

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DAHA HAFİF VE DAYANIKLI YÜKSEKTE ÇALIŞMA
OTURAĞININ KOMPOZİT MALZEMEDEN TASARIMI,
ANALİZİ VE ÜRETİMİ**

BURHAN AYDIN

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DAHA HAFİF VE DAYANIKLI YÜKSEKTE ÇALIŞMA
OTURAĞININ KOMPOZİT MALZEMEDEN TASARIMI,
ANALİZİ VE ÜRETİMİ

BURHAN AYDIN

Doç. Dr. ONUR ÇOBAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof.Dr. TAMER SINMAZÇELİK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. ŞENOL YILMAZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi


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

Tezin Savunulduğu Tarih: 17.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kompozit malzemeler uzun ömürleri, yüksek korozyon direnci, hafiflikleri, elektrik yalıtım, yüksek kimyasal ve mekanik dayanımları gibi pek çok üstün özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler.

İş sağlığı ve güvenliği ekipmanlarının üretiminde kompozit malzemelerin kullanımının önünü açmayı ve kompozit imalatı bilgi birikimini firmamıza kazandırmayı amaçladığım bu tez çalışmada; yardımlarından dolayı danışman hocam Sn. Doç. Dr. Onur ÇOBAN'a teşekkür ederim.

Test ekipmanlarının kullanımı başta olmak üzere, çalışmamı maddi manevi destekleyen; 4,5 yıldır çalıştığım firmam Kaya Yapı A.Ş ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmada kullandığım prepreg elyafların tedarikinde destek olan KORDSA firmasından Sn. Barış BOZDAĞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Her alanda desteğini hissettiren ve yalnız bırakmayan sevgili eşim Betül AYDIN ve motivasyonu için minik oğlum Ozan AYDIN'a sevgilerimi sunarım.

Ocak – 2020

Burhan AYDIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
GİRİŞ	1
1. KOMPOZİT MALZEMELERLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	3
1.1. Kompozit Malzemelerin Genel Tanımı	3
1.1.1. Matrislerin görevleri.....	5
1.1.1.1. Termoset matrisler	7
1.1.1.2. Termoplastik matrisler	7
1.1.2. Fiber takviye elemanları.....	8
1.1.2.1. Cam elyaflar	8
1.1.2.2. Bor elyaflar.....	9
1.1.2.3. Silisyum karbür elyaflar	9
1.1.2.4. Alümina elyaflar.....	9
1.1.2.5. Aramid elyaflar	9
1.1.2.6. Karbon elyaflar.....	10
1.2. Kompozit Malzemelerin Günümüzde Kullanımı.....	10
1.3. Kompozit Malzemelerin Tercih Edilme Sebepleri	12
1.4. Kompozit İmalat Usulleri	14
1.4.1. El yatırma yöntemi.....	14
1.4.2. Püskürtme yöntemi	15
1.4.3. Elyaf sarma yöntemi	16
1.4.4. Profil çekme (Pultrüzyon) yöntemi.....	17
1.4.5. Reçine transfer yöntemi (RTM).....	18
1.4.6. Baskı kalıplama yöntemi.....	19
1.4.7. Enjeksiyon kalıplama	21
1.4.8. Vakum torbası / otoklav prosesi.....	21
1.4.9. Hazır kalıplama yöntemi.....	24
1.4.10. Tabakalı birleştirme (Prepreg metodu)	24
1.4.11. Kırleme sistemlerinin birbirleri ile karşılaştırılması	25
1.4.12. Çalışmada kullanılan üretim yöntemi	26
1.5. ASTM D7264 Üç Nokta Eğme Testi.....	27
1.6. Çalışmayı Şekillendiren Literatür Araştırmaları.....	28
2. TEZ ÇALIŞMA KONUSUNDA GENEL BİLGİLER	32
2.1. Yüksekte Çalışma ile İlgili Temel Bilgiler	32
2.2. İple Erişimde Kullanılan Kemer Oturağı Hakkında Genel Bilgiler.....	32
2.2.1. Askı travması sorunu ile ilgili genel bilgiler.....	34
2.2.2. Emniyet kemeri oturaklarının geçmişi.....	36
2.2.3. Geliştirilmesi planlanan emniyet kemeri oturağı	37

2.2.3.1. Mevcut durum değerlendirmesi	37
3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ VE ÖN ANALİZLER	39
3.1. Geometrik Tasarımın Geliştirilmesi	41
3.1.1. Sonlu elemanlar yöntemi ve analiz prosesleri	43
3.1.2. Modele ağ örme / mesh etmek	43
3.1.3. Malzeme tanımının yapılması	45
3.1.4. Yüklerin Tanımlanması.....	46
3.1.5. Sabit noktaların tanımlanması.....	46
3.1.6. Simülasyon testi sonuçları ve değerlendirilmesi.....	47
3.1.7. Kompozit malzeme sonlu elemanlar analizi simülasyonu	49
3.1.7.1. Kompozit analiz parametreleri.....	37
3.1.7.2. Karbon fiber prepeg – E-Glass fiber prepeg kumaşların karışımı malzemenin sonlu elemanlar analizi simülasyonu	56
3.1.7.3. Karbon fiber prepeg kompozit malzemenin sonlu elemanlar analizi simülasyonu	61
4. NUMUNE ÇALIŞMALARI.....	66
4.1. E-Glass Fiber Prepeg Numune Üretim AŞamaları	66
4.2. E-Glass Fiber Prepeg Numune Testleri	72
4.2.1. E-Glass fiber prepeg kompozitlerin 3 nokta eğme testi	74
4.2.2. Numunelerin eğilme dayanımının hesaplanması	72
4.2.3. Numunelerin yayılı yük altında test edilmesi	75
4.3. Karbon Fiber Prepeg ile çalışmanın Değerlendirilmesi.....	76
4.3.1. Karbon fiber prepeg kompozit numune üretim aşamaları	76
4.3.2. Yeni tip kalıp doğrulama alıŐması.....	79
4.4. Karbon Fiber Kompozit Prepeg Numune Testleri.....	82
4.4.1. Karbon fiber prepeg kompozitlerin 3 nokta eğme testi	82
4.4.2. Karbon fiber numunelerin yayılı yük altında test edilmesi.....	83
4.5. Karbon Fiber - E-Glass Fiber ile çalışmanın Değerlendirilmesi.....	83
4.6. Karbon Fiber Kompozit Prepeg Numune Testleri.....	85
4.6.1. Karbon fiber - E-Glass fiber numuneleri 3 nokta eğme testi	85
4.6.2. Numunelerin yayılı yük altında test edilmesi.....	86
4.7. Numune Ağırlıklarının Değerlendirilmesi	87
4.8. Numune Maliyetlerinin Değerlendirilmesi	87
4.8.1. E-Glass prepeg ile üretilen numune maliyetleri	87
4.8.2. Karbon fiber prepeg ile üretilen numune maliyetleri	88
4.8.3. Karbon fiber ve E-Glass fiber prepeg ile üretilen numune maliyetleri	89
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	90
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR	96
EKLER.....	100
KIŐSEL YAYIN VE ESERLER	107
ÖZGEÇMİŞ	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kompozit malzeme sınıflandırması	3
Şekil 1.2.	Kompozit malzeme fazları	3
Şekil 1.3.	Sürekli fiberler ve kısa fiberler.....	4
Şekil 1.4.	Matris malzemelerin çekme modülü ve çekme gerilmesi.....	7
Şekil 1.5.	Maliyet ve performansın ileri malzeme kullanan sanayilerdeki göreceli önemini gösteren grafik.....	12
Şekil 1.6.	El yatırması prosesi adımları.....	15
Şekil 1.7.	Püskürtme yöntemi.....	16
Şekil 1.8.	Elyaf sarım prosesi düzeneği.....	17
Şekil 1.9.	Profil çekme yöntemi düzeneği.....	18
Şekil 1.10.	RTM Yöntemi	19
Şekil 1.11.	SMC hazır kalıplama bileşeni ile baskı kalıplama.....	20
Şekil 1.12.	Enjeksiyon kalıplama basamakları.....	21
Şekil 1.13.	Vakum torbalama	22
Şekil 1.14.	Otoklav görseli	23
Şekil 1.15.	Vakum torbalama ile hazırlanmış, otoklava yerleştirilmiş kompozit ürünler	23
Şekil 1.16.	Prepreg çeşitleri.....	25
Şekil 1.17.	3 nokta eğme test düzeneği	28
Şekil 1.18.	Aramid aşınma dayanımı grafikleri.....	29
Şekil 1.19.	Karbon elyaf ve E-cam elyaf takviyeli kompozitlerin “eğilme gerilmesi, gerinim” grafiği;.....	30
Şekil 1.20.	E-Glass ve Karbon fiber takviyeli kompozitlerin reçine oranına göre kayma kuvvetleri grafiği	30
Şekil 2.1.	İlk çalışma oturakları 1931 Hoover-Dom Baraj İnşaatı	33
Şekil 2.2.	İlk çalışma oturakları 1930 Rushmore Dağı İnşaatı.....	33
Şekil 2.3.	Yüksekte çalışma uygulaması, gökdelen camı silmek	34
Şekil 2.4.	Rüzgâr jeneratöründe askında çalışan işçiler	35
Şekil 2.5.	Askı travması.....	35
Şekil 2.6.	Askı travması deneysel çalışmalar	36
Şekil 3.1.	Kaya Safety mevcut çalışma oturağı.....	39
Şekil 3.2.	Statik, yayılı yük ile test düzeneği	40
Şekil 3.3.	Statik, 3 nokta eğme test aparatı.....	41
Şekil 3.4.	Eski Tasarım.....	42
Şekil 3.5.	Yeni kabartma federli tasarım	42
Şekil 3.6.	İzometrik ve ön görünüşten ilk ve federli tasarımların kıyaslanması	42
Şekil 3.7.	Mesh haline getirilmiş tasarım	44
Şekil 3.8.	Daha sık örülerek mesh edilmiş model	44
Şekil 3.9.	Tasarım üzerine yükün ve doğrultusunun belirtilmesi.....	46
Şekil 3.10.	Parça sabitleme noktaları seçimi	46
Şekil 3.11.	Eski tasarım, maksimum gerilim analiz sonucu	47
Şekil 3.12.	Eski tasarım, maksimum deformasyon analiz sonucu	47

Şekil 3.13. Yeni tasarım, maksimum gerilim analiz sonucu	48
Şekil 3.14. Yeni tasarım, maksimum deformasyon analiz sonucu.....	48
Şekil 3.15. Kompozit analizinde parametre tanımlamaları	50
Şekil 3.16. Kompozit analiz modelin mesh edilmesi	51
Şekil 3.17. Modele uygulanan yük doğrultusu, sabit noktaları	51
Şekil 3.18. E-Glass prepreg 1. kat maksimum gerilme 310,0 MPa.....	52
Şekil 3.19. E-Glass prepreg 2.kat maksimum gerilme 275,1 MPa.....	52
Şekil 3.20. E-Glass prepreg 3.kat maksimum gerilme 246,1 MPa.....	52
Şekil 3.21. E-Glass prepreg 4.kat maksimum gerilme 217,5 MPa.....	53
Şekil 3.22. E-Glass prepreg 5.kat maksimum gerilme 188,7 MPa.....	53
Şekil 3.23. E-Glass prepreg 6.kat maksimum gerilme 212,7 MPa.....	53
Şekil 3.24. E-Glass prepreg 7.kat maksimum gerilme 240,8 MPa.....	54
Şekil 3.25. E-Glass prepreg 8.kat maksimum gerilme 217,4 MPa.....	54
Şekil 3.26. E-Glass prepreg 9.kat maksimum gerilme 368,4 MPa.....	54
Şekil 3.27. E-Glass prepreg analizi katlardaki gerilme miktarları grafiği.....	55
Şekil 3.28. E-Glass prepreg kompozitte oluşan maksimum yer değiştirme.....	55
Şekil 3.29. 1. kat karbon fiber prepreg maksimum gerilme 568,4 MPa.....	56
Şekil 3.30. 2.kat E-Glass prepreg maksimum gerilme 154,1 MPa.....	57
Şekil 3.31. 3.kat E-Glass prepreg maksimum gerilme 138,0 MPa.....	57
Şekil 3.32. 4.kat E-Glass prepreg maksimum gerilme 121,9 MPa.....	57
Şekil 3.33. 5.kat E-Glass prepreg maksimum gerilme 105,7 MPa.....	58
Şekil 3.34. 6.kat E-Glass prepreg maksimum gerilme 115,5 MPa.....	58
Şekil 3.35. 7.kat E-Glass prepreg maksimum gerilme 131,4 MPa.....	58
Şekil 3.36. 8.kat E-Glass prepreg maksimum gerilme 147,2 MPa.....	59
Şekil 3.37. 9.kat karbon fiber prepreg maksimum gerilme 584,5 MPa.....	59
Şekil 3.38. Karbon fiber - E-Glass fiber prepreg analizi katlardaki gerilme miktarları	60
Şekil 3.39. E-Glass fiber ve karbon fiber prepreg kompozitte oluşan maksimum sehım miktarı	60
Şekil 3.40. 1. kat karbon fiber prepreg maksimum gerilme 308,9 MPa.....	61
Şekil 3.41. 2.kat karbon prepreg maksimum gerilme 278,6 MPa	62
Şekil 3.42. 3.kat karbon prepreg maksimum gerilme 248,2 MPa	62
Şekil 3.43. 4.kat karbon prepreg maksimum gerilme 217,9 MPa	62
Şekil 3.44. 5.kat karbon prepreg maksimum gerilme 187,8 MPa	63
Şekil 3.45. 6.kat karbon prepreg maksimum gerilme 217,8 MPa	63
Şekil 3.46. 7.kat karbon prepreg maksimum gerilme 247,8 MPa	63
Şekil 3.47. 8.kat karbon prepreg maksimum gerilme 277,7 MPa	64
Şekil 3.48. 9.kat karbon fiber prepreg maksimum gerilme 345,4 MPa.....	64
Şekil 3.49. Karbon fiber prepreg analizi katlardaki gerilme miktarları grafiği.....	65
Şekil 3.50. Karbon fiber prepreg kompozitte oluşan sehım miktarı.....	65
Şekil 4.1. Kalıp temizliği.....	66
Şekil 4.2. Kalıp ayırıcı wax uygulaması.....	67
Şekil 4.3. Prepreglerin serilmesi.....	67
Şekil 4.4. Prepreglerin serilmesi.....	68
Şekil 4.5. Prepreglerin serilmesi.....	69
Şekil 4.6. Kalıbın fırına yerleştirilmesi	69
Şekil 4.7. Termokulbun kalıba montajı	70
Şekil 4.8. Kalıbın kapatılması	70
Şekil 4.9. Kalıp içi sıcaklık takibi	71

Şekil 4.10. Kalıbın açılması.....	71
Şekil 4.11. Parça etrafındaki reçine akıntıları	72
Şekil 4.12. 3 nokta eğme testi yük/zaman grafiği (kgf, t)	72
Şekil 4.13. 3 nokta eğme testi düzeneği ve testin gerçekleştirilmesi	73
Şekil 4.14. 2,67kN yayılı yük test düzeneği, test öncesi ve sonrası.....	76
Şekil 4.15. Dowaksa CF prepreg kesilmiş katlar ve kalıba serilmeleri	77
Şekil 4.16. Prepreg üzerindeki hava izlerinden oryantasyon yönü tayini.	78
Şekil 4.17. Dowaksa CF prepreg malzemelerle hazırlanan numunelerin penslerle sıkıştırılması ve fırına konması.....	78
Şekil 4.18. Yeni tip kalıp	79
Şekil 4.19. Kalıp ayırıcı wax uygulaması.....	79
Şekil 4.20. Kumaşların yeni tip kalıba serimi.	80
Şekil 4.21. Kumaşların yeni tip kalıba serimi	80
Şekil 4.22. Üst kalıbın kapatılması.....	80
Şekil 4.23. Tüm örneklerde aynı baskıyı sağlayacak şekilde penselerin ayarlarının aynı tutulması.	81
Şekil 4.24. Kalıplanması tamamlanmış yeni tip kalıp ile imalat.....	81
Şekil 4.25. Kurlenme sonrası reçine akıntıları.	81
Şekil 4.26. Karbon fiber-E-Glass fiber kesilmiş katların kalıba serimi	84
Şekil 4.27. Karbon fiber - E-Glass fiber kurlenmiş ve test edilmiş numune.....	85
Şekil 4.28. Numune ağırlık ölçümü (E-Glass fiber prepreg).....	87
Şekil A1. KORDSA standında sergilenen ürün	101
Şekil A2. KORDSA standında sergilenen ürün	101
Şekil B1. KORDSA OM11 epoksi tip reçine teknik kitapçığı.....	102
Şekil B2. KORDSA OM11 epoksi tip reçine pres altında kür çevrimi önerisi	103
Şekil B3. KORDSA OM11 epoksi tip reçine otoklav kür çevrimi önerisi	103
Şekil C1. Şişecam WR6 600g/m2 2400dtex E-Glass fiber kumaş teknik kitapçığı.....	104
Şekil D1. Karbon fiber UD 600gr/m2 Dowaksa A42 2400dtex %37 OM11 Epoksi reçine katkılı prepeg kumaş teknik kitapçığı.....	105
Şekil E1. Karbon fiber UD 600gr/m2 Dowaksa A42 2400dtex OM11 prepeg kumaş birim fiyatı	106
Şekil E2. KORDSA WR6 600g/m2 2400dtex E- E-Glass fiber OM11 prepreg kumaş birim fiyatı.....	106

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Matris, takviye elemanı ve kompozit yapı tipleri.....	5
Tablo 1.2. Prepreglerin özelliklerinin karşılaştırması	25
Tablo 1.3. Kurlama sistemlerinin birbirleri ile karşılaştırması.....	26
Tablo 1.4. Ü. Esendemir deney sonuçları.....	29
Tablo 1.5. Cam elyaf ve karbon fiber kompozitlerin eğilme dayanımları	30
Tablo 3.1. 2024-T351 Alüminyum mekanik ve fiziksel özellikler	45
Tablo 3.2. Katlardaki gerilme miktarları	56
Tablo 3.3. Karbon fiber-E-Glass fiber prepreg analiz laminasyon tablosu	57
Tablo 3.4. Karbon fiber-E-Glass fiber prepreg analizi katlardaki gerilmeler.....	59
Tablo 3.5. Karbon fiber prepreg analiz laminasyon tablosu.....	61
Tablo 3.6. Karbon fiber prepreg analizi katlardaki gerilim miktarları (MPa).....	64
Tablo 4.1. E-Glass fiber prepreg numune laminasyonu	68
Tablo 4.2. 3 nokta eğme testi test sonuçları E-Glass.....	73
Tablo 4.3. Yayılı yük altında sehim miktarı E-Glass fiber numuneler.....	76
Tablo 4.4. Karbon fiber prepreg laminasyon tablosu	77
Tablo 4.5. 3 nokta eğme testi test sonuçları E-Glass prepreg yeni tip kalıp	82
Tablo 4.6. 3 nokta eğme testi karbon fiber prepreg numuneler test sonuçları	82
Tablo 4.7. Yayılı yük altında sehim miktarı e-glass karbon fiber prepreg	83
Tablo 4.8. Karbon fiber – E-Glass fiber prepreg laminasyon tablosu.....	84
Tablo 4.9. 3 nokta eğme testi karbon fiber-E-Glass fiber prepreg numuneler test sonuçları.....	85
Tablo 4.10. Karbon fiber - E-Glass fiber prepreg numunelerinin yayılı yük altında sehim miktarı.....	86
Tablo 5.1. 2024-T351 Alüminyum, E-Glass fiber prepreg, karbon fiber prepreg ve karma prepreg numune kıyasları	91
Tablo 6.1 Mevcut ve geliştirilen ürün kıyaslamaları.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SiO ₂	: Silikon dioksit
SiC	: Silisyum karbür
B ₄ C	: Bor karbür
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
B ₄ C	: Bor karbür
σ_e	: Eğilme gerilmesi, (MPa)
M_e	: Eğilme momenti, (Nm)
I	: Nötr eksenine göre eylemsizlik momenti
P	: Uygulanan kuvvet, (N)
L	: Mesnet merkezleri arasındaki uzaklık, (m)
y	: Nötr eksenden uzaklık, (mm)
δ	: Şehim miktarı, (mm)
F_{max}	: Maksimum kuvvet, (N)
Z	: Kesit modülü, (m ³)
P_{max}	: Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet, (N)
B	: Numune genişliği, (mm)
t	: Numune kalınlığı, (mm)
E1	: Lif doğrultusundaki elastisite modülü, (Pa)
E2	: Lif doğrultusuna dik elastisite modülü, (Pa)
G12	: Kayma modülü
Po	: Poisson oranı
Xt	: Lif doğrultusundaki çekme dayanımı, (MPa)
Xc	: Lif doğrultusundaki basma dayanımı, (MPa)
Yc	: Lif doğrultusuna dik doğrultudaki basma dayanımı, (MPa)
Yt	: Lif doğrultusuna dik doğrultudaki çekme dayanımı, (MPa)
S	: Kayma dayanımı, (MPa)
\$: ABD Doları
€	: Avro
kgf	: Kilogram force
mm	: milimetre
N	: Newton
Nm	: Newton metre
kN	: Kilo Newton

Kısaltmalar

3D	: 3 dimensional (3 boyutlu)
ANSI	: Amerika ulusal standart enstitüsü
BMC	: Bulk moulding compound (sıcak pres kalıplama hamuru)
CE	: Conformity of Europe (Avrupa normlarına uygunluğu)
CF	: Carbon fiber (karbon fiber)
CFRE	: Carbon Fibre Reinforced Epoxy (Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi)
EN	: European norms (Avrupa normları)

FEA	: Finite element analysis (sonlu elemanlar analizi)
GF	: Glass fiber (cam elyaf)
GFRE	: Glass Fibre Reinforced Epoxy (Cam Elyaf Takviyeli Epoksi)
GPa	: Gigapaskal
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardlar Organizasyonu)
IACS	: International Annealed Copper Standard (Uluslararası Tavlı Bakır Standardı)
MPa	: Megapaskal
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NONA	: NONe-Autoclave (otoklav olmayan)
OOA	: Out-Of-Autoclave (otoklav dışı)
RTM	: Resin Transfer Molding (Reçine Transfer Yöntemi)
SMC	: Sheet Moulding Compound (Sıcak Pres Kalıplama Pestili)
SMC-C	: Sheet Moulding Compound Continuous (Devamlı Sıcak Pres Kalıplama Pestili)
SMC-R	: Sheet Moulding Compound Random (Rastgele Sıcak Pres Kalıplama Pestili)
TS	: Türk Standardları
UD	: Unidirectional (Eş Yönlü)
UIAA	: International Climbing And Mountaineering Federation (Uluslararası Tırmanış ve Dağcılık Federasyonu)

DAHA HAFİF VE DAYANIKLI YÜKSEKTE ÇALIŞMA OTURAĞININ KOMPOZİT MALZEMEDEN TASARIMI, ANALİZİ VE ÜRETİMİ

ÖZET

Yüksek yerlerde çalışan kişilerin, çalışma konforlarını arttırmak ve ip üzerinde yorulmalarını minimize etmek amacıyla, yüksekte çalışma oturakları kullanılmaktadır. Günümüzde çelik alaşımlarının yerini alüminyum alaşımlar, alüminyum alaşımların yerini de imalat proseslerinin uygunluğu çerçevesinde kompozit malzemeler almaktadır. Bu araştırma, mevcutta Alüminyum 2024- T351 ısıtılmış alaşımla imal edilen yüksekte çalışma oturağının, mekanik özelliklerinin korunarak kompozit malzemeden optimum şekilde imal edilmesini kapsamaktadır.

Araştırmanın çıktısı olan ürünün maliyetini azaltmak için tasarım ve üretim detayları üzerine inceleme yapılmıştır. Solidworks programı ile 3D katı model tasarım çalışması ve analizleri yapılarak üründe oluşan gerilmeler iyileştirilmiştir. Mevcut tasarımdaki gerilmeler en fazla 283,70 MPa iken; iyileştirilmiş tasarımda 209,80 MPa'a indirilmiştir. Maksimum yer değiştirme miktarı ise 11,2 mm'den 8,6 mm'ye indirilmiştir. Gerilmelerin tespiti için Solidworks Kompozit FEA Simülasyonu kullanılmıştır. Yapılan analizde katlardaki gerilmeler incelenmiş ve üst katlarda bası, alt katlarda çeki kuvvetlerinin etkili olduğu görülmüştür. Optimum mukavemeti yakalamak için daha çok direnç gerektiren üst ve alt katlarda karbon fiber prepreg, ara katlarda ise daha az mukavemet gerektiğinden E-Glass fiber prepreg kullanılması öngörülmüştür. 7 tane UD 0, 2 tane UD 90 yönünde toplamda 9 kat serim gerçekleştirildi. Mevcut alüminyum iskeletli ürünün sehimi 2 emniyet katsayılı yük olan 2,67 kN yayılı yük altında 13,8 mm iken yeni kompozit üründe sehim 11,7 mm olarak ölçülmüştür. Alüminyum ürünün ağırlığı 720 gr iken, imal edilen kompozit ürünün ağırlığı 450gr (%40 hafifletme) olarak ölçülmüştür. Kürlenmiş kompozit ürün Zwick statik test makinesinde ASTM D7264 standardına göre 3 nokta eğme testi gerçekleştirilmiş ve 608,4 MPa kopma mukavemeti değerine ulaşılmıştır. Aynı kat sayılarında, aynı dtex, aynı yoğunlukta yine KORDSA'dan tedarik edilen UD 600gr/m² Dowaksa A42 2400dtex filament; %37 OM11 model reçine emdirilmiş, fırında kürlenmeye uygun prepreg kumaşlar ile örnekler yapılmıştır. Karbon fiber prepreg örneklerde ağırlık aynı kalırken sehim 8,4mm'ye inmiştir. Mukavemet olarak %45 artış yakalanmıştır. Ancak maliyet ilk üründen %48 daha artmıştır.

Sonuç olarak yapılan analizler ve tasarım çerçevesinde, sert bir malzeme olan 2024T351 alüminyum plakadan imal edilen ürünün yine uygun maliyetli, daha hafif ve nitelikli olarak kompozit ürüne çevrilmesinin mümkün olduğu görülmüş oldu.

Anahtar Kelimeler: 2024-T351 Alüminyum, E-glass Cam Elyaf, Karbon Fiber, Kompozit Analiz, 3 Nokta Eğme Testi.

DESIGN, ANALYSIS, AND PRODUCTION OF THE LIGHTER AND MORE DURABLE WORKING AT HEIGHT SEATS; WHICH MADE BY COMPOSITE MATERIALS

ABSTRACT

Working at height seats are using for increasing the working comfort of who is working at high places and minimizing to be tired during on the rope. Nowadays, steel alloys are replaced by aluminum alloys and aluminum alloys are replaced by composite materials within the framework of the suitability of manufacturing processes. This study is about production of the working at height seat from composite material, which is currently manufactured with Aluminum 2024 - T351 heat treated alloy, while preserving its mechanical properties.

In order to reduce the cost of the product, which is the output of the research, a review was made on the design and production details. With the Solidworks program, 3D rigid model design studies and analyzes were carried out and the stresses on the product were improved. While the tensions in the current design are at most 283.70 MPa; reduced to 209.80 MPa in improved design. The maximum displacement has been reduced from 11.2 mm to 8.6 mm. Solidworks Composite FEA Simulation is used to detect stresses. In the analysis, the stresses on the floors were examined and it was observed that the compression forces on the upper floors and the pull forces on the lower floors were effective. It is envisaged to use carbon fiber prepreg on the upper and lower floors, which require more resistance to achieve optimum strength, and E-Glass fiber prepreg on the intermediate floors, since less strength is required. A total of 9 layers were laid in 7 UD 0 and 2 UD 90 directions. The deflection of the existing aluminum frame product was 13.8 mm under the 2.67 kN distributed load with 2 safety coefficients, while the deflection was measured as 11.7 mm in the new composite product. While the weight of the aluminum product is 720 gr, the weight of the composite product manufactured was 450gr (40% reduction). The cured composite product Zwick static test machine performed 3-point bending test in accordance with ASTM D7264 standard and reached the breaking strength value of 608.4 MPa. UD 600gr / m² Dowaksa A42 2400dtex filament, which is supplied from KORDSA with the same dtex, same dtex and same density; 37% OM11 model resin impregnated, samples were made with prepreg fabrics suitable for oven curing. While the weight remained the same in the carbon fiber prepreg samples, the deflection was reduced to 8.4mm. 45% increase was achieved in terms of strength. However, the cost increased 48% more than the first product.

As a result of the analysis and design, it was seen that it is possible to convert the product made of 2024T351 aluminum plate, which is a hard material, into a composite product, which is also cost-effective, lighter and more qualified.

Key Words: 2024-T351 Aluminum, E-glass Fiber, Carbon fiber, Composite, Composite Analysis, 3 Point Bending Test.

GİRİŞ

Yüksekte çalışma uygulamalarında, işçinin çalışma konforunu arttırıcı, askı travmasından koruyan oturaklar bulunmaktadır. Bu oturaklar bir kişisel kullanıcı donanım ekipmanı olmalarından dolayı kişiye özeldir ve kullanıcı sürekli üzerinde taşımaktadır. Mobilitesi nedeniyle hafif, ergonomik, mukavim ve korozyona karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Mevcut ürünlerin "ağır olması" ve kullanıcıyı yorması, günümüzde imal edilen ürünlerin bazı güvenlik risklerinin "tahta kırılması, çürüme, eğilme vb" bulunması, kompozit malzemeden üretilen yüksekte çalışma oturağı fikrinin oluşmasına neden olmuştur.

İlk çalışmalar tahta ve çelik oturaklar olarak yapılmışsa da günümüzde alüminyum iskelet kullanılan oturaklar geliştirilmiştir. Ancak yüksek mukavemetli özel alaşım alüminyum malzemelerin günden güne hammadde fiyatlarındaki artış ve imalat maliyetleri artışı nedeniyle fizibil olmaktan uzaklaşmıştır. Bunun yanında kullanıcının ürünü sürekli yanında taşınması gereksinimi, bir kişisel kullanım ekipmanı olması nedeniyle taşınması söz konusu olduğundan hafifletilmesi gereksinimi bulunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı alternatif olarak kompozit malzemelerle imal edilebilirliği değerlendirilmiştir.

Oturak kullanım şekli itibariyle üst kısımda bası, alt kısımda ise çeki kuvvetleri etkili olmaktadır. Kompozit malzeme seçimi yapılırken bu değerler göz önüne alınması gerekmiştir. Kompozit üretim yöntemleri araştırılmış, en uygun, az maliyetli, standart ürün alınabilecek olan prepreg reçine emdirilmiş kumaş kullanımı ön görülmüştür. Prepreg kumaşlar için tedarikçi araştırması yapılmış ve KORDSA ile iş birliği yapılması uygun görülmüştür. KORDSA'dan temin edilen prepreg kumaşlar ile karbon, E-Glass fiber, ayrı ayrı ve birlikte olmak üzere sıralamalar yapılmıştır. Bu ürünler fırında kürlenirilmiş ve test edilmiştir. Testler 3 nokta eğme testi yöntemi ve yayılı statik yük altında sehim ölçülmesi olarak gerçekleştirilmiş olup, kıyas yapılmıştır.

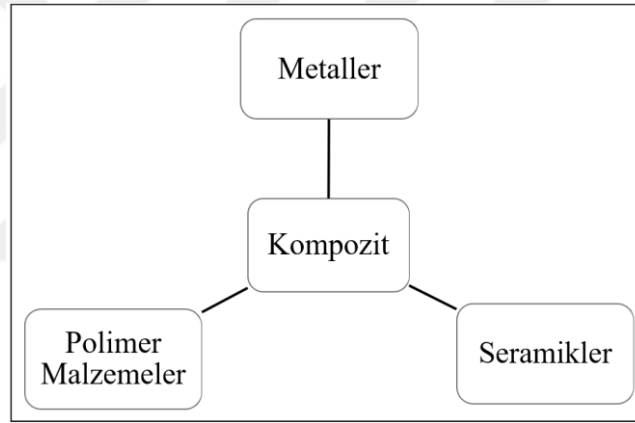
Yapılan denemeler sonucunda daha az maliyetli, daha hafif, daha ergonomik, daha rijit oturak iskeleti kompozit malzemeden üretilebildiği görülmüştür.

Bölüm 1’de, kompozit malzemelerle ilgili temel konular ele alınmıştır. Bölüm 2’de ise, yaygın olarak kullanılan yüksekte çalışma oturağının, neden kompozit malzemeden imal edildiği ve çalışmanın amacı belirtilmiştir. Bu sistemi imal edebilmek için hangi kompozit üretim yöntemi kullanılabileceği ve sonuçları teorik olarak verilmiştir. Bölüm 3’te prepreg kompozit malzeme ile yapılan ürünün FEA (finite element analysis) sonlu elemanlar analizi metodu ile simülasyon testleri yapılmıştır. Bu yapılırken teorik olarak bir simülasyon analizinin nasıl yapıldığı ile ilgili teorik bilgi verilmiştir. Bölüm 4’te simülasyon testi sonrasında gerçek numuneler farklı kompozit malzemelerden üretilmiştir. Üretilen numunelerin ağırlık ölçümleri yapılmış, yayılı yük altında sehimleri ölçülmüş ve 3 nokta eğme test düzeneği ile mukavemetleri kontrol edilmiştir. Bölüm 5’te ise, ürünün mali değerlendirmesinin yanısıra, sonuçlar ve öneriler hakkında bilgi verilmiştir.

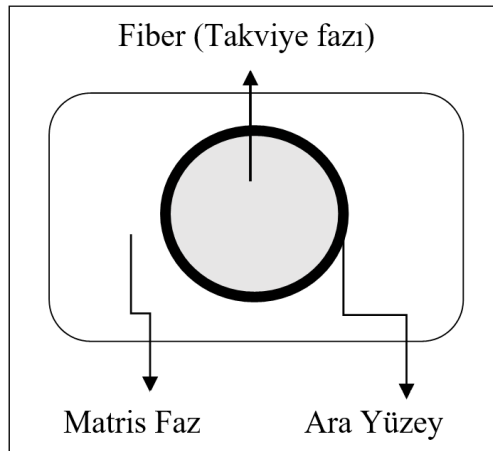
1. KOMPOZİT MALZEMELERLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

1.1. Kompozit Malzemelerin Genel Tanımı

Malzemeler genel anlamda polimer, metal ve seramik olarak üç ana temelde gruplandırılırlar. Bu farklı malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanan farklı üstünlükleri bulunmaktadır. Polimerler, metal ya da seramik malzemelerin tamamının ya da birkaçının üstün özelliklerinin aynı anda tek bir malzemede toplanması amacıyla yapılan birleştirme çalışmaları sonucu ortaya çıkan yeni malzemeye, kompozit malzemeler denmektedir [1].



Şekil 1.1. Kompozit malzeme sınıflandırması



Şekil 1.2. Kompozit malzeme fazları

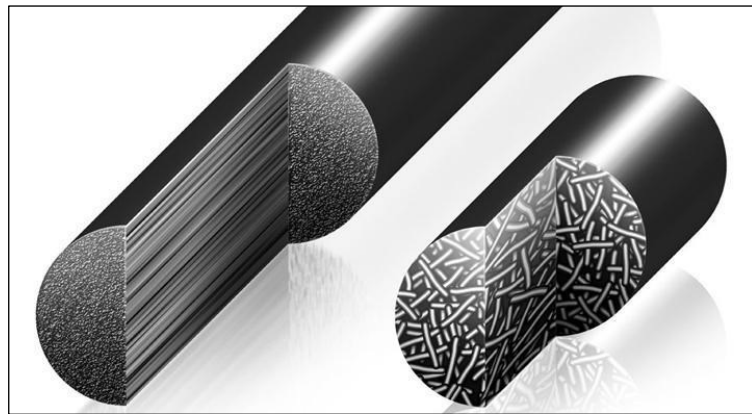
Metaller ve metal olmayanlar olarak ayırmak istersek; polimer malzemeler (plastikler), seramikler ve kompozit malzemeleri metal olmayan malzemeler olarak düşünebiliriz. Bir kompozit malzeme; aşağıdaki mekanik ve fiziksel özelliklerin iyileştirilmeleri gereği düşünülerek geliştirilir.

- Hafifleştirme çalışmaları,
- Gerilim dayanımı,
- Korozyon dayanımı,
- Termal özelliklerin iyileştirilmesi,
- Elektrik iletkenliği,
- Akustik özellikler,
- Estetik kaygı,
- Maliyet.

Kompozit malzemeler 2 ayrı bileşenden ortaya çıkmaktadır. Bunlar matris ve matris içinde dağılmış olarak bulunan fiber takviye elemanlarıdır [2].

Fiberler, kısa ya da uzun olarak farklı formda bulunabilirler. Kısa ya da kırılmış fiberler uzun fiberlerin kesilmesi ile elde edilirler. Fiberler kullanıldıkları uygulamaya uygun şekilde, eğer yapısal ise uzun fiber haliyle, ya da yapısal olmayan uygulamalarda kısa fiber haliyle kullanılırlar. Kısa fiberler sadece kalıplama uygulamalarında kullanılabilirler. Uzun fiberlerin kullanımında kalıp her zaman için gerekli değildir [3].

Tezin içeriğinde kullanılan prepreg kumaşlar, uzun devamlı fiberlerden imal edilmişlerdir.



Şekil 1.3. Sürekli fiberler ve kısa fiberler [4]

Malzemelerdeki mekanik ve fiziksel özellikler; rijitlik, sağlamlık, korozyon dayanımı, tokluk, sertlik, uv dayanımı, ısı iletim kabiliyeti, elektrik iletkenlik kabiliyeti, yorulma, düşük yoğunluk, ısı dayanımı gibi terimlerden oluşmaktadır. Bu özelliklerin hepsinin en iyi şartlarını aynı malzeme bulabilmek güç olacaktır. Ancak arzu edilen teknik özelliklerin en iyilerinin bulunduğu iki farklı malzeme yapısının teknolojik karışım, birleşim yöntemleriyle bir araya getirilerek; her iki arzu edilen teknik özelliğin geliştirilmiş olduğu, 3. yeni bir malzeme oluşturulması ile hedefe ulaşılabilir. 1950 yıllarıyla birlikte dünyada kompozit malzeme kullanımı başlamıştır ve günümüze kadar artarak devam etmiştir [5].

Günümüzde kullanılan kompozit malzemeler, matris, takviye elemanı ve yapı şekli itibariyle Tablo 1.1’de görülmektedir.

Tablo 1.1. Matriks, takviye elemanı ve kompozit yapı tipleri

Matris içeriği	Takviye elemanı tipleri	Kompozit yapı tipi
Polimerler	Lif	Tabaka
Metaller	Whiskers	Film / folyo
Seramikler	Granül	Honeycomb – “Balpeteği”
	Yonga	Filament sarılarak örülmüş yapı
	Pudra	Kaplama

1.1.1 Matrislerin görevleri

Kompozit malzemenin birleştiricisi olan matris malzemeler aşağıdaki görevleri yerine getirmektedir [6].

- Fiberlerin bağımsız olarak kompozit yapı içerisinde hareketini engeller ve fiber yapıları bir arada tutar.
- Kompozit yapıya gelen yükleri fiber takviye elemanlarına aktarmakla görevlidir.
- Kompozit malzemenin formunu oluşturur,
- Matris faz, fiberleri sararak çevresel etkilerden korur.

Tezde uygulanan prepreg içerisindeki matris yapının malzemesi polimerdir. Polimer matrisler termoset ve termoplastik olmak üzere iki farklı yapıdadır.

1.1.1.1. Termoset matrisler

Birbirlerine çarpaz bağlı olan molekül yapıları nedeniyle geri dönüşümleri mümkün olmamaktadır.

Bu nedenle sadece tek bir sefer için ısıyla şekillendirilebilirler. Isıya karşı termoplastik matrislere göre daha dayanımlıdır. Yüksek ısılarda yumuşamazlar. Termoset matrislerin, termoplastik matrislere göre daha mukavim olmaları, en fazla kullanılan matris malzemeleri olmalarının ana nedenidir. Epoksi, polyester, ninylester ve fenolik olmak üzere yaygın kullanılan 4 türü bulunmaktadır.

a) Epoksi reçine matrisler.

En yaygın kullanılan polimer matris malzemesidir. Bifenol A'nın Epiklorhid'in tepkimesiyle oluşmaktadır. Sertleştirici katalizör ile karıştırıldığında 70 ila 90 °C arasında bir süre sonra sertleşmesini tamamlar ve yüzeyi plastik görünüme gelir. Epoksi reçineler katı, sıvı ya da viskoz halde bulunabilirler. Hava koşullarından etkilenmezler ve raf ömürleri yaklaşık olarak oda sıcaklığında 2 yıldır [7].

Epoksi reçine matrislerin avantajları aşağıda belirtilmiştir;

- Polimer matrislerin arasında en yüksek mukavemete sahiptirler.
- Aşınma dirençleri yüksektir.
- Fiberler ile arayüz bağ kuvvetleri yüksektir.
- Çeşitli yüzey koşullarında iyi yapışma etkinlikleri bulunmaktadır.
- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilirler [8].

Epoksi reçine matrislerin dezavantajları aşağıda belirtilmiştir;

- Maliyet olarak polyester matrislerden daha yüksek maliyetlidir.
- Akıcılık olarak termoplastiklerden daha az akıcıdır.

b) Polyester reçine matrisler.

Glikol ya da dihidrik fenollerle dibazik asitlerin karıştırılması ve bu karışımın yoğunlaştırılması ile şekil almaktadır. Polyester bileşeninin doymuş asitle ya da glikolle modifikasyonu sonucu ana polyester tipleri oluşturulur [9].

Polyester matrislerin avantajları;

- Çok düşük viskozite sayesinde, fiberlerdeki nemi doğrudan dışarı atmakta başarılıdır. Bu da toplam kompozit mukavemetini ve korozyon dayanımını olumlu yönde etkileyen bir faktördür.
- Epoksi matrislere göre daha düşük maliyetlidir.
- Farklı uygulamalar için geliştirilebilen, kolay imalat yöntemlerine sahiptir.
- Çevresel dayanımı iyidir.

Polyester matrislerin dezavantajları aşağıda belirtilmiştir;

- Fiberlerle matris fazı arasındaki arayüz bağ kuvvetini, kürlenme sırasında çıkardığı ekzotermik tepkime nedeniyle zayıflatır.
- Sistem gevreklemeye eğilimlidir.
- Kimyasal dirençleri çok zayıftır [8].

c) Vinylester reçine matrisler.

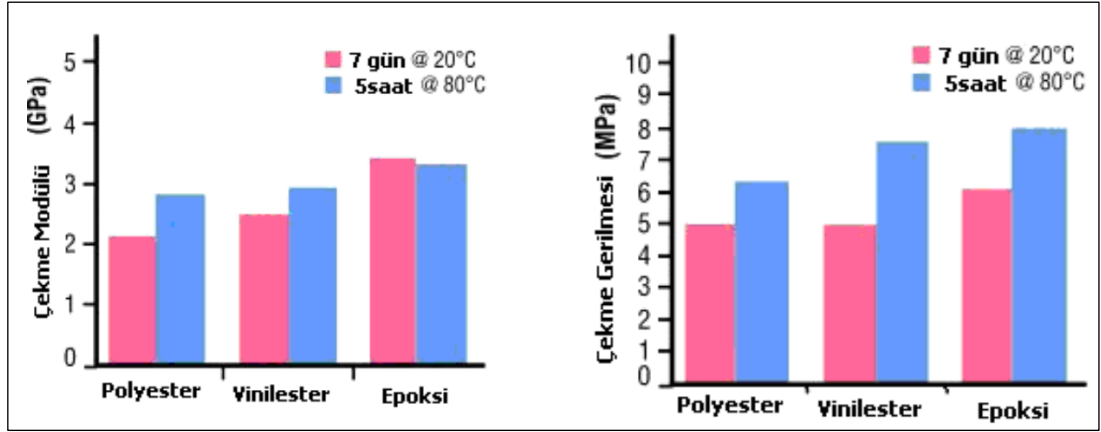
Genel anlamda polyester matrislere benzemektedir. Ancak polyester matrislerdeki zayıf arayüz bağ mukavemeti ciddi anlamda iyileştirilmiştir. Bu anlamda en önemli avantajı olarak öne çıkar. Doymamış hidrosilik bileşenlerinin, polyesterdeki glikonun belli bir oranının yerine kullanılması ile elde edilirler [10].

d) Fenolik reçine matrisler.

Fenol, alkalın şartlar altında formaldeitle yoğuştuğunda polimerizasyon oluşur. Polimerizasyon asidik şartlar altında yapılır. Fenolik reçinelerin dezavantajı mukavemet özellikleri ve diğer mekanik özellikleri diğer reçinelere oranla daha düşüktür. Avantaj olarak daha yüksek sıcaklıklara direnç gösterebilmektedir [10].

1.1.1.2. Termoplastik matrisler

Termoset plastik matrislerden kendini ayıran en önemli farkı, geri dönüşümlü bir yapısının olmasıdır. Isıtma, soğutma işlemleri ile ilk haline getirilebilir, yeniden işleme alınabilir. Bu ısıyla form değiştirme işlemlerinde sadece fiziksel özellikleri değişmektedir. Kimyasal özelliklerinde ve içeriklerinde herhangi bir değişiklik oluşmamaktadır. Termoplastik matrisler bu özelliklerini düz zincirli molekül polimer yapılarına borçludur. Isıtma ya da soğutma işlemleri sırasında atomlar kendi üzerlerinde kayarak yer değiştirirler [11].



Şekil 1.4. Matris malzemelerin çekme modülü ve çekme gerilmesi [11]

Tanımlarda bahsettiğim üzere epoksi reçinelerin mukavemet özellikleri; diğerlerine göre daha yüksektir.

1.1.2. Fiber takviye elemanları

Kompozit ürünlerde yükü asıl taşıyan, mukavemet oranının artmasını sağlayan, maksimum yük limitlerini belirleyen ana malzemedir. Lif, ya da elyaf olarak da isimlendirilirler. Günümüzde en çok kullanılan fiber takviye elemanları aşağıdaki gibidir [12].

1.1.2.1. Cam elyaflar

Silisyum oksit (SiO_2) ana temel malzemesidir. Buna ek olarak belli miktarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşmaktadır.

Cam elyaflar; hem termoplastik, hem termoset matrisli reçinelerle birlikte kullanılabilen en uygun takviye elemanıdır. Bu bilgiden yola çıkarak cam elyaf takviyeli kompozit ürün ile çalışma yapılma öngörüsü oluşmuştur [13].

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Cam elyafların dayanım/ağırlık oranları çeliklere göre yüksektir. Bu nedenle yüksek mukavemetli diyebiliriz.
- Isı dayanımları düşüktür. Kolay yanmamalarına rağmen, yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar.
- Kimyasal dirençleri yüksektir.

- Dielektrik özelliklerinden dolayı, yalıtkan yapıları itibariyle elektrik iletkenliğininönemli olduğu noktalarda kullanılabilirler.

1.1.2.2. Bor elyaflar

Genellikle tungsten çekirdeğinin ince bir flaman ile kaplanmasıyla elde edilirler. Bu kapsamdan bakıldığında kendi özünde bir kompozit malzeme olarak nitelendirilebilir. Yeni uygulamalarda karbon çekirdek de kullanılmaya başlanmıştır.

Isıl dayanımlarının artırılması için bor elyafların silisyum karbür (SiC) ya da bor karbür (B₄C) kaplamaları yapılmaktadır. 2040 °C erime sıcaklığı bulunmaktadır. [8].

1.1.2.3. Silisyum karbür elyaflar

Tungsten çekirdeğin silisyum karbür kaplanmasıyla oluşmaktadır. Buradan yola çıkarak yapı itibariyle bor elyaflarda benzetilmektedir. 0,1 - 0,14 mm çap aralığında imal edilirler. %30 mukavemetini kaybetmesi için sıcaklığın 1370 °C'lere kadar çıkarılması gerekmektedir. Benzer Üretim yönetmi ile imal edilen bor elyafların %30 mukavemet kaybı için 640 °C yeterlidir. Buradan yüksek sıcaklıklarda daha iyi şekilde mekanik özelliklerini koruduğunu belirtebiliriz.

1.1.2.4. Alümina elyaflar

Silisyum dioksitin alumina flamana sarılmasıyla imal edilirler. Diğer adıyla alüminyum oksittir (Al₂O₃). Basma kuvvetlerine karşı, alumina-epoksi kompozitlerin örnek2275 – 2413 MPa arası dayanım gösterebilirler. [6].

1.1.2.5. Aramid elyaflar

“Aromatik polyamid” aramid olarak adlandırılır. 6 adet karbon atomunun bir hidrojen atomuna bağlanmasıyla oluşan yapıdır. Basma dayanımlarının düşük olması nedeniyle tek başına değil, diğer basmaya karşı mukavim elyaflarla birlikte kullanılırlar. Cam elyaflar gibi elektriksel iletkenlikleri yoktur. Yanma dayanımları en iyi olan elyaf türüdür. Buradan yola çıkarak aleve karşı dayanım gerektiren, itfiye ekipmanları, yangın teçhizatları, ya da savunma sanayi uygulamalarında kullanılırlar [14].

1.1.2.6. Karbon elyaflar

Dayanım, ağırlık oranlarının çok yüksek olması, yüksek tokluk, yüksek yorulma dayanımı, yüksek sürtünme mukavemeti, yüksek aşınma dayanımı gibi özellikleri nedeniyle günümüzde en çok kullanılan elyaf tipidir. Savunma sanayii, havacılık sanayi, üst segment araba sanayiinde çokça kullanılmaktadır. Alüminyum, magenzyum gibi metal matrislerin yanısıra epoksi reçine matrisleri ile oldukça kullanılmaktadır [15].

Elyafı farklı dokuma türlerinde imal edilebilirler. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir. Elyafın tek yönlü olarak dokunduğu yapılara “UD” (Unidirectional) tek yönlü elyaflar denilmektedir. Birden fazla çeşitteki fiberlerin birlikte kullanılması gerektiği durumlarda 0° ve 90° yönlerinde örgü yapılması söz konusu olabilir. Farklı örgü şekilleri sonucunda mekanik ve fiziksel niteliklerde değişimler olmaktadır. En çok kullanılan örgü tipleri aşağıdaki gibidir;

- Düz Örgü (Plain): Yatay liflerin dikey liflerin altından ve üstünden geçerek yapılan örgü tipidir.
- Twill: Aynı düzende devam eden şekilde belli yatay liflerin, belli dikey liflerin altından ve üstünden geçerek yapılan örgü tipidir.
- Satin: Twill'e benzerlik gösterir. Modifiye edilmiş halidir.
- Basket: Plain tarz örgü tipine benzemekle birlikte iki ya da daha çok lifin birlikte örgülenmesiyle oluşmaktadır.
- Leno: Plain tarz örgü tipine benzemekle birlikte düzey lfi sabitlemek amacıyla farklı ardışık yatay lifler düşey lif etrafına dolandırılır ve spiral bir yapı sağlanır.
- Mock Leno: Plainle birlikte arada bazı yatay lifler düzenli aralıklarla birden fazla düşey lifle alttan ve üstten geçerek örülürler.

1.2. Kompozit Malzemelerin Günümüzde Kullanımı

Kompozit malzemeler, farklı geometrilerdeki yapıları daha az parça kullanarak, hatta monokok üretilmesine olanak sağlamakla beraber, mukavemet başta olmak üzere tüm üstün mekanik ve fiziksel özellikleri doğrultusunda daha az parça kullanılması, işletmeler için kontrol edilmesi gereken yedek parçaların azaltılması, yüksek ömürlü ürünlerin imal edilmesi, gibi birçok avantajı birlikte getirmektedir. İşletme bakım maliyetlerinin azaltılmasından, görünmeyen giderlerin azaltılmasına kadar avantajlar

sunmaktadır. Bu nedenle günümüzde uçak imalat firmaları hem parça çeşitliliğini azaltmak hem de maliyetleri azaltmak adına kompozit malzemeleri çokça tercih etmektedirler. Yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direncine sahip titanyum metali, ne kadar yüksek mekanik özelliklere sahip olsada benzer yapıda kullanılabilen kompozit bir malzemeye göre daha pahalı kalmaktadır [16].

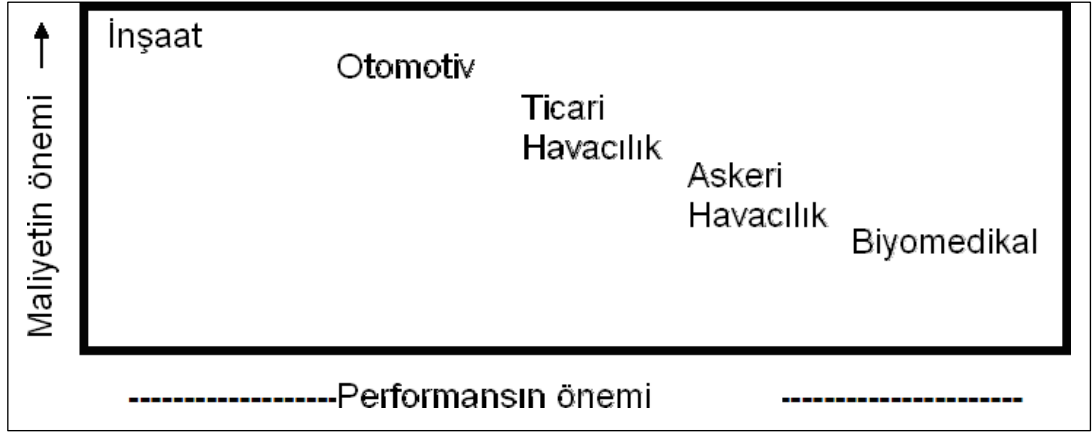
Kompozit malzemelerin üretim maliyetlerinin daha da düşürülmesi için yeni üretim teknikleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Otoklav gibi kompozit malzemelerin imalatında kullanılan hayati ekipmanların pahalı olması, kompozitin daha yavaş yaygınlaşmasına neden olan konulardan biridir. Bu nedenle üretim maliyetlerinin azaltılması için çalışmalar devam etmektedir. Artık günümüzde otoklav olmayan “NONE-Autoclave (NONA)” ve otoklav dışı “Out-Of-Autoclave (OOA)” yani otoklav gerektirmeyen üretim yöntemleri geliştirilmektedir [17].

Dayanım / ağırlık oranı, yorulma direnci ve korozyon dayanımının yüksek olması nedeniyle; kompozit malzemeler günümüzde profesyonel spor ekipmanlarının en avantajlı malzemesidir. Kompozit malzemeler ile yeterli dayanımı, en hafif formunda sağlayabilecek şekilde sportif ürünler imal edilmektedir. Bu profesyonel spor ürünlerinden bazıları aşağıdaki gibidir;

- Tenis raketleri,
- Kayak ve snowboard ekipmanları,
- Kişisel koruyucular. (Kask, dizlik, bileklik vb.),
- Bisiklet gidon, iskelet ve aksesuarları,
- Geleneksel ve modern sportif yaylar,
- Hokey sopaları.

Sektörden sektöre üründen beklenen performans ve kompozit imalat maliyetine verilen önem değişiklik göstermektedir. Şekil 1.5’de sektörlerin maliyet/performans değer kriterini göstermektedir [18].

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration [NASA]) kompozit malzeme imalat maliyetinin yüksek olmasına rağmen, daha az işçilik saati gerektirmesinden dolayı toplam maliyetin daha düşük olduğunu belirtmiştir.



Şekil 1.5. Maliyet ve performansın ileri malzeme kullanan sanayilerdeki göreceli önemini gösteren grafik [18]

1.3. Kompozit Malzemelerin Tercih Edilme Sebepleri

Kompozit malzemeler, metal ürünlere kıyasla ciddi oranda ağırlık tasarrufu sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin yoğunluğunun metallerin 4'e 1'i olması buna karşın yüksek mukavemetlere erişebilmeleri ve yorulma dayanımlarının yüksek olmaları nedeniyle metallere kıyasla daha çok tercih edilme sebepleridir. Buna ek olarak aşağıdaki başlıkları ek tercih nedenleri olarak sıralayabiliriz [11].

- Mukavemet: Dayanım / ağırlık oranları en yüksek olan yapılar kompozitlerdir. Yorulma ve ömür katsayıları metallere oranla daha yüksektir. Karmaşık geometrideki şekiller ve bazı bölgelerin ayrıca desteklenmesi gerektiğinde, metallere göre daha homojen yapıda takviyeler oluşturulabilir. Bunu kalıplama özelliklerine borçludur.
- Hafiflik: Kompozitler dayanım/ağırlık oranının yüksek olması nedeniyle hem takviyesiz plastiklere hem de metallere göre, aynı dayanımlı daha hafif yapılar, ürünler sunabilmektedir.
- Tasarım esnekliği: Kompozitler bir tasarımcının aklına gelebilecek her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, estetik, dekoratif ya da fonksiyonel amaçlı olarak tasarlanabilir. Farklı mekanik özelliklerin iyileştirilmesine yönelik şekilde tasarlanabilirler.
- Boyutsal stabilite: Çeşitli mekanik, çevresel baskılar altında termoset kompozit ürünler şekillerini ve işlevselliklerini korumaktadırlar.

- Elektriksel iletkenlik: İhtiyaca göre uygun malzeme kullanılmasıyla birlikte en iyi yalıtkan ya da en iyi iletken olarak kompozit malzemeler geliştirilebilir ve kullanılabilir.
- Kolay Şekillendirilebilirlik: Metallere oranla; onlarca parçanın birleşiminde imal edilebilecek olan bir yapı, tek başına kalıplanarak tek seferde kompozit olarak imal edilebilir.
- Kalıcı renk uygulamaları: Matris fazına eklenebilecek farklı renk pigmentleri ile renklendirilebilirler.
- Şeffaflık özelliği: Sera ya da güneş panelleri imalatında ışık geçirgenlik özellikleri sayesinde kullanılabilirler. Şeffaflık özelliği matris fazıyla direkt ilişkilidir.
- Beton yüzeylere uygulama imkanı: Matris fazının akışkanlık oranı ve beton yüzeyinin gözenekliliği yapışmada ciddi avantaj sağlayan önemli iki etmendir. Gözenekli yapıya dolan reçine yüzeyde katılır ve daha çok alanda yapışma yüzeyi sağlanacağından mükemmel tutunma sağlanır.
- Demir yüzeylere uygulama imkanı: Özellikle inşaat uygulamalarında deprem dayanımını arttırmak için kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Mukavemet yanında reçine ile kaplanan demir yüzeyi, oksijenden uzaklaştığı için korozyon dayanımında da ciddi bir artış sağlayacaktır.
- Yanmazlık özelliği: Kompozitlerin alev dayanımı, kullanılan polyeşterin özelliğine bağlıdır. Alev dayanım özelliğinin arandığı yerlerde “Alev dayanımlı” polyeşter kullanılmalıdır.
- Kompozitler sıcaklıktan etkilenmez: Kompozit ürünler, termoset plastikler grubundan polyeşter reçineyle yapıldığı için yumuşamaz ve şekil değiştirmez. Isı dayanıklılığı kullanılan polyeşter reçinenin cinsine bağlıdır. Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımını artırılabilir.
- Kompozitler içine farklı malzemeler gömülebilir: Kompozitler içine demir, ahşap, halat, tel, mukavva, poliüretan sert köpük gibi malzemeler gömülerek mekanik özellikleri farklılaştırılabilir.
- Tamir edilebilirlik özelliği: Tamir izlerinin görünmemesi için, onarım işleminin bir kalıp üzerinde yapılması, ya da onarımdan sonra zıMPara veya boya yapılması gerekir.

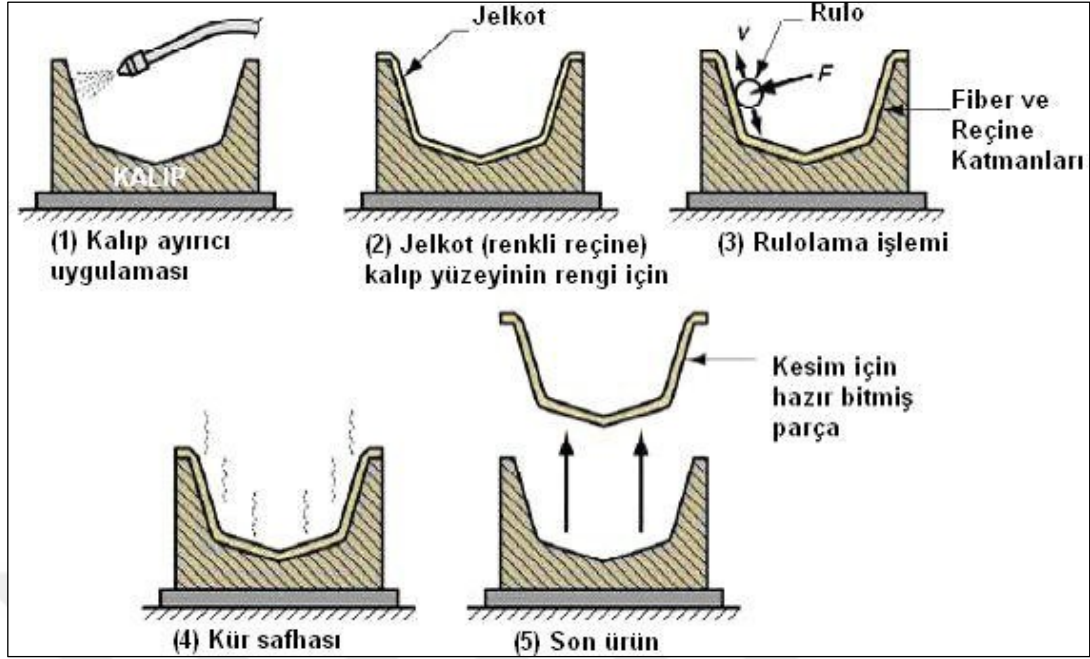
- Kompozitler kesilip delinebilir: Kompozitler, tahta gibi kolayca kesilir, delinir, zıMParalanır. Bu amaçla kullanılan aletlerin sert çelik veya elmas uçlu olması halinde daha iyi sonuç alınmaktadır.
- Kalite/ İyi bir görünüm vermeleri tercih edilmelerinde etkindir.
- Kolay imali ve yüksek üretim miktarları: Yatırım maliyetlerinin düşük olması, montaj işçiliğinin düşmesi ve birim zamandaki üretim miktarlarının çok yüksek olması (düşük maliyet) tercih edilmelerinde büyük etkindir.
- Titreşimleri absorbe edebilme özelliği: Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.
- Yüksek Kimyasal Direnç: Kompozitler birçok kimyasal maddelere, asitler, alkaliler, çözücülere karşı son derece dirençlidir.
- Hava koşullarına karşı dayanıklı olması: Yüksek mukavemet ve korozyona dayanıklılık, titreşim absorbe edebilme özellikleri göz önüne alınırsa kompozitlerin hava koşullarına da oldukça dayanıklı yapılar oldukları aşikardır [11].

1.4 Kompozit İmalat Usulleri

1.4.1. El yatırma yöntemi

Seri imalat işleri dışında az sayıda ürün imal edilmesi gerektiği durumlarda tercih edilen, genellikle standart sürekli aynı kalitede ürün üretebilmenin mümkün olmadığı el işçiliğinin bulunduğu en temel kompozit üretim yöntemidir. Uygulamanın doğası gereği kalıp iç yüzeyi pürüzsüz temiz çıkarken dış yüzey ise elyaf lifleri ve reçine donmaları kaynaklı düzgün olmayan pürüzlü bir yapıda olmaktadır. Tek tarafının pürüzsüz olması istenen parçalar için uygun bir yöntem olabilir [11].

Proses aşamalarının ilki olarak kalıp yüzeyi iyice temizlenir ve jelkot uygulaması yapılır. Jelkot sonrasında fiberler kalıp içerisine serilmeye başlanır. Fiberler arzu edilen kalınlığa kadar serime sevim edilir. Fiberler üzerine reçine fırça ya da rulo ile yedirilerek homojen dağıtım sağlanmaya çalışılır. Reçine ile ıslanmamış fiber kalmamasına özen gösterilir ve reçine katılanşıncaya kadar rulo ile uygulama yapılır.



Şekil 1.6. El yatırması prosesi adımları [19]

Bu prosede fiberler ve üzerine uygulanan reçine arasında hava kabarcıkları kalabilir. Bu hava kabarcıkları fiber katlar arasında yapışma sağlanmasına ve sonuç olarak delaminasyon yani katlar arası ayrılmaya neden olacaktır. Bu nedenle rulolama işlemi bu prosede önem arz etmektedir.

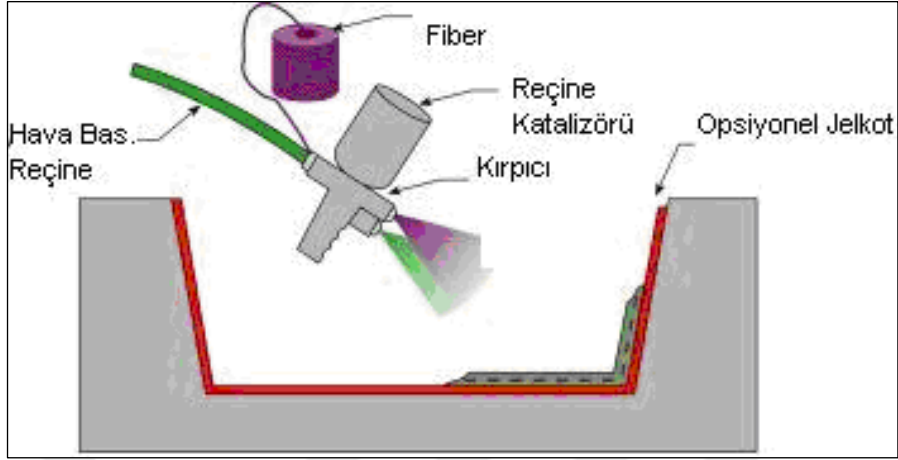
El yatırması yöntemi ile farklı fiber türlerinden farklı kalınlarda farklı oryantasyonlarda kompozit imalatı yapılabilir.

Eğer kompozit yapının mekanik özellikleri değiştirilmek istenirse reçineye ek katkılar, partikül olarak eklenebilir. Kurlenme ısı desteği ile sağlanabileceği gibi oda sıcaklığında da gerçekleştirilebilir. Tüm bu parametreler reçinenin teknik yapısı ile ilişkilidir [11].

1.4.2. Püskürtme yöntemi

Pnömatik bir havalı boya tabancası, ucunda bobine sarılmış elyafların kesilerek kısa fiber olarak kalıba püskürten, fiber ile birlikte reçineyi aynı anda belli bir oranda kalıba püskürterek serimi yapılan, el yatırmasına göre daha az işçilik gerektiren kompozit imalat yöntemidir. İşlem sonunda elde edilecek kompozit yapının özelliklerinin iyileştirilmesi için farklı katkı maddeleri reçine içerisine eklenerek sağlanabilir.

Proses olarak, kalıp yüzeyi temizlenir ve jelkot uygulaması yapılır. Daha sonra püskürtme tabancası ile kalıba serim yapılır [11].

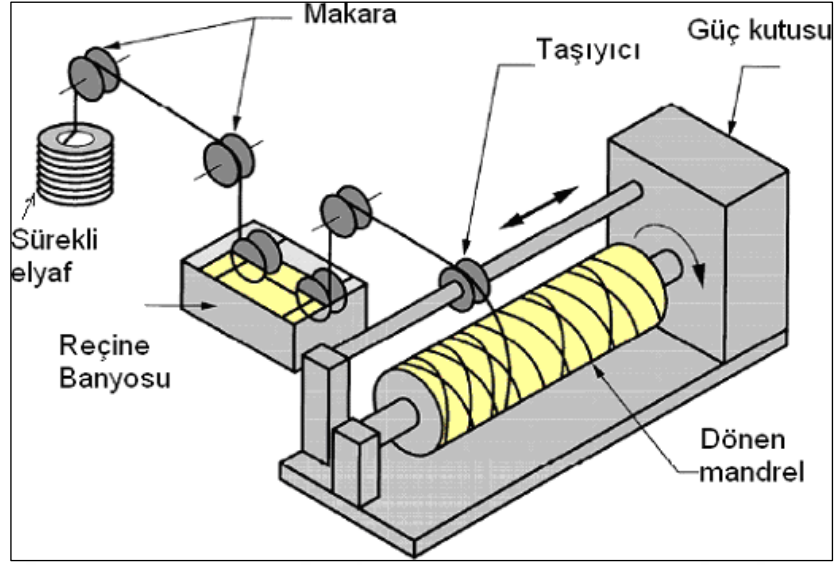


Şekil 1.7. Püskürtme yöntemi [11]

Çalışma prensiplerine göre de havasız ve hava püskürtmeli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Hava kullanılmayan sprej tabancaları daha yaygın hale gelmektedir. Çünkü, bunlar daha kontrollü bir püskürtme ve daha az uçucu parçacık yayılımı sağlarlar. Hidrolik basınçla özel nozullardan verilen reçine takviye malzemesini doygunluk noktasına getirecek şekilde damlacıklar halinde püskürtülür. Püskürtme yöntemi el yatırması yönteminden maliyet açısından daha avantajlı kılmaktadır [11].

1.4.3. Elyaf sarma yöntemi

Önceden veya sarım sırasında reçine emdirilmiş sürekli liflerin dönen bir kalıp yüzeyine veya makine kontrollü geometrik yapıya sahip mandreller üzerine tasarımla belirlenmiş sarım geometrisine uygun sarılması yöntemidir. Boru çapları, mandrel hızı, basınç oranı, bant genişliği, lif açısı vs. gibi birçok değişken ile arzu edilen sarım yapılmaya çalışılır. Bu yöntem üstün kalitede yüzeye sahip ürün eldesinde devrim niteliği taşımaktadır. Mandrel sabit bir hızla dönerken lif dağıtım ünitesi ileri-geri hareketi yaparak istenen açıda sarım gerçekleştirilir [20].



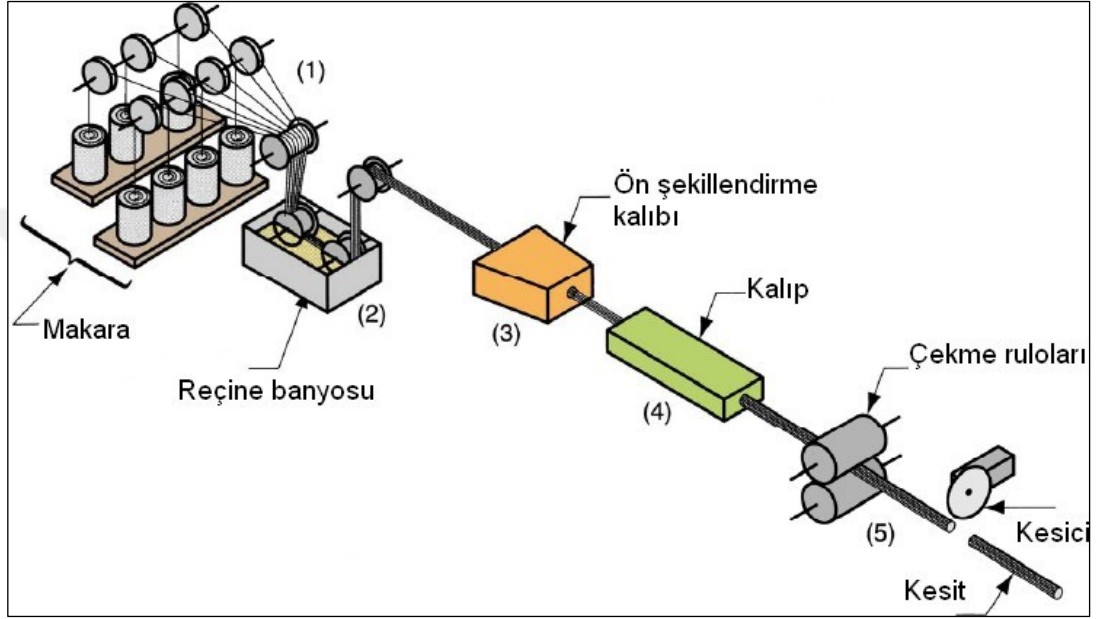
Şekil 1.8. Elyaf sarım prosesi düzeneği [20]

Masura formunda yerleştirilen lifler, taşıma ünitesinde bulunan reçine banyosundan, daha sonra da dağıtım gözünden geçirilerek mandrele sarılır. İstenen lif açısı dağılımı sağlandıktan sonra, kompozit tabaka ile mandrel bir kür bölgesine taşınır. Oda sıcaklığı veya daha yüksek sıcaklıklarda kür edilir. Çok kalın tabakalar için sarımın bölümler halinde yapılması ve ara sarım bölgelerinde kür işlemine izin verilmesibönemlidir. İyi bir ıslaklık sağlanması için lif içinde hava kabarcıklarının kalmamasına özen gösterilmelidir. İyi bir emdirme içinse şeritler sabit bir gerilimde tutulur, rehber raylarından geçirilir ve reçine banyosundan sonra sıyırıcı bıçak kullanılır. Sıyırıcı bıçaklar, aşırı reçineyi sıyırarak düzgün reçine katmanı oluşturur. Burada şeritlerin gerilimi çok büyük önem taşımaktadır. Eğer şeritlerin gerilimi çok büyük olursa tabaka tam olarak sıkı paketlenemez ve şeritler üzerinde aşırı reçine bölgeleri oluşur. Gerilimin çok yüksek olması da liflerde kopmalara neden olabilmekte ve iç bölgelerde reçinesiz kısımların kalmasına neden olmaktadır.

1.4.4. Profil çekme (Pultrüzyon) yöntemi

Fraklı tip ve formlardaki profillerin üretiminde kullanılan yöntemdir. Proses otomasyon olduğundan dolayı iş gücü çok azdır. Bu prosesde kullanılan kalıba göre profil formu belirlenmektedir. Nihai ürünlerin boyuna çekme mukavemetleri çok yüksektir. Diğer eksende mukavemetinde artırılması kumaş örgü tipiyle arttırılmaktadır.

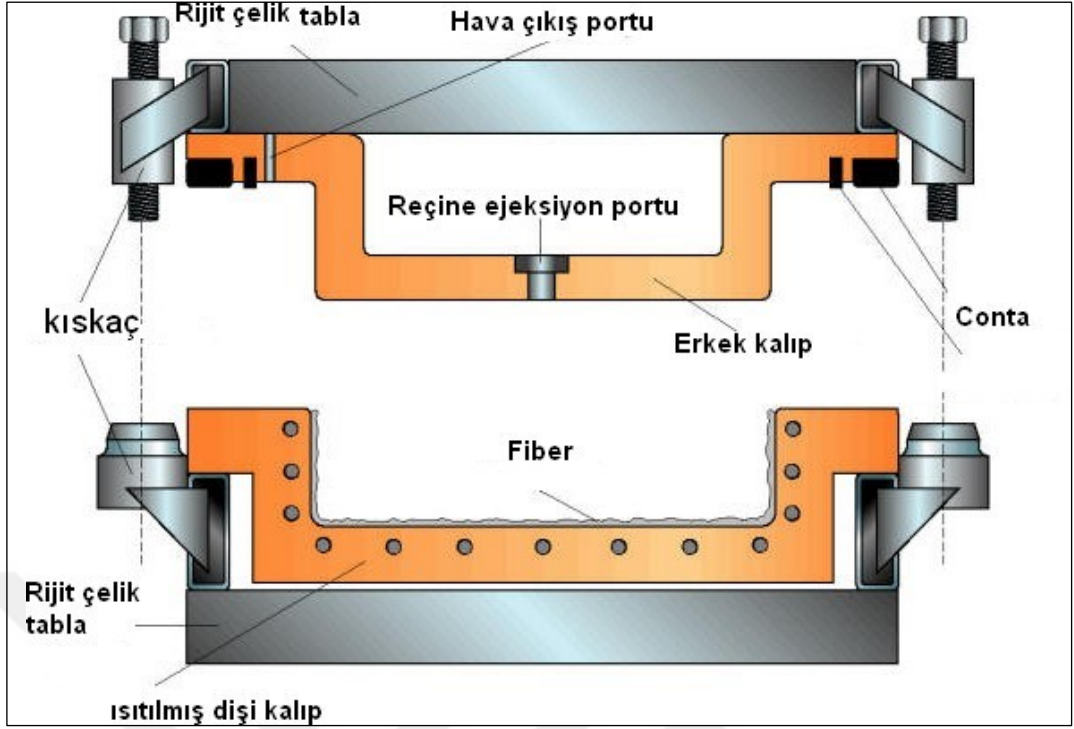
“Profil çekme” genelde eş yönlü lifler içeren parçaların üretiminde kullanılır. E-cam, S-cam, karbon ve aramid lifleri takviye elemanı olarak kullanılır. En çok kullanılan takviye tipi E-cam fitiller olmakla birlikte, tek uçlu veya çok uçlu fitiller ve karbon elyafı, bükümlü fitiller, sürekli keçeler, cam ve karbon elyafından tüller, örgü kumaşlar, dikişli veya dokunmuş ürünler veya bunların kombinasyonlarından bir veya birkaçı çift yönlü ve çok yönlü dayanım özelliklerini sağlama için tercih edilir [11].



Şekil 1.9. Profil çekme yöntemi düzeneği [11]

1.4.5. Reçine transfer yöntemi (RTM)

Bu yöntemde erkek ve dişi olmak üzere kalıp 2 katmanlıdır. Dişi kalıp üzerine kalıp ebatlarına uygun şekilde önceden kesilen fiberler serilir. Daha sonrasında erkek kalıp dişi kalıbın üzerine kapatılır. Sızdırmazlık olan kalıp yapısından basınç uygulanarak reçine fiberlere iletilir. Ürünün rengi için pigmentler ya da katkı malzemeleri reçine ile karıştırılarak reçine vasıtasıyla iletilir. Reçine kalıba pompa ile basıçlı olarak gider. Kalıbın geometrisine ve reçinenin kalıba homojen dağıtılması gözetilerek reçine birden çok noktadan iletilebilir. Sürekli liflerin kullanıldığı RTM ile net ölçülerde parçaların çıkması mümkün olabilmektedir [11].



Şekil 1.10. RTM yöntemi [11]

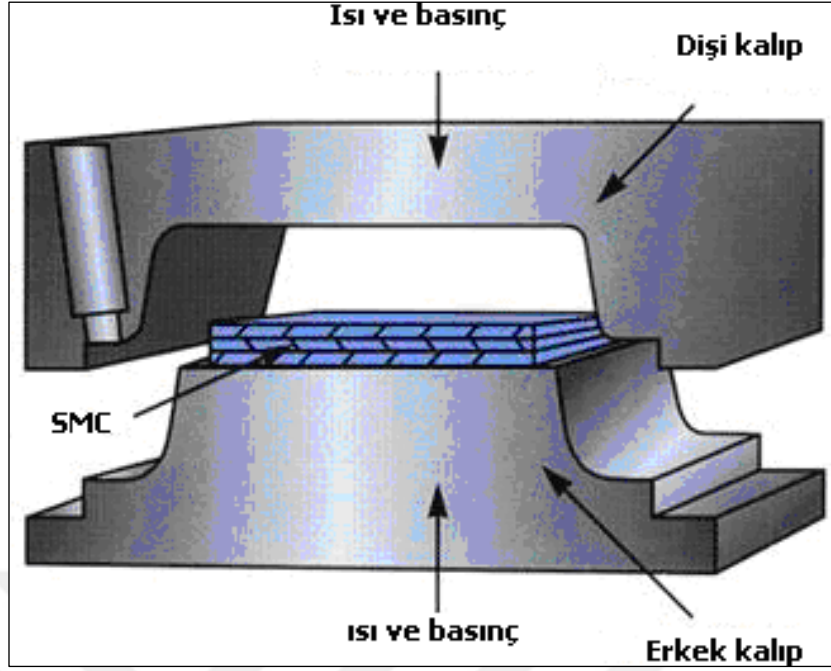
1.4.6. Baskı kalıplama yöntemi

Yüksek üretim kapasitesi gerektiren yerlerde çok yaygındır. Dört adet temel baskı kalıplama yöntemi vardır;

1. SMC hazır kalıplama bileşeni (tabaka kalıp bileşeni)
2. BMC hazır kalıplama bileşeni (hacimli kalıp bileşeni)
3. Islak sistemli preform ve keçeleri presleme
4. Takviyeli termoplastik levha presleme [11].

Bu yöntemde dişi-erkekli kalıp kullanılır. Önceden hazırlanmış olan baskı kalıplama maddeleri ısıtılmış kalıp arasına yerleştirilir ve belirli bir basınçta kalıp kapatılarak dolgu malzemesine istenilen şekil verilmiş olur.

Prosesin en önemli avantajı, delik, flanş ve doğrusal olmayan kalınlıkları üretebilmesi ve ikincil bir işleme gerek kalmamasıdır. Kaliteli yüzeyler için lif oranı %30 'la sınırlıdır. Bu yüzden bu oran göz önünde bulundurularak mekanik özellikler optimize edilmelidir. Kalıp hareketiyle malzeme kalıp boşluğuna yayılır ve bu esnada da malzemenin içine sıkışan havanın dışarı çıkmasını sağlar.



Şekil 1.11. SMC hazır kalıplama bileşeni ile baskı kalıplama [11]

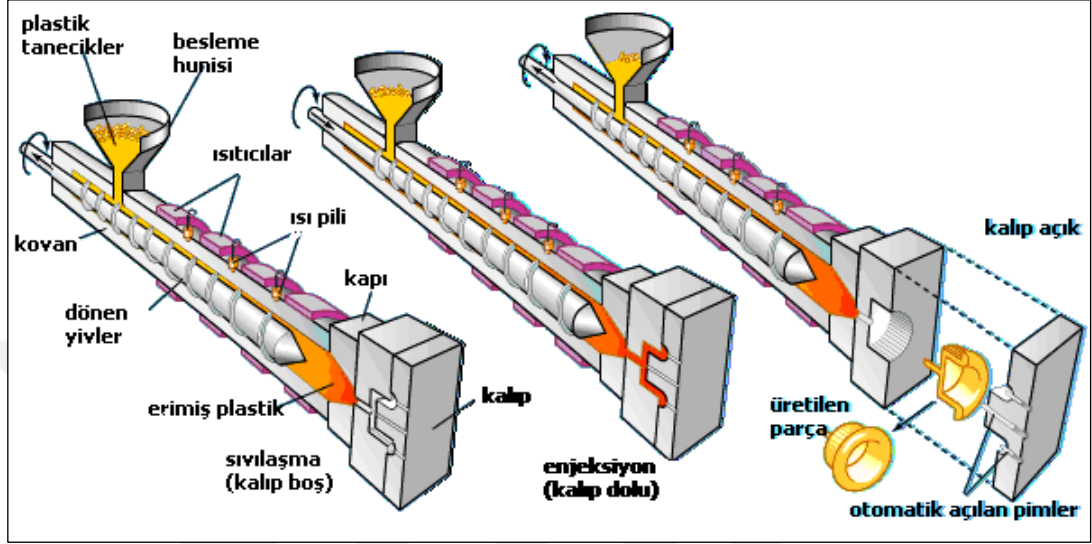
Bu yöntemde üretilen parçalar RTM ve Enjeksiyon kalıplamayla üretilen parçalardan daha incedirler. İnce olmasıyla parça yüzeyinde sıcaklık dağılımı homojen olmaktadır. Bu homojenlik sayesinde uniform kürlenme sağlanmakta ve parçada oluşabilecek ek gerilmeler önlenmektedir [11].

SMC takviye malzemeleri, reçine, dolgu malzemeleri, kimyasal kalınlaştırıcılar, katalizörler, kalıp ayırıcılar ve raf ömrünün uzamasını sağlayan diğer katkıların birleştirildiği, tamamen bütünleştirilmiş kalıplama bileşendir. Levha halindeki çeliğin kompozit karşılığı da denebilir. Sıvı ve toz haldeki tüm SMC girdilerinin mikserde karıştırılarak elde edilen macun üzerine kırılan elyaf üstten ve alttan gelen taşıyıcı filmler tarafından kapatılarak sandviç yapıdaki bileşim oluşur. Bu yapı konveyör bantta ilerleyerek rulolarda sıkıştırılır ve reçinenin uçuculuğunu önlemek için naylon ambalajlarla paketlenerek, sıcaklık kontrollü bir ortamda saklanır. SMC-R: Rastgele elyaf dağılımı vardır. Üründe özellikler her yönde homojendir. SMC-C: Tek yönlü devamlı elyaftan üretilmiştir.

BMC ise reçine, katalizör, toz haldeki dolgu maddesi, kırılmış fitil, pigment kaydırıcı, performans arttırıcılar harmanlanarak hamur şeklinde kalıplama bileşimini oluştururlar. Bu yapı; yüksek ısı dayanımı, elektriksel özellikler, mukavemet ve rijitlik özellikleri ile tanımlanabilir [11].

1.4.7. Enjeksiyon kalıplama

Bu yöntemle termoset ve termoplastik matrisler kullanılabilir. Termoset ya da termoplastik granüllerin ısı altında yumuşaması ile kalıba enjekte edilme işlemidir.



Şekil 1.12. Enjeksiyon kalıplama basamakları [11]

Besleme hunisine bırakılan granüller, dönen yivin sayesinde vida haznesine alınır ve kalıba doğru kademe kademe ısıtılarak ilerler. Besleme hunisine konan granül yapısına eklenecek renk pigmentleri ya da katkıları ile içerik istenilen özelliklerde zenginleştirilebilir.

Eriyen granüller reçineyi oluşturmaktadır ve sıcaklık, basınç altında kalıba ittirilir. Kalıp yüzeyinde basınç altında soğutulur kürlenmesi sağlanır. Soğuyan parça kalıp açılarak çıkartılır ve çevrim tamamlanır. Genellikle seri imalat ürünleri için bu yöntem sıkça kullanılmaktadır.

1.4.8 Vakum torbalama / otoklav prosesi

Yüksek mukavemet ve mükemmel hassasiyetteki kompozit parça imalatlarında tercih edilen imalat yöntemidir. Yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle daha çok havacılık, uzay sanayi başta olmak üzere, savunma ve otomobil sanayide tercih edilmektedir.

Otoklav içerisinde yüksek basınç ve ısı altında kompozit yapı içerisindeki hava boşlukları minimize olmaktadır. Ayrıca fiber / reçine oranı artırılması sağlanarak

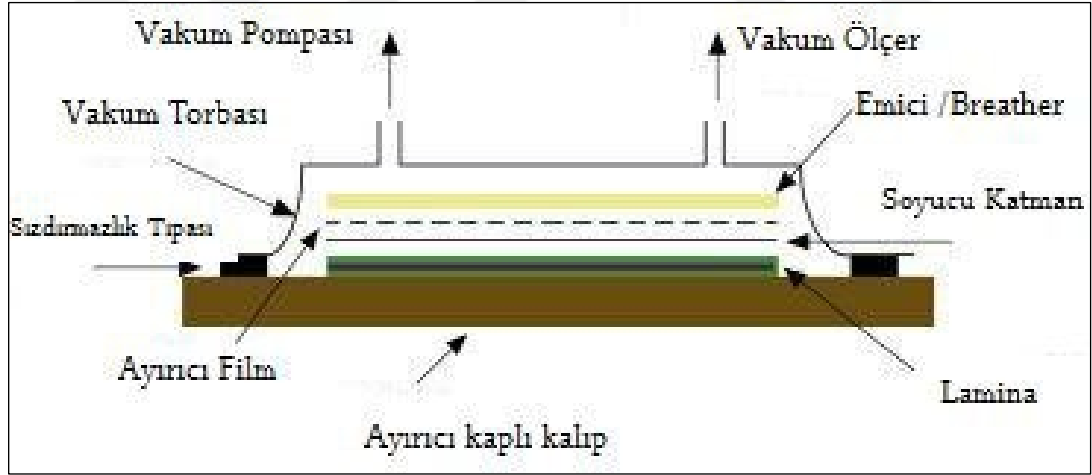
daha rijit yapılar elde edilmektedir [11].

El yatırması yöntemiyle benzer yapıları çoktur. Özel ya da performansın kritik olduğu uygulamalarda bu yöntem kullanılır. El yatırmasıyla en belirgin farkı basınç uygulanmasıdır.

Bu kalıplama yöntemlerinde ıslak sistemler veya prepregler kullanılır. Islak sistemlerde keçe veya dokunmuş fitil üzerine sıvı reçine uygulanır. Kolay şekillenen plastik bir film tabakası reçine emdirilmiş takviye malzemeleri üzerine yerleştirilerek parçanın çevresinde kalıba yapıştırılır.

Prepreg kullanıldığında ise, takviye malzemeleri kalıp yüzeyine elle yerleştirildikten sonra plastik film kaplanır.

Vakum torbası yöntemindeyse kalıp yüzeyi ile kalıp arasında kalan hava vakumlanır. Islak sistemlerde reçine emdirilir daha sonra sertleşme tamamlanana kadar vakum uygulanarak plastik filmin atmosfer basınç altında kalması sağlanır. Sertleşme sürecini hızlandırmak için ısı uygulanır [11].



Şekil 1.13. Vakum torbalama [21]

Yüksek elyaf içeriği, yüksek mukavemet, büyük ve küçük parçalara uygunluk, basınç ve ısı kontrollü olması bu yöntemi avantajları arasında sayılabilir [11].



Şekil 1.14. Otoklav görseli [22]



Şekil 1.15. Vakum torbalama ile hazırlanmış, otoklava yerleştirilmiş kompozit ürünler [23]

1.4.9. Hazır kalıplama yöntemi

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzünde kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanması gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır.

Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır.

Hazır kalıplama pestili, SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3mm kalınlığın da üretilir.

Hazır kalıplama hamuru, BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir [11].

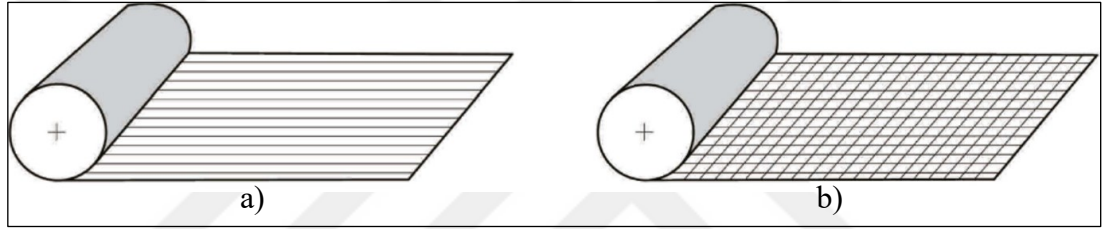
1.4.10. Tabakalı birleştirme (prepreg metodu)

Prepreg imalatı, sürekli fiberlerle yapılan dokuma işlemi tamamlandıktan sonra ince bir reçine havuzundan geçirilip, hafif düzeyde kürlenme yapılarak elde edilir. Yarı yapışkan yapısı nedeniyle elde edilen reçine emdirilmiş sürekli kumaş altı ve üstü folyo ile kaplanır. Bu folyo ile kullanım zamanına kadar kompozit yapının istem dışı yapışmasını engeller. Bu folyo sayesinde prepregler rulolara sarılarak depolanabilir.

Kalıba yerleştirilmeden önce kürlenmemeleri için yaklaşık olarak -18 derece sıcaklıkta muhafaza edilmeleri gerekmektedir. Bu koşullarda ortalama raf ömürleri 2 yıldır.

Pepreg kullanımını sırasında koruyucu folyo kaldırılır ve prepreg kalıba yapıştırılır. Yarı ıslak yapışkan reçine yüzeyi ile prepregler kendi aralarında da iyi bir yapışma oranına sahiptir. Prepregler yüksek fiber oranlı optimum reçine emdirilmiş kompozit malzemelerdir. Bu nedenle maksimum mukavemet elde edilmesi mümkün olmaktadır. En önemli özellikleri kompozit yapının her yerinde fiber matris oranının homojen olarak dağılmış olmasıdır [11].

Tek yönlü ve örgü olmak üzere iki farklı çeşit prepreg imalatı vardır. Tek yönlü prepregler ile tüm fiber yönlü tabakalar oluşturulabilir. Örgü yapılarda ise sadece $0^\circ/90^\circ$ ve $+e/-e$ ($-e = 180^\circ - e$) açıları birlikte imal edilebilir. Ayrıca örgü prepreg, bir seferde iki tabaka yerleştirme imkânı tanıdığından işlem kolaylığı vardır.



Şekil 1.16. Prepreg çeşitleri, a) tek yönlü prepreg, b) örgü prepreg

Tablo 1.2. Prepreglerin özelliklerinin karşılaştırması [11]

Prepreg çeşidi	Tek yönlü prepreg	Örgü prepreg
Avantajları	Yüksek mukavemetli kompozit imalatı sağlar. Tüm açı dağılımları uygulanabilir.	Çalışma kolaylığı sağlar. İşçilik süresi kısadır.
Dezavantajları	İşçilik zamanı fazladır.	Sadece $(0^\circ/90^\circ)$ ve $(0/-0)$ açıları birlikte uygulanabilir.

1.4.11. Kürleme sistemlerinin birbirleri ile karşılaştırılması

Kompozit yapı ister prepreglerle hazırlanmış olsun, ister diğer tekniklerle üretilmiş olsun; mutlaka kürleme prosesinden geçirilmektedir. Kürleme aşamasında genellikle epoksi olan reçine, fiberlere ve diğer tabakalara yapışmayı sağlar. Boşluksuz ve hatasız bir bağ elde edebilmek için doğru bir kürleme prosesi önemlidir [11].

Havacılık kompozitleri genellikle, epoksi olan reçinenin kürlenmesinde, programlanabilir bir basınç dağılımını homojen olarak ürünün üzerine uygulamayı gerektirir. Ayrıca, sıcaklık değişimi de kontrol edilebilir olmalıdır. Bu amaçla

kullanılan üç gelişmiş sistem mevcuttur. Bunlar, fırın(etüv), pres ve otoklav olarak sıralanabilir. Otoklavda bir vakum sistemine ihtiyaç vardır. Vakum sistemi ile maksimum atmosfer basıncı elde edilebilir [11].

Tüm kürlenme işlemi boyunca, kompozit ürün ile kalıp arasına reçine emici tabakalar mutlaka uygulanmalıdır. Ayrıca, ürünün üzerinde yine reçine emici tabakalar yerleştirilir. Bu tabakaların iki görevi vardır, biri üründen kürlenme süresince akan reçinenin çevreye zarar vermesini önlemek, diğeri ise üründen homojen bir reçine akışını sağlamak. Vakum poşetinin içinde kürlenmiş kompozitin kalınlığına ve reçine cinsine göre ayarlanmış sayıda reçine emici tabaka bulunur. Presle kürlenmede vakum poşeti yoktur ancak, daima reçine emici tabakalar kullanılır [11].

Tablo 1.3. Kürlenme sistemlerinin birbirleri ile karşılaştırması

Kürlenme Sistemleri	Zaman	Sıcaklık	Basınç
Fırın (Etüv)	Programlanabilir.	Ortamda homojen dağılımlı uygulanır.	Sadece vakum basıncı
Pres	Programlanabilir.	Çeneler yardımıyla uygulanır.	Çeneler yardımıyla uygulanır.
Otoklav	Programlanabilir.	Ortamda homojen dağılımlı uygulanır.	Vakum basıncına ilave ortam basınçlandırılır.

1.4.12. Çalışmada kullanılan üretim yöntemi

Yüksek fiber oranlı ve sürekli fiber takviyeli, ileri teknoloji kompoziti uçak elemanlarının imalatında, prepreglerin kullanımı en gelişmiş yöntemdir. Sektörde prepregler üretilmiş olarak alınarak parçalara şekil verilmektedir.

En önemli dezavantajları, tabakaların kesiminde malzeme firesinin oluşmasıdır. Bu nedenle dönel şekilli parçalar için tercih edilen flaman sarma yönteminde, malzeme firesi ortadan kaldırılmıştır. Proje konusu olan oturak imalatında, dikdörtgen kesiti ile prepreg kesiminde fire %2 dir ve minimize edilmiştir.

Kürlenme aşamasında en verimli sistem otoklavdır. Bu makinalarla tüm kürlenme çevrimleri uygulanabilmektedir. İlave basınç uygulaması vardır, karmaşık şekilli

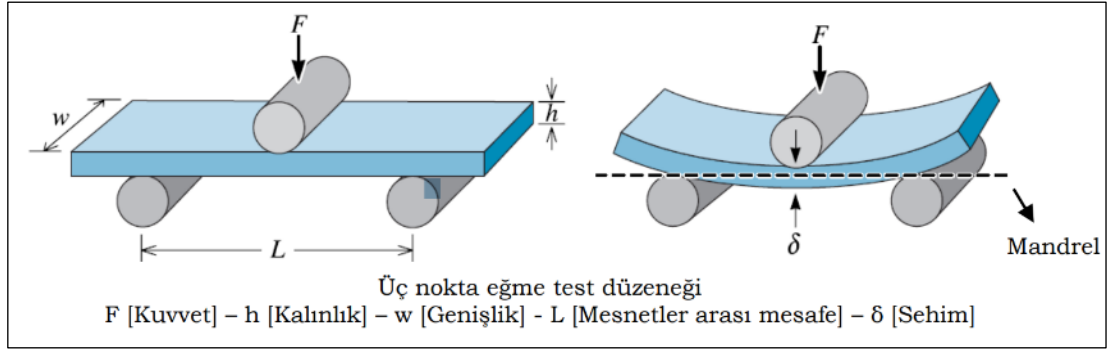
parçalar imal edilebilir. Boyut kısıtı ise daha azdır. Ancak pahalı bir yatırım olması üretim maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle fırında kürlenme prosesi uygulanması uygun görülmüştür. Bu tez çalışmasında fırın (etüv) kürlenme yapılacaktır.

1.5. ASTM D7264 Üç Nokta Eğme Testi

Bu test yöntemi, tanımlanan koşullar altında polimer matrisli kompozit malzemelerin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini (mukavemet, rijitlik ve yük / yer değiştirme davranışı dahil) belirlemede kullanılır. Bu deneyin temel prensibi, deneyde kullanılacak malzemeyi basit kiriş modeli olarak kabul etmeye dayanmaktadır. Kiriş denklemi ideal moment durumuna göre çıkarıldığından dolayı, kirişte oluşan kayma gerilmesinin normal gerilmelere göre ihmal edilebilir düzeyde kalması istenmektedir. Bu sebeple malzemenin sabit kesit alanlı olması ve uzunluk değerinin en geniş değerine oranla en az 16 katı olması gerekmektedir. Kirişin her bölgesinde eğilme momentleri meydana gelir. Klasik eğilme denklemlerinin geçerli olabilmesi için malzemenin homojen veya Hooke Kanunlarına uyması gerekir. [25]

Eğme testi deneyinde ASTM D7264 standardını incelediğimizde, iki desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının yön değiştirmeksizin ortasına bir kuvvet uygulandığında oluşan biçim değişimi olarak tanımlanmaktadır. Deney numunesine bir kuvvet etkilediğinde, numune kesitinin bir kısmında basma gerilmesi, kesitin geri kalan kısmında çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Eğilme halindeki numunelerin kesitinde, iç yüzeye yakın bölgede basma gerilmeleri, dış yüzeye yakın bölgede ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Silindirik mesnetler üzerinde numuneyi bir mandrel yardımıyla eğme yöntemidir. Eğilme gerilmesi $[\sigma]$, sehim miktarı $[\delta]$ değerleri hesaplanabilmektedir.

Sehim; basit eğilme etkisi altındaki bir yapı elemanının eğilme göstermeden önceki çubuk eksen durumu ile elastik eğri durumu arasındaki deformasyon miktarıdır. Anılan kuvvet altında yapı elemanının yaptığı deplasman 'sehimi' olarak anılır. Metalik malzemelerin katlama deneyi, malzemelerin şekil değiştirme özellikleri hakkında genellikle kalitatif [nitel] bir bilgi edinme amacıyla yapılır.



Şekil 1.17. 3 nokta eğme test düzeneği [25]

1.6. Çalışmayı Şekillendiren Literatür Araştırmaları

(Wang ve diğ., 1994) Karbon fiber (karbon fiber), E-Glass fiber (glass fiber), Aramid fiber takviyeli kompozit malzemelerin basma dayanımları adına yaptıkları çalışmada; cam elyaf, aramid (kevlar) dokuma kumaşlar takviyeleri ve epoksi reçine matris malzeme kullanılarak ürettikleri kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini; tek eksenli çekme, eğilme, basma ve kesme koşulları altında incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda; aramid fiberlerin kesme kuvvetler etkisi altında kesme dayanımlarının kötü olmasından dolayı; aramid elyaf kumaş takviyeler kullanılarak üretilen kompozitlerin, cam elyaf kumaş takviyeleri kullanılarak üretilen kompozitlere göre doğrusal olmayan çekme yükleri altında yüksek derecede bozulmalar sergilediğini, eğilme, basma ve kesme koşullarında ise daha düşük mukavemet gösterdiğini, aramid kumaşlarında basma kuvvetlerinin diğerlerine kıyasla düşük olduğunu tespit etmişlerdir [26].

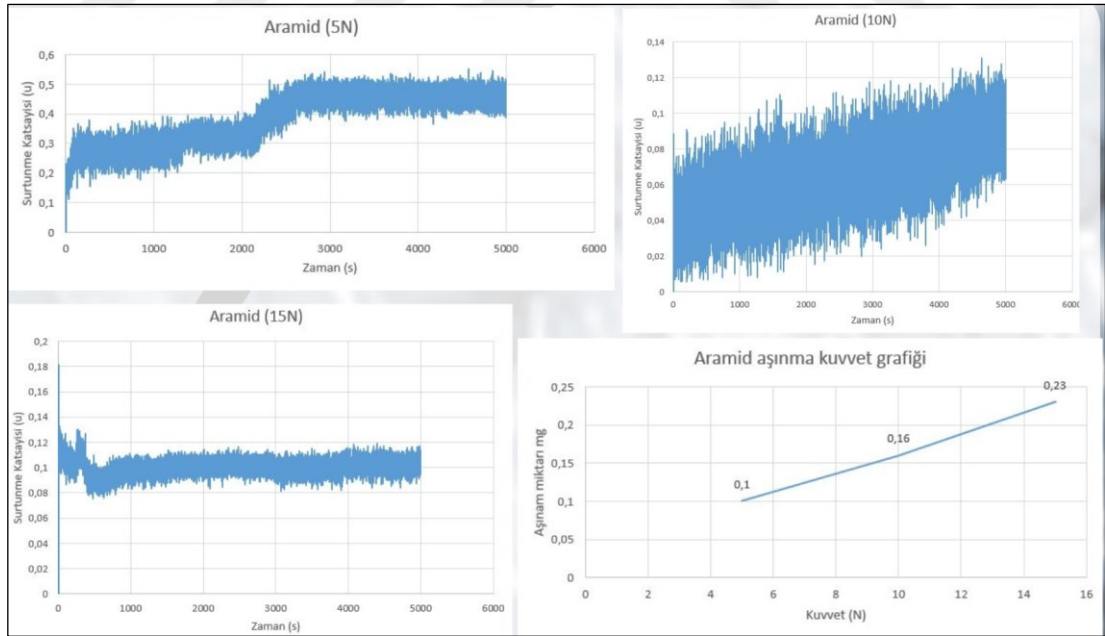
(Esendemir, 2018) yaptığı çalışmada; iki farklı kalınlık ve darbe enerjisi için cam elyaf takviyeli epoksi kompozit plakaların darbe davranışları deneysel olarak incelenmişlerdir. Basma deneyleri için [+45/-45/0/90]_s oryantasyon açısına sahip 8 tabakalı (ince) ve [(+45/-45)₂/(0/90)₂]_s oryantasyon açısına sahip 16 tabakalı (kalın) 300 gr/m² E-cam kompozit malzeme imal edilmiştir [27].

Sonuç olarak fiber doğrultusuna dik basma uygulaması ile %62 dayanım değerinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 1.4. Deney sonuçları [27]

Özellikler	Sembol	Değer
Lif doğrultusundaki Elastisite modülü	E1	33230 MPa
Lif doğrultusuna dik doğrultudaki Elastisite modülü	E2	11400 MPa
Kayma modülü	G12	2500 MPa
Poisson oranı	Po	0,277
Lif doğrultusundaki çekme dayanımı	Xt	566.4 MPa
Lif doğrultusundaki basma dayanımı	Xc	448 MPa
Lif doğrultusuna dik doğrultudaki basma dayanımı	Yc	166 MPa
Lif doğrultusuna dik doğrultudaki çekme dayanımı	Yt	98 MPa
Kayma dayanımı	S	78 MPa

(Horoz. ve diğ., 2018) cam elyaf, karbon elyaf ve aramidden oluşan kompozit malzemelerdeki aşınma dayanımlarını incelemiştir. Hazırlanan levhalar; 5N, 10N, 15N kuvvetler ile sürtünme sağlanarak kuvvet grafiği ve sürtünme katsayısının grafiğe dönüştürülmesi sağlanmıştır [28].



Şekil 1.18. Aramid aşınma dayanımı grafikleri [26]

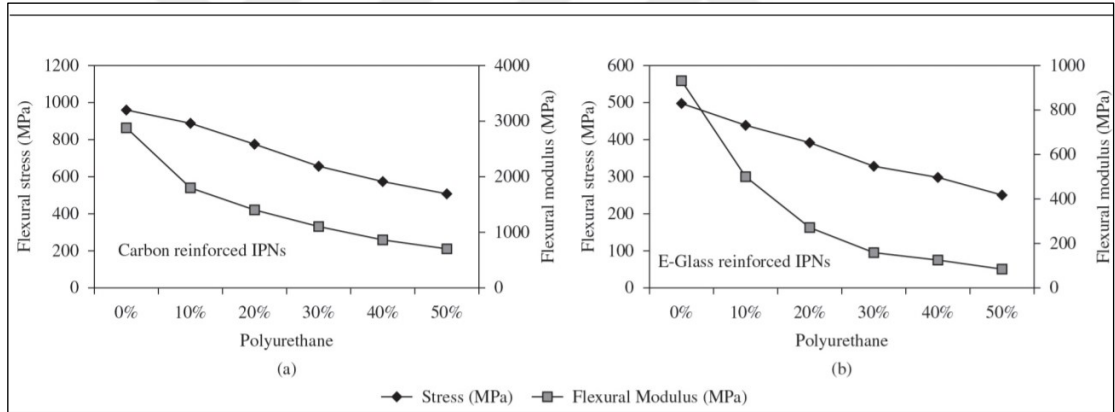
(Özsoy ve diğ., 2015); cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemiştir. 3 nokta eğme testi ile 0/0 - 90/90 derece

oryantasyonlarında Cam Elyaf ve Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeleri test etmişlerdir. Eğilme dayanımları Tablo 1.5’de verilmiştir [29].

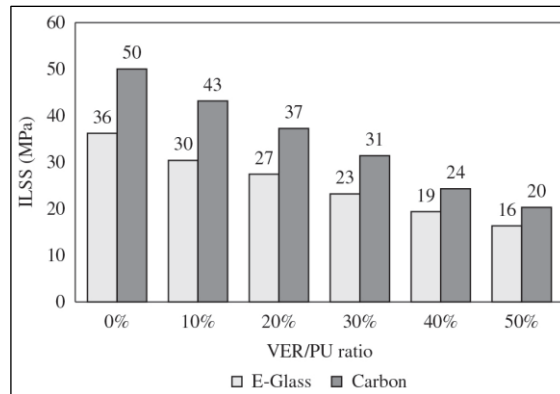
Tablo 1.5. Cam elyaf ve karbon fiber kompozitlerin eğilme dayanımları [29]

Flexural strenght of the CFRE Composites			Flexural strenght of the GFRE Composites		
Fiber orientation	Flexural strenght [MPa]	Flexural Strain [%]	Fiber orientation	Flexural strenght [MPa]	Flexural Strain [%]
0°	736	1,4	0°	522	3,7
0° / 90°	436	1,4	0° / 90°	424	3,8
90°	720	1,4	90°	86	2,6

Cam ve Karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerin basma dayanımlarındaki mekanik davranış gibi, aynı şekilde eğilme dayanımları da fiber yönlerinde 6 kat daha üstün performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 1.19. Karbon elyaf ve E-cam elyaf takviyeli kompozitlerin “eğilme gerilmesi, gerinim” grafiği;



Şekil 1.20. E-Glass ve Karbon fiber takviyeli kompozitlerin reçine oranına göre kayma kuvvetleri grafiği

(Suresh ve diğ., 2015); cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin, reçine oranına göre katmanlar arası kayma kuvvetini incelemişlerdir [30].

Reçine azaldıkça, basma dayanımı, katmanlar arası kayma dayanımı vb. mekanik özelliklerde artma gözlenmiştir.



2. TEZ ÇALIŞMA KONUSUNDA GENEL BİLGİLER

2.1. Yüksekte Çalışma ile İlgili Temel Bilgiler

Ülkemizde yürürlükten kaldırılan tüzüklerimize göre yüksekte çalışma; İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğünde dört metreden fazla olan yerler, Yapı İşlerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğünde ise tabandan itibaren üç metreden daha fazla olan, düşme veya kayma tehlikesi bulunan yerler şeklinde farklı mesafeler olarak tanımlanmıştır. Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği Ek – 4 yapı alanları için asgari sağlık ve güvenlik şartları A maddesine göre; seviye farkı bulunan ve düşme sonucu yaralanma ihtimalinin oluşabileceği her türlü alanda yapılan çalışma; yüksekte çalışma olarak kabul edilir [31].

Yüksekte çalışma, iple erişimi de içine alan genel bir tabirdir. İple erişim ise, ip üzerinde askıda çalışarak görevlerin tamamlandığı bir tekniktir. İple erişim aşağıdaki nedenlerden dolayı endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir [32].

- 1) Erişilmesi imkânsız görünen noktalara erişilebilmesi
- 2) Emniyet sistemlerinin çabuk kurulup sökülmesi
- 3) Zeminle ilişki kurmadan projenin gerçekleştirilebilmesi (Yol, trafik vb.)
- 4) Gerekli standartlara (UIAA, EN, CE) sahip ekipman ve kalifiye personel sayesinde tamamen güvenli olması
- 5) Diğer ekiplerin çalışmalarına engel olmaması
- 6) Tüm projeyi üstlenerek maliyeti yükseltecek üçüncü kişilere ihtiyaç duyulmaması (İskele, vinç, vb.)
- 7) Görüntü ve gürültü kirliliğine neden olmaması, çevreye rahatsızlık vermemesi
- 8) İş sonrasında yenileme, bakım ve hizmet zorluğunun olmaması

2.2. İple Erişimde Kullanılan Kemer Oturağı Hakkında Genel Bilgiler

İple erişimde kullanılan emniyet kemeri oturakları yüzyılı aşkın olarak dünyada kullanılmaktadır. Bu ürün sayesinde, ip üzerinde askıda çalışan işçiler; daha konforlu ve daha uzun süre ip üzerinde askıda çalışabilmektedirler.



Şekil 2.1. İlk çalışma oturakları 1931 Hoover Dom Baraj inşaatı [33]



Şekil 2.2. İlk çalışma oturakları 1930 Rushmore Dağı inşaatı [34]

2.2.1. Askı travması sorunu ile ilgili genel bilgiler

İnsanlar yüksek işler yapmaya başladıklarından itibaren yüksekte çalışma alanındaki iş güvenliği açıkları ve çalışma verimliliği konuları ortaya çıkmıştır. Uzun duvarlar, devasa baraj yüzeyleri, gökdelen inşaatları vb, yerlerde yüksekte çalışma yapılmaktadır. Özellikle çalışma iskelesi kurmanın hayli zor olduğu yerlerde; pratik olarak yüksekte iskelesiz, ip üzerinde askıda çalışma yöntemi gelişmiştir. İp üzerinde askıda çalışmak çok konforlu bir iş olmaması nedeniyle, emniyet kemerleri ve diğer aksesuarlar yıllarca kendileri güncellemişlerdir. Daha konforlu daha rahat emniyet kemerleri ve diğer yüksekte çalışma aksesuarları geliştirilmiştir.



Şekil 2.3. Yüksekte çalışma uygulaması, gökdelen camı silmek [35]

Askıda çalışma yapan işçilerin en büyük tehlikesi uzun süre ipte askıda kaldıklarında, bacak ve kasıklarından geçen ana arter atar damarlardaki kan akışının; emniyet kemerinin kolonları tarafından gelen baskı nedeniyle yavaşlaması ve baygınlık, kangren, en sonunda da ölüme kadar gidebilecek travmaların oluşabilme ihtimalidir. Bu duruma literatürde “Askı Travması (Suspension Trauma)” denilmektedir [36].

Emniyet kemerinin bacakları sıkması ve hareketsiz kalınması sonucu bacaklarda kan geri dönüşüm sağlamayacaktır. Bu durum beyin, kalp, akciğerler ve böbreklerde daha az kan dolaşımına neden olacaktır. Ayrıca bacaklarda biriken kan metabolik atıklarla birlikte yüksek oranda asidik ve toksik hale gelecektir.



Şekil 2.4. Rüzgâr jeneratöründe askında çalışan işçiler [37]

Bacaklardaki kanın geri dönüşüm sağlayamaması nedeniyle kalp vücudu dengelemek için hızını ve gücünü artıracaktır. Bu durum kaygı ve şokun oluşmasına neden olarak adrenalin salgılanmasını sağlayacaktır. Bu durumda kalbe olan talepler artarak kalbin ani olarak durmasına neden olabilmektedir [38].



Şekil 2.5 Askı travması [36]

Kan dolaşımının yavaşlaması veya kalbin durması sonucu beyinde yetersiz kan dolaşımı ile ciddi hasarlar oluşacaktır.

(Cangül, 2018) Yapılan deneysel araştırmalarda askı travması sonucu kısa sürede bilinç kaybının olduğu görülmektedir [39]. Bilinç kaybının yaşanması askıda kalan personelin ölüm ile karşı karşıya olduğunun açık göstergesidir.



Şekil 2.6. Askı travması deneysel çalışmalar [37]

Askıda kalan kişinin yaralanması veya herhangi bir sağlık sorunun olması durumunda personel askı travmasına daha hızlı bir şekilde girecektir.

2.2.2. Emniyet kemeri oturaklarının geçmişi

Askı travması durumlarından kaçınmak ve yüksekte, ip üzerinde askıda konforlu çalışabilmek adına oturaklar kullanılmaktadır. Bu oturaklar ilk yıllardan günümüze kadar hafif ve bir insan ağırlığını rahatlıkla kaldırabilmesi nedeniyle ahşap ürünlerden imal edilerek gelmiştir. Ancak ahşap ürünlerin çürüme riski, zaman içinde kırılma riskleri nedeniyle terk edilmiş ve yerine çelikten imal edilen oturaklara bırakılmıştır. Ağır olmaları ve kullanıcı dostu olmadıkları için 1980'lerden sonra alüminyum plaka iskelete sahip, üzeri ise yumuşak tekstil kılıftan oluşan oturaklar kullanılmaya başlanmış ve günümüze kadar bu şekilde gelmiştir. Bu ürünler aynı zamanda kişisel kullanım ekipmanı olması nedeniyle kullanıcı hep yanında

taşımaktadır ve bu nedenle hafifliği önem kazanmaktadır. Bu nedenle yola çıkılarak kompozit iskelete sahip çalışma oturağı geliştirilmesi konusu oluşmuştur [40].

2.2.3. Geliştirilmesi planlanan emniyet kemeri oturağı

Yüksek yerlerde çalışan kişilerin, çalışma konforlarını arttırıcı, ip üzerinde yorulmalarını minimize eden, korozyona karşı dirençli, hafif ve yüksek dayanıma sahip bir kompozit ürün imal edilmesi hedeflenmiştir. Maliyeti azaltmak ve daha kullanıcı dostu hafif ürün elde edilmesi için kompozit malzemeden imal edilmesi tercih edilmiştir. Geliştirilecek ürün için dünyada rakip olmaması nedeniyle bu sektörde prestij kazanmak amaçlanmıştır.

Ulusal düzeyde iş güvenliği ekipmanları imal eden firma sayısı çok az düzeydedir. Bunun yanında kompozit olarak iş güvenliği ekipmanı imal eden firma maalesef ulusal düzeyde bulunmamaktadır. Bu firmalar arasında firmamız Kaya Safety Türkiye'de sektör lideridir. Uluslararası düzeyde kompozit iş güvenliği ekipmanları imal eden birkaç firma bulunmaktadır. Ancak bu firmaların mevcut konu üzerine kompozit ürünleri bulunmamaktadır. Çalışma oturağı için kompozit yerine imalat kolaylığı bulunan alüminyum alaşımı tercih edilmektedir [41].

2.2.3.1. Mevcut durum değerlendirmesi

Mevcuttaki çalışma oturağı iki bileşenden oluşmaktadır.

- a) İskelet
- b) Tekstil ergonomik kılıf

Oturağın tekstil aksamı 620 gr ağırlığında, iskeleti kaplayan, kullanıcı oturduğunda konforlu olarak oturmasını sağlayan pedlerin olduğu bir tekstil üründür. İçine yerleştirilen ve yük taşıyan iskelet aksamı ise mevcutta; 720 gr ağırlıkta yüksek alaşımli 2024-T351 alüminyum plakadan imal ediliyordu. Bu şekilde imal edilen ürünün maliyeti, havacılık sanayiinde kullanılan 2024-T351 ısıtılmış yüksek mukavemetli alüminyum alaşım nedeniyle ciddi olarak yükseldi. Piyasalarda 5000 ya da 6000 serisi alüminyum plaka kg fiyatı 3-4,00 ABD Doları civarında iken, bu alaşım 10,00 ABD doları civarında kg fiyatı bulunmaktadır [42].

Ürünün maliyeti aşağıdaki gibi çıkarılmıştır.

Ürün 4 mm alüminyum plakadan imal edilmektedir. 4 mm lik plaka, heksantrik preslerde kesme kalıbında çevresi kesilmekte, bir sonraki bükme kalıbında ise bükümü gerçekleştirerek iskeleti oluşturmaktadır. Akabinde eloksal kaplaması yapılarak yüzey işlemi tamamlanmaktadır. Bu işlemler ile, bitmiş ürün ağırlığı 720 gr olmakta, fireli ürün 930 gr olmaktadır. Toplam imalat maliyeti işçilik + malzeme olarak 17,80 ABD Doları olmaktadır. Maliyet detayları aşağıdaki gibidir;

- Al. 2024-T351 malzeme fiyatı: 10,00 ABD Doları / kg
- Kullanılan miktar; 0,93 kg = 9,30 ABD Doları / adet
- Pres kalıp baskı kesim ve büküm işçilik = 6,00 ABD Doları / adet
- Eloksoal kaplama yüzey işlemi = 2,50 ABD Doları / adet

2024-T351 Alüminyum teknik özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Yoğunluk 2,79 g/cm³
- Elastisite Modülü 73 GPa
- Akma Dayanımı 350 MPa
- Çekme Dayanımı 490 MPa
- Kesme Dayanımı 285 MPa
- Uzama %16

3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ VE ÖN ANALİZLER

Çalışmanın ana faaliyetleri çerçevesinde; mevcut hali hazırdaki çalışma oturağı ve standartları incelenmiştir. Yüksekte çalışma ekipmanlarının ana standardı EN795 yüksekten düşmeye karşı koruma standardıdır. Bu standard gerekli ankraj mukavemet ve test yöntemlerini belirlemektedir. Yüksekte çalışma oturağı bir düşüş durdurucu olmadığı; sadece kullanıcının çalışma konforunu arttırıcı bir kişisel kullanım ekipmanı olması nedeniyle bu standard kapsamında değildir. Sadece CE (Conformity of Europe) uygunluk beyanı firma tarafından verilerek piyasaya sürülebilmektedir [43].

Ürünün uzun ömürlü olması, gelebilecek dinamik ve statik yükleri karşılaması amacıyla min. 980 kg lık bir yük taşıma kapasitesine sahip olması beklenmektedir. Bu değer ANSI/ASSE Z359.1 standartlarına göre yüksekte çalışma yapabilecek bir kişinin maksimum 300 lbs (140 kg) lık bir kullanıcı olabileceğini göz önüne aldığımızda ve iş güvenliği ekipmanlarındaki 7 emniyet katsayısını uyguladığımızda elde edeceğimiz değerdir [44].



Şekil 3.1. Kaya Safety mevcut çalışma oturağı

Ürünün tekstil aksamından gelen 50kN kopma mukavemeti olan perlonlar ile iskelet kucaklanmaktadır. Bu sayede asıl yükü taşıyan tekstil aksam olurken, iskelette minimum gerilmeler oluşmaktadır. Kullanıcı oturağa oturduğunda, oturak üzerinde

kullanıcı ağırlığı kadar yük oluşurken, aynı şekilde oturak altından boylu boyunca geçen 45mm kalınlığındaki 50kN kopma mukavemeti olan çift perlon, iskelete tepki kuvvetleri vermektedir. Bu sayede iskeletteki yük arttıkça üstten ve alttan etki-tepki kuvvetlerine maruz kalarak, iki kuvvet arasında ezilme eğilimindedir. Asıl yük taşıyıcı aksam tekstil kısım olması nedeniyle, iskelet sadece 2 emniyet katsayısı ile değerlendirilecektir (600 lbs – 2,67 kN).

Mevcutta 2024-T351 alüminyum levha iskelete sahip yüksekte çalışma oturağı ürününün dayanımı; 7 emniyet katsayısı olan 10kN yayılı yük altında doğrulanmıştır. Tekstil aksamı mevcut ürün (iskelet değil!) 10kN yayılı yük altında 3 dk bekletilmiş ve herhangi bir kopma oluşmamıştır. Tekstil aksamı ürün kopma mukavemeti testi için test devam ettirilmiş ve ön görüldüğü gibi ürün taşıyıcı perlon dikişlerinin yırtılması ile 35,3 kN'da kopmuştur. Ürünün mukavemeti, taşıyıcı perlonlar (tekstil aksamı) ile sağlandığından bizim için kıyas yapabileceğimiz önemli parametre yük altındaki sehim miktarı olmaktadır.

2,67 kN yayılı test yükü ile sehim ölçülmüştür ve değerler aşağıdaki gibidir.



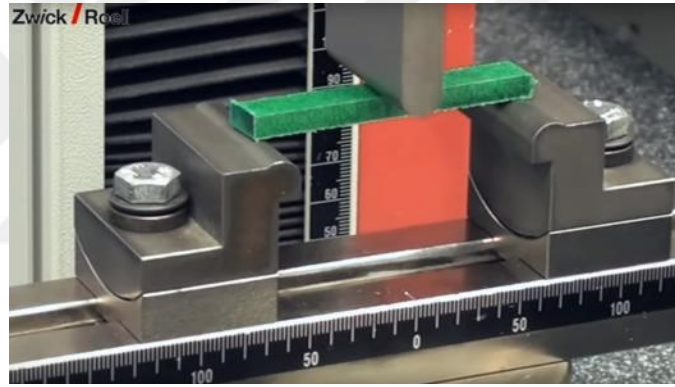
Şekil 3.2. Statik, yayılı yük ile test düzeneği

- Maksimum gerilim: 280 kgf – 2,67 kN

- Maksimum seğim: 13,8 mm (1 kN öngerilme sonrası)
- Ürün malzemesi: 2024-T351 Isıl işlemlı alüminyum.
- Ürün kalınlığı: 4 mm
- Ürün ağırlığı: 720 gr

Test sırasında tekstil aksamlar ve oturak üzerindeki yumuşak ped vb. yapılar ekstra esnemeler yarattığından sehım beklenenden fazla gerçekleşmişti. Bunu minimize etmek için 1 kN lik ön yükleme sonrasında alınabilecek temel tekstil aksamdı gelen esnemeler minimize edildikten sonra seğim miktarı not edilmiştir. Bu sayede tekstil aksamdı çok iskelet kaynaklı sehıme yaklaşılmıştır.

Yöntemlerimiz arasındaki yayılı yük testleri ve 3 nokta eğme testleri Zwick 100kN luk statik dikey test cihazı ile yapılmıştır. Test aparatı görseli Şekil 3.3'deki gibidir.



Şekil 3.3. Statik, 3 nokta eğme test aparatı [46]

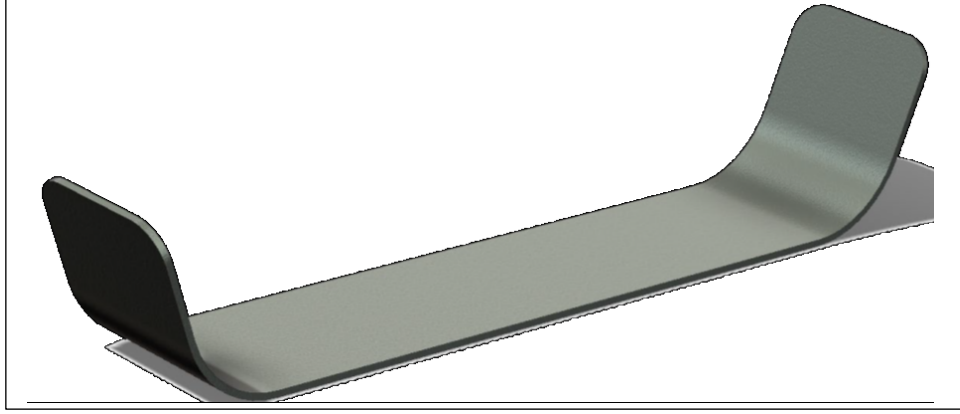
Ürünün hem hafifleştirilmesi hem de mukavemetinin artırılmasındaki dengeye bağılı olarak, özgül dayanımın iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe iki ayrı yoldan ulaşmaya çalışılmıştır.

- a. Geometrik tasarımın geliştirilmesi. “Tasarım değışimi çalışıldı.”
- b. Malzeme tasarımının optimize edilmesi. “Çalışmada kompozit hammadde çeşitleri kullanıldı.”

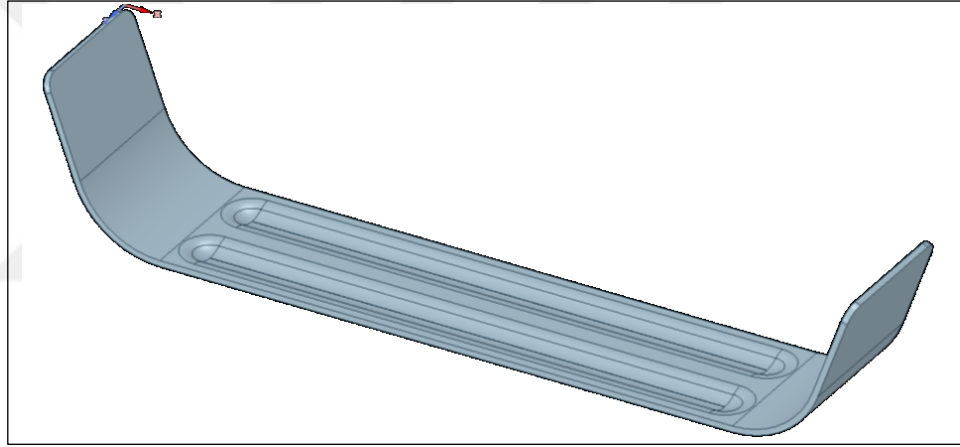
3.1. Geometrik Tasarımın Geliştirilmesi

Mevcut tasarım Solidworks 3D modelleme program ile çizildi ve FEA (Finite element analysis) sonlu elemanlar analizi programı olan Solidworks Simulation programında

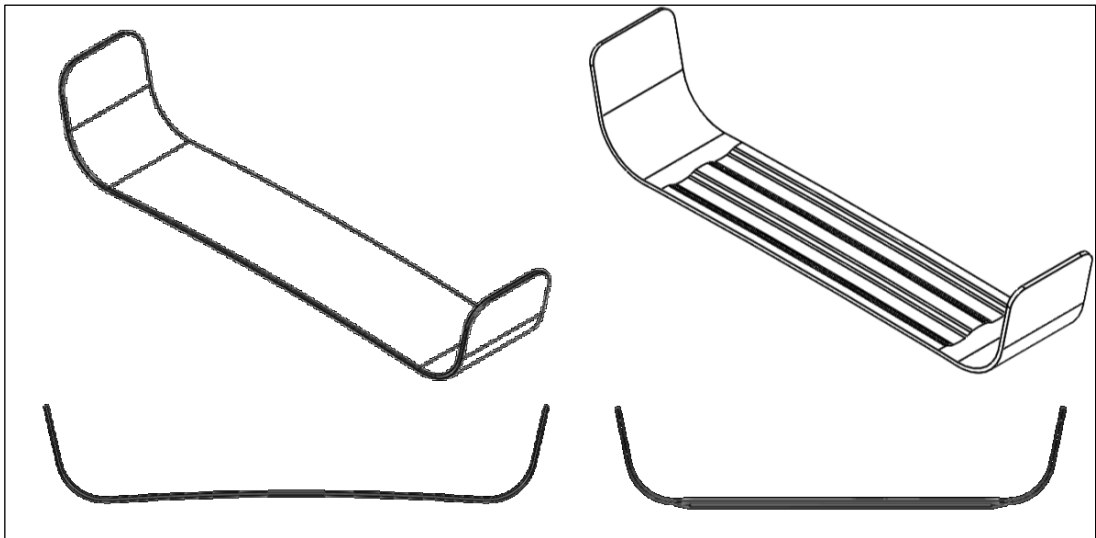
incelendi. Analizdeki gerilmelerin fazla olduğu bölgelerde; Tasarımın iyileştirilmesi adına şekil 3.5’deki gibi feder eklenmesi denendi.



Şekil 3.4. Eski tasarım



Şekil 3.5. Yeni kabartma federli tasarım



Şekil 3.6. İzometrik ve ön görünüşten ilk ve federli tasarımların kıyaslanması

Solidworks katı modelleme programında çizimi tamamlanan ürüne Solidworks Simulation FEA (Finite element analysis / sonlu elemanlar analizi) programında statik analiz yapılmıştır. Analiz prosesi aşağıdaki gibidir [47].

3.1.1. Sonlu elemanlar yöntemi ve analiz proseleri

Sonlu elemanlar yöntemi, çok çeşitli mühendislik problemine sonuç elde etmek için uygulanabilecek sayısal bir işlemdir. Kararlı rejimli, değişken rejimli, lineer ya da lineer olmayan durumlar için gerilim (stress) analizi, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve elektromanyetizma problemlerinin analizleri sonlu elemanlar yöntemi ile yapılabilir.

İlk başlarda sonlu elemanlar yöntemini bütün işlemleri elle yapılmakta idi. Bu yüzden işlemler 10-100 eleman için yapılmakta idi. Fakat eleman sayısının azlığı sonuçların hassasiyetini kısıtlamaktaydı. Bilgisayarların gelişmesi ile bu işlemler bilgisayara aktarıldı. Ve eleman sayıları arttırıldı. Bugün problemlerde milyonlarca eleman kullanılmaktadır.

Katı modellerde her bir elemandaki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle ilişkilidir [49].

Sonlu Elemanlar Yöntemi bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir.

3.1.2. Modele ağ örme / mesh etmek

Gerçekte bir cismin üzerinde sonsuz nokta/eleman olduğu kabul edilir. Bu durumda hesaplamaların yapılabilmesi için bu cismi elemanlara ayırarak sonlu hale getirmek gerekmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu işleme mesh etmek denilmektedir. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, bu noktalara düğüm (node) denir.

Solidworks/Ansys gibi bazı paket programlar bu işlemi parça geometrisine uygun olarak otomatik yapmaktadır.

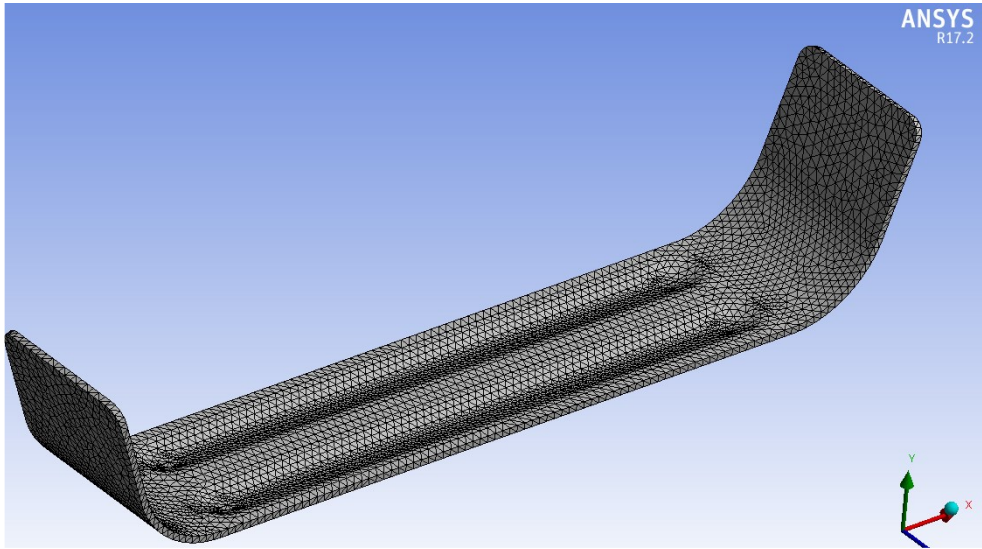
Elemanlar bir cismin üzerine yerleştirdiğiniz sensörlere benzer, ne kadar çok sensör eklerseniz o kadar noktadan daha hassas ölçüm almış olursunuz. Bu nedenle eleman sayısı ile çözüm sonucunun doğruluğu arasında doğru orantı bulunmaktadır [49].



Şekil 3.7. Mesh haline getirilmiş tasarım

Yapılan mesh sonucu mesh değerleri aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır.

- Toplam düğüm: 10358
- Toplam elemanlar: 4964
- Eleman boyutu: 7368 mm



Şekil 3.8. Daha sık örülerek meshlenmiş model

Daha sık örülen mesh sonucu değerler aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır.

- Toplam düğüm: 48882
- Toplam elemanlar: 25539
- Eleman boyutu: 3 mm

Mesh sıklığı daha kesin sağlıklı sonuç elde edilmesini sağlar. Düğüm sayısı analizin hassasiyeti ile doğrudan bağlantılıdır. Düğüm sayısı artarken işlem süresi uzar ancak çözüm hassaslaşır. Sonlu elemanlar yöntemi düğüm noktaları için tanımlanmış şartları, cebrik lineer denklemlere çevirir, önce bu denklemler çözülür ve bütün elemanlardaki gerçek gerilmeleri bulmaya çalışır. Sonuç olarak model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse o elemente uygulanan yüke göre daha gerçekçi sonuç verir [49].

Elemanların geçişleri yumuşak ve düğüm noktaları birbirinden homojen olarak dağılmış olmasına meshin kalitesi adına dikkat edildi.

3.1.3. Malzeme tanımının yapılması

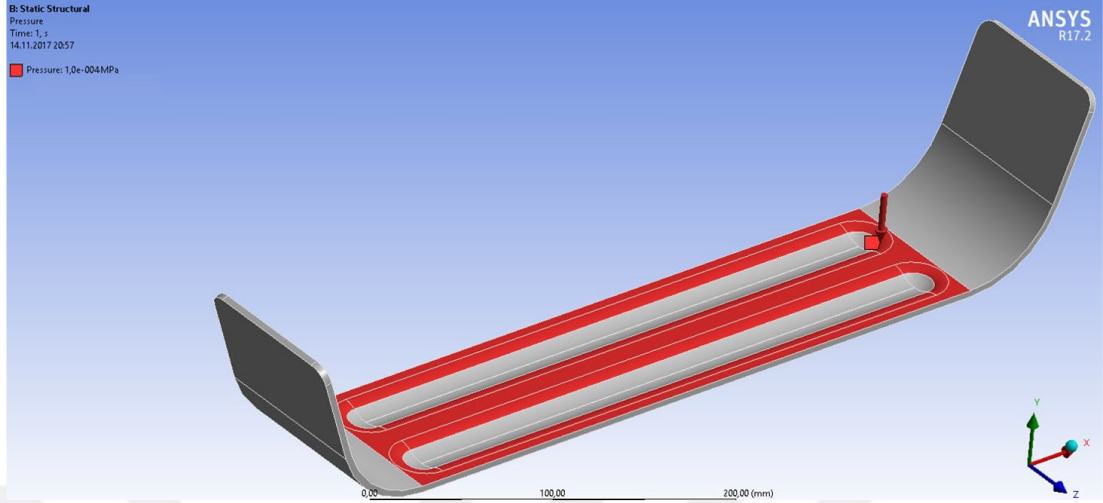
Analiz programına malzemenin mekanik özellikleri girilir. Bunlar elastikiyet modülü, poisson oranı, akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve yoğunluk gibi özelliklerdir. Solidworks programı malzeme kütüphanesinde 2024-T351 ısıtılmış alüminyum alaşımı bulunmaktadır ve malzeme seçilmiştir. Eğer bulunmasaydı, el ile manuel olarak malzeme mekanik özelliklerinin girişi yapılarak tanımlanmamış malzeme tanımı yapılabilmektedir.

Kullanılan alüminyum 2024-T351 hammaddesi ile ilgili veriler aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.1. 2024-T351 Alüminyum mekanik ve fiziksel özellikler

Mekanik Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Akma Dayanımı	350 MPa	Yoğunluk	2,74 g/cm ³
Çekme Dayanımı	490 MPa	Erime Sıcaklığı	640 °C
Kesme Dayanımı	285 MPa	Isıl Genleşme Sıcaklığı	23,1x10 ⁻⁶ /K
Uzama	16%	Isı Kapasitesi	121 W/m.K
Elastisite	73 GPa	Elektriksel İletkenlik	%30 IACS

3.1.4. Yüklere Tanımlanması

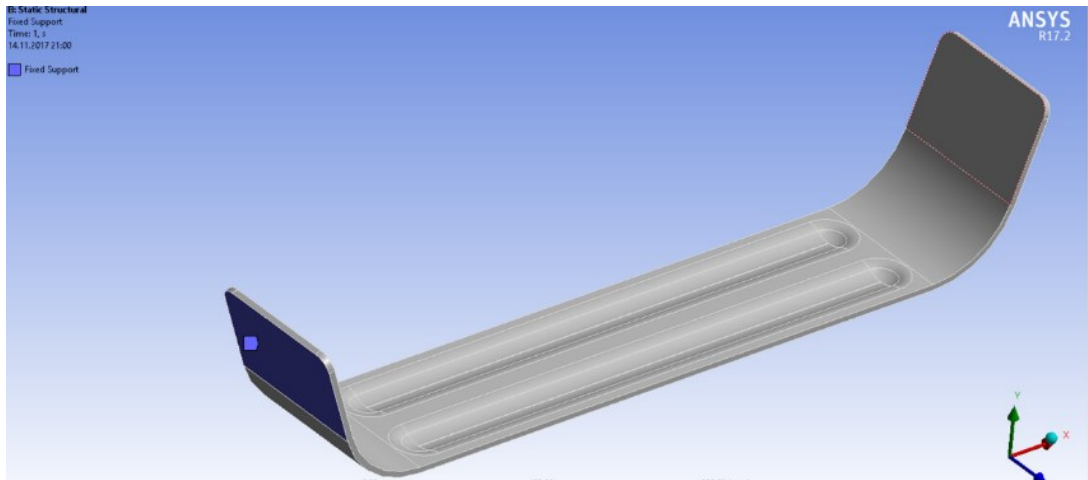


Şekil 3.9. Tasarım üzerine yükün ve doğrultusunun belirtilmesi

Yükler, basınç, kuvvet, hidrostatik basınç, moment olarak tanımlanabilir. Üzerine ağırlık konacak bu ürün için kullanım yükü olan 280 kg (2670 N) kuvvet olarak tanımlıyoruz. Yükü tanımladığımız doğrultu, kullanım yönü doğrultusunda seçilmiştir.

3.1.5. Sabit noktaların tanımlanması

Parçanın sabitlendiği noktalar neden belirtilmelidir? Eğer parça sabitlenmez ise, yük altında cisim uzayda sonsuza kadar gidecektir ve herhangi bir deformasyon oluşmayacaktır. Sabitleme; sürtünme, cıvatalı ya da kaynaklı bağlantı olarak da tanımlanabilir.

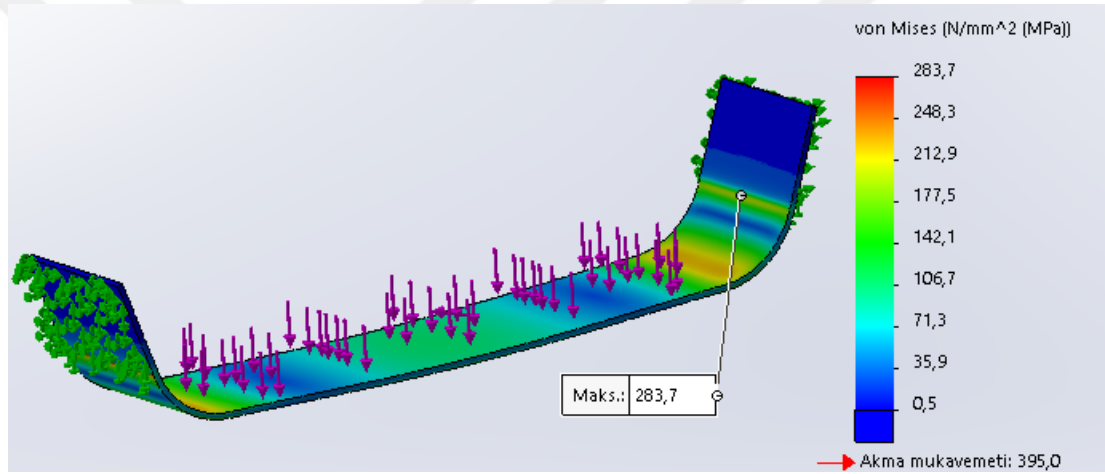


Şekil 3.10. Parça sabitleme noktaları seçimi

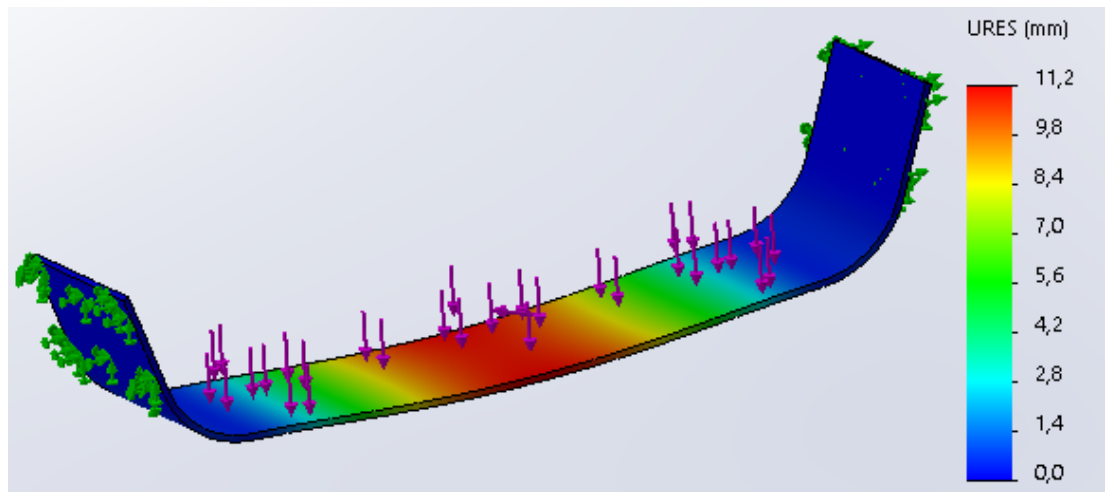
Ürünün sabitlendiği noktalar, emniyet kemerine tutturduğumuz noktalar olarak seçilmiştir.

3.1.6. Simülasyon testi sonuçları ve değerlendirilmesi

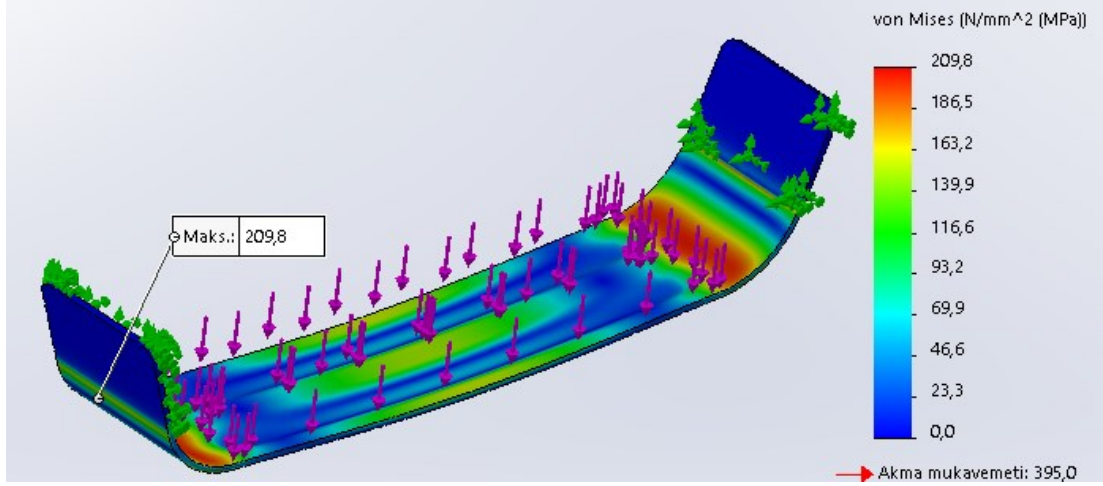
Bu adım en kritik adım olarak tanımlanabilir. Çünkü elde edilen datanın kullanıcının istifadesine ne ölçüde yaradığı veya ne manaya geldiği veya çözümün doğru yapılp yapılmadığının anlaşılması bu aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamada elde edilen data değerlendirilir ve kontrol edilir. Değerlendirme sonuçlar daha önce elde edilmiş datayla karşılaştırılarak, fiziksel olaylarla (teorik bilgiyle) karşılaştırılarak veya tecrübelerle dayanarak yapılabilir.



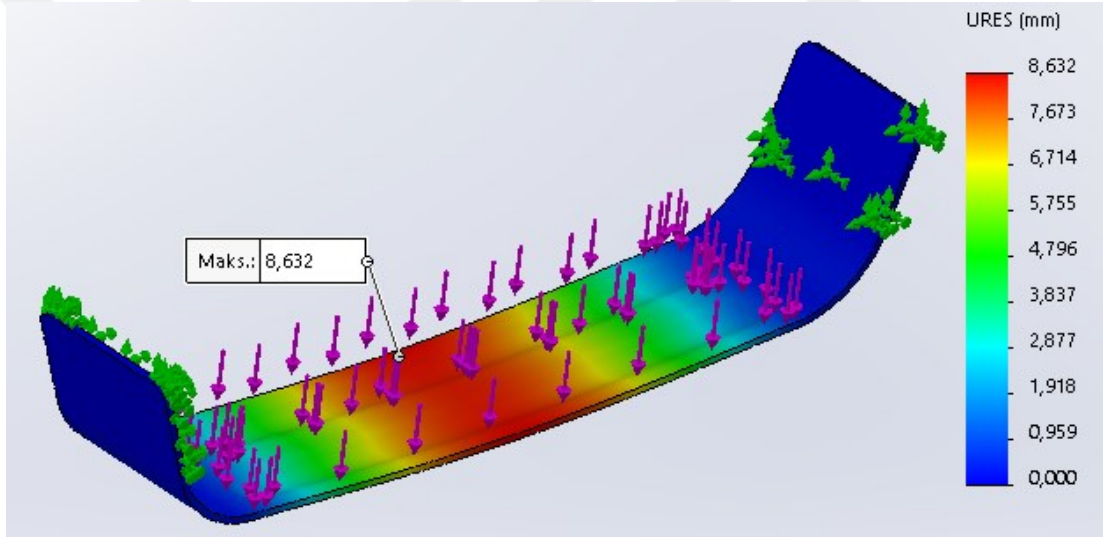
Şekil 3.11. Eski tasarım, maksimum gerilim analiz sonucu



Şekil 3.12. Eski tasarım, maksimum deformasyon analiz sonucu



Şekil 3.13. Yeni tasarım, maksimum gerilim analiz sonucu



Şekil 3.14. Yeni tasarım, maksimum deformasyon analiz sonucu

Eski federsiz tasarımdaki maksimum gerilme 283,70 MPa çıkmışken, yeni tasarımda bu 209,8 MPa olduğu görülmüştür. Maksimum yer değiştirme miktarı (sehim) ilk tasarımda 11,2 mm iken yeni federli tasarımda 8,6 mm'ye indiği görülmüştür. Daha az sehim miktarı ve daha rijit bir tasarım anlamına gelmektedir.

Geometrik tasarım çalışması sonucu %20'lik sehimde azalma oluşmuştur. Analiz incelendiğinde maksimum gerilmelerin ürünün kavisli kısımlarında olduğu görülmektedir. Tasarım iyileştirilerek bu gerilmeler azaltılabilir, dağıtılabilir. Test edilen malzeme AL2024-T351 olması ve akma mukavemeti 395 MPa olması nedeniyle ürün akma sınırları içerisinde. Bu nedenle plastik deformasyona maruz kalmayacağı nedeniyle bu yükü güvenle karşılayabildiği görülmektedir.

3.1.7. Kompozit malzeme sonlu elemanlar analizi simülasyonu

Kompozit prepreg olarak imal edeceğimiz ürünün analizi aşağıdaki şekilde yapılmıştır. KORDSA firmasından satın aldığımız E-Glass Fiber Şişecam WR6 2400dtex 600gr/m² takviyeli, KORDSA OM11 reçine oranı %35 olan prepreg kumaşın mekanik özellikleri ürün teknik kitapçığından alınarak malzeme bilgisine tanımlandı. Ürün teknik kitapçıkları Ek B ve Ek C.'de verilmiştir.

Kompozit prepreg malzememizin teorik kopma mukavemeti aşağıdaki gibi kompozit karışım kuralı hesabıyla hesaplanmıştır. Denklem (3.1)'de karışım formülü verilmiştir.

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \quad (3.1)$$

Kompozit kopma mukavemeti = Fiber kopma mukavemeti x % miktar + Reçine kopma mukavemeti x % miktar şeklindedir.

Denklem (3.1)'e göre E-Glass fiber prepreg kompozit kopma mukavemeti = 1950 MPa x %65 + 39 MPa x %35 = 1281,2 MPa olarak hesaplanmış ve girilmiştir. Bu değer teorik kopma mukavemetimizdir.

Bir diğer prepreg olan ve yine KORDSA firmasından tedarik ettiğimiz Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m² yoğunluklu, OM11 epoksi reçine oranı %37 olan prepreg kumaşın mekanik özellikleri ürün teknik kitapçığından alınarak malzeme bilgisine tanımlandı. Ürün teknik kitapçıkları Ek B ve Ek C.'de verilmiştir.

Diğer kompozit karbon fiber prepreg malzememizin teorik kopma mukavemeti Denklem (3.1) karışım kuralı ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

4200 MPa x %63 + 39 MPa x %37 = 2660,4 MPa karbon fiber prepreg teorik kompozit kopma mukavemeti olarak hesaplanmış ve girilmiştir.

Kabuk tanımından kompozit seçildikten sonra «kat» ayarları ayrıca seçildi.

3.1.7.1. Kompozit analiz parametreleri

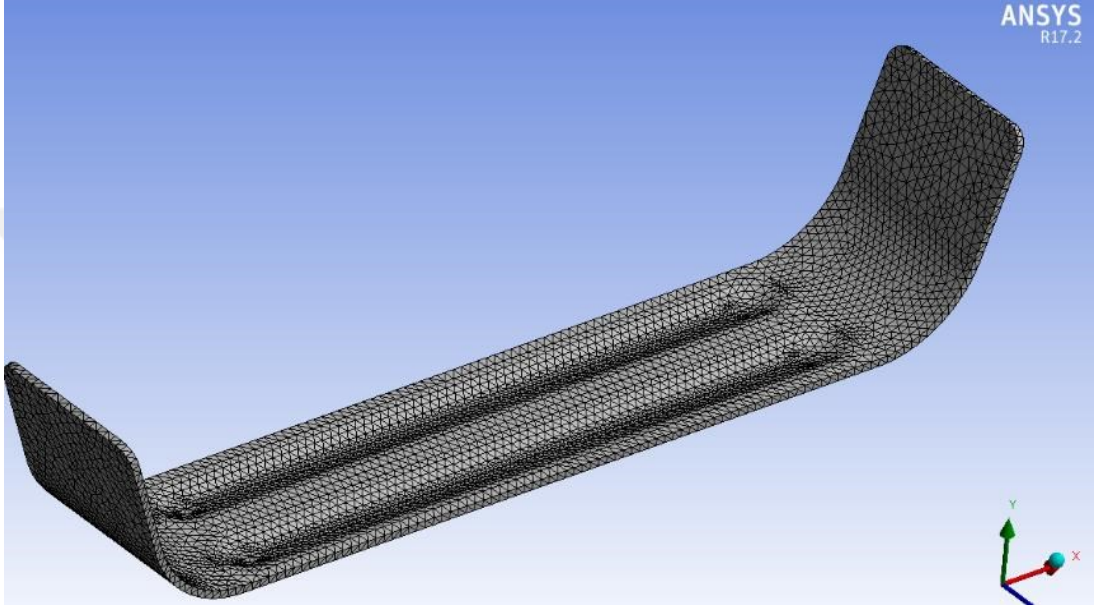
- Katların kalınlığı; her kat için ayrı ayrı girilebilir. Tek kat prepreg kumaş katı, kumpas ile 0,3mm olarak ölçüldü. Analiz sistemine girildi.

b. Katların açısı ve oryantasyonu; yapılan benchmark araştırmasında kompozit kayak gibi benzer ürünlerin imalatında UD 0° yönlü kumaşlar kullanıldığı tespit edildiğinden ve ek olarak gelen kuvvetlerin fiber yönünde sürekli olacağından ağırlıklı olarak unidirectional 0° yönlü kumaşların oryantasyonu öngörülmüştür. Ek olarak kayak ve snowboard gibi benzer ürün imalat katları incelendi. Genellikle plain kumaşlar ya da UD yanında, %20 civarında 90° oryantasyonlu katmanların tercih edildiği görüldü. Buradaki öngörüye göre gerçek kullanımda 90° yönlü gelebilecek kuvvetlere karşı dayanım için %20 civarında takviye konulması öngörüldü. Hedef olarak hafiflik ve mukavemetin korunması amacıyla birkaç adet ön basit analizler yapıldı. Çıkan gerilmelere göre kaç kat prepreg malzemeye ihtiyaç duyabileceğimiz şekillendi. Nihai olarak min. ağırlık optimum mukavemet yakalanabilecek 9 katlı bir cam elyaf dizilimi analizinin uygun olduğu ön görülmüştür.

Kat	Kalınlık	Açı	Malzeme
1	0.3	0	E-Glass Fiber Şişeca
2	0.3	90	E-Glass Fiber Şişeca
3	0.3	0	E-Glass Fiber Şişeca
4	0.3	0	E-Glass Fiber Şişeca
5	0.3	0	E-Glass Fiber Şişeca
6	0.3	0	E-Glass Fiber Şişeca
7	0.3	0	E-Glass Fiber Şişeca

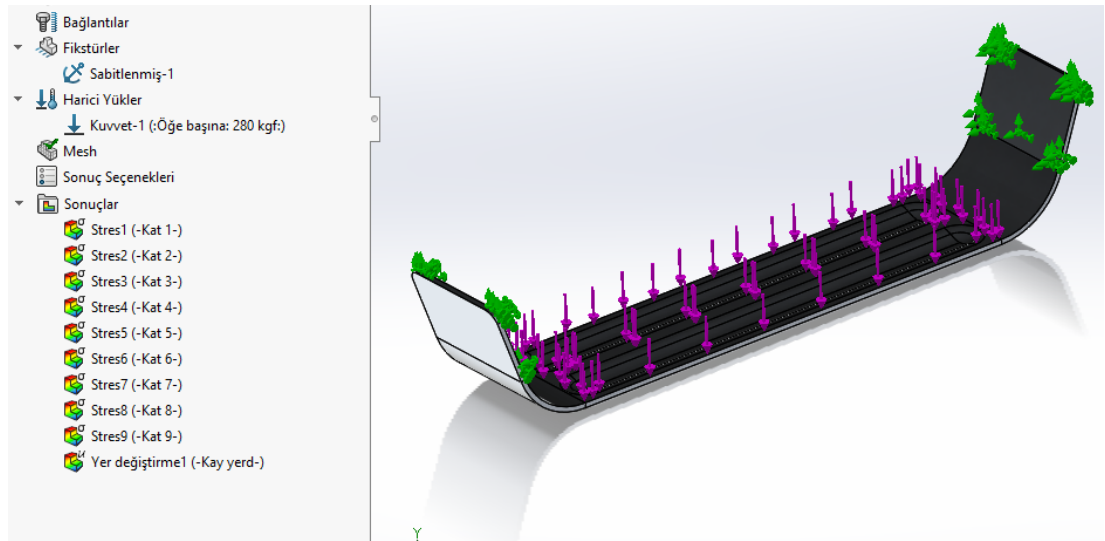
Şekil 3.15. Kompozit analizinde parametre tanımlamaları

- c. Her kat için ayrı malzemeler seçilebilir.
- d. Katların simetrik olup olmamasına göre kompozit parametreleri ayarlanabilir.
Oryantasyon olarak $[0/90/0_5/90/0]$ diziliminde simetrik bir yerleşim yapılmıştır.
- e. Simülasyon programında sandviç konstrüksiyon olup olmadığı girilebilmektedir.
Bizim uygulamamız sandviç konstrüksiyon değildir.
- f. Toplam kat sayısı 9 kat olarak belirlenmiştir.



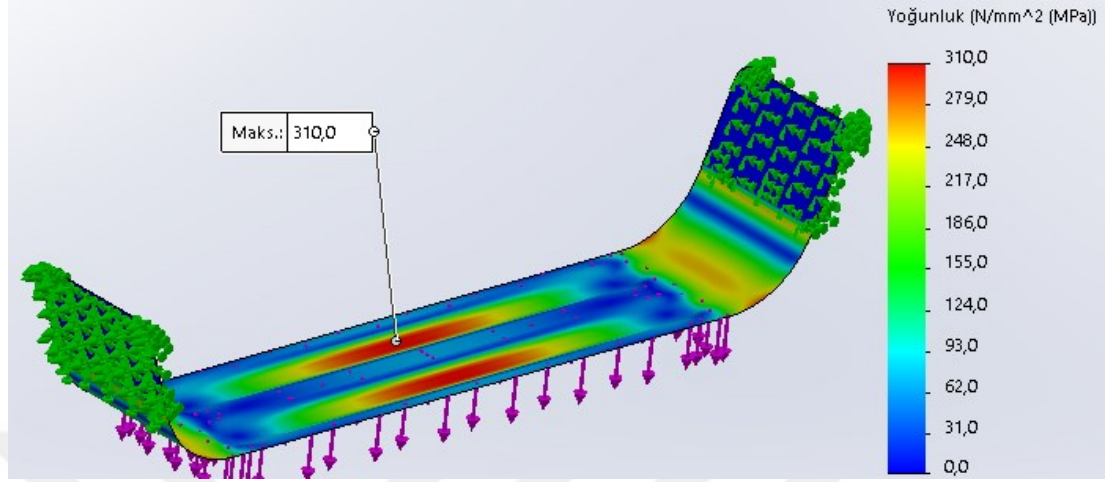
Şekil 3.16. Kompozit analiz modelin mesh edilmesi

Statik testte 2024-T351 Alüminyum model üzerine uygulanan kuvvet ve diğer parametreler sabit olarak alındı.

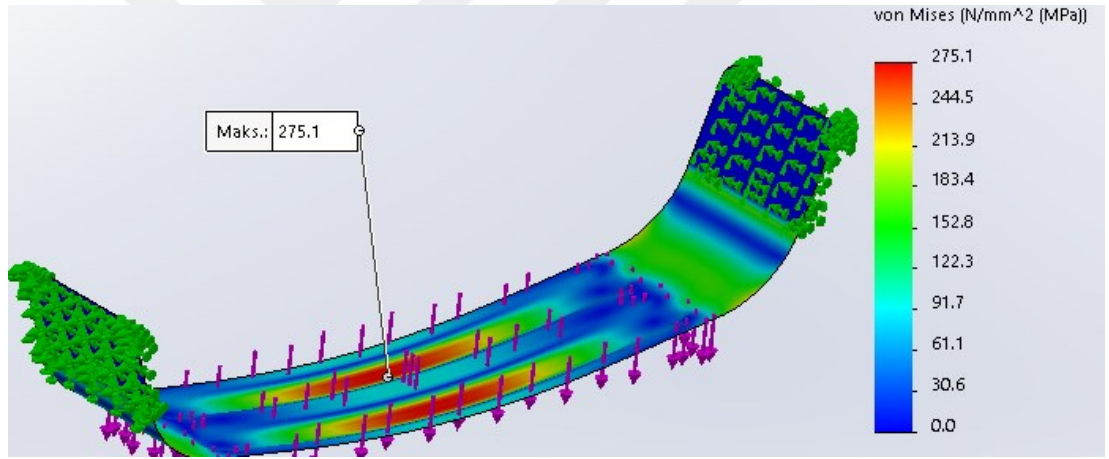


Şekil 3.17. Modele uygulanan yük doğrultusu, sabit noktaları

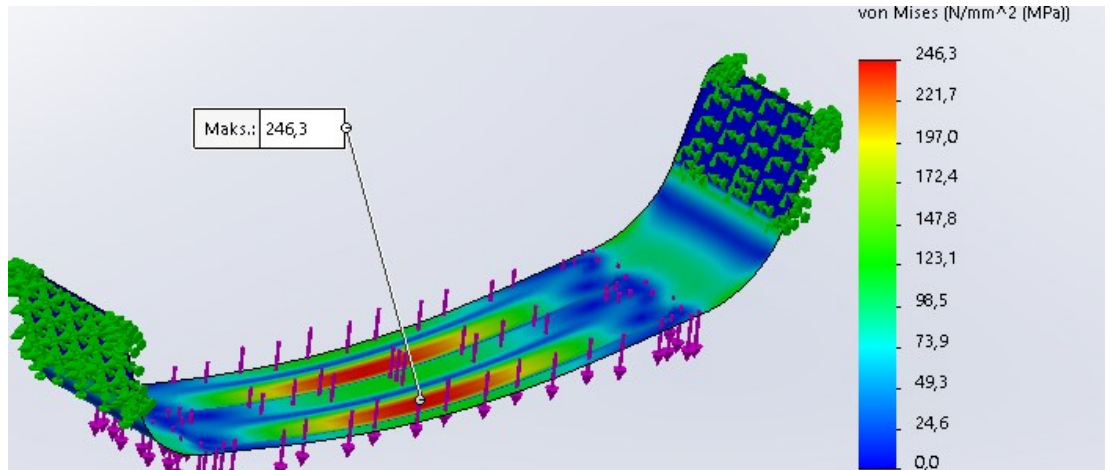
Analiz başlatıldı ve tamamlandı. Tamamlandıktan sonra kat kat ayrı olarak oluşan gerilmeler incelendi. Katlarda oluşan gerilmeler Şekil 3.18 ve devamında verilmiştir.



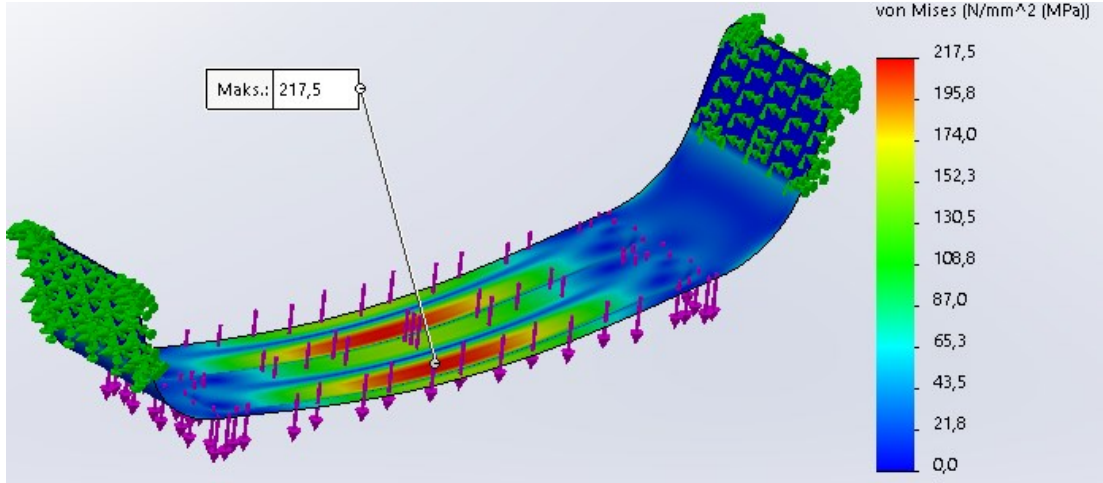
Şekil 3.18. E-Glass prepreg 1. kat maksimum gerilme 310,0 MPa



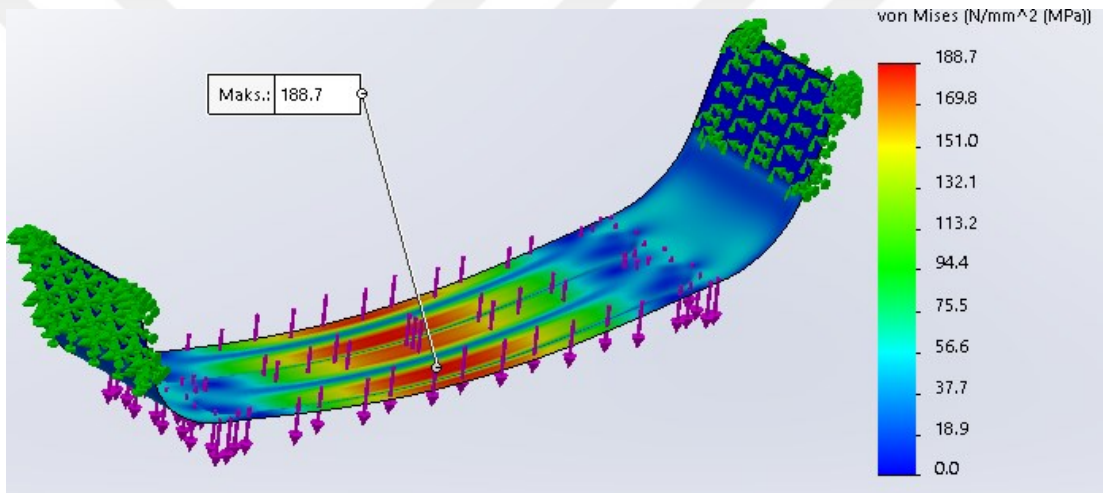
Şekil 3.19. E-Glass prepreg 2.kat maksimum gerilme 275,1 MPa



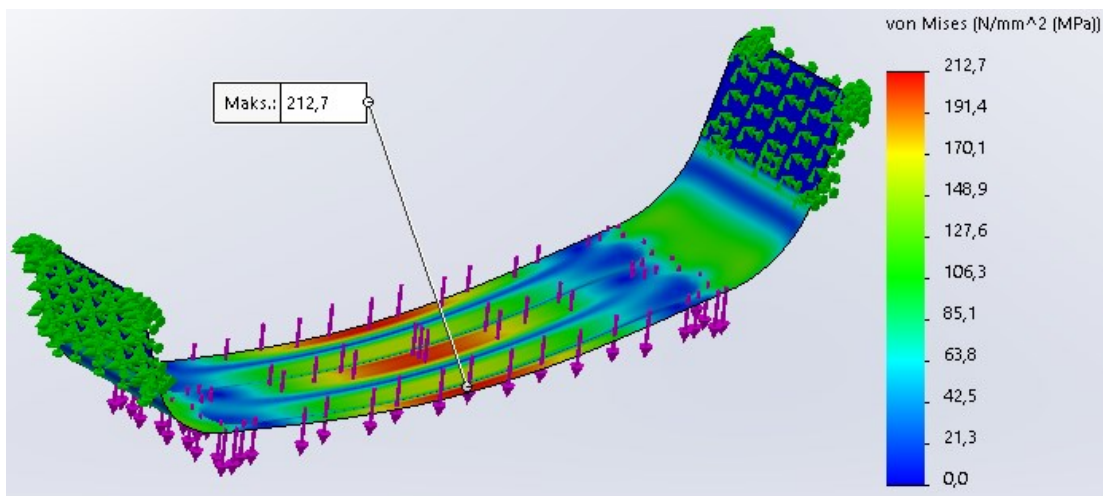
Şekil 3.20. E-Glass prepreg 3.kat maksimum gerilme 246,1 MPa



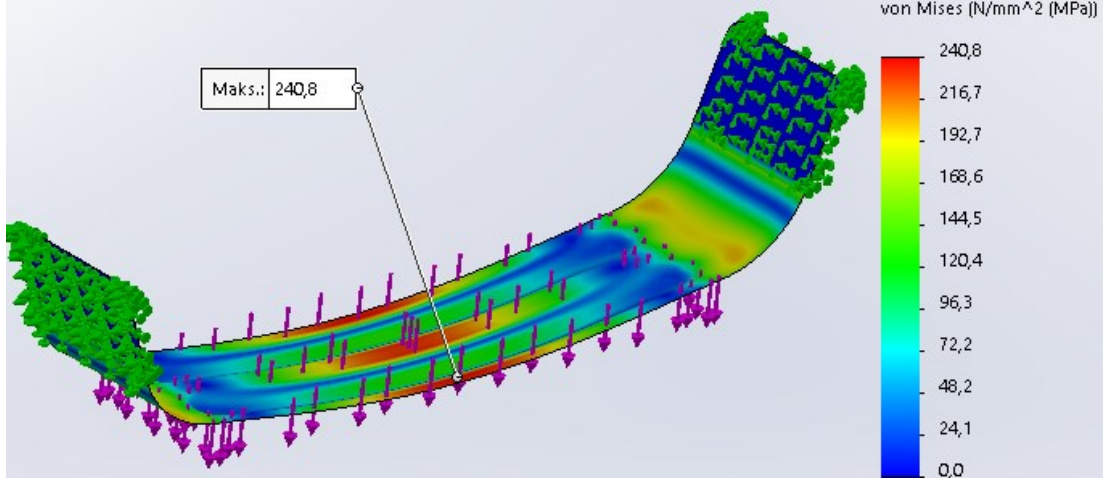
Şekil 3.21. E-Glass prepreg 4.kat maksimum gerilme 217,5 MPa



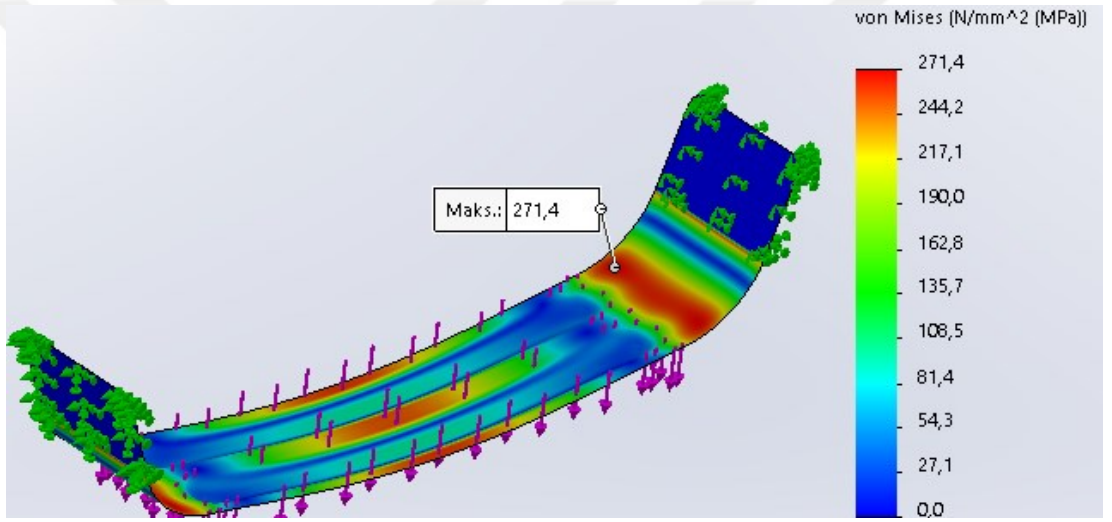
Şekil 3.22. E-Glass prepreg 5.kat maksimum gerilme 188,70 MPa



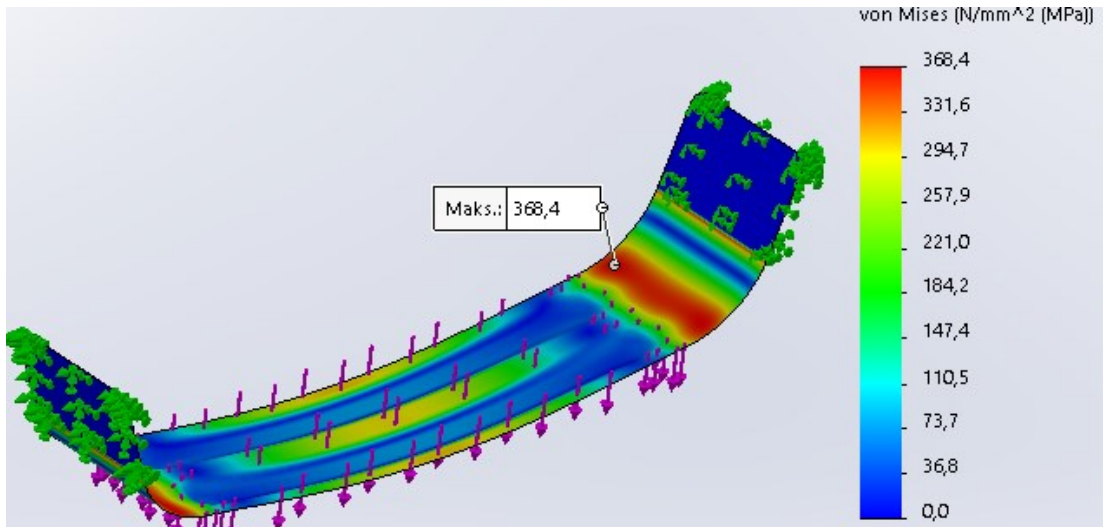
Şekil 3.23. E-Glass prepreg 6.kat maksimum gerilme 212,70 MPa



Şekil 3.24. E-Glass prepreg 7.kat maksimum gerilme 240,80 MPa



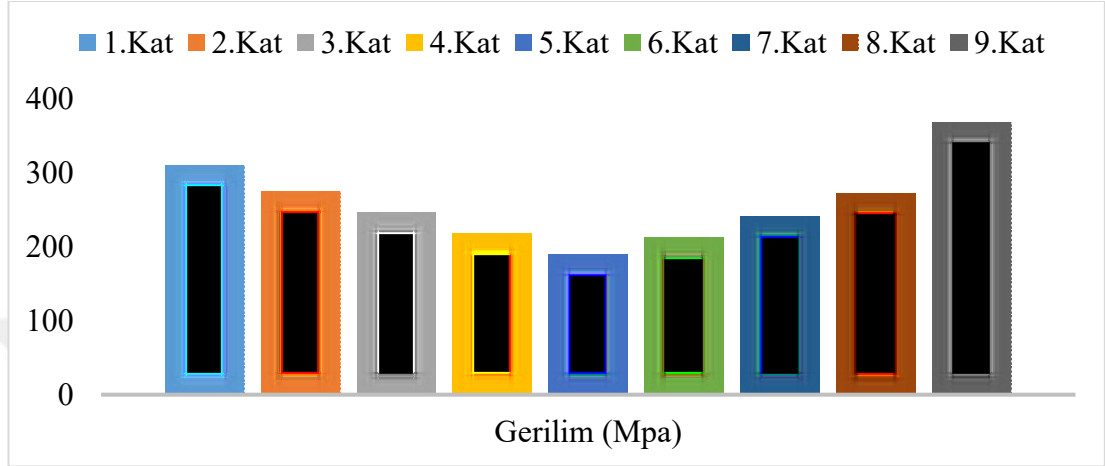
Şekil 3.25. E-Glass prepreg 8.kat maksimum gerilme 271,4 MPa



Şekil 3.26. E-Glass prepreg 9.kat maksimum gerilme 368,40 MPa

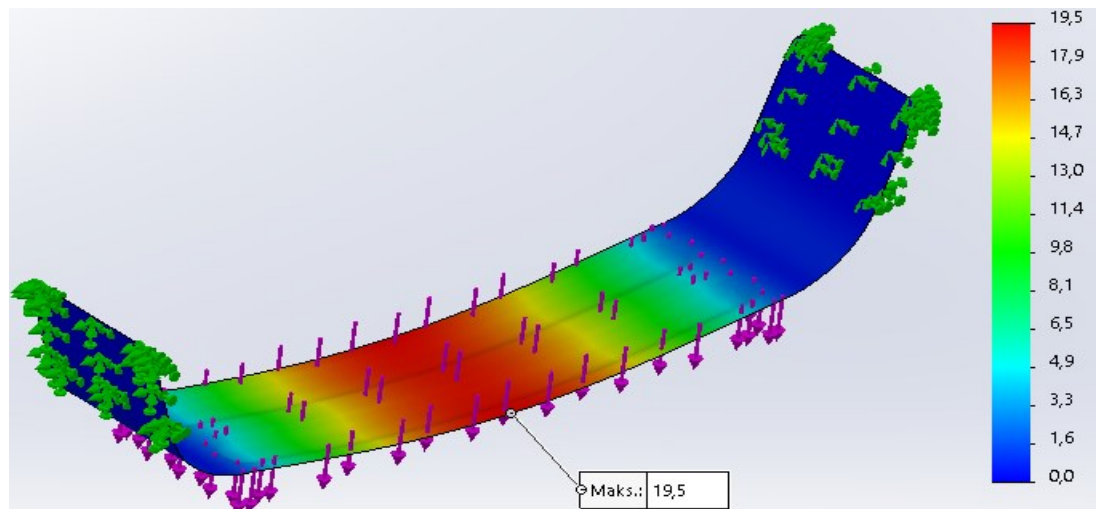
Tablo 3.2. Katlardaki gerilme miktarları (MPa)

1.Kat	2.Kat	3.Kat	4.Kat	5.Kat	6.Kat	7.Kat	8.Kat	9.Kat
310,0	275,1	246,3	217,50	188,70	212,70	240,80	271,40	368,4



Şekil 3.27. E-Glass prepeg analizi katlardaki gerilme miktarları grafiği

Bu analiz sonucuna göre 5. kat olan orta kata en az yükün geldiği, en üstteki prepeg katın basmaya, en alttaki prepeg katın ise çekmeye çalıştığı; bu kuvvetlerin etkili olduğunu ve buralarda maksimum gerilmelere maruz kalındığını görülmüştür. Oluşan maksimum gerilme olan 368,40 MPa lık gerilme, prepeg malzememizin teorik kopma mukavemetinin (1281,2 MPa) altında olması nedeniyle yeterli mukavemeti gösterecek ve ürün kırılmayacaktır. Yapılan analize göre oluşacak teorik yer değiştirme miktarı, sehim 19,5mm olacaktır.



Şekil 3.28. E-Glass prepeg kompozitte oluşan maksimum yer değiştirme

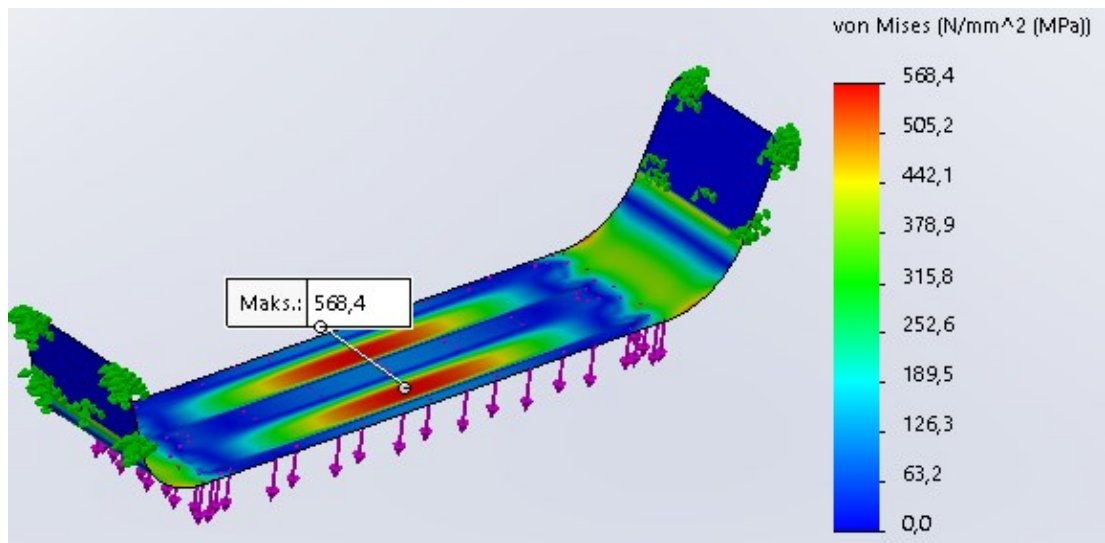
Bu bilgiden yola çıkarak daha az mukavemete ihtiyaç duyduğumuz ara kata E-Glass cam elyaf prepreg, en üst ve en alt katlara ise daha fazla mukavemet ihtiyacımızı karşılayabilecek karbon fiber prepreg kullanılması öngörülmüştür. Bu öngörüye göre analiz tekrar edilmiştir.

3.1.7.2. Karbon fiber prepreg - E-Glass fiber prepreg kumaşların karışımı kompozit malzemenin sonlu elemanlar analizi simülasyonu

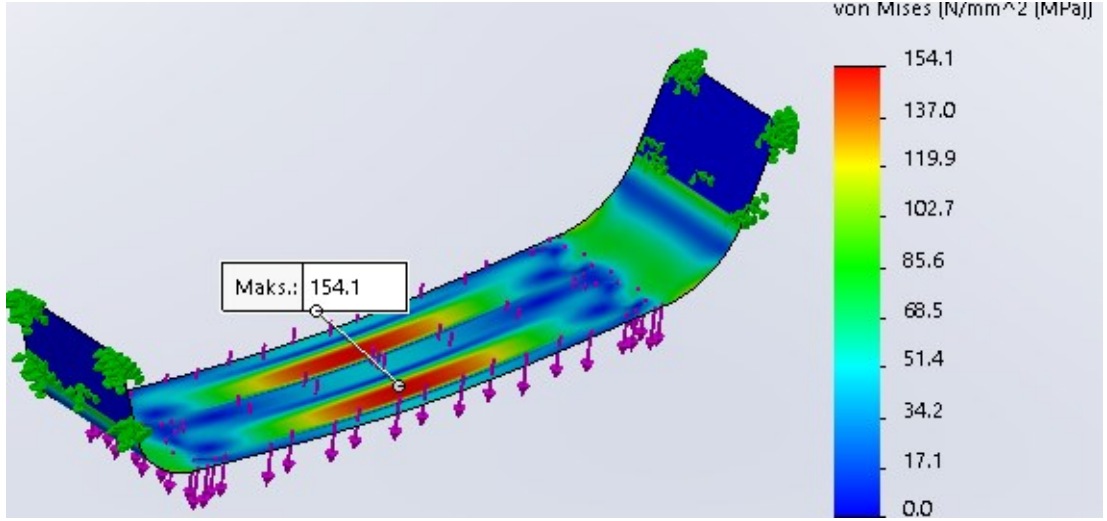
Analiz dizilimi Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Karbon fiber – E-Glass fiber prepreg analiz laminasyon tablosu

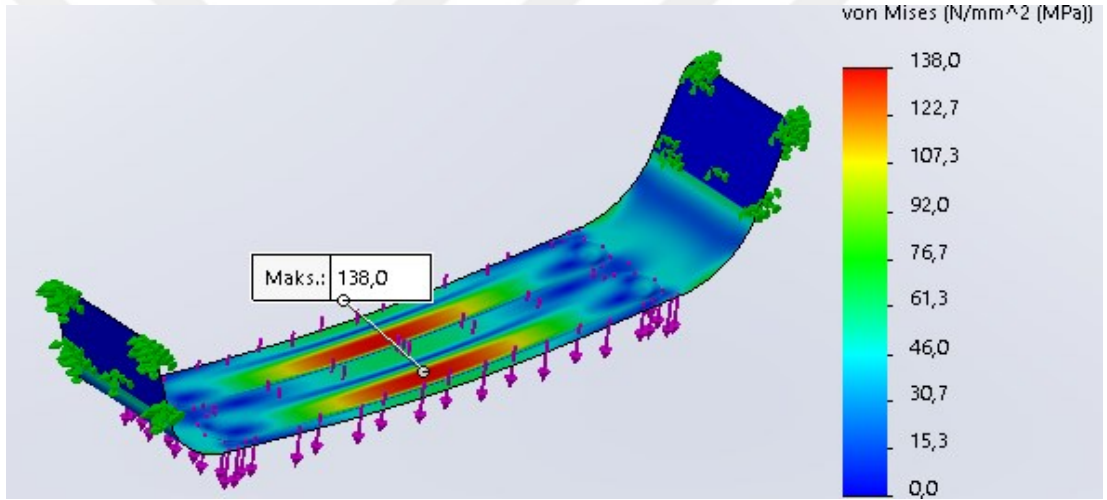
Kat sayısı	Oryantasyon	Malzeme
1	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepreg
2	90°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
3	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
4	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
5	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
6	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
7	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
8	90°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
9	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepreg



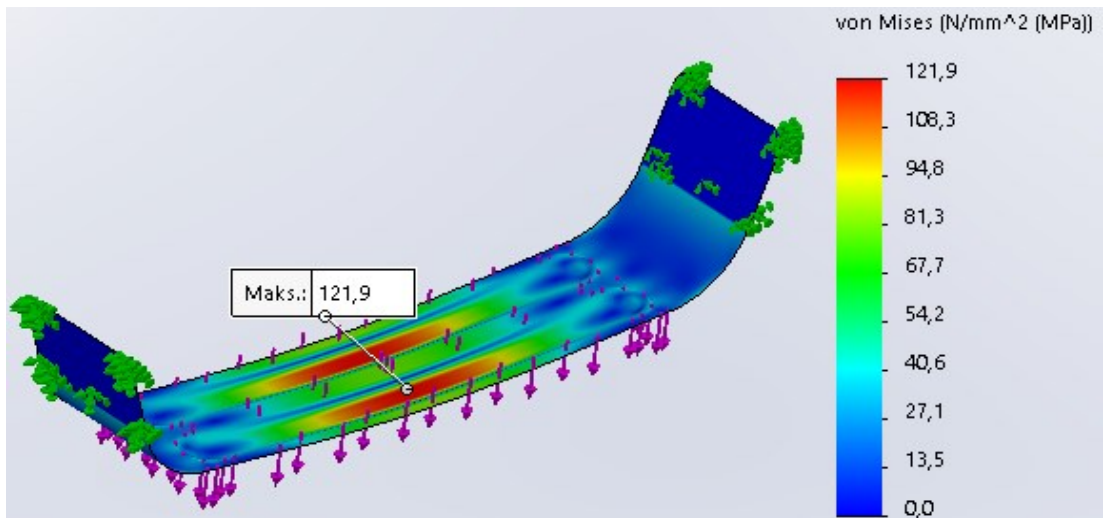
Şekil 3.29. 1.kat karbon fiber prepreg maksimum gerilme 568,40 MPa



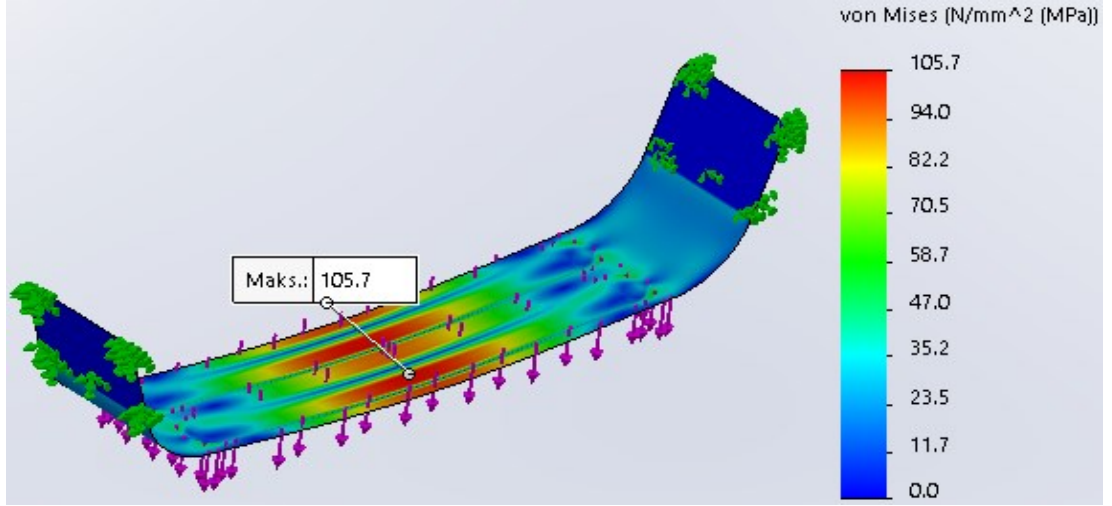
Şekil 3.30. 2.kat E-Glass fiber prepreg maksimum gerilme 154,10 MPa



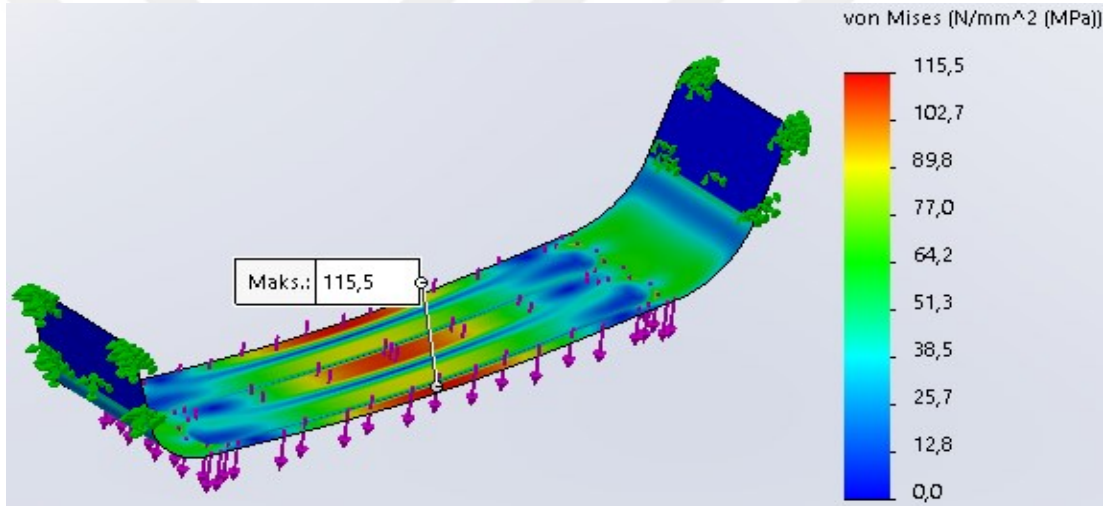
Şekil 3.31. 3.kat E-Glass fiber prepreg maksimum gerilme 138,00 MPa



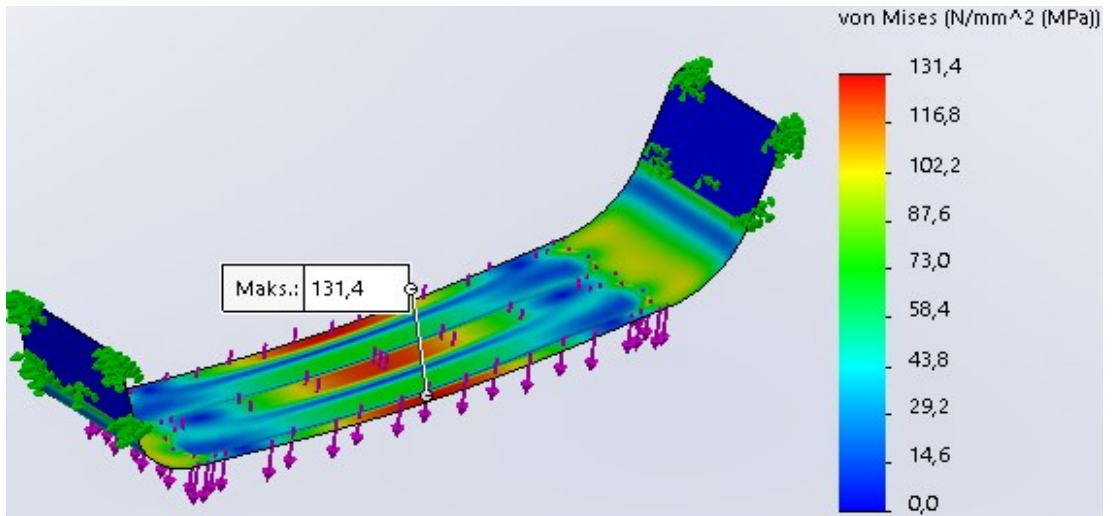
Şekil 3.32. 4.kat E-Glass fiber prepreg maksimum gerilme 121,90 MPa



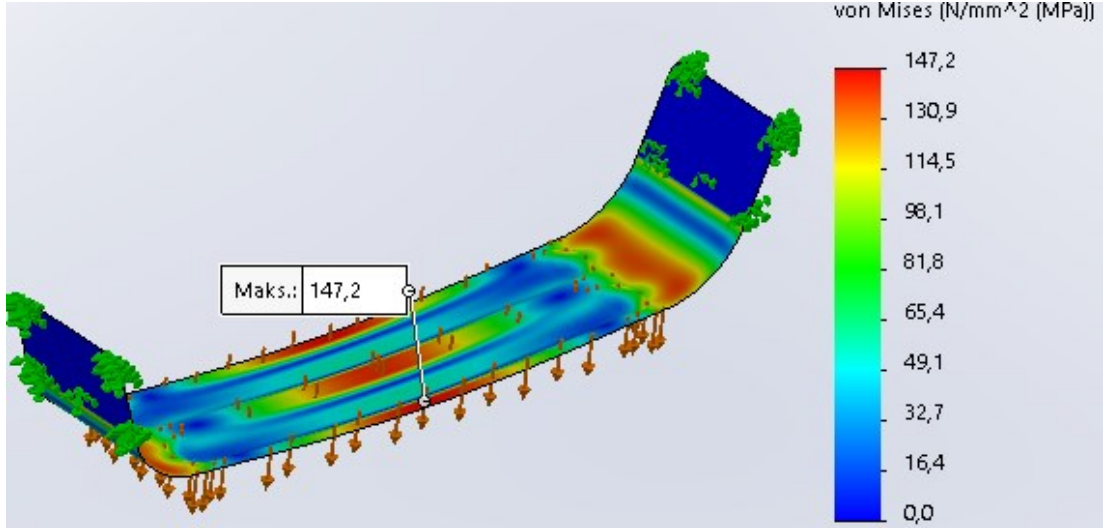
Şekil 3.33. 5.kat E-Glass fiber prepeg maksimum gerilme 105,70 MPa



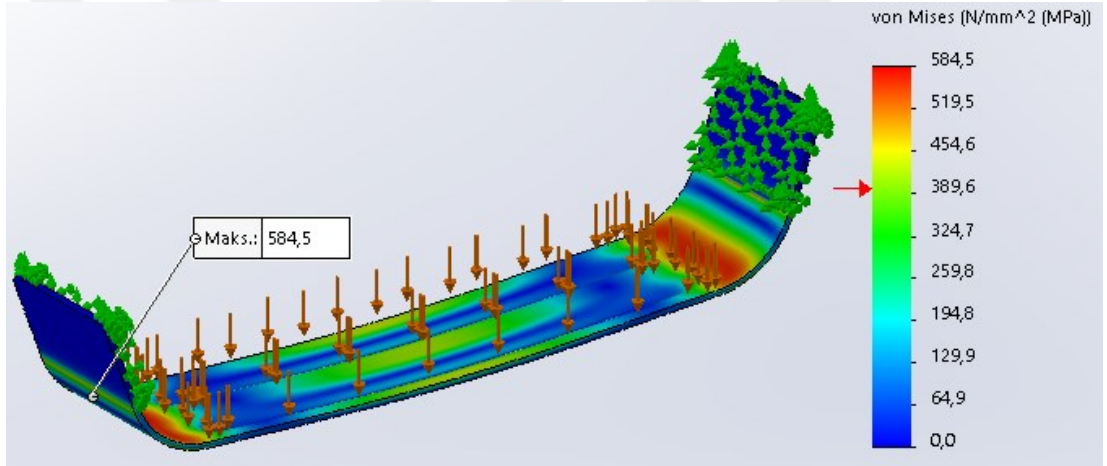
Şekil 3.34. 6.kat E-Glass fiber prepeg maksimum gerilme 115,5 MPa



Şekil 3.35. 7.kat E-Glass fiber prepeg maksimum gerilme 131,4 MPa



Şekil 3.36. 8.kat E-Glass fiber prepreg maksimum gerilme 147,2 MPa

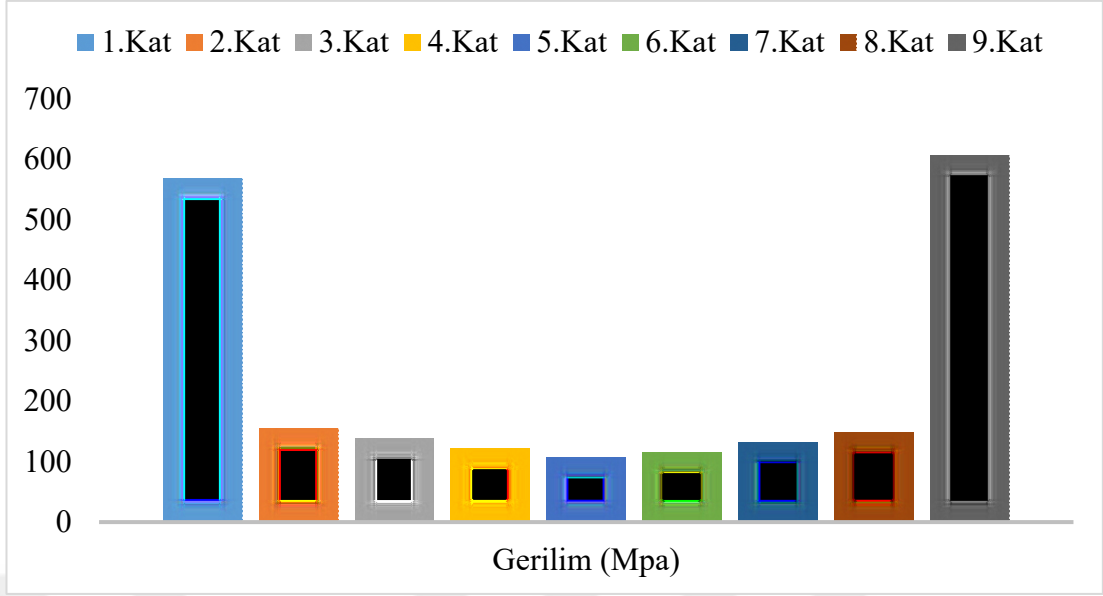


Şekil 3.37. 9.kat Karbon fiber prepreg maksimum gerilme 584,5 MPa

Katlardaki gerilme miktarları Tablo 4.4' de verilmiştir.

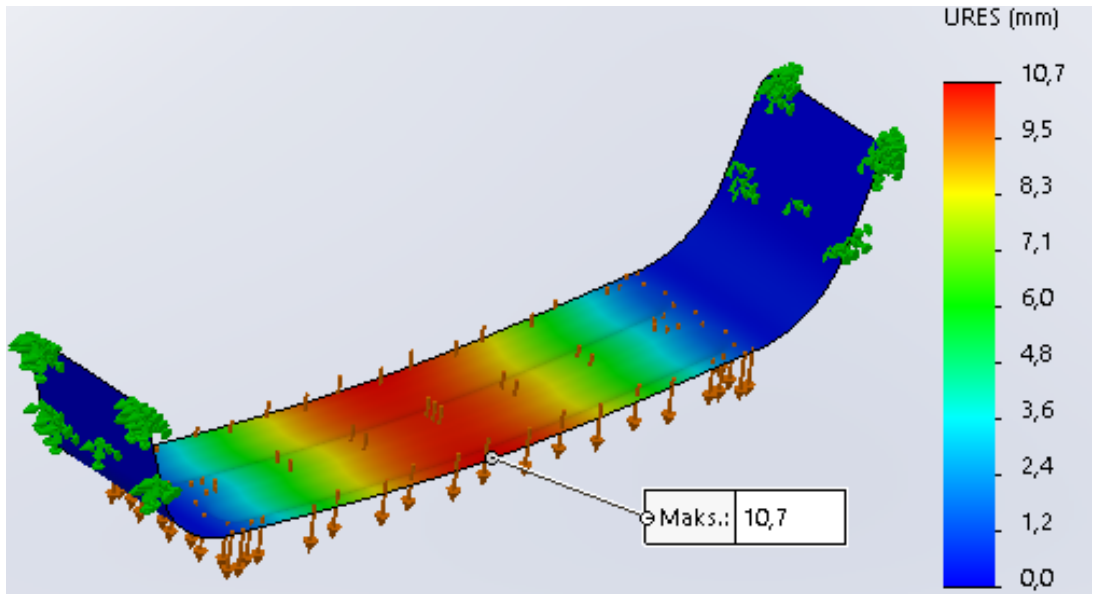
Tablo 3.4. Karbon fiber – E-Glass fiber prepreg analizi katlardaki gerilmeler

1.Kat	2.Kat	3.Kat	4.Kat	5.Kat	6.Kat	7.Kat	8.Kat	9.Kat
568,4	154,1	138,0	121,90	105,70	115,50	131,4	147,20	584,5



Şekil 3.38. Karbon fiber - E-Glass fiber prepreg analizi katlardaki gerilme miktarları

Bu analiz sonucuna göre 1. ve 9. katlarda maksimum gerilmeler oluşmaktadır. Karbon fiber prepregler rijitlikleri nedeniyle eğme kuvvetleri karşısında yüzey gerilmeleri artarken, daha rijit yapısı nedeniyle yer değiştirme yani sehim miktarının minimize olduğu görülmüştür. Karbon fiber prepreg katlarında oluşan ve E-Glass fiber prepreg katlarında oluşan maksimum gerilmeler teorik kopma mukavemetlerinin altında olması nedeniyle, yeterli mukavemeti gösterecek ve ürün kırılmayacaktır.



Şekil 3.39. E-Glass fiber ve karbon fiber prepreg kompozitte oluşan maksimum sehim miktarı

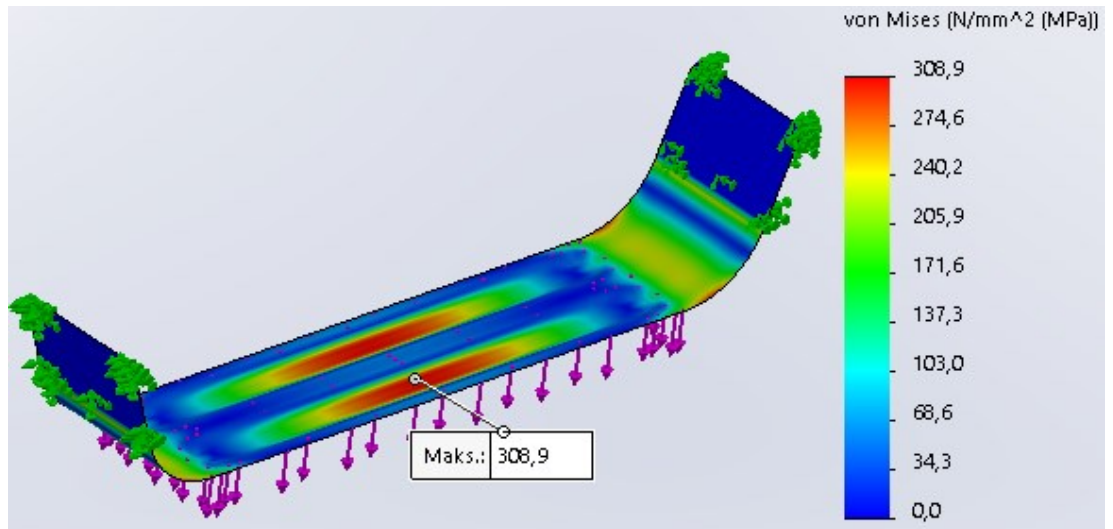
Yapılan analize göre oluşacak teorik yer değiştirme miktarı sehim 10,7 mm olacaktır. Sadece 2 kat karbon fiber prepeg ekleyerek; tamamı E-Glass fiber prepeg haline göre %45 teorik sehim azaltılmıştır. Mevcut ürün (alüminyum iskeletli) statik analizinde meydana gelen teorik sehim miktarı olan 11,2mm'den 0,5mm daha az sehim oluşturarak, teorik olarak daha rijit bir yapı olduğunu göstermektedir. Tüm katların karbon fiber prepeg olarak analizi ayrıca gerçekleştirilmiştir.

3.1.7.3. Karbon fiber prepeg kompozit malzemenin sonlu elemanlar analizi simülasyonu

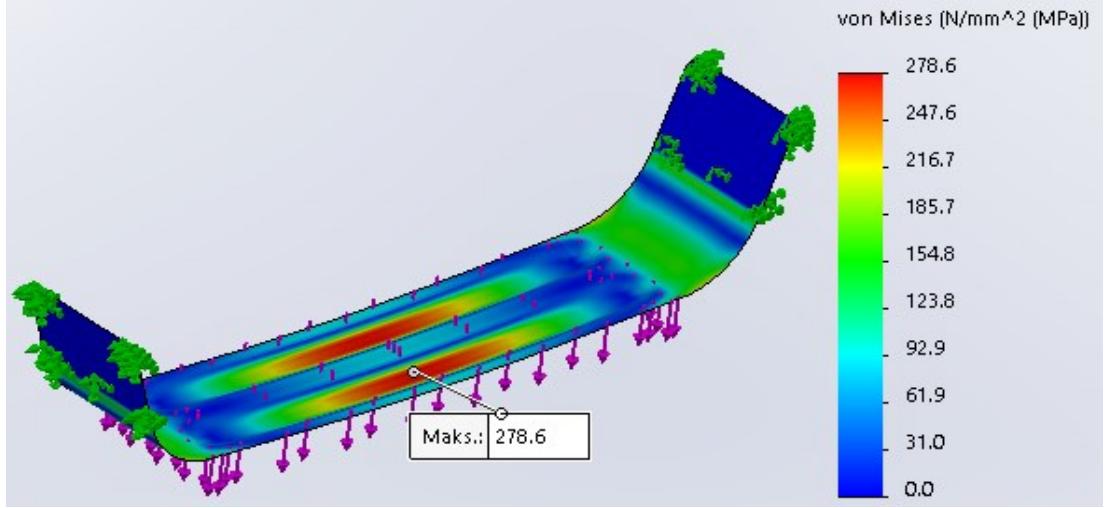
Analiz dizilimi Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Karbon fiber prepeg analiz laminasyon tablosu

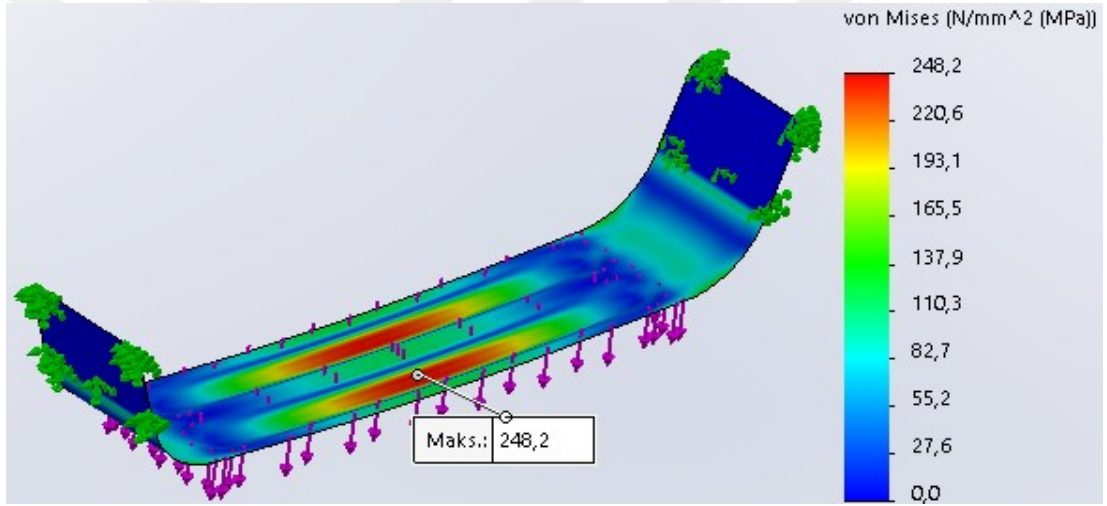
Kat sayısı	Oryantasyon	Malzeme
1	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
2	90°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
3	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
4	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
5	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
6	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
7	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
8	90°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
9	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg



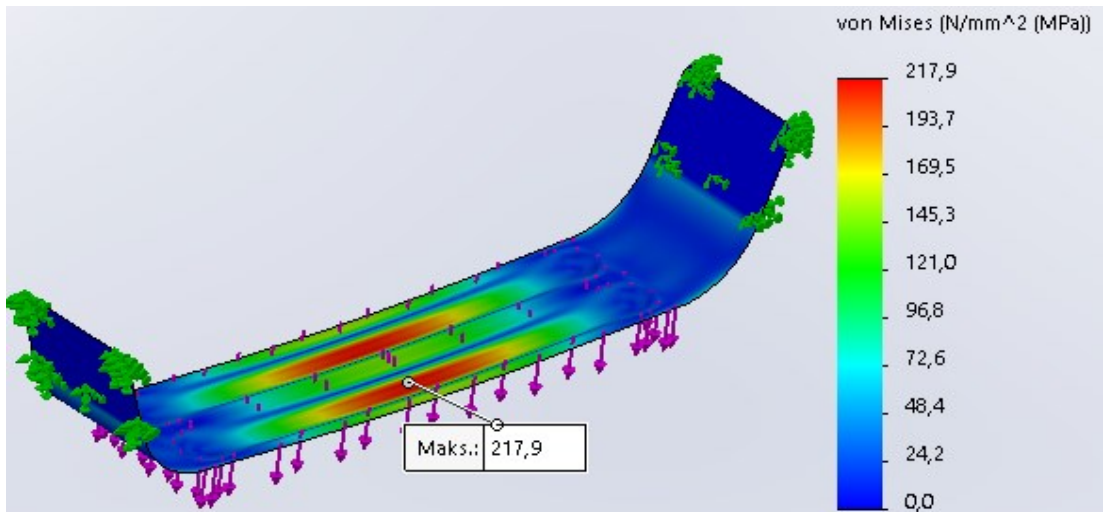
Şekil 3.40. 1.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 308,9 MPa



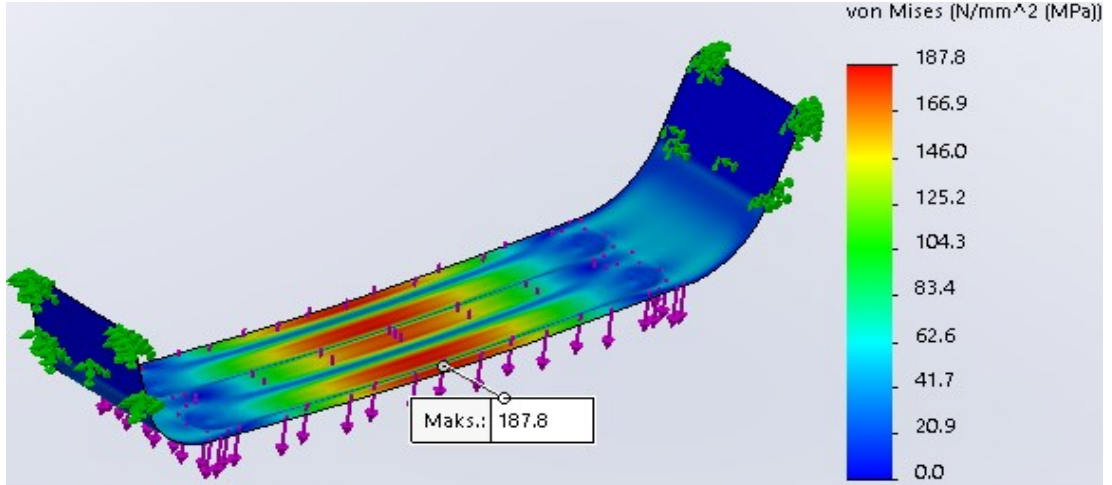
Şekil 3.41. 2.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 278,60 MPa



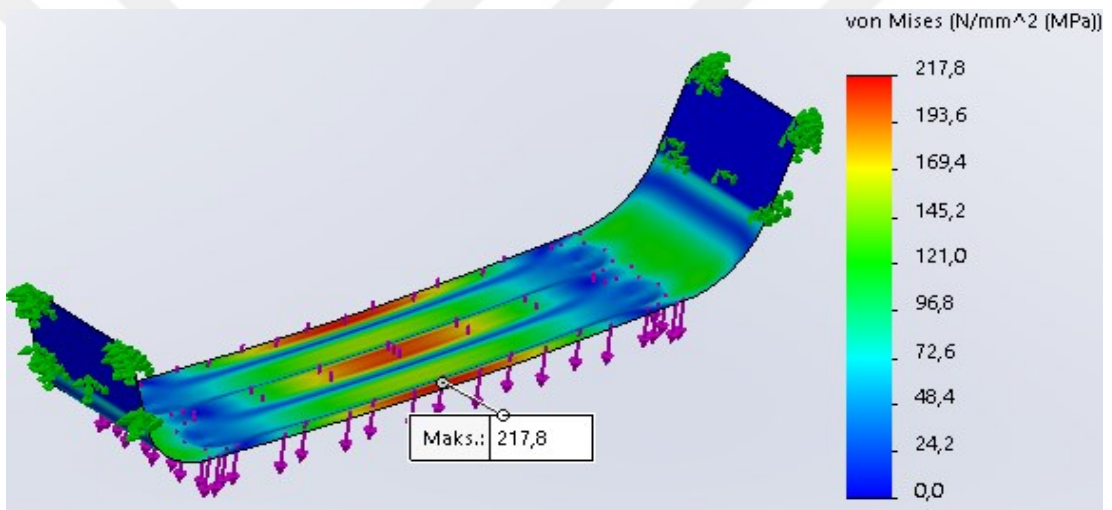
Şekil 3.42. 3.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 248,20 MPa



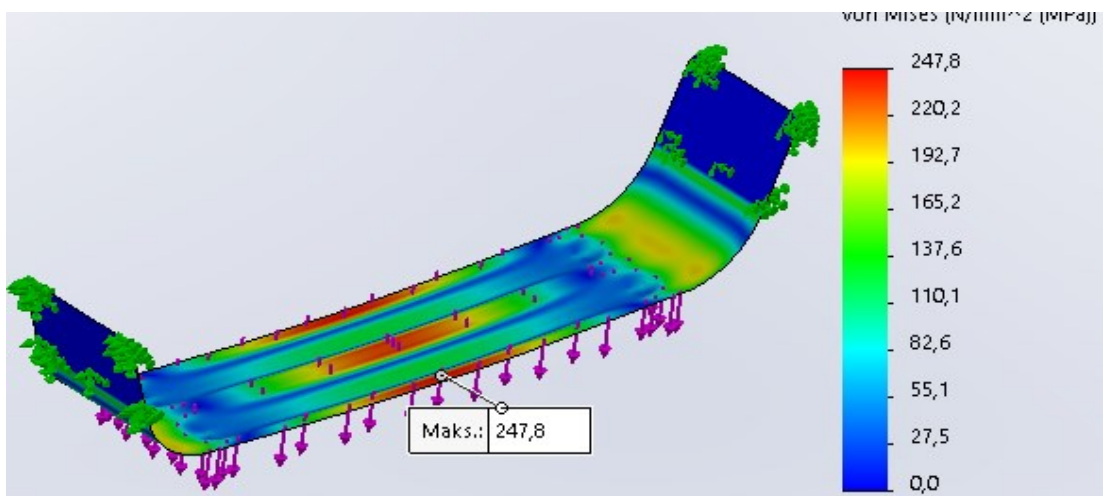
Şekil 3.43. 4.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 217,90 MPa



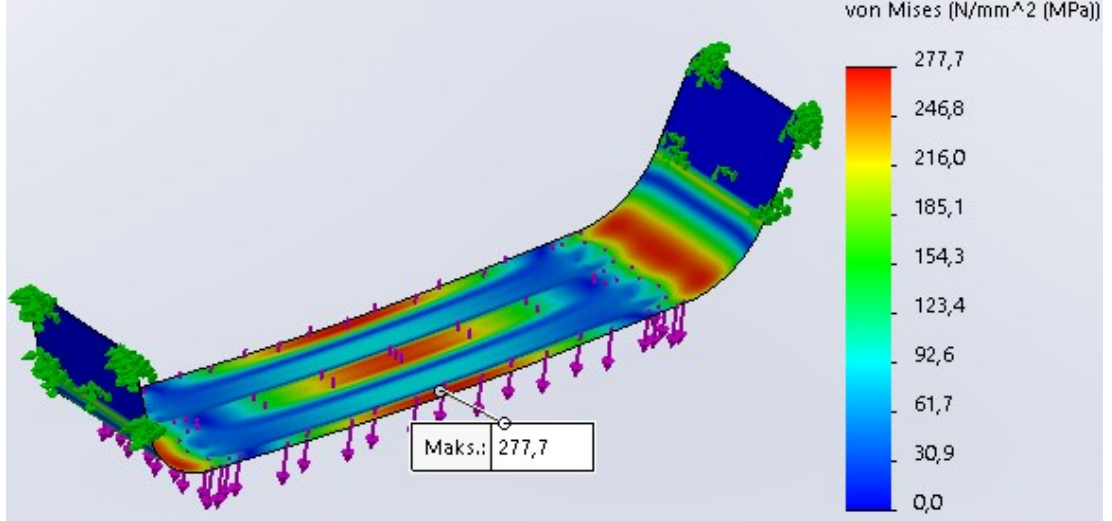
Şekil 3.44. 5.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 187,80 MPa



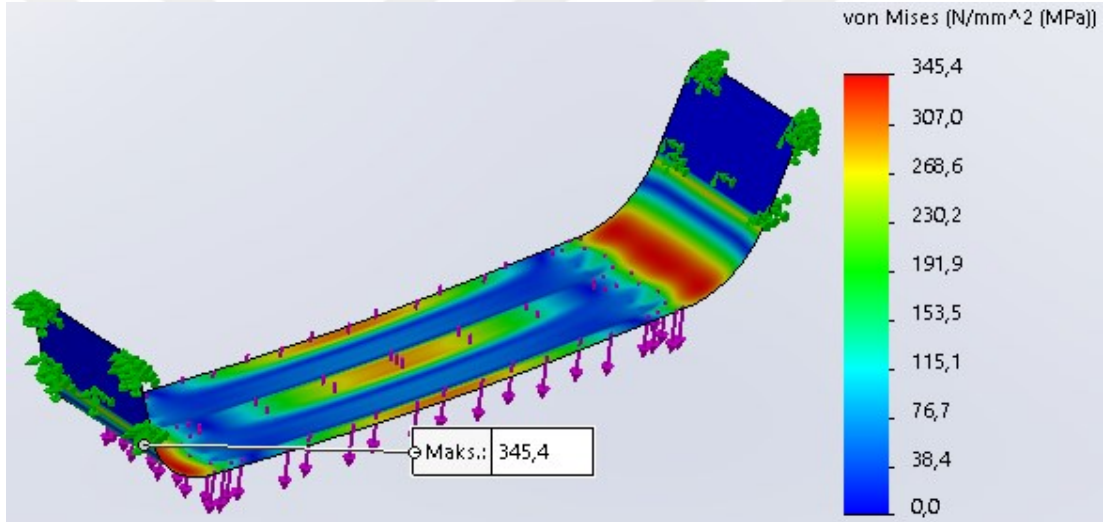
Şekil 3.45. 6.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 217,8 MPa



Şekil 3.46. 7.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 247,8 MPa



Şekil 3.47. 8.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 277,7 MPa



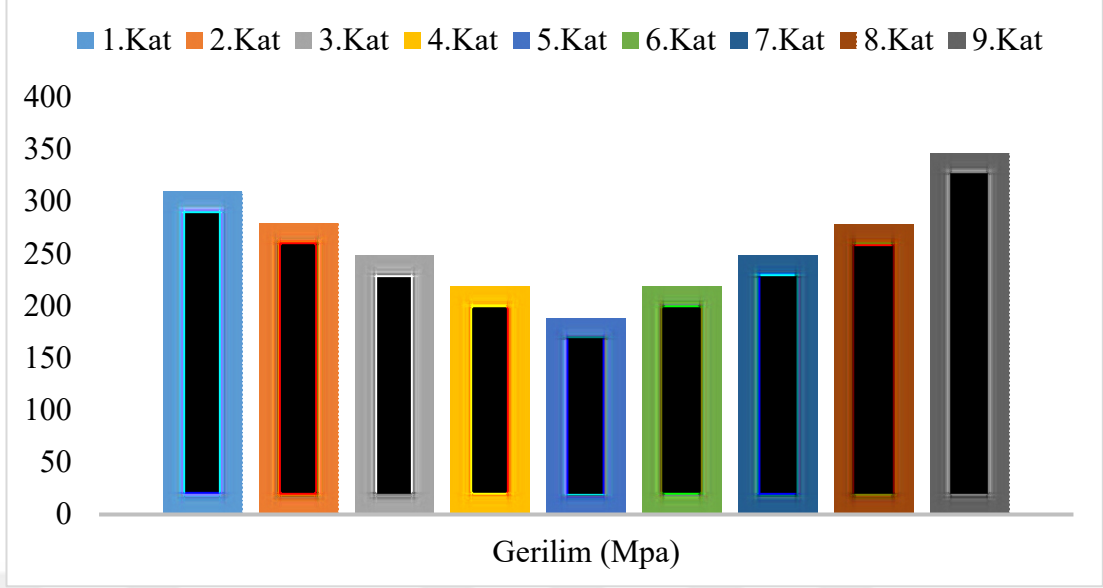
Şekil 3.48. 9.kat karbon fiber prepeg maksimum gerilme 345,4 MPa

Katlardaki gerilme miktarları Tablo 3.6'da verilmiştir.

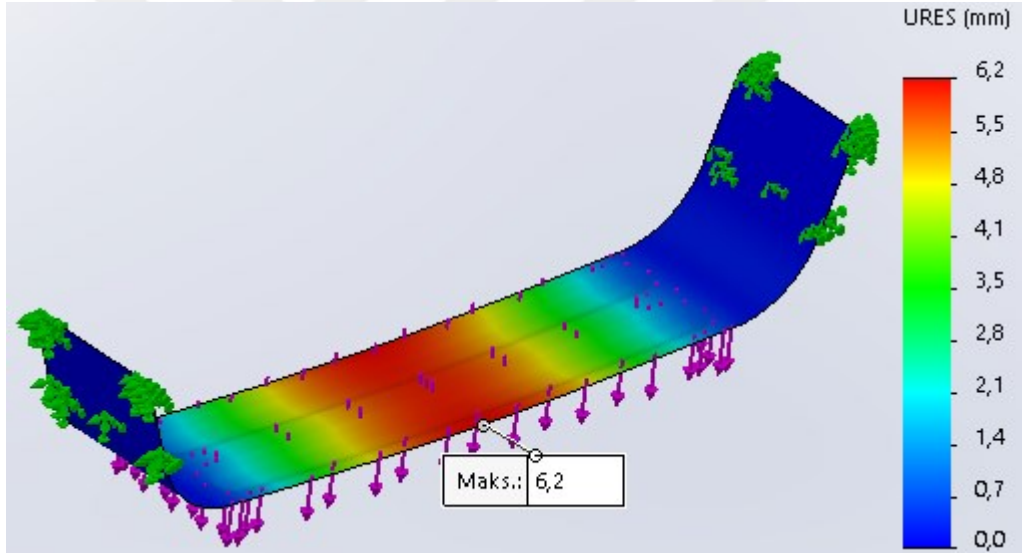
Tablo 3.6. Karbon fiber prepeg analizi katlardaki gerilim miktarları (MPa)

1.Kat	2.Kat	3.Kat	4.Kat	5.Kat	6.Kat	7.Kat	8.Kat	9.Kat
308,9	278,6	248,2	217,9	187,8	217,8	247,8	277,7	345,4

Analizde oluşan maksimum gerilmeler karbon fiber prepeg teorik kopma mukavemetlerinin altında olması nedeniyle, yeterli mukavemeti gösterecek ve ürün kırılmayacaktır.



Şekil 3.49. Karbon fiber prepreg analizi katlardaki gerilme miktarları grafiği



Şekil 3.50. Karbon fiber prepreg kompozitte oluşan sehim miktarı

Yapılan analize göre oluşacak teorik yer değiştirme miktarı, sehim 6,2 mm olacaktır. Tamamı E-Glass fiber prepreg ile tamamı karbon fiber prepreg kumaşlarla yapılan kompozitlerin sehim farkları %70 iyileşme olarak görülmektedir.

Yapılan simülasyon analizindeki uygulamaların aynı şartlarda gerçek numune imalatları yapılmıştır.

4. NUMUNE ÇALIŞMALARI

Bölüm 3’de ele alınan simülasyonlardan yola çıkarak aynı şartlarda gerçek numune çalışmaları E-Glass fiber prepreg ve karbon fiber prepreg malzemeler kullanılarak gerçekleştirildi.

4.1. E-Glass Fiber Prepreg Numune Üretim Aşamaları

i. Kalıp temizliği

Kalıp temiz bir bez ile ve temizleme solüsyonuyla iyice silinip temizlendi.



Şekil 4.1. Kalıp temizliği

ii. Kalıp ayırıcı wax uygulanması

Prepreglerin kurlenme sonrası kalıp yüzeyinden rahat ayrılabilmesi için kalıp ayırıcı wax sürüldü.



Şekil 4.2. Kalıp ayırıcı wax uygulaması

iii. Prepreglerin serimi

E-Cam takviyeli %35 epoxy reçineli 600 gr/m² prepreg ürünler KORDSA'dan temin edildi. Elektrikli kumaş kesim makası ile tasarım ölçülerinde kesildi ve hazırlandı.



Şekil 4.3. Prepreglerin serilmesi

7 tane UD (unidirectional) 0° yönünde ve 2 tane UD 90° yönünde olmak üzere toplamda 9 kat serim gerçekleştirilerek gerçek boyutlarda 4 adet numuneler üretilmiştir. Oturağa kullanım sırasında fiber yönünde ana yükler gelmekte iken, askıda ve sürekli hareketli bir yapıda kullanılacağından dolayı dik yönde de farklı kuvvetler kullanıcı tarafından uygulanabileceği düşünülmüştür. Bundan yola çıkılarak 90° yönünde de katkı sağlanması gereği ile 90° yönünde de simetrik olacak şekilde kat eklendi.

Tablo 4.1. E-Glass fiber prepreg numune laminasyonu

Kat sayısı	Oryantasyon	Malzeme
1	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
2	90°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
3	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
4	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
5	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
6	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
7	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
8	90°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg
9	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepreg



Şekil 4.4. Prepreglerin serilmesi



Şekil 4.5. Prepreglerin serilmesi

iv. Fırına yerleştirilmesi



Şekil 4.6 Kalıbın fırına yerleştirilmesi

v. Termokulbun üst kalıba montajı

Daha önceki birkaç denemede fırın sıcaklığı reçineye uygun optimum fırın sıcaklığında olmasına karşın, kürlenme tam anlamıyla sağlanamadı. Çıkan numune

hala yumuşak bir yapıdaydı. Kalıbın iç sıcaklığının net ölçülemediği, kalıbın kesitinin kalın olması nedeniyle ısı iletiminin yavaş olması gibi nedenlerden dolayı kürlenmenin tam anlamıyla gerçekleşmediği anlaşıldı.



Şekil 4.7. Termokulbun kalıba montajı

Durum itibariyle kalıbın st kapağına delik açarak, kalıp içi sıcaklığının termokulp ile ölçülmesi sağlandı. Fırın 180 C iken kalıp içi sıcaklığı 130 C civarına ulaştığında kürlenme zamanı tutuldu ve tam kürlenme sağlandı.

vi. st kalıbın kapatılması



Şekil 4.8. st kalıbın kapatılması

vii. Kalıp içi sıcaklığın takibi



Şekil 4.9. Kalıp içi sıcaklığın takibi

viii. Fırın sıcaklık ayarı ve krleme parametrelerinin uygulanması

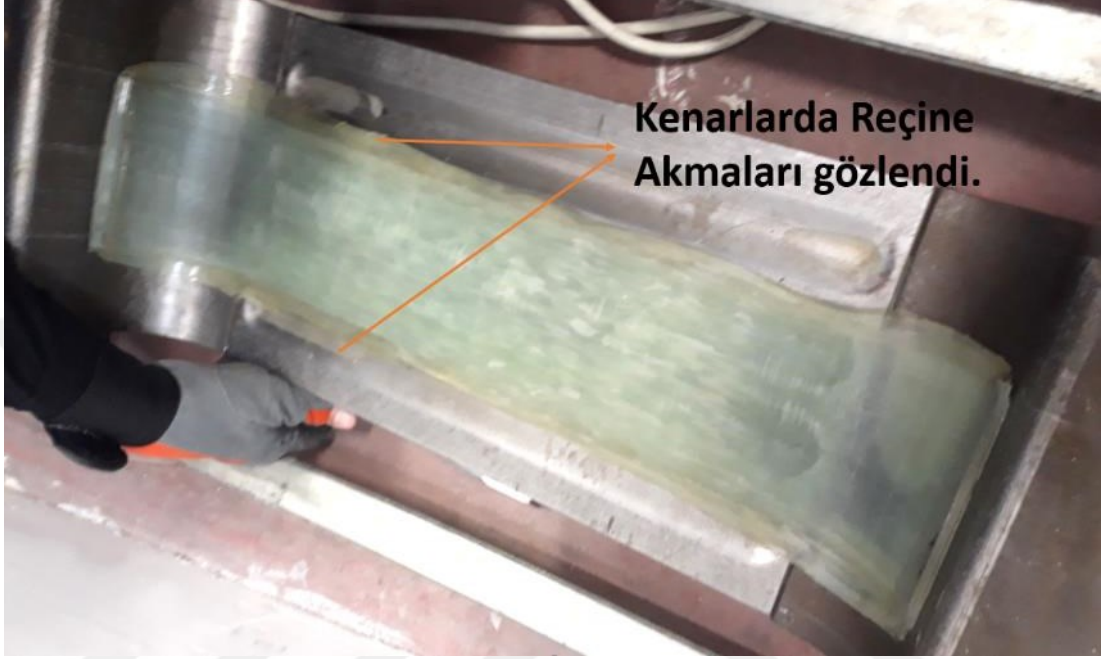
Termokulptan kalıp içi sıcaklık gözlenerek, fırın 1 saat içerisinde 130°C sıcaklığa çıkacak şekilde ayarlandı. Akabinde 1 saat bu sıcaklıkta kürlenmeye bırakıldı. 30 dk içerisinde oda sıcaklığına soğutuldu. Toplam 2,5 saat kürlenme süresi gerçekleştirildi. Krleme reçetesi fırında kürlenmeye uygun olarak KORDSA teknik danışmalarından alınmıştır [50].

ix. Kalıbın açılması



Şekil 4.10. Kalıbın açılması

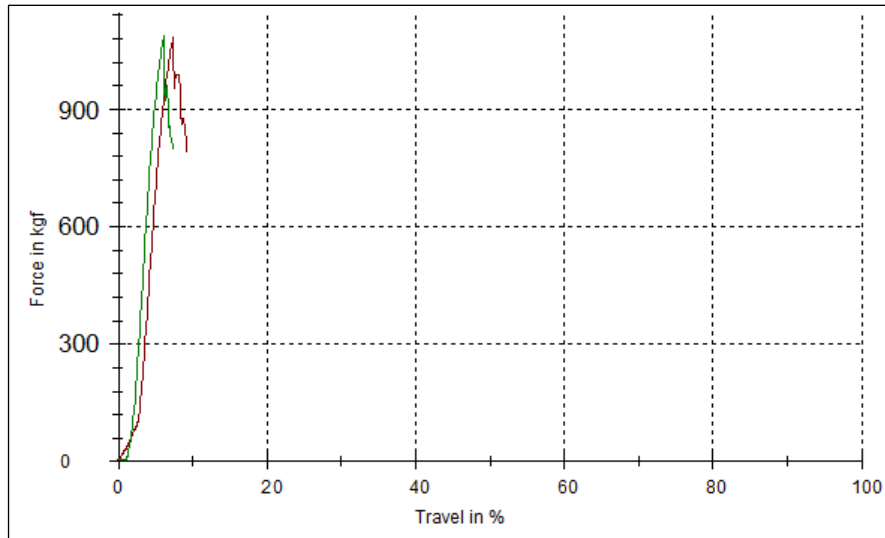
Kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra kalıbın üst kapağı bir yan keski yardımıyla açıldı. Sürülen kayganlaştırıcı wax sayesinde parça kalıba reçine ile yapışmadan ayrılması sağlandı. Kürlenmesi tamamlanmış olan kompozit malzemenin etrafında, sıcaklık ve kalıbın basıncıyla birlikte oluşan reçine akıntıları olduğu tespit edildi.



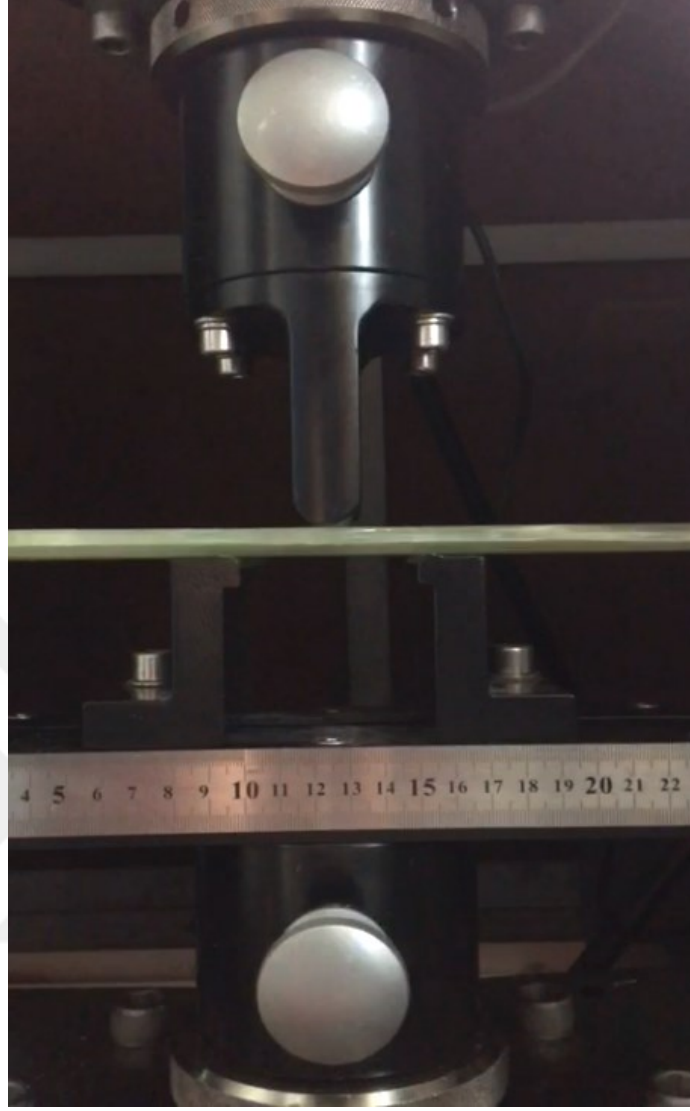
Şekil 4.11. Parça etrafındaki reçine akıntıları

4.2. E-Glass Fiber Prepreg Numune Testleri

4.2.1. E-Glass fiber prepreg kompozitlerin 3 nokta eğme testi



Şekil 4.12. 3 nokta eğme testi yük/zaman grafiği (kgf, t)



Şekil 4.13. 3 nokta eğme testi düzeneği ve testin gerçekleştirilmesi

Tablo 4.2. 3 nokta eğme testi test sonuçları E-Glass

Numune	Fmax
1. Numune E-Glass fiber Prepreg	1123 kgf
2. Numune E-Glass fiber Prepreg	1094 kgf
3. Numune E-Glass fiber Prepreg	1179 kgf
4. Numune E-Glass fiber Prepreg	1196 kgf

Numuneler ortalaması; 1148 kgf olduğu görüldü.

Bu değer ile yaptığımız statik analizleri kıyaslayabilmemiz için gerilim hesabı yapmamız gerekmektedir.

4.2.2. Numunelerin eğilme dayanımının hesaplanması

$$\sigma_e = \frac{M_e \cdot y}{I} \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'deki σ_e , eğilme gerilmesi; M_e , eğme momenti; I , nötr eksenine göre eylemsizlik momenti; y , nötr eksenden uzaklığı tanımlamaktadır.

$$M_e = \frac{P \cdot L}{4} \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'deki P , kırılma anında numuneye uygulanan kuvveti (N) gösterirken, L , mesnet merkezleri arasındaki uzaklığı (m) tanımlamaktadır.

$$\sigma_{e,max} = \frac{M_e \cdot c}{I} = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{Z} \quad (4.3)$$

Denklem (4.3)'teki nötr eksenine göre eylemsizlik momenti, numune kesitimiz dikdörtgen olması nedeniyle Denklem (4.4)'ü ve Denklem (4.5)'i baz alarak nihai denklem olan Denklem (4.6)'ya ulaşacağız.

$$I = \frac{B \cdot t^3}{12} \quad (4.4)$$

$$Z = \frac{B \cdot t^2}{6} \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'teki Z , kesit modülünü (m^3) ifade etmektedir. Numune kesitine göre değişiklik göstermektedir. Eğme dayanımı, cihazda okuduğumuz eğme kuvveti cinsinden ifade edecek olursak Denklem (4.6)'yı kullanabiliriz.

$$\sigma_{e,max} = \frac{M_e \cdot c}{Z} = \frac{P_{max} \cdot L}{4 \cdot Z} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{e,max} = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot L}{2 \cdot B \cdot t^2} \quad (4.7)$$

Denklem (4.6)'yı kendi numune kesitlerimizin dikdörtgen olması nedeniyle sadeleştirip, Z modülünü buna göre uygulayıp Denklem (4.7)'ye ulaşabiliriz. Bu

denklem nihai işlemlerimizde kullanacağımız denklemdir. Denklem (4.7)'deki “B”, numune genişliği (mm) ve “t” ise kesit kalınlığıdır.

Numune ortalaması olan 1148 kgf kuvvetin (11258 N) oluşturduğu maksimum gerilme miktarı Denklem (4.7)'ye göre Denklem (4.8) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma_{e,max} = \frac{3.(11258 \text{ N}).(83,2 \text{ mm})}{2.98\text{mm}.(5,2 \text{ mm})^2} \quad (4.8)$$

3 nokta eğme testi sonucu numunenin kopma mukavemeti 530,2 N/mm² (MPa) olarak hesaplanmıştır. E-Glass fiber prepreg kompozit numunenin, kompozit karışım hesabı ile bulunan teorik mukavemeti 1281,20 MPa olmasına karşın; 3 nokta testi ile tayin edilen 530,2 MPa lık gerilme sonucunda kırılması, teorik ile pratik arasında 2,4 kat fark olduğunu göstermektedir.

Teorik mukavemet, mükemmel fiber ve matris karışımından oluşan yapının, mükemmel kürlenmesini ifade etmektedir. Bunu sağlayabilmek pratikte mümkün değildir. İmalat proseslerini mükemmelleştirerek buna yaklaşılabılır. (Pres laminasyon tekniği ya da otoklav kalıplama imalat yöntemleri ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir.) Kendi fırında kürlenme prosesimizin kayıpları ile kürlenmenin yeterince yapılamadığı; uygulamada kullanılan prepreglerin iyi kalıplanamadığı özetle proses kayıplarının yaşanması ve hassas olmayan imalat ortamı nedeniyle bu kayıpların oluştuğunu söyleyebiliriz.

Bilgisayar ortamında yapılan statik analizlerde oluşan maksimum 386,4 MPa gerilmeler oluşmaktaydı. Yani kompozitin 2,67 kN yayılı yükü taşıyabilmesi için gereken minimum dayanım miktarı 386,4 MPa'dır. Elde ettiğimiz malzeme mukavemeti 530,2 MPa olarak bu değerleri sağladığı için bu uygulamada başarılı olacağı anlamına gelmektedir.

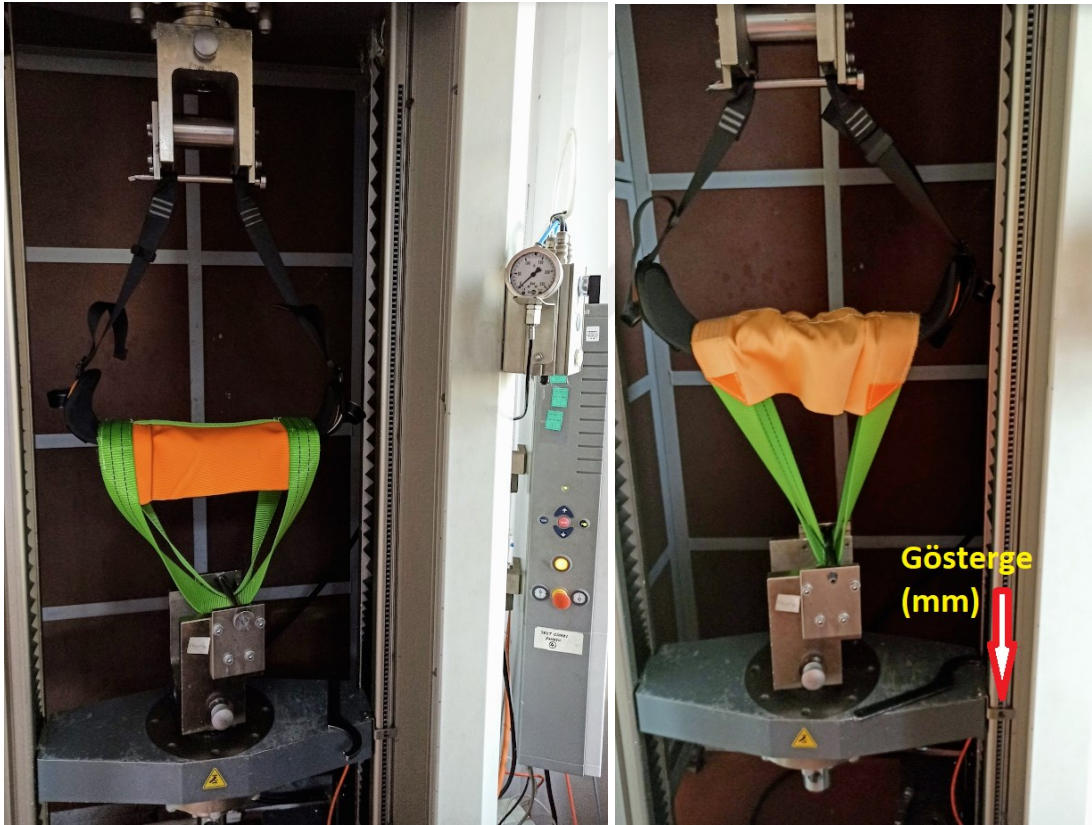
4.2.3. Numunelerin yayılı yük altında test edilmesi

Prepreg numuneler 2,67 kN luk yük altında tutulmuş ve sehim miktarları ölçülmüştür. Sehim miktarları ölçülürken; tekstil aksamın oluşturduğu esnemelerin hesabı minimize etkilemesi için 1kN lik ön gerilme sonrası oluşan yer değiştirme not edilmiştir. Test sonuçları Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Yayılı yük altında sehim miktarı E-Glass fiber numuneler

Numune	L (Sehim)
1. Numune E-Glass fiber prepreg	21 mm
2. Numune E-Glass fiber prepreg	20,5 mm
3. Numune E-Glass fiber prepreg	20,1 mm
4. Numune E-Glass fiber prepreg	21,5 mm

E-Glass fiber prepreg numunelerin sehim ortalaması: 20,8 mm olarak hesaplanmıştır. Test düzeneği Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. 2,67kN yayılı yük test düzeneği, test öncesi ve sonrası

4.3. Karbon Fiber Prepreg ile Çalışmanın Değerlendirilmesi

4.3.1. Karbon fiber prereg kompozit numune üretim aşamaları

Kıyas yapılabilmesi için E-Glass fiber prepreg malzeme ile yapılan aynı oryantasyonda karbon fiber prepreg numuneler yine KORDSA firması üzerinden DOWAKSA ürünleri ile hazırlandı.

Eşyönlü UD 600gr/m² Dowaksa A42 2400dtex filament; %37 OM11 model reçine emdirilmiş, fırında kürlemeye uygun prepeg kumaş kullanılmıştır. Yoğunluğu ve filament sayısı bir önceki kullanılan E-Glass fiber prepeg kumaştakiyle aynıdır. Kumaşın teknik veri dosyası ve maliyetini gösteren proforma evrağı Ek D ve Ek E de verilmiştir.

Dowaksa A42 prepeg kumaşlar yine elektrikli makas ile kalıp ebatlarında kesildi. Bir önceki proste olduğu gibi; kalıp yüzey temizliği, kalıp yüzeyi wakslanması yapıldı. Kesim sonrası katlar halinde kalıp yüzeyine sıra sıra prepeg kumaşlar yapıştırıldı.

Tablo 4.4. Karbon fiber prepeg laminasyon tablosu

Kat sayısı	Oryantasyon	Malzeme
1	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
2	90°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
3	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
4	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
5	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
6	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
7	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
8	90°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
9	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg



Şekil 4.15. Dowaksa karbon fiber prepeg kesilmiş katlar ve kalıba serilmeleri.

Kalıp yüzeyine bir öncekinden farklı olarak 2 sıra halinde serim yapıldı. 3 ayrı kalıplama ile 6 farklı numune imal edildi.

Kesilmiş prepreg malzemenin oryantasyon yönleri, Şekil 4.16'da görülebildiği üzere jelatin ile malzeme arasındaki hava izlerinden bakılarak anlaşılabilir. Şekil 4.16'da görülebildiği üzere jelatin ile malzeme arasındaki hava izlerinden bakılarak anlaşılabilir.



Şekil 4.16. Prepreg üzerindeki hava izlerinden oryantasyon yönü tayini



Şekil 4.17. Dowaksa karbon fiber prepreg malzemelerle hazırlanan numunelerin penslerle sıkıştırılması ve fırına konması.

E-Glass fiber prepreglerin kürlenmesinde kullanılan 25 kg ağırlığındaki üst kalıba sahip imalat kalıbı ile sadece tek bir numune yapılabiliyordu. Her imalatta, fırında kürlenme işlemleri gibi tek seferlik proseslerin tüm numunelerde aynısının yakalanması gerektiği çok önemlidir. Buradaki proses sapmalarını azaltmak için daha fazla numunenin birlikte kürlenebilmesi amacıyla görseldeki plaka kalıplar imal ettirildi. Metal kalıbın ağırlığı ile yapılan pres işlemi, farklı noktalardan tutturulan geniş ağızlı pensler ile simüle edildi. Sürekli aynı sıklıkta işlem yapılması için pens baskısı ölçü ile kontrol altına alındı. Bu kalıp sayesinde 6 numune aynı proste aynı fırında, aynı anda kürlendirilmesi sağlandı. Ciddi enerji ve kalıp maliyetinde tasarruf sağlanırken, tüm numunelerde standard kürlenme prosesinin uygulanması sağlandı.



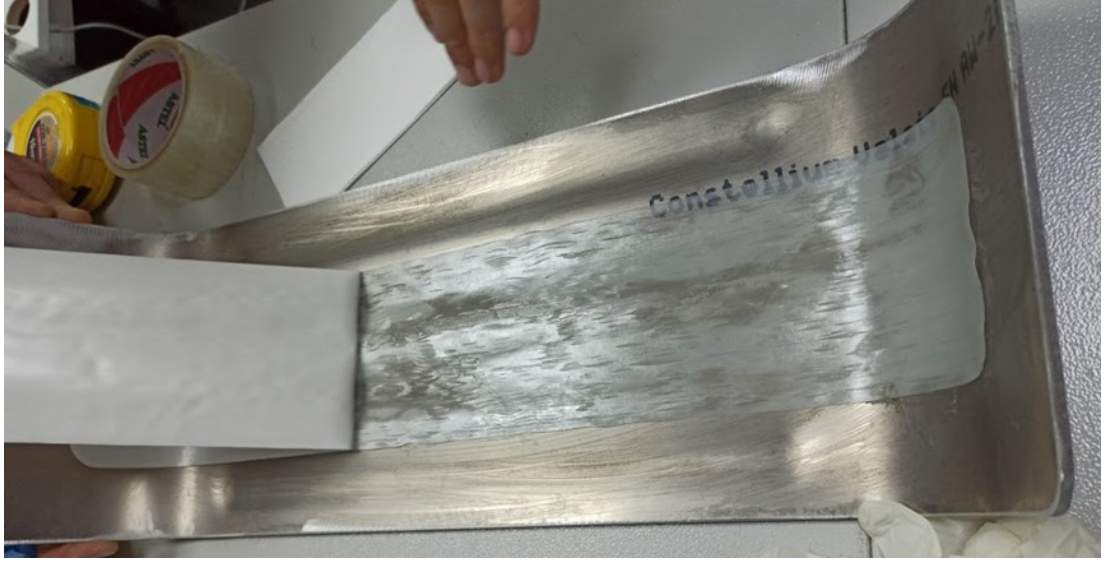
Şekil 4.18. Yeni tip kalıp

4.3.2. Yeni tip kalıp doğrulama çalışması

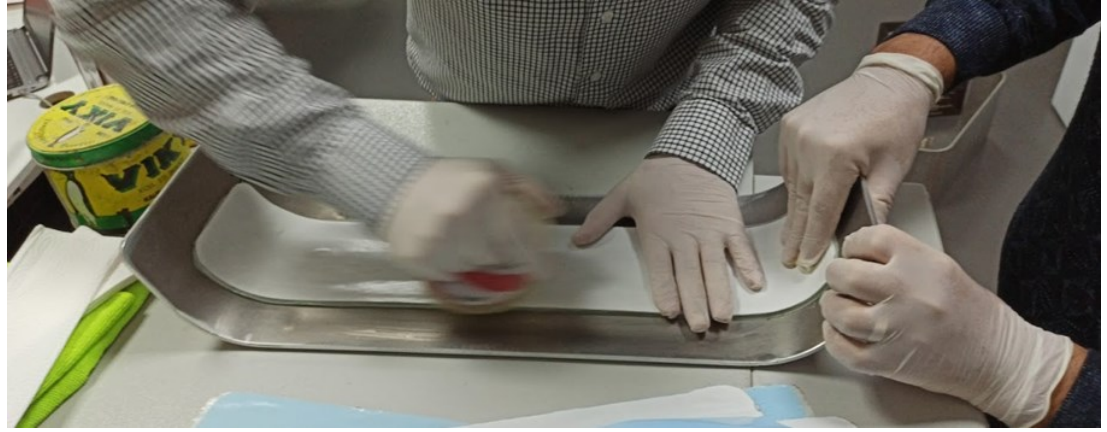
Doğrulama ve kıyas için ilk yapılan E-Glass fiber prepreg numuneleri plaka kalıp ile yeniden ürettirildi ve sonuçları kıyaslandı.



Şekil 4.19. Kalıp ayırıcı wax uygulaması



Şekil 4.20. Kumaşların yeni tip kalıba serimi



Şekil 4.21. Kumaşların yeni tip kalıba serimi



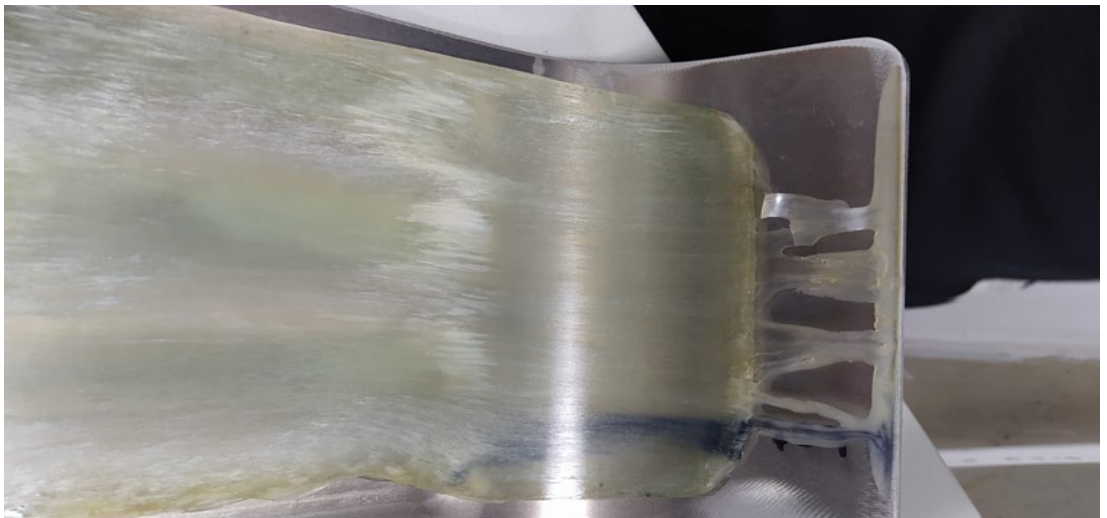
Şekil 4.22. Üst kalıbın kapatılması



Şekil 4.23. Tüm örneklerde aynı baskıyı sağlayacak şekilde penselerin ayarlarının aynı tutulması



Şekil 4.24. Kalıplanması tamamlanmış yeni tip kalıp ile imalat



Şekil 4.25. Krlenme sonrası reçine akıntıları

Kürlenme tamamlandıktan sonra çıkan numunelerin, ASTM D7264, 3 nokta eğme testi ile mukavemet değerleri ölçüldü.

Tablo 4.5. 3 nokta eğme testi test sonuçları E-Glass yeni tip kalıp

Numune	Fmax
1. Numune E-Glass fiber prepreg	1105,4 kgf
2. Numune E-Glass fiber prepreg	1137,2 kgf
3. Numune E-Glass fiber prepreg	1170,4 kgf
4. Numune E-Glass fiber prepreg	1113,1 kgf

Numunelerin aritmetik ortalaması: 1131,52 kgf olduğu görüldü. Test sonuçları standart sapma içerisinde yer alması sonucu, yeni tip ve eski tip kalıp ile yapılan uygulamalar kabul edilebilir sayılmıştır.

4.4. Karbon fiber kompozit prepreg numune testleri

4.4.1. Karbon fiber prepreg kompozitlerin 3 nokta eğme testi

Kürlenme tamamlandıktan sonra çıkan numunelerin, ASTM D7264, 3 nokta eğme testi ile mukavemet değerleri ölçüldü.

Tablo 4.6. 3 nokta eğme testi karbon fiber prepreg numuneler test sonuçları

Numune	Fmax
1. Numune karbon fiber prepreg	1928 kgf
2. Numune karbon fiber prepreg	1850 kgf
3. Numune karbon fiber prepreg	1983 kgf
4. Numune karbon fiber prepreg	1967 kgf
5. Numune karbon fiber prepreg	2022 kgf
6. Numune karbon fiber prepreg	1842 kgf

Numunelerin ortalaması: 1932 kgf (18947 N) olduğu görüldü.

- Sonucun teorik olarak değerlendirilmesi aşağıdaki gibidir.

Ortalama değerden yola çıkılarak yüzeyde oluşan gerilme ortalaması Denklem (4.9)'daki gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma_{e,max} = \frac{3.(18947 \text{ N}).(83,2 \text{ mm})}{2.98 \text{ mm}.(5,2 \text{ mm})^2} \quad (4.9)$$

892,3 N/mm² (MPa) karbon fiber prepreg numunesinin kopma mukavemetini vermektedir. Karbon fiber prepreg kompozitin karışım kuralı ile hesaplanan teorik kopma mukavemeti 2660,4 MPa olmasına karşın; imal edilen numunelerin 892,3 MPa lık gerilme sonucunda kırılması, yaptığımız kompozit imalat prosesinde yaklaşık 3’de 2 kadar mukavemet kaybı olabileceğini göstermiştir. Bu sonucu yine bir önceki E-Glass fiber prrepeglerdeki sonuçların yorumuyla aynı şekilde prosesimizin kaybı olarak not alabiliriz.

Yapılan statik analizlerde oluşan maksimum 345,4 MPa gerilmeler oluşmaktaydı. Elde ettiğimiz malzeme mukavemeti 892,3 MPa olarak bu değerleri sağladığı ve malzemenin bu uygulamada başarılı olacağı anlamına gelmektedir.

4.4.2. Karbon fiber numunelerin yayılı yük altında test edilmesi

Prepreg numuneler 2,67 kN luk yük altında tutulmuş ve sehim miktarları ölçülmüştür. Sehim miktarları ölçülürken; tekstil aksamın oluşturduğu esnemelerin hesabı minimize etkilemesi için 1kN lik ön gerilme sonrası oluşan yer değiştirme not edilmiştir. Test sonuçları tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Yayılı yük altında sehim miktarı e-glass karbon fiber prepreg

Numune	L (Sehim)
1. Numune karbon fiber prepreg	8,2 mm
2. Numune karbon fiber prepreg	9 mm
3. Numune karbon fiber prepreg	8 mm
4. Numune karbon fiber prepreg	8,5 mm

Karbon fiber prepreg numunelerin sehim ortalaması: 8,4 mm olarak hesaplanmıştır.

4.5. Karbon Fiber - E-Glass Fiber ile Çalışmanın Değerlendirilmesi

Yapılan bilgisayar destekli statik kompozit analizinde en fazla gerilmelerin en üst ve en alt katlarda olduğu gözlenmişti. Birim maliyeti arttırmadan, ürünü daha nitelikli

hale getirmek adına en çok gerilmenin olduğu en alt ve en üst katlarda UD 600gr/m² Dowaksa A42 2400dtex prepeg, ara katlarda ise KORDSA WR6 E-Glass fiber 2400dtex 600gr/m² prepeg kullanılarak ekonomik kalması hedeflenmiştir.

Dowaksa A42 ve KORDSA WR6 prepeg kumaşlar yine elektrikli makas ile kalıp ebatlarında kesildi. Bir önceki proste olduğu gibi; kalıp yüzey temizliği, kalıp yüzeyi wakslanması yapıldı. Kesim sonrası katlar halinde kalıp yüzeyine sıra sıra prepeg kumaşlar yapıştırıldı.

Tablo 4.8. Karbon fiber – E-Glass fiber prepeg laminasyon tablosu

Kat sayısı	Oryantasyon	Malzeme
1	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg
2	90°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepeg
3	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepeg
4	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepeg
5	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepeg
6	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepeg
7	0°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepeg
8	90°	KORDSA E-Glass fiber WR6 2400dtex 600gr/m ² prepeg
9	0°	Dowaksa A42 OM11 2400dtex 600gr/m ² prepeg



Şekil 4.26. Karbon fiber-E-Glass fiber kesilmiş katların kalıba serimi.

Kalıp yüzeyine 2 sıra halinde serim yapıldı. 2 ayrı kalıplama ile 4 farklı numune imal edildi. Her iki prepregde (karbon fiber-E-Glass fiber) kullanılan reçine OM11 aynı reçine olması nedeniyle kürlenme reçeteleri tüm numunelerde aynı olarak korundu.

4.6. Karbon Fiber Kompozit Prepreg Numune Testleri

4.6.1. Karbon fiber - E-Glass fiber numunelerin 3 nokta eğme testi

Kürlenme tamamlandıktan sonra çıkan numunelerin, ASTM D7264, 3 nokta eğme testi ile mukavemet değerleri ölçüldü. Test sonrası ürün görseli Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27. Dowaksa karbon fiber - E-Glass fiber kürlenmiş ve test edilmiş numune.

Tablo 4.9. 3 nokta eğme testi karbon fiber-E-Glass fiber prepreg numuneler test sonuçları

Numune	Fmax
1- Numune karbon fiber – E-Glass fiber prepreg	1290 kgf
2- Numune karbon fiber – E-Glass fiber prepreg	1325 kgf
3- Numune karbon fiber – E-Glass fiber prepreg	1354 kgf
4- Numune karbon fiber – E-Glass fiber prepreg	1300 kgf

Numunelerin ortalaması 12,918 kN olduğu görüldü.

- Sonucun teorik olarak değerlendirilmesi aşağıdaki gibidir.

Ortalama değerden yola çıkılarak yüzeyde oluşan gerilme ortalaması hesaplanmıştır.

$$\sigma_{e,max} = \frac{3.(12918 \text{ N}).(83,2 \text{ mm})}{2.98\text{mm}.(5,2 \text{ mm})^2} \quad (4.10)$$

Denklem (4.10)'a göre prepreğin kop 608,4 N/mm² (MPa) olmaktadır. Yapılan statik analizlerde maksimum 584,5 MPa gerilmeler oluşmaktaydı. Elde ettiğimiz malzeme mukavemeti ortalaması 608,4 MPa olması dolayısıyla; bu değerleri sağladığı ve malzemenin bu uygulamada başarılı olacağı anlamına gelmektedir.

4.6.2. Numunelerin yayılı yük altında test edilmesi

Prepreg numuneler 2,67 kN luk yük altında tutulmuş ve sehim miktarları ölçülmüştür. Sehim miktarları ölçülürken; tekstil aksamın oluşturduğu esnemelerin hesabı minimize etkilemesi için 1kN lik ön gerilme sonrası oluşan yer değiştirme not edilmiştir. Test sonuçları tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.10. Karbon fiber - E-Glass fiber prepreg numunelerinin yayılı yük altında sehim miktarı

Numune	L (Sehim)
1. Numune karbon fiber-E-Glass fiber Prepreg	11 mm
2. Numune karbon fiber-E-Glass fiber Prepreg	11,5 mm
3. Numune karbon fiber-E-Glass fiber Prepreg	12 mm
4. Numune karbon fiber-E-Glass fiber Prepreg	12,4 mm

Karbon fiber prepreg numunelerin sehim ortalaması: 11,7 mm olarak hesaplanmıştır.

4.7. Numune Ağırlıklarının Değerlendirilmesi

Hassas terazide yapılan ölçümde glass fiber prepreg numunelerin ortalama ağırlığı 453 gr olduğu, etrafındaki reçine akıntılarını ve çapakları temizlediğimizde; 450 gr olarak kabul edebileceğimiz nihai ürün elde edildiği görüldü.

Yeni E-Glass fiber iskelet ile bitmiş ürün ağırlığı (450 gr iskelet + 620 gr tekstil) toplam 1070 gr'a indirildi. Ancak sehim miktarı mevcut ürüne göre 2 kat artmış oldu. Normal kullanım sırasında fazla sehimin kullanıcı dostu olup olmadığı açısından ayrıca değerlendirilmelidir. Ancak bu durum çalışmanın başarı kriterlerinden biri olan daha dayanıklı olması kriterini sağlamamaktadır.

Diğer kullanılan karbon fiber prepreg kumaş yoğunlukları ve kat sayıları aynı olmaları nedeniyle tüm numuneler birbirine yakın ağırlıkta gerçekleştiler. Karbon fiber prepregler aynı ağırlıkta iken daha az seğim oluşturdular. Özetle iskelette 720 gr → 450gr, %40 ağırlık kazancı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.28. Numune ağırlık ölçümü (E-Glass fiber prepreg)

4.8. Numune Maliyetlerinin Değerlendirilmesi

4.8.1. E-Glass prepreg ile üretilen numune maliyetleri

Maliyet kalemleri aşağıdaki gibidir;

- E-Glass fiber Prepreg fiyatı: 12,59 Avro / m² (Alınan proforma fiyat Ek E'de verilmiştir.)

- 1 üründe kullanılan toplam kumaş: $0,67 \text{ m}^2 = 8,44 \text{ Avro} = 9,29 \text{ ABD Doları}$
- Kalıp ayırıcı wax (1 kg lık kutusu 15,00 \$'a satılmaktadır. – 1 kg wax ile 40 kalıplama yapılabilir.) = $0,38 \text{ \$ ABD Doları / adet}$ olmaktadır.
- Kesim özel elektrikli makas ile yapılmaktadır. 1 metre kumaş kesimi $0,17 \text{ \$}$ maliyeti bulunmaktadır. Toplam kumaş kesim metrajı ürün başına 10 metredir. $1,70 \text{ \$/ürün}$ kesim maliyeti vardır.
- 1 ürünün kalıplanması 24 dakika sürmektedir. 1 çalışan 1 günde 8 saat çalışmaktadır. Günde 20 ürün serilerek kalıplanabilmektedir. Günlük çalışan ücreti 220,00 TL olması nedeniyle $11,00 \text{ TL (1,82 \$) / ürün}$ işçilik bedeli bulunmaktadır.
- Fırın amortisman ve enerji ücreti: Tek şarzda $14,40 \text{ ABD Doları}$ maliyet olmaktadır. Tek seferde maksimum 40 ürün fırına sığabildiğinden dolayı birim sarfiyat $0,36 \text{ ABD Doları}$ olmaktadır. (Elektrik birim fiyatı $0,15 \text{ ABD Doları kwh}$ olarak alınmıştır.)

Özetle 1 adet ürün maliyet kalemleri aşağıdaki gibidir;

- E-Glass fiber prepreg kumaş: $0,67 \text{ m}^2 = 9,29 \text{ ABD Doları}$
- Kalıp ayırıcı wax = $0,38 \text{ ABD Doları}$
- Prepreg kesim maliyeti 10 metre = $1,70 \text{ ABD Doları}$
- Prepreg serim, kalıplama işçilik bedeli = $1,82 \text{ ABD Doları}$
- Fırın amortisman ve enerji ücreti = $0,36 \text{ ABD Doları}$
- Tek adet E-Glass fiber ürün maliyeti = $13,55 \text{ ABD Doları}$ olduğu görüldü.

4.8.2. Karbon fiber prepreg ile üretilen numune maliyetleri

- Karbon fiber prepreg fiyatı: $31,17 \text{ Avro / m}^2$ (Alınan proforma fiyat Ek E'de verilmiştir.)
- 1 Üründe kullanılan toplam kumaş: $0,67 \text{ m}^2 = 20,89 \text{ Avro} = 23,00 \text{ ABD Doları}$
- Wax, Kesim, Serim, Temizlik İşçilik: $3,90 \text{ ABD Doları}$
- Fırın Amortisman ve Enerji Ücreti: Tek şarzda $14,40 \text{ ABD Doları}$ maliyet olmaktadır.
- Tek seferde maksimum 40 ürün fırına sığabildiğinden dolayı birim sarfiyat $0,36 \text{ ABD Doları}$ olmaktadır. (Elektrik birim fiyatı $0,15 \text{ ABD Doları kwh}$ olarak alınmıştır.)

Tek adet karbon fiber ürün maliyetinin $27,26 \text{ ABD Doları}$ olduğu görüldü.

4.8.3. Karbon fiber ve E-Glass fiber prepreg ile üretilen numune maliyetleri

- Karbon fiber prepreg fiyatı: 31,17 Avro / m²
- E-Glass fiber prepreg fiyatı: 12,59 Avro / m²
- 1 Üründe kullanılan toplam E-Glass fiber prepreg: 0,52 m² = 5,67 € = 6,55 \$
- 1 Üründe kullanılan toplam karbon fiber prepreg: 0,15 m² = 4,68 € = 5,14 \$
- Wax, Kesim, Serim, Temizlik İşçilik: 3,90 ABD Doları
- Fırın Amortisman ve Enerji Ücreti: Tek şarzda 14,40 ABD Doları maliyet olmaktadır.
- Tek seferde maksimum 40 ürün fırına sığabildiğinden dolayı birim sarfiyat 0,36 ABD Doları olmaktadır. (Elektrik birim fiyatı 0,15 ABD Doları kwh olarak alınmıştır.)

Tek adet karbon fiber - E-Glass fiber ürün maliyeti: 15,95 ABD Doları olduğu görüldü.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Alüminyum yerine kompozit malzeme kullanılarak;

- 1) Model tasarımı 3D olarak yapılmış ve modelin bilgisayar ortamında FEA (Sonlu elemanlar metodu) yöntemiyle analizi yapılarak tasarımın standard kriterlerini sağladığı görülmüştür.
- 2) 3 nokta eğme statik testi için gerekli olan test düzeneği; Zwick Z100 model 10kN lik statik çekme test makinasında gerçekleştirilmiştir.
- 3) Prototip imalatı için gerekli olan kalıbın tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir.
- 4) 2 ayrı türde karbon fiber ve E-Glass fiber prepreg hammaddelerin tedariki sağlanmıştır.
- 5) Simülasyon analizlerinde elde edilen öngörülere göre prototip imatları yapılmıştır.
- 6) İmal edilen kompozit ürünlerin 3 nokta eğme testi ile mukavemetleri hesaplanmış ve static analizdeki gerekli mukavemet değeri ile kıyaslanmıştır.
- 7) İmal edilen ürün iskeletleri, 2,67kN lik yayılı yük altında test edilmiş ve sehim ölçümleri yapılmıştır.
- 8) Farklı tip fiber kumaşların kullanımı ile ürünün değerlendirilmesi yapılmıştır.
- 9) İskeletin alüminyum ağırlığı 720 gr'dan, kompozit ağırlığı 450 grama düşürülmüştür.

Pazarlama departmanı ve üretim departmanı ile konuyla ilgili görüş alındı. Yapılan görüşmeler sonucunda, en az maliyetli olan E-Glass fiber prepreg ile tüm başarı kriterlerinin sağlandığı E-Glass fiber - karbon fiber prepreg ile yapılan örnekler kabul gördü.

Nedenleri şu şekilde sıralanmıştır;

- a) E-Glass fiber prepreg ile yapılan numunelerin en uygun maliyetli, karbon fiber - E-Glass fiber prepreg ürünlerin ise mevcut ürüne göre daha az maliyetli olması.
- b) Mevcut ağırlığın 720 gr'dan 450 gr'a indirilmesinin ilk aşamada iyi bir pazarlama argümanı olması.

- c) Kullanım sırasındaki 1 cm lik sehım miktarının kullanıcı açısından rahatsız edici olmaması.
- d) Premium sınıf olarak E-Glass fiber - karbon fiber prepreg iskelet ile ayrıca satış pazarlama çalışmaları ile aradaki az maliyet farkı tolere edilebilir.

2024-T351 Alüminyum, E-Glass fiber, karbon fiber ve karma prepregler ile yapılan numunelerin maliyet kıyası Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. 2024-T351 Alüminyum, E-Glass fiber prepreg, karbon fiber prepreg ve karma prepreg numune kıyasları

Parametre	Alüminyum 2024 (4mm)	E-Glass fiber prepreg	Karbon fiber prepreg	Karbon fiber-E-Glass fiber prep.
Kopma Mukavemeti	490 MPa	530,2 MPa	892,3 MPa	608,4 MPa
Teorik Sehım FEA (2,67kN yayılı yük)	11,2 mm	19,5 mm	6,2 mm	10,7
Ölçülen Sehım (2,67kN yayılı yük testi)	13,8 mm	20,8 mm	8,4 mm	11,7 mm
Maliyet (ABD Doları)	17,80 \$	13,55 \$	27,26 \$	15,95 \$
Ağırlık	720 gr	450 gr	450 gr	450 gr
Özgül Dayanım	0,68 birim	1,18 birim	1,98 birim	1,35 birim
Özgül Maliyet	0,0363 birim	0,0256 birim	0,0306 birim	0,0262 birim

Tablodan yapılan çıkarımlar şu şekildedir;

- 1) Tabloda görüleceği üzere, en iyi mukavemet performansı karbon fiber prepreg malzeme ile yapılan numunelerle sağlanmaktadır.
- 2) Karbon fiber prepreg ile yapılan numuneler özgül dayanımı (mukavemet / ağırlık) en yüksek olan üründür.
- 3) En uygun maliyet E-Glass fiber prepreg malzeme ile yapılan numunelerle sağlanmaktadır. Ancak sehım miktarı mevcut üründen %51 daha fazladır.
- 4) Karbon fiber - E-Glass fiber prepregler ile yapılan numuneler; E-Glass fiber’e göre; %15 daha pahalı kalmaktadır.

- 5) Karbon fiber – E-Glass fiber prepreg numuneler, 2024 Alüminyum iskeletli mevcut ürüne göre %12 daha ucuz olmaktadır.
- 6) 2024 Alüminyum malzeme ile üretimin maliyet, hafiflik, mukavemet parametrelerinde geri kaldığı tek ürün, karbon fiber - E-Glass fiber prepreg olduğu görülmektedir.
- 7) Karbon fiber prepreg ile yapılan ürün mukavemet ve hafiflik olarak faydalı görülürken, maliyet olarak %53 daha maliyetli kalmaktadır.

Fiyat fayda değerlendirmeleri ile en hafif, en ucuz ya da optimum ürün tercihi ticari olarak ayrı ayrı pazarda kabul görebilir. Bu konu pazarlama departmanı ilgisindedir.

Yapılan çalışmanın özet bulguları aşağıdaki gibidir;

- 1) Pazarlama departmanı tarafından da onay alan maliyet, mukavim ve hafiflik olarak kabul gören E-Glass fiber, karbon fiber karma prepreg kompozit ile en uygun maliyetli olan glass fiber prepreg iskelet ile bitmiş ürün ağırlığı (450 gr iskelet + 620 gr tekstil) 1070 gr'a indirilmiştir.
- 2) Ağırlık kazancı toplam üründe 1340 gr →1070 gr, %25, iskelette 720 gr → 450gr, %40 olmuştur.
- 3) Daha hafif ve daha dayanıklı olan inovatif tasarımlı kompozit ürüne çevrilerek hem çalışanın konforunun sağlanabileceği hem de ticari anlamda seri üretime geçilebileceği görüldü.
- 4) Ürünün alüminyum yerine kompozit malzemedan imal edilerek ticarileşmesi değerlendirilmiştir.

Çalışmalar sırasında karşılaşılan teknik zorluklar ve kazanımlar;

- a) Yayılı yük testleri sırasında tekstil aksamlar ve oturak üzerindeki yumuşak ped vb. yapılar ekstra esnemeler yarattığından sehim beklenenden fazla gerçekleşmekteydi. İskeletten kaynaklı sehimin not edilmesi için 1kN lik ön yükleme sonrasında oluşan sehim not edilmesi kararlaştırıldı. Bu sayede tekstil akşamlardan kaynaklanan sehim minimize olarak hesaba katılmış oldu.
- b) E-Glass fiber prepreg ile kompozit imalatı yapılırken, ilk denemelerde kürlenme problemi ile karşılaşıldı. Fırın sıcaklığı reçineye uygun optimum fırın sıcaklığında olmasına karşın, kürlenme tam anlamıyla sağlanamadı. Ürün hala yumuşak ve kürlenmediği görülmüştü. Kalıbın iç sıcaklığının net ölçülemediği, kalıbın kesitinin

kalın olması nedeniyle ısı iletiminin yavaş olması gibi nedenlerden dolayı kürlenmenin tam anlamıyla gerçekleşmediği anlaşıldı. Çözüm olarak kalıba termokulp montajlanarak kalıp içi sıcaklığının takip edilmesine karar verildi. Durum itibariyle kalıbın üst kapağına delik açarak, kalıp içi sıcaklığının termokulp ile ölçülmesi sağlandı. Fırın 180 °C iken kalıp içi sıcaklığı 130 °C civarına ulaştığında kürlenme zamanı tutuldu ve tam kürlenme sağlandı.



6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu ürün, kompozit olarak imal edilebilmeye şekil, kullanım, dayanım ve ölçüler itibariyle müsait bir üründü. Yapılan bu tez çalışması kapsamında mevcutta alüminyum ile imal edilen bir yüksekte çalışma ekipmanı; kompozit malzemeye çevrilmiş oldu. Ürünün ilk ve son halini tablo 6.1’de inceleyebilirsiniz.

Tablo 6.1. Mevcut ve geliştirilen ürün kıyaslamaları

Parametre	Alüminyum 2024-T351 plakadan mevcut ürün	E-Glass fiber-karbon fiber prepreg ürün	% Değişim
Sehim (280kg)	13,80	11,70	- %15
Maliyet	17,80 \$	15,95 \$	- %12
Ağırlık	720 gr	450 gr	- %40

Bu ürünün imalatını bilimsel kurallar çerçevesinde tamamlayarak; diğer birçok ürünün iş güvenliği sektörüne yüksek katma değerli kompozit ürünler üretilmesine öncü olacaktır.

Ulusal bilgi birikimi ve teknolojik gelişime katkısı, dünyada henüz kompozit olarak üretilmiş bir kemer oturağı imal edilmemiş olması nedeni ile sektörde bir ilk ve prestij kaynağı olacaktır. Buna ek olarak kompozit malzemedan üretilen iş güvenliği ekipmanları sayısı çok az olduğundan iş güvenliği sektöründe yeni bir ürün skalası oluşturulması amaçlanmıştır. Kuruluş içinde veya dışında, aynı veya farklı teknoloji alanlarında, yeni uygulamalar veya Ar-Ge projeleri başlatma potansiyeli; yeni iş alanları oluşturma ve istihdam etkisi oluşturabilir.

Yüksek lisans tezi olarak sınırlı sürede, sınırlı bir çerçevede çalışma incelenmiştir. Değişken parametrelere göre prototipin daha da mükemmelleştirilmesi sağlanabilir.

Tasarımsal anlamda ürün üzerinde daha çok çalışılarak, rijitlikle birlikte dayanım/ağırlık oranı artırılabilir. Tasarımdaki gerilmelerin biriktiği noktalara kısmı

pregreg takviyelerin eklenmesi ile yine dayanım /ağırlık oranı arttırılabilir. Ürünün ticarileşmesi ile birlikte verimlilik artırma çalışmaları çerçevesinde, profesyonel seri üretim hatları kurulması planlanacaktır.

Firmamız nezdinde benzer iş güvenliği ya da kişisel kullanım ekipmanlarının kompozit malzemeye çevrilmesinde örnek ve öncü bir çalışma olmuştur. Ürünün seri imalatta kullanımını aynı yöntemle devam ettirmektedir.

Projenin çıktısı olarak akademik bildiri yayınlanmıştır. "2024-T351 Alüminyum Alaşımı ile Üretilen Yüksekte Çalışma Oturağının E-Cam Kompozitten Tasarımı ve Üretimi" isimli bildiri, Ankara'da 13-15 Haziran 2019'da düzenlenen 6th International Symposium on Academic Studies in Science, Engineering and Architecture Sciences, sempozyumunda sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Kaya A. İ., Atık Kâğıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1995.
- [2] Hahn H. T., Tsai S.W., Introduction to Composite Materials (*Vol. 1*): CRC Press., 1980.
- [3] Mazumdar S. K., Composites Manufacturing, Materials, *Product, and Process Engineering*, New York, 2002.
- [4] URL-1: <https://agstechnology.com/newsletter/plastics-profiler-glass-reinforced-polypropylene/>, (Ziyaret tarihi: 5 Nisan 2018).
- [5] URL-2: http://www.hho.edu.tr/huten/2003-2004/hav_san_kul_plkmat_kmp/, (Ziyaret tarihi: 5 Nisan 2018).
- [6] Kayrak M.A., Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri, Eskişehir, 1999.
- [7] Rouchan J., Materiaux Composites Pour D'aeronefs, *Ecole Nationale Supérieure d'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques*, 1987.
- [8] Schwartz M.M., Composite Materials Handbook, *McGraw-Hill Inc.*, 1984.
- [9] Chawla, K.K., Composite Materials Science and Engineering. 140-283s *Springer Verlag New York Inc.*, 1987.
- [10] Hoskin, B.C., Baker., A.A., Composite materials for aircraft structures., *American Institue of Astronautics Inc.*, 233s., 1986.
- [11] Işık A., Kompozit Malzemededen İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yüğü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, İstanbul, 2008.
- [12] Gay D., Hoa S. V., Tsai S. W., Composite Materials Design and Applications, Paris, 2003.
- [13] Şahin Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Ankara, 2000.
- [14] Anonim, A.S.M. International, Composite Materials I The Basics, *Materials Engineering Institute*, Ohio, 1984.

- [15] Örs S., Farklı Karbon Tekstilleriyle ve Reçinelerle Oluşturulan Karbon Kompozitlerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [16] URL-3: <https://www.muhendisbeyinler.net/kompozit-malzemeler-ve-kullanim-alanlari/>, (Ziyaret tarihi: 15 Eylül 2019).
- [17] Yılmaz U., Evcil Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği, *The Journal of Defense Sciences*, 2015, 14(56), 2148-1776.
- [18] Boyer R.R, An Overview On The Use of Titanium In The Aerospace Industry, *Materials Science and Engineering*, DOI: 10.1016/0921-5093(96)10233-1
- [19] Aran A., Metal Matrisli Kompozit Malzemeler, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, <https://web.itu.edu.tr/~arana/IML212-N9.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Temmuz 2019).
- [20] URL-4: <https://www.re-coma.com/ctp/imalati/ctp-puskurtme-metodu/>, (Ziyaret tarihi: 16 Temmuz 2019).
- [21] URL-5: http://www.camelyaf.com/turkce/ctp_kaliplama_metodlari.php/, (Ziyaret tarihi: 21 Eylül 2019).
- [22] URL-6: <http://www.aschome.com>, (Ziyaret tarihi: 08 Nisan 2019).
- [23] URL-7: <http://www.a-c-m.com/equipment/default.html>, (Ziyaret tarihi: 04 Ekim 2019).
- [24] Romano F., Fiori J., Mercurio U., Structural Design And Test Capability Of A CFRP Aileron, *Composite Structures*, 2008.
- [25] URL-8: http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/39932_1703231357926.pdf, (Ziyaret tarihi: 18 Haziran 2019).
- [26] Wang X. G., Yang F., Zeng T., Cheng S., Wang Z., Bending Behavior Of Graded Corrugated Truss Core Composite Sandwich Beams. *Compos Struct*; DOI: 138342-351.
- [27] Esendemir Ü., Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi*, Isparta, 2017.
- [28] URL-9: <https://prezi.com/br-5cvehoeb8/kompozit-malzemelerin-asinma-dayanimi/>, (Ziyaret tarihi: 18 Haziran 2019).
- [29] Özsoy M., Karbon Fiber, E-Glass Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Eğilme Dayanımları, Gazi Üniversitesi <http://www.mmfdergi.gazi.edu.tr/article/view/5000127215/>, (Ziyaret tarihi: 15 Eylül 2018)

- [30] Suresh A., Evaluating The Mechanical Properties Of E-Glass Fiber/Carbon Fiber Reinforced Interpenetrating Polymer Networks, *Department of Rubber & Plastics Technology, Anna University, Madras Institute of Technology Campus, Tamil Nadu, India*, 2015.
- [31] URL-11: <http://www.owlaq.com/blog-2>, (Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2019).
- [32] URL-12: <https://www.yukseksler.com/iple-erisim-hizmetleri-endustriyel-dagcilik/>, (Ziyaret tarihi: 18 Ekim 2019).
- [33] URL-13: <https://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/hover-high-scalers>, (Ziyaret tarihi: 29 Haziran 2019).
- [34] URL-14: <https://interactive.wttw.com/ten/monuments/mount-rushmore-national-monument>, (Ziyaret tarihi: 04 Mart 2019).
- [35] URL-15: <http://miamiwindowwashers.com/>, (Ziyaret tarihi: 02 Şubat 2019).
- [36] URL-16: <https://www.hallmark.com.tr/post/ask%C4%B1-travmas%C4%B1-suspension-trauma>, (Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2019).
- [37] URL-17: <https://www.nordicaccess.fi/>, (Ziyaret tarihi: 18 Ekim 2019).
- [38] URL-18: <https://dogahse.com/yuksekten-dusme-sonrasi-aski-travmasi/>, (Ziyaret tarihi: 24 Şubat 2019).
- [39] URL-19: <https://www.slideshare.net/gltekincangul/ask-travmasi>, (Ziyaret tarihi: 24 Şubat 2019).
- [40] Satılmış İ., Irata Level III Trainer, Yüksekte Çalışma Oturakları Hakkında Bireysel Görüşme, (Ziyaret tarihi: 02.02.2019)
- [41] Ergenekon E., Kaya Safety, Pazarlama Müdürü, Yüksekte Çalışma Oturakları Hakkında Bireysel Görüşme, (Ziyaret tarihi: 03.02.2019)
- [42] URL-20: <https://www.lme.com/>, (Ziyaret tarihi: 18 Aralık 2019).
- [43] EN 795, Protection Against Falls From A Height Anchor Devices-Requirements And Testing (Yüksekten Düşmeye Karşı Koruma Ankraj Cihazları Özellikler ve Deneyleri), *ISO International Standard Organization*, 2012.
- [44] ANSI/ASSP Z359, Fall Protection And Fall Restraint Standards, *American National Standards Institute*, 2011.
- [45] D7264, Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials, *ASTM International Institute*, Philadelphia.
- [46] URL-21: <https://zwickroell.com/>, (Ziyaret tarihi: 14 Aralık 2019).

- [47] URL-25: http://mguler.etu.edu.tr/WB-Mech_120_Ch04_Static.pdf, (Ziyaret tarihi: 22 Ekim 2019).
- [48] URL-26: <https://www.solidworks.com/sw/images/content/Training/Solidworkssimulationstudentguide-ENG.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Ekim 2019).
- [49] URL-27: <http://www.il kaymeseli.com/>, (Ziyaret tarihi: 01 Aralık 2019).
- [50] Bozdağ B., KORDSA, Teknik Satış Uzmanı, OM11 Reçine Hakkında Bireysel Görüşme, (Ziyaret tarihi: 03.07.2019).





EKLER

Ek-A

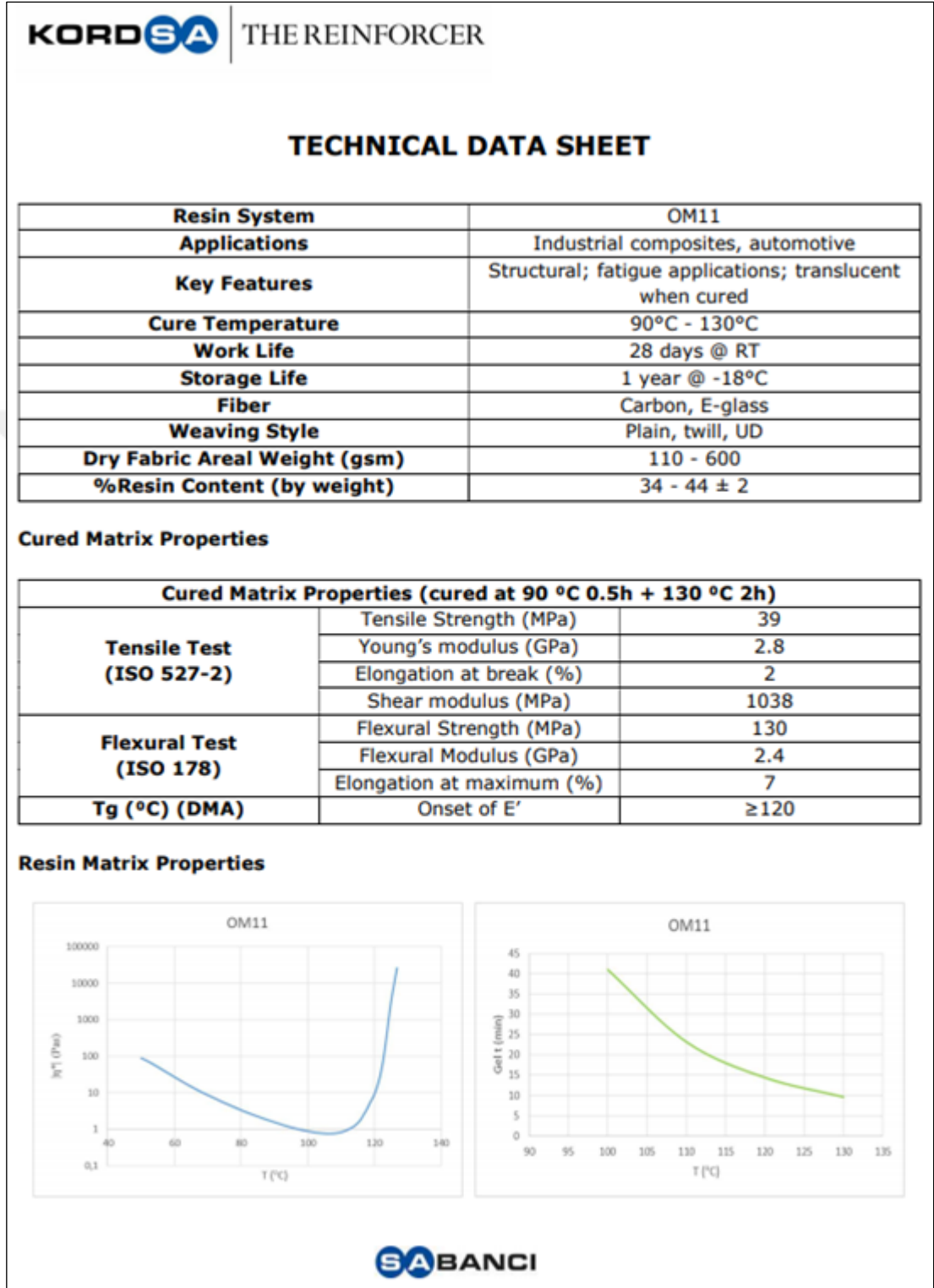
Geliştirilen ürün Almanya’da Composites Europe fuarında, KORDSA standında, OM11 reçine entegreli örnek ürün olarak sergilenmiştir. (Eylül, 2019)



Şekil A1. KORDSA standında sergilenen ürün



Şekil A2. KORDSA standında sergilenen ürün



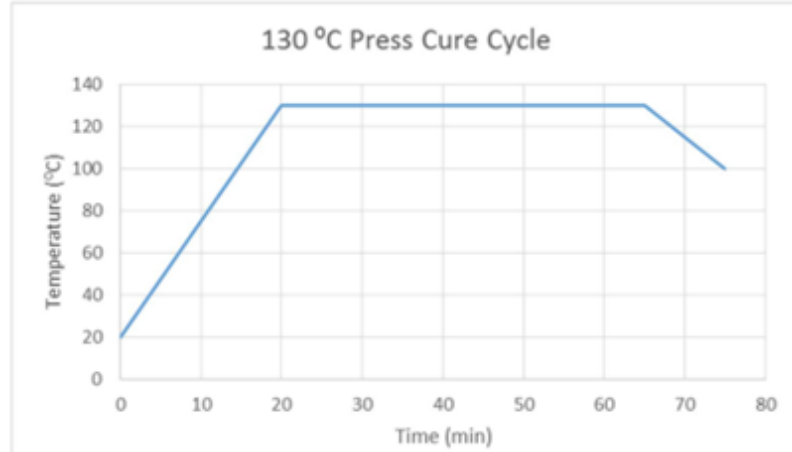
Şekil B1. KORDSA OM11 epoksi tip reçine teknik kitapçığı

Compression Molding

The resin system is suitable for hot molding and de-molding. Thick parts up to 100 mm in thickness can be cured in a heated press without any unwanted exothermic reaction.

Recommended Curing Cycle at 130 °C

- 1) Pre-heat the press to 130 °C
 - 2) Place the laminate into hot press and hold the laminate at that temperature applying 4 - 7 bars of pressure for 30 minutes
 - 3) De-mold the laminate (if possible cool below 100 °C)
- Post-cure in oven at 155 °C for 1 to 2 hours can be applied.

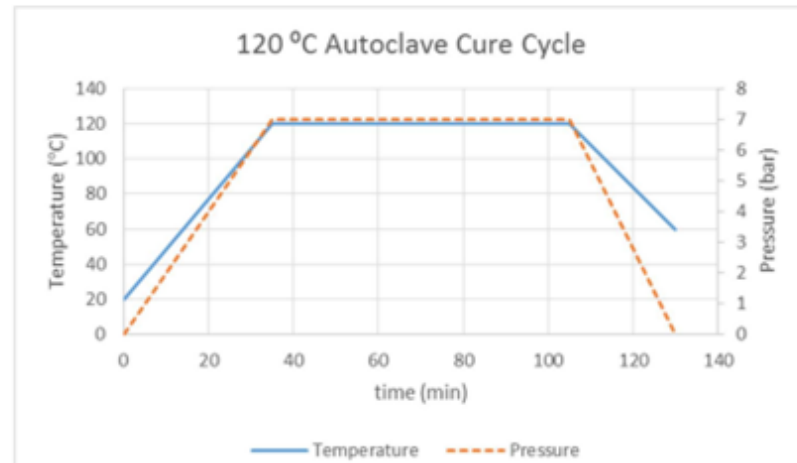


Şekil B2. KORDSA OM11 epoksi tip reçine press altında kür çevrimi önerisi

Recommended Curing Cycle at 120 °C

A typical autoclave cure cycle for a thin laminate is 60 minutes at 120°C.

- 1) Apply full vacuum (1 bar).
- 2) Apply 7 bar gauge autoclave pressure.
- 3) Reduce the vacuum to a safety value of 0.2 bar when the autoclave pressure reaches approximately 1 bar gauge.
- 4) Heat-up at 1 – 3 °C/minute to 120°C.
- 5) Hold at 120°C for 60 minutes ± 5 minutes.
- 6) Cool at 2 – 5 °C per minute.
- 7) Vent autoclave pressure when the component reaches 60°C or below.



Şekil B3. KORDSA OM11 epoksi tip reçine otoklav kür çevrimi önerisi

ŞİŞECAM SINGLE END ROVING


SINGLE END ROVING FOR WEAVING

WR6

WR6 single end roving is made from E- Glass;

Features and Benefits

- Easy to unwind
- Excellent processing behavior in weaving applications
- Very low fuzz generation during processing
- Excellent wet-out by matrix resin
- High strand integrity
- High mechanical properties



PRODUCT SPECIFICATION

Glass Type	E	Moisture Content (%)	max. 0,1
Roving Tex Count (g/1000m)	300 / 410 / 600 / 1200 / 2400 / 4800 ± %7	Sizing Content (%)	0,55 ± 0,15
Filament Diameter (µ)	Nom. 14 / 16 / 16 / 17 / 17 / 24	Sizing Type	Silane
		Resin Compatibility	Polyester Vinyl ester Epoxy

BOBBIN DIMENSIONS AND PACKAGING

Inner Diameter (mm)	External Diameter (mm)	Weight (kg)	Height (mm)
160	290	Nom. 16	250

Packaging	Number of bobbins per pallet	Number of layers per pallet	Pallet Dimensions (cm)	Pallet Height (cm)	Pallet Net Weight (kg)	Number of bobbins per layer
Bulk Packaging	48	4	96 x 128	125	770	12

Product should be stored in dry area at room temperature and relative humidity of approx 65%

Product should be conditioned for 24 hours in the work area prior to use.
In case of partial usage, package should be re-sealed.

Şekil C1. Şişecam WR6 600g/m2 2400tex E-Glass fiber kumaş teknik kitapçığı

AKSACA		DOWAKSA						
Revision Nr: 1 Revision Date: Feb/2016								
24K A-42 TECHNICAL DATA SHEET								
FIBER PROPERTIES								
	English		Metric		Test Method			
Tensile Strength	610	ksi	4200	MPa	ISO 10618			
Tensile Modulus	34,8	Msi	240	GPa	ISO 10618			
Strain	1,8	%	1,8	%	ISO 10618			
Density	0,064	lbs/in ³	1,78	g/cm ³	ISO 10119			
Yield	0,931	ft/lbs	1600	g/1000m	ISO 1889			
Sizing Type & Amount	D012		1,0-1,5	%	ISO 10548			
Twist	Never twisted							
PACKAGING								
The table below summarizes the standard packaging; other bobbin sizes can be supplied to satisfy special needs.								
Tow Sizes	Bobbin Net Weight (kg)	Bobbin Size (mm)					Spools per Case	Case Net Weight (kg)
		a	b	c	d	e		
24K	4	76	83	280	170	250	6	24

DowAksa İleri Kompozit Malzemeler Sanayi LTD. ŞTİ.
Miralay Şefik Bey Sok. Akhan No: 15 34437 Gümüşsuyu - İstanbul / TÜRKİYE
T: +90(212) 251 45 00 • F: +90(212) 249 35 99
www.dowaksa.com • cfsales@dowaksa.com

Şekil D1. Karbon fiber UD 600gr/m² Dowaksa A42 2400dtex %37 OM11 Epoksi reçine katkılı prepeg kumaş teknik kitapçığı

Ek-E

KORDSA | THE REINFORCER

QUOTATION

To:
Name: Mr. Burhan Aydın
Account Name: [REDACTED]
Ship To: [REDACTED]

Created Date: 17.07.2019
Expiration Date: 31.07.2019
Incoterms: Ex Works
Terms of Payment: Payment in Advance

Dear Mr. Aydın,
Please find our quotation as follows:

Resin Code	Fabric Type	Areal Weight (gsm)	Fiber Type	Resin Content (%)	Width(mm)	Quantity (sqm)	Unit Price	Unit
OM11	UD	600	Dowaksa A42 24K	37	600	50	31,17	EUR/sqm

Şekil E1. Karbon fiber UD 600gr/m2 Dowaksa A42 2400dtex OM11 prepeg kumaş birim fiyatı

PROFORMA INVOICE

To:
Mr. Burhan Aydın
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Date: 09.05.2019
Incoterms: EXW
Terms of Payment: PEŞİN ÖDEME

Dear Mr. Aydın
Please find our PI as follows:

Resin Code	Fiber Type	Areal Weight (gsm)	Fiber Type	Resin Content (%)	Width (mm)	Quantity (sqm)	Unit Price	Unit
OM11	UD	600	WR6-2400tex EGF	35	600	60	12,59	EUR/sqm

Şekil E2. KORDSA WR6 600g/m2 2400dtex E- E-Glass fiber OM11 prepeg kumaş birim fiyatı

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Aydın B.**, Çoban O., "2024-T351 Alüminyum Alaşımı ile Üretilen Yüksekte Çalışma Oturağının E-Cam Kompozitten Tasarımı ve Üretimi", *6th International Symposium on Academic Studies in Science, Engineering and Architecture Sciences*, Ankara, 13-15.06.2019



ÖZGEÇMİŞ

Burhan AYDIN 1987'de İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini Süleyman Nazif Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında girdiği Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu. 2006'da Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Bölümü'nü çift anadal programı ile tamamladıktan sonra aynı yıl Yedek Subay olarak askerlik hizmetini tamamladı. 2010 yılından itibaren özel sektörde çalışmaya başladı. 2010-2012 yılları arasında Proje Etüd Mühendisi, 2012-2014 yılları arasında Ar-Ge Mühendisi olarak çalıştı. 2015 yılında iş güvenliği ekipmanları geliştiren Kaya Safety firmasında Ar-Ge Şefi olarak çalışmaya başladı. 2017 yılında Türkiye'nin 97. Tasarım merkezini kurdu. Halen aynı firmada AR-GE ve Tasarım Merkezi Yöneticisi olarak çalışmaya devam etmektedir. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde kompozit malzemeler üzerine çalışmaları bulunmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.