ve pronasyon hareketleri

2.3. Adım ve Yürüme Evreleri

2.3.1. Adım

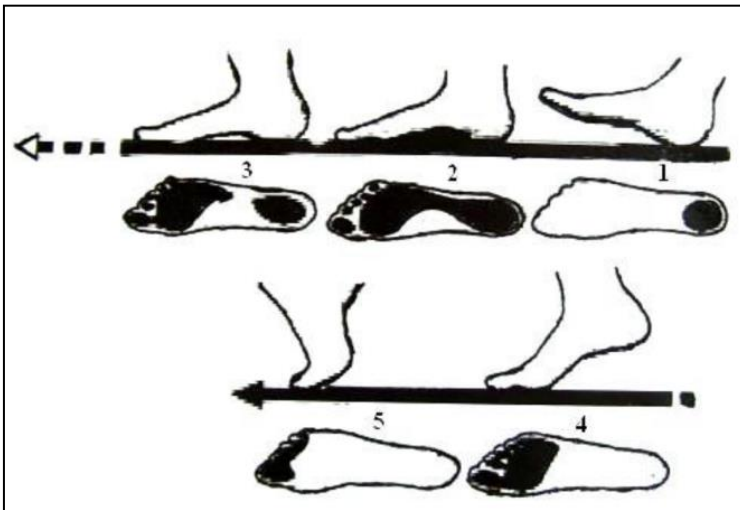
Yürümek için yapılan ayak atışlarının her birine adım denir. Adım mesafesi insanın boyuna ve giydiği ayakkabıya göre değişmektedir. Normal bir bireyin adım mesafesi yaklaşık 65 cm'dir. Topuk yüksekliği arttıkça adım uzunluğu kısalır, bacak boyu uzadıkça adım uzunluğu artar [11].

2.3.2. Yürüme evreleri

Yürüme aşağıdaki evrelerden oluşmaktadır;

- 1- Topuğun zemine teması: Yürüme esnasında zemine ilk başta topuk temas etmektedir.
- 2- Tabanın zemine teması: Topuk temasından sonra zemine taban ile temas edilmektedir.
- 3- Ara basış
- 4- Topuk kaldırma: Ara basıştan sonraki aşama tabanı kaldırmadır.
- 5- Parmaklarla itme: En son olarak da vücudumuzun parmaklarla itilmesidir.

Yürüme fazında topuktan başlayarak parmak ucuna kadar yük aktarımı belli bir yol izlemektedir. Yürüme fazlarında ayağın değişik kısımlarına gelen yükler resim 2.7'de görüldüğü gibi koyu bölgelerdir [12].



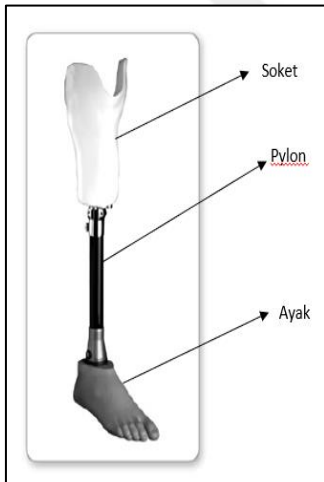
Resim 2.7. Yürüme faz bölgeleri

2.4. Ayaktaki Yük Dağılımı

Ayağa ağırlık bindiğinde 3 bölgeden yerle temas eder. Bunlar kalkaneus tüberkülü, 1. ve 5. metatars başlarıdır. Ayağa binen ağırlığın %40'ı metatars başlarında %60' ise topukta olmaktadır. Ayağın ön kısmında da yükün 1/3'ü 1. metatars başında 2/3'ü ise diğer metatars başları arasında dağılmaktadır [12].

2.5. Diz Altı Protez Bacak

Diz altı protez bacak diz altı amputasyonu olan hastalarda kullanılmaktadır ve 3 bölümden oluşmaktadır bunlar soket, pylon ve ayaktır. Aşağıdaki resim 2.8'de [4] detaylı gösterilmektedir.



Resim 2.8. Diz altı protez bacak

2.5.1. Soket

Protez soketi, genellikle bir protezin en önemli bileşeni olarak kabul edilir. İnsan-protez arayüzü olarak, soket uygun şekilde tasarlanmalı ve hareketlilik için yeterli yük iletimi, kararlılık ve verimli kontrol sağlamalıdır. soket sert malzemeden yapılmış bir yuva ile bağlanır. Soket sistemlerinin güdüğü tam olarak kavraması gerekmektedir. Soketin ebatları hastanın bacağının ebatlarına göre değişmektedir. Hastadan ölçü alınarak soket üretilmektedir. Resim 2.9'da soket gösterilmektedir.



Resim 2.9. Soket

2.5.2. Pylon

Ayak ile soket arasında bağlantı görevi gören unsura pylon denir. Diz altı protezlerde ayağa ayak adaptörü yardımı ile bağlanır sokete ise pylon sıkma adaptörü ile bağlanır. Pylon boyutları hastanın bacak boyuna göre değişmektedir. Pylon malzemesi çeşitlilik göstermektedir. Alüminyum olarak da bulunmaktadır ayak ile bir yapıda olup kompozit yapıda da bulunmaktadır. Pylon örnekleri resim 2.10'da gösterilmektedir.



Resim 2.10. Pylon örnekleri

2.5.3. Ayak

Günümüzde birçok çeşit ayak protezi bulunmaktadır. Ayak ağırlık taşıma yüzeyi oluşturmalıdır. Ayağa alttan ve üstten gelen darbeleri sönümlemesi gerekmektedir. Kas fonksiyonlarını ve bilek mafsalı fonksiyonunu gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu özelliklerinin yanı sıra da estetik görünüm de önemlidir. Eklemlili ve eklemsiz ayak yapıları

bulunmaktadır. Eklemlili ayak protezlerinde hareket mafsalı da bulunmektedir. Tek eksen ayak ve bilek mafsalı resim 2.11’de gösterilmektedir.



Resim 2.11. Tek eksen ayak ve bilek mafsalı

Eklemsiz ayaklar 4 çeşittir bunlar;

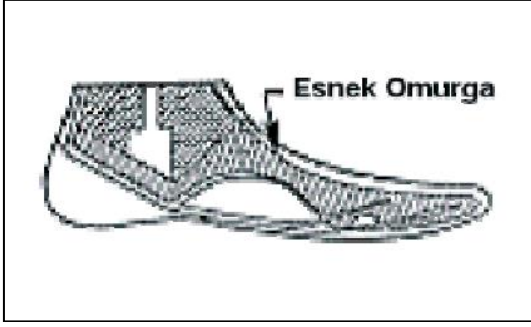
- SACH (solid ankle-cushion heel) ayak
- SAFE (solid ankle- flexibleendoskeletal) ayak
- Dinamik ayak
- Kompozit dinamik ayak

SACH (solid ankle-cushion heel) ayak eklemsiz ayakların en yaygın kullanılan türüdür. Ayaktaki bilek hareketsiz bir yapıdadır. SACH ayak hafif ve ekonomiktir ve resim 2.12’de gösterilmektedir.



Resim 2.12. SACH ayak ve hareketsiz bilek adaptörü

SAFE (solid ankle- flexibleendoskeletal) ayak SACH ayak bile benzer yapıda çalışmaktadır. Daha esnek omurga yapısıyla engebeli yüzeylerde kolay ve rahat hareket sağlar. Resim 2.13’te safe ayak modeli gösterilmektedir.



Resim 2.13. Safe ayak

Dinamik ayak esnek bir topuk bileşeni ile basma fazının başında meydana gelen darbe enerjisini depolayarak yürümenin sonraki fazlarında enerjiyi ayak ucuna doğru transfer etmektedir.



Resim 2.14. Dinamik ayak

Kompozit dinamik ayak ise pylon ile mafsallardaki ihtiyacı ortadan kaldırıp tek bir yapıya sahiptir. Kompozit malzemeden dolayı basma fazında ayak ortaya çıkan kuvvetleri daha iyi karşılayabilmektedir ve resim 2.15'te gösterilmektedir.



Resim 2.15. Kompozit ayak

2.6.2. Alüminyum ve alüminyum alaşımlı malzemeler

Doğada en çok bulunan elementlerden alüminyumdur ve genellikle mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyumun yoğunluğu ($2,71 \text{ g/cm}^3$) çeliğin yoğunluğunun ($7,83 \text{ g/cm}^3$) daha düşüktür ve yaklaşık üçte biri kadardır. Alüminyum, magnezyum, titanyum ve çelik malzemelerin çekme mukavemetleri çizelge 2.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Malzemelerin çekme mukavemeti

Malzeme	Spesifik Çekme Mukavemeti [$(\text{N/mm}^2)/(\text{gr/cm}^3)$]
Alüminyum Alaşımı (AlZn6MgCu)	170-220
Magnezyum Alaşımları	41-160
Titanyum Alaşımları	38-290
Çelik-HX 180 (NiMoCo) Alaşımı	159-200

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması aşağıda detaylı açıklanmaktadır;

- 1XXX: Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılan saf alüminyumdur.
- 2XXX: Esas alaşım elementi bakır olan Al-Cu alaşımıdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de yapısında bulunmaktadır. Yüksek mukavemetli yapısı gereği havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- 3XXX: Esas alaşım elementi mangan olan Al-Mn alaşımından oluşan alüminyumdur. Mimari uygulamalarda, boru ve sıvı tanklarında kullanılmaktadır.
- 4XXX: Esas alaşım elementi silisyum olan Al-Si alaşımlarıdır. Korozyon dayanımı ve aşınma direnci yüksektir. Termal genleşme katsayısı ise düşüktür. Kaynaklı yapılar ve otomobil parçalarının üretiminde kullanılır.
- 5XXX: Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyum olan Al-Mg alaşımlarıdır. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artarken süneklik azalır. Korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, korozyon bölgesindeki yapıların imalatında kullanılmaktadır.

- 6XXX: Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyum olan Al-Mg-Si alaşımlarıdır. şekillendirilme kabiliyeti yüksek olduğu için özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında daha çok kullanılır. Havacılık ve otomotiv sektöründe de tercih edilebilir.
- 7XXX: Bakır esas alaşım elementi bakır olup, zirkonyum, magnezyum ve krom ilave alaşım elementleridir. Bu seri alüminyum alaşımlarında en yüksek mukavemete sahip olan seridir. Yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.
- 8XXX: Esas alaşım elementi lityum olup kalay ilavesi de yapılabilen Al-Li alaşımlarıdır. Uçak ve uzay yapılarında daha çok tercih edilen bir malzemedir. İyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğeri Al alaşımlarına göre üretim maliyetleri yüksektir [14].

Bu çalışmada bacak parçalarının malzemesi olarak 6XXX serisinden olan 6061-T6 alüminyumunu kullanılmıştır.

2.7. Kompozit Malzemeler

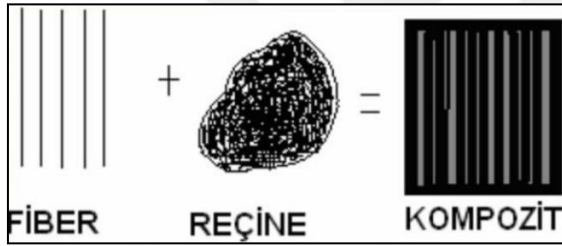
En az iki farklı malzemenin makro seviyede (birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde) birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. Amaç ise bileşenlerde tek başına iken mevcut olmayan bazı özelliklerin (hafiflik, dayanım esneklik, vb.) geliştirilmesi ve bir araya getirilmesidir.

Daha önceki yıllarlarda evlerin yapımında saman takviyeli kerpiç bloklar şeklindeki kompozit yapılardan faydalanılmıştır. Günümüzde ise diğeri kullanılan malzemelerin yetersiz olduğu düşüncesi ile bu malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi gerektiği durumlarda kompozit malzemelerden faydalanılmaktadır.

Cam elyafın malzemenin bulunması ile birlikte kompozit üretimi başlamış ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler dünya pazarına girmiştir. Malzeme bilimi açısından değerlendirildiğinde kompozit malzemeler ileri teknoloji düzeyinde ve yeni malzemeler olarak görülmektedir. Kompozit malzemenin en önemli özelliklerinden biri ise mikro düzeyde homojen yapıda olmasıdır [15].

2.7.1. Kompozit malzemenin temel özellikleri

Kompozit iki malzemeden oluşuyor fakat çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmaz. Bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır ve kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler. Malzemeler birbiri içerisinde çözünürse ve atom seviyesinde bir karışım olursa, bu tür malzemeler kompozit malzeme değil alaşım olurlar. Karışım nanometre seviyesindeki partiküller düzeyinde olursa ise bu tip kompozitlere nano kompozitler denir. Kompozitler genel olarak matris ve takviye elemanından oluşmaktadır. Bu iki malzeme grubunun kompozit malzemeye kattığı farklı özellikleri vardır. Takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini artırır, matris malzemesi ise plastik deformasyona geçiş sırasındaki oluşabilecek yırtık ve çatlak ilerlemesini önler ve malzemenin kopmasını geciktirmektedir. [16].



Resim 2.16. Kompozit malzemedeki kullanılan fiber ve reçine

2.7.2. Kompozit malzemenin sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri, yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre iki şekilde sınıflandırmak [17] mümkündür.

Matris malzemesinin türüne göre;

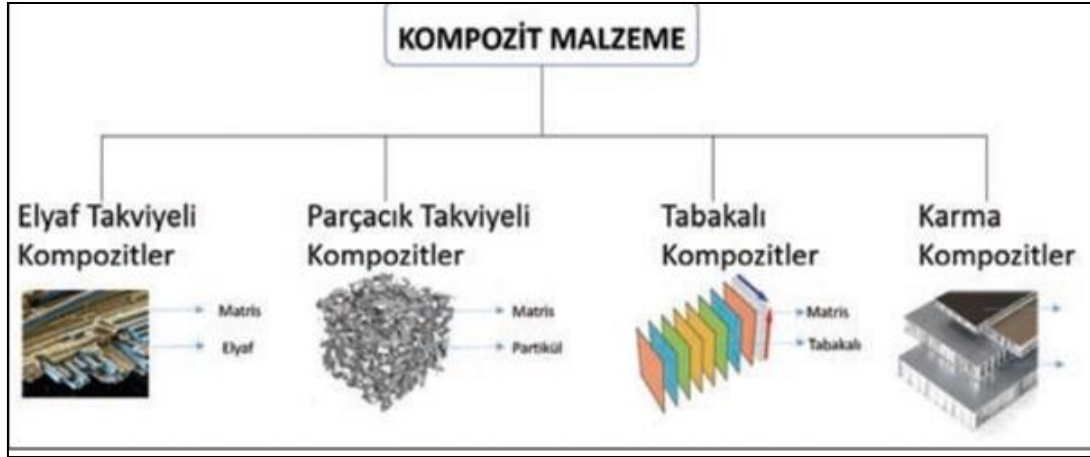
- Polimer (Plastik) Matrisli Kompozitler
- Metalik Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler

bir gruplandırma yapılabildiği gibi takviye ediciye göre de;

- Partikül (Parçacık) Takviyeli Kompozitler

- Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler
- Tabaka Yapılı Kompozitler (Lamine Kompozitler)
- Karma Kompozitler

şeklinde sınıflandırılabilir.



Resim 2.17. Kompozit malzemenin takviye ediciye göre sınıflandırılması

2.7.3. Matris malzemeli kompozitler

Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitlerin ana malzemeleri çeşitli metal ve metal alaşımlarıdır. Metal esaslı malzemeler takviye edildikleri malzemeye göre daha üstün özellik sergilemektedirler. Yüksek elastiklik modülü sergileyen seramikler ile plastik şekil değiştirme özelliği olan metaller bir araya getirilerek gerilme mukavemeti yüksek ve aşınmaya dayanıklı malzemeler elde edilebilir.

Seramik matrisli kompozitler

Hafif ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olan seramik malzemeler bu özelliklerinden dolayı oldukça kullanışlıdır. Bu yüzden yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalarda tercih edilir. Sert ve kırılgan yapısından dolayı süneklik ve tokluk derecesi çok düşüktür ayrıca termal şoklara karşı dayanıksızdır. Bu nedenlerden dolayı genellikle lif malzemeler ile

takviye edilirler. Rijit ve gevrek özellikler sergilemektedirler. Çok iyi derecede yalıtkan özelliği göstermektedirler.

Polimer matrisli kompozitler

Genellikle petrokimya esaslı ürün olan polimer matrisli kompozitler günümüzde en yaygın kullanım alanına sahiptirler. Yük taşıma kapasitesi yüksek, uzun süreli kullanılabilen, korozyona karşı dirençli ve şekillendirilebilmesinden dolayı işlenmesi kolaydır [18]. Termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar..

Termoset matrisler

Genellikle lif takviyeli kompozit yapımında kullanılır ve sıvı haldedirler. Katılaştırıcıyla birlikte ilk önce jel kıvamına gelir daha sonra ise katılırlar. Termoset reçineler izotropiktirler. Çoğunlukla düşük viskozitedeki halleri tercih edilir. Plastikler arasında olan, ısı direnci en yüksek ve şekil verilebilen yapıdaki polimerler poliamidlerdir [19].

Termoplastik matrisler

Termoplastik matrisler genellikle soğutma yöntemi ile katılaştırılırlar. Sünek ve ısı ile eritilebilir yapıdadırlar. Bu özelliği ile tekrar şekil verebilme kabiliyeti sağlarlar. Yarı kristal veya amorf yapıda olabilirler. Moleküllerinde gelişigüzel düzenlenmiş bir yapı sergileyen amorf termoplastiklerdir. Kristal bölgede ise moleküller düzenli bir yapıdadır [20].

2.7.4. Takviyeli kompozitler

Elyaf (fiber) takviyeli kompozitler

Elyaf takviyeli kompozitler kompozit malzemelerin en yaygın türüdür. Takviye malzemesi olarak ilk sırada cam elyaf bulunmaktadır. Matris malzeme olarak ise polyester ucuzluğu nedeniyle plastik reçineler en fazla kullanılan tür olup ilk sırayı almaktadır. Matris (reçineler) termoset veya termoplastik olabilir. Takviye lifleri dokuma kumaş, uzun liflerden ve kısa kesilmiş lifler olarak değişik formlarda olabilirler. Her farklı lif çeşidi ayrı özelliklerle sonuçlanır. Liflerin kompozit içerisinde nasıl uzadığı kompozit malzemenin özelliğini belirler [19].

Kompozit malzemede kullanılan başlıca elyaf türleri;

- Cam elyaf
- Karbon (graphite) elyaf,
- Aramid elyaf,
- Bor elyaf,
- Oksit elyaf,
- Yüksek yoğunluklu polyetilen elyaf,
- Poliamid elyaf,
- Polyester elyaf,
- Doğal organik elyaflar

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri şekil 2.1.'de gösterilmektedir.

Özellikler	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katkı Malzemeleri (%)				
SiO_2	72.0	64.4	52.4	64.4
$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
$\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$	14.2	9.6	0.8	0.3
B_2O_3	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri

A: Aramid elyaf, C: Karbon elyaf, E: E-Cam elyaf, S: S-Cam elyaf [21]

Çalışmamda elyaf malzemesi olarak karbon elyaf kullanılacağı için aşağıda karbon elyaf özellikleri detaylı açıklanmaktadır.

Karbon elyaf

Karbonun en iyi elektrik iletkenliği özelliğinden dolayı karbon lifi üretilmiştir. Cam fiberin sertliğinin daha az olması nedeniyle ve bu sertliğin 3-5 kat arttırılmak istenmesiyle karbon elyaf üretimi olmuştur. Yüksek dayanıklılık ve sertlik özelliği karbon fiberin epoksi matrisler ile birleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Karbon fiber ile ilgili sürekli bir çalışma olduğu için karbon fiberin çeşitleri devamlı değişmektedir. Karbon fiber genellikle uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır.

Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürtünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar [22].

Karbon elyafın özellikleri;

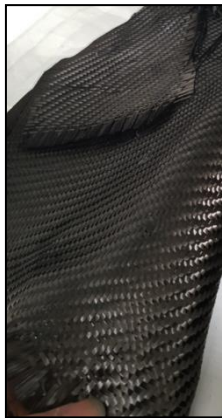
- Yüksek mekanik mukavemet
- Düşük yoğunluk, 1,8 g/cm³
- İyi ısı iletkenlik, 20 W/M*K (Standart modül için)
- Yüksek germe-çekme dayanımı, Germe Modülü; 220-240 GPa Germe Dayanımı; 3450-4850 Mpa
- Düşük lif çapı, 5-8 µm
- Elektriksel öz direnç, 1650 µΩ
- Kopma uzaması , %1,6-2,2
- Sınırsız raf ömrü
- Korozyona karşı dayanım, inorganik, asit ve bazlardan etkilenmez.

Karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri şekil 2.2’de gösterilmektedir.

Malzeme Özelliği	Sembol	Birim	Değer
Yoğunluk	ρ_c	g/cm ³	1,54
Hacimsel Lif Oranı	V_f	%	55
Lif Yönünde Elastik Modül	E_{11}	GPa	137
Lif Yönüne Dik Elastik Modül	E_{22}	GPa	10
Lif Yönünde Poisson Oranı	ν_{12}	-	0,30
Lif Yönüne Dik Poisson Oranı	ν_{21}	-	0,022
Lif Yönünde Çekme Dayanımı	X_t	MPa	1192
Lif Yönüne Dik Çekme Dayanımı	Y_t	MPa	21
Lif Yönünde Esneklik Dayanımı	σ_f^L	MPa	576,507
Lif Yönüne Dik Esneklik Dayanımı	σ_f^T	MPa	39,821
Lif Yönünde Esneklik Modülü	E_b^L	GPa	95,319
Lif Yönüne Dik Esneklik Modülü	E_b^T	GPa	6,539
Lif Yönünde Basma Dayanımı	X_c	MPa	305,28
Lif Yönüne Dik Basma Dayanımı	Y_c	MPa	64,7
Lif Yönünde Basma Modülü	E_{11}^C	MPa	-
Lif Yönüne Dik Basma Modülü	E_{22}^C	MPa	-
Kayma Dayanımı	S_{12}	MPa	59,45
Kayma Modülü	G_{12}	MPa	4705
Open hole Basma Dayanımı	F_{olcu}	MPa	147

Şekil 2.2. Karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin özellikleri [23]

Karbon fiber prepreg malzemeler de reçine ve fiberin bir arada olmasıdır. Karbon fiber wet ise fiberin reçinesiz halidir ve resim 2.18’de gösterilmektedir.



Resim 2.18. Karbon fiber wet



Resim 2.19. Karbon fiber prepreg

Bu çalışmada karbon elyaf olarak karbon epoxy UD prepreg ve karbon epoxy woven prepreg malzeme kullanılmıştır. Karbon epoxy UD prepreg malzeme 0° yönünde tek yönde yönlendirilmiş lifleri olan yüksek mukavemetli bir karbon elyafıdır. UD (tek yönlü) karbon dokunun en önemli özelliği, uygulandığı alan üzerindeki tüm kuvvetlerin aynı yönde olmasını sağlamasıdır. Karbon epoxy woven prepreg malzeme ise 0° ve 90° yönünde yönlendirilmiş lifleri olan yüksek mukavemetli bir karbon elyafıdır.

Parçacık takviyeli kompozitler

Kompozit malzemenin özelliklerine olan katısını takviye malzemesinin boyutları belirlemektedir. Parçacıklar kompozit malzemenin sertliğini artırabilir fakat dayanıklılığını artırmada çok etkili değildir. Parçacık dolgular fiziksel ve mekanik özellik arttırmaktan ziyade daha çok maliyeti azaltmak için kullanılırlar.

Parçacık dolgulu malzemede performansı etkileyen çok değişik unsurlar vardır. Bunların içinde, parçacık boyutları, boyut dağılımları, yüzey enerjileri, hacimsel oranlar, homojen dağılıp dağılmadıkları, eksen oranı kompozit özelliklerini etkiler.

Tabakalı kompozitler

En eski ve en yaygın kullanım alanına sahiptir. Çok yüksek mukavemet değerlerine farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakaların bileşimi ile ulaşırlar. Isı ve neme dayanıklıdırlar. Tercih edilme nedenlerinden biri de metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmalarıdır. Çok iyi ısıl genleşme özelliklerine, yüksek dayanıma, aşınma direncine sahiptirler.

Karma kompozitler

Karma yapıdaki kompozitlere “hibrid kompozitler” denilmektedir. Karma kompozitler geliştirilmekte olan bir alandır. Örneğin, basma mukavemeti düşük ama ucuz olan kevlar elyafı ile düşük toklukta ve iyi basma mukavemetine sahip fakat pahalı olan grafitin kullanılmasıyla oluşan hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksektir [17].

2.7.5. Kompozitlerin uygulama alanları

- Denizcilik,
- Tıp,
- Robot teknolojisi,
- Kimya sanayi,
- Müzik aletleri,
- Otomotiv,
- Savunma sanayi,
- Gıda sektörü
- Elektrik-Elektronik teknolojisi,
- İnşaat ve yapı sektörü,
- Spor malzemeleri

gibi pek çok alanda kullanılmaktadır

2.7.6. Kompozit üretim yöntemleri

Açık kalıplama

- El Yatırma Yöntemi
- Püskürtme Yöntemi
- Elyaf Sarma Yöntemi
- Vakum Torbası Yöntemi
- Otoklav veya Fırın Yöntemi

Kapalı kalıplama yöntemi

- Reçine transfer yöntemi (RTM)
- Pultrüzyon yöntemi
- Ekstrüzyonla kalıplama yöntemi
- Hazır kalıplama yöntemleri
 - BMC
 - SMC
- Enjeksiyonla kalıplama yöntemi
- Savurma kalıplama yöntemi [22].

Bu çalışmada fırın yöntemi kullanılmaktadır ve aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

Fırın yöntemi

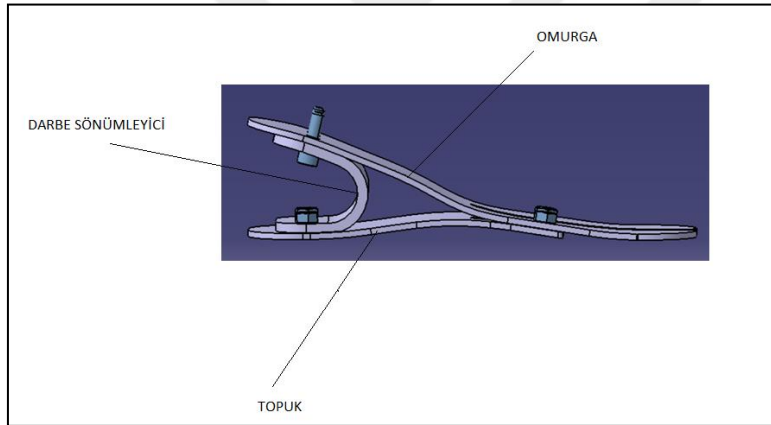
Ful vakumda olan kompozit serilen kalıp fırına vakumlu bir halde konulmaktadır. Oda sıcaklığından yaklaşık 120°C ye kadar fırın sıcaklığı çıkmaktadır. Belirli bir süreden sonrasında fırından parça çıkarılmaktadır. Ful vakumda parça sıcaklığı 40°C ye düşene kadar beklenmektedir. Daha sonra vakum torbası açılıp kalıp vakum torbasından çıkarılmaktadır. Kompozit parçalar kalıplardan çıkarıldıktan sonra işlem tamamlanmaktadır.

3. KOMPOZİT AYAĞIN TASARLANMASI

Ayak 2.2. bölümde anlatılan ayak anatomisine göre tasarlanmıştır. Karbon fiber kompozit ayak 3 parçadan oluşmaktadır. Ayak, yukarıda anlatılan yürüyüş sırasında ayağın sergilediği faktörler dikkate alınarak tasarlanmıştır. Ayak modeli Catia V5 programı ile tasarlanıp Ansys programı ile analiz edilmiştir. Analiz kısmı 4. bölümde anlatılmaktadır.

3 parçalı ayak resim 3.1’de gösterilmektedir. Ayağı oluşturan parçalar,

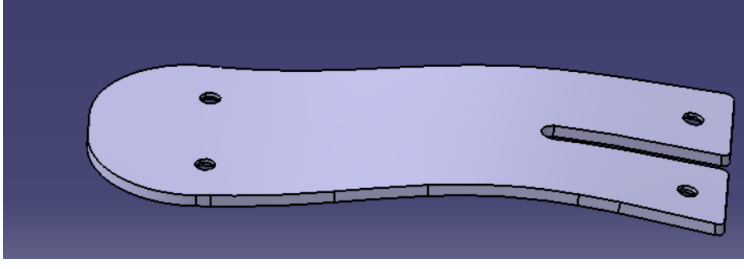
1. Topuk
2. Omurga
3. Darbe sönümleyici



Resim 3.1. Ayak modeli

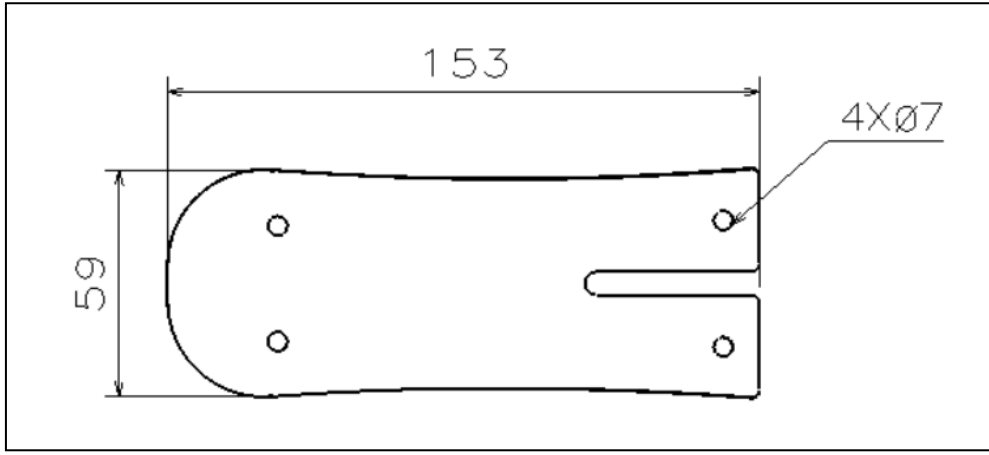
3.1. Topuk

Topuk kısmı ayağın taban kısmı baz alınarak modellenmiştir. Omurganın uç kısmına kadar uzamamaktadır. Bunun sebebi de omurganın uç kısmının kalın yapıda olmayıp daha esnek bir yapıya sahip olabilmesi için ince bir katman halinde olabilmesini sağlamaktır. Topuk omurga ve darbe sönümleyiciye havşa baş civata ve somun ile bağlanmaktadır. Model resim 3.2’de gösterilmektedir.



Resim 3.2. Topuk modeli

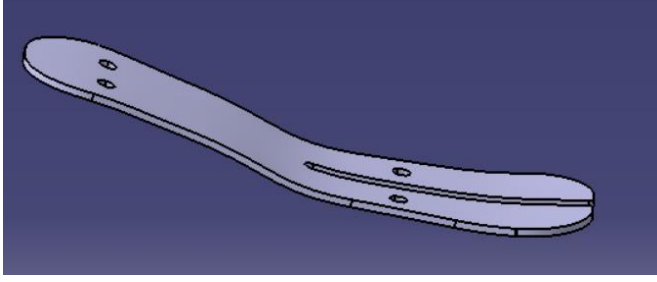
Topuk tasarımı catia V5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 4.1. bölümde anlatılmaktadır. Topuk ölçüleri resim 3.3'te gösterilmiştir.



Resim 3.3. Topuk model ölçüleri

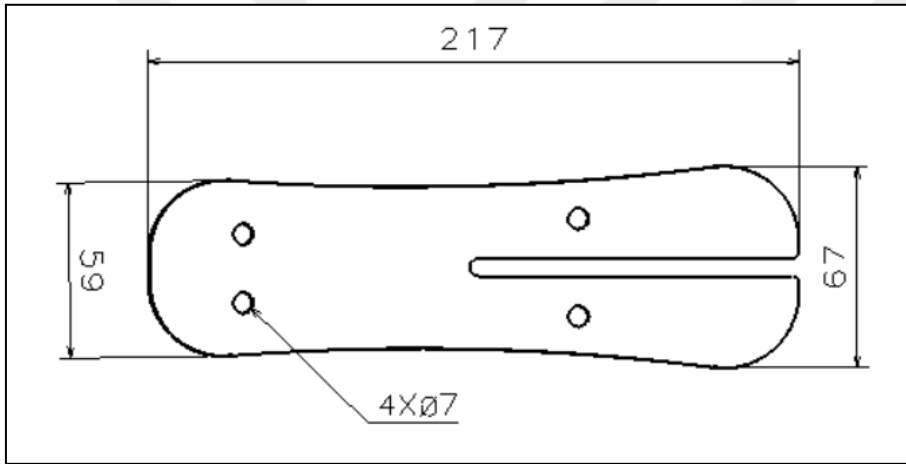
3.2. Omurga

Omurga kıvrımlı bir yapıdır. Omurganın uç kısmı aşağıdaki resimde de gösterildiği gibi iki parça halindedir. Bunun sebebi ise literatür kısmında anlatılan 2.2. bölümdeki ayağın hareket yeteneği bölümünde anlatılan supinasyon ve pronasyon hareketidir. Engibeli yollarda ayak tek bir yapı halinde iken yürümesi daha zor olacağı için 2 parçalı yapılar esnek bir yapıda daha rahat yürümesi sağlanmıştır. Omurga da kalın bir yapı tercih edilmemiştir. Özellikle uç kısmın ince yapılı olması önem arz etmektedir. Bunun sebebi ise esnekliği ve hareket kolaylığını sağlayabilmektir. Omurga darbe sönümleyici kısımla birlikte ayak adaptörüne havşa baş civata ile topuk kısmına da havşa baş civata ve somun ile bağlanmaktadır. Model resim 3.4'te gösterilmektedir.



Resim 3.4. Omurga modeli

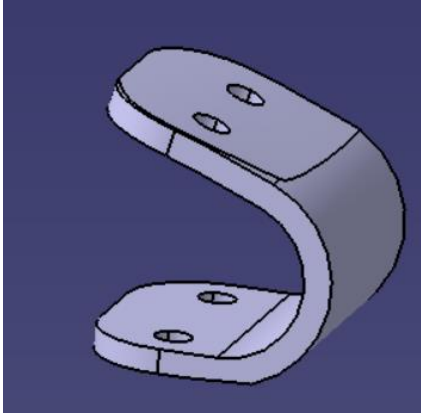
Omurga tasarımı Catia V5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 4.2. bölümde anlatılmaktadır. Omurga ölçüleri resim 3.5'te gösterilmiştir.



Resim 3.5. Omurga model ölçüleri

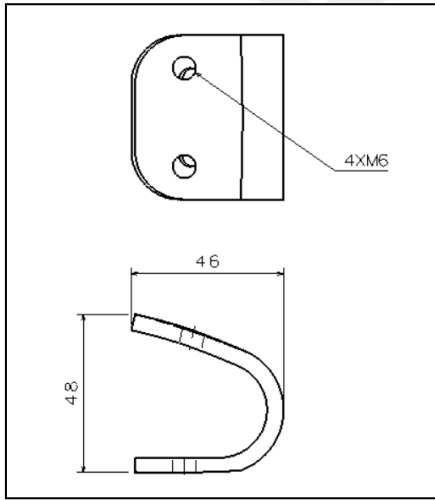
3.3. Darbe Sönümleyici

Darbe sönümleyici resim 3.6'da gösterildiği gibi kıvrımlı olup hem omurgaya hem de topuğa bağlanmaktadır. Ayağın en çok yük binen topuk kısmında olmasının sebebi de yukarıdan ve aşağıdan gelen darbeleri malzeme yapısı gereği sönümlemektir. Esnek ve dayanıklı bir yapıya sahiptir. Topuk kısmına M6 havşa baş cıvata ve M6 somun ile omurga kısmına ise omurga aile birlikte M6 havşa baş cıvata ile ayak adaptörüne bağlanmaktadır. Model resim 3.6'da gösterilmektedir.



Resim 3.6. Dabe sönümleyici modeli

Catia V5 programı ile tasarlanmış ve ANSYS programı ile de analizleri yapılmıştır. Detaylı analiz anlatımı 4.3. bölümde yer almaktadır. Darbe sönümleyici ölçüleri resim 3.7’de gösterilmektedir.



Resim 3.7. Darbe Sönümleyici Model Ölçüleri

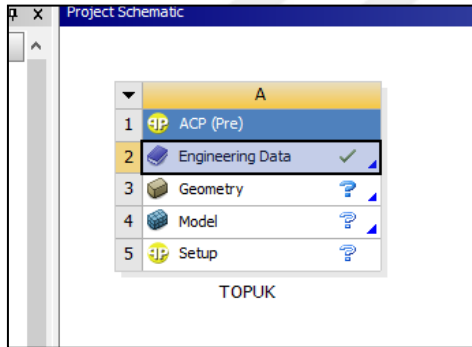
4. KOMPOZİT AYAK PARÇALARININ ANALİZİ

ANSYS programında “static structural” ve “ACP (Pre)” modülleri kullanılarak ayak parçalarının analizi yapılmıştır. ACP (PRE) modülü kompozit tanımlanmasının yapıldığı static structural modülü ise yüklemenin yapıldığı ve analiz sonuçlarının alındığı bölümdür. Bütün parçalara 100 kg bir kişinin ağırlığı baz alınarak kuvvet uygulanmıştır. 100 kg bir kişinin ağırlığı 980.66 N gelmektedir. Yapılan analizde çıkan kuvvetin üst değerinde bir kuvvet uygulanacaktır. Bu kuvvet ise 1200 N dur.

4.1. Topuk Parçasının Analizi

4.1.1. ACP (Pre)

ACP (Pre) modülünde kompozit tanımlanmasının yapılacağı kısımlar resim 4.1’de gösterildiği gibi detaylı açıklanmaktadır.



Resim 4.1. Topuk modelinde ACP (Pre) modülü

Engineering data

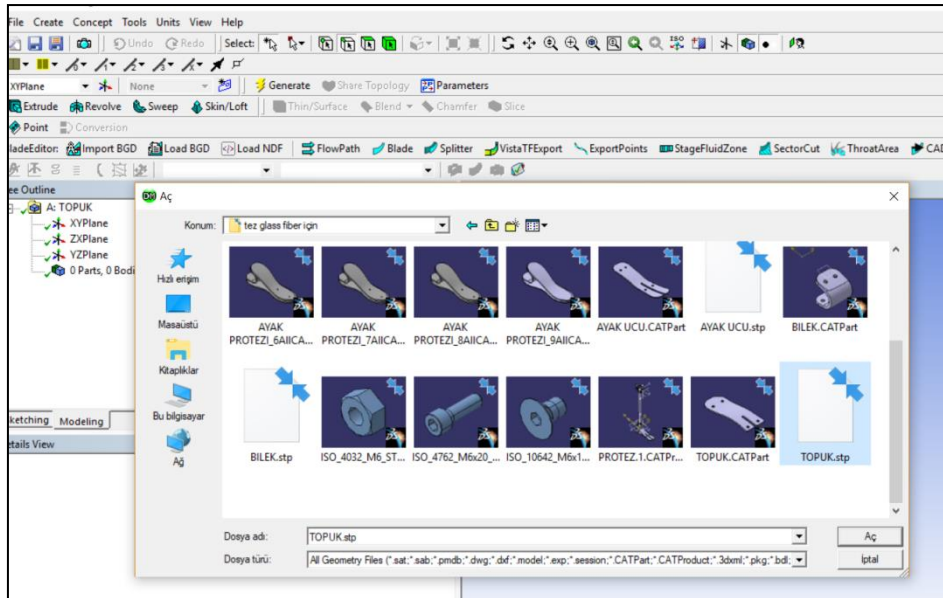
Engineering data kısmında birçok malzeme bulunmaktadır. Analiz yapacağınız parçaya uygun seçtiğiniz malzemeyi kolaylıkla bu bölümde bulabilirsiniz. Kompozit malzeme olarak belirlenen karbon fiber malzeme olarak Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg ve Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg seçilmiştir. Ayrıca serim işleminde kullanılacak resin epoxy malzeme de seçilmiştir. Resim 4.2’de seçilen malzemeler gösterilmektedir.

Design structure tree			
A	B	C	D
1 Data Source		Location	Desc
5 Additive Manufacturing Materials			analyses.
6 Geomechanical Materials			General use material samples for use with analyses.
7 Composite Materials			Material samples specific for composite analyses.
8 General Non-linear Materials			General use material samples for use in non-linear analyses.
9 Explicit Materials			Material samples for use in an explicit analysis.
10 Hyperelastic Materials			Material stress-strain data samples for use in hyperelastic analyses.
11 Magnetic B-H Curves			B-H Curve samples specific for use in magnetic analyses.
Outline of Composite Materials			
A	B	C	D
1 Contents of Composite Materials	Add		Source
4 Carbon Fiber (290 GPa)		Composite_Materials.xml	
5 Carbon Fiber (395 GPa)		Composite_Materials.xml	
6 E-Glass		Composite_Materials.xml	
7 Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg		Composite_Materials.xml	
8 Epoxy Carbon UD (230 GPa) Wet		Composite_Materials.xml	
9 Epoxy Carbon UD (395 GPa) Prepreg		Composite_Materials.xml	
10 Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg		Composite_Materials.xml	
11 Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Wet		Composite_Materials.xml	

Resim 4.2. Topuk modelinde malzeme seçimi

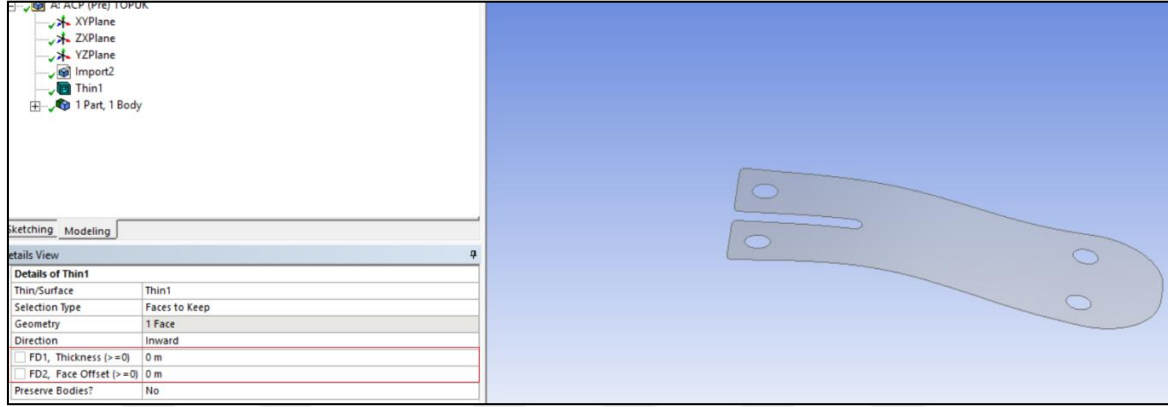
Geometry

Kompozit malzemeler seçildikten sonra geometry bölümünde Catia V5 programında çizilen topuk parçasının step datası çağırılmaktadır. Çağırılan step datası resim 4.3'te gösterilmektedir.



Resim 4.3. Geometry bölümünde topuk step datasını çağırma

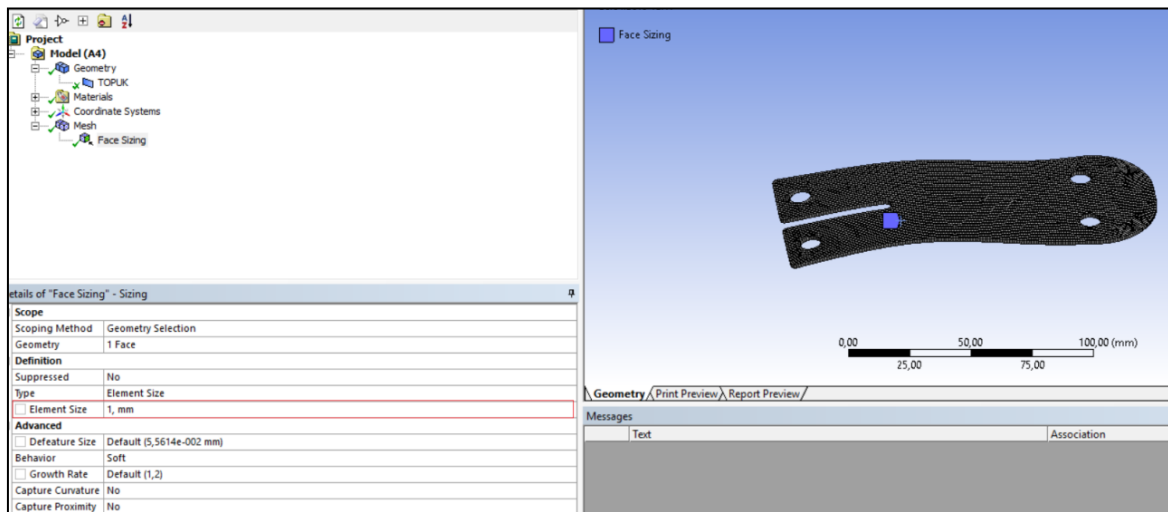
Topuk parçasında istenilen yüzey seçilip kalınlık belirlenmektedir. Bu bölümde “thin surface” tanımlanmaktadır ve kalınlığı “0” seçilmelidir. Oluşan topuk modeli resim 4.4’te gösterilmektedir.



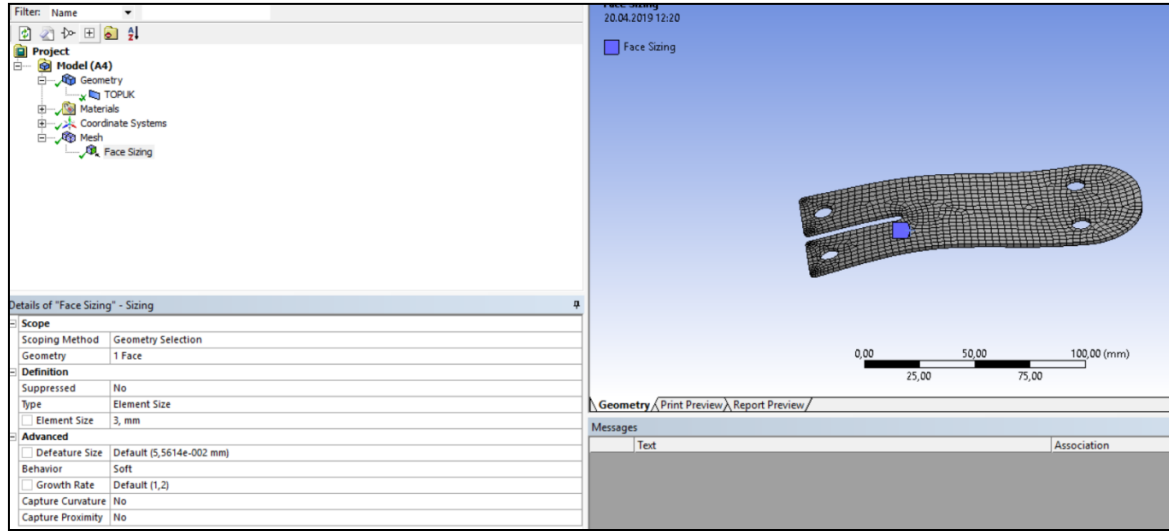
Resim 4.4. Thin surface komutundaki topuk modeli

Model

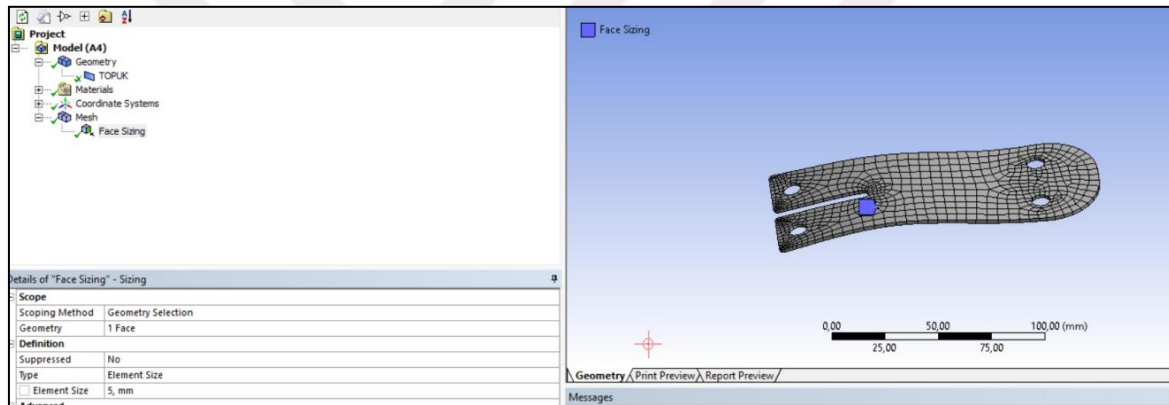
Model bölümünde analiz edilecek parçaya mesh ataması yapılmaktadır. Mesh atamasını kendimiz belirlememiz analizin doğru sonuçlar vermesi açısından yararlı olacaktır. Kendimiz atayacağımız için “face sizing” komutu kullanılarak ilk etapta 1 mm mesh atılıp daha sonrasında 3,5,7,10 mm mesh atılarak analiz sonuçları gösterilecektir. Bu sonuçlar çizelge 4.1’de verilmektedir. Resim 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9’da parçaya uygulanan mesh ölçülerinin şekli gösterilmektedir.



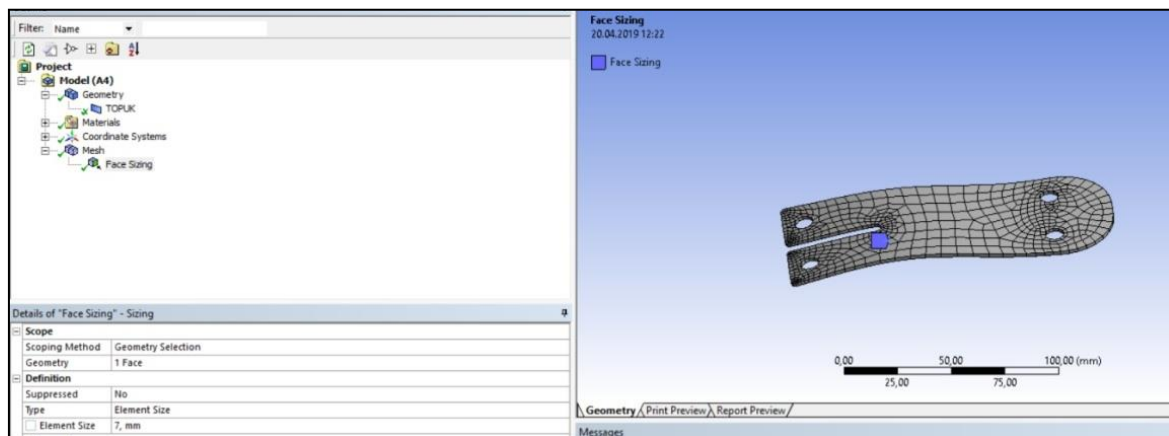
Resim 4.5.1 mm mesh atılmış topuk modeli



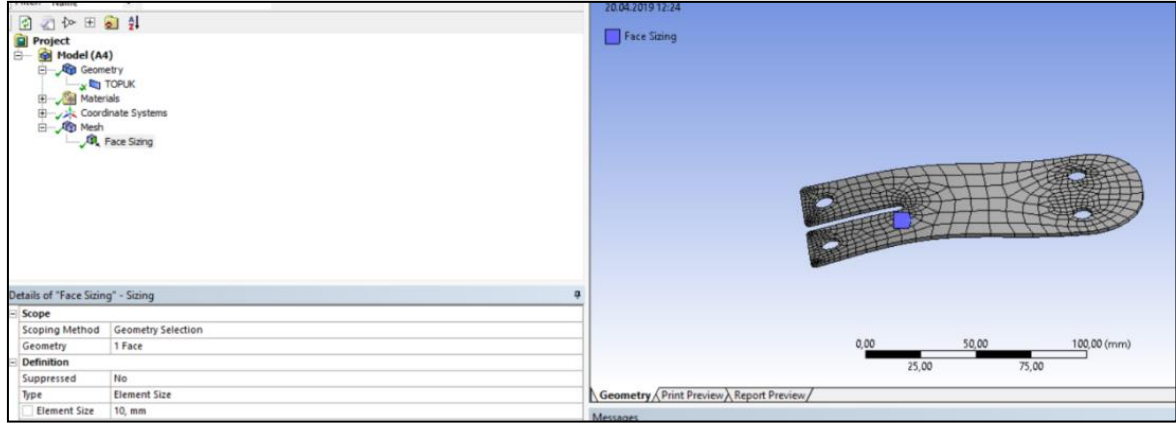
Resim 4.6. 3 mm mesh atılmış topuk modeli



Resim 4.7. 5 mm mesh atılmış topuk modeli



Resim 4.8. 7 mm mesh atılmış topuk modeli

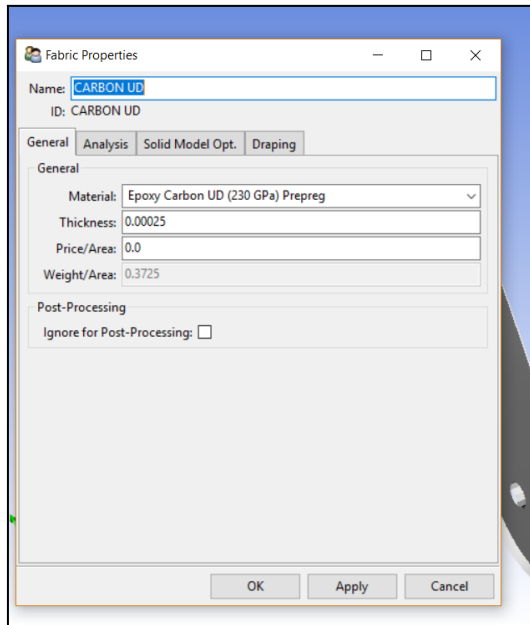


Resim 4.9. 10 mm mesh atılmış topuk modeli

Setup

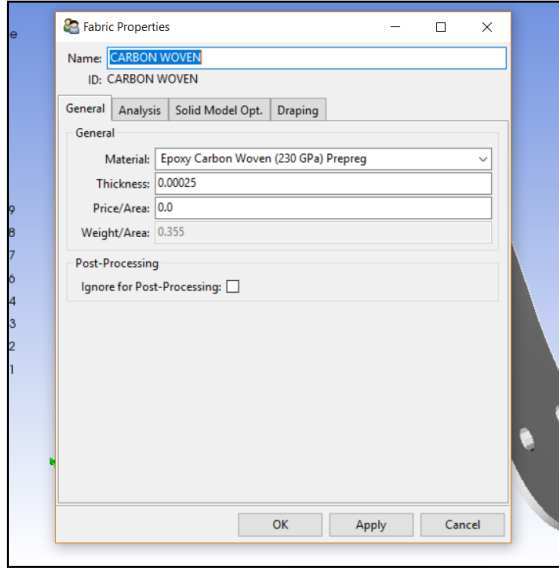
Setup kısmında topuk parçasına serilecek kompozit malzemelerin sırası, yönü ve kaç katman malzeme serileceği belirlenmektedir. 3 mm mesh atılan model baz alınarak katman oluşturulmuştur ve buna göre yükleme yapılmıştır.

İlk önce “fabric” kısmında serilecek malzemeyi ve kalınlığını belirlemek gerekmektedir. Resim 4.10’da gösterildiği gibi Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme seçilmiştir ve kalınlığı da 0.25 mm dir. Fabric kısmı metre cinsinden olduğu için 0.00025 m yazılmalıdır.



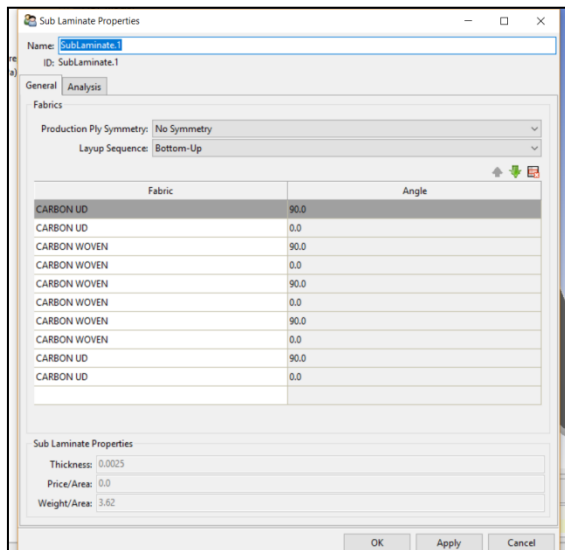
Resim 4.10. Topuk modelinde epoxy carbon ud prepreg malzeme seçimi

Diğer kullanılacak malzeme olan Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg seçilmiştir ve 0.25 mm olan malzeme kalınlığı 0.00025 m olarak girilmiştir ve resim 4.11’de gösterilmektedir.



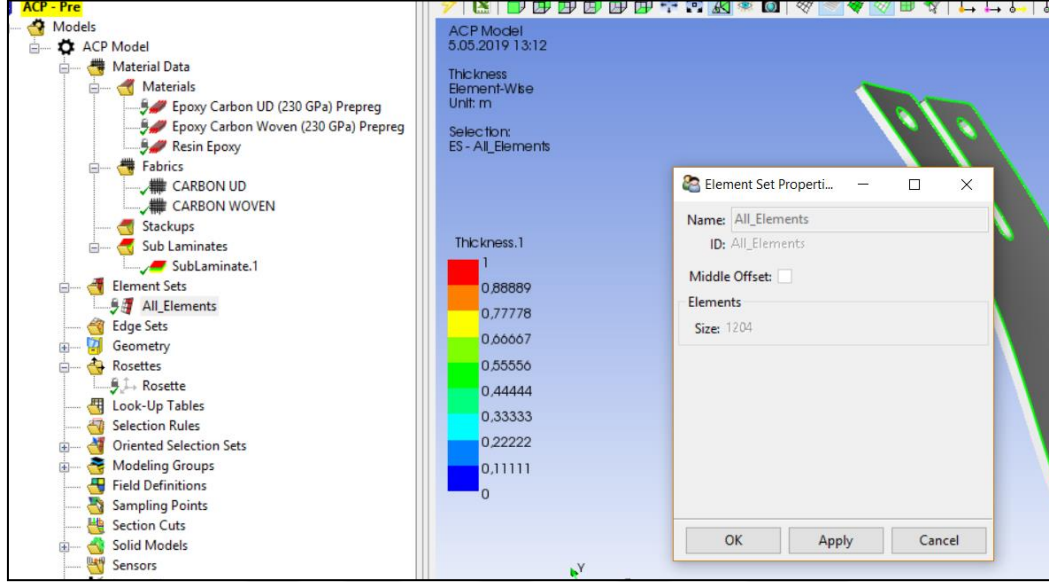
Resim 4.11. Topuk modelinde epoxy carbon woven prepreg malzeme seçimi

“Sublamine” kısmında kaç katman serileceği ve katman açıları belirlenmektedir. Topuk parçasında üst ve alt kata 2 şer kat Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme orta kısma ise 6 kat Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg malzeme olarak toplamda 10 kat kompozit malzeme serilmiştir. Resim 4.12’de serilen malzemeler ve açıları gösterilmektedir.



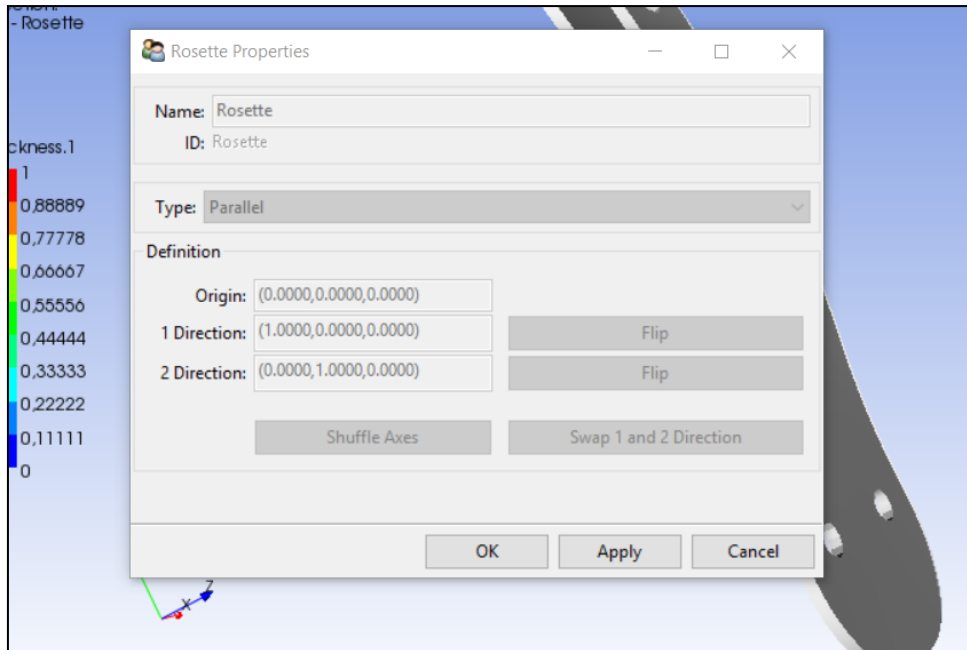
Resim 4.12. Topuk modelinde sublamine komutunda katman oluşturma

“Element sets” kısmında elementler otomatik olarak belirlenmiştir ve resim 4.13’te gösterilmektedir.



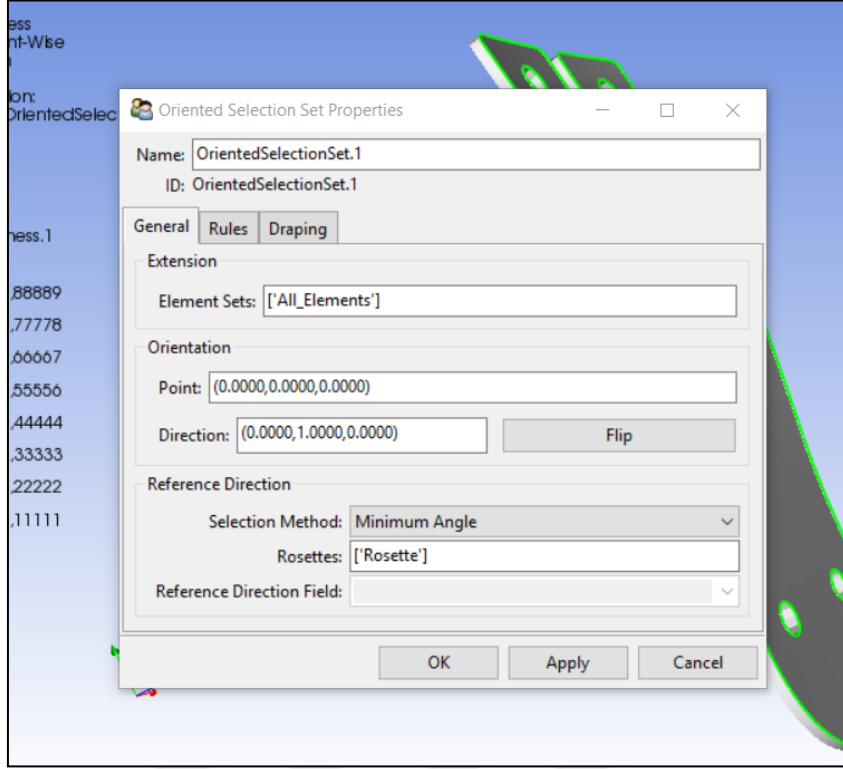
Resim 4.13. Topuk modelinde element sets bölümü

“Rosettes” kısmında da rozet yönleri otomatik olarak belirlenmiştir ve resim 4.14’te gösterilmektedir.



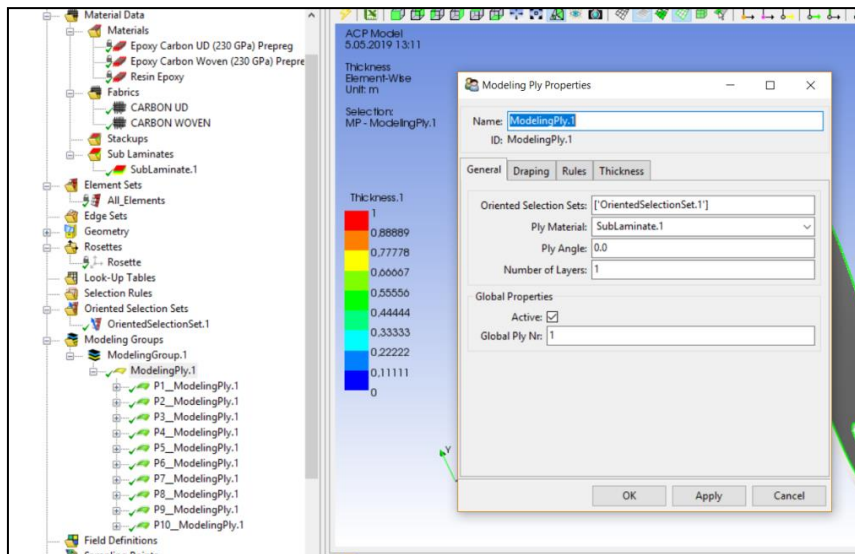
Resim 4.14. Topuk modelinde rosettes bölümü

“OrientedSelectionSet” kısmında resim 4.15’te gösterildiği gibi +y olarak seçilmiştir ve resim 4.15’te gösterilmektedir.



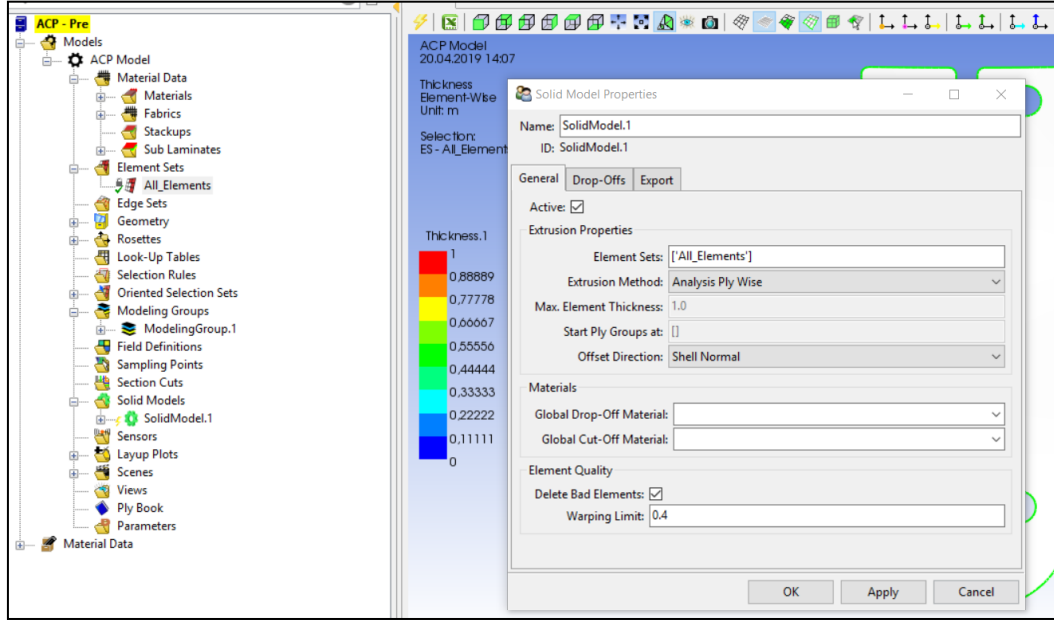
Resim 4.15. Topuk modelinde orientedselectionset bölümü

“ModelingGroup” kısmında “Sublaminat” kısmında oluşturulan katmanlar tanımlanmıştır ve resim 4.16’da gösterilmektedir.



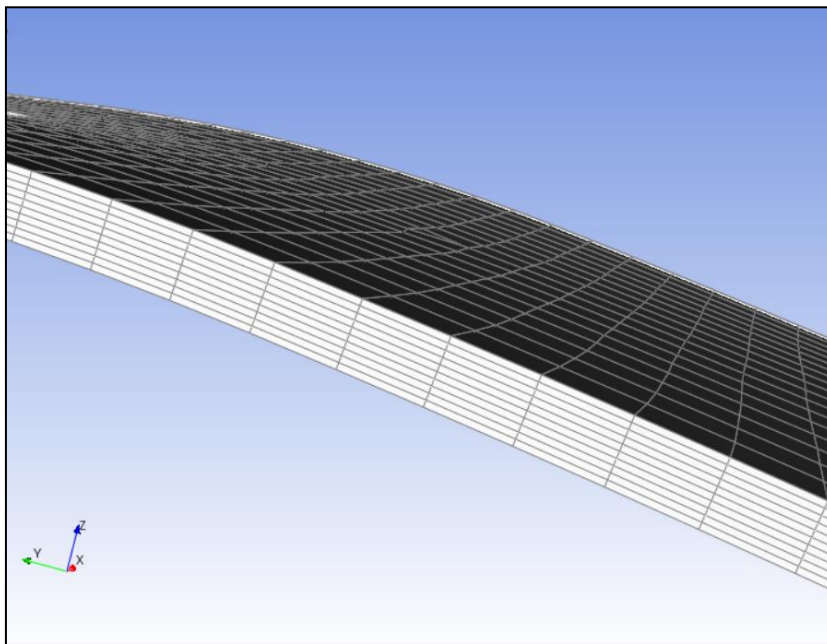
Resim 4.16. Topuk modelinde modelinggroup bölümü

“Solid Models” kısmında ise yukarıda tanımlanan kısımların sonucunda en sonra olarak katmanlı yapı ortaya çıkacaktır. Resiö 4.17’de solid model kısmında yapılan işlemler gösterilmektedir.

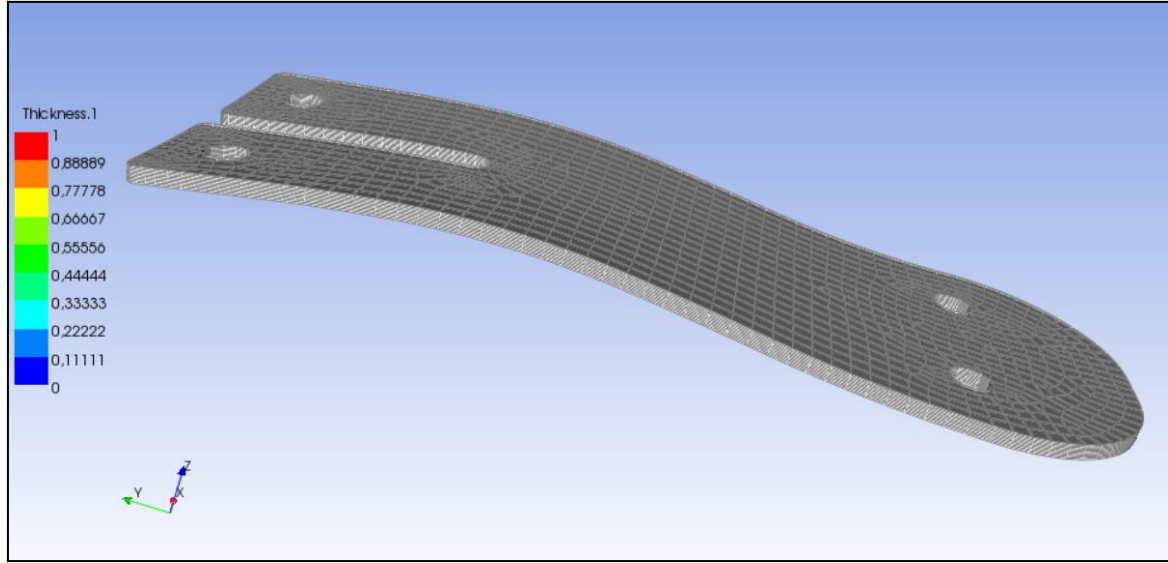


Resim 4.17. Topuk modelinde solid models bölümü

Solid model güncellendikten resim 4.18 ve 4.19’da gösterilen 10 katlı topuk ayak modeli gösterilmektedir.



Resim 4.18. 10 Katlı topuk modelinin yakından gösterimi



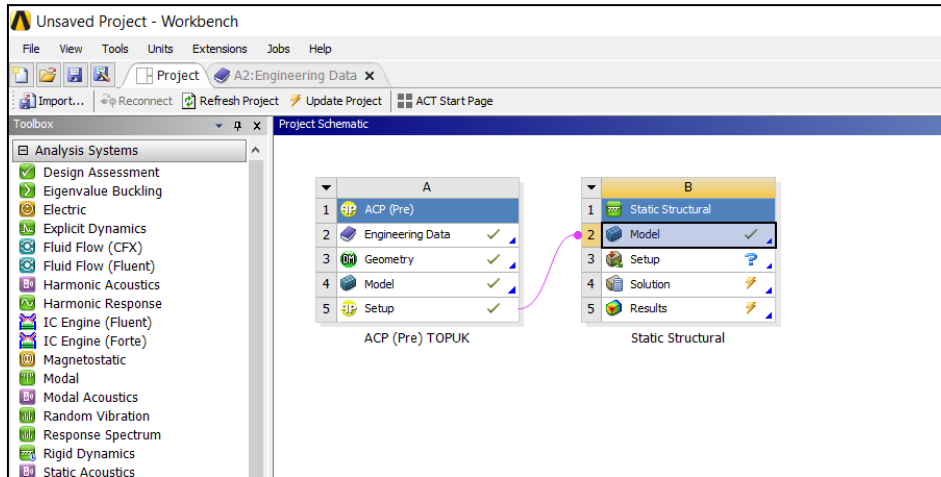
Resim 4.19. 10 Katlı topuk modelinin uzaktan gösterimi

ACP (Pre) modülü ile kompozit katman yapısı oluşturulduktan sonra ana menü de structural analiz modülü seçilmiştir ve static structural modülündeki bölümler aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

4.1.2. Static structural

Model

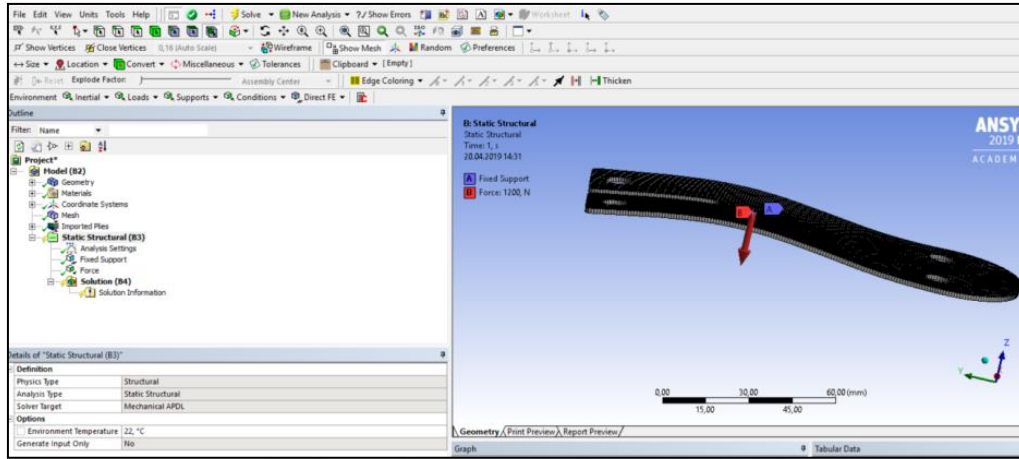
ACP (Pre) modülündeki setup kısmı static structural modülündeki model kısmına aktarılmaktadır ve resim 4.20’de gösterilmektedir.



Resim 4.20. Topuk modelinde static structural modülü

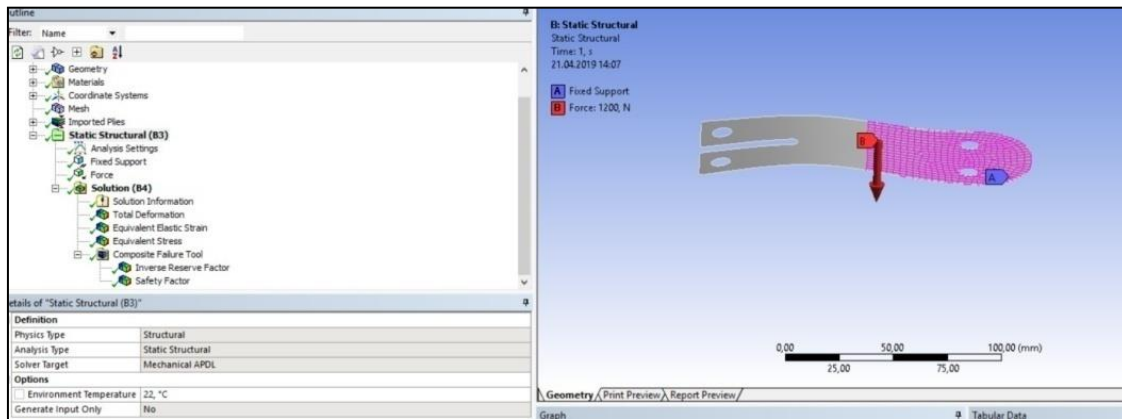
Setup

Setup kısmındaki static structural (B3) bölümünde ayağı sabitleyeceğimiz yerler ve uygulayacağımız kuvvetler gösterilmektedir. İki ayrı kuvvet yeri ve sabitleme yeri uygulanmıştır. İlk olarak topuk parçasının alt yüzeyi sabit tutulup üst kısımdan 1200 N luk kuvvet uygulanmıştır ve resim 4.21’de gösterilmektedir.



Resim 4.21. Topuk modelinde 1. yükleme durumu

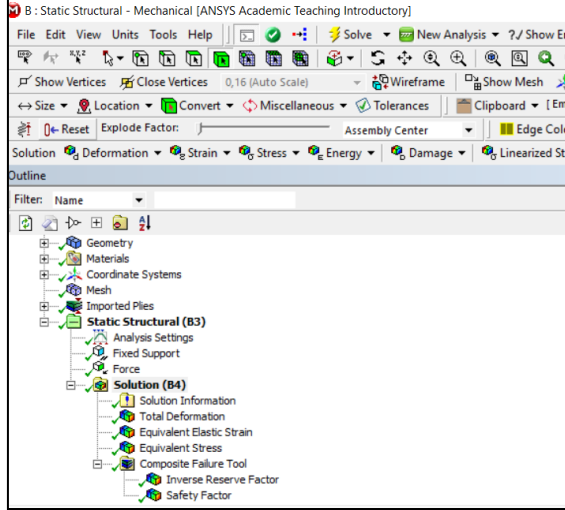
İkinci yükleme durumu ise sabitleme yeri olarak taban kısmının yere değdiği yerler ve parçanın omurga kısmına bağlandığı yerler seçilmiştir. Kuvvet de 1200 N olarak üst kısımdan uygulanmıştır ve resim 4.22’de gösterilmektedir.



Resim 4.22. Topuk modelinde 2. yükleme durumu

Solution

Setup kısmında hem solution hem de results bölümleri yer almaktadır. Parçaya uygulanan kuvvet sonucunda değerlendireceğimiz sonuçlar resim 4.23'te gösterilmektedir.

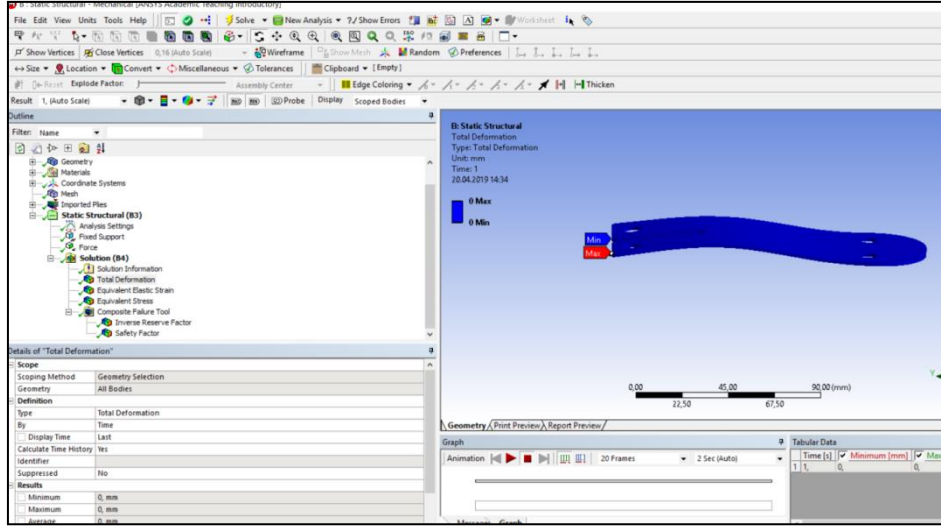


Resim 4.23. Topuk modelinde solution kısmında değerlendirilecek faktörler

İlk olarak topuk parçasının alt yüzeyi sabit tutulup üst kısımdan 1200 N luk uygulanan kuvvete göre çıkan analiz sonuçları ve değerlendirmeler aşağıda anlatılmaktadır.

Total deformation (Toplam deformasyon)

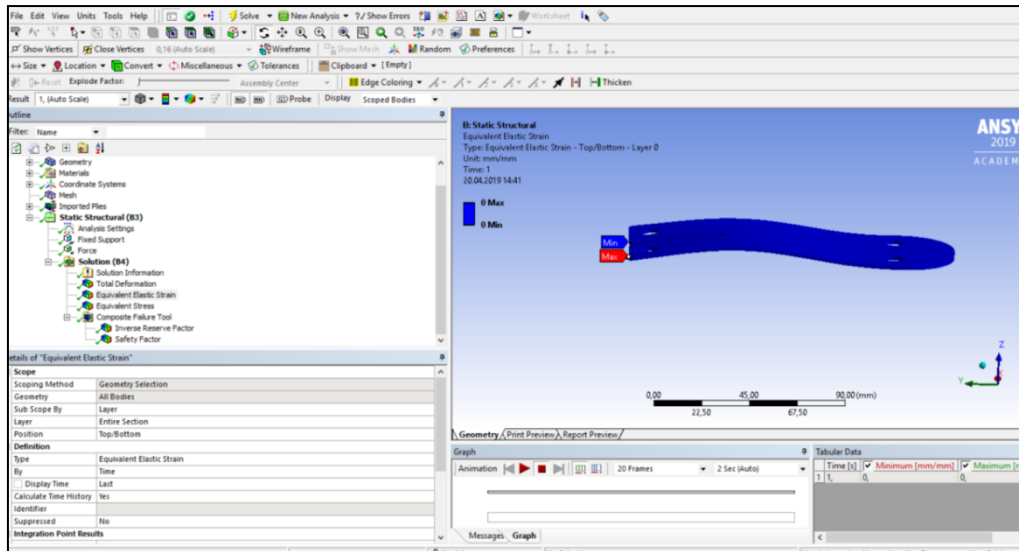
Parçanın alt yüzeyini sabitleyip üst yüzeyden 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum toplam deformasyon 0 mm çıkmaktadır. Parçada toplam deformasyon gözükmemektedir. Parçadaki toplam deformasyon resim 4.24'te gösterilmektedir.



Resim 4.24. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

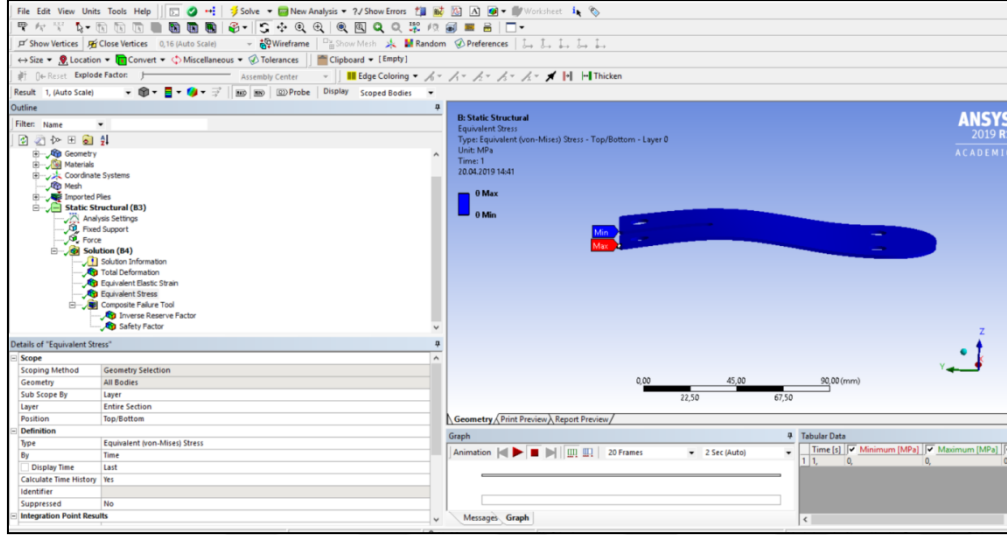
Parçanın alt yüzeyini sabitleyip üst yüzeyden 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum ve minimum elastik şekil değiştirme 0 mm/mm çıkmaktadır. Parçadaki elastik şekil değiştirme resim 4.25'te gösterilmektedir.



Resim 4.25. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki E.E.S

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

Parçanın alt yüzeyini sabitleyip üst yüzeyden 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum ve minimum eşdeğer gerilme 0 MPa çıkmaktadır. Parçadaki eşdeğer gerilme resim 4.26'da gösterilmektedir.

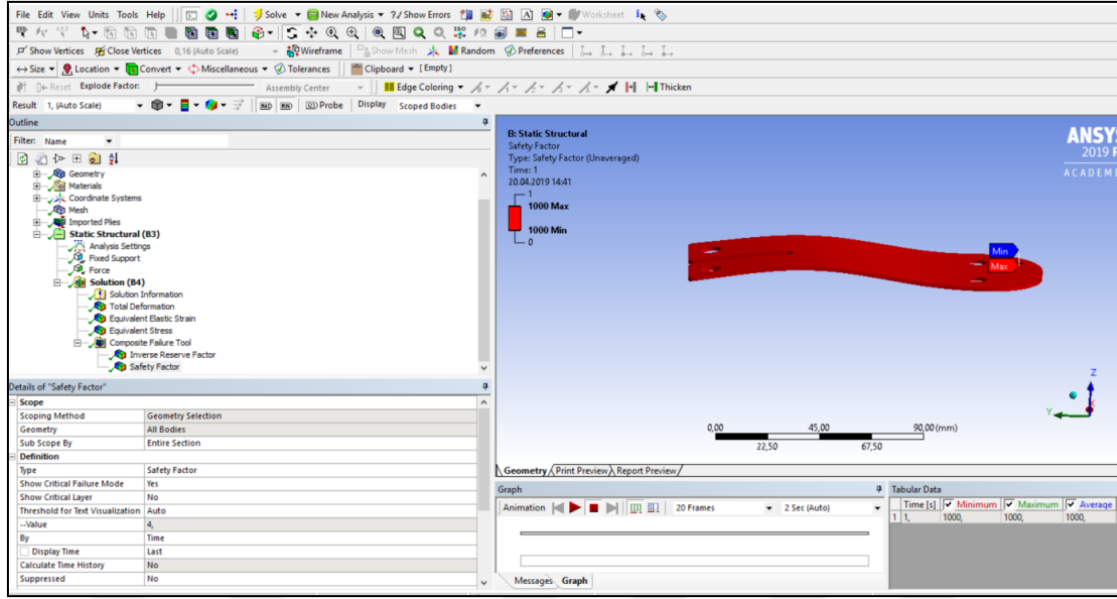


Resim 4.26. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

Bu sonuç türü, başarısızlık marjının bir göstergesidir. Diğer bir deyişle, güvenlik faktörü ile çarpılan uygulanan yük arıza yükünü belirler. Arıza, 1'den daha az bir güvenlik faktörü olduğunda yaşanır. Birden fazla olan güvenlik faktörü değerleri, başarısızlığa karşı pozitif bir marjı ve birden düşük olan değerler negatif bir marjı gösterir. Güvenlik faktörü değerleri daima sıfırdan büyüktür [24].

Parçanın alt yüzeyini sabitleyip üst yüzeyden 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki safety factor maksimum ve minimum 1000 çıkmaktadır. Topuk parçası uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.27'de gösterilmektedir.



Resim 4.27. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki S.F.

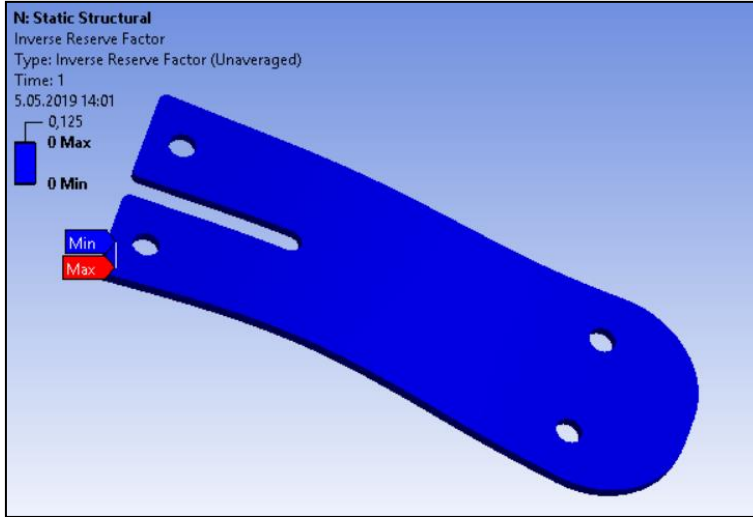
Inverse reserve factor

Bu sonuç türü, güvenlik faktörü için ters bir kenardır. Arıza yükü, IRF'ye bölünen yük değeri olarak tanımlanabilir. Arıza, 1'den büyük bir ters rezerv faktörü olduğunda yaşanır.

$$IRF = 1/SF$$

Rezerv faktörlerinin kritik değerleri sıfır ile bir arasındadır, kritik olmayan değerler ise birden sonsuza kadardır. Sonuçların sayısal biçimde mi yoksa kontur grafiği olarak gösterilip gösterilmediğine bakıldığında, kritik olmayan değerler kritik değerlerle karşılaştırıldığında vurgulanma eğilimindedir [24].

Parçanın alt yüzeyini sabitleyip üst yüzeyden 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki IRF maksimum ve minimum 0 çıkmaktadır. IRF 1 den küçük olduğu için topuk parçası uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.28'de gösterilmektedir.

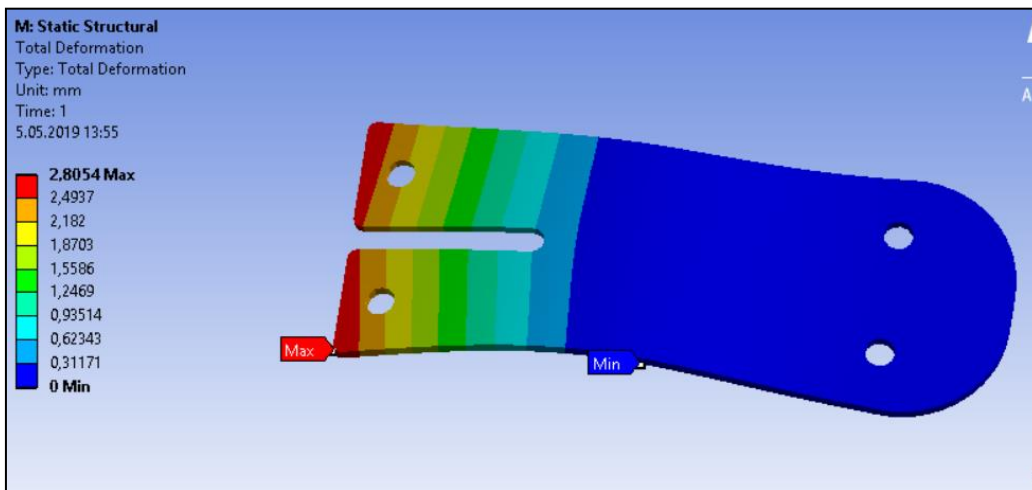


Resim 4.28. Topuk modelinde 1. yükleme durumundaki I.R.F.

İkinci uygulanan yük ve sabitleme yerinin sonuçları aşağıda anlatılmaktadır.

Total deformation (Toplam deformasyon)

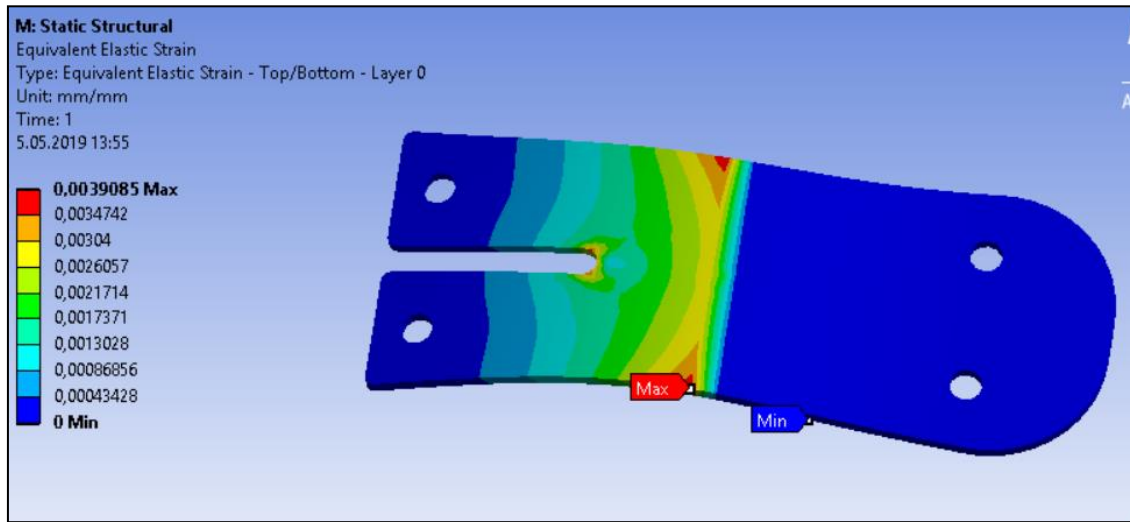
Parçadaki maksimum toplam deformasyon 2.8054 mm minimum toplam deformasyon ise 0 mm çıkmaktadır. Parçanın uç kısmındaki maksimum 2.8054 mm deformasyon büyük olmadığı için parça uygulanan yüke dayanıklıdır. Parçadaki toplam deformasyon resim 4.29'da gösterilmektedir.



Resim 4.29. Topuk modelinde 2. yükleme durumundaki T.D

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

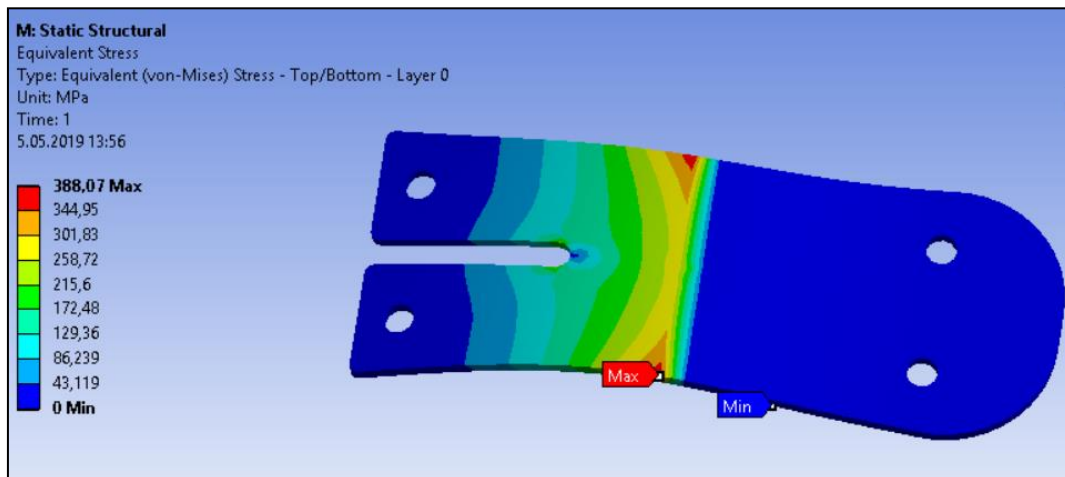
Parçadaki maksimum elastik şekil değiştirme 0.0039085 mm/mm minimum elastik şekil değiştirme 0 mm çıkmaktadır. Parçanın bükümlü kısmında çıkan 0.0039085 mm/mm elastik şekil değiştirme değeri küçük olduğu için topuk parçası uygulanan yüke dayanıklıdır. Parçadaki elastik şekil değiştirme resim 4.30'da gösterilmektedir.



Resim 4.30. Topuk modelinde 2. yükleme durumundaki E.E.S

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

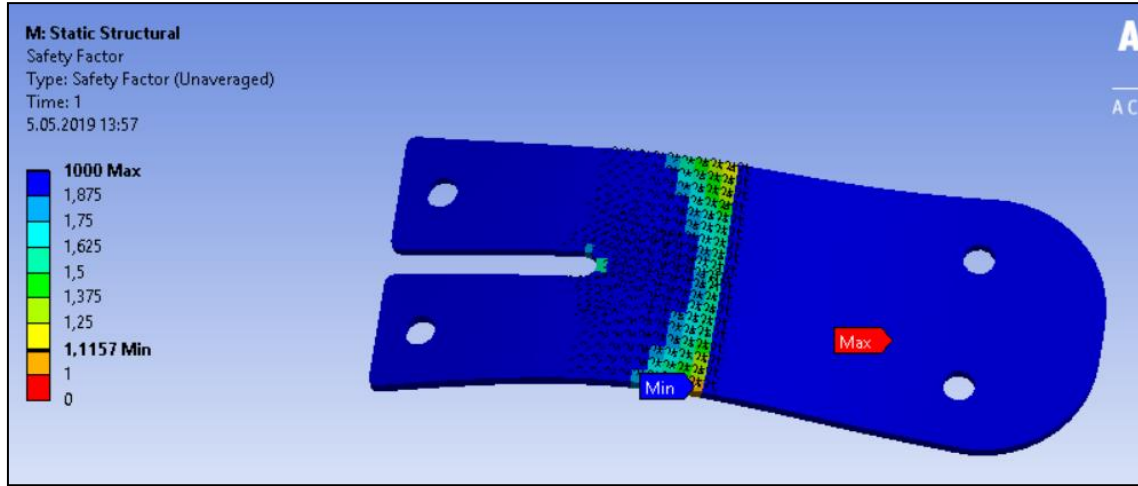
Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme 388.07 MPa minimum eş değer gerilme ise 0 MPa çıkmaktadır. Parçadaki eşdeğer gerilme resim 4.31'de gösterilmektedir.



Resim 4.31. Topuk Modelinde 2. yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

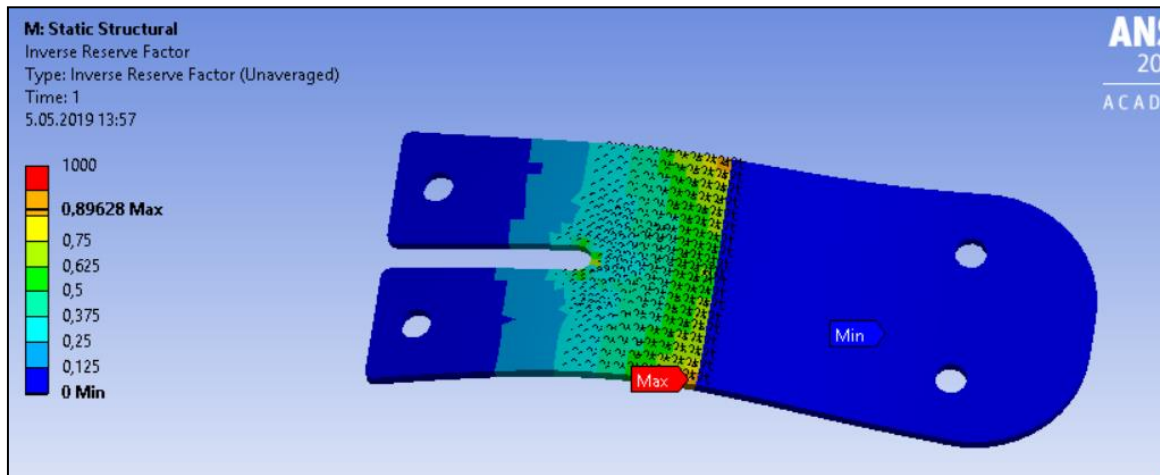
Parçadaki safety factor maksimum 1000 minimum ise 1.1157 çıkmaktadır. Safety factor 1 den büyük olduğu içi topuk parçası uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.32’de gösterilmektedir.



Resim 4.32. Topuk modelinde 2. yükleme durumundaki S.F.

Inverse reserve factor

Parçadaki inverse reserve factor maksimum 0.89628 minimum ise 0 çıkmaktadır. Inverse reserve factor 1 den küçük olduğu içi topuk parçası uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.33’te gösterilmektedir.



Resim 4.33. Topuk modelinde 2. yükleme durumundaki I.R.F

Çizelge 4.1. Topuk modelinin mesh ve yükleme durumlarına göre analiz sonuçları

MESH	1.YÜKLEME DURUMU									
	T.D.(mm)		E.E.S.(mm/mm)		E.S.(MPa)		S.F.		I.R.F.	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
3 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
5 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
7 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
10 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
MESH	2.YÜKLEME DURUMU									
	T.D.		E.S.S.		E.S.		S.F.		I.R.F.	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1 mm	3,1028	0	0,0043486	0	396,25	0	1000	1,0954	0,95413	0
3 mm	2,8054	0	0,0039085	0	388,07	0	1000	1,1157	0,89628	0
5 mm	2,737	0	0,0036932	0	346,25	0	1000	1,2306	0,81258	0
7 mm	1,9452	0	0,0031377	0	284,13	0	1000	1,3927	0,71805	0
10 mm	1,1822	0	0,0027596	0	221,86	0	1000	1,5738	0,63542	0

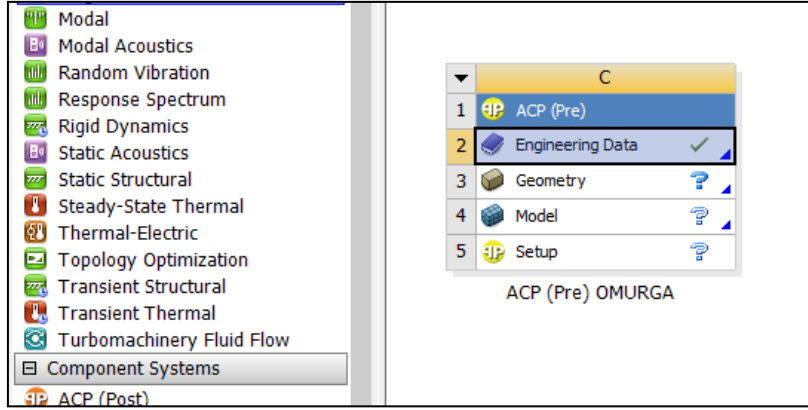
X: Maksimum Değer

Y: Minimum Değer

4.2. Omurga Parçasının Analizi

4.2.1. ACP (Pre)

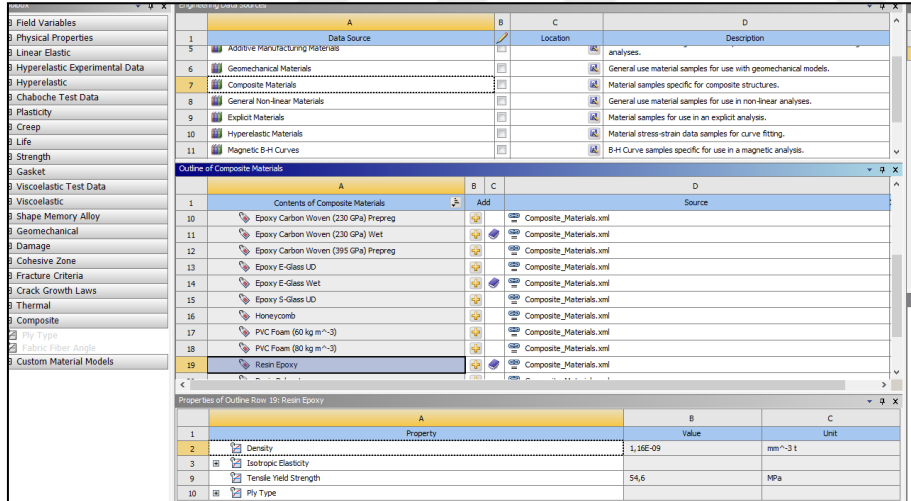
ACP (Pre) modülünde kompozit tanımlamasının yapılacağı kısımlar resim 4.34'te gösterildiği gibi detaylı açıklanmaktadır.



Resim 4.34. Omurga modelinde ACP (Pre) modülü

Engineering data

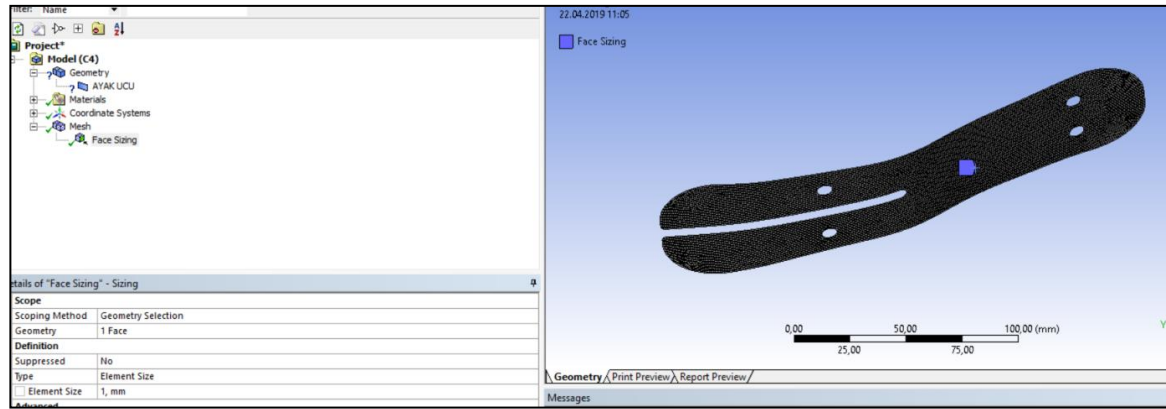
Kompozit malzeme olarak belirlenen karbon fiber malzeme olarak Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg ve Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg seçilmiştir. Ayrıca serim işleminde kullanılacak resin epoxy malzeme de seçilmiştir. Resim 4.35'te seçilen malzemeler gösterilmektedir.



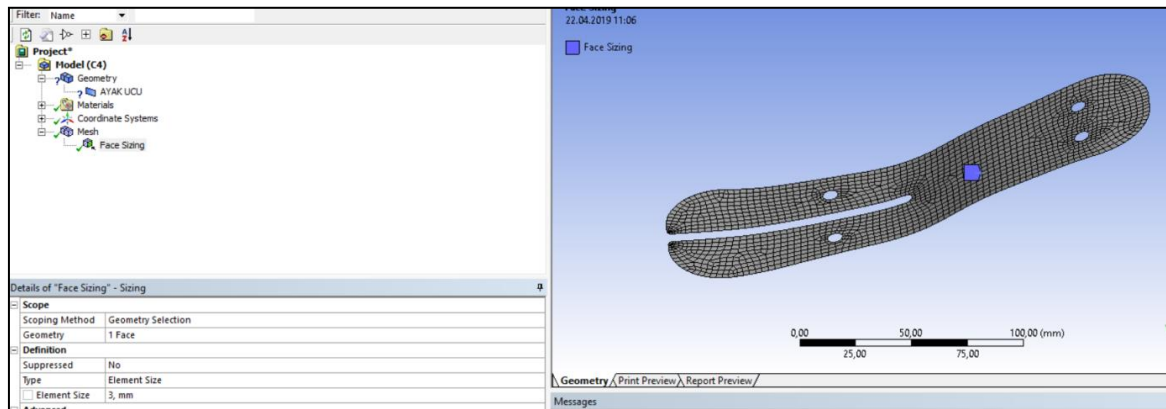
Resim 4.35. Omurga modelinde malzeme seçimi

Geometry

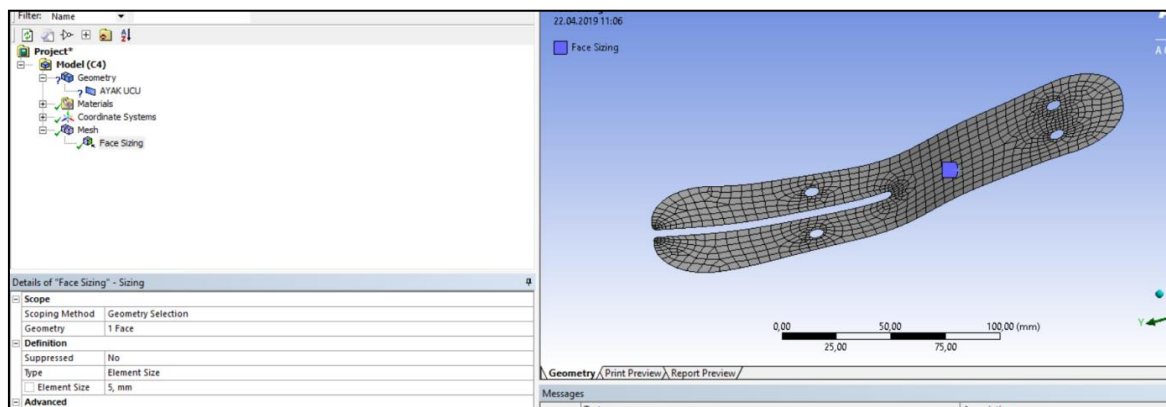
Kompozit malzemeler seçildikten sonra geometry bölümünde Catia V5 programında çizilen omurga parçasının step datası çağırılmaktadır. Resim 4.36'da çağırılan step datası gösterilmektedir.



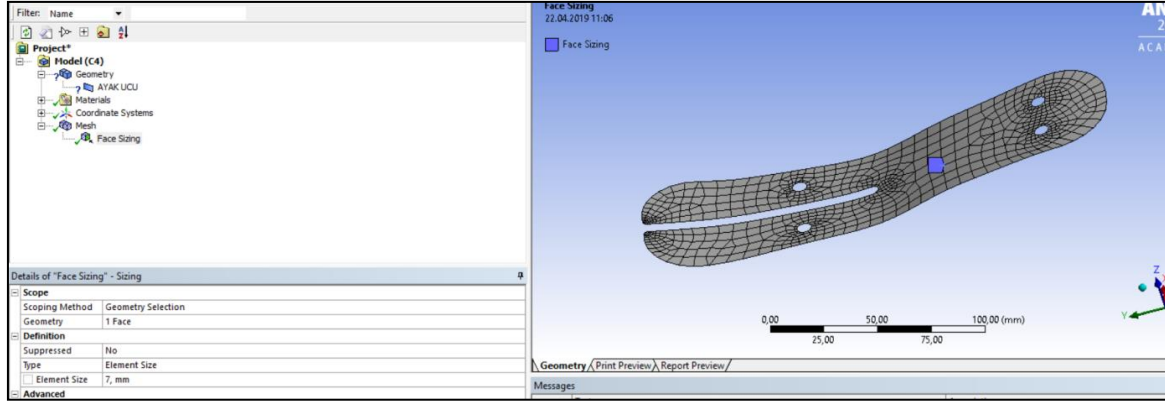
Resim 4.38. 1 mm mesh atılmış omurga modeli



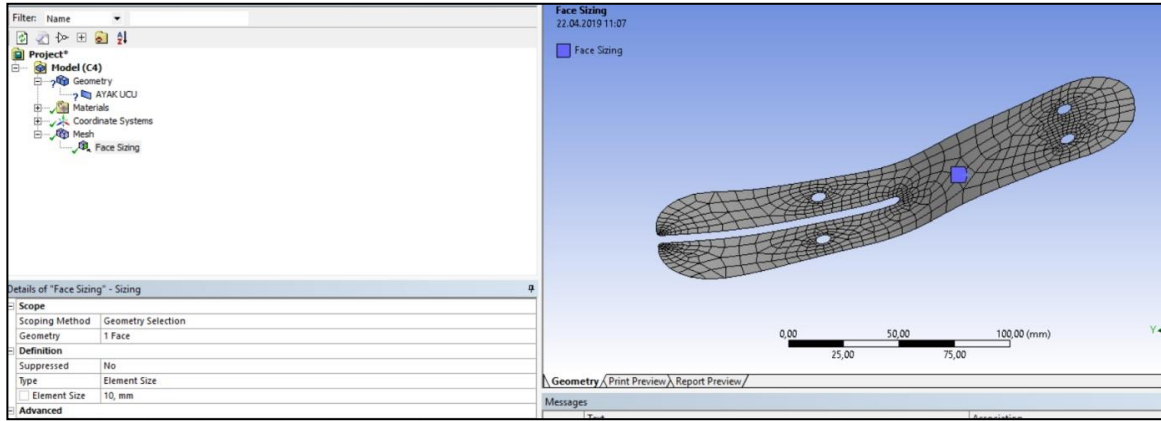
Resim 4.39. 3 mm mesh atılmış omurga modeli



Resim 4.40. 5 mm mesh atılmış omurga modeli



Resim 4.41. 7 mm mesh atılmış omurga modeli

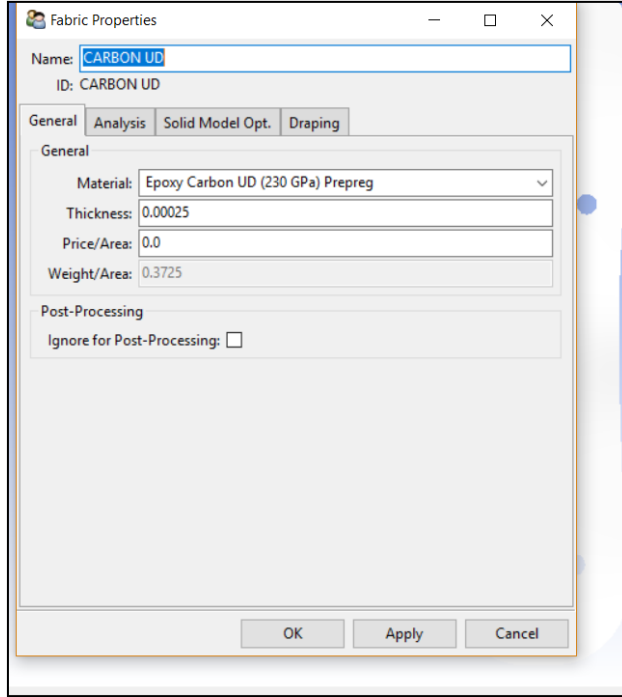


Resim 4.42. 10 mm mesh atılmış omurga modeli

Setup

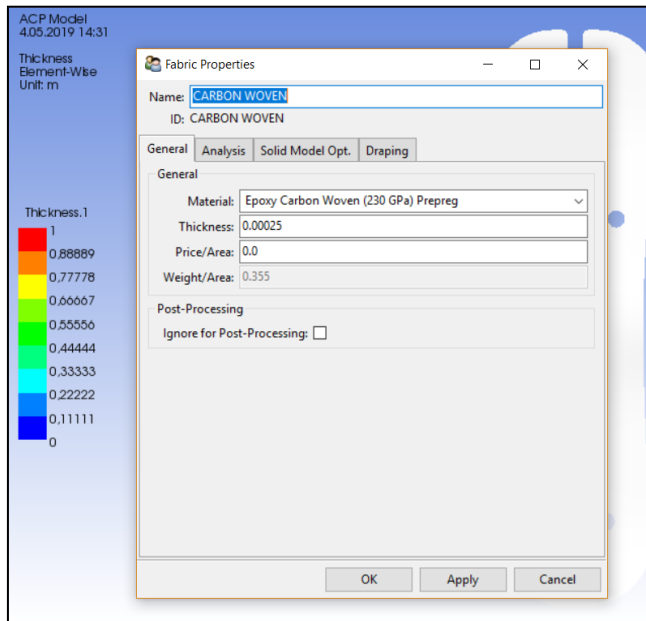
Setup kısmında topuk parçasına serilecek kompozit malzemelerin sırası, yönü ve kaç katman malzeme serileceği belirlenmektedir. 3 mm mesh atılan model baz alınarak katman oluşturulmuştur ve buna göre yükleme yapılmıştır.

İlk önce “fabric” kısmında serilecek malzemeyi ve kalınlığını belirlemek gerekmektedir. Resim 4.43’te gösterildiği gibi Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme seçilmiştir ve kalınlığı da 0.25 mm dir.



Resim 4.43. Omurga modelinde epoxy carbon ud prepreg malzeme seçimi

Diğer kullanılacak malzeme olan Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg seçilmiştir ve 0.25 mm olan malzeme kalınlığı 0.00025 m olarak girilmiştir ve resim 4.44'te gösterilmektedir.



Resim 4.44. Omurga modelinde epoxy carbon woven prepreg malzeme seçimi

“Sublamine” kısmında kaç katman serileceği ve katman açıları belirlenmektedir. Omurga parçasında üst ve alt kata 3 er kat Epoxy Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme orta kısma ise 9 kat Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg malzeme olarak toplamda 15 kat kompozit malzeme serilmiştir. Resim 4.45’te serilen malzemeler ve açıları gösterilmektedir.

Fabric	Ang
CARBON UD	90.0
CARBON UD	0.0
CARBON UD	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON WOVEN	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON WOVEN	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON WOVEN	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON WOVEN	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON UD	90.0
CARBON UD	0.0
CARBON UD	90.0

Sub Lamine Properties

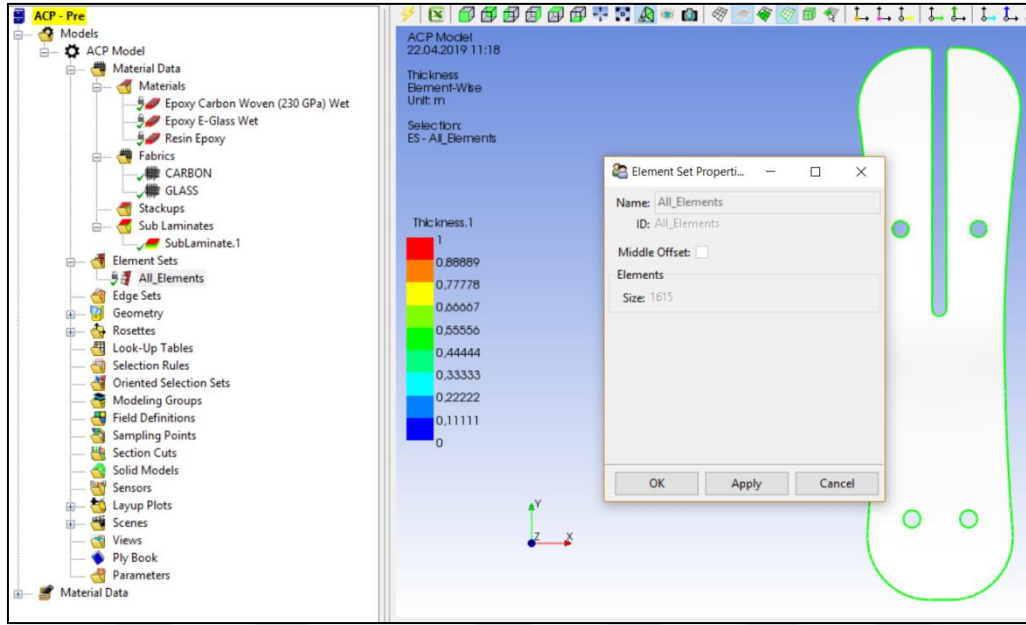
Thickness: 0.00375

Price/Area: 0.0

Weight/Area: 5.43

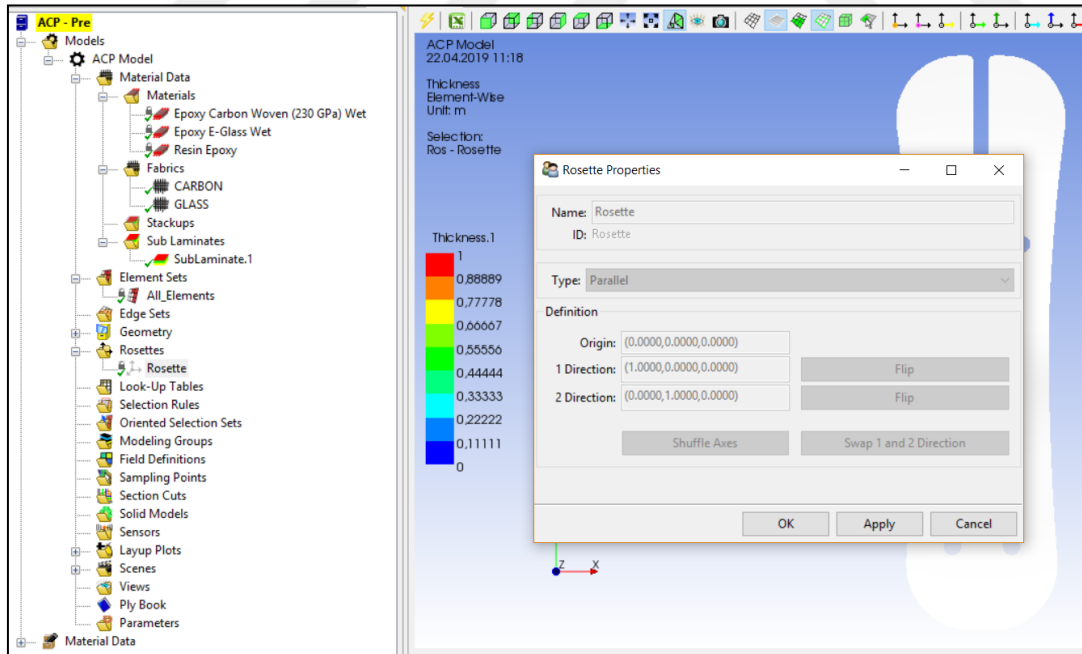
Resim 4.45. Omurga modelinde sublamine komutunda katman oluşturma

“Element sets” kısmında elementler otomatik olarak belirlenmiştir ve resim 4.46’da gösterilmektedir.



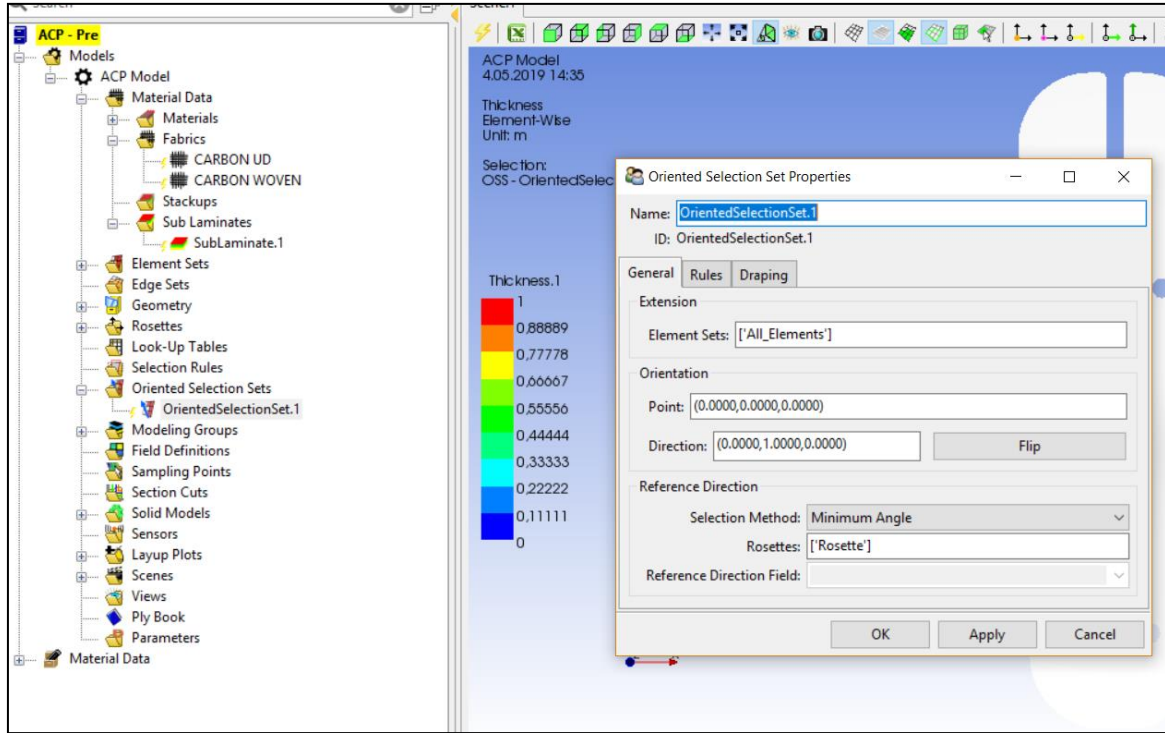
Resim 4.46. Omurga modelinde element sets bölümü

“Rosettes” kısmında da rozet yönleri otomatik olarak belirlenmiştir ve resim 4.47’de gösterilmektedir.



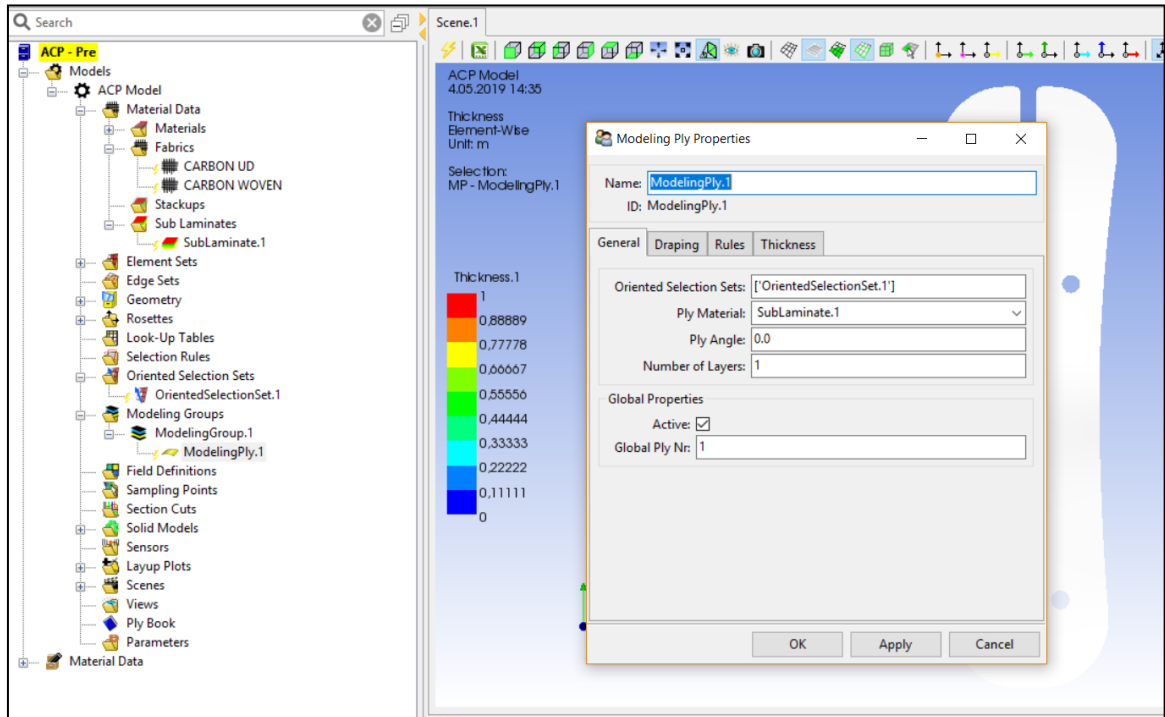
Resim 4.47. Omurga modelinde rosettes bölümü

“OrientedSelectionSet” kısmında resim 4.48’de gösterildiği gibi +y olarak seçilmiştir.

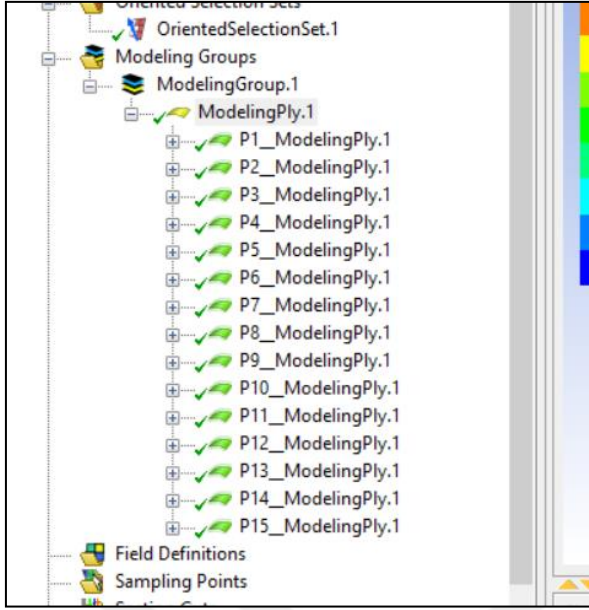


Resim 4.48. Omurga modelinde orientedselectionset bölümü

“ModelingGroup” kısmında “Sublaminat” kısmında oluşturulan katmanlar tanımlanmıştır ve resim 4.49 ve 4.50’de gösterilmektedir.

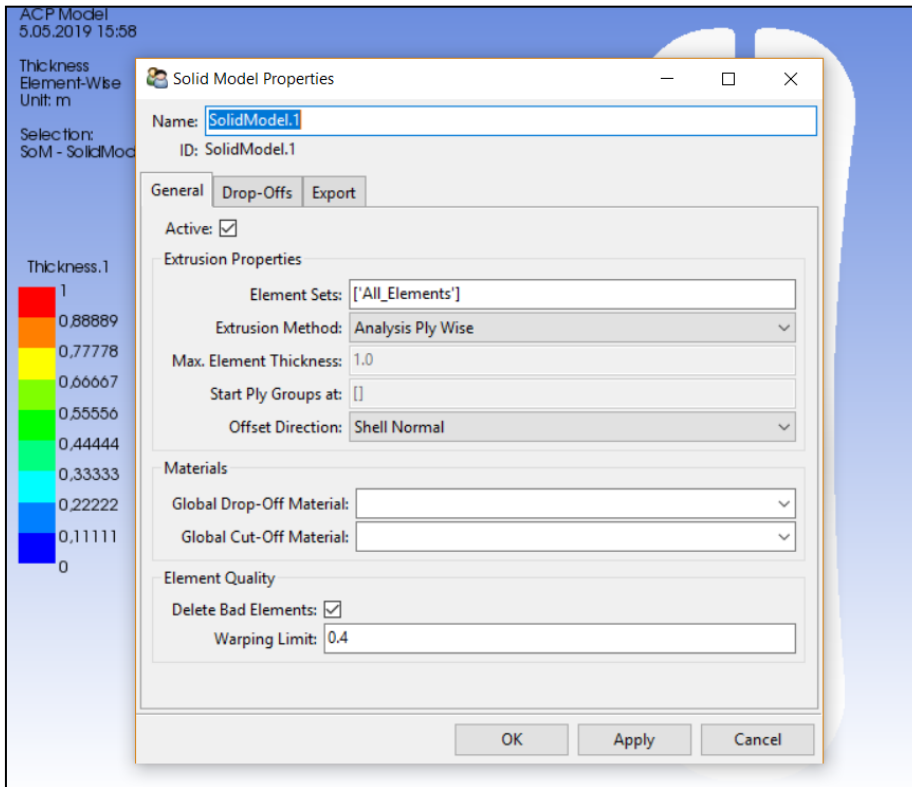


Resim 4.49. Omurga modelinde modelinggroup bölümü



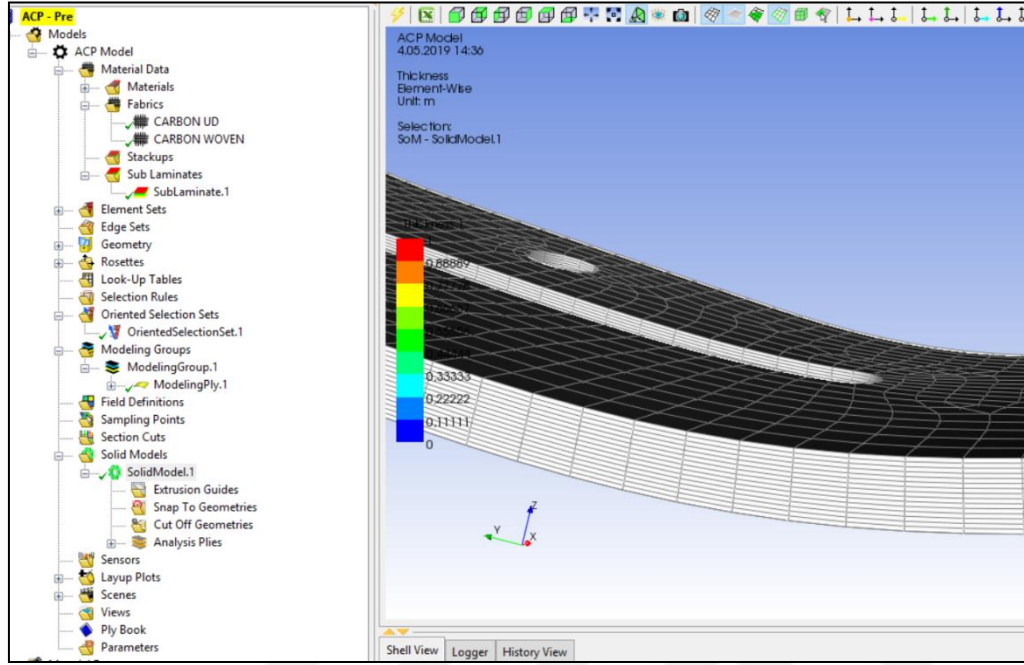
Resim 4.50. Omurga modelinde modelingply bölümü

“Solid Models” kısmında ise yukarıda tanımlanan kısımların sonucunda en sonra olarak katmanlı yapı ortaya çıkacaktır. Resim 4.51’de solid model kısmında yapılan işlemler gösterilmektedir.

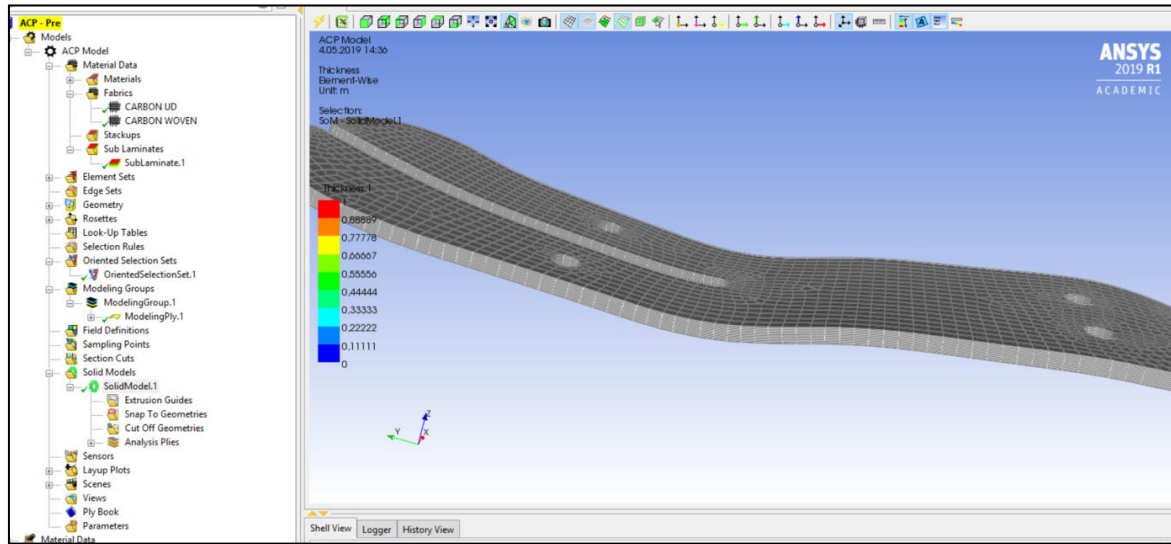


Resim 4.51. Omurga modelinde solid models bölümü

Solid model güncellendikten resim 4.52 ve 4.53'te gösterilen 15 katlı omurga ayak modeli gösterilmektedir.



Resim 4.52. 15 katlı omurga modelinin yakından gösterimi



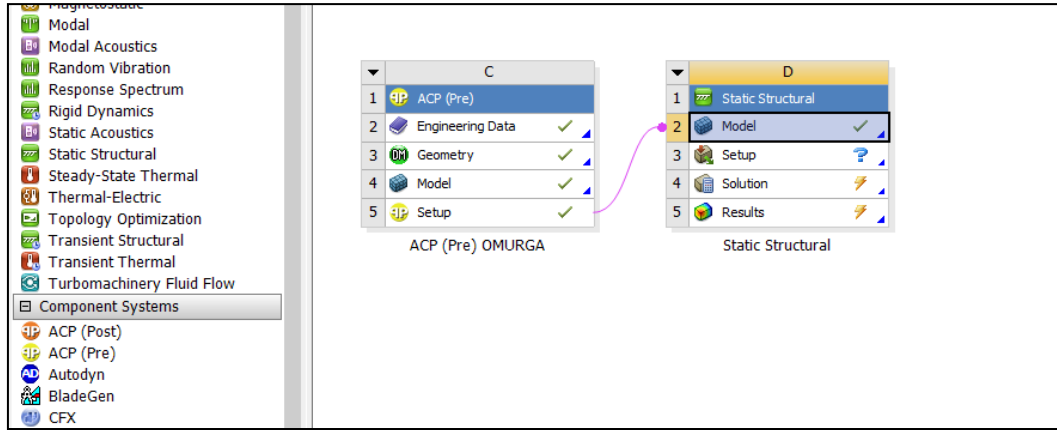
Resim 4.53. 15 katlı omurga modelinin uzaktan gösterimi

ACP (Pre) modülü ile kompozit katman yapısı oluşturulduktan sonra ana menü de static structural analiz modülü seçilmiştir ve static structural modülündeki bölümler aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

4.2.2. Static structural

Model

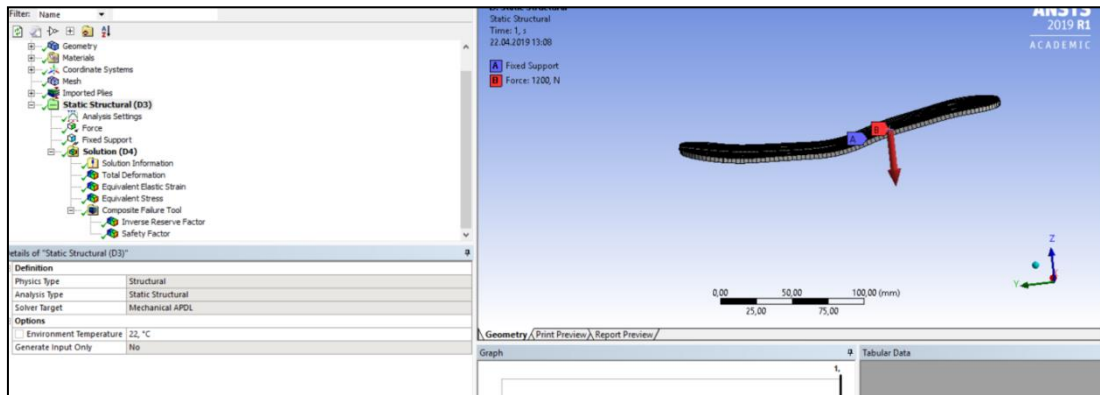
ACP (Pre) modülündeki setup kısmı static structural modülündeki model kısmına aktarılmaktadır ve resim 4.54'te gösterilmektedir.



Resim 4.54. Omurga modelinde static structural modülü

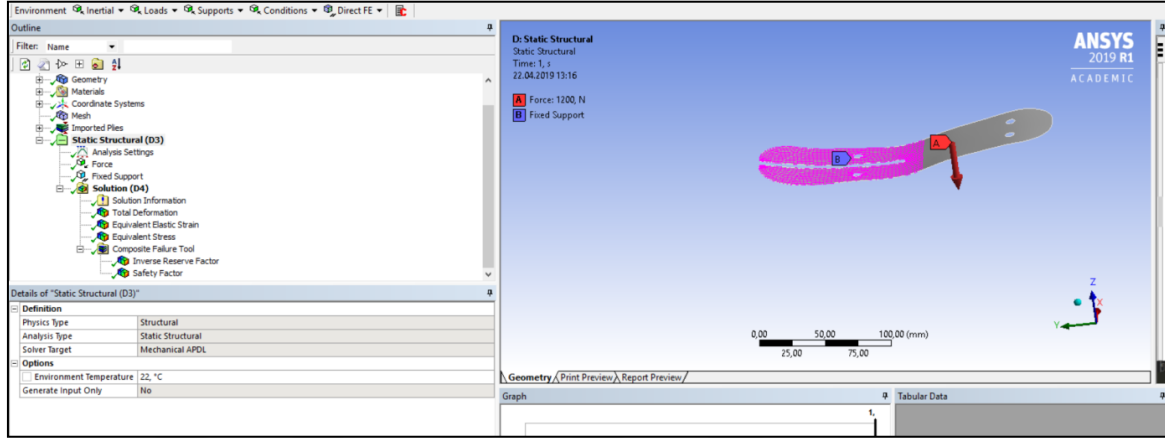
Setup

İki ayrı kuvvet yeri ve sabitleme yeri uygulanmıştır. İlk olarak omurga parçasının alt yüzeyi sabit tutulup üst kısımdan 1200 N luk kuvvet uygulanmıştır ve resim 4.55'te gösterilmektedir.



Resim 4.55. Omurga modelinde 1. yükleme durumu

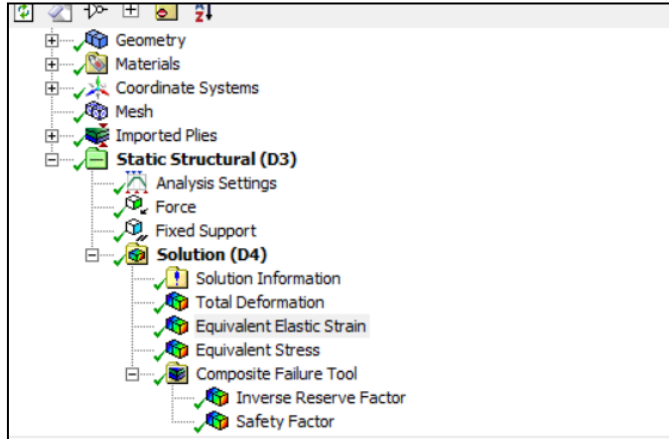
İkinci yükleme durumu ise sabitleme yeri olarak omurganın uç kısmının yere değdiği yerler seçilmiştir. Kuvvet de 1200 N olarak üst kısımdan uygulanmıştır ve resim 4.56'da gösterilmektedir.



Resim 4.56. Omurga modelinde 2. yükleme durumu

Solution

Solution bölümünde değerlendireceğimiz faktörler resim 4.57'de gösterilmektedir.

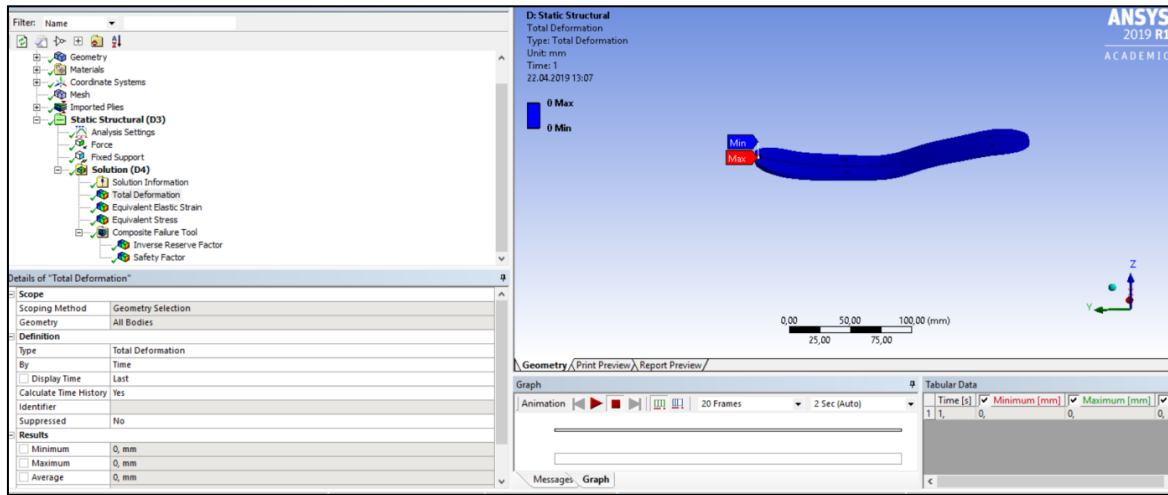


Resim 4.57. Omurga modelinde solution kısmında değerlendirilecek faktörler

İlk olarak topuk parçasının alt yüzeyi sabit tutulup üst kısımdan 1200 N luk uygulanan kuvvete göre çıkan analiz sonuçları ve değerlendirmeler aşağıda anlatılmaktadır.

Total deformation (Toplam deformasyon)

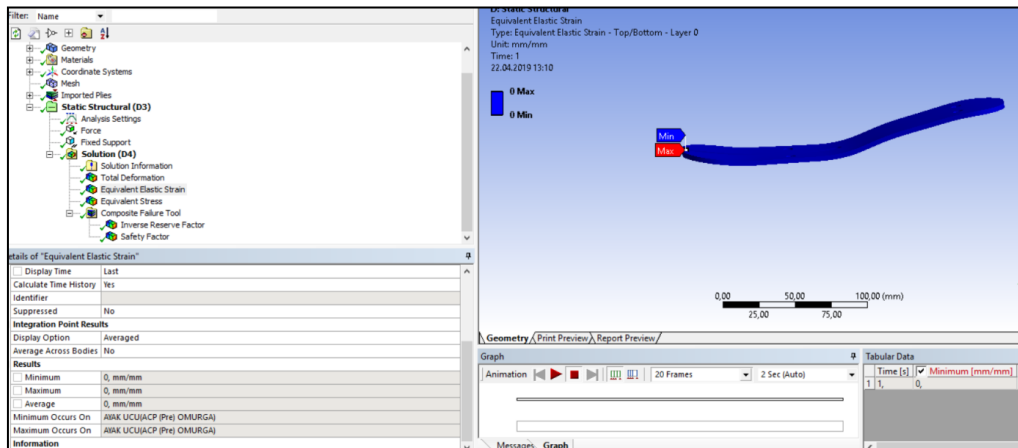
Parçanın alt yüzeyini sabitleyip üst yüzeyden 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum ve minimum toplam deformasyon 0 mm çıkmaktadır. Parçada her hangi bir deformasyon gözükmemektedir. Parçadaki toplam deformasyon resim 4.58'de gösterilmektedir.



Resim 4.58. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

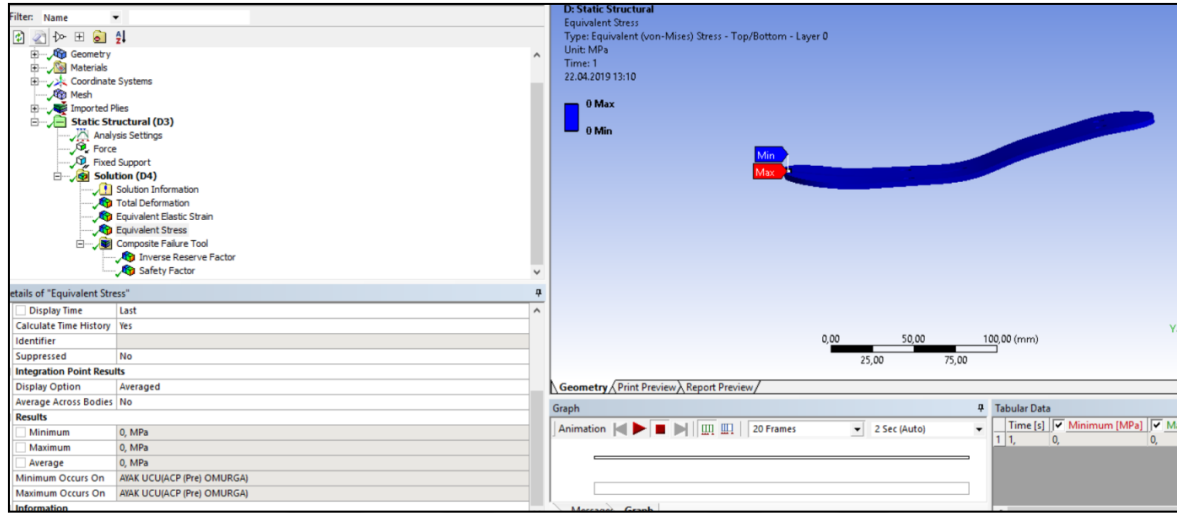
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum ve minimum elastik şekil değiştirme 0 mm/mm çıkmaktadır. Parçadaki elastik şekil değiştirme resim 4.59'da gösterilmektedir.



Resim 4.59. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki E.E.S.

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

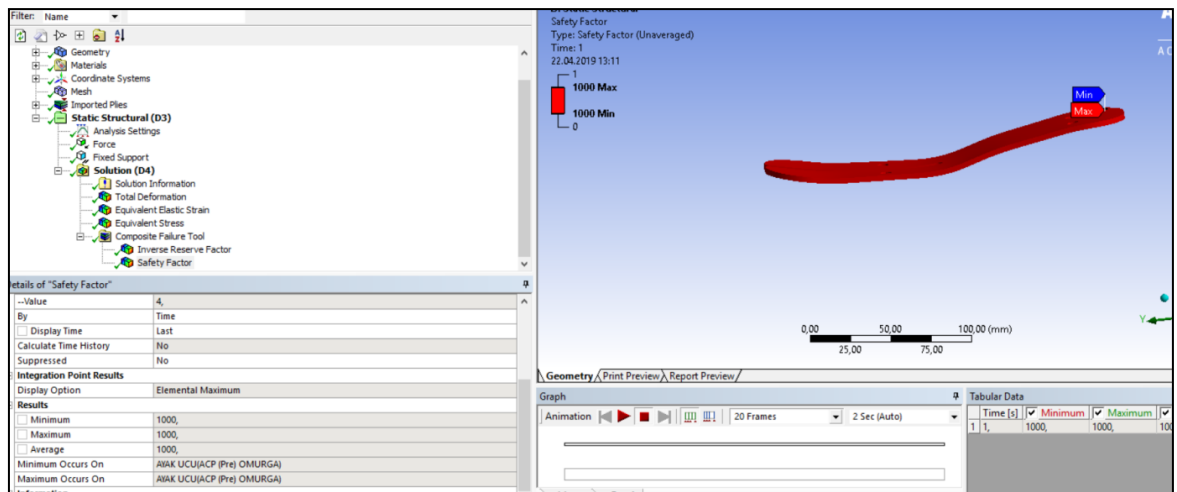
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum ve minimum eşdeğer gerilme 0 MPa çıkmaktadır. Parçadaki eşdeğer gerilme resim 4.60'da gösterilmektedir.



Resim 4.60. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

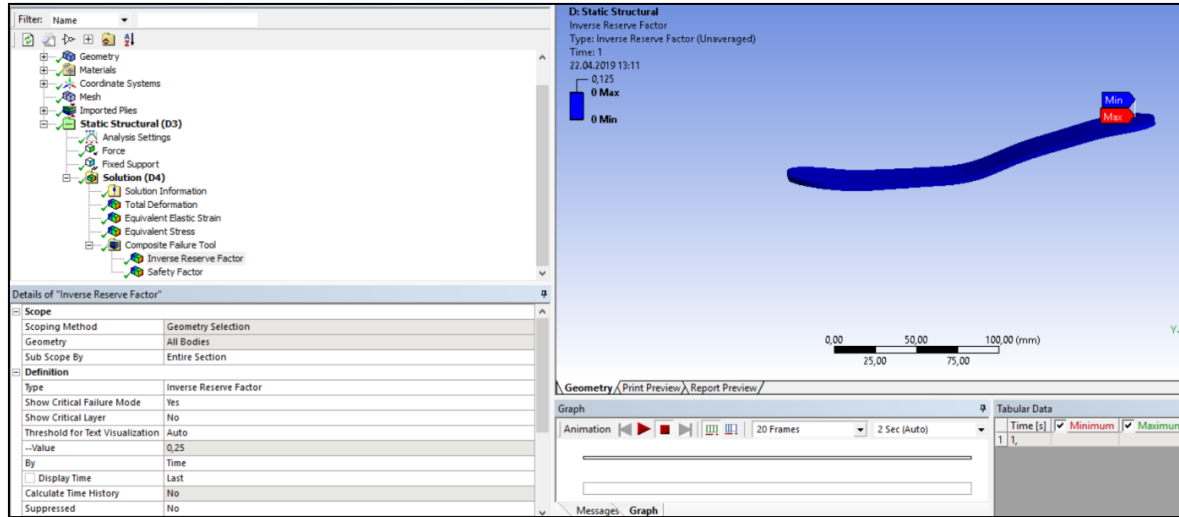
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki safety factor maksimum ve minimum 1000 çıkmaktadır. Omurga parçası uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.61'de gösterilmektedir.



Resim 4.61. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki S.F.

Inverse reserve factor

Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki inverse reserve factor maksimum ve minimum 0 çıkmaktadır ve resim 4.62’de gösterilmektedir.

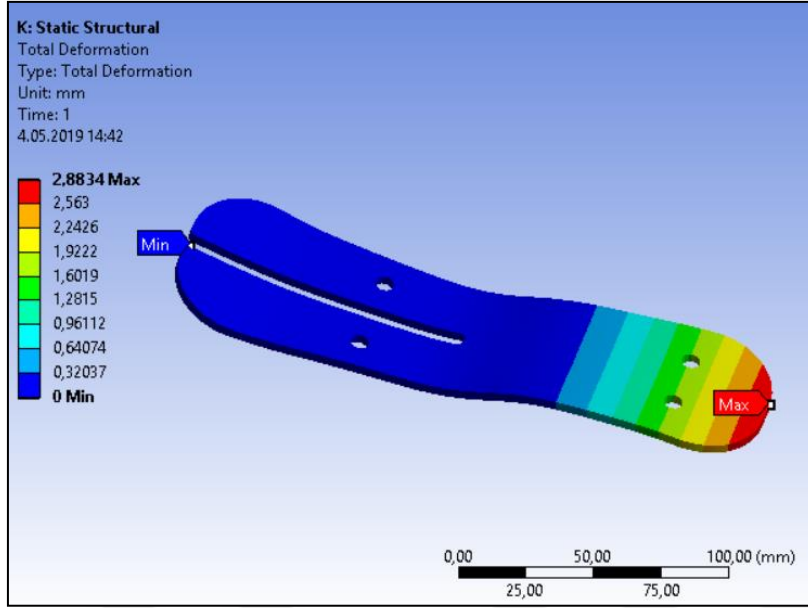


Resim 4.62. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki I.R.F.

İkinci uygulanan yük ve sabitleme yerinin sonuçları aşağıda anlatılmaktadır.

Total deformation (Toplam deformasyon)

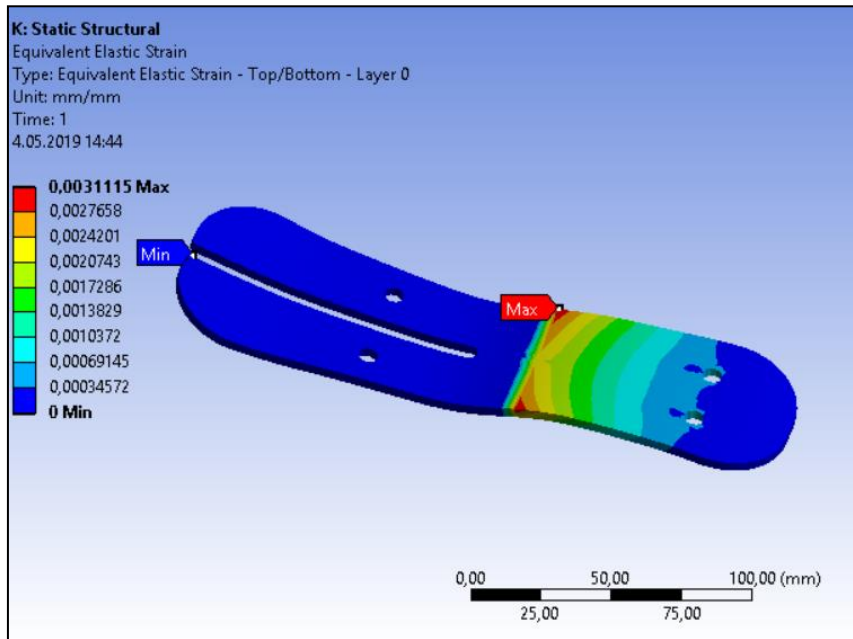
Parçadaki maksimum toplam deformasyon 2.8834 mm minimum toplam deformasyon ise 0 mm çıkmaktadır. Parçanın topuk kısmında oluşan maksimum 2.8834 mm deformasyon büyük olmadığı için parça uygulanan yüke dayanıklıdır. Parçadaki toplam deformasyon resim 4.63’te gösterilmektedir.



Resim 4.63. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

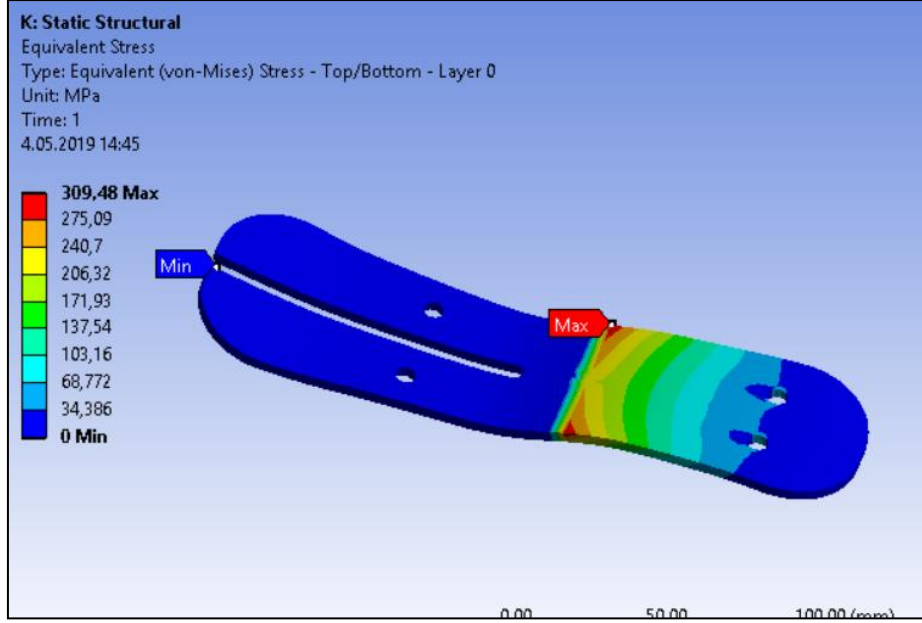
Parçadaki maksimum elastik şekil değiştirme 0.0031115 mm/mm minimum elastik şekil değiştirme 0 mm çıkmaktadır. Parçanın bükümlü kısmında çıkan 0.0031115 mm/mm elastik şekil değiştirme değeri küçük olduğu için omurga parçası uygulanan yüke dayanıklıdır. Parçadaki elastik şekil değiştirme resim 4.64'te gösterilmektedir.



Resim 4.64. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki E.E.S

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

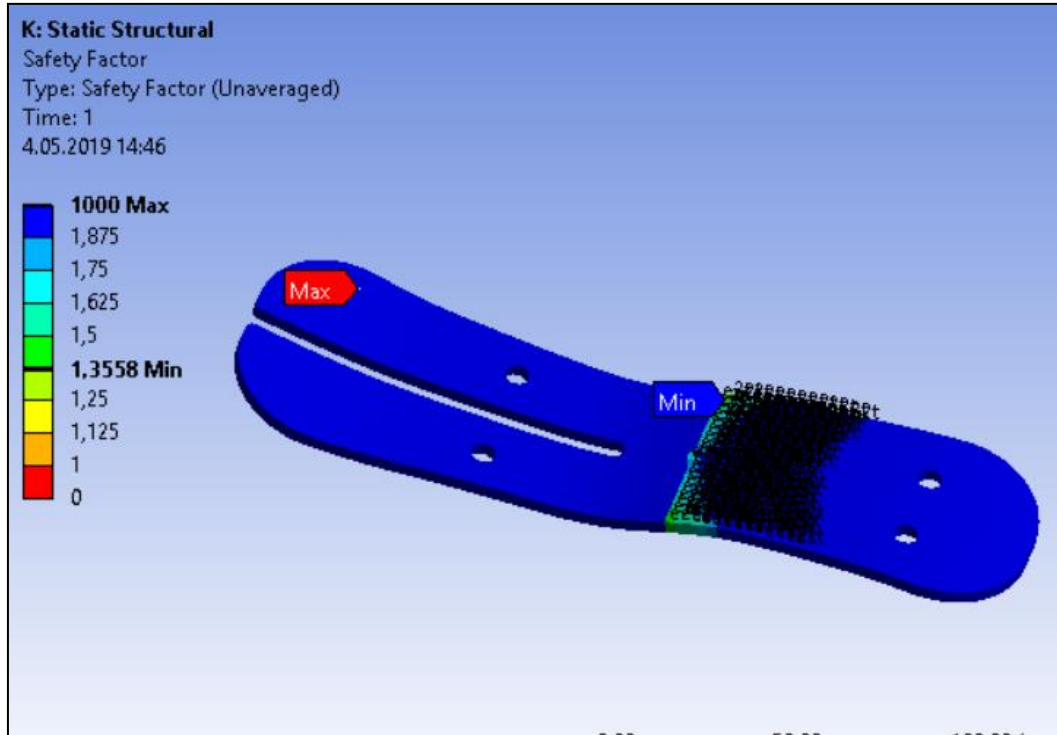
Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme 309.48 MPa minimum eşdeğer gerilme ise 0 MPa çıkmaktadır. Maksimum gerilme değeri büyük olmadığı için parça uygulanan yüke dayanıklıdır. Parçadaki eşdeğer gerilme resim 4.65'te gösterilmektedir.



Resim 4.65. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

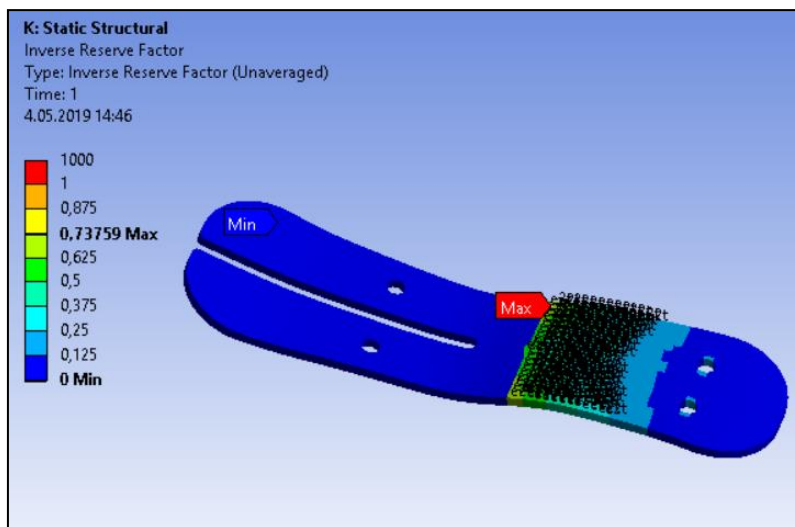
Parçadaki safety factor maksimum 1000 minimum ise 1.3558 çıkmaktadır. Safety factor 1 den büyük olduğu içi omurga parçası uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.66'da gösterilmektedir.



Resim 4.66. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki S.F.

Inverse reverse factor

Parçadaki inverse reverse factor maksimum 0.73759 minimum ise 0 çıkmaktadır. Inverse reverse factor 1 den küçük olduğu içi omurga parçası uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.67’de gösterilmektedir.



Resim 4.67. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki I.R.F

Çizelge 4.2. Omurganın meshlere ve yükleme durumlarına göre analiz sonuçları

MESH	1.YÜKLEME DURUMU									
	T.D.(mm)		E.E.S.(mm/mm)		E.S.(MPa)		S.F.		I.R.F.	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
3 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
5 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
7 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
10 mm	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
MESH	2.YÜKLEME DURUMU									
	T.D.		E.S.S.		E.S.		S.F.		I.R.F.	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1 mm	2,9587	0	0,0040187	0	320,50	0	1000	1,3025	0,78642	0
3 mm	2,8834	0	0,0031115	0	309,48	0	1000	1,3558	0,73759	0
5 mm	2,7083	0	0,0027978	0	278,39	0	1000	1,4749	0,67801	0
7 mm	2,0977	0	0,0024702	0	245,21	0	1000	1,5776	0,63386	0
10 mm	1,3398	0	0,0019432	0	189,48	0	1000	1,7033	0,58709	0

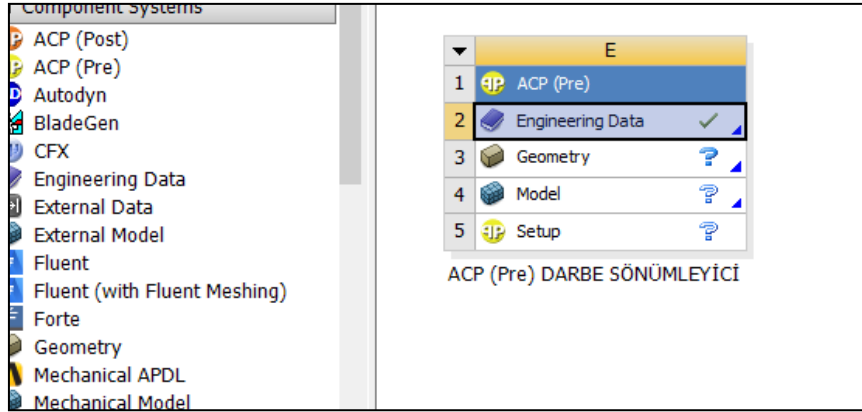
X: Maksimum Değer

Y: Minimum Değer

4.3. Darbe Sönümleyici Parçasının Analizi

4.3.1. ACP (Pre)

ACP (Pre) modülünde kompozit tanımlamasının yapılacağı kısımlar resim 4.68’de gösterildiği gibi detaylı açıklanmaktadır.



Resim 4.68. Darbe sönümleyici modelinde ACP (Pre) modülü

Engineering data

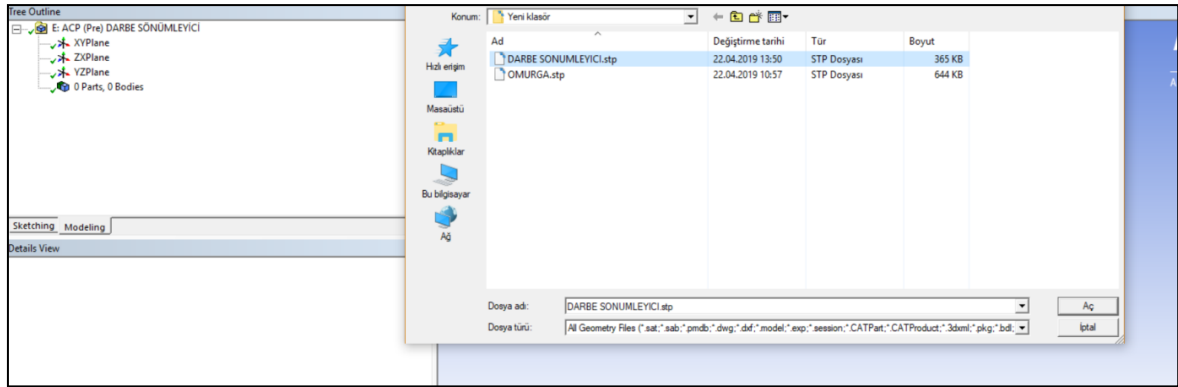
Kompozit malzeme olarak belirlenen karbon fiber malzeme olarak Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg ve Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg seçilmiştir. Ayrıca serim işleminde kullanılacak resin epoxy malzeme de seçilmiştir. Resim 4.69’da seçilen malzemeler gösterilmektedir.

	A	B	C	
1	Data Source		Location	
2	★ Favorites			Quick access list and default
3	Granta Design Sample Materials			More than 100 sample data polymers, metals, ceramics
4	General Materials			General use material samples
Outline of Composite Materials				
	A	B	C	D
1	Contents of Composite Materials	Add		Source
6	E-Glass		Composite_Materials.xml	
7	Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg		Composite_Materials.xml	
8	Epoxy Carbon UD (230 GPa) Wet		Composite_Materials.xml	
9	Epoxy Carbon UD (395 GPa) Prepreg		Composite_Materials.xml	
10	Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg		Composite_Materials.xml	
11	Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Wet		Composite_Materials.xml	
12	Epoxy Carbon Woven (395 GPa) Prepreg		Composite_Materials.xml	
13	Epoxy E-Glass UD		Composite_Materials.xml	
14	Epoxy E-Glass Wet		Composite_Materials.xml	
15	Epoxy S-Glass UD		Composite_Materials.xml	
16	Honeycomb		Composite_Materials.xml	
17	PVC Foam (60 kg m ⁻³)		Composite_Materials.xml	
18	PVC Foam (80 kg m ⁻³)		Composite_Materials.xml	
19	Resin Epoxy		Composite_Materials.xml	

Resim 4.69. Darbe sönümleyici modelinde malzeme seçimi

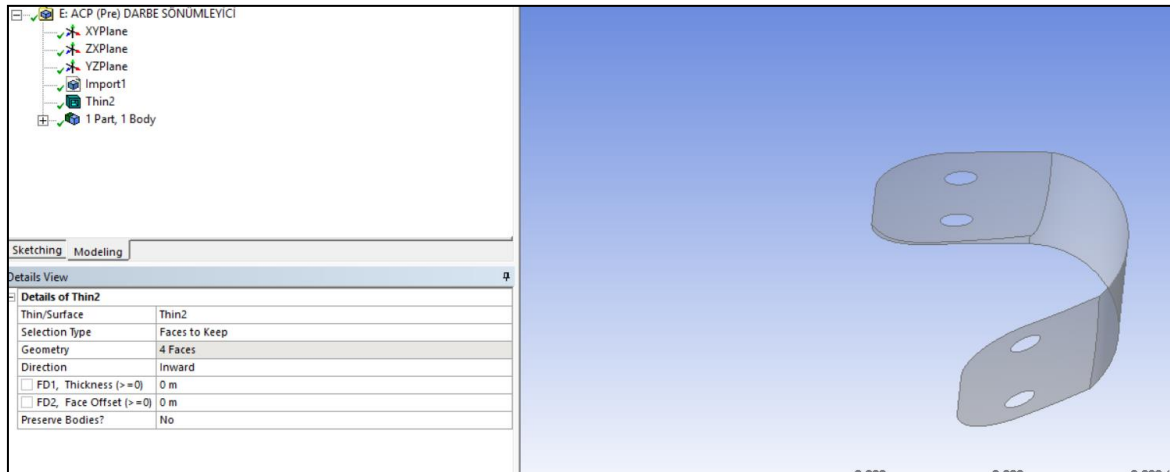
Geometry

Kompozit malzemeler seçildikten sonra geometry bölümünde Catia V5 programında çizilen darbe sönümleyici parçasının stp datası çağırılmaktadır. Resim 4.70’de çağırılan step datası gösterilmektedir.



Resim 4.70. Geometry bölümünde darbe sönümleyici step datasını çağırma

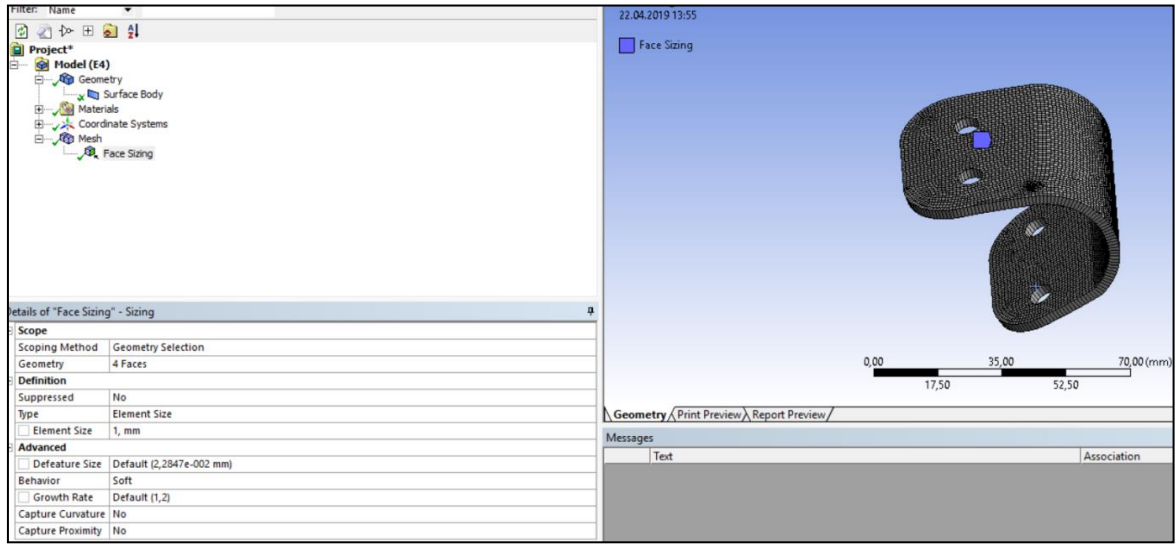
Darbe sönümleyici parçasında istenilen yüzey seçilip kalınlık belirlenmektedir. Bu bölümde “thin surface” tanımlanmaktadır ve kalınlığı “0” seçilmelidir. 4 yüzey tanımlanmıştır ve resim 4.71’de gösterilmektedir.



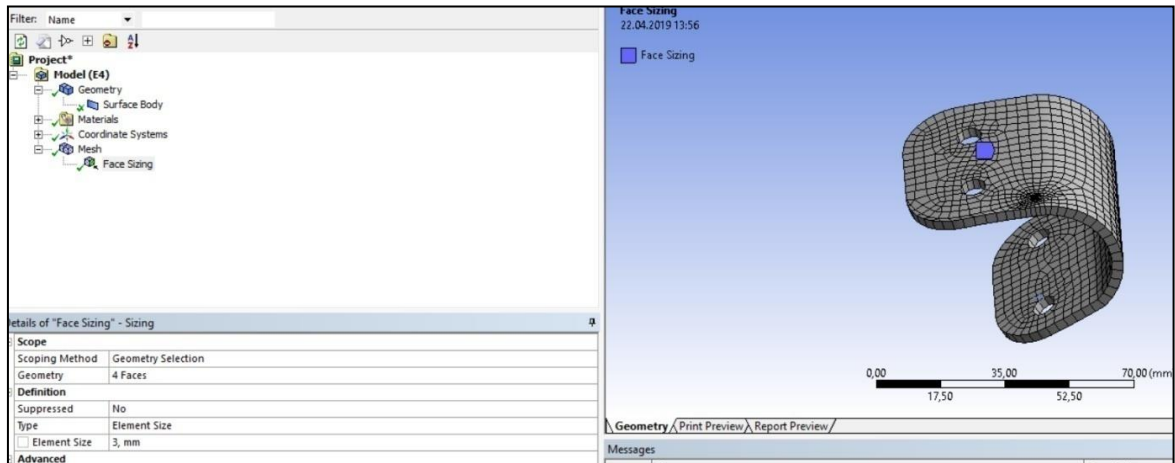
Resim 4.71. Thin surface komutundaki darbe sönümleyici modeli

Model

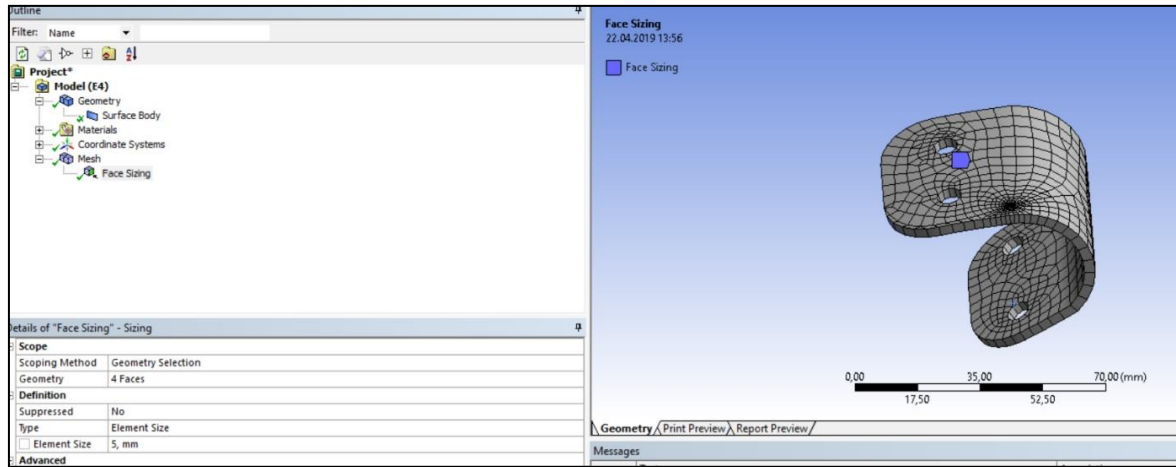
Model bölümünde analiz edilecek parçaya mesh ataması yapılmaktadır. Kendimiz mesh atayacağımız için “face sizing” komutu kullanılarak ilk etapta 1 mm mesh atılıp daha sonrasında 3,5,7,10 mm mesh atılarak analiz sonuçları gösterilecektir. Bu sonuçlar çizelge 4.3’te verilmektedir. Resim 4.72, 4.73, 4.74, 4.75 ve 4.76’da sırasıyla parçaya uygulanan mesh ölçülerinin şekli hali gösterilmektedir.



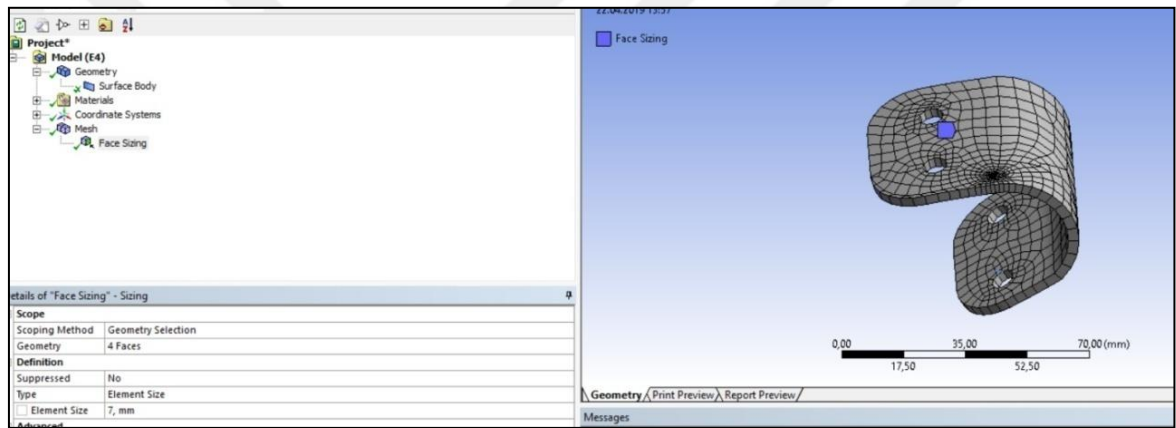
Resim 4.72. 1 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli



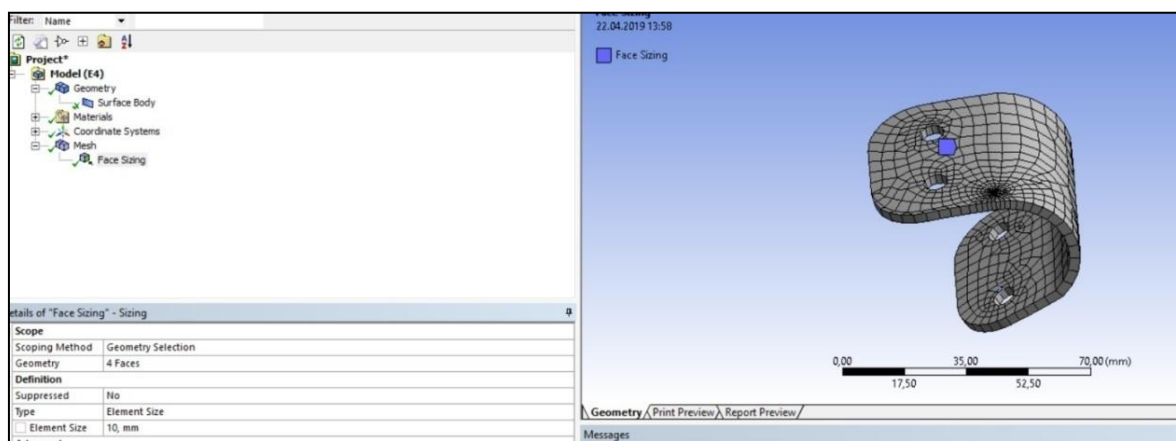
Resim 4.73. 3 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli



Resim 4.74. 5 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli



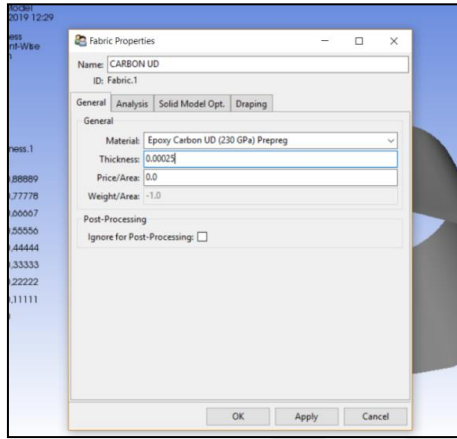
Resim 4.75. 7 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli



Resim 4.76. 10 mm mesh atılmış darbe sönümleyici modeli

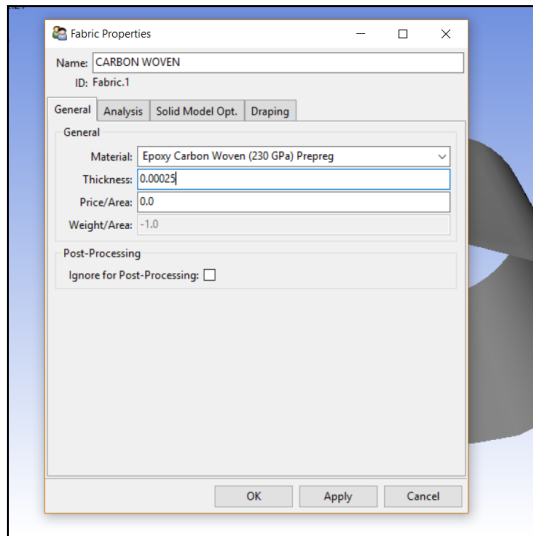
Setup

“Fabric” kısmında serilecek malzemeyi ve kalınlığını belirlemek gerekmektedir. Aşağıdaki resimde de gösterildiği gibi Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme seçilmiştir ve kalınlığı da 0.25 mm dir. 3 mm mesh atılan model baz alınarak katman oluşturulmuştur ve buna göre yükleme yapılmıştır ve resim 4.77’de gösterilmektedir.



Resim 4.77. Darbe sönümleyicide epoxy carbon ud prepreg malzeme seçimi

Diğer kullanılacak malzeme olan Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg seçilmiştir ve 0.25 mm olan malzeme kalınlığı 0.00025 m olarak girilmiştir ve resim 4.78’de gösterilmektedir.



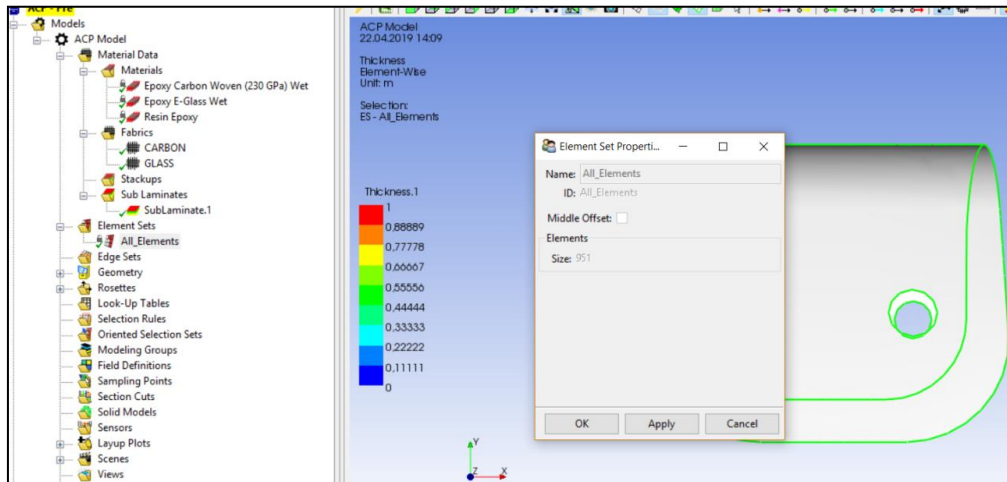
Resim 4.78. Darbe sönümleyicide epoxy carbon woven prepreg malzeme seçimi

“Sublamine” kısmında kaç katman serileceği ve katman açıları belirlenmektedir. Darbe sönümleyici parçasında üst ve alt kata 3 er kat Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme orta kısma ise 9 kat Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg malzeme olarak toplamda 15 kat kompozit malzeme serilmiştir. Resim 4.79’da serilen malzemeler ve açıları gösterilmektedir.

Name:	SubLaminate.1
ID:	SubLaminate.1
General	Analysis
Fabrics	
Production Ply Symmetry:	No Symmetry
Layup Sequence:	Bottom-Up
Fabric	Angle
CARBON UD	90.0
CARBON UD	0.0
CARBON UD	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON WOVEN	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON WOVEN	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON WOVEN	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON WOVEN	90.0
CARBON WOVEN	0.0
CARBON UD	90.0
CARBON UD	0.0
CARBON UD	90.0

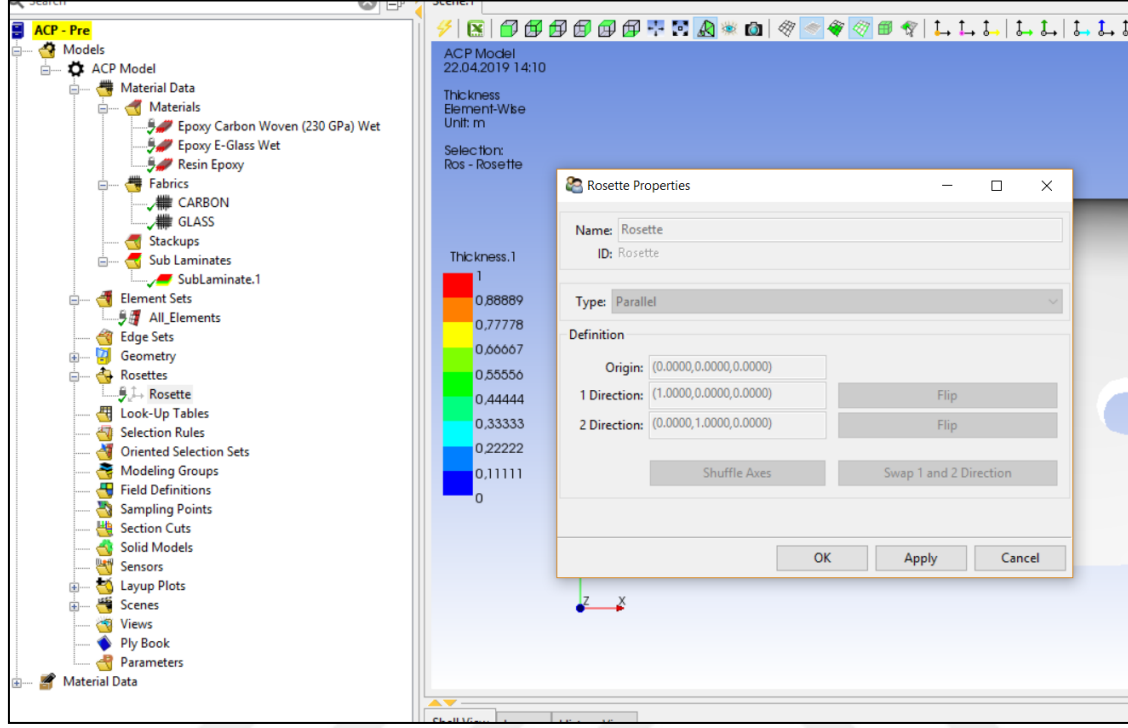
Resim 4.79. Darbe sönümleyici modelinde katman oluşturma

“Element sets” kısmında elementler otomatik olarak belirlenmiştir ve resim 4.80’de gösterilmektedir.



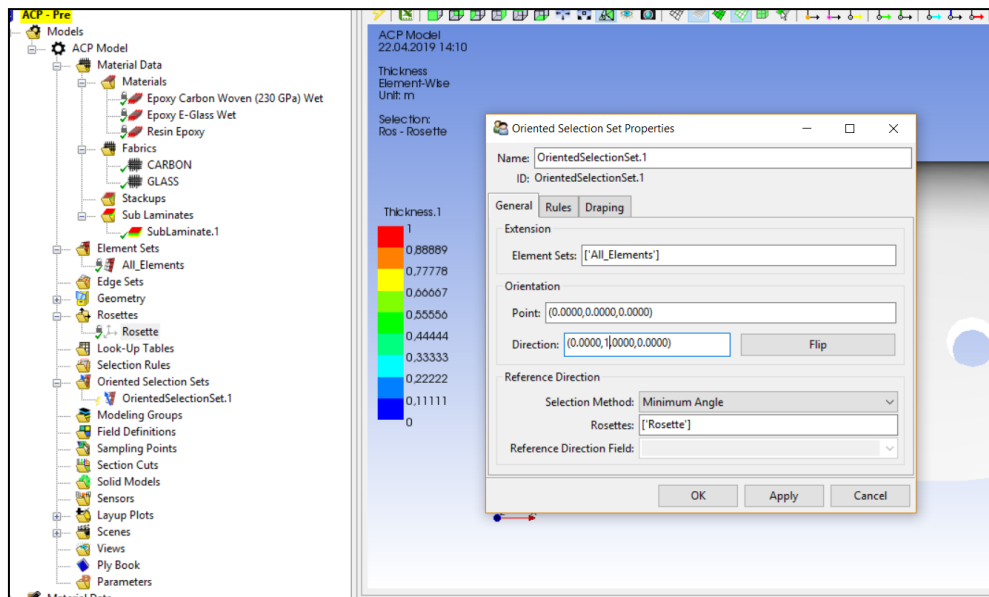
Resim 4.80. Darbe sönümleyici modelinde element sets bölümü

“Rosettes” kısmında da rozet yönleri otomatik olarak belirlenmiştir ve resim 4.81’de gösterilmektedir.



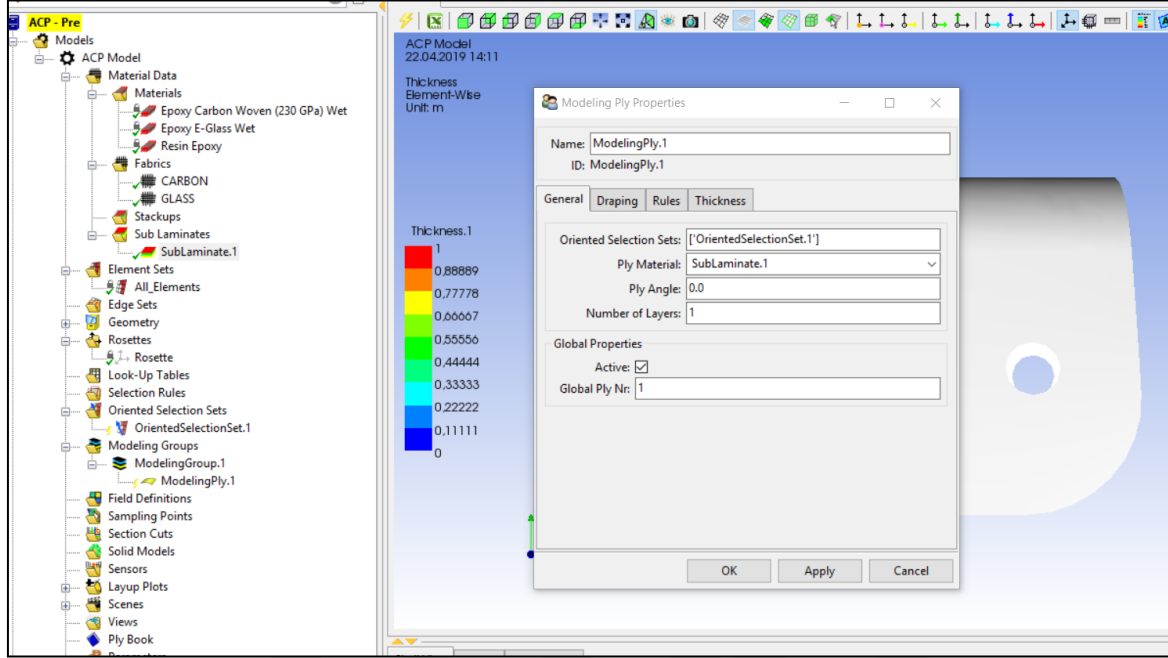
Resim 4.81. Darbe sönümleyici modelinde rosettes bölümü

“OrientedSelectionSet” kısmında aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi +y olarak seçilmiştir ve resim 4.82’de gösterilmektedir.

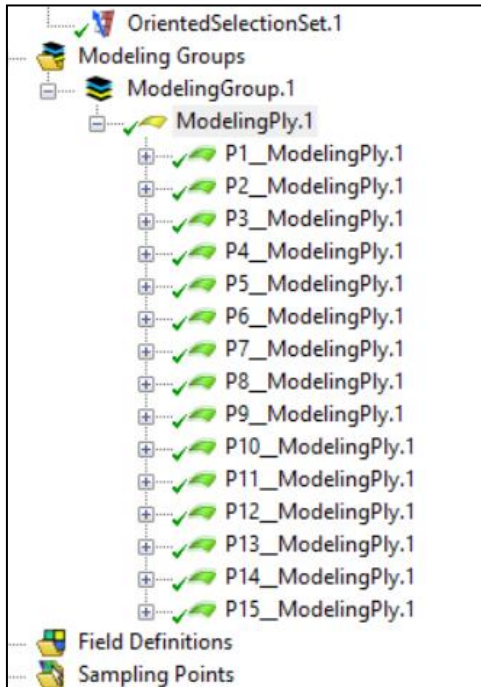


Resim 4.82. Darbe sönümleyici modelinde orientedselectionset bölümü

“ModelingGroup” kısmında “Sublaminat” kısmında oluşturulan katmanlar tanımlanmıştır ve resim 4.83 ve 4.84’te gösterilmektedir.

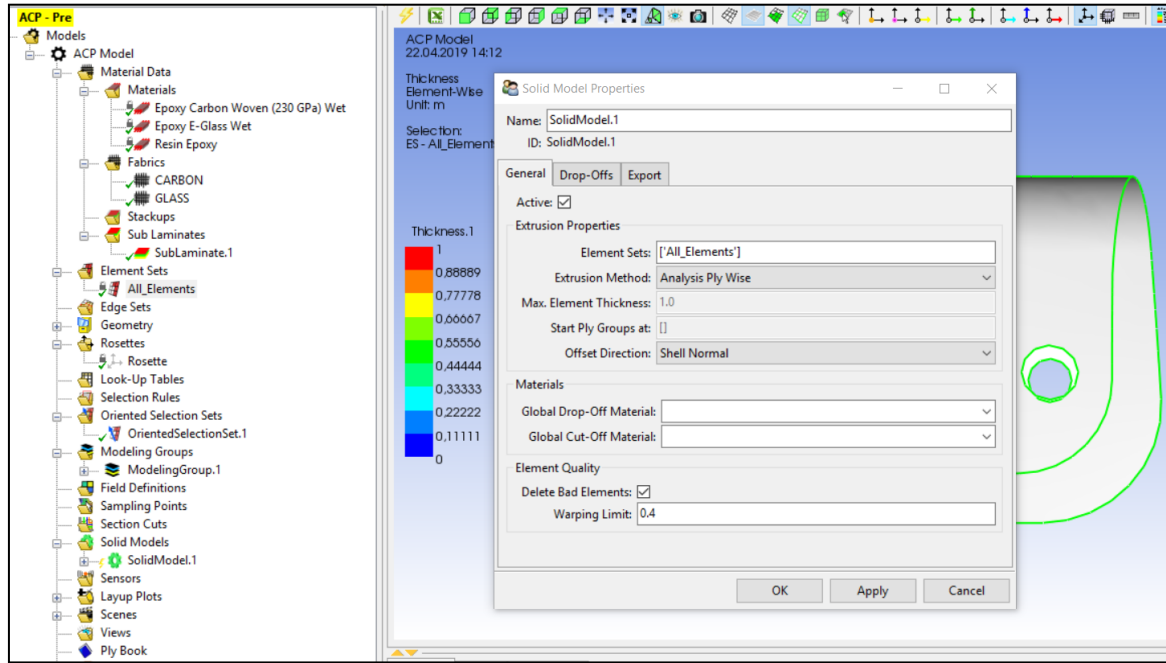


Resim 4.83. Darbe sönümleyici modelinde modelinggroup bölümü



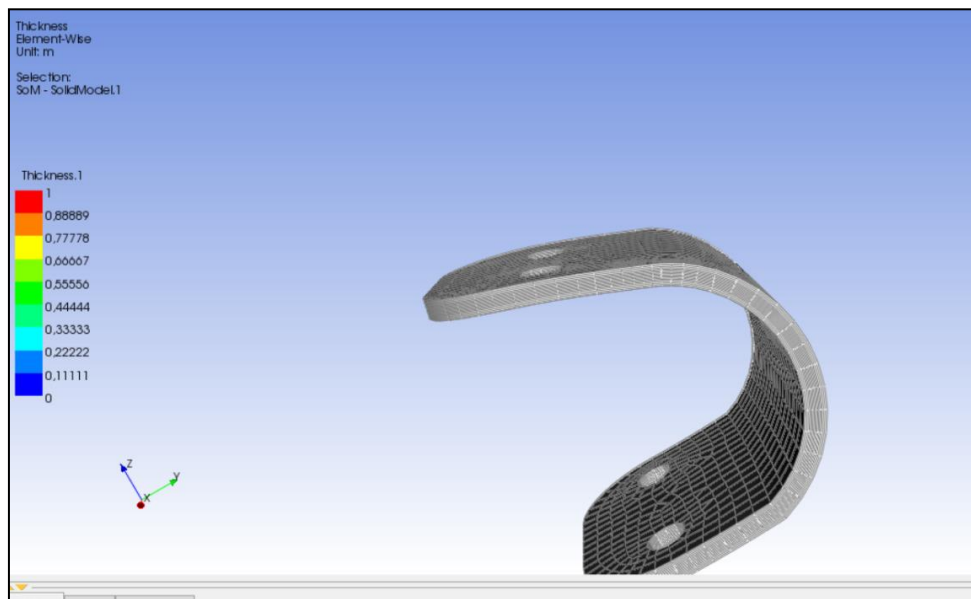
Resim 4.84. Darbe sönümleyici modelinde modelingply bölümü

“Solid Models” kısmında ise yukarıda tanımlanan kısımların sonucunda en sonra olarak katmanlı yapı ortaya çıkacaktır. Resim 4.85’te solid model kısmında yapılan işlemler gösterilmektedir.



Resim 4.85. Darbe sönümleyici modelinde solid models bölümü

Solid model güncellendikten resim 4.86’da gösterilen 15 katlı darbe sönümleyici parçasının modeli gösterilmektedir.



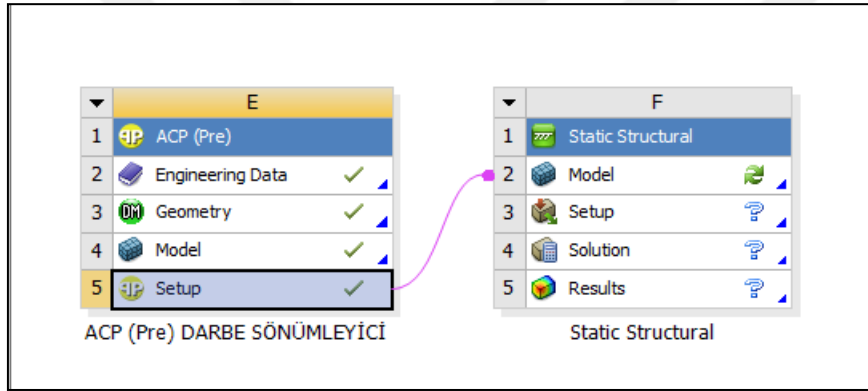
Resim 4.86. 15 katlı darbe sönümleyici modelinin gösterimi

ACP (Pre) modülü ile kompozit katman yapısı oluşturulduktan sonra ana menü de strcutural analiz modülü seçilmiştir ve static structural modülündeki bölümler aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır

4.3.2. Static structural

Model

ACP (Pre) modülündeki setup kısmı static structural modülündeki model kısmına aktarılmaktadır ve resim 4.87’de gösterilmektedir.

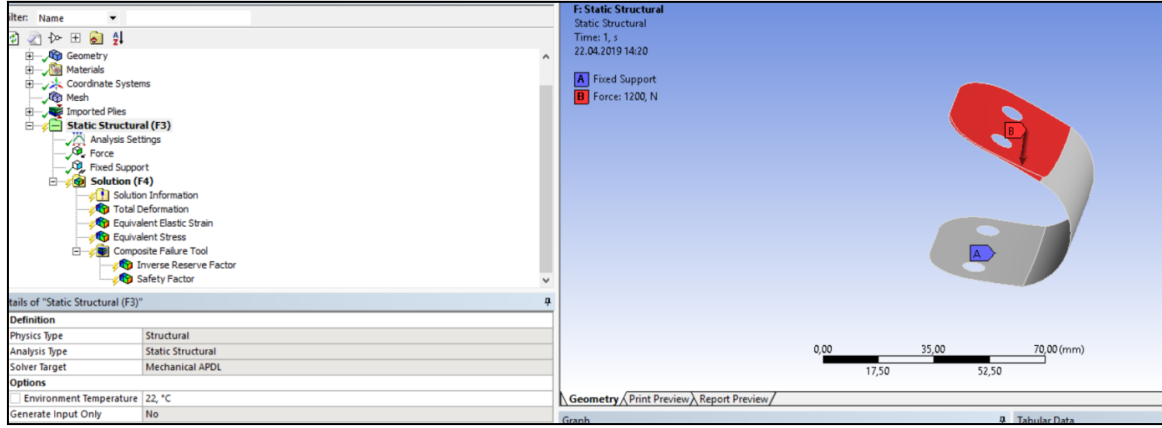


Resim 4.87. Darbe sönümleyici modelinde static structural modülü

Setup

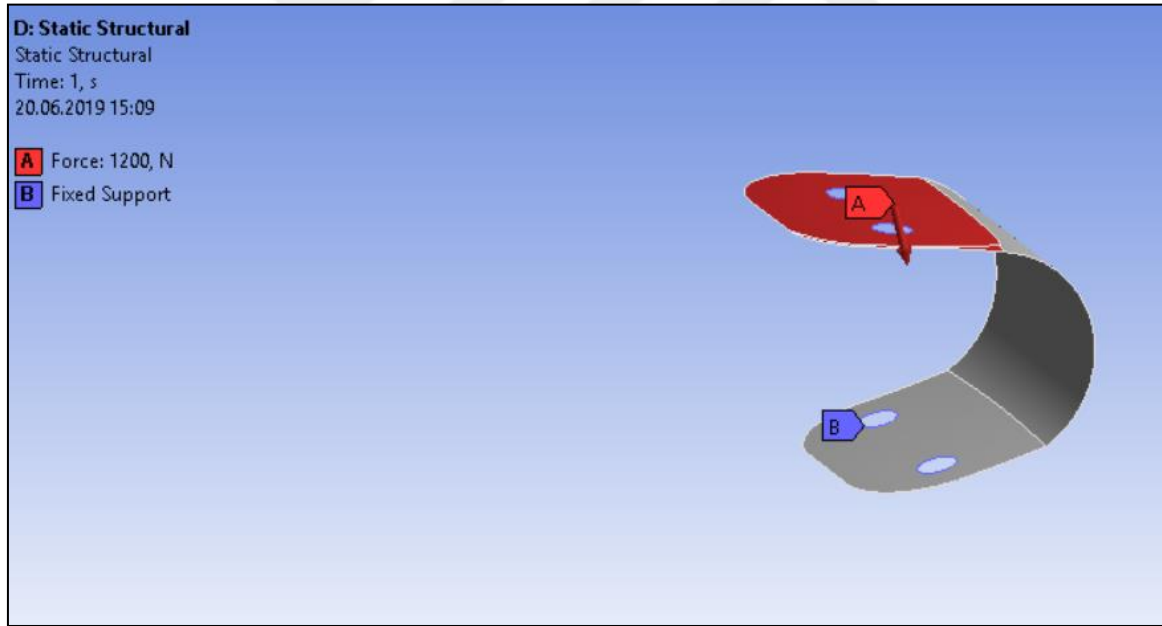
Darbe sönümleyici parçasında iki ayrı yükleme ve sabitleme yeri vardır.

1. yükleme durumunda darbe sönümleyici parçasının topuk parçasına bağlandığı alt yüzeyi sabit tutulup omurga parçasına bağlandığı üst kısımdan 1200 N luk kuvvet uygulanmıştır ve resim 4.88’de gösterilmektedir.



Resim 4.88. Darbe sönümleyici modelinde 1. yükleme durumu

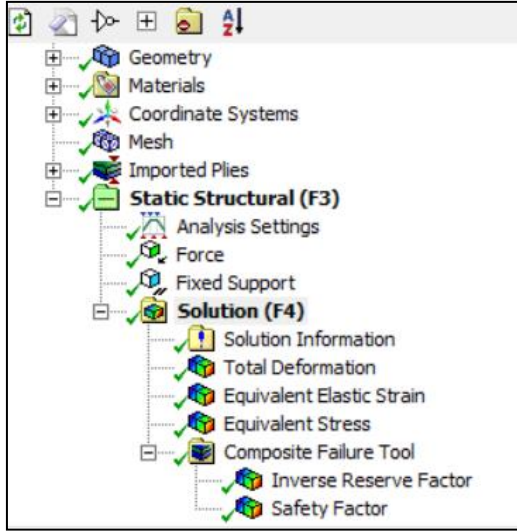
2. yükleme durumunda darbe sönümleyici parçasının topuk parçasına ve omurga parçasına cıvata ile bağlandığı delik yerleri sabit tutulup omurga parçasına bağlandığı üst kısımdan 1200 N luk kuvvet uygulanmıştır ve resim 4.89’da gösterilmektedir



Resim 4.89. Darbe sönümleyici modelinde 2. yükleme durumu

Solution

Solution bölümünde değerlendireceğimiz faktörler resim 4.90’da gösterilmektedir.

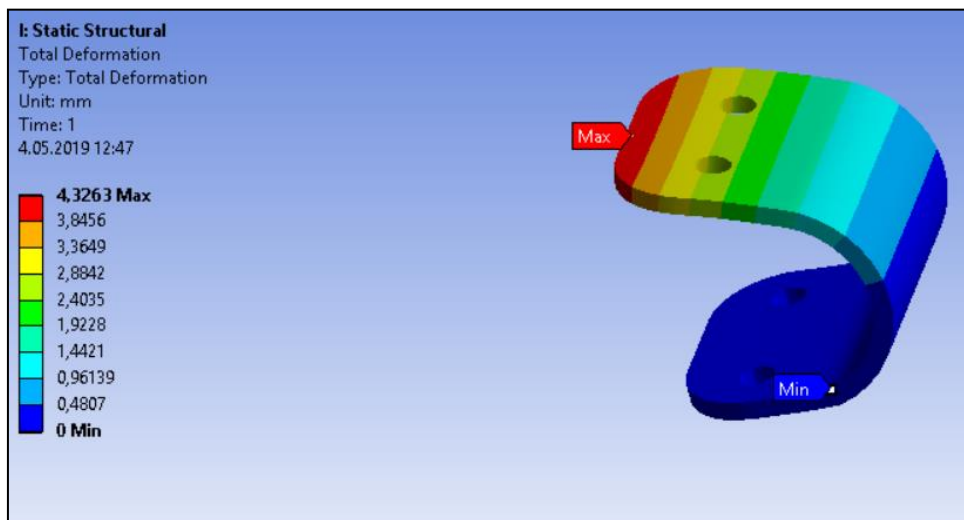


Resim 4.90. Darbe sönümleyici modelinde solution kısmında değerlendirilecek faktörler

Parçasının alt yüzeyi sabit tutulup üst kısımdan 1200 N luk uygulanan kuvvete göre çıkan analiz sonuçları ve değerlendirmeler aşağıda anlatılmaktadır.

Total deformation (Toplam deformasyon)

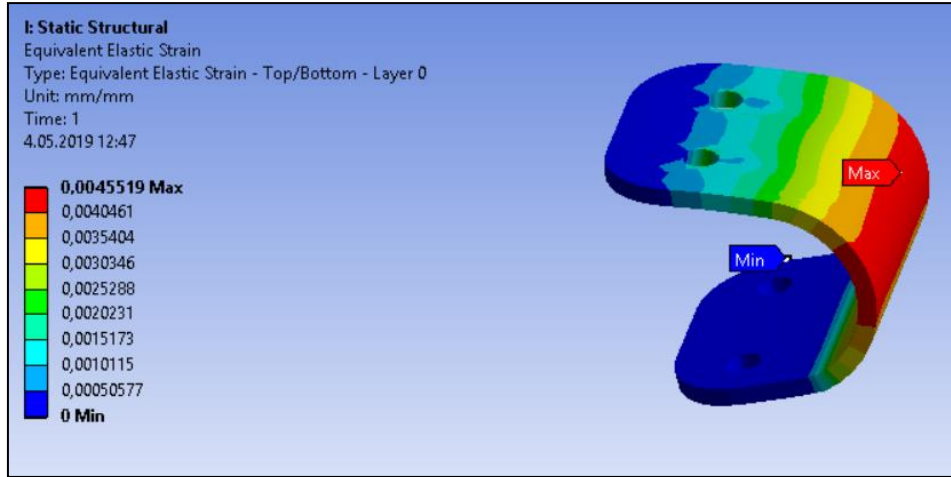
Parçanın alt yüzeyini sabitleyip üst yüzeyden 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum toplam deformasyon 4.3263 mm minimum deformasyon ise 0 mm çıkmaktadır. Parçadaki toplam deformasyon resim 4.91’de gösterilmektedir.



Resim 4.91. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

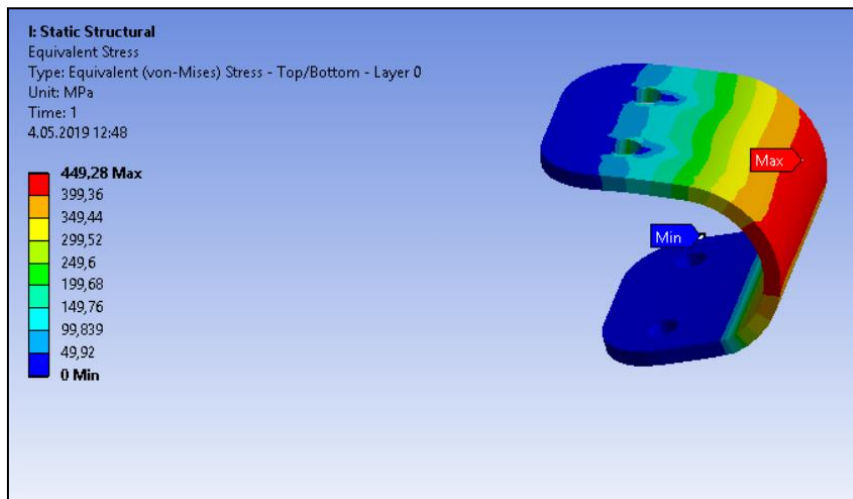
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum elastik şekil değiştirme 0.0045519 mm/mm minimum şekil değiştirme ise 0 mm/mm çıkmaktadır. Parçadaki elastik şekil değiştirme resim 4.92’de gösterilmektedir.



Resim 4.92. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki E.E.S.

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

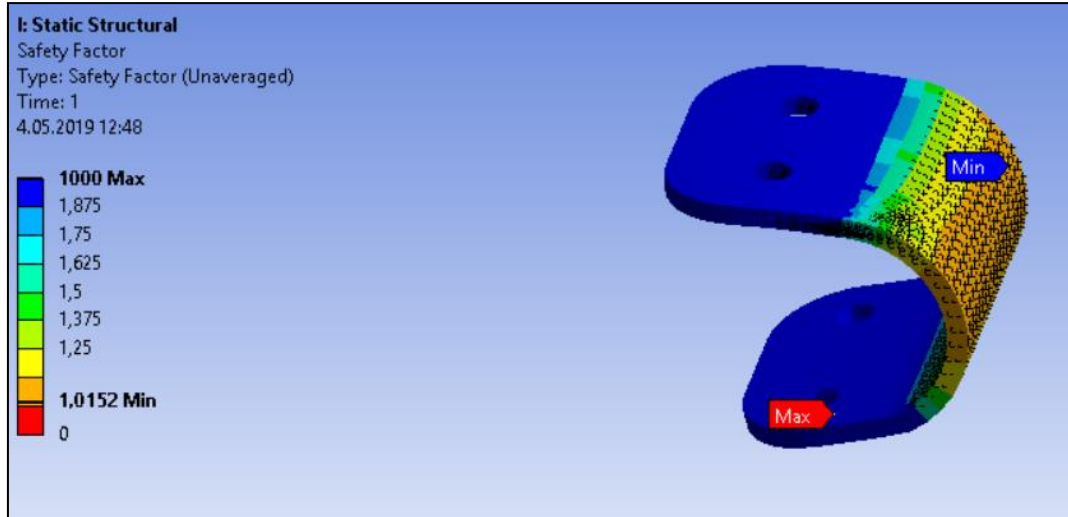
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum eşdeğer gerilme 449.28 MPa minimum gerilme ise 0 MPa çıkmaktadır. Parçadaki eşdeğer gerilme resim 4.93’te gösterilmektedir.



Resim 4.93. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

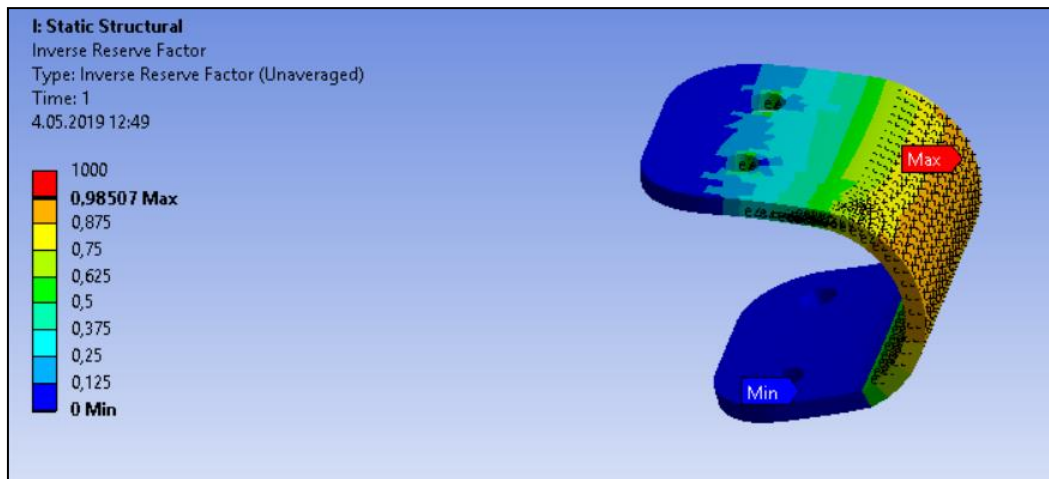
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki safety factor maksimum 1000 ve minimum 1.0152 çıkmaktadır. Safety factor 1 den büyük olduğu için uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.94'te gösterilmektedir.



Resim 4.94. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki S.F.

Inverse reserve factor

Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki inverse reserve factor maksimum 0.98507 ve minimum 0 çıkmaktadır ve resim 4.95'te gösterilmektedir.

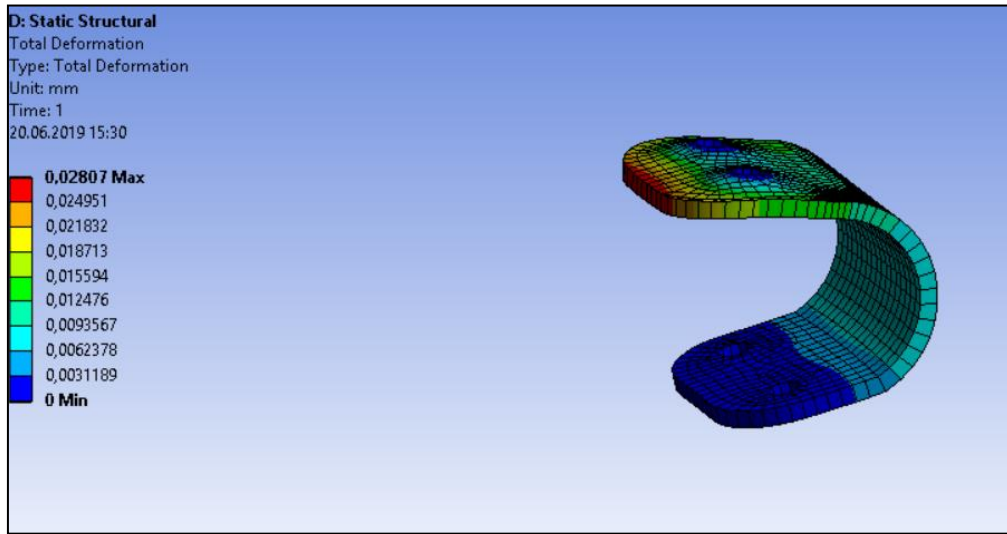


Resim 4.95. Omurga modelinde 1. yükleme durumundaki I.R.F.

İkinci uygulanan yük ve sabitleme yerinin sonuçları aşağıda anlatılmaktadır.

Total deformation (Toplam deformasyon)

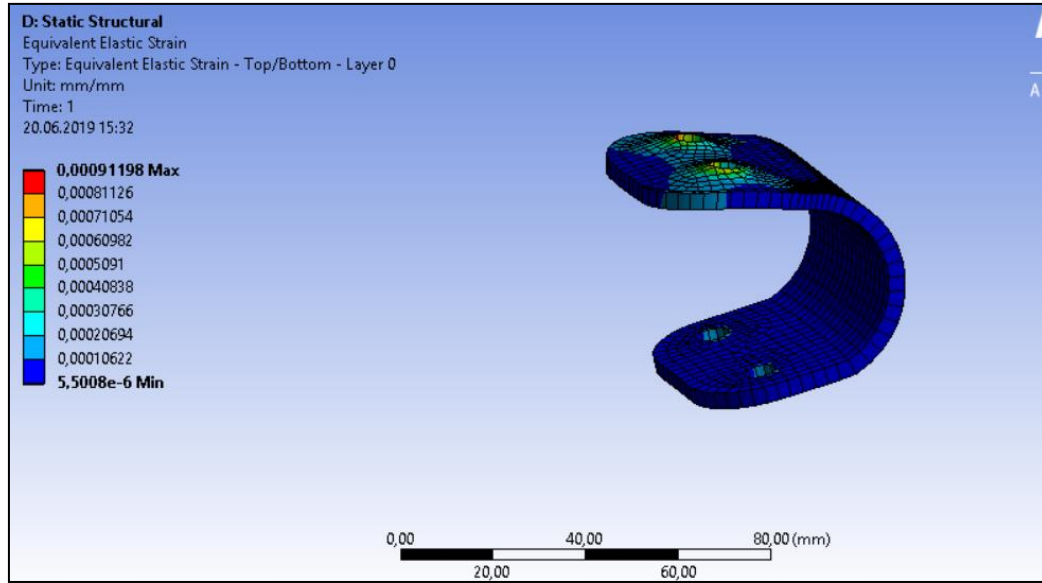
2. yükleme durumunda parçadaki maksimum toplam deformasyon 0,02807 mm minimum deformasyon ise 0 mm çıkmaktadır. Parçadaki toplam deformasyon resim 4.96'da gösterilmektedir.



Resim 4.96. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

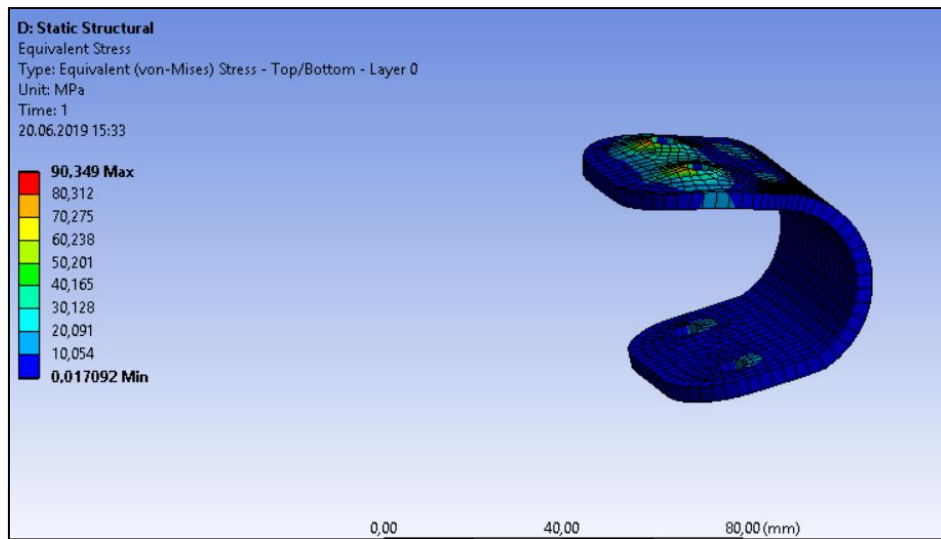
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum elastik şekil değiştirme 0,00091198 mm/mm minimum şekil değiştirme ise 5,5008e-006 mm/mm çıkmaktadır. Parçadaki elastik şekil değiştirme resim 4.97'de gösterilmektedir.



Resim 4.97. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki E.E.S.

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

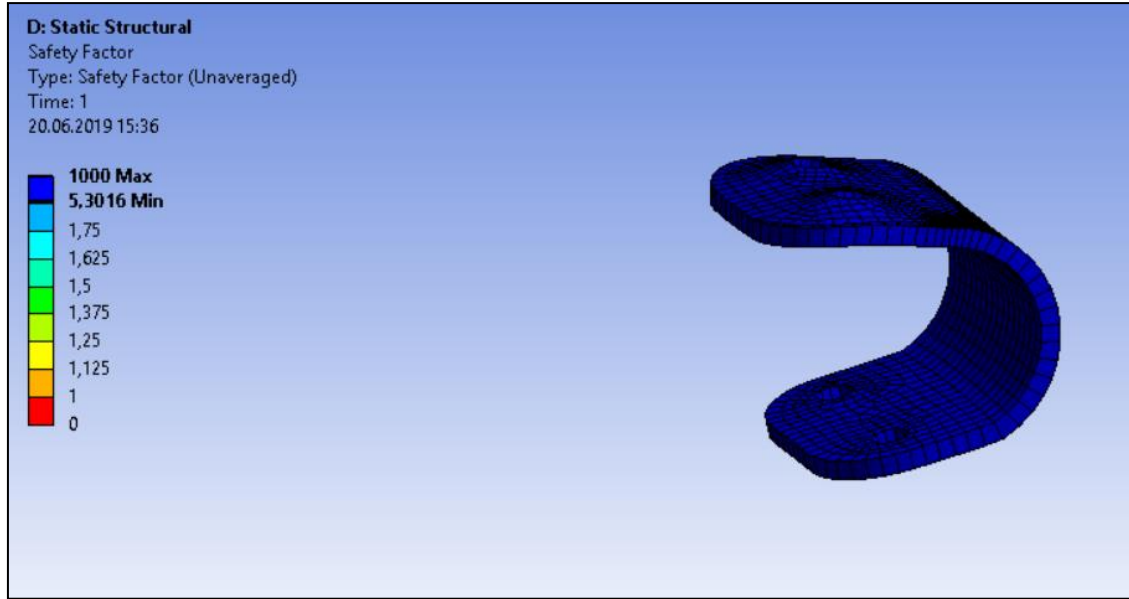
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki maksimum eşdeğer gerilme 90,349 MPa minimum gerilme ise 0,017092 MPa çıkmaktadır. Parçadaki eşdeğer gerilme resim 4.98’de gösterilmektedir.



Resim 4.98. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

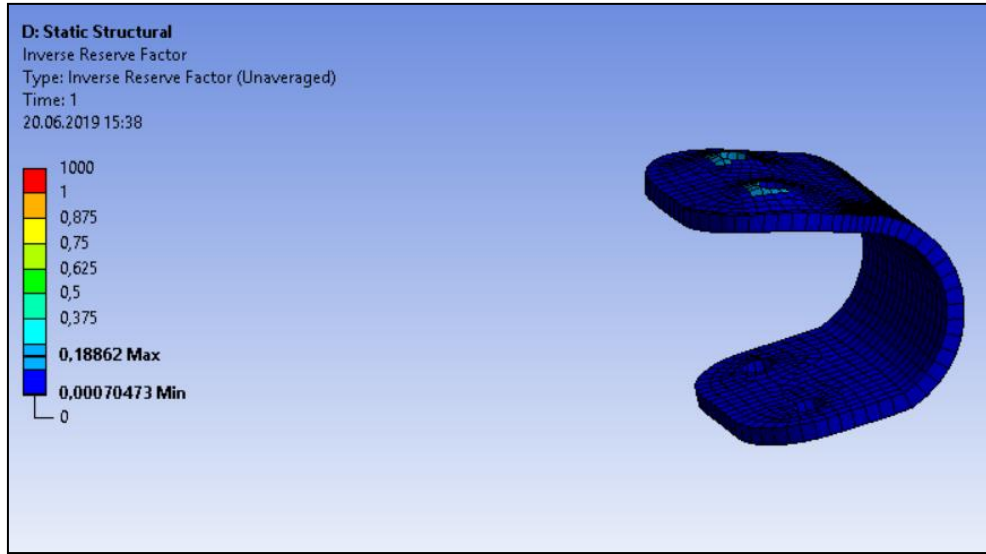
Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki safety factor maksimum 1000 ve minimum 5,3016 çıkmaktadır. Safety factor 1 den büyük olduğu için uygulanan yüke dayanıklı çıkmaktadır ve resim 4.99'da gösterilmektedir.



Resim 4.99. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki S.F.

Inverse reverse factor

Parçaya 1200 N kuvvet uygulayınca parçadaki inverse reverse factor maksimum 0,18862 ve minimum 0,00070473 çıkmaktadır ve resim 4.100'de gösterilmektedir.



Resim 4.100. Omurga modelinde 2. yükleme durumundaki I.R.F.

Çizelge 4.3. Darbe sönümleyicinin meshlere göre analiz sonuçları

ME SH	1. YÜKLEME DURUMU									
	T.D (mm)		E.E.S (mm/mm)		E.S. MPa		S.F.		I.R.F	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1 mm	4,3406	0	0,0045694	0	454,41	0	1000	1,0117	0,98848	0
3 mm	4,3263	0	0,0045519	0	449,28	0	1000	1,0152	0,98507	0
5 mm	4,3107	0	0,0045252	0	442,36	0	1000	1,0157	0,98491	0
7 mm	4,3085	0	0,0045232	0	442,1	0	1000	1,0222	0,97824	0
10 mm	4,3085	0	0,0045229	0	442,07	0	1000	1,0223	0,97822	0
ME SH	2. YÜKLEME DURUMU									
	T.D (mm)		E.E.S (mm/mm)		E.S. MPa		S.F.		I.R.F	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1 mm	0,02815	0	0,000920	5,5108e-006	90342	0,175	1000	5,3118	0,18855	0,000785
3 mm	0,02807	0	0,000912	5,5008e-006	90,349	0,171	1000	5,3016	0,18862	0,0007
5 mm	0,027848	0	0,0008695	6,1259e-006	92,284	0,1029	1000	4,4999	0,22223	0,001
7 mm	0,027856	0	0,00086865	7,0449e-006	92,556	0,07395	1000	4,5730	0,21867	0,00091
10 mm	0,027845	0	0,00086859	7,0718e-006	92,565	0,032938	1000	4,5729	0,21868	9,5603e-004

X: Maksimum Değer

Y: Minimum Değer

Yapılan analizler sonucunda parçalar için belirlenen katmanlar aşağıdaki çizelge 4.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Analizler sonucu belirlenen ayak parçalarının katman sayıları

	Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Epoxy Carbon Woven (395 GPa) Prepreg	Toplam Katman
Topuk	4	6	10
Omurga	6	9	15
Darbe Sönümleyici	6	9	15

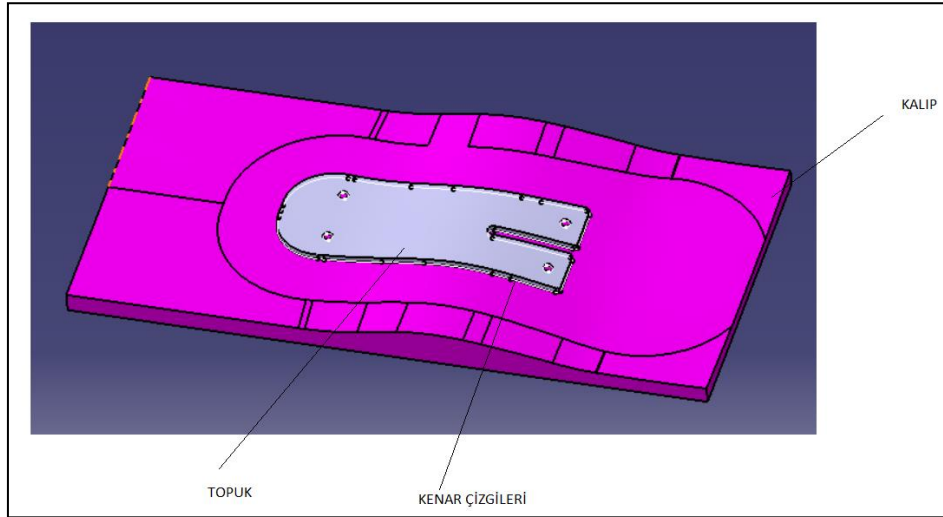


5. KOMPOZİT AYAK ÜRETİMİ İÇİN SERİM KALIP TASARIMI

Serim kalıpları parçasının kenarlarından en az 30 mm pay bırakılarak tasarlanmalıdır. Kalıpta kör delik haricinde patlamış herhangi bir delik olmamalıdır. Bunun nedeni ise serim işlemi bittikten sonra kalıp vakumlanırken vakum torbasının deliğe kaçmamasıdır. Parçanın kenarları 2 mm genişliğinde ve derinliğinde kalıp üzerine çizdirilmelidir. Bunun nedeni ise serim işlemi bittikten sonrasında çizgilere göre kompozit malzemeyi tam parça ölçülerinde kesmektir. Kalıpların malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir. Serim işlemi için en uygun malzeme alüminyumdur. Çelikler işlenmesi zor ve ağır olduğu için tercih edilmemektedir. Alüminyum kalıplarda yüzeye tesviye işlemi uygulanırsa kompozit hem daha kolay çıkar hem de düzgün ve kolay serim işlemi uygulanır.

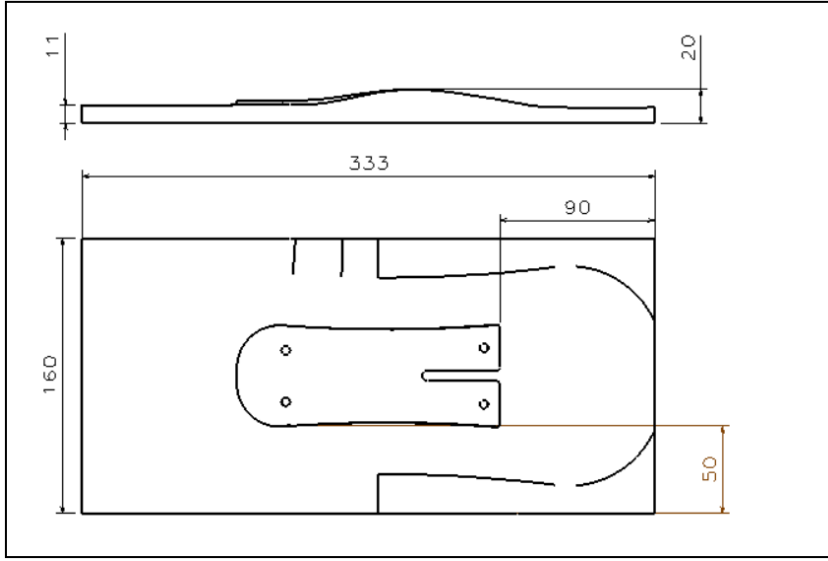
5.1. Topuk Üretimi İçin Serim Kalıbı

Serim kalıbı topuk parçasının alt yüzeyi referans alınarak tasarlanmıştır. Topuk parçasının yan kısımlarında 50 mm uç kısımlarından ise 90 mm kaçarak kalıp boyutları oluşturuldu. Topuk üretimi için serim kalıbının modeli resim 5.1’de gösterilmektedir.



Resim 5.1. Topuk modeli için kalıp

Kalıp Catia V5 programında tasarlanmıştır. Kalıp ölçüleri resim 5.2’de gösterilmektedir.



Resim 5.2. Topuk kalıp ölçüleri

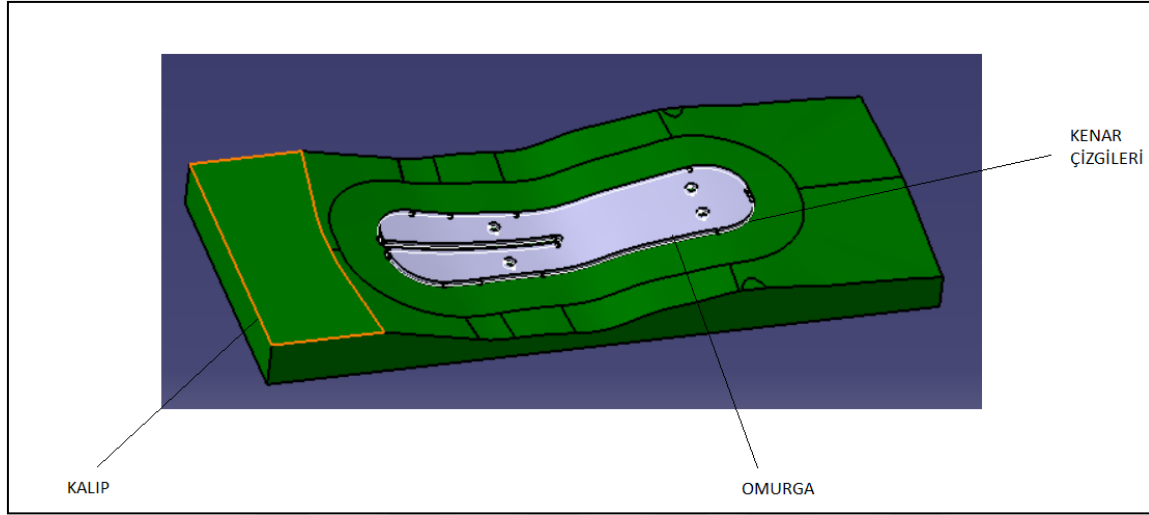
Kalıp step dosyası olarak kaydedilip üretim için CAM bölümünde 5 eksenli CNC tezgahında işlenmesi için programlanmıştır. Daha sonra üretim için uygun ölçülerde alüminyum kalıplar bulunup tezgaha bağlanmıştır. Kalıp CNC tezgahında işlendikten sonra tefsiye edilerek kalıp yüzeyi parlatılmıştır. Kalıbın tezgahta işlenirkenki hali resim 5.3'te gösterilmektedir.



Resim 5.3. Topuk kalıbının CNC tezgahında işlenmesi

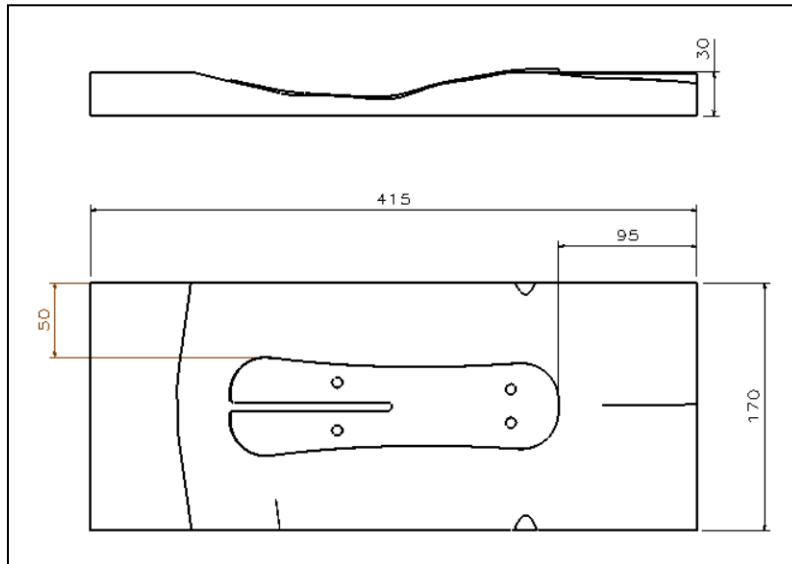
5.2. Omurga Üretimi İçin Serim Kalıbı

Serim kalıbı omurga parçasının alt yüzeyi referans alınarak tasarlanmıştır. Omurga parçasının yan kısımlarında 50 mm uç kısımlarından ise 95 mm kaçarak kalıp boyutları oluşturuldu. Omurga üretimi için serim kalıbının modeli resim 5.4'te gösterilmektedir.



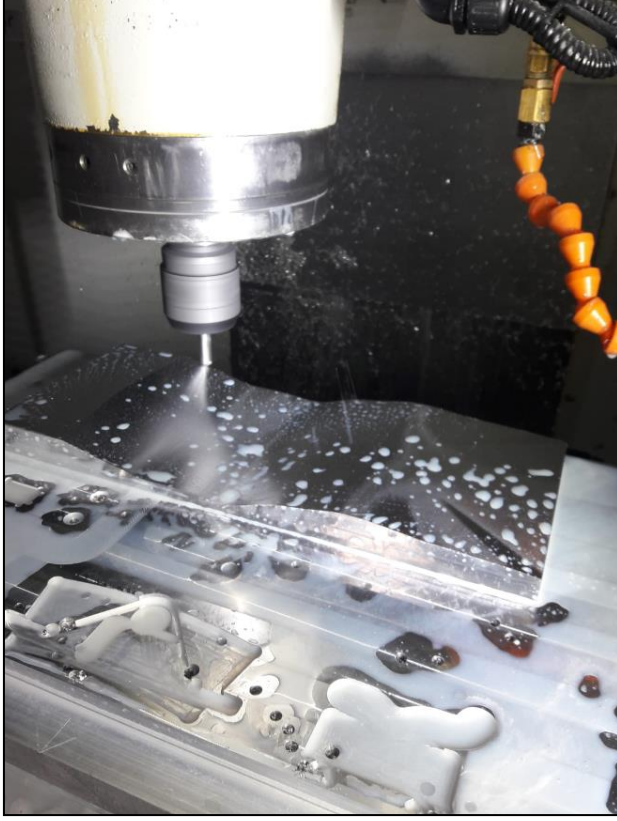
Resim 5.4. Omurga modeli için kalıp

Kalıp Catia V5 programında tasarlanmıştır. Kalıp ölçüleri resim 5.5'te gösterilmektedir.



Resim 5.5. Omurga kalıp ölçüleri

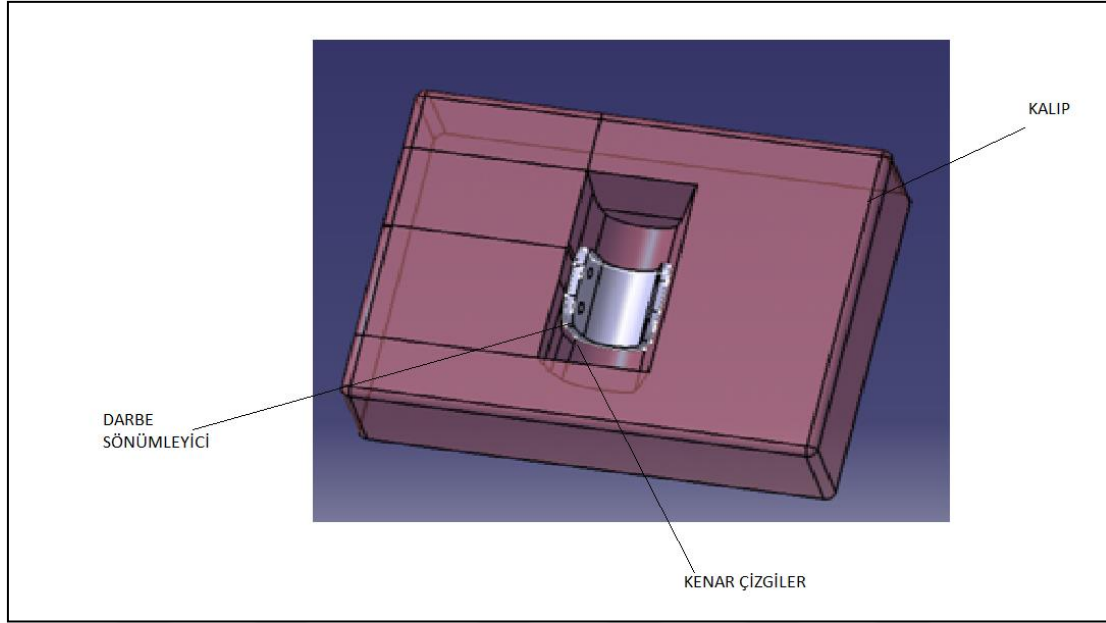
Kalıp step dosyası olarak kaydedilip üretim için CAM bölümünde 5 eksenli CNC tezgahında işlenmesi için programlanmıştır. Daha sonra üretim için uygun ölçülerde alüminyum kalıplar bulunup tezgaha bağlanmıştır. Kalıp CNC tezgahında işlendikten sonra tefsiye edilerek kalıp yüzeyi parlatılmıştır. Kalıbın tezgahta işlenirkenki hali resim 5.6'da gösterilmektedir.



Resim 5.6. Omurga kalıbının CNC tezgahında işlenmesi

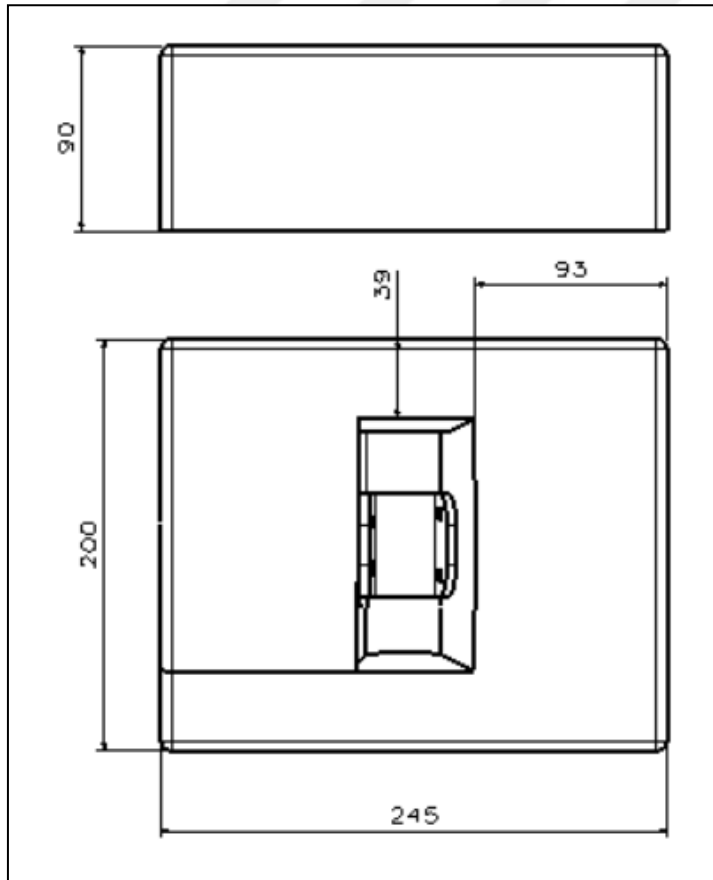
5.3. Darbe Sönümleyici Üretimi İçin Serim Kalıbı

Serim kalıbı darbe sönümleyici parçasının dış yüzeyi referans alınarak tasarlanmıştır. Darbe sönümleyici parçasının yan kısımlarında 39 mm uç kısımlarından ise 93 mm kaçarak kalıp boyutları oluşturuldu. Darbe sönümleyici parçasının üretimi için serim kalıbının modeli resim 5.7'de gösterilmektedir.



Resim 5.7. Darbe sönümleyici modeli için kalıp

Kalıp Catia V5 programında tasarlanmıştır. Kalıp ölçüleri resim 5.8’de gösterilmektedir.



Resim 5.8. Darbe sönümleyici kalıp ölçüleri

Kalıp step dosyası olarak kaydedilip üretim için CAM bölümünde 5 eksenli CNC tezgahında işlenmesi için programlanmıştır. Daha sonra üretim için uygun ölçülerde alüminyum kalıplar bulunup tezgaha bağlanmıştır. Kalıp CNC tezgahında işlendikten sonra tefsiye edilerek kalıp yüzeyi parlatılmıştır. Kalıbın tezgahta işlenirkenki hali resim 5.9’da gösterilmektedir.



Resim 5.9. Darbe sönümleyici kalıbının CNC tezgahında işlenmesi

6. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERİM İŞLEMİ

Kalıplar üretildikten sonrasında kalıpların her birine bir bez ile ayrıştırıcı sürülmektedir. Bu işlem 3 kez tekrarlanmaktadır. İlk ayrıştırıcı sürülür sonra 15 dk beklenilir daha sonra 2. kez ayrıştırıcı sürülür ve yine 15 dk beklenilir en son 3. kez ayrıştırıcı sürülüp 30 dk beklenilir ve serim işlemine başlanılır. Ayrıştırıcının kuruması beklenilirken kalıpların ebatlarına göre serilecek kompozit malzemelerin boyutları belirlenir. Resim 6.1’de gösterildiği gibi topuk kalıbı için 30x13 mm, resim 6.2’de gösterildiği gibi omurga kalıbı için 35x15 mm ve resim 6.3’te gösterildiği gibi darbe sönümleyici için 30x25 mm ölçülerinde kompozit malzeme ebatı belirlenmiştir. Resim 6.4 ve 6.5’te 0 derece ve 90 derece Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg ve tek yönlü olan Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme gösterilmektedir.



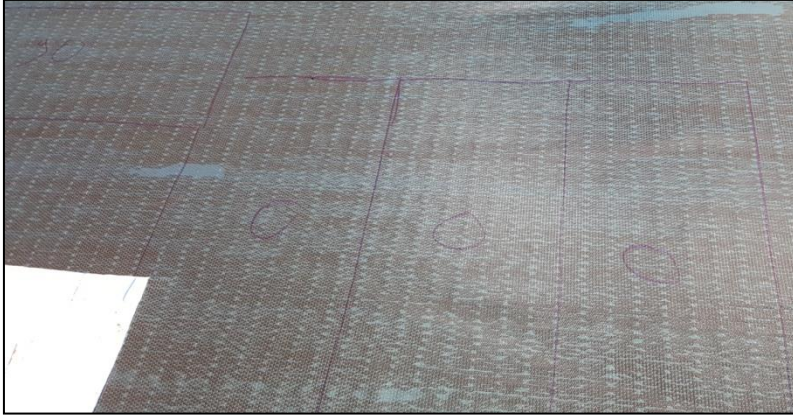
Resim 6.1. Topuk kalıbına serilecek malzeme ebatının belirlenmesi



Resim 6.2. Omurga kalıbına serilecek malzeme ebatının belirlenmesi



Resim 6.3. Darbe sönümleyici kalıbına serilecek malzeme ebatının belirlenmesi



Resim 6.4. 0 derece ve 90 derece epoxy carbon woven prepreg



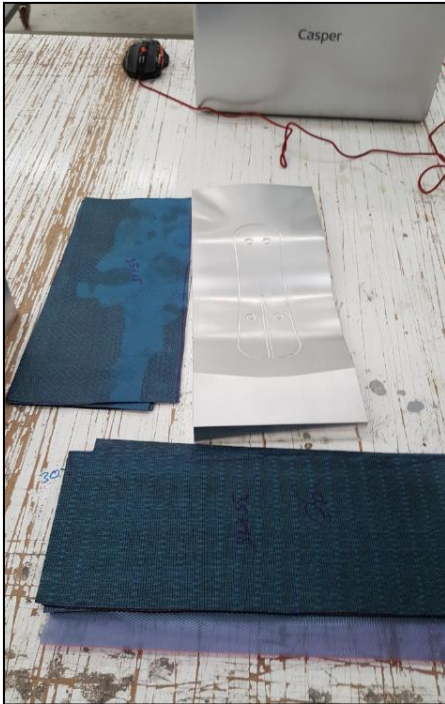
Resim 6.5. Tek yönlü olan epoxy carbon ud prepreg

Topuk kalıbı için 4 adet 30x13 mm ebatlarında Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme, 3 adet 0 derece Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg ve 3 adet 90 derece Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg malzeme kesilmiştir ve resim 6.6'da gösterilmektedir.



Resim 6.6. Topuk kalıbına serilecek kompozit malzemeler

Omurga kalıbı için 6 adet 35x15 mm ebatlarında Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme, 5 adet 0 derece Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg ve 4 adet 90 derece Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg malzeme kesilmiştir ve resim 6.7 de gösterilmektedir.



Resim 6.7. Omurga kalıbına serilecek kompozit malzemeler

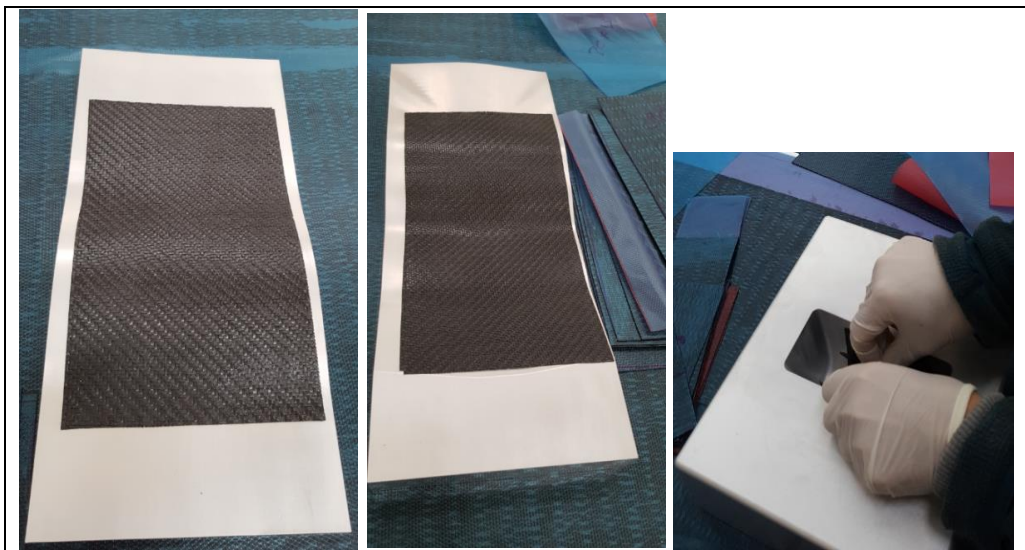
Darbe sönümleyici kalıbı için 6 adet 30x25 mm ebatlarında Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme, 5 adet 0 derece Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg ve 4 adet 90 derece Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg malzeme kesilmiştir ve resim 6.8’de gösterilmektedir.



Resim 6.8. Darbe sönümleyici kalıbına serilecek kompozit malzemeler

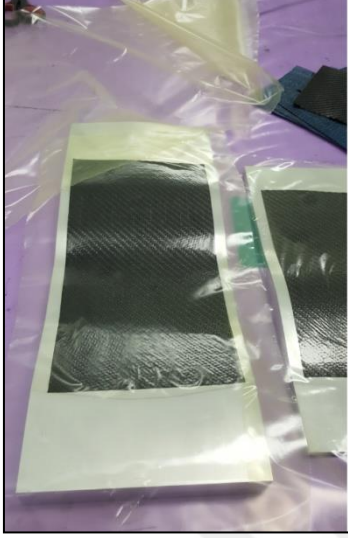
Serilecek malzemeler belirlendikten aşağıdaki adımlar izlenir;

1. İlk katına Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg malzeme serilir (resim 6.9),



Resim 6.9. Kalıpların ilk katına epoxy carbon ud prepreg malzeme serilme işlemi

2. Serilen Epoxy Carbon UD (230 Gpa) Prepreg malzemenin üzerine ayrıştırıcı (release) film serilir ve ayrıştırıcı film iyice yapıştırılır (resim 6.10),



Resim 6.10. Kalıp üzerine release film serilmesi

3. Release film üzerine battaniye atılır (resim 6.11),



Resim 6.11. Release film üzerine battaniye atılması

4. Battaniye atıldıktan sonra vakum kalıp kenarlarından en az 15 cm uzaklıkta sızdırmazlık bandı yapıştırılır (resim 6.12),



Resim 6.12. Sızdırmazlık bandının yapıştırılması

5. Vakum naylonu sızdırmazlık bandına yapıştırılır (resim 6.13),



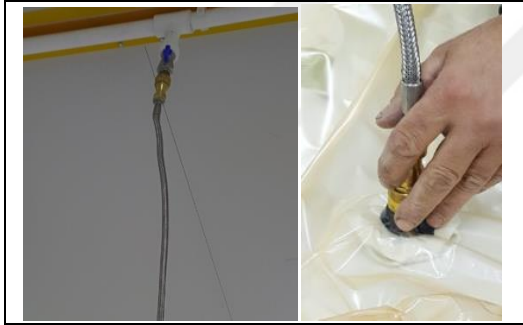
Resim 6.13. Vakum naylonunun serilmesi

6. T bağlantı borusu naylona sızdırmazlık bandı ile yapıştırılır (resim 6.14),



Resim 6.14. T Bağlantı borusunun vakum naylonuna yapıştırılması

7. Bir ucu vakum borusunda olan infüzyon hortumunun diğer ucu t bağlantı borusuna takılır (resim 6,15),



Resim 6.15. İnfüzyon hortumunun takılması

8. Vakum işlemi başlatılır ve hava kalmayacak şekilde kalıplar vakuma alınır (resim 6.16),



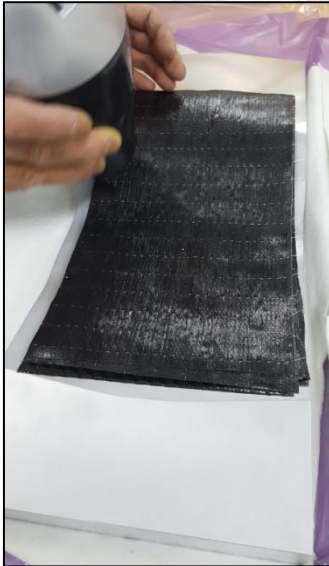
Resim 6.16. Kalıpların vakumlanması

9. Epoxy Carbon UD (230 Gpa) Prepreg malzemenin daha iyi yapışması için vakumlandıktan sonra bir süre kurutma makinesi ile kurutulur (resim 6.17),



Resim 6.17. Vakumlanan kalıpların kurutma makinesi ile kurutulması

İlk kat serildikten sonra vakumda kalıplar en az 15 dk bekletilmeleri gerekir. Bu çalışmada kalıplar yaklaşık 1 saat vakumda bekletildi. Vakum poşeti açılıp diğer katlar serildi ve daha iyi yapışması için kurutma makinesi ile kurutuldu. Resim 6.18’de gösterilmektedir.



Resim 6.18. Diğer katların serilme işlemi

Son 2 kata kadar malzemeler serildi ve tekrardan vakumlandı. Yaklaşık 1 saat beklendikten sonra kalan malzemeler serildi ve tekrardan vakumlanıp 3 saat bekletildi. Vakum işlemi bittikten sonra kalıplar fırına alınmaktadır ve resim 6.19’da gösterilmektedir.



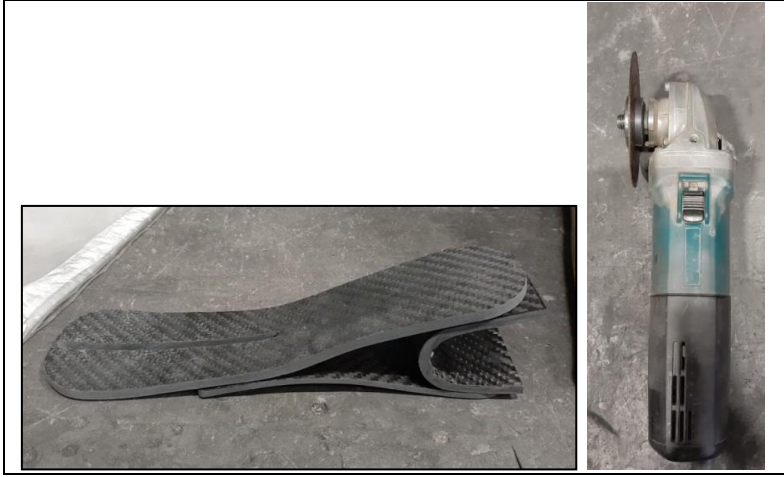
Resim 6.19. Kalıpların fırına alınması

Yaklaşık 7 saat fırında kalan kalıplar çıkarıldı ve soğumaya bırakıldı. Soğuma işleminden sonra vakum poşetinden kalıplar çıkarıldı ve kalıpların içerisindeki kompozit ayaklar parçaları çıkarıldı ve resim 6.20’de gösterilmektedir.



Resim 6.20. Kalıptan çıkarılan sırasıyla darbe sönümleyici, topuk ve omurga parçaları

Parçalar çıkarıldıktan sonra topuk ve omurga parçaları üzerilerindeki EOP (edge of part) çizgilerine göre kesilirler. Darbe sönümleyici parçasının kalıbına eop çizgileri çizilemediği için modele bakılıp trim işlemi gerçekleşir. Trim işlemi jet taşı ile yapılmaktadır Trim işlemi yapılmış ayak parçaları ve jet taşı resim 6.21’de gösterilmektedir.



Resim 6.21. Parçaların trim işleminden sonraki hali ve jet taşı



Resim 6.22. Trim işlemi bittikten sonra parçaların montajlanması

Daha sonra üretilen bacak parçaları ile montajı yapılır.



7. BACAK TASARIMI

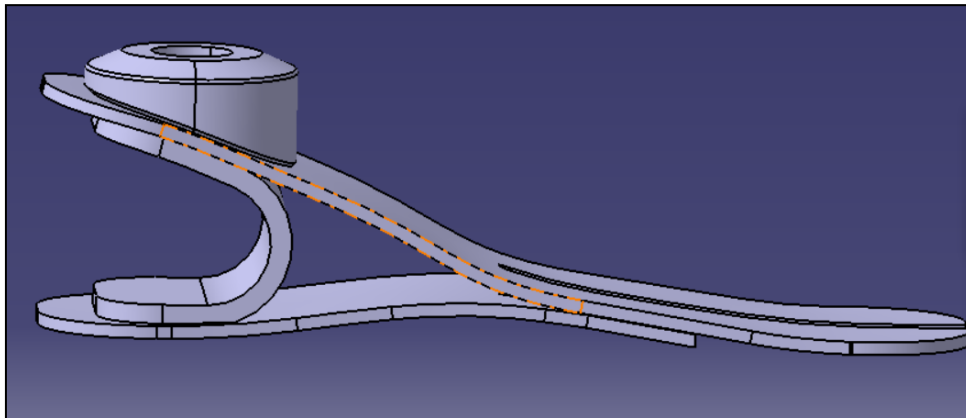
Daha önce yapılan protez bacaklara göre yapılan farklılıklar bu bölümde anlatılacaktır. Her bir parçanın tasarımı yapılırken maliyet, hafiflik ve dayanıklılık göz önünde bulundurulmuştur. Tasarımı yapılan bacak parçaları aşağıdaki gibidir.

- Ayak adaptörü
- Ayak adaptör piramiti
- Pylon adaptörü
- Pylon Tüpü
- Pylon sıkma adaptörü
- Soket piramiti
- Soket adaptörü

Yukarıdaki 7 parçanın tasarımları aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

7.1. Ayak Adaptörü

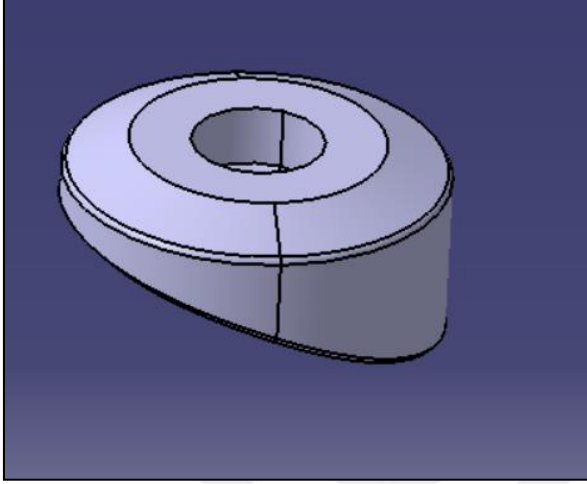
Ayak adaptörü ayağın şekline göre ve ayağa dik olacak şekilde tasarlanmıştır. Malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir. Ayak adaptörün ayağa geçme şekli resim 7.1’de gösterilmiştir.



Resim 7.1. Ayak adaptörünün ayak modelindeki konumu

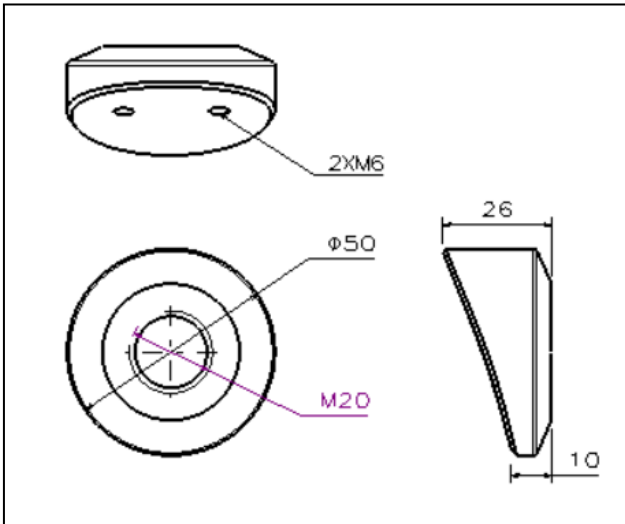
Ayak piramitinin malzemesi farklı seçildiği için ve dişli geçmeli bir yapı tercih edilmiştir. Bunun sebeplerinden birisi de malzeme farklılığından dolayı kaynak yapılamayıştıdır.

Keskin köşeleri önlemek için daptörün çevresine pah kırılmıştır. Ayak yapısı düz olmadığı için ayak yapısına göre tasarlanmış ve M6 cıvata ile ayağa bağlanmıştır. Model resim 7.2’de gösterilmektedir.



Resim 7.2. Ayak adaptörü

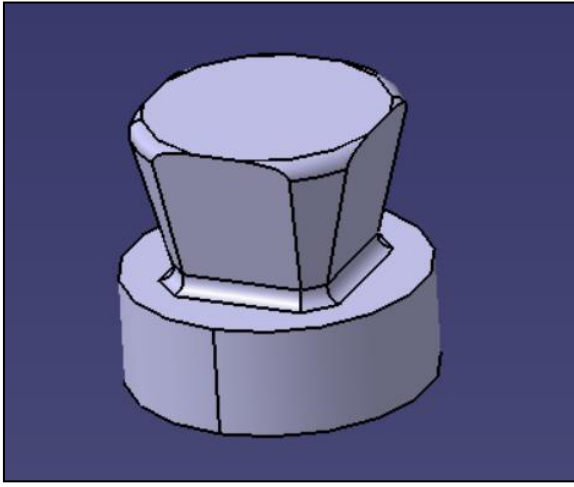
Ayak adaptörünün tasarımı catia v5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 8.1. bölümde anlatılmaktadır. Adaptör ölçüleri resim 7.3’te gösterilmiştir.



Resim 7.3. Ayak adaptör ölçüleri

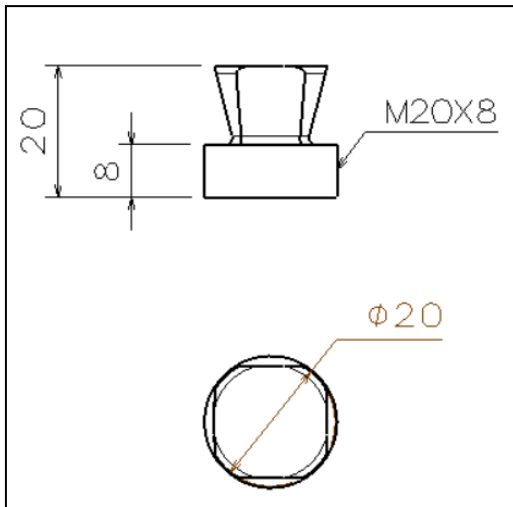
7.2. Ayak Adaptör Piramiti

Ayak adaptör piramiti ayak adaptörüne dişli geçmeli bir yapı olarak tasarlanmıştır. Malzemesi 316 paslanmaz çelik olarak seçilmiştir. Bilek hareketi daha çok piramit sayesinde gerçekleşeceği için daha dayanıklı bir malzeme seçilmiştir. M8 setuskur cıvatalar ile piramit yapı sayesinde bilek hareketi kolaylaştırılmıştır. Malzemenin paslanmaz çelik seçilmesinin diğer bir nedeni de piramitin setskur cıvata ile sürekli temas halinde olmasıdır. Model resim 7.4'te gösterilmektedir.



Resim 7.4. Ayak adaptör piramiti

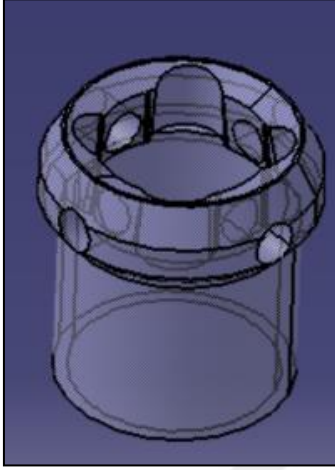
Piramit tasarımı Catia V5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 8.2. bölümde anlatılmaktadır. Piramit ölçüleri resim 7.5'te gösterilmiştir.



Resim 7.5. Ayak adaptör piramit ölçüleri

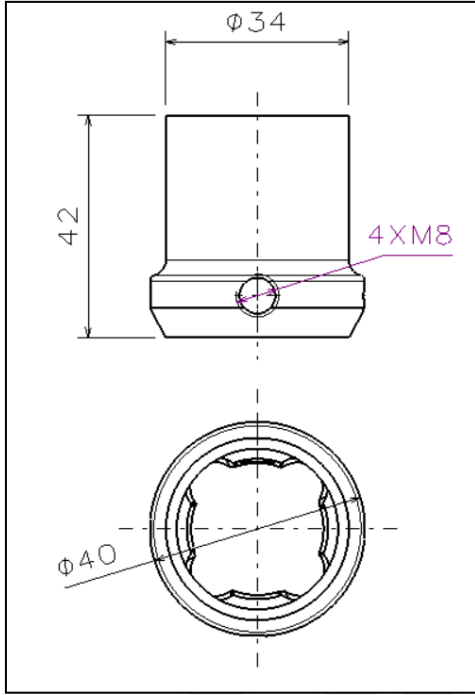
7.3. Pylon Adaptörü

Pylon adaptörü ayak adaptör piramidine göre tasarlanmıştır. Birbirine geçmeli bir yapı olduğu için pylon adaptörünün iç kısmı piramit yapının dışı şeklini almıştır. Adaptörün malzemesi 6061-T6 alüminyumdur. Ayak adaptör piramidine M8 setskur cıvata ile bağlanmıştır. Model resim 7.6’da gösterilmektedir.



Resim 7.6. Pylon adaptörü

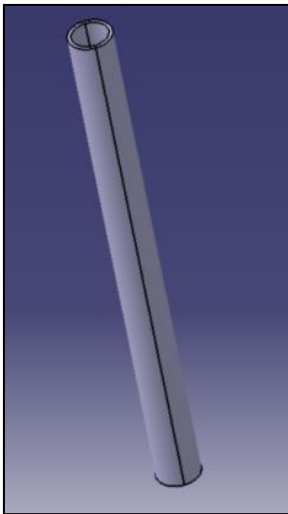
Adaptör tasarımı Catia V5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 8.3. bölümde anlatılmaktadır Adaptörün ölçüleri resim 7.7’de gösterilmektedir.



Resim 7.7. Pylon adaptör ölçüleri

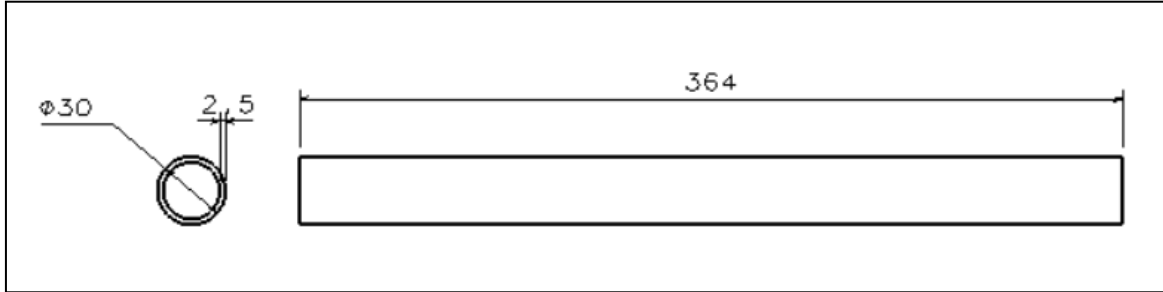
7.4. Pylon Tüpü

Pylon tüpü pylon adaptörüne ve boru sıkma adaptörüne sıkı geçme olacak şekilde tasarlanmıştır. Malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir. Cidar kalınlığı 2.5 mm seçilip daha hafif ve daha dayanıklı bir yapı olması sağlanmıştır. Model resim 7.8’de gösterilmektedir.



Resim 7.8. Pylon tüpü

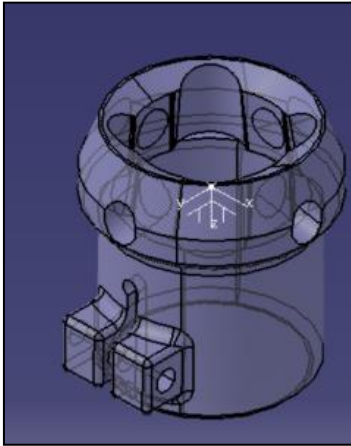
Pylon tüpü tasarımı Catia V5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 8.4. bölümde anlatılmaktadır Pylon tüpünün ölçüleri resim 7.9'da gösterilmektedir.



Resim 7.9. Pylon tüpü ölçüleri

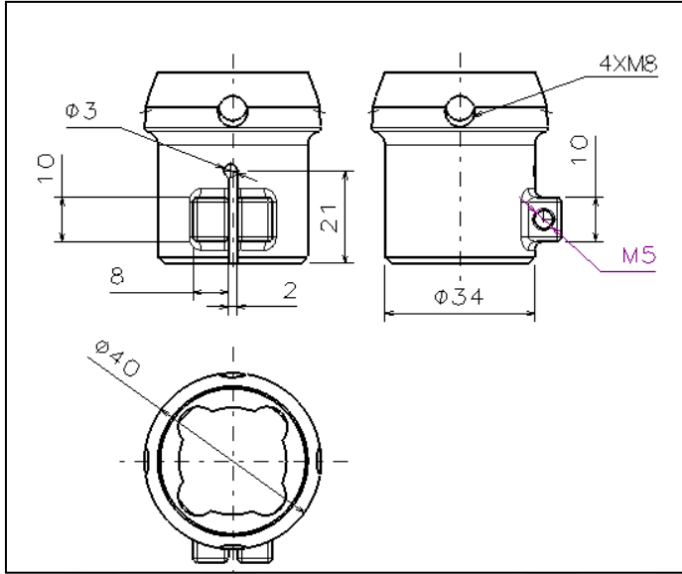
7.5. Pylon Sıkma Adaptörü

Pylon sıkma adaptörü pylon tüpüne geçtikten sonra M5 cıvata ile sıkılacaktır. Pylon sıkma adaptörü pylon tüpü ile soket arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Pylon sıkma adaptörünün iç kısmı soket piramitinin dişi şeklini almıştır. Adaptör ve soket piramiti m8 setuskur cıvata ile bağlanacaktır. Model resim 7.10'da gösterilmiştir.



Resim 7.10. Pylon sıkma adaptörü

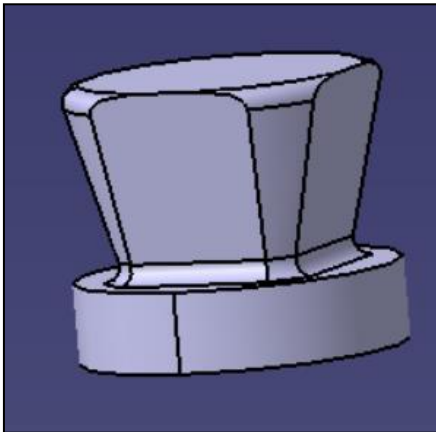
Boru sıkma adaptörünün tasarımı Catia V5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 8.5. bölümde anlatılmaktadır. Boru sıkma adaptörünün ölçüleri resim 7.11'de gösterilmektedir.



Resim 7.11. Pylon sıkma adaptör ölçüleri

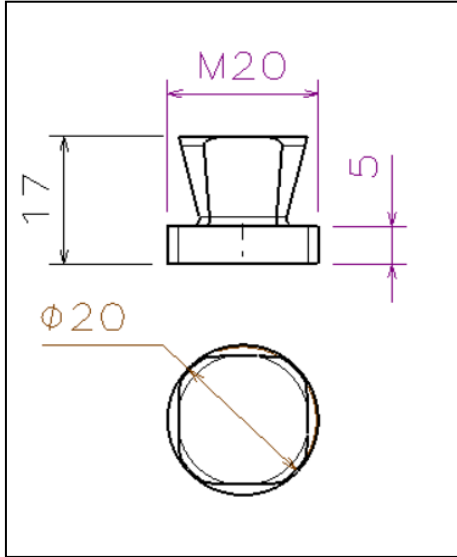
7.6. Soket Piramiti

Soket piramiti soket adaptörüne dişli geçmeli bir yapı olarak tasarlanmıştır. Malzemesi paslanmaz çelik aısı 4140 olarak seçilmiştir. Bilek hareketini ve bacak hareketini daha çok piramit yapı sayesinde gerçekleştireceği için daha dayanıklı bir malzeme seçilmiştir. M8 setuskur cıvatalar ile piramit yapı sayesinde bilek ile bacak dönme hareketi kolaylaştırılmıştır. Malzemenin paslanmaz çelik seçilmesinin diğer bir nedeni de piramitin setskur cıvata ile sürekli temas halinde olmasıdır. Model resim 7.12’de gösterilmektedir.



Resim 7.12. Soket piramiti

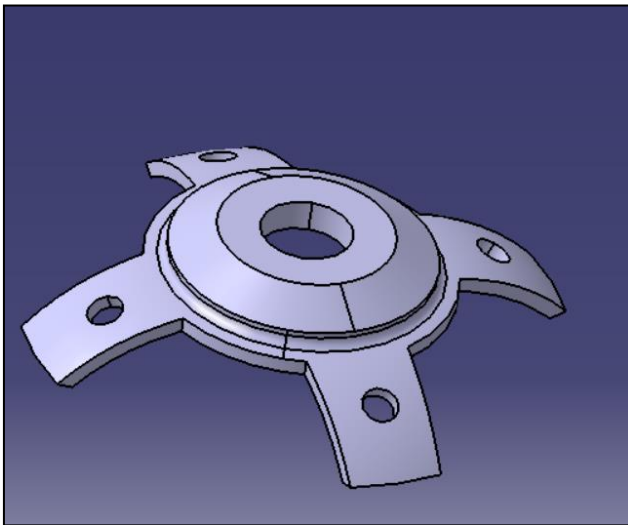
Soket piramitinin tasarımı Catia V5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 8.6. bölümde anlatılmaktadır Piramitin ölçüleri resim 7.13'te gösterilmektedir.



Resim 7.13. Soket piramit ölçüleri

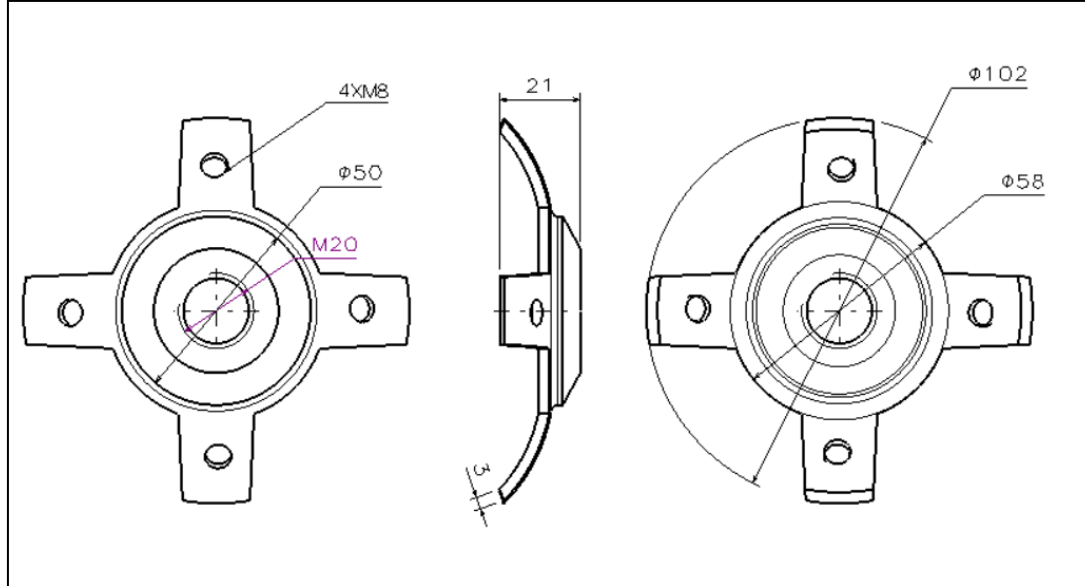
7.7. Soket Adaptörü

Soket ile geri kalan kısmın bağlanmasını sağlayan adaptördür. Sokete M8 cıvatalar ile bağlanacaktır. Malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir. Soket piramiti M20 diş ile adaptöre bağlanması için M20 lik diş açılmıştır. Model resim 7.14'te gösterilmektedir.



Resim 7.14. Soket adaptörü

Soket adaptörünün tasarımı Catia V5 programında yapılmış olup ansys programı ile de analizi yapılmıştır. Analiz 8.7. bölümde anlatılmaktadır Adaptörün ölçüleri resim 7.15'te gösterilmektedir



Resim 7.15. Soket adaptör ölçüleri



8. BACAK PARÇALARININ ANALİZİ

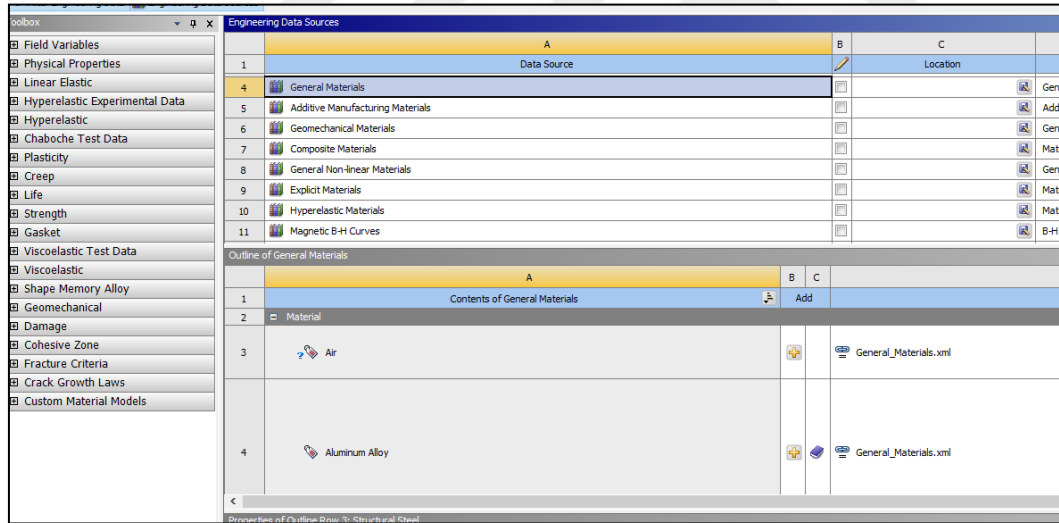
Bacak parçalarının malzemesi alüminyum ve çelik malzemeden oluştuğu için direk olarak static structural modülü kullanılarak analiz yapılmıştır. Aşağıda detaylı olarak parçaların analizi anlatılmaktadır.

8.1. Ayak Adaptör Parçasının Analizi

Static structural modülündeki bölümler aşağıda sırası ile anlatılmaktadır.

Engineering data

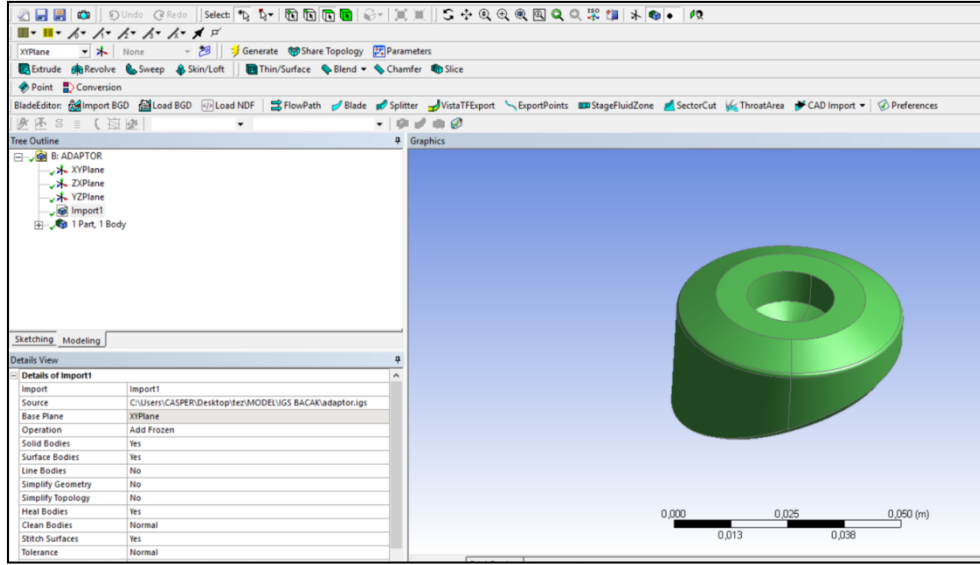
Ayağa bağlanan piramit parçasının malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir ve resim 8.1’de gösterilmektedir.



Resim 8.1. Ayak adaptör modelinin malzeme seçimi

Geometry

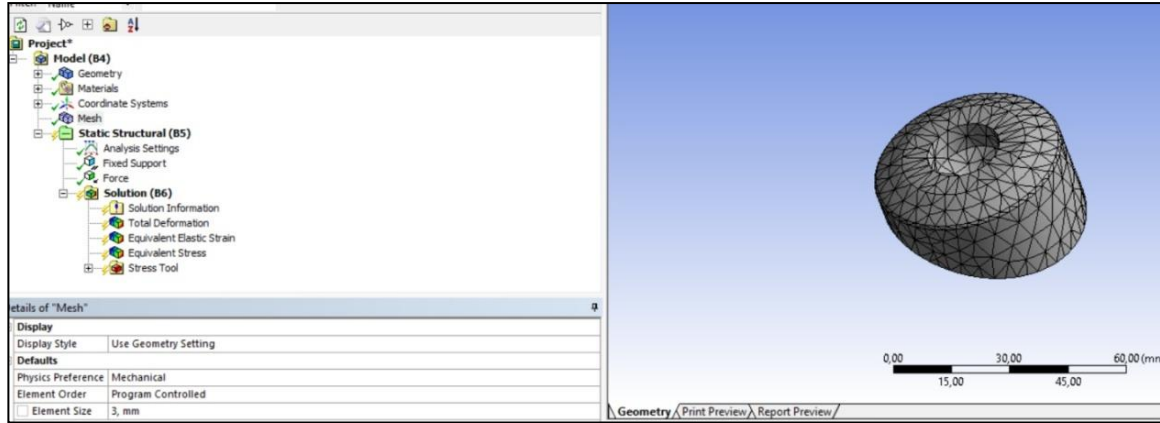
Geometry bölümünde parça step datası halinde çağrılır ve tanımlanır. Resim 8.2’de ansys ara yüzüne aktarılan adaptör gösterilmektedir.



Resim 8.2. Ayak adaptör modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması

Model

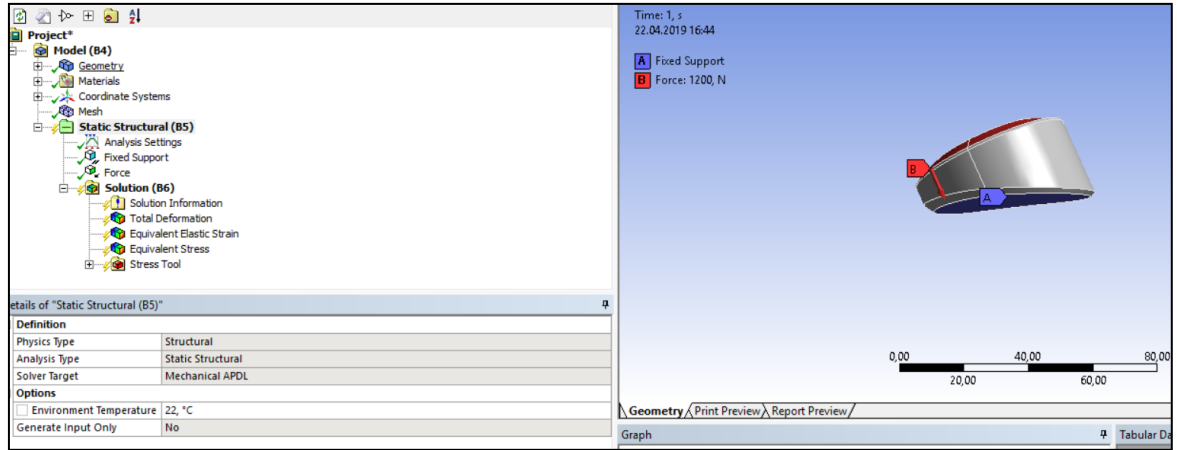
Bu bölümde parçaya mesh atanmaktadır. Meshi kendimiz belirleyeceğimiz için facing size komutunu kullanarak parçaya resim 8.3'teki gibi 3 mm mesh atılıp parça üzerindeki değerlendirmeler yapılmaktadır.



Resim 8.3. 3 mm mesh atılmış ayak adaptör modeli

Setup

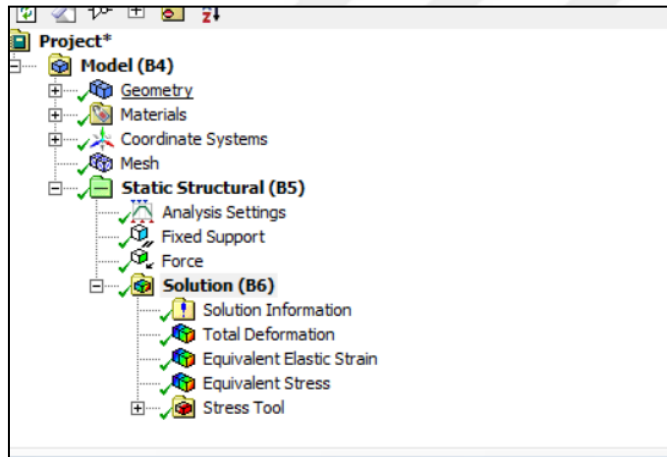
Bu bölümde 3 mm mesh uygulanan ayak adaptör parçasının omurgaya bağlanan kısmı sabit tutulum üst yüzeyden 1200 N luk kuvvet uygulanmaktadır ve resim 8.4'te gösterilmektedir.



Resim 8.4. Ayak adaptör modeline kuvvet uygulanması

Solution

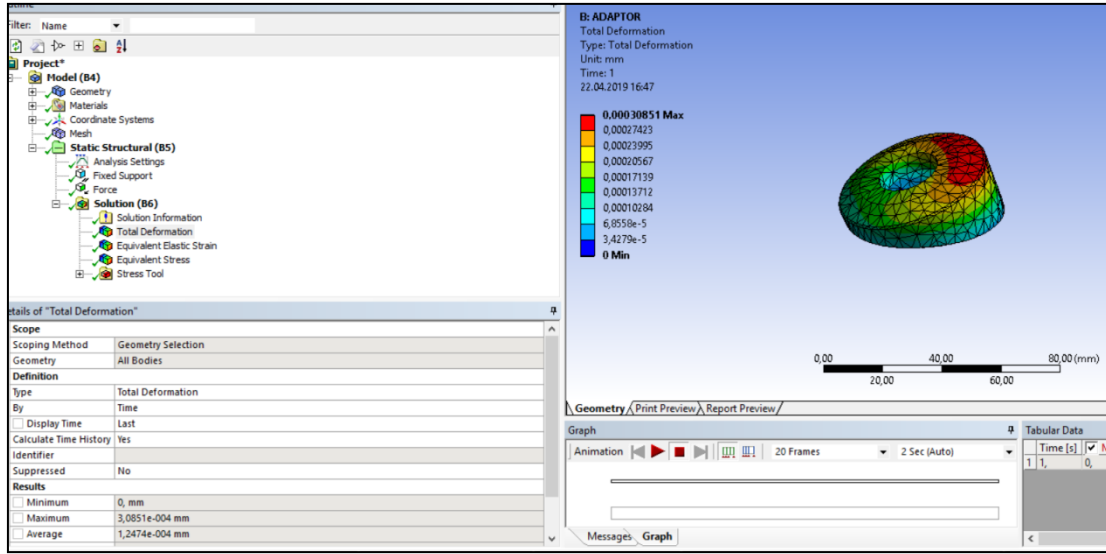
Bu bölümde resim 8.5'te gösterilen değerler değerlendirilecektir.



Resim 8.5. Ayak adaptör modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler

Total deformation (Toplam deformasyon)

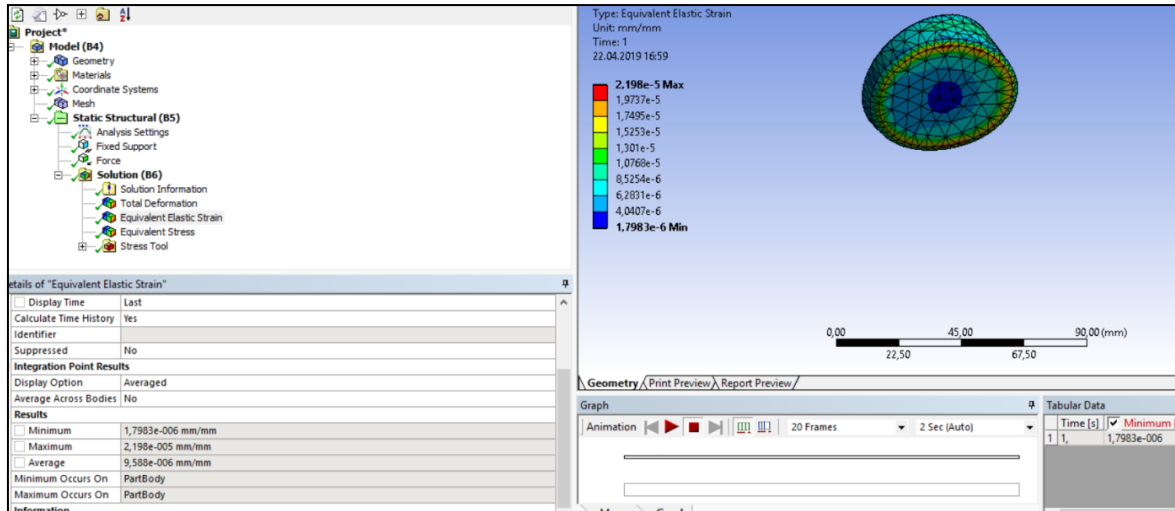
Parçadaki maksimum toplam deformasyon resim 8.6'da gösterilen kırmızı bölgede olup 0.0003 mm dir. Minimum deformasyon ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0 mm dir



Resim 8.6. Ayak adaptör modelinde yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

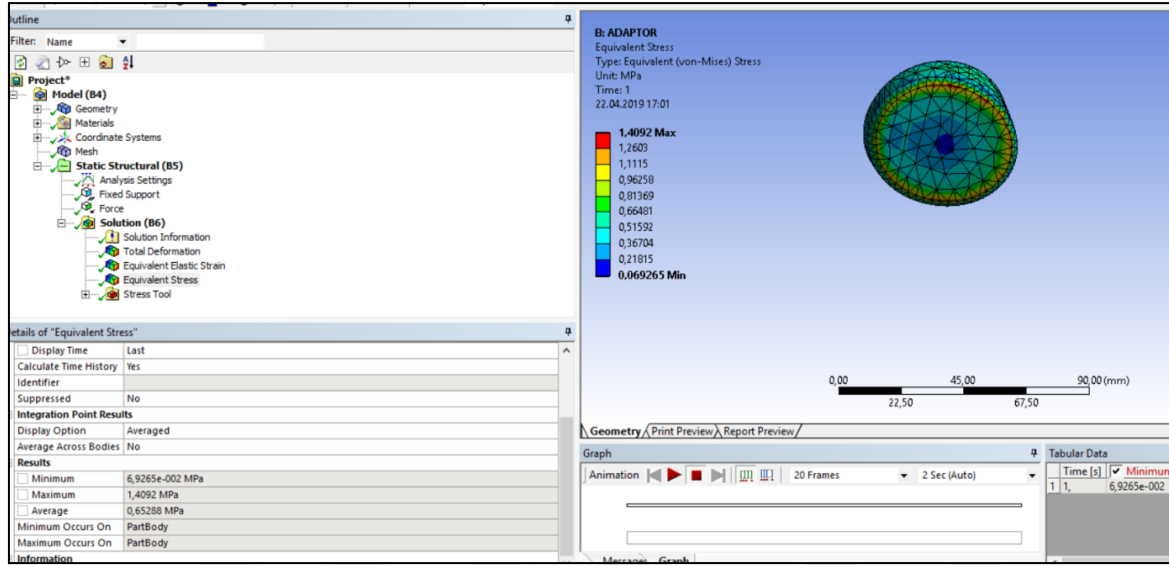
Parçadaki maksimum eşdeğer elastik şekil değiştirme resim 8.7’de gösterilen kırmızı bölgede olup $2,198\text{e-}005$ mm/mm dir. Minimum elastik şekil değiştirme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup $1,7983\text{e-}006$ mm/mm dir.



Resim 8.7. Ayak adaptör modelinde yükleme durumundaki E.E.S

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

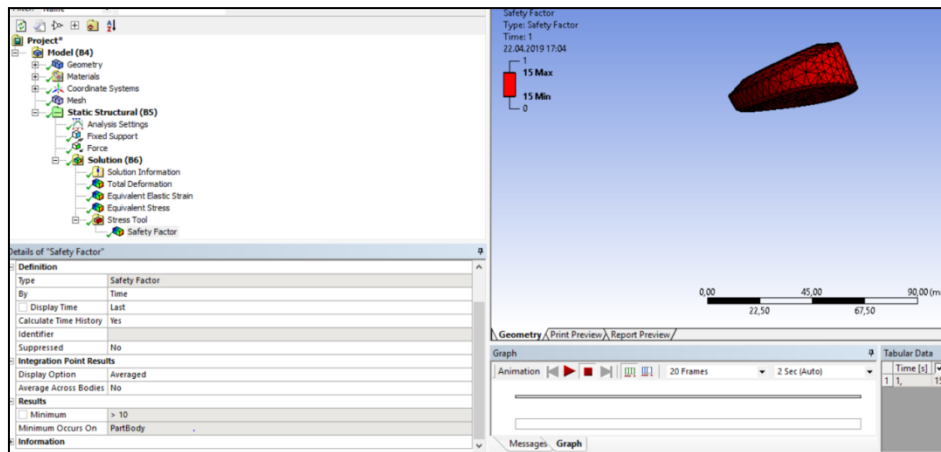
Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme resim 8.8’de gösterilen kırmızı bölgede olup 1,4092 MPa dır. Minimum gerilme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 6,9265e-002 MPa dır.



Resim 8.8. Ayak adaptör modelinde yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

Parçadaki resim 8.9’da gösterile emniyet faktörü maksimum ve minimum 15 dir. Emniyet faktörü 1 den büyük olduğu için parça 1200 N luk yüke karşı dayanıklıdır.



Resim 8.9. Ayak adaptör modelinde yükleme durumundaki S.F.

8.2. Ayak Adaptör Piramit Parçasının Analizi

Static structural modülündeki bölümler aşağıda sırası ile anlatılmaktadır.

Engineering data

Ayağa bağlanan piramit parçasının malzemesi 316 paslanmaz çelik seçilmiştir ve resim 8.10’da gösterilmektedir.

Field Variables	A	B	C	D
Physical Properties	1	Data Source	Location	Description
Linear Elastic	4	General Materials		General use material samples for use in various analyses.
Hyperelastic Experimental Data	5	Additive Manufacturing Materials		Additive manufacturing material samples for use in analyses.
Hyperelastic	6	Geomechanical Materials		General use material samples for use with geomechanical analyses.
Chaboche Test Data	7	Composite Materials		Material samples specific for composite structures.
Elasticity	8	General Non-linear Materials		General use material samples for use in non-linear analyses.
Creep	9	Explicit Materials		Material samples for use in an explicit analysis.
Life	10	Hyperelastic Materials		Material stress-strain data samples for curve fitting.
Strength				
Gasket				
Viscoelastic Test Data				
Viscoelastic				
Shape Memory Alloy				
Geomechanical				
Damage				
Cohesive Zone				
Fracture Criteria				
Crack Growth Laws				
Custom Material Models				

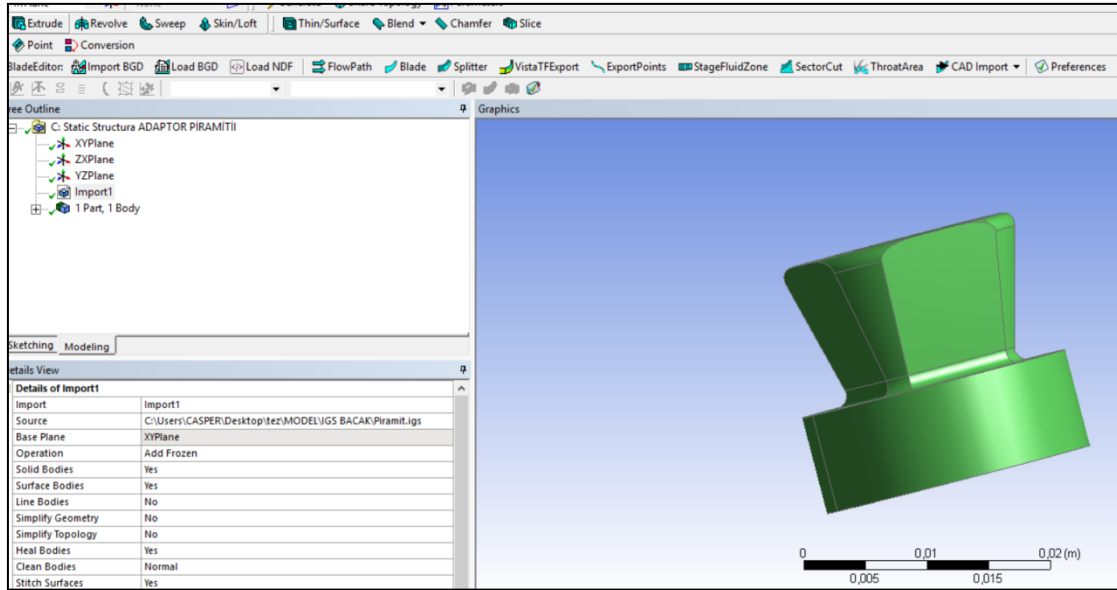
Outline of General Materials	A	B	C	D
1	Contents of General Materials	Add		Source
8	Gray Cast Iron		General_Materials.xml	
9	Magnesium Alloy		General_Materials.xml	
10	Polyethylene		General_Materials.xml	
11	Silicon Anisotropic		General_Materials.xml	
12	Stainless Steel		General_Materials.xml	

Properties of Outline Row 3: Structural Steel	A	B	C	D
1	Property	Value		
2	Density	7850		kg/m ³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Isotropic Elasticity			
11	Strain-Life Parameters			
19	S-N Curve		Tabular	
23	Tensile Yield Strength	2.5E+08		Pa
24	Compressive Yield Strength	2.5E+08		Pa
25	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08		Pa
26	Compressive Ultimate Strength	0		Pa

Resim 8.10. Ayak adaptör piramit modelinin malzeme seçimi

Geometry

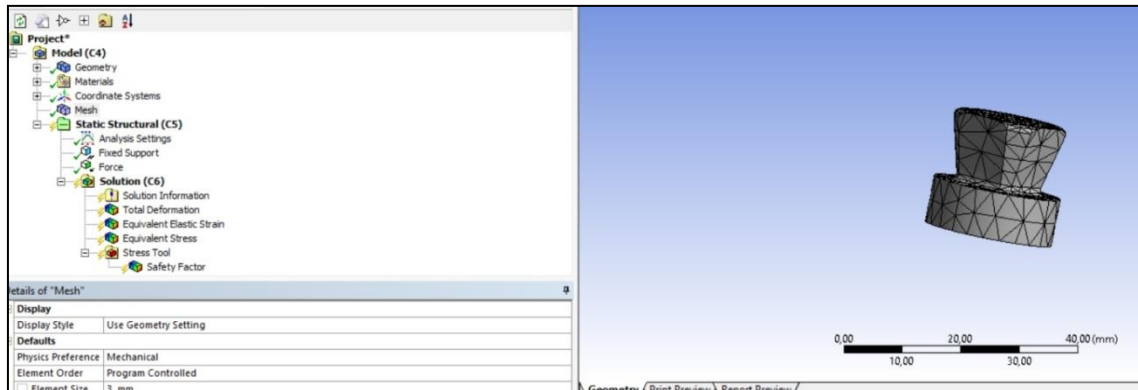
Geometry bölümünde parça step datası halinde çağrılır ve tanımlanır. Resim 8.11’de ansys ara yüzüne aktarılan adaptör piramiti gösterilmektedir.



Resim 8.11. Ayak adaptör piramit modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması

Model

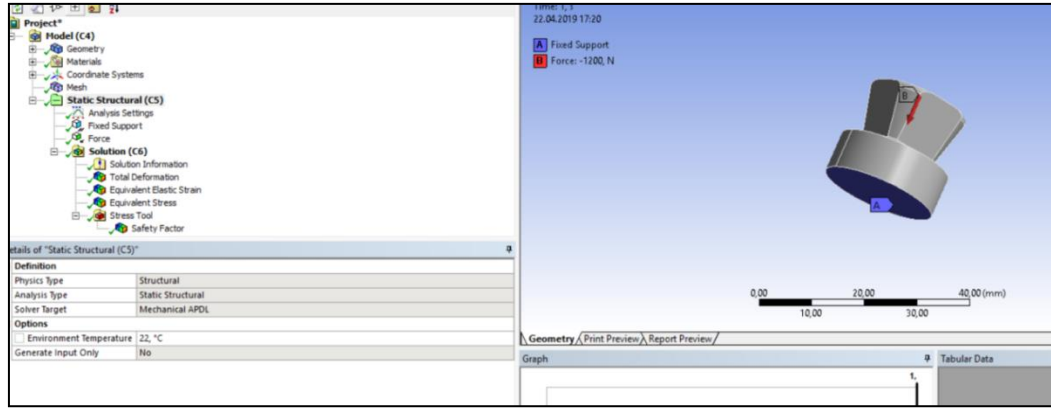
Bu bölümde parçaya mesh atanmaktadır. Facing size komutunu kullanarak parçaya 3 mm mesh atılıp parça üzerindeki değerlendirmeler yapılmaktadır.



Resim 8.12. 3 mm mesh atılmış ayak adaptör piramit modeli

Setup

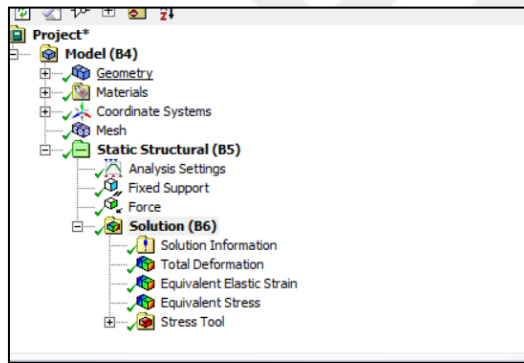
Bu bölümde parçanın adaptöre bağlama kısmının alt yüzeyi sabit tutulum üst yüzeyden 1200 N luk kuvvet uygulanmaktadır ve resim 8.13'te gösterilmektedir.



Resim 8.13. Ayak adaptör piramit modeline kuvvet uygulanması

Solution

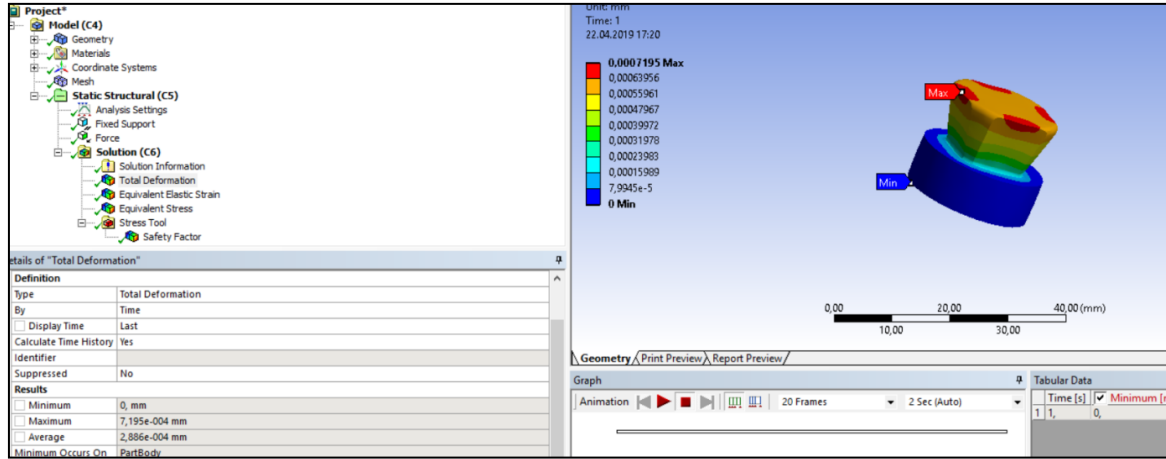
Bu bölümde resim 8.14'te gösterilen değerler değerlendirilecektir.



Resim 8.14. Ayak adaptör piramitinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler

Total deformation (Toplam deformasyon)

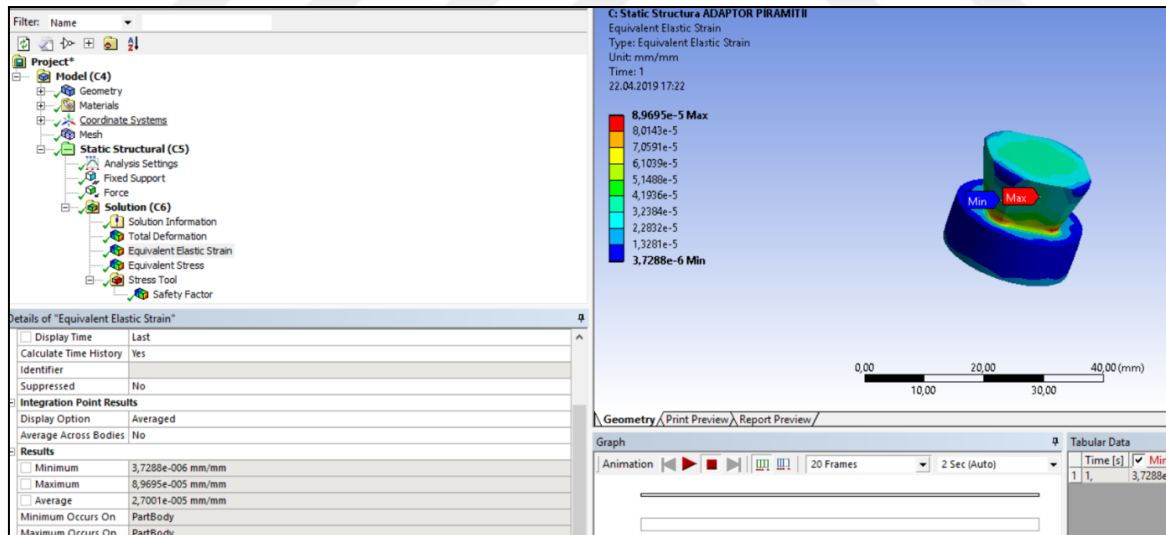
Parçadaki maksimum toplam deformasyon resim 8.15'te gösterilen kırmızı bölgede olup $7,195e-004$ mm dir. Minimum deformasyon ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0 mm dir



Resim 8.15. Ayak adaptör piramit modelinde yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

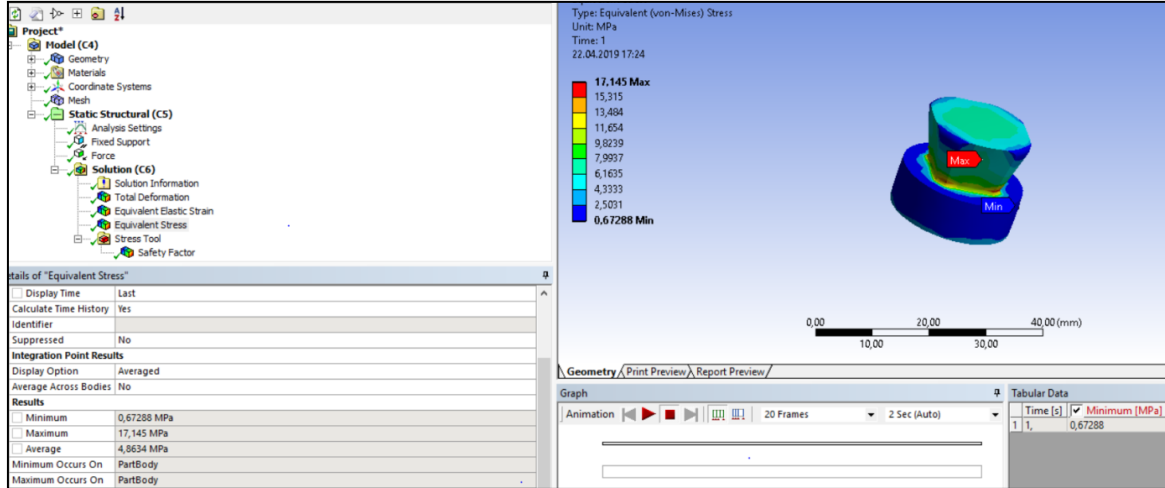
Parçadaki maksimum eşdeğer elastik şekil değiştirme resim 8.16'da gösterilen kırmızı bölgede olup $8,9695e-005$ mm/mm dir. Minimum elastik şekil değiştirme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup $3,7288e-006$ mm/mm dir.



Resim 8.16. Ayak adaptör piramit modelinde yükleme durumundaki E.E.S

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

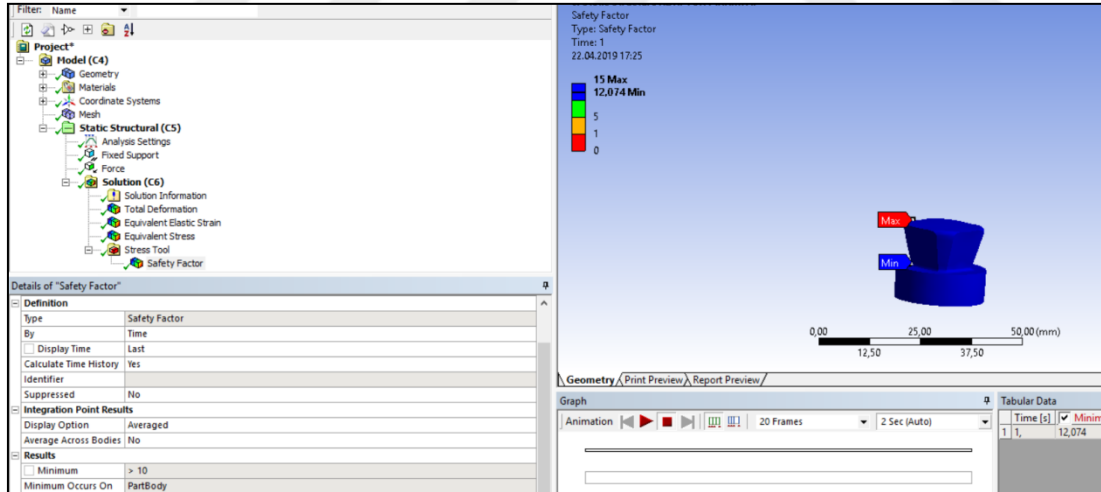
Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme resim 8.17'de gösterilen kırmızı bölgede olup 17,145 MPa dır. Minimum gerilme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0,67288 MPa dır.



Resim 8.17. Ayak adaptör piramit modelinde yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

Parçadaki resim 8.18’de gösterile emniyet faktörü maksimum 15 minimum 12.074 tür. Emniyet faktörü 1 den büyük olduğu için parça 1200 N luk yüke karşı dayanıklıdır.



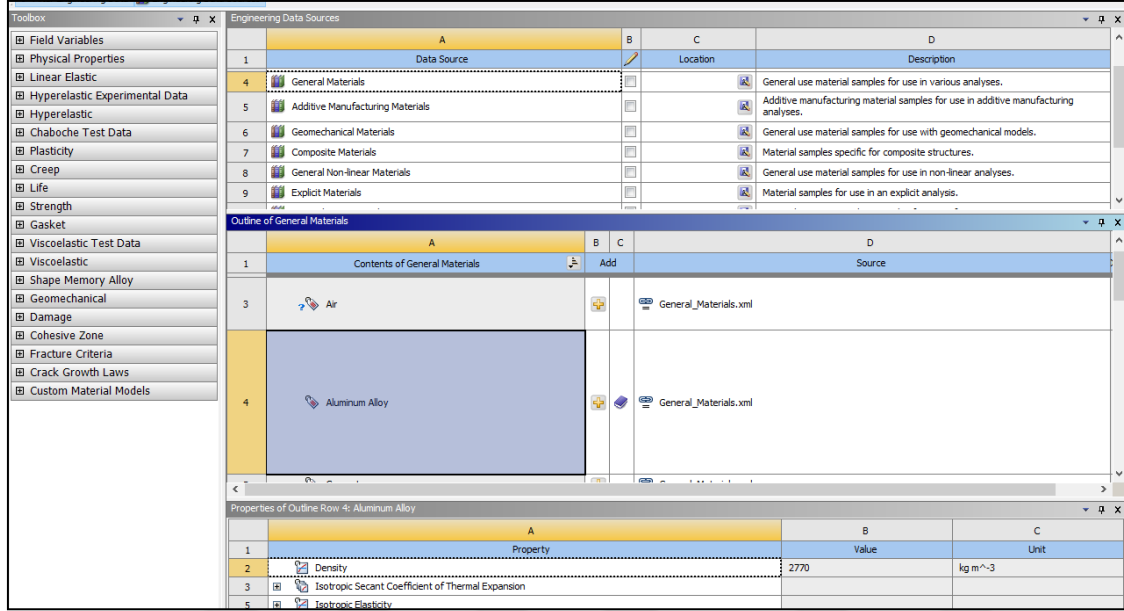
Resim 8.18. Ayak adaptör piramit modelinde yükleme durumundaki S.F.

8.3. Pylon Adaptör Parçasının Analizi

Static structural modülündeki bölümler aşağıda sırası ile anlatılmaktadır.

Engineering data

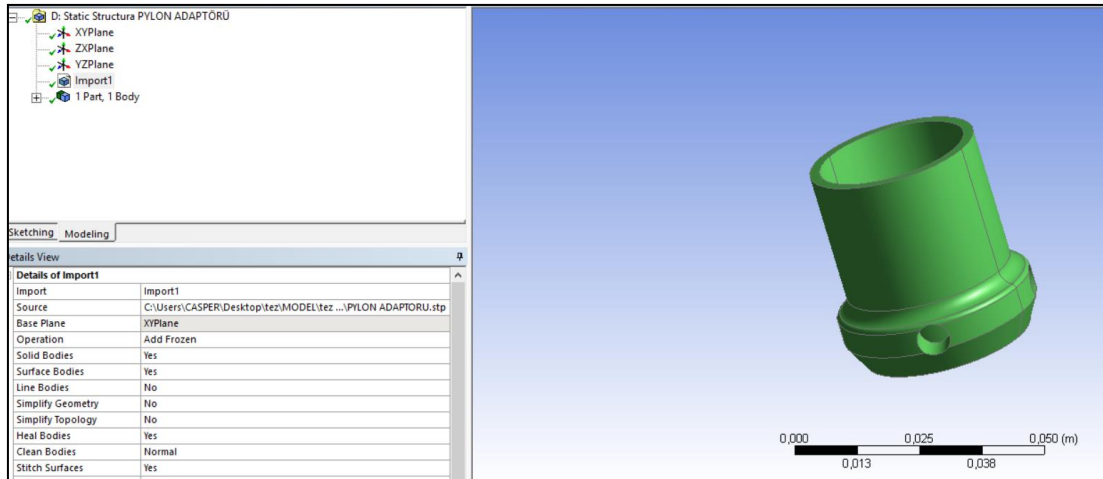
Ayağa bağlanan piramit parçasının malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir ve resim 8.19’da gösterilmektedir.



Resim 8.19. Pylon adaptör modelinin malzeme seçimi

Geometry

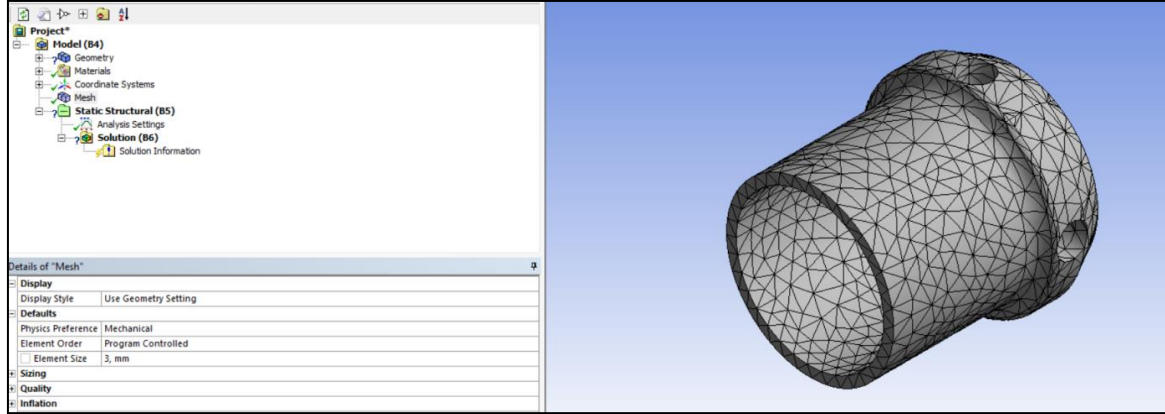
Geometry bölümünde parça step datası halinde çağrılır ve tanımlanır. Resim 8.20’de ansys ara yüzüne aktarılan pylon adaptör parçası gösterilmektedir.



Resim 8.20. Pylon adaptör modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması

Model

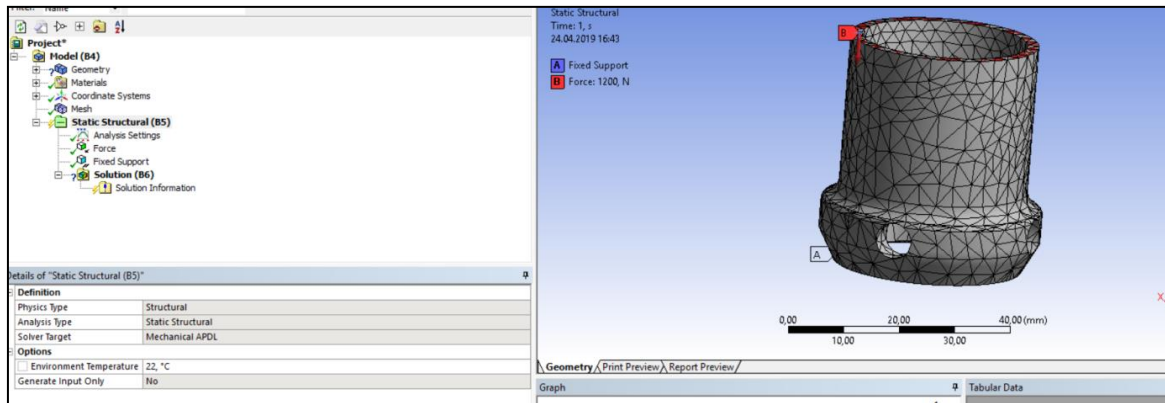
Bu bölümde parçaya mesh atanmaktadır. Facing size komutunu kullanarak parçaya resim 8.21’de gösterildiği gibi 3 mm mesh atılıp parça üzerindeki değerlendirmeler yapılmaktadır.



Resim 8.21. 3 mm mesh atılmış pylon adaptör modeli

Setup

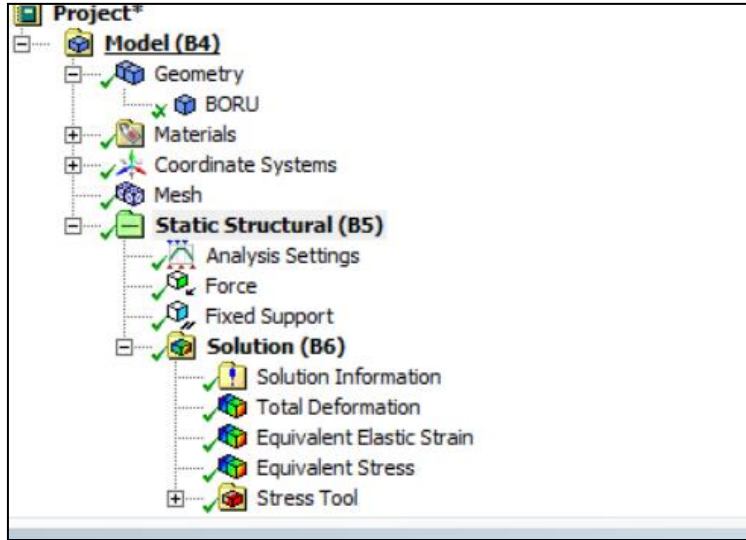
Bu bölümde 3 mm mesh atılan parçanın adaptöre değen kısmının alt yüzeyi sabit tutulum üst yüzeyden 1200 N luk kuvvet uygulanmaktadır ve resim 8.22’de gösterilmektedir.



Resim 8.22. Pylon adaptör modeline kuvvet uygulanması

Solution

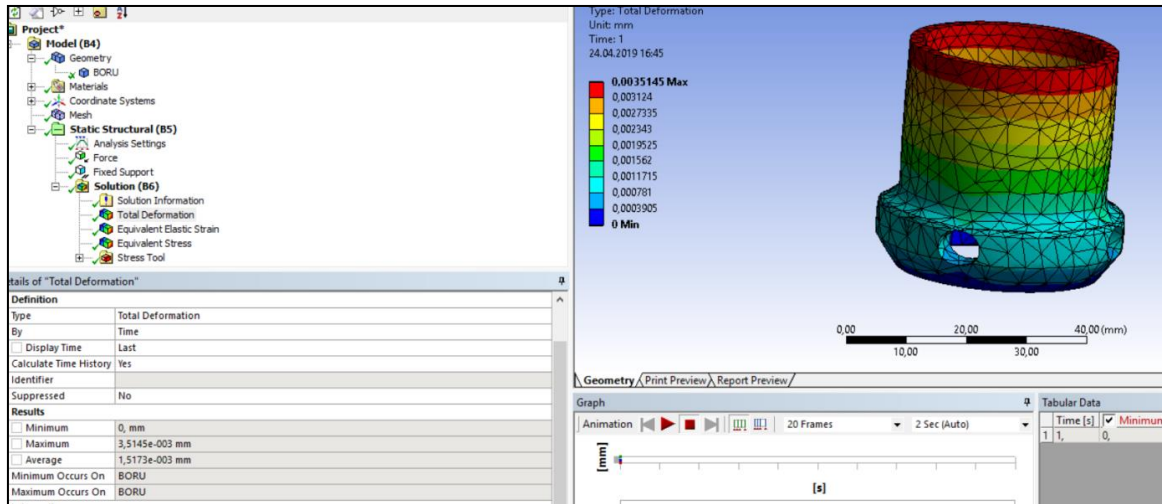
Bu bölümde resim 8.23’de gösterilen değerler değerlendirilecektir.



Resim 8.23. Pylon adaptör modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler

Total deformation (Toplam deformasyon)

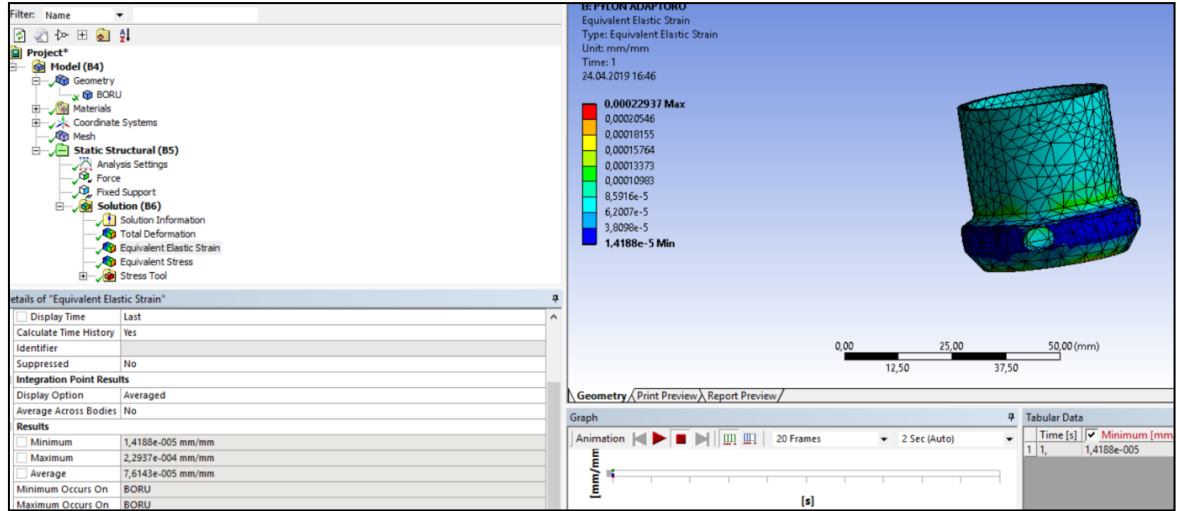
Parçadaki maksimum toplam deformasyon resim 8.24'te gösterilen kırmızı bölgede olup $3,5145 \times 10^{-3}$ mm dir. Minimum deformasyon ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0 mm dir



Resim 8.24. Pylon adaptör modelinde yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

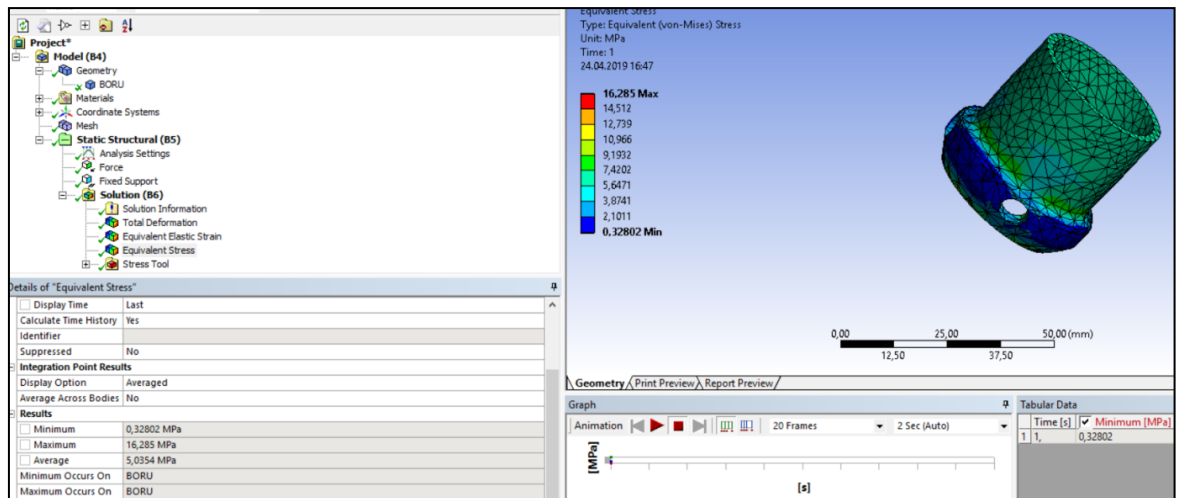
Parçadaki maksimum eşdeğer elastik şekil değiştirme resim 8.25'te gösterilen kırmızı bölgede olup $8,2937e-004$ mm/mm dir. Minimum elastik şekil değiştirme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup $1,4188e-005$ mm/mm dir.



Resim 8.25. Pylon adaptör modelinde yükleme durumundaki E.E.S.

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

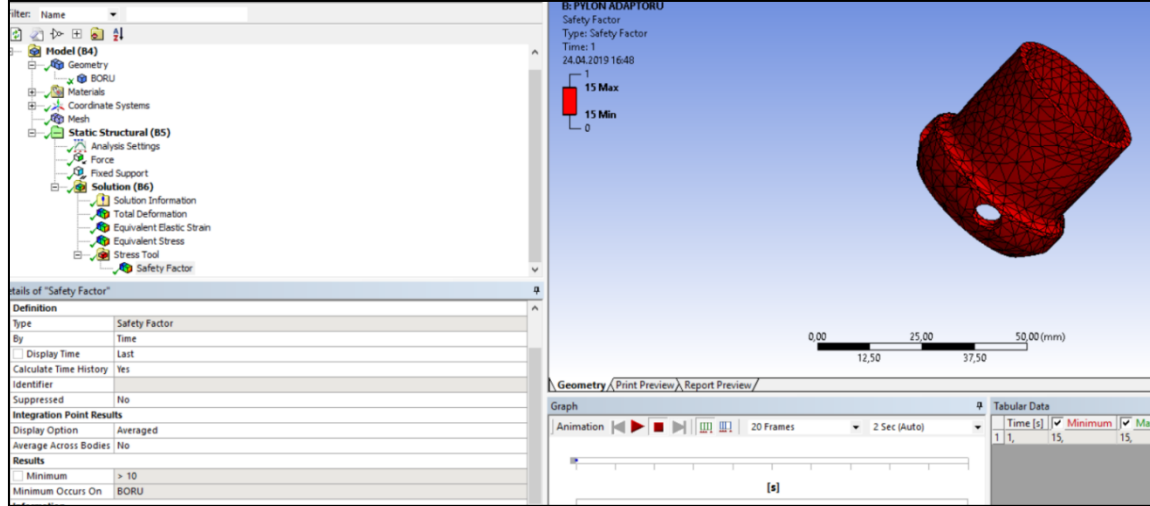
Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme resim 8.26'da gösterilen kırmızı bölgede olup 16,285 MPa dır. Minimum gerilme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0,32802 MPa dır.



Resim 8.26. Pylon adaptör modelinde yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

Parçadaki resim 8.27’de gösterile emniyet faktörü maksimum ve minimum 15 tir. Emniyet faktörü 1 den büyük olduğu için parça 1200 N luk yüke karşı dayanıklıdır.



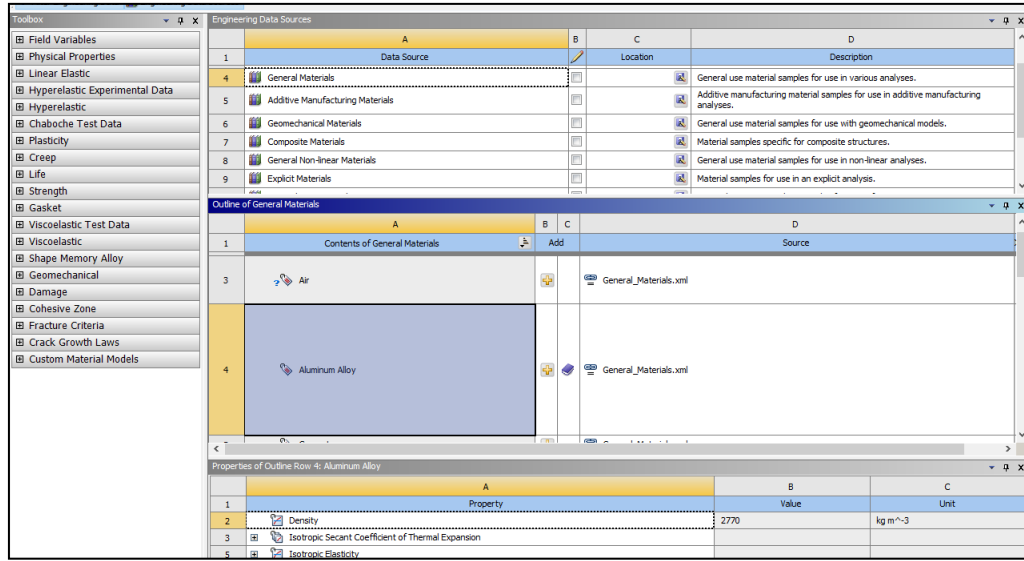
Resim 8.27. Pylon adaptör modelinde yükleme durumundaki S.F.

8.4. Pylon Parçasının Analizi

Static structural modülündeki bölümler aşağıda sırası ile anlatılmaktadır.

Engineering data

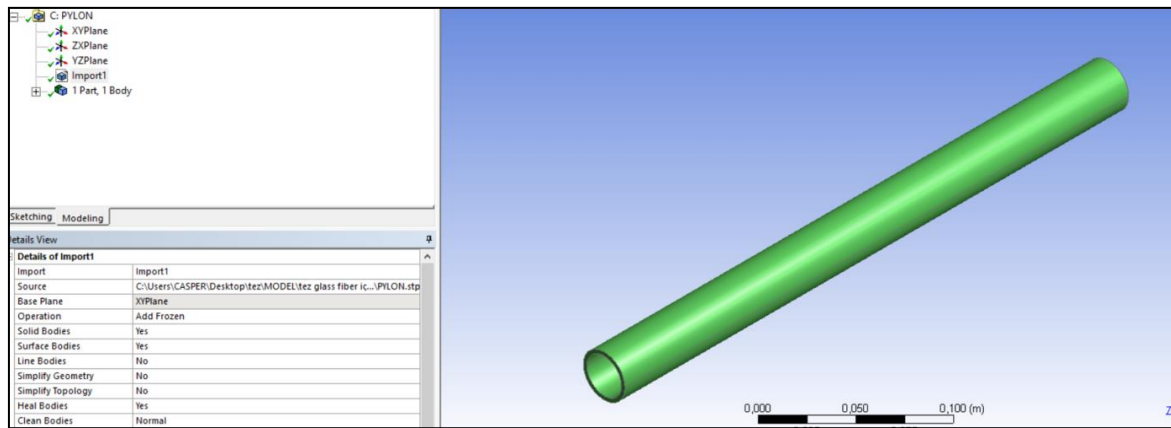
Ayağa bağlanan piramit parçasının malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir ve resim 8.28’de gösterilmektedir.



Resim 8.28. Pylon modelinin malzeme seçimi

Geometry

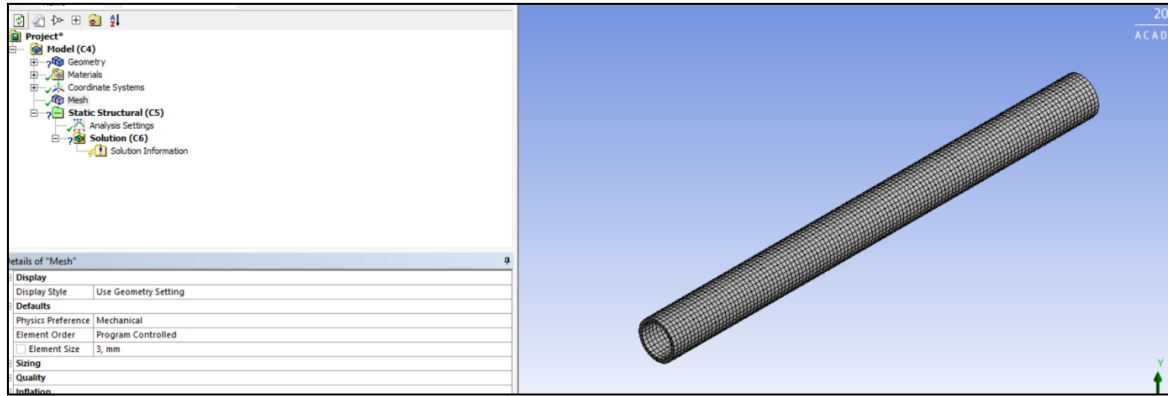
Geometry bölümünde parça stp datası halinde çağrılır ve tanımlanır. Resim 8.29’da ansys ara yüzüne aktarılan pylon parçası gösterilmektedir.



Resim 8.29. Pylon modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması

Model

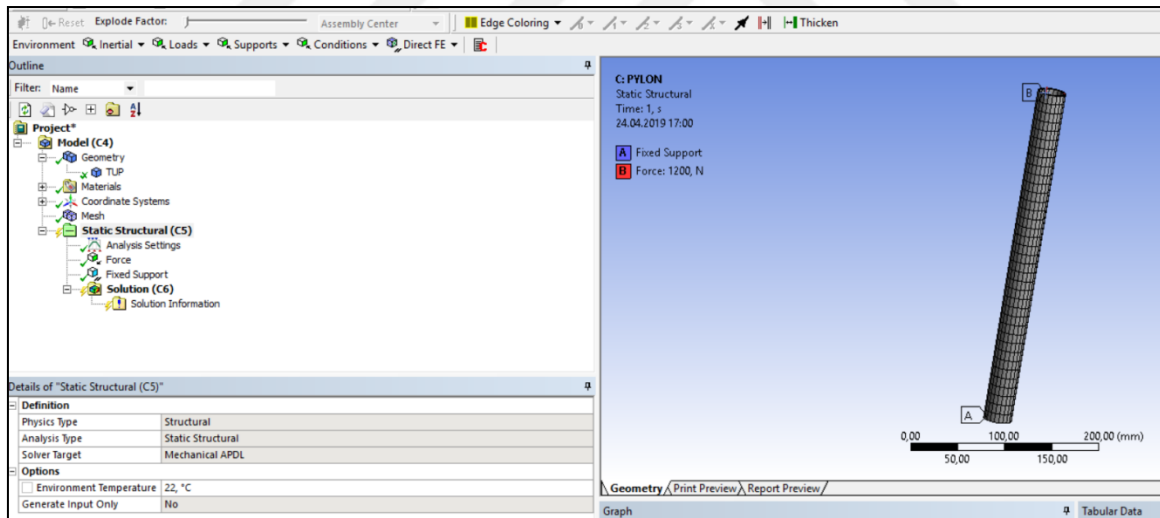
Bu bölümde parçaya mesh atanmaktadır. Facing size komutunu kullanarak resim 8.30’daki gibi parçaya 3 mm mesh atılıp parça üzerindeki değerlendirmeler yapılmaktadır.



Resim 8.30. 3 mm mesh atılmış pylon modeli

Setup

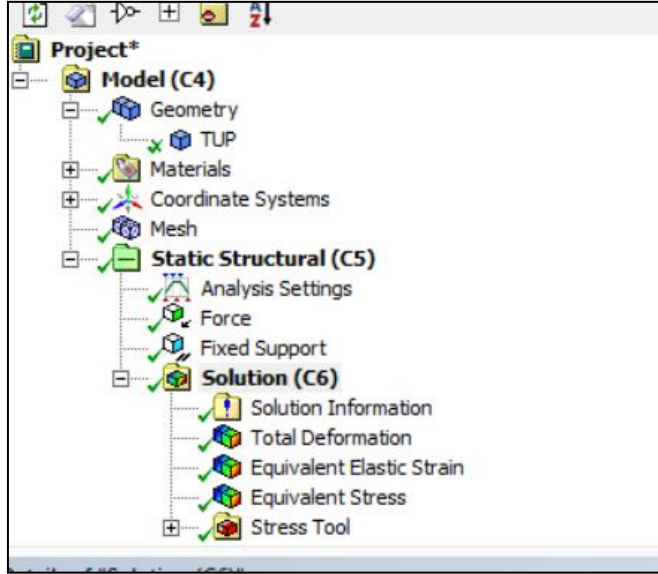
Bu bölümde 3 mm mesh atılan parçanın pylon adaptörüne sıkı geçme ile geçen kısmının alt yüzeyi sabit tutulup üst yüzeyden 1200 N luk kuvvet uygulanmaktadır ve resim 8.31’de gösterilmektedir.



Resim 8.31. Pylon modeline kuvvet uygulanması

Solution

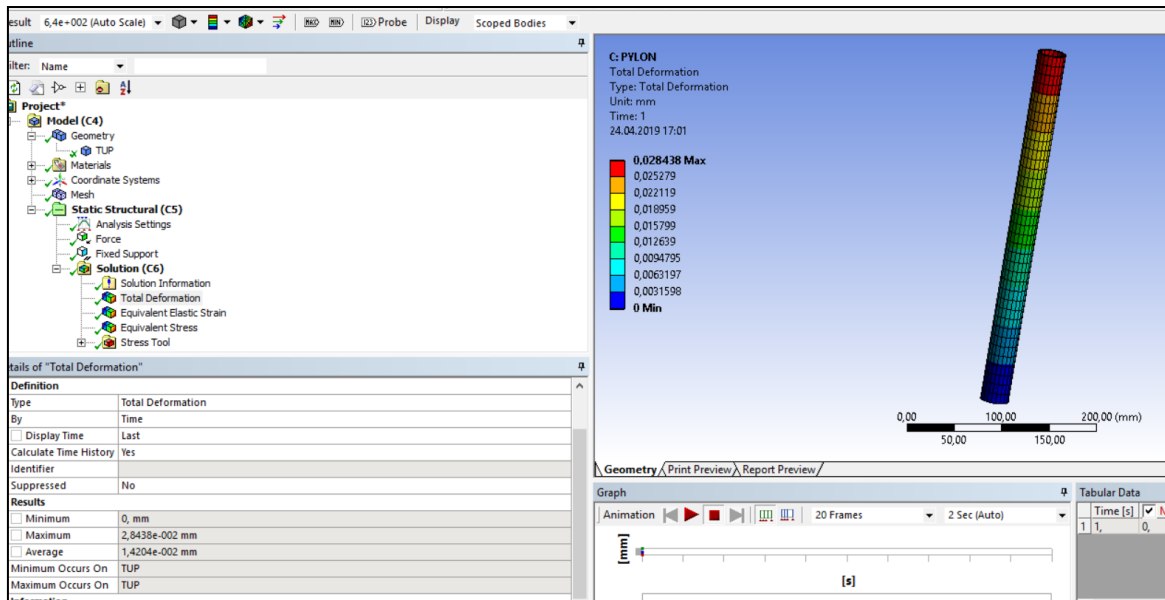
Bu bölümde resim 8.32’de gösterilen değerler değerlendirilecektir.



Resim 8.32. Pylon modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler

Total deformation (Toplam deformasyon)

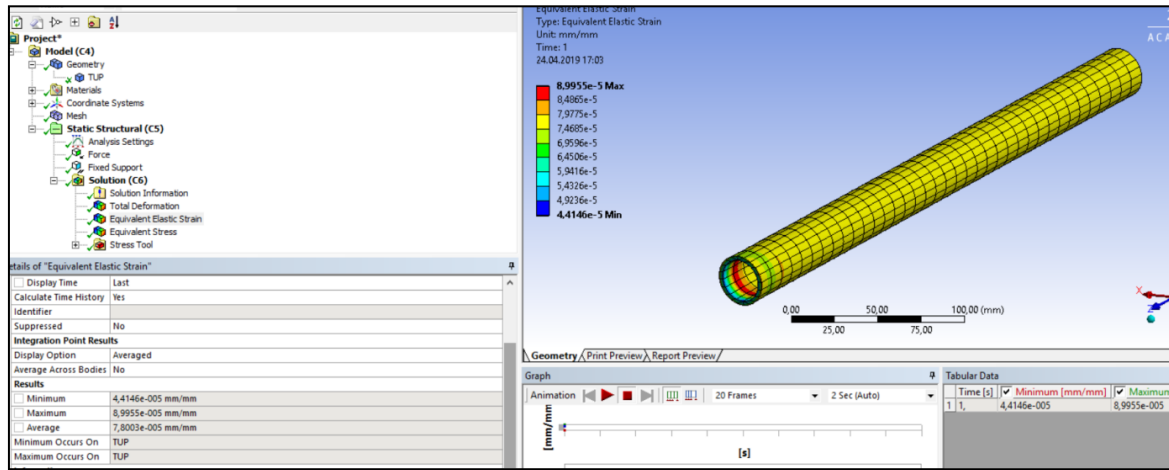
Parçadaki maksimum toplam deformasyon resim 8.33’de gösterilen parçanın üst bölgesinde oluşan kırmızı bölgede olup $2,8438 \times 10^{-2}$ mm dir. Minimum deformasyon ise parçasın sabitlenen kısmında oluşan koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0 mm dir



Resim 8.33. Pylon modelinde yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

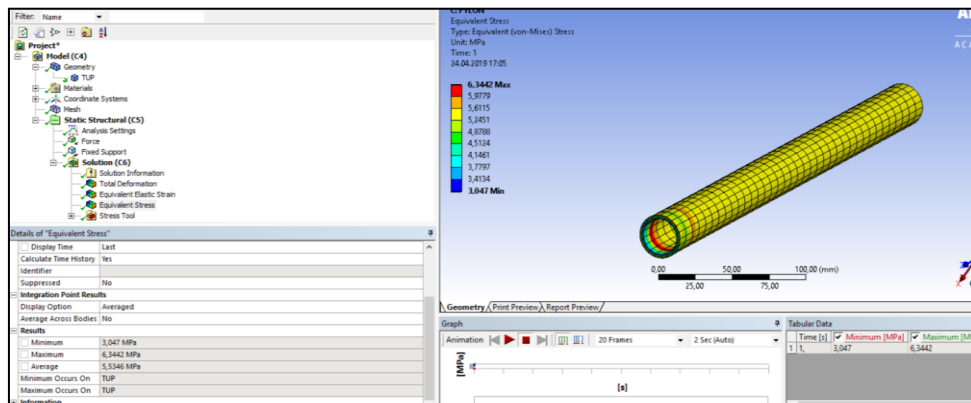
Parçadaki maksimum eşdeğer elastik şekil değiştirme resim 8.34'te gösterilen parçanın alt bölgesinde ve iç kısımda gözükten kırmızı bölgede olup $8,9955e-005$ mm/mm dir. Minimum elastik şekil değiştirme ise parçanın sabitleme yerinde gözükten koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup $4,4146e-005$ mm/mm dir.



Resim 8.34. Pylon modelinde yükleme durumundaki E.E.S.

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

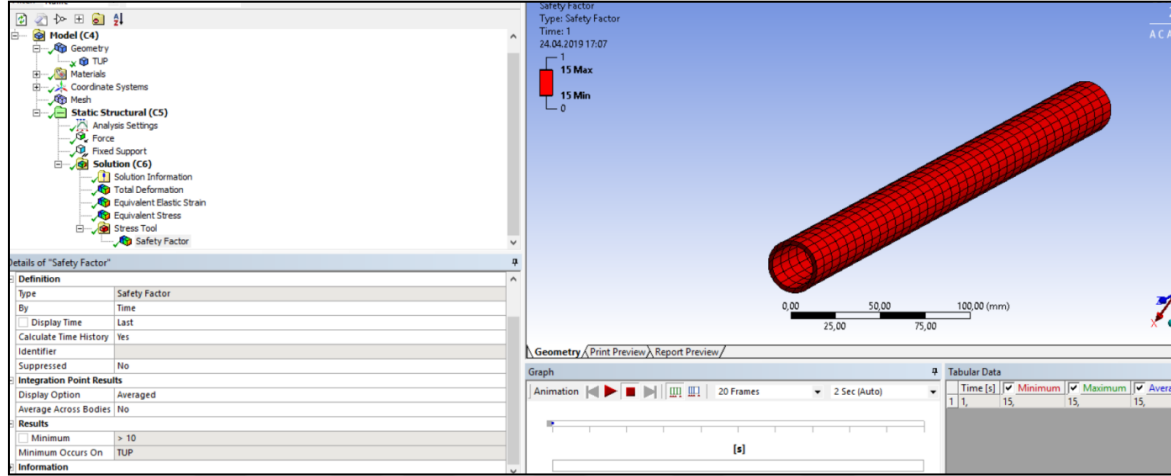
Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme resim 8.35'te gösterilen parçanın alt kısmının iç tarafında meydana gelen kırmızı bölgede olup 6,3442 MPa dır. Minimum gerilme ise parçanın sabitleme yerinin iç kısmında meydana gelen koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 3,047 MPa dır.



Resim 8.35. Pylon modelinde yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

Parçadaki resim 8.36’da gösterile emniyet faktörü maksimum ve minimum 15 tir. Emniyet faktörü 1 den büyük olduğu için parça 1200 N luk yüke karşı dayanıklıdır.



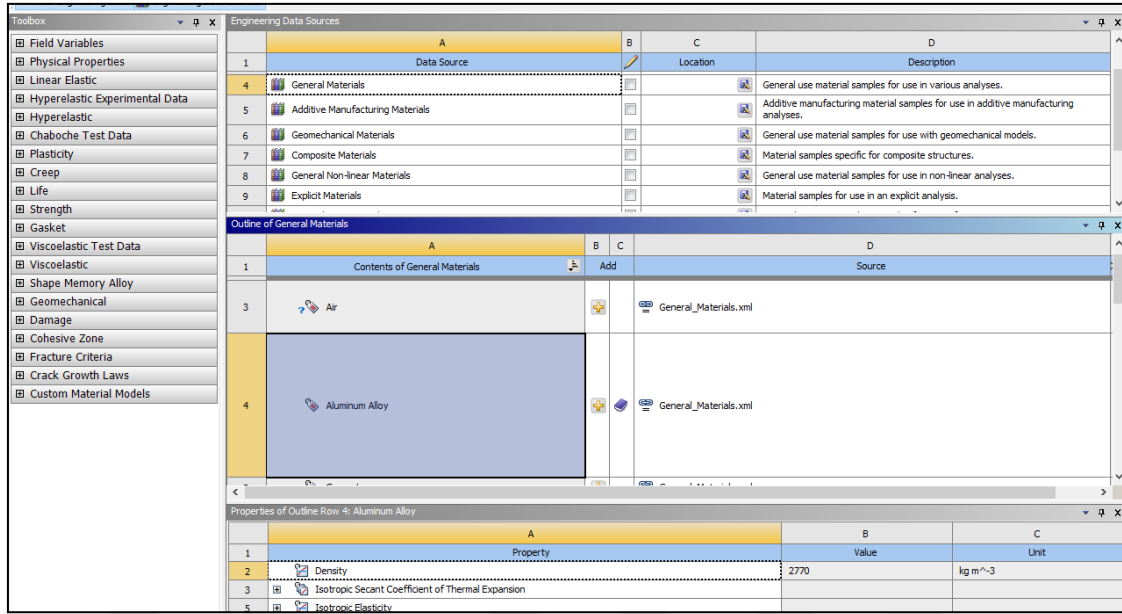
Resim 8.36. Pylon modelinde yükleme durumundaki S.F.

8.5. Pylon Sıkma Adaptör Parçasının Analizi

Static structural modülündeki bölümler aşağıda sırası ile anlatılmaktadır.

Engineering data

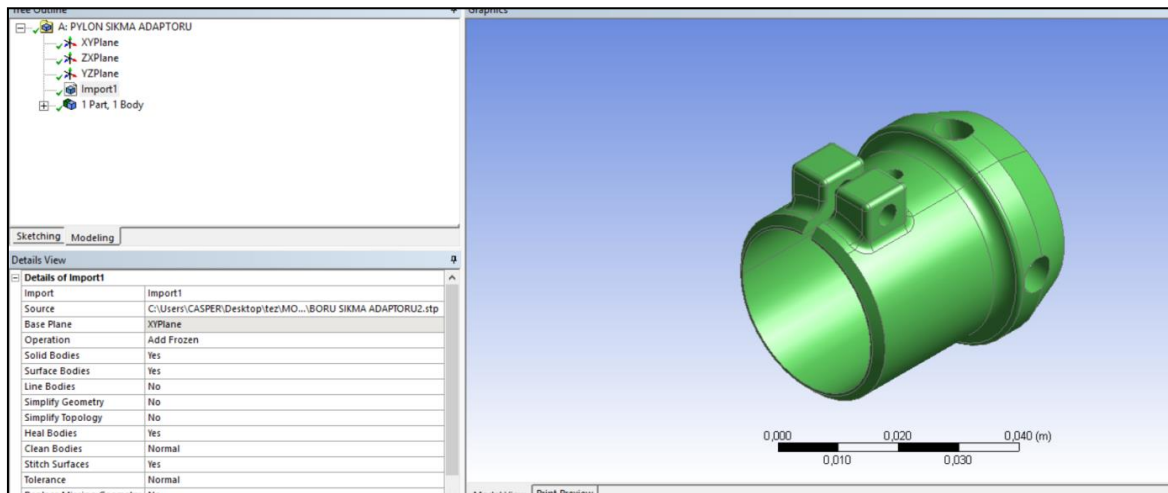
Pylon tüpüne bağlanan pylon sıkma adaptör parçasının malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir ve resim 8.37’de gösterilmektedir.



Resim 8.37. Pylon sıkma adaptör modelinin malzeme seçimi

Geometry

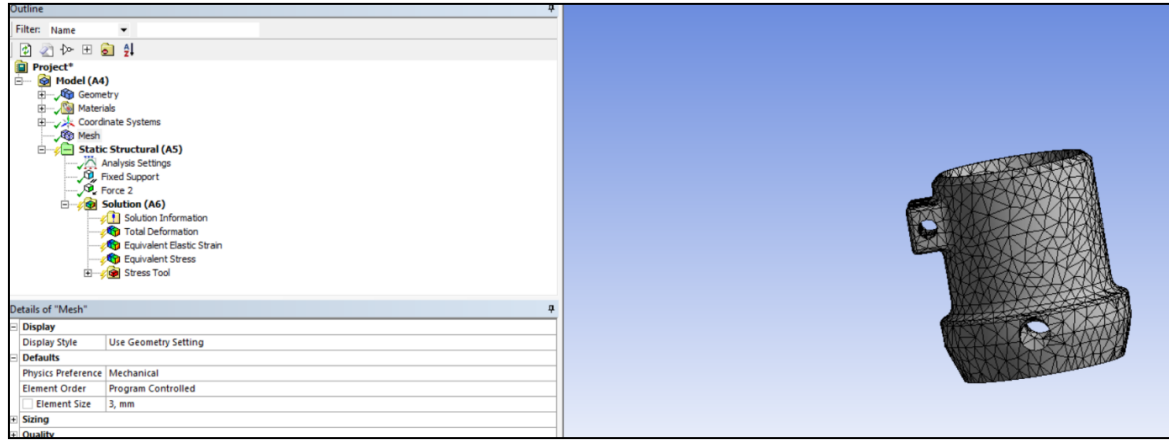
Geometry bölümünde parça step datası halinde çağrılır ve tanımlanır. Resim 8.38’de ansys ara yüzüne aktarılan pylon sıkma adaptör parçası gösterilmektedir.



Resim 8.38. Pylon sıkma adaptör modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması

Model

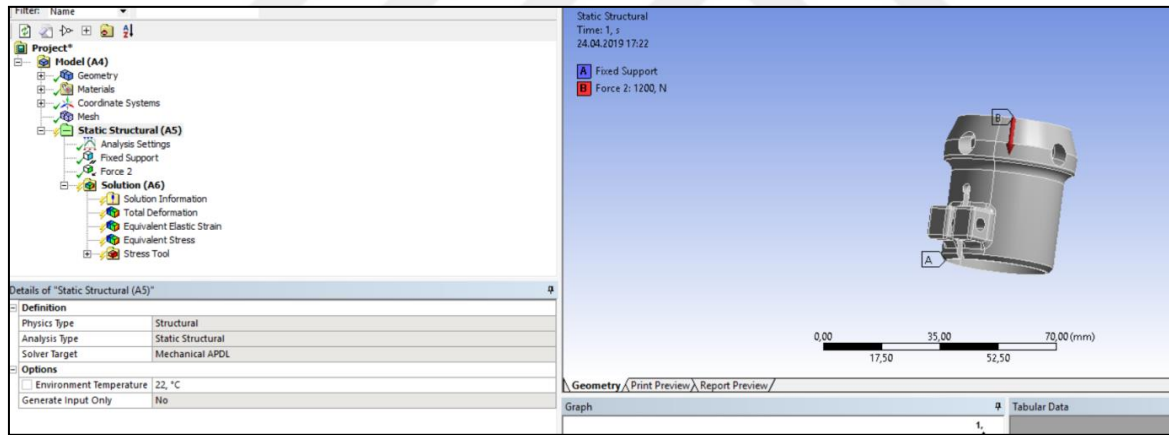
Bu bölümde parçaya mesh atanmaktadır. Facing size komutunu kullanarak resim 8.39’daki gibi parçaya 3 mm mesh atılıp parça üzerindeki değerlendirmeler yapılmaktadır.



Resim 8.39. 3 mm mesh atılmış pylon sıkma adaptör modeli

Setup

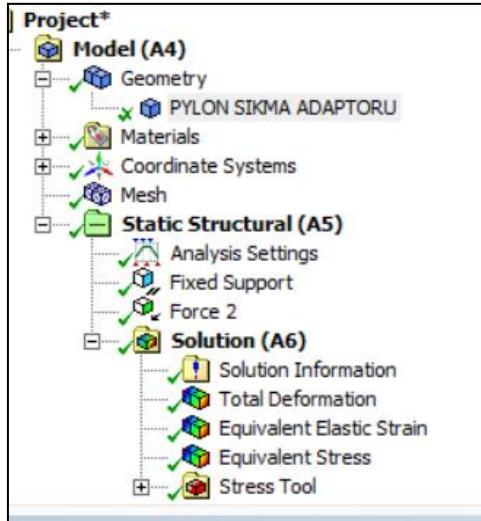
Bu bölümde 3 mm mesh atılan parçanın pylona geçen kısmının alt yüzeyi sabit tutulum üst yüzeyden 1200 N luk kuvvet uygulanmaktadır ve resim 8.40’da gösterilmektedir.



Resim 8.40. Pylon sıkma adaptör modeline kuvvet uygulanması

Solution

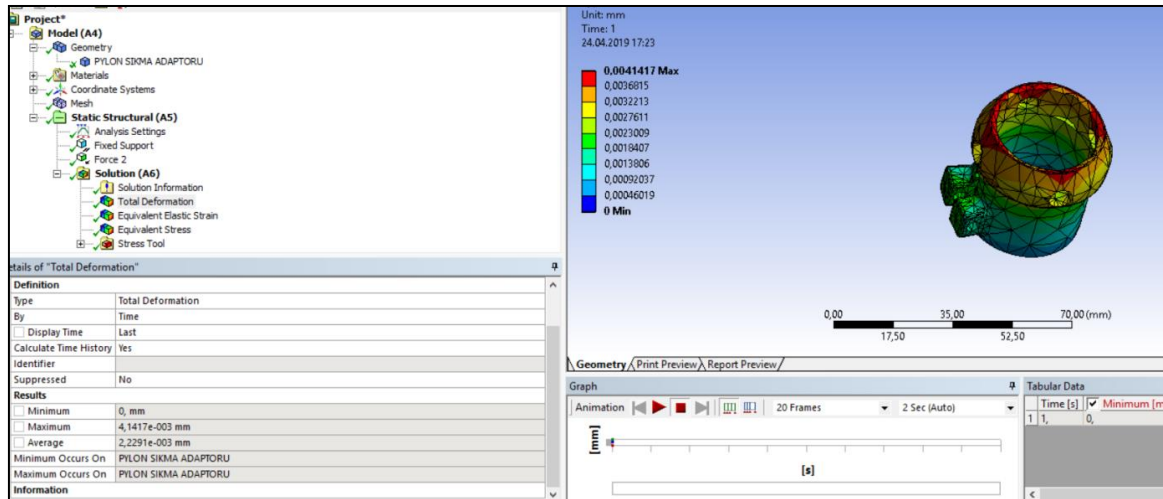
Bu bölümde resim 8.41’de gösterilen değerler değerlendirilecektir.



Resim 8.41. Pylon sıkma adaptörünün solution kısmında değerlendirilecek faktörler

Total deformation (Toplam deformasyon)

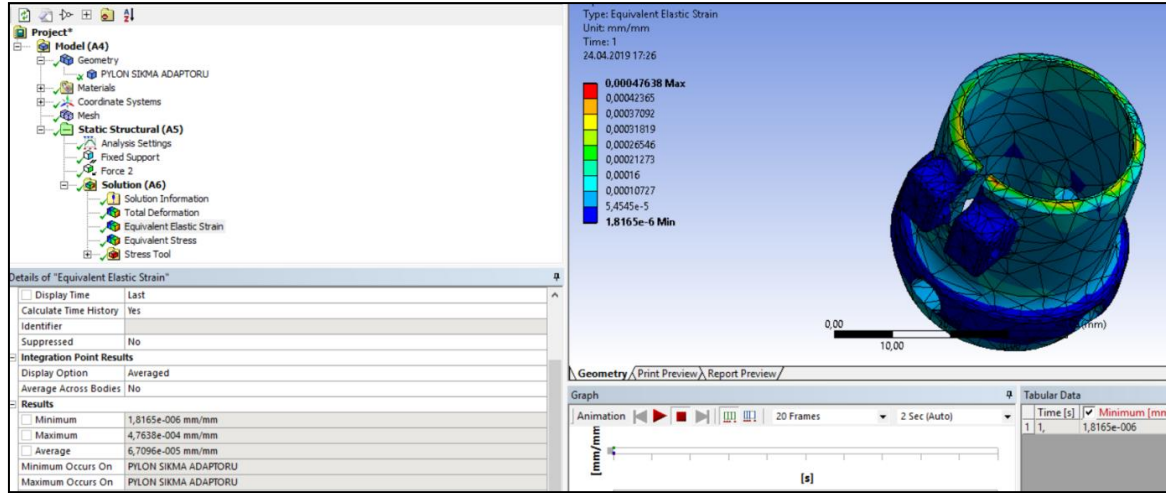
Parçadaki maksimum toplam deformasyon resim 8.42’de gösterilen soket adaptörüne değen kırmızı bölgede olup $4,1417 \times 10^{-3}$ mm dir. Minimum deformasyon ise pylona geçen kısımda koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0 mm dir



Resim 8.42. Pylon sıkma adaptör modelinde yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

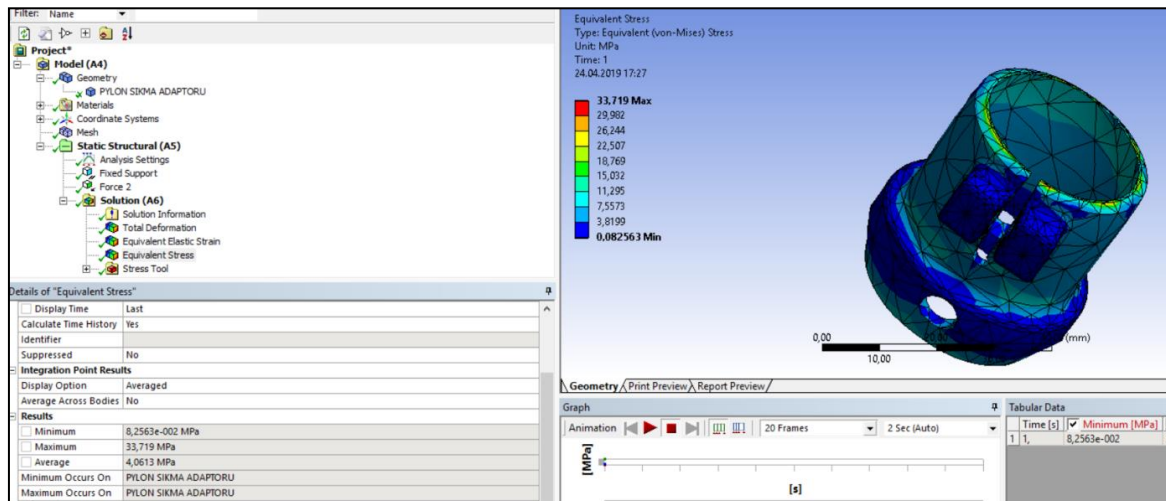
Parçadaki maksimum eşdeğer elastik şekil değiştirme resim 8.43'de gösterilen kırmızı bölgede olup $4,7638\text{e-}004$ mm/mm dir. Minimum elastik şekil değiştirme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup $1,8165\text{e-}006$ mm/mm dir.



Resim 8.43. Pylon sıkma adaptör modelinde yükleme durumundaki E.E.S

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

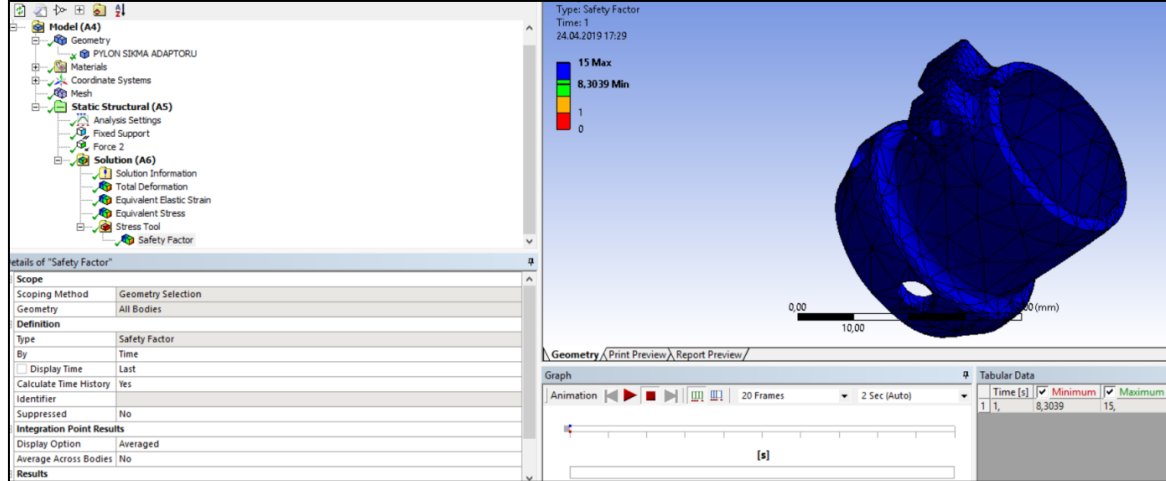
Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme resim 8.44'te gösterilen kırmızı bölgede olup 33,719 MPa dır. Minimum gerilme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup $8,2563\text{e-}002$ MPa dır.



Resim 8.44. Pylon sıkma adaptör modelinde yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

Parçadaki resim 8.45'te gösterilen emniyet faktörü maksimum 15 minimum ise 8,3039 dur. Emniyet faktörü 1 den büyük olduğu için parça 1200 N luk yüke karşı dayanıklıdır.



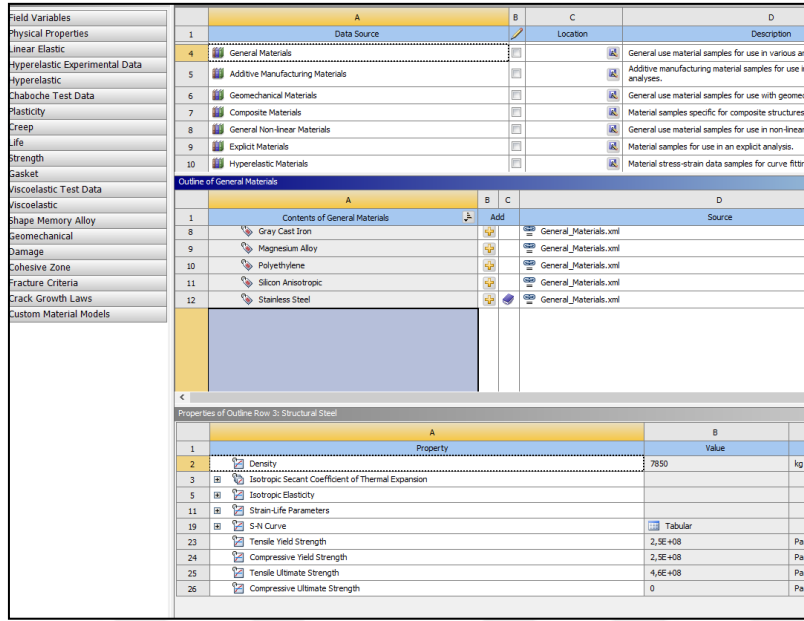
Resim 8.45. Pylon sıkma adaptör modelinde yükleme durumundaki S.F.

8.6. Soket Piramit Parçasının Analizi

Static structural modülündeki bölümler aşağıda sırası ile anlatılmaktadır.

Engineering data

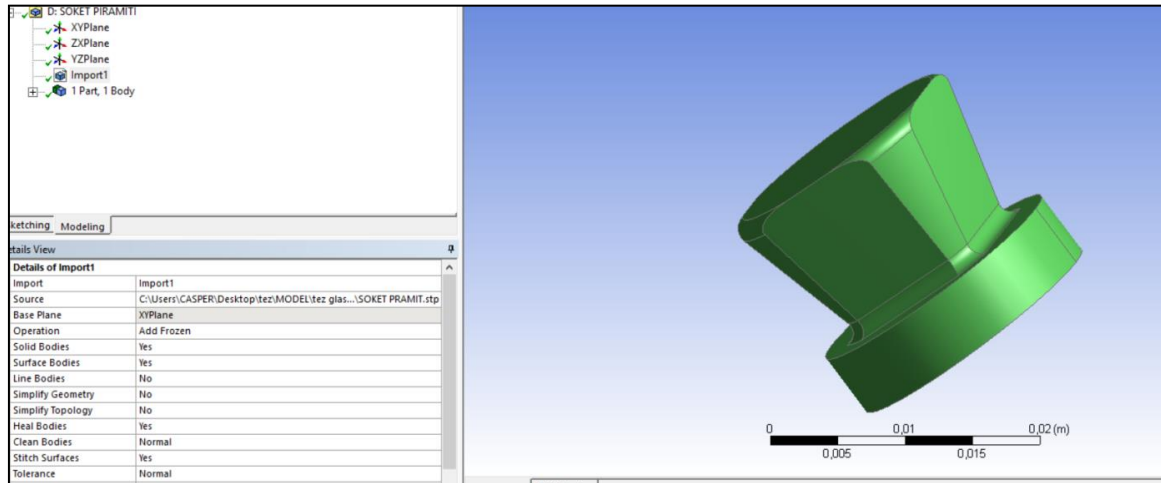
Soket adaptörüne bağlanan soket piramit parçasının malzemesi 316 paslanmaz çelik seçilmiştir ve resim 8.46'da gösterilmektedir.



Resim 8.46. Soket piramit modelinin malzeme seçimi

Geometry

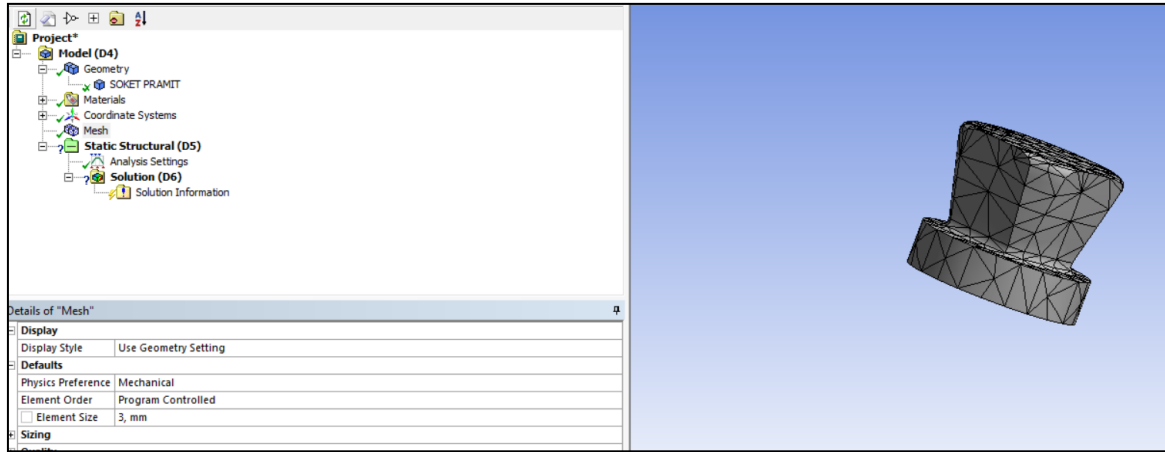
Geometry bölümünde parça step datası halinde çağrılır ve tanımlanır. Resim 8.47’de ansys ara yüzüne aktarılan soket piramiti gösterilmektedir.



Resim 8.47. Soket piramit modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması

Model

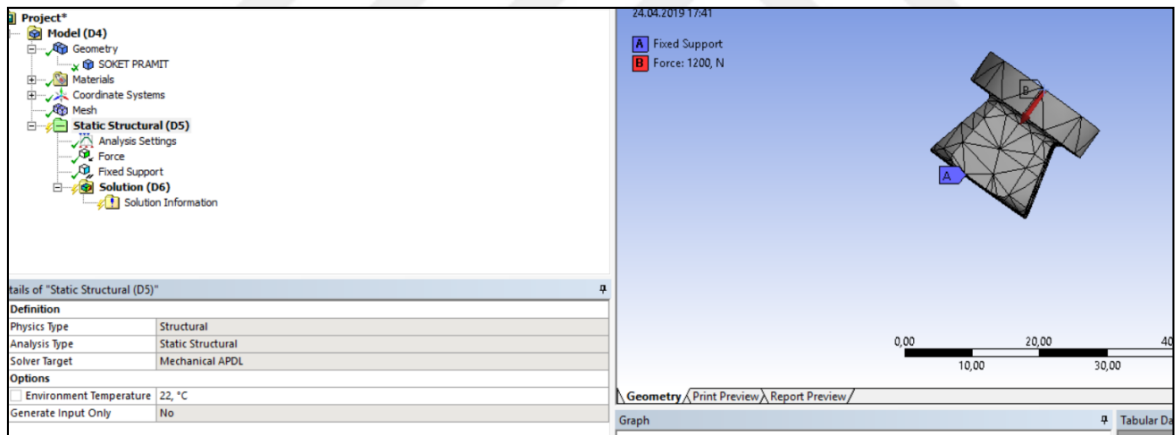
Bu bölümde parçaya mesh atanmaktadır. Facing size komutunu kullanarak parçaya resim 8.48’deki gibi 3 mm mesh atılıp parça üzerindeki değerlendirmeler yapılmaktadır.



Resim 8.48. 3 mm mesh atılmış soket piramit modeli

Setup

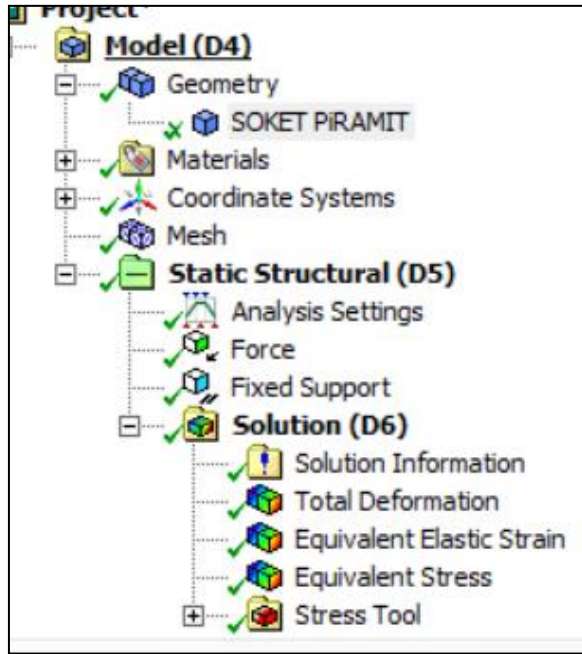
Bu bölümde parçanın pylon sıkma adaptörüne bağlama kısmının alt yüzeyi sabit tutulum üst yüzeyden 1200 N luk kuvvet uygulanmaktadır ve resim 8.49’da gösterilmektedir.



Resim 8.49. Soket piramit modeline kuvvet uygulanması

Solution

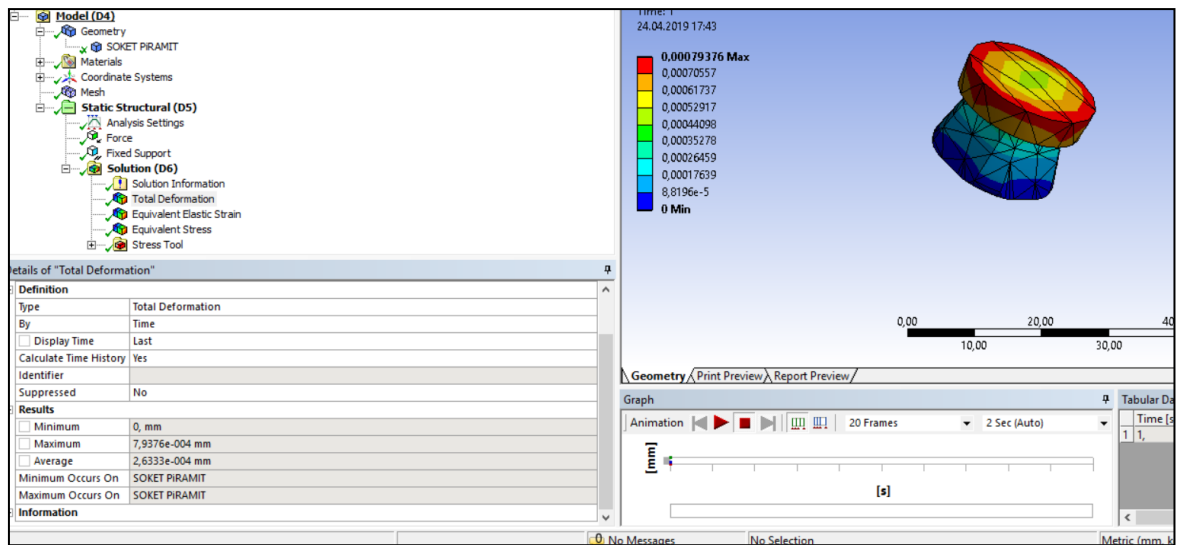
Bu bölümde resim 8.50’de gösterilen değerler değerlendirilecektir.



Resim 8.50. Soket piramit modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler

Total deformation (Toplam deformasyon)

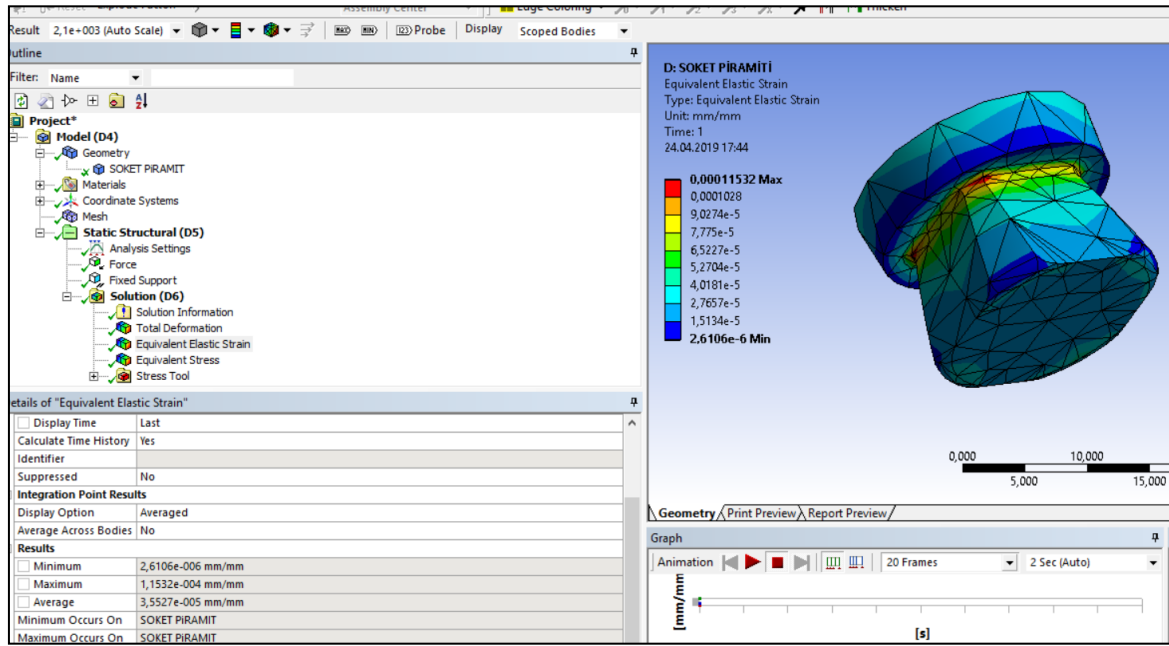
Parçadaki maksimum toplam deformasyon resim 8.51’de gösterilen kırmızı bölgede olup $7,195e-004$ mm dir. Minimum deformasyon ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0 mm dir



Resim 8.51. Soket piramit modelinde yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

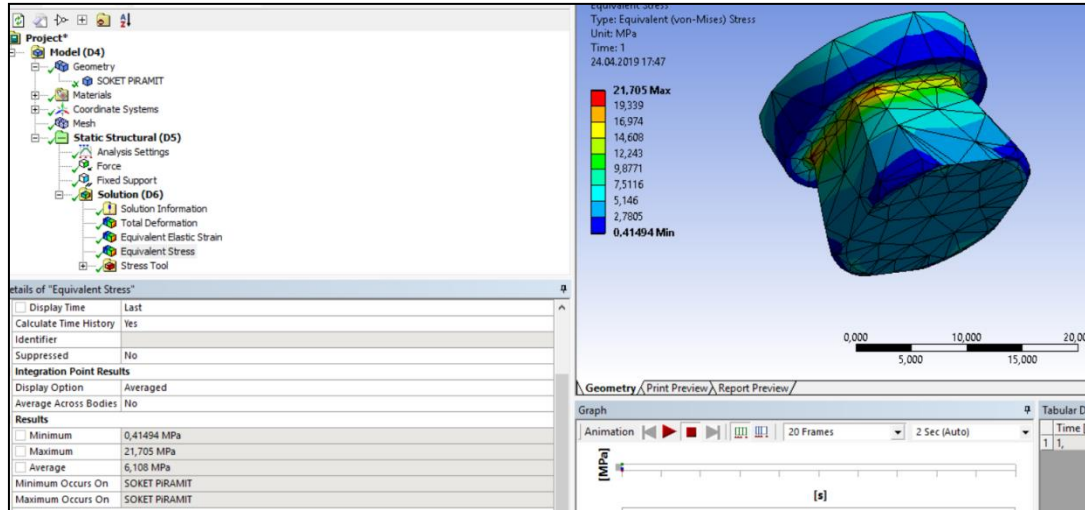
Parçadaki maksimum eşdeğer elastik şekil değiştirme resim 8.52’de gösterilen kırmızı bölgede olup $1,1532 \times 10^{-4}$ mm/mm dir. Minimum elastik şekil değiştirme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup $2,6106 \times 10^{-6}$ mm/mm mm/mm dir.



Resim 8.52. Soket piramit modelinde yükleme durumundaki E.E.S.

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

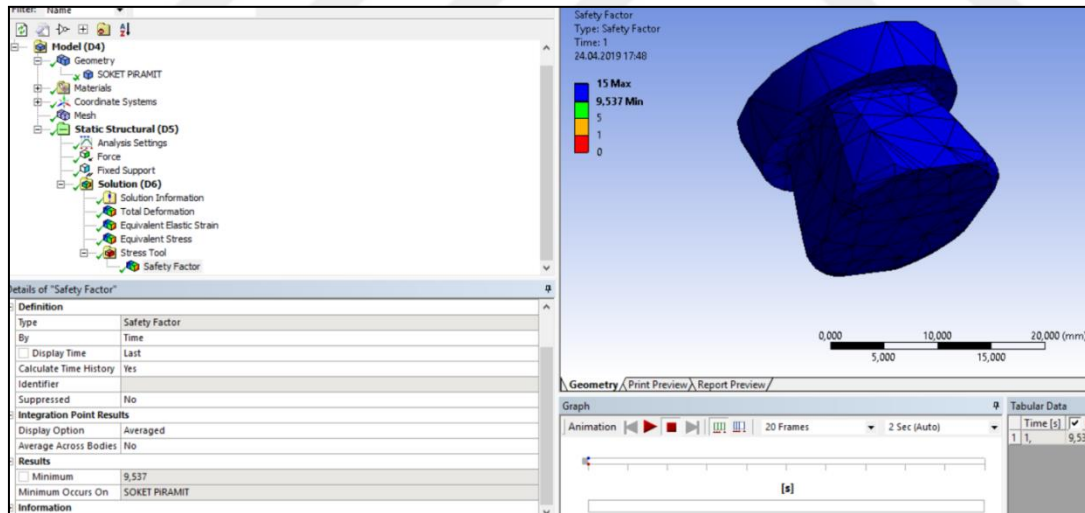
Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme resim 8.53’te gösterilen kırmızı bölgede olup 21,705 MPa dır. Minimum gerilme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0,41494 MPa dır.



Resim 8.53. Soket piramit modelinde yükleme durumundaki E.S.

Safety factor (Emniyet faktörü)

Parçadaki resim 8.54'te gösterile emniyet faktörü maksimum 15 minimum 9,537 dir. Emniyet faktörü 1 den büyük olduğu için parça 1200 N luk yüke karşı dayanıklıdır.



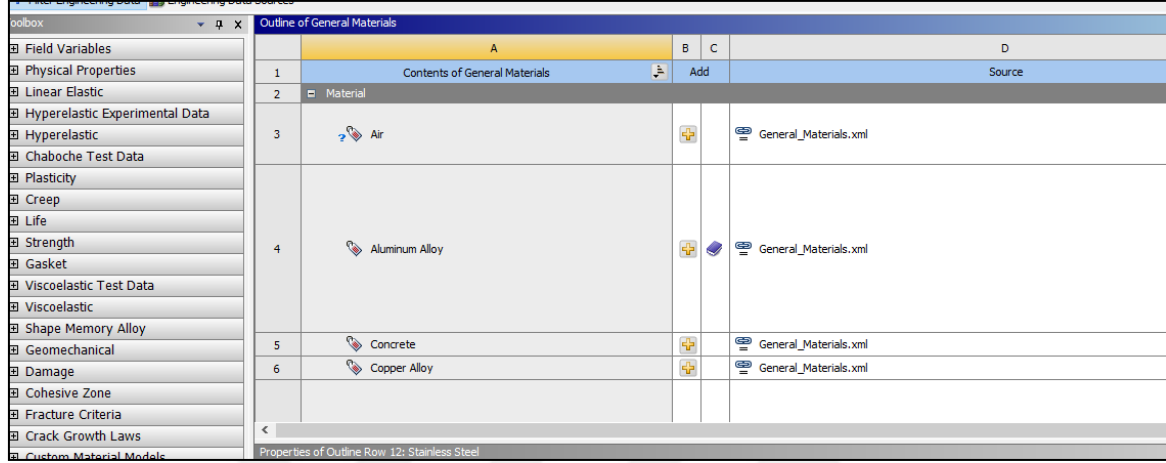
Resim 8.54. Soket piramit modelinde yükleme durumundaki S.F.

8.7. Soket Adaptör Parçasının Analizi

Static structural modülündeki bölümler aşağıda sırası ile anlatılmaktadır.

Engineering data

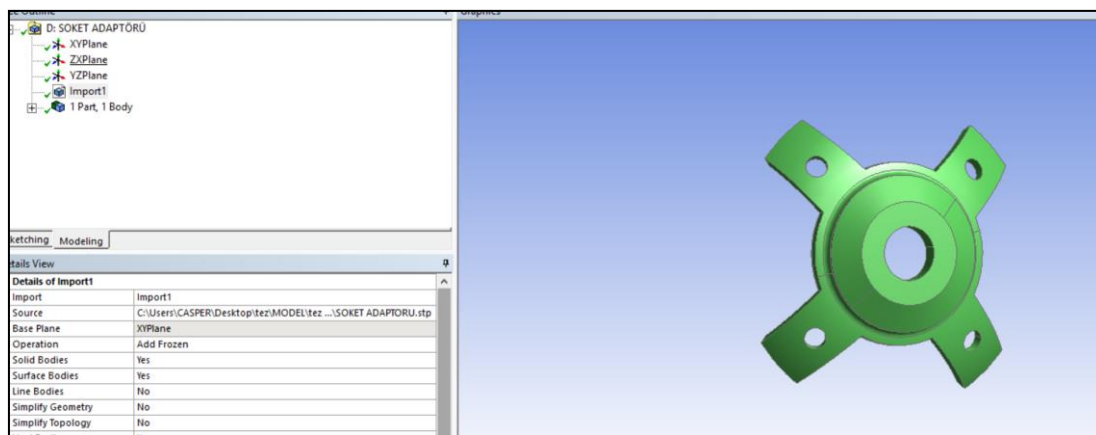
Sokete M8 cıvata ile bağlanan soket adaptör parçasının malzemesi 6061-T6 alüminyum seçilmiştir ve resim 8.55'te gösterilmektedir.



Resim 8.55. Soket adaptör modelinin malzeme seçimi

Geometry

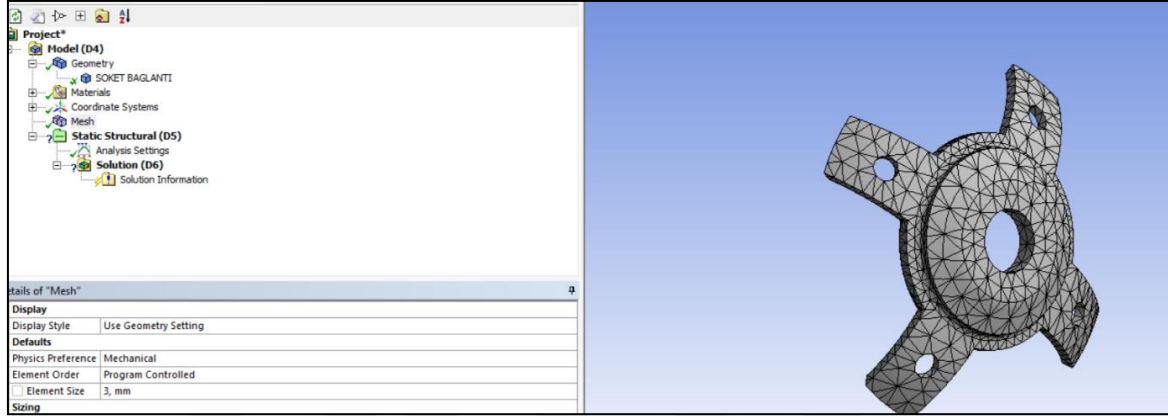
Geometry bölümünde parça step datası halinde çağrılır ve tanımlanır. Resim 8.56'da ansys ara yüzüne aktarılan soket adaptörü gösterilmektedir.



Resim 8.56. Soket adaptör modelinin step datasının çağrılıp tanımlanması

Model

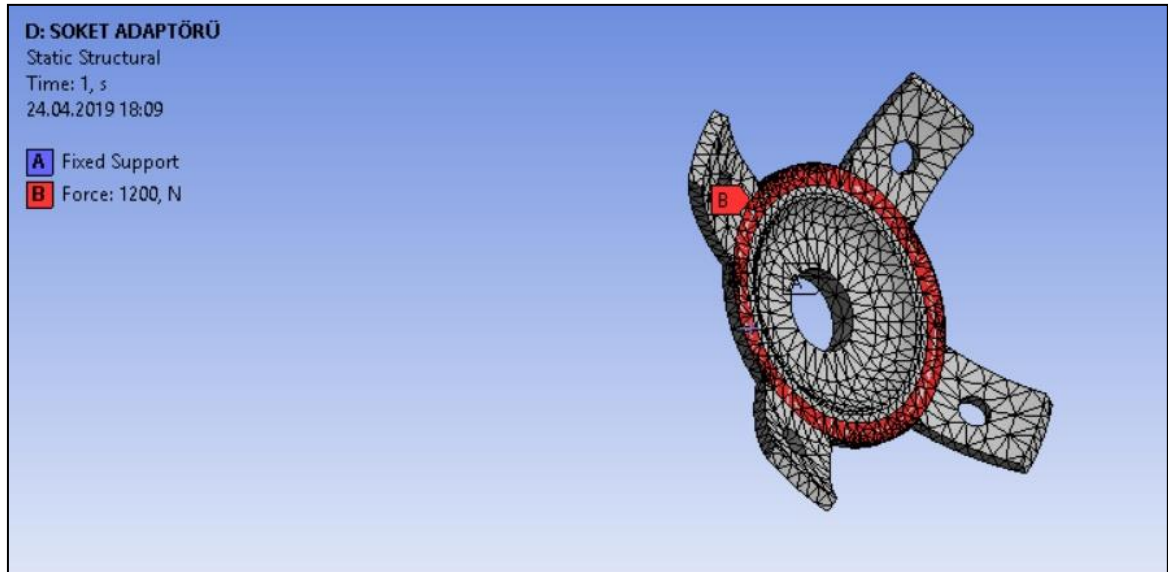
Bu bölümde parçaya mesh atanmaktadır. Facing size komutunu kullanarak resim 8.57'deki gibi parçaya 3 mm mesh atılıp parça üzerindeki değerlendirmeler yapılmaktadır.



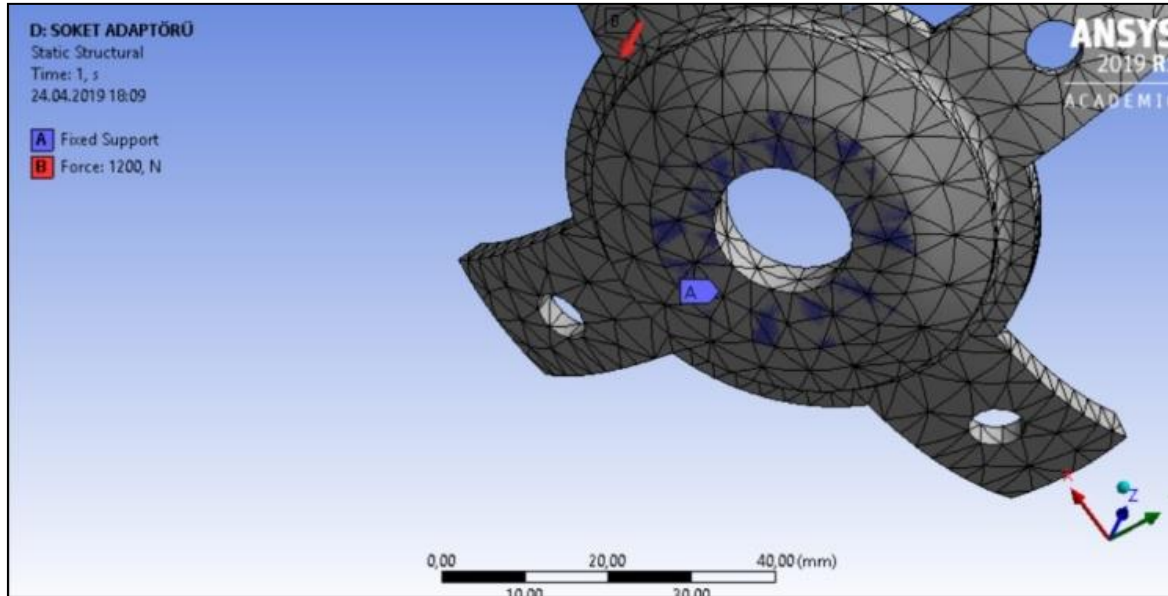
Resim 8.57. 3 mm mesh atılmış soket adaptör modeli

Setup

Bu bölümde parçanın pylon sıkma adaptörüne değen yüzeyi sabit tutulup üst yüzeyden 1200 N luk kuvvet uygulanmaktadır ve resim 8.58 ve 8.59'da gösterilmektedir.



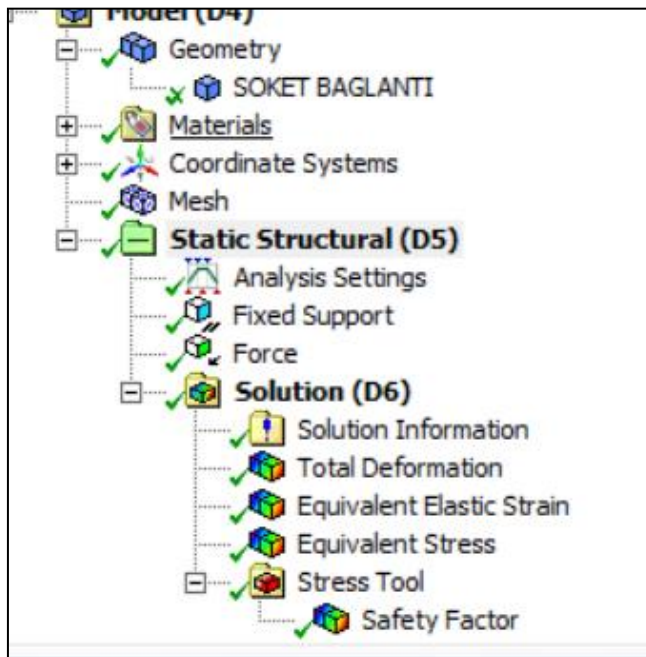
Resim 8.58. Soket adaptör modeline kuvvet uygulanması



Resim 8.59. Soket adaptör modelinin sabit tutulduğu yer

Solution

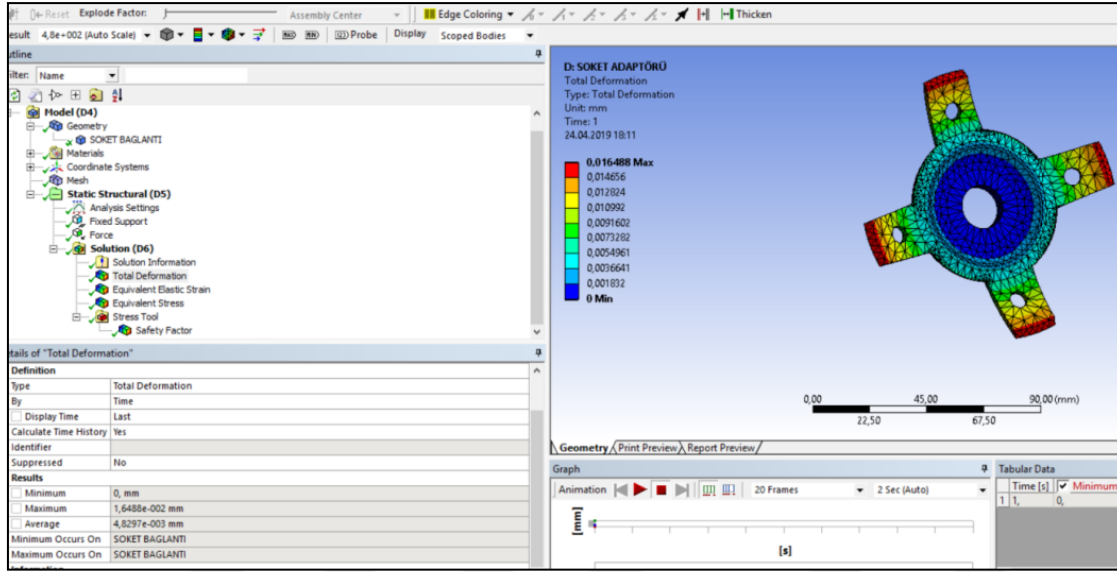
Bu bölümde resim 8.60'ta gösterilen değerler değerlendirilecektir.



Resim 8.60. Soket adaptör modelinin solution kısmında değerlendirilecek faktörler

Total deformation (Toplam deformasyon)

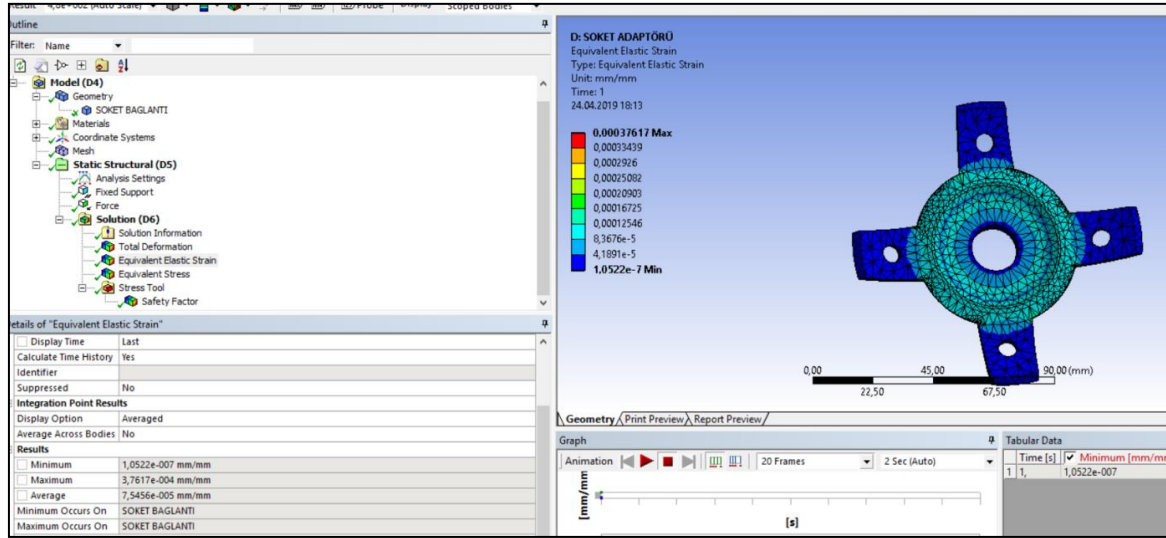
Parçadaki maksimum toplam deformasyon resim 8.61’de gösterilen kırmızı bölgede olup $1,6488e-002$ mm dir. Minimum deformasyon ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 0 mm dir



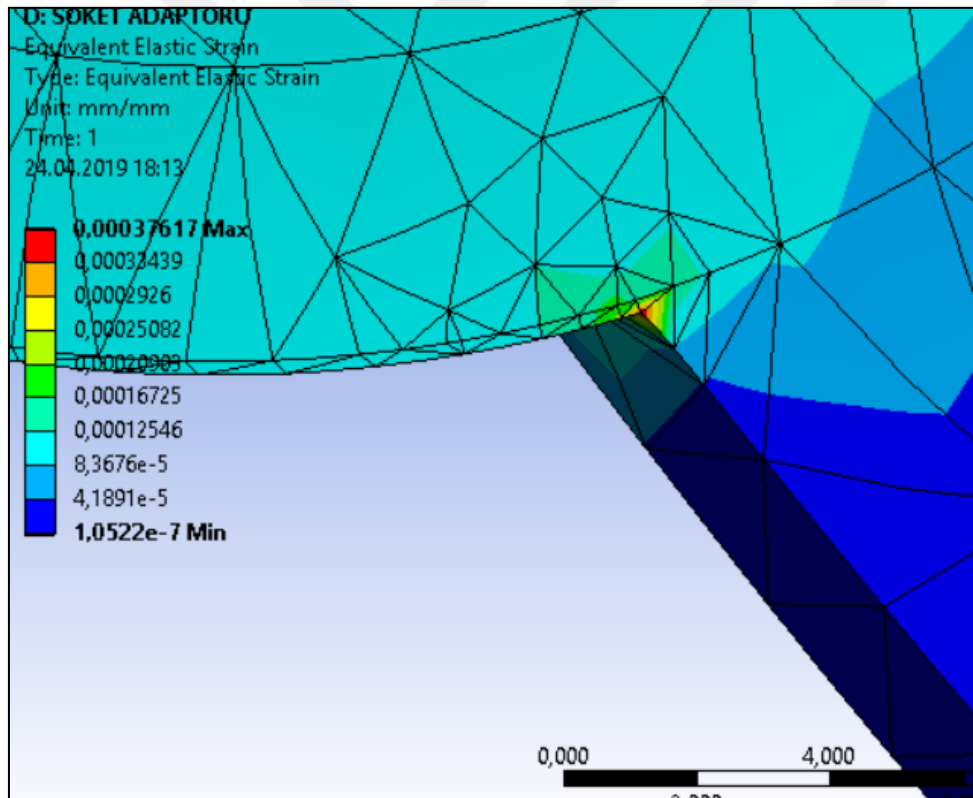
Resim 8.61. Soket adaptör modelinde yükleme durumundaki T.D.

Equivalent elastic strain (Eşdeğer elastik şekil değiştirme)

Parçadaki maksimum eşdeğer elastik şekil değiştirme resim 8.62 ve 8.63’te gösterilen kırmızı bölgede olup $3,7617e-004$ mm/mm dir. Minimum elastik şekil değiştirme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup $1,0522e-007$ mm/mm dir.



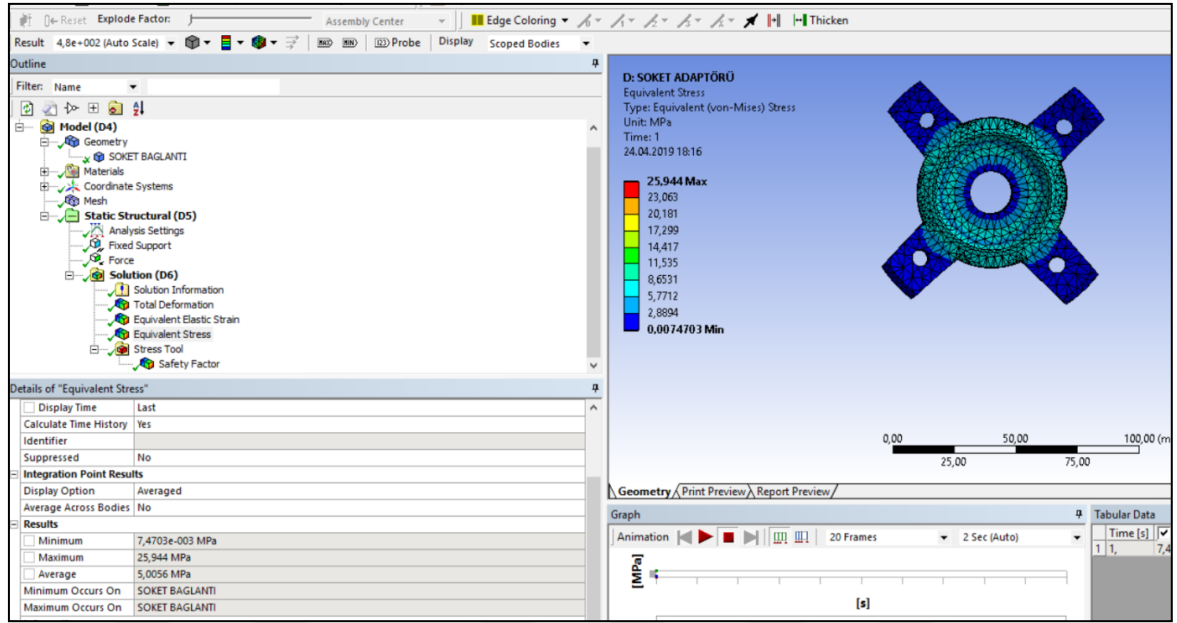
Resim 8.62. Soket adaptör modelinde yükleme durumundaki E.E.S.



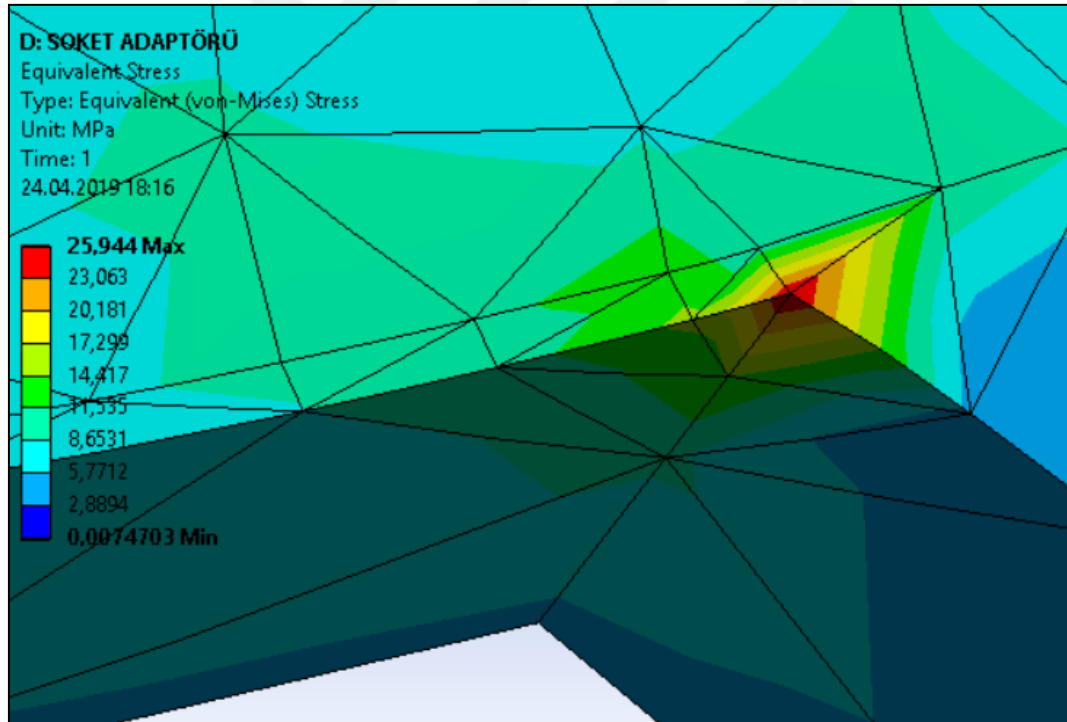
Resim 8.63. Soket adaptör modelinde E.E.S.nin maksimum olduğu yer

Equivalent stress (Eşdeğer gerilme)

Parçadaki maksimum eşdeğer gerilme resim 8.64 ve 8.65'te gösterilen kırmızı bölgede olup 25,944 MPa'dır. Minimum gerilme ise koyu mavi renk ile gösterilen yerler olup 7,4703e-003 MPa'dır.



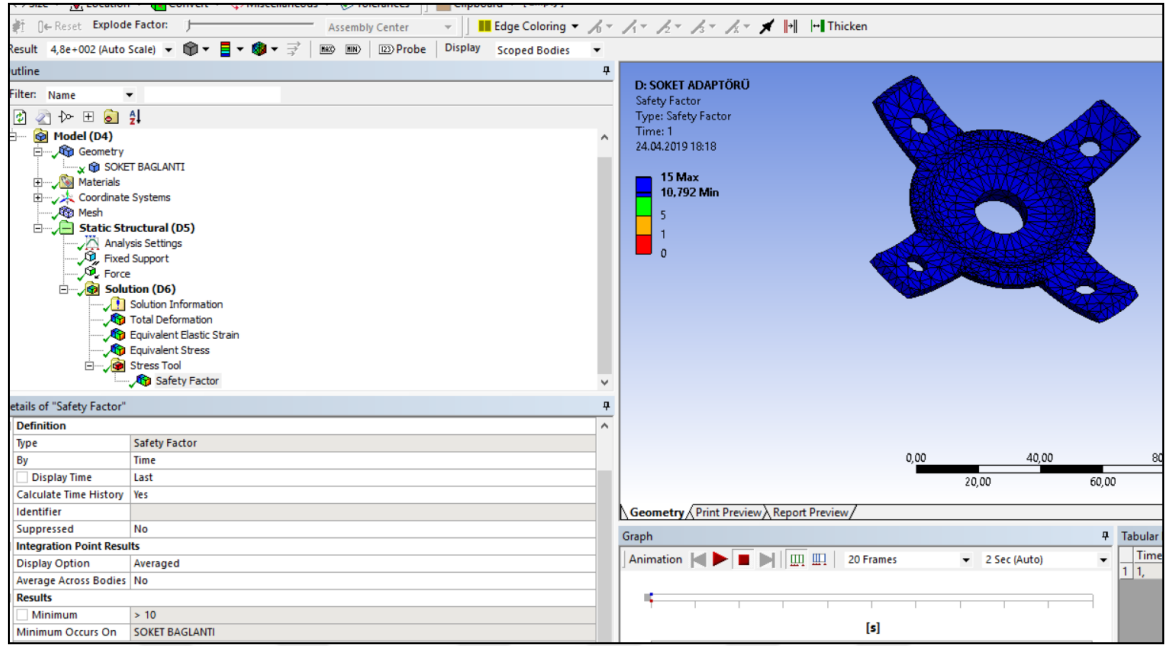
Resim 8.64. Soket adaptör modelinde yükleme durumundaki E.S.



Resim 8.65. Soket adaptör modelinde E.S.'in maksimum olduğu yer

Safety factor (Emniyet faktörü)

Parçadaki resim 8.66'da gösterile emniyet faktörü maksimum 15 minimum 10,792 dir. Emniyet faktörü 1 den büyük olduğu için parça 1200 N luk yüke karşı dayanıklıdır.

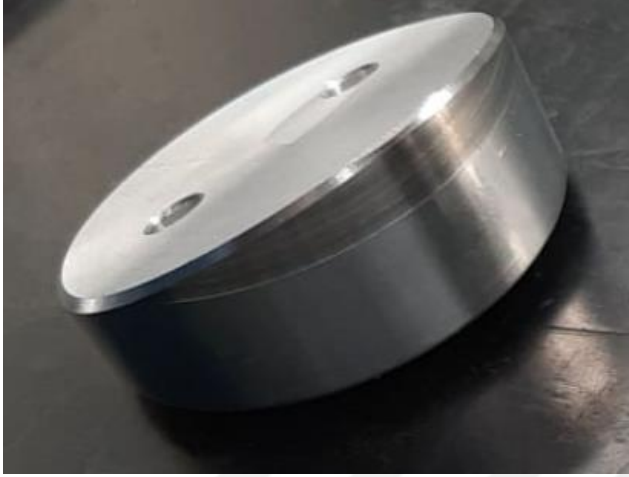


Resim 8.66. Soket adaptör modelinde yükleme durumundaki S.F.



9. BACAĞI PARÇALARININ ÜRETİMİ VE MONTAJI

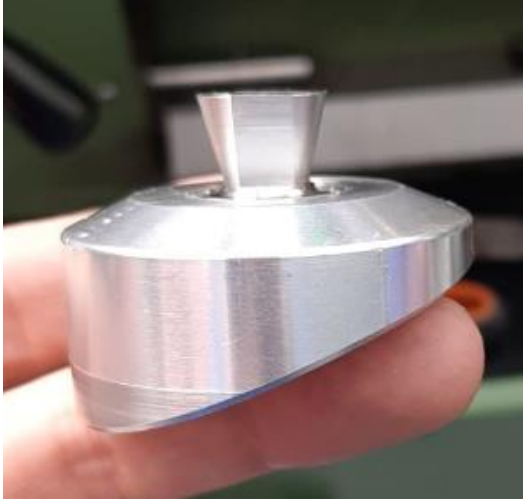
Analizi yapılan ve iyi sonuçlar alınan parçaların üretimi için bütün parçaların stp datası alınır ve cam bölümünde CNC tezgahın işlemesi için programlanır. Parçalar 3 eksenli CNC tezgahında işlenmiştir. Parçaların üretildikten sonraki halleri aşağıdaki resimlerde gösterilmektedir.



Resim 9.1. Ayak adaptörü



Resim 9.2. Ayak adaptör piramiti



Resim 9.3. Ayak adaptör piramiti ile ayak adaptörünün montajlı hali



Resim 9.4. Pylon adaptörü



Resim 9.5. Pylon tüpü



Resim 9.6. Pylon sıkma adaptörü



Resim 9.7. Soket piramiti



Resim 9.8. Soket adaptörü ile soket piramitinin montajlı hali

10. BACAĞ VE KOMPOZİT AYAK PARÇALARININ MONTAJI

Ayak adaptörü M6 havşa baş cıvata ile darbe sönümleyici ve omurga kısmı ile birlikte montajlanır ve resim 10.1’de gösterilmektedir.



Resim 10.1. Ayak parçalarına montajlanan ayak adaptörü

Daha öncesinde montajlanan pylon adaptörü, pylon tüpü, pylon sıkma adaptörü, soket piramiti ve soket adaptörü ayak adaptör kısmından M8 setskur cıvata ile ayak adaptör kısmına M20 diş ile montajlanan ayak adaptör piramidine montajlanır ve resim 10.2’de gösterilmektedir.



Resim 10.2. Pylon adaptörünün ayak adaptörüne montajlanması

Montaj işlemi bittikten sonra ortaya çıkan ürün resim 10.3’te gösterilmektedir.



Resim 10.3. Diz altı protez bacak ve kompozit ayak

11. AYAK PARÇASINA BASMA TESTİNİN YAPILMASI

Kompozit ayak modeline analizlerde uyguladığımız 1200 N yük kadar bir yük uygulayıp kaç mm deformasyona uğradığı test edilmiştir. Bu işlem resim 11.1’de gösterilen dartec makine ile basma testi yapılmıştır.



Resim 11.1. Basma testinin yapıldığı dartec makine

Ayak modeline her saniyede 100 N yük uygulayarak ve 1200 N da yük uygulamayı keserek basma testi başlatılmıştır. Test parametreleri aşağıdaki çizelge 11.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 11.1. Basma testinin test parametreleri

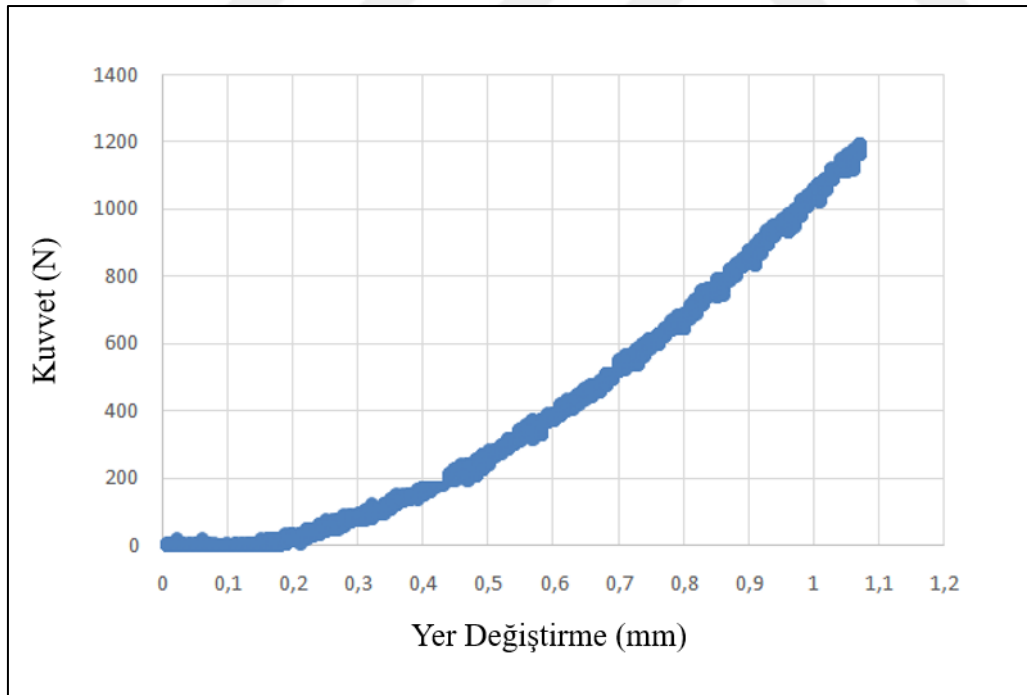
Test	Genel Çekme/Basma Testi
UTM Modeli	DARTEC
Yük Birimi	Kuvvet
Ekstansometre	XHead
Kenetleme cihazı	Yok
Test Bölgesi	Düşük Test Bölgesi
Örnek Boyutlar	m=100 g
Uzunluk Verileri	Le = 63 mm; Lc = 100 mm
Test Oranları	V0 = 1 mm/min; V1 = 600 N/min
Hız Değişim Noktaları	F0 = 100 N
Test Kriterlerinin Sonu	Kuvvet=1200 N

Ayak modeline yük uygulanırken ki hali resim 11.2.'de gösterilmektedir.



Resim 11.2. Kompozit ayak modeli basma testi

Makine 1200 N da yük uygulamayı kestikten sonra excel de çıkan verilere göre oluşturulan grafik şekil 11.1'de gösterilmektedir.



Şekil 11.1. Basma testi kuvvet-yer değiştirme grafiği

Grafikte 1200 N da yer değiştirme 1.06 mm dir. Analiz sonuçlarında çıkan değerden daha küçük bir değerdir. Kopmozit ayak modelimiz basma testin de çıkan sonuca göre de 120 kg

ağırlığındaki bir kişiyi taşıyabilmektedir. 1200 N yük karşısında 1.06 mm yer değıştirme verildiğinde ayak modelinin daha fazla yüklere de dayanılacağı düşünölmektedir.





12. MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde ürettiğimiz protez bacak, kompozit ayak ve ayak serim kalıpları için yapılan maliyeti listeleyeceğiz.

12.1. Serim Kalıbı Maliyet Analizi

3 adet ayak parçası olduğu için 3 adet serim kalıbı kullanılmıştır. Serim kalıplarının malzemesi 6061-T6 alüminyumdur. Çizelge 12.1’de maliyet listesi gösterilmektedir.

Çizelge 12.1. Kalıp maliyet listesi

Kalıplar	1 saatlik Tezgah ve İşçi maliyeti	İşleme süresi (saat)	Kalıp ağırlığı (kg)	Al. Kg fiyatı	Kalıp maliyeti	Toplam
Topuk	80 tl	4 saat	2 kg	25 tl	50 tl	370
Omurga	80 tl	5 saat	4 kg	25 tl	100 tl	500
Darbe Sönümleyici	80 tl	5 saat	7 kg	25 tl	175 tl	575
					TOPLAM	1445 TL

3 adet ayak serim kalıplarının toplam maliyeti 1445 tl’dir.

12.2. Kompozit Serim Malzemelerinin Maliyeti

Kalıp serimleri için kullanılan malzemelerin fiyatları çizelge 12.3’te gösterilmektedir.

Çizelge 12.3. Serim malzemelerinin maliyet listesi

Serimde kullanılan malzemeler	Adet	Fiyat
Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	0.1 m ²	18 TL
Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg	0.5 m ²	90 TL
T bağlantı borusu	1 adet	3 TL
Release film	1 m ²	17 TL
Vakum naylonu	2 m ²	66 TL
Sealant tape (Sızdırmazlık Bandı)	15 m	50 TL
Sprial hortum	2 m	16 TL
	TOPLAM	260 TL

Toplam serim için kullanılan malzemelerin maliyeti 260 tl'dir

12.3. Bacak Parçalarının Maliyeti

Toplam 7 adet bacak parçası bulunmaktadır. 2 adet 316 paslanmaz çelik malzemeden 5 adet 6061-T6 alüminyum malzemeden oluşmaktadır. Çizelge 12.2'de bacak parçalarının maliyet listesi gösterilmektedir.

Çizelge 12.2. Bacak parçalarının maliyet listesi

Bacak parçaları	1 saatlik Tezgah ve İşçi maliyeti	İşleme süresi (saat)	Ham malzeme ağırlığı (kg)	Al. Kg fiyatı	Çelik Kg fiyatı	Ham malzeme maliyeti	Fiyat
Ayak adaptörü	80 TL	2,5	0,17 kg	25 TL	-	4,25 TL	204,25 TL
Ayak adaptör piramiti	80 TL	2,5	0,2 kg	-	18 TL	3,6 TL	203,6 TL
Pylon adaptörü	80 TL	2,5	0,4 kg	25 TL	-	10 TL	210 TL
Pylon tüpü	80 TL	2,5	0,4 kg	25 TL	-	10 TL	210 TL
Pylon sıkma adaptörü	80 TL	2,5	0,4 kg	25 TL	-	10 TL	210 TL
Soket piramiti	80 TL	2,5	0,2 kg	-	18 TL	3,6	203,6 TL
Soket adaptörü	80 TL	2,5	0,4 kg	25 TL	-	10 TL	210 TL
8 adet M8 Setskur cıvata	-	-	-	-	-	-	5,6 TL
6 adet M6 havşa baş cıvata	-	-	-	-	-	-	3 TL
TOPLAM							1460 TL

Toplam bacak paçalarının maliyeti 1460 tl'dir



13. SONUÇ ve ÖNERİLER

13.1. Sonuç

Günümüzde olan diz altı bacak protezleri incelenmiştir. Ayak parçaları günümüzdeki ayak modellerinden farklı olarak modellenmiştir. Katman sayıları ve kullanılan kompozit malzemeler de farklılık göstermektedir. Bacak parçalarında ise seçilen malzeme ve tasarlanan yapı olarak günümüzdeki bacak modellerinden farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada 3 boyutlu modelleme programı olan Catia V5 programı ve analiz programı olarak da ANSYS programı kullanılmıştır. Parçaların mekanik analizi, ISO 10328 standardına uygun şartlarda, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Tasarımlar ve analizler 100 kg ağırlığındaki bir kişiyi baz alarak yapılmıştır.

Tez çalışmasında ilk önce ayak parçalarının tasarımı yapılmıştır. Daha sonra bu parçaların katman sayılarını belirlemek için ANSYS programında analizleri yapılmıştır. Analiz yaparken parçaların sabitleme yerleri ve yükün uygulanacağı yerler önemlidir. Farklı sabitleme yerleri ve farklı yük uygulama yerlerinde parçaların analiz sonuçları değişkenlik göstermektedir. Analiz sonuçlarındaki toplam deformasyon, eşdeğer elastik yer değiştirme, eşdeğer gerilme ve emniyet faktörü dikkate alınarak topuk parçasının 10 kat, omurga parçasının 15 kat ve darbe sönümleyici parçasının ise 15 kat olması belirlenmiştir. Analiz işleminden sonra kompozit parçaların üretimi için her bir ayak parçası için serim kalıpları yapılmıştır ve serim işlemi yapılarak kompozit parça üretilmiştir. Serim işlemi bittikten sonra parçalar fırında cure edilmiştir ve toplam 7 saat sürmüştür. Parçalar oda sıcaklığında da cure edilirdi ama bu sefer cure süresi uzayacaktı. Bu yüzden fırın tercih edilmiştir. Fırın işlemi bittikten sonra parçalar soğumaya bırakılmıştır ve kenar çizgilerine göre trim işlemi yapılmıştır ve daha sonra parçalar montajlanmıştır.

Kompozit malzemenin üretimi için ayak parçaların kalıplarının tasarlanması, üretilmesi ve serim işlemlerinin yapılması en az maliyet gerektirecek şekilde yapılmıştır. Kalıplar 3 eksenli CNC tezgahta işlenmiştir ve daha az malzeme için kompozit malzeme katman sayısı azaltılmıştır ve kullanılan Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg ve Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg malzemelerle daha dayanıklı bir yapı elde edilmiştir.

Üretilen kalıplara kompozit malzeme serimi yapılmış ve ayak parçaları ortaya çıkmıştır. Ayak parçaları jet taşı ile trimlenip, montajı yapıp teste uygun olarak hazırlanmıştır.

Kompozit ayağa basma testi uygulanmıştır ve 1200 N luk yük karşısında 1.06 mm yer değiştirme göstermiştir. Yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Böylece farklı dizilimlerle farklı kullanıcılara hitap edebilecek kompozit ayak tasarımı yapılabilir.

Bacak parçalarında hafiflik ön planda olup dayanıklılık için en çok işlem gören parçaların malzemesi iyileştirilmiştir. En çok dayanıklılık gereken parçalar piramit yapılar olup malzemeleri 316 paslanmaz çelik seçilmiştir. Hafiflik ve kolay işlenebilirlik açısından diğer parçalarda 6061-T6 alüminyum malzeme kullanılmıştır. Ortaya çıkan ürünlerin montajı yapıldıktan sonrasında kullanılmaya uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışma da kompozit ayak tasarımında nelere dikkat edilmesi gerektiği, kompozit ayağın analizinin nasıl yapılacağı ve analiz yapılırken nelerin göz önünde bulundurulması gerektiği, bacak parçalarının işlevselliği için nasıl tasarım yapılması gerektiği, malzeme seçerken nelerin önemli olduğu ve nasıl analiz yapıldığı öğrenilmiştir.

13.2. Öneriler

Yapılan bu tezin devamında ayak parçasının yorulma testi yapılabilir ve daha sonra test sonucuna göre gerek duyulursa iyileştirmeler yapılabilir. Ayak parçalarının analizinde ise engineering data kısmında malzemenin elastik modülünü, yoğunluğunu ve diğer özelliklerini kendimiz belirleyip malzeme ataması yapıp analiz gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasında sadece statik analiz yapılmıştır ama başka bir çalışmada bu tezin dinamik analizi de yapılabilir ve ona göre ayak tasarımı veya ayak malzemesinde katman sayısı değişebilir.

Ayak parçasının analizinde güvenlik faktörü önemlidir. Güvenlik faktörünün 1 den büyük olması gerekir. Bu tez çalışmasında güvenlik faktörü 1 in biraz üzerindedir. Bu faktör daha büyük olursa yapılan ayak parçasının dayanıklılığı için daha iyi olacaktır. 1 den daha büyük güvenlik faktörü elde etmek için farklı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Başal, Ö., Korkmaz, S. ve Türk, B., (2015). *Amputasyonlar*, Isparta: Derman Tıbbi Yayıncılık, 856-864.
2. Dillon MP. (2010). Partial foot amputation: aetiology, incidence, complications, prosthetic intervention and a characterisation of gait. *Center for International Rehabilitation Research Information and Exchange*, 3(1), 5-10.
3. İnternet: Prosthetics and orthotics – Vocabulary – Part 2: Terms relating to external limb prostheses and wearers of these Prostheses. URL: <https://www.iso.org/standard/15801.html>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2019
4. Güven M.E. (2007). *Alüminyum Diz Altı Bacak Protez Kiti Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 4-18.
5. Shan, R.L.P., (2001). Lower Limb Prostheses, *Clinical Sciences*, 3(2), 404.
6. İnternet: Alt Ekstremité Amputasyonları ve Rehabilitasyonu URL: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:i1MkWE1m3yAJ:www.protezci.com/FileUpload/ks49505/File/alt_ekstremité_amputasyonlari_ve_rehabilitasyonu.doc+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr, Son Erişim Tarihi: 15.04.2019
7. İnternet: Transtibial amputation, Surgical Procedures And Immediate Postsurgical Management. URL: <http://www.oandplibrary.org/alp/chap18-01.asp>, Son Erişim: 25.12.2018
8. Gottschalk F, Kourosch S. and Stills M. (1989, October). Does socket configuration influence the position of the femur in above knee amputation?, *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 94–102.
9. Yılmaz B. (2009). *Karbon Fiber Kompozit Ayak Protezi Tasarımı ve İmalatı*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 20-25.
10. İnternet: Eklem Hareket Açıklığı. URL: http://www.tuncaycentel.com/mov_knee_ankle_foot1.html, Son Erişim Tarihi: 25.01.2019
11. İnternet: Ayağın Yapısı. URL: <http://www.sentezmedikal.com/ortopedia.php>, Son Erişim Tarihi: 13.03.2019
12. İnternet: Ayak-Ayak Bileği Mekaniği Ve Patomekaniği. URL: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/90163/mod_resource/content/0/1-%20AYAK%20AYAK%20B%4%B0LE%4%9E%4%B0%20B%4%B0YO%20MEKAN%4%B0%4%9E%4%B0.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.09.2018
13. İnternet: Prosthetic Foot Design URL: <http://www.monash.edu.au/rehabtech/research/reports/FEETMAST.PDF>, Son Erişim Tarihi: 25.03.2019

14. İnternet: Alüminyum ve Alaşımlar. URL: http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimlari.pdf, Son Erişim Tarihi: 29.03.2019
15. İnternet: Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. URL: https://www.researchgate.net/publication/312332966_Kompozit_Malzemeler_ve_Ozellikleri, Son Erişim Tarihi: 25.12.2018
16. İnternet: Kompozit Malzeme Mekaniği. URL: http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.01.2019
17. İnternet: Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. URL: <http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2019
18. Morozov, E. And Vasiliev, V. V. (2001). *Mechanics and analysis of composite materials* (First edition), UK: Elsevier Science, 17-19.
19. Inoue, K., Itoh, M., Hirayama, N., Seguchi, T. and Sugimoto, M. (2002, September). Fiber reinforced plastics using a new heat-resistant silicon based polymer. *Journal of Materials Science*, 37 (17), 3795-3801.
20. Kaya, A.İ. (2015). *Atık Kâğıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 236-239.
21. Hancox, N. L. and Mayer, R. M. (1994). *Design data for reinforced plastics* (First edition). Germany: Springer Netherlands, 96.
22. İnternet: Plastik Matrisli Kompozitler. URL: http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/Plastik_Matrisli_Kompozitler.pdf, Son Erişim Tarihi: 29.03.2019
23. Çelebi K. Ve Darıcık F. (2017, Mart). Karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin farklı ortam şartlarındaki mod I kırılma davranışı, *Adana BTU, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Adana*, 226.
24. İnternet: Composite Failure Tool. URL: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.2/enus/help/wb_sim/ds_comp_failure_tool.html, Son Erişim Tarihi: 24.04.2019

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZKAN, Şeyda
 Uyruğu : T.C
 Doğum tarihi ve yeri : 20.05.1990, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 05078128449
 e-mail : gulerseyda05@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2014
Lise	Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-2019	Fikssan Savunma ve Havacılık A.Ş.	Tasarım Mühendisi
2017-2018	Aril Havacılık Ltd. Şti.	Tasarım Mühendisi
2015-2016	Yalçın Patent ve Danışmanlık	Patent Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Özkan Ş. ve Salıncı E. (2019). *Diz altı protez bacak ve kompozit ayak tasarımı ve imalatı*,
- Uluslararası akademik öğrenci çalışmaları kongresi, İstanbul.

Hobiler

Yüzme, Bisiklet Sürmek, Squash



GAZİ GELECEKTİR..