

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

**2014/29/AB STANDARTLARINA UYGUN İÇTEN BASINCA MARUZ
KOMPOZİT BASINÇLI KAP TASARIMI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERKAN BOZKURT

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Mahir UZUN**

BİNGÖL-2018

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


2014/29/AB STANDARTLARINA UYGUN İÇTEN BASINCA MARUZ
KOMPOZİT BASINÇLI KAP TASARIMI VE ANALİZİ

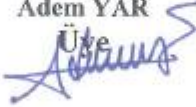
YÜKSEK LİSANS TEZİ

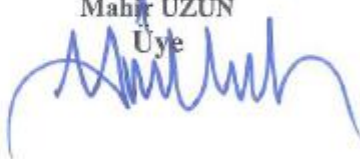
Serkan BOZKURT

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 10.07.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Uğur ÇALIGÜLÜ
Jüri Başkanı


Dr. Öğr. Üyesi
Adem YAR
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Mahir UZUN
Üye


Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması esnasında yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen, çalışmaların her aşamasında bilgi birikimi desteğini hiç eksik etmeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mahir UZUN'a teşekkür ederim.

Araştırmalarım zamanımda bana teknik konularda yardım eden ve Bilgisayar programlarında gerekli analizler için tecrübelerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı ŞANLITÜRK'e, Makine Mühendisi Mesut KORKMAZ, Makine Yüksek Mühendisleri Hasan Celal KILIÇ ve İlker COŞAR'a teşekkür ederim.

Son olarak tezin hazırlanması esnasında bende maddi ve manevi büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, gösterdikleri sabır ve dualarını esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Serkan BOZKURT

Bingöl 2018

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. KOMPOZİT MALZEMELERE GİRİŞ.....	9
3.1. Kompozit Malzemelerin Tanımlanması.....	9
3.2. Takviye Elemanları (Elyaf lar).....	10
3.2.1. Cam Elyaf lar.....	11
3.2.2. Karbon Elyaf lar.....	12
3.2.3. Kevlar(Aramid) Elyaf lar.....	12
3.3. Matris Malzemeler(Reçineler).....	14
3.3.1. Epoksi Reçine.....	15
3.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	17
3.4.1. Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	17
3.4.1.1. Tabakalı Yapı Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	17
3.4. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	18
3.5.1. Havacılık Sanayi.....	18
3.5.2. Denizcilik Sanayi.....	18
3.5.3. Spor Araç ları.....	19
3.5.4. Korozyona Dayanıklı Ürünler.....	19

3.5.5. Sağlık Sektörü.....	19
3.5.6. Ulaşım Sektörü.....	19
3.5.7. Müzik Aletleri.....	20
3.5.8. Yapı Sektörü.....	20
3.6. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	20
3.6.1. Termoset Matrisli Kompozitler.....	20
3.6.2. Termoplastik Matrisli Kompozitler.....	20
3.6.1.1. Filament Sarma Yöntemi.....	21
3.6.1.1. Santrifüj(Merkezkaç) Kalıplama Yöntemi.....	22
3.7. Kompozit Malzemelerin Mekanik Analizleri.....	23
3.7.1. Bir Tabakanın Makromekanik Analizi.....	24
3.7.2. Bir Tabakanın Mikromekanik Analizi.....	25
3.7.2.1. Hacim Oranları.....	25
3.7.2.2. Kütle Oranları.....	26
3.7.2.3. Kompozitin Yoğunluğu.....	27
3.7.2.4. Boyuna Elastisite Modülünün Hesaplanması.....	27
3.7.2.5. Enine Elastisite Modülünün Hesaplanması.....	29
3.7.2.6. Major Poisson Oranı.....	31
3.7.2.7. Düzlem Kayma Modülü.....	33
4. KOMPOZİT BASINÇLI KAPLAR.....	36
4.1. Kompozit Basınçlı Kapların Geliştirilmesi.....	36
4.2. Kompozit Basınçlı Kapların Yapısı.....	36
4.3. Kompozit Basınçlı Kapların Özellikleri.....	36
4.3. İç Basınca Maruz İnce Cidarlı Basınçlı Kapların Düzlem Gerilme ve Von-mises Kriteri.....	36
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
5.1. Kompozit Basınçlı Kapların Geliştirilmesi.....	36
5.1.1. Cam Elyaf/Epoksi Malzemesinin Hesabı.....	45
5.1.2. Karbon Elyaf/Epoksi Malzemesinin Hesabı.....	46
5.1.3. Kevlar Elyaf/Epoksi Malzemesinin Hesabı.....	48

5.2. Basınçlı Kabın Modellenmesi.....	50
5.3. Basınçlı Kap Gerilme ve Şekil Değişirme Analiz Aşamaları.....	51
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57
6.1. Sonuçlar.....	57
6.1.1. Cam Elyaf/Epoksi Basınçlı Kap Gerilme ve Şekil Değişirme Analizleri	57
6.1.2. Karbon Elyaf/Epoksi Basınçlı Kap Gerilme ve Şekil Değişirme Analizleri	69
6.1.3. Kevlar Elyaf/Epoksi Basınçlı Kap Gerilme ve Şekil Değişirme Analizleri	81
6.2. Öneriler.....	100
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	106

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

V_f	: Fiber hacim oranı
V_m	: Matris hacim oranı
V_f	: Fiber hacim
V_c	: Kompozit hacim
V_m	: Matris hacim
W_f	: Fiber kütle oranı
w_f	: Fiber kütle
w_c	: Kompozit kütle
w_m	: Matris kütle
W_m	: Matris kütle oranı
ρ_f	: Fiber yoğunluğu
ρ_c	: Kompozit yoğunluğu
ρ_m	: Matris yoğunluğu
F_c	: Kompozit yükü
F_f	: Fiber yükü
F_m	: Matris yükü
σ_c	: Kompozit gerilme
σ_f	: Fiber gerilme

σ_m	: Matris gerilme
A_c	: Kompozitin alanı
A_f	: Fiberin alanı
A_m	: Matrisin alanı
E_{11}	: Boyuna Elastisite Modül
E_{22}	: Enine Elastisite Modül
ε_c	: Kompozit şekil değiştirme
ε_f	: Fiber şekil değiştirme
ε_m	: Matris şekil değiştirme
E_f	: Fiber elastisite modül
E_m	: Matris elastisite modül
Δ_c	: Kompozit enine uzama
Δ_f	: Fiber enine uzama
Δ_m	: Matris enine uzama
t_c	: Kompozit kalınlığı
t_f	: Fiber kalınlığı
t_m	: Matris kalınlığı
μ_f	: Fiber poisson oranı
μ_m	: Matris poisson oranı
μ_{12}	: Kompozit poisson oranı
δ_c	: Kompozit kayma deformasyonu
δ_f	: Fiber kayma deformasyonu
δ_m	: Matris kayma deformasyonu
γ_c	: Kompozit kayma şekil değiştirmeleri
γ_f	: Fiber kayma şekil değiştirmeleri

γ_m	: Matris kayma şekil değiştirmeleri
τ_c	: Kompozit kayma gerilmesi
τ_f	: Fiber kayma gerilmesi
τ_m	: Matris kayma gerilmesi
G_f	: Fiber kayma modülü
G_m	: Matris kayma modülü
G_{12}	: Kompozit kayma modülü
P_b	: Patlama basıncı
V	: Basıncılı kabın Hacmi
W	: Basıncılı kabın ağırlığı
e	: Yapısal verimliliği
σ_1	: Teğetsel gerilme
σ_2	: Eksenel gerilme
r	: Basıncılı kabın yarıçapı
p	: Basıncılı kabın oluşturduğu iç göstere basıncı
t	: Basıncılı kabın cidar kalınlığı
τ_{max}	: Maksimum kayma gerilmesi
L	: Basıncılı kabın boyu
σ_y	: Von-mises gerilmesi
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
SEM	: Sonlu Elemanlar Metod

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Farklı malzemelerin özelliklerine göre kıyaslanması	9
Şekil 3.2.	Cam Elyaf	11
Şekil 3.3.	Karbon Elyaf	12
Şekil 3.4.	Kevlar Elyaf	13
Şekil 3.5.	Kompozit malzemelerin fiber yönündeki gerilim-gerinim grafikleri.....	13
Şekil 3.6.	Elyaf ve Matris malzemelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği	16
Şekil 3.7.	Tabakalı kompozit malzemelerin dizilişi	17
Şekil 3.8.	CNC helisel filaman sargı makinesi	22
Şekil 3.9.	Santrifüj Kalıplama Prosesi	22
Şekil 3.10.	Tabaka kompozitlerin analiz şeması	24
Şekil 3.11.	Boyuna çekmeye maruz kalan kompozit malzeme modeli	27
Şekil 3.12.	Tek yönlü tabaka için enine çekmeye maruz kalan kompozit malzeme modeli	29
Şekil 3.13.	Tek yönlü bir tabakanın poisson oranını bulmak için temsili bir hacim elemanına uygulanan boyuna gerilme	31
Şekil 3.14.	Bir hacim elemanına uygulanan düzlem içi kesme gerilmesi	33
Şekil 4.1.	Filament sargılı kompozit basınçlı kaplar.....	37
Şekil 4.2.	Filament sargılı kompozit basınçlı kap örnekleri.....	39
Şekil 4.3.	Basınçlı kap serbest cisim diyağramı.....	40
Şekil 4.4.	σ_1 Gerilmesi.....	41
Şekil 4.5.	σ_2 Gerilmesi.....	41
Şekil 5.1.	29/AB/2014 Standartlarına Uygun Basınçlı Kap.....	50
Şekil 5.2.	Basınçlı Kap teknik resmi.....	51
Şekil 5.3.	Ansys Workbench arayüzü.....	51

Şekil 5.4.	Malzeme Özelliklerinin girilmesi.....	52
Şekil 5.5.	Geometri arayüzü.....	52
Şekil 5.6.	Basınçlı Kap Modeli Ansys Workbench arayüzü	53
Şekil 5.7.	Tabaka sayısı, Kalınlık ve Oryantasyon açısının girilmesi	54
Şekil 5.8.	Kompozit Basınçlı Kap Mesh İşlemi	54
Şekil 5.9.	Kompozit Basınçlı Kapın Basınç Sınır Şartı	55
Şekil 5.10.	Kompozit Basınçlı Kapın Displacement Sınır Şartı	55
Şekil 5.11.	Çözümleme işlemi.....	56
Şekil 6.1.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilmesi.....	58
Şekil 6.2.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilmesi	58
Şekil 6.3.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilmesi	59
Şekil 6.4.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilmesi	59
Şekil 6.5.	10 Tabakalı Kompozit Cam/Epoksi Basınçlı Kapların gerilmeleri.....	60
Şekil 6.6.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi	61
Şekil 6.7.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi	61
Şekil 6.8.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi	62
Şekil 6.9.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi	62
Şekil 6.10.	10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri.....	63
Şekil 6.11.	20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilmesi	64
Şekil 6.12.	20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilmesi	64

Şekil 6.13.	20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilmesi	64
Şekil 6.14.	20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilmesi	64
Şekil 6.15.	20 Tabakalı Kompozit Cam/Epoksi Basınçlı Kapların gerilmeleri.....	66
Şekil 6.16.	20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi	67
Şekil 6.17.	20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi	67
Şekil 6.18.	20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi	68
Şekil 6.19.	20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi	68
Şekil 6.20.	20 Tabakalı Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri.....	69
Şekil 6.21.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilme.....	70
Şekil 6.22.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilme.....	70
Şekil 6.23.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilme	71
Şekil 6.24.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilme	71
Şekil 6.25.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların gerilmeleri.....	72
Şekil 6.26.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirme	73
Şekil 6.27.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirme	73
Şekil 6.28.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirme	74

Şekil 6.29.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirme	74
Şekil 6.30.	10 Tabakalı Karbon/Epoksi Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri.....	75
Şekil 6.31.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilme	76
Şekil 6.32.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilme	76
Şekil 6.33.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilme	77
Şekil 6.34.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilme	78
Şekil 6.35.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların gerilmeleri.....	78
Şekil 6.36.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirme	79
Şekil 6.37.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirme	79
Şekil 6.38.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirme	80
Şekil 6.39.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirme	80
Şekil 6.40.	20 Tabakalı Karbon/Epoksi Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri.....	81
Şekil 6.41.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilme	82
Şekil 6.42.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilme	82
Şekil 6.43.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilme	83
Şekil 6.44.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilme	83

Şekil 6.45.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların gerilmeleri.....	84
Şekil 6.46.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirme	85
Şekil 6.47.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirme	85
Şekil 6.48.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirme	86
Şekil 6.49.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirme	86
Şekil 6.50.	10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri.....	87
Şekil 6.51.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilme	88
Şekil 6.52.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilme	88
Şekil 6.53.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilme	89
Şekil 6.54.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilme	89
Şekil 6.55.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların gerilmeleri.....	90
Şekil 6.56.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirme	91
Şekil 6.57.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirme	91
Şekil 6.58.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirme	92
Şekil 6.59.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirme	92
Şekil 6.60.	20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Basınçlı Kaplar şekil değiştirmeleri.....	93

Şekil 6.61.	10	Tabakalı	Kompozit	Basınçlı	Kapların		
					gerilmeleri.....		94
Şekil 6.62.	20	Tabakalı	Kompozit	Basınçlı	Kapların		
					gerilmeleri.....		95
Şekil 6.63.	10	Tabakalı	Kompozit	Basınçlı	Kapların	şekil	
					değişirmeleri.....		96
Şekil 6.64.	20	Tabakalı	Kompozit	Basınçlı	Kapların	şekil	
					değişirmeleri.....		97
Şekil 6.65.	10 ve 20	Kompozit Basınçlı Kaplar gerilmeleri					98
Şekil 6.66.	10 ve 20	Kompozit Basınçlı Kaplar şekil değişirmeleri					99

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Ticari Takviye Elyafların Malzeme Özellikleri.....	14
Tablo 3.2.	Ticari Epoksi Reçinenin Tipik Özellikleri (23°C)de	16
Tablo 3.3.	Malzemelerin tipik mekanik özellikleri	35
Tablo 5.1.	Cam/Epoksi Kompozit Malzemenin mekanik özelliği	46
Tablo 5.2.	Karbon/Epoksi Kompozit Malzemenin mekanik özelliği.....	48
Tablo 5.3.	Kevlar/Epoksi Kompozit Malzemenin mekanik özelliği.....	50

2014/29/AB STANDARTLARINA UYGUN İÇTEN BASINCA MARUZ KOMPOZİT BASINÇLI KAP TASARIMI VE ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada kompozit kapların üretimi ve analizi amaçlanmıştır. Kaplarda kullanılan kompozitlerin tasarımında filament sarma yöntemi ve santrifüj sarma metodu kullanılmıştır. Tasarım aşamasında kompozit malzemelerin tasarımı için gerekli olan malzemeler; Cam elyaf/Epoksi, Karbon elyaf/Epoksi ve Kevlar elyaf/Epoksi malzemesi olarak seçilmiştir. Her malzeme için $[30^0-30^0]$, $[45^0-45^0]$, $[60^0-60^0]$ ve $[75^0-75^0]$ anti-simetrik oryantasyon açıları kullanılmıştır. Kapın tasarımında, toplam cidar kalınlığı 3 mm olarak tanımlanmıştır. Cidar kalınlıkları, 10 ve 20 tabakalı olacak şekilde, SOLIDWORKS paket programı kullanılarak kaplar modellenmiştir. Modellenen kaplar daha sonra, sonlu elemanlar metodunu kullanarak analiz yapan ANSYS WORKBENCH 14.0 paket programı kullanılarak, maksimum şekil değiştirmeler ve maksimum gerilmelerin tespiti amacıyla, analiz edilmişlerdir. Çözümler yapılırken uygulanmış olan basınç; kabın test basıncı olarak 1,65 MPa bir basınç, kabın iç yüzeyinden hidrostatik olarak tanımlanmış ve çözümler yapılmıştır. Bu çözümlerde elde edilen Von-mises gerilmeleri ve toplam deformasyonlar incelenerek, hangi tasarımın optimum ve uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Maksimum gerilmelerin optimum değerinin 60^0-60^0 oryantasyon açılı Cam/Epoksi kompozit malzemedeki tasarlanan basınçlı kaplarda olduğu saptanmıştır. Şekil değiştirmelerin ise optimum değerinin 60^0-60^0 oryantasyon açılı Karbon/Epoksi kompozit basınçlı kaplarda olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı kap, kompozit, gerilme, şekil değiştirme, ANSYS

DESIGN AND ANALYSIS OF PRESSURE COMPOSITE PRESSURE CLEAR EXPOSED TO PRESENT MATERIALS TO 2014/29 / EC STANDARDS

ABSTRACT

In this study, production and analysis of composite containers were aimed. Filament winding method and centrifugal winding method are used in the design of the composite materials. Materials required for designing composite materials during design phase; Glass fiber / Epoxy, Carbon fiber / Epoxy and Kevlar fiber / Epoxy material. For each material, anti-symmetrical orientation angles $[30^{\circ}-30^{\circ}]$, $[45^{\circ}-45^{\circ}]$, $[60^{\circ}-60^{\circ}]$ ve $[75^{\circ}-75^{\circ}]$ were used. In the design of the wall, the total wall thickness is defined as 3 mm. The wall thicknesses were modeled as containers with 10 and 20 layers, using the SOLIDWORKS package program. The modeled containers were then analyzed for maximum shape changes and maximum stresses using the ANSYS WORKBENCH 14.0 package program, which analyzes using finite element method. The pressure applied when the solutions were made; a pressure of 1.65 MPa was defined hydrostatically from the inner surface of the vessel and solutions were made. Von-mises stresses and total deformations obtained in these solutions were examined and it was determined which design was optimum and applicable. It has been determined that the optimum value of maximum stresses is formed in the pressure vessels designed from glass / epoxy composite material with $60^{\circ}-60^{\circ}$ orientation angle. The optimum values of shape changes were found to be in carbon / epoxy composite pressure vessels with $60^{\circ}-60^{\circ}$ orientation angles.

Keywords: Pressure vessel, composite, tensile, strain, ANSYS.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, günümüzde birçok uygulama ve avantajları nedeniyle endüstri ve mühendislik süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir kompozit malzeme, farklı özelliklerden oluşan iki veya daha fazla malzemenin bir kombinasyonu olarak tanımlanır. Bu kombinasyon aslında başlangıç bileşenlerinden farklı özelliklere sahip yeni bir malzeme oluşturur. Bir araya getirilmelerine rağmen, bireysel materyaller arasında görünür bir ayrım hala mevcuttur.

Basınçlı kaplar, 18. yüzyılın bir buhar makinesinden ve bir roket motoruna ve 21. yüzyılın bir uzay aracına bir lokomotiften herhangi bir makinede pratik olarak bulunabilen en yaygın mühendislik yapılarına aittir. Çoğunlukla çelikten, bazen titanyum ve alüminyum alaşımlarından ve özel durumlarda cam ve plastikten basınçlı kaplar imal edilmiştir. Çağlar boyunca biriken işletme tecrübesi sonucunda metal basınçlı kaplar, modern endüstrinin tüm dallarında başarıyla kullanılan en güvenilir mühendislik yapıları haline geldi. Mühendislik açısından bakıldığında, metallerle bağlantılı özellikler esneklik, kırılgenlik, işlenebilirlik ve süneklik önemli bir özelliktir. Bundan dolayı 20. yüzyılın ortalarında basınçlı kapların performansını iyileştirmek için yeni olanaklar sunulmuş ve kompozit malzemeler ve filament sarma ve santrifüj kalıplama teknolojisinin geliştirilmesi ile ilişkilendirilmiştir.

Yüksek mukavemetli metal teller ve bantlar, uzun yıllardır basınçlı silindirleri(kaplar) güçlendirmek için kimya endüstrisinde kullanılmakla birlikte spesifik ve verimli yapısal kavramların geliştirilmesi ile kompozit malzemelerin basınçlı kaplar için yapısal malzemeler olarak ağırlık ve maliyet açısından büyük tasarruf sağladıkları ancak uygun şekilde tasarlandıkları, geliştirildikleri, test edildikleri, işletildikleri, üretildikleri ve kullanıldığı tüm ülkelerde tasarım kılavuzları, kodlar ve standartlar tarafından imal edilirler. Modern lifli kompozitlerin ana avantajı, çeşitli uygulamalar için basınçlı kaplar

imal etmek için yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle, lifler boyunca gerilmeleri altında yüksek mukavemetleridir.

Günümüzde havacılık ve hava taşıtı endüstrilerinde, yapısal verimlilik temel endişe kaynağıdır. Yüksek mukavemeti ve hafifliği nedeniyle, fiber takviyeli kompozitler çok çeşitli uygulamalar bulmaktadır. Hafif sıkıştırma yük taşıma yapıları tüm uçakların bir kısmını oluşturur ve uzay aracı yakıt tankları, hava silindirleri birçok uygulamadan bazılarıdır. Fiberle güçlendirilmiş kompozit basınçlı kapların davranışını tasarlamak ve tahmin etmek için bir analitik prosedür geliştirilmiştir. Klasik laminasyon teorisi ve genelleştirilmiş düzlem gerilme modeli esneklik probleminin formülasyonunda kullanılır.

Tasarlanan basınçlı kap için kullanılan malzeme bir epoksi matrisindeki cam, karbon ve kevlar elyaflardır. Malzemenin lamina tabakaları kullanılarak uygulanacaktır. Kompozitlerle uğraşırken, “matris” terimi, bu durumda epoksi olan daha güçlü malzemenin kümelerini çevreleyen ve birbirine bağlayan malzemeyi tanımlamak için kullanılır. Cam, karbon ve kevlar elyaflar “takviye” malzemesi olarak bilinir. Aynı ayrı incelendiğinde, bireysel özellikleri gözleendiğinde cam, karbon ve kevlar elyaflar ve epoksi oldukça farklı malzemelerdir. Cam, karbon ve kevlar fiber uzun, ince cam, karbon ve kevlar tabakalarından yapılıdır. Gerilmesi ve sıkıştırılması zor olan kimyasal olarak inert bir sert malzemedir. Diğer taraftan epoksi, hazırlandığında sıvı olan, ısıtıldığında sertleşen plastik veya reçinedir. Ayar işlemi geri dönüşümsüzdür, böylece yüksek sıcaklıklarda tekrar yumuşak olmaz. Epoksi reçineler aşınmaya karşı dayanıklıdır ve aşırı ortamlara maruz kaldıklarında oldukça dayanıklıdır.

Kompozit kaplar tasarlandığında 60° - 60° oryantasyon açısının en uygun tasarım açısı olduğu saptanmıştır. Tasarlanan bu bütün kompozit kaplarda oluşan maksimum gerilmeler akma sınırının çok altında çıkmış ve şekil değiştirmelerde kabul edilebilir sınırlar dahilinde kalmıştır.

Her üç kompozit malzeme içinde tasarlanan bu kaplar endüstride kolaylıkla üretilebilmektedir. Bu kaplar üretildiği takdirde piyasada hali hazırda kullanılmakta olan çelik ve alüminyum gibi kaplarda maliyetleri daha uygun olmaktadır. Ayrıca korozyon direnci daha yüksek olması sebebiyle kullanımı daha yaygınlaşacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

(Akçay 2005) çalışmasında, içten basınca maruz ve aynı termal yükler altında çok tabakalı filament sargılı kompozit silindirik boruların düzlem gerilim durumuna göre analitik şekilde hasar analizleri uygulanmıştır. Analizler muhtelif yapılandırmalarda simetrik ve anti simetrik tabaka düzenlerinin basınç tankının dayanımına yönelik durumlar incelenmiştir. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri olarak da E-cam elyaf / Epoksi malzemesi kullanılmıştır. Analiz sonucunda ise sıcaklığı artan basınç tankının oryantasyon elyaf açısına göre patlama basıncı grafik eğrileri elde edilmiştir. Sıcaklığı arttırılan kompozit basınçlı tankının hasara neden olan patlama basıncının düştüğü görülmüştür.

(Antunes 2008), astar olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve E-cam elyaf / termoset ve termoplastik matrisli kompozit gaz kabının sonlu eleman analizi metodu olan Abaqus 6.4.2 paketiyle gerçekleştirmişlerdir. Analizde tabaka düzenini modellerken astar ve kompozit malzemeyi kabuk yapıda olarak beraberinde incelemişlerdir. Analizlerde, Von Mises ve Tsai Wu hasar kriterlerinden yararlanılmıştır. 6 bar uygulanan basınç altında astar cidarında ve kompozit tabakalarda oluşan hasar durumları tek tek incelenmiştir. Sonlu eleman analizi (SEA), basınçlı kap mekanik davranışını EN 13923 standardının, yani minimum iç patlama basıncı gereksinimlerine göre tahmin etmek için kullanılmıştır. Bunun yanında kompozit kap prototipi imal edilmiş ve tasarımı yapılan kabın maksimum patlama basıncı değeri ile prototip kabın patlama basıncı değerleri kıyas edilmiştir.

(Choi 2004) sonlu eleman analiz programı olan Ansys geliştirdiği ara yüzü programı ile çelik astarlı ve E-Cam elyaf / epoksi reçine malzemesi teğetsel veya çevresel kompozit sargılı sıkıştırılmış doğal gaz depomla kabının tasarımı yapılmıştır. Muhtelif basınçlarda kap cidarında oluşan çevresel ve radyal (eksenel) gerilmeleri elde etmişlerdir. Bunun yanında tasarladıkları kabın prototipini imal ederek patlama deneyi gerçekleştirmişler ve çıkan sonuç değerleri mukayese edilmiştir.

(Çetin 2014) çalışmasında, kompozit sargılı basınçlı bir yakıt tankının uzay alanında uydu tepki sisteminde kullanılacak olan tankın mekanik tasarımı ve yapısal analizinin yapılması hedeflenmiştir. Bu yakıt tankının tasarım aşamaları sırasında, hacimleri aynı olan tamamen metal malzemelerden imal edilmiş olup diğer yakıt tanklarına nazaran daha hafif olmasına özen gösterilmiştir. Bunun yanında benzer olan kompozit yakıt tankları için istenilen tasarım aşamaları da ortaya konmuştur. Yapısal analiz modeli, alüminyum metal astarlı (Al6061-T6) ve buna binaen sarılmış kompozit tabakalardan (Toray T800H-epoksi) meydana gelmektedir. Yapılan sonlu elemanlar analizlerinde ANSYS paket yazılımı kullanılmıştır. Kompozit sargılı basınçlı tankı oluşturan metal ve kompozit parçalarının gerilim-gerinim analizleri, kompozit sarım için en münasip fiber oryantasyon açısının belirlenmesi, otofretaj (autofretage), modal lifi ve herhangi bir titreşim analizleri, metal astarda oluşabilecek hasar durumları ve yorulma analizleri gerçekleştirilerek sayısal değerleri bulunmuştur. Kompozit yapıda oluşabilecek hasarı durumunu belirlemek için, sık olarak kullanılan, Tsai-Wu Tsai-Hill ve Hashin hasar kriterleri dikkate alınmıştır.

(Demir 2014) çalışmasında, temel amacı kurulum ya da çalışma sırasında zaman zaman çevresel tepkilere maruz kalmış kompozit silindirlerin patlama basıncının belirlenmesidir. Deneylede, oryantasyon açısı 55° simetrik fiber yönelimli, sertleştirici olarak HY 225 ile karıştırılmış ve CY 225 epoksi reçineden imal edilen 8 tabakalı kompozit silindirler kullanılmıştır. İlk önce içi boş ya da sıcaklıkları farklı, su içeren kompozit silindirlere tek seferli ve tekrarlı olmak suretiyle farklı enerji darbeleri yapılmıştır. Darbe testi yapıldıktan sonra statik basınç testine bakılmıştır. Netice olarak sıcaklık ve darbe enerji değerlerinin yükselmesiyle patlama basıncının düştüğü gözle görülmektedir. Darbe tekrar sayısının artması aynı sonuç için de geçerlidir. Deneyle ilave olarak darbesiz numune için sonlu elemanlar ve analitik çözümleri üzerinde çalışılmıştır.

(Eruslu 2008) çalışmasında, ince cidarlı basınçlı tüplerde ASTM standartlarında uygun iki farklı çelik için basınç etkisi altında gerilme analizi yapılmıştır. İki boyutlu ve üç boyutlu Ansys sonlu elemanlar programıyla modeller tasarlanmıştır. Tasarım yönünden üç boyutlu model iki ayrı şekilde araştırılmıştır. Patlama basınçları, tüp üzerindeki hasarlı olan bölgeler maksimum gerilme kriteri yardımıyla bulunmuştur. Hasar sonuçları Von Mises kriteri sonuçları ve standartlardan elde edilen analitik sonuçları ile kıyas edilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde oluşturulan ince cidarlı basınçlı tüplerin, tasarımsal etkilerin etkinliği

ortaya çıkmıştır. Analizde çıkan patlama basıncı sonuçları standartlarda bulunan analitik sonuçlarına nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

(Gemia 2009), iç basınç altındaki kompozit filament sargılı basınç borularının yorulma hasar davranışları incelenmiştir. Kompozit sargılı basınçlı borular E cam elyaf / epoksi matristen imal edilmiş olup $\pm 75^\circ$ helisel sarımlı 4 tabakadan meydana gelmiştir. Yorulma testleri 0,42 Hz frekans, $R=0,05$ gerilme oranı ve boru dayanımı %30 ile %70' arasındaki yüklerde ASTM D-2992 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Hasar ilerlemesi ise örnek olarak beyazlaşma, sızıntı ve parçalanma testler sonucuna bakılarak, dayanım ve zaman eğrileri elde edilmiştir.

(Kalaycıoğlu 2014) çalışmada, ülkemizde hali hazırda imal edilmeyen ve ISO 11439:2000 tarafından Tip III olarak adlandırılan dikişsiz metal astarlı ve kompozit sargılı basınç tankının tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan basınç tankının endüstriyel ihtiyaca yönelik olarak 3 Litrelik sıvı hacminde, 6061-T6 Alüminyum malzemeden imal edilmiş metal astarlı ve Kevlar®-49 elyaf / Epoksi($V_f=\%60$) kompozit sargı için 500 Bar ve üzeri bir iç basınca dayanabilmesi sağlanmıştır. İlgili standarda göre servis çalışma basıncı en az 220 Bar'dır. Tank tasarımında ağ analizi ve katman teorisi yardımıyla tankın ön tasarım parametreleri belirlenmiş ve bu veriler ışığında geometrideki karmaşıklıkları da hesaba katabilen *Ansys®* Sonlu Eleman Programında kompozit basınç tankı sayısal olarak modellenmiştir. Modellemede kompozit tabakanın elyaf sarım açılarını doğru şekilde tanımlayabilmek için eleman koordinat sisteminin münasip şekilde yönlendirilmesi sağlanmıştır. Basınç tankının hasar analizinde elyaf hasar dayanımı dikkate alınmış ve Tsai Wu hasar Kriteri'nden yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, ISO 14439:2000 standardının şartlarının sağlanması için, basınç tankının 4,5 mm cidar kalınlığında metal astar ile 0,9 mm helisel ve 1,8 mm teğetsel olmak üzere toplam 2,6 mm kompozit cidar kalınlığında ve $[90^\circ, \pm 20^\circ, \pm 15^\circ, 90^\circ]$ elyaf açısı düzenine sahip olması gerektiği belirlenmiştir.

(Kam 1997), kompozit basınç kaplarının dayanımını farklı tabaka düzenleri için analitik ve deneysel olarak araştırmış ve basınç kabının hasara uğramasında ilk tabaka hasarının etken olduğunu varsaymıştır. Kompozit malzeme olarak Grafit elyaf/epoksi malzeme özelliklerinden yapılmış yüksek basınçlı kaplar kullanılmıştır. Teorik analizlerin ilk tabaka hasarına yönelik patlama basıncı sonuç değerleri deneysel olarak baktığımızda patlama

basıncı sonuç değerlerinin oldukça aşağısında kalmıştır. Bu nedenle ilk tabaka hasar teorisinin kompozit kapların tasarımı için münasip bir teori olduğu ortaya konulmuştur.

(Kamat 2001), alüminyum astarlı karbon elyaf/epoksi reçineli kompozit sargılı basınç tankının sonlu eleman analizi Genoa Cobstran paket programıyla yapılmıştır. Çalışmada tankın uç kısımlarının küresel, eliptik ve geodezik geometrilerde olmasının tankın dayanıma etkisi araştırılmıştır. Analizlerde tankın kritik bölgesinin birleşim bölgesi olduğu ve ilk hasarlarının ardından kompozit yapının tamamının hasara uğramasının bu bölgede olduğu görülmüştür.

(Lifshitz 1995) çalışmasında, içten basınca maruz metal astarlı kompozit sargılı basınç tankının cidarında oluşan gerilme ve şekil değiştirmelerini çeşitli tabaka düzenlerinde ve muhtelif kompozit malzemelerine göre hesaplamışlardır. Bunun yanında teorik çalışmaları deneysel çalışmalarla mukayese edilmiştir. Analizlerde son tabaka hasar teorisinden yararlanılmıştır. Hasar kriteri olarak da Tsai Wu kriteri kullanmışlardır. Analizler sonucunda tankın patlama basıncına olumlu yönde etki eden helis sarım açısının düşürülmesidir. Teorik çalışmalar ile deneysel analizler de elde edilen maksimum patlama basıncı değerlerinde uyumluluk göstermiştir. Teorik çalışmalarında tankın sadece silindirik kısmı üzerinde durulmuştur. Teorik çalışmalarda hesaplanan değerler için iki tane 6 litrelik metal astarlı kompozit sargılı basınçlı tanklardan Kevlar 49 elyaf / Epoksi ve T300 Karbon elyaf / Epoksi malzemeleri kullanılmıştır.

(Önder 2007) çalışmasında, simetrik ve anti-simetrik tabakalı ince cidarlı E-Cam elyaf / epoksi reçine kompozitlerin en yüksek patlama basıncındaki en münasip tabaka açılarını incelemiştir. Çalışmada filament sargılı kompozit borular üzerindeki sarım açılarının etkilerine bakılmıştır. Kompozit kaptaki oluşan hasar durumunu belirlemek için sayısal çözüm yöntemi S.G. Lekhnitskii teorisi kullanılmıştır. Bu teori ile hasar basıncı aynı ısı etkisi ile farklı açı oryantasyonlarında hesaplanmıştır. Tabakalarda oluşan hasar kontrolünü Tsai-Wu hasar kriteri ile uygulanmaktadır. İçten basınca maruz helisel açıda sargılı kompozit borularda en ideal sarım açısının 55° civarında olduğunu, tek açıda sargılı kompozit borularda ise bu değer 90° olduğu görülmüştür.

(Pavlovski 2007), sıkıştırılmış doğal gaz tank üretiminde Basalt elyaf sarım yöntemi karbon ve cam elyaf sarım yöntemine alternatif olarak kullanmıştır. Basalt elyaf sarım

yönteminin tercih edilmesinin sebebi cam elyaf dan daha iyi mekanik özelliklere sahip ve karbon elyaf dan daha ucuz olmasından dolayıdır.

(Sayman 2005) çalışmasında, ince ya da kalın çok tabakalı kompozit silindirler için hidrotermal yüklemeler altındaki genel bir gerilme analizi metodu geliştirmiştir. Tabakalar $[0^\circ/90^\circ]_2$, $[30^\circ/-30^\circ]_2$, $[45^\circ/-45^\circ]_2$ ve $[60^\circ/-60^\circ]_2$ elyaf açıları için simetrik ya da antisimetrik olarak yönlendirilmişlerdir. Analizler, borunun uçlarının açık kapalı olduğu sınır şartı ile düzlem gerilme durumu dikkate alınarak yapılmıştır. Termal yüklemeler için ise üniform ve parabolik sıcaklık dağılımları seçilmiştir. Bütün integrasyon sabitleri tabakaların normali yönündeki radyal gerilme ve şekil değiştirmelerden bulunmuştur. Hidrotermal özellikler ve diğer mekanik özellikler bir cam elyafı / epoksi kompozit tabaka üzerinde tespit edilmiştir. ANSYS sonlu elemanlar paket programı vasıtası ile elde edilen sonlu eleman çözümleri, bazı analitik sonuçlar ile karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında uyum olduğu tespit edilmiştir.

(Velosa 2007), yeni kuşak kompozit basınç kabı tasarımına yönelik çalışmalar yapmışlardır. Kap termoplastik malzemedan yapılmış astarlı ve tamamı E cam elyaf/epoksi malzemesiyle sarılmış kompozitten meydana gelmiştir. Abaqus 6.5.1 sonlu eleman paket programında maksimum patlama basıncı kapasitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Tsai Wu ve Von Mises hasar kriterleri kullanılmıştır. Uygulanan basınç altında kompozit tabakalarda meydana gelen hasar durumları tek tek araştırılmıştır. Bunun yanında teorik olarak tasarımı yapılan kabın deneysel olarak imal edilmiş ve patlama testine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda sonlu elemanlar metodu analizinin kompozit kap tasarımında beklenen sonuçları vermiştir. Tabakalarda meydana gelen gerilmelere bakıldığında çevresel ve radyal gerilmelere göre, kayma gerilmelerinin kompozit basınç kabının hasara uğrayan gerilmeler olmadığı anlaşılmıştır.

(Yaylağan 2010) çalışmasında, anti simetrik $[\theta/-\theta]_{2a}$ şeklinde tabakalı, ince cidarlı, içten plastik lineerli kompozit basınçlı kabın, 2°C , 25°C , 60°C ve 80°C farklı sıcaklıklardaki tabakada oluşan ilk hasarı ve patlamadaki maksimum basınç için en ideal tabaka-açı oryantasyonları incelendi. Kompozit basınçlı kapların silindirik bölgesine değinilmiştir. SEM ve deneysel çalışmalarla en ideal sarım açısı bulunmaya çalışılmıştır. E-Cam elyaf / epoksi CTP borular içlerinde lineer plastik bir malzemeyle imal edilmiş ve uçları kapalı olarak içten maruz statik basınç testleri uygulanmış ve hidrolik basınç test cihazı PLC

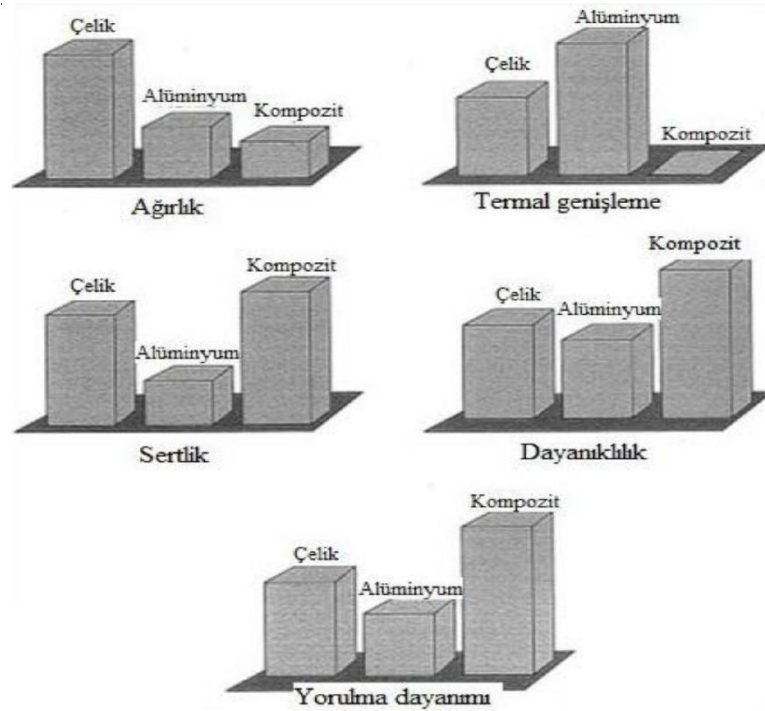
kontrollü olarak kullanılmıştır. Çalışmasında, içten lineer plastik malzemeli, filament sargılı kompozit kaplar üzerindeki sarımlı açılar ve değişen ortam sıcaklıklarının etkileri ele alınmıştır. Lekhnitskii teorisi, kompozit kaptaki olusan ilk tabaka hasarını belirlemek için sayısal çözüm yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak hasar basıncı aynı ısı etkisi ile muhtelif açı oryantasyonlarında hesaplanmıştır. Tsai-Wu hasar kriteri ve maksimum gerilme teorisinden elde edilen analitik sonuçlarla, deneyler sonucu tabakalarda oluşan hasarı meydana getiren basınç değerleri mukayese edilmiştir. Sonuçlar, muhtelif sarım açıları için hesaplanıp, değerlendirilip yorumlanmıştır. Test numuneleri en iç kısımda plastik lineer malzemeli, diğer dış tabakalarda da dört tabakalı ve $[45/-45]_{2a}$, $[55/-55]_{2a}$, $[60/-60]_{2a}$, $[75/-75]_{2a}$ ve $[88/-88]_{2a}$ farklı açı oryantasyonlarına değerlendirilmiştir. Kompozit malzeme olarak E-cam epoksi seçilmiş ve bu malzemenin termal ve mekanik özellikleri hesaplamalarda kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar sonlu elemanlar programı ANSYS 10.0 ile mukayese edilmiş ve birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Sayısal sonuçlarda ise patlama basıncı üzerinde ısı etkisinin fazla bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. İçten basınca maruz helisel açıda sargılı kompozit kaplarda en münasip sarım açısının 55 derece yakınında olduğu tespit edilmiştir.

(Yıldırım 2012) çalışmasında, uyguladığı tasarımın, cisimlerin mukavemetini artırmak, malzeme seçimi veya malzeme içerisinde basınç oluşturularak mukavemet artışı elde edilmesini incelemiştir. Temel mantığı, tasarlanmış parça içerisinde basınç hücreleri oluşturularak mukavemet artışının sağlanmasıdır. Cidar gerilmeleri sistemin iç basıncına bağlı olarak tamamında bir mukavemet artışına sebep olacağından, bu tip sistemlerin kullanılacak makine ve yapılar üzerinde fikrini ortaya atmaktadır. Çalışmasında, içerisine basınçlı hava yerleştirilmiş ince cidarlı silindirik alüminyum tüpler üzerine farklı gerilme ve dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Test tüplerinin analitik olarak hesaplamaları, deneysel çalışmaları ve Ansys Sonlu Elemanlar programı ile sayısal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyas edilmiştir. Sonuçların birbirine uyum doğrultusu görüldükten sonra, sistemin günümüz hayatta kullanılabileceğini göstermek için gerçek modeller üzerinde Sonlu Elemanlar Metodu ile sayısal analizleri yapılmıştır.

3. KOMPOZİT MALZEMELERE GİRİŞ

3.1. Kompozit Malzemelerin Tanımlanması

İki yada daha fazla sayıdaki matris ve takviye malzemelerin üretimdeki özellikleri sağlayabilecek koşulda makro seviyede kimyasal bir reaksiyona girmeden yeni bir malzeme meydana gelmesi olayına kompozit malzeme denir. Kompozit malzemenin üretiminde dayanımı yüksek, hafiflik, tasarımda esneklik, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklı, sıcaklık kapasitesi yüksek, malzemede estetik ve maliyet gibi özellikleriyle pek çok üstünlükleri bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin, çelik ve alüminyum malzemelere göre avantajları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Farklı malzemelerin özelliklerine göre kıyaslanması(Karasu 2014)

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris ve takviye malzemelerin mekanik özellikleri kullanılarak birleştirilmesiyle yeni bir kompozit malzemenin bazı özellikleri,

örneğin; poisson oranı, yoğunluğu, çekme ve basma dayanımı, elastisite modülü vb. hesaplar yapılabilir. Üretiminde kullanılan özelliklerin sağlanmasıyla basınçlı kaplar, arabalar, uçak, spor aletleri, denizaltı araçları, uzay araçları ve malzeme özellikleri önemli olan birçok makine elemanları kompozit malzemelerden üretilmektedir.

Kompozit malzemeler matris ve takviye malzemeleri denilen iki ana gruptan oluşur. Matris malzeme bir ana bileşenle mukavemeti ve elastisite modülü yüksek olan takviye edici (elyafı, tabakalı, karma, parçacıklı) olarak adlandırılan yapısal bir bileşenden meydana gelir. Matrisler, takviye edici elyafları bir arada tutmaya yarar, yani bağlayıcı bir malzeme özelliğine sahiptir. Matris malzemenin görevi; çevresel hasarlardan korumak, yükünü elyaflara aktarmak ve elyafları desteklemektir. Matrisler elyaflara göre yoğunluğu, rijitliği ve mukavemeti düşük bir malzemedir, ama elyaflarla birleştikten sonra mukavemet ve rijitliği daha iyi bir kompozit malzemeyi meydana getirir (Şahin 2002).

3.2. Takviye Elemanları (Elyafar)

Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimde üretilen yeni bir malzemenin özellikleri üstünde çok etkisi vardır. Temel olarak takviye elemanları 3 farklı gruptan oluşmaktadır; partiküller (parçacıklı), sürekli ve süreksiz elyaflar. Parçacıklar genellikle küresel bir yapıya sahip olmamalarına rağmen her tarafta yaklaşık eşit boyuta sahiptir. Çakıllar, mikro seviyede balonlar ve reçine tozu parçacıkları takviye malzemeleri arasında örnek gösterilebilir. Takviye malzemelerine baktığımızda bir boyutu diğer boyutlarına nazaran daha büyüktür. Kısa (Süreksiz) elyafların (öğütülmüş elyaf, doğranmış elyaf ve wisker-püskül) ölçüleri milimetreden santimetreye kadar değişmektedir. Liflerin çaplarına baktığımızda mikrometreyi geçmemektedir. Buna bağlı olarak elyafların parçacık (partikül) halden lif haline gelmesi için çok fazla uzunluğa gerek yoktur. Uzun (Sürekli) elyaflar tel sarma yöntemine benzer yöntemlerle kesilmeden ip şekline getirilerek kullanılmaktadır. Elyafar mekanik dayanımı yüksek olması özelliğini enlerine nazaran boylarına gösterirler. Bu özellikler kompozit malzemelerin sahip olduğu niteliklerin yönü değişmesinden aşırı anizotropik malzeme özelliğini meydana getirir. Bu sebeple üretim sırasında elyafların reçine ile birleşmesi ve geometrik şekillerini dikkate almak gerektir. Anizotropik malzeme özelliğinin üretim sırasında malzeme yerine uygun kullanılarak üstün bir özellik sağlanabilir.

Malzemenin sağlamlığını artırmak, bütün yönlerde mukavemetinin aynı olabilmesi için elyaflar kumaş şeklinde dokunurlar. Sürekli lifler olarak imal edilen dokuma elyaf kumaşların çeşitli hedefler için geliştirilmiş türleri mevcuttur. Endüstride en çok kullanılan takviye malzemeleri ise cam elyaf, aramid (kevlar) elyaf ve karbon elyaflarıdır (Mazumdar 2002; Solmaz 2008).

3.2.1. Cam Elyaflar

Cam elyafları oluşturan ham maddeler yaklaşık olarak 1370-1650 derecede bir fırında eritilerek küçük delikli kovanlardan belirli hızla çekilmesiyle meydana gelir. Çekildikten kısa süre içerisinde soğutularak makaralara sarılmak suretiyle elde edilebilmektedir. Çekme hızı elyafın kalınlığını azaltır. Şekil 3.2’de cam elyaf görülmektedir. Piyasada en çok kullanılan iki tip cam elyaf vardır. Bunlar S-cam ve E-camı elyaflarıdır. S-camı silika esastır ve yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mukavemet ve yorulma direncine sahiptirler. E-camı ise borikasit esastır ve elektrik yalıtıcılığı yüksektir. S-camının mukavemeti E-camının mukavemetine göre daha yüksektir ve içerisinde magnezyum, alüminyum oksit bulunmaktadır. S-camının yüksek sıcaklık, çekme dayanımı yüksek olan yerlerde kullanılmakla birlikte maliyeti yüksektir (Mazumdar 2002).



Şekil 3.2. Cam Elyaf (netcomposite.net)

3.2.2. Karbon Elyaf lar

Karbon elyaf lar, PAN(Poliakrilonitril), Rayon(Selülöz) ve Zift(Pitch) denilen organik ham maddelerden imalatı yapılmaktadır. Piyasada en çok kullanılan PAN esaslı karbon elyaf lardır. Bu organik maddeler yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak oksitlenmesiyle karbonlaşır lar ve bu elyaf lar da karbon (grafit) elyaf ı olarak tanımlanır. Şekil 3.3'te karbon elyaf görülmektedir. Karbon elyaf ı genellikle epoksi matrisler kullanılır ve bunların birleştirilmesiyle mukavemet ve rijitliğinde olağanüstü bir özellik gösterir. Karbon elyaf lar diğer elyaf cinslerine göre yüksek mukavemet, yüksek elastisite modülü, iyi yorulma direnci, yüksek termal sıcaklık ve yüksek elektromanyetik etkileşim özelliğine sahiptir. Dezavantajları ise yüksek maliyet ve gevrek olma özelliğine sahiptir. Kullanım alanları ise ; uzay araçları, uçak, spor malzemeleri ve türbin vs. kullanılırlar (Mazumdar 2002).



Şekil 3.3. Karbon Elyaf (netcomposites.com)

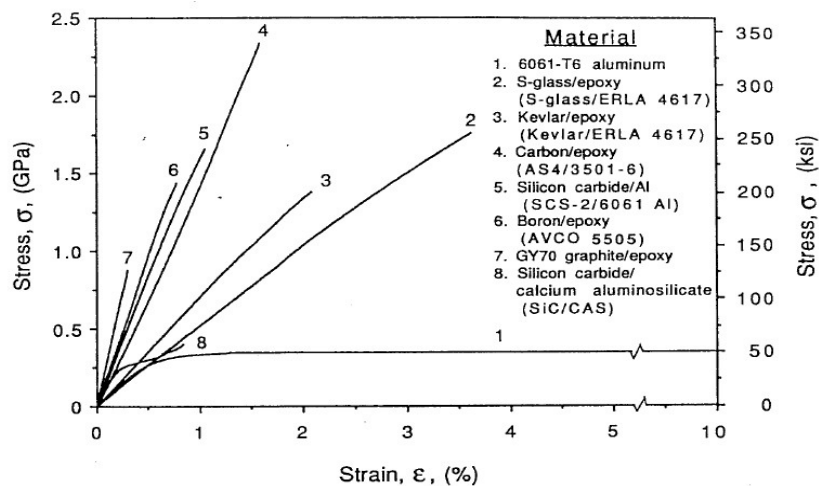
3.2.3. Kevlar(Aramid) Elyaf lar

Aramid elyaf lar organik (polimer) esastır ve bu elyaf ların içerisinde propilen bir polikondenzasyon tereftalatoyol klorür ve p-fenilendiamin bulunmaktadır. Aramid elyaf lar piyasada iki çeşit sunulmaktadır. Bunlar DuPont firmasının ürettiği Kevlar (29,49) ve Akzo Nobel firmasının ürettiği Twaron elyaf larıdır.

Aramid elyafların elastisite modülü karbon elyaflara nazaran daha düşük fakat cam elyaflara göre daha yüksektir. Bunun yanı sıra aramid elyaflar karbon-cam elyaflara oranla yüksek dayanım, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek kimyasal dayanım ve yüksek yorulma dayanımına sahiptirler. Dezavantajları ise, aramid elyaflar matris malzeme ile birleşmesi diğer elyaflara göre daha düşüktür. Bu sebepten dolayı reçinelerde ufak çatlaklar oluşmaktadır. Suya karşı hassas olmasından dolayı nem oranı artmaktadır. Maliyeti ise cam ve karbon elyaflardan daha yüksektir. Kullanımlar alanları ise; Savunma sanayii, kurşun geçirmez yelekler, tekne gövdelerinde, balistik uygulamaları vs. kullanılırlar (Mazumdar 2002).



Şekil 3.4. Kevlar Elyaf (netcomposites.com)



Şekil 3.5. Kompozit malzemelerin fiber yönündeki gerilim-gerinim grafikleri (Daniel 1994)

Tablo 3.1. Ticari Takviye Elyafın Malzeme Özellikleri (Mallick 2007)

Elyaf	Tipik Çap ($\mu.m$) ^a	Yoğunluk g / cm^3	Elastisite Modülü GPa	Çekme Dayanımı GPa	Şekil Değiştirme (%)	Poisson Oranı
E-Cam	10	2,54	72,4	3,45	4,8	0,2
S-Cam	10	2,49	86,9	4,30	5,0	0,22
Karbon T 300	7	1,76	231	3,65	1,4	0,2
AS-1	8	1,80	228	3,10	1,32	
AS-4	7	1,80	248	4,07	1,65	
T-40	5,1	1,81	290	5,65	1,8	
IM-7	5	1,78	301	5,31	1,81	
HMS-4	8	1,80	345	2,48	0,7	
GY-70	8,4	1,96	483	1,52	0,38	
P-55	10	2,0	380	1,90	0,5	
P-100	10	2,15	758	2,41	0,32	
Kevlar49	11,9	1,45	131	3,62	2,8	0,35
Kevlar149	11,9	1,47	179	3,45	1,9	0,35

3.3. Matris Malzemeler(Reçineler)

Matris (Reçine) malzemeleri genellikle polimerler, metaller ve seramikler olarak kullanılırlar. Kompozit yapılarda bir matrisin temel fonksiyonları;

-Elyafı bir arada tutması

-Elyafı yük aktarımında köprü görevi görür.

-Kompozit yapıya sertlik ve şekil verir.

-Elyafı birbirinden izole eder.

-Elyafı mekanik hasarlara karşı, fiziksel ve kimyasal etkilerden korumaktır (Baker 2004).

Kompozit malzemelerin %90'a yakın kısmını polimer esaslı malzemeler oluşturmaktadır. Bu malzemeler kolay işlenebilme, hafiflik, elektrik yalıtkanlığı ve düşük yoğunluk gibi özelliklerden dolayı kullanılmaktadır. Polimer esaslı malzemeler kendi içerisinde iki

çeşitte bulunur. Bunlar Termosetler ve Termoplastikler olarak bilinirler. Termoplastikler;propilen, proetilen, naylon, polietersülfon, polieterimid, poliamidimide, polfenilensulfit ve polietereterketon malzemeleridir. Termoplastikler, yüksek sıcaklıklarda yumuşak olup istenilen şekil verilebilir ve daha sonra da soğutulduğunda sertleşme özelliği göstermektedir. Termosetlere göre kullanımı daha az, raf ömrü uzun, kırılma tokluğu yüksek ve geri dönüşümün kapasitesinin olmasıdır. Termosetler; epoksi, fenolik, polyester, vinilester, silikon, poliamid ve poliüretan malzemeleridir. Termosetler sıvı halde bulunurlar, ısıtıldığında kimyasal reaksiyon girerek mukavemeti ve rijitliği yükselmektedir. Termoplastiklere göre kullanımı geri dönüşümün kapasitesi yoktur. Yüksek sıcaklıklarda yumuşamazlar. Termosetlerin saklama şartları ise sertleşmemesi için dondurucu odalarda depolanmaktadır. Raf ömürleri dondurucu odalardan çıkarıldıktan yaklaşık bir ay bekleme süresi vardır yoksa sertleşmeye başlar ve özelliğini kaybederler. Piyasada en çok epoksi ve polyester reçineleri kullanılmaktadır. Kullanım alanlar ise; Denizcilik ve İnşaat sanayiinde polyester reçine kullanılır. Uzay, havacılık, ulaşım, spor araçları ve askeri araçlarında ise epoksi reçine kullanılmaktadır. Basınçlı kaplar çalışmamızda ise epoksi reçine tercih edilmektedir (Mazumdar 2002).

3.3.1. Epoksi Reçine

Matris malzemeleri içinde en sık kullanılan reçinelerdir. Epoksiler, bifenol diglisil eteri A (DGEBA) ile dietilentriamin (DETA) reaksiyon ürünü olup katalizör ile karıştırıldığında oda sıcaklığında veya fırınlama yapıldıktan belli bir süre içerisinde sertleşerek bir plastik görünümü alır (Mazumdar 2002).

Belli başlı özellikleri;

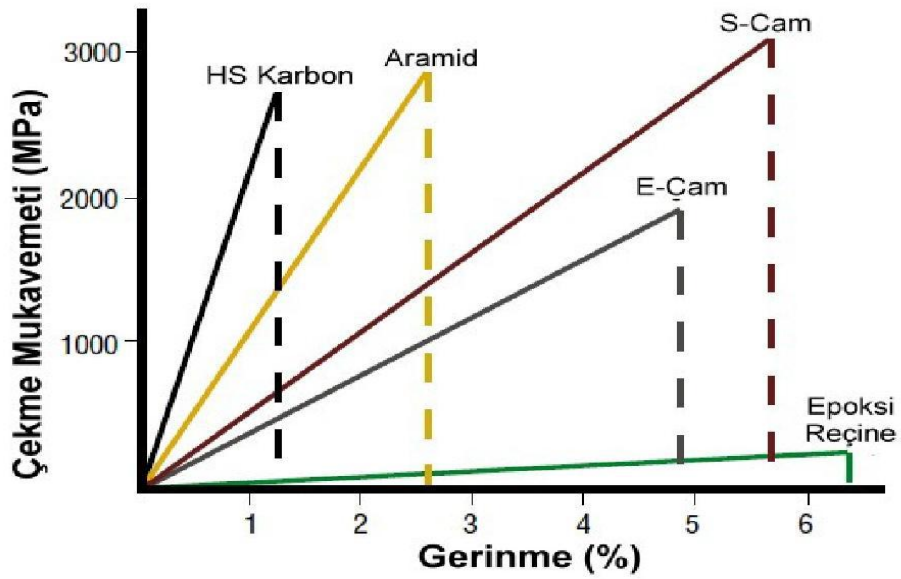
- Geniş kullanım sahasına sahiptirler.
- Mekanik özellikleri iyidir (Tablo 3.2).
- Suya karşı dayanımı
- Takviye malzemlerine iyi yapışma
- Yorulma dayanımı yüksek
- Termal ısı dayanımı yüksek
- Düşük viskozite
- Sertleşme durumunda çekme oranı düşüktür.
- Yüksek maliyet 5-25 \$/kg

- Karışım hassas olduğundan dolayı doğru karışım önemlidir.
- Cilde zararlıdır (Solmaz 2008).

Tablo 3.2. Ticari Epoksi Reçinenin Tipik Özellikleri (23°C)de (Mallick 2007)

Yoğunluk (g/cm^3)	1,2-1,3
Çekme Dayanımı (MPa)	55-130
Elastisite Modülü (MPa)	2,75-4,10
Poisson Oranı	0,2-0,33
Termal Genleşme Katsayısı ($10^{-6} m/mper^{\circ}C$)	50-80
Şekil Değişirme (%)	1-5

Elyaf ve matrisin çekme mukavemeti ve gerinme yüzdesi karşılaştırılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Elyaf ve Matris malzemelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği (bolton.co.uk)

3.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

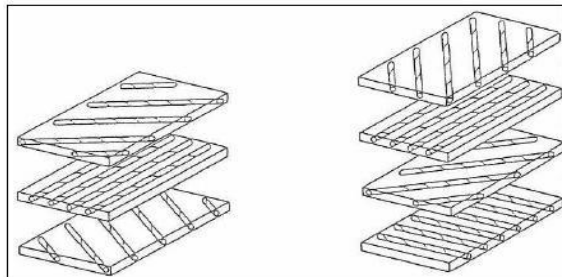
Kompozit malzemeler, matris malzeme ve takviye malzemesine göre iki ana gruptan oluşmaktadır.

3.4.1. Takviyeli Kompozit Malzemeler

- a) Partikül(Parçacıklı) takviyeli kompozit malzemeler
- b) Fiber (Elyaf) takviyeli kompozit malzemeler
- c) Tabakalı yapı takviyeli kompozit malzemeler
- d) Karma(Hibrid) yapı takviyeli kompozit malzemeler

3.4.1.1. Tabakalı Yapı Takviyeli Kompozit Malzemeler

Takviyeli kompozit malzemeler içerisinde en eski ve en yaygın yapı olarak bilinen tabakalı kompozitlerdir. İki ya da daha fazla malzemelerin tabaka halinde üst üste veya yan yana dizilerek yeni bir malzeme meydana gelmesi durumuna tabakalı kompozit malzemeler denir. Her bir tabaka ayrı ayrı bir kompozit malzemesi olması üstünlüğünü beraberinde getirmektedir. Tabakalı kompozitlerde üretim, tasarım, standartlaşma ve kontrol bakımından diğer kompozit malzemelere göre daha kolay olduğu görülmektedir. Bu kompozitlerde iki tabaka arasına, farklı bir biçimdeki bir malzemenin yerleştirilmesiyle elde edilen yapılara sandviç kompozitler adı verilir. Her bir tabaka işlemi kompozit malzemelerin dayanımı, sertliği, aşınma direnci, ısı ve neme karşı dayanıklı özelliklerini daha üstün bir hale getirebilir. Şekil 3.7’de tabakalı kompozit malzemelerin dizilişi görülmektedir.



Şekil 3.7. Tabakalı kompozit malzemelerin dizilişi (Jones 1999)

Tabakalı kompozit malzemeler en az iki katman veya tabakadan oluşurlar. Fakat mukavemet ve mekanik özelliklerin daha önem taşıdığı durumlarda, bu malzemelerin tabaka sayısı en az üç ya da daha fazla olması gerekir. Bu tabakaların meydana gelmesi aynı cins malzemelerden veya farklı cins malzemelerden yapılabilmektedir.

Tabakalı kompozit malzemelerin üretimi, matris malzemeleri ile elyaf malzemeleri birleştirilerek bir kompozit tabaka elde edilir. Daha sonra en az iki malzemelerin birleşmesiyle tabakalı kompozit malzemesi elde edilir. Bunlar matris ve elyaf malzemeleri türleri ve örgü şekline göre isimlendirilir. Elyafların diziliş yönlerine göre tabakalar arasında farklılık gösterebilir. Tabakaların her birisi izotropik malzeme olabildiği gibi ortotropik malzeme olabilir.

Tabakalı kompozit malzemelerin kullanım alanları, roket kılıfları, kayak, robot gövdeleri, tenis raketleri, golf sopaları, uçak kanatları ve kuyruk kısmı vs. verilebilir (Kara 2012).

3.5. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler günümüzde kullanım alanları artması ve yeni ticari sanayinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk zamanlarda uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzemeler gelişimleri son zamanda endüstride birçok muhtelif hedefler için kullanılmaktadır.

3.5.1. Havacılık Sanayi

- B2 bombardıman uçağının gövde panelleri; karbon elyaf / epoksi
- A380 yolcu uçağının kanat panelleri ve flap(kapak)ler; karbon elyaf / epoksi
- A380 yolcu uçağının uç bölümü (radome); CTP
- A380 yolcu uçağının dik olan stabilizeri; kevlar(aramid) elyaf/epoksi
- Uçağın zemin plakası; karbon takviyeli Polieterimid
- Uçak kontrol kapağı; Karbon Elyafı + PEEK

3.5.2. Denizcilik Sanayi

- Yelken Gövdesi, Tekne ve Yat arkası merdiven basamakları; CTP
- Yelken Direği; Kevlar(aramid) elyaf / Epoksi

3.5.3. Spor Araçları

- Kayaklar; karbon elyaf, kevlar elyaf, cam elyaf/ epoksi
- Kano ve Bot kürekleri; Camelyaf/Poliftalamid
- Su kayağı; Termo plastik prepreg
- Havuz kaydırakları: CTP
- Bisiklet; Karbon elyaf/Naylon(Poliamid) 1kg ağırlığında
- Spor Ayakkabıları; Poliüretan, petek (honeycomb)
- Golf Sopası, Zıpkın Gövdeleri ve Paletler; Karbon elyaf/ epoksi
- Tenis raketleri; Kevlar(aramid)/epoksi

3.5.4. Korozyona Dayanıklı Ürünler

- Kimyasal, Su ve Hava tankları; CTP, Karbon elyaf/epoksi ve Aramid elyaf/epoksi
- Gıda Reyonu Kaplaması; CTP
- Mazgal Olukları ve Yeraltı Boruları; CTP
- Açık Saha Dolapları ve Panolar: CTP
- Çit; CTP
- Rasathane Kubbesi; CTP

3.5.5. Sağlık Sektörü

- Tıbbi cihazlar dış kısmı korumalar; CTP
- Tekerli sandalyeler; Cam elyaf/polyester ve karbon elyaf/polyester

3.5.6. Ulaşım Sektörü

- Otobüsler, Traktör ve Golf Arabası Kaporta, Tavan ve Kabin Oturma Birimi; SMC, CTP
- Konteyner Tabanı; GMT
- Gösterge paneli, Teleferik ve Bagaj parçaları; CTP,

3.5.7. Müzik Aletleri

- Akustik Gitar; Karbon elyaf/ Epoksi
- Çello; Karbon elyaf/ Epoksi
- Keman; karbon elyaf/epoksi
- Gitar; Karbon tabakalar arası polimer köpük

3.5.8. Yapı Sektörü

- Köprü Tabanı, Taşıyıcı Konstrüksiyon ve Yürüme yolları; CTP
- Sokak Lambaları ve Trabzanı;CTP
- Bina Kapıları, Bina Kaplama Panelleri ve Balkon Korkuluğu: CTP
- Kuvetler ve Lavabolar; CTP (Cam Elyaf A.Ş. 1997)

3.6. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kompozit üretim yöntemleri iki ana gruptan oluşur. Bunlar; Termoset matrisli kompozitler ve Termoplastik matrisli kompozitlerdir. Kendi aralarında kısa fiber ve sürekli fiber şeklinde üretim çeşitleri vardır.

3.6.1. Termoset Matrisli Kompozitler

Kısa fiberler; SMC kalıplama, SRIM kalıplama, BMC kalıplama, Sprey kalıplama, Enjeksiyon kalıplama yöntemleridir. Sürekli fiberler ise; Filament sarma, Pultrusion, RTM, El yatırma, santrifüj(merkezkaç) kalıplama ve otoklav işlemi üretim yöntemleridir.

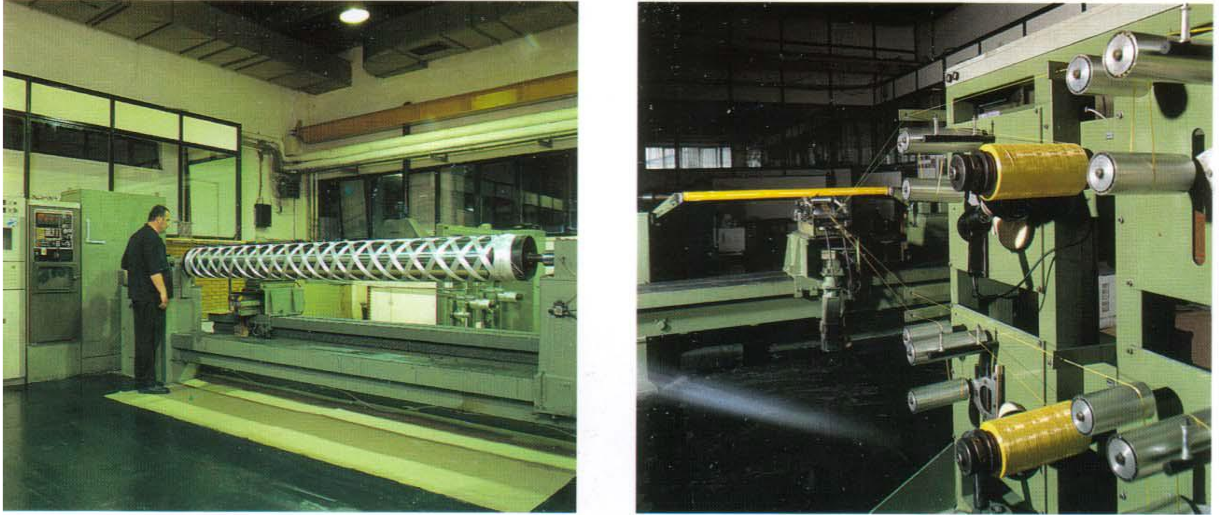
3.6.2. Termoplastik Matrisli Kompozitler

Kısa fiberleri; Enjeksiyon kalıplama, blow molding yöntemleridir. Sürekli fiberler ise; Termal şekillendirme, bant sarma, presli kalıplama, otoklav üretim yöntemleridir (Mazumdar 2002).

Kompozit basınçlı kapların üretiminde ise filament sarma yöntemi ve santrifüj(merkezkaç) kalıplama yöntemi kullanılmaktadır.

3.6.1.1. Filament Sarma Yöntemi

Filament sarım tekniği, sürekli elyaf malzemelerin reçine ile ıslatıldıktan hemen sonra bir makara yardımı ile çekilerek belirli bir hızla dönen bir kalıp(mandrel) üzerine sarılmasıdır. Bu yöntem diğer kompozit üretim teknikleri içerisinde kolay denilecek bir üretim yöntemidir. Özel tasarımlara sahip ürünlerin sargı makinalarıyla kafa ve mandrel dönüş hızları ayarlanarak istenilen sarım açılarına göre üretimi yapılır. Şekil 3.8’de filaman sarma süreci görülmektedir. Sarım birbirine yapışık bantlar durumunda ya da tekrarlanan sarım şekillerine göre tüm mandreli kaplaması şeklinde oluşturulur. Arzu edilen kalınlığa gelene kadar birbirini izleyen katmanlar aynı ya da farklı oryantasyon sarım açılarında sarılırlar. Sarım açıları ise mandrel boyuna doğru 25° gibi küçük açılardan mandrel eksenine 90° açıya kadar değişiklik gösterir. Yaygın olarak elyaflar arasındaki yapıştırıcı reçine olarak termoset matrisli kompozit malzemesi kullanılır. Bunlar; epoksi, polyester, vinilester ve fenolik gibi reçinelerdir. Genellikle ıslak sarımda, reçine sarım esnasında kullanılır. Başka bir yöntem olan kuru sarımda ise, emdirilmiş olan reçine, prepeg yani karbon, aramid ve cam elyaflar sisteminde kullanılır. Sarma işlemi tamamlandıktan hemen sonra kompozit parçalar yüksek sıcaklıklarda fırınlatılarak sertleştirilir. Üretim tamamlandıktan sonra mandrelden ayrılır. Parçanın durumuna göre, talaşlı imalat yöntemi kullanılabilir. Üretimde tasarım özelliklerine, parça türüne, malzemelerin kombinasyonuna ve cihazlara bağlı olarak birçok çeşidi vardır. Filaman sarım tekniği ile üretilen malzemeler genellikle dönme yüzeyleri şeklinde ve iç yüzeyleri pürüzsüzdür. Özel durumlara göre asimetric şekilde de üretilebilirler. Ürünlerin boyutları santimetreden-metreye kadar değişiklik gösterirler. Filaman sarma yöntemi ile üretilen en yaygın ürünler silindirler, boru yapıları, basınçlı kaplar, tüpler, kimyasal depolama tankları, roket motor kasaları ve roket fırlatma tüpleridir. Bu ürünler, kullanılacak alanlara ve maruz kalacakları yüklere göre özel olarak tasarlanırlar.



Şekil 3.8. CNC helisel filaman sargı makinesi (Şahin 2004)

Filaman sarım tekniğinde hemen her tür sürekli elyaf kullanılmasına rağmen filaman sarma yöntemi, temel olarak bir cam elyaflı sarım yöntemidir. Karbon, aramid veya kevlar 49 gibi elyaflar, elastisite modülü ve yüksek mukavemeti olan uzay ve havacılık sanayiinde kullanılmaktadır. Filaman sarma makineleri tamamen bilgisayar kontrollü, 3 ve 4 eksenli makinelerdir.

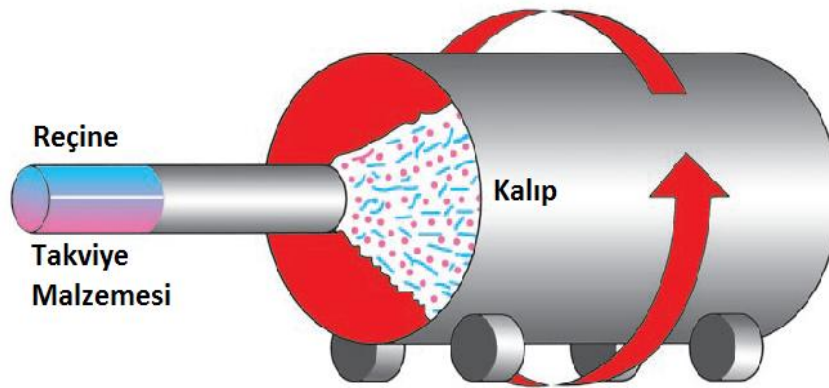
Filaman sarım tekniği ile üretilen kompozit basınçlı kapların üretim parametreleri elde edilen yapının özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Özellikle elyaf gerginliği, elyafların homojen dağılması ve reçinenin homojen olarak sertleşmemesi temel unsurlar olarak bilinmektedir. Korozyon gerilme sebebi, elyaf üzerine gelen gerilmenin büyüklüğüne bağlıdır buda elyaf hasarını getirmektedir. Elyaf gerginliğinin fazla olması üretim hızını artırmaktadır. Reçinenin fazla olması ise korozyon ortamın elyafa gelmesini engellemesi bakımından önem taşır. Reçinenin homojen olarak sertleşmemesi ise matris malzemelerin bölgesel tok davranış göstermesi ve çatlak hızının yavaşlatılarak hatta durdurulmasına neden olabilir (Şahin 2004).

3.6.1.2. Santrifüj(Merkezkaç) Kalıplama Yöntemi

Santrifüj kalıplamada, takviye malzemeleri ve reçineler belirli bir çevresel hızla dönen kalıbın iç yüzeyine uygulanmaktadır. Yaygın olarak takviyeli elyaflar kalıplama esnasında

kırpılmış fitil kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde her iki yüzü düzgün rijitsel boru parçalarının üretimi yapılmaktadır.

Santrifüj (Merkezkaç) kuvveti, sertleştirici reçine ile temas eden kırpılmış elyaf takviyesinin ıslanmasını sağlamakla birlikte dönen kalıbın cidarlarına dağıtılarak karışıma sıcak hava püskürtülerek sertleştirilir. Bu yöntemle üretilen parçanın dış kısmı kalıbın iç yüzeyinden oluşmaktadır. Bu da ürünün dış yüzeyinin düzgün ve pürüzsüz olduğu görülmektedir (Şekil 3.9).

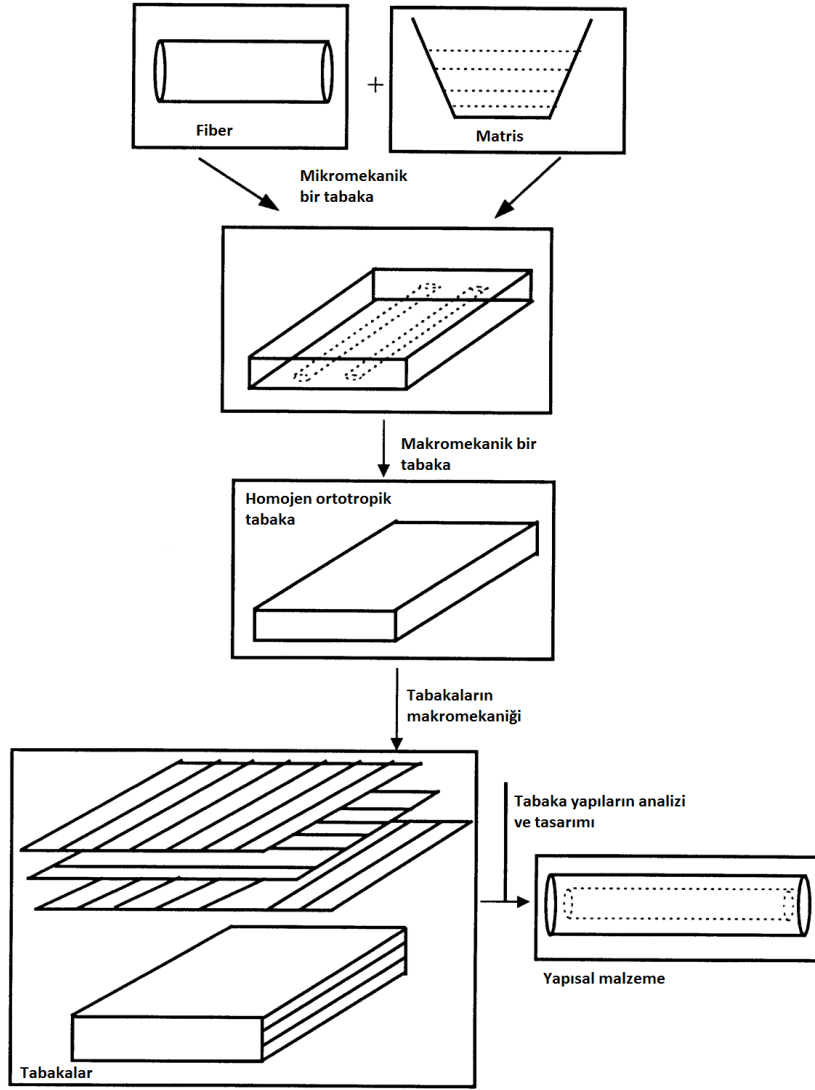


Şekil 3.9. Santrifüj Kalıplama Prosesi (Cam Elyaf A.Ş. 1997)

Santrifüj kalıplama yöntemi ile üretilen parçaların iç yüzeyinin görünüşlerini iyileştirmek ve kimyasal direncini artırmak için ince bir yüzey oluşturacak şekilde reçine püskürtülür ve yüzey daha pürüzsüz hale getirilebilir. Bu yöntem, büyük çaplı kompozit borular, basınçlı silindirik kaplar, silolar ve kimyasal tanklar ticari olarak üretilmesi uygundur. Santrifüj kalıplamanın avantajları, dış yüzeylerin pürüzsüz ve düzgün elde edilmesi ve uçucu maddelerin üretim sırasında kontrol edilebilmesidir. Başlıca dezavantajı ise, büyük boyuttaki kalıpların döndürme kabiliyetinin sınırlı olmasıdır (Cam Elyaf A.Ş. 1997).

3.7. Kompozit Malzemelerin Mekanik Analizleri

Kompozit malzemelerin tabaka kalınlığına baktığımızda 0,155 mm olan ince bir tabakaya sahiptir. Tabakalar, tabaka kalınlığı yönünde dizilmesiyle oluşur. Bu tür tabakalı yapıların tasarımı ve analizi, tabakaya ait gerilme-şekil değiştirme bilgisi gerektirir. Bir tabakanın mekanik analizini anlamak tabakanın sahip olduğu malzeme özelliklerinden geçer.



Şekil 3.10. Tabaka kompozitlerin analiz şeması (Kaw 2006)

Genellikle kompozit malzemelerin mekanik analiz özellikleri iki alt ana gruptan oluşur.

a) Bir Tabakanın Makromekanik Analizi b) Bir Tabakanın Mikromekanik Analizi

3.7.1. Bir Tabakanın Makromekanik Analizi

Makromekanik analizin amacı, farklı türden malzemelerin gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını geliştirmek, tek ve iki yönlü bir tabakanın gerilme-gerinme bağıntılarını geliştirmek, tabakanın rijitlik ve esneklik parametrelerini kullanarak tek yönlü/iki yönlü bir tabakaya ait mühendislik sabitlerini belirlemek ve tabaka açısına göre elastisite modülleri, mukavemetler, ısı ve nem genleşme katsayıları tespit etmektir.

3.7.2. Bir Tabakanın Mikromekanik Analizi

Mikromekanik analizin amacı, elyaf ve matris malzemelerin özelliklerini birbirleriyle karıştırarak yeni bir kompozit yapı davranışı ortaya çıkar. Kompozit bileşenlerinden olan elyaf ve matrise ait ağırlık ve hacim oranı(kütle oranı) ile yoğunluk ve boşluk oranları kavramlarını açıklamaktır.

Elyaf hacim oranı, elyaf dizilimi, elyaf ve matrisin kendi özelliklerinden faydalanarak tek yönlü tabakanın elastisite modülü, mukavemet parametreleri ve ısı, nem genleşme katsayılarını tespit etmektir.

Tek yönlü bir tabakaya ait mühendislik sabitleri deneysel olarak belirlenebilirler. Ancak izotropik malzemelerin zıddına bu parametrelerin deneysel bulunması oldukça pahalı ve süresi uzundur. Bu sebeple, mühendislik sabitlerin üzerinde çalışılması ve analitik geometrilerin geliştirilmesi son derece önem taşımaktadır. Bundan dolayı hesaplamalarda basit bağıntılar amaçlanmaktadır. Tabakanın mikromekaniği olarak isim verilen bu bağıntılar tasarımcı açısından kompozit malzemeyi seçmesine yardımcı olacaktır (Kaw 2006).

3.7.2.1. Hacim Oranları

Tek yönlü bir tabakanın rijitlik, mukavemet ve termal özellikleri bulunurken teorik hesaplamalarda fiber ve matris hacim oranlarına bağlıdır.

Fiber ve matristen oluşan bir kompozit için aşağıdaki sembolik gösterimler kabul edilsin.

$v_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matris hacmi

Fiber hacim oranı V_f olan ve Matris hacim oranı V_m ile gösterilirse,

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \quad (3.1)$$

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (3.2)$$

$$V_f + V_m = V_c$$

$$V_f + V_m = 1 \quad (3.3)$$

3.7.2.2. Kütle Oranları

Kompozit bileşenlere ait ölçümler genellikle onların kütlelerine dayanmaktadır. Bu sebep ile, fiber ve matris kütle oranlarının belirlenmesi gerekir.

Fiber ve matristen oluşan bir kompozit için aşağıdaki sembolik gösterimler kabul edilsin.

$w_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matris kütlesi

$\rho_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matris yoğunluğu

Fiberlerin kütle oranı W_f olan ve Matris kütle oranı W_m ile gösterilirse,

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} \quad (3.4)$$

$$W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad (3.5)$$

$$w_f + w_m = w_c$$

$$W_f + W_m = 1 \quad (3.6)$$

$$W_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} V_f \quad (3.7)$$

$$W_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} V_m \quad (3.8)$$

$$W_f = \frac{\frac{\rho_f}{\rho_m} V_f}{\frac{\rho_f}{\rho_m} V_f + V_m} V_f \quad (3.9)$$

$$W_m = \frac{\frac{\rho_f}{\rho_m} V_m}{\frac{\rho_f}{\rho_m} (1 - V_m) + V_m} V_m \quad (3.10)$$

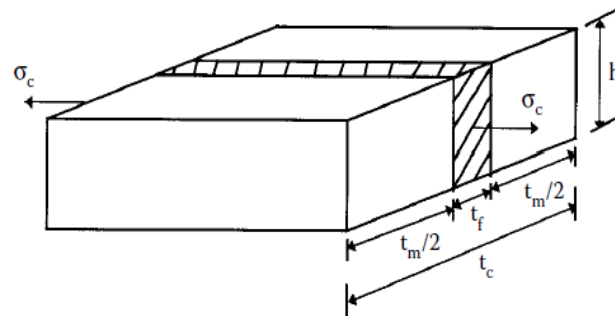
3.7.2.3. Kompozitin Yoğunluğu

Kompozitin yoğunluğunun tanımlanması gerekir. Çünkü bu değer, kompozitin fiber hacim ve boşluk oranlarının deneysel olarak tespitinde kullanıldığı gibi özgül mukavemet ve elastisite modüller değerlerini tanımlama kullanılacaktır.

Hacim oranları cinsinden kompozit yoğunluğunun türetilmesi; kompozit kütlesi, fiber kütlesi ve matris kütlesi toplamına eşittir.

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (3.11)$$

3.7.2.4. Boyuna Elastisite Modülünün Hesaplanması



Şekil 3.11. Boyuna çekmeye maruz kalan kompozit malzeme modeli

Tek yönlü kompozit malzemenin (F_c) yükü, fiber (F_f) ve matris (F_m) malzeme yükleri tarafından paylaşırlar.

$$F_c = F_f + F_m \quad (3.12)$$

Fiber, matris ve kompozit tarafından taşınan yükler, bu bileşenlerdeki gerilmeler ve kesit alanlarına bağlı olarak yazılabilirler.

$$F_c = \sigma_c A_c \quad (3.13)$$

$$F_f = \sigma_f A_f \quad (3.14)$$

$$F_m = \sigma_m A_m \quad (3.15)$$

Burada,

$\sigma_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matristeki gerilmeleri

$A_{c,f,m}$ = Sırayla kompozitin, fiberin ve matrisin alanları

Fiber, matris ve kompozit için Hooke eğrisi kanununun geçerli olduğu ve ayrıca fiber ve matrisin izotropik olduğu kabul edilerek her bileşenin ve kompozit için gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları,

$$\sigma_c = E_{11} \varepsilon_c \quad (3.16)$$

$$\sigma_f = E_f \varepsilon_f \quad (3.17)$$

$$\sigma_m = E_m \varepsilon_m \quad (3.18)$$

Burada,

$\varepsilon_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matristeki şekil değiştirmeleri

$E_{11,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matris elastisite modülleri

Denklem (3.16), Denklem (3.17) ve Denklem (3.18) birleştirilmesiyle elde edilen denklem,

$$E_{11}\varepsilon_c A_c = E_f \varepsilon_f A_f + E_m \varepsilon_m A_m \quad (3.19)$$

Kompozit, fiber ve matristeki şekil değiştirmeleri $\varepsilon_c = \varepsilon_f = \varepsilon_m$ eşittir. Bu durumda, denklem(3.19) eşitlenir ise,

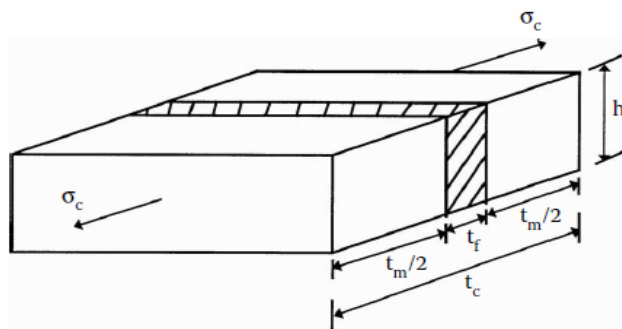
$$E_{11} = E_f \frac{A_f}{A_c} + E_m \frac{A_m}{A_c} \quad (3.20)$$

Hacim oranların tanımı için yazılan $V_f = \frac{A_f}{A_c}$ ve $V_m = \frac{A_m}{A_c}$ denklemleri kullanılarak aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$E_{11} = E_f V_f + E_m V_m \quad (3.21)$$

Bu denklem, fiber ve matris modüllerinin ortalama ağırlığı olan boyuna elastisite modülünü verir.

3.7.2.5. Enine Elastisite Modülünün Hesaplanması



Şekil 3.12. Tek yönlü tabaka için enine çekmeye maruz kalan kompozit malzeme modeli

Bu durumda fiber, matris ve kompozitteki gerilmeler birbirine $\sigma_c = \sigma_f = \sigma_m$ eşittir.

$\sigma_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matristeki gerilmeler

Kompozitteki enine uzama Δ_c , fiberdeki enine uzama Δ_f ile matristeki enine uzama Δ_m 'nin toplamına eşittir:

$$\Delta_c = \Delta_f + \Delta_m \quad (3.22)$$

Normal şekil değiştirme tanımından,

$$\Delta_c = t_c \varepsilon_c \quad (3.23)$$

$$\Delta_f = t_f \varepsilon_f \quad (3.24)$$

$$\Delta_m = t_m \varepsilon_m \quad (3.25)$$

$t_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matris kalınlıkları

$\varepsilon_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matristeki enine normal şekil değiştirmeleridir.

Kompozit, fiber ve matris için Hooke eğrisi kanununu kullanılarak kompozit, fiber ve matristeki şekil değiştirmeler bulunabilir.

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_{22}} \quad (3.26)$$

$$\varepsilon_f = \frac{\sigma_f}{E_f} \quad (3.27)$$

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_m}{E_m} \quad (3.28)$$

Denklemler tekrar düzenlenirse,

$$\frac{1}{E_{22}} = \frac{1}{E_f} \frac{t_f}{t_c} + \frac{1}{E_m} \frac{t_m}{t_c} \quad (3.29)$$

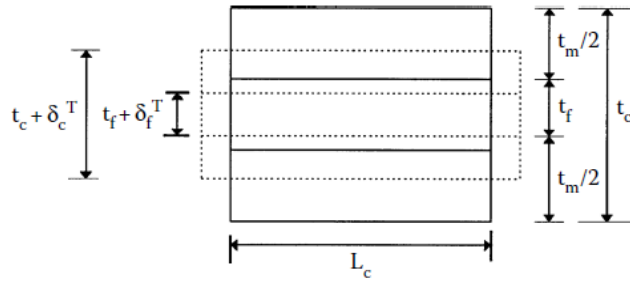
Fiber ve matris için diğer iki boyut eşit olduğunda kalınlık oranları hacim oranlarıyla aynı olduğundan,

$$\frac{1}{E_{22}} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \quad (3.30)$$

Bu denklem, fiber ve matris modüllerinin ortalama ağırlığı olan enine elastisite modülünü verir.

3.7.2.6. Major Poisson Oranı

Boylamasına doğrultuda normal yük uygulandığında, enine doğrultudaki normal şekil değiştirmenin boylamasına doğrultudaki normal şekil değiştirmeye oranının negatifi olarak tanımlanır.



Şekil 3.13. Tek yönlü bir tabakanın poisson oranını bulmak için temsili bir hacim elemanına uygulanan boyuna gerilme

Enine doğrultudaki kompozit deformasyonu, bu doğrultudaki fiber ve matris deformasyonları toplamına eşittir.

$$\delta_c^T = \delta_f^T + \delta_m^T \quad (3.31)$$

Normal şekil değiştirme tanımından, aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$\varepsilon_c = \frac{\delta_c^T}{t_c} \quad (3.32)$$

$$\varepsilon_f = \frac{\delta_f^T}{t_f} \quad (3.33)$$

$$\varepsilon_m = \frac{\delta_m^T}{t_m} \quad (3.34)$$

Burada,

$\varepsilon_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matristeki enine normal şekil değiştirmeleridir.

Denklem düzenlenirse,

$$t_c \varepsilon_c^T = t_f \varepsilon_f^T + t_m \varepsilon_m^T \quad (3.35)$$

Sırayla fiber, matris ve kompozit için poisson oranları,

$$\mu_f = -\frac{\varepsilon_f^T}{\varepsilon_f^L} \quad (3.36)$$

$$\mu_m = -\frac{\varepsilon_m^T}{\varepsilon_m^L} \quad (3.37)$$

$$\mu_{12} = -\frac{\varepsilon_c^T}{\varepsilon_c^L} \quad (3.38)$$

Boylamasına doğrultudaki kompozit, fiber ve matrise ait şekil değiştirmeler eşit kabul edilir.

Bu durumda,

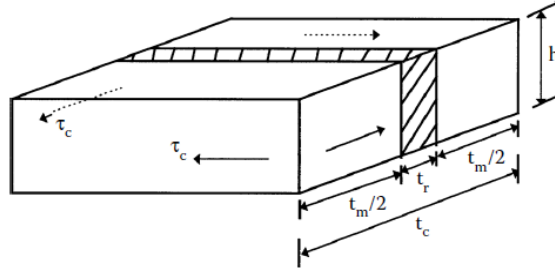
$$t_c \mu_{12} = t_f \mu_f + t_m \mu_m \quad (3.39)$$

$$\mu_{12} = \mu_f \frac{t_f}{t_c} + \mu_m \frac{t_m}{t_c} \quad (3.40)$$

Kalınlık oranı, hacim oranıyla aynı olduğu için aşağıdaki formda ifade edilir.

$$\mu_{12} = \mu_f V_f + \mu_m V_m \quad (3.41)$$

3.7.2.7. Düzlem Kayma Modülü



Şekil 3.14. Bir hacim elemanına uygulanan düzlem içi kesme gerilmesi

Kompozitin kayma deformasyonu, fiberin kayma deformasyonu ve matrisin kayma deformasyonunun toplamına eşittir.

$$\delta_c = \delta_f + \delta_m \quad (3.42)$$

Kayma şekil değiştirmesinin tanımından,

$$\delta_c = \gamma_c t_c \quad (3.43)$$

$$\delta_f = \gamma_f t_f \quad (3.44)$$

$$\delta_m = \gamma_m t_m \quad (3.45)$$

Burada,

$\gamma_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matristeki kayma şekil değiştirmeleri

$t_{c,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matris kalınlıkları

Fiber, matris ve kompozit için geçerli Hooke kanunundan,

$$\gamma_c = \frac{\tau_c}{G_{12}} \quad (3.46)$$

$$\gamma_f = \frac{\tau_f}{G_f} \quad (3.47)$$

$$\gamma_m = \frac{\tau_m}{G_m} \quad (3.48)$$

$G_{12,f,m}$ = Sırayla kompozit, fiber ve matrisin kayma modülü

Denklem tekrar düzenlenirse,

$$\frac{\tau_c}{G_{12}} t_c = \frac{\tau_f}{G_f} t_f + \frac{\tau_m}{G_m} t_m \quad (3.49)$$

Fiber, matris ve kompozitteki kayma gerilmelerinin eşit olduğu varsayılarak,

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{G_f} \frac{t_f}{t_c} + \frac{1}{G_m} \frac{t_m}{t_c} \quad (3.50)$$

Kalınlık oranı, hacim oranına eşit olduğuna göre,

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{V_f}{G_f} + \frac{V_m}{G_m} \quad (3.51)$$

(Kaw 2006).

Tablo 3.3. Malzemelerin tipik mekanik özellikleri (Mazumdar 2002)

Malzeme	Yoğunluk (ρ) g / cc	Elastisite Modülü (E) GPa	Çekme Dayanımı (σ) GPa	Özel Modül (E / ρ)	Özel Dayanım (σ / ρ)	Maksimum Çalışma Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
Metaller						
Dökme Demir	7,0	100	0,14	14,3	0,02	230-300
Çelik AISI 1045	7,8	205	0,57	26,3	0,073	500-650
Alüminyum 2024-T4	2,7	73	0,45	27,0	0,17	150-250
Alüminyum 6061-T6	2,7	69	0,27	25,5	0,10	150-250
Plastikler						
Naylon 6/6	1,15	2,9	0,082	2,52	0,071	75-100
Polypropylene	0,9	1,4	0,033	1,55	0,037	50-80
Epoksi	1,25	3,5	0,069	2,8	0,055	80-215
Fenolik	1,35	3,0	0,006	2,22	0,004	70-120
Seramikler						
Alüminyum	3,8	350	0,17	92,1	0,045	1425-1540
MgO	3,6	205	0,06	56,9	0,017	900-1000
Kısa Lifli Kompozitler						
Cam Dolgulu Epoksi (%35)	2,00	15,7	0,13	7,25	0,065	80-125
Cam Dolgulu Naylon (%35)	1,62	14,5	0,20	8,95	0,12	70-110
Cam Dolgulu Epoksi (%60)	1,95	21,8	0,29	11,18	0,149	70-110
Tek Yönlü Kompozitler						
S-cam/epoksi (%45)	1,81	39,5	0,87	21,8	0,48	80-215
Karbon/Epoksi (%61)	1,59	142	1,73	89,3	1,08	80-215
Kevlar/Epoksi (%53)	1,35	63,6	1,1	47,1	0,81	80-215

4. KOMPOZİT BASINÇLI KAPLAR

4.1. Kompozit Basınçlı Kapların Geliştirilmesi

Basınçlı kaplar uzun bir süre filament sargı yöntemi ile üretilmiştir. Basit yapılar gibi görünse de, tasarım açısından üretimi zordur. Filament sargılı kompozit basınçlı kaplar, sadece askeri kullanım için değil, sivil amaçlar için uyarlanmış ve daha sonra ticari pazarda da kullanım alanı yaygındır. Örneğin, itfaiyeciler, dağcılık seferi ekipmanları ve diğer acil durum personeli tarafından kullanılan bağımsız solunum cihazları, dalgıçlar için tüplü kaplar, tıbbi ve havacılık için oksijen silindirik tüpler, iniş takımlarının açılma kapıları veya alçaltılması, sıvılaştırılmış doğal gazın taşınması için kriyojenik tanklar ve paintball gazı silindirik tüpler, vb. uygulama alanlarına sahiptir. Kompozit basınçlı kaplar için en yaygın uygulama otomotiv sanayisidir. Emisyonların azaltılmasına verilen önem, dünya çapında Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG) yakıtlı araçlara dönüşümü desteklenmektedir. Şekil 4.1’de filament sargılı basınçlı kaplar görülmektedir.

Mühendisler, hava kalitesini iyileştirmek için otomobillere enerji kaynağı olarak doğalgaz ya da hidrojen ile yakıt yağlarını değiştirmeyi küresel uyarıları azaltmaya amaçlıyorlar. Yakıt pilleri hidrojen gazı depolama teknolojileri ile uyumlu olarak, bu yakıtların araçlarda başarılı bir şekilde uygulanması için temel şartlardır. Sınırlamalardan biri, yakıt ikmali durakları arasında araç aralığı olmamasıdır. Basınçlı kapların ağırlığı, hacmi ve maliyeti de dikkate değerdir.

Yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü yoğunluk oranı malzemelerini kullanan filament sargılı kompozit basınçlı kaplar, yüksek basınçlı gazların ve akışkanların tutulması için bilinen tüm metal basınçlı kaplara göre önemli ölçüde ağırlık tasarrufu ile birlikte kırılma, esneklik, işlenebilirlik ve süneklik özelliğini sağlar.



Şekil 4.1. Filament sargılı kompozit basınçlı kaplar (Mazumdar 2002)

Basınçlı kapların yapısal verimliliği şöyle tanımlanır:

$$e = \frac{P_b V}{W} \quad (4.1)$$

Burada; P_b =Patlama basıncı

V =Hacim

W =Kabın ağırlığı

Tamamen metal basınçlı kapların yapısal verimliliği, $7,6 \times 10^6$ ila $15,2 \times 10^6$ mm arasında değişirken, filament sargılı kompozit kaplar, $20,3 \times 10^6$ ila $30,5 \times 10^6$ mm arasında olan bir aralıkta verimliliğe sahiptir. Benzer hacim ve basınçtaki kompozit basınçlı kapların yapı verimliliğidir.

Çok yüksek patlama basınçlarına sahip kompozit basınçlı kaplar (70-100 MPa) bugün havacılık endüstrisinde hizmet vermektedir. 200-400 MPa arasında patlama basıncına sahip kaplar araştırmaya tabi tutulmuş ve 1970'lerin sonlarında 1980'lerin ortasına kadar bu seviyeler korunmuştur. Bu tür bir işlemi gerçekleştirmek için gelişmiş ultra yüksek basınçlı kompozit basınçlı kaplar tasarım teknikleri kullanılmalıdır.

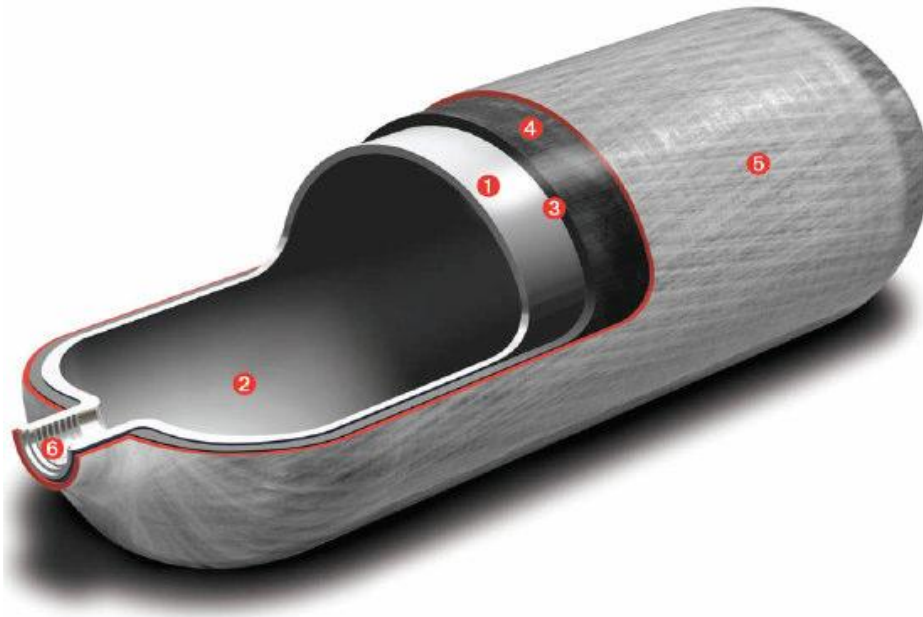
Mevcut yönetmelikler uyarınca maksimum 35 MPa'lık bir basınca izin verilmektedir. 21 MPa, sivil uygulamalar için standart bir araç yakıt ikmal sisteminin normal çıkış basıncıdır. Kamu yollarında veya ticari uçaklarda kullanılmak üzere daha yüksek basınçlar henüz onaylanmamıştır. Bundan dolayı kompozit basınçlı kap teknolojisinde ilerlemeye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Tasarım, geliştirme, test etme ve işletme, üretildikleri ve kullanıldığı tüm ülkelerde tasarım kılavuzları, kodlar ve standartlar tarafından yönetilir.

İnce cidarlı kompozit kapların basınç sınırlama sınırları, taşımacılık endüstrisindeki geniş uygulamaları için şu anda yetersizdir. Ultra yüksek basınçlı yakıt gazlarını tutmak için kalın cidarlı tasarımların daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir. Gerilimin cidar kalınlığından hızla azaldığı bilinmektedir. İlk bakışta, deforme liflerinin ön gerilmesinin, cidar kalınlığından stres dağılımını değiştirebildiği görülmektedir, ancak araştırmalar, etkilerin sınırlı olduğunu göstermiştir. Basınç dağılımlarının tasarım aşamalarında, geometrinin bir varyasyonu ile gerilme dağılımlarının optimizasyonu düşünülmektedir. Basınçlı kaplardaki kalınlıktaki gerilme dağılımları, geometri değişikliklerine duyarlı görünmemektedir. Belirtildiği gibi, mevcut ultra yüksek basınçlı kaplar yapısal verimlilikte düşüktür.

Kompozit basınçlı kaplar üzerindeki sonlu eleman analizlerinin çoğu klasik laminasyon teorisi kullanılarak oluşturulan kabuk elemanlarına dayanmaktadır. İç basınçlar çok yüksek olmadığında ve çapın cidar kalınlığına oranı 15'ten büyük olduğunda sonuçlar iyi olmalıdır. ANSYS gibi bazı SEM araçları, kayma gerilmesinin radyal yönde etkisini yansıtacak ve enine yakalayacak kalın bir kabuk elemanı sağlar. Buna kesme deformasyonu denir (Önder 2007).

4.2. Kompozit Basınçlı Kapların Yapısı

Silindirik kompozit basınçlı kaplar, Şekil 4.2’de gösterildiği gibi bir metalik iç astar ve bir filament yağı ve bir birleşik dış kabuk oluşturmaktadır. Metal astar, sızıntıyı önlemek için gereklidir, bazı metal astarlar da iç basınç yükünü paylaşma gücü sağlar. Kompozit basınçlı kaplar için, uygulanan yükün çoğu, filament sargılı kompozit malzemedan yapılan güçlü dış tabakalar tarafından taşınır.



Şekil 4.2. Filament sargılı kompozit basınçlı kap örnekleri

- 1- Ultra ince cidarlı alüminyum astar
- 2- Protexal pürüzsüz, inert, korozyona dayanıklı iç yüzey
- 3- Yalıtım tabakası
- 4- Epoksi reçine matrisinde yüksek performanslı karbon elyaf overwrap
- 5- Yüksek mukavemetli cam elyaf takviyeli plastik (CTP) koruyucu tabaka
- 6- Hassas işlenmiş iplik (Önder 2007)

4.3. Kompozit Basınçlı Kapların Özellikleri

Kompozit basınçlı kaplar, yapıldıkları elyafın son derece yüksek gerilme mukavemetinden ve yüksek elastik modülünden tam olarak faydalanmalıdır. Bu özellikleri değerlendirmek

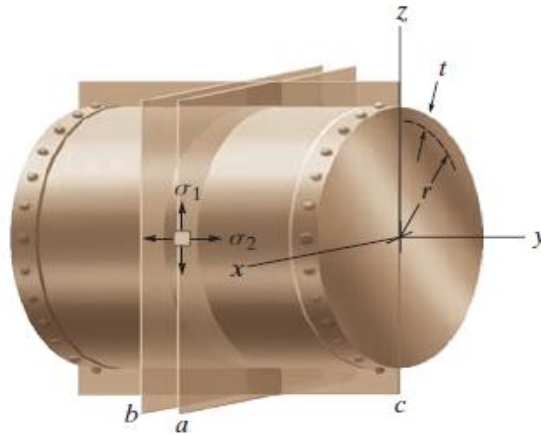
için tabakalı kompozit malzemelerin teorileri, modül ve nispeten daha az bir mukavemet için nispeten iyi bir şekilde oluşturulmuştur.

Genel olarak, kompozit malzeme davranışlarını modellemek için iki yaklaşım vardır:

- 1) Bileşen malzemelerin etkileşiminin heterojen kompozit malzemenin davranışının tanımının bir parçası olarak ayrıntılı olarak incelendiği davranışa mikromekanik davranış denir
- 2) Malzemenin homojen olduğu ve bileşenlerin etkisinin sadece ortalama olarak tespit edildiği yerlerde bulunan makromekanik davranıştır (Önder 2007).

4.4. İç Basınca Maruz İnce Cidarlı Basınçlı Kapların Düzlem Gerilme ve Von-mises Kriteri

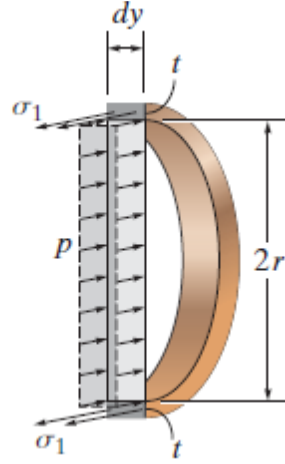
Şekilde görülen r iç yarıçapa, t cidar kalınlığına ve içerdiği gazın oluşturduğu p gösterge basıncına maruz silindirik basınç kabını göz önüne alalım. Bu yüklemden dolayı basınçlı kabın uçlarından yeterince uzakta ve Şekil 4.3'te görülen doğrultuda alınan sonsuz küçük eleman çevresel veya teğetsel doğrultuda σ_1 ve boyuna veya eksenel doğrultuda σ_2 normal gerilmeye maruzdur.



Şekil 4.3. Basınçlı kap serbest cisim diyagramı

Şekil 4.3'te görülen basınçlı kap, a, b ve c düzlemleri ile kesilmiş bulunarak teğetsel gerilmesi belirlenir. İçerdiği gazla birlikte arka kısmının serbest cisim diyagramı Şekil 4.3

'te görülmektedir. Burada, x doğrultusunda yüklemeler görülmektedir. Bu yükler, σ_1 kabın cidarına etki eden teğetsel gerilme ve düşey yüzeyine etki eden gazın basıncıdır.



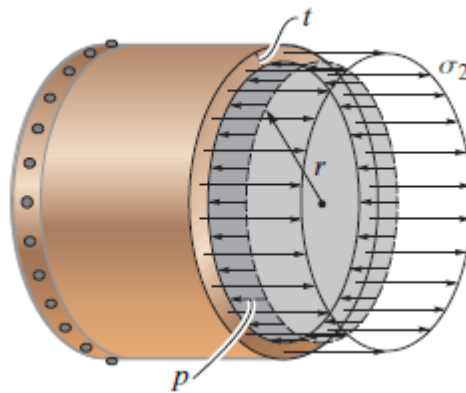
Şekil 4.4. σ_1 Gerilmesi

x doğrultusunda denge durumu için şu eşitlik yazılır.

$$\sum F_x = 0$$

$$2[\sigma_1(td)] - p(2r dy) = 0$$

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} \text{ (Teğetsel Gerilme)} \quad (4.2)$$



Şekil 4.5. σ_2 Gerilmesi

Boylamasına gerilme σ_2 yi elde etmek için, Şekil 4.3'deki silindirin b düzlemi ile kesilen parça göz önünde alınır. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, σ_2 cidar boyunca düzgün olarak etki ederken p basıncı gaz veya sıvının kesitine etki eder.

Ortalama yarıçap yaklaşık olarak kabın iç yarıçapına eşit olacağından, y doğrultusunda denge şartı sağlayacağından;

$$\sum F_y = 0$$

$$\sigma_2(2\pi r t) - p(\pi r^2) = 0$$

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} \text{ (Eksenel Gerilme)} \quad (4.3)$$

(Hibbeler 2007).

Von Mises Gerilme Kriteri:

Huber tarafından 1904'de ortaya atılmasına rağmen Von Misses Teorisi olarak bilinen bu teoriye göre Şekil değiştirme enerjisinin belli bir sınırı aşması ile cisimde hasar başlar. Böylece bu teori;

$$2\sigma_y^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad (4.4)$$

Bağıntısı ile verilir. Burada σ_y malzemenin içinde oluşan diğer tüm gerilmelerin yerine kullanılan eşdeğer (von mises) gerilmesidir. Malzemede iki eksenli gerilme durumunda $\sigma_3 = 0$ olacağından yukarıdaki bağıntı;

$$\sigma_y^2 = (\sigma_1)^2 - (\sigma_1\sigma_2) + (\sigma_2)^2 \quad (4.5)$$

şeklini alır.

σ_1, σ_2 = silindir cidarı boyunca her birinin sabit olduğu varsayılan ve malzemeyi çekmeye maruz bırakan sırasıyla, teğetsel ve eksenel doğrultudaki normal gerilme

p : Kaptaki gazın oluşturduğu iç gösterge basıncı (MPa) Test Basıncı 1,5 kat alınacak

r : Silindirin yarıçapı (mm)

t : Cidar kalınlığı ($r/t \geq 10$) (mm)

L : Silindirin boyu (mm)

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan kompozit malzemeler basınçlı kapların üretiminde de kullanımı artmıştır. Bu kompozitlerin üretimlerinde filament sarma yöntemi ve santrifüj sarma metodu kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılacak model Cam elyaf/epoksi, Karbon elyaf/epoksi ve Kevlar elyaf/epoksi olarak üç farklı malzemenin birbiriyle kıyaslanması, her malzeme için farklı sarım açıları ve farklı tabaka sayıları şeklindeki değişken parametreler doğrultusunda yapılmıştır. Analizler yapılırken sonlu elemanlar metodunu olan ANSYS analiz bilgisayar programı kullanılmıştır. Analiz yapılacak model, katı model oluşturma programı olan SOLIDWORKS kullanılarak tasarlanmıştır. Modelleme işleminden sonra, oluşturulan modeller ANSYS programına aktarılmış kabuk modeline malzeme özellikleri tanımlanmıştır.

Çalışmada kullanılacak her tabakanın kalınlığı ortalama 0,3 mm ve 0,15 mm kabul edilmiştir. Her bir malzeme için iki farklı tabaka girilmiş 10 tabakalı ve 20 tabakalı olarak kaplar modellenerek ve gerekli çözümler yapılmıştır. Her tabaka sayısı için sarım açıları $[30^0-30^0]$, $[45^0-45^0]$, $[60^0-60^0]$ ve $[75^0-75^0]$ olacak şekilde dört farklı sarım açısında modeller tasarlanıp gerekli analizler yapılmıştır. Çözümler yapılırken uygulanacak olan basınç; kabın test basıncı kadar iç yüzeyinden hidrostatik olarak tanımlanmıştır. Bu çözümler sonucunda elde edilen von-mises gerilmeler ve toplam deformasyonlar incelenmiş ve hangi tasarımın daha uygulanabilir olduğu belirlenmiştir.

5.1. Kompozit Malzemelerin Teorik Hesaplamaları

Bu çalışmada, hacim oranları ve yoğunlukları bilinen cam elyaf, karbon elyaf ve kevlar elyaf ile matris malzemesi olan epoksi reçine özelliklerini birbirleriyle karıştırarak yeni bir kompozit yapı davranışı ortaya çıkar. Kompozit bileşenlerinden olan elyaf ve matris ait

hacim oranı ile yoğunluk ve boşluk oranları elde edilmiştir. Bunlara bağlı olarak elastisite modülleri, major poisson oranları ve düzlem kayma modülleri hesaplanmıştır.

5.1.1. Cam Elyaf/Epoksi Malzemesinin Hesabı

Cam elyafın, elastisitesi $E_f = 86 \text{ GPa}$, yoğunluğu $\rho_f = 2,5 \text{ g/cm}^3$, hacim oranı $V_f = \%45$, ve poisson oranı $\mu_f = 0,22$ dir. Epoksi reçine ise, elastisite $E_m = 3,5 \text{ GPa}$, yoğunluğu $\rho_m = 1,25 \text{ g/cm}^3$, hacim oranı $V_m = \%55$ ve poisson oranı $\mu_m = 0,33$ 'dür.

Buna göre,

a) Boyuna Modül

$$E_{11} = E_f V_f + E_m V_m \quad (5.1)$$

$$E_{11} = 86 \times 0,45 + 3,5 \times 0,55 = 40,625 \text{ GPa}$$

b) Enine Modül

$$E_{22} = \frac{E_f E_m}{E_m V_f + E_f V_m} \quad (5.2)$$

$$E_{22} = \frac{86 \times 3,5}{3,5 \times 0,45 + 86 \times 0,55} = 6,15 \text{ GPa}$$

c) Major Poisson Oranı

$$\mu_{12} = \mu_f V_f + \mu_m V_m \quad (5.3)$$

$$\mu_{12} = 0,22 \times 0,45 + 0,33 \times 0,55 = 0,28$$

d) Kayma Modül

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{G_f \mu_m + G_m \mu_f} \quad (5.4)$$

$$G_f = \frac{E_f}{2(1 + \mu_f)} = \frac{86}{2 \times (1 + 0,22)} = 35,24 GPa$$

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \mu_m)} = \frac{3,5}{2 \times (1 + 0,33)} = 1,31 GPa$$

$$G_{12} = 3,873 GPa$$

e) Kompozit Yoğunluğu

$$\rho_k = \rho_f V_f + \rho_m V_m = 2500 \cdot 0,45 + 1250 \cdot 0,55 = 1812,5 kg/m^3 \quad (5.5)$$

Tablo 5.1. Cam/Epoksi Kompozit Malzemenin mekanik özelliği

Parametre adı	Simgesel ifade	Büyüklüğü
Fiber takviye doğrultusunda Elastisite Modülü	E_1 (MPa)	40625
Fiber takviye doğrultusuna dik doğrultuda Elastisite Modülü	E_2 (MPa)	6158
Kayma Modülü	G_{12} (MPa)	3873
Poisson Oranı	μ_{12}	0,28
Fiber hacim oranı	V_f (%)	45
Yoğunluk	ρ_k (kg/m^3)	1812

5.1.2. Karbon Elyaf/Epoksi Malzemesinin Hesabı

Karbon elyaf, elastisitesi $E_f = 231 GPa$, yoğunluğu $\rho_f = 1,7 g/cm^3$, hacim oran $V_f = \%61$ ve poisson oranı $\mu_f = 0,2$ dir. Epoksi reçine ise, elastisitesi $E_m = 3,5 GPa$, yoğunluğu $\rho_m = 1,25 g/cm^3$, hacim oranı $V_m = \%39$ ve poisson oranı $\mu_m = 0,33$ 'dür.

Buna göre,

a) Boyuna Modül

$$E_{11} = E_f V_f + E_m V_m \quad (5.6)$$

$$E_{11} = 231 \times 0,61 + 3,5 \times 0,39 = 142,25 \text{ GPa}$$

b) Enine Modül

$$E_{22} = \frac{E_f E_m}{E_m V_f + E_f V_m} \quad (5.7)$$

$$E_{22} = \frac{231 \times 3,5}{3,5 \times 0,61 + 231 \times 0,39} = 8,76 \text{ GPa}$$

c) Major Poisson Oranı

$$\mu_{12} = \mu_f V_f + \mu_m V_m \quad (5.8)$$

$$\mu_{12} = 0,2 \times 0,61 + 0,33 \times 0,39 = 0,25$$

d) Kayma Modül

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{G_f \mu_m + G_m \mu_f} \quad (5.9)$$

$$G_f = \frac{E_f}{2(1 + \mu_f)} = \frac{231}{2 \times (1 + 0,2)} = 96,25 \text{ GPa}$$

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \mu_m)} = \frac{3,5}{2(1 + 0,33)} = 1,31 \text{ GPa}$$

$$G_{12} = 3,99 \text{ GPa}$$

e) Kompozit Yoğunluğu

$$\rho_k = \rho_f V_f + \rho_m V_m = 1700 \times 0,61 + 1250 \times 0,39 = 1524 \text{ kg/m}^3 \quad (5.10)$$

Tablo 5.2. Karbon/Epoksi Kompozit Malzemenin mekanik özelliği

Parametre adı	Simgesel ifade	Büyüklüğü
Fiber takviye doğrultusunda Elastisite Modülü	E_1 (MPa)	142250
Fiber takviye doğrultusuna dik doğrultuda Elastisite Modülü	E_2 (MPa)	8760
Kayma Modülü	G_{12} (MPa)	3999
Poisson Oranı	μ_{12}	0,25
Fiber hacim oranı	V_f (%)	61
Yoğunluk	ρ_k (kg/m^3)	1524

5.1.3. Kevlar Elyaf/Epoksi Malzemesinin Hesabı

Kevlar elyafın, elastisitesi $E_f = 131 \text{ GPa}$, yoğunluğu $\rho_f = 1,45 \text{ g/cm}^3$, hacim oranı $V_f = \%53$ ve poisson oranı $\mu_f = 0,35$ dir. Epoksi reçine ise, elastisitesi $E_m = 3,5 \text{ GPa}$, yoğunluğu $\rho_m = 1,25 \text{ g/cm}^3$, hacim oranı $V_m = \%47$ ve poisson oranı $\mu_m = 0,33$ dür.

Buna göre,

a) Boyuna Modül

$$E_{11} = E_f V_f + E_m V_m \quad (5.11)$$

$$E_{11} = 131 \times 0,53 + 3,5 \times 0,47 = 71,075 \text{ GPa}$$

b) Enine Modül

$$E_{22} = \frac{E_f E_m}{E_m V_f + E_f V_m} \quad (5.12)$$

$$E_{22} = \frac{131 \times 3,5}{3,5 \times 0,53 + 131 \times 0,47} = 7,22 \text{GPa}$$

c) Major Poisson Oranı

$$\mu_{12} = \mu_f V_f + \mu_m V_m \quad (5.13)$$

$$\mu_{12} = 0,35 \times 0,53 + 0,33 \times 0,47 = 0,34$$

d) Kayma Modül

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{G_f \mu_m + G_m \mu_f} \quad (5.14)$$

$$G_f = \frac{E_f}{2(1 + \mu_f)} = \frac{131}{2 \times (1 + 0,35)} = 48,5 \text{GPa}$$

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \mu_m)} = \frac{3,5}{2(1 + 0,33)} = 1,31 \text{GPa}$$

$$G_{12} = 3,86 \text{GPa}$$

e) Kompozit Yoğunluğu

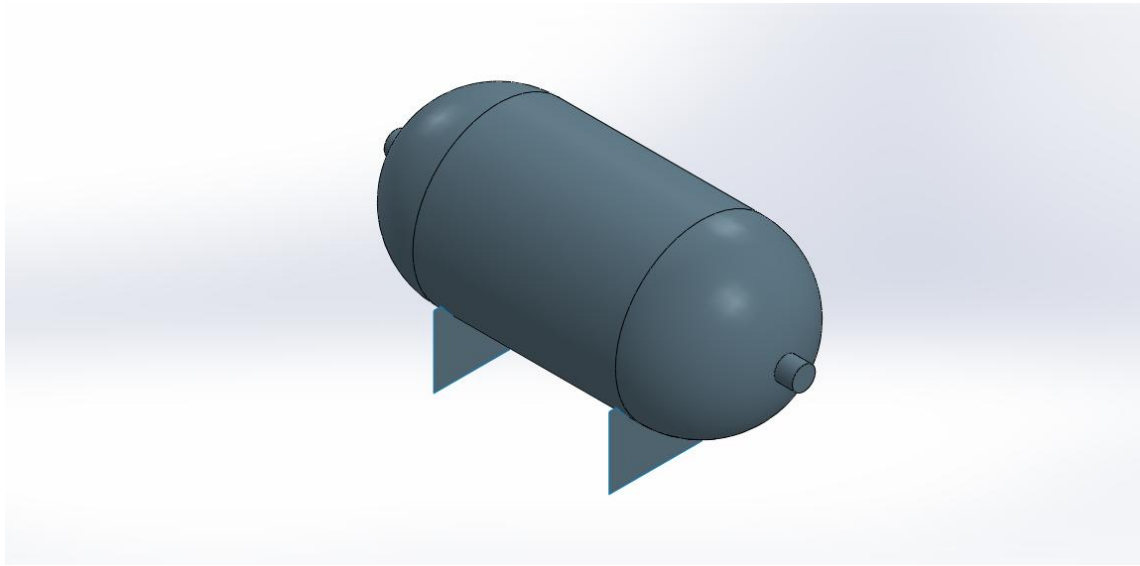
$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m = 1450 \times 0,53 + 1250 \times 0,47 = 1356 \text{kg} / \text{m}^3 \quad (5.15)$$

Tablo 5.3. Kevlar/Epoksi Kompozit Malzemenin mekanik özelliği

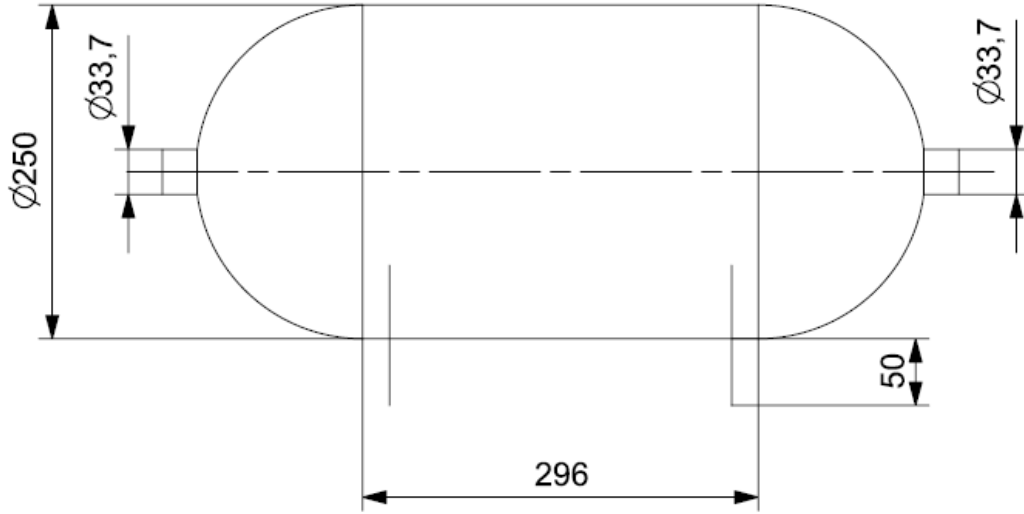
Parametre adı	Simgesel ifade	Büyüküğü
Fiber takviye doğrultusunda Elastisite Modülü	E_1 (MPa)	71075
Fiber takviye doğrultusuna dik doğrultuda Elastisite Modülü	E_2 (MPa)	7222
Kayma Modülü	G_{12} (MPa)	3860
Poisson Oranı	μ_{12}	0,34
Fiber hacim oranı	V_f (%)	53
Yoğunluk	ρ_k (kg/m^3)	1356

5.2. Basınçlı Kabın Modellenmesi

Katı model olarak SOLIDWORKS paket programında tasarlanan 29/AB/2014 standartlarına uygun olan basınçlı kap kabuk model olarak tasarımı yapılmış ve basınçlı kap boyu $L=546$ mm ve çapı $D=250$ mm olarak belirlenmiştir.



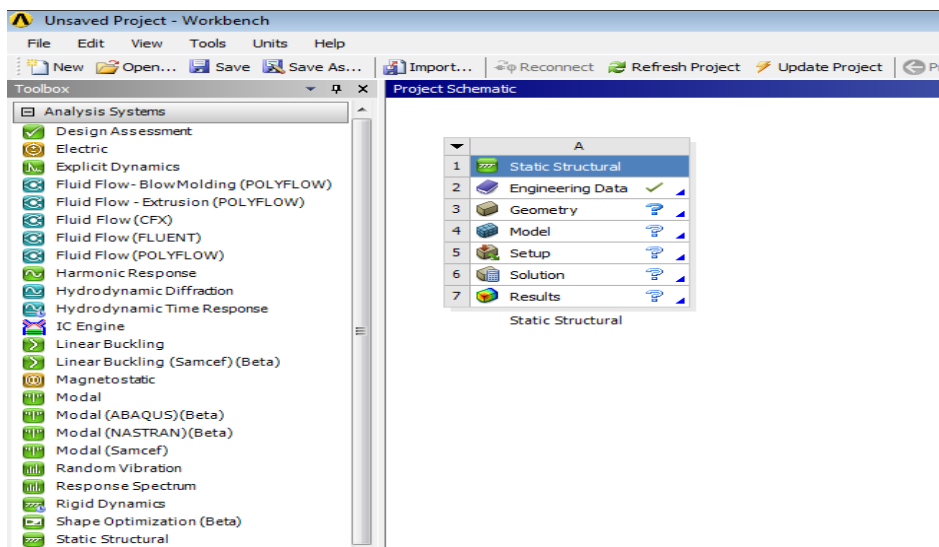
Şekil 5.1. 29/AB/2014 Standartlarına Uygun Basınçlı Kap



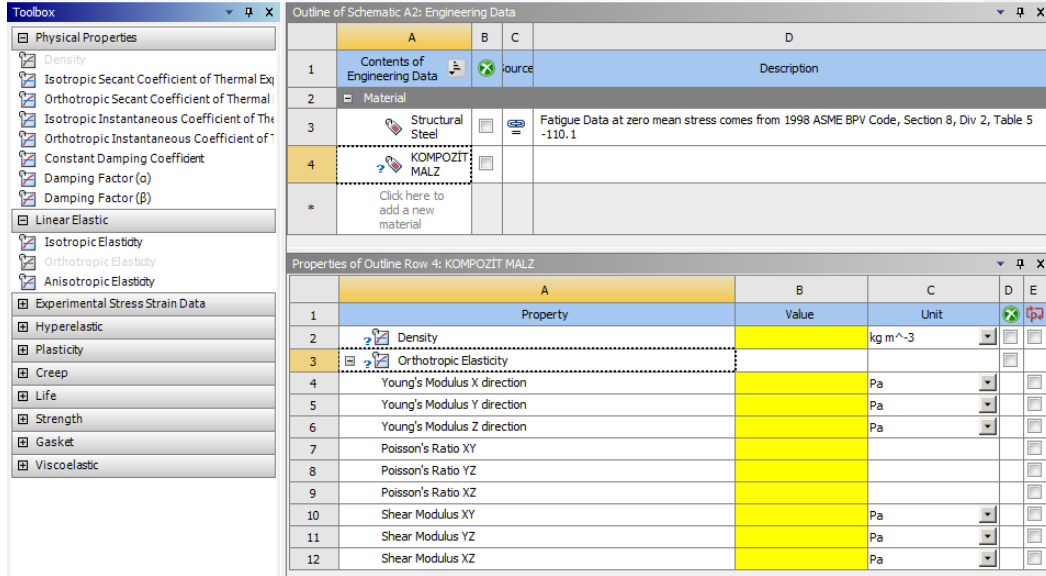
Şekil 5.2. Basıncılı Kap teknik resmi

5.3. Basıncılı Kap Gerilme ve Şekil Değişirme Analiz Aşamaları

Gerilme analizi yapılırken ANSYS paket programı kullanılmıştır. Programın WORKBENCH kısmından, Toolbox menüsünden Static Structural kısmı seçilip, Project Schematic menüsüne aktarılmış ve Static Structural analiz menüsü açılmıştır.

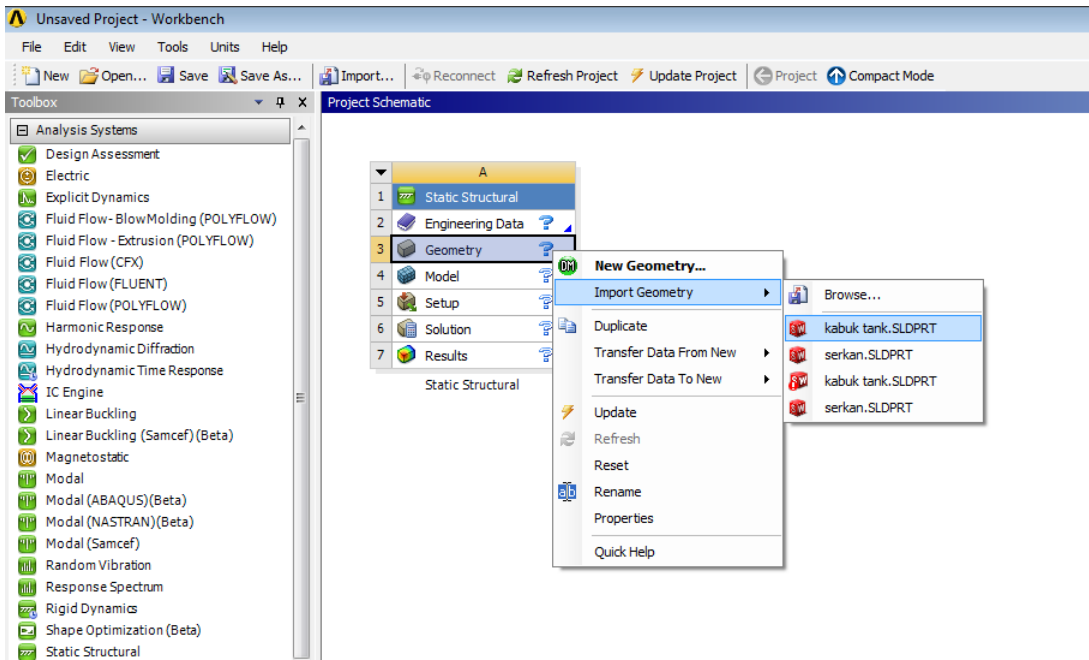


Şekil 5.3. Ansys Workbench arayüzü



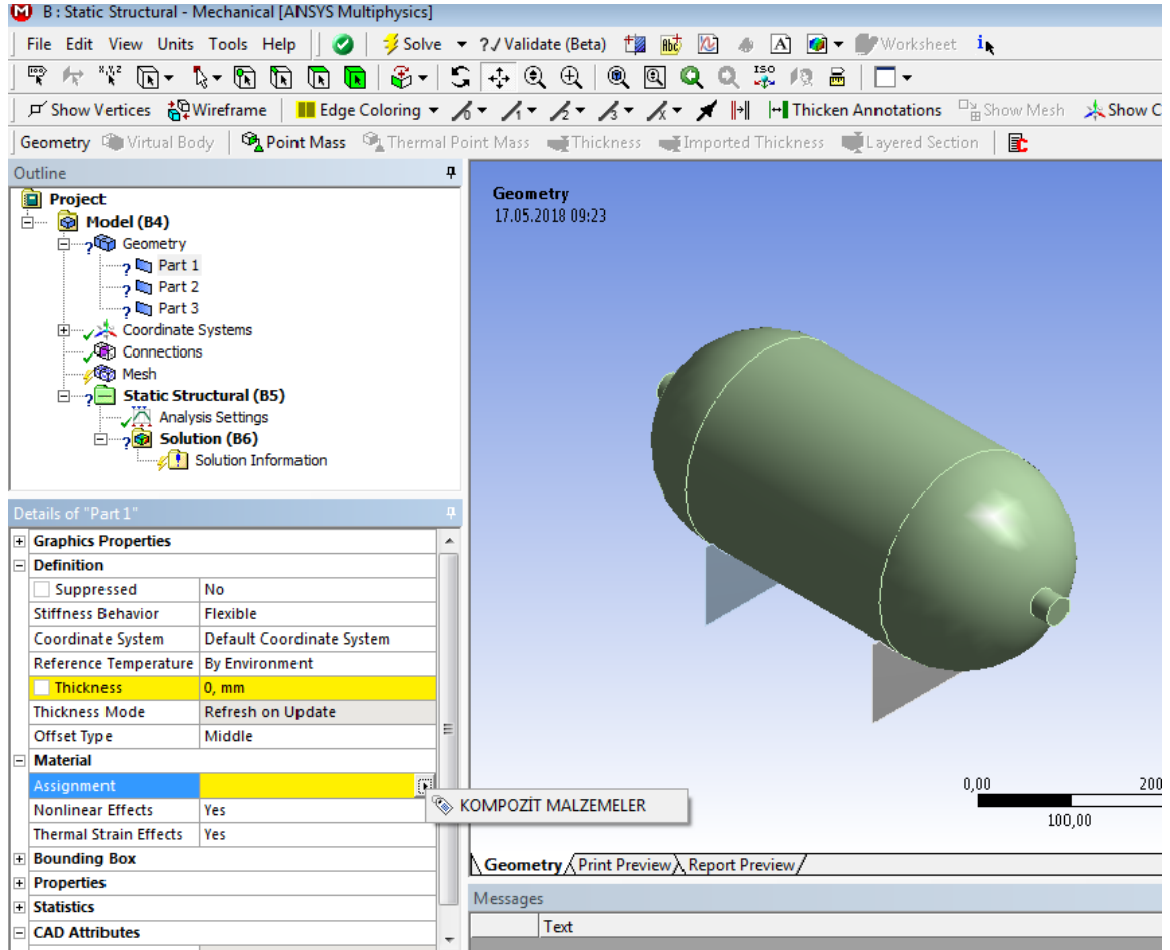
Şekil 5.4. Malzeme Özelliklerinin Girilmesi

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi Engineering Data menüsünde ise çalışmada kullanılan Cam elyaf/epoksi, Karbon elyaf/ Epoksi ve Kevlar elyaf/ Epoksi olan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri girilmiştir. Basıncılı kap tabakalı olarak tasarlandığından malzemelerin özelliklerin girilmesi Toolbox menüsünden Density ve Orthotropic Elasticity özelliklerine göre seçildikten sonra Young's Modülü ($X \neq Y=Z$) MPa, Poisson's Ratio ($XY=YZ=XZ$) ve Shear Modülü ($XY=YZ=XZ$) MPa malzeme özelliklerinin sayısal değerleri girilmiştir.



Şekil 5.5. Geometri arayüzü

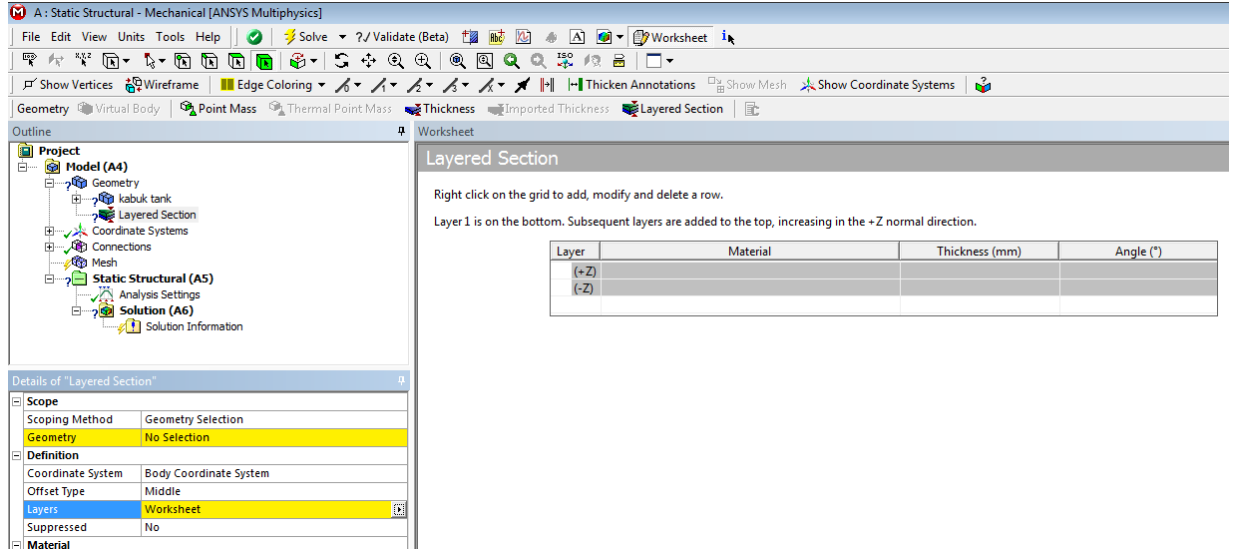
Şekil 5.5'te görüldüğü üzere Solidworks'te kabuk olarak tasarlanan basınçlı kap Geometry'den > Importy Geometry'den kabuk tank.SLDPRT seçilmiştir. Daha sonra Model butonuna basılarak tekrardan Static Structural Mechanical ana menüsüne dönülmüştür.



Şekil 5.6. Basınçlı Kap Modeli Ansys Workbench arayüzü

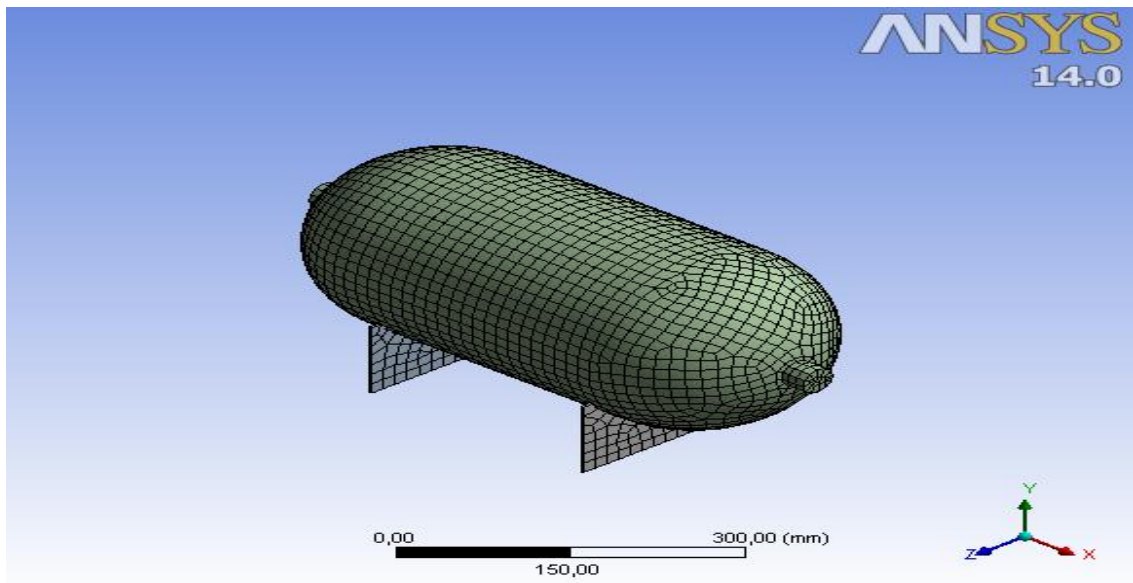
Şekil 5.6'da tasarlanan basınçlı kabın Outline menüsünde Model kısmında geometri üç unsurdan oluşmuştur. Her bir unsurun Thickness kısmından toplam tabaka kalınlığı ve Assigment kısmından ise kompozit malzeme özelliği seçilmiştir. Çalışmada, toplam tabaka kalınlığını 3 mm 'den oluşmaktadır. Unsurların sayısal değerleri girildikten sonra basınçlı kap tabakalı olacağından Geometry kısmından Layerad Section seçilmiştir. Şekil 5.7'de görülmek üzere Layerad Section kısmında ise kabın genel yüzeyi seçilmek ile birlikte Worksheet kısmına girilerek basınçlı kabın 10 ve 20 tabaka sayıları, Cam elyaf/epoksi,

Karbon elyaf/epoksi ve Kevlar elyaf/epoksi kompozit malzemeleri ve 30° - 30° , 45° - 45° , 60° - 60° ve 75° - 75° oryantasyon açıları girilmiştir.



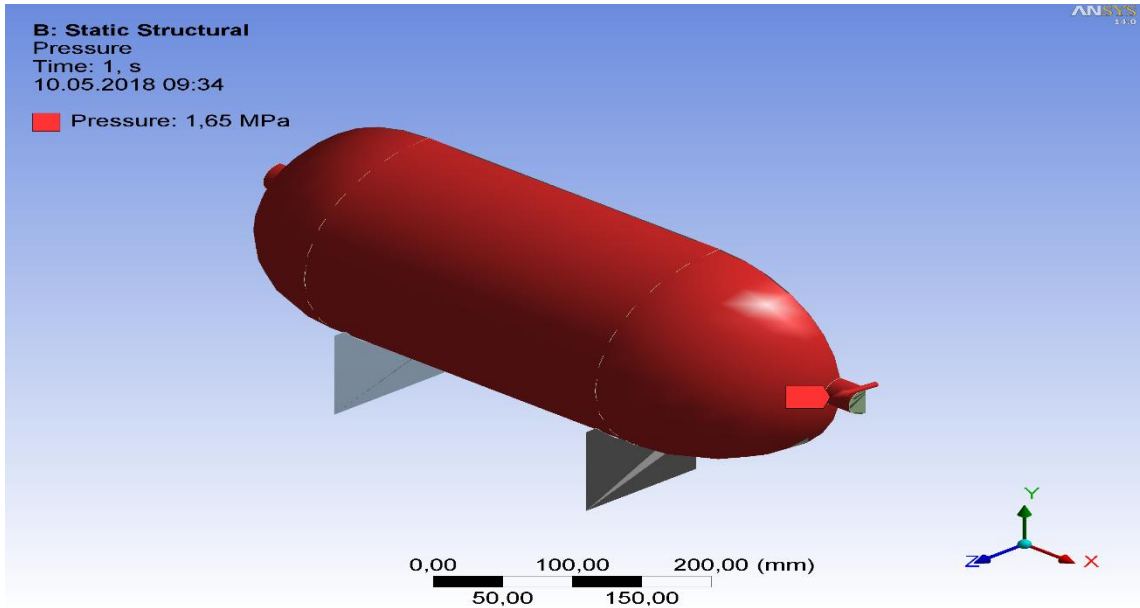
Şekil 5.7. Tabaka sayısı, Kalınlık ve Oryantasyon açısının girilmesi

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi geometri şartları ve eleman özellikleri tamamlandıktan sonra Outline menüsünden Mesh işlemi Relevance sekmesi ile hassas bir şekilde ayarlanmıştır. Basıncılı kap modeli Quadrangle elementler denilen 2633 tane çok küçük alanlara bölünmüştür.

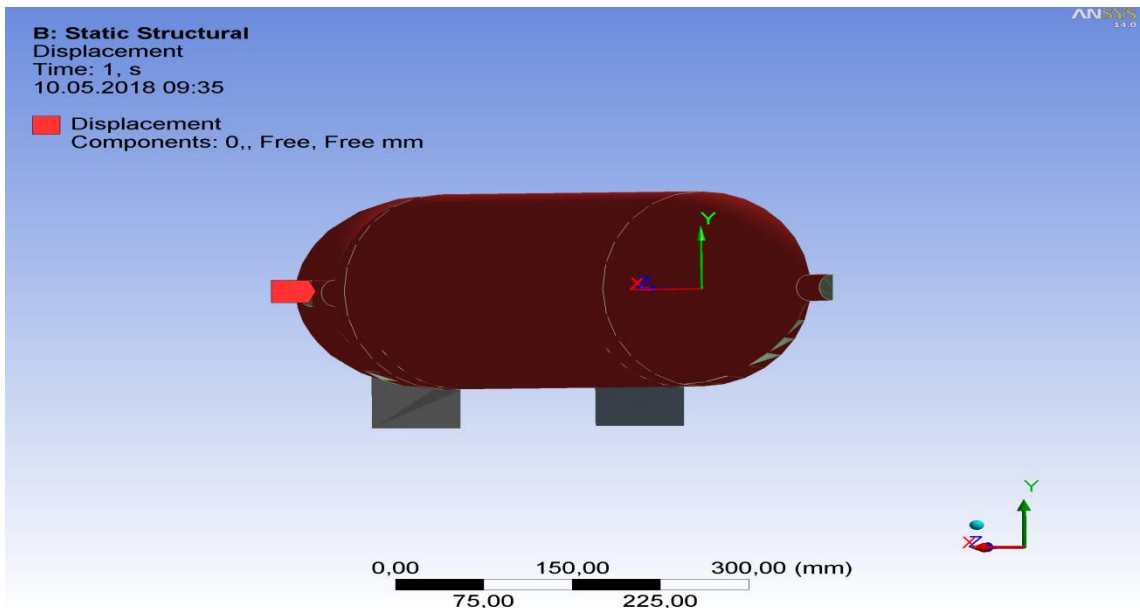


Şekil 5.8. Kompozit Basıncılı Kap Mesh İşlemi

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi sınır şartlarının girilmesi; Analysis Settings > Insert > Pressure seçilmiştir. Tasarlanan basınçlı kap, iç basınç uygulamak gerektiğinden kesiti alınmıştır. Bunu da New Selection Plane kısmından yapılmıştır. Basınç, kabın yüzeyine 5 yerinden uygulanmıştır. Basınç değeri ise Magnitude kısmına test basıncı 1.65 MPa değeri girilmiştir.

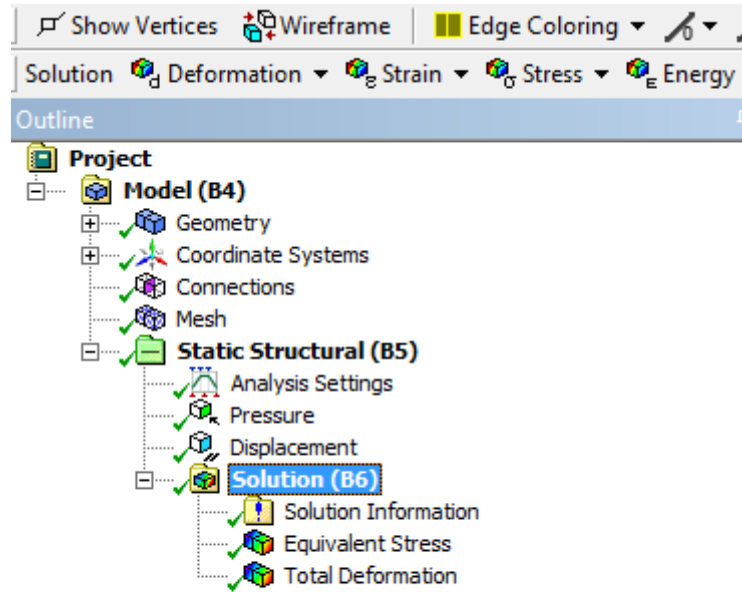


Şekil 5.9. Kompozit Basınçlı Kabın Basınç Sınır Şartı



Şekil 5.10. Kompozit Basınçlı Kabın Displacement Sınır Şartı

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi sınır şartlarının girilmesi; Analysis Settings > Insert > Displacement menüsünden yapılmıştır. Tasarlanan Basınçlı kap New Selection Plane kısmından ikiye ayrılmış ve displacement, kabın yüzeyine 5 yerinden uygulanmıştır. X,Y ve Z koordinatları ise, X=0(rampalı) yani sabit, Y ve Z free yani serbest seçilmiştir. Sınır şartları girildikten sonra, Solution kısmından çözümüleme yapılmıştır.



Şekil 5.11. Çözümleme işlemi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

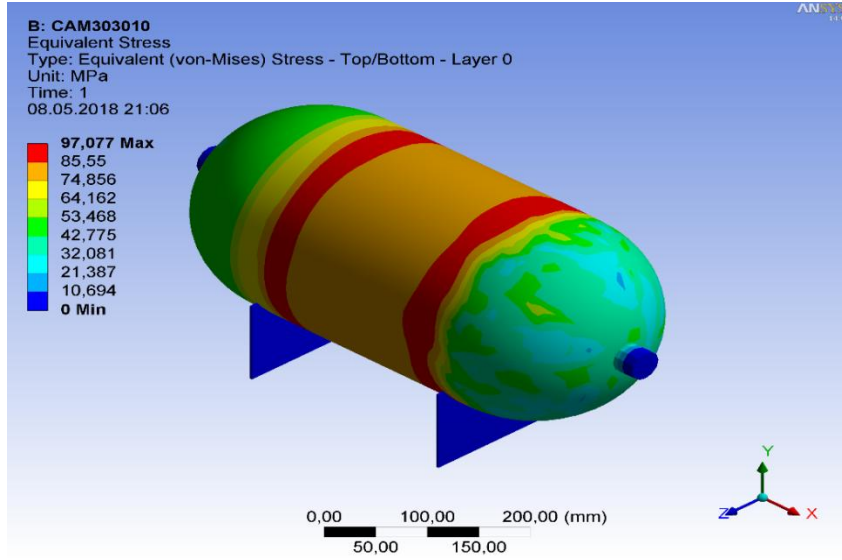
6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, cam/epoksi, karbon/epoksi ve kevlar/epoksi kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinden yararlanılarak kompozit basınçlı kaplar tasarlanmıştır. Bu kompozit basınçlı kaplar arasında, maksimum gerilmelerine ve şekil değiştirmeleriyle ilgili çalışmalar araştırılıp incelenmiştir.

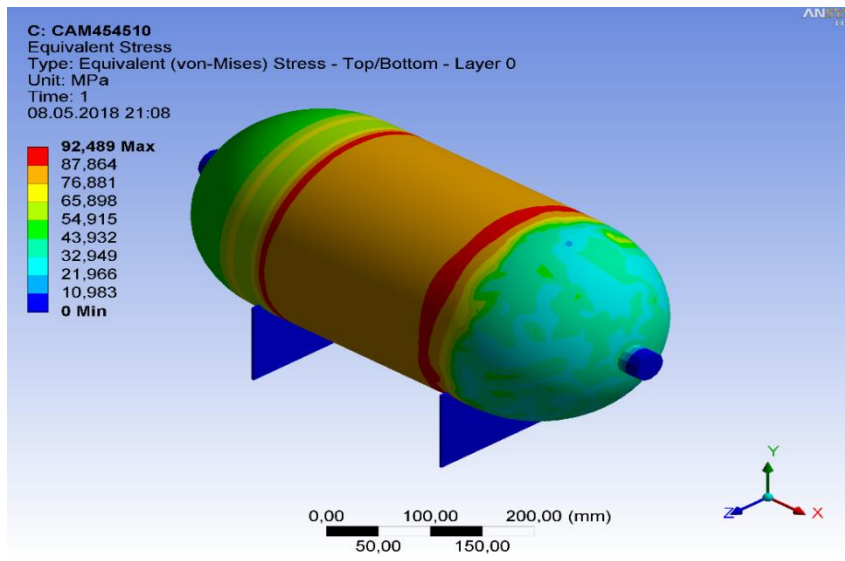
Bu esaslar göz önüne alınarak kompozit malzemelerin mekanik özellikleri olan elastisite modülü, poisson oranı, yoğunluğu ve kayma modülü mikromekanik analizleri teorik hesaplamaları yapılmıştır. Katı model programı olan SOLIDWORKS'dan yararlanarak basınçlı kap kabuk model olarak tasarlanmıştır. Yine ANSYS analiz program yardımıyla modeli oluşturulan basınçlı kabın malzeme özellikleri, cidar kalınlığı, tabaka sayısı, oryantasyon açıları, sınır şartları belirlenmiştir.

6.1.1. Cam Elyaf/Epoksi Basınçlı Kap Gerilme ve Şekil Değiştirme Analizleri

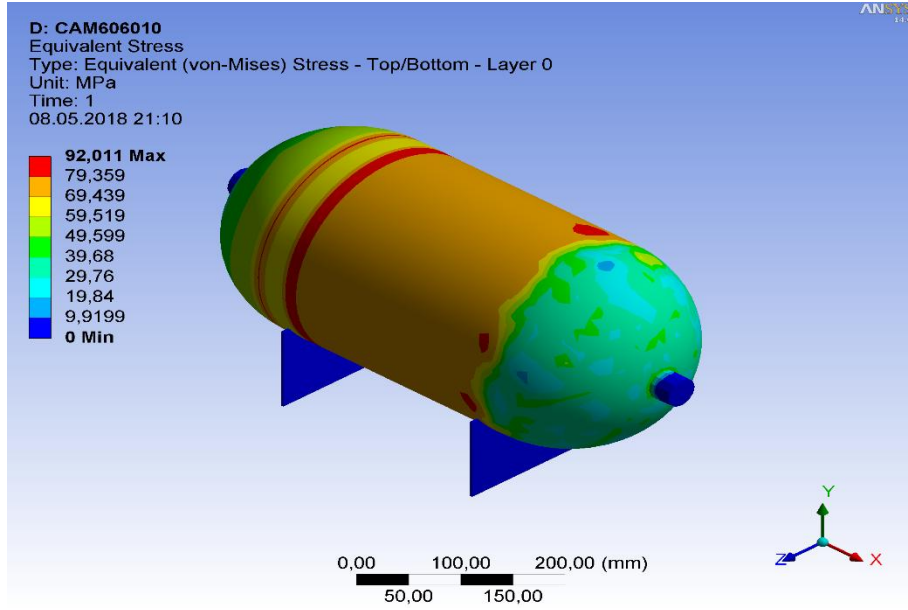
Tasarlanan Cam/Elyaf Basınçlı Kap, uygulanan basınç altında emniyetli çalıştığını kontrol etmek amacıyla bilgisayar destekli ANSYS analiz paket programını kullanılarak gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.



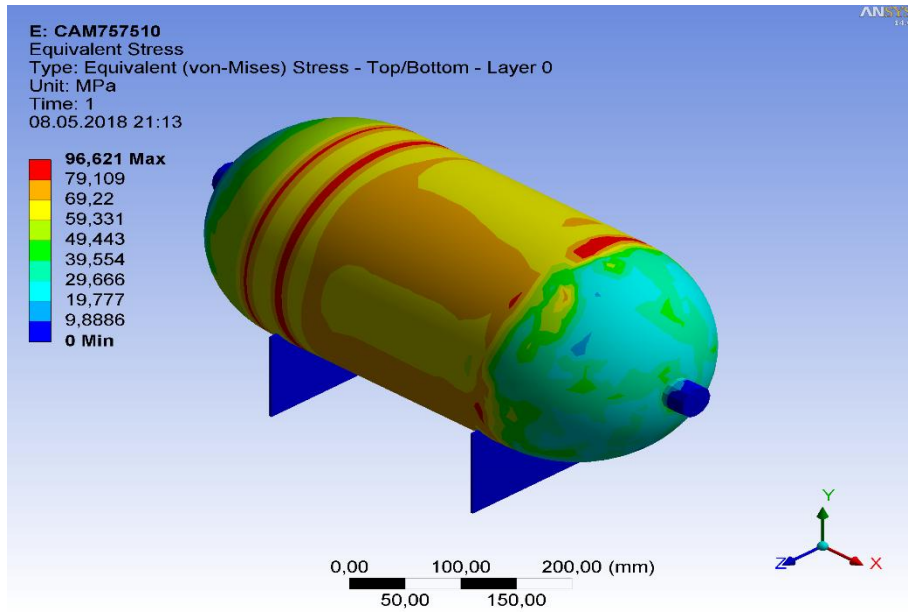
Şekil 6.1. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basıncılı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilmesi



Şekil 6.2. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basıncılı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilmesi

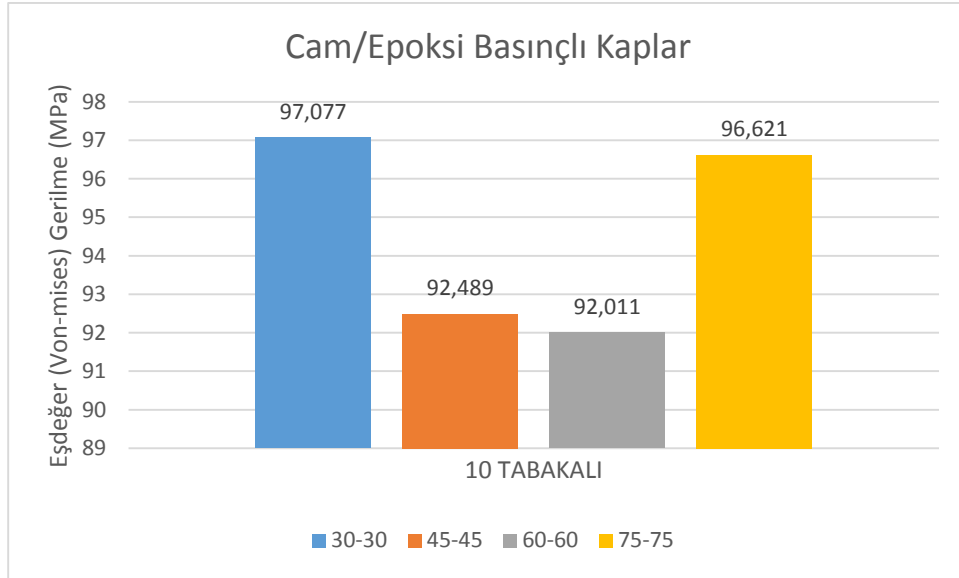


Şekil 6.3. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basıncılı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilmesi



Şekil 6.4. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basıncılı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilmesi

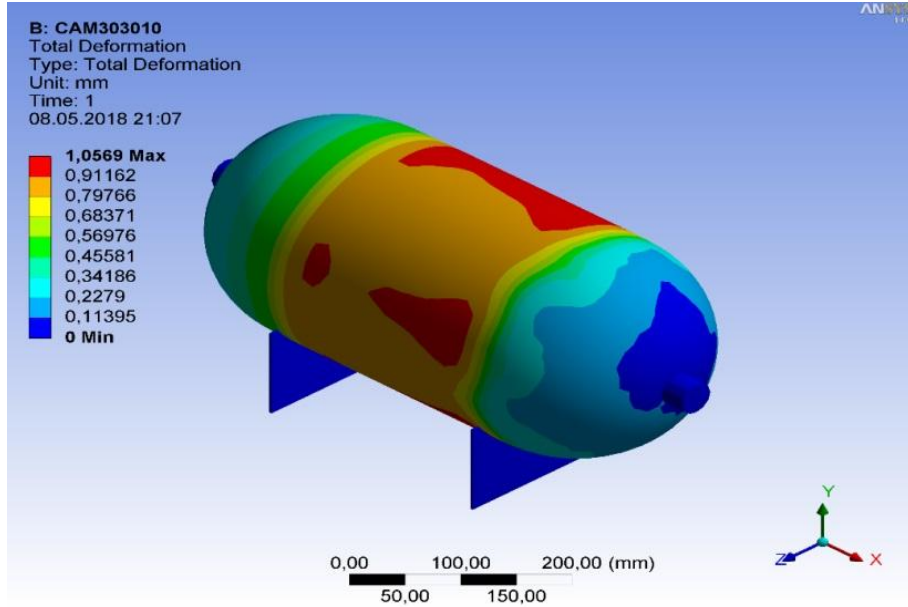
Şekil (6.1-6.4)'te görüldüğü gibi 10 tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basıncılı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme analizleri yapılmış ve elde edilen veriler grafiğe dökülmüştür.



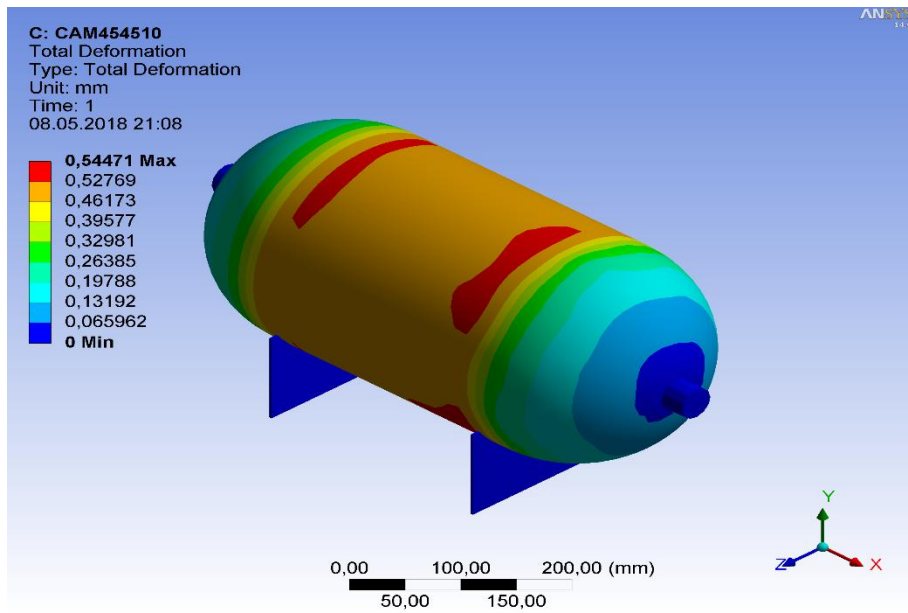
Şekil 6.5. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların gerilmeleri

Şekil 6.5'te, tasarlanan Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda oluşan sonuçlarda 97,077 MPa, 92,489 MPa, 92,011 MPa, 96,621 MPa'lık maksimum gerilmeler oluşmuştur. Oluşan gerilmeler, cam/epoksi kompozit malzemesinin akma gerilimesi olan 870 MPa'nın altında olduğu için kullanılmaya elverişlidir. Maksimum gerilmelerin, basınçlı kabın silindirik orta bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum gerilme değerinin 30°-30° oryantasyon açılı ve minimum gerilme değerinin ise 60°-60° oryantasyon açılı basınçlı kaptaki olduğu saptanmıştır.

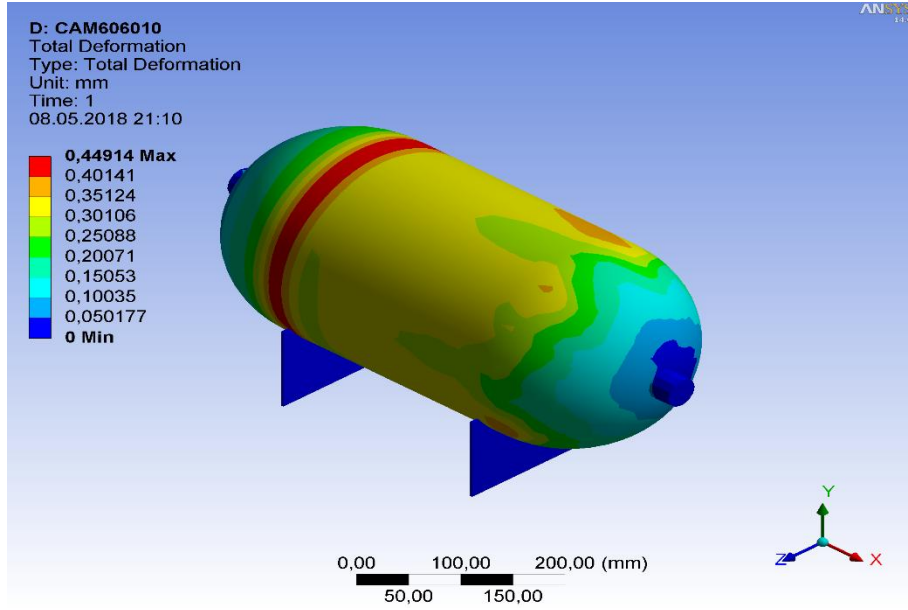
Şekil (6.6- 6.9)'da görüldüğü gibi 10 tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



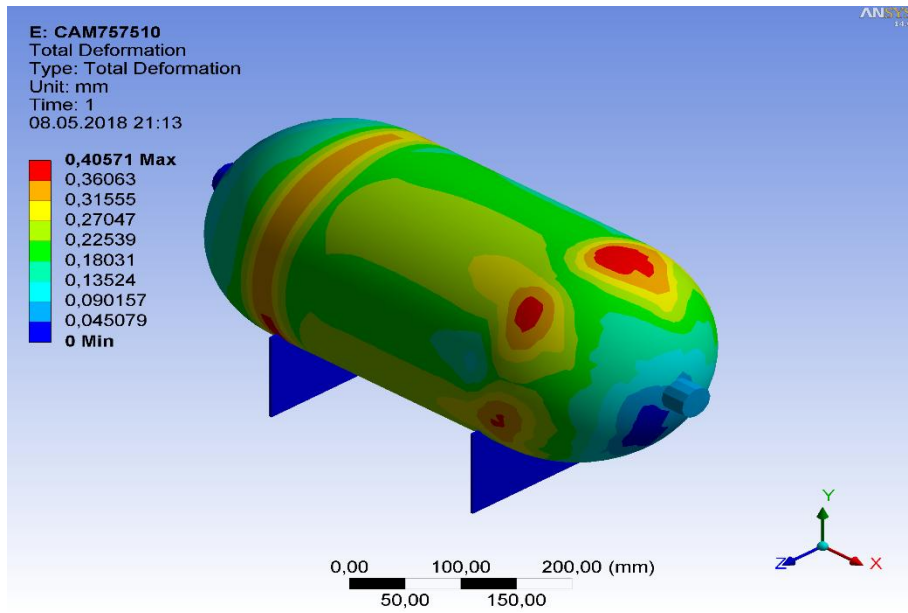
Şekil 6.6. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basıncılı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi



Şekil 6.7. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basıncılı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi

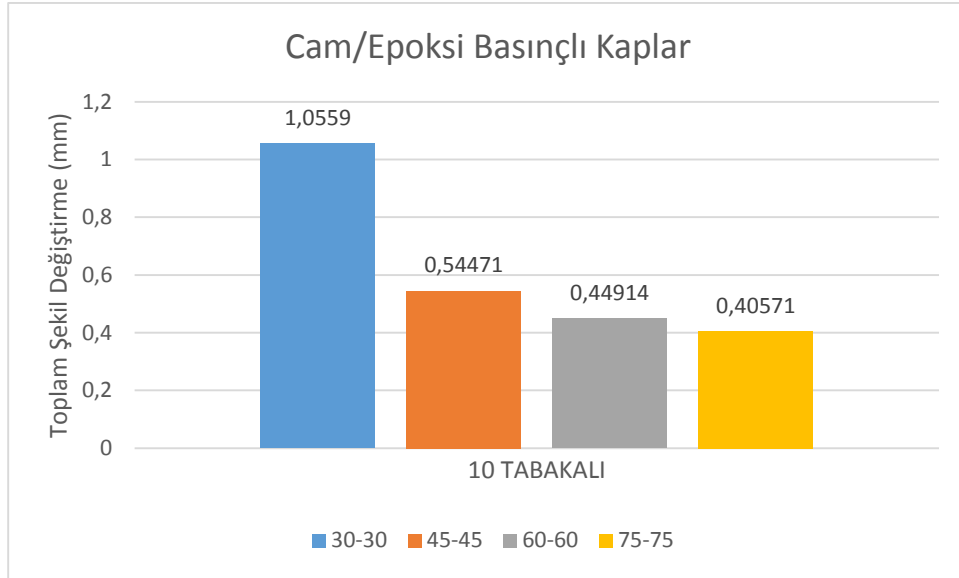


Şekil 6.8. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değıştirmesi



Şekil 6.9. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değıştirmesi

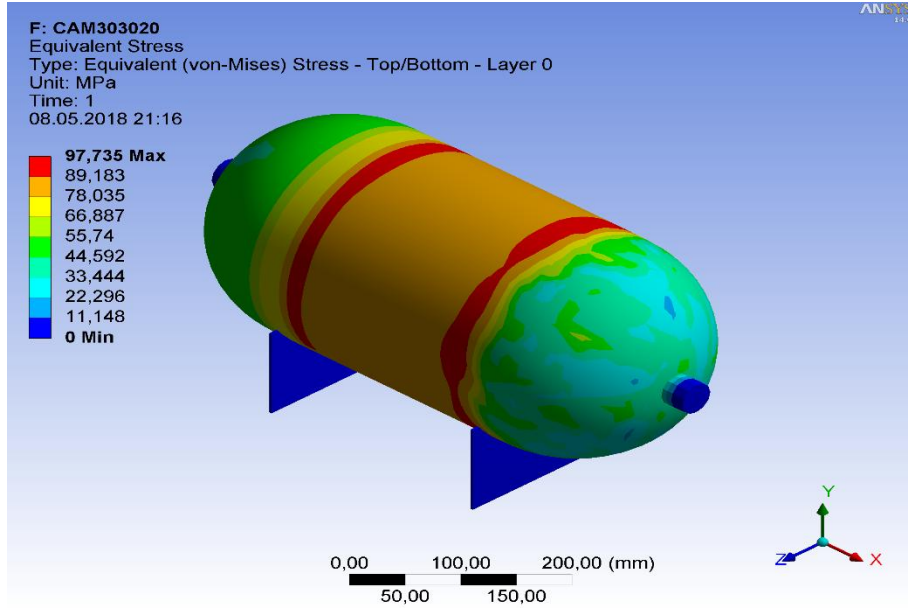
Tasarlanan 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda şekil değıştirmede elde edilen veriler Şekil 6.10'daki grafiğe dökülmüştür.



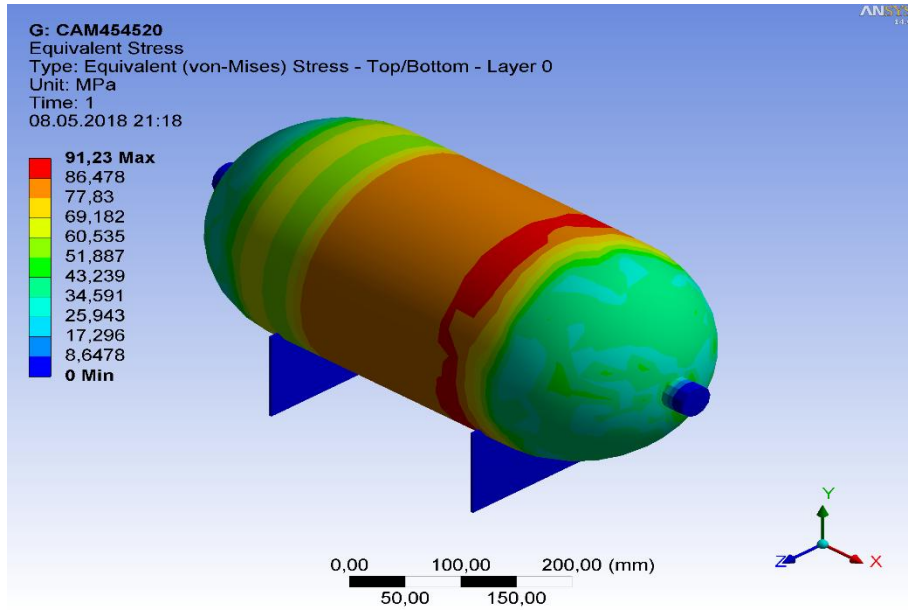
Şekil 6.10. 10 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri

Şekil 6.10’da, tasarlanan Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri görülmektedir. Maksimum şekil değiştirmeler, 30°-30° ve 45°-45° oryantasyon açılı olan basınçlı kapların silindir kısmın orta bölgesinde, 60°-60° ve 75°-75° oryantasyon açılı basınçlı kapların ise silindir kısmın uç bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum deformasyonun 30°-30° oryantasyon açısında olduğu ve minimum deformasyonun ise 75°-75° oryantasyon açısında olduğu görülmüştür.

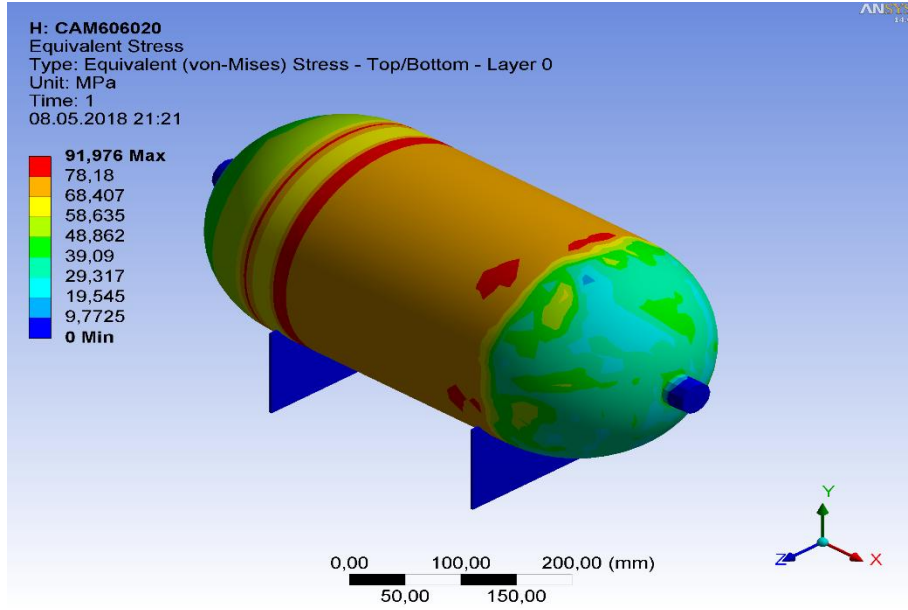
Şekil (6.11- 6.20)’de görüldüğü gibi 20 tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



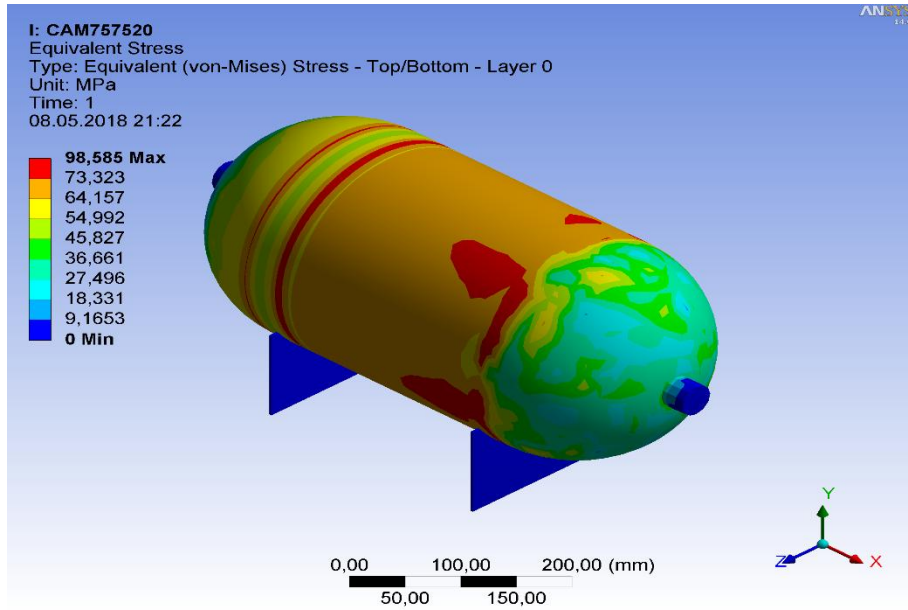
Şekil 6.11. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilmesi



Şekil 6.12. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilmesi

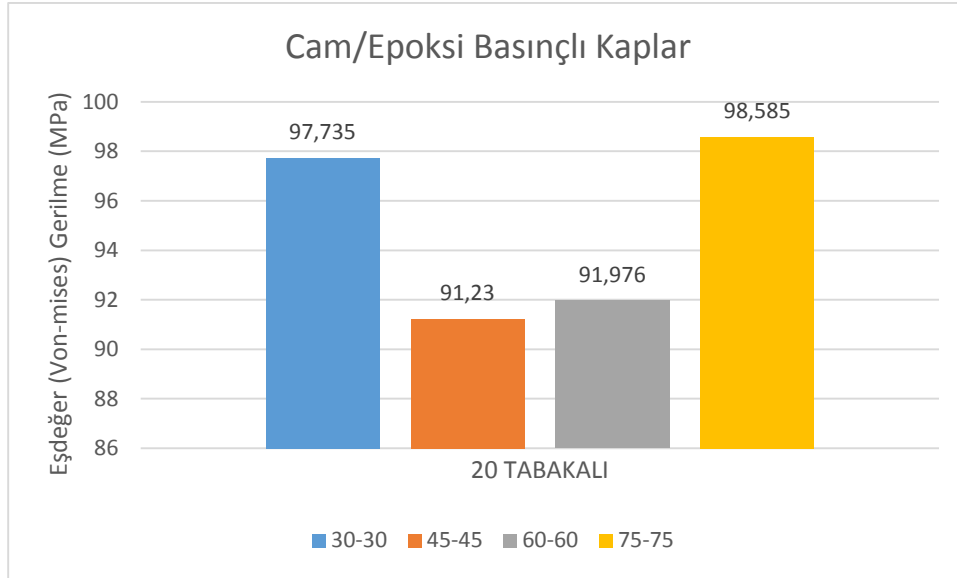


Şekil 6.13. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilmesi



Şekil 6.14. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilmesi

Şekil (6.11-6.14)'te görüldüğü gibi 20 tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme analizleri yapılmış ve elde edilen veriler grafiğe dökülmüştür.

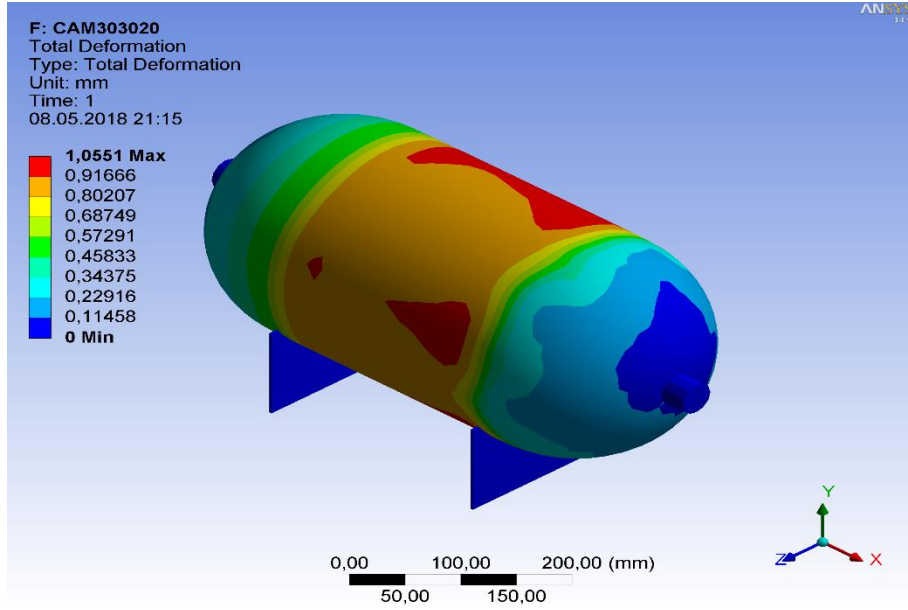


Şekil 6.15. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Basınçlı Kapların gerilmeleri

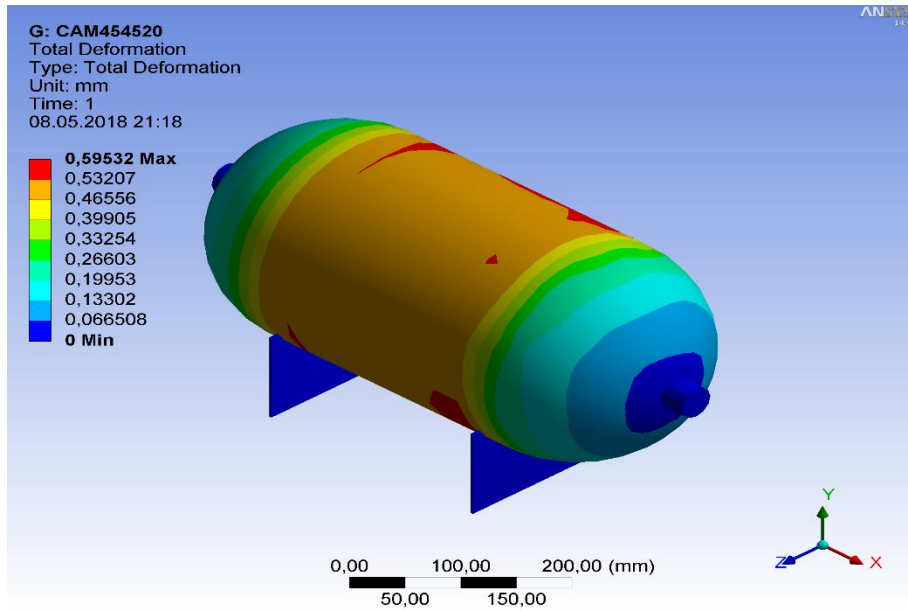
Şekil 6.15'te, tasarlanan Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda oluşan sonuçlarda 97,735 MPa, 91,23 MPa, 91,976 MPa, 98,585 MPa'lık maksimum gerilmeler oluşmuştur. Oluşan gerilmeler, cam/epoksi kompozit malzemesinin akma gerilimi 870 MPa'nın altında olduğu için kullanılmaya elverişlidir. Maksimum gerilmeler ise basınçlı kabın silindirik orta bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum gerilme değeri ise 75°-75° oryantasyon açılı olduğu ve minimum gerilmenin ise 45°-45° oryantasyon açılı basınçlı kap olduğu saptanmıştır.

10 tabakalı cam/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki von-mises gerilme değerleri ile 20 tabakalı cam/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki von-mises gerilme değerleri, her iki kaptaki toplam cidar kalınlığı değişmediğinden dolayı birbirine çok yakın elde edilmiştir.

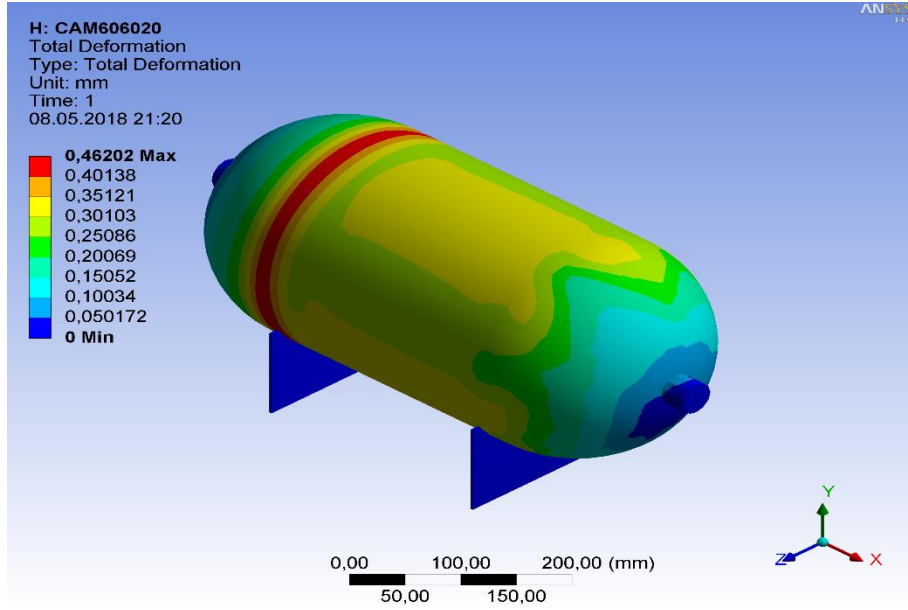
Şekil (6.16-6.19)'da görülen, 20 tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



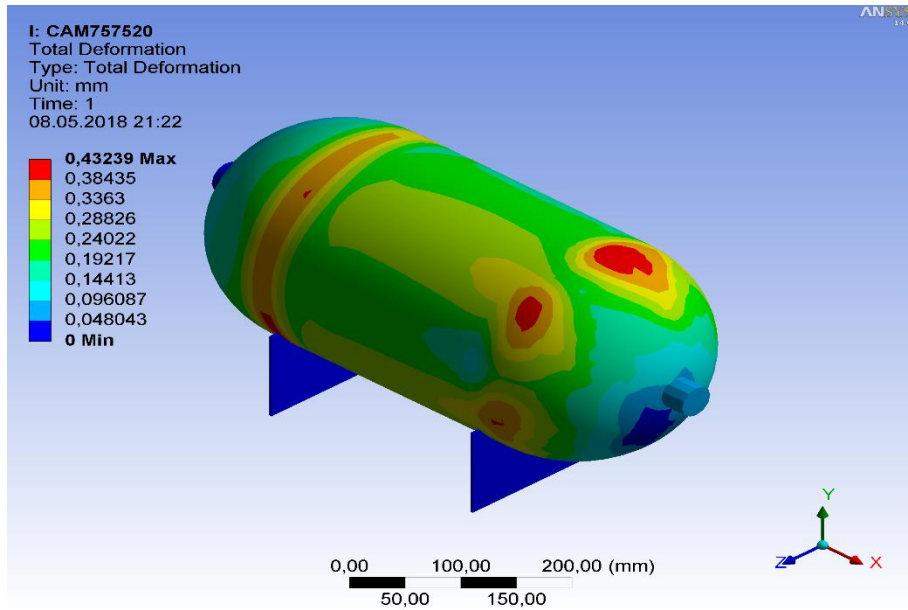
Şekil 6.16. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değişirmesi



Şekil 6.17. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değişirmesi.

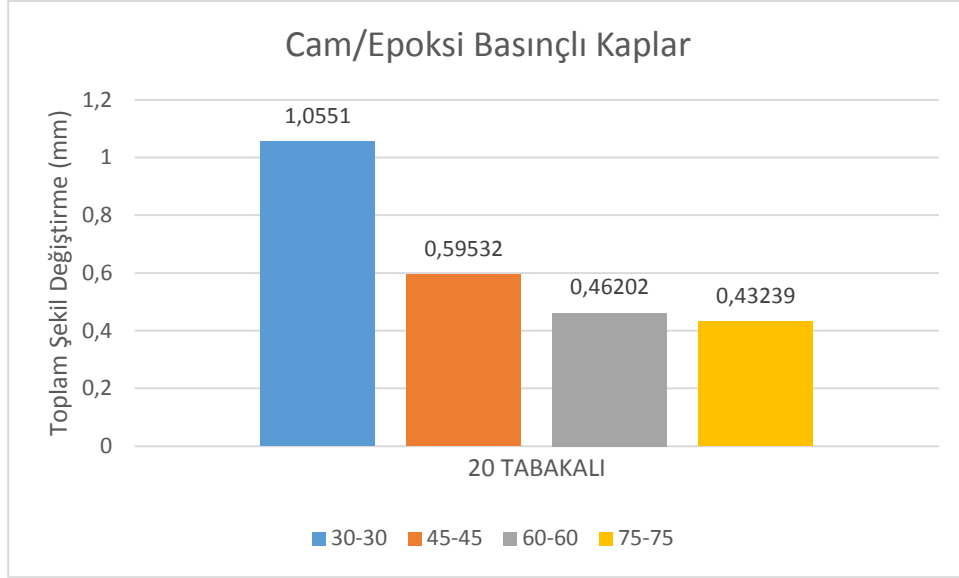


Şekil 6.18. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi.



Şekil 6.19. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirmesi

Tasarlanan 20 Tabakalı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmelerinden elde edilen veriler Şekil 6.20'deki grafiğe dökülmüştür.



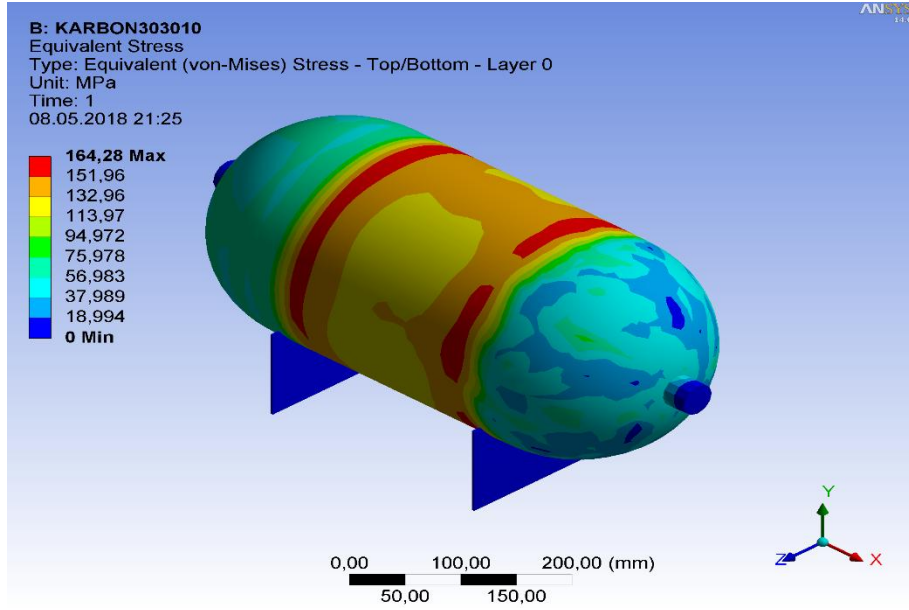
Şekil 6.20. 20 Tabakalı Cam/Epoksi Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri

Şekil 6.20’de, tasarlanan Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri görülmektedir. Maksimum şekil değiştirmeler, 30°-30° ve 45°-45° oryantasyon açılı olan basınçlı kapların silindir kısmın orta bölgesinde, 60°-60° ve 75°-75° oryantasyon açılı basınçlı kapların ise silindir kısmın uç bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum deformasyonun 30°-30° oryantasyon açısında olduğu ve minimum deformasyonun ise 75°-75° oryantasyon açısında olduğu görülmüştür.

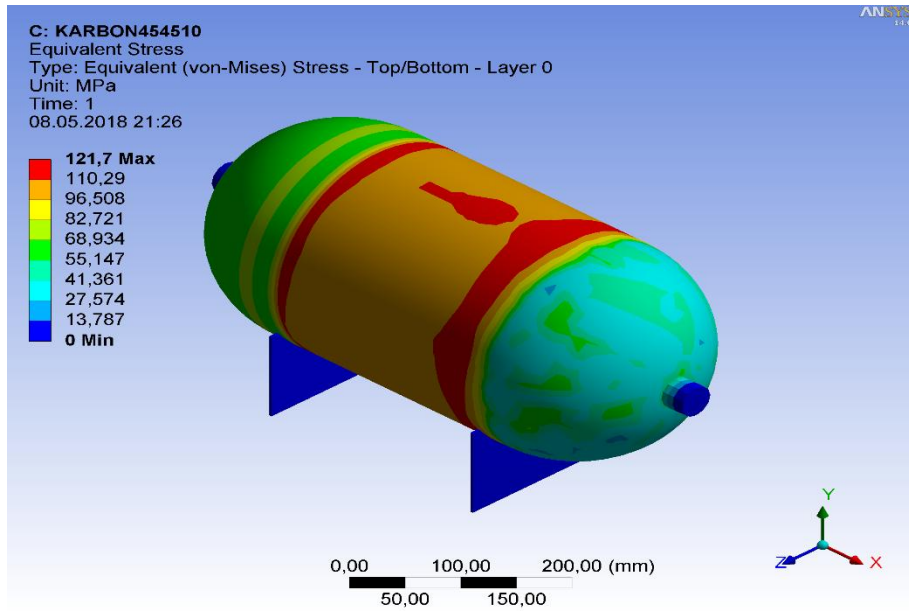
10 tabakalı cam/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki şekil değiştirme değerleri ile 20 tabakalı cam/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki şekil değiştirme değerleri, her iki kaptaki toplam cidar kalınlığı değişmediğinden dolayı birbirine çok yakın elde edilmiştir.

6.1.2 Karbon Elyaf/Epoksi Basınçlı Kap Gerilme ve Şekil Değiştirme Analizleri

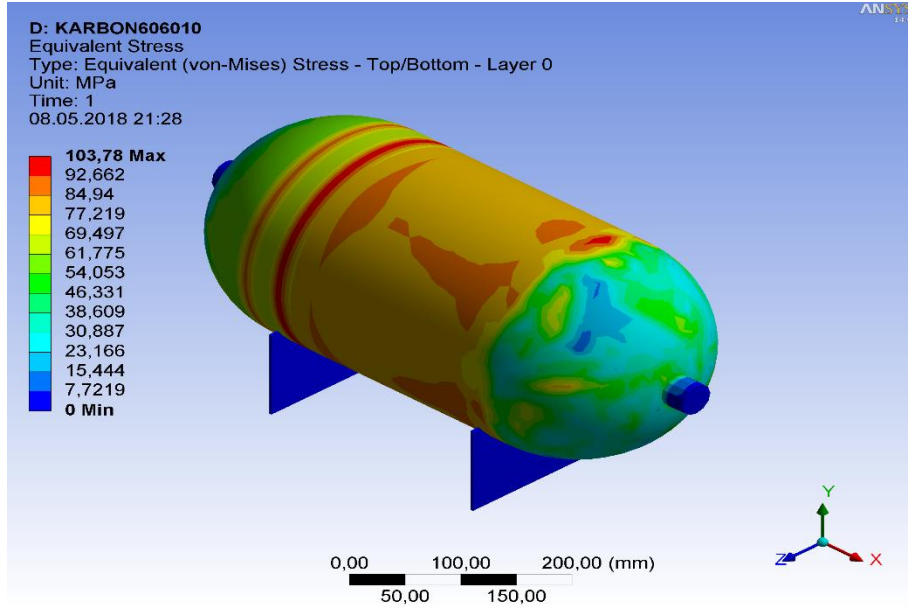
Tasarlanan Karbon/Epoksi Basınçlı Kap, uygulanan basınç altında çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla bilgisayar destekli ANSYS analiz paket programını kullanılarak gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılarak gerekli sonuçlar elde edilmiştir.



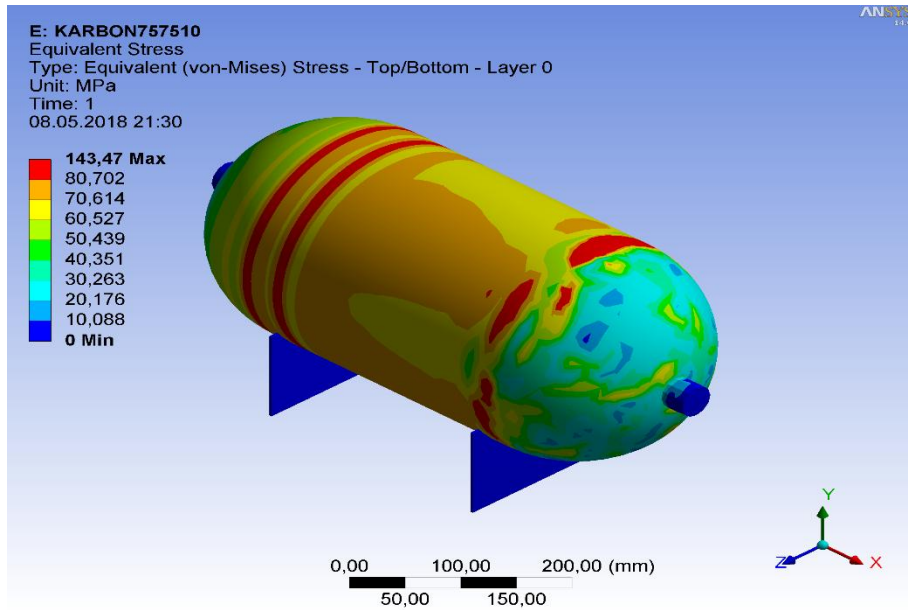
Şekil 6.21. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilme



Şekil 6.22. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilme

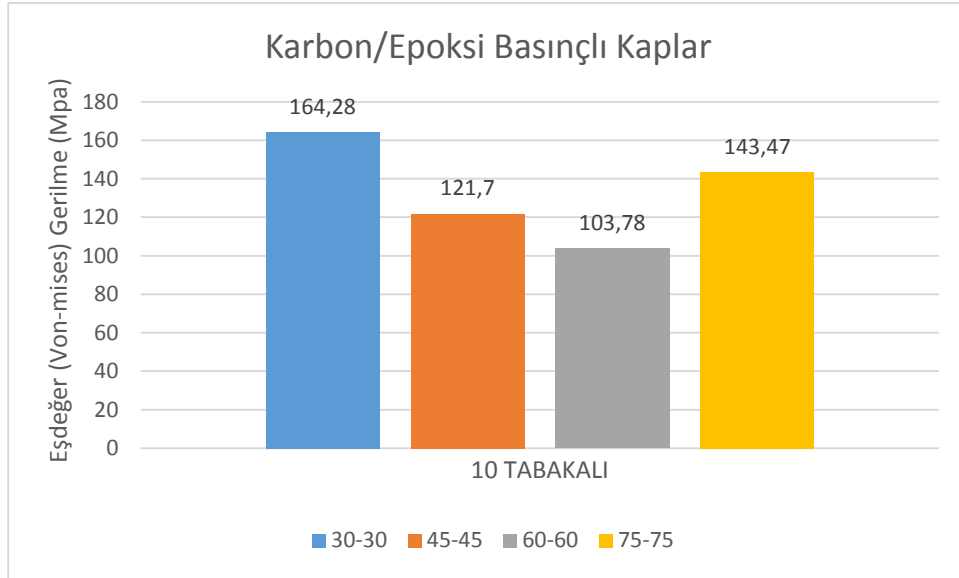


Şekil 6.23. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilme



Şekil 6.24. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilme

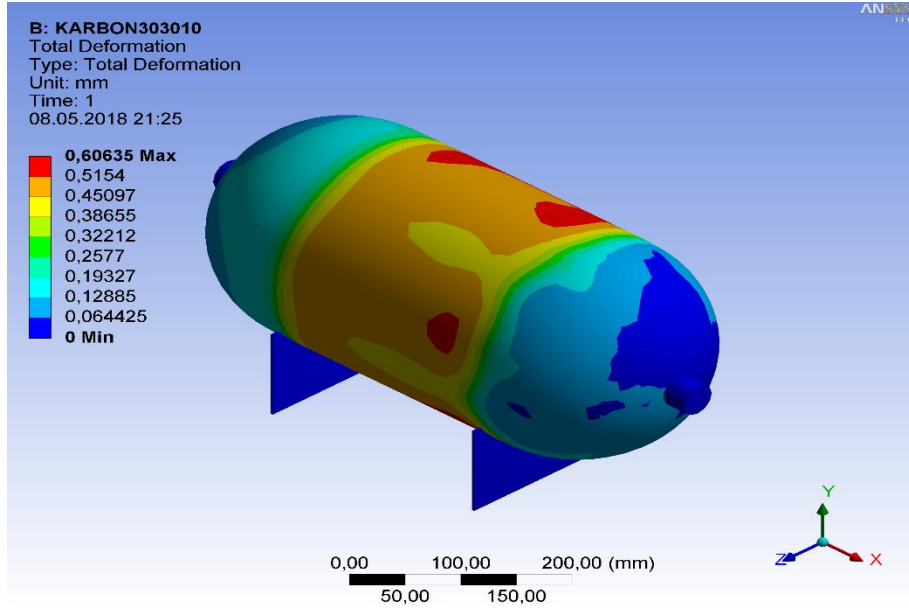
Şekil (6.21-6.24)'te görüldüğü gibi 10 tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme analizleri yapılmış ve elde edilen veriler grafiğe dökülmüştür.



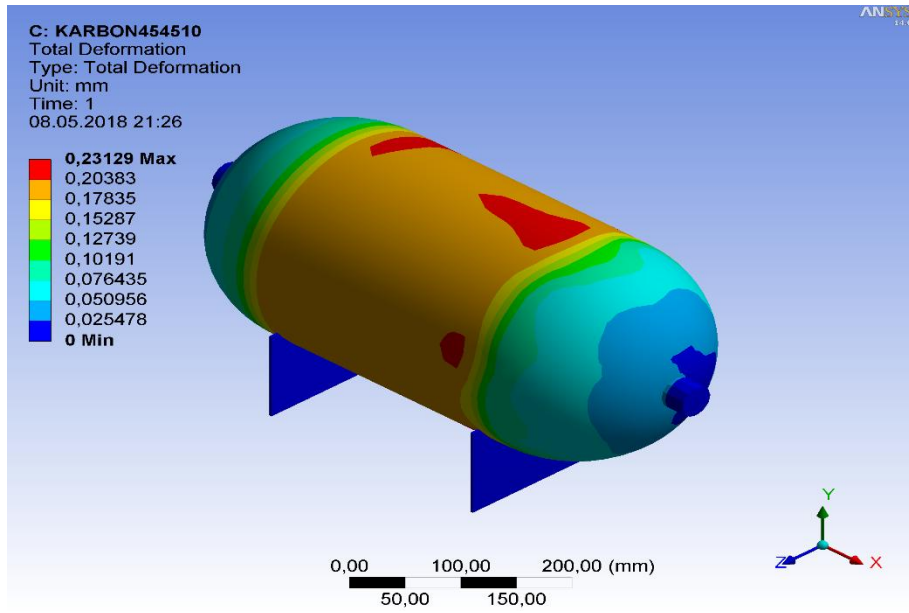
Şekil 6.25. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Basınçlı Kapların gerilmeleri

Şekil 6.25'te, tasarlanan Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda oluşan sonuçlarda 164,28 MPa, 121,7 MPa, 103,78 MPa, 143,47 MPa'lık maksimum gerilmeler oluşmuştur. Oluşan gerilmeler, karbon/epoksi kompozit malzemesinin akma gerilimi 1730 MPa'nın altında olduğu için kullanılmaya elverişlidir. Maksimum gerilmeler, basınçlı kabın silindirik orta bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum gerilme değeri 30°-30° oryantasyon açılı ve minimum gerilme değeri ise 60°-60° oryantasyon açılı basınçlı kap olduğu saptanmıştır.

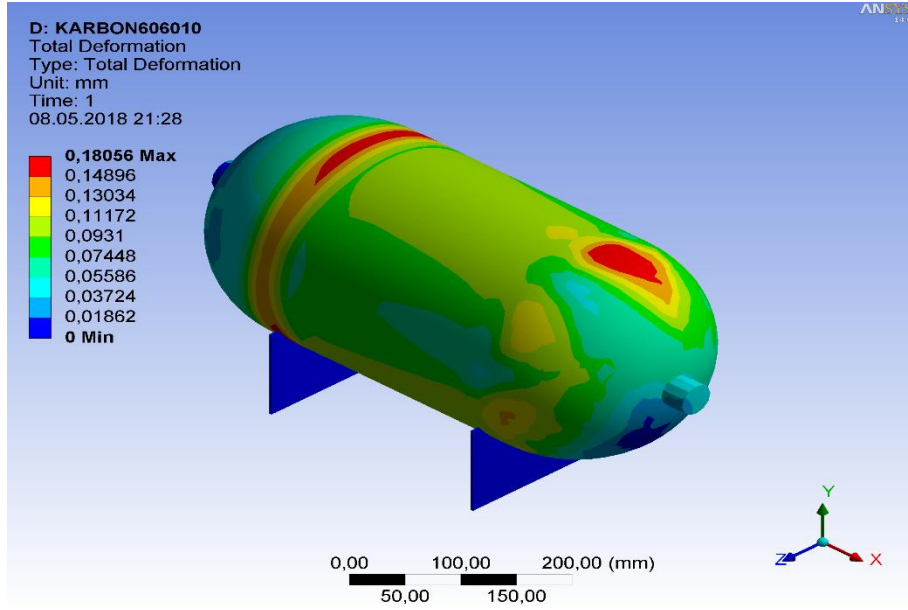
Şekil (6.26-6.29)'da görülen, 10 tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



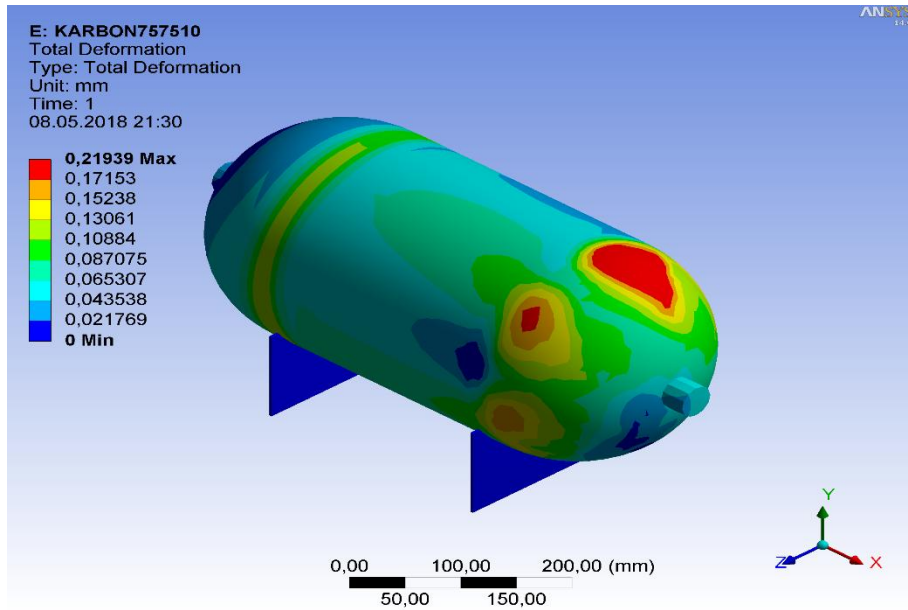
Şekil 6.26. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirme



Şekil 6.27. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirme

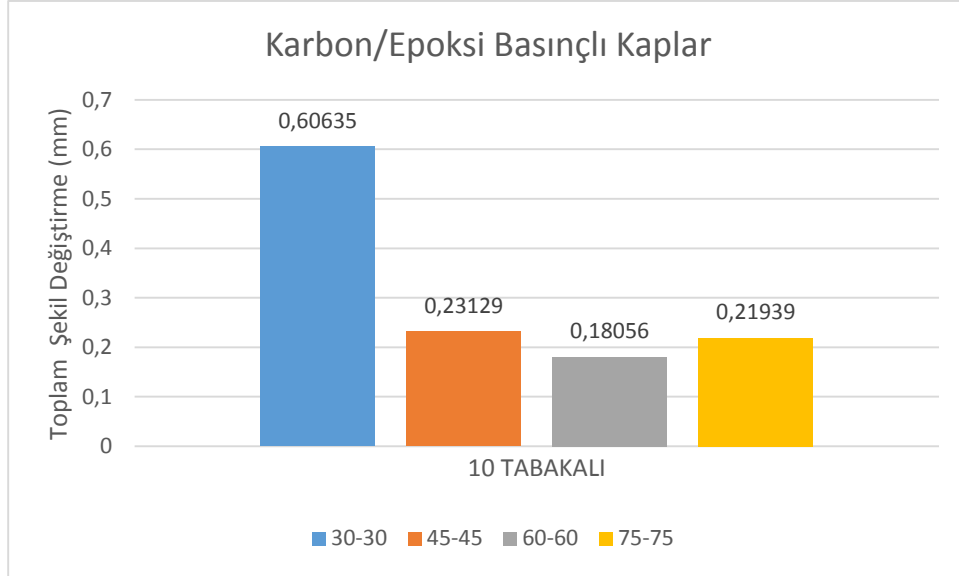


Şekil 6.28. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirme



Şekil 6.29. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirme

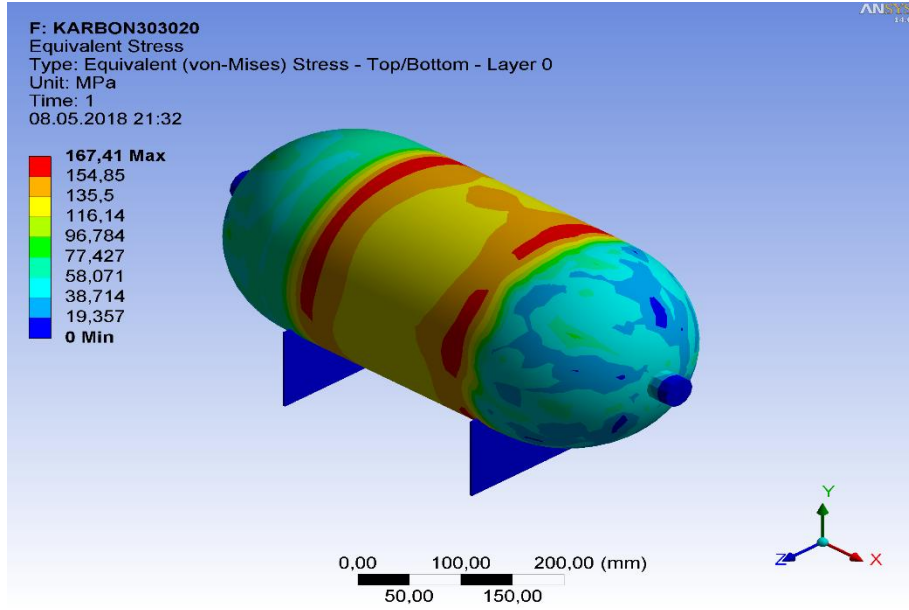
Tasarlanan 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmelerinden elde edilen veriler Şekil 6.24'deki grafiğe dökülmüştür.



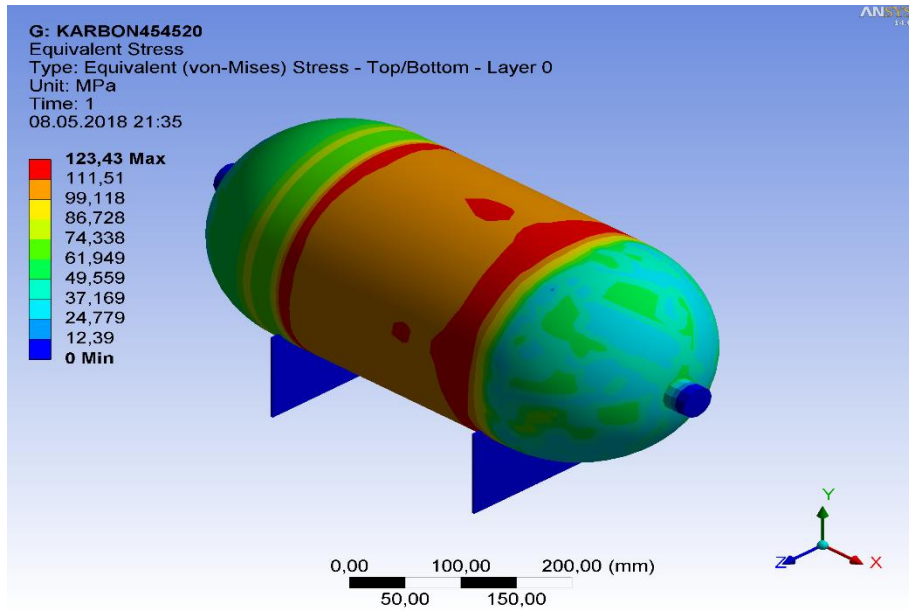
Şekil 6.30. 10 Tabakalı Karbon/Epoksi Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri

Şekil 6.30’da, tasarlanan Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri görülmektedir. Maksimum şekil değiştirmeler, 30°-30° ve 45°-45° oryantasyon açılı olan basınçlı kapların silindir kısmın orta bölgesinde, 60°-60° ve 75°-75° oryantasyon açılı basınçlı kapların ise silindir kısmın uç bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum deformasyonun 30°-30° oryantasyon açısında olduğu ve minimum deformasyonun ise 60°-60° oryantasyon açısında olduğu görülmüştür.

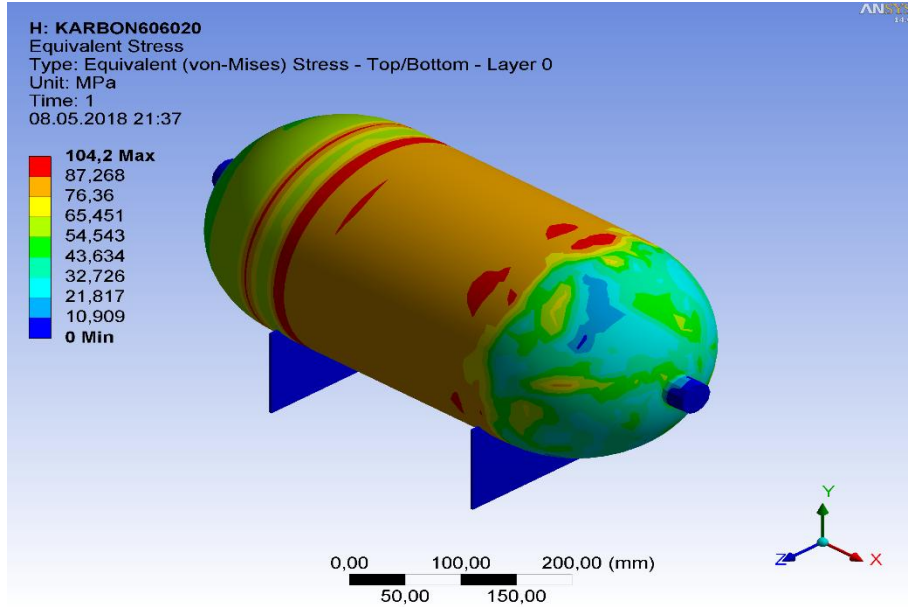
Şekil (6.31-6.34)’de görüldüğü gibi 20 tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



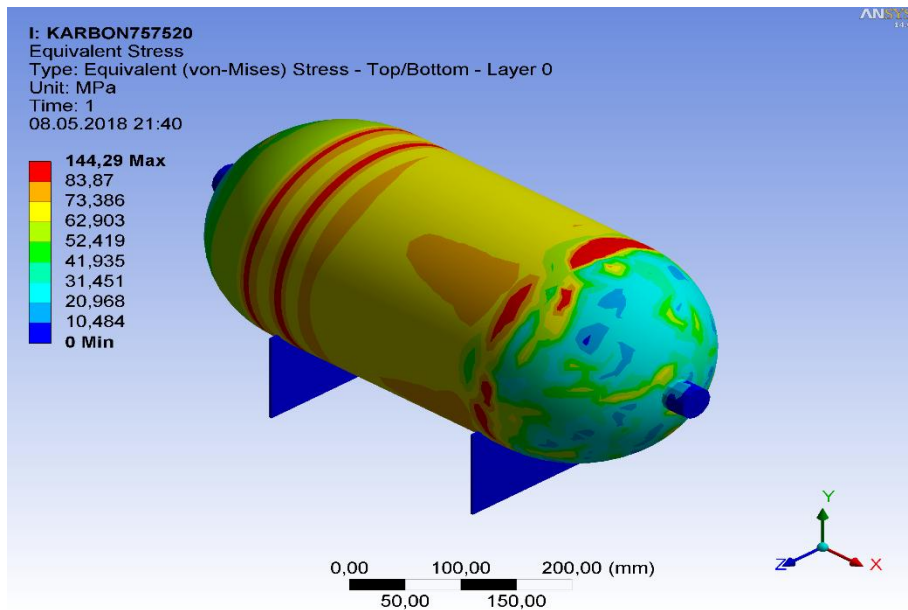
Şekil 6.31. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilme



Şekil 6.32. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilme

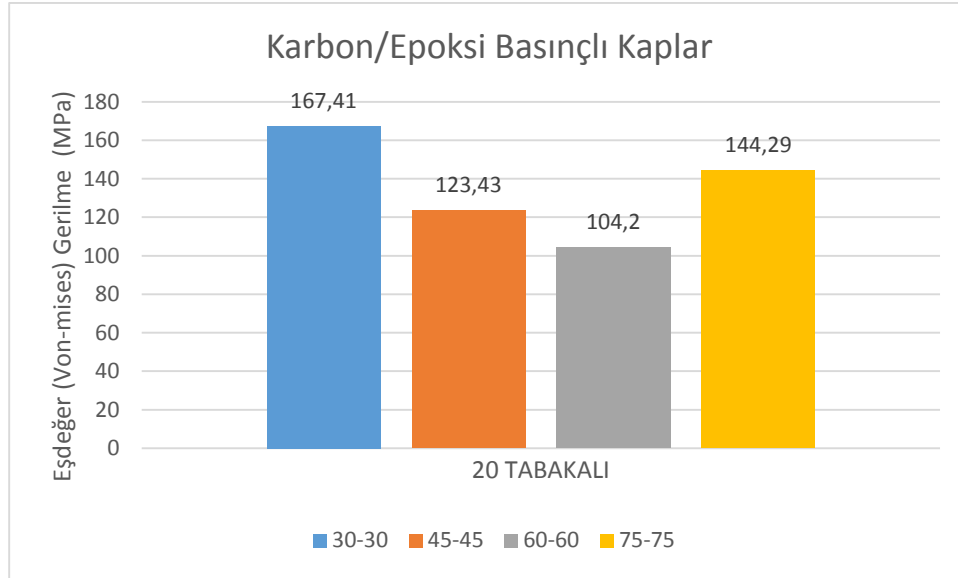


Şekil 6.33. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilme



Şekil 6.34. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilme

Şekil (6.31-6.34)'te görüldüğü gibi 20 tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme analizleri yapılmış ve elde edilen veriler grafiğe dökülmüştür

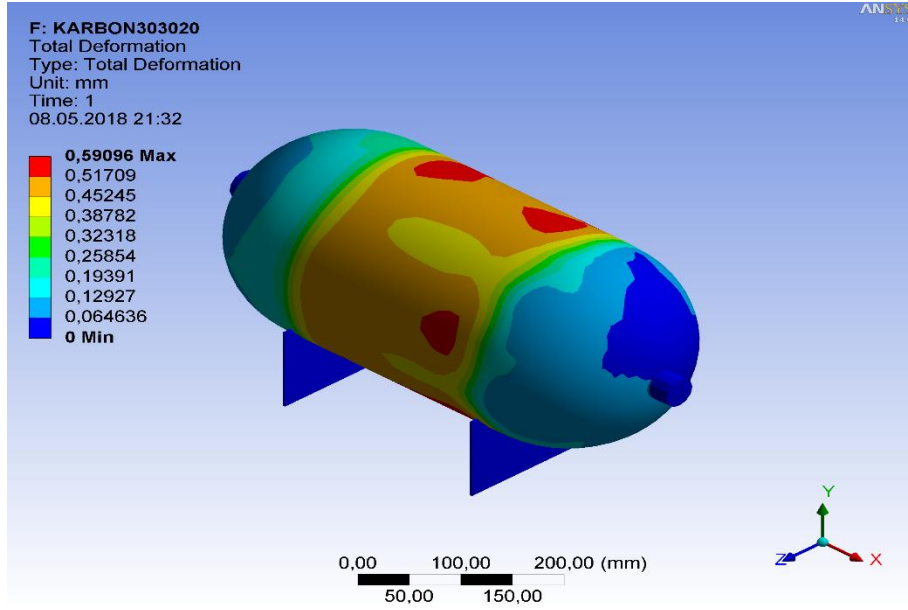


Şekil 6.35. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Basınçlı Kapların gerilmeleri

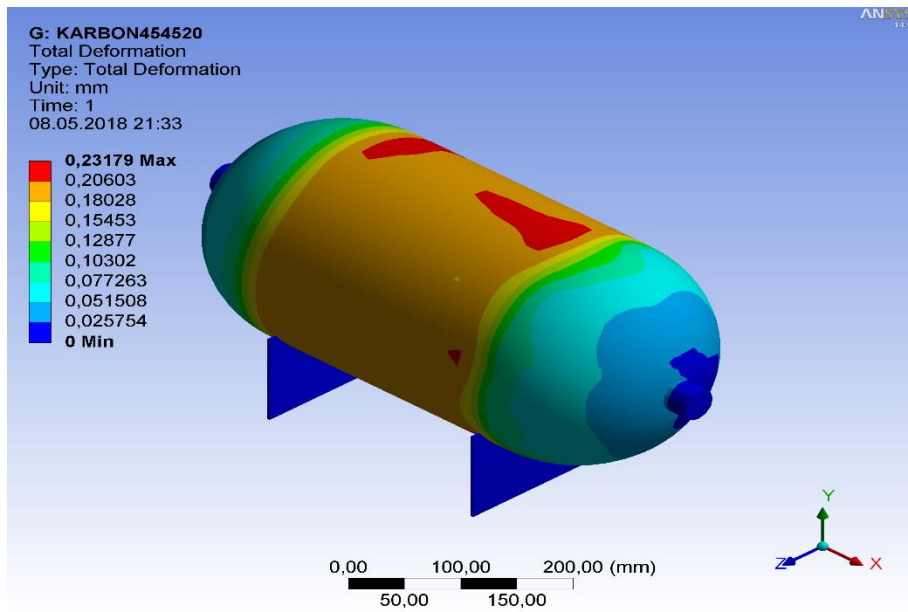
Şekil 6.35'te, tasarlanan Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda oluşan sonuçlarda 167,41 MPa, 123,43 MPa, 104,2 MPa, 144,29 MPa'lık maksimum gerilmeler oluşmuştur. Oluşan gerilmeler, karbon/epoksi kompozit malzemesinin akma gerilimi 1730 MPa'nın altında olduğu için kullanılmaya elverişlidir. Maksimum gerilmeler, basınçlı kabın silindirik orta bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum gerilme değeri 30°-30° oryantasyon açılı ve minimum gerilme değeri ise 60°-60° oryantasyon açılı basınçlı kap olduğu saptanmıştır.

10 tabakalı karbon/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki şekil değiştirme değerleri ile 20 tabakalı karbon/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki şekil değiştirme değerleri, her iki kaptaki toplam cidar kalınlığı değişmediğinden dolayı birbirine çok yakın elde edilmiştir.

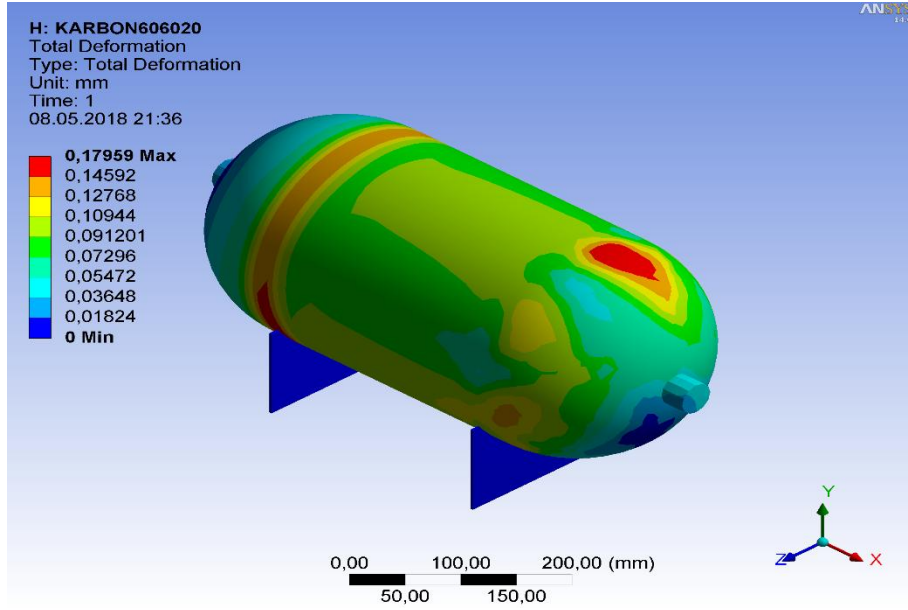
Şekil (6.36-6.39)'da görülen, 20 tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



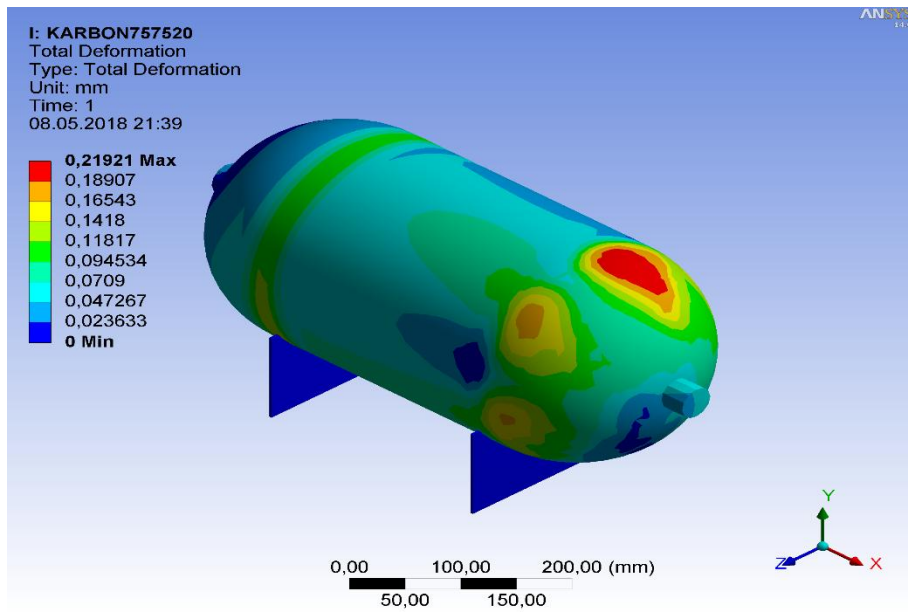
Şekil 6.36. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirme



Şekil 6.37. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirme

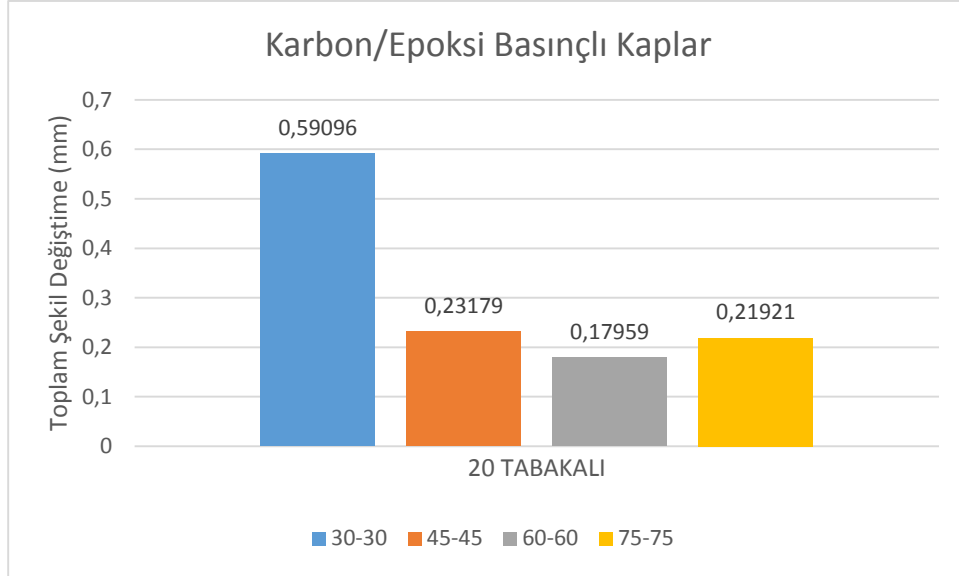


Şekil 6.38. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirme



Şekil 6.39. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirme

Tasarlanan 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmelerinden elde edilen veriler Şekil 6.34.'teki grafiğe dökülmüştür.



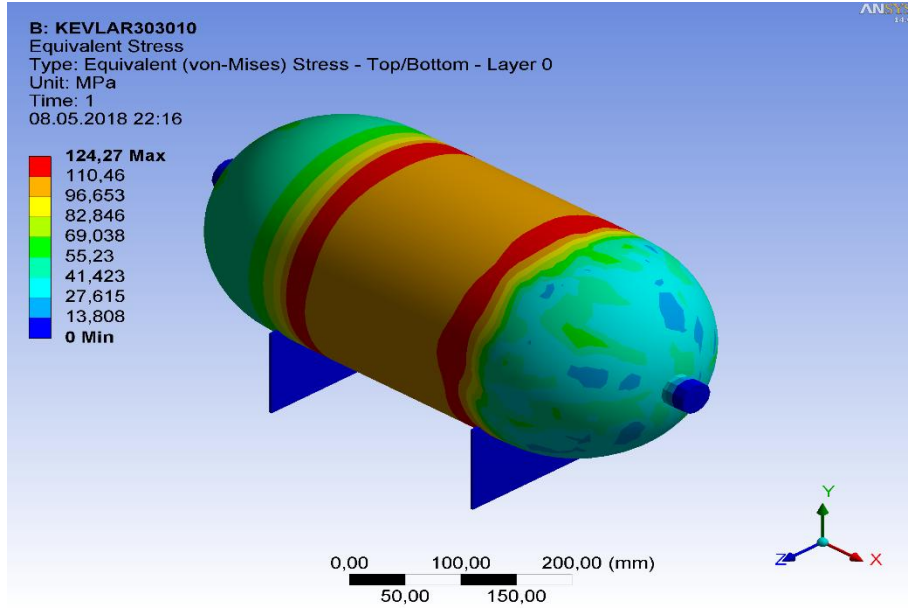
Şekil 6.40. 20 Tabakalı Karbon/Epoksi Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri

Şekil 6.40'da, tasarlanan Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri görülmektedir. Maksimum şekil değiştirmeler, 30°-30° ve 45°-45° oryantasyon açılı olan basınçlı kapların silindir kısmın orta bölgesinde, 60°-60° ve 75°-75° oryantasyon açılı basınçlı kapların ise silindir kısmın uç bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum deformasyonun 30°-30° oryantasyon açısında olduğu ve minimum deformasyonun ise 60°-60° oryantasyon açısında olduğu görülmüştür.

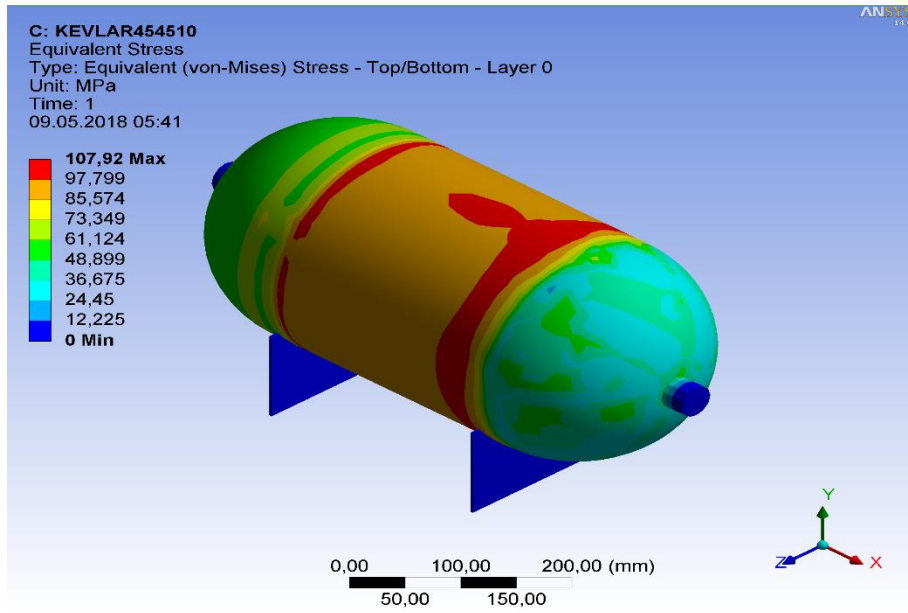
10 tabakalı karbon/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki şekil değiştirme değerleri ile 20 tabakalı karbon/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki şekil değiştirme değerleri, her iki kaptaki toplam cidar kalınlığı değişmediğinden dolayı birbirine çok yakın elde edilmiştir.

6.1.3. Kevlar Elyaf/Epoksi Basınçlı Kap Gerilme ve Şekil Değiştirme Analizleri

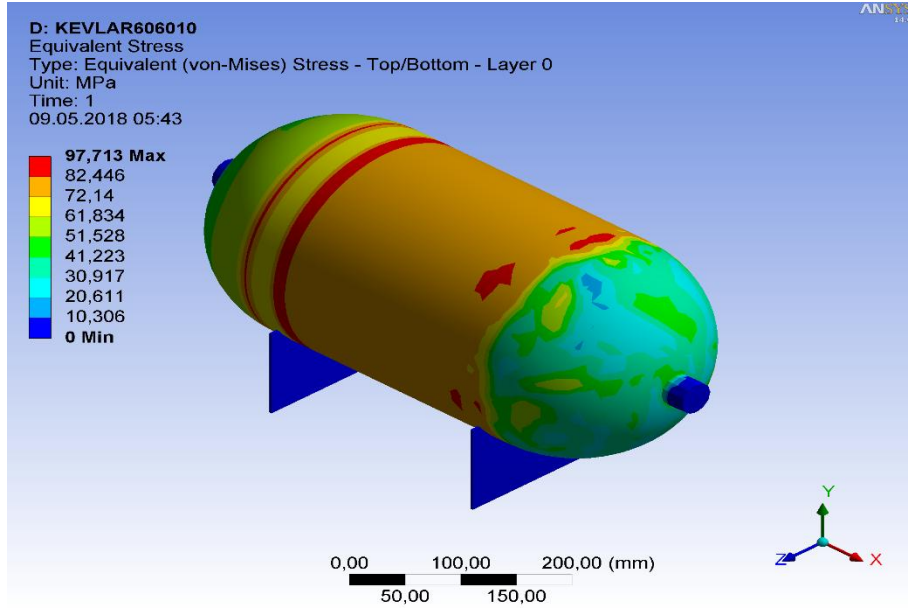
Tasarlanan Karbon/Epoksi Basınçlı Kap, uygulanan basınç altında çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla bilgisayar destekli ANSYS analiz paket programını kullanılarak gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılarak gerekli sonuçlar elde edilmiştir.



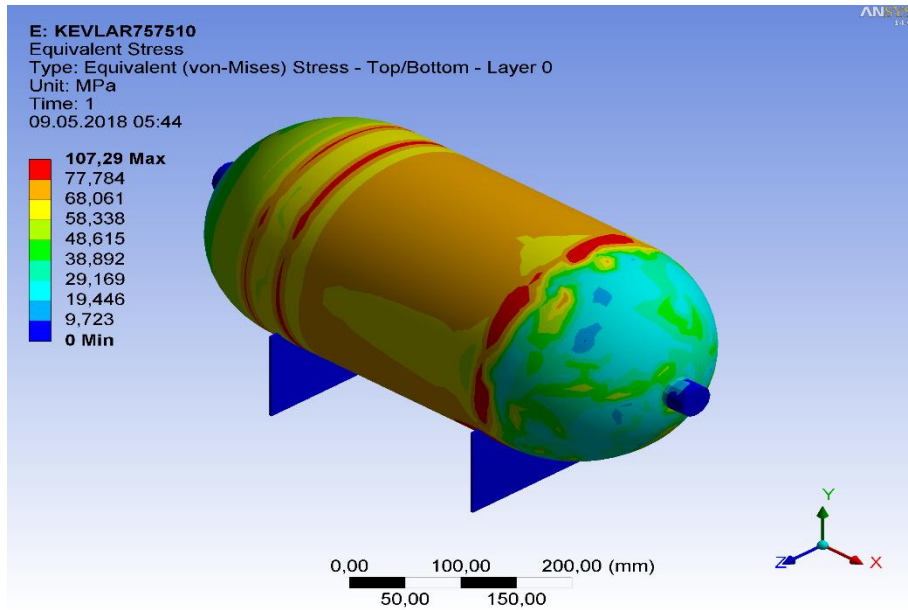
Şekil 6.41. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilme



Şekil 6.42. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilme

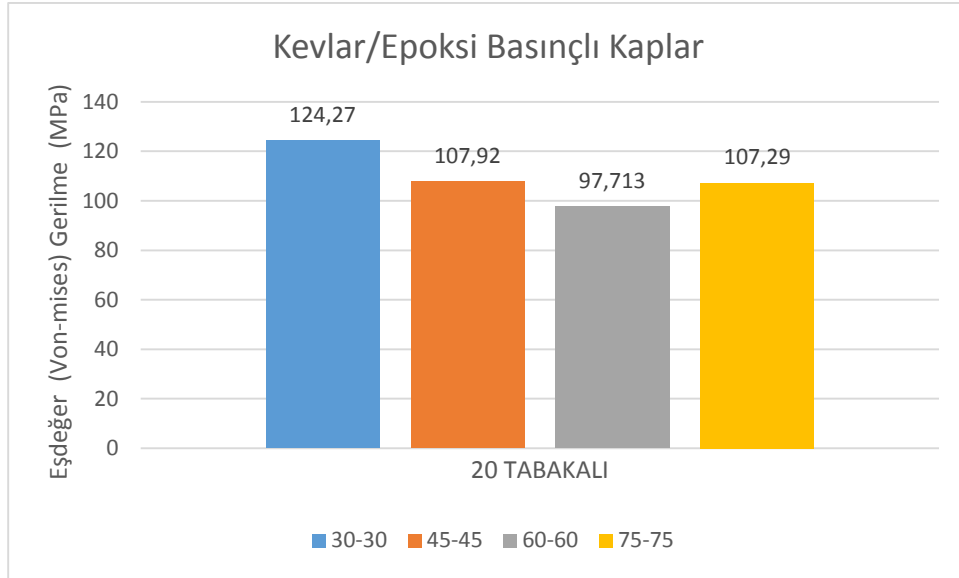


Şekil 6.43. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı gerilme



Şekil 6.44. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı gerilme

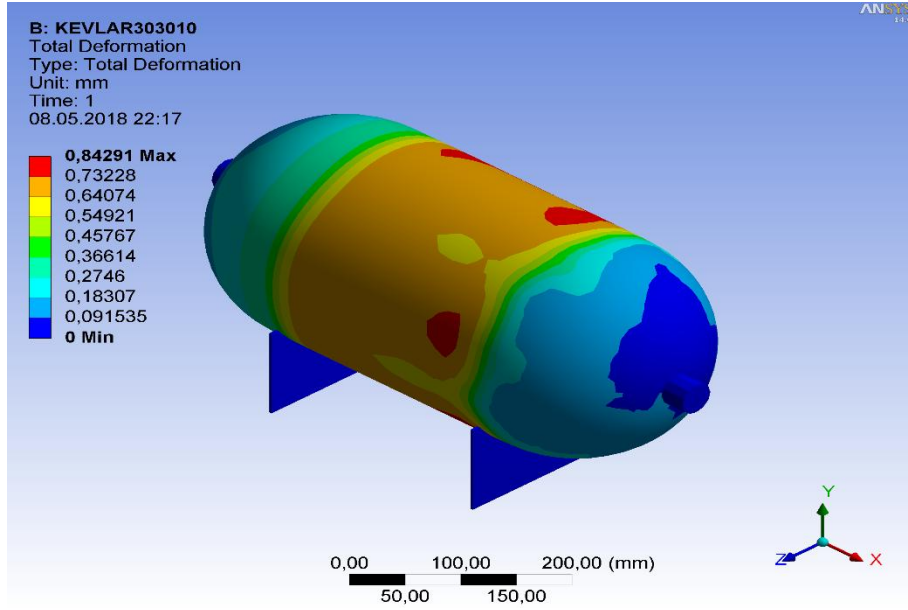
Şekil (6.41-6.44)'de görüldüğü gibi 10 tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme analizleri yapılmış ve elde edilen veriler grafiğe dökülmüştür.



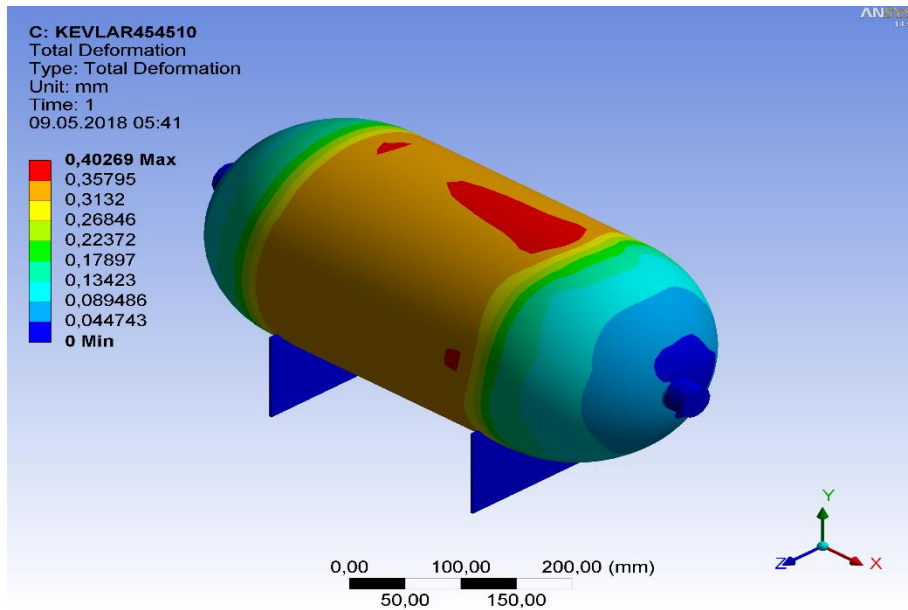
Şekil 6.45. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Basınçlı Kapların gerilmeleri

Şekil 6.45’de tasarlanan Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda oluşan sonuçlarda 124,27 MPa, 107,7 MPa, 97,713 MPa, 107,29 MPa’lık maksimum gerilmeler oluşmuştur. Oluşan gerilmeler, kevlar/epoksi kompozit malzemesinin akma gerilimi 1100 MPa’nın altında olduğu için kullanılmaya elverişlidir. Maksimum gerilmeler, basınçlı kabın silindirik orta bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum gerilme değeri 30°-30° oryantasyon açılı ve minimum gerilme değeri ise 60°-60° oryantasyon açılı basınçlı kap olduğu saptanmıştır.

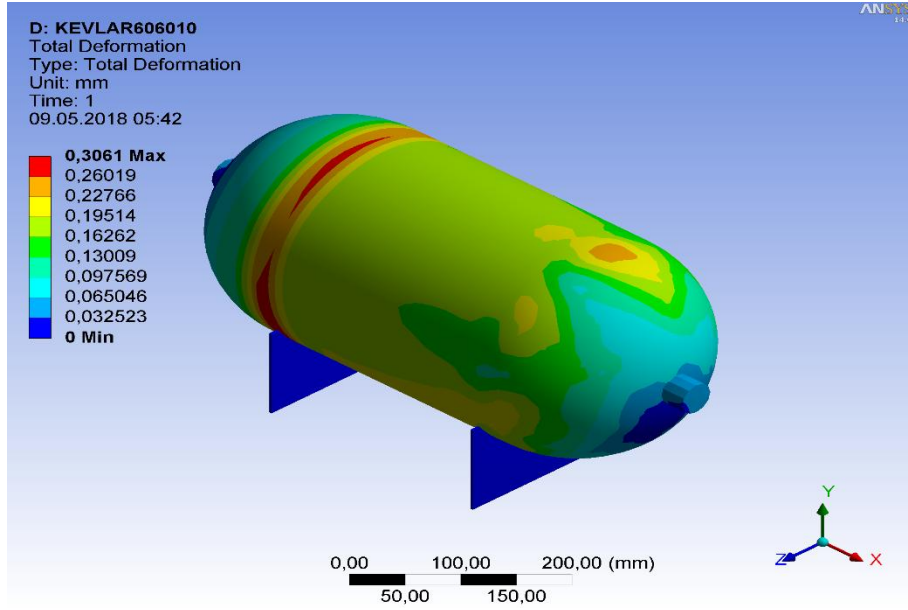
Şekil (6.46-6.49)’da görülen, 10 tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



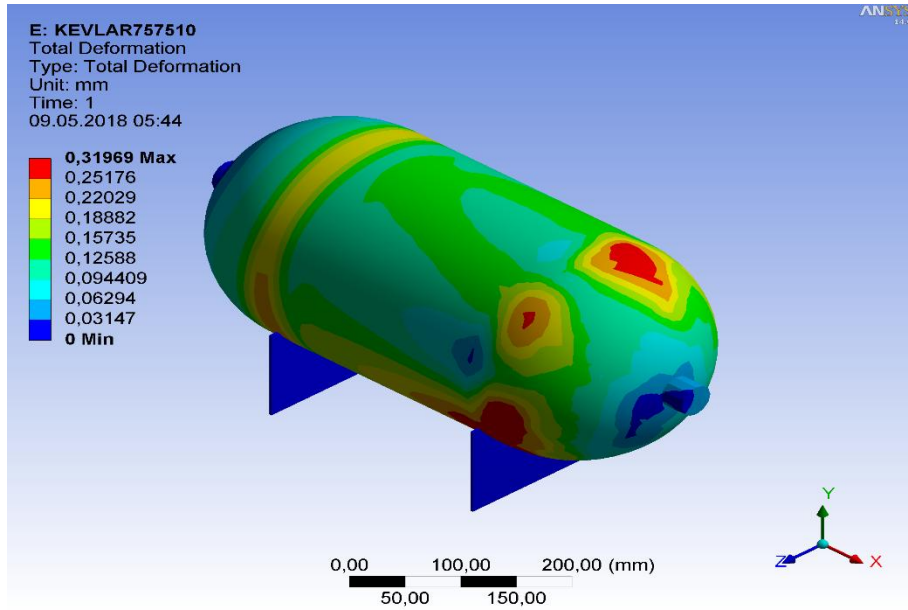
Şekil 6.46. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değıştirme



Şekil 6.47. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değıştirme

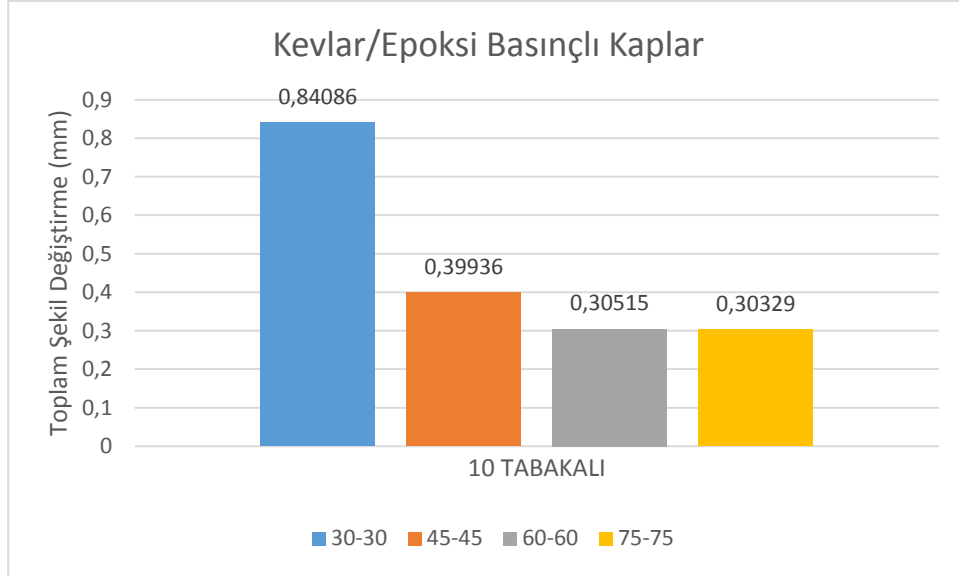


Şekil 6.48. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60°-60° oryantasyon açılı şekil değiştirme



Şekil 6.49. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75°-75° oryantasyon açılı şekil değiştirme

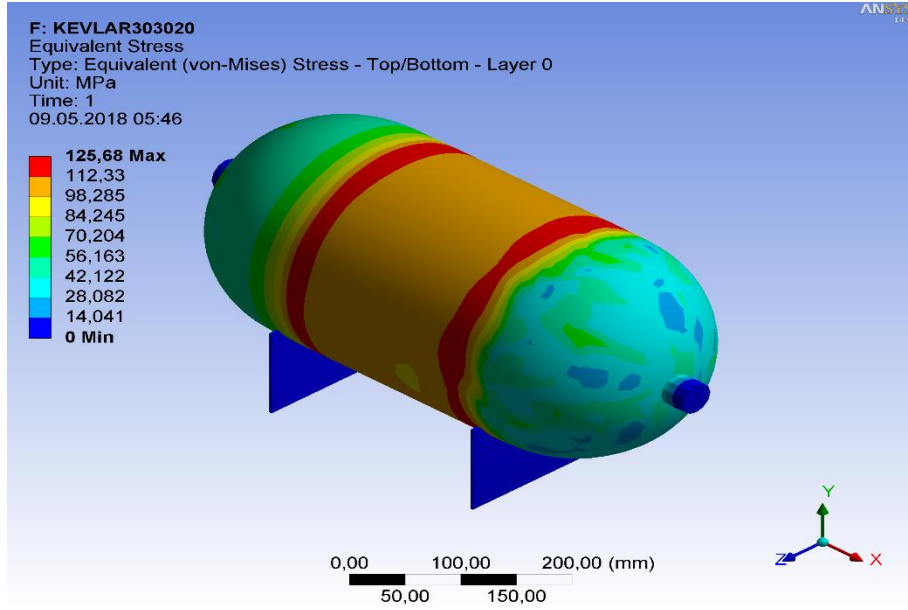
Tasarlanan 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmelerinden elde edilen veriler Şekil 6.44'teki grafiğe dökülmüştür.



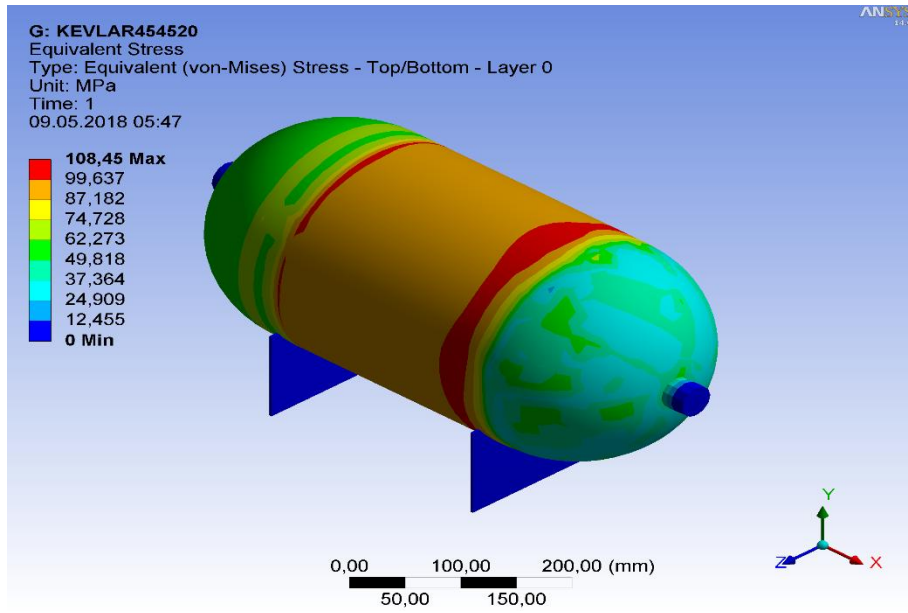
Şekil 6.50. 10 Tabakalı Kevlar/Epoksi Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri

Şekil 6.50’de, tasarlanan Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri görülmektedir. Maksimum şekil değiştirmeler, 30°-30° ve 45°-45° oryantasyon açılı olan basınçlı kapların silindir kısmın orta bölgesinde, 60°-60° ve 75°-75° oryantasyon açılı basınçlı kapların ise silindir kısmın uç bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum deformasyonun 30°-30° oryantasyon açısında olduğu ve minimum deformasyonun ise 60°-60° oryantasyon açısında olduğu görülmüştür.

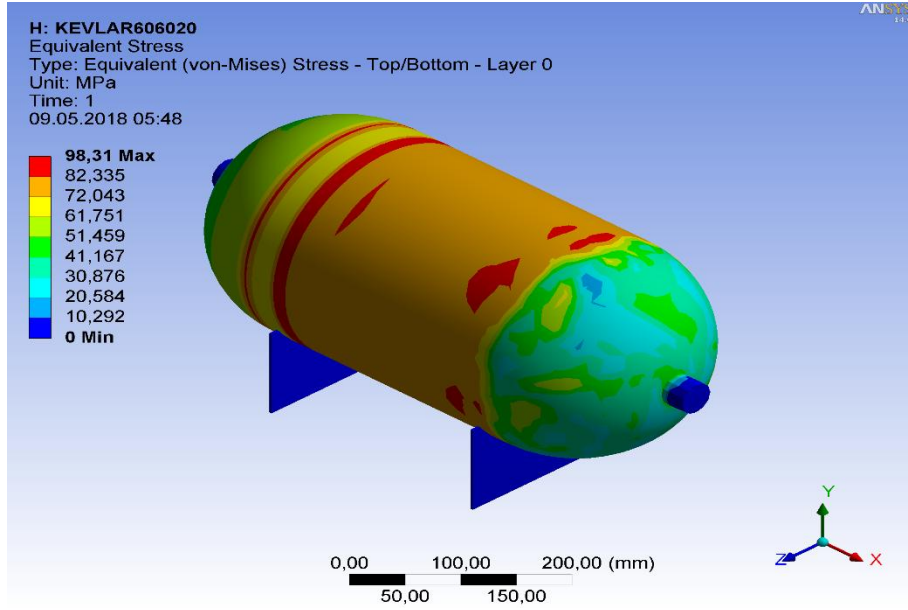
Şekil (6.51-6.54)’te görüldüğü gibi 20 tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



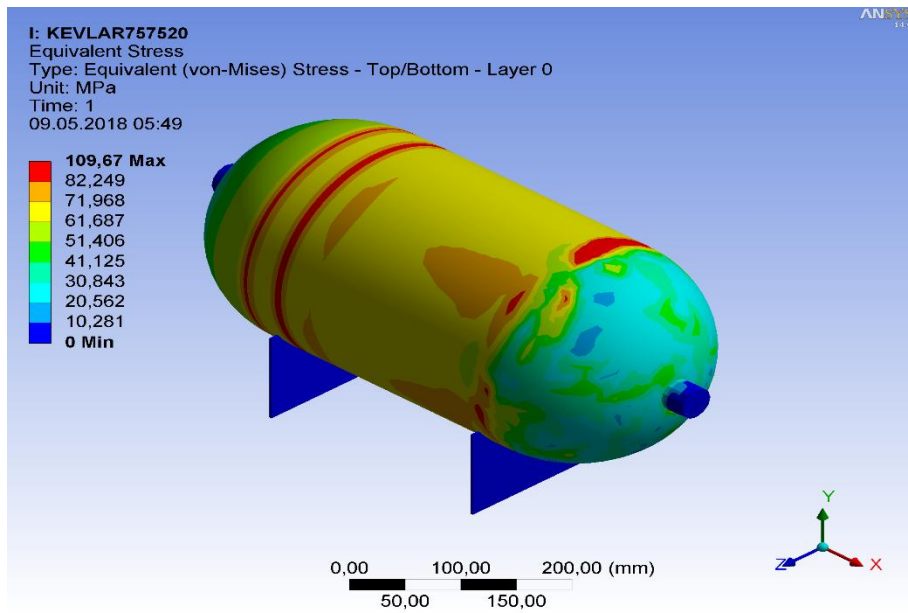
Şekil 6.51. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı gerilme



Şekil 6.52. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı gerilme

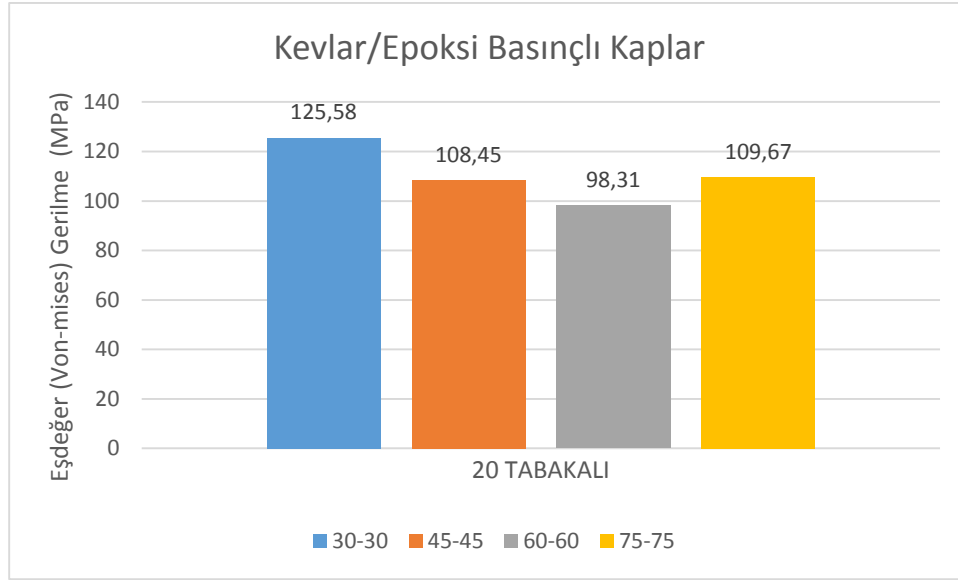


Şekil 6.53. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60° - 60° oryantasyon açılı gerilme



Şekil 6.54. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75° - 75° oryantasyon açılı gerilme

Şekil (6.51-6.54)'de görüldüğü gibi 20 tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki gerilme analizleri yapılmış ve elde edilen veriler grafiğe dökülmüştür.

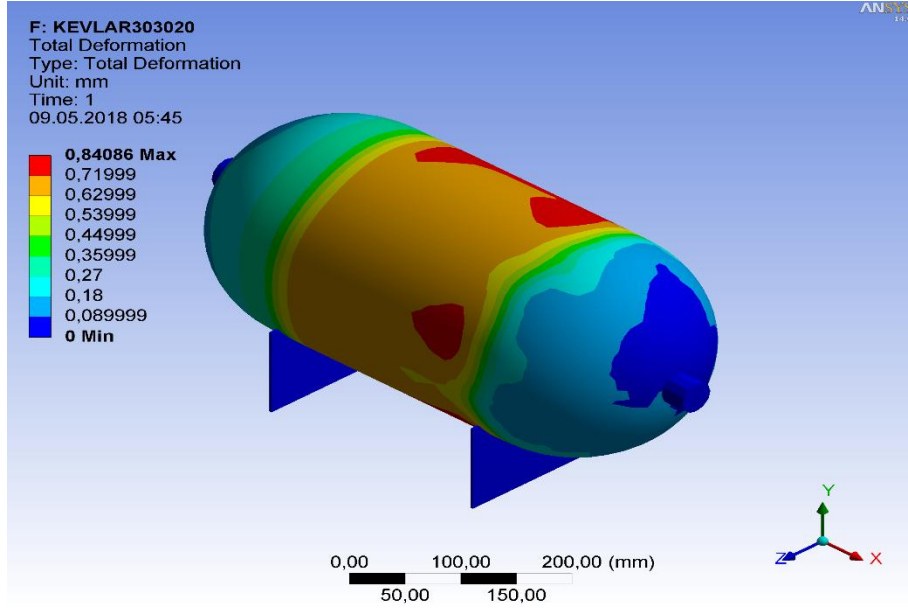


Şekil 6.55. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Basınçlı Kaplar gerilmeleri

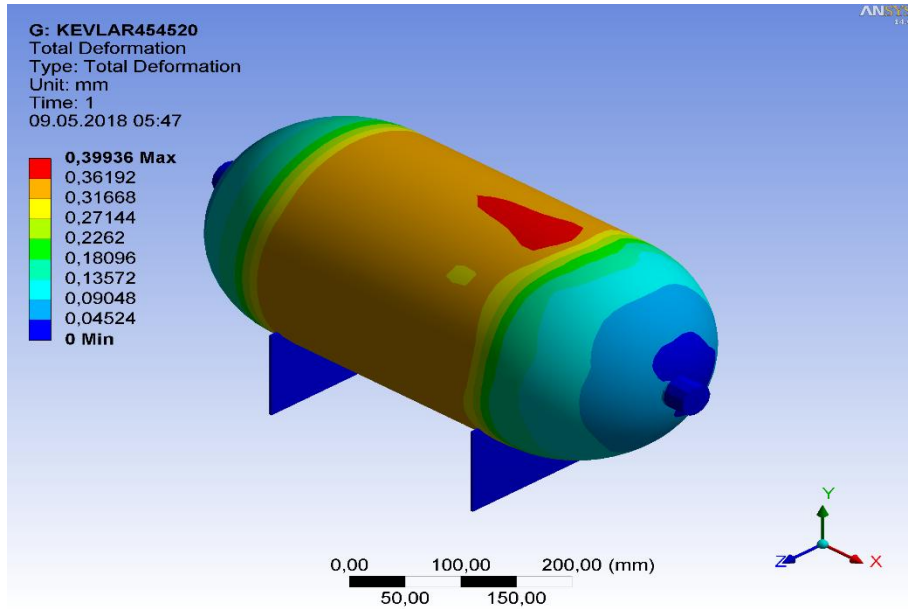
Şekil 6.55'te, tasarlanan Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda oluşan sonuçlarda 125,58 MPa, 108,45 MPa, 98,31 MPa, 109,67 MPa'lık maksimum gerilmeler oluşmuştur. Oluşan gerilmeler, karbon/epoksi kompozit malzemesinin akma gerilimi 1100 MPa'nın altında olduğu için kullanılmaya elverişlidir. Maksimum gerilmeler, basınçlı kabın silindirik orta bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum gerilme değeri 30°-30° oryantasyon açılı ve minimum gerilme değeri ise 60°-60° oryantasyon açılı basınçlı kap olduğu saptanmıştır.

10 tabakalı kevlar/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki von-mises gerilme değerleri ile 20 tabakalı kevlar/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki von-mises gerilme değerleri, her iki kaptaki toplam cidar kalınlığı değişmediğinden dolayı birbirine çok yakın elde edilmiştir.

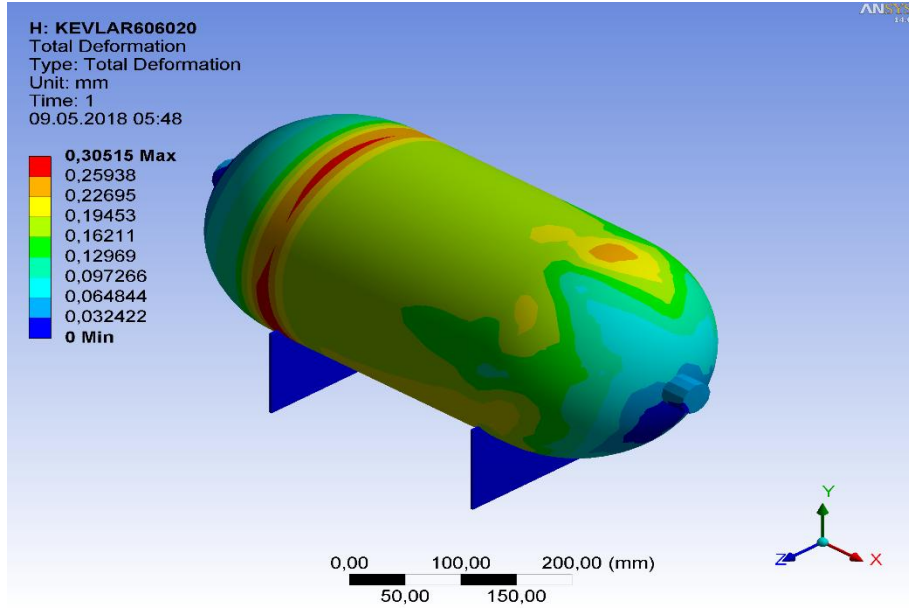
Şekil (6.56-6.59)'da görülen, 20 tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların bilgisayar destekli ANSYS paket programı ile uygulanan basınç altındaki şekil değiştirme analizleri yapılarak değerleri elde edilmiştir.



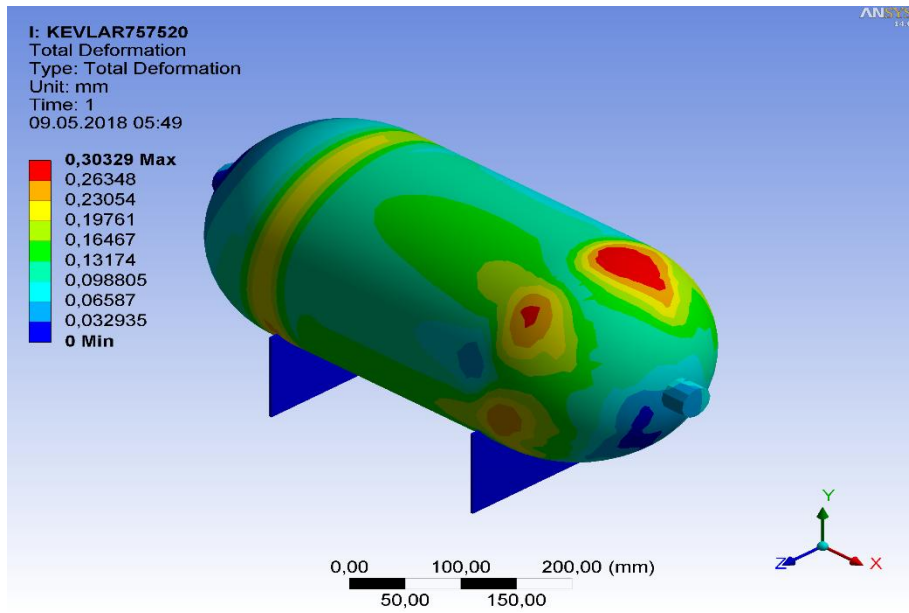
Şekil 6.56. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 30°-30° oryantasyon açılı şekil değiştirme



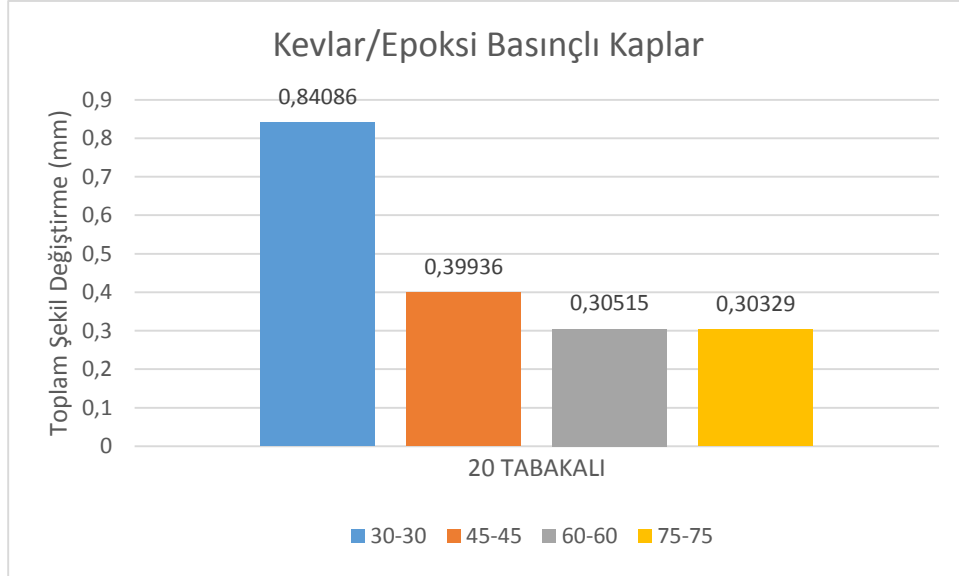
Şekil 6.57. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 45°-45° oryantasyon açılı şekil değiştirme



Şekil 6.58. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 60° - 60° oryantasyon açılı şekil değıştirme



Şekil 6.59. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kap 75° - 75° oryantasyon açılı şekil değıştirme

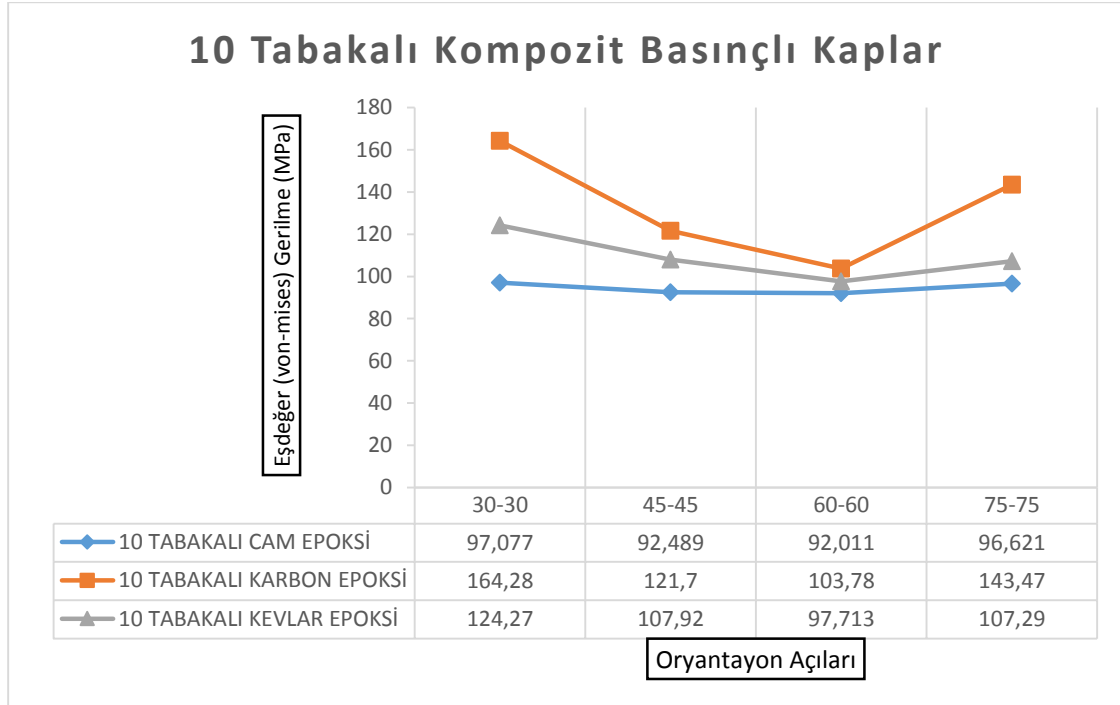


Şekil 6.60. 20 Tabakalı Kevlar/Epoksi Basınçlı Kaplar şekil değiştirmeleri

Şekil 6.60’da, tasarlanan Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri görülmektedir. Maksimum şekil değiştirmeler, 30°-30° ve 45°-45° oryantasyon açılı olan basınçlı kapların silindir kısmın orta bölgesinde, 60°-60° ve 75°-75° oryantasyon açılı basınçlı kapların ise silindir kısmın uç bölgelerinde olduğu görülmüştür. Maksimum deformasyonun 30°-30° oryantasyon açısında olduğu ve minimum deformasyonun ise 75°-75° oryantasyon açısında olduğu görülmüştür.

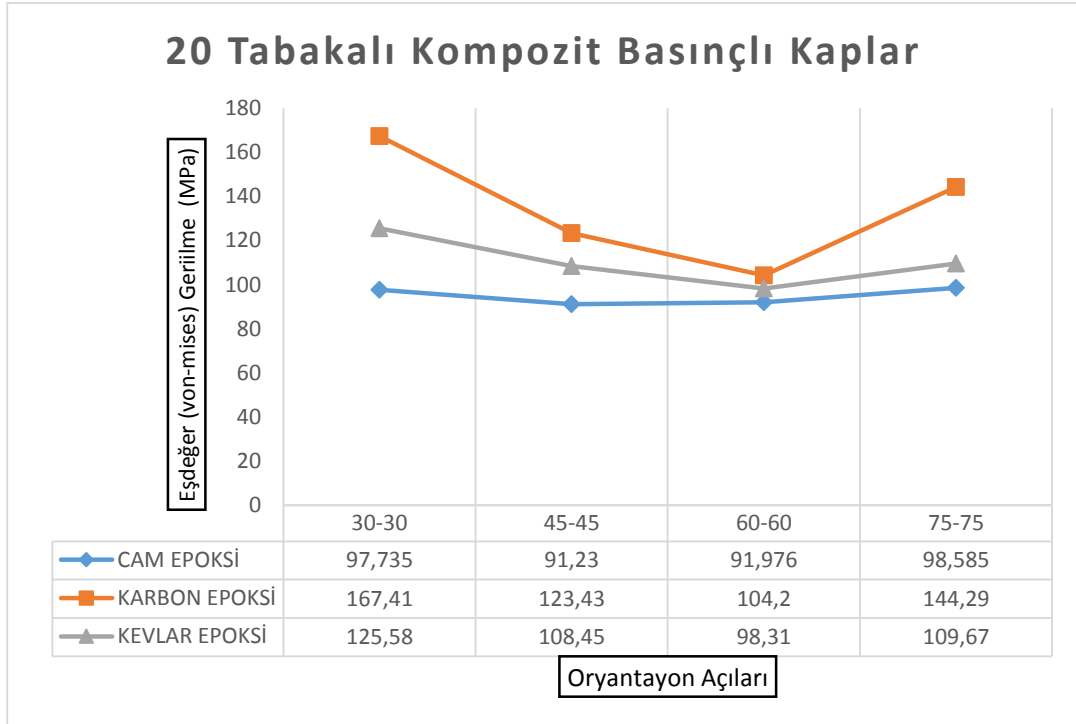
10 tabakalı kevlar/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki şekil değiştirme değerleri ile 20 tabakalı kevlar/epoksi kompozit basınçlı kaplardaki şekil değiştirme değerleri, her iki kaptaki toplam cidar kalınlığı değişmediğinden dolayı birbirine çok yakın elde edilmiştir.

Optimum gerilme ve deformasyonu tespit etmek için, ANSYS paket programında yapılan analizler sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir Şekil (5.61- 5.60).



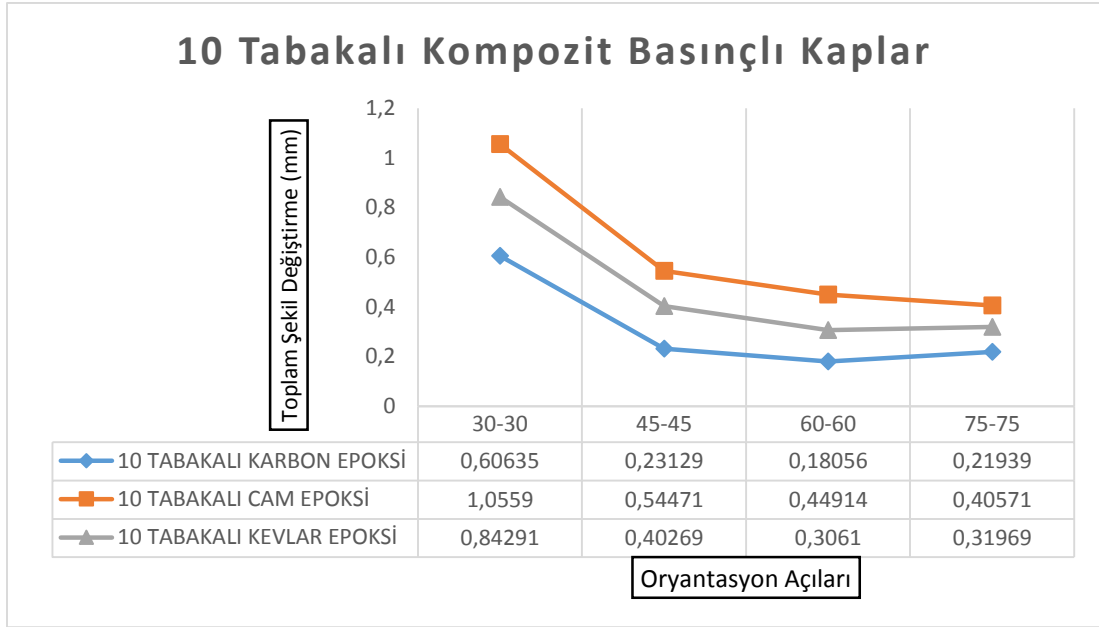
Şekil 6.61. 10 Tabakalı Kompozit Basınçlı Kapların gerilmeleri

Şekil 6.61’de yapılan analizler sonucunda minimum gerilmenin 10 tabakada bütün oryantasyon açılarında von-mises gerilmesinin Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda olduğu saptanmıştır. Bütün oryantasyon açılarında Maksimum von-mises gerilme değerlerin ise Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda olduğu görülmüştür. Şekil 6.61’deki verilerden en uygun tasarıma sahip oryantasyon açısının Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplardaki 60-60 oryantasyon açısıdır. Bu oryantasyon açısı üç kompozit malzemedan yapılmış kapta da minimum gerilme değerine sahip olduğu için 10 tabakalı kompozit malzemelerden yapılmış kaplar için optimum oryantasyon açısıdır.



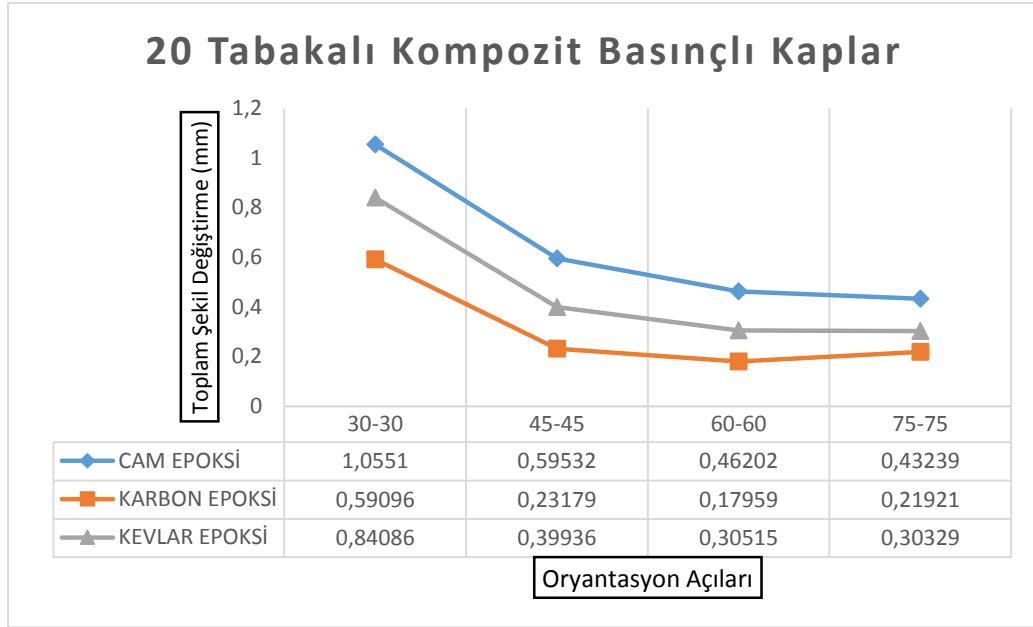
Şekil 6.62. 20 Tabakalı Kompozit Basınçlı Kapların gerilmeleri

Şekil 6.62’de yapılan analizler sonucunda minimum gerilmenin 20 tabakada bütün oryantasyon açılarında von-mises gerilmesinin Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda olduğu saptanmıştır. Bütün oryantasyon açılarında Maksimum von-mises gerilme değerlerin ise Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda olduğu görülmüştür. Şekil 6.62’deki verilerden en uygun tasarıma sahip oryantasyon açısının Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplardaki 60-60 oryantasyon açısıdır. Bu oryantasyon açısı üç kompozit malzemeden yapılmış kaptaki da minimum gerilme değerine sahip olduğu için 20 tabakalı kompozit malzemelerden yapılmış kaplar için optimum oryantasyon açısıdır.



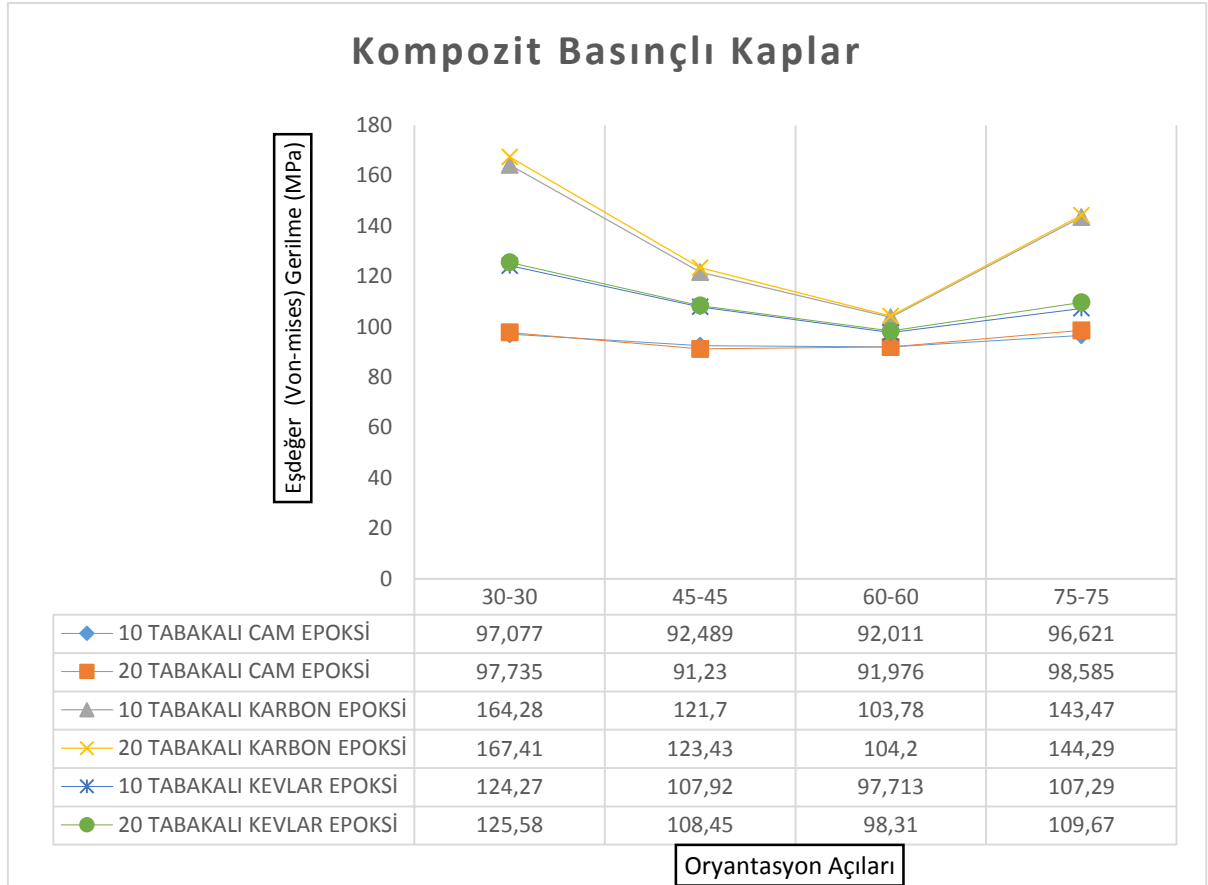
Şekil 6.63. 10 Tabakalı Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri

Şekil 6.63'te yapılan analizler sonucunda minimum deformasyonun 10 tabakada bütün oryantasyon açılarında Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda olduğu görülmüştür. Bütün oryantasyon açılarında şekil değiştirme değerlerinin diğer kaplara nazaran Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda yüksek değerler çıktığı görülmüştür. Şekil 5.63'teki verilerden en uygun tasarıma sahip oryantasyon açısının Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaptaki 60-60 oryantasyon açısıdır. Bu oryantasyon açısı üç kompozit malzemeden yapılmış kaptaki da minimum şekil değiştirme değerine sahip olduğu için 10 tabakalı kompozit malzemelerden yapılmış kaplar için optimum oryantasyon açısıdır.



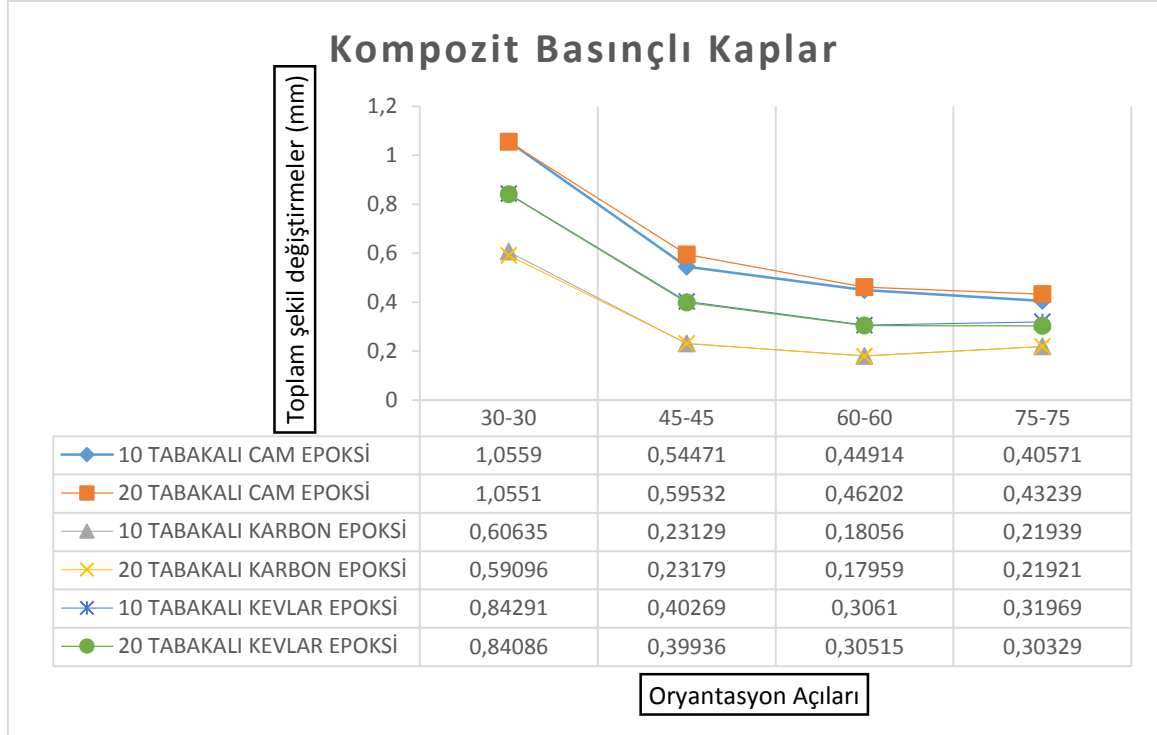
Şekil 6.64. 20 Tabakalı Kompozit Basınçlı Kapların şekil değiştirmeleri

Şekil 6.64’te yapılan analizler sonucunda minimum deformasyonun 20 tabakada bütün oryantasyon açılarında Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda olduğu görülmüştür. Bütün oryantasyon açılarında şekil değiştirme değerlerinin diğer kaplara nazaran Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda yüksek değerler çıktığı görülmüştür. Toplam cidar kalınlığı sabit olduğundan; Şekil 5.64’teki verilerden en uygun tasarıma sahip oryantasyon açısının Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaptaki 60-60 oryantasyon açısıdır. Bu oryantasyon açısı üç kompozit malzemeden yapılmış kapta da minimum şekil değiştirme değerine sahip olduğu için 20 tabakalı kompozit malzemelerden yapılmış kaplar için, optimum oryantasyon açısıdır.



Şekil 6.65. 10 ve 20 Tabakalı Kompozit Basınçlı Kaplar gerilmeleri

Şekil 6.65'te 10 ve 20 tabakalı kompozit basınçlı kapların von-mises gerilme analiz verileri sunulmuştur. Toplam cidar kalınlığı sabit kaldığından dolayı aynı malzemeden olan kompozit basınçlı kaplarda gerilmeler birbirine çok yakın elde edilmiştir. Maksimum gerilmelerin optimum değerinin 60° - 60° oryantasyon açılı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplar olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.66. 10 ve 20 Tabakalı Kompozit Basınçlı Kaplar şekil değiştirmeleri

Şekil 6.66’da 10 ve 20 tabakalı kompozit basınçlı kapların deformasyon analiz verileri sunulmuştur. Toplam cidar kalınlığı sabit kaldığından dolayı aynı malzemeden tasarlanmış olan kompozit basınçlı kaplarda, şekil değiştirmeler birbirine çok yakın elde edilmiştir. Şekil değiştirmelerin optimum değerinin 60°-60° oryantasyon açılı Karbon/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda olduğu saptanmıştır.

10 ve 20 tabakalı kompozit basınçlı kaplar Cam/Epoksi, Karbon/Epoksi ve Kevlar/Epoksi kompozit malzemelerden tasarlanmıştır. Tasarlanan bu basınçlı kaplar 30°-30°, 45°-45°, 60°-60°, ve 75°-75° oryantasyon sarım açılına göre tasarlanmış ve bu kaplara test basıncı 1,65 MPa uygulanarak gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda optimum gerilme değerlerinin Cam/Epoksi için 92,011 MPa, Karbon/Epoksi için 103,78 MPa ve Kevlar/Epoksi için 97,713 MPa olduğu görülmüştür. Bütün kompozit malzemelerde bu gerilme değerleri, 60°-60° oryantasyon açısında görülmüştür. Bu nedenle 60°-60° açısı, bu çalışmada kullanılan kompozit kaplar için gerilme değerleri için optimum oryantasyon açısı olduğu saptanmıştır.

Optimum şekil değiştirmeler ise, 75°-75° oryantasyon açılı Cam/Epoksi Kompozit Basınçlı kaplarda 0,40571 mm, 60°-60° oryantasyon açılı Karbon/Epoksi Basınçlı Kompozit Basınçlı Kaplarda 0,18056 mm ve 60°-60° oryantasyon açılı Kevlar/Epoksi Kompozit Basınçlı Kaplarda 0,3061 mm olduğu görülmüştür.

Kompozit kaplar tasarlandığında gerek şekil değiştirme değerleri ve gerekse oluşan maksimum gerilmeler dikkate alındığında; 60°-60° oryantasyon açısının en uygun tasarım açısı olduğu saptanmıştır. Tasarlanan bu bütün kompozit kaplarda oluşan maksimum gerilmeler akma sınırının çok altında çıkmış ve şekil değiştirmelerde kabul edilebilir sınırlar dahilinde kalmıştır.

Her üç kompozit malzeme içinde tasarlanan bu kapların, endüstride üretilebilmesi mümkündür. Bu kaplar üretildiği takdirde piyasada hali hazırda kullanılmakta olan çelik ve alüminyum gibi kaplara kıyasla maliyetleri daha uygun olmaktadır. Ayrıca korozyon direnci daha yüksek olması sebebiyle kullanımı daha da yaygınlaşacaktır.

6.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında basınçlı kaplar için takviye malzemesi olarak cam elyaf, karbon elyaf ve kevlar elyaf matris malzemesi olarak da epoksi malzemesi kullanılarak kompozit kaplar tasarlanmıştır. Bu tasarım esnasında 10 ve 20 tabaka kalınlıkları kullanılmıştır. Fiber hacmi olarak Cam Elyaf ($V_f = \%45$), Karbon Elyaf ($V_f = \%61$) ve Kevlar Elyaf ($V_f = \%53$) kullanılmıştır. Oryantasyon açısı olarak ta 30°-30°, 45°-45°, 60°-60° ve 75°-75° açıları kullanılmıştır. Tasarlanan kaplara 1.65 MPa basınç uygulanarak şekil değiştirme ve von-mises gerilme değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu veriler ışığında, oluşan maksimum gerilmeler ve şekil değiştirmeler açısından optimum oryantasyon açısı belirlenmiştir. Daha farklı tasarım parametreleri ve sınırlayıcılar kullanılarak kapların tasarımı yapılabilir;

1. Farklı basınç değerleri kullanılarak kapların maksimum dayanım basıncı saptanabilir.
2. Farklı malzemeler kullanılarak kompozit kaplar üretilip optimum malzeme cinsi belirlenebilir.
3. Tabaka sayıları değiştirilerek optimum tabaka sayısı belirlenebilir.

4. Farklı kap hacimleri kullanılarak optimum kap hacmi belirlenebilir.
5. Farklı fiber hacimleri kullanılarak optimum fiber hacimleri saptanabilir.
6. Tasarımı yapılan bu kapların uygun üretim yöntemi seçilerek üretimi yapılabilir ve gerçek deney koşullarına tabi tutulup tasarımında, teorik analizinde elde edilen verilerin doğruluğu desteklenebilir.

KAYNAKLAR

Akçay IH, Kaynak I (2005) Analysis of Multilayered Composite Cylinders under Thermal Loading, J. of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 24: 650

Antunes PJ, Dias GR, Nunes JP and Van Hattum FWJ (2008) Finite Element modeling of Thermoplastic Matrix Composite Gas Cylinders Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol. 21: 411

Baker AA, Dutton S, Kelly DW (2004) Composite Materials for Aircraft Structures, 2nd Edition, AIAA, Reston, VA

Cam Elyaf (1997) Bülten Sayı 6, Cam Elyaf Sanayi A.Ş., İstanbul

Choi JC, Jung SY, and Kim C (2004) Development Of An Automated Design System of a CNG Composite Vessel Using A Steel Liner Manufactured Using The DDI Process, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 24: 781-788

Çetin M (2014) Uzay Uygulamalarında Kullanılan Kompozit Sarımlı, Basınçlı bir Tankın Yapısal Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 26

Daniel IM, Ishai O (1994) Engineering Mechanics of Composite Materials, Oxford University Press, New York

Demir İ (2014) Burst pressure in composite cylinders, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalı, İzmir, s. 20-25

Eruslu S (2008) İnce Cidarlı Basınçlı Tüplerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Çorlu, Tekirdağ, s.169-174

Gemia L, Tarakçıoğlu N, Akdemir A ve Şahin ÖS (2009) Progressive Fatigue Failure Behavior Of Glass/Epoxy (± 75)₂ Filament-Wound Pipes Under Pure Internal Pressure, Materials & Design, Vol. 30: 4293-4298

Harris B (1999) Engineering composite materials, The Institute of Materials, London

Hibbeler RC (2005) Mechanics of Materials, Prentice Hall, Inc., Singapore

<https://netcomposites.com/guide-tools/glossary/> (erişim tarihi: 25 Nisan 2018)

<https://www.bolton.ac.uk/CODATE/SPGuidetoComposites.pdf> (erişim tarihi: 12 Şubat 2018)

Işık A (2008) Kompozit malzemedan imal edilmiş bir takviye elemanın eğilme ve burulma yükü altında deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uçak ve Uzay Anabilim Dalı, İstanbul, s. 16-23

Jones, MR (1999) Mechanics of composite materials, Taylor&Francis, New York

Kalaycıoğlu B (2010) Dikişsiz metal astarlı ve kompozit sargılı basınç tank tasarımı, Doktora tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Kırıkkale, s. 3-5

Kam TY, Liu YW and Lee ET (1997) First-ply failure strength of laminated composite pressure vessels, Composite Structures Vol. 38: 65-70

Kamat S, Su X, Forsyth BS, Keddy C, Chamis C (2001) Flament Winding Simulation of a Composite Overwrapped Pressure Vessel, SAMPE Sempozyum

Kara M (2012) Düşük hızlı darbe sonrası yama ile tamir edilmiş filaman sarım CTP borularının iç basınç atındaki hasar davranışı, Selçuk Üniversitesi Makine Anabilim Dalı, Konya, s. 13-14

Karacaer Y (2009) Cam Kumaş Takviyeli Delikli SMC kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitim Anabilim Dalı, Konya, s. 10-16

Karasu HF (2014) Kompozit Disk Yayların Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, İzmir, s. 13-15

Kocabaş İ (2012) Kompozit malzemelerin fren balatalarında kullanılabilirliğinin ve frenleme performansının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Elazığ, s. 15-17

Lifshitz JM, Dayan H (1995) Filament-wound pressure vessel with thick metal liner, Composite Structures, Vol. 32: 313–323

Mazumdar S (2002) Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida

Önder A (2007) First Failure Pressure of Composite Pressure Vessels, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalı, İzmir, s. 1-4

Pavlovski D, Mislavsky B and A. Antonov (2007) CNG cylinder manufacturers test basalt fibre, Reinforced Plastics, s. 36-38

Rao Yarrapragada KSS, R Krishna Mohan and B.Vijay Kiran (2012) Composite Pressure Vessels, International Journal of Research in Engineering and Technology, V.01

Sayman O (2005) Analysis of multi-layered composite cylinders under hygrothermal loading, Composites: Part A, Vol. 36: 923-33

Schwartz MM (1984) Composite Materials Handbook, McGraw-Hill, Inc., United States of America

Solmaz MY (2008) Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik analiz ve tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Elazığ, s. 54-55

Şahin ÖS (2004) Yüzey çatlaklı filaman sarım CTP kompozit boruların korozif ortamda yorulma davranışı, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Konya, s. 20-24

Şahin Y (2000) Kompozit Malzemelere Giriş, 1.Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara

Şahin Y (2006) Kompozit Malzemelere Giriş, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara

Şangay KM (2002) Composite Manufacturing Materials: Product, and Process Engineering, CRC Press Boca Raton London New York Washington D.C. s. 21

Velosa JC, Nunes JP, Antunes PJ, Silva JF, Marques AT (2007) Development of a New Generation of Filament Wound Composite Pressure Cylinders, *Ciência e Tecnologia dos Materiais*, Vol.19: 1-2

Yanen C (2016) Tabakalı hibrit kompozitlerin bireysel zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Elazığ, s. 12-16

Yaylağan E (2010) Determination Of Composite Pressure Vessels Under Various Loading, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalı, İzmir, s. 20-21

Yıldırım F (2012) İnce Cidarlı Basınçlı Kapların Yük Altında Mekanik Davranışlarının Deneysel ve Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, s. 6-10

Yıldırım H (2009) Değişik kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Elazığ, s. 29-31

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Afşin’de doğdu. İlkokulu, ortaokulu ve liseyi Kahramanmaraş’ta tamamladı. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2013 yılında mezun oldu. 2013 – 2014 yılları arasında Yulafsan Makine Gıda İnş. Bil. İth. İhr. ve Ticari Ltd. Şti. ’nde çalıştı. 2015 yılında Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programına kayıt yaptırdı.