

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAL PETEĞİ VE ÖZGÜN TASARIM ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ**  
**KOMPOZİT YAPILARIN MEKANİK ANALİZLERİNİN**  
**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE YAPILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FATİH ÖZTEKİN**

**DENİZLİ, OCAK - 2020**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BAL PETEĞİ VE ÖZGÜN TASARIM ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ  
KOMPOZİT YAPILARIN MEKANİK ANALİZLERİNİN  
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE YAPILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FATİH ÖZTEKİN**

**DENİZLİ, OCAK - 2020**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

FATİH ÖZTEKİN tarafından hazırlanan “BAL PETEĞİ VE ÖZGÜN TASARIM ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ KOMPOZİT YAPILARIN MEKANİK ANALİZLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE YAPILMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 29.01.2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

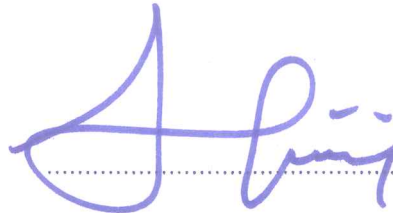
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ  
Pamukkale Üniversitesi  
Üye  
Doç. Dr. Yasin YILMAZ  
Pamukkale Üniversitesi  
Üye  
Prof. Dr. Osman ASİ  
Uşak Üniversitesi

  
.....  
  
.....  
  
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
26/02/2020 tarih ve 09/09... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

  
**FATİH ÖZTEKİN**

## ÖZET

**BAL PETEĞİ VE ÖZGÜN TASARIM ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ  
KOMPOZİT YAPILARIN MEKANİK ANALİZLERİNİN SONLU  
ELEMENLAR YÖNTEMİYLE YAPILMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FATİH ÖZTEKİN  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI: NUMAN BEHLÜL BEKTAŞ)**

**DENİZLİ, OCAK - 2020**

Bal peteği sandviç kompozit yapıların üretimindeki zorluklardan dolayı maliyetli olması nedeni ile üretimi daha kolay ve pratik olabilecek yeni bir model tasarlanıp geliştirilmesi öngörülmüştür. Standart yumurta viyolü tasarımında değişiklikler ve düzenlemeler yapılarak özgün tasarım yapılmıştır. Yeni tasarımın kalıp ile seri bir şekilde üretilbileceği ve dolayısıyla daha ekonomik olacağı öngörülmektedir.

Çalışmada kullanılan yapılar bilgisayar destekli katı modelleme ile yapılmıştır. Analizler Ansys Workbench programıyla yapılmıştır. Yüzey olarak modellenen yapılar Ansys Workbench'in kompozit malzemelerin analizinde kullanılan ACP kısmında yapılmıştır. Bu kısımda yaşanan problemler Ansys Workbench'in Static Structural kısmında da analiz yapma ihtiyacı oluşturmuştur.

Bal peteği yapısı ile özgün tasarım yapı ezme, dört nokta eğme, üç nokta eğme, modal analiz ve burkulma analizleri ile birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu analizlerde epoksi karbon kumaş, epoksi e-cam ve alüminyum malzemeler kullanılmıştır. Ezme analizini yapılarak toplam çökme miktarı ve eşdeğer gerilmeler karşılaştırılmıştır. Burkulma, üç nokta ve dört nokta eğme analizlerinde de toplam çökme miktarı ve eşdeğer gerilmeler karşılaştırılmıştır. Modal analizlerde Mod 1'deki toplam deformasyonlar kıyaslanmıştır. Tamamı kompozit malzemelerle oluşturulan analizler sonucunda özgün tasarım yapının dayanımı bal peteği yapının dayanımına göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Bal peteği, kompozit, yumurta kutusu, viyol, analiz, Ansys Workbench ACP, dayanım

## **ABSTRACT**

### **MAKING MECHANICAL ANALYSIS OF HONEY HONEY AND ORIGINAL DESIGN NUCLEAR SANDWIC COMPOSITE STRUCTURES BY FINITE ELEMENT METHOD**

**MSC THESIS**

**FATİH ÖZTEKİN**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR:NUMAN BEHLÜL BEKTAŞ)**

**DENİZLİ, JANUARY 2020**

Due to the difficulties in the production of honeycomb sandwich composite structures, it is envisaged to design and develop a new model that can be easier and practical to manufacture. The original design was made by making changes and adjustments in the standard egg tray design. It is anticipated that the new design can be produced serially with the mold and thus will be more economical.

The structures used in the study were made by computer aided solid modeling. The analyzes were made with Ansys Workbench program. Structures modeled as surface were made in the ACP part of Ansys Workbench used in the analysis of composite materials. The problems experienced in this section also created the need to analyze in the Static Structural part of Ansys Workbench.

The honeycomb structure and the original design structure were compared with each other by crushing, four-point bending, three-point bending, modal analysis and buckling analysis. Epoxy carbon fabric, epoxy e-glass and aluminum materials were used in these analyzes. The total slump amount and equivalent stresses were compared by performing mash analysis. In the buckling, three-point and four-point bending analyzes, the total slump amount and equivalent stresses were compared. In modal analysis, total deformations in Mode 1 were compared. As a result of the analyzes made entirely with composite materials, the strength of the original design structure was found to be more advantageous than the strength of the honeycomb structure.

**KEYWORDS:** Honeycomb, Composite, Egg Box, Analysis, Ansys Workbench ACP, Strength

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>13</b>
1.1 Tezin Amacı .....	14
1.2 Tezin Konusu ve Literatür Bilgisi .....	14
<b>2. BAL PETEĞİ ÇEKİRDEKLİ KOMPOZİT SANDVIÇ YAPILARA GENEL BAKIŞ .....</b>	<b>29</b>
2.1 Kompozit Malzemeler .....	29
2.2 Kompozit Sandviç Yapılar .....	31
2.3 Yapıştırma İşlemleri .....	32
2.4 Bal Peteği Yapılar .....	33
2.5 Bal Peteği Çekirdeği Üretim Yöntemleri .....	37
2.5.1 Uzatarak Şekil Verme Yöntemi .....	37
2.5.2 Kıvrırma Yöntemi .....	38
2.6 Bal Peteği Üretim Yöntemleri .....	38
2.6.1 Sıcak Presleme .....	39
2.6.2 Vakum Torbasında Üretim .....	40
2.6.3 Uygun Kalıpta Üretme .....	41
<b>3. TASARIM AŞAMASI.....</b>	<b>43</b>
<b>4. ANSYS KOMPOZİT MALZEME ANALİZİ .....</b>	<b>51</b>
4.1 Ansys Kompozit Malzeme Analizi Nedir? .....	51
4.2 ACP Kullanım Basamakları .....	51
4.3 ACP .....	52
4.4 Çalışma 1 (Özgün Tasarım) .....	72
4.5 Çalışma 2 (Bal Peteği).....	73
4.6 Çalışma 3 (Özgün Tasarım) .....	74
4.7 Çalışma 4 (Bal Peteği).....	75
4.8 Çalışma 5 (Özgün Tasarım) .....	76
4.9 Çalışma 6 (Bal Peteği).....	77
4.10 Çalışma 7 (Özgün Tasarım) .....	78
4.11 Çalışma 8 (Bal Peteği).....	79
4.12 Çalışma 9 (Özgün Tasarım) .....	80
4.13 Çalışma 10 (Bal Peteği).....	81
4.14 Çalışma 11 (Özgün Tasarım).....	82
4.15 Çalışma 12 (Bal Peteği).....	83
4.16 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 1 (Özgün Tasarım) .....	84
4.17 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 2 (Özgün Tasarım) .....	85
4.18 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 3 (Özgün Tasarım) .....	86
4.19 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 1 (Özgün Tasarım).....	87
4.20 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 2 (Özgün Tasarım).....	88
4.21 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 3 (Özgün Tasarım).....	89
4.22 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 4 (Bal Peteği) .....	90
4.23 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 5 (Bal Peteği) .....	91
4.24 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 6 (Bal Peteği) .....	92

4.25	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 4 (Bal Peteği).....	93
4.26	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 5 (Bal Peteği).....	94
4.27	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 6 (Bal Peteği).....	95
<b>5.</b>	<b>ANSYS STATİK YAPI ANALİZİ.....</b>	<b>96</b>
5.1	Analiz Basamakları .....	96
5.2	Analiz Karşılaştırılması .....	104
5.2.1	Çalışma 1 (Özgün Tasarım).....	104
5.2.2	Çalışma 2 (Bal Peteği) .....	106
5.2.3	Çalışma 1 ve Çalışma 2 Karşılaştırılması .....	108
5.2.4	Çalışma 3 (Özgün Tasarım).....	110
5.2.5	Çalışma 4 (Bal Peteği) .....	112
5.2.6	Çalışma 3 ve Çalışma 4 Karşılaştırılması .....	114
5.2.7	Çalışma 5 (Özgün Tasarım).....	116
5.2.8	Çalışma 6 (Bal Peteği) .....	118
5.2.9	Çalışma 5 ve Çalışma 6 Karşılaştırılması .....	120
5.2.10	Çalışma 7 (Özgün Tasarım).....	122
5.2.11	Çalışma 8 (Bal Peteği) .....	124
5.2.12	Çalışma 7 ve Çalışma 8 Karşılaştırılması .....	126
5.2.13	Çalışma 9 (Özgün Tasarım).....	128
5.2.14	Çalışma 10 (Bal Peteği) .....	130
5.2.15	Çalışma 9 ve Çalışma 10 Karşılaştırılması .....	132
5.2.16	Çalışma 11 (Özgün Tasarım).....	134
5.2.17	Çalışma 12 (Bal Peteği) .....	136
5.2.18	Çalışma 11 ve Çalışma 12 Karşılaştırılması .....	138
5.3	Alüminyum Gövde - Kompozit Yüzey Analizleri .....	140
5.3.1	Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 1 (Özgün Tasarım) ....	140
5.3.2	Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 2 (Özgün Tasarım) ....	141
5.3.3	Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 3 (Özgün Tasarım) ....	142
5.3.4	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 1 (Özgün Tasarım) ....	143
5.3.5	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 2 (Özgün Tasarım) ....	144
5.3.6	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 3 (Özgün Tasarım) ....	145
5.3.7	Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 4 (Bal Peteği).....	146
5.3.8	Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 5 (Bal Peteği).....	147
5.3.9	Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 6 (Bal Peteği).....	148
5.3.10	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 4 (Bal Peteği) .....	149
5.3.11	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 5 (Bal Peteği) .....	150
5.3.12	Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 6 (Bal Peteği) .....	151
5.4	Modal Analiz .....	152
5.4.1	Modal Analiz Çalışma 1 (Özgün Tasarım).....	152
5.4.2	Modal Analiz Çalışma 2 (Bal Peteği) .....	152
5.4.3	Modal Analiz Çalışma 3 (Özgün Tasarım).....	153
5.4.4	Modal Analiz Çalışma 4 (Bal Peteği).....	153
5.5	Burkulma Analizi .....	154
5.5.1	Burkulma Analizi Epoksi Karbon Çalışma 1 (Özgün Tasarım) .....	154
5.5.2	Burkulma Analizi Epoksi Karbon Çalışma 2 (Bal Peteği) .....	155
5.5.3	Burkulma Analizi E Cam Çalışma 3 (Özgün Tasarım) .....	156
5.5.4	Burkulma Analizi E Cam Çalışma 4 (Bal Peteği) .....	157
<b>6.</b>	<b>SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....</b>	<b>158</b>
<b>7.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>163</b>
<b>8.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>165</b>



# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 1.1: SHPS deney düzeneği ve yapıda meydana gelen hasar.....	15
Şekil 1.2: Oluşturulan yumurta şeklindeki petek yapılar.....	16
Şekil 1.3: Basma sonucu meydana gelen hasar.....	16
Şekil 1.4: Yapıda meydana gelen katlama, yırtılma ve kayma.....	17
Şekil 1.5: Deney şartları ve numune boyutları (Solmaz ve diğ. 2010). ....	19
Şekil 1.6: Yapıda meydana gelen hasarlar (Solmaz ve diğ. 2010).....	19
Şekil 1.7: Deney numunesi ve hasar (Nia ve Sadeghi 2010). ....	20
Şekil 1.8: SEA ile deneysel sonuçlar sonucu meydana gelen hasarların karşılaştırılması (Giglio ve diğ. 2012). ....	20
Şekil 1.9: SEM görüntüleri (Giglio ve diğ. 2012).....	21
Şekil 1.10: Deneylerde kullanılan farklı petek yapılar (Xu ve diğ. 2012). ....	21
Şekil 1.11: Destek plakası (Xu ve diğ. 2012). ....	22
Şekil 1.12: Sonlu elemanlar çalışmasından kesit (Rao ve diğ. 2013). ....	22
Şekil 1.13: Eğme ve basma sırasında oluşan hasar mekanizması.....	23
Şekil 1.14: Deneysel ve SEA çalışması (Gpoichand ve diğ. 2013). ....	23
Şekil 1.15: (a) Petek örnekleri ve test makinesi, (b) Numunelerin şekilleri ....	24
Şekil 1.16: Deformasyon şekilleri (Zhang ve diğ. 2014). ....	24
Şekil 1.17: Deneylerde kullanılan çok katlı bal peteği numuneler .....	25
Şekil 1.18: SEA modeli (Kılıçaslan ve diğ. 2014). ....	25
Şekil 1.19: Deneysel ve SEA ile oluşan hasarların karşılaştırılması .....	25
Şekil 1.20: Hasarlar a) Üst tabaka b) Çekirdek c) Alt tabaka .....	26
Şekil 2.1: Kompozit malzemenin yapısı (Berthelot 1999).....	29
Şekil 2.2: Farklı çekirdek yapısına sahip sandviç yapılar (Bolat 2011).....	32
Şekil 2.3: Bal peteği yapının kısımları (Ulay ve Güler 2010). ....	33
Şekil 2.4: Nomex, kevlerden üretilmiş petek, kevlar petek, prepreg yüzey tabakalardan üretilmiş sandviç yapı örnekleri (Ercan 2006).....	34
Şekil 2.5: Tamamen alüminyum petek ve alüminyum yüzey tabakalardan üretilmiş sandviç yapı örnekleri (Ercan 2006). ....	34
Şekil 2.6: Farklı çekirdek yapıları (Zhang ve diğ. 2014). ....	35
Şekil 2.7: Çekirdek yapı (Akkuş 2016).....	36
Şekil 2.8: Bal peteği yapıların avantajları (Hexcel 1999). ....	36
Şekil 2.9: Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi .....	37
Şekil 2.10: Kıvrırma yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi.....	38
Şekil 2.11: Prepreg ve kevlerden oluşan bal peteği kompozit malzeme.....	39
Şekil 2.12: Isıtılmış basınç altında üretilmiş metal tabaka, alüminyum petek hücreden oluşan balpeteği kompozit malzeme (Ercan 2006).....	39
Şekil 2.13: Sıcak presleme yöntemi (Hexcel 2003). ....	40
Şekil 2.14: Isıtılmış basınç altında üretim tekniği (Hexcel 2003).....	40
Şekil 2.15: Basit vakum bag usulü ve üretilen malzeme (Hexcel 2003). ....	41
Şekil 2.16: Uygun kalıpta üretim usulü ve üretilen malzeme .....	42
Şekil 3.1: ASTM E1556-08 standardında üç noktadan eğme testi. ....	43
Şekil 3.2: Deneylerde alüminyum yumurta kutusunun enerji absorbe .....	43
Şekil 3.3: Tasarımdaki ölçüler. ....	44
Şekil 3.4: Kompozit özgün tasarım. ....	44
Şekil 3.5: Özgün tasarım epoksi karbon kumaş - epoksi karbon kumaş.....	45

Şekil 3.6: Bal peteği yapı epoksi karbon kumaş - epoksi karbon kumaş.....	45
Şekil 3.7: Özgün tasarım e-cam elyaf - e-cam elyaf.....	46
Şekil 3.8: Bal peteği yapı e-cam elyaf - e-cam elyaf.....	46
Şekil 3.9: Özgün tasarım epoksi karbon kumaş- alüminyum.....	47
Şekil 3.10: Bal peteği yapı epoksi karbon kumaş - alüminyum.....	47
Şekil 3.11: Özgün tasarım e-cam elyaf - alüminyum.....	48
Şekil 3.12: Bal peteği yapı e-cam elyaf - alüminyum.....	48
Şekil 3.13: Ansys Ascii hatası.....	49
Şekil 3.14: Ansys yük aktarma hatası.....	49
Şekil 3.15: Ansys gerilme hatası.....	50
Şekil 3.16: Ansys Mesh hatası.....	50
Şekil 3.17: Ansys Mesh için ölçü birimi.....	50
Şekil 4.1: Ansys ACP görünümü.....	52
Şekil 4.2: Ansys malzeme kütüphanesi.....	52
Şekil 4.3: Ansys kompozit malzemeler kütüphanesi.....	53
Şekil 4.4: Ansys'e modeli getirme.....	53
Şekil 4.5: Ansys'te modeli açma.....	54
Şekil 4.6: Modelde yüzey kalınlıklarını girme.....	54
Şekil 4.7: Ansys Mesh tanımlaması.....	55
Şekil 4.8: Ansys Mesh'e verilerin girilmesi.....	55
Şekil 4.9: Modelin Mesh hali görüntüsü.....	56
Şekil 4.10: Model parçalarının isimlendirilmesi.....	56
Şekil 4.11: Model güncellemesi yapılır.....	57
Şekil 4.12: Ansys'te ölçü birimi girilmesi.....	57
Şekil 4.13: Ansys'te statik yapı analizinin eklenmesi.....	58
Şekil 4.14: Ansys kumaş kalınlığının belirlenmesi.....	58
Şekil 4.15: Malzemenin kumaş açılarının girilmesi.....	59
Şekil 4.16: Koordinat tanımlaması.....	59
Şekil 4.17: Katmanların yüzeye dik konuma getirilmesi.....	60
Şekil 4.18: Katmanların oluşturulması.....	60
Şekil 4.19: Katman bilgileri girilir.....	61
Şekil 4.20: Modelin kesiti alınması.....	61
Şekil 4.21: Alt ve üst yüzeyin ayrılması.....	62
Şekil 4.22: Çekirdek yapıların ayrılması.....	62
Şekil 4.23: Yüzeylerin katmanının belirlenmesi.....	63
Şekil 4.24: Katmanların oluşturulması.....	63
Şekil 4.25: Çekirdeklerin katmanının belirlenmesi.....	64
Şekil 4.26: Katmanların verilerinin güncellenmesi.....	64
Şekil 4.27: Statik yapı analizi.....	65
Şekil 4.28: Sabitlenecek yüzey seçimi.....	65
Şekil 4.29: Kuvvet uygulanacak yüzey seçimi.....	66
Şekil 4.30: ACP analizin sonuç kısmı için ACP Post açılması.....	66
Şekil 4.31: ACP Post görünümü.....	67
Şekil 4.32: Statik yapı bilgilerinin ACP Post'a aktarma.....	67
Şekil 4.33: ACP Post'un güncellenmiş görünümü.....	68
Şekil 4.34: Çökme miktarının gösterilmesi.....	68
Şekil 4.35: Kompozit yapının çökmesi.....	69
Şekil 4.36: Yapının çökmesinin görünümü.....	69
Şekil 4.37: Katmanların görünümü.....	70
Şekil 4.38: Tüm katmanların görünümü.....	70

Şekil 4.39: Üst ve alt yüzey gerilme sonuçları.....	71
Şekil 4.40: Tüm yapının gerilme sonuçları. ....	71
Şekil 4.41: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	72
Şekil 4.42: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	72
Şekil 4.43: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	73
Şekil 4.44: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	73
Şekil 4.45: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	74
Şekil 4.46: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	74
Şekil 4.47: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	75
Şekil 4.48: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	75
Şekil 4.49: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	76
Şekil 4.50: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	76
Şekil 4.51: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	77
Şekil 4.52: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	77
Şekil 4.53: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	78
Şekil 4.54: Eşdeğer Gerilme Cam Fiber. ....	78
Şekil 4.55: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	79
Şekil 4.56: Eşdeğer Gerilme Cam Fiber. ....	79
Şekil 4.57: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	80
Şekil 4.58: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	80
Şekil 4.59: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	81
Şekil 4.60: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	81
Şekil 4.61: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	82
Şekil 4.62: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	82
Şekil 4.63: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	83
Şekil 4.64: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	83
Şekil 4.65: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	84
Şekil 4.66: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	84
Şekil 4.67: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.....	85
Şekil 4.68: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	85
Şekil 4.69: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.....	86
Şekil 4.70: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	86
Şekil 4.71: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	87
Şekil 4.72: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg - Alüminyum. ....	87
Şekil 4.73: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	88
Şekil 4.74: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	88
Şekil 4.75: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	89
Şekil 4.76: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	89
Şekil 4.77: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	90
Şekil 4.78: Eşdeğer Gerilme Cam Fiber – Alüminyum. ....	90
Şekil 4.79: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.....	91
Şekil 4.80: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg - Alüminyum. ....	91
Şekil 4.81: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.....	92
Şekil 4.82: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg - Alüminyum. ....	92
Şekil 4.83: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	93
Şekil 4.84: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	93

Şekil 4.85: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	94
Şekil 4.86: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	94
Şekil 4.87: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	95
Şekil 4.88: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	95
Şekil 5.1: Ansys'te Statik Yapı Analizi görünümü. ....	96
Şekil 5.2: Ansys'te malzeme kütüphanesi. ....	96
Şekil 5.3: Ansys'te kompozit malzemeler. ....	97
Şekil 5.4: Model eklenmesi. ....	97
Şekil 5.5: Statik Yapı Analizi'nde model açılması. ....	98
Şekil 5.6: Model yüzeylerine kalınlık verilmesi. ....	98
Şekil 5.7: Model yüzey katmanları verilmesi. ....	99
Şekil 5.8: Koordinat sisteminin girilmesi. ....	99
Şekil 5.9: Yüzey katmanları. ....	99
Şekil 5.10: Modelin Mesh gösterimi. ....	100
Şekil 5.11: Model - Mesh - Sizing. ....	100
Şekil 5.12: Yüzey desteklerinin belirlenmesi. ....	101
Şekil 5.13: Kuvvet verilmesi. ....	101
Şekil 5.14: Toplam çökme miktarının belirlenmesi. ....	102
Şekil 5.15: Eşdeğer gerilmenin belirlenmesi. ....	102
Şekil 5.16: Path tanımlamasının yapılması. ....	103
Şekil 5.17: Path oluşturma. ....	103
Şekil 5.18: Grafik oluşturulması. ....	103
Şekil 5.19: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	104
Şekil 5.20: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	104
Şekil 5.21: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	105
Şekil 5.22: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	105
Şekil 5.23: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	106
Şekil 5.24: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Kumaş (230 GPa) Prepreg. ....	106
Şekil 5.25: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	107
Şekil 5.26: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	107
Şekil 5.27: Özgün tasarımın toplam çökme miktarı. ....	108
Şekil 5.28: Bal peteğinin toplam çökme miktarı. ....	108
Şekil 5.29: Özgün tasarımın eşdeğer gerilmeleri. ....	109
Şekil 5.30: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri. ....	109
Şekil 5.31: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	110
Şekil 5.32: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	110
Şekil 5.33: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	111
Şekil 5.34: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	111
Şekil 5.35: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	112
Şekil 5.36: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	112
Şekil 5.37: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	113
Şekil 5.38: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	113
Şekil 5.39: Özgün tasarımın toplam çökme miktarı. ....	114
Şekil 5.40: Bal peteğinin toplam çökme miktarı. ....	114
Şekil 5.41: Özgün tasarımın eşdeğer gerilmeleri. ....	115
Şekil 5.42: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri. ....	115
Şekil 5.43: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	116
Şekil 5.44: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	116
Şekil 5.45: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	117
Şekil 5.46: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	117

Şekil 5.47: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	118
Şekil 5.48: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	118
Şekil 5.49: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	119
Şekil 5.50: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	119
Şekil 5.51: Özgün tasarımın çökme miktarı.....	120
Şekil 5.52: Bal peteği yapının çökme miktarı.....	120
Şekil 5.53: Özgün tasarımın eşdeğer gerilmesi.....	121
Şekil 5.54: Bal peteğinin eşdeğer gerilmesi.....	121
Şekil 5.55: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	122
Şekil 5.56: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	122
Şekil 5.57: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	123
Şekil 5.58: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	123
Şekil 5.59: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	124
Şekil 5.60: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	124
Şekil 5.61: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	125
Şekil 5.62: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	125
Şekil 5.63: Bal peteğinin çökme miktarı.....	126
Şekil 5.64: Özgün tasarımın çökme miktarı.....	126
Şekil 5.65: Özgün tasarımın eşdeğer gerilmeleri. ....	127
Şekil 5.66: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri. ....	127
Şekil 5.67: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	128
Şekil 5.68: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	128
Şekil 5.69: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	129
Şekil 5.70: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	129
Şekil 5.71: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	130
Şekil 5.72: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	130
Şekil 5.73: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	131
Şekil 5.74: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	131
Şekil 5.75: Özgün tasarımın çökme miktarı.....	132
Şekil 5.76: Bal peteğinin çökme miktarı.....	132
Şekil 5.77: Özgün tasarımın eşdeğer gerilmeleri.....	133
Şekil 5.78: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri.....	133
Şekil 5.79: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	134
Şekil 5.80: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	134
Şekil 5.81: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	135
Şekil 5.82: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	135
Şekil 5.83: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	136
Şekil 5.84: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	136
Şekil 5.85: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	137
Şekil 5.86: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	137
Şekil 5.87: Özgün tasarımın çökme miktarı.....	138
Şekil 5.88: Bal peteğinin çökme miktarı.....	138
Şekil 5.89: Özgün tasarımın eşdeğer gerilmeleri.....	139
Şekil 5.90: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri.....	139
Şekil 5.91: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum... 140	140
Şekil 5.92: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	140
Şekil 5.93: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.....	141
Şekil 5.94: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	141

Şekil 5.95: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.....	142
Şekil 5.96: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	142
Şekil 5.97: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	143
Şekil 5.98: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	143
Şekil 5.99: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	144
Şekil 5.100: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	144
Şekil 5.101: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	145
Şekil 5.102: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	145
Şekil 5.103: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	146
Şekil 5.104: Eşdeğer Gerilme Cam Fiber – Alüminyum. ....	146
Şekil 5.105: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	147
Şekil 5.106: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.....	147
Şekil 5.107: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum. ....	148
Şekil 5.108: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.....	148
Şekil 5.109: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	149
Şekil 5.110: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	149
Şekil 5.111: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	150
Şekil 5.112: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	150
Şekil 5.113: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	151
Şekil 5.114: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum. ....	151
Şekil 5.115: Modal Analiz Epoksi Karbon Prepreg Mod 1. ....	152
Şekil 5.116: Modal Analiz Epoksi Karbon Prepreg Mod 1. ....	152
Şekil 5.117: Modal Analiz Cam Fiber Mod 1.....	153
Şekil 5.118: Modal Analiz Cam Fiber Mod 1.....	153
Şekil 5.119: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	154
Şekil 5.120: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	154
Şekil 5.121: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	155
Şekil 5.122: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg. ....	155
Şekil 5.123: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	156
Şekil 5.124: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	156
Şekil 5.125: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber. ....	157
Şekil 5.126: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber. ....	157

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 6.1:</b> Yapılardaki maksimum gerilme ve deformasyon değerleri.....	159
<b>Tablo 6.2:</b> Yapılardaki maksimum gerilme ve deformasyon değerleri.....	159
<b>Tablo 6.3:</b> Alüminyum gövde kompozit yüzeylerin ACP analiz sonuçları ...	160
<b>Tablo 6.4:</b> Alüminyum gövde ve kompozit yüzeylerin static structural analiz sonuçları .....	161

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada tez konusunun belirlenmesinde, çalışmanın hazırlanmasında, analizlerin gerçekleşmesinde çıkan hatalara çözümler belirlenmesinde ve çalışmanın tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ'a çok teşekkür ederim.

Yine bu çalışmada bana moral ve destek veren arkadaşlarıma, yakınlarıma ve maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ediyorum.



# 1. GİRİŞ

Sandviç yapılar, iki tane ince ve rijit alt ve üst yüzey tabaka arasına kalın ama oldukça hafif çekirdek malzemesinin yerleştirilmesiyle elde edilir. Sandviç malzemeler, özellikle klasik malzemelere oranla sahip oldukları hafiflik, yüksek “dayanım/ağırlık” oranı, dayanıklılık gibi özellikleri sayesinde havacılık ve uzay sanayinden, denizcilik, otomotiv ve yapı endüstrisine kadar değişen pek çok sahada geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sandviç malzemelerin, çeşitli uygulamalar için alt ve üst yüzey tabakaları ile çekirdeğinin farklı malzeme ve geometrik yapılardan seçilerek en uygun tasarımların elde edilebilmesi, en büyük avantajları arasındadır (Şakar ve diğ. 2010).

Petek şeklinde bir çekirdeğe sahip sandviç plaklar 1940’dan beri uçak sanayisinde hem sivil hem askeri uçaklarda, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Daha sonra roket ve uydu yapılarında da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde sandviç kompozit yapıların kullanımı helikopterlerin gövde, kargo kapıları, ana rotor ve kuyruk rotoru palaları; uyduların güneş panelleri yansıtıcı anten ve gövde yapıları; gemilerin gövde dış kısmı, asma tavanları, kamara bölmeleri ve hava kalkanlarına kadar yaygınlaşmıştır. Trenler, tramvaylar, yelkenli tekneler, yarış araçları ve arabaları da sandviç konstrüksiyonun kullanıldığı araçlardır (Balkan 2012).

Sandviç yapıların kullanımının artmasında etkili olan özellikleri; yüksek katılık ve yüksek mukavemet/ağırlık oranı, pürüzsüz dış yüzey, daha iyi kararlılık, yüksek yük taşıma kapasitesi, yorulma ömrünün uzun oluşu, çatlak büyümesi (crack growth) ve kırılma tokluğu (fracture toughness) karaktersizliklerinin katmanlı yapılara kıyasla daha iyi olması, ısı ve akustik yalıtım, yüksek çift eksenli (bi-axial) basmaya dayanma yeteneği şeklinde özetlenebilir (Balkan 2012).

Günümüzde modern teknolojinin üstün özelliklere sahip malzemeye olan ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Özellikle yüksek mukavemetin yanında, aynı zamanda hafifliğin de istendiği yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanım yerine bağlı olarak istenilen bu gibi özelliklerin aynı malzemedeki aynı anda bulunması mümkün değildir. Birbirlerinin zayıf yönlerini düzeltecek şekilde üstün özelliklerin bir araya getirilmesi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. İstenilen özelliklere sahip malzemelerin üretiminin yanında çalışma ömrü ve çalışma esnasında

uğrayabilecekleri hasarlara karşı davranışlarının bilinmesi de önem taşımaktadır. Hasarların tespiti laboratuvar ortamında gerçeğe en yakın şekilde modellemeler yaparak elde edilmektedir (Kaya 2014).

## **1.1 Tezin Amacı**

Özgün tasarım olarak modellenen kompozit yapının üretimi bal peteği çekirdekli sandviç kompozit yapıların üretimlerinden daha kolay ve pratik olacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, bal peteği çekirdekli sandviç kompozit yapı ile özgün tasarım olarak modellenen kompozit yapının sonlu elemanlar metodu tabanlı yazılım olan ANSYS Workbench ile 3 ve 4 nokta eğilme, basma, ezilme ve modal analizlerinin yapılması ve birbirleri ile kıyaslanması amaçlanmıştır.

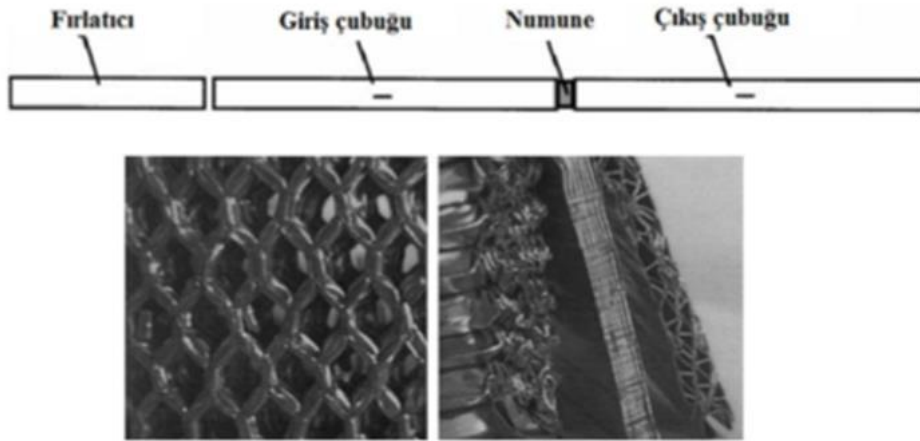
## **1.2 Tezin Konusu ve Literatür Bilgisi**

Kompozit sandviç yapıların tarihine baktığımızda kullanımının 2. Dünya Savaşı sırasında Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmıştır. 1943 yılında, Vultee BT-15 uçağının gövdesi, güçlendirilmiş cam elyaf polyester yüzey tabakası ve peteği yapılmıştır. 1948 yılında Hoff, yer değiştirme prensibini kullanarak sandviç yapıların burkulma ve eğilme davranışının diferansiyel denklemlerini ve sınır koşullarını belirlemiştir. Libove ve Batdorf, sandviç yapıların genel küçük yer değiştirme teorisini yayınlamışlardır. 1949 yılında Flügge, sandviç plakaların yapısal optimizasyonu konusunda yaptığı çalışmada, yüzeylerin elastik limitini ve burkulmasını incelemiştir. Plantema ve Allen ise sandviç yapılar konusunda 1960 kitaplarını yayınlamıştır. Yapılan çalışmalarla artan hesaplama gücü, sandviç çekirdek yapıların mekanik davranış analizlerinin iyileştirilmesini sağlamıştır. Bilgisayarlar da kullanılarak sayısal hesaplamadaki artış çekirdeğin mekanik özelliklerini daha iyi modelleyen geliştirilmiş sandviç plak ve kabuk teorilerinin kullanımını sağlamıştır.

Burton ve Noor, petek çekirdeğe sahip sandviç panellerinin yapışkan bağının yapısını incelemiştir. Kare hücreli petek sandviç panellere basınç yüküne maruz bırakılarak kenarları mesnetleyerek durumları incelemiştir.

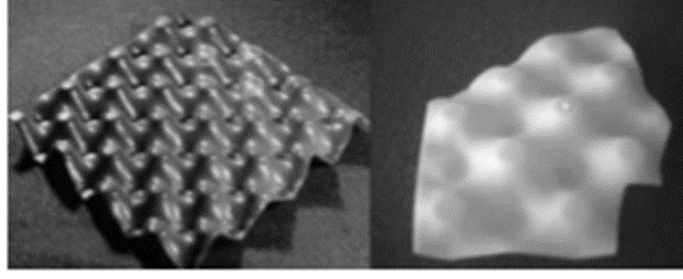
Burton ve Noor (1996), uzay ve zamanda sürekli sandviç petek yapı modellerini incelemişlerdir. Sonsuz uzunluktaki dikdörtgen sandviç panelin serbest titreşiminin tahmini için sonlu eleman modellerini kullanılmıştır. Çekirdek yerine ona eşdeğer uzay-zaman sürekliliğine sahip ortam konarak modellenen paneller için yüksek mertebe sandviç teorisinden elde edilen sonuçlar, sonlu eleman modelinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Gary ve Zhao (1998) yaptıkları çalışmalarda araçlarda kullanılan alüminyum bal peteklerinin statik ve dinamik yük altında davranışını, çarpışmadaki enerji emme kapasitesini belirlemek için Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) yöntemi ile deneysel olarak incelemiştir. Şekil 1.1’de deney düzeneği ve yapıdaki hasar görülmektedir. Statik ve dinamik yükler altında gerilmelerinin farklı olmasıyla alüminyum folyo peteklerin önemli derecede ezilme direnci olduğu ve araçlarda kullanımının farklı çalışmalarla deneyerek kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

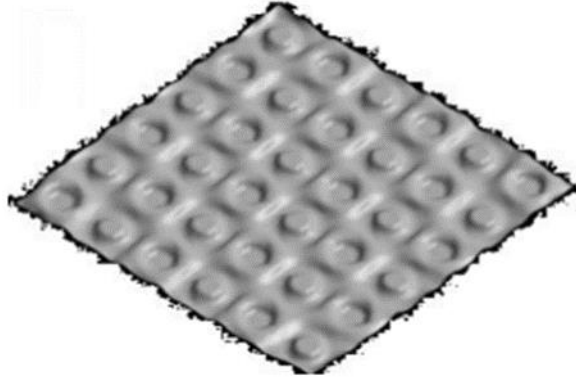


**Şekil 1.1:** SHPS deney düzeneği ve yapıda meydana gelen hasar (Zhao ve Garry 1998).

Ashmead ve ark. (2000) yaptıkları çalışmalarda presleyerek yumurta kolisi şekline getirdikleri PU, çelik ve PP malzemelerinden numunelerle alüminyum bal peteği altıgen yapılarının dinamik özelliklerini deneysel ve sonlu elemanlar metodu yöntemi incelemişlerdir. Basma ve darbe deneyi yaparak incelemişlerdir. Çalışmalarında yumurta kolisi şeklindeki hücre yapıları Şekil 1.2’de görülmektedir. Basma sonucunda meydana gelen durum Şekil 1.3’te görülmektedir.



**Şekil 1.2:** Oluşturulan yumurta şeklindeki petek yapılar (Ashmead ve diğ. 2000).



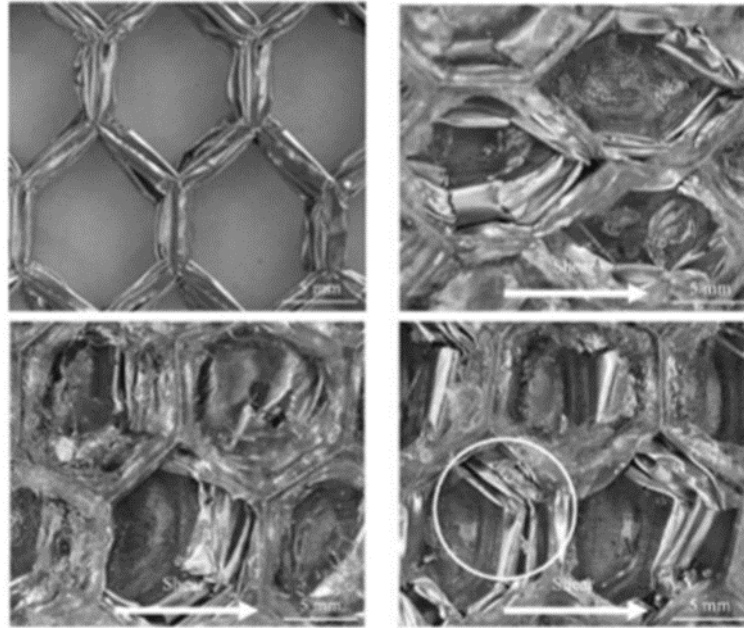
**Şekil 1.3:** Basma sonucu meydana gelen hasar (Ashmead ve diğ. 2000).

Hong ve ark. (2006) yapmış oldukları deneylerde alüminyum 5052-H38 petek numunelerindeki ezilme davranışlarını yarı statik deneylerle gözlemlemişlerdir. Kesme ve basma yüklerinin kontrol edilebileceği bir deney düzeneği oluşturmuşlardır. Dikey ekseninde yapılan yüklemenin yatay eksene göre yaklaşık dokuz kat daha mukavemet gösterdiği sonuçlarına ulaşmışlardır. Bu sonuçlar bal peteği yapılar basmaya karşı dayanıklı olduğunu ancak kaymaya karşı daha zayıf olduğunu gösterdi.

Dharmasena ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada austenitic paslanmaz çelik alaşımından yaptıkları kare şeklindeki petek çekirdekli sandviç panelin mekanik özelliklerini belirlemek için patlama testleri gerçekleştirmişlerdir. Benzer yoğunluğa sahip katı plak ve sandviç panellere üç aşamada uygulanan bası yükü ile deneyler yapılmıştır. Deneylerde panelinin ön yüzeyindeki patlama yüklerini belirlemek için hava patlama simülasyon kodu kullanılmış ve bu elde edilen değerleri sandviç yapının dinamik cevabının ABAQUS/Explicit ile yapılan sonlu eleman hesaplamalarında kullanmışlardır.

Southward ve ark. (2007) levha ve ara malzemeyi yapıştırarak imal ederek sandviç kompozit malzemelerdeki hasar analizi yapmışlardır. Bal petek çekirdek yapısındaki kompozit malzemeleri eğilme testlerine tabi tutmuşlardır. Numerik araştırmalar ile yaptıkları deneyleri karşılaştırmışlar ve bununla ilgili çeşitli tavsiyeler sunmuşlardır.

Hong ve ark. (2008) yaptıkları çalışmalarında alüminyum 5052-H38'in eğimli yükler altındaki petek numunelerin darbe ve basma davranışlarını incelemişlerdir. Al-5052 malzemesi alt ve üst yüzeye epoksi ile yapıştırılmış çekirdek ve sade çekirdek olarak iki farklı numune kullanmışlardır. Ezilme deneylerinde çarpma hızı arttıkça, normal gerilmenin arttığı ancak kayma gerilmelerinin çok değişmediği sonucuna ulaşmışlardır. Basınçlı yükler altındaki petek yapılar benzer mikroskobik katlama ve kırılma mekanizmaları, yapıştırma işlemli peteklerde farklı yırtılma mekanizmaları oluşmuştur. Şekil 1.4'te yapıda meydana gelen katlanma, yırtılma ve kaymalar gösterilmiştir.



**Şekil 1.4:** Yapıda meydana gelen katlama, yırtılma ve kayma (Hong ve diğ. 2008).

Meifeng He'nin (2008) yaptığı çalışmalarda bal peteği şeklindeki yapıların gösterdiği mukavemet, ağırlıklarına göre iyi çıkmıştır. Deneylerde bal peteği sandviç yapıların mekanik özelliklerini belirlemiş ve bununla ilgili numerik hesaplamalar yaparak ağırlıklarına göre mukavemetlerinin iyi olduğunu teorik

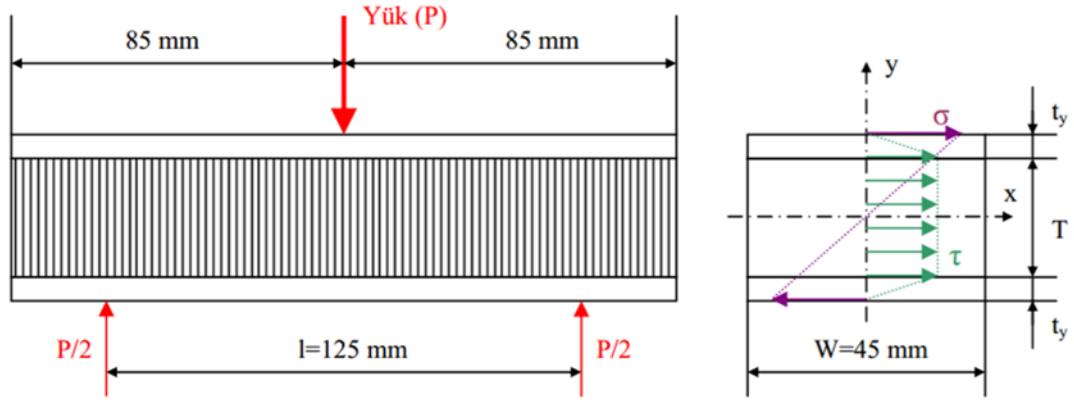
olarak belirlemiştir. Meifeng He'nin hesaplamalarında %50-%60 daha hafif olan bal peteği yapılar daha iyi mukavemet göstermiştir.

Gaetano G. Galletti, Christine Vinqvist ve Omar Said (2008) uçaklarda bagaj bölümü için özel tasarımlar üzerine çalışmalar yaptılar. Bu çalışmalarda gereken ölçülere uygun şekilde gerekli mukavemette malzeme belirlemiştirler. Belirlenen ölçü ve yüklerde analitik hesaplamalar yapmışlardır. Bu hesaplamalarda yüzey malzemesi olarak Grafit / Epoksi TXX-145-F155, çekirdek malzemesi olarak da HRH-10-1 / 8-6.0 Aramid fiber takviyeli bal peteği kullanmışlardır.

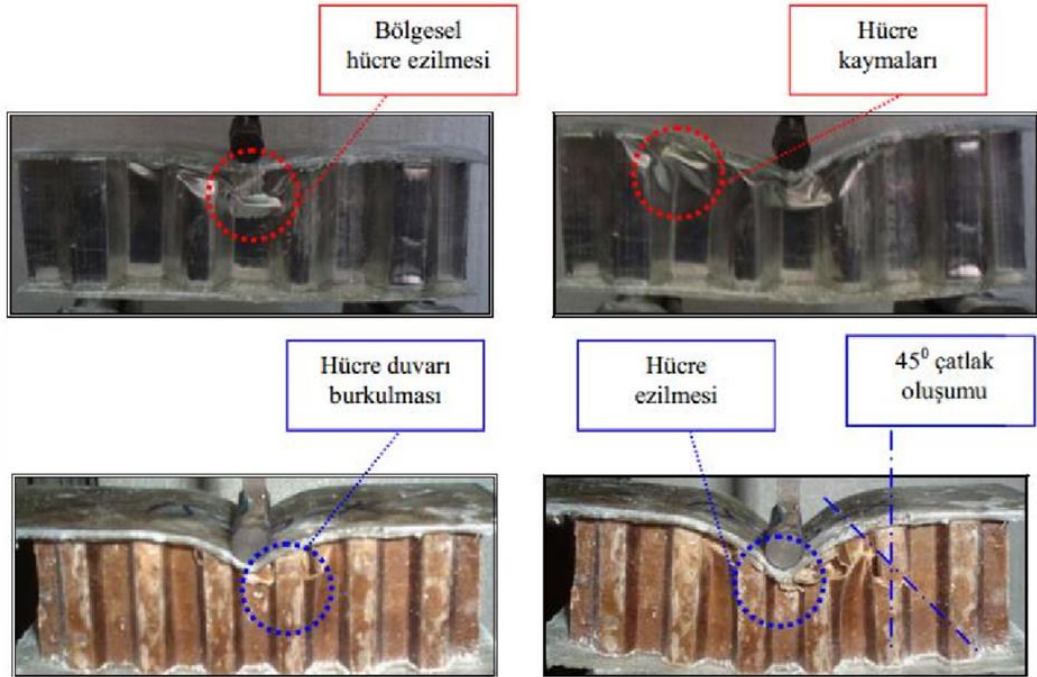
Zhou ve Hill (2009) çalışmalarında bal peteği kompozit yapıların basma, eğme ve kesme kuvvetlerine karşı mukavemetlerini incelediler. Basma kuvvetine karşı mukavemetleri iyi olmasına rağmen kesme ve eğme kuvvetlerine karşı mukavemetlerinin iyi olmadığını belirlemiştirler.

Jen ve ark. (2009) deneylerinde farklı yapıştırıcılar kullanarak bal peteği yapıların darbelere karşı mukavemetinin değişeceğini göstermişlerdir. Nano yapıştırıcıların gelişmesiyle bal peteği uygulamalarında kullanımı artmaktadır. Bu yapıştırıcılar sayesinde iyi bir kenetlenme özelliği görülmektedir.

Solmaz ve ark. (2010) çalışmalarında bal peteği kompozit levhaların eğme davranışları araştırılmıştır. Deneysel şartları ve numune boyutları Şekil 1.5'te görülmektedir. Levhaların yüzeyi, cam fiberden imal edilmiş, petek malzemesi olarak alüminyum ve polyester emdirilmiş kâğıttan yararlanılmıştır. Kâğıttan petek levhaların eğme mukavemetlerinin, alüminyum peteklere kıyasla daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Alüminyum çekirdekli peteklerde kuvvete maruz bırakılan bölgelerde, lokal kayma hasarları ve hücre ezilmesi meydana gelirken, kâğıt çekirdekli numunelerde ise bu bozulmalara ilave olarak biraz bölgesel çatlaklar olduğu belirlenmiştir. Şekil 1.6'da deneysel sonucunda meydana gelen hasarlar görülmektedir.

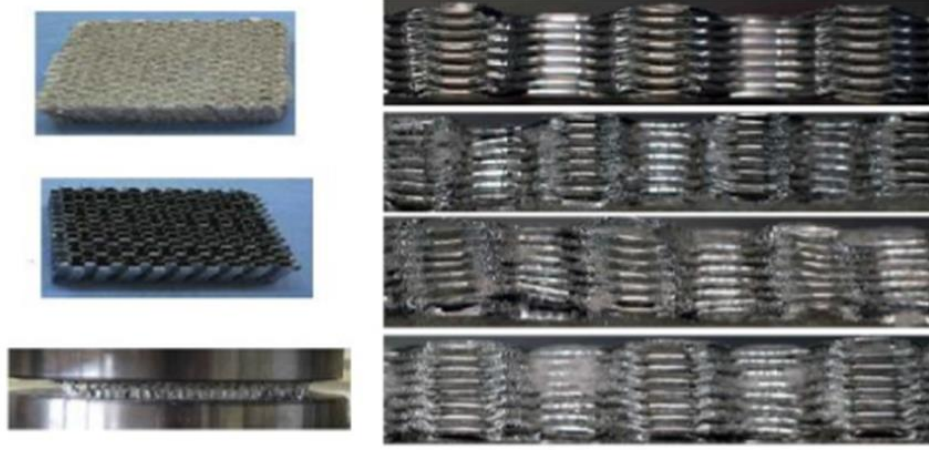


Şekil 1.5: Deney şartları ve numune boyutları (Solmaz ve diğ. 2010).



Şekil 1.6: Yapıda meydana gelen hasarlar (Solmaz ve diğ. 2010).

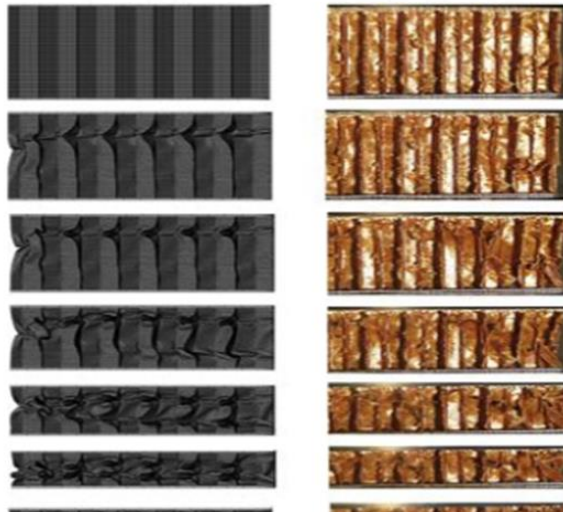
Nia ve Sadeghi (2010) yaptıkları çalışmalarda köpük dolgu bal peteği yapıların mekanik özelliklerini ve plastik şekil değiştirme davranışlarını araştırmışlardır. Beş farklı numunede petekler aksenal basınç altında incelenmiştir. Hücrelerin genişliği, duvar kalınlığı ve yüksekliğinin ezilme mukavemeti ve enerji absorbe etme kapasitesini araştırmışlardır. Şekil 1.7'de deney numunesinin katlanma sonucu meydana gelen hasarı gösterilmiştir.



**Şekil 1.7:** Deneysel numunesi ve hasar (Nia ve Sadeghi 2010).

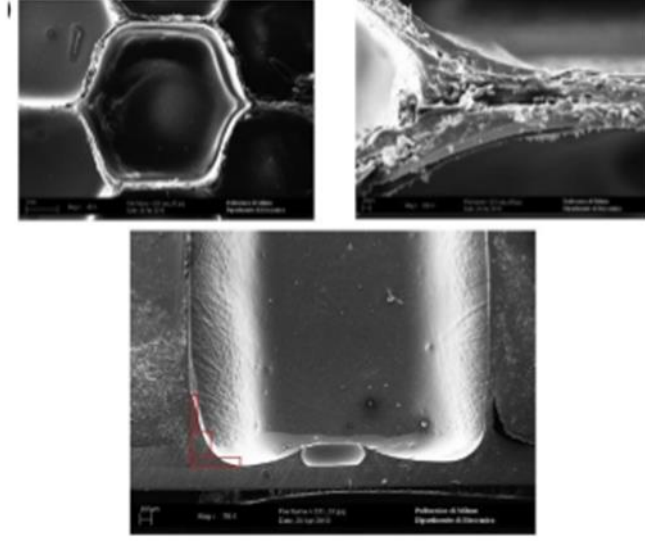
K.Kantha Rao (2012), titanyum, 4340 yüksek çekme çelik ve alüminyumun eğilme analizlerini karşılaştırmıştır. Analizleri üç nokta eğilme deneyi kullanarak yapmıştır. Deneylerde titanyum alaşımının yoğunluğa göre daha fazla mukavemet gösterdiği gözlemlenmiştir. Petekli bir çekirdek hücresinin duvar kalınlığı, yanal yüklere maruz kalan panellerin dayanımını etkileyen önemli bir faktördür.

Giglio ve ark. (2012) çalışmasında bal peteklerin mekanik özelliklerini basma deneyiyle belirlemişlerdir. Sonlu elemanlar metodu ile yapıyı modellemişlerdir. Şekil 1.8'de deney sonuçları ile sonlu elemanlar metodu sonuçlarını kıyaslamışlardır. Sonlu elemanlar metodu verilerinden yola çıkarak bal peteği yapıların iç yapısını ve yapılaşma şekillerini incelemişlerdir.



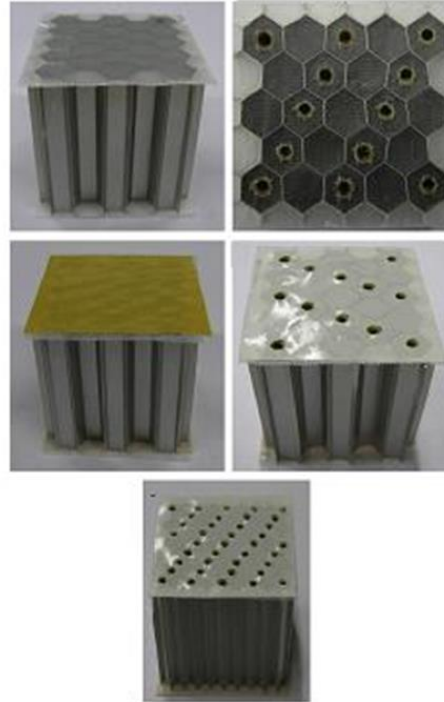
**Şekil 1.8:** SEA ile deneysel sonuçlar sonucu meydana gelen hasarların karşılaştırılması (Giglio ve diğ. 2012).



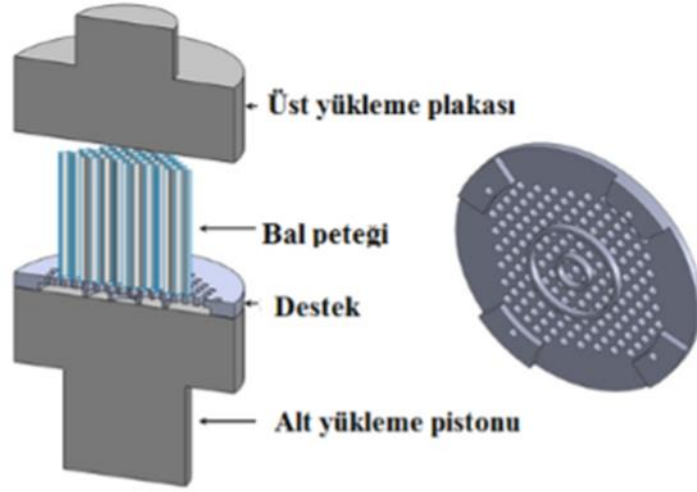


**Şekil 1.9:** SEM görüntüleri (Giglio ve diğ. 2012).

Xu ve ark. (2012) çalışmasında bal peteği yapısında üst ve alt yüzelerde farklı delik sayısına sahip hava kanallı sandviç bal peteklerinin üretimini ve basma deneyleri sonucu mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Şekil 1.9’da kullanılan numuneler gösterilmiştir. Hava kanallarının arttırarak içinde sıkışan havanın daha çok tahliyesiyle mukavemet artışı sağlamayı amaçlamışlardır. Şekil 1.10’da deney için kullanılan destek plaka gösterilmiştir.



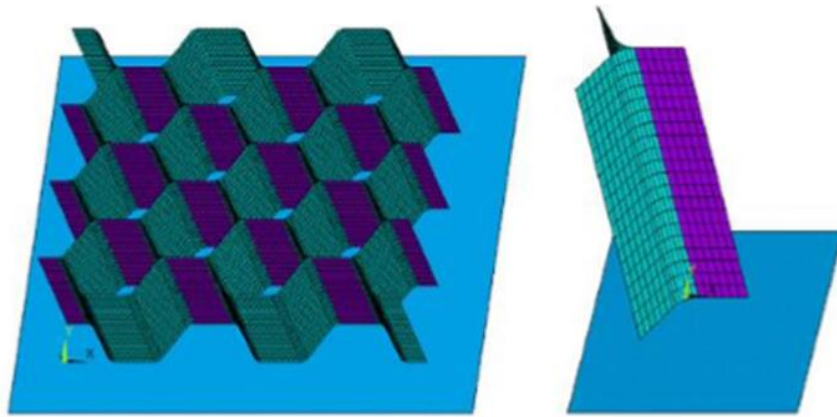
**Şekil 1.10:** Deneylerde kullanılan farklı petek yapılar (Xu ve diğ. 2012).



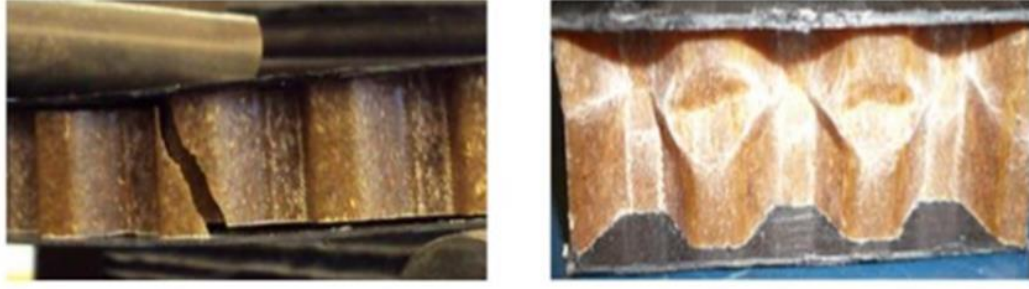
**Şekil 1.11:** Destek plakası (Xu ve diğ. 2012).

Rao ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilen bal peteği sandviç panellerin enerji absorbe etme özelliklerini deneysel ve sonlu elemanlar metodu ile araştırmışlardır. Bu çalışmada çekirdek polipropilen kompozit olarak üretilmiştir. Deney sonucunda kırılmaların genellikle kıvrım noktalarında meydana geldiği görülmüştür. Bu kırılmaların kalıplarda tam bir birleşme olmadığından kaynaklandığı görülmüştür.

Şekil 1.12’de sonlu elemanlar - mesh uygulamasında bir hücre gösterilmiştir. Eğme ve basma deneylerinde oluşan hasarlar Şekil 1.13’te verilmiştir. Deney sonuçları ile sonlu elemanlar metodu sonuçları benzerlik göstermiştir.



**Şekil 1.12:** Sonlu elemanlar çalışmasından kesit (Rao ve diğ. 2013).

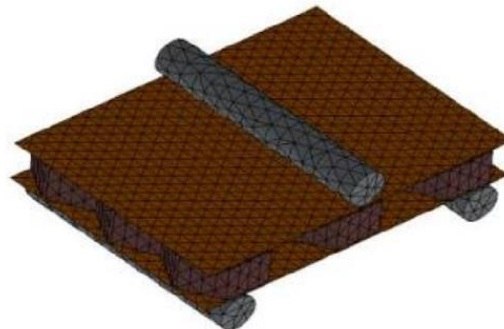


**Şekil 1.13:** Eğme ve basma sırasında oluşan hasar mekanizması (Rao ve diğ. 2013).

Gpoichand ve ark. (2013) yaptıkları çalışmalarında bakırdan yapılan bal peteği çekirdeklerini üç noktadan eğme testi yapılmıştır. Deney sonuçları ile sonlu elemanlar metodundaki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada hücre kalınlığı arttıkça eğme kuvvetlerinin de arttığı görülmüştür. Şekil 1.14'te deneysel çalışma ve Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) modeli görülmektedir.



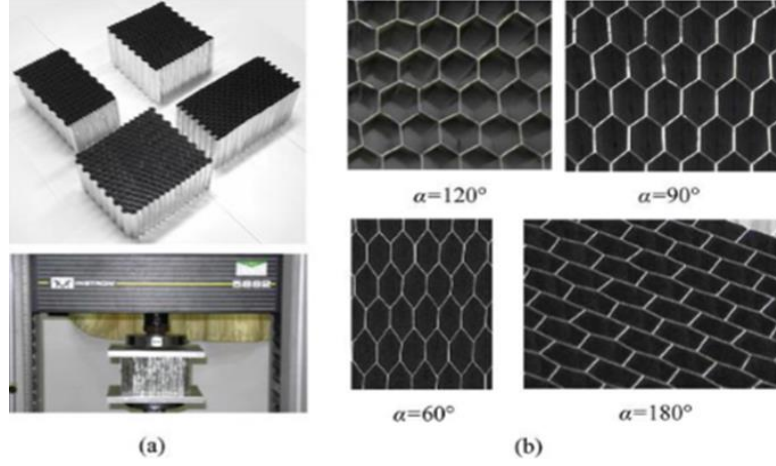
**Deneysel çalışma**



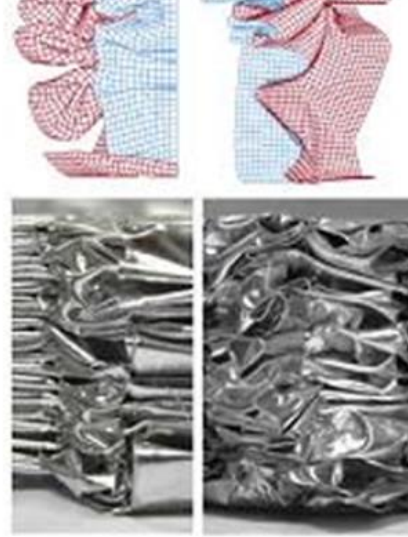
**Meshlenmiş model**

**Şekil 1.14:** Deneysel ve SEA çalışması (Gpoichand ve diğ. 2013).

Zhang ve ark. (2014) yaptıkları çalışmalarda farklı hücre çeşitlerine sahip alüminyum peteklerin hücre sayısına ve merkez açısına göre basma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Üretilen petekler Şekil 1.15'te gösterilmiştir. Hücre sayısı ve merkez açıdaki azalmanın mukavemete etkisi belirlenmiştir. Bunların, mukavemeti %10'dan az etkilediğini gözlemlemişlerdir. Sonlu elemanlar analizi ile ezilme ve deformasyonlar gözlenmiştir. Deney ve sonlu elemanlar analizi ile elde edilen veriler Şekil 1.16'da verilmiştir. Deneylerde ve sonlu elemanlar analizindeki sonuçların benzer çıktığı görülmüştür. Bal peteği mukavemetinde merkez açının etkisinin hücrenin çeper kalınlığından daha az olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 1.15:** (a) Petek örnekleri ve test makinesi, (b) Numunelerin şekilleri (Zhang ve diğ. 2014).

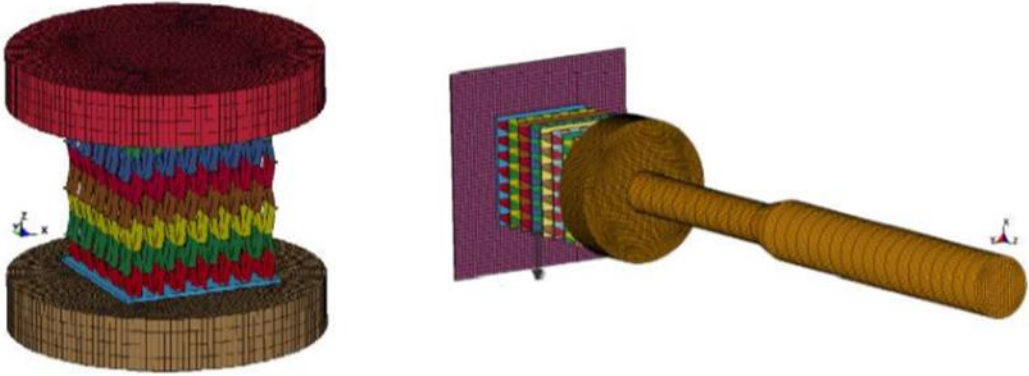


**Şekil 1.16:** Deformasyon şekilleri (Zhang ve diğ. 2014).

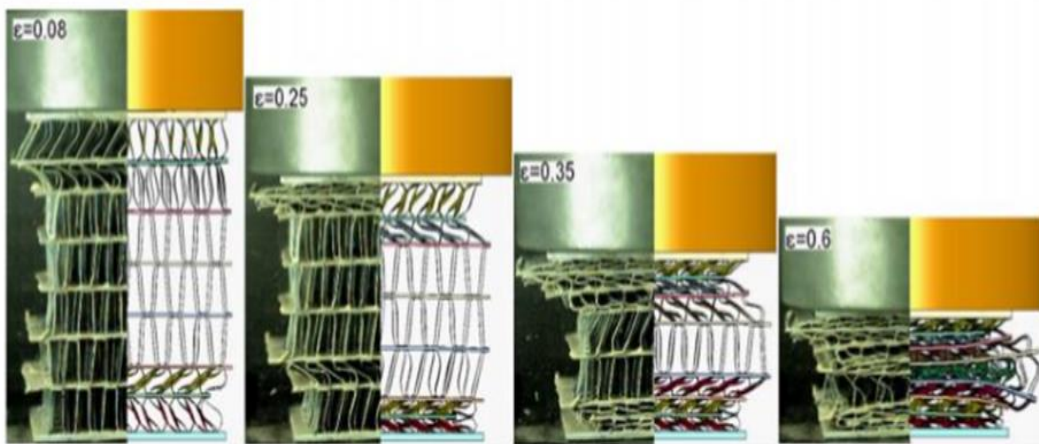
Kılıçaslan ve ark. (2014) yaptıkları çalışmalarda 1050 H14 alüminyum trapez oluklu çekirdek sandviç yapıların darbe ve basma dayanımlarını deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelemiştir. Şekil 1.17’de testlerde kullanılan bal peteklerin numuneleri gösterilmiştir. Çoklu oluşturulan çekirdek katmanları burkulma gerilmesini azaltırken, yüzeysel gerilmeleri yükselttiği kanaatine varmışlardır. Sonlu elemanlar analizi modeli Şekil 1.18’te görülmektedir. Deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile uzama eğrilerinin, gerilme ve hasar mekanizmalarının birbirlerine yakın olduklarını görmüşlerdir. Şekil 1.19’da deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile oluşan hasarların karşılaştırılması görülmektedir.



**Şekil 1.17:** Deneyselerde kullanılan çok katlı bal peteği numuneler (Kılıçaslan ve diğ. 2014).

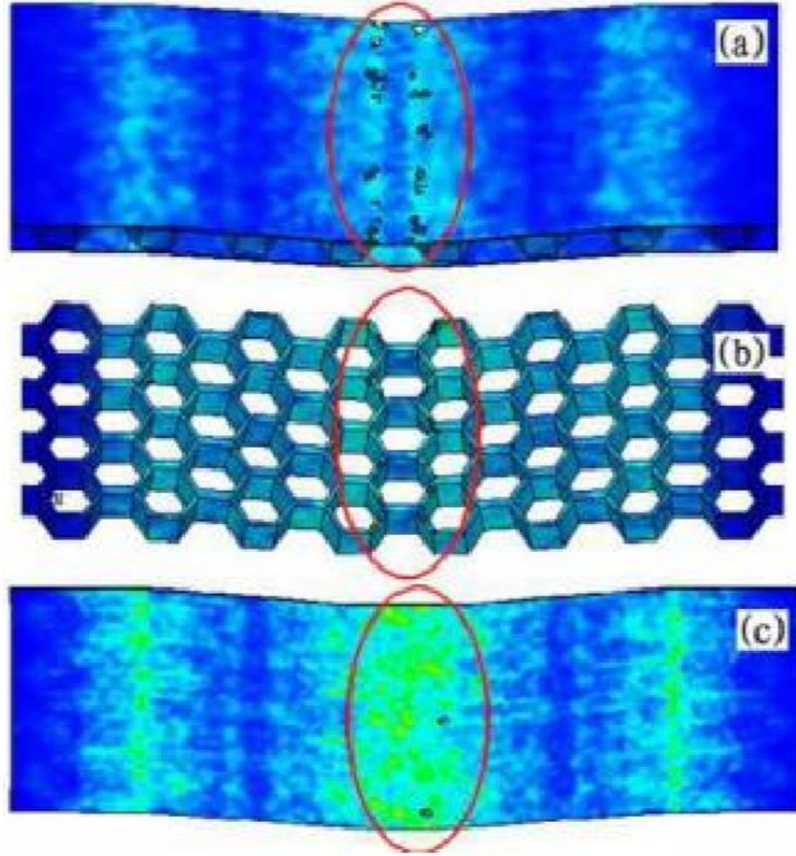


**Şekil 1.18:** SEA modeli (Kılıçaslan ve diğ. 2014).



**Şekil 1.19:** Deneysel ve SEA ile oluşan hasarların karşılaştırılması (Kılıçaslan ve diğ. 2014).

Lu ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada karbon fiber epoksiden oluşturulan bal peteklerinin eğme davranışlarını deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırmıştır. Şekil 1.20'de alt ve üst yüzeyde ve çekirdekte meydana gelen hasarlar görülmektedir.

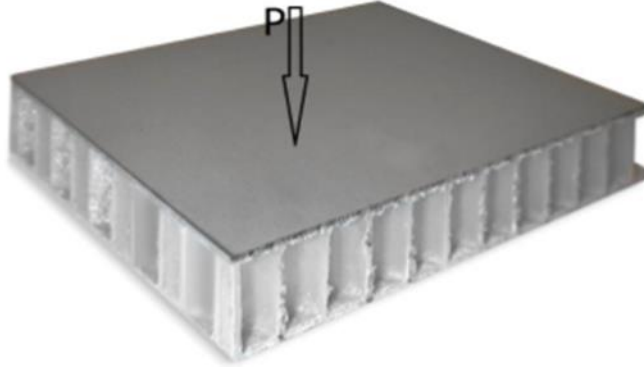


**Şekil 1.20:** Hasarlar a) Üst tabaka b) Çekirdek c) Alt tabaka  
(Lu ve diğ. 2015).

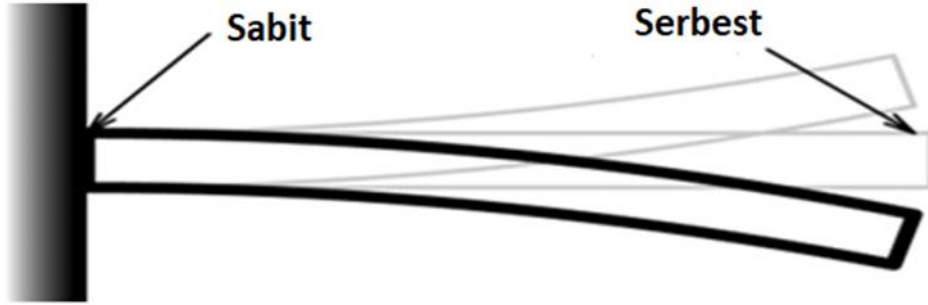
Chun Lu, Mingyue Zhao ve Liu Jie'nin (2015) çalışmalarında karbon elyaf ve epoksi reçine ile kalıplama yapılarak karbon elyaf matris kompozit bal peteği hazırlamışlardır. Kompozit bal peteği sandviçin sonlu elemanlar yöntemi ve üç nokta eğilme testi ile analizlerini yapmışlardır. Yaptıkları deneylerde hasara neden olan eğilme yükünü belirlediler. Üç nokta eğilme deneyi ile ne kadar yüke dayanabildiğini belirlediler. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda, karbon fiber epoksi bal peteği sandviçlerin, geleneksel alüminyum ve Nomex bal peteği sandviçlerden daha iyi mukavemete sahip olduğunu görmüşlerdir.

Shaik Nazeer (2015) alüminyum ve titanyum çekirdekli bal peteği sandviç panellerini çeşitli şartlarda karşılaştırdı.

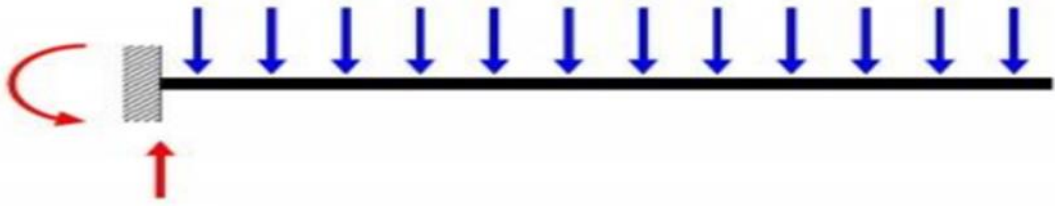
**1.Durum:** Üst yüzeye basınç uygulayarak alüminyum ve titanyum çekirdekler karşılaştırıldı.



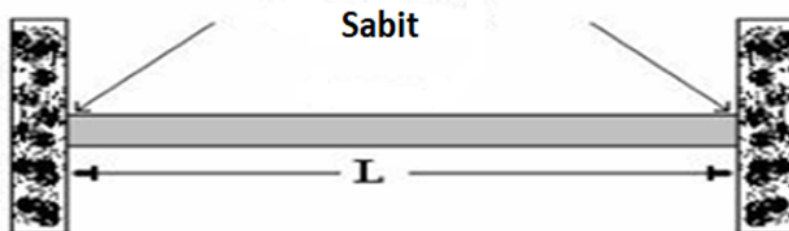
**2. Durum:** Bir uçundan sabitlenerek diğer uçtan yük uygulanarak karşılaştırma yapıldı.



**3. Durum:** Bir uçtan sabitlenerek yüzeye yayılı yük uygulanarak karşılaştırma yapıldı.



**4. Durum:** İki uçtan da sabitlenerek ortadan yükleme yapılarak karşılaştırma yapıldı.



Bu karşılaştırmalarda titanyumun daha mukavemetli olduğu görüldü. Fakat alüminyum titanyumdan daha hafif ve ucuz olma avantajına sahiptir.

S. A. Abdul Sukkura, P. Palanisamyb, K. R. Vijayakumarb (2016), ince yüzeyli bal peteği alüminyum sandviç panelin dinamik özelliklerini araştırmıştır. Deneylerde bal peteği sandviç panelin çekirdeği olarak bakır, yüzeyi olarak da 2 mm kalınlıkta paslanmaz çelik kullanılmış, farklı çekirdek yükseklikleri olarak 5 mm, 10 mm ve 15 mm seçilmiştir. Çekirdek, yüzeylere nokta kaynakla birleştirilmiştir. Numunelere statik yükleme yapılmıştır. Deneylerde 2 kN, 5 kN ve 7 kN yük verilmiştir. Ansys ile analitik hesapların sonuçları karşılaştırılmıştır. Çekirdek kalınlığı arttıkça sapma eğrisinin azaldığı belirlenmiştir.

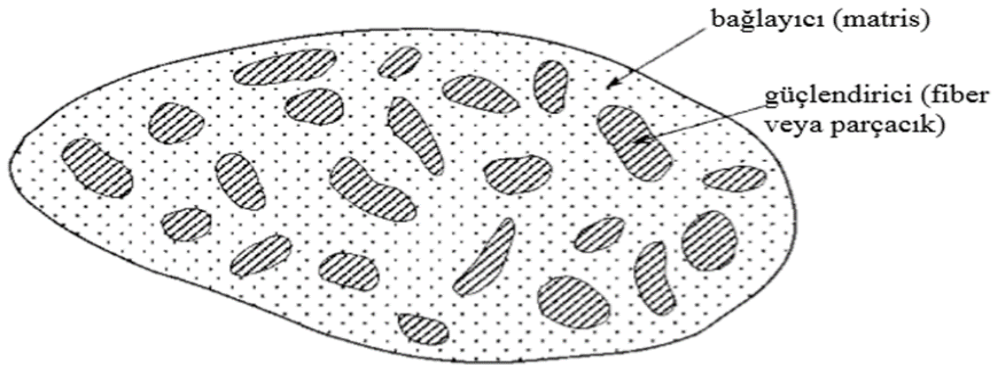


## 2. BAL PETEĞİ ÇEKİRDEKLİ KOMPOZİT SANDVIÇ YAPILARA GENEL BAKIŞ

### 2.1 Kompozit Malzemeler

Zamanla gelişen teknoloji ile insanların kullandığı malzemeler çeşitlilik kazandı. Toprak, demir, ağaç gibi malzemeler önceden yeterli iken günümüzde daha hafif, ses yalıtımı sağlayan, enerji absorbe eden, mukavemeti yüksek ve ucuz malzemeler aranmaya başlandı. Bu ihtiyaçları gidermek amaçlı malzemeleri karıştırma fikri ortaya çıktı. Bu çalışmalar da kompozit malzemelerin ortaya çıkmasına sebep oldu.

Birden fazla malzemenin bir araya getirilerek elde edilen daha üstün özelliklerdeki yeni malzemeye kompozit malzeme denir. Güçlendirici malzeme (fiber veya parçacık şeklinde) ile bir taşıyıcı malzemenin (matris) karışımı olarak da tanımlanabilir. Şekil 2.1’de kompozit malzemenin yapısı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Kompozit malzemenin yapısı (Berthelot 1999).

#### Kompozit malzemelerde;

- Ağırlık,
- Aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Yorulma mukavemeti,
- Akustik iletkenlik,
- Yüksek sıcaklığa dayanım,

- Kırılma tokluğu,
- Ses absorbe,
- Isıl direnç veya ısı iletkenliği,
- Elektrik direnci veya elektrik iletkenliği,
- Basma, çarpma, eğme, çekme dayanımı,
- Rijitlik,
- Estetik, gibi özelliklerden birinin veya birkaçının iyileşmesi gerekmektedir.

### **Kompozit Malzemelerin Avantajları:**

- Özgül dayanım (çekme dayanımı/yoğunluk) ve özgül modül oranının (elastik modül/yoğunluk) diğer malzemelerden daha yüksek olması.
- Diğer mühendislik malzemelerine göre yorulma dayanımının yüksek olması
- Darbe dayanımının yüksek olması
- Isıl dayanımın yüksek olması
- Titreşimleri absorbe özelliğinin yüksek olması
- Bağlantı elemanlarının az kullanılmasını sağlar.

### **Kompozit Malzemelerin Dezavantajları:**

- Kompozit malzemelerin geri dönüşümü pahalı bir yöntemdir. Doğada kendi kendine yok olmamasından dolayı yeniden kazanım günümüzde pahalı bir yöntemdir.
- Fırınlama işlemi olmadan kullanılamazlar. Bazı durumlarda fırınlama uzun süre almaktadır.
- Kompozit malzemeler farklı mekanik özelliklere sahiplerdir. Aynı kompozit malzemeler için kesme, basma, eğme, çekme, soyma mukavemet değerleri farklılık göstermektedir. Elyaf doğrultusundaki elastik modül değeri, elyafa dik doğrultudaki elastik modül değerinden daha fazladır.

- Kompozit malzemelerin kalitesi üretim yöntemlerine göre değişiklik gösterir, standart bir kalite mevcut değildir.
- Üretim sırasında kalan hava tanecikleri malzemenin yorulma dayanımını azaltır.

## 2.2 Kompozit Sandviç Yapılar

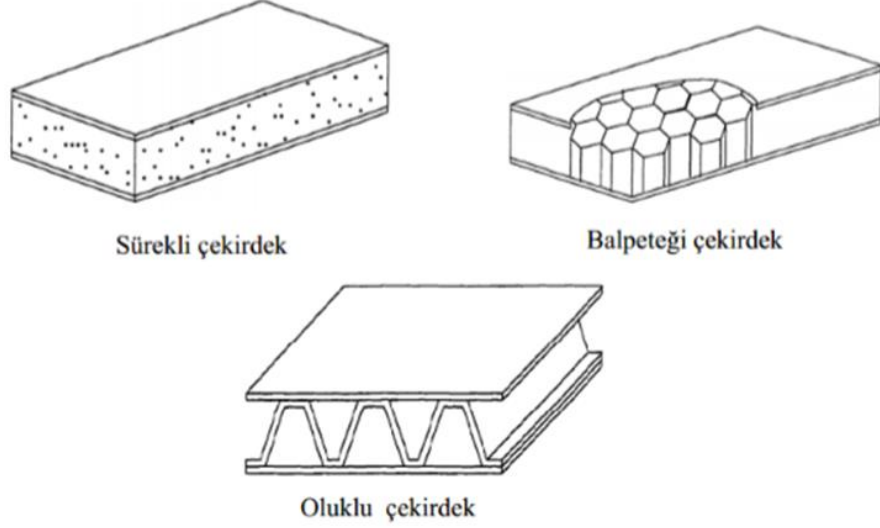
İki yüzey arasına hafif çekirdek malzemenin yapıştırıcı yardımıyla birleştirilmesine sandviç yapılar denir. Çekirdekler petek ve köpük olarak ayrılmaktadır. Sandviç kompozit yapılar malzemelerine ve özelliklerine göre oldukça geniş çeşide sahiptirler.

İlk sandviç kompozit yapı uygulamasında, İkinci Dünya Savaşı sırasında Havilland Mosquito adlı askeri uçağın dış yüzeylerinde balsa ağacı ve kontrplak kullanılmıştır. Günümüze kompozit sandviç yapıların kullanımı artmıştır. Havacılık, inşaat, uzay, astronomi, denizcilik, spor aletleri, raylı sistemler, mobilya, otomotiv gibi alanlarda kullanılmaktadır. Kullanılacağı alanlara göre mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Mekanik özelliklerinin belirlenmesi için birçok deney ve analiz yapılmaktadır.

Sandviç yapıların çekirdeklerinde mukavemet düşük, alt üst katman ince fakat dayanıklı bir yapıya sahiptir. Oluşturulan yeni malzeme daha mukavemetli ve hafif olmaktadır.

Çekirdek, kayma gerilmelerine karşı direnç oluştururken aynı zamanda yüzeyler arası mesafeyi koruyarak rijitliği artırır. Yüzey ile yapıştırılan çekirdek tek bir yapı gibi davranır. Böylece sandviç yapılar yüksek eğme rijitliği ve burulma mukavemetine sahip olurlar.

Sandviç yapılarda alt ve üst yüzeylere çelik, bakır, alüminyum, fiber, cam takviyeli özel plastikler vb. malzemeler kullanılmaktadır. Çekirdekte ise kâğıt, alüminyum, pvc köpükler, balsa, tahta vb. kullanılmaktadır.



**Şekil 2.2:** Farklı çekirdek yapısına sahip sandviç yapılar (Bolat 2011).

### 2.3 Yapıştırma İşlemleri

Yapıştırma yöntemi oldukça yaygın bir kullanımdır. Kompozit malzemelerin birleştirilmesi aşamasında düşük maliyet ve hafiflikten dolayı yapıştırma işlemi tercih edilir. Gelişen kimya bilimi ile kullanımı daha da artmaktadır. Yapıştırma yönteminin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

#### Avantajları:

- Gerilme dağılımı düzgündür,
- Yorulma dayanımı yüksektir,
- Yük taşıma kapasitesini artırır,
- Yalıtım özelliği ile dış ortamlara karşı kendini korur,
- Elektrik iletkenliğine karşı dirençlidir,
- Isı iletkenliğine karşı dirençlidir,
- Titreşimi absorbe etme özelliği yüksektir,
- Ağırlığına göre dayanımı yüksektir,
- Uygulanması kolaydır,
- Maliyetleri düşüktür,
- Sıkı geçme bağlantılarında mukavemeti sağlar,
- Sert ve yumuşak iki ayrı parçanın hasar görmeden birleştirilmesine imkan sağlar,

- Sızdırmazlık özelliği kazandırır,
- Diğer birleştirme yöntemlerindeki yüzey hataları yapıştırıcı ile birleştirmede bulunmamaktadır,
- Yapıştırıcının gerilme dağılımının düzgün olması,
- Kalitesi yüksektir.

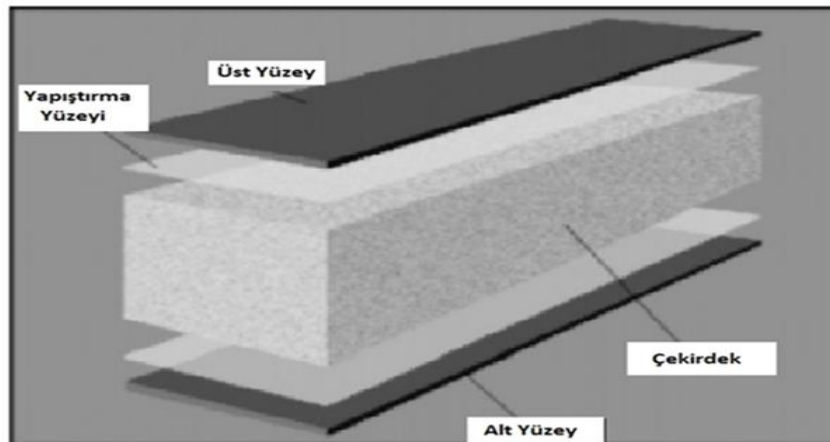
#### **Dezavantajları:**

- Yüzey temizliğine ihtiyaç duyulması,
- Özelliklerinin sıcaklık ve zamanla değişebilmesi,
- Darbe dayanımının düşük olması,
- Çalışma koşullarına göre ömrünün kısalması,
- Metal yapıştırıcılarda belirli bir çalışma sıcaklığı vardır. Bunların dışında mukavemetleri düşer,

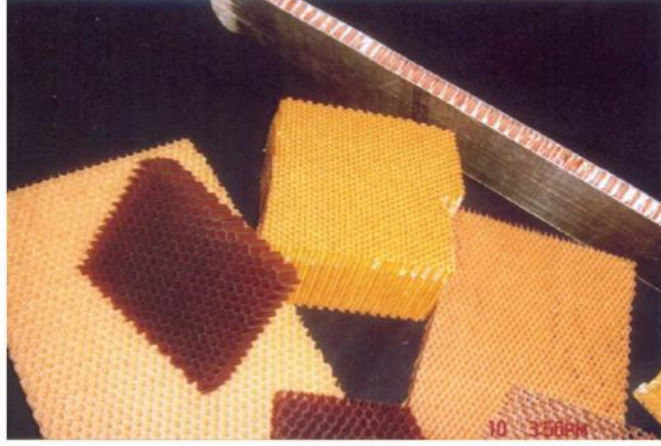
Özel uygulamalara özel birçok tipte yapıştırıcı vardır. Bunlar viskozite, kullanım, sertleşme hızı, sıcaklık aralığı, renk açısından birbirlerinden farklıdır.

## **2.4 Bal Peteği Yapılar**

Bal peteği sandviç kompozit yapılar önemli mühendislik malzemelerinden olmuştur. Havacılık başta olmak üzere birçok alanda çokça kullanılmaktadır. Bal peteği yapılar alt ve üst yüzey arasına çekirdeğin bir yapıştırıcı yardımı ile birleştirilmesinden meydana gelmektedir.



**Şekil 2.3:** Bal peteği yapının kısımları (Ulay ve Güler 2010).



**Şekil 2.4:** Nomex, kevlerden üretilmiş petek, kevlar petek, prepreg yüzey tabakalardan üretilmiş sandviç yapı örnekleri (Ercan 2006).



**Şekil 2.5:** Tamamen alüminyum petek ve alüminyum yüzey tabakalardan üretilmiş sandviç yapı örnekleri (Ercan 2006).

Kullanılacak ortama ve koşullara göre malzeme özellikleri belirlenmektedir. İhtiyaç duyulan özelliklere göre yüzey, çekirdek ve yapıştırıcı malzemeleri seçilerek uygun üretim yöntemleriyle bal peteği kompozit sandviç yapılar meydana getirilir.

Bal peteği yapıların ağırlıklarına göre mukavemetleri yüksektir. Bu özellikleri otomotiv, demir yolu, hava yolu gibi sektörlerde oldukça kullanılır. Aynı zamanda çarpışmalarda enerji absorbe özellikleri de yüksektir. Trenlerin ve otomobillerin şasesinde petek yapılar kullanılarak enerji absorbe etme özellikleri sayesinde kazalardaki etkiler azaltılmak istenmektedir.

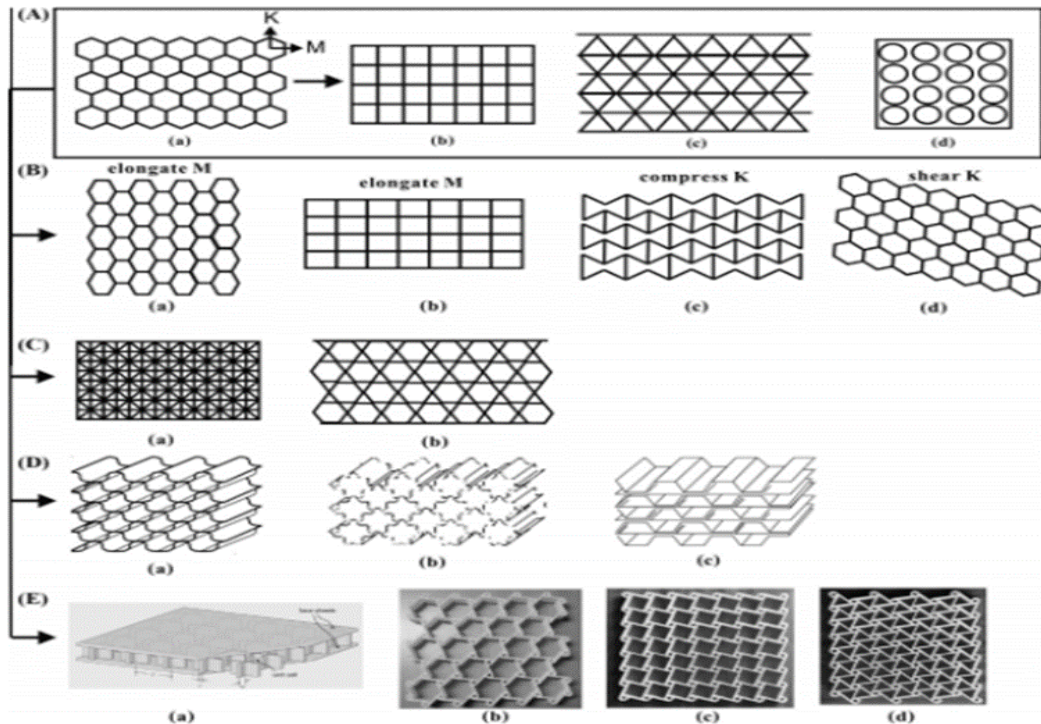
Eksenleri ve açıklıkları her zaman yatay düzendedir. Çekirdeğin altıgen yapı şeklinde olması, en küçük yüzey alanda en geniş kaplamanın elde edilmesini sağlar. Yüzeyin çekirdekle birleştiği noktada, plakalara temas yüzeyleri az olmasına karşın kapladığı alan geniştir. Bu sayede altıgen yapı ile az malzeme kullanımı gerçekleştirilerek istenen kafes yapı elde edilir (Yiğit 2010).

### Alt ve Üst Yüzey

Alt ve üst yüzey eğme ve kayma direncini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Alt ve üst yüzey; cam elyaf/epoksi, alüminyum çelik, paslanmaz çelik, karbon/epoksi, aramid/epoksi, kâğıt gibi yapılardan oluşmaktadır. Çalışmalarda genellikle alt ve üst yüzey aynı kullanılmaktadır. Yüzeylerin farklı olması genleşme katsayıları farklılığına sebep olacağı için tercih edilmezler.

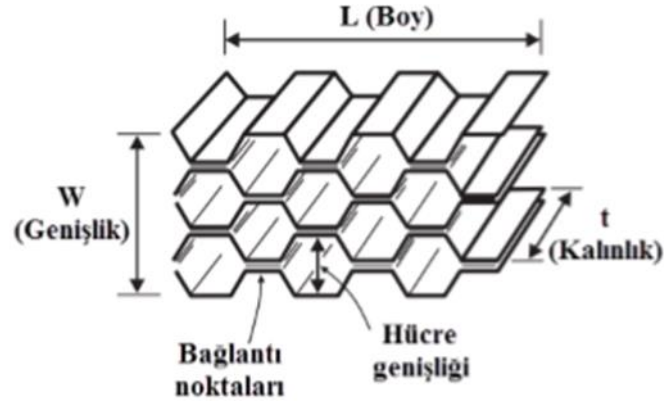
### Çekirdek

Bal peteği yapılarının ana özelliklerini çekirdek kısmı vermektedir. Bal peteği yapılardaki çekirdekler çeşitli yapılarda (zigzag, elipsoit, altıgen, dikdörtgen, kare, yumurta kolisi vb.), içi dolu, boşluklu, çeşitli malzemelerden (bakır, epoksi, köpük, balsa ağacı, alüminyum, kâğıt vb.), değişik birleştirme yöntemleriyle (kalıplama, yapıştırma vb.) oluşturulmaktadır. Şekil 2.6'da çeşitli çekirdek yapıları görülmektedir.



Şekil 2.6: Farklı çekirdek yapıları (Zhang ve diğ. 2014).

Bal peteği yapılar da çekirdek genelde altıgen olarak üretilir. Şekil 2.7’te altıgen bir çekirdeğın kısımları gösterilmiştir. Çekirdeği oluşturan yapılar bağlantı noktasından yapıştırıcılar ile birbirine bağlanmaktadır. Bu yapıların kullanımı çekirdeğın, alt ve üst yüzeye yapışmasının iyileşmesiyle yaygın bir hale gelmiştir.



Şekil 2.7: Çekirdek yapı (Akkuş 2016).

Bal peteği sandviç yapılar da meydana gelen eğme rijitliği, basma mukavemeti ve ağırlıkları oranları Şekil 2.8’de görülmektedir. Alt ve üst yüzey sabit tutularak çekirdek yüksekliği arttıkça eğme rijitliği ve dayanım artmaktadır. Çekirdek yüksekliği artarken ağırlıktaki artış oranı çok daha düşüktür bu da tasarımda hafiflik avantajı sağlamaktadır.

	Katı malzeme	Çekirdek kalınlığı t	Çekirdek kalınlığı 3t
Eğme rijitliği	100	700 (7 kat daha rijit)	3700 (37 kat daha rijit)
Basma mukavemeti	100	350 (3,5 kat daha dayanıklı)	925 (9,25 kat daha dayanıklı)
Ağırlık	100	103 (%3 ağırlık artışı)	106 (%6 ağırlık artışı)

Şekil 2.8: Bal peteği yapıların avantajları (Hexcel 1999).

Çekirdek yapılar da kesme gerilmeleri dayanımı düşüktür. Kesme gerilmesine karşı dayanımı alt ve üst yüzeyler ile hücre sayısı değiştirilerek artmaktadır.

### Yapıştırma

Bal peteği yapıların birleştirilmesinde genellikle üretan, vinil fenolik, poliimid, nitril fenolik, epoksi, ve polyamid yapıştırıcılar uygulanmaktadır.

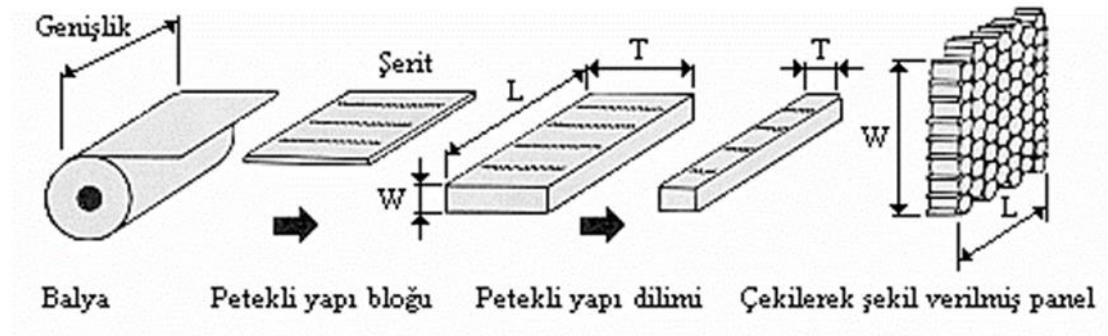


## 2.5 Bal Peteği ekirdeği Üretim Yöntemleri

Petekli yapıların çekirdeklerinin üretiminde uzatma ve kıvrılarak Şekil verme olmak üzere genellikle iki temel teknik kullanılmaktadır.

### 2.5.1 Uzatarak Şekil Verme Yöntemi

Bu yöntem metal ve metal olmayan hücre imalatında kullanılmaktadır. Petek yapılı hücrelerin büyük bir çoğunluğu bu yöntemle üretilmektedir. Bu yöntem genel olarak; Şerit halinde levhaların kesilmesi ve yapıştırıcının sürülmesi, levhaların üst üste dizilmesi ve petekli yapı bloğun seçilen sıcaklıkta pres içerisinde işlenmesi aşamalarını içermektedir. Alüminyum blokları çekme işleminden önce genellikle istenilen kalınlıkta dilimlere ayrılmaktadır. Dilimler kalıpta çekilirken, her bir Şerit halindeki plaka, komşu hücrelerle birleşmenin olmadığı noktalarda akma göstermekte ve böylece levhalara Şekil verilmiş olmaktadır. Aynı yöntem diğer metalik malzemeler içinde rahatlıkla kullanılmaktadır (Öztürk 2009).



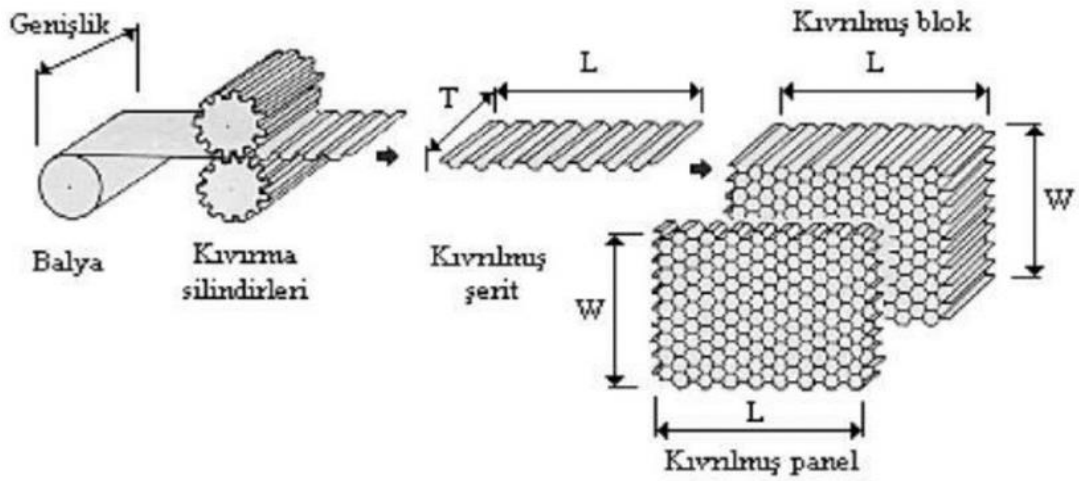
Şekil 2.9: Uzatarak Şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi (Öztürk 2009).

Metal dışı malzemeler yapıştırıcı sürme işlemi öncesi korozyona karşı direnç arttırıcı işlemler gerektirmez. Ancak bazı malzemelerin reçineye iyice doyurulması için bir ilave ön işlem gerekebilmektedir. Metalik malzemelerin aksine metal dışı petekli yapı malzemeleri kalıp içerisinde kalıbın Őeklini alması için gerekli çekme işlemi sonunda kendi Şekillerini koruyamazlar. Bu malzemelerde kalıplama daha fazla sürede yapılmalı ve Şekil alma işlemi gerçekleşene kadar bir fırın içerisinde ısıtılmalıdır. Daha sonra çekilmiş ve ısıtılmış blok sıvı reçineye daldırılmakta ve hücrelerin oluşumu tamamlanana kadar ısıtma işlemi sürdürölmektedir. Daldırma

süreci blokların istenilen yoğunluğa ulaşınca kadar tekrarlanmaktadır. Petekli yapı imalatı bu bloklardan istenilen kalınlıkta dilimlerin kesilerek tamamlanır. Cam elyaf ve karbon elyaf petekli yapı hücrelerin imalatı bu yöntem ile gerçekleştirilebilmektedir (Öztürk 2009).

### 2.5.2 Kıvrırma Yöntemi

Bu yöntem yüksek sıcaklık altında çalışan, et kalınlığı ve yoğunluğu oldukça fazla olan petekli yapıların imalatında tercih edilmektedir. Bu yöntemde şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak düğüm noktaları yapıştırılmaktadır.



Şekil 2.10: Kıvrırma yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi (Öztürk 2009).

Ardından şekil verilmiş şerit levhalar üst üste konur ve kıvrılmış blok seçilen sıcaklıkta bekletilmektedir. İstenilen kalınlıkta dilimler bloktan kesilerek elde edilmektedir. Üretimi gerçekleştirilecek petekli yapılar kullanılacak yerin özellikleri de dikkate alınarak; temizleme (kenar tıraşlama), kesme ve gerekirse şekil verme ve ekleme işlemlerine de maruz bırakılmaktadır (Öztürk 2009).

### 2.6 Bal Peteği Üretim Yöntemleri

Bal peteği sandviç yapılar sıcak presleme ile uygun kalıpta üretilir. Bu yöntemde genelde levhalar ve paneller üretilir. Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'da bu şekilde imal edilmiş ve deneylerde kullanılan paneller gösterilmiştir (Ercan 2006).



**Şekil 2.11:** Prepreg ve kevlardan oluşan bal peteği kompozit malzeme (Ercan 2006).

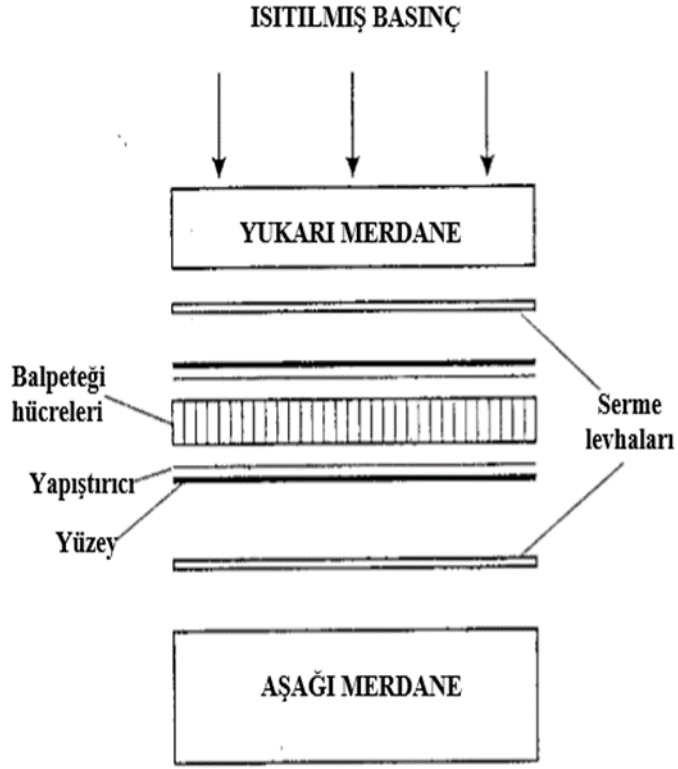


**Şekil 2.12:** Isıtılmış basınç altında üretilmiş metal tabaka, alüminyum petek hücreden oluşan balpeteği kompozit malzeme (Ercan 2006).

Genellikle kıvrımlı karışık yapıların üretiminde vakum torbası tercih edilir. Örülen parçaların birleşmesiyle oluşan yapıların üretimi kalıpta gerçekleştirilir.

### **2.6.1 Sıcak Presleme**

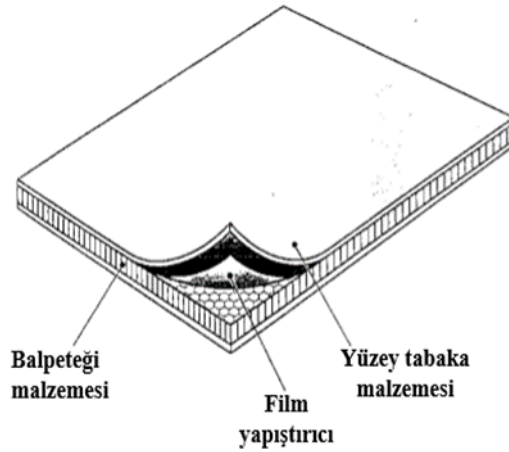
Prepreg yüzeylerde ve metal yüzeylerde genellikle sıcak presleme yöntemi tercih edilir. Önceden reçine emziren malzemeler basınç ile ısıtılmış yapıştırıcı ile birleştirilir. Yöntem Şekil 2.13'deki gibi yapılmaktadır.



Şekil 2.13: Sıcak presleme yöntemi (Hexcel 2003).

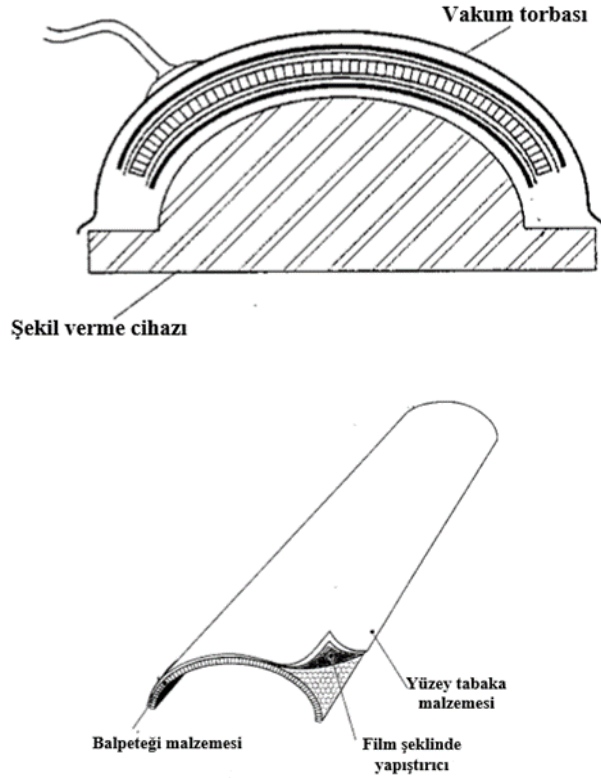
### 2.6.2 Vakum Torbasında Üretim

Malzemeler tek seferde sonuç alınmak üzere hazırlanır. Vakum torbası kullanarak birleştirilir. Parça fırında ısıtılır. Bu üretim yönteminde negatif basınç kullanılır. Bu yöntem, prepreg (önceden şekil verilmiş el yatırması kompozit) malzemeler veya metal tabakalı sandviç yapılar için uygulanır.



Şekil 2.14: Isıtılmış basınç altında üretim tekniği (Hexcel 2003).

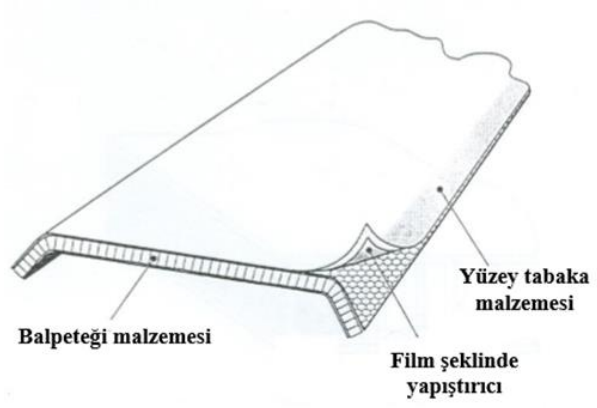
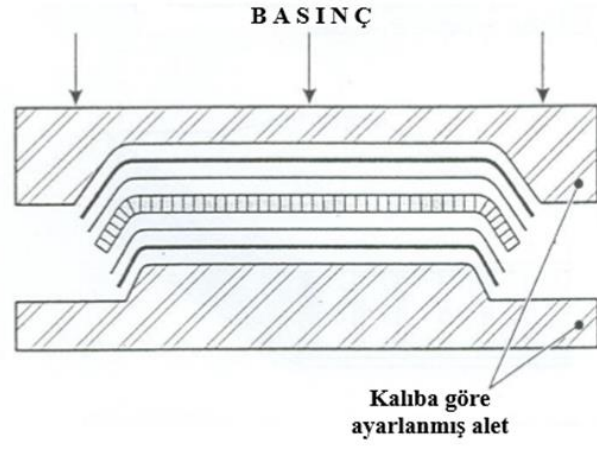
Bu yöntemle karmaşık kompozit yapıların üretilmesi mümkündür. Şekil 2.15'te yapımı şematize edilmiştir.



**Şekil 2.15:** Basit vakum bag usulü ve üretilen malzeme (Hexcel 2003).

### 2.6.3 Uygun Kalıpta Üretme

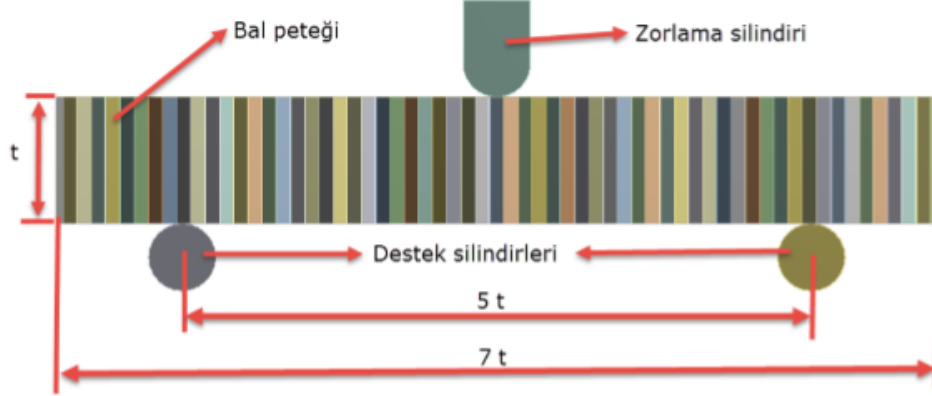
Bu yöntemle yüksek hassasiyette üretim gerçekleştirilebilir. Uygun kalıpta üretme yönteminde işlem sırasıyla sıcaklık ve basınç ayarlamaları yapılır. Isıtılan parçalar basınç altında, ısıtılmayanlar basınç ile fırınlama yapılarak üretilebilir. Başka bir şekilde oda sıcaklığında soğuk yapıştırımayla da yapılabilir. Şekil 2.16'te kullanılan yöntem gösterilmiştir.



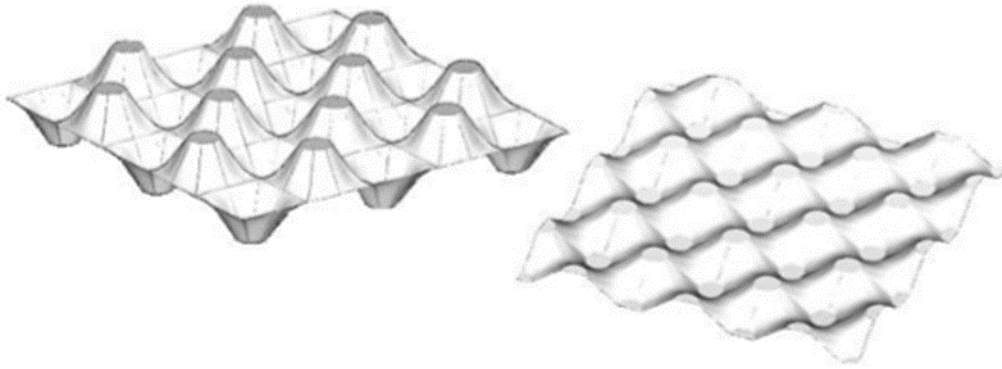
**Şekil 2.16:** Uygun kalıpta üretim usulü ve üretilen malzeme (Hexcel 2003).

### 3. TASARIM AŞAMASI

Literatürde yer alan örneklere göre boyutlar belirlenmiştir. Science Direct dergisinin Deformation and Energy Absorption Of Composite Egg-Box Panels makalesinde ve diğer bazı makalelerde bu tasarımlar için kullanılan ölçüler belirtilmiştir. ASTM E1556-08 standardında belirtilen ölçülerle analizler yapılmıştır.

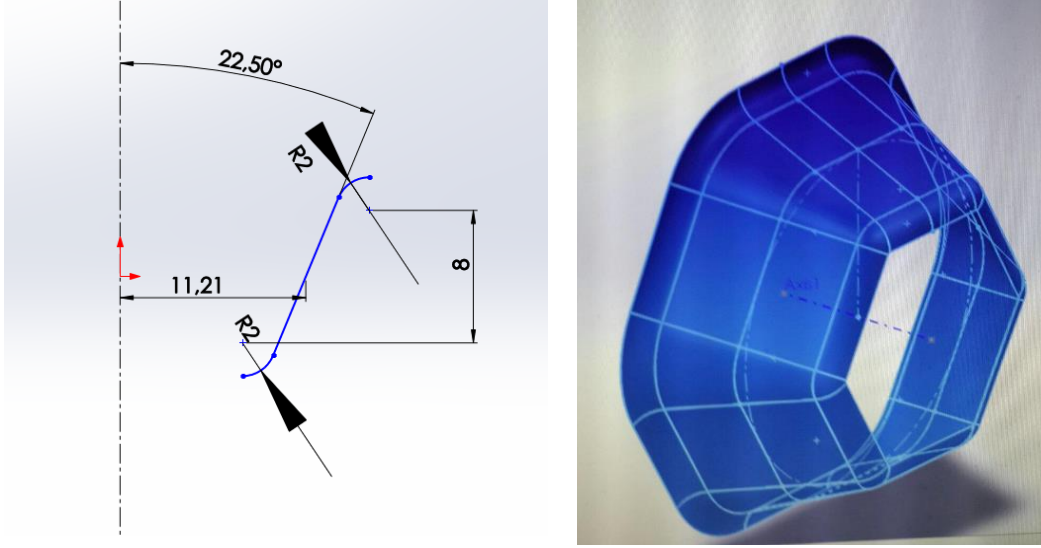


Şekil 3.1: ASTM E1556-08 standardında üç noktadan eğme testi.

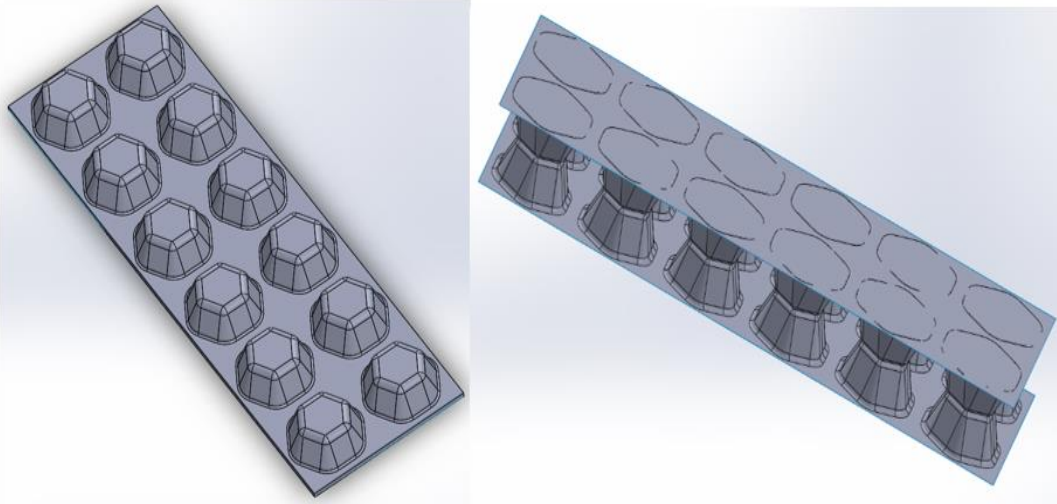


Şekil 3.2: Deneyle alüminyum yumurta kutusunun enerji absorbe etkisi (Sanaei ve Shirvani 2013).

Yeni tasarım kompozit yapı yumurta kutuları şeklinden yola çıkarak oluşturulmuştur. Bunun avantajı kompozit malzeme olarak üretilmesinin kolaylığıdır. Bu şekil, bir kalıptan üretime uygun olduğu için bal peteklerine göre bize önemli bir avantaj sağlamaktadır. Literatürdeki çalışmalardan yola çıkarak tasarlanan yapı Şekil 3.3'teki ölçülere göre gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.3:** Tasarımdaki ölçüler.

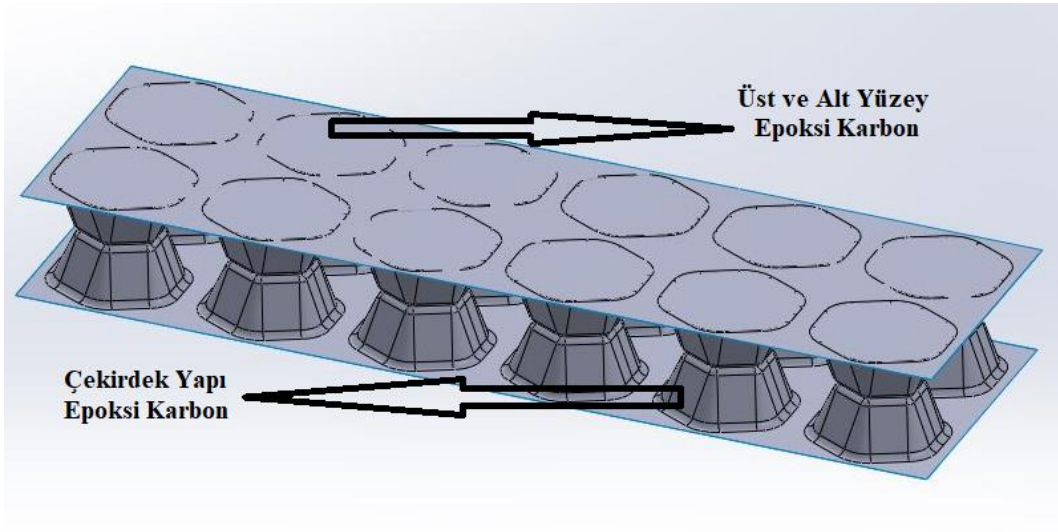


**Şekil 3.4:** Kompozit özgün tasarım.

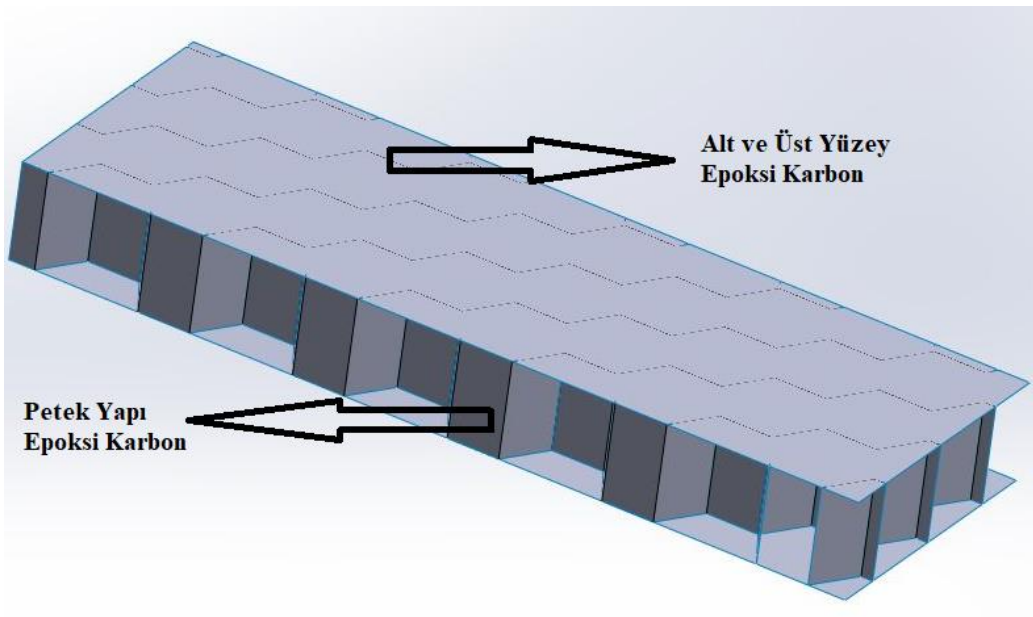
Ansys'te ACP modellemede bu özgün tasarım ile bal peteği yapıların analizleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemeler aşağıdaki gibidir.



Çalışmalarda ilk olarak epoksi karbon kumaş- epoksi karbon kumaş malzemeler kullanılmıştır.

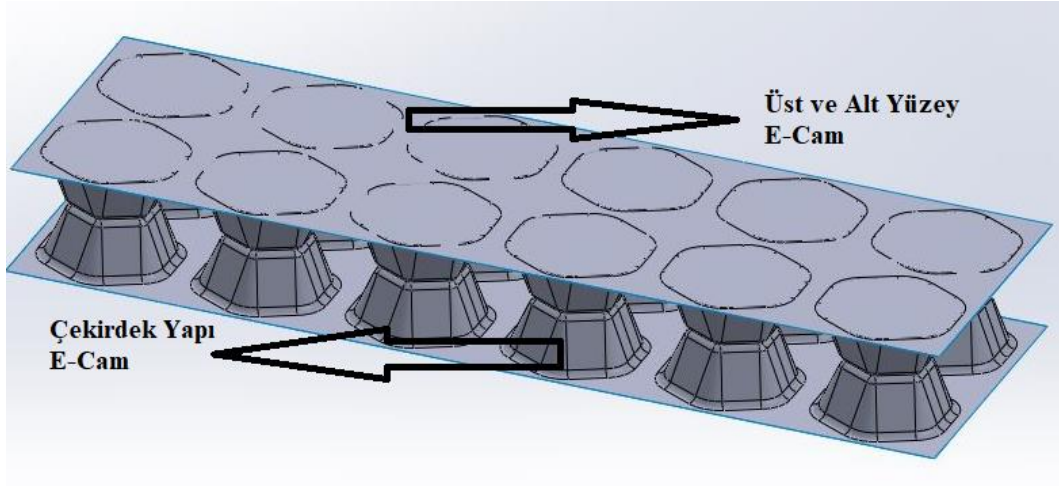


Şekil 3.5: Özgün tasarım epoksi karbon kumaş - epoksi karbon kumaş.

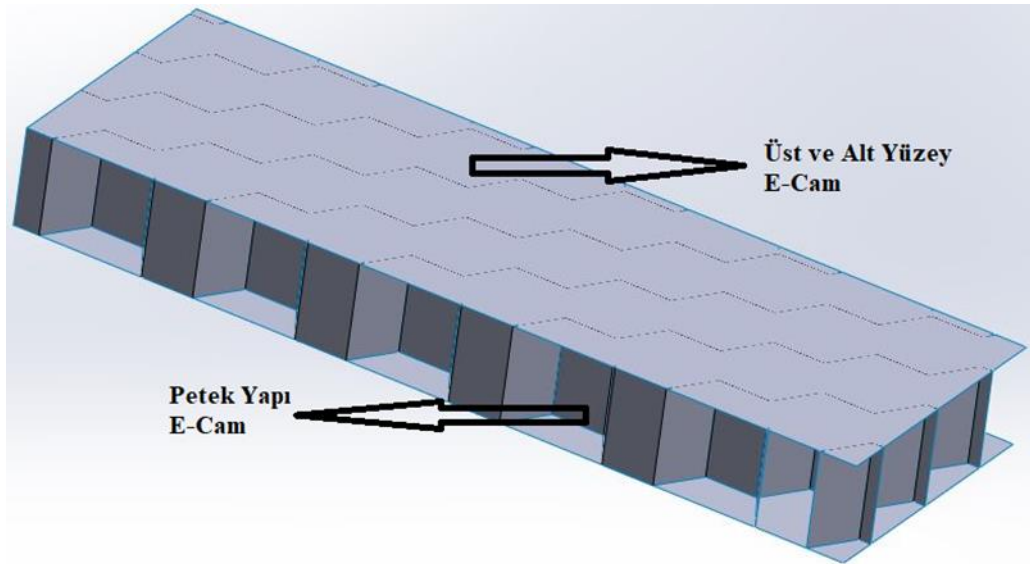


Şekil 3.6: Bal peteği yapı epoksi karbon kumaş - epoksi karbon kumaş.

Çalışmaların devamında e-cam elyaf- e-cam elyaf malzemeler kullanılmıştır.

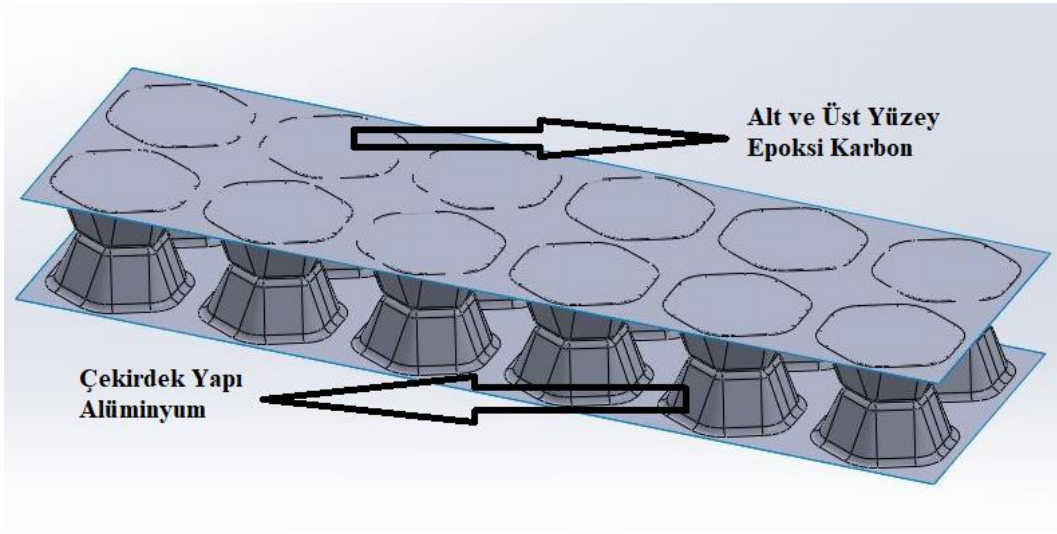


Şekil 3.7: Özgün tasarım e-cam elyaf - e-cam elyaf.

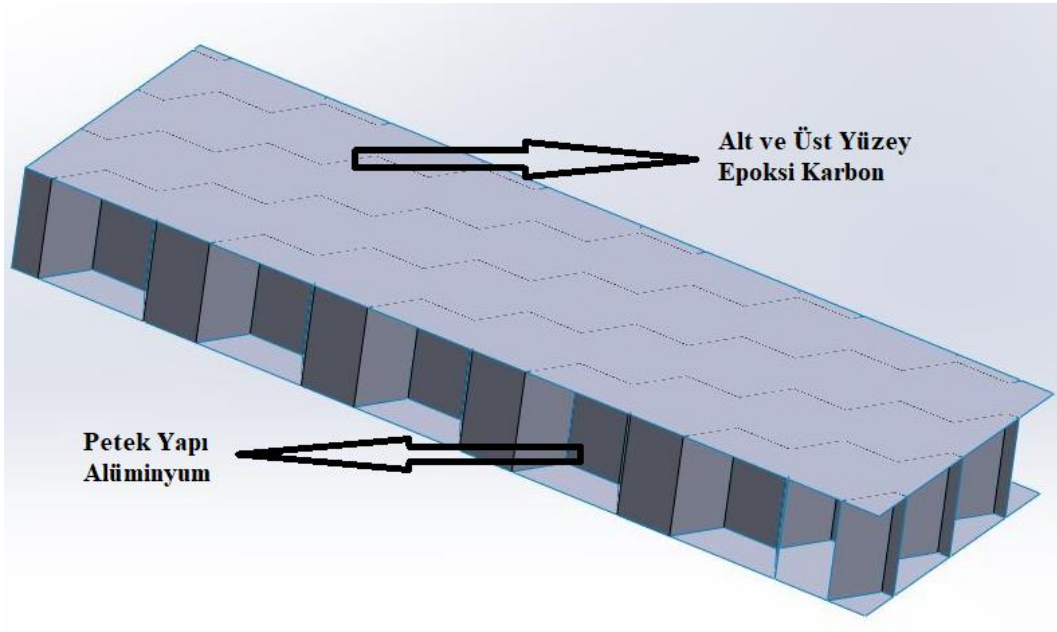


Şekil 3.8: Bal peteği yapı e-cam elyaf - e-cam elyaf.

Çalışmaların devamında epoksi karbon kumaş- alüminyum malzemeler kullanılmıştır.

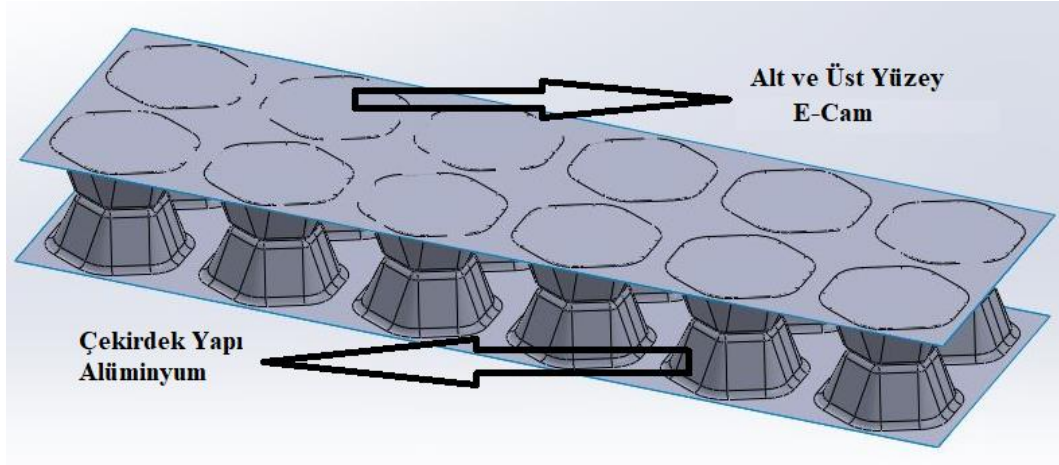


Şekil 3.9: Özgün tasarım epoksi karbon kumaş- alüminyum.

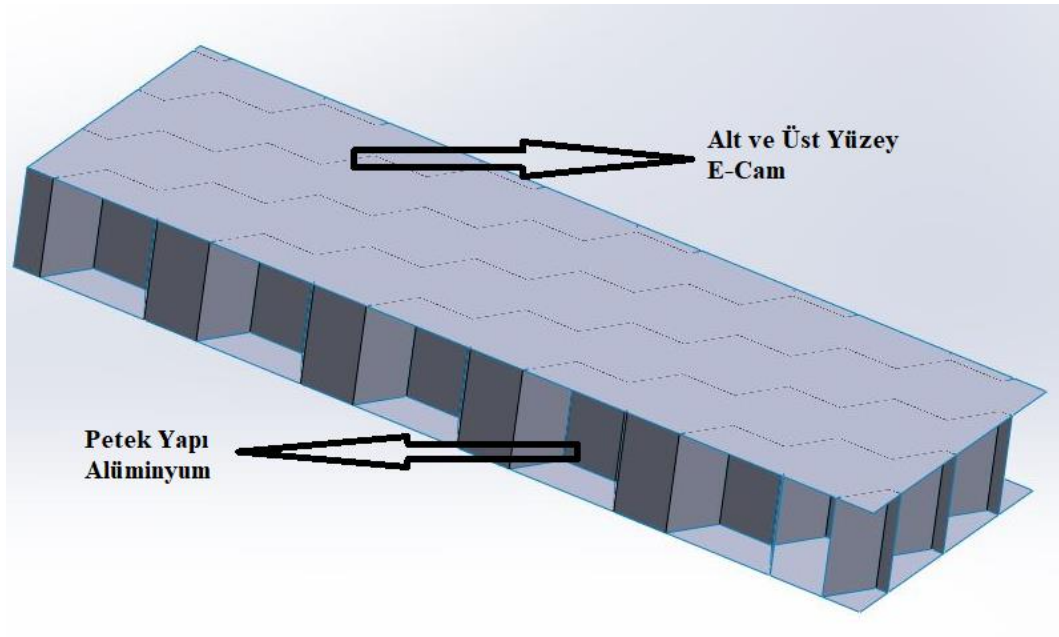


Şekil 3.10: Bal peteği yapı epoksi karbon kumaş - alüminyum.

Çalışmaların sonunda e-cam elyaf - alüminyum malzemeler kullanılmıştır.

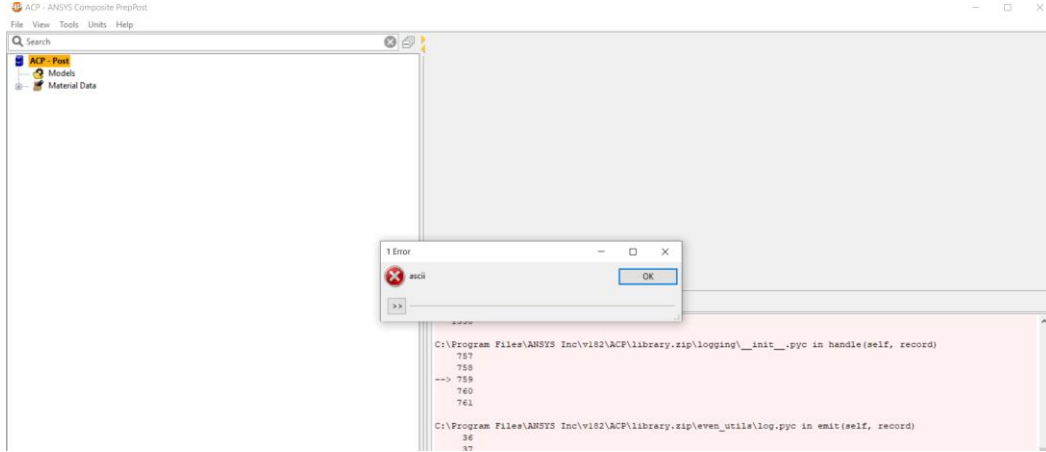


Şekil 3.11: Özgün tasarım e-cam elyaf - alüminyum.



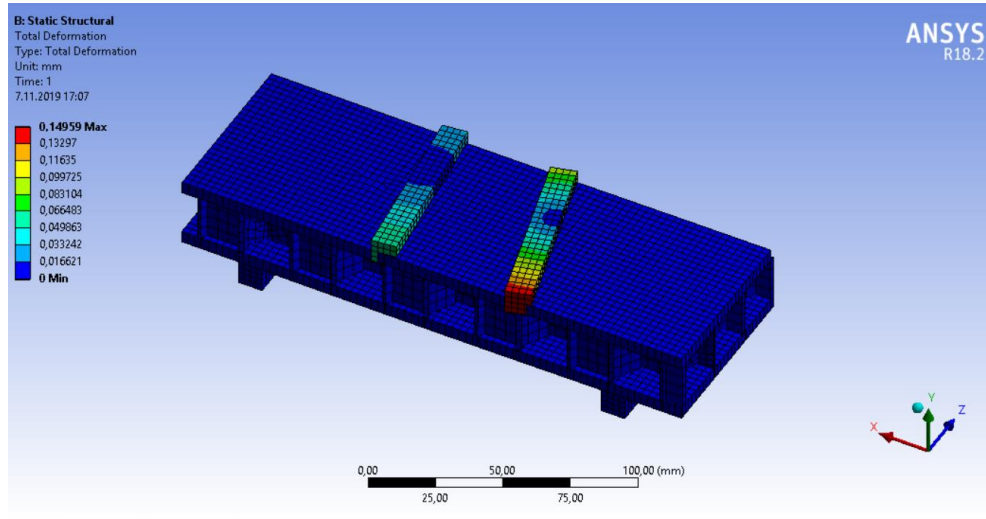
Şekil 3.12: Bal peteği yapı e-cam elyaf - alüminyum.

ACP modellemede sorunlarla da karşılaşıldı. Bazı analizlerde Ascii hatası meydana gelmiştir. Bu hata, analizin yapıldığı kayıtlı klasörlerden birinin isminde Türkçe karakter yer almasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Ansys programının kullanımında kayıt yapılacak klasörün Türkçe karakter içermemesine dikkat edilmelidir.



Şekil 3.13: Ansys Ascii hatası.

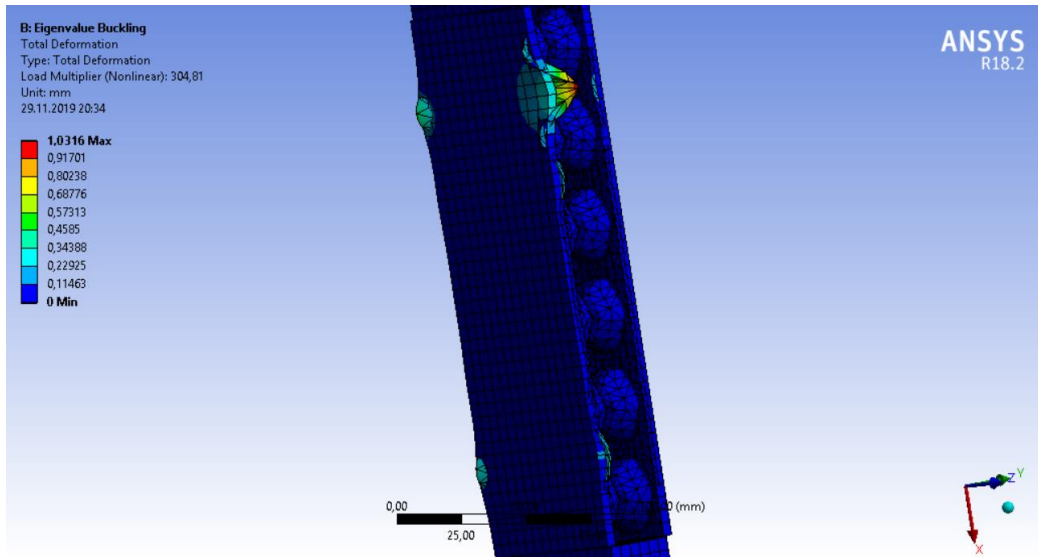
Ayrıca Ansys ACP modellemelerinde yük aktarma hatasıyla da karşılaşılmıştır. Şekil 3.14'da görüldüğü gibi verilen yükler, analizde Ansys tarafından aktarılamadığı için çözüm yapılamamıştır.



Şekil 3.14: Ansys yük aktarma hatası.

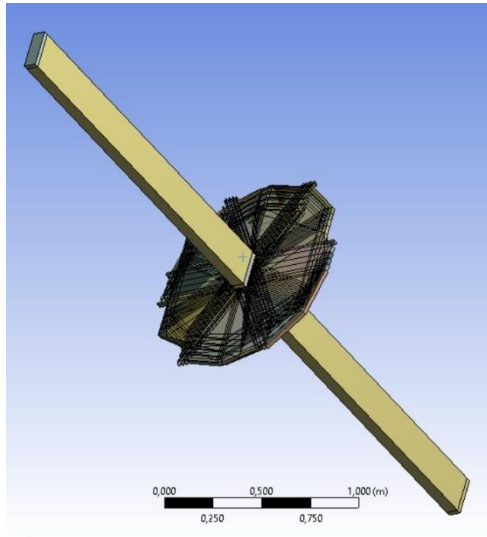
Bir başka Ansys hatasıyla da burkulma analizi sırasında karşılaşılmıştır. Analizi gerçekleştirilemeyip hatalı sonuçlar elde edilmiştir. Hatanın sebebi; kullanılan

numunenin boyutunun burkulma için yetersiz olmasıdır. Numunenin boyutu uzatıldığında çözüm gerçekleşmiştir.

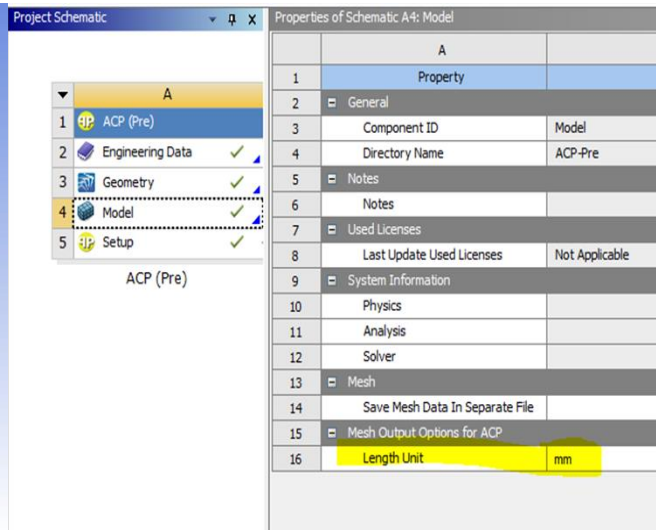


Şekil 3.15: Ansys gerilme hatası.

Ansys Workbench ana sayfada modele tek tıkladığımızda özelliklerdeki ölçü birimi mm (Şekil 3.17) yapılmadığında Şekil 3.16'deki hata meydana gelmektedir.



Şekil 3.16: Ansys Mesh hatası.



Şekil 3.17: Ansys Mesh için ölçü birimi.

## **4. ANSYS KOMPOZİT MALZEME ANALİZİ**

### **4.1 Ansys Kompozit Malzeme Analizi Nedir?**

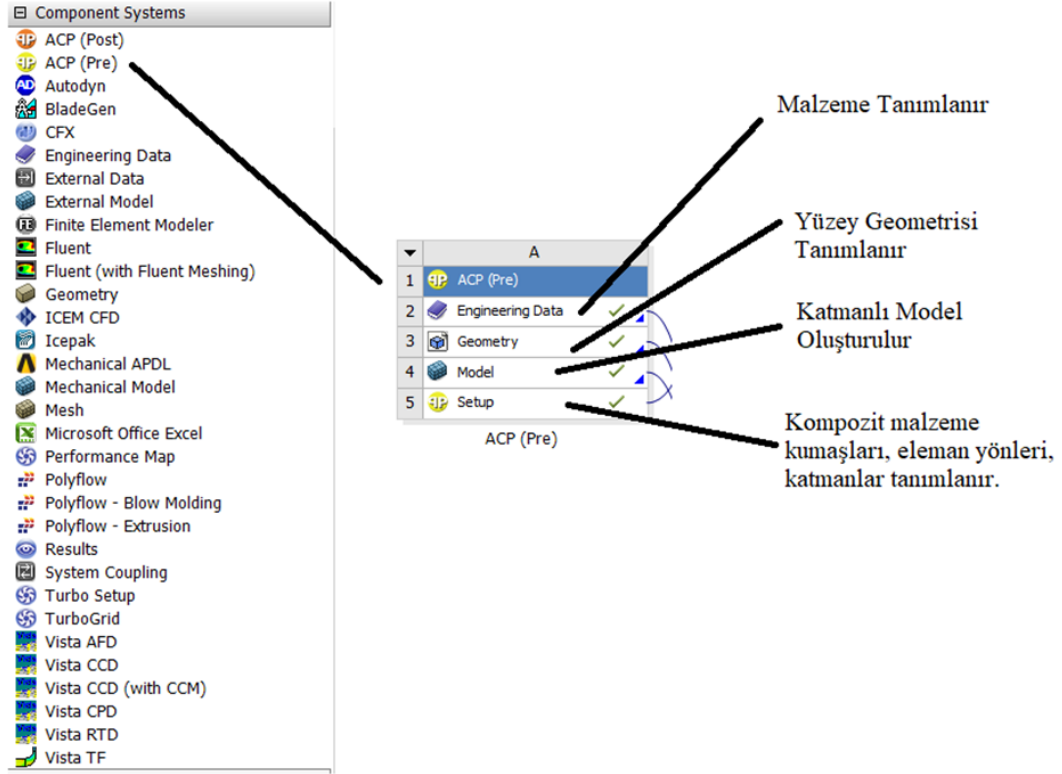
Ansys kompozit malzeme analizi Ansys Composite Prepost (ACP) bölümünde yapılmaktadır. ACP tabakalı kompozit yapıların modellenmesini sağlayan bir eklentidir.

### **4.2 ACP Kullanım Basamakları**

- Yüzey model oluşturulur.
- Yüzeyle sınırlarında yüklemeler yapılır. Bunlar Ansys Mekanik'te gerçekleştirilir.
- Malzeme tanımlaması yapılabilir. Bunun için Ansys kütüphanesi kullanılabilir ya da bilgiler kullanıcı tarafından eklenebilir.
- Model Ansys ACP eklentisine aktarılır.
- Kompozit kumaşlarının tanımlanması yapılır. Kumaşların malzemeleri ve kalınlıkları belirlenir.
- Kumaş katmanlar halinde oluşturulur.
- Elemanların yönü tanımlanır.
- Eleman grupları için katman sıraları belirlenir.
- Standart Ansys modeli olarak analiz yapılır.

### 4.3 ACP

Ansyes ACP uygulaması aşağıda basamaklar halinde anlatılmıştır. Şekil 4.1’de Ansyes ACP’nin görüntüsü bulunmaktadırdır.



Şekil 4.1: Ansyes ACP görünümü.

Ansyes ktphanesinden kompozit malzemeler Şekil 4.2’de gsterilmiştir.

The image shows the Ansys Engineering Data Sources table. The table has four columns: Data Source, Location, and Description. The following table represents the data shown in the screenshot:

Row	Data Source	Location	Description
1	Data Source		
2	Favorites		Quick access list and default items
3	General Materials		General use material samples for use in various analyses.
4	General Non-linear Materials		General use material samples for use in non-linear analyses.
5	Explicit Materials		Material samples for use in an explicit analysis.
6	Hyperelastic Materials		Material stress-strain data samples for curve fitting.
7	Magnetic B-H Curves		B-H Curve samples specific for use in a magnetic analysis.
8	Thermal Materials		Material samples specific for use in a thermal analysis.
9	Fluid Materials		Material samples specific for use in a fluid analysis.
10	Composite Materials		Material samples specific for composite structures.
11	Geomechanical Materials		General use material samples for use with geomechanical models.
*	Click here to add a new library		

Şekil 4.2: Ansyes malzeme kütüphanesi.

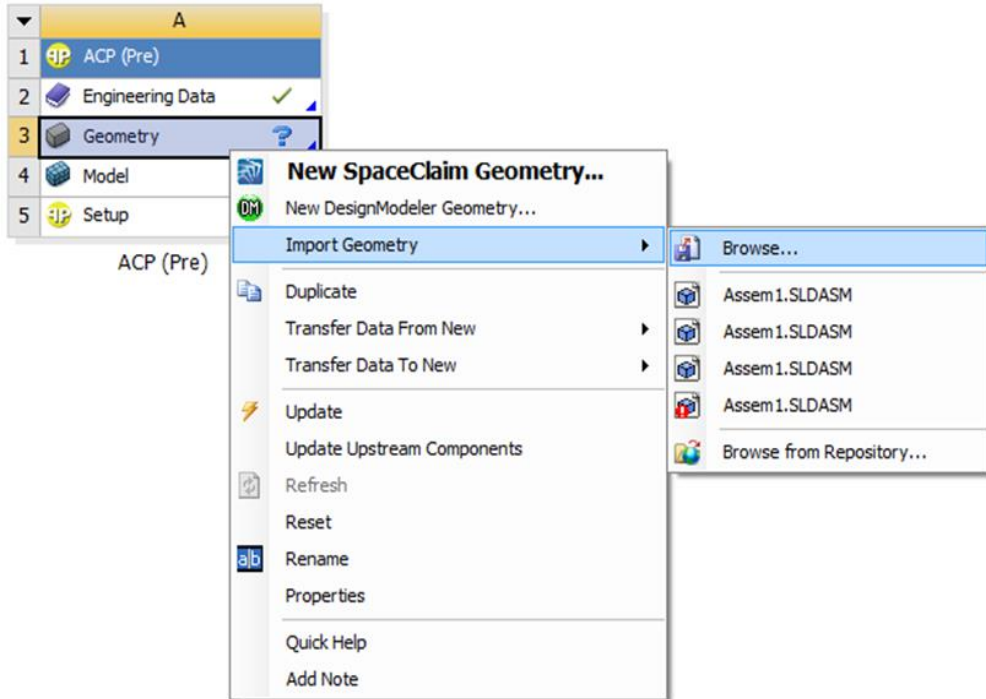


	A	B	C	D
1	Contents of Composite Materials		Add	Source
2	Material			
3	Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg			Composite_Materials.xml
4	Epoxy Carbon UD (230 GPa) Wet			Composite_Materials.xml
5	Epoxy Carbon UD (395 GPa) Prepreg			Composite_Materials.xml
6	Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg			Composite_Materials.xml
7	Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Wet			Composite_Materials.xml
8	Epoxy Carbon Woven (395 GPa) Prepreg			Composite_Materials.xml
9	Epoxy E-Glass UD			Composite_Materials.xml
10	Epoxy E-Glass Wet			Composite_Materials.xml
11	Epoxy S-Glass UD			Composite_Materials.xml
12	Honeycomb			Composite_Materials.xml
13	PVC Foam (60 kg m <sup>-3</sup> )			Composite_Materials.xml
14	PVC Foam (80 kg m <sup>-3</sup> )			Composite_Materials.xml
15	Resin Epoxy			Composite_Materials.xml
16	Resin Polyester			Composite_Materials.xml
17	SAN Foam (103 kg m <sup>-3</sup> )			Composite_Materials.xml
18	SAN Foam (81 kg m <sup>-3</sup> )			Composite_Materials.xml

**Şekil 4.3:** Ansys kompozit malzemeler kütüphanesi.

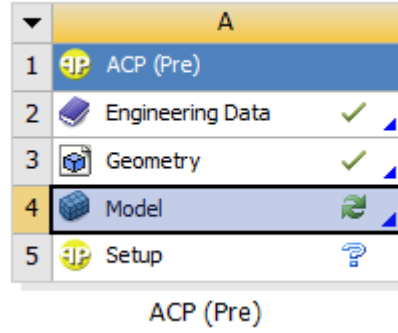
Ansys'te geniş bir malzeme kütüphanesi bulunmaktadır. Buna rağmen gerekli malzeme bilgileri girildiğinde kütüphaneye yeni malzeme ekleme imkânı sunmaktadır.

Geometry – Import Geometry – Browse tıklanarak istenilen model çıkartılır.



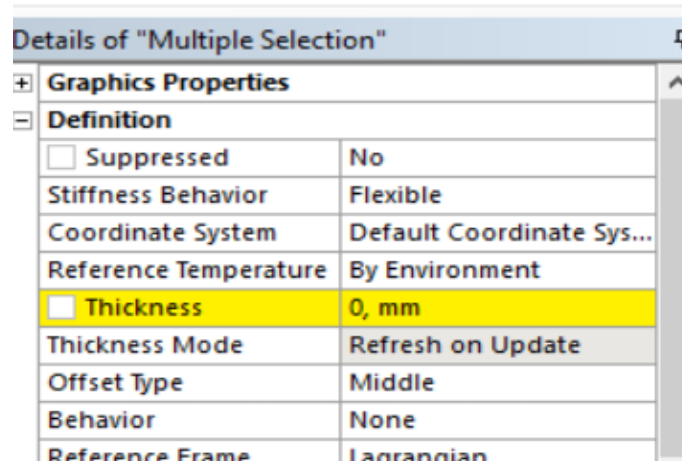
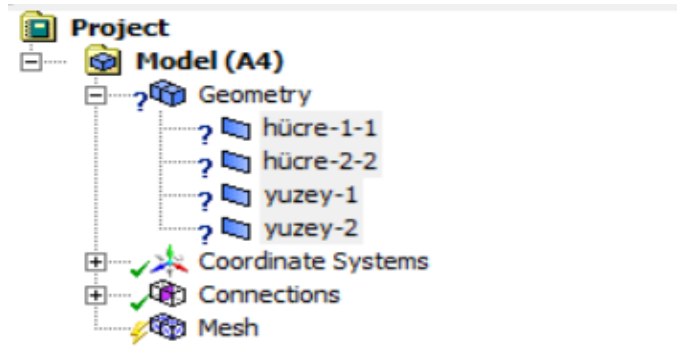
**Şekil 4.4:** Ansys'e modeli getirme.

Model çift tıklanarak açılır.



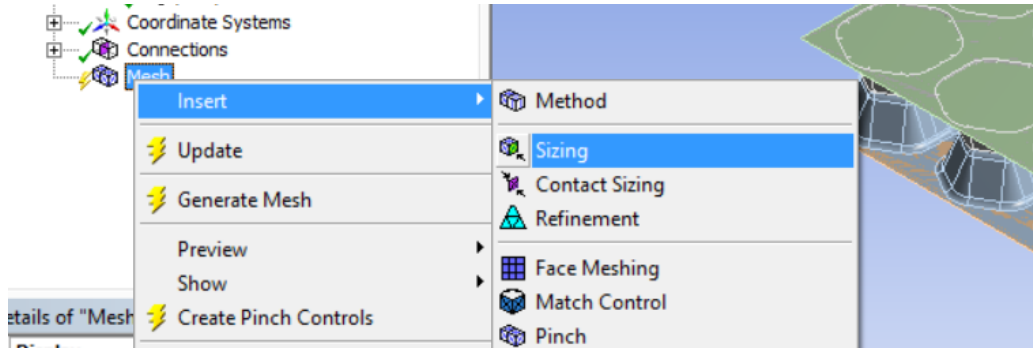
Şekil 4.5: Ansys'te modeli açma.

Modeldeki yüzeyler seçilir ve 1 mm kalınlık girilir.



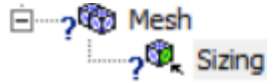
Şekil 4.6: Modelde yüzey kalınlıklarını girme.

Mesh – Insert – Sizing tıklanır.



Şekil 4.7: Ansys Mesh tanımlaması.

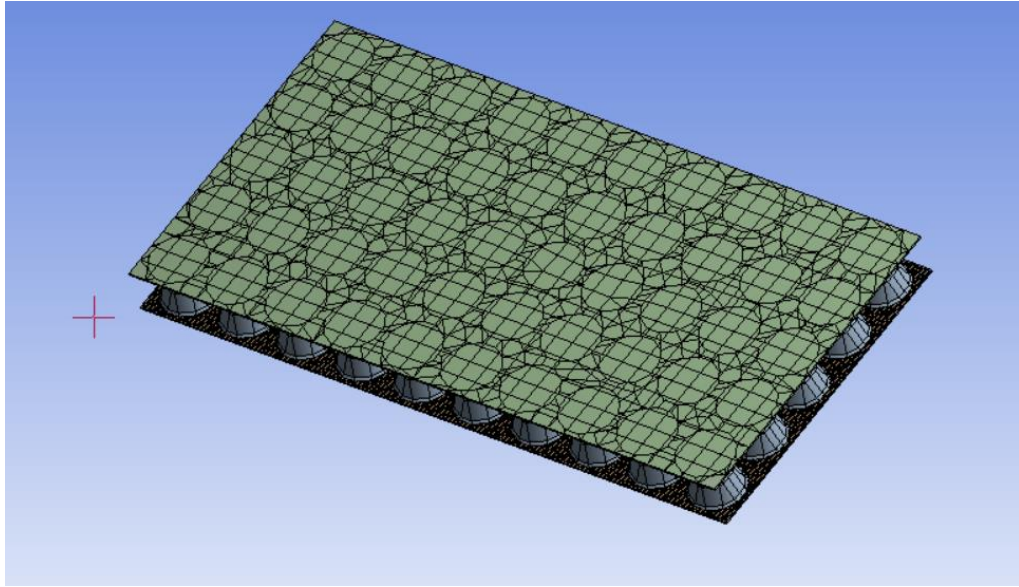
Geometry sekmesinden bütün parçalar seçilir. Element Size 5mm olarak tanımlanır.



etails of "Sizing" - Sizing	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (1,0828 mm)
<b>Advanced</b>	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (5,4141e-003 mm)
Size Function	Uniform

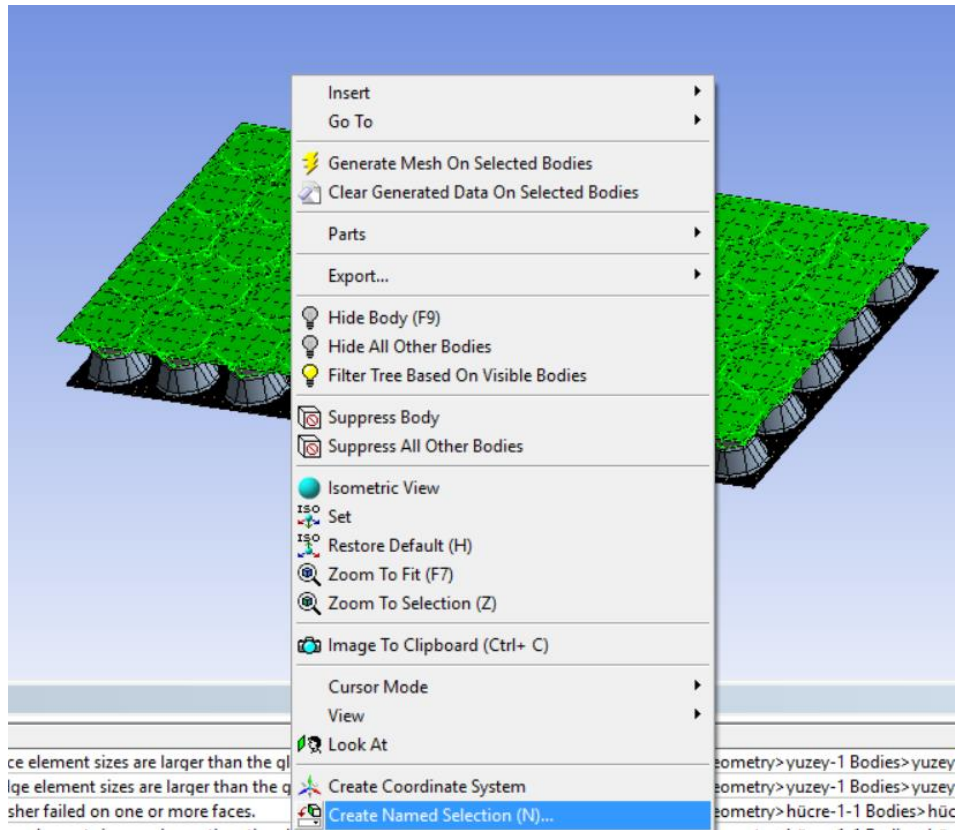
Şekil 4.8: Ansys Mesh'e verilerin girilmesi.

Daha sonra Mesh'e sağ tıklanır ve Generate Mesh komutu verilir.



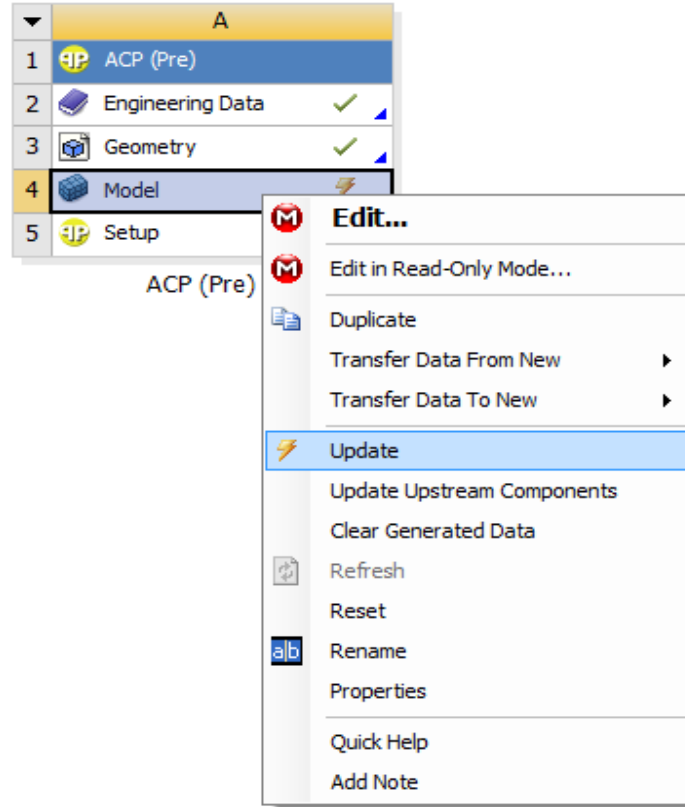
Şekil 4.9: Modelin Mesh hali görüntüsü.

Yüzeyler seçilerek isimlendirme yapılabilmektedir. Yapı, üst, alt, hücre1 ve hücre2 olarak adlandırılmıştır.



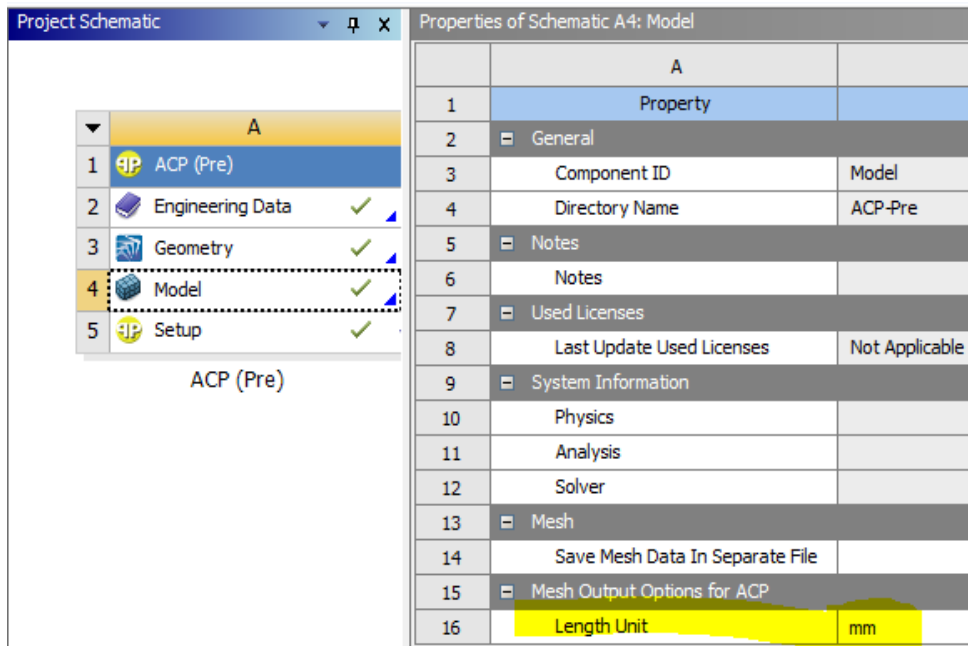
Şekil 4.10: Model parçalarının isimlendirilmesi.

Model'den çıkılır ve sağ tıklanıp Update komutuna tıklanır.



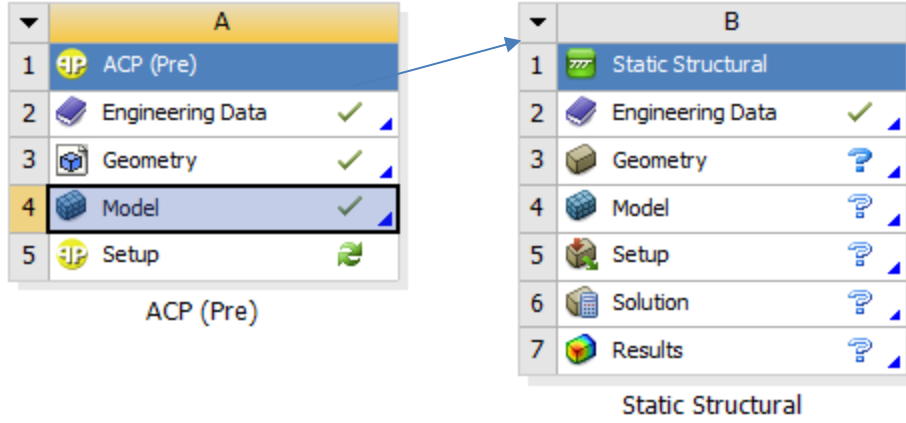
Şekil 4.11: Model güncellemesi yapılır.

Model - Properties - Length Unit – mm seçilir.



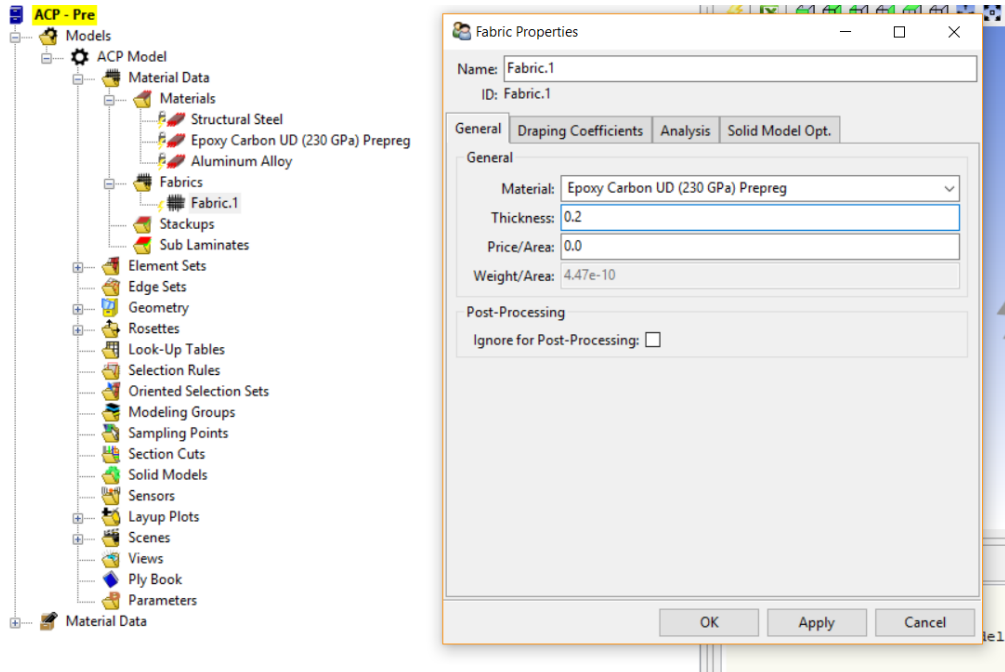
Şekil 4.12: Ansys'te ölçü birimi girilmesi.

Programın ekran menüsünden Static Structural sürüklenip boşluğa bırakılır. ACP (Pre)'deki Setup, Static Structural'daki Model'e sürüklenip bırakılır. Transfer Shell Composite Data seçilir. ACP (Pre) – Setup çift tıklanır.



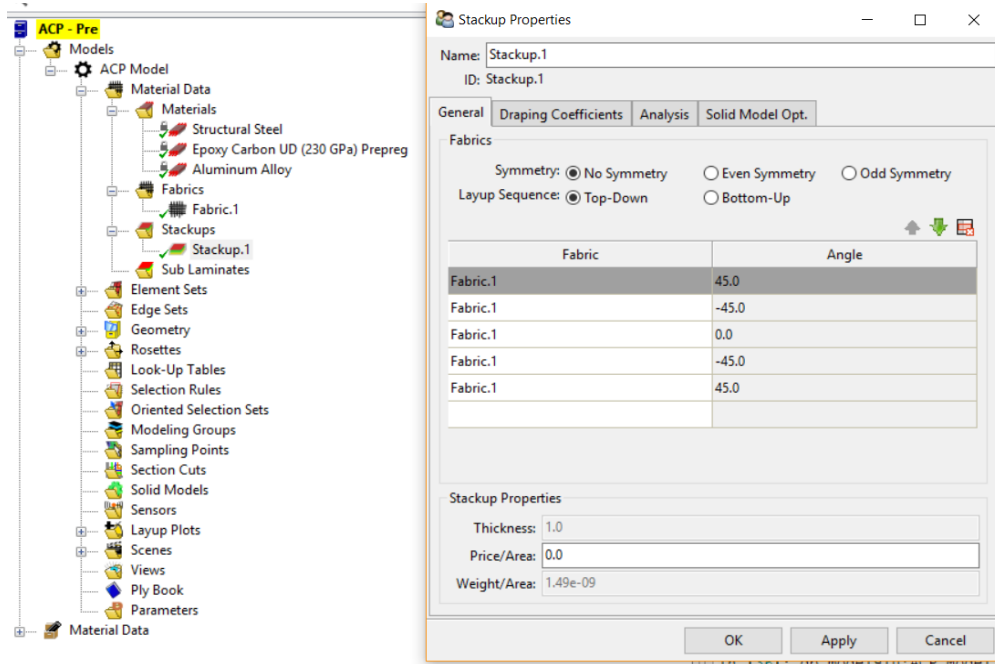
Şekil 4.13: Ansys'te statik yapı analizinin eklenmesi.

Material Data – Fabrics – Sağ Tık Create Fabric komutu verilir ve malzeme Epoxy Carbon kalınlık 0,2 mm olarak girilir.



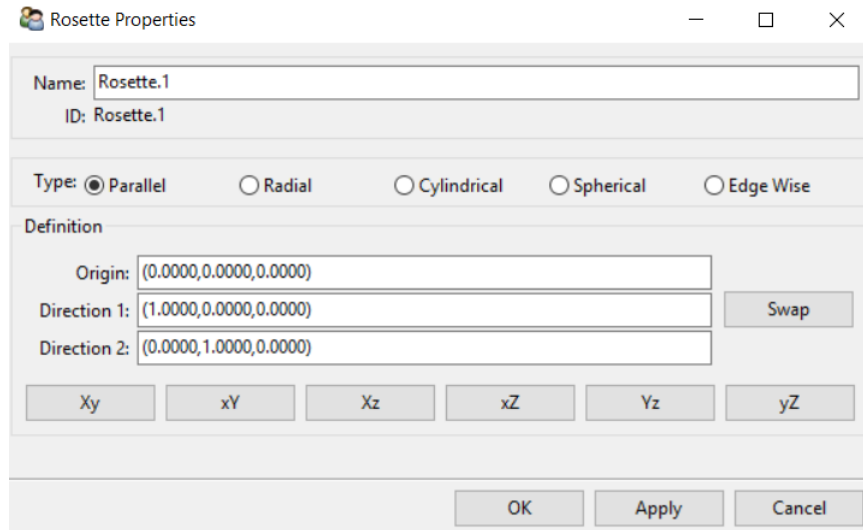
Şekil 4.14: Ansys kumaş kalınlığının belirlenmesi.

Daha sonra Stackup – Create Stackup komutu verilir. Kumaş açıları 45, -45, 0, -45, 45 olarak girilir.



Şekil 4.15: Malzemenin kumaş açılarının girilmesi.

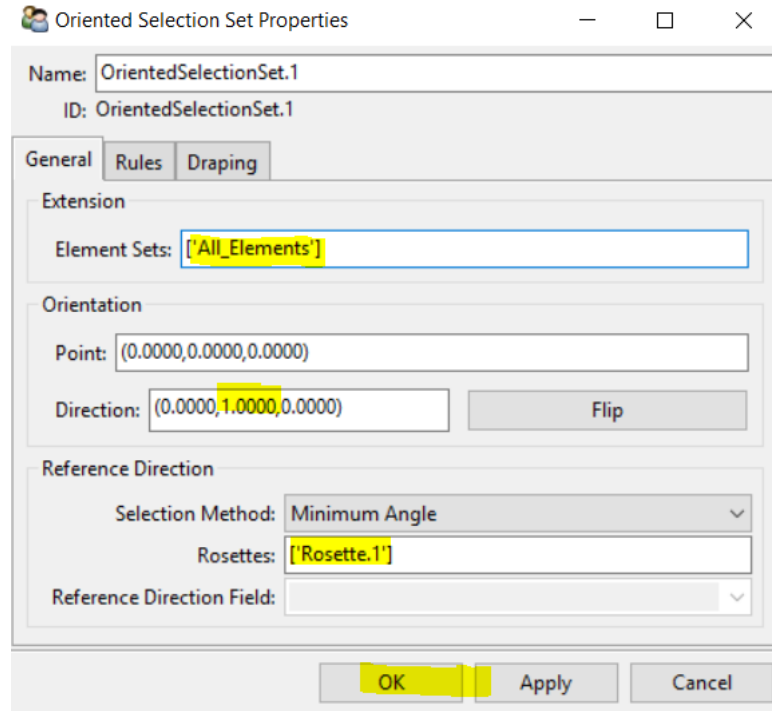
Rosette – Sağ Tık Create Rosette komutu verilir. Origin tıklanarak cisim üzerinde herhangi bir nokta seçilir ve onaylanır.



Şekil 4.16: Koordinat tanımlaması.

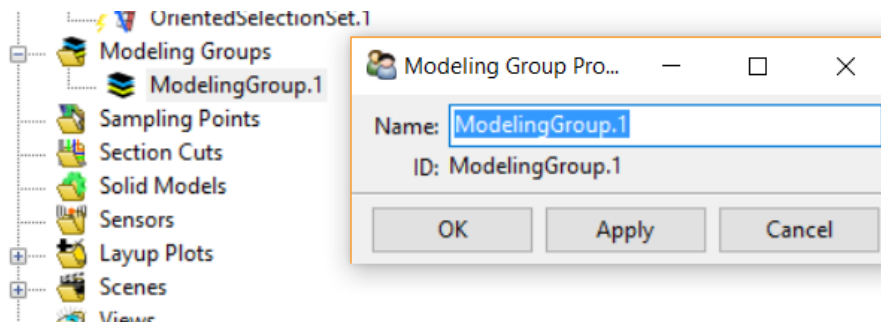
Oriented Selection Sets – Sağ Tık Create Oriented Selection Set komutu verilir. Element Sets : All Elements olarak ayarlanır. Rosettes : Rosette 1 olarak ayarlanır.

Yüzeye dik olabilmesi için Direction y eksenini 1 seçilir.



Şekil 4.17: Katmanların yüzeye dik konuma getirilmesi.

Modeling Groups – Sağ Tık Create Modeling Group komutu verilir.

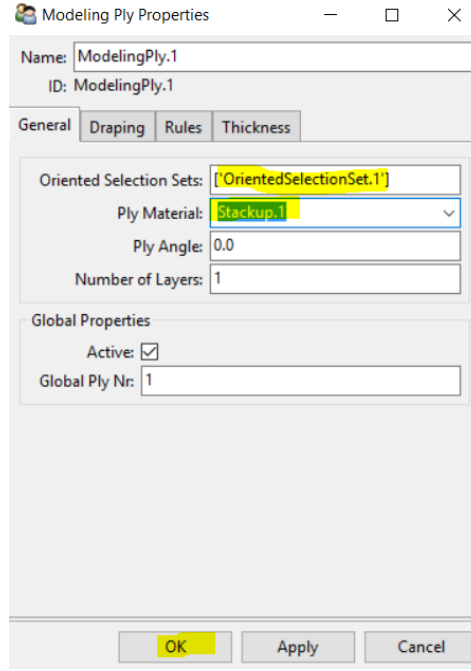


Şekil 4.18: Katmanların oluşturulması.

Daha sonra Modeling Group.1 – Sağ Tık Create Ply komutu verilir.

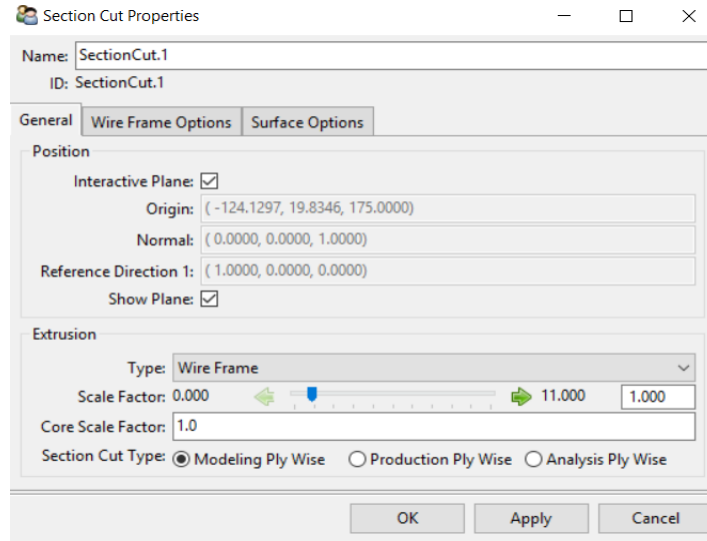
Oriented Selection Set 1 seçilir. Ply Material olarak Stackup1 seçilir ve onaylanır.





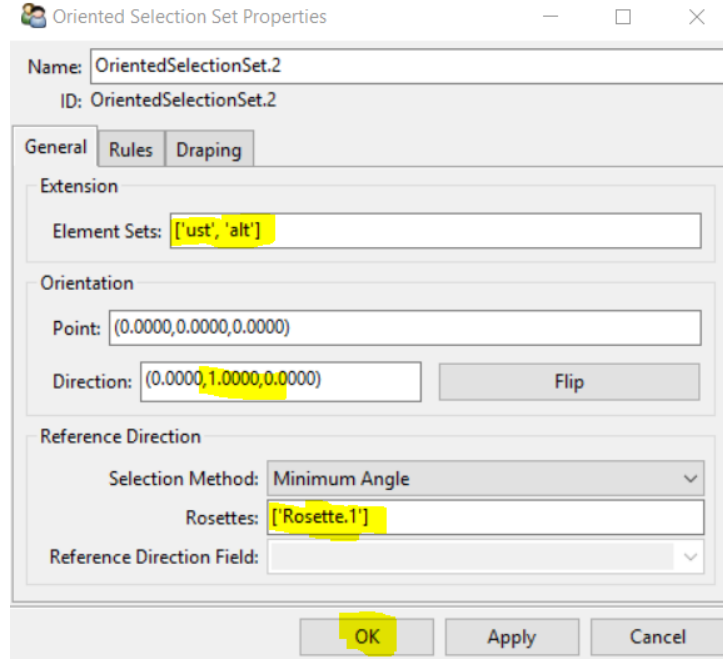
Şekil 4.19: Katman bilgileri girilir.

ModelingPly sağ tıklanıp Update komutu verilir. Section Cuts – Sağ Tık Create Section Cut seçilerek çıkan değerler onaylanır ve sağ tıklanıp güncellenir.



Şekil 4.20: Modelin kesiti alınması.

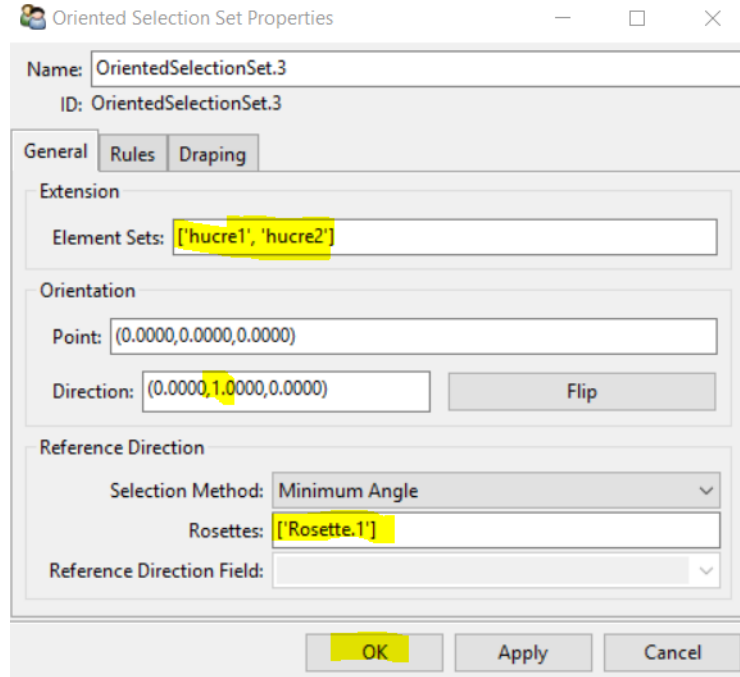
Oriented Selection Sets – Sağ Tıklanır Create Oriented Set komutu verilir.



Şekil 4.21: Alt ve üst yüzeyin ayrılması.

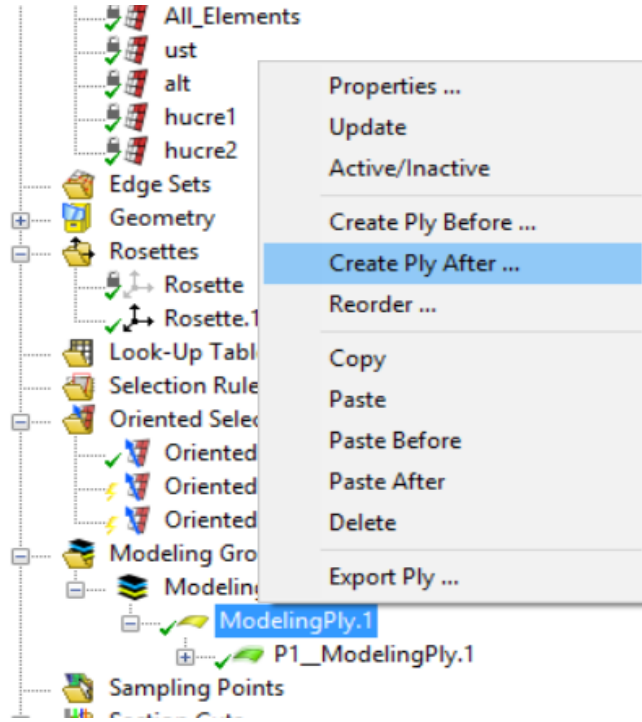
Yukarıdaki bilgiler girilerek Oriented Selection Set 2 oluşturulur.

Aynı şekilde aşağıdaki bilgiler girilerek Oriented Selection Set 3 oluşturulur.

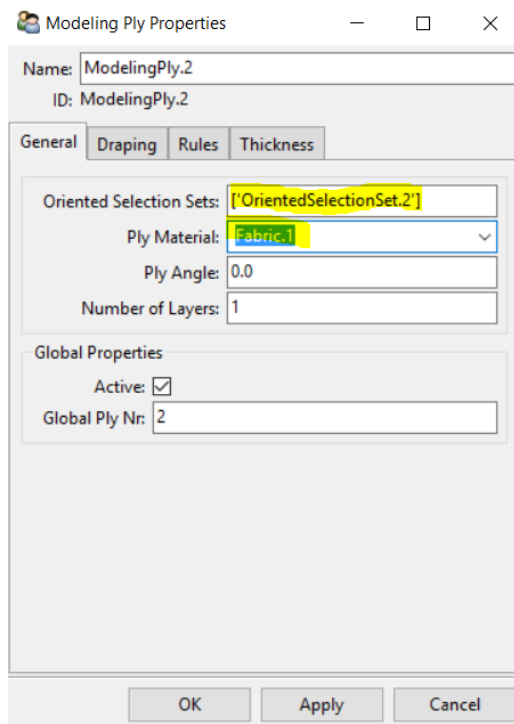


Şekil 4.22: Çekirdek yapıların ayrılması.

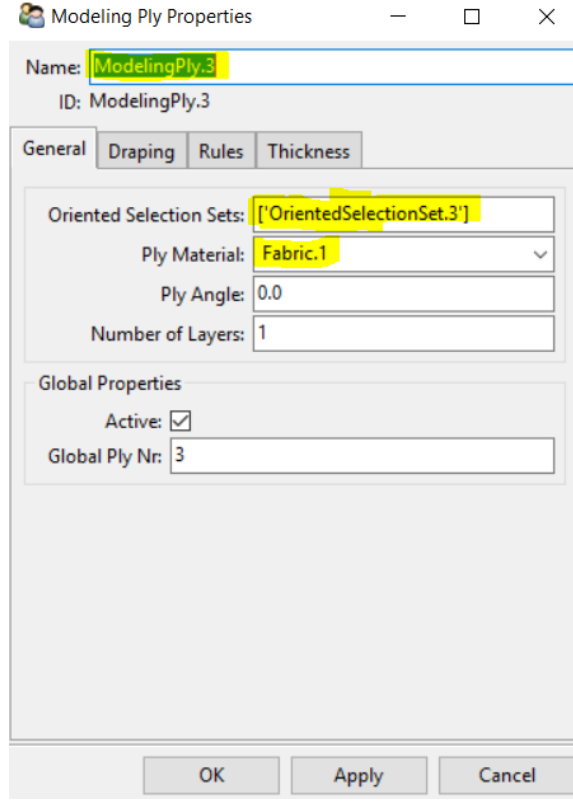
## Modeling Group – Modeling Ply – Sağ Tık Create Ply After



Şekil 4.24: Katmanların oluşturulması.

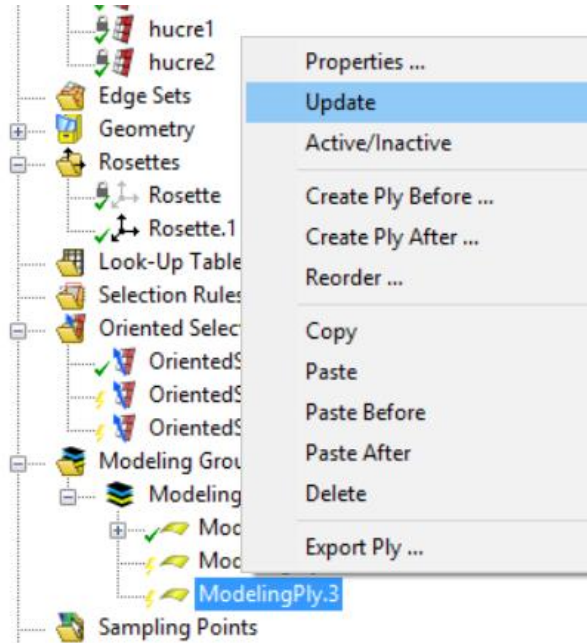


Şekil 4.23: Yüzeylerin katmanının belirlenmesi.



Şekil 4.25: Çekirdeklerin katmanının belirlenmesi.

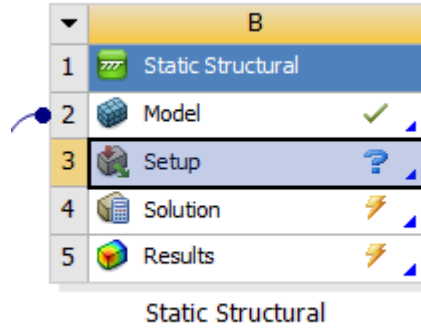
Daha sonra Sağ Tıklanıp Update seçeneği seçilir.



Şekil 4.26: Katmanların verilerinin güncellenmesi.

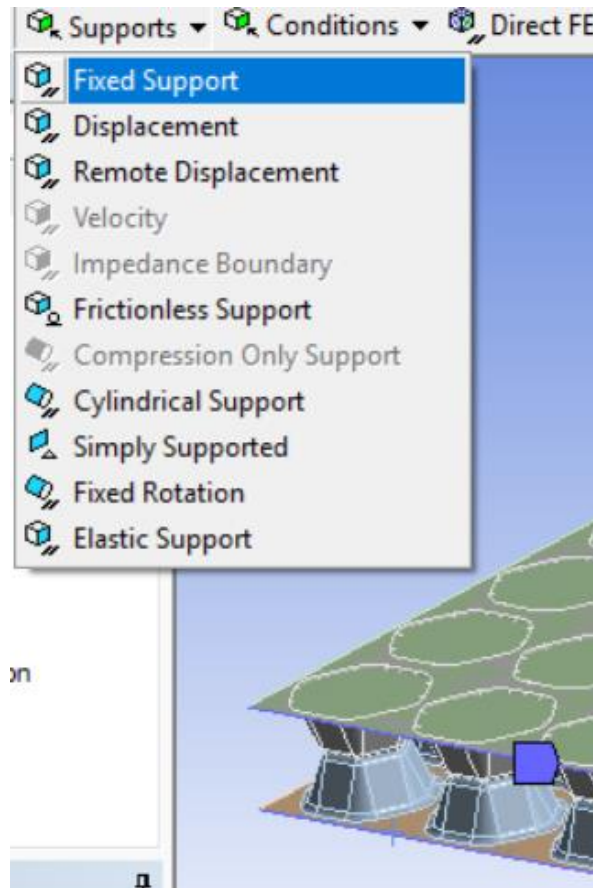
Aynı şekilde Section Cut Sağ Tıklanıp Update komutu verilir.

Static Structural – Setup tıklanır.



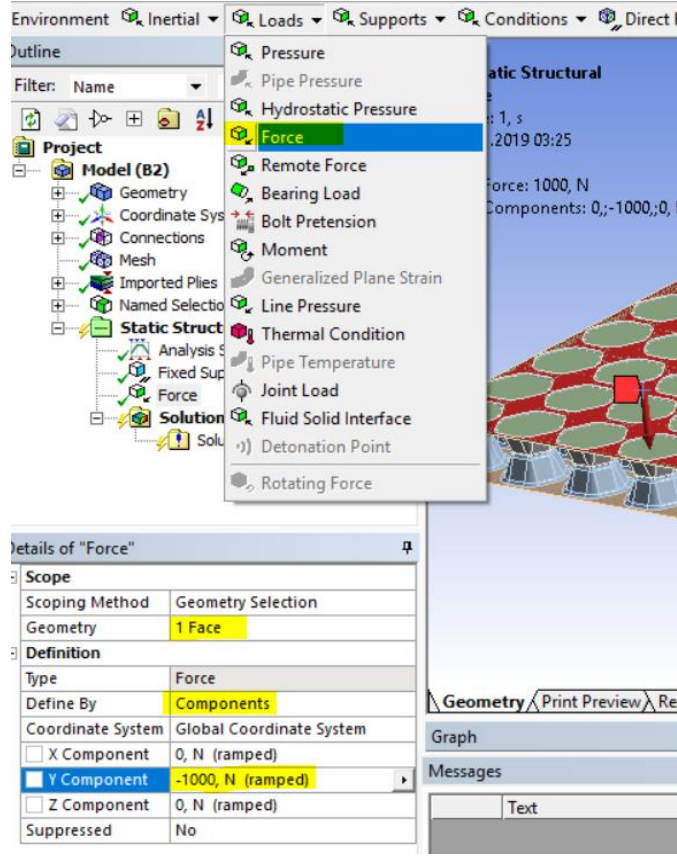
Şekil 4.27: Statik yapı analizi.

Support – Fixed Support seçilir iki kenar sabitlenir.



Şekil 4.28: Sabitlenecek yüzey seçimi.

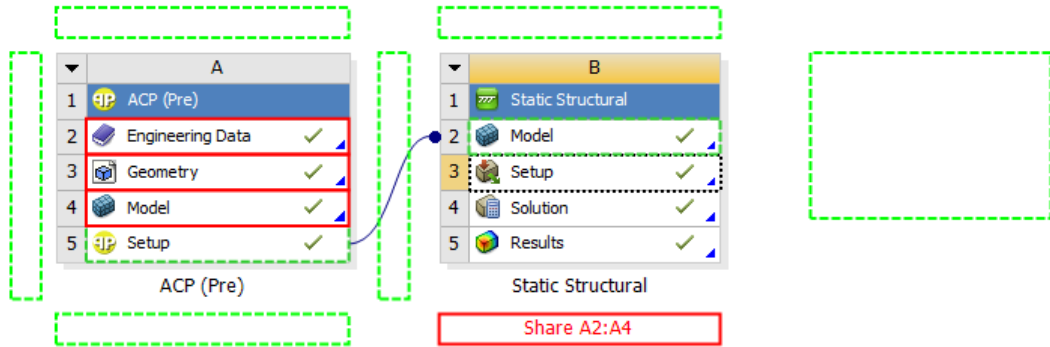
Loads – Force seçilir. Üst yüzeye 1000 N kuvvet uygulanır.



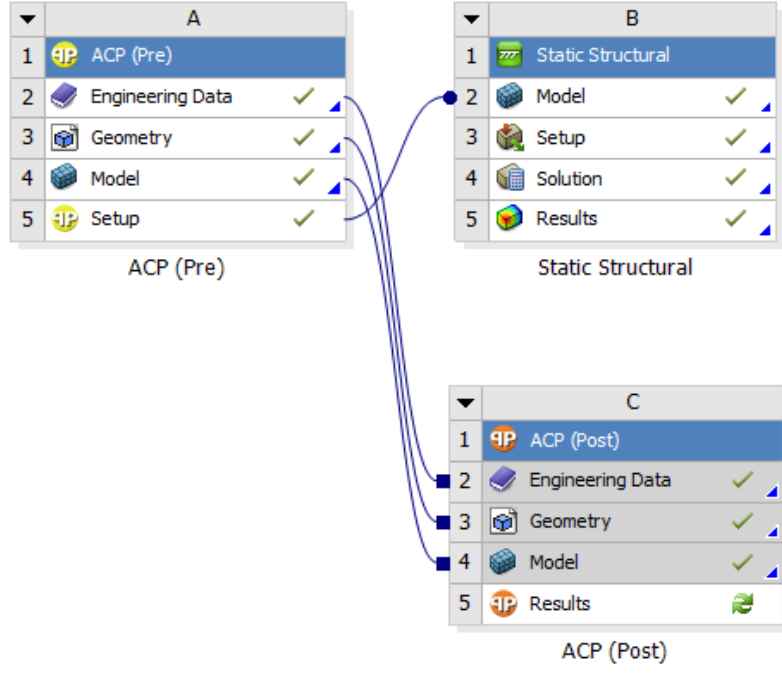
Şekil 4.29: Kuvvet uygulanacak yüzey seçimi.

Daha sonra Static Structural kapatılır.

ACP (Post), ACP (Pre) üzerine sürüklenir bırakılır.

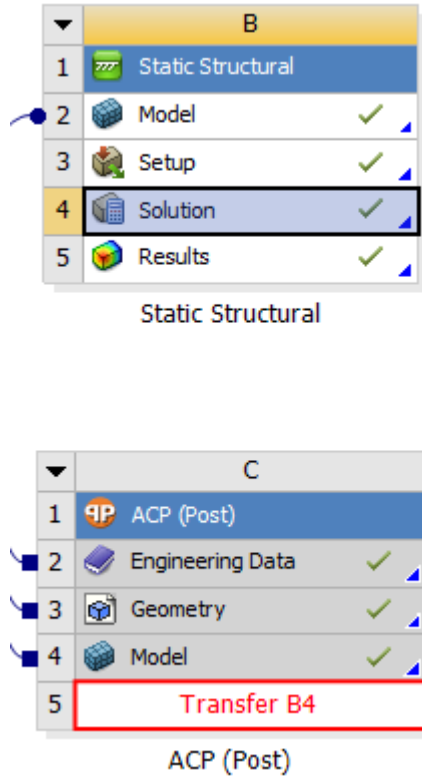


Şekil 4.30: ACP analizinin sonuç kısmı için ACP Post açılması.

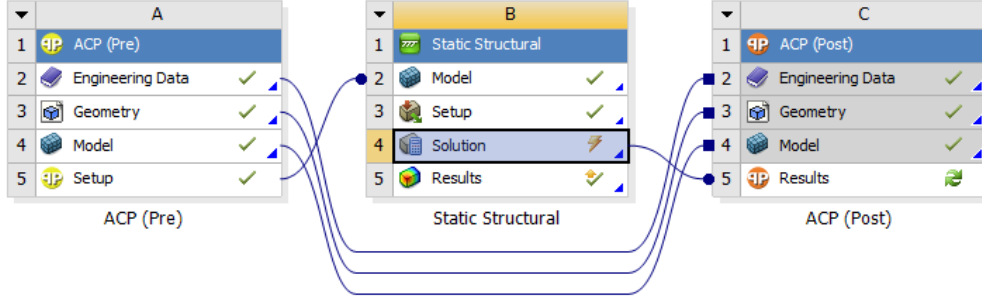


Şekil 4.31: ACP Post görünümü.

Static Structural'daki Solution ACP (Post) – Results üzerine sürüklenip bırakılır.



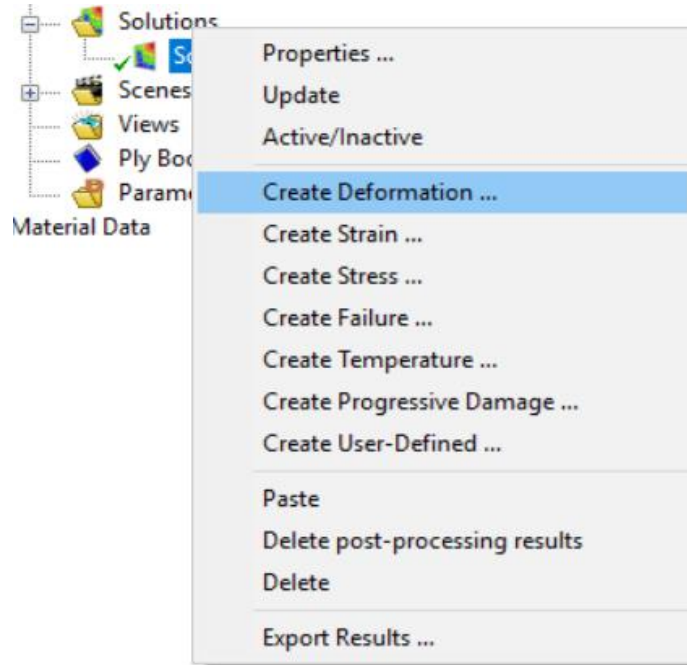
Şekil 4.32: Statik yapı bilgilerinin ACP Post'a aktarma.



**Şekil 4.33:** ACP Post'un güncellenmiş görünümü.

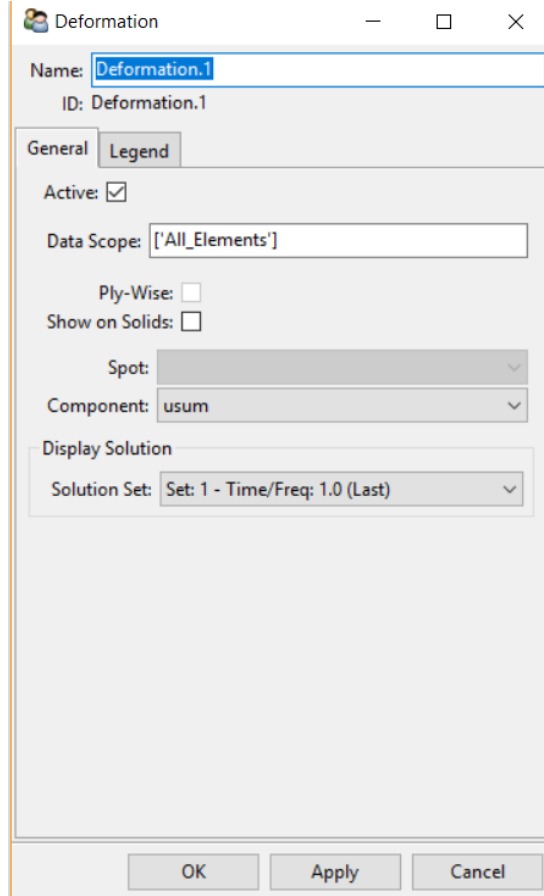
Proje güncellenir. ACP (Post) – Results çift tıklanır.

Güncelleme Yapılır ve Solution – Sağ Tık Create Deformation komutu onaylanır.



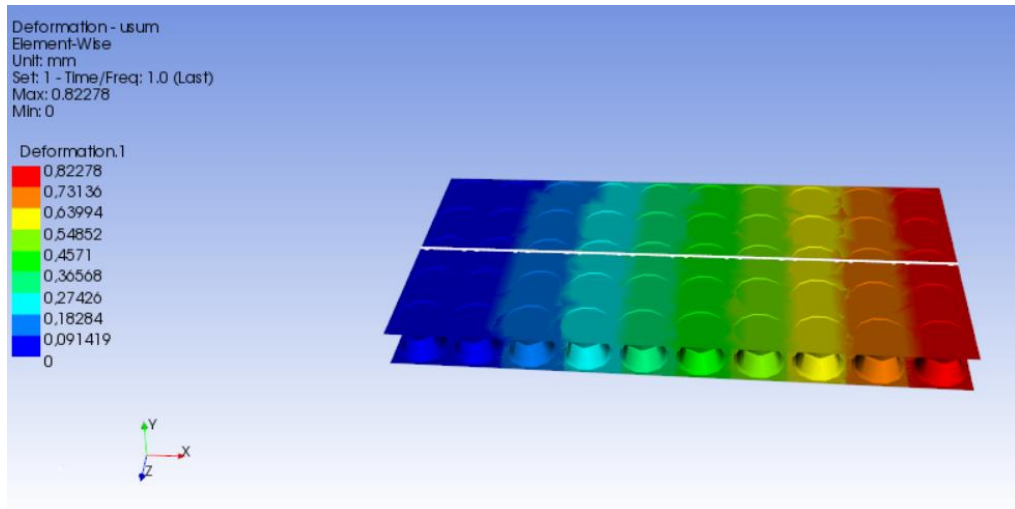
**Şekil 4.34:** Çökme miktarının gösterilmesi.





**Şekil 4.35:** Kompozit yapının çökmesi.

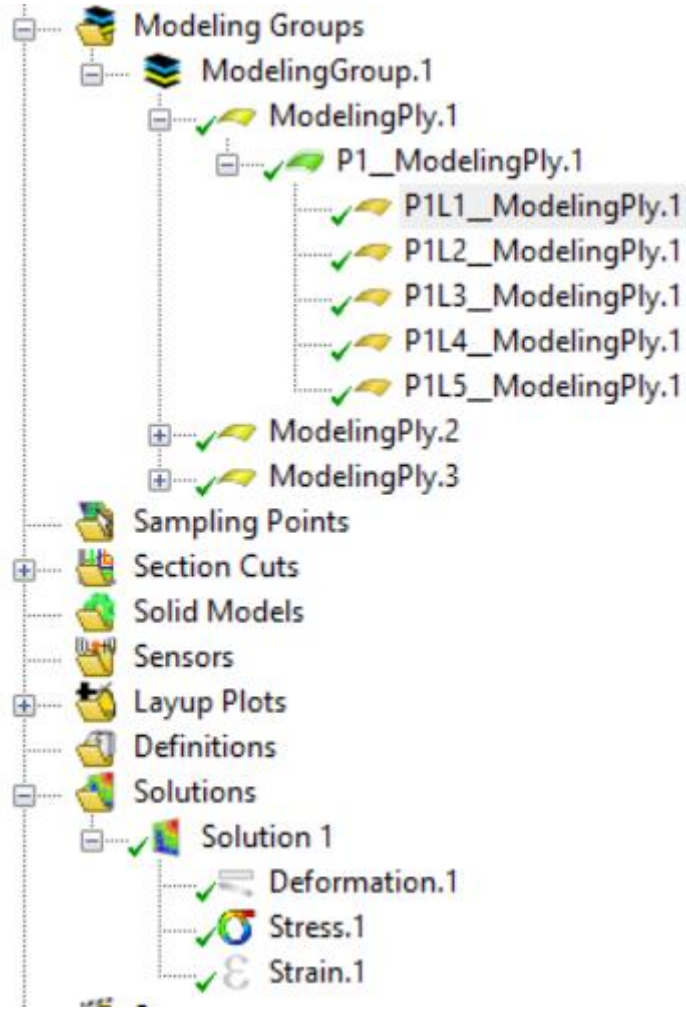
Sonra Güncelle komutu verilir.



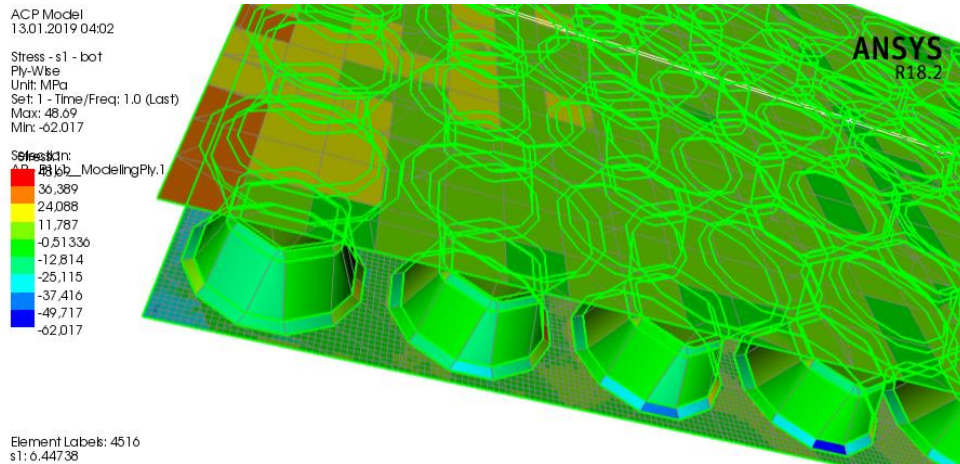
**Şekil 4.36:** Yapının çökmesinin görünümü.

Güncelleme yapılır ve Solution – Sağ Tık Create Stress komutu onaylanır ve güncellenir.

Daha sonra istenilen ModelingPly seçilir, analizi görülür.

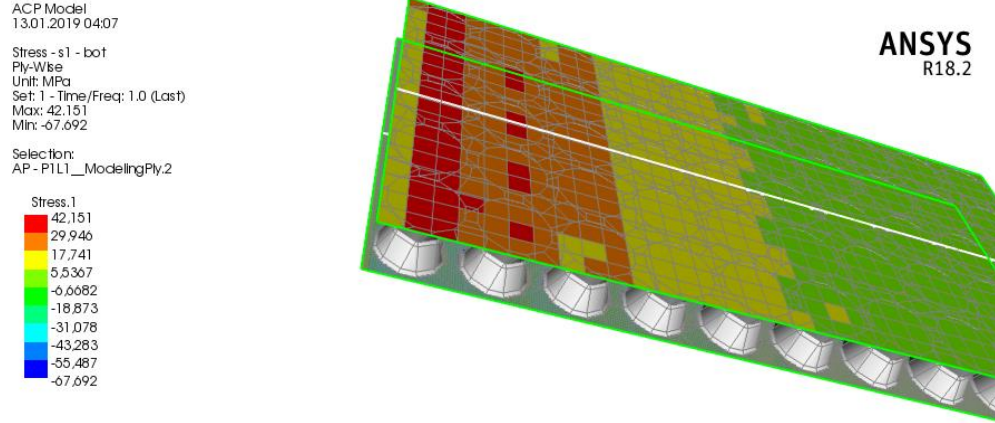


Şekil 4.37: Katmanların görünümü.



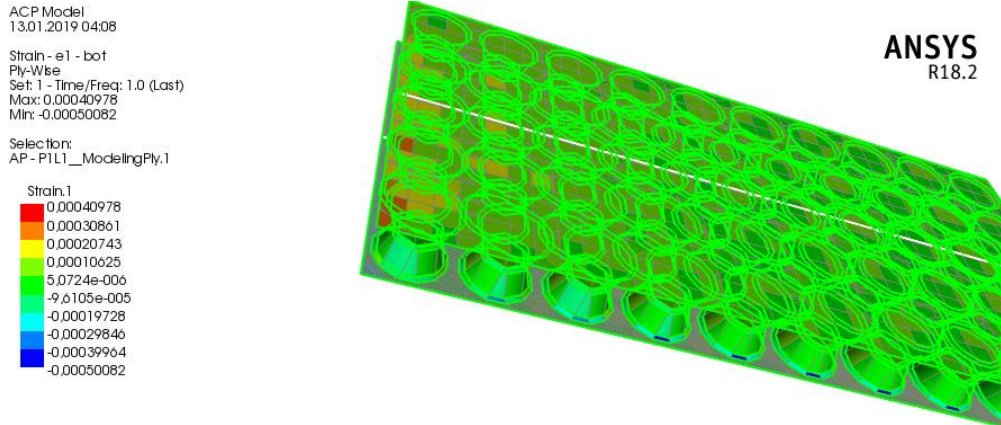
Şekil 4.38: Tüm katmanların görünümü.

Değerler diğer Modeling Ply'lar için de görülebilir. Üst ve alt yüzey için sonuçlar aşağıdaki gibidir.



**Şekil 4.39:** Üst ve alt yüzey gerilme sonuçları.

ModelingPly1 için Strain sonuçları aşağıdaki gibidir. Üst yüzey Strain sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

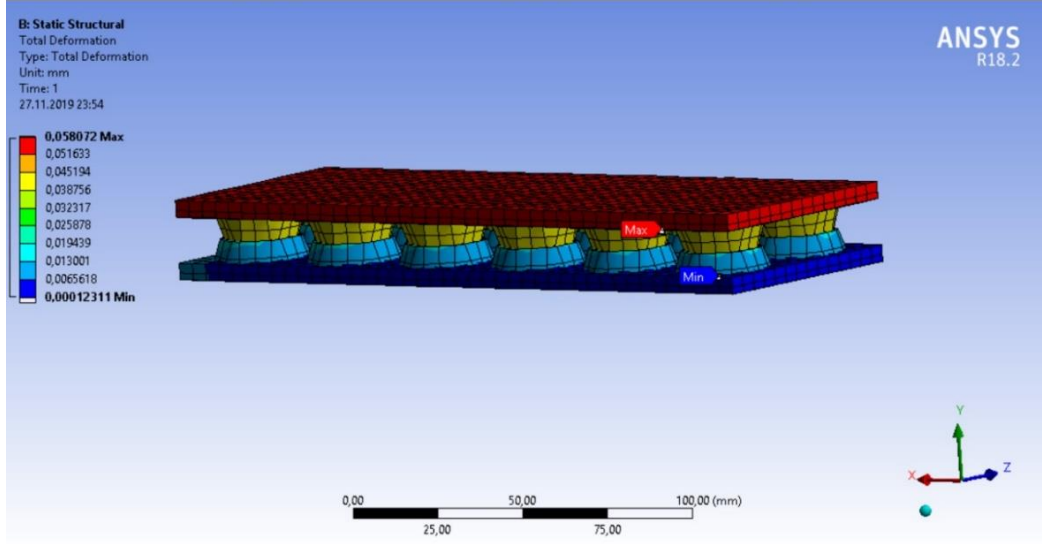


**Şekil 4.40:** Tüm yapının gerilme sonuçları.

Ansys ACP kısmında yapılan özgün tasarımdaki ve bal peteği yapılarıdaki analizler çalışmalarda gösterilmiştir.

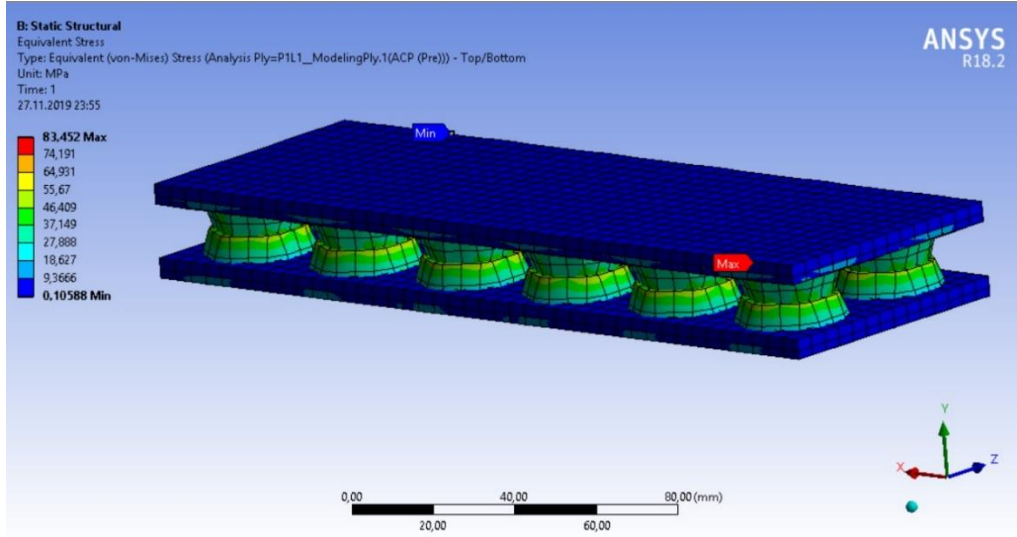
#### 4.4 Çalışma 1 (Özgün Tasarım)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitleyerek yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.41: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.41’de görüldüğü gibi maksimum çökme miktarı 0,058mm olmuştur.

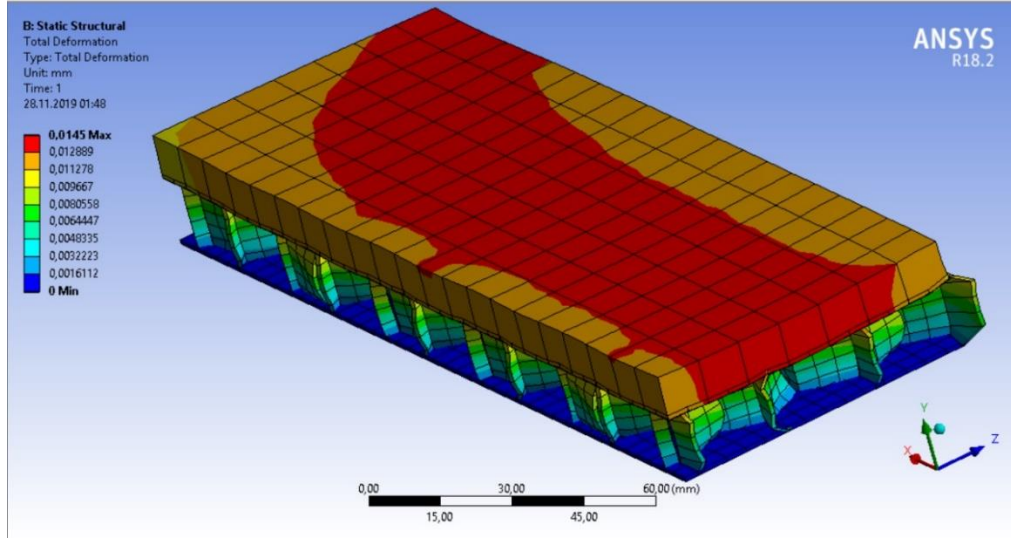


Şekil 4.42: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.42’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme miktarı 83,452 MPa olarak gerçekleşmiştir.

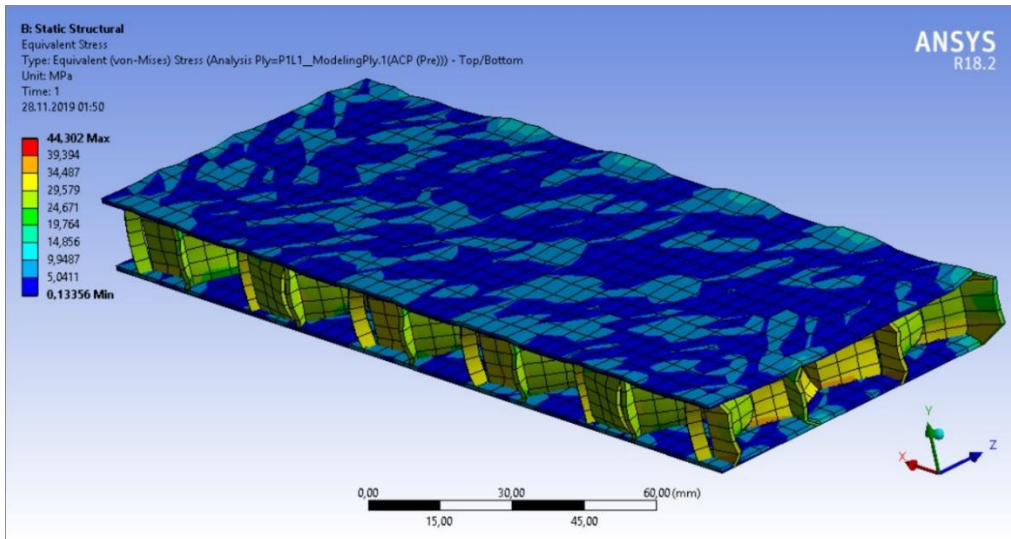
## 4.5 Çalışma 2 (Bal Peteği)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulanarak, alt yüzeyi de sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.43: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.43'te 40.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,014mm olduğu gösterilmiştir.

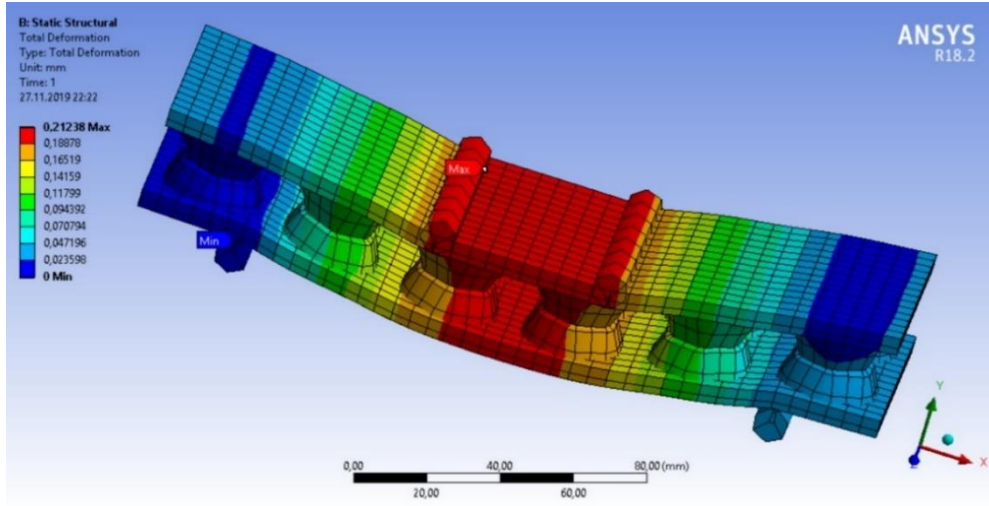


Şekil 4.44: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.44'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 44,302 MPa olarak gerçekleşmiştir.

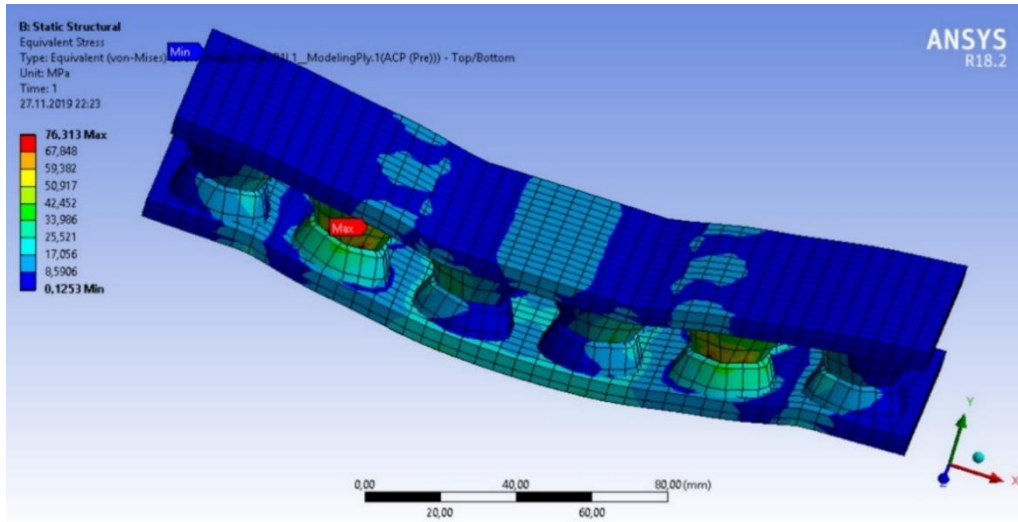
#### 4.6 Çalışma 3 (Özgün Tasarım)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak üst yüzeye iki noktadan 5.000 N yük uygulanarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.45: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.45'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,212 mm olmuştur.

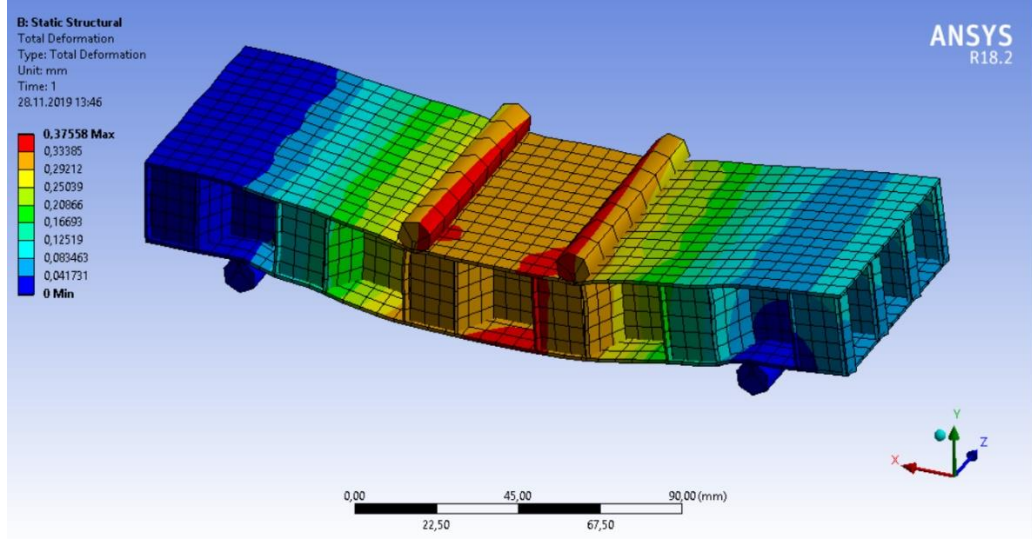


Şekil 4.46: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.46'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 76,313 MPa olarak gerçekleşmiştir.

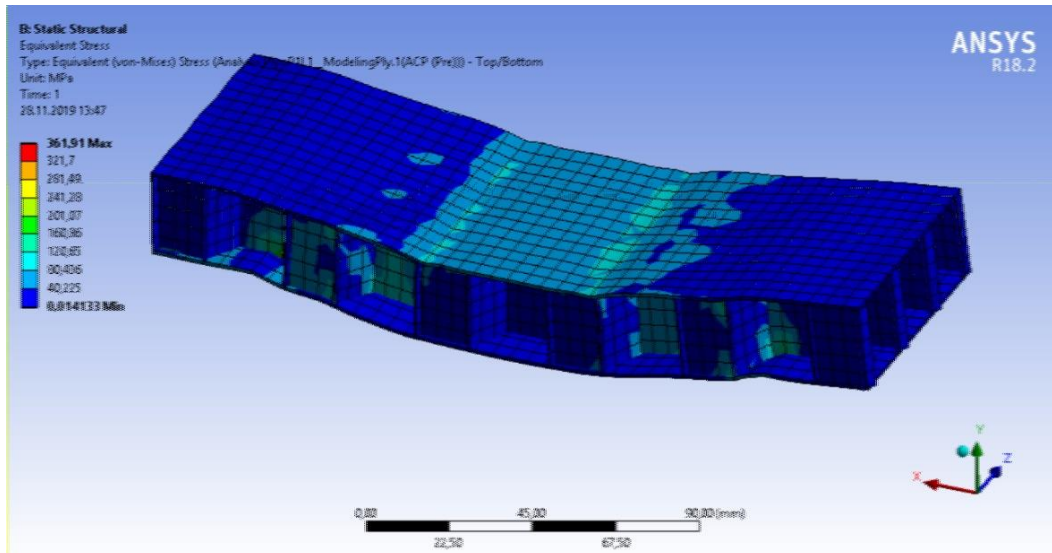
#### 4.7 Çalışma 4 (Bal Peteği)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulanarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edildi.



Şekil 4.47: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.47’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,375 mm olmuştur.

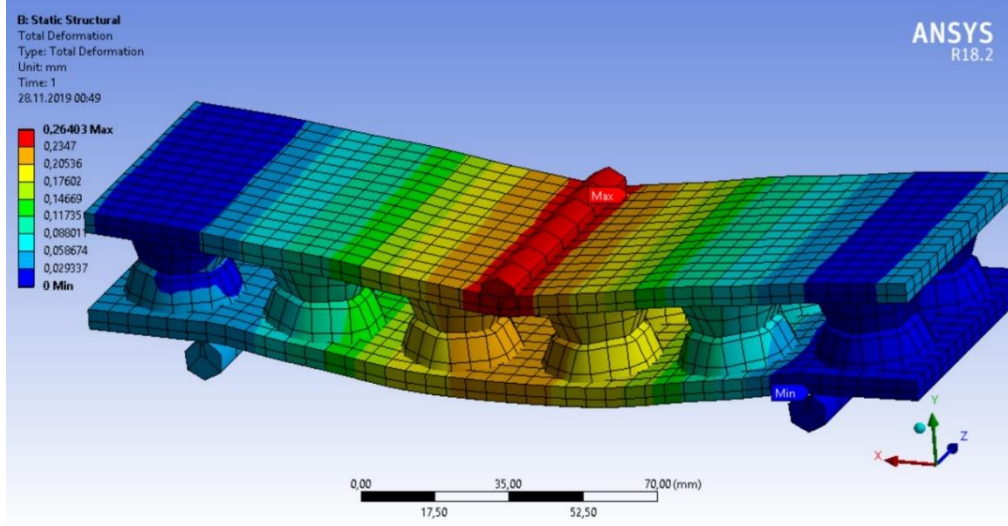


Şekil 4.48: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.48’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 361,91 MPa olarak gerçekleşmiştir.

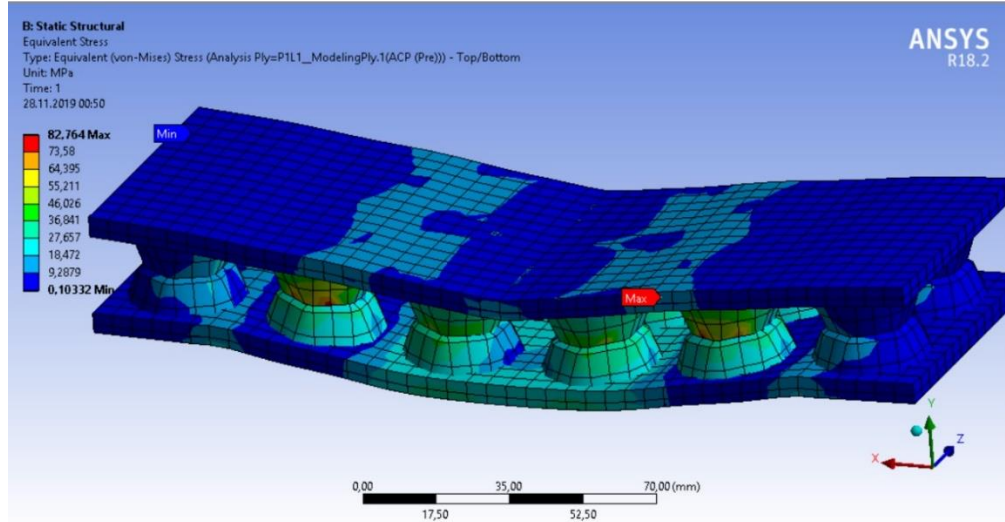
## 4.8 Çalışma 5 (Özgün Tasarım)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edildi.



Şekil 4.49: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.49’da görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,264 mm olmuştur.



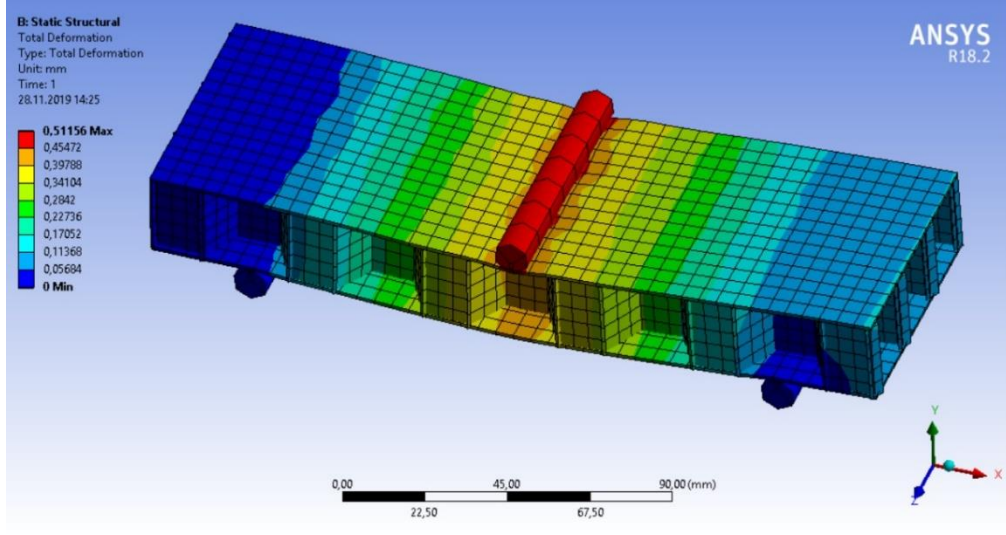
Şekil 4.50: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.50’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 82,764 MPa olarak gerçekleşmiştir.



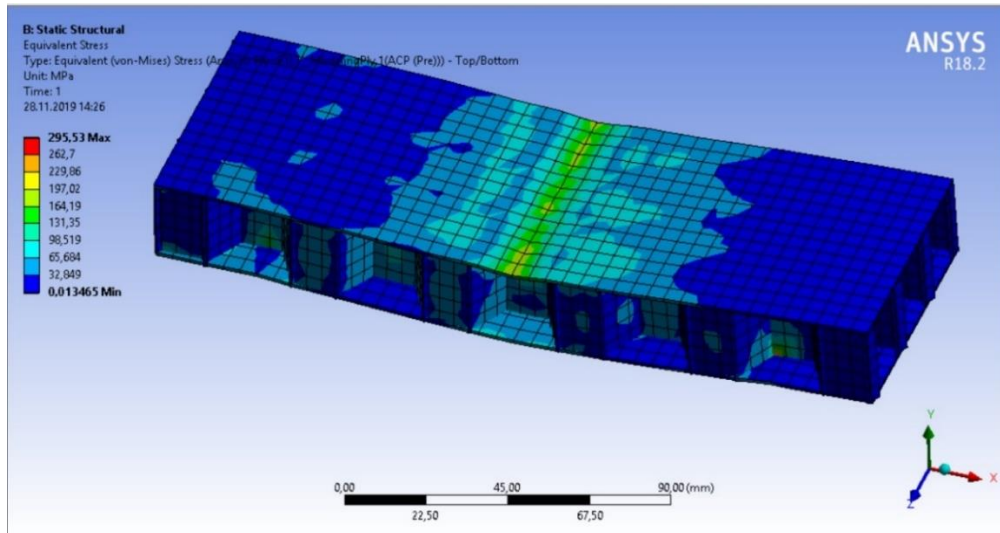
#### 4.9 Çalışma 6 (Bal Peteği)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edildi.



Şekil 4.51: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.51’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,511 mm olmuştur.

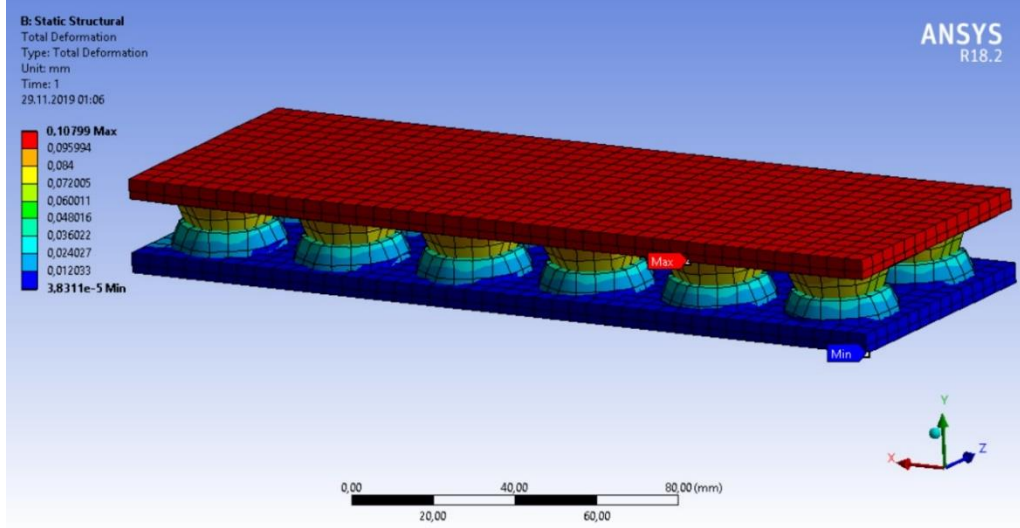


Şekil 4.52: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 4.52’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 295,53 MPa olarak gerçekleşmiştir.

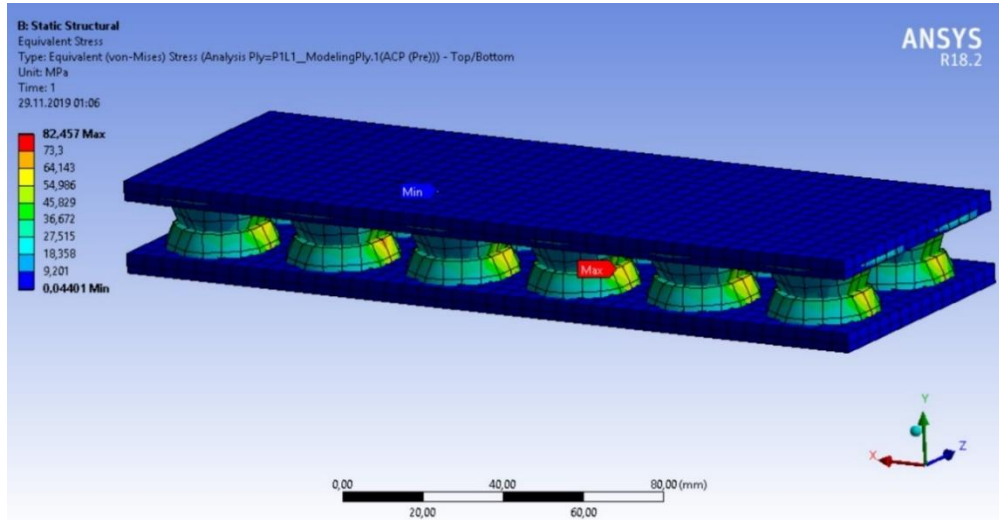
#### 4.10 Çalışma 7 (Özgün Tasarım)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edildi.



Şekil 4.53: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.53'te görüldüğü gibi 40.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,107 mm olmuştur.

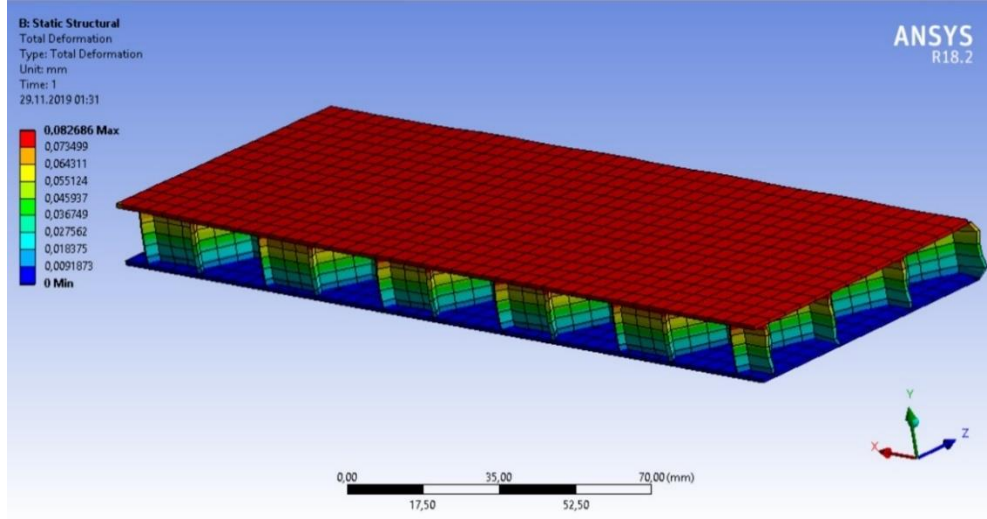


Şekil 4.54: Eşdeğer Gerilme Cam Fiber.

Şekil 4.54'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 82,457 MPa olarak gerçekleşmiştir.

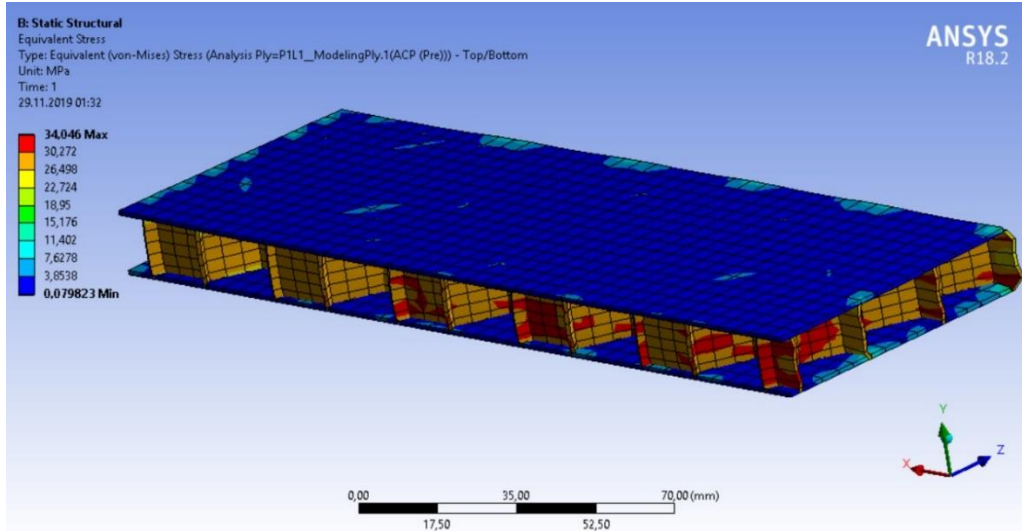
#### 4.11 Çalışma 8 (Bal Peteği)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edildi.



Şekil 4.55: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.55'te görüldüğü gibi 40.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,082 mm olmuştur.

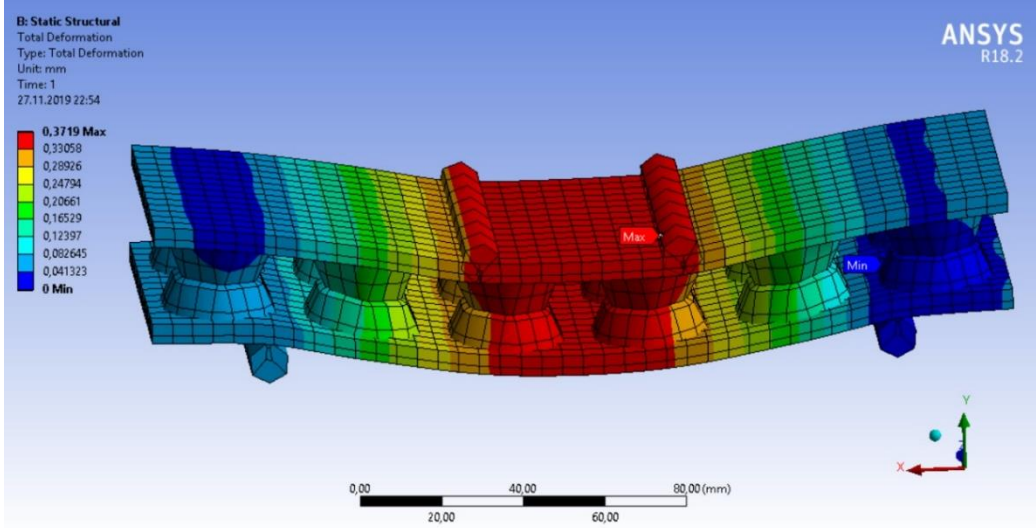


Şekil 4.56: Eşdeğer Gerilme Cam Fiber.

Şekil 4.56'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 34,046 MPa olarak gerçekleşmiştir.

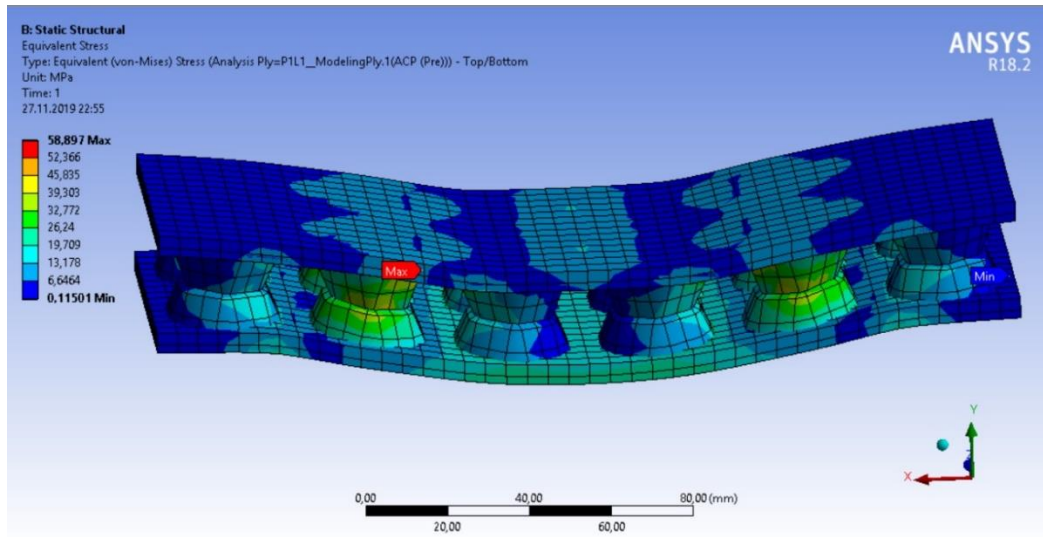
#### 4.12 Çalışma 9 (Özgün Tasarım)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edildi.



Şekil 4.57: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.57’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,371 mm olmuştur.

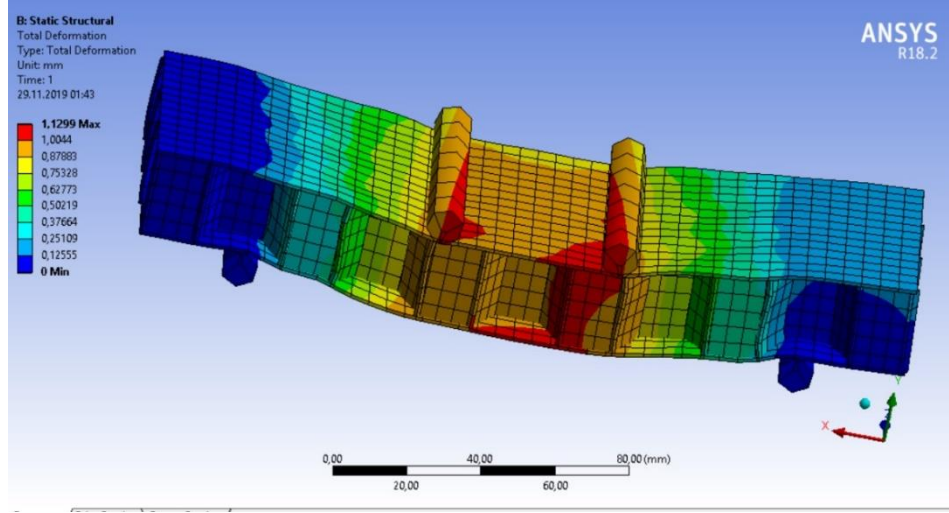


Şekil 4.58: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.58’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 58,89 MPa olarak gerçekleşmiştir.

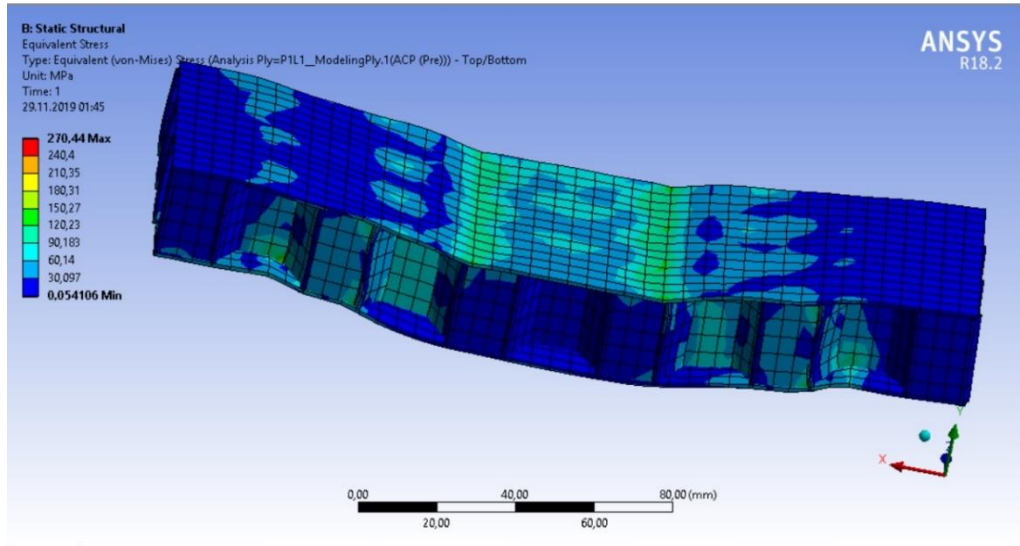
#### 4.13 Çalışma 10 (Bal Peteği)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulanarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.59: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.59’da görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 1,129 mm olmuştur.

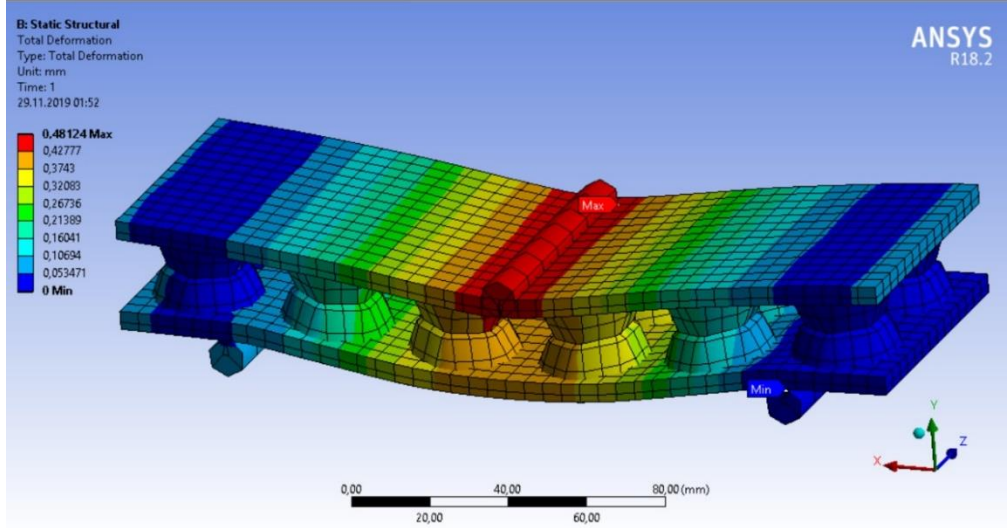


Şekil 4.60: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.60’da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 270,44 MPa olarak gerçekleşmiştir.

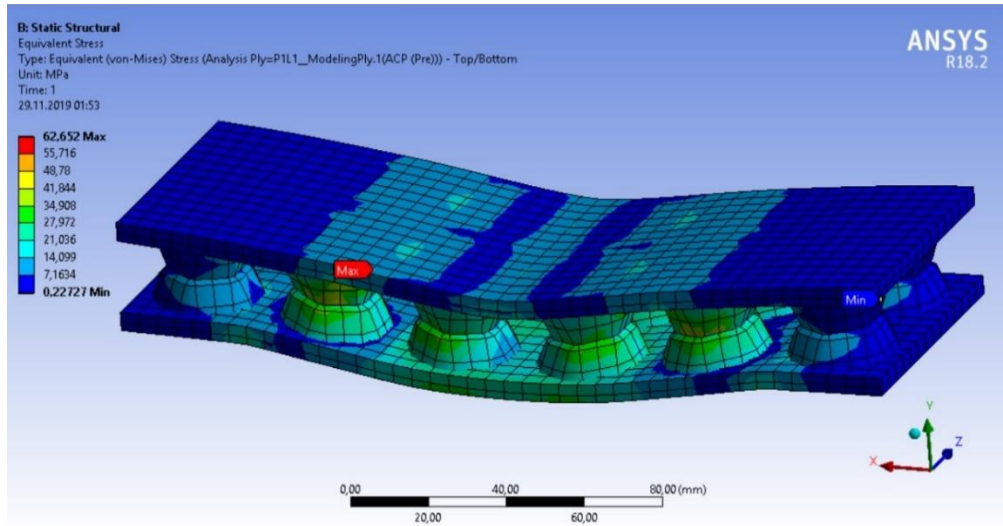
#### 4.14 Çalışma 11 (Özgün Tasarım)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitlenerek yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.61: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.61’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,481 mm olmuştur.

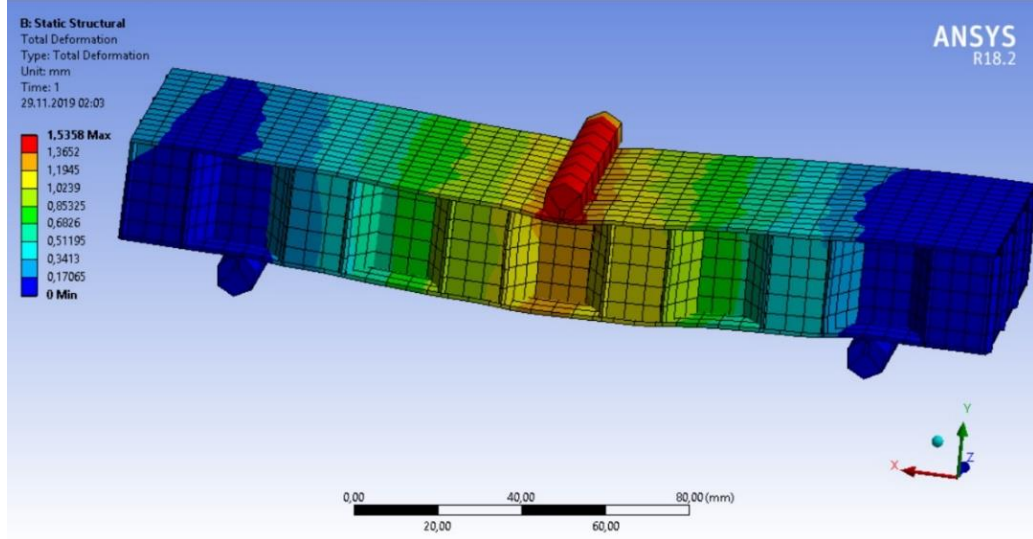


Şekil 4.62: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.62’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 62,652 MPa olarak gerçekleşmiştir.

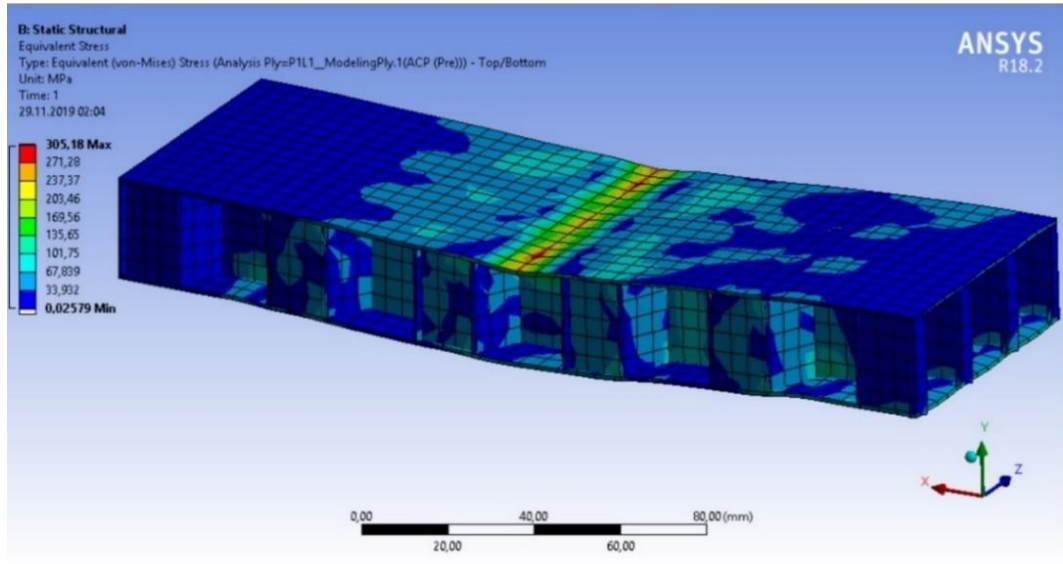
#### 4.15 Çalışma 12 (Bal Peteği)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.63: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.63'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 1,535 mm olmuştur.



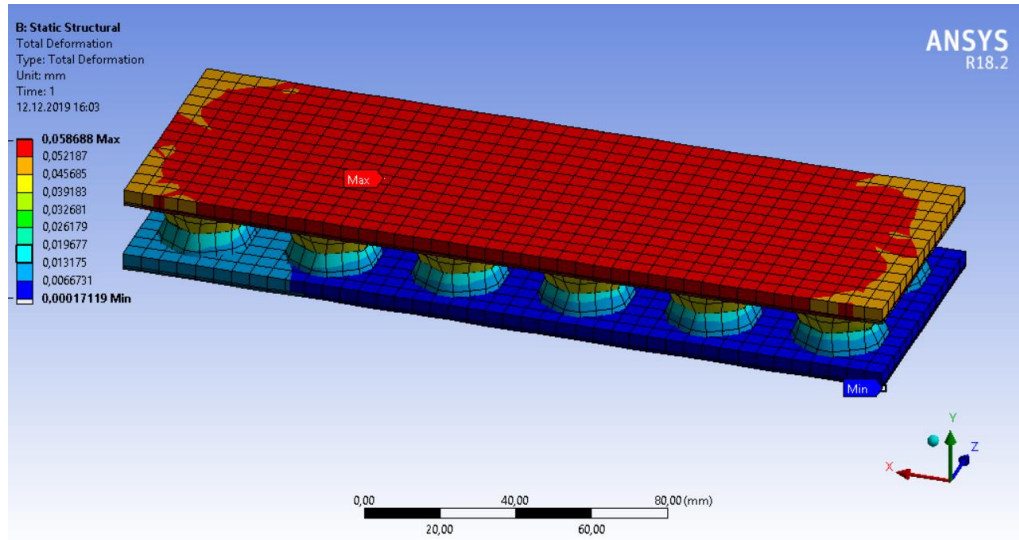
Şekil 4.64: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.65'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 305,18 MPa olarak gerçekleşmiştir.

Gövdesi alüminyum yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemelerle oluşturulan yapının analizleri aşağıdaki gibidir:

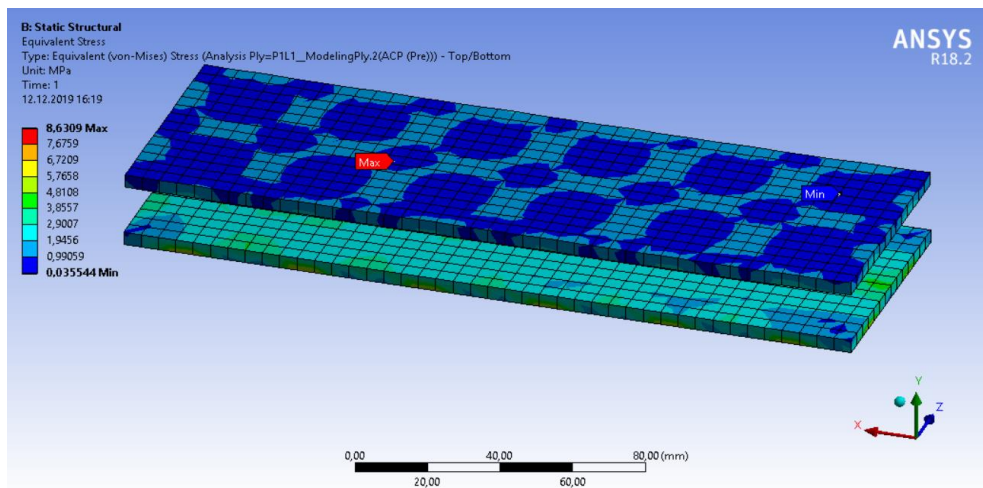
#### 4.16 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 1 (Özgün Tasarım)

Gövdesi alüminyum yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyden sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.65: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.65'te görüldüğü gibi 40.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,058 mm olmuştur.



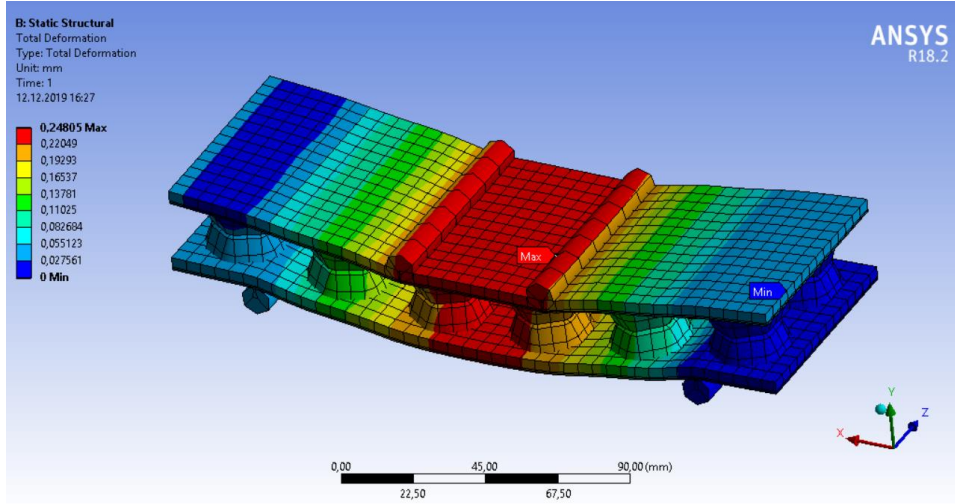
Şekil 4.66: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 4.66'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 8,630 MPa olarak gerçekleşmiştir.



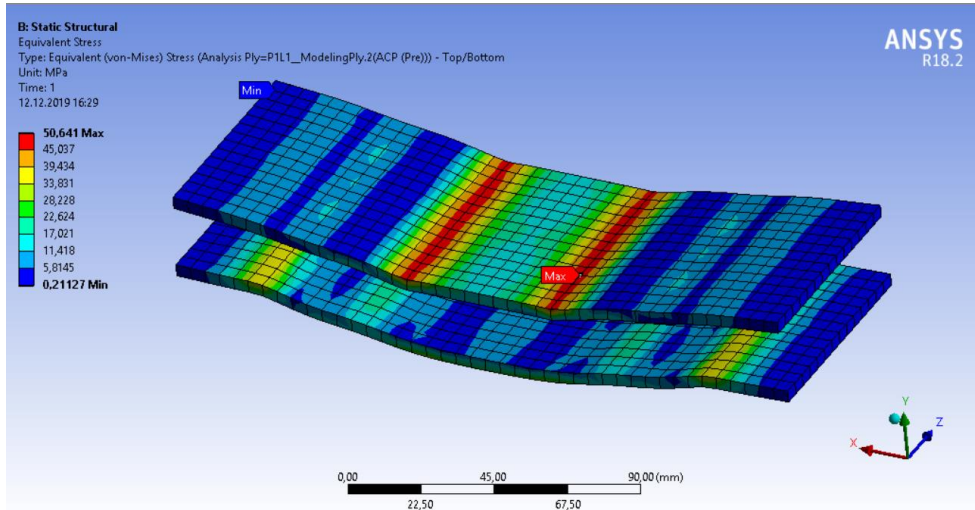
#### 4.17 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 2 (Özgün Tasarım)

Gövdesi alüminyum yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.67: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.

Şekil 4.67’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,248 mm olmuştur.

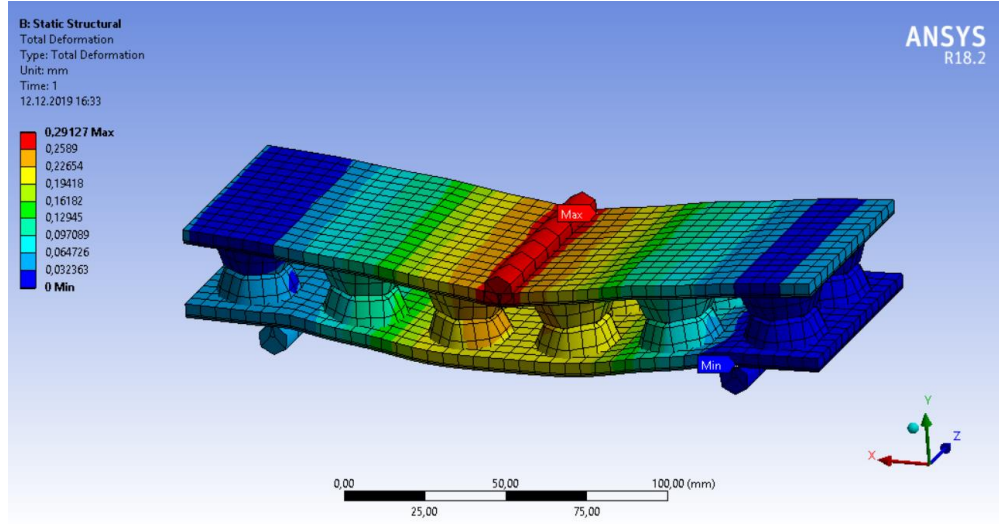


Şekil 4.68: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 4.68’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 50,641 MPa olarak gerçekleşmiştir.

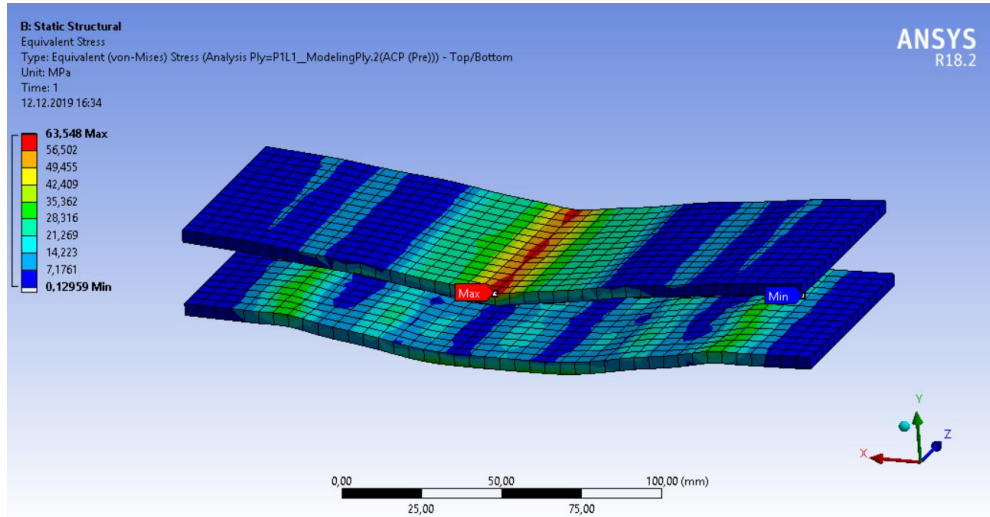
#### 4.18 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 3 (Özgün Tasarım)

Gövdesi alüminyum yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.69: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.

Şekil 4.69 görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,291 mm olmuştur.

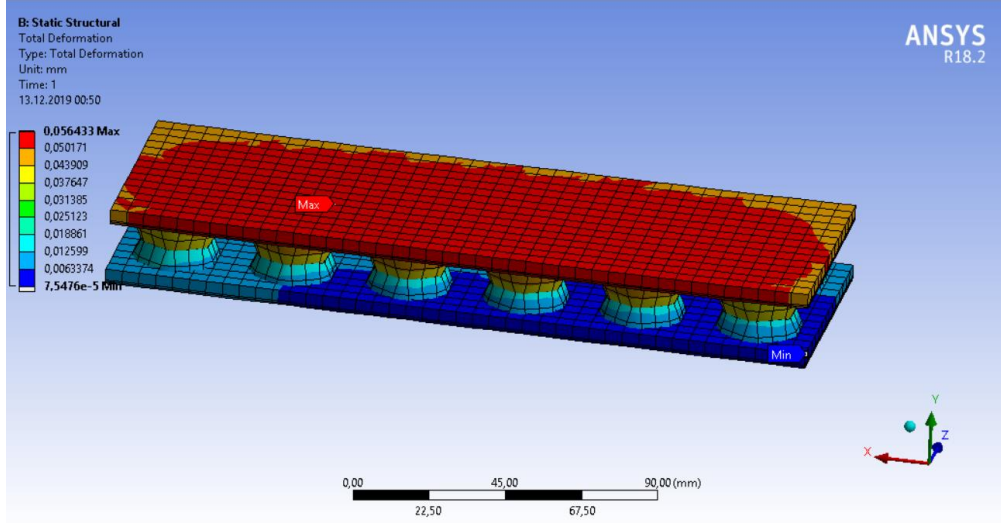


Şekil 4.70: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 4.70'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 63,548 MPa olarak gerçekleşmiştir.

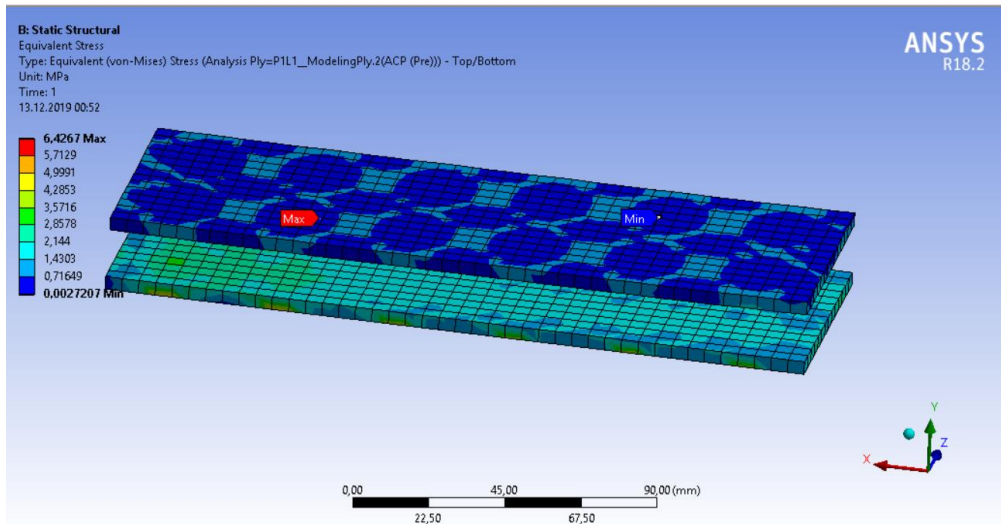
#### 4.19 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 1 (Özgün Tasarım)

Gövdesi alüminyum yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyden sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.71: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.71’de görüldüğü gibi 40.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,056 mm olmuştur.

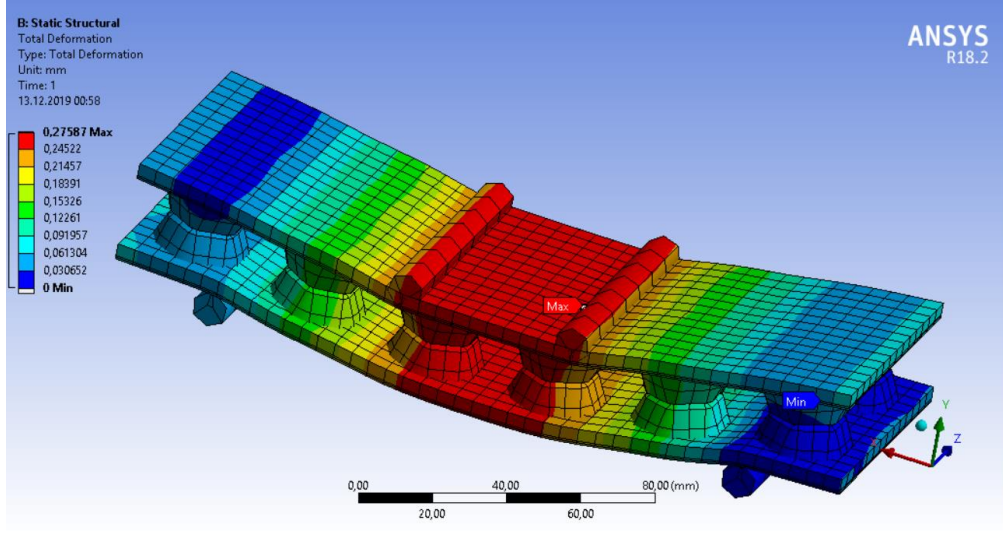


Şekil 4.72: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg - Alüminyum.

Şekil 4.72’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 6,426 MPa olarak gerçekleşmiştir.

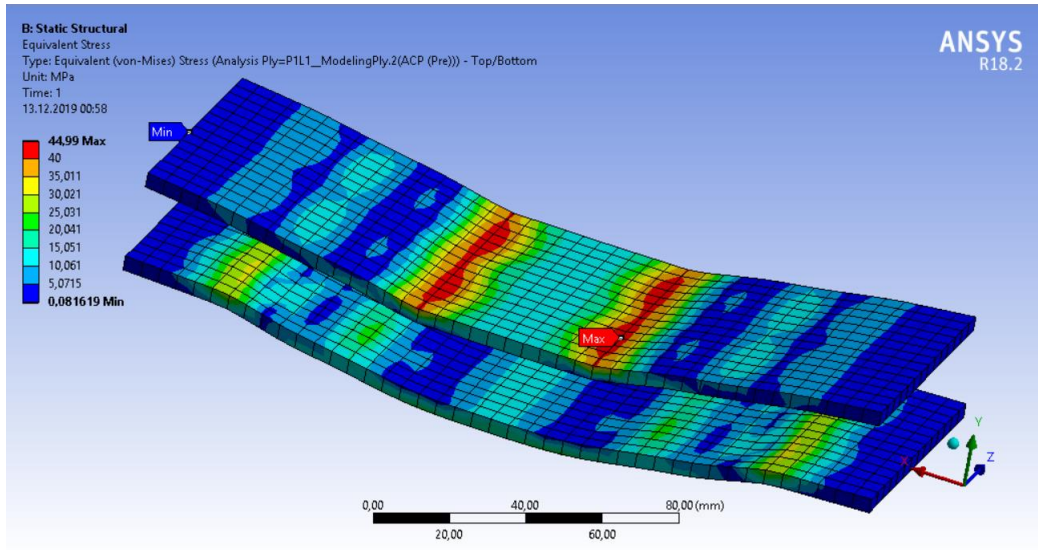
## 4.20 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 2 (Özgün Tasarım)

Gövdesi alüminyum yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.73: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.73'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,275 mm olmuştur.

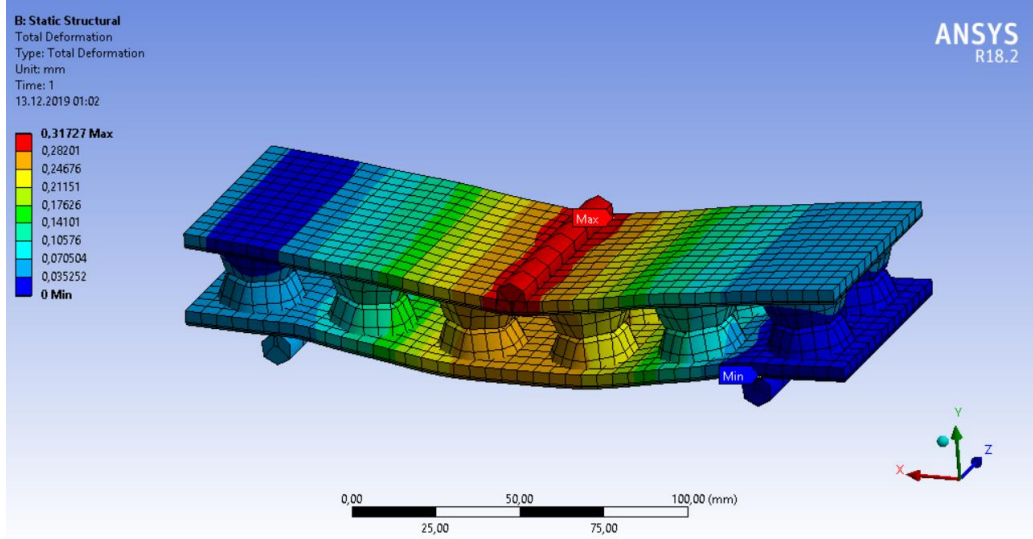


Şekil 4.74: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.74'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 44,99 MPa olarak gerçekleşmiştir.

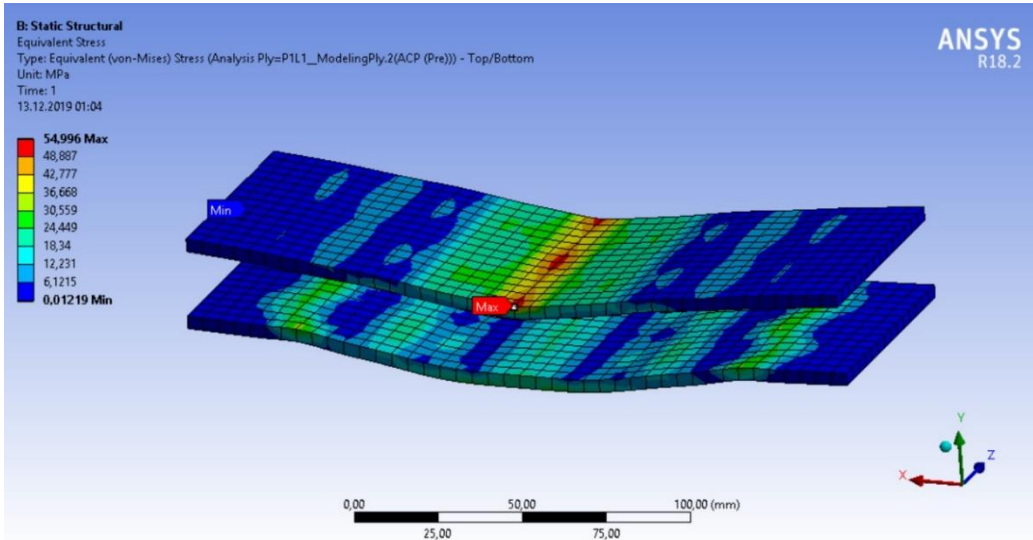
#### 4.21 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 3 (Özgün Tasarım)

Gövdesi alüminyum yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.75: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.75'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,317 mm olmuştur.

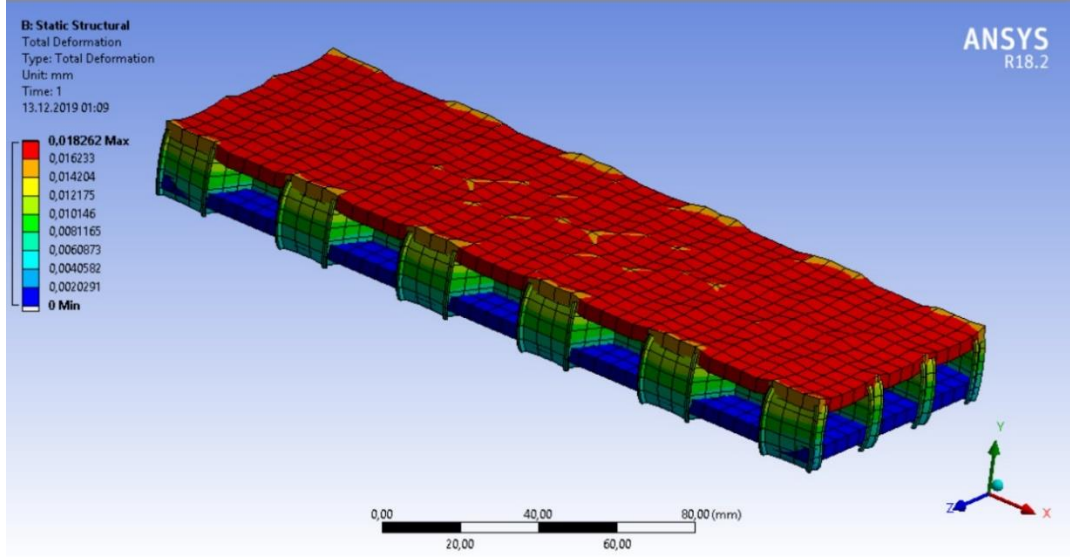


Şekil 4.76: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.76'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 54,996 MPa olarak gerçekleşmiştir.

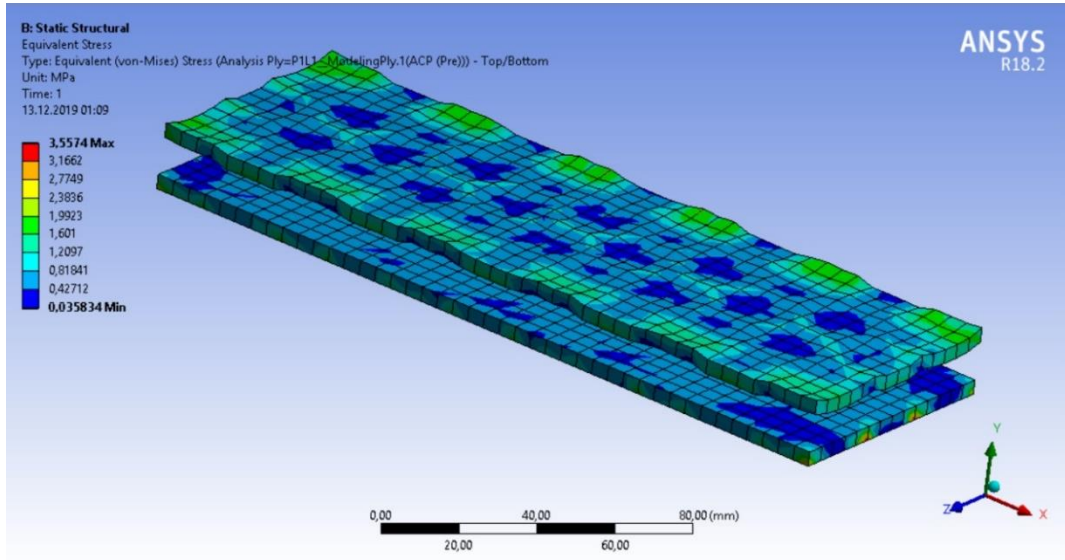
#### 4.22 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 4 (Bal Peteği)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg ile Alüminyum malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.77: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.77’de görüldüğü gibi 40.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,018 mm olmuştur.

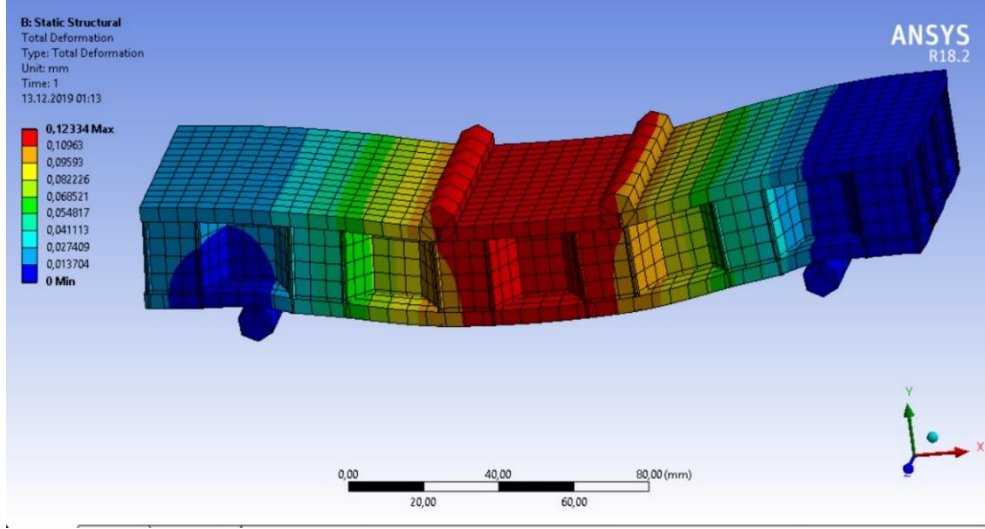


Şekil 4.78: Eşdeğer Gerilme Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.78’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 3,557 MPa olarak gerçekleşmiştir.

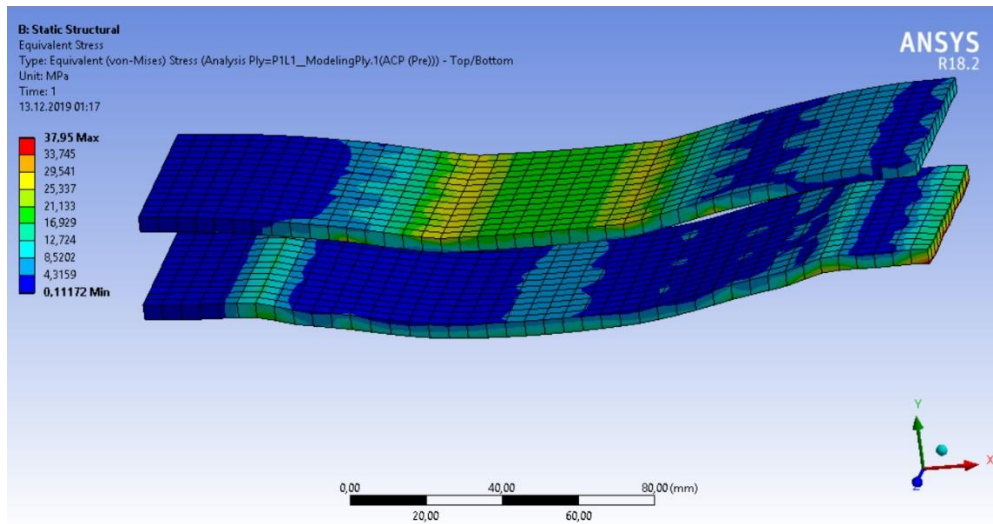
#### 4.23 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 5 (Bal Peteği)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg ile Alüminyum malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.79: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.

Şekil 4.79’da görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,123 mm olmuştur.

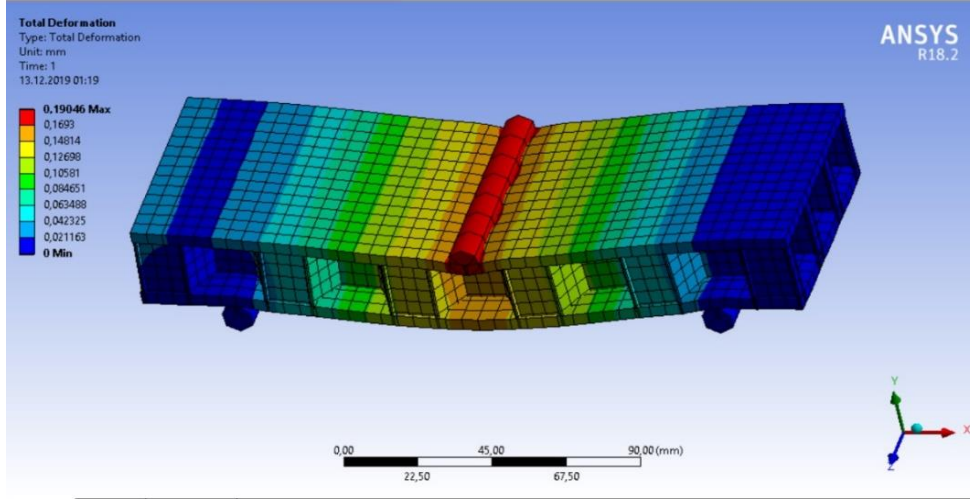


Şekil 4.80: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg - Alüminyum.

Şekil 4.80’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 37,95 MPa olarak gerçekleşmiştir.

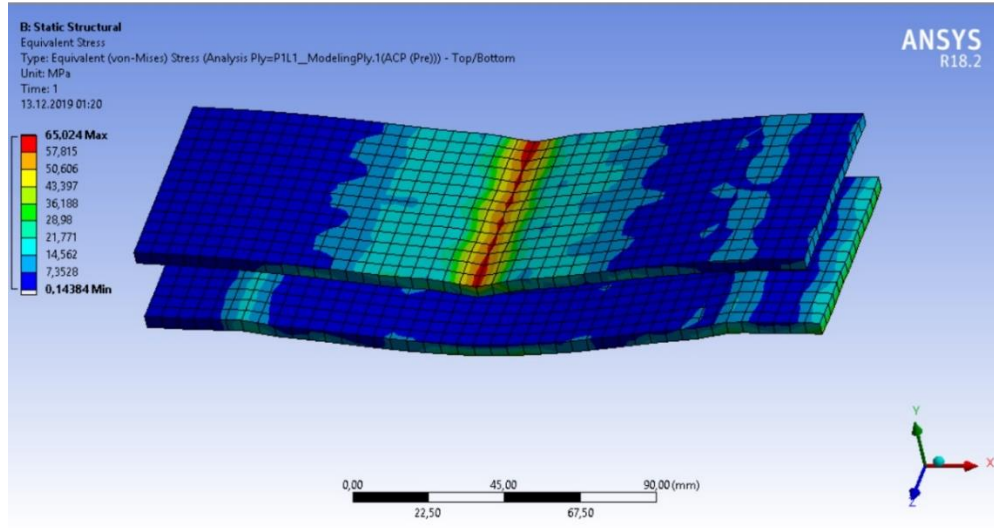
#### 4.24 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 6 (Bal Peteği)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg ve Alüminyum malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.81: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.

Şekil 4.81’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,190 mm olmuştur.



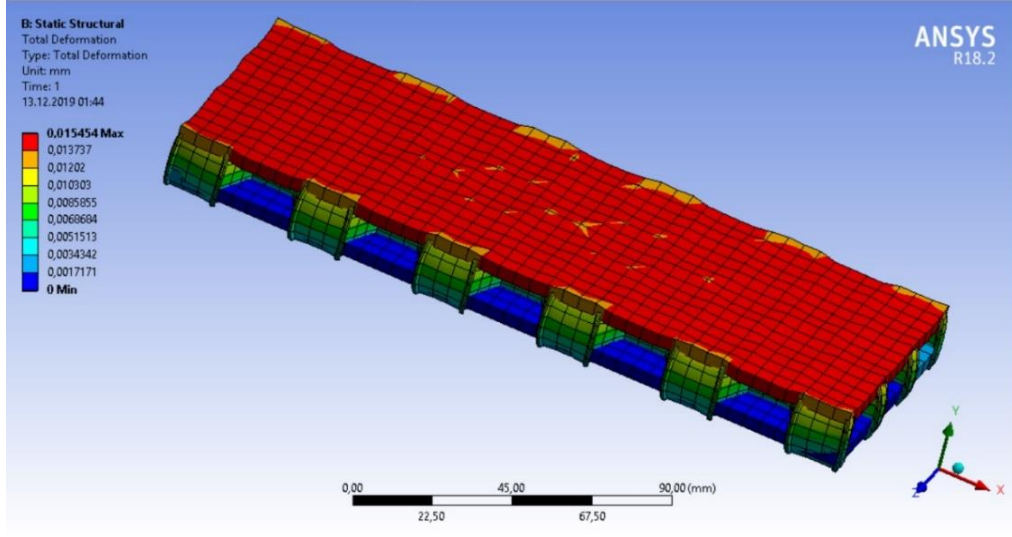
Şekil 4.82: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg - Alüminyum.

Şekil 4.82’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 65,024 MPa olarak gerçekleşmiştir.



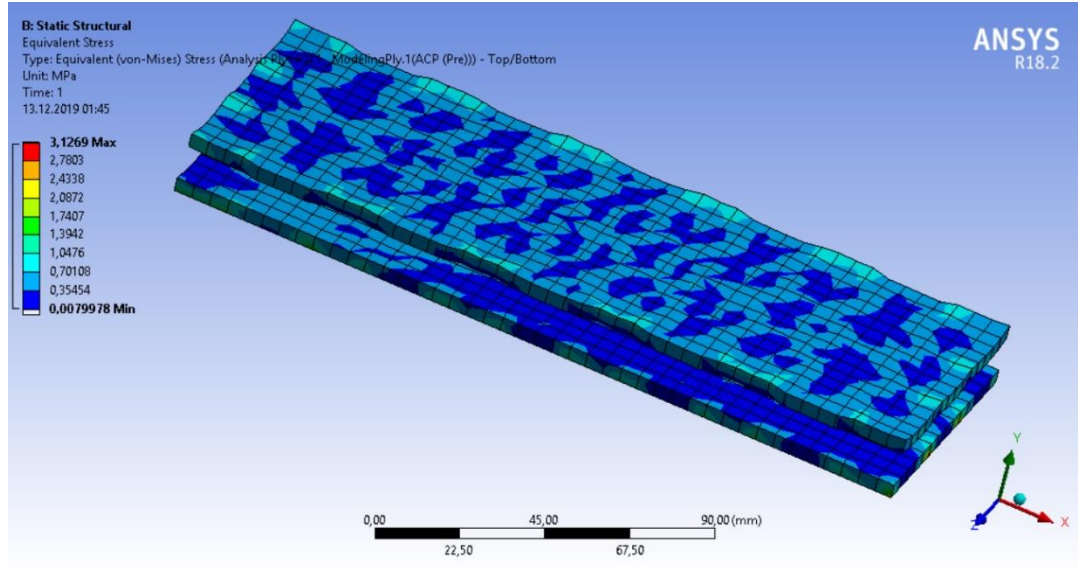
#### 4.25 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 4 (Bal Peteği)

Epoksi E-Cam ile Alüminyum malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.83: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.83'te görüldüğü gibi 40.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,015 mm olmuştur.

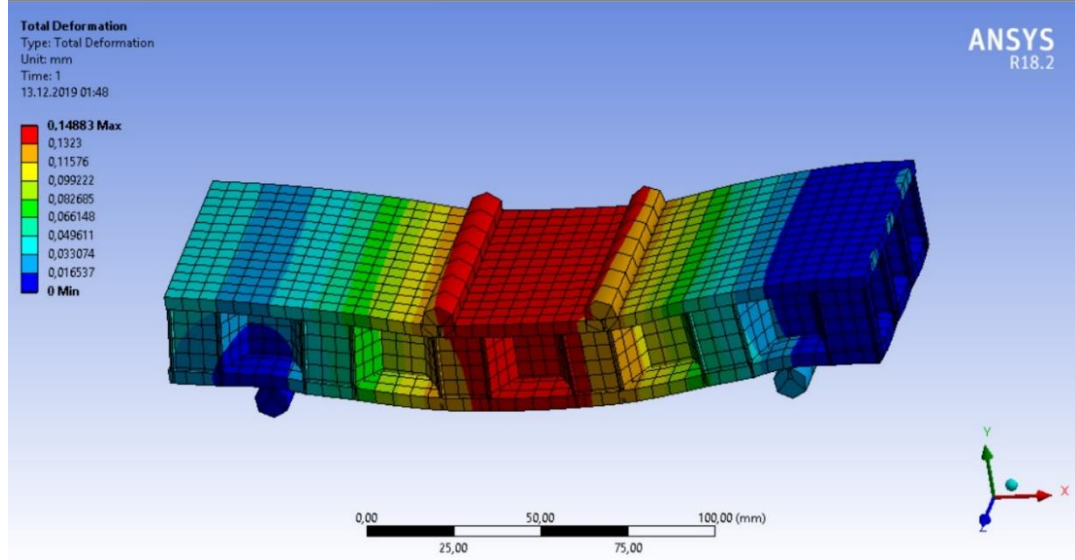


Şekil 4.84: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 4.84'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 3,126 MPa olarak gerçekleşmiştir.

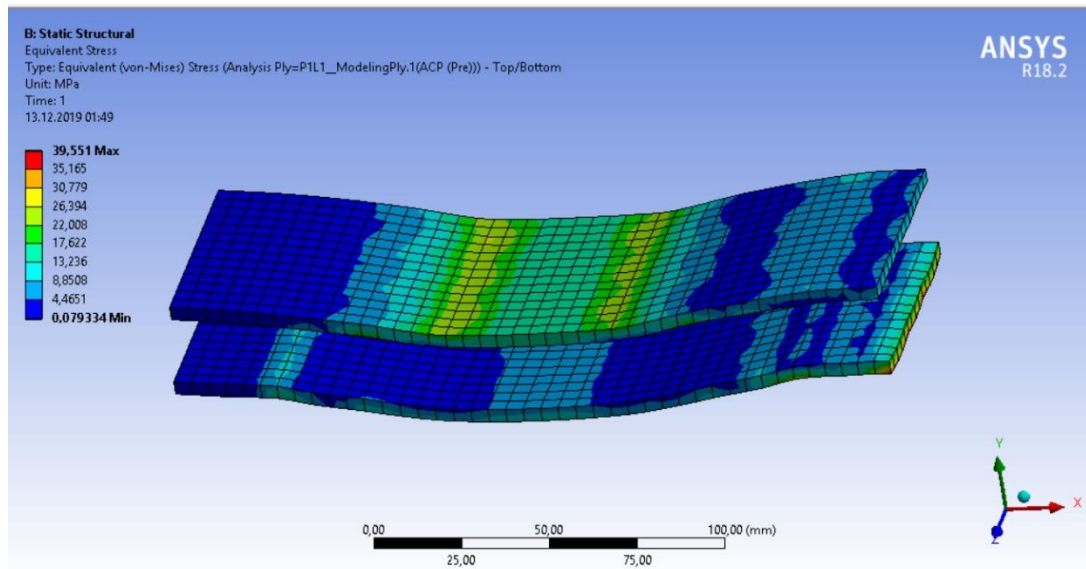
#### 4.26 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 5 (Bal Peteği)

Gövdesi Alüminyum yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.85: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.85'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,148 mm olmuştur.

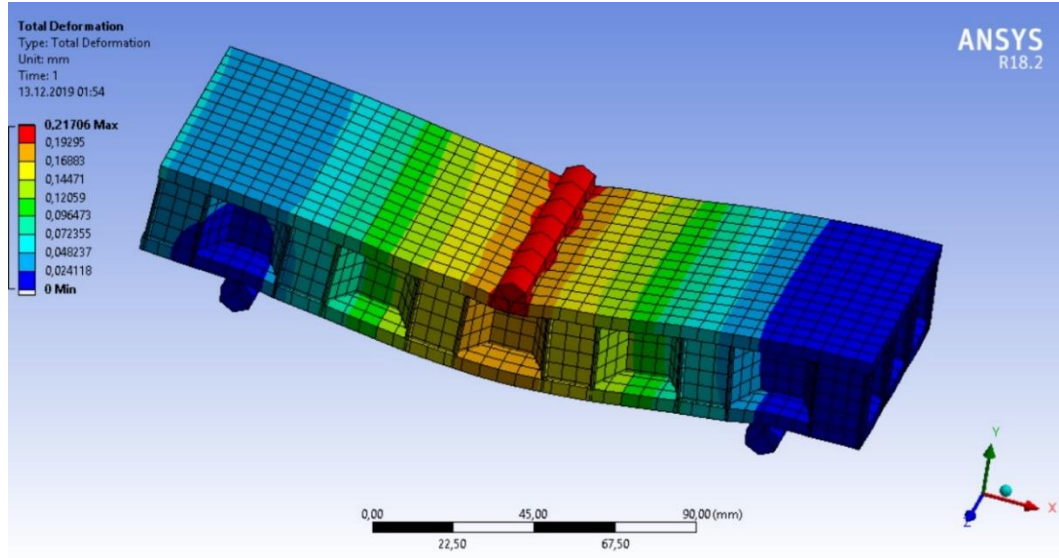


Şekil 4.86: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.86'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 39,551 MPa olarak gerçekleşmiştir.

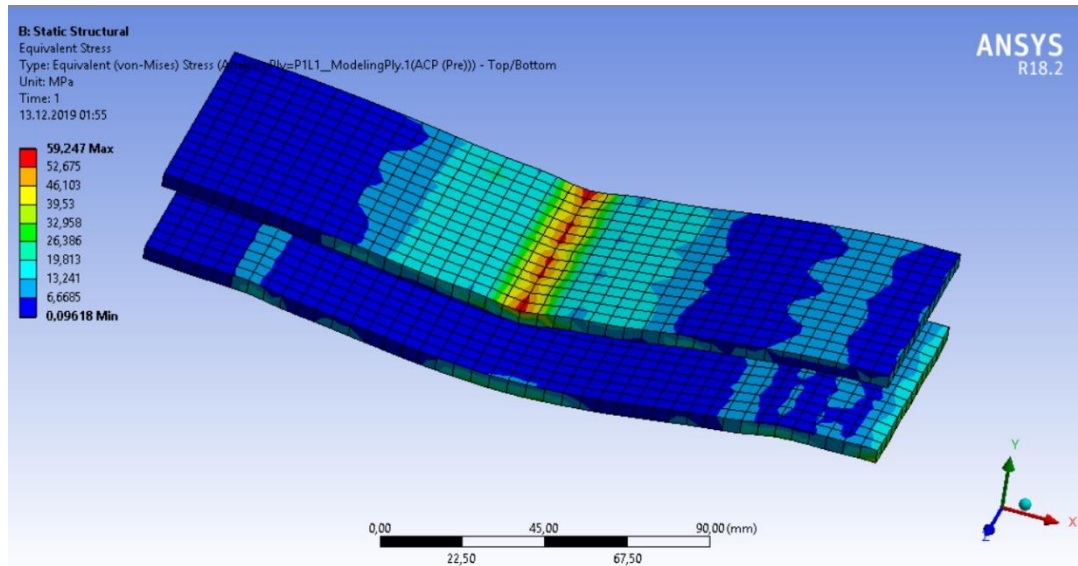
#### 4.27 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 6 (Bal Peteği)

Gövdesi alüminyum yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.87: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.87’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,217 mm olmuştur.



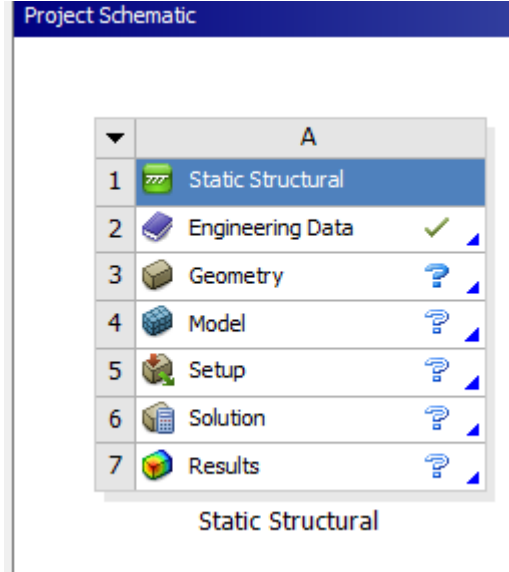
Şekil 4.88: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 4.88’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 59,247 MPa olarak gerçekleşmiştir.

## 5. ANSYS STATİK YAPI ANALİZİ

### 5.1 Analiz Basamakları

Ansyes Workbench'te Static Structural sürüklenip bırakılır. Engineering Data üzerinden Ansyes kütüphanesindeki kompozit malzemelerden Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg ve Epoksi E-Cam seçilir.



Şekil 5.1: Ansyes'te Statik Yapı Analizi görünümü.

The image shows the Engineering Data Sources table in Ansys Workbench. The table has four columns: A (Data Source), B (Location), C (Location), and D (Description). The table is as follows:

A	B	C	D
1	Data Source	Location	Description
2	Favorites		Quick access list and default items
3	General Materials		General use material samples for use in various analyses.
4	General Non-linear Materials		General use material samples for use in non-linear analyses.
5	Explicit Materials		Material samples for use in an explicit analysis.
6	Hyperelastic Materials		Material stress-strain data samples for curve fitting.
7	Magnetic B-H Curves		B-H Curve samples specific for use in a magnetic analysis.
8	Thermal Materials		Material samples specific for use in a thermal analysis.
9	Fluid Materials		Material samples specific for use in a fluid analysis.
10	Composite Materials		Material samples specific for composite structures.
11	Geomechanical Materials		General use material samples for use with geomechanical models.
*	Click here to add a new library		

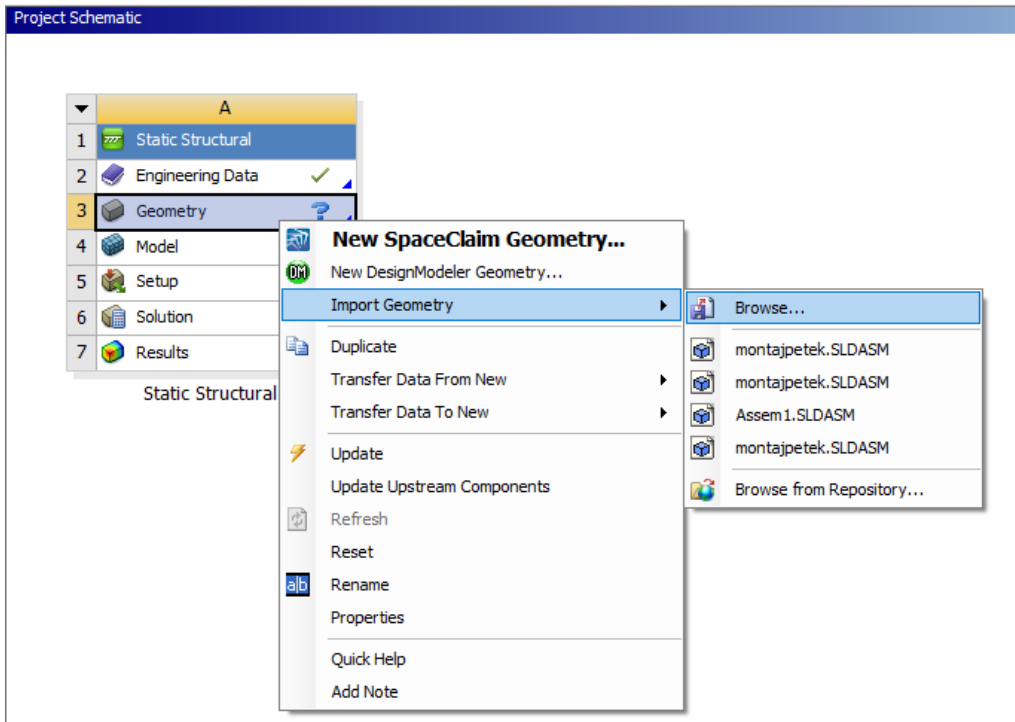
Şekil 5.2: Ansyes'te malzeme kütüphanesi.

	A	B	C	D
1	Contents of Composite Materials		Add	Source
2	Material			
3	Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg			Composite_Materials.xml
4	Epoxy Carbon UD (230 GPa) Wet			Composite_Materials.xml
5	Epoxy Carbon UD (395 GPa) Prepreg			Composite_Materials.xml
6	Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg			Composite_Materials.xml
7	Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Wet			Composite_Materials.xml
8	Epoxy Carbon Woven (395 GPa) Prepreg			Composite_Materials.xml
9	Epoxy E-Glass UD			Composite_Materials.xml
10	Epoxy E-Glass Wet			Composite_Materials.xml
11	Epoxy S-Glass UD			Composite_Materials.xml
12	Honeycomb			Composite_Materials.xml
13	PVC Foam (60 kg m <sup>-3</sup> )			Composite_Materials.xml
14	PVC Foam (80 kg m <sup>-3</sup> )			Composite_Materials.xml
15	Resin Epoxy			Composite_Materials.xml
16	Resin Polyester			Composite_Materials.xml
17	SAN Foam (103 kg m <sup>-3</sup> )			Composite_Materials.xml
18	SAN Foam (81 kg m <sup>-3</sup> )			Composite_Materials.xml

Şekil 5.3: Ansys'te kompozit malzemeler.

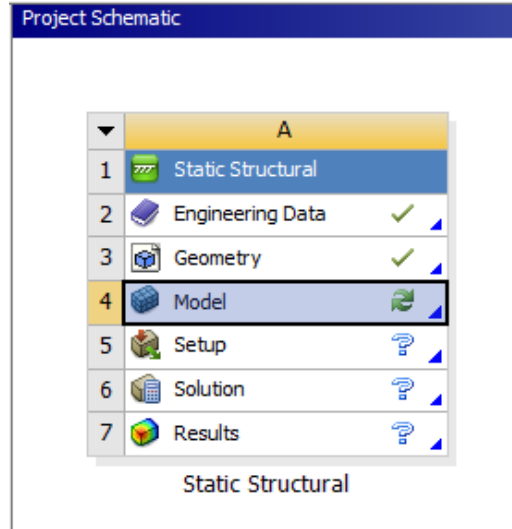
Geniş bir kütüphanesi olan Ansys'te istenildiğinde gerekli malzeme bilgileri girilerek malzemeler eklenebilir.

Geometry – Import Geometry – Browse tıklanarak istenilen model çıkartılır.



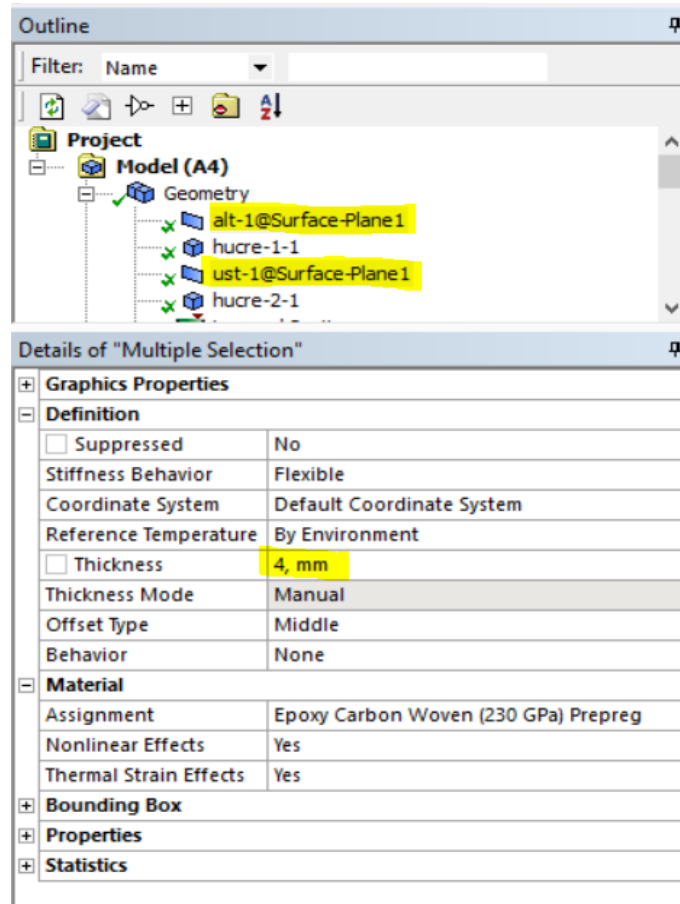
Şekil 5.4: Model eklenmesi.

Model çift tıklanarak açılır.



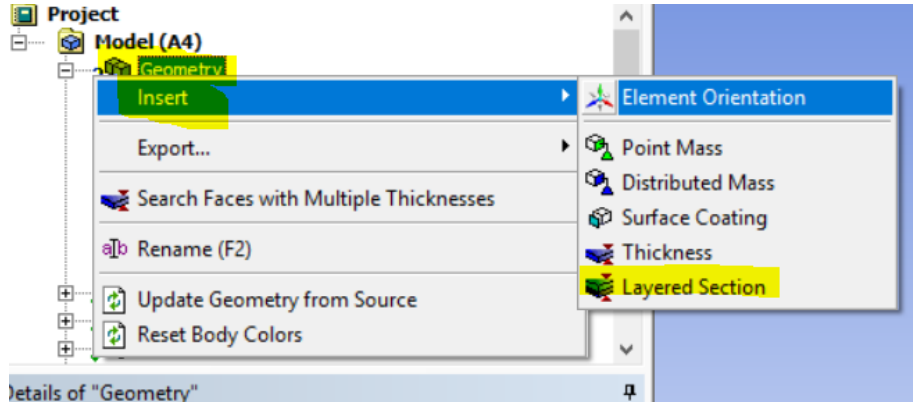
Şekil 5.5: Statik Yapı Analizi'nde model açılması.

Modeldeki alt ve üst yüzeyler seçilir ve 4 mm kalınlık girilir.



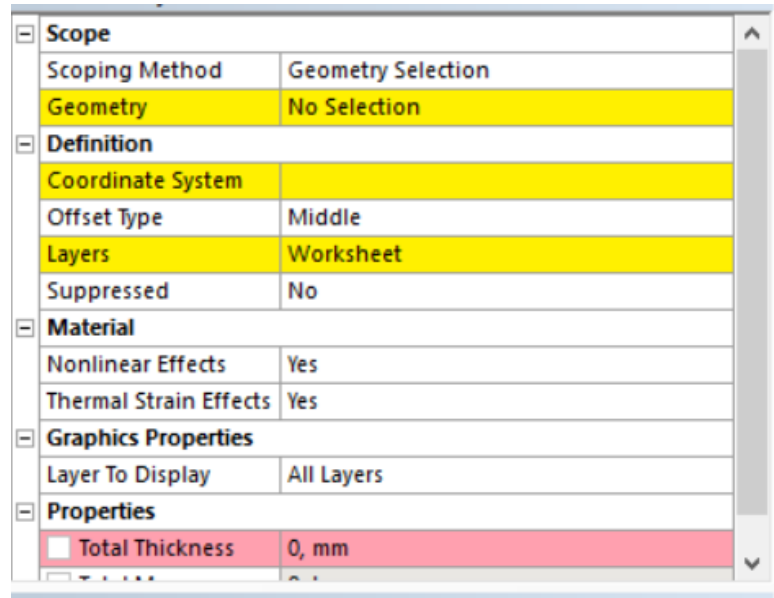
Şekil 5.6: Model yüzeylerine kalınlık verilmesi.

Geometry sağ tıklanır Insert – Layered Section seçilir.



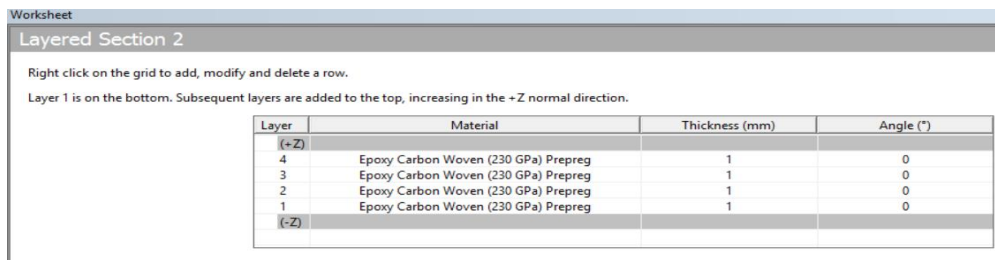
Şekil 5.7: Model yüzey katmanları verilmesi.

Geometry olarak üst yüzey seçilir. Koordinat sistemi seçilir.



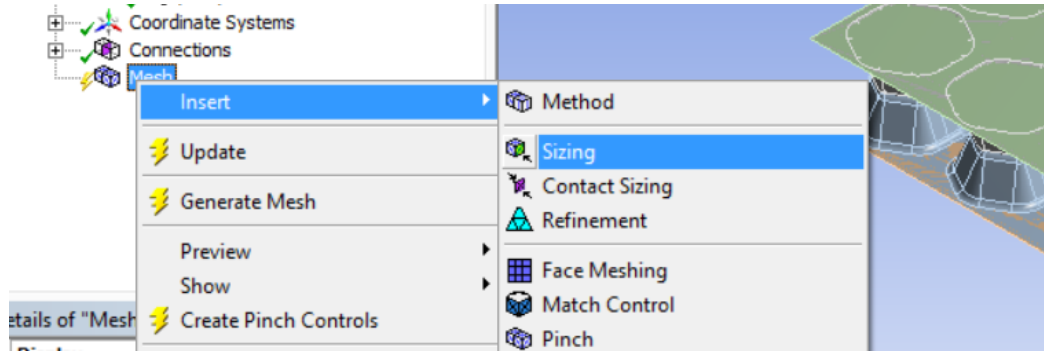
Şekil 5.8: Koordinat sisteminin girilmesi.

Worksheet tıklanır ve Thickness sütununa 1'er mm veriler girilir.



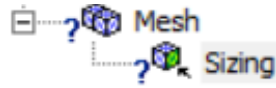
Şekil 5.9: Yüzey katmanları.

Mesh – Insert – Sizing tıklanır.



Şekil 5.10: Modelin Mesh gösterimi.

Geometry seçilir. Element size 5 mm olarak tanımlanır.



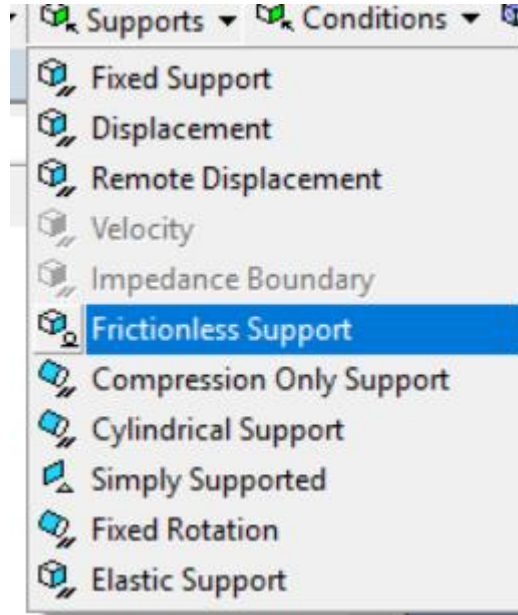
etails of "Sizing" - Sizing	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (1,0828 mm)
<b>Advanced</b>	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (5,4141e-003 mm)
Size Function	Uniform

Şekil 5.11: Model - Mesh - Sizing.

Daha sonra Mesh'e sağ tıklanır Generate Mesh komutu verilir.

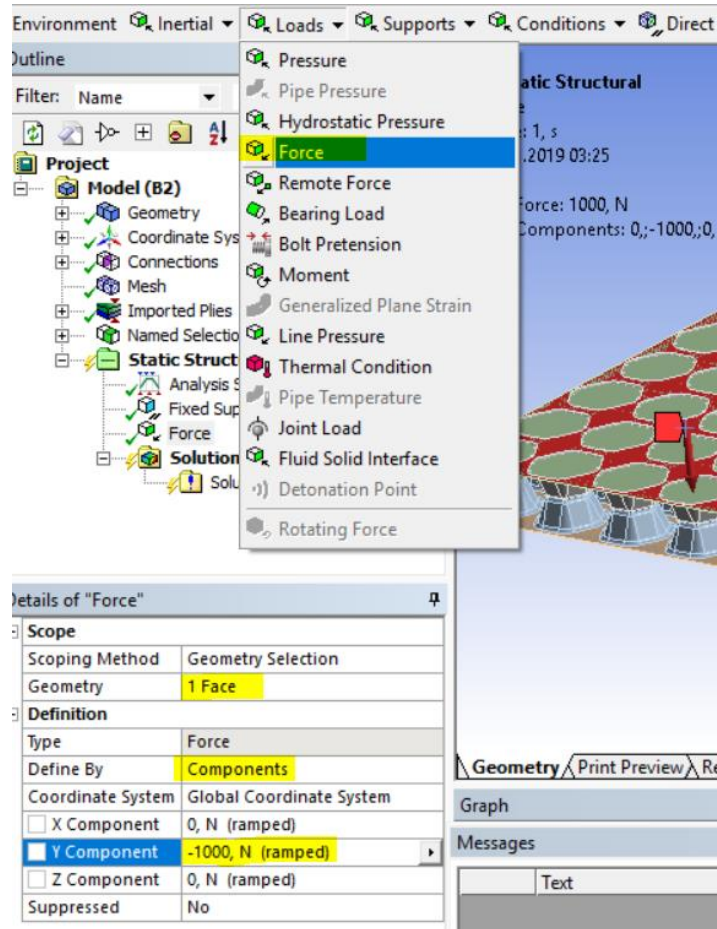
Support – Frictionless Support seçilir iki yan yüzeye ve alt yüzeye uygulanır.





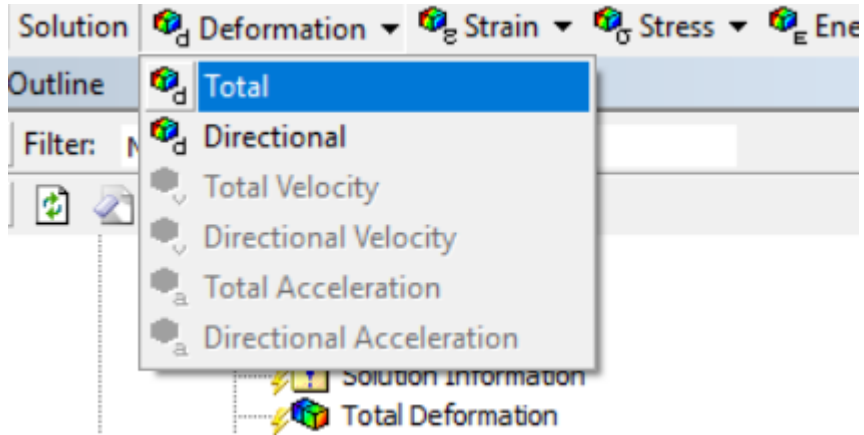
Şekil 5.12: Yüzey desteklerinin belirlenmesi.

Loads – Force seçilir. Üst yüzeye 1.000 N kuvvet uygulanır.



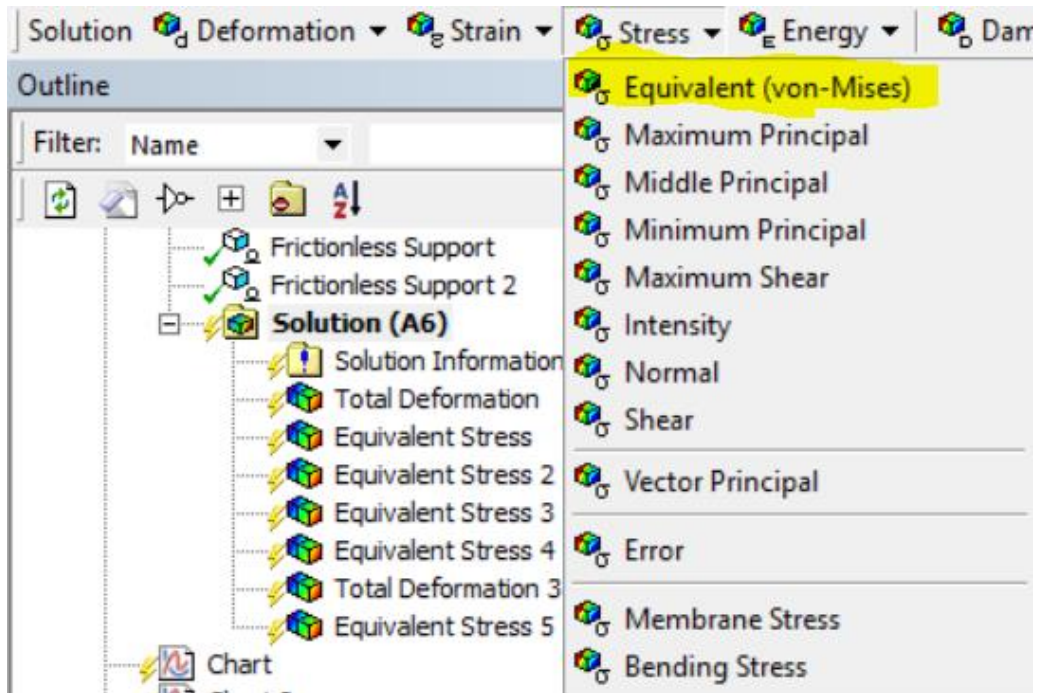
Şekil 5.13: Kuvvet verilmesi.

Solution – Deformation – Total seçilir.



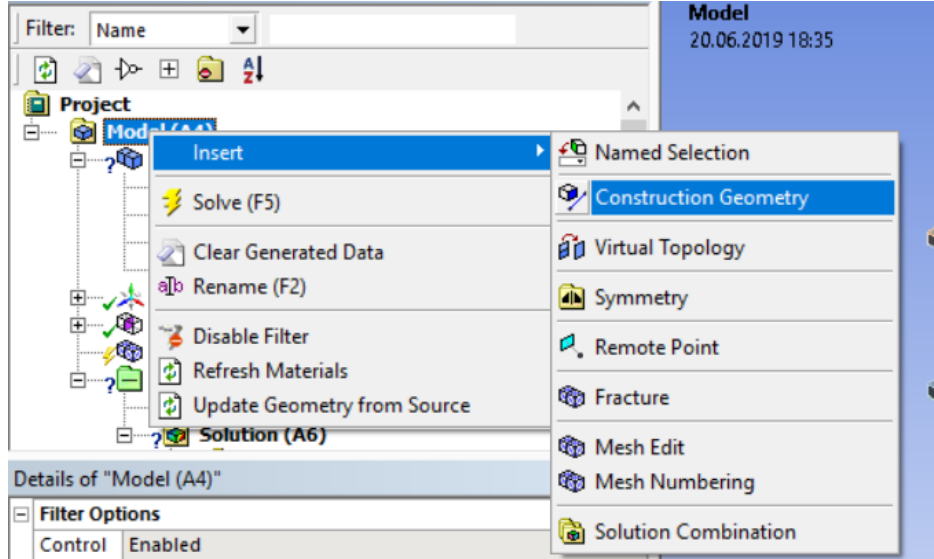
Şekil 5.14: Toplam çökme miktarının belirlenmesi.

Solution – Stress – Equivalent seçilir.



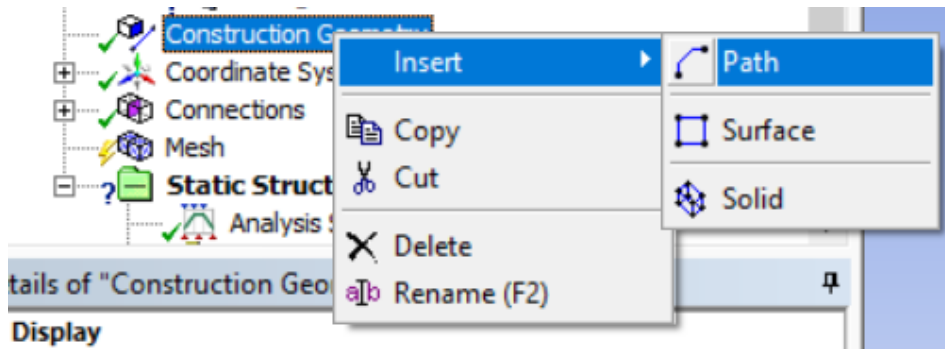
Şekil 5.15: Eşdeğer gerilmenin belirlenmesi.

Model – Sağ Tık – Insert – Construction Geometry seçilir.



**Şekil 5.16:** Path tanımlamasının yapılması.

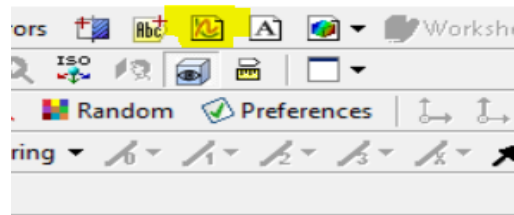
Construction Geometry – Sağ Tık – Insert – Path komutu verilir. Başlangıç ve bitiş noktaları belirlenen Path tanımlanır. (Bektaş, 2019)



**Şekil 5.17:** Path oluşturma.

Tanımlanan Path, Solutions kısmında Total Deformation ve Equivalent Stress çözümlerinde eklenerek grafiği çizdirilir.

Analiz sonuçları Chart komutu tıklanıp grafikler rapora aktarılır.



**Şekil 5.18:** Grafik oluşturulması.

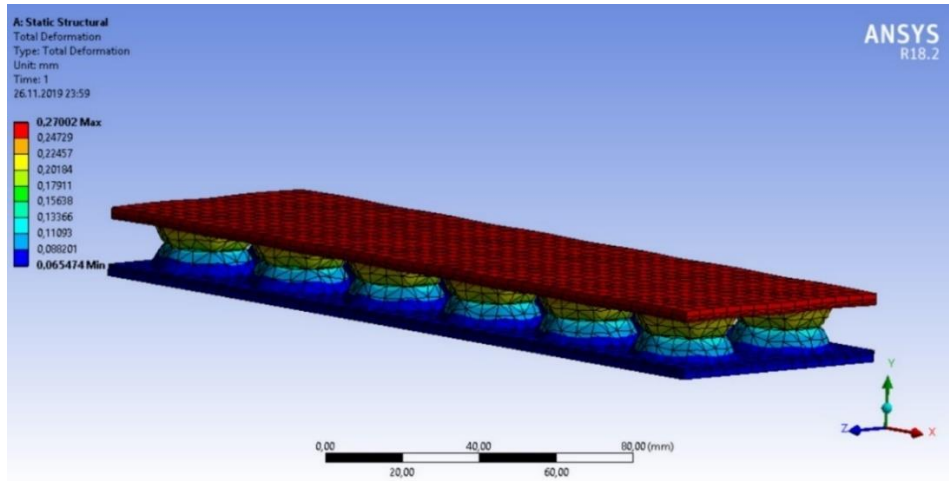
## 5.2 Analiz Karşılaştırılması

Özgün tasarım ile bal peteği yapının Epoksi Karbon ve E Cam malzemelerinde ezilme, üç nokta eğme, dört nokta eğme, burkulma, modal analizi Ansys programıyla karşılaştırıldı.

Yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

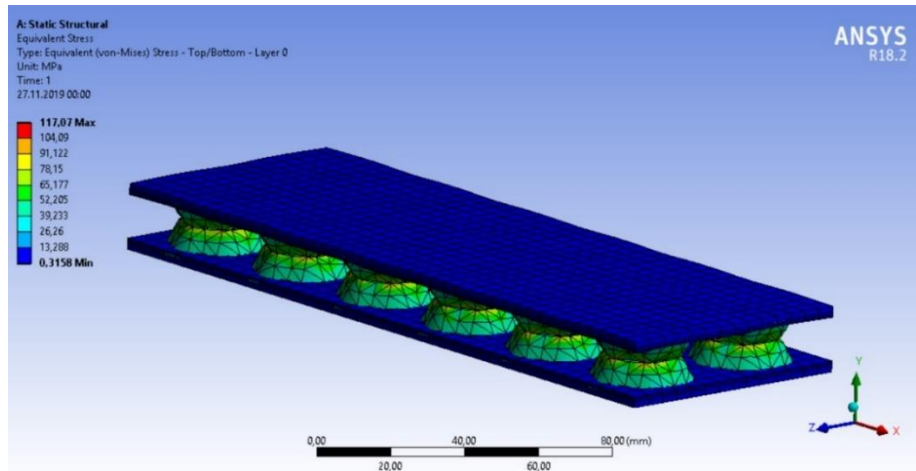
### 5.2.1 Çalışma 1 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımda Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



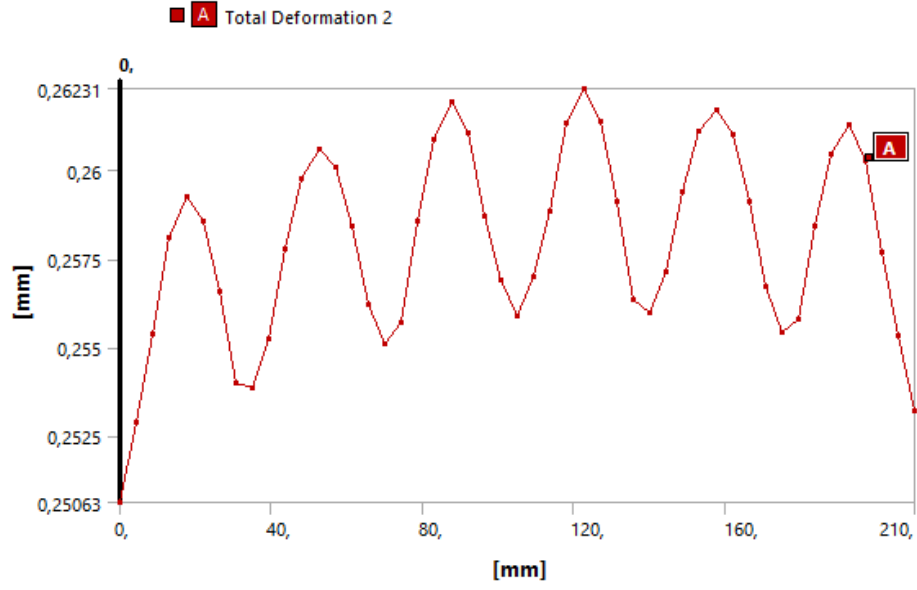
Şekil 5.19: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.19’de görüldüğü gibi 40.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,270 mm olmuştur.



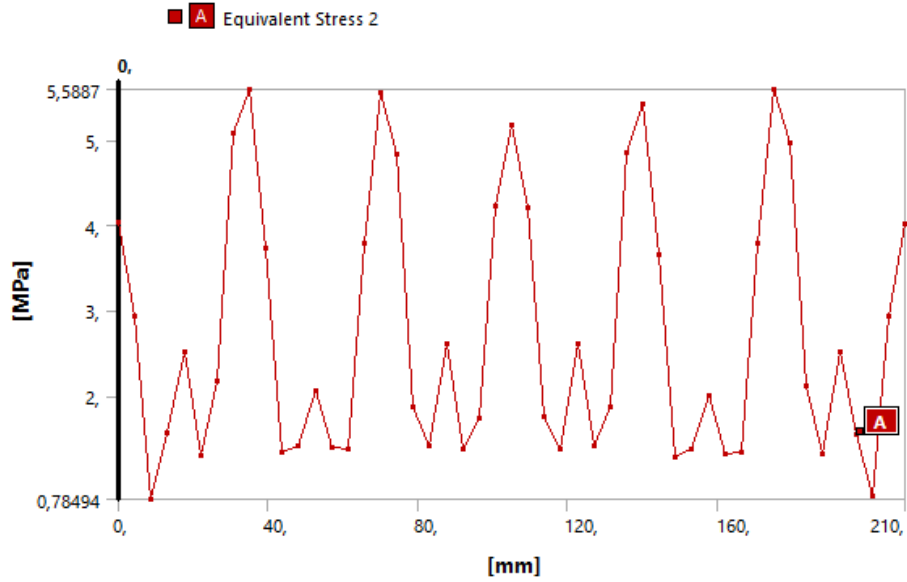
Şekil 5.20: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.20’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 117,07 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.21:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.21’te Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,262 mm olarak görülmüştür.

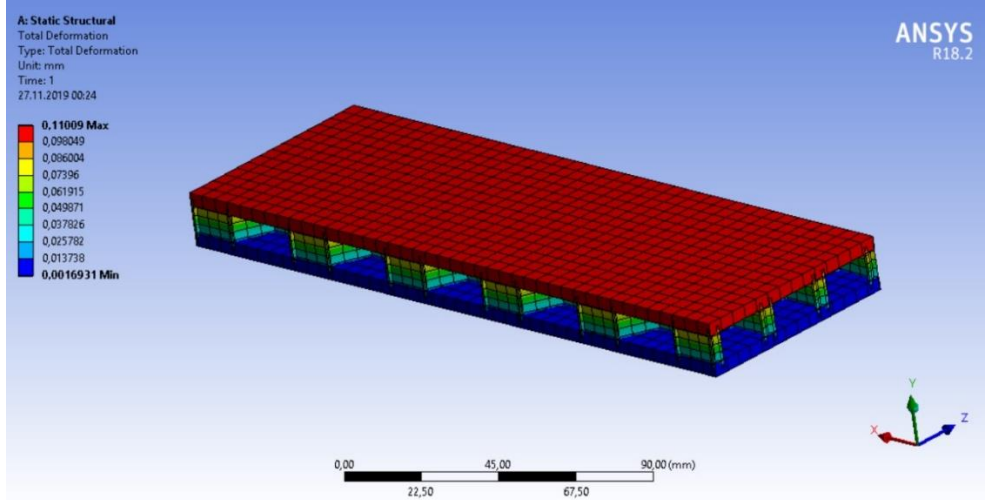


**Şekil 5.22:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.22 Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki eşdeğer gerilmeler grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek gerilme 5,5887 MPa olarak görülmüştür.

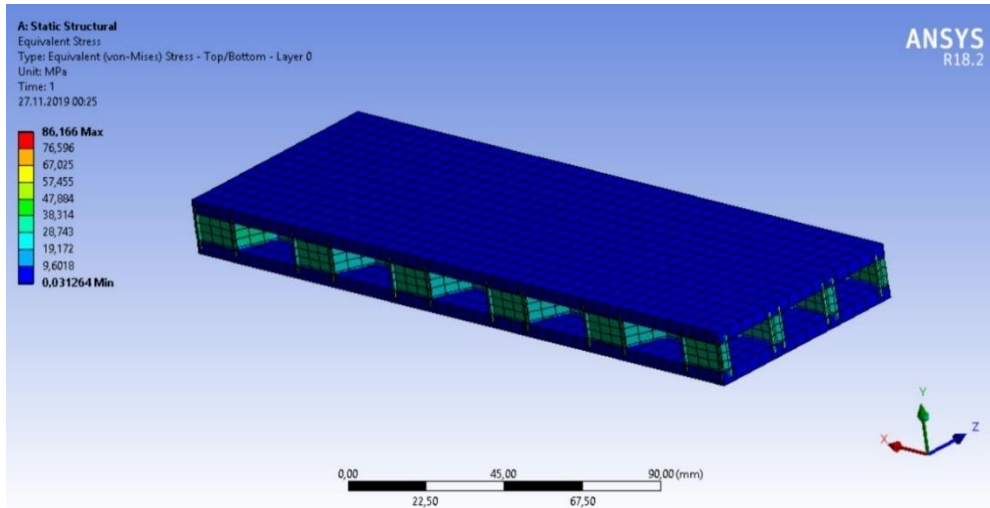
## 5.2.2 Çalışma 2 (Bal Peteği)

Bal peteği yapıda Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



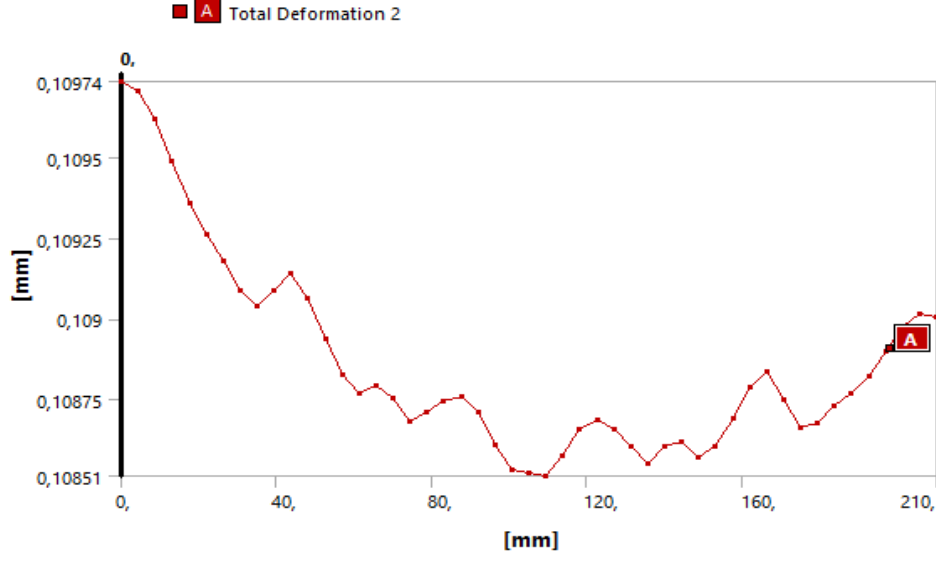
Şekil 5.23: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.23'te görüldüğü gibi 40.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,110 mm olmuştur.



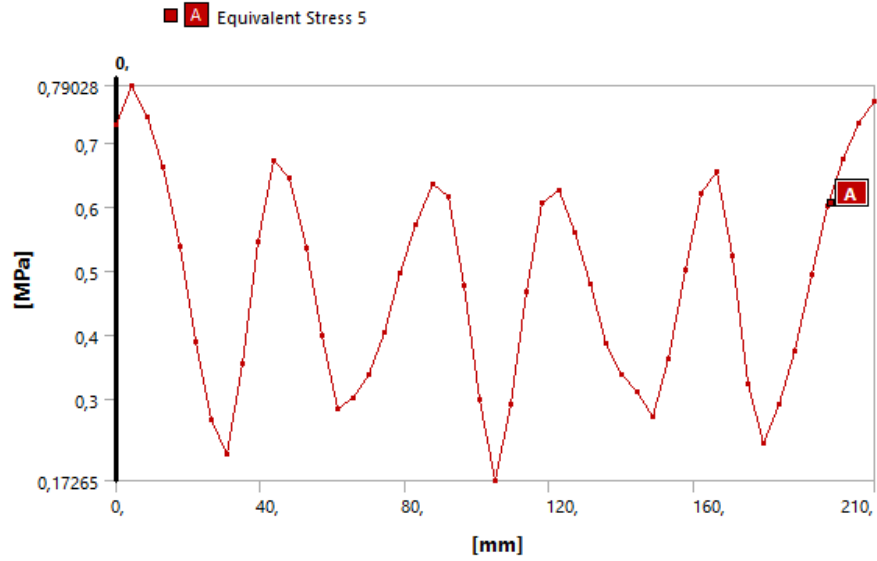
Şekil 5.24: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Kumaş (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.24'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 86,166 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.25:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.25'te Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,10974 mm olarak görülmüştür.

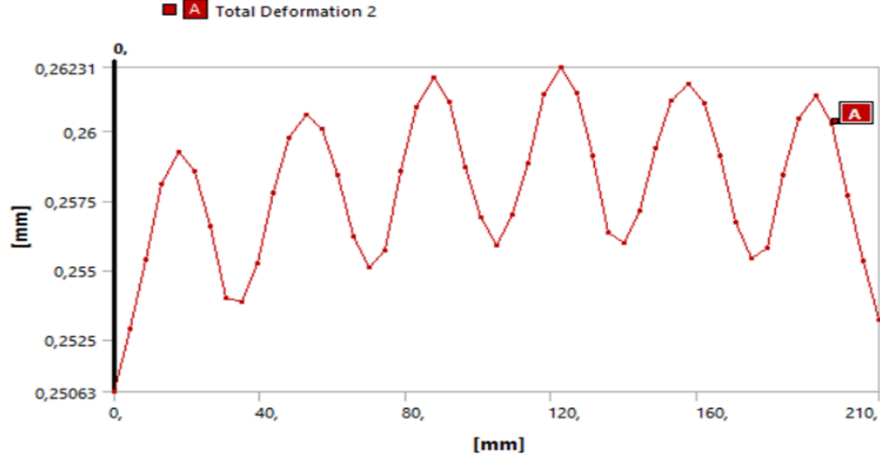


**Şekil 5.26:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

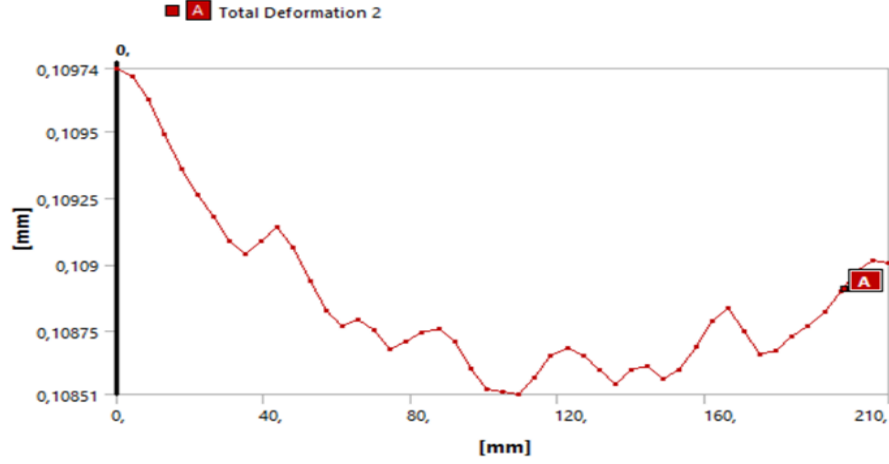
Şekil 5.26'da Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki eşdeğer gerilmeler grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek gerilme 0,790 MPa olarak görülmüştür.

### 5.2.3 Çalışma 1 ve Çalışma 2 Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekillerde özgün tasarım ve bal peteğinin Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemede çökme sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.27: Özgün tasarımın toplam çökme miktarı.

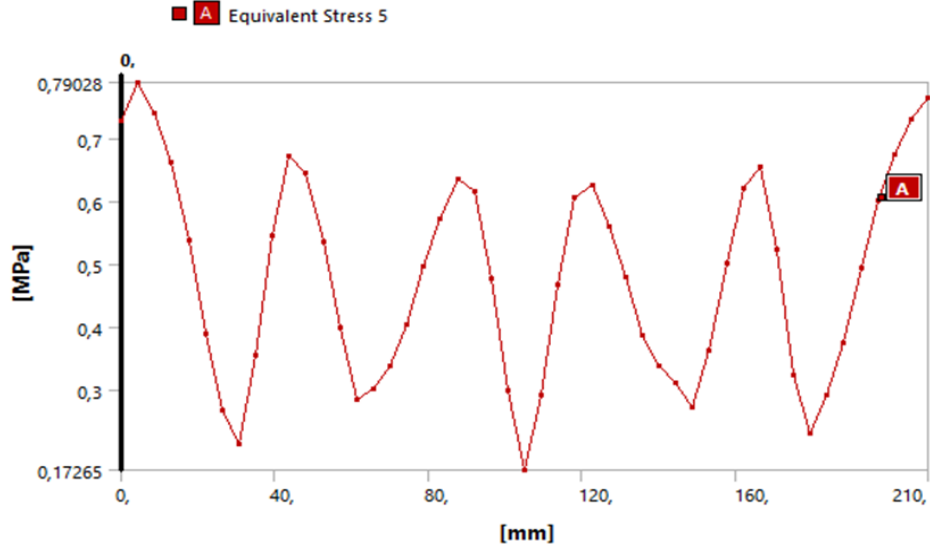


Şekil 5.28: Bal peteğinin toplam çökme miktarı.

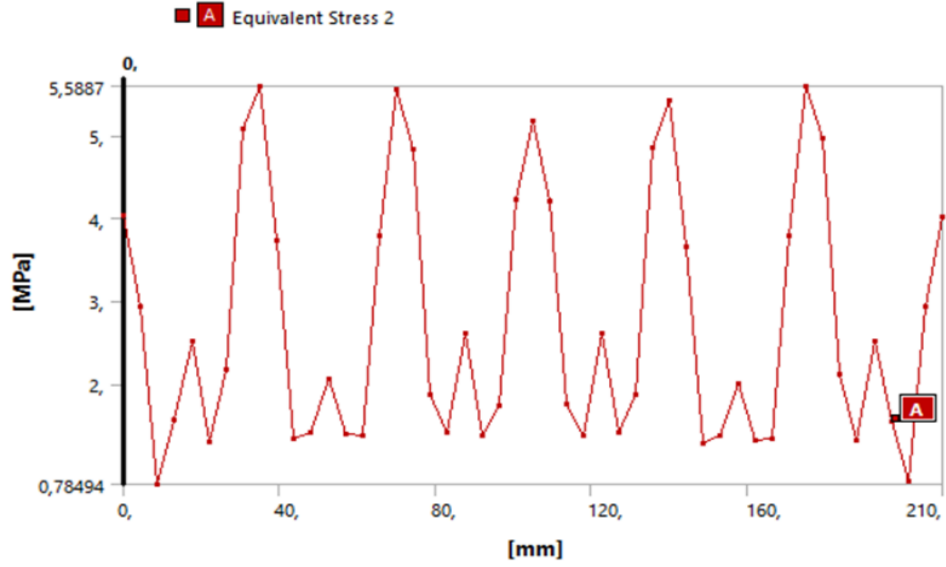
İki modelin de tüm yüzeyine yük uygulanarak ezme testi gerçekleştirilmiştir. Özgün tasarımın bu ezme testinde daha yüksek çökme sağlaması onu dezavantajlı kılmıştır.



Aşağıdaki şekillerde özgül tasarım ve bal peteğinin Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemede eşdeğer gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.29: Özgül tasarımın eşdeğer gerilmeleri.

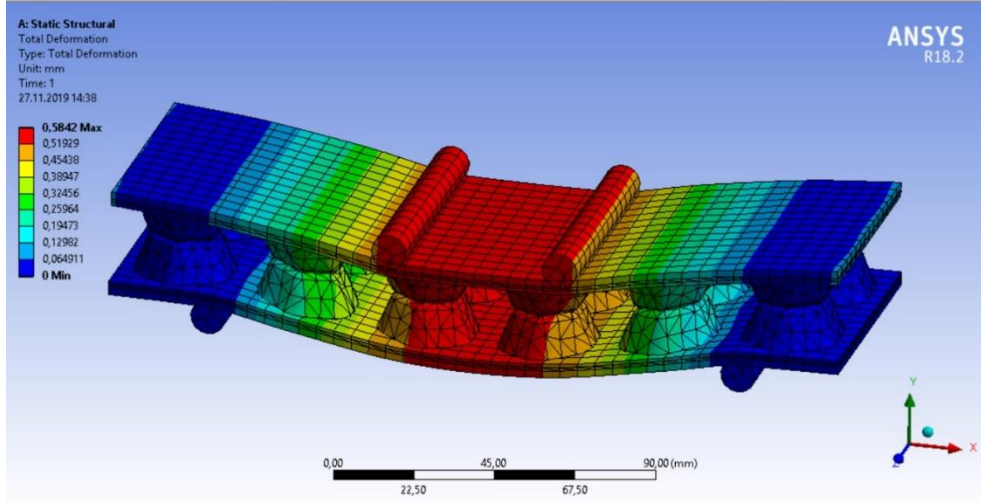


Şekil 5.30: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri.

Ezme testinde çıkan sonuçlarda özgül tasarımın gerilmeleri daha yüksek olması dezavantajlı kılınmıştır.

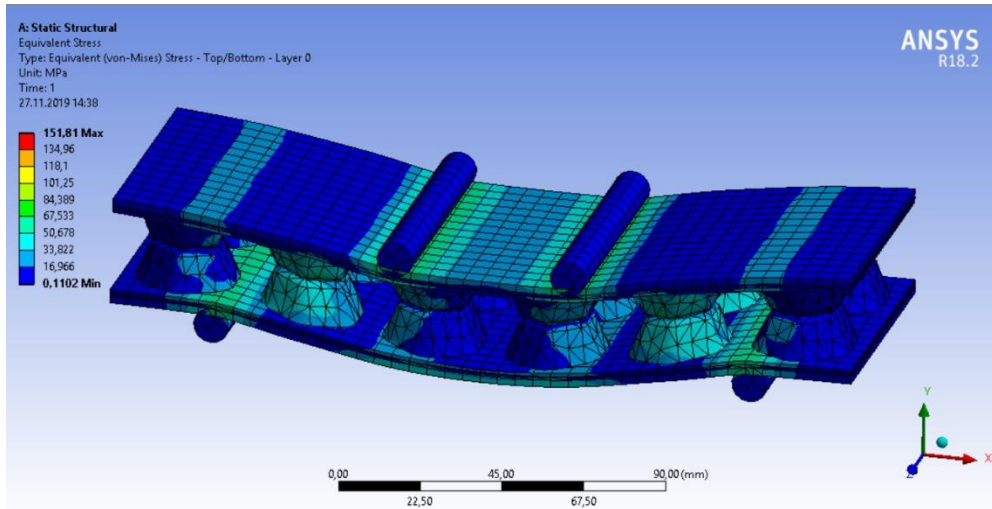
### 5.2.4 Çalışma 3 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımda Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



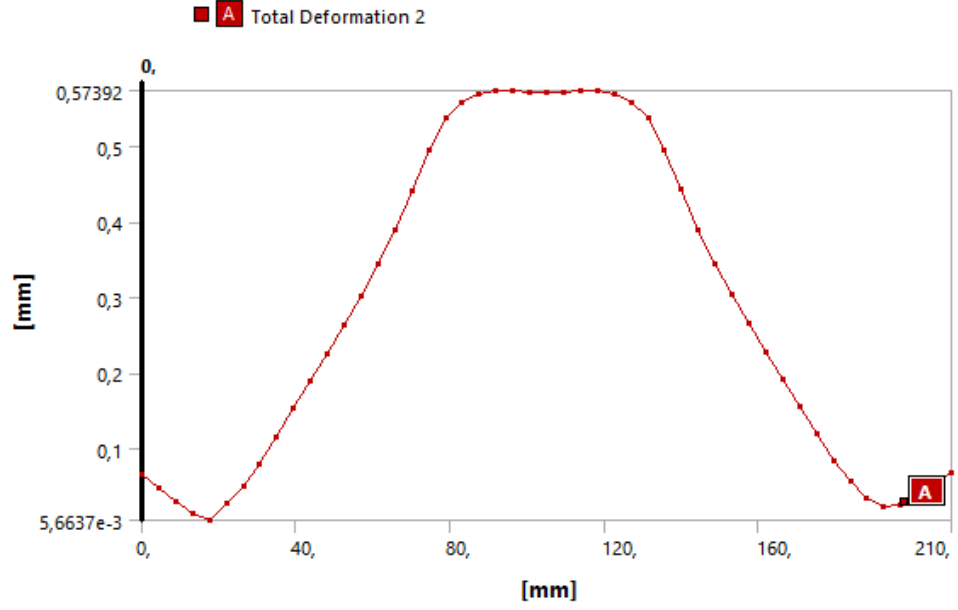
Şekil 5.31: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.31’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,584 mm olmuştur.



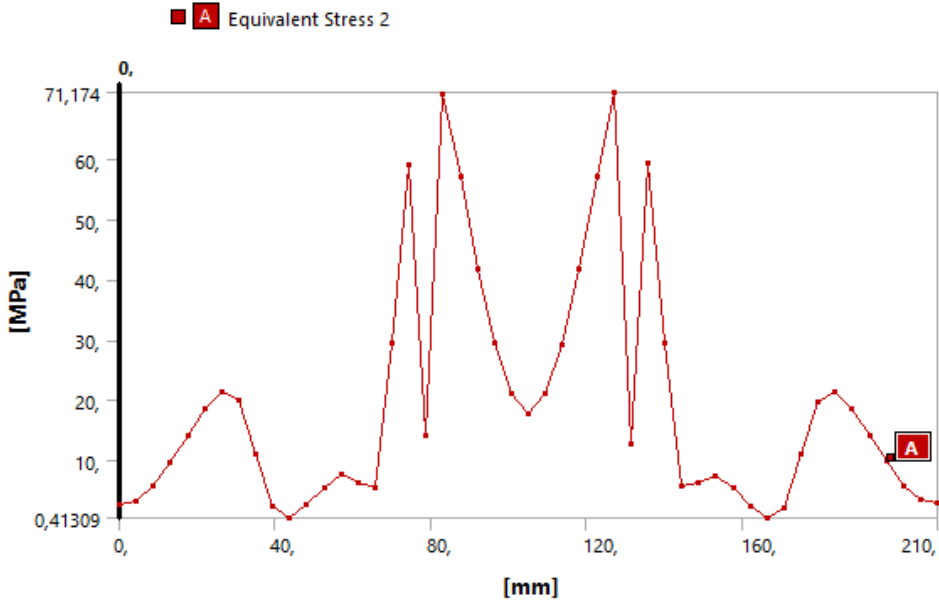
Şekil 5.32: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.32’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 151,81 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.33:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.33'te Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,573 mm olarak görülmüştür.

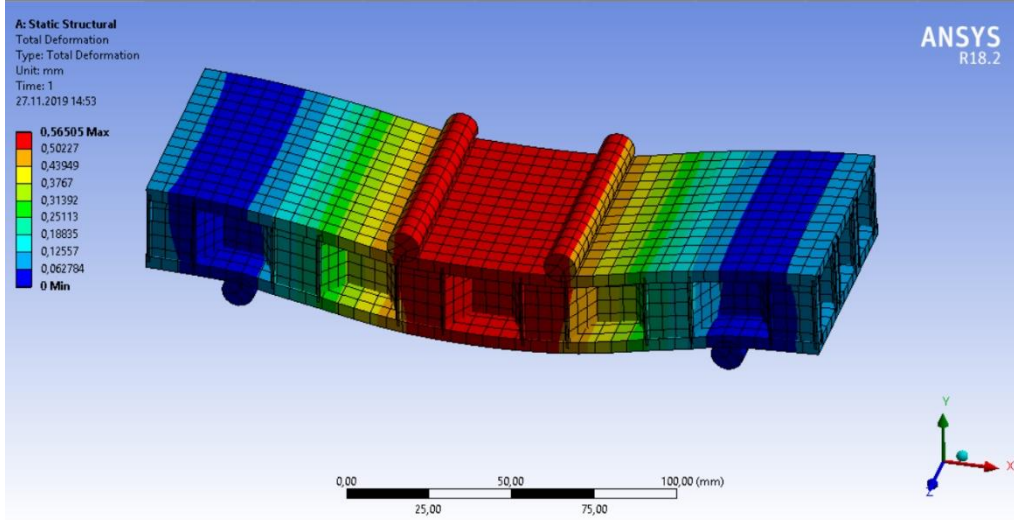


**Şekil 5.34:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.34 Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki eşdeğer gerilmeler grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek gerilme 71,174 MPa olarak görülmüştür.

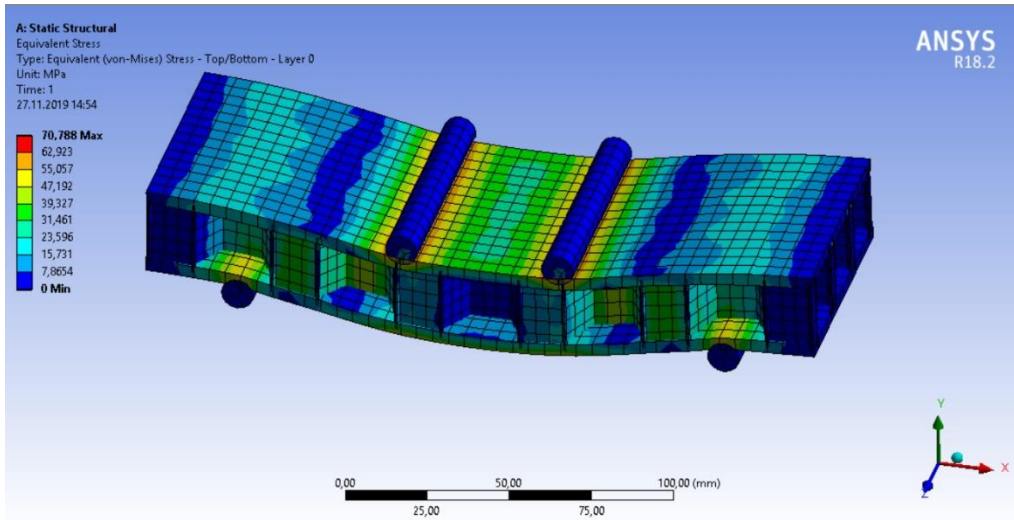
### 5.2.5 Çalışma 4 (Bal Peteği)

Bal peteği yapıda Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



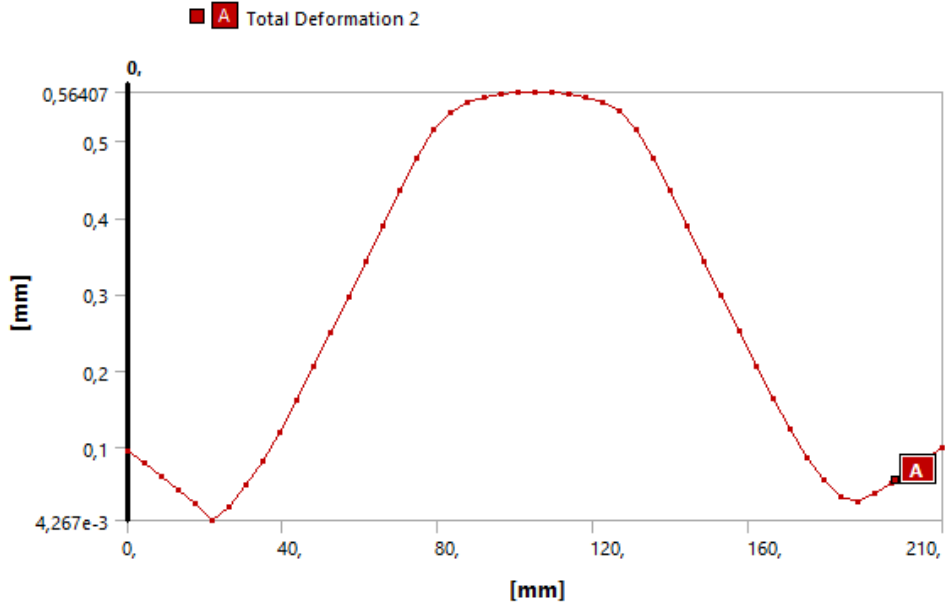
Şekil 5.35: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.35'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,565 mm olmuştur.



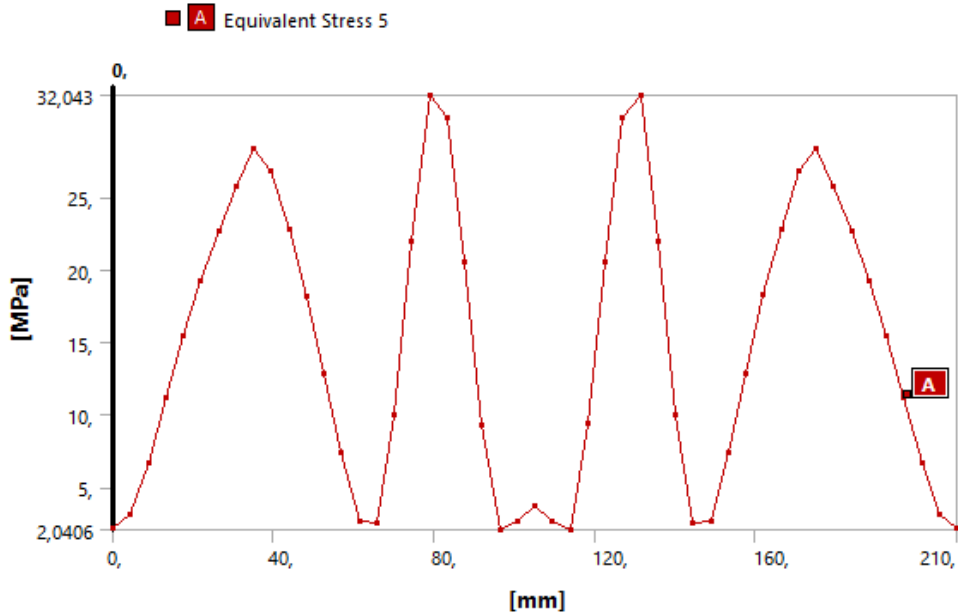
Şekil 5.36: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.36'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 70,788 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.37:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.37’de Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,564 mm olarak görülmüştür.

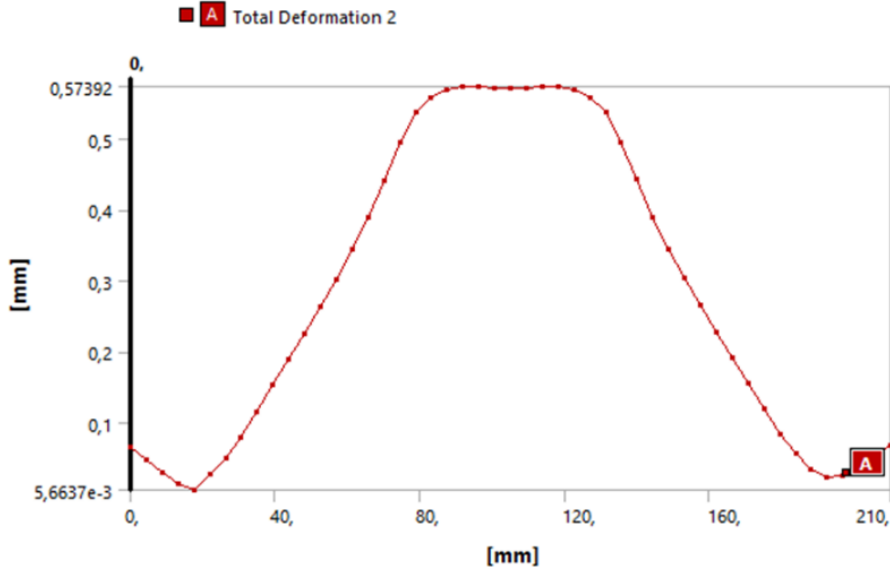


**Şekil 5.38:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

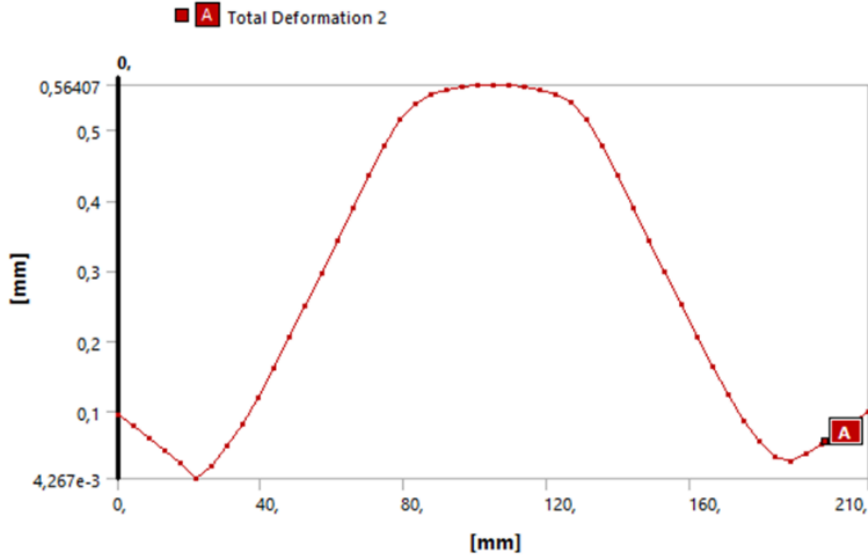
Şekil 5.38’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 32,043 MPa olarak gerçekleşmiştir.

## 5.2.6 Çalışma 3 ve Çalışma 4 Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekillerde özgün tasarım ve bal peteğinin Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemede çökme sonuçları karşılaştırılmıştır.



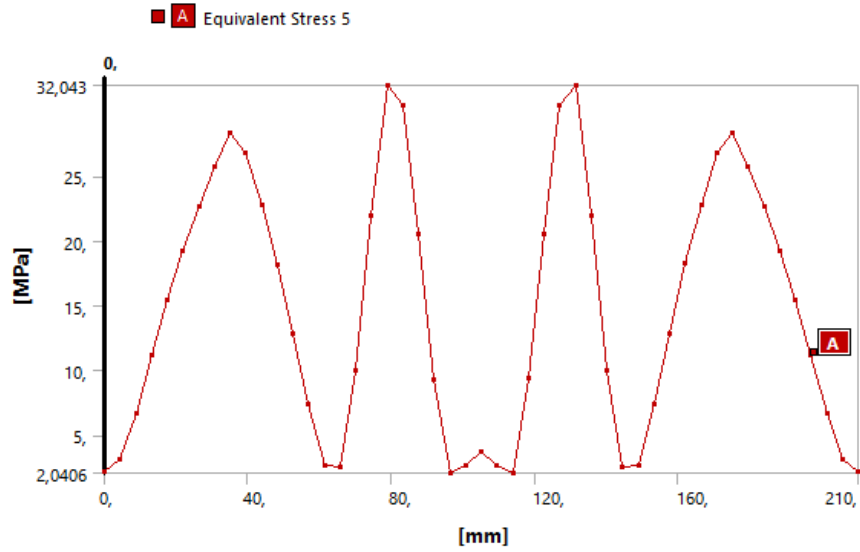
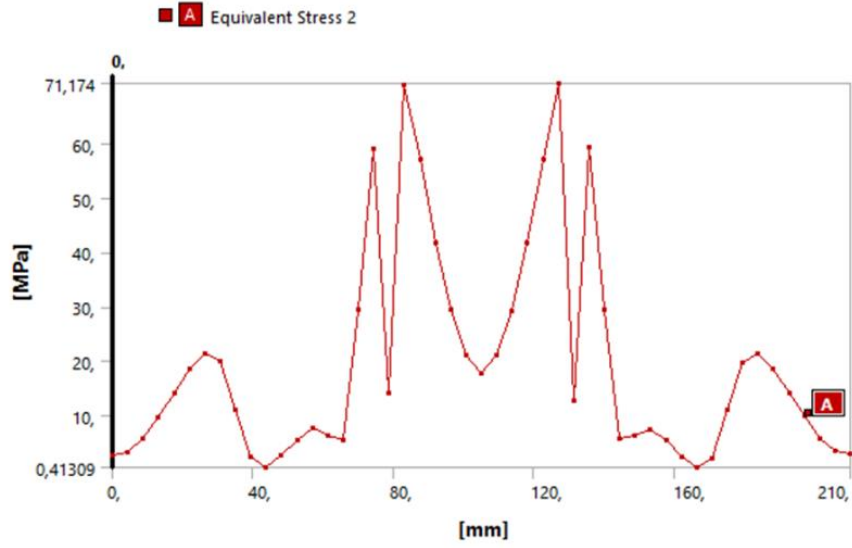
Şekil 5.39: Özgün tasarımın toplam çökme miktarı.



Şekil 5.40: Bal peteğinin toplam çökme miktarı.

İki modelin de yüzeyine iki noktadan yük uygulanarak dört nokta eğme testi gerçekleştirilmiştir. Özgün tasarımın bu dört nokta eğme testinde biraz daha yüksek çökme sağlaması onu dezavantajlı kılmıştır.

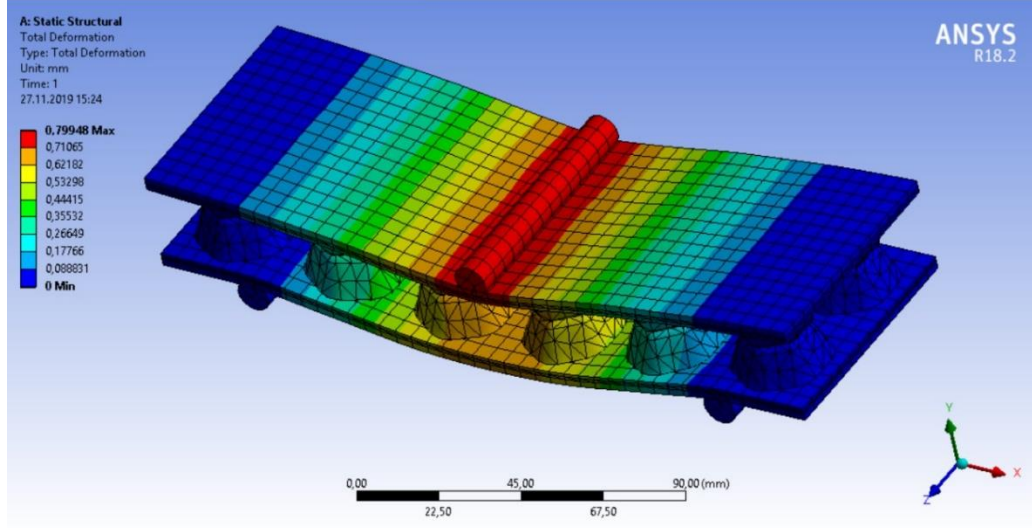
Aşağıdaki şekillerde özgül tasarım ve bal peteğinin Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemede eşdeğer gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



Dört nokta eğme testinde çıkan sonuçlarda özgül tasarımın gerilmeleri daha yüksek olması dezavantajlı kılmıştır.

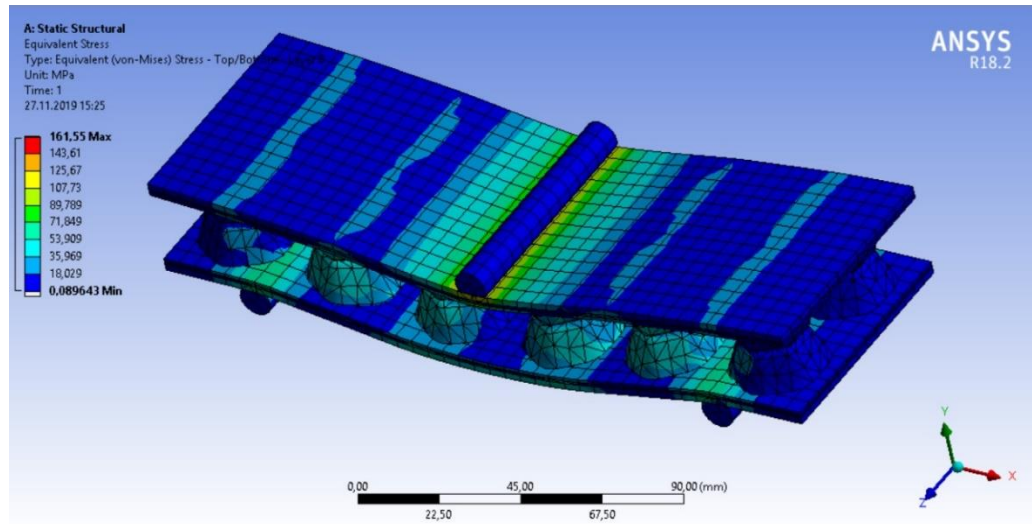
### 5.2.7 Çalışma 5 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımda Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.43: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

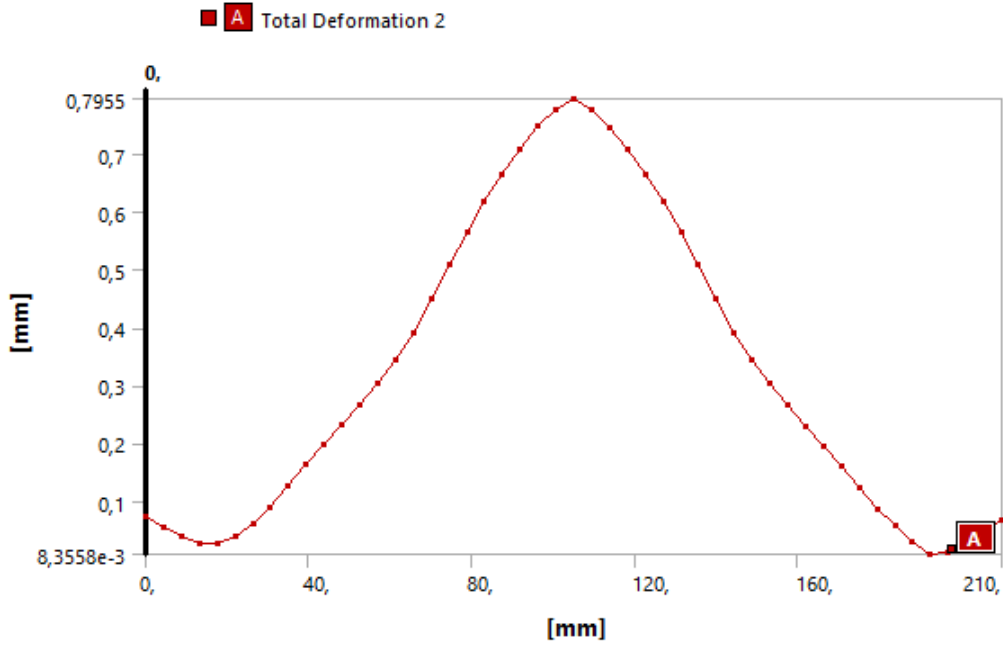
Şekil 5.43'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,799 mm olmuştur.



Şekil 5.44: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

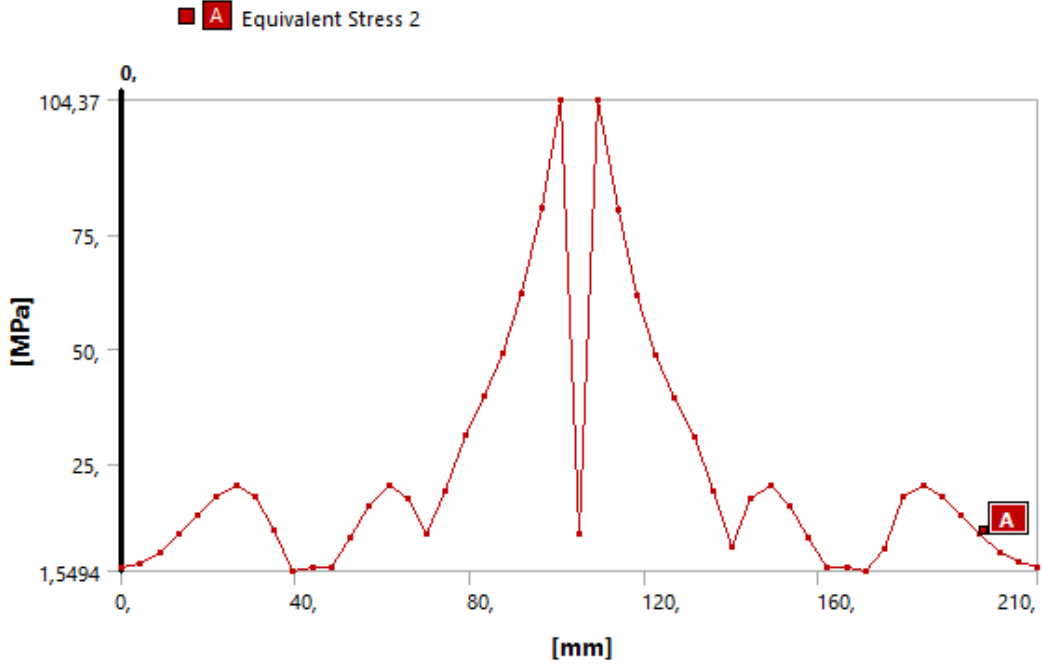
Şekil 5.44'de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 161,55 MPa olarak gerçekleşmiştir.





**Şekil 5.45:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.45’da Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,795 mm olarak görülmüştür.

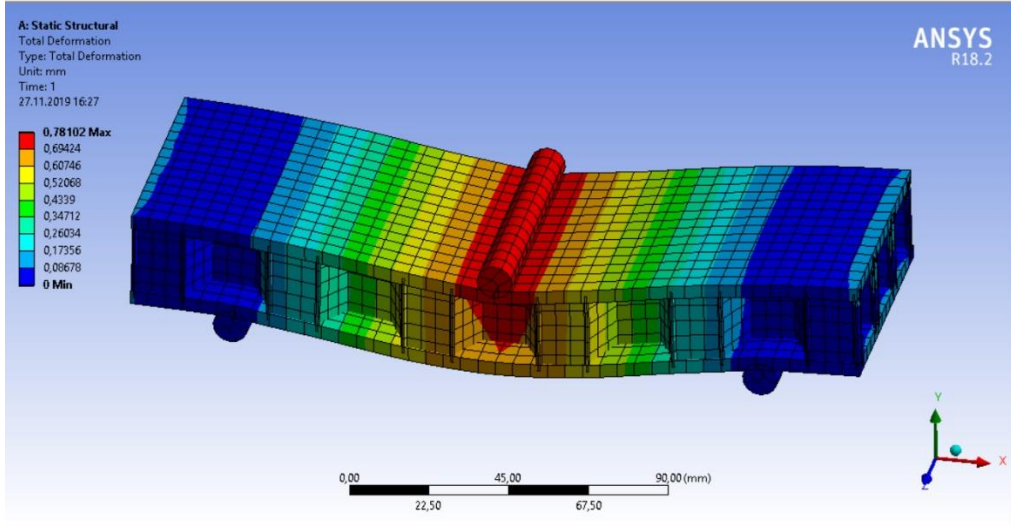


**Şekil 5.46:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.46’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 104,37 MPa olarak gerçekleşmiştir.

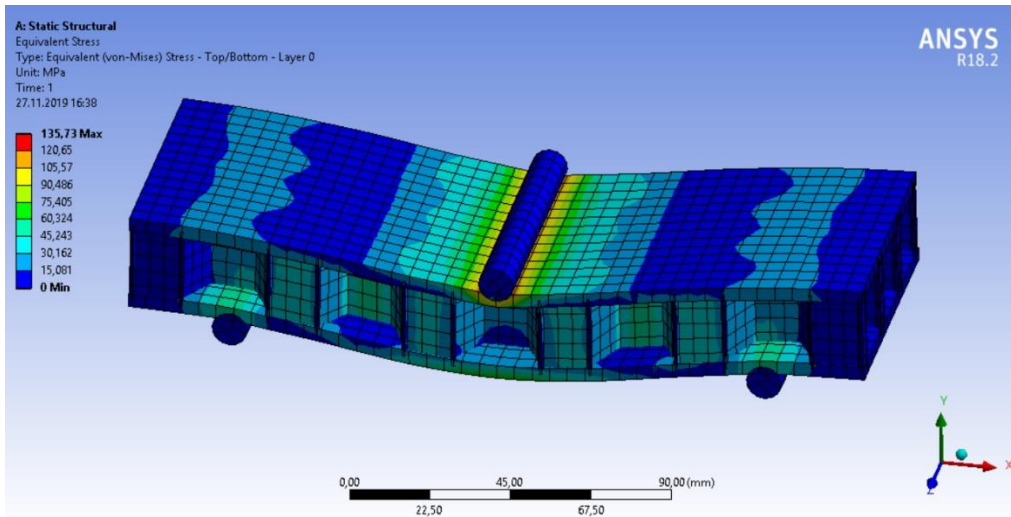
## 5.2.8 Çalışma 6 (Bal Peteği)

Bal peteği yapıda Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



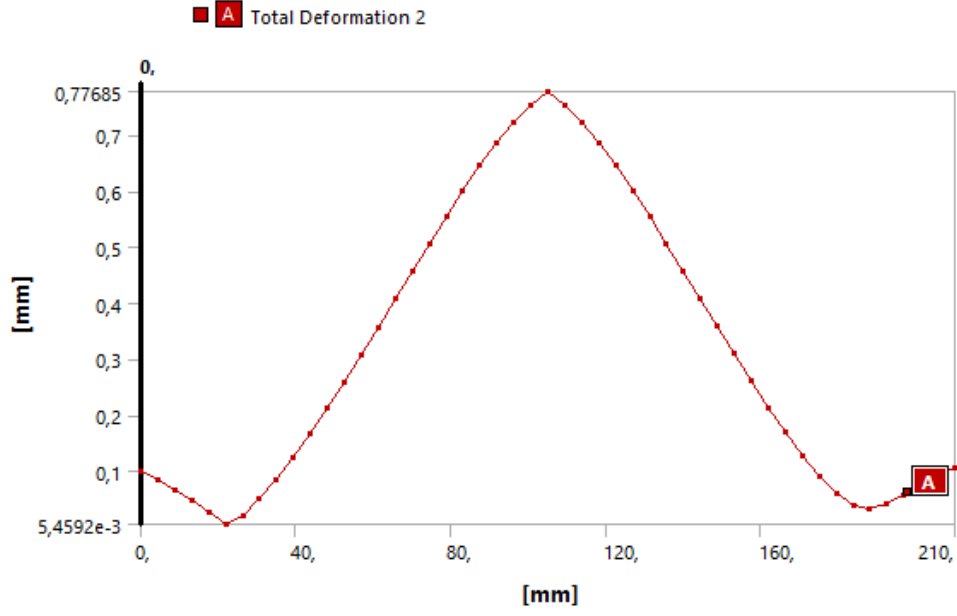
Şekil 5.47: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.47’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,781 mm olmuştur.



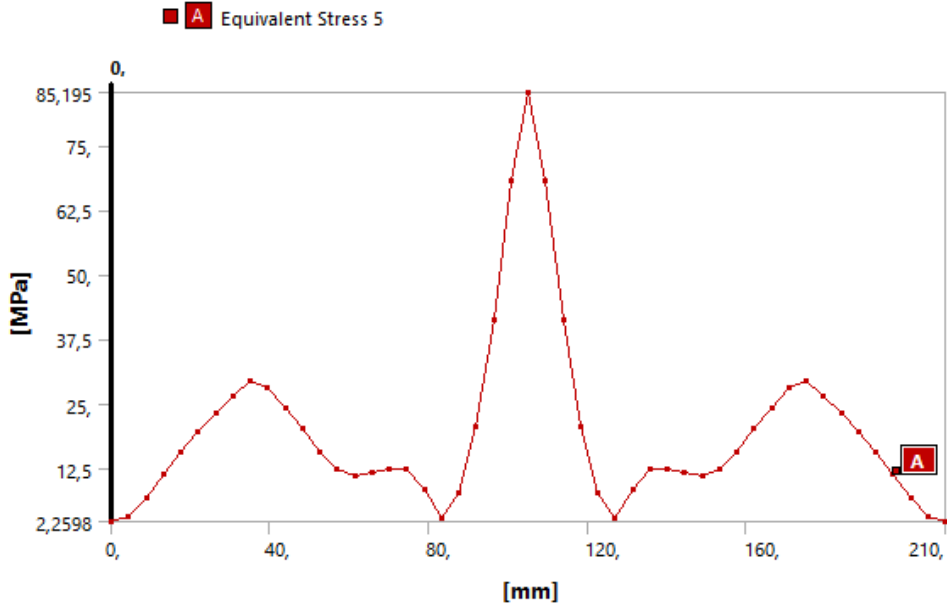
Şekil 5.48: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.48’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 135,73 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.49:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.49'te Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,776 mm olarak görülmüştür.

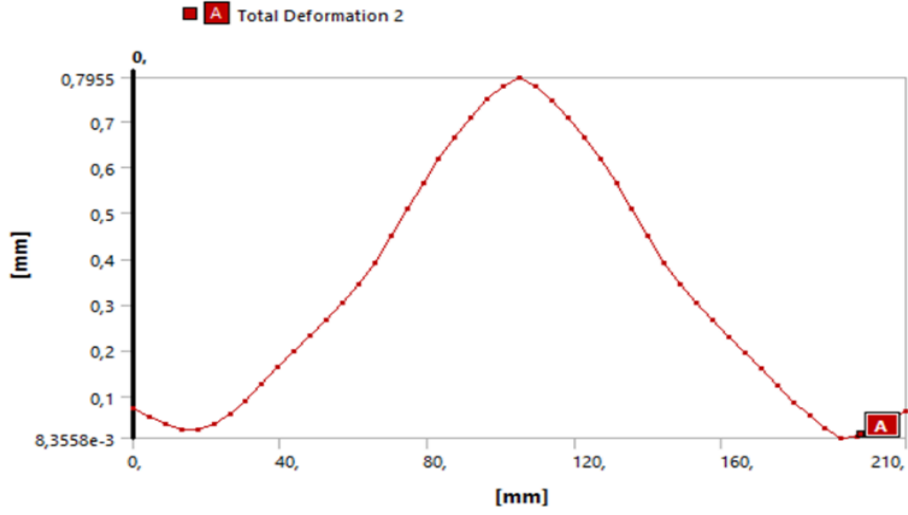


**Şekil 5.50:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

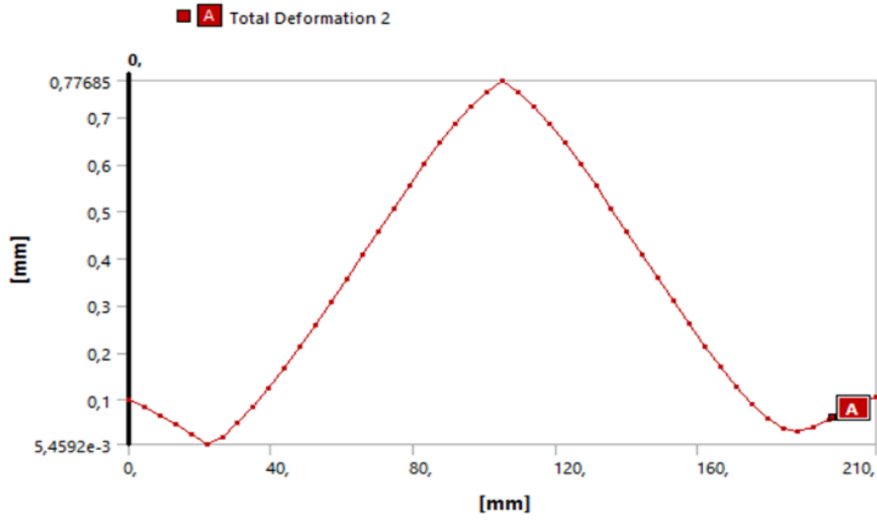
Şekil 5.50'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 85,195 MPa olarak gerçekleşmiştir.

## 5.2.9 Çalışma 5 ve Çalışma 6 Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekillerde özgül tasarım ve bal peteğinin Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemede çökme sonuçları karşılaştırılmıştır.



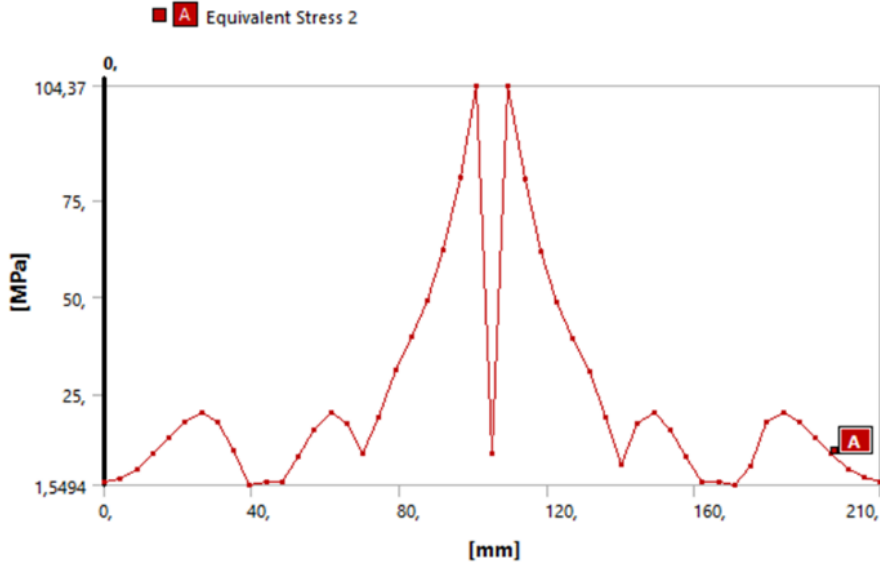
Şekil 5.51: Özgül tasarımın çökme miktarı.



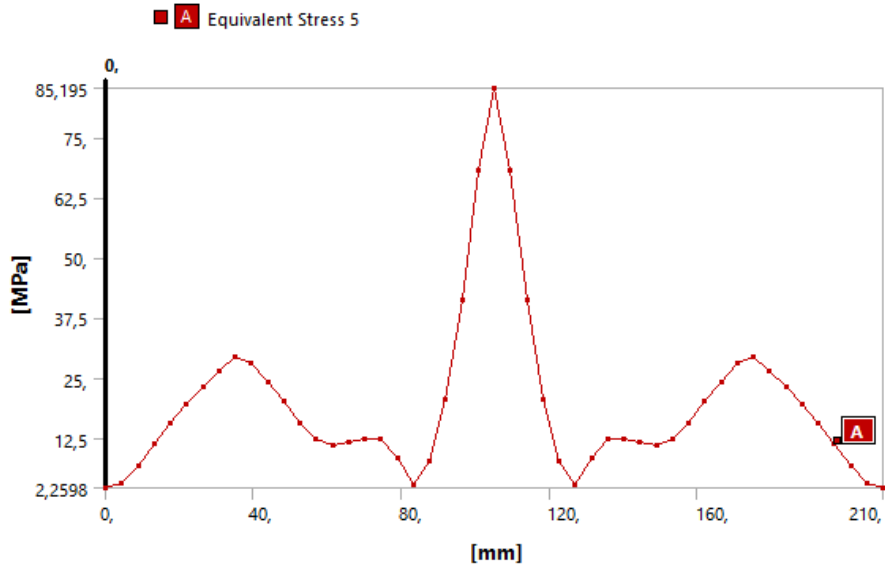
Şekil 5.52: Bal peteği yapının çökme miktarı.

İki modelin de yüzeyine tek noktadan yük uygulanarak üç nokta eğme testi gerçekleştirilmiştir. Özgül tasarımın bu üç nokta eğme testinde biraz daha yüksek çökme sağlaması onu dezavantajlı kılmıştır.

Aşağıdaki şekillerde özgül tasarım ve bal peteğinin Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemede eşdeğer gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.53: Özgül tasarımın eşdeğer gerilmesi.

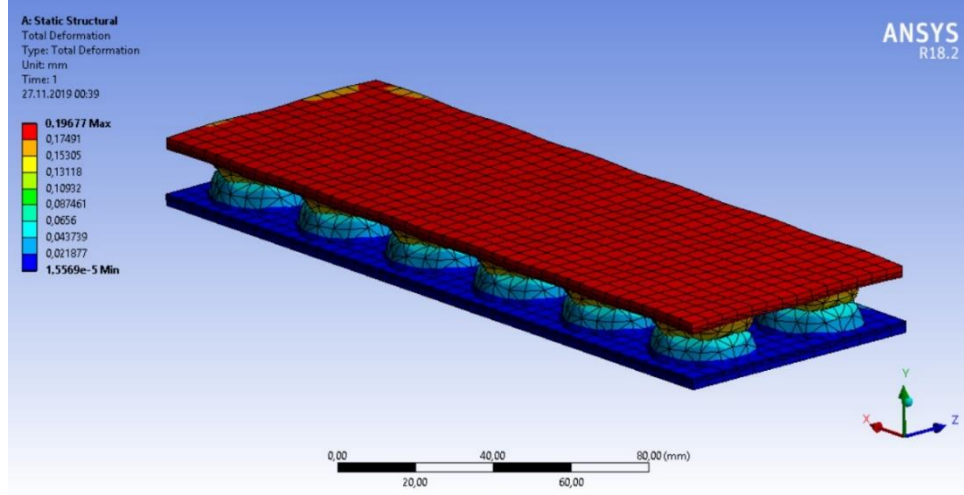


Şekil 5.54: Bal peteğinin eşdeğer gerilmesi.

Üç nokta eğme testinde çıkan sonuçlarda özgül tasarımın gerilmeleri daha yüksek olması dezavantajlı kılmıştır.

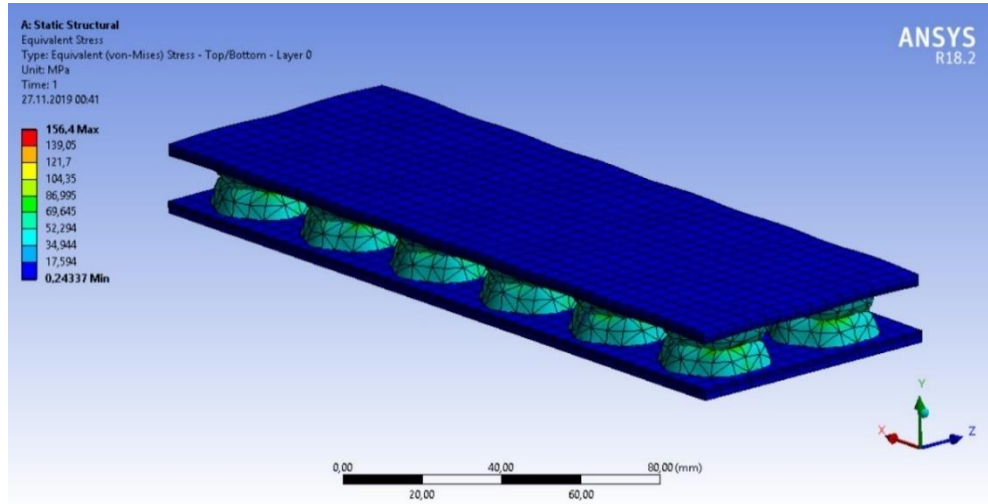
### 5.2.10 Çalışma 7 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımda Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



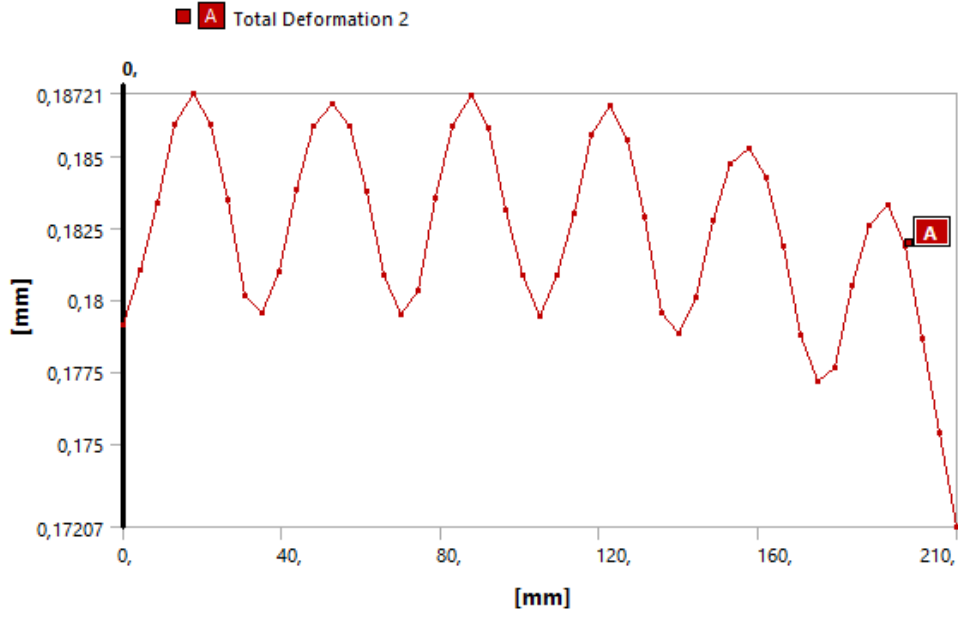
Şekil 5.55: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.55'te görüldüğü gibi 40.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,196 mm olmuştur.



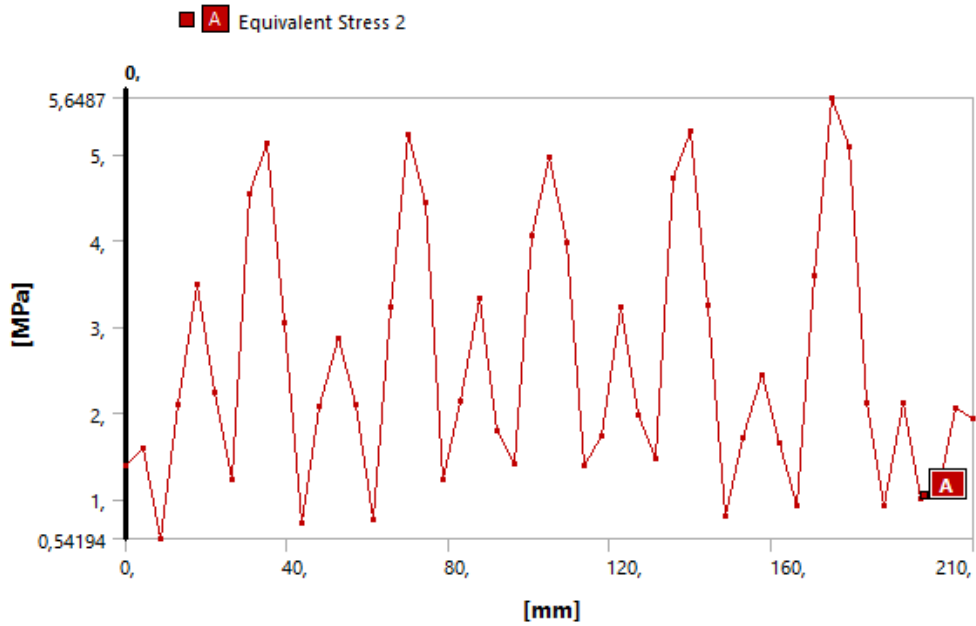
Şekil 5.56: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.56'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 156,4 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.57:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.57’de Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,187 mm olarak görülmüştür.

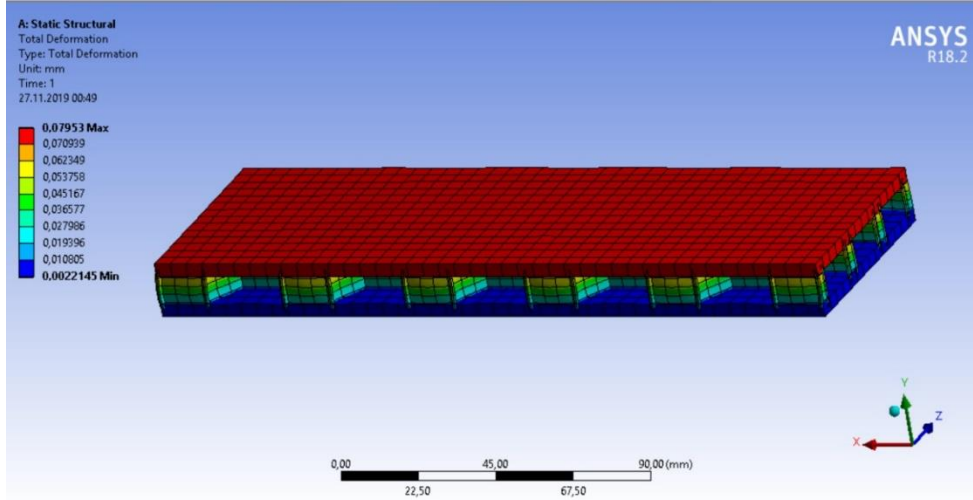


**Şekil 5.58:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.58’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 5,648 MPa olarak gerçekleşmiştir.

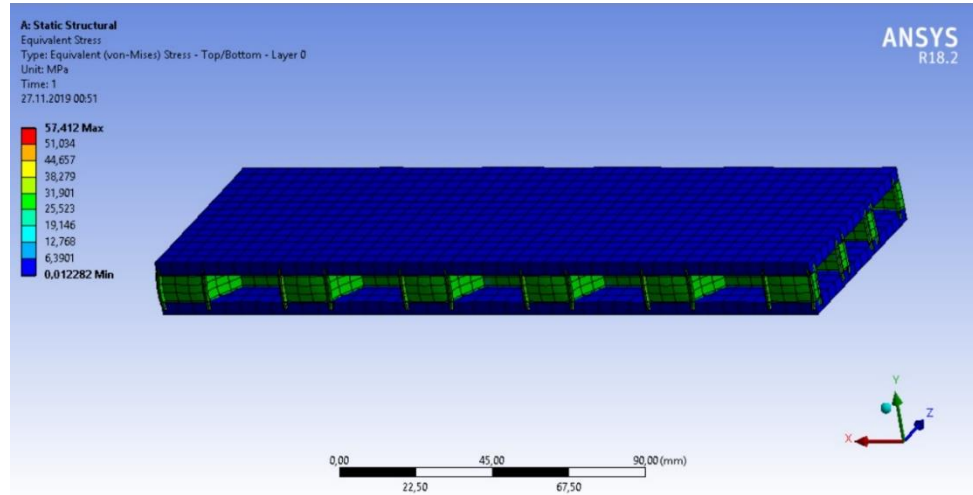
### 5.2.11 Çalışma 8 (Bal Peteği)

Bal peteği yapıda Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.59: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

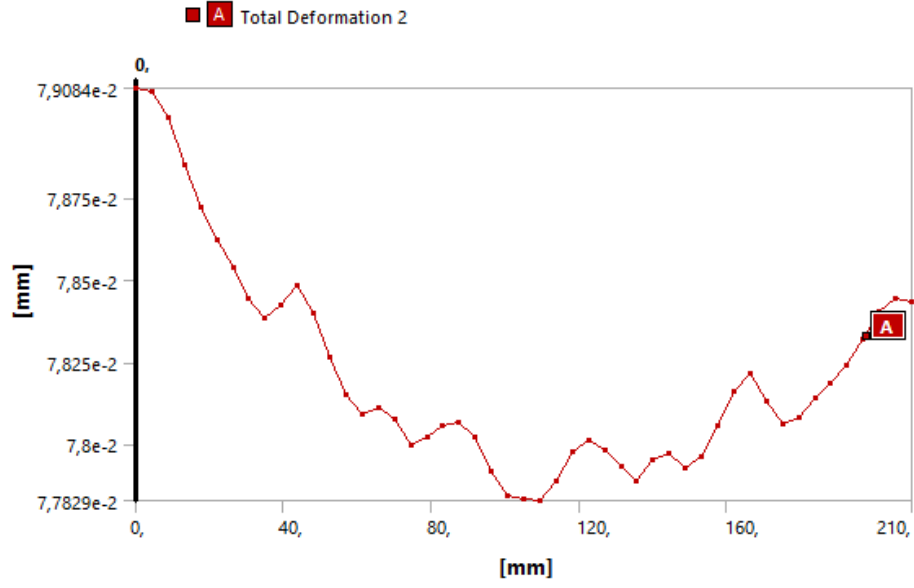
Şekil 5.59’da görüldüğü gibi 40.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,079 mm olmuştur.



Şekil 5.60: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

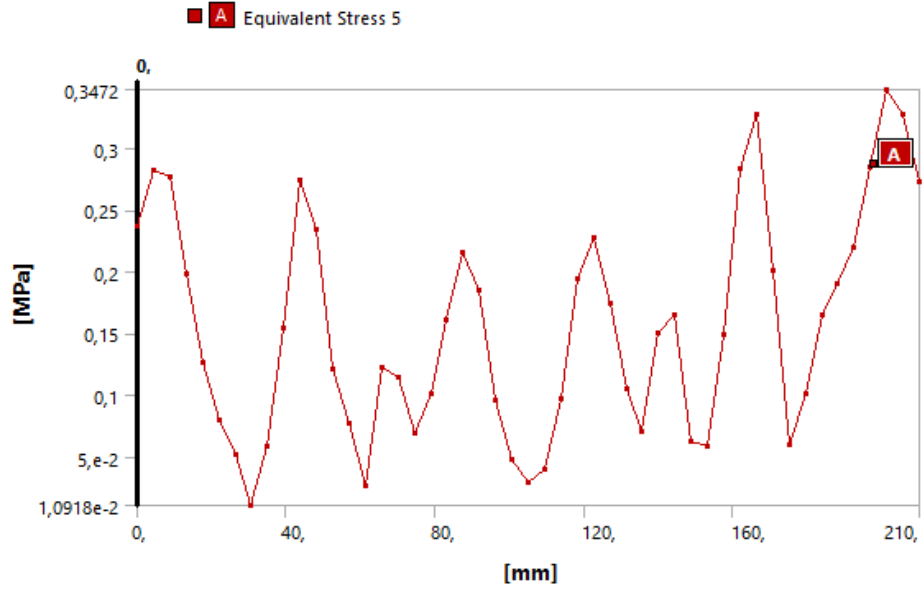
Şekil 5.60’da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 57,412 MPa olarak gerçekleşmiştir.





**Şekil 5.61:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.61’de Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 7,908 mm olarak görülmüştür.

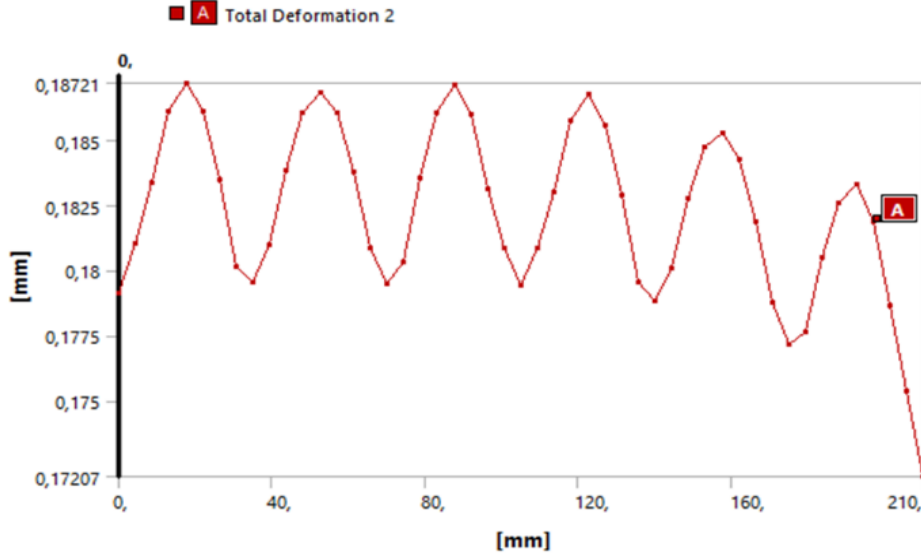


**Şekil 5.62:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

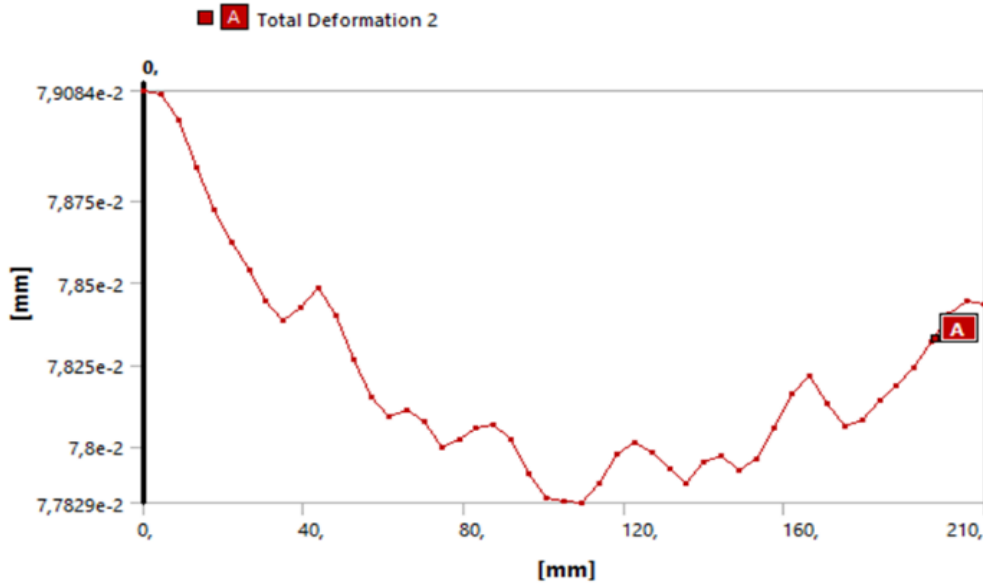
Şekil 5.62’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 0,347 MPa olarak gerçekleşmiştir.

## 5.2.12 Çalışma 7 ve Çalışma 8 Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekillerde özgün tasarım ve bal peteğinin Epoksi E-Cam malzemede çökme sonuçları karşılaştırılmıştır.



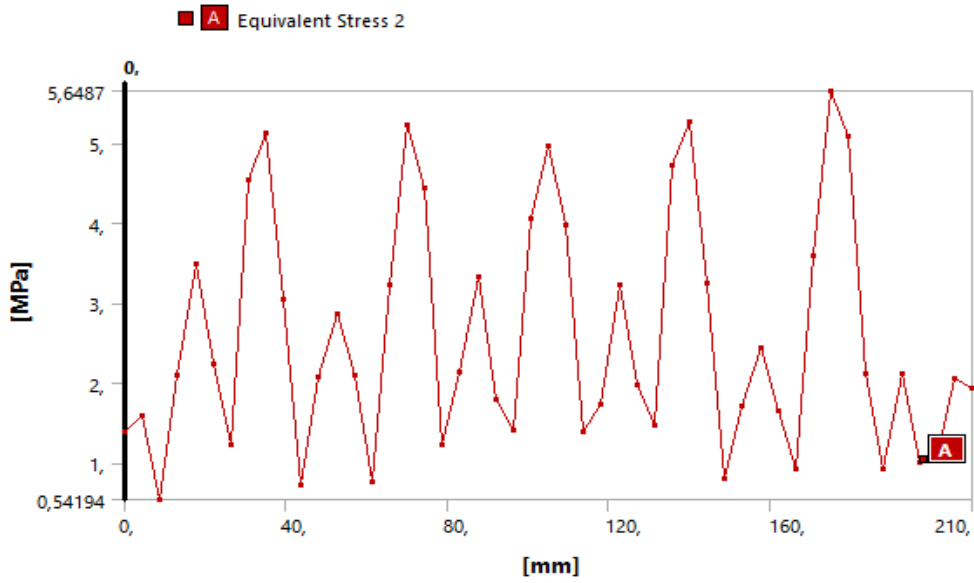
Şekil 5.64: Özgün tasarımın çökme miktarı.



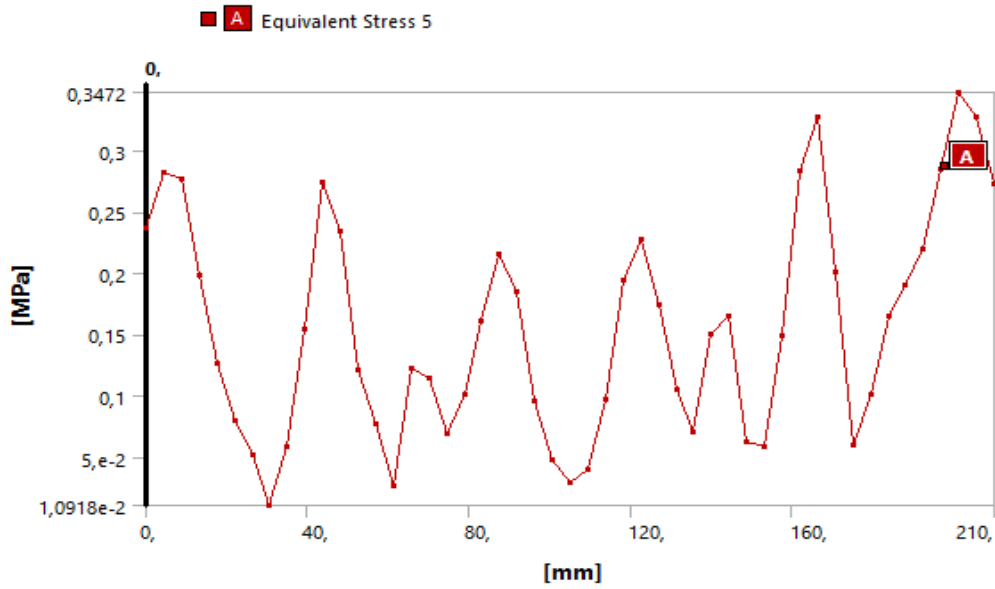
Şekil 5.63: Bal peteğinin çökme miktarı.

İki modelin de tüm yüzeyine yük uygulanarak ezme testi gerçekleştirilmiştir. Özgün tasarımın bu ezme testinde daha yüksek çökme sağlaması onu dezavantajlı kılmıştır.

Aşağıdaki şekillerde özgün tasarım ve bal peteğinin Epoksi E-Cam malzemede eşdeğer gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.65: Özgün tasarımın eşdeğer gerilmeleri.

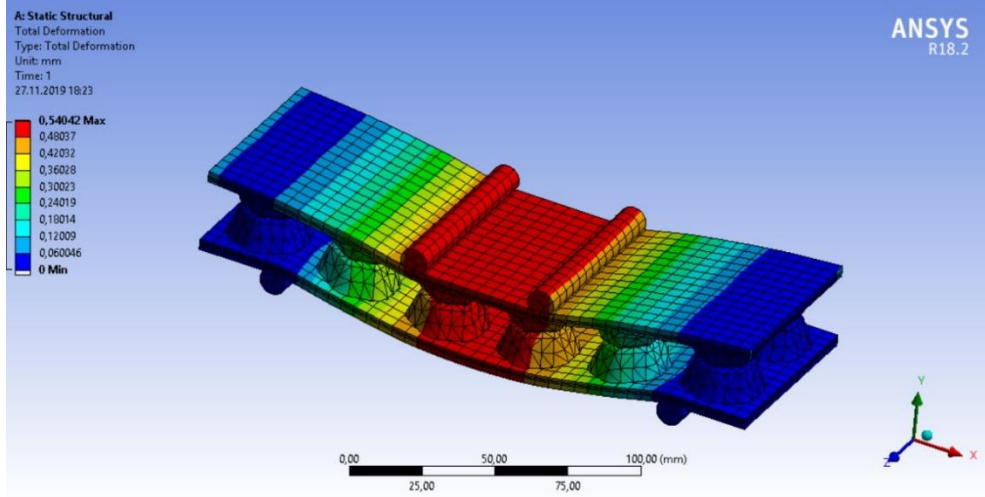


Şekil 5.66: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri.

Ezme testinde çıkan sonuçlarda özgün tasarımın gerilmeleri daha yüksek olması dezavantajlı kılacaktır.

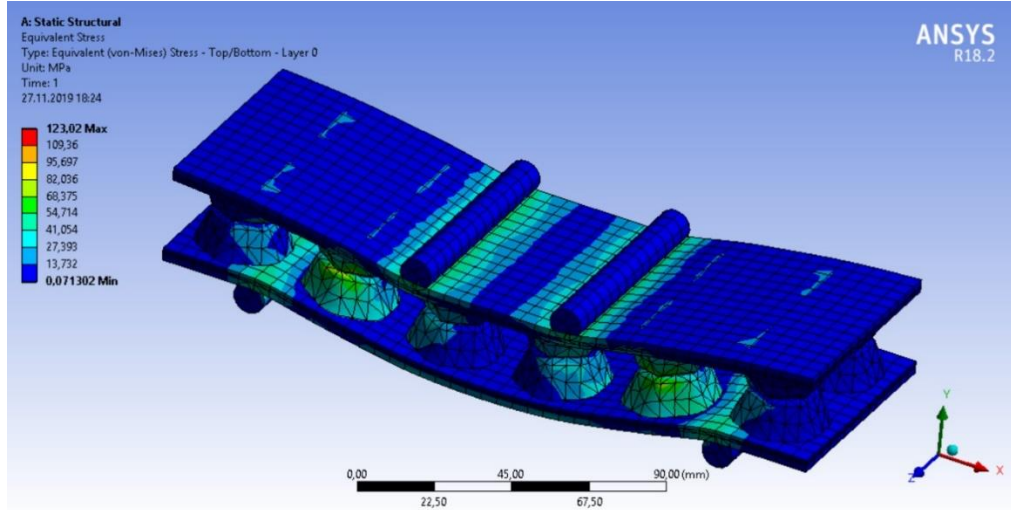
### 5.2.13 Çalışma 9 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımda Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



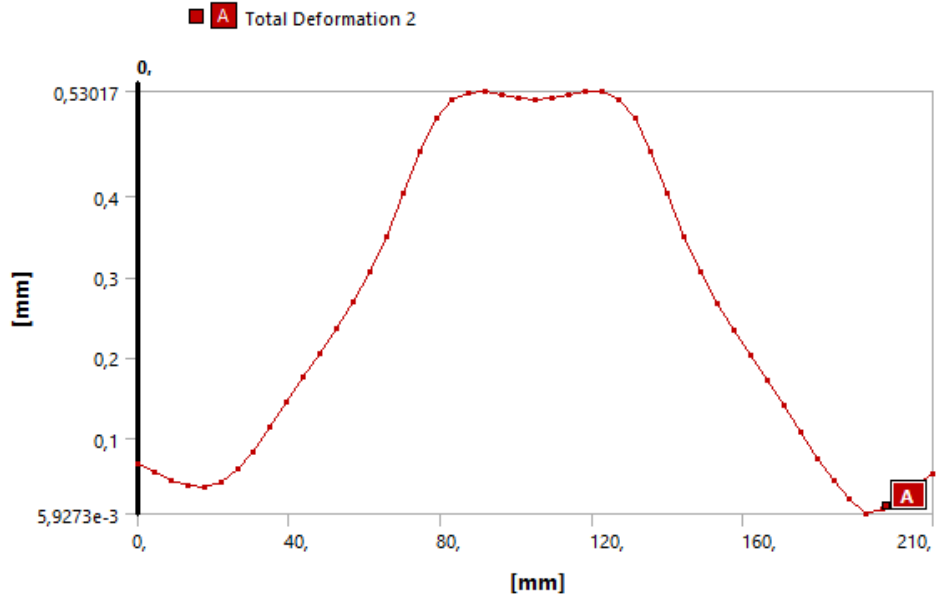
Şekil 5.67: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.67’te görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,540 mm olmuştur.



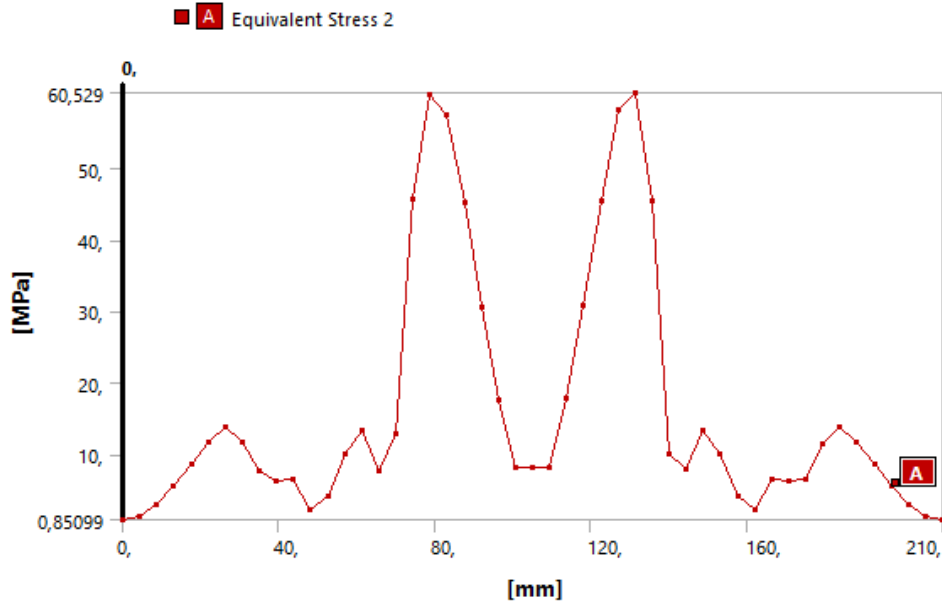
Şekil 5.68: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.68’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 123,02 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.69:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.69'te Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,53 mm olarak görülmüştür.

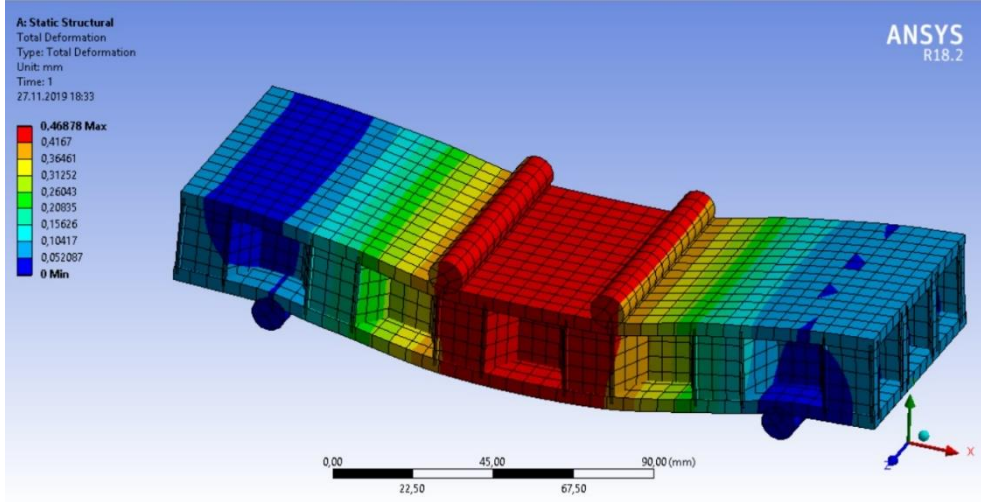


**Şekil 5.70:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.70'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 60,529 MPa olarak gerçekleşmiştir.

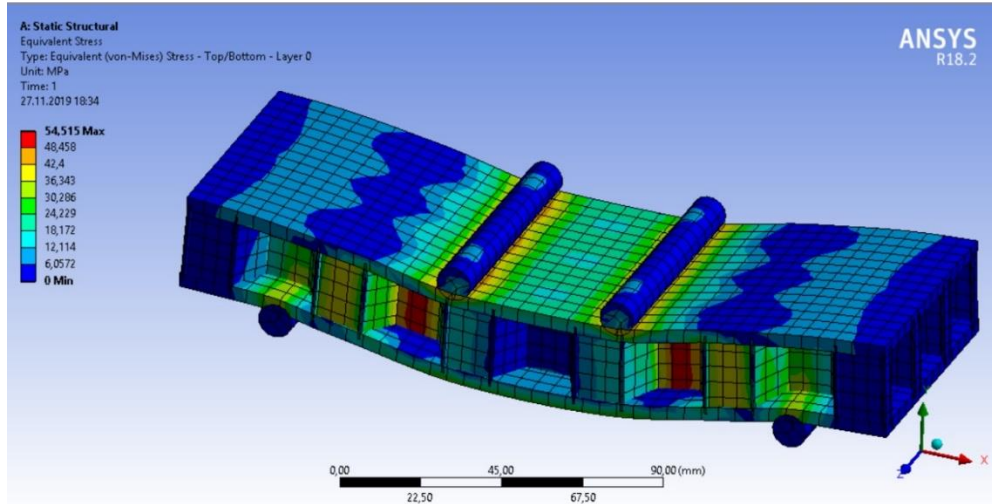
### 5.2.14 Çalışma 10 (Bal Peteği)

Bal peteği yapıda Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



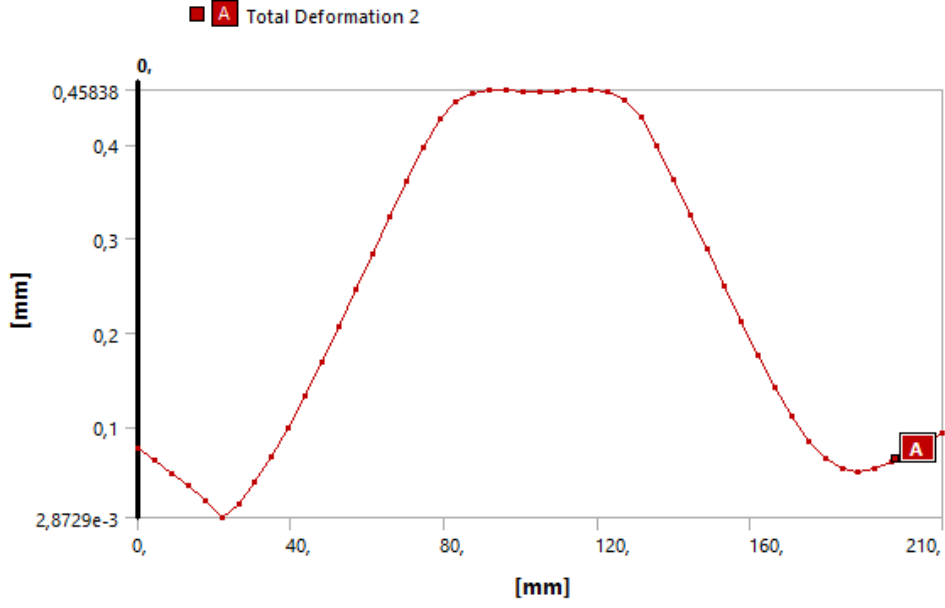
Şekil 5.71: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.71’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,468 mm olmuştur.



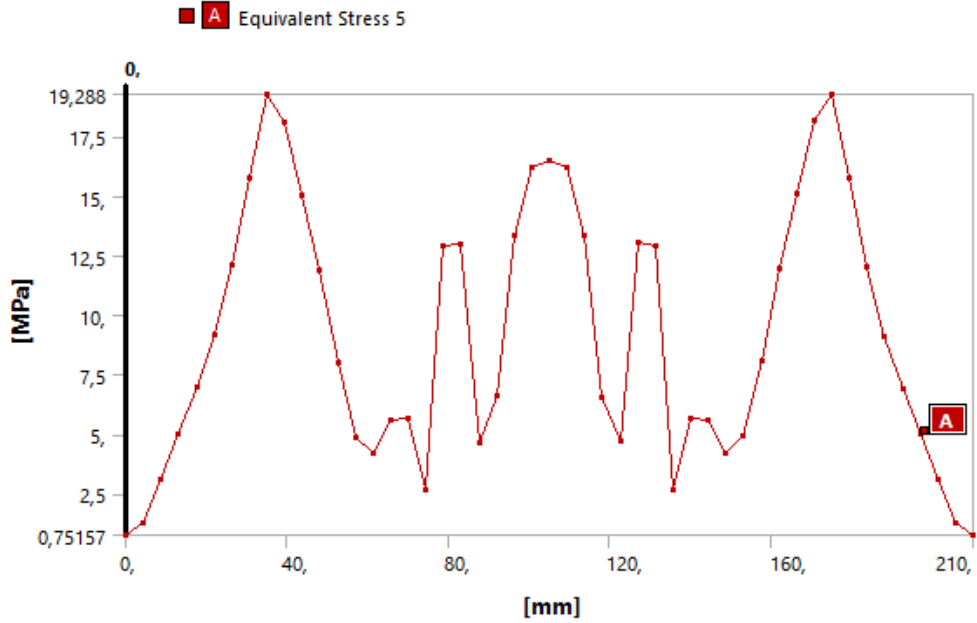
Şekil 5.72: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.72’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 54,515 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.73:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.73’da Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,458 mm olarak görülmüştür.

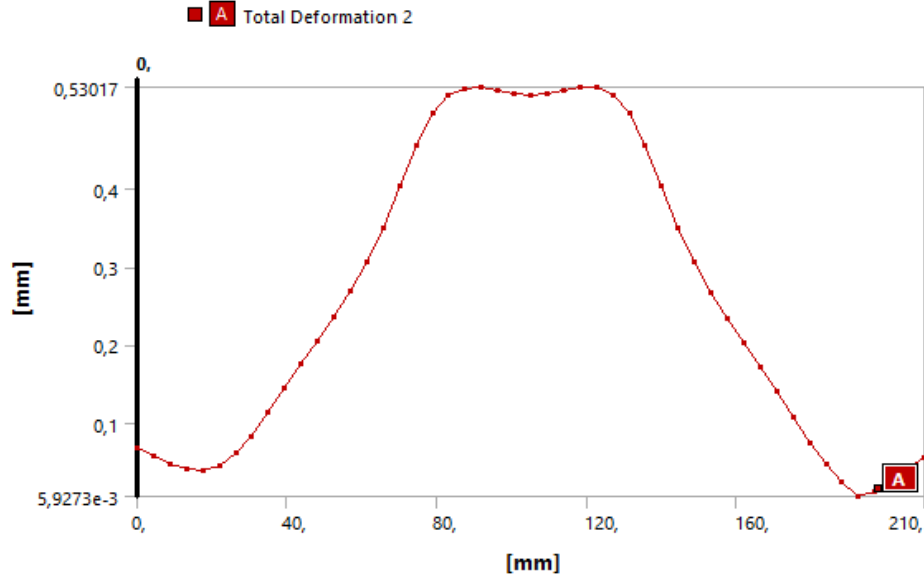


**Şekil 5.74:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

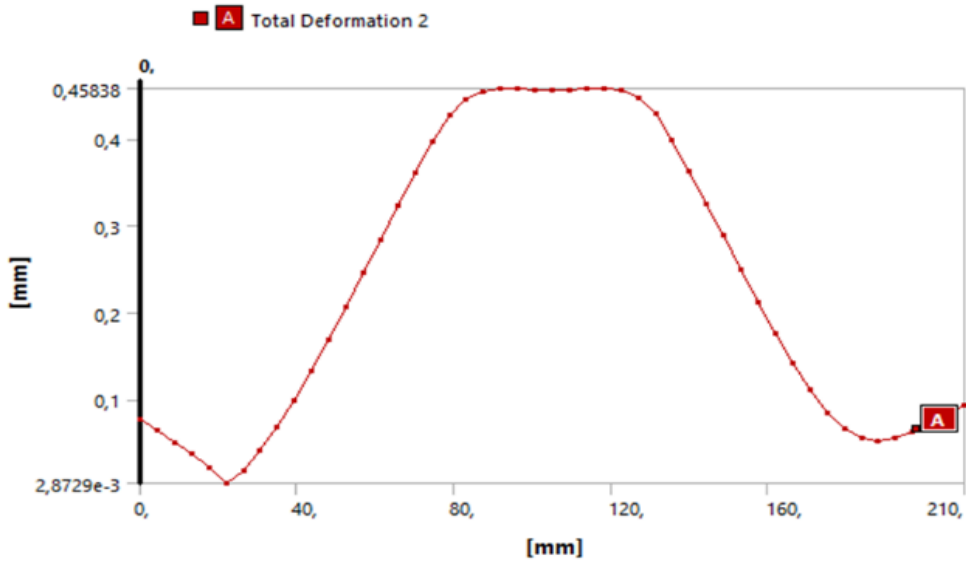
Şekil 5.74’ta eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 19,288 MPa olarak gerçekleşmiştir.

### 5.2.15 Çalışma 9 ve Çalışma 10 Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekillerde özgün tasarım ve bal peteğinin Epoksi E-Cam malzemede çökme sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.75: Özgün tasarımın çökme miktarı.

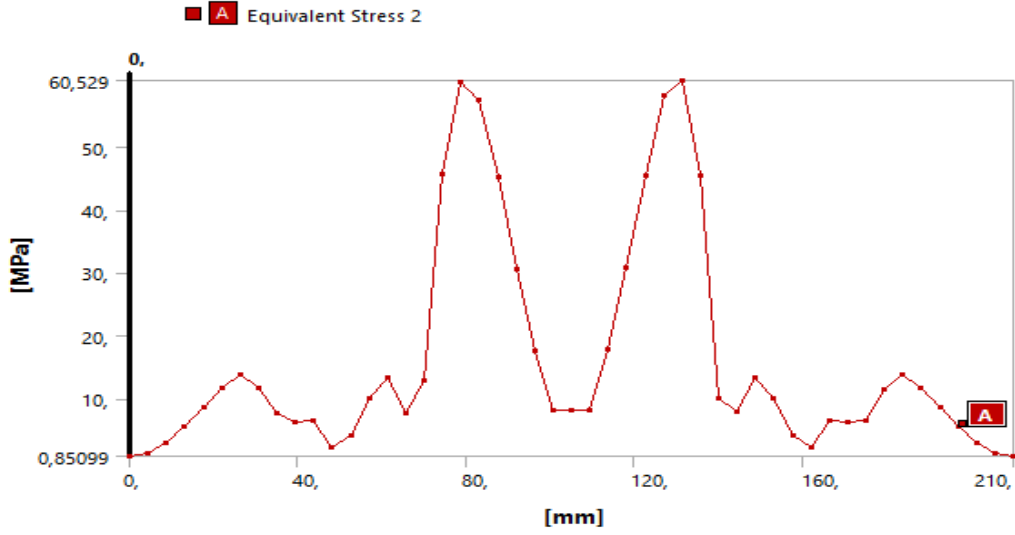


Şekil 5.76: Bal peteğinin çökme miktarı.

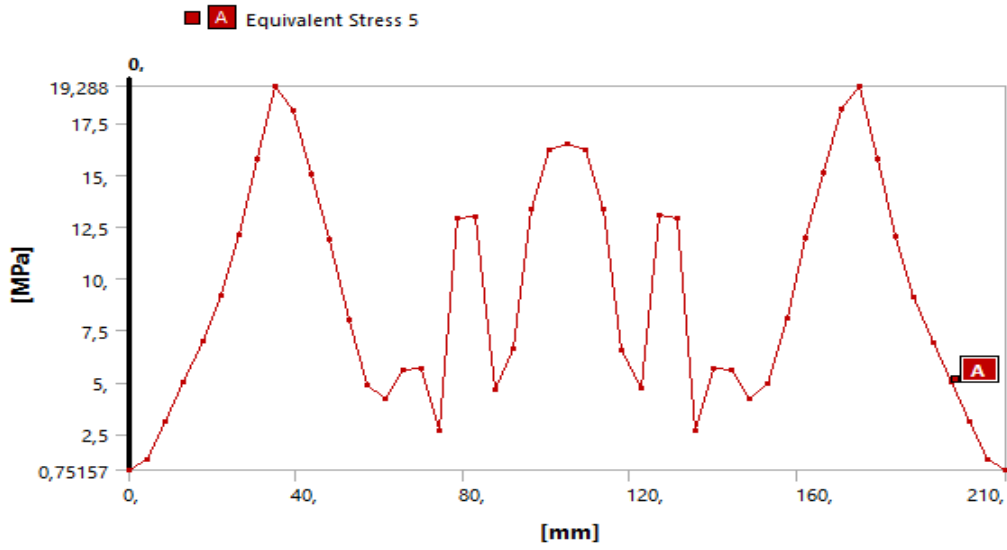
İki modelin de yüzeyine iki noktadan yük uygulanarak dört nokta eğme testi gerçekleştirilmiştir. Özgün tasarımın bu dört nokta eğme testinde biraz daha yüksek çökme sağlaması onu dezavantajlı kılmıştır.



Aşağıdaki şekillerde özgül tasarım ve bal peteğinin Epoksi E-Cam malzemede eşdeğer gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.77: Özgül tasarımın eşdeğer gerilmeleri.

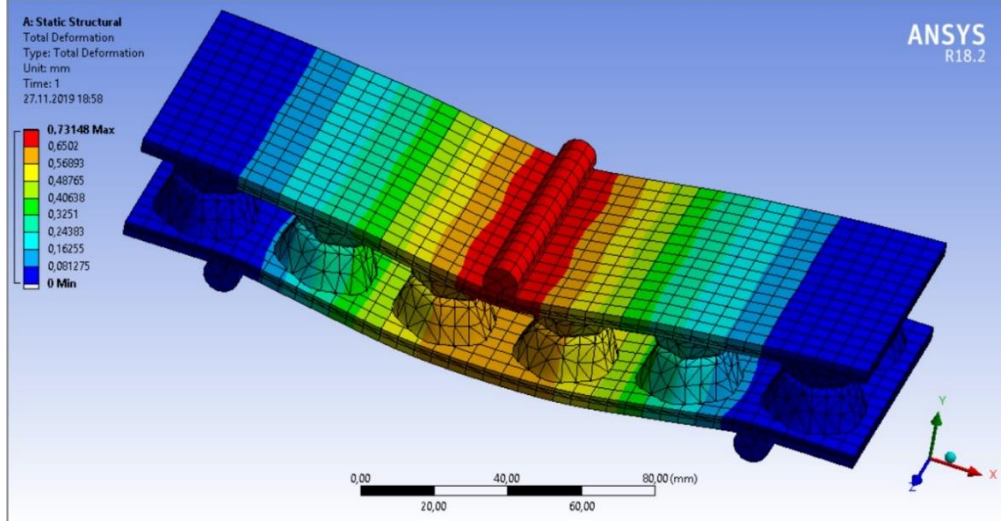


Şekil 5.78: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri.

Dört nokta eğme testinde çıkan sonuçlarda özgül tasarımın gerilmeleri daha yüksek olması dezavantajlı kılmıştır.

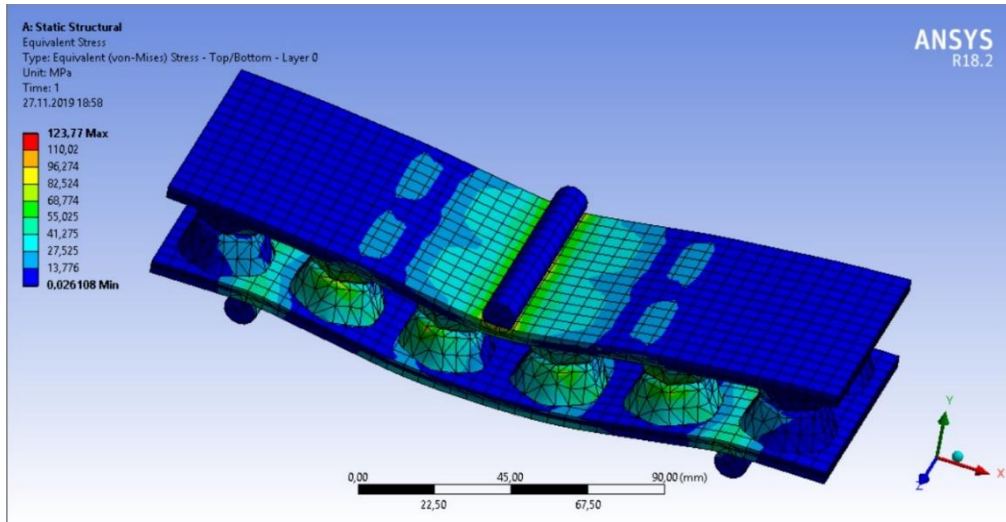
### 5.2.16 Çalışma 11 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımda Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



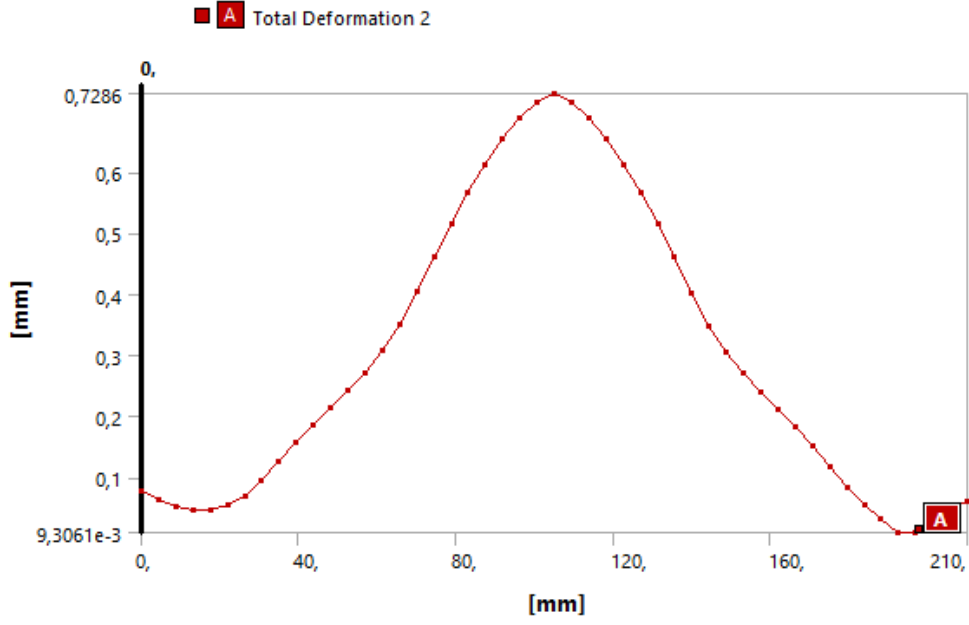
Şekil 5.79: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.79’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,731 mm olmuştur.



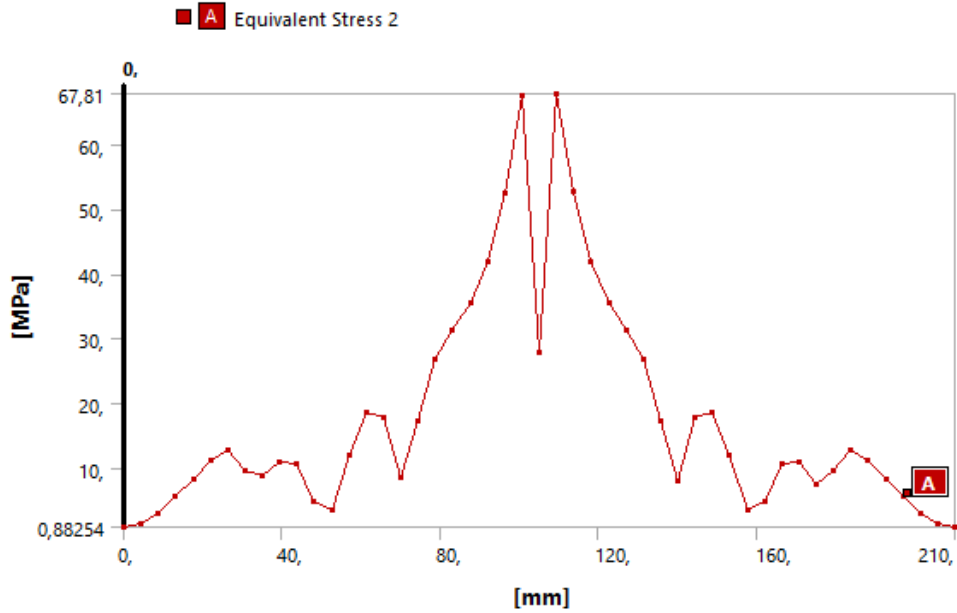
Şekil 5.80: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.80’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 123,77 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.81:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.81’te Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,728 mm olarak görülmüştür.

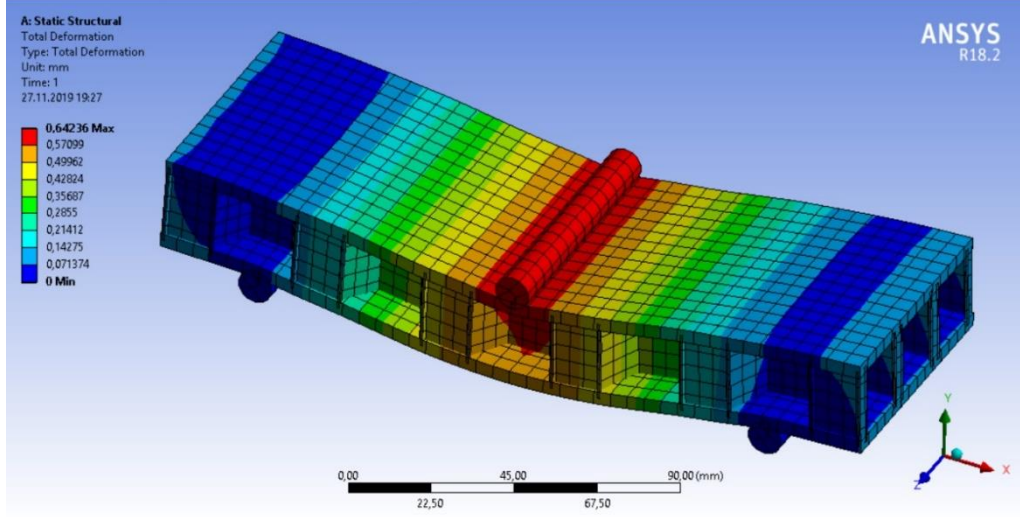


**Şekil 5.82:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.82’te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 67,81 MPa olarak gerçekleşmiştir.

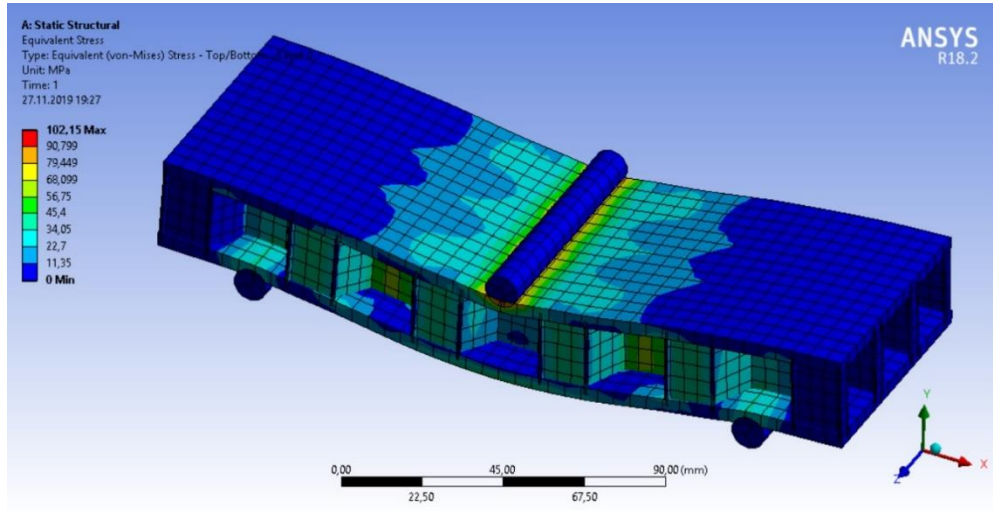
### 5.2.17 Çalışma 12 (Bal Peteği)

Bal peteği yapıda Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyi de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



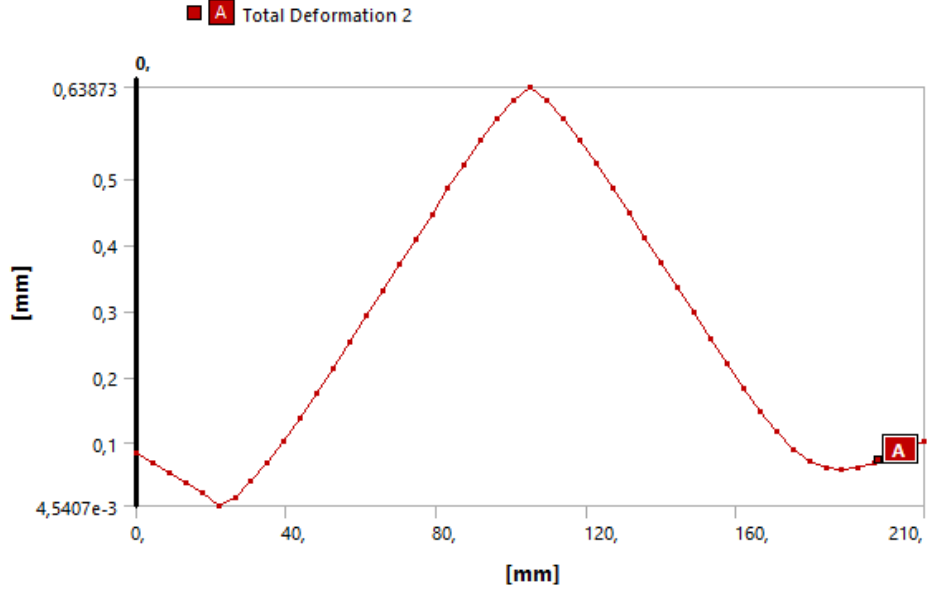
Şekil 5.83: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.83'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,642 mm olmuştur.



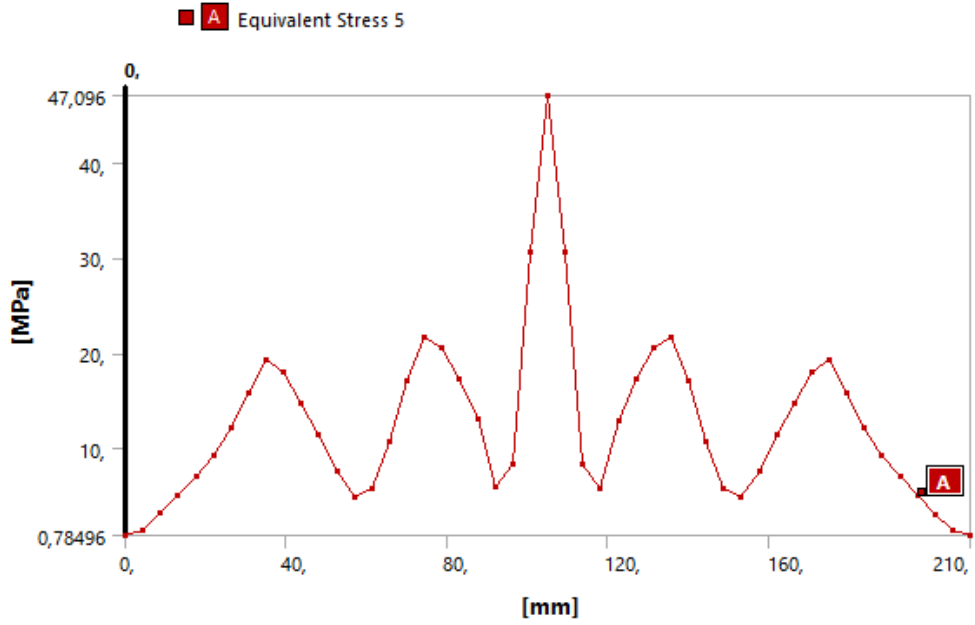
Şekil 5.84: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.84'da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 102,15 MPa olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 5.85:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.85’de Path olarak tanımlanan yüzeyin ortasından geçen çizgideki çökme miktarları grafik halinde gösterilmiştir. En yüksek çökme miktarı 0,638 mm olarak görülmüştür.

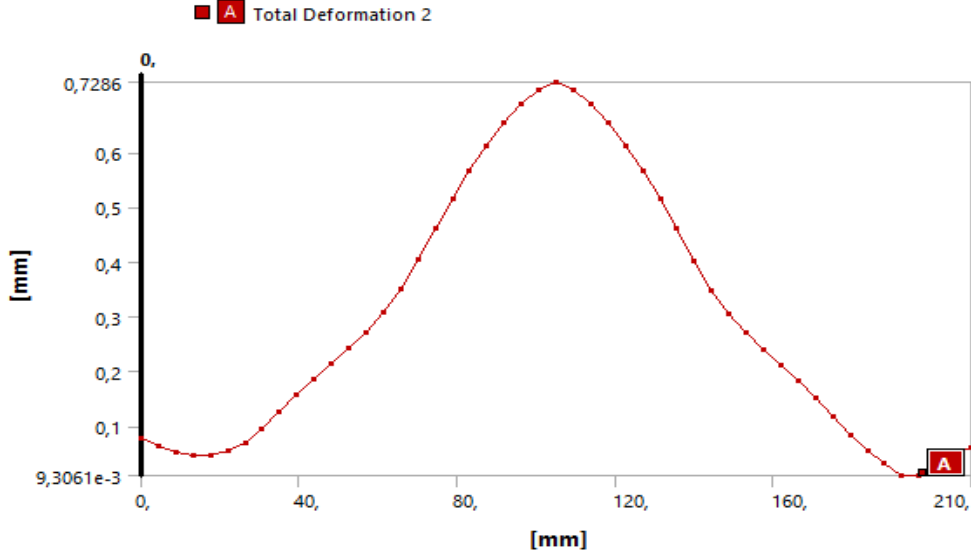


**Şekil 5.86:** Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

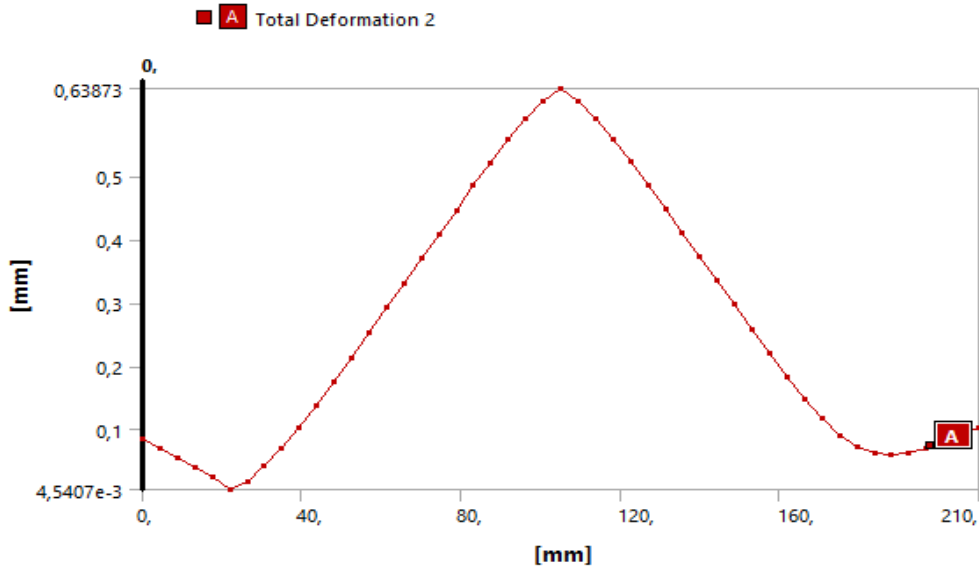
Şekil 5.86’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 47,096 MPa olarak gerçekleşmiştir.

### 5.2.18 Çalışma 11 ve Çalışma 12 Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekillerde özgün tasarım ve bal peteğinin Epoksi E-Cam malzemede çökme sonuçları karşılaştırılmıştır.



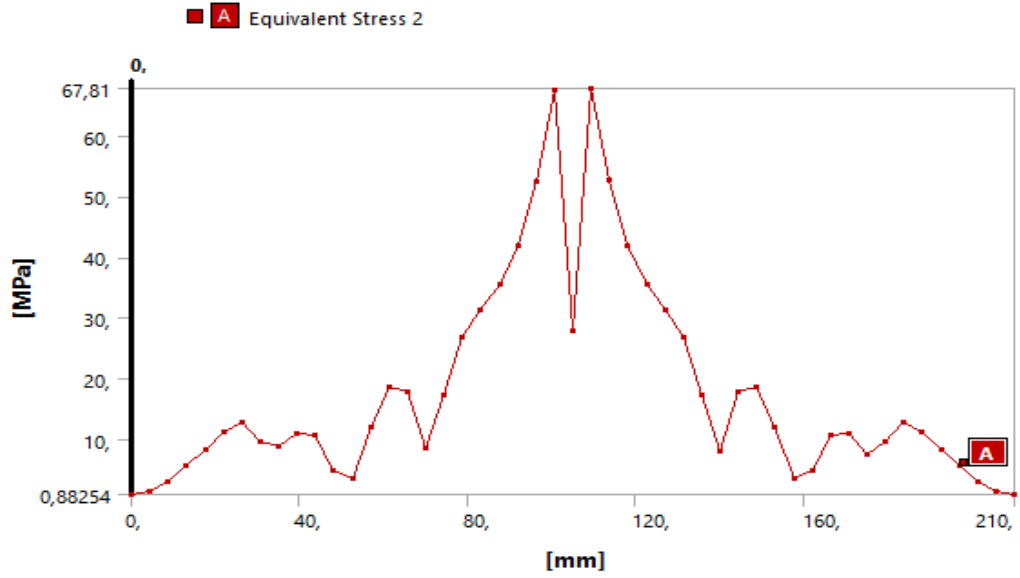
Şekil 5.87: Özgün tasarımın çökme miktarı.



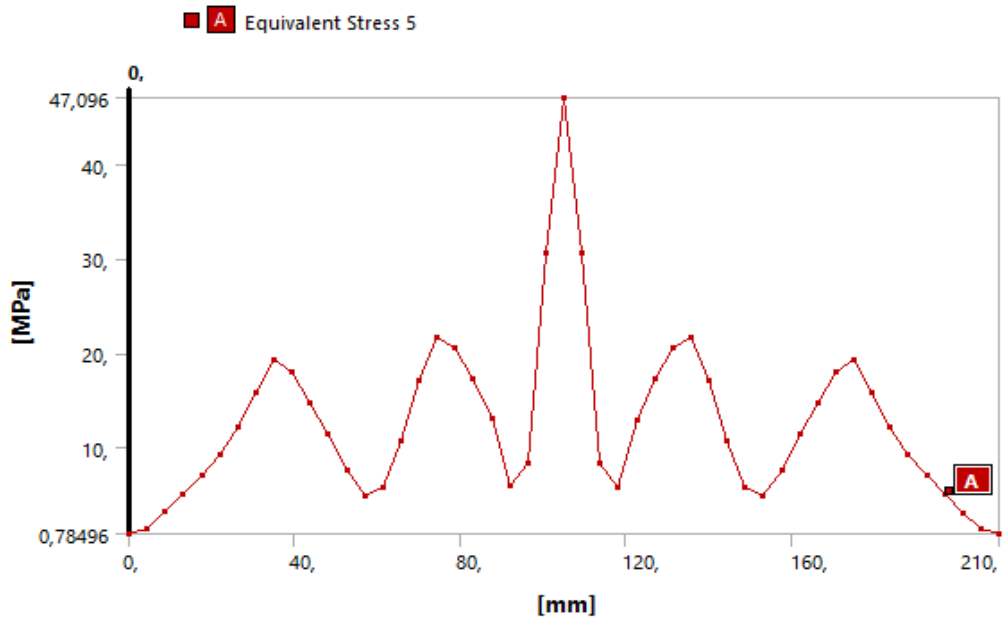
Şekil 5.88: Bal peteğinin çökme miktarı.

İki modelin de yüzeyine tek noktadan yük uygulanarak üç nokta eğme testi gerçekleştirilmiştir. Özgün tasarımın bu üç nokta eğme testinde biraz daha yüksek çökme sağlaması onu dezavantajlı kılmıştır.

Aşağıdaki şekillerde özgül tasarım ve bal peteğinin Epoksi E-Cam malzemede eşdeğer gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.89: Özgül tasarımın eşdeğer gerilmeleri.



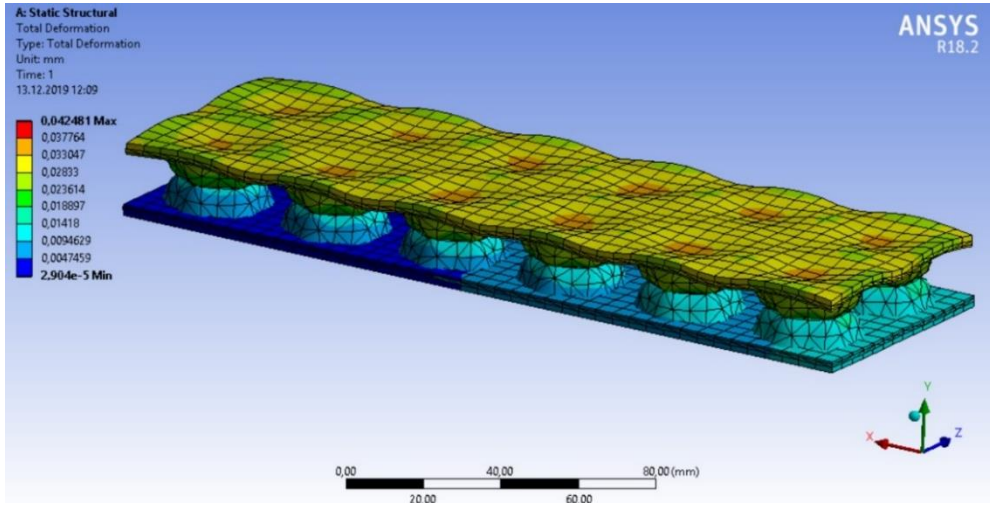
Şekil 5.90: Bal peteğinin eşdeğer gerilmeleri.

Üç nokta eğme testinde çıkan sonuçlarda özgül tasarımın gerilmeleri daha yüksek olması dezavantajlı kılmıştır.

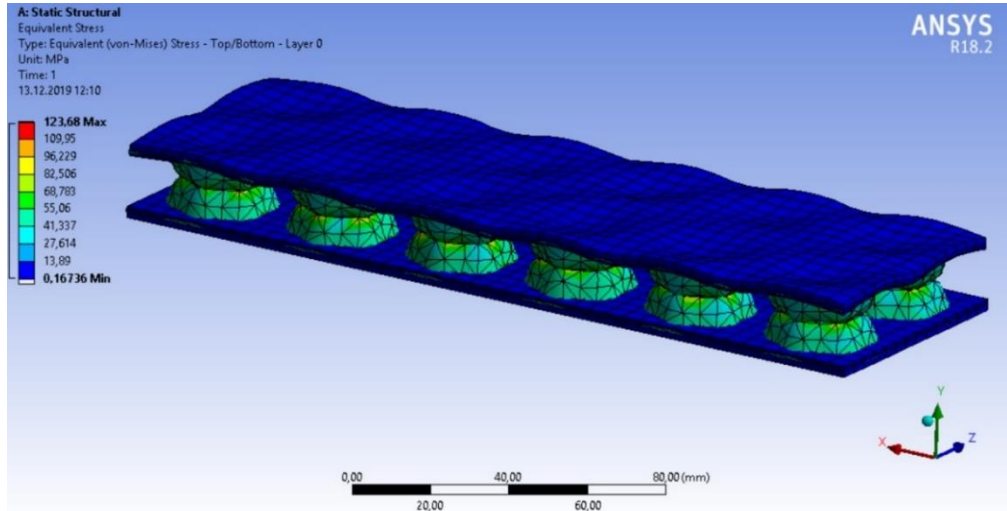
### 5.3 Alüminyum Gövde - Kompozit Yüzey Analizleri

#### 5.3.1 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 1 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımın gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi Karbon Kumaş (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyden sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.91: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.  
Şekil 5.91’de görüldüğü gibi 40.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,042 mm olmuştur.



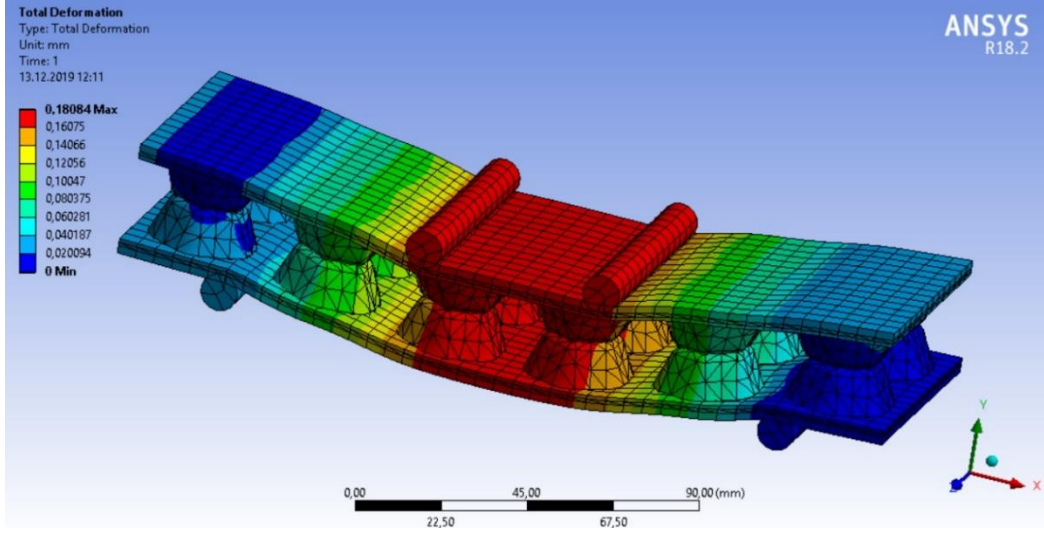
Şekil 5.92: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.92’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 123,68 MPa olarak gerçekleşmiştir.



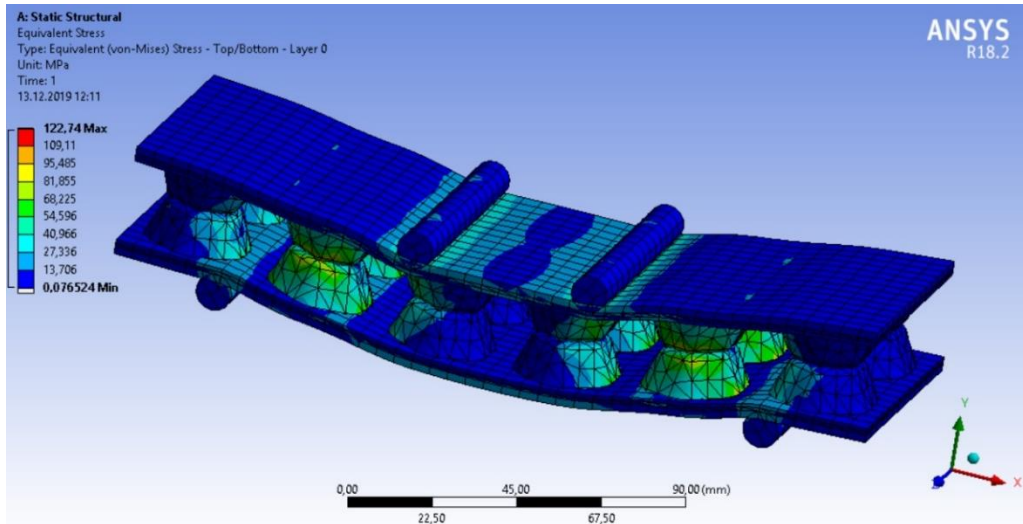
### 5.3.2 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 2 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımın gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.93: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.93’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,180 mm olmuştur.

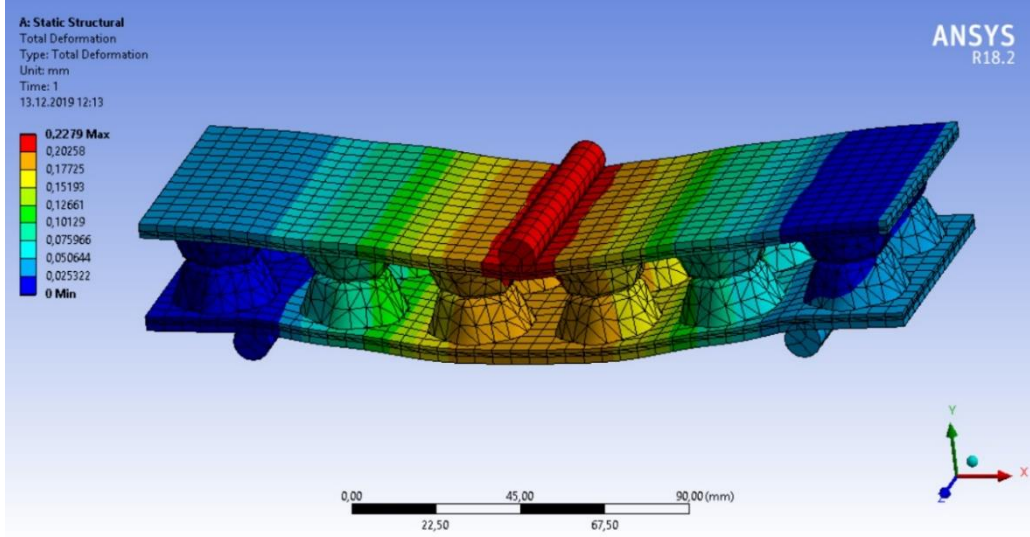


Şekil 5.94: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.94’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 122,74 MPa olarak gerçekleşmiştir.

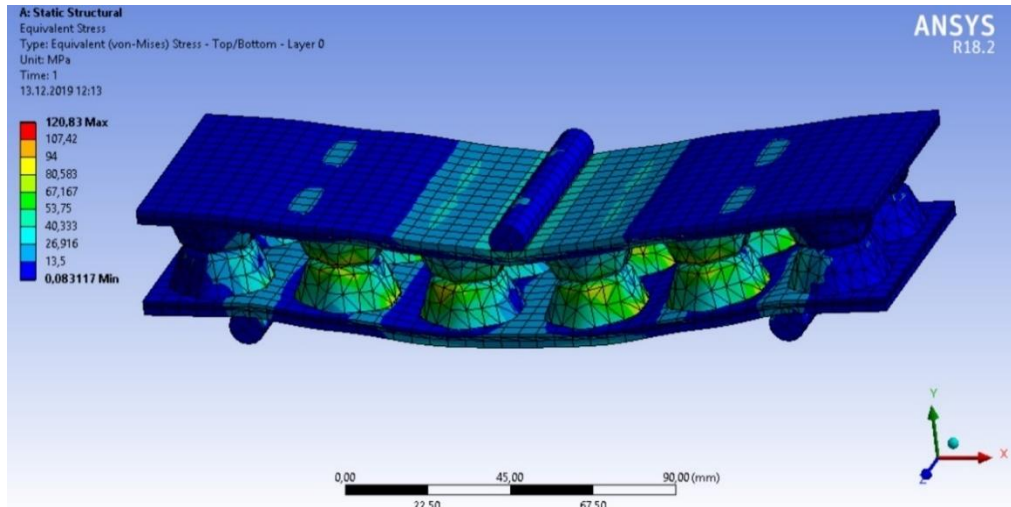
### 5.3.3 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 3 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımın gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.95: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.95'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,227 mm olmuştur.

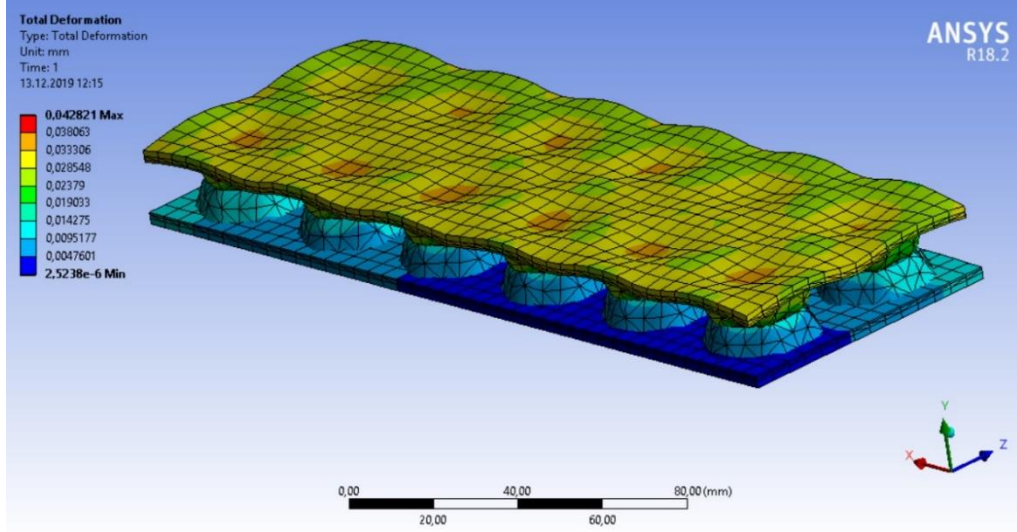


Şekil 5.96: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.96'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 120,83 MPa olarak gerçekleşmiştir.

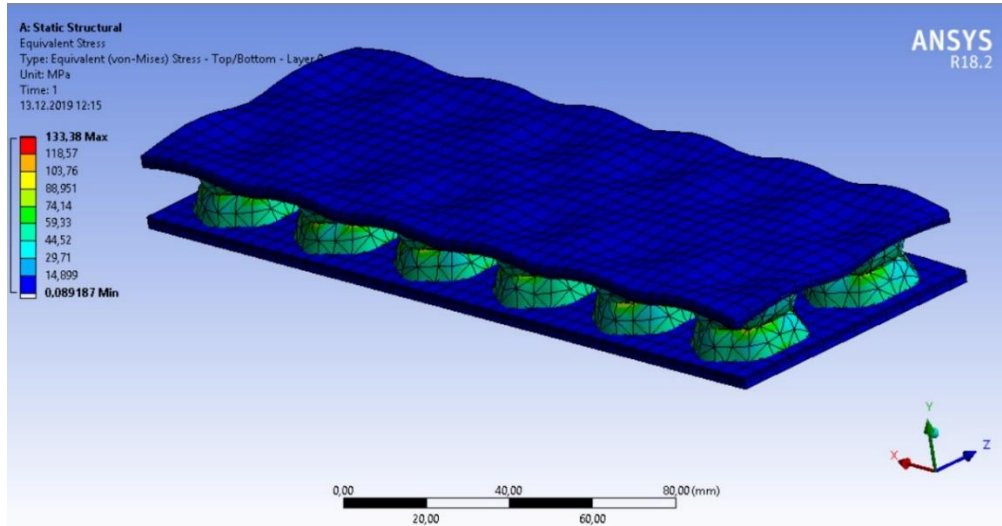
### 5.3.4 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 1 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımın gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyden sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.97: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.97’te görüldüğü gibi 40.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,042 mm olmuştur.

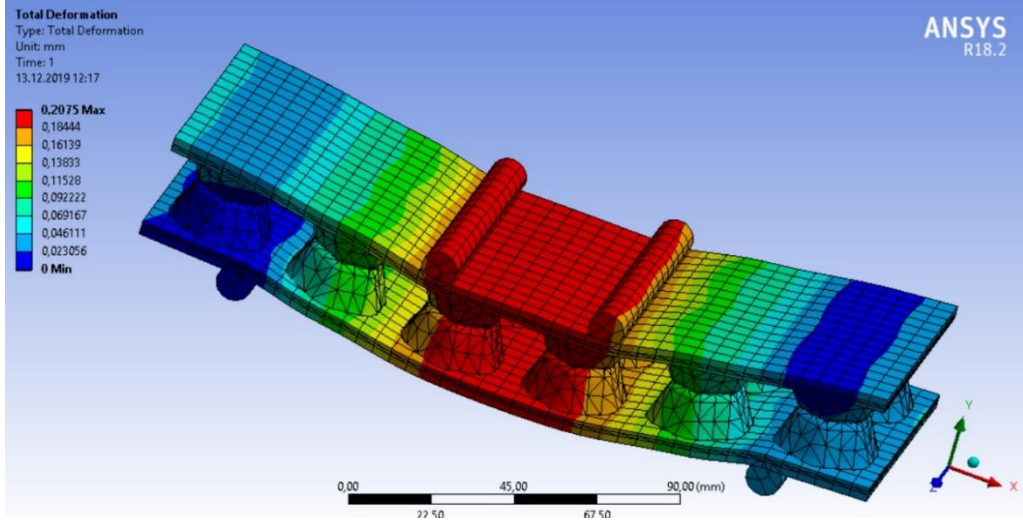


Şekil 5.98: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.98’da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 133,38 MPa olarak gerçekleşmiştir.

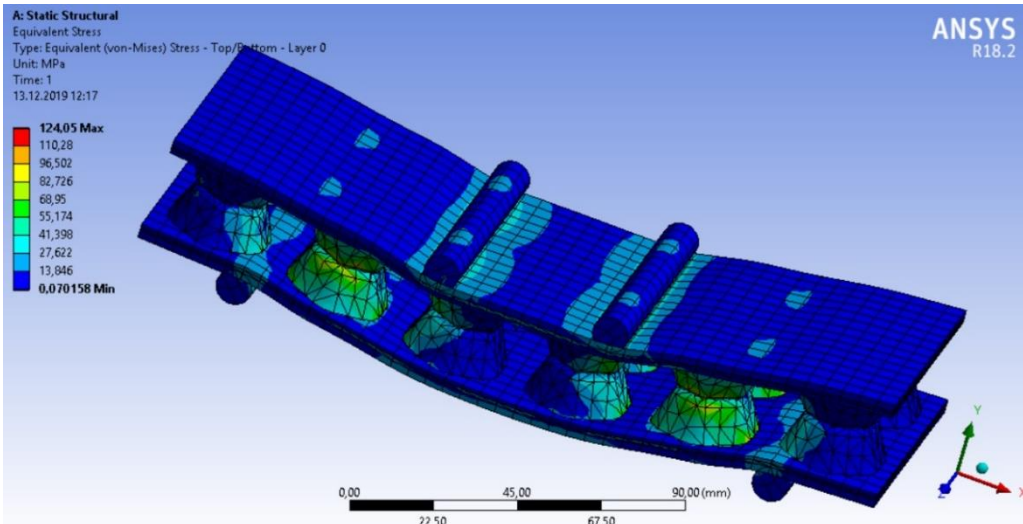
### 5.3.5 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 2 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımın gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.99: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.99’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,207 mm olmuştur.

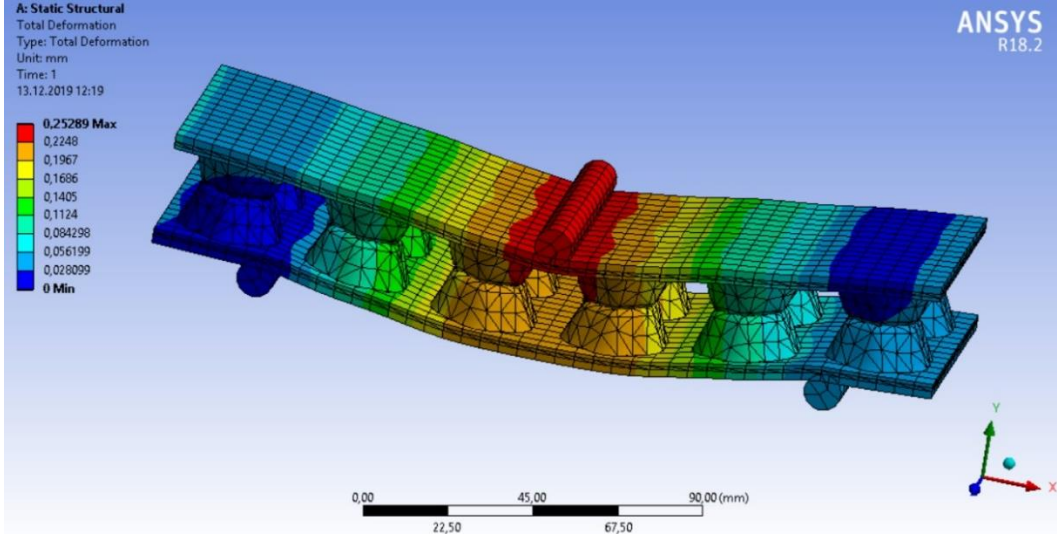


Şekil 5.100: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.100’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 124,05 MPa olarak gerçekleşmiştir.

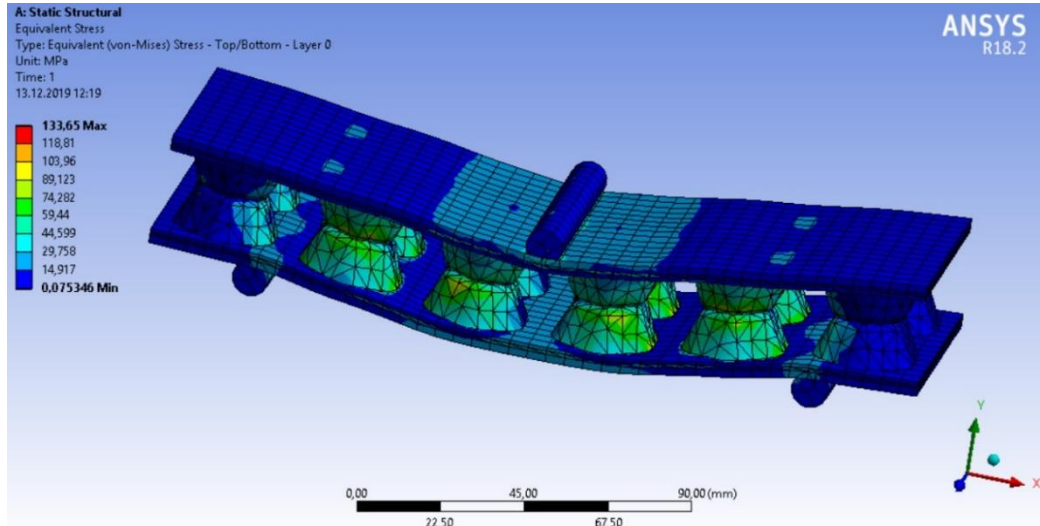
### 5.3.6 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 3 (Özgün Tasarım)

Özgün tasarımın gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.101: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.101’da görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,252 mm olmuştur.

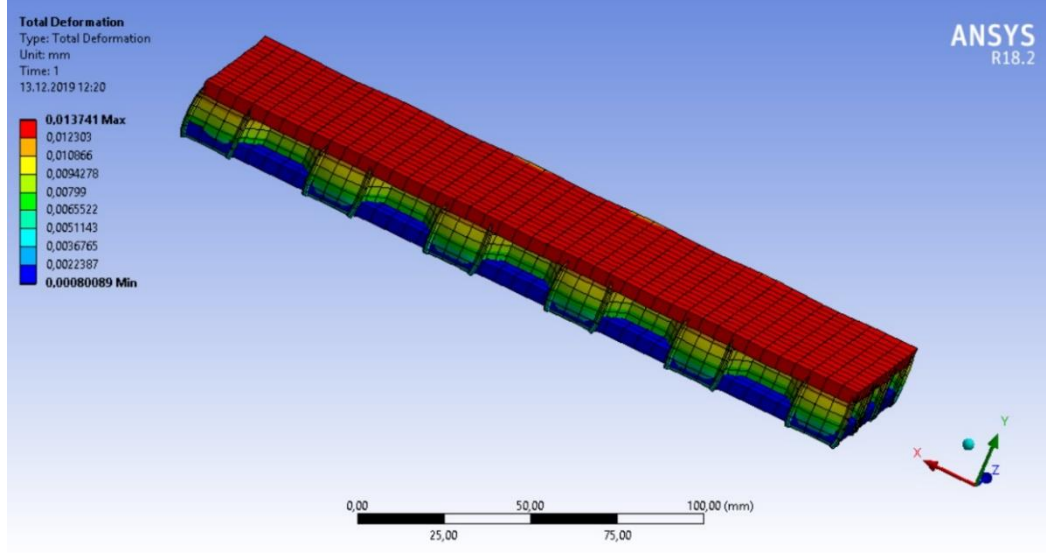


Şekil 5.102: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.102’da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 133,65 MPa olarak gerçekleşmiştir.

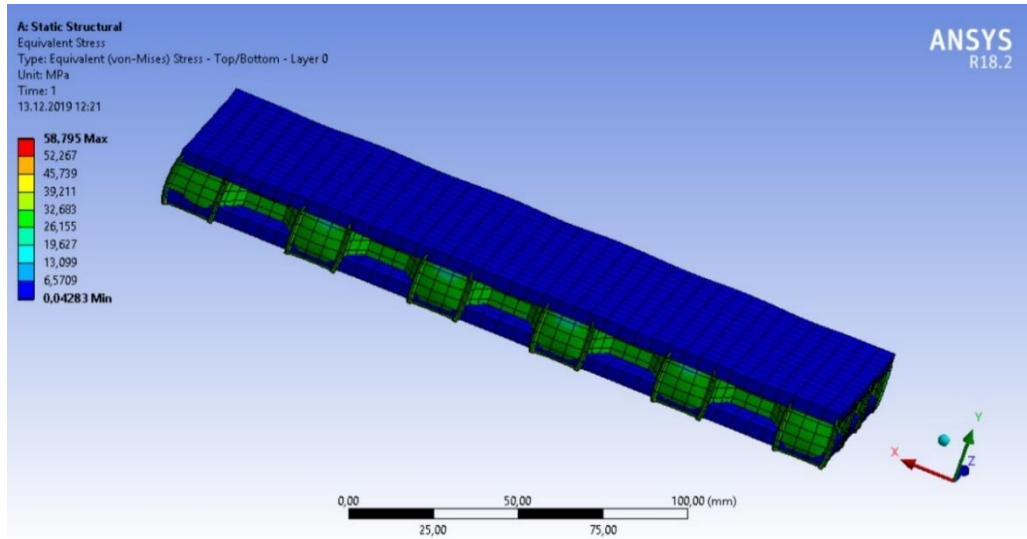
### 5.3.7 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 4 (Bal Peteği)

Bal peteği yapının gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyden sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



**Şekil 5.103:** Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.103’de görüldüğü gibi 40.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,013 mm olmuştur.

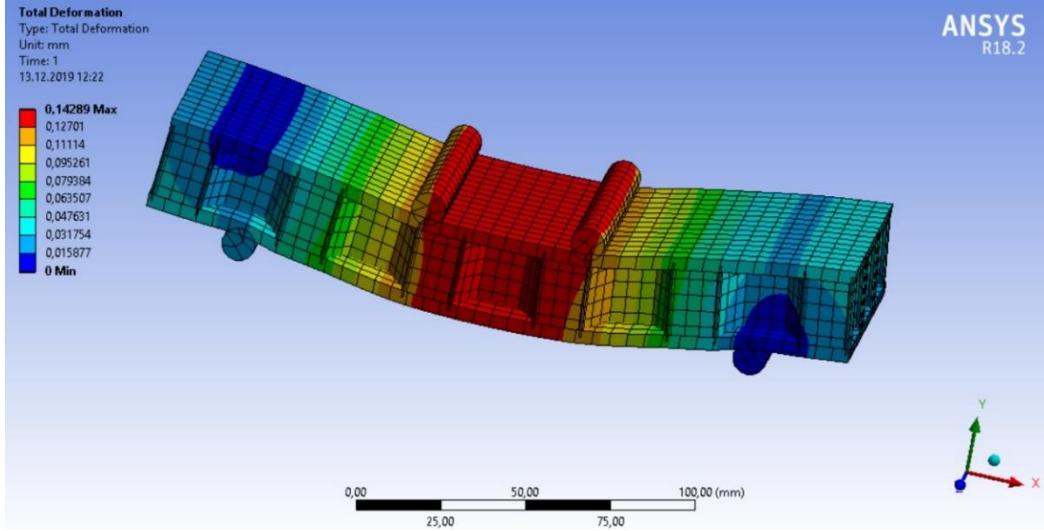


**Şekil 5.104:** Eşdeğer Gerilme Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.104’da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 58,795 MPa olarak gerçekleşmiştir.

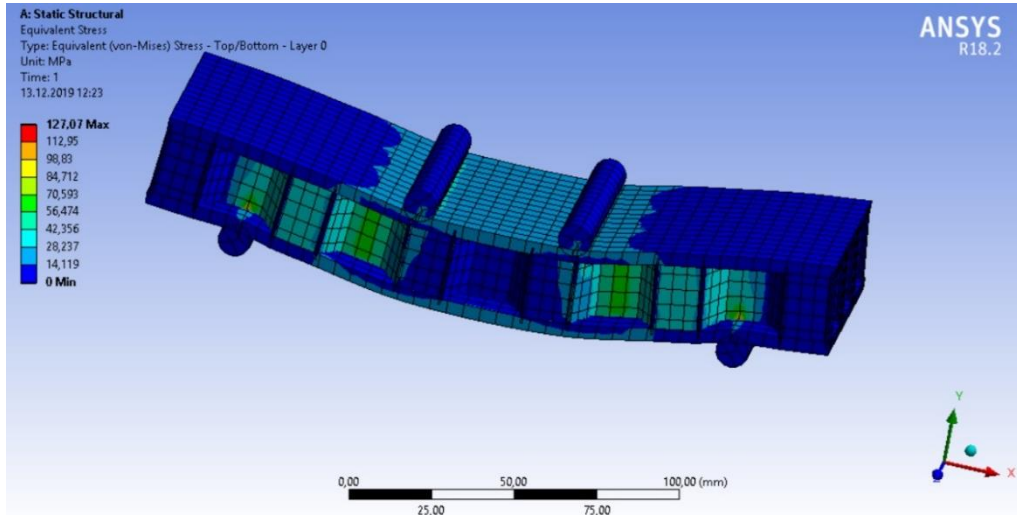
### 5.3.8 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 5 (Bal Peteği)

Bal peteği yapının gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.105: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.105'te görüldüğü gibi 5.000 N'deki maksimum çökme miktarı 0,142 mm olmuştur.

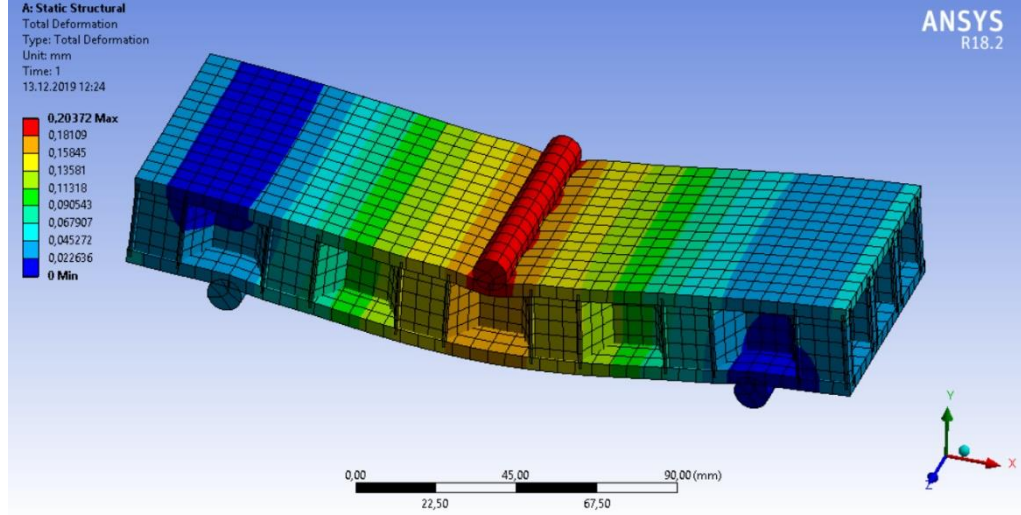


Şekil 5.106: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.106'te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 58,795 MPa olarak gerçekleşmiştir.

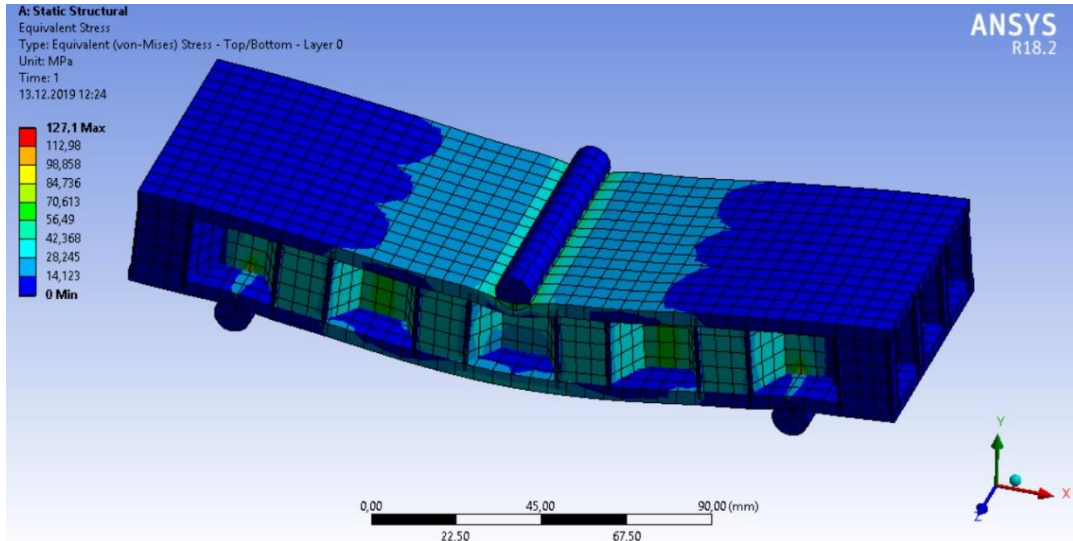
### 5.3.9 Alüminyum - Epoksi Karbon Çalışması 6 (Bal Peteği)

Bal peteği yapının gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemeleri kullanarak üst yüzeye bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.107: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.107’te görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,203 mm olmuştur.



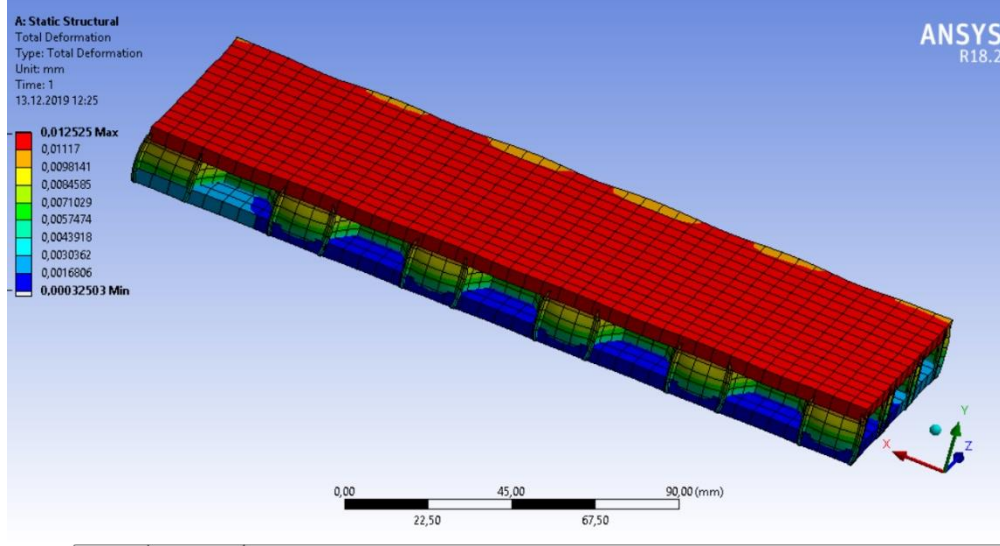
Şekil 5.108: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon Prepreg – Alüminyum.

Şekil 5.108’da eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 127,1 MPa olarak gerçekleşmiştir.



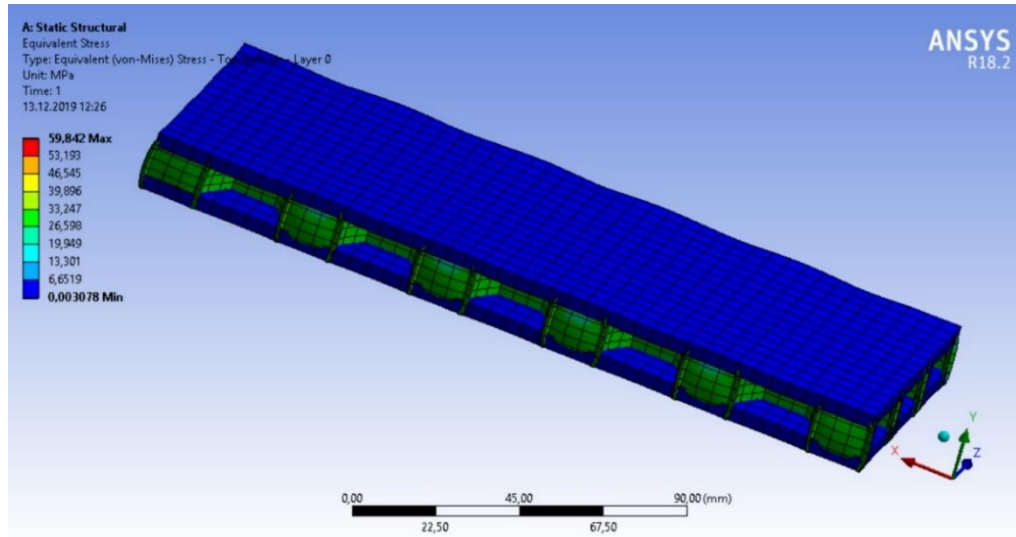
### 5.3.10 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 4 (Bal Peteği)

Bal peteği yapının gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye 40.000 N yük uygulayarak, alt yüzeyden sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.109: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.109’de görüldüğü gibi 40.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,012 mm olmuştur.

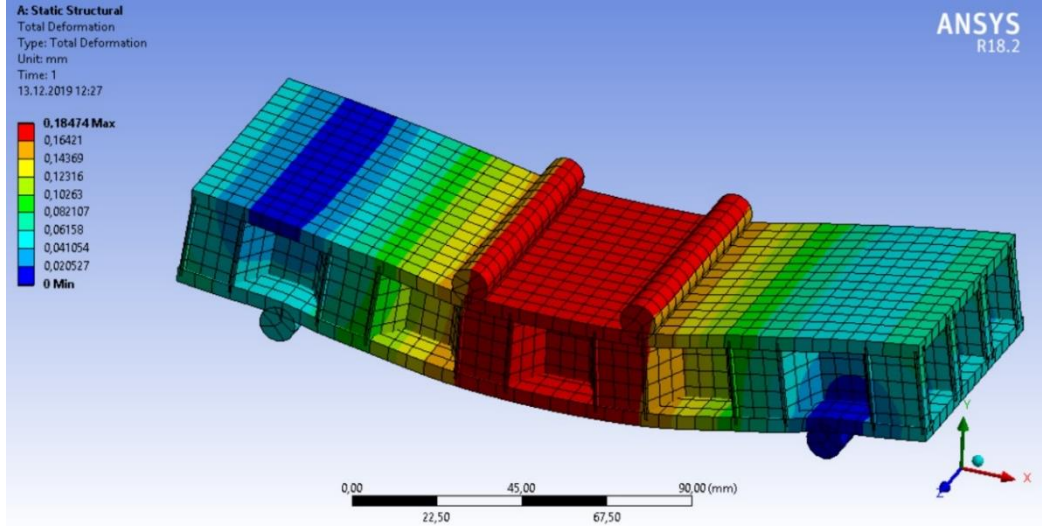


Şekil 5.110: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.110’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 59,842 MPa olarak gerçekleşmiştir.

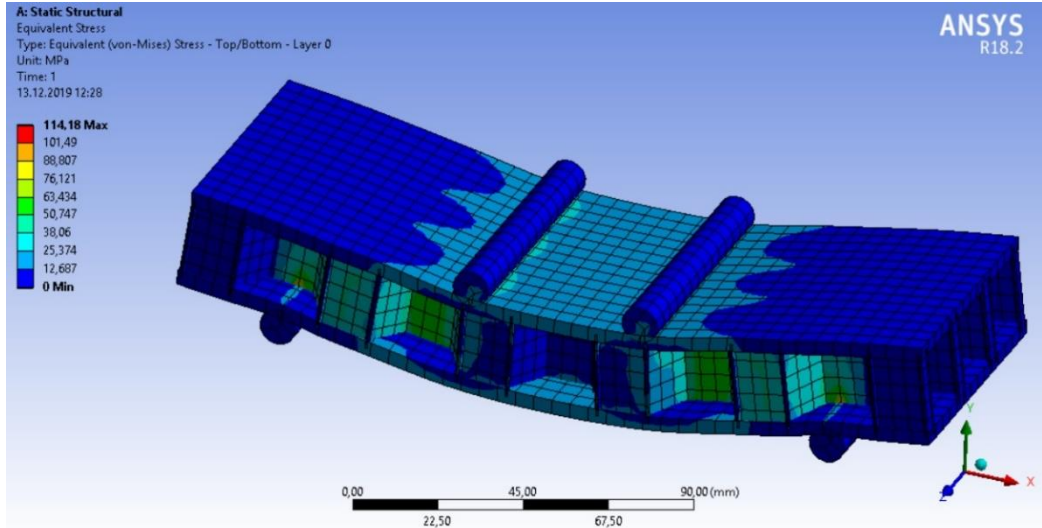
### 5.3.11 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 5 (Bal Peteği)

Bal peteği yapının gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye iki noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.111: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.111’da görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,184 mm olmuştur.

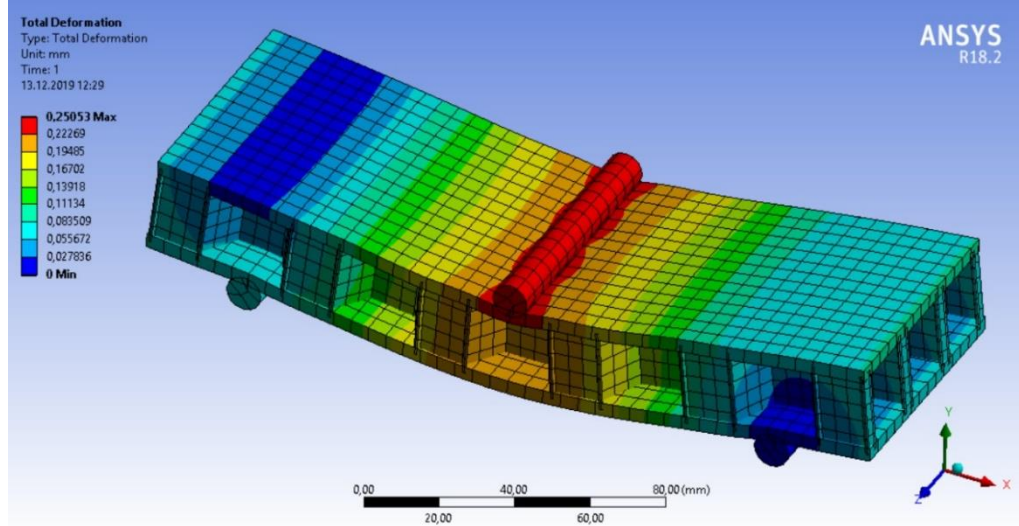


Şekil 5.112: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.112’te eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 114,18 MPa olarak gerçekleşmiştir.

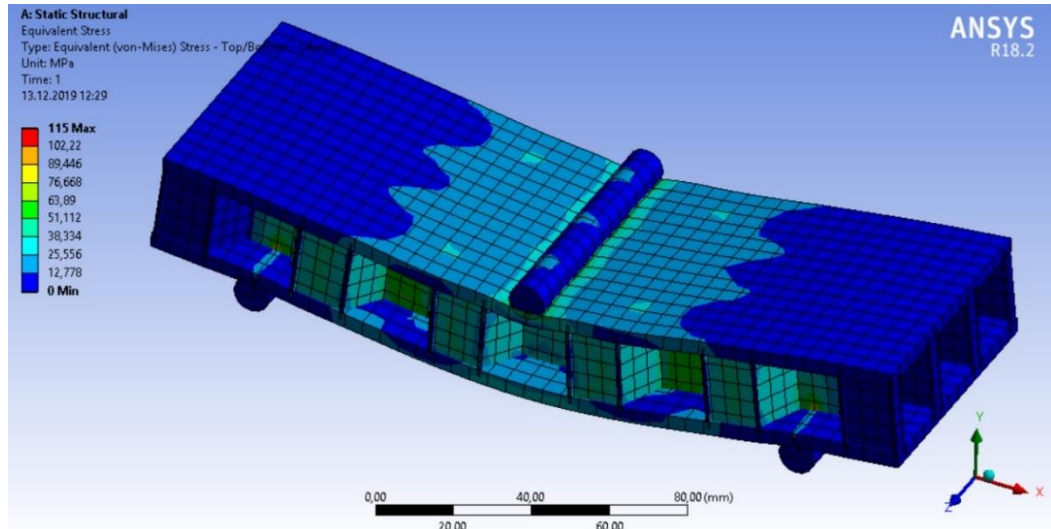
### 5.3.12 Alüminyum - Epoksi E-Cam Çalışması 6 (Bal Peteği)

Bal peteği yapının gövdesi alüminyum, yüzeyi Epoksi E-Cam malzemeleri kullanarak üst yüzeye bir noktadan 5.000 N yük uygulayarak, alt yüzeye de iki noktadan sabitleyerek elde ettiğimiz çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.113: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.113’de görüldüğü gibi 5.000 N’deki maksimum çökme miktarı 0,250 mm olmuştur.



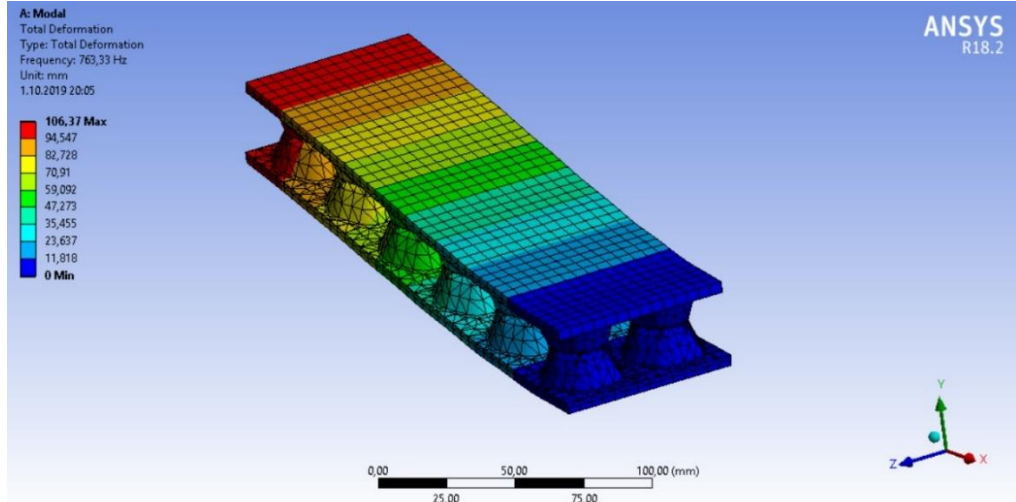
Şekil 5.114: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber – Alüminyum.

Şekil 5.114’de eşdeğer gerilmeler gösterilmiştir. En yüksek gerilme 115 MPa olarak gerçekleşmiştir.

## 5.4 Modal Analiz

### 5.4.1 Modal Analiz Çalışma 1 (Özgün Tasarım)

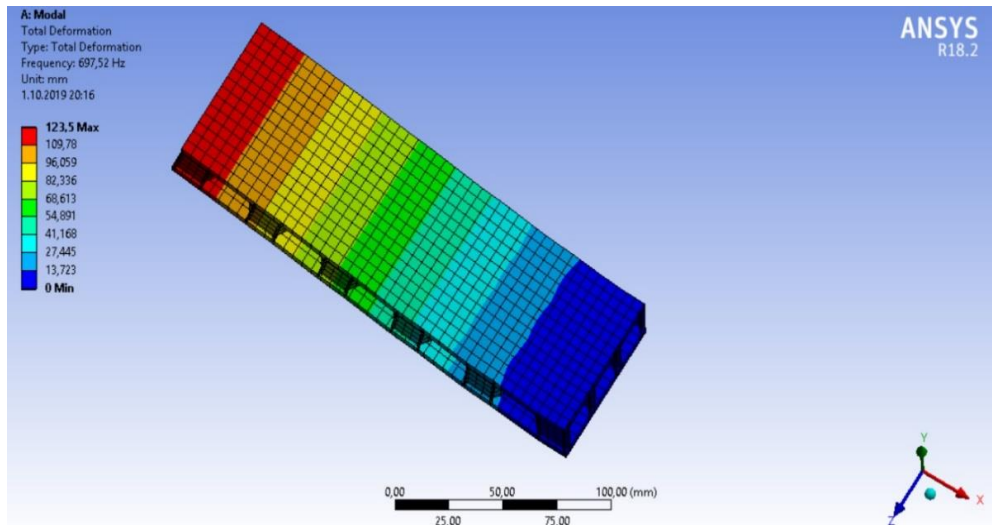
Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak modal analizi gerçekleştirilmiştir. Mod 1'de 763,33 Hz frekansta Şekil 5.115'teki sonuçlar elde edilmiştir. 106,37 mm yer değiştirme görülmüştür.



Şekil 5.115: Modal Analiz Epoksi Karbon Prepreg Mod 1.

### 5.4.2 Modal Analiz Çalışma 2 (Bal Peteği)

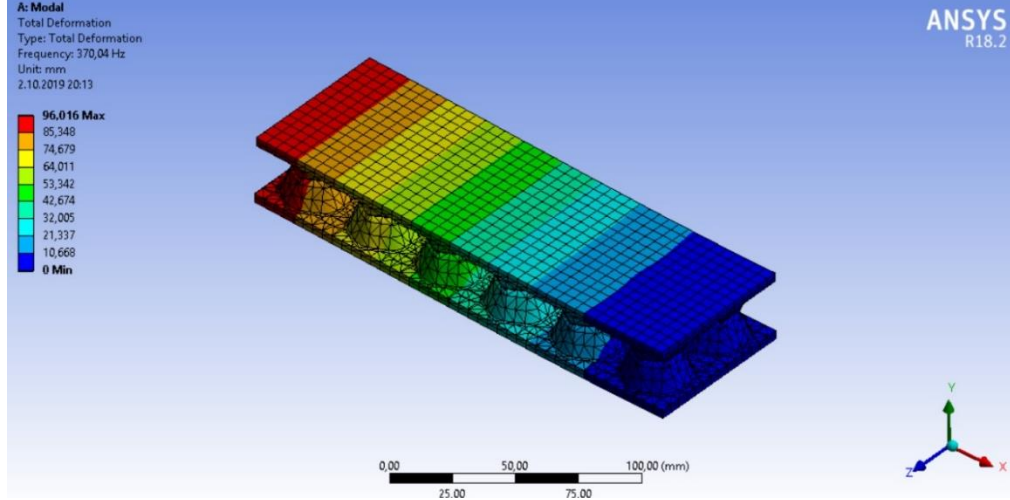
Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak modal analizi gerçekleştirilmiştir. Mod 1'de 697,52 Hz frekansta Şekil 5.116'teki sonuçlar elde edilmiştir. 123,5 mm yer değiştirme görülmüştür.



Şekil 5.116: Modal Analiz Epoksi Karbon Prepreg Mod 1.

### 5.4.3 Modal Analiz Çalışma 3 (Özgün Tasarım)

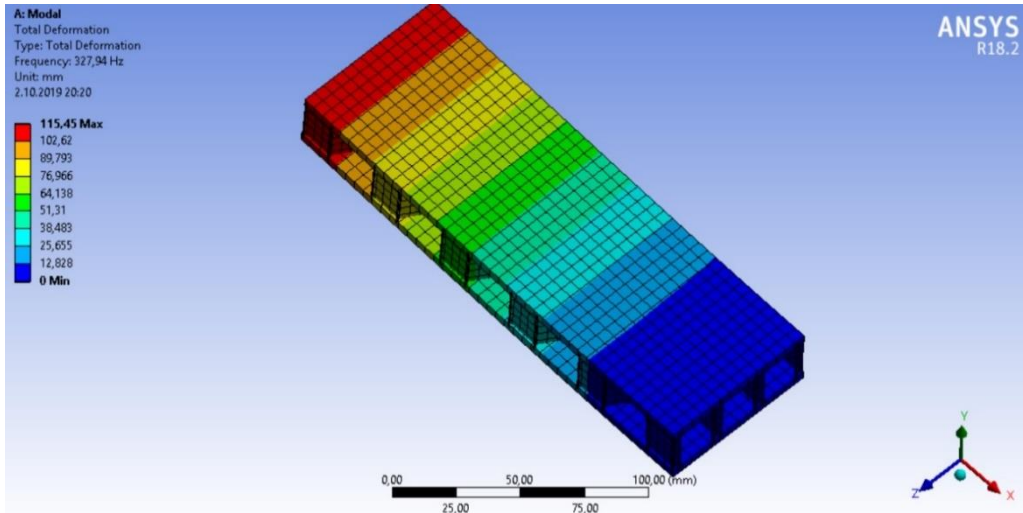
Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak modal analizi gerçekleştirilmiştir. Mod 1’de 370,04 Hz frekansta Şekil 5.117’teki sonuçlar elde edilmiştir. 96,016 mm yer değiştirme görülmüştür.



Şekil 5.117: Modal Analiz Cam Fiber Mod 1.

### 5.4.4 Modal Analiz Çalışma 4 (Bal Peteği)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak modal analizi gerçekleştirilmiştir. Mod 1’de 327,94 Hz frekansta Şekil 5.118’deki sonuçlar elde edilmiştir. 96,016 mm yer değiştirme görülmüştür.



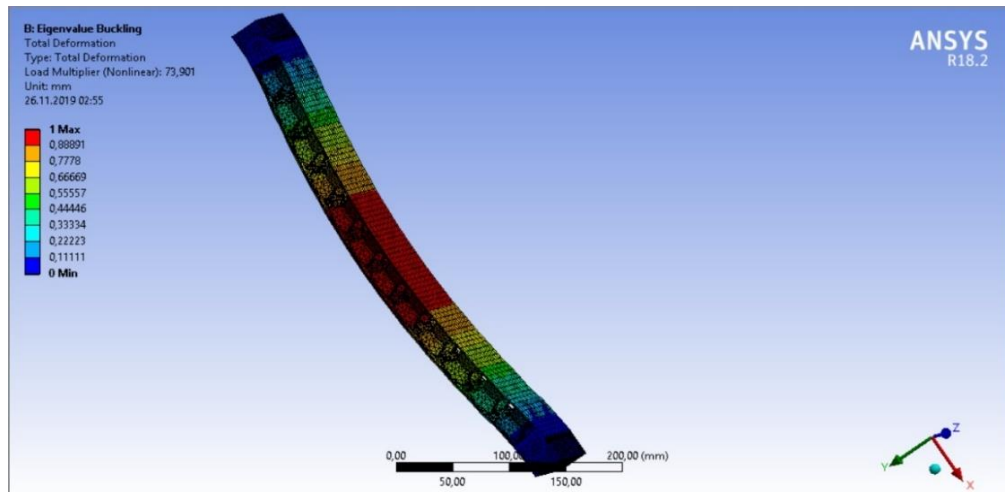
Şekil 5.118: Modal Analiz Cam Fiber Mod 1.

## 5.5 Burkulma Analizi

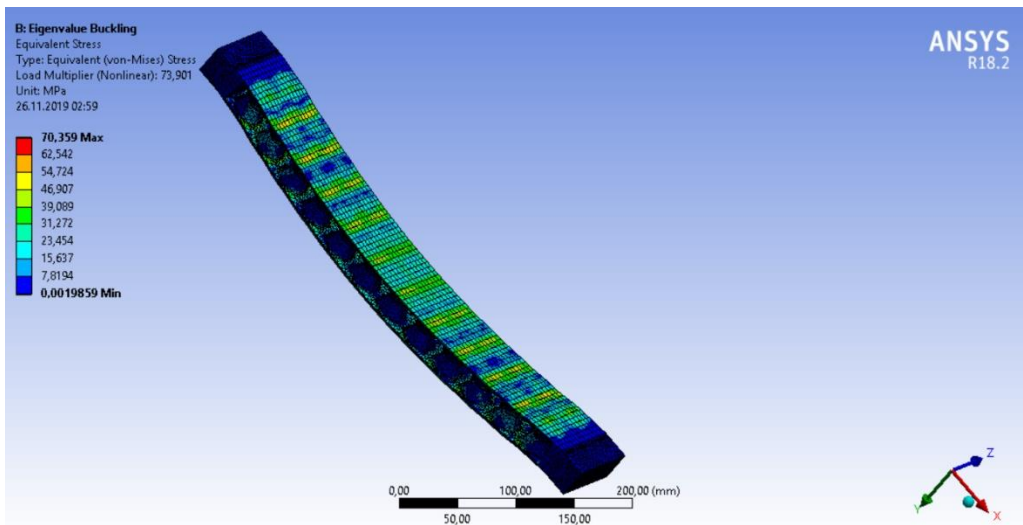
Burkulma analizinde boyu iki katına çıkarılarak (420mm) elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

### 5.5.1 Burkulma Analizi Epoksi Karbon Çalışma 1 (Özgün Tasarım)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak üst yüzeyden 1.000 N yük uygulayarak, her iki ucu mafsallı bağlantıda burkulma analizi sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.119: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.  
Şekil 5.119’de görüldüğü gibi kritik yük 73,901 N olarak çıkmıştır.

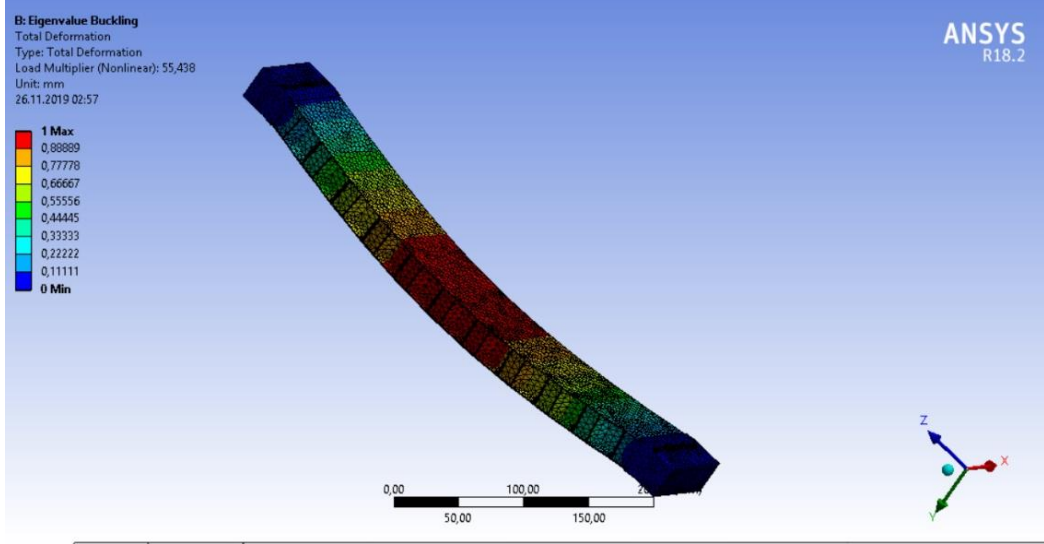


Şekil 5.120: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.120’de eşdeğer gerilmeler görülmekte olup en yüksek 70,359 MPa olarak elde edilmiştir.

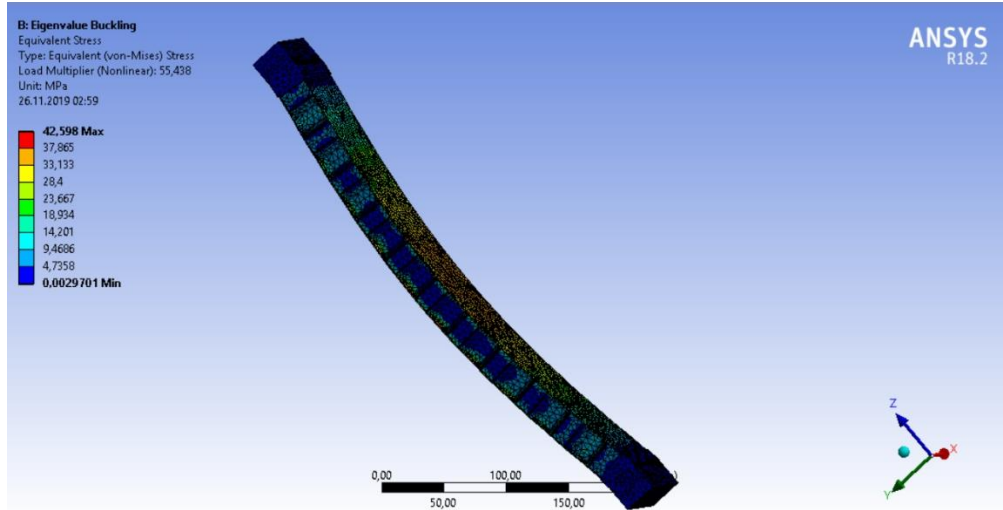
## 5.5.2 Burkulma Analizi Epoksi Karbon Çalışma 2 (Bal Peteği)

Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg malzemesini kullanarak bir noktadan 1.000 N yük uygulayarak, her iki ucu pim mafsallı burkulma analizi sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 5.121: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.121’da görüldüğü gibi kritik yük 55,438 N olarak çıkmıştır.

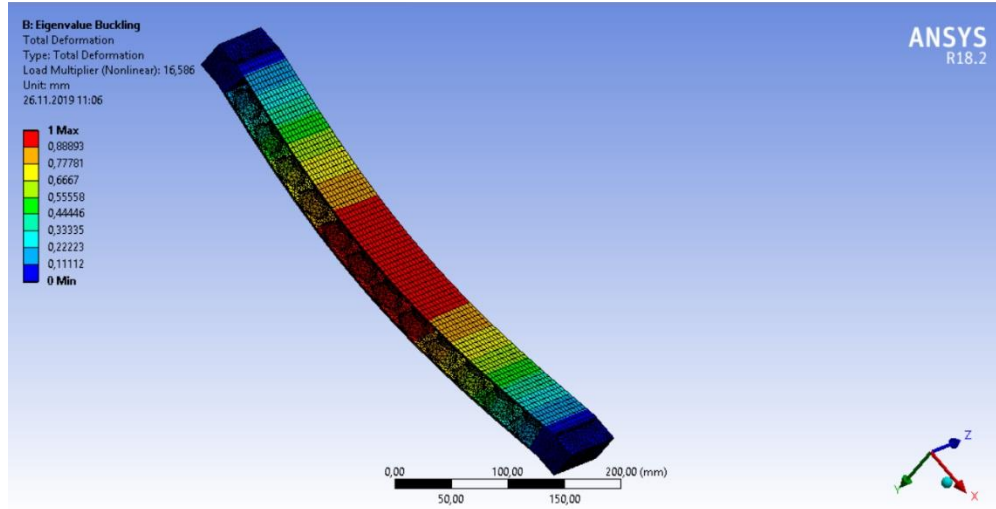


Şekil 5.122: Eşdeğer Gerilme Epoksi Karbon (230 GPa) Prepreg.

Şekil 5.122’de eşdeğer gerilmeler görülmekte olup en yüksek 42,598 MPa olarak elde edilmiştir.

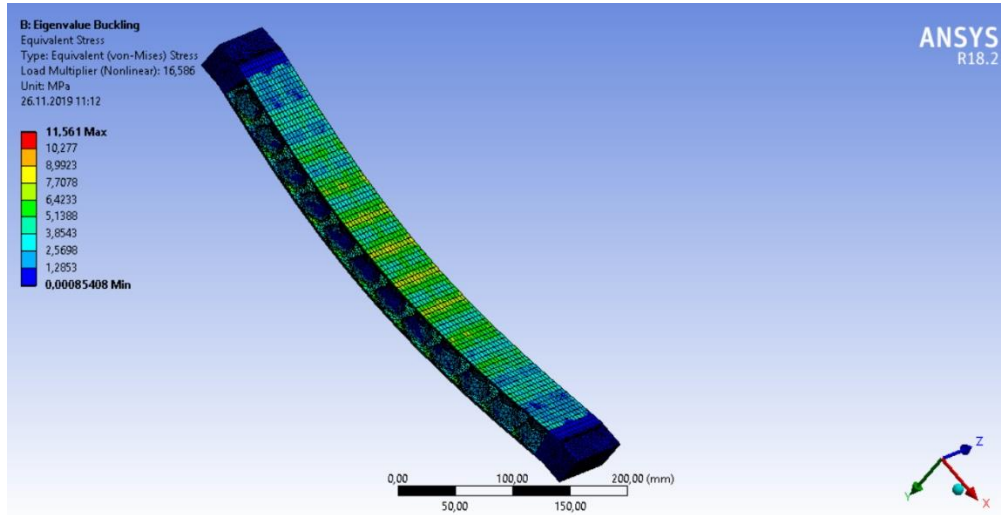
### 5.5.3 Burkulma Analizi E Cam Çalışma 3 (Özgün Tasarım)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak bir noktadan 1.000 N yük uygulayarak, her iki ucu pim mafsallı burkulma analizi sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 5.123: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.123’de görüldüğü gibi kritik yük 16,586 N olarak çıkmıştır.



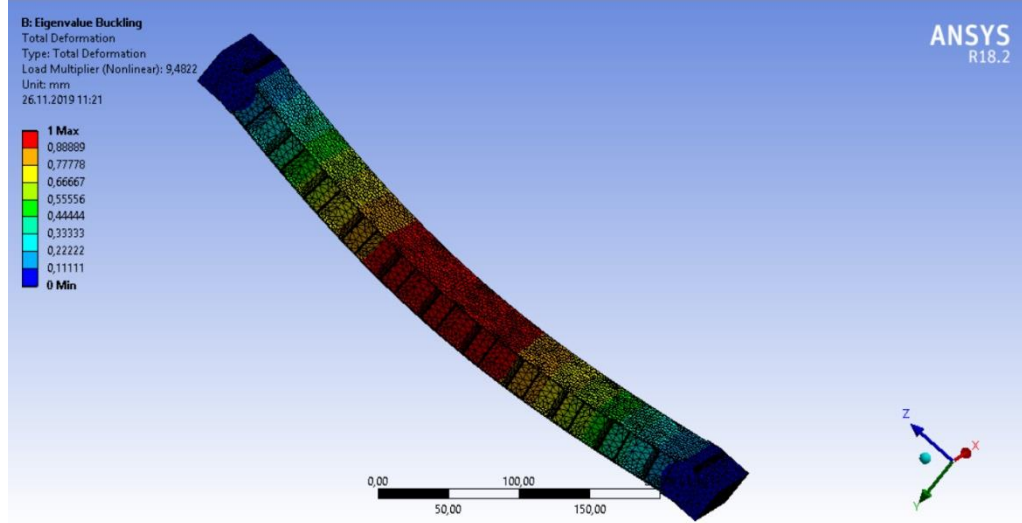
Şekil 5.124: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.124’de eşdeğer gerilmeler görülmekte olup en yüksek 11,561 MPa olarak elde edilmiştir.



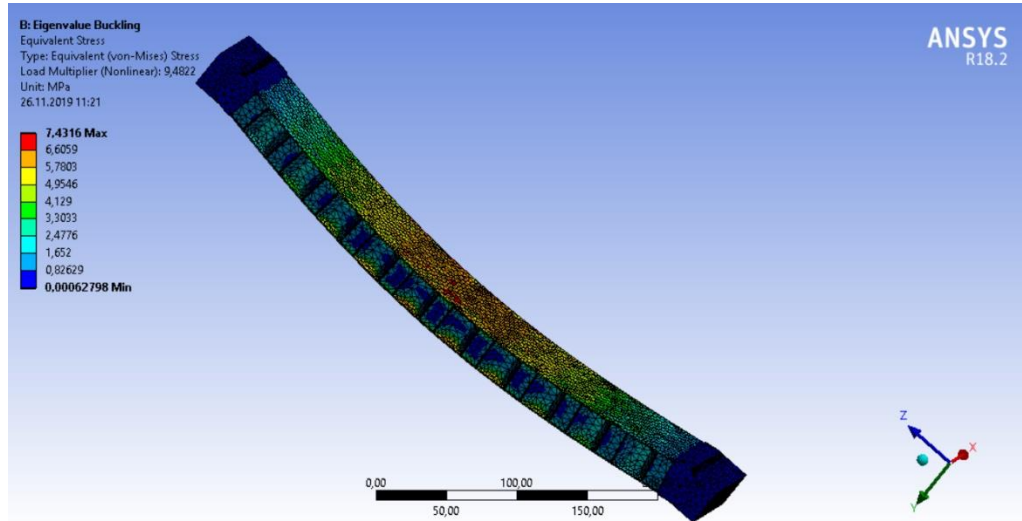
#### 5.5.4 Burkulma Analizi E Cam Çalışma 4 (Bal Peteği)

Epoksi E-Cam malzemesini kullanarak bir noktadan 1.000 N yük uygulayarak, her iki ucu pim mafsallı burkulma analizi sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 5.125: Toplam Çökme Miktarı Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.125'te görüldüğü gibi kritik yük 9,482 N olarak çıkmıştır.



Şekil 5.126: Eşdeğer Gerilme Epoksi Cam Fiber.

Şekil 5.126'te eşdeğer gerilmeler görülmekte olup en yüksek 7,431 MPa olarak elde edilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada kompozit malzemelerin avantajları kullanılmak istenerek bal peteği yapılara alternatif üretimi daha kolay olacak bir tasarım düşünülmüştür. Yumurta viyolünden yola çıkarak oluşturulan özgün tasarımın, bal peteği yapılarla mukavemetinin karşılaştırılması Ansys ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu özgün tasarımın kompozit olarak üretim yöntemi bal peteği yapılara göre avantaj sağlamaktadır. Şekle uygun yapılacak kalıpla üretimi, bal peteği yapılara göre işçilik maliyetini oldukça düşürmektedir. Ansys analizlerini yaparken kompozit bölümünde (ACP) analizler gerçekleştirilmiştir. Aynı analizler Ansys'in statik yapı analizinde de gerçekleştirilmiştir. Çıkan sonuçlar kıyaslanmıştır.

Kompozit malzemelerle tabaka tabaka oluşturulan yapıların eğimli ve radyüslü şekillerde olması analizlerin sağlıklı sonuçlar elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Ansys'in ACP eklentisinde malzeme tabakalarının yüzeye dik alınabilmesini sağlayacak koordinatlar verilebilmektedir. Ancak bu durum Statik Yapı Analizi kısmında gerçekleştirilememektedir. Bu durum farklı sonuçlar çıkmasına sebep olmuştur.

Analizler karbon epoksi, e-cam ve alüminyum malzemeler kullanılarak yapılmıştır. Gövde ve yüzeyi aynı malzeme kullanılarak sırayla karbon epoksi ve e-cam malzemeleri ile analizler yapılmıştır. Diğer analizler gövdede alüminyum malzeme, yüzeylerde ise sırayla karbon epoksi ve e-cam kullanılarak yapılmıştır. Ansys'in kompozit malzemeler için oluşturduğu analiz bölümü ACP'deki sonuçlar, normal yapılar için kullanılan Static Structural bölümünde çıkan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.1'de gösterildiği gibi bu özgün tasarım, yapıya enerji absorbe edebilme özelliği kazandırmıştır. Ansys'in ACP kısmında yapılan ezme analizinde dezavantajlı durumundaki yapı üç nokta eğme ve dört nokta eğme analizlerinde bal peteği yapılara göre avantajlı sonuçlar vermiştir. Bal peteği yapılardaki üç nokta ve dört nokta eğme analizlerinde gerilmelerin yüksek çıktıkları noktalar, yüzey ile bağlantı noktalarıdır. Bağlantı yüzeyinin düşük olması da bu gerilmenin yüksek olmasına etkindir.

**Tablo 6.1:** Yapılardaki maksimum gerilme ve deformasyon değerleri

<b>Ansys Workbench Kompozit Yapı Analizi (ACP)</b>				
	<b>Epoksi Karbon 1</b>		<b>Epoksi Karbon 2</b>	
	<b>Deformasyon</b>	<b>Gerilme</b>	<b>Deformasyon</b>	<b>Gerilme</b>
<b>Ezme Testi</b>	0,058 mm	83 MPa	0,014 mm	44 MPa
<b>4 Nokta Eğme</b>	0,21 mm	76 MPa	0,37 mm	361 MPa
<b>3 Nokta Eğme</b>	0,26 mm	82 MPa	0,51 mm	295 MPa
	<b>Epoksi E-Cam 1</b>		<b>Epoksi E-Cam 2</b>	
<b>Ezme Testi</b>	0,10 mm	82 MPa	0,08 mm	34 MPa
<b>4 Nokta Eğme</b>	0,37 mm	58 MPa	1,12 mm	270 MPa
<b>3 Nokta Eğme</b>	0,48 mm	62 MPa	1,53 mm	305 MPa
	<b>Özgün Tasarım</b>		<b>Bal Peteği</b>	

Ansys ACP ile yapılan analizler Static Structural kısmında da yapılarak yeni sonuçlar alınmıştır. Kompozit malzemelerde tasarımdaki şekle göre koordinatların her bir noktaya göre farklılık göstermesi gerekmektedir. Static Structural kısmındaki analizde bu farklılık belirlenememektedir. Bu durum sonuçlarda farklılık ortaya çıkarmıştır. Ansys'in ACP kısmının kompozit malzeme özelliklerine göre daha uygun sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Static Structural'daki analizde bal peteği yapıların değerleri, özgün tasarıma göre Tablo 6.2'de görüldüğü gibi daha iyi çıkmıştır.

**Tablo 6.2:** Yapılardaki maksimum gerilme ve deformasyon değerleri

<b>Ansys Workbench Statik Yapı Analizi</b>				
	<b>Epoksi Karbon 1</b>		<b>Epoksi Karbon 2</b>	
	<b>Deformasyon</b>	<b>Gerilme</b>	<b>Deformasyon</b>	<b>Gerilme</b>
<b>Ezme Testi</b>	0,25 mm	117 MPa	0,11 mm	86 MPa
<b>4 Nokta Eğme</b>	0,58 mm	151 MPa	0,56 mm	70 MPa
<b>3 Nokta Eğme</b>	0,79 mm	161 MPa	0,78 mm	135 MPa
	<b>Epoksi E-Cam 1</b>		<b>Epoksi E-Cam 2</b>	
<b>Ezme Testi</b>	0,19 mm	156 MPa	0,08 mm	57 MPa
<b>4 Nokta Eğme</b>	0,54 mm	123 MPa	0,46 mm	54 MPa
<b>3 Nokta Eğme</b>	0,73 mm	123 MPa	0,64 mm	102 MPa
	<b>Özgün Tasarım</b>		<b>Bal Peteği</b>	

Gövdesi alüminyum, yüzeyleri karbon ve e-cam olan malzemelerle yapılan analizlerde Tablo 6.3'teki sonuçlara ulaşılmıştır. Ansys'in ACP kısmında alüminyum malzeme seçilemediği (kompozit olmadığı) için gövde kısmı ile ilgili gerilmeler elde edilememiştir. Alınan sonuçlar yüzeylerdeki deformasyonları ve maksimum gerilmeleri vermektedir. Bu durumda bal peteği yapılar daha avantajlı sonuçlar vermiştir.

Gövdenin alüminyum ve yüzeyin kompozit olduğu durumda kompozit kompozit yapıya göre dezavantajlı olduğu Tablo 6.1 ve Tablo 6.3'teki sonuçlar karşılaştırıldığında görülmektedir.

**Tablo 6.3:** Alüminyum gövde kompozit yüzeylerin ACP analiz sonuçları

<b>Ansys Workbench Kompozit Yapı Analizi (ACP)</b>				
	<b>Alüminyum - Karbon 1</b>		<b>Alüminyum - Karbon 2</b>	
	<b>Deformasyon</b>	<b>Gerilme</b>	<b>Deformasyon</b>	<b>Gerilme</b>
<b>Ezme Testi</b>	0,058 mm	8,63 MPa	0,018 mm	3,55 MPa
<b>4 Nokta Eğme</b>	0,248 mm	50,64 MPa	0,123 mm	37,95 MPa
<b>3 Nokta Eğme</b>	0,291 mm	63,54 MPa	0,190 mm	65,024 MPa
	<b>Alüminyum - E-Cam 1</b>		<b>Alüminyum - E-Cam 2</b>	
<b>Ezme Testi</b>	0,056 mm	6,42 MPa	0,015 mm	3,12 MPa
<b>4 Nokta Eğme</b>	0,275 mm	44,99 MPa	0,148 mm	39,55 MPa
<b>3 Nokta Eğme</b>	0,317 mm	54,996 MPa	0,217 mm	59,247 MPa
	<b>Özgün Tasarım</b>		<b>Bal Peteği</b>	

Alüminyum gövde ve kompozit yüzey malzemelerle, Ansys'in Static Structural kısmında yapılan analiz sonuçları Tablo 6.4'te verilmiştir. Bu yapılar birbirine yakın sonuçlar vermesine karşın bal peteği yapıların biraz daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Tablo 6.4'teki verilerin Tablo 6.3'teki verilerle karşılaştırıldığında çıkan fark, Tablo 6.3'teki verilerin sadece yüzeyden alınmasından Tablo 6.4'teki veriler ise hem yüzey hem de gövdenin dahil edilerek alınmasından meydana gelen sonuçlardır. Tablo 6.4'te gerilmelerde oluşan yüksek değerler gövdede oluşan değerlerdir. Bu farklılıkların kaldırılmasıyla oluşturulan veriler Tablo 6.5'te verilmiştir.

**Tablo 6.4:** Alüminyum gövde ve kompozit yüzeşerin static structural analiz sonuçları

<b>Statik Yapı Analizi</b>				
	<b>Alüminyum - Karbon 1</b>		<b>Alüminyum - Karbon 2</b>	
	<b>Deformasyon</b>	<b>Gerilme</b>	<b>Deformasyon</b>	<b>Gerilme</b>
<b>Ezme Testi</b>	0,042 mm	123,68 MPa	0,013 mm	58,795 MPa
<b>4 Nokta Eğme</b>	0,180 mm	122,74 MPa	0,142 mm	127,07 MPa
<b>3 Nokta Eğme</b>	0,227 mm	120,83 MPa	0,203 mm	127,1 MPa
	<b>Alüminyum - E-Cam 1</b>		<b>Alüminyum - E-Cam 2</b>	
<b>Ezme Testi</b>	0,042 mm	133,38 MPa	0,012 mm	59,842 MPa
<b>4 Nokta Eğme</b>	0,207 mm	124,05 MPa	0,184 mm	114,18 MPa
<b>3 Nokta Eğme</b>	0,252 mm	133,65 MPa	0,250 mm	115 MPa
	<b>Özgün Tasarım</b>		<b>Bal Peteği</b>	

Sonuçlar değerlendirildiğinde, kompozit malzeme kullanıldığında özgün tasarım, bal peteği yapılara göre gerilme avantajları sağlamaktadır. Bu sonuçtaki etken özgün yapının geometrik şeklinden kaynaklanmaktadır.

Özgün tasarımın geometrik yapıları gereği, gelen kuvvetleri absorbe etme özelliği bal peteklerine göre daha yüksektir. Ancak çökme miktarları da yüksektir. Yapılan analizlerde gövde, alüminyum bir malzemedan yapıldığında bal peteği yapıların daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada Ansys programından elde edilen verilerin kontrolü ve hataların önüne geçebilmek için Static Structural ve ACP kullanılmıştır.

Ansys'in Static Structural kısmında yapılan analizlerde kompozit malzemeler kullanılarak özgün tasarım ve bal peteği yapının sonuçlarının birbirine yakın olması kompozit malzemelerin tabaka yönlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ansys'in bu kısmında tek bir koordinat tanımlaması yapılabilmesi geometrik şeklin yapısı gereği yetersiz kalmıştır. Kompozit malzemelerde tabaka yönlerinin sonuçları doğrudan etkilediği düşünüldüğünde, Ansys ACP kısmındaki sonuçların tutarlılığını göstermektedir.

Tablo 6.5'te yapıların üst yüzeylerindeki sonuçlar kıyaslanarak tablo oluşturulmuştur.

**Tablo 6.5:** Yapılan analizler sonucu yüzeylerde oluşan maksimum gerilme ve çökme miktarları.

Ansys Kompozit Yapı Analizi (ACP)				Ansys Kompozit Yapı Analizi (ACP)					
Epoksi Karbon 1		Epoksi Karbon 2		Alüminyum - Karbon 1		Alüminyum - Karbon 2			
Deformasyon	Gerilme	Deformasyon	Gerilme	Deformasyon	Gerilme	Deformasyon	Gerilme		
Ezme Testi	0,057 mm	5,32 MPa	0,014 mm	22,736 MPa	Ezme Testi	0,058 mm	8,63 MPa	0,018 mm	3,55 MPa
4 Nokta Eğme	0,19 mm	40,855 MPa	0,349 mm	131,13 MPa	4 Nokta Eğme	0,248 mm	50,64 MPa	0,123 mm	37,95 MPa
3 Nokta Eğme	0,26 mm	56,119 MPa	0,51 mm	206,81 MPa	3 Nokta Eğme	0,291 mm	63,54 MPa	0,190 mm	65,024 MPa
Epoksi E-Cam 1		Epoksi E-Cam 2		Alüminyum - E-Cam 1		Alüminyum - E-Cam 2			
Ezme Testi	0,10 mm	6,84 MPa	0,082 mm	17,407 MPa	Ezme Testi	0,056 mm	6,42 MPa	0,015 mm	3,12 MPa
4 Nokta Eğme	0,368 mm	46,134 MPa	1,06 mm	151,38 MPa	4 Nokta Eğme	0,275 mm	44,99 MPa	0,148 mm	39,55 MPa
3 Nokta Eğme	0,479 mm	62 MPa	1,53 mm	305 MPa	3 Nokta Eğme	0,317 mm	54,996 MPa	0,217 mm	59,247 MPa
Statik Yapı Analizi				Statik Yapı Analizi					
Epoksi Karbon 1		Epoksi Karbon 2		Alüminyum - Karbon 1		Alüminyum - Karbon 2			
Deformasyon	Gerilme	Deformasyon	Gerilme	Deformasyon	Gerilme	Deformasyon	Gerilme		
Ezme Testi	0,26 mm	7,83 MPa	0,10 mm	1,69 MPa	Ezme Testi	0,035 mm	8,09 MPa	0,013 mm	1,45 MPa
4 Nokta Eğme	0,57 mm	78,48 MPa	0,56 mm	70,78 MPa	4 Nokta Eğme	0,175 mm	45,58 MPa	0,136 mm	33,757 MPa
3 Nokta Eğme	0,79 mm	131,46 MPa	0,78 mm	135 MPa	3 Nokta Eğme	0,227 mm	53,297 MPa	0,203 mm	70,339 MPa
Epoksi E-Cam 1		Epoksi E-Cam 2		Alüminyum - E-Cam 1		Alüminyum - E-Cam 2			
Ezme Testi	0,18 mm	7,62 MPa	0,08 mm	2,10 MPa	Ezme Testi	0,035 mm	6,90 MPa	0,012 mm	1,50 MPa
4 Nokta Eğme	0,53 mm	64,64 MPa	0,46 mm	52,85 MPa	4 Nokta Eğme	0,202 mm	40,331 MPa	0,181 mm	32,028 MPa
3 Nokta Eğme	0,73 mm	94,95 MPa	0,64 mm	102,15 MPa	3 Nokta Eğme	0,252 mm	45,137 MPa	0,250 mm	63,436 MPa
Özgün Tasarım		Bal Petegi		Özgün Tasarım		Bal Petegi			

## 7. KAYNAKLAR

Ağır, İ., “Kıvrımsız Dikişli Cam Elyaf Kumaşlardan Üretilen Kompozit Plakların Darbe Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2012).

Akkuş, H., “Bal Peteği Yapıların Mekanik Davranışlarının Nano Parçacık Takviyeli Yapıştırıcı Kullanılarak Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, (2016).

Akkuş, H., Karabulut ve Düzcükoğlu, H., Impact Behavior Of Mwcnt Reinforced Epoxy Adhesive Bonded Joints Made With Aluminium. 15th International Materials Symposium (IMSP). Denizli, (2016),

Aktay and Johnson, Numerical Modelling of Honeycomb Core Crush Behaviour. Engineering Fracture Mechanics, (2008).

ANSYS 18.0 Procedures. Engineering Analysis System Verification Manual, V. 1., Houston, PA, USA, (2018).

Balkan, D., “Viskoelastik Çekirdeğe Sahip Sandviç Kompozit Plakların Anlık Basınç Yüğü Altındaki Davranışının Teorik ve Deneysel İncelenmesi” Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2012).

Başdemir ve Elibol, Sandviç Kompozit Plakalarda Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Gerilme Analizi, İzmir, (2012).

Bektaş, N. B., ANSYS Workbench ile Yapısal ve Termal Analiz, Denizli, (2019).

Berthelot, Composite Materials Mechanical Behavior and Structural Analysis, (1999).

Bolat, Ç., “Bal Peteği Sandviç Kompozit Yapıların Dinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erzurum Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, (2011).

Ercan, H., “Uçak Sanayisinde Kullanılan Bal Peteği Kompozitlerinin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi”, 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, (2006),

Kaya, B., Kompozitlerinin Mekanik Alaşımlama ve Sinterleme Süreçlerinin İncelenmesi ve Karakterizasyon Çalışmaları”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2014).

Lawrence, K., Ansys Workbench Tutorial Structural and Thermal Analysis Using the Ansys Workbench Release 14 Environment, Texas, (2012).

Şakar, G., Yaman, M. Ve Bolat, F. Ç., “Balpeteği Sandviç Kompozit Yapıların Dinamik Analizi”, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, (2010).

TAI., Hexcell Seminer Notları, *İstanbul Teknik Üniversitesi Denizcilik Fakültesi*, İstanbul, (1995).

Turan, K. Ve Kaman, “M. O. Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında İlerlemeli Hasar Analizi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (2010).



## 8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : FATİH ÖZTEKİN

Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ 19/08/1991

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : [oztekinfh@gmail.com](mailto:oztekinfh@gmail.com)

İletişim Adresi : Zümrüt Mahallesi 2083 Sokak No:12

Pamukkale / DENİZLİ