

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMOPLASTİK PREPREG ESASLI AĞIR TİCARİ ARAÇ
KOLTUĞU TASARIMI, ANALİZİ
VE ÜZERİNE ENJEKSİYON PROSESİ İLE ÜRETİMİ**

SERKAN BİRÇİÇEK

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERMOPLASTİK PREPREG ESASLI AĞIR TİCARİ ARAÇ
KOLTUĞU TASARIMI, ANALİZİ
VE ÜZERİNE ENJEKSİYON PROSESİ İLE ÜRETİMİ

SERKAN BİRÇİÇEK

Doç.Dr. Mustafa Özgür BORA

Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Mehmet Atilla TAŞDELEN

Jüri Üyesi, Yalova Üniv.

.....

Doç.Dr. Mehmet KODAL

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 11.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım Doç.Dr. Mustafa Özgür BORA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Projemize vermiş olduğu desteklerden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Projemizin konsorsiyumunda görev alan ve projemize doğrudan katkıda bulunan KORDSA A.Ş ve KAREL KALIP A.Ş firmalarına ve çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Projemizde danışman olarak görev olan değerli hocalarım Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği öğretim görevlisi Prof. Dr. Güralp ÖZKOÇ'a ve Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri öğretim görevlisi Doç. Dr. Mehmet KODAL'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarına katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta desteğini ve zamanını esirgemeyen Assanhanil bünyesinde çalışan, değerli yöneticilerim; Bünyamin YAKAR, Ersan ERTÜRK ve Erman ARKIN'a ayrıca çalışma arkadaşlarım Dilan YILMAZ, Mustafa Arif AKTAŞ, Serkan AKPINAR, Emre GÖDEK ve Ali Ulaş MALCIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda verdiği emek ve katkılarından dolayı Assanhanil Otomotiv ve Tic. A.Ş ve Tüm Assanhanil çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım

Akademik çalışmalarım sırasında, birçok aşamada beni destekleyen Kocaeli Üniversitesi Polimer Bilimi ve Teknolojileri Bölümü araştırma görevlilerine teşekkür ediyorum.

Fen Bilimleri Enstitüsü'ndeki çalışma hayatım boyunca, üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca bana güç veren en büyük destekçilerim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili eşim Fatmanur Buse BİRÇİÇEK, babam Ahmet BİRÇİÇEK ve kardeşim Gülsüm KARCI, merhum annem Güner BİRÇİÇEK ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşlarım Yılmaz ACAR, Samet Alim BOZCA ve Murat DİLEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma TÜBİTAK 1511 Öncelikli Alanlar Araştırma Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Programı kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir (Proje numarası: 1160352).

Mayıs – 2021

Serkan BİRÇİÇEK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	5
1.1. Otomotiv Endüstrisindeki Tarihsel Gelişim ve Sürücü Koltuğu Geliştirme Süreci	5
1.1.1. Otomotiv endüstrisinin tarihi.....	5
1.1.2. Otomotiv endüstrisindeki teknolojik gelişmeler	6
1.1.3. Yakıt tüketimi ve tüketici davranışındaki eğilimler	7
1.1.4. Otomotiv endüstrisinde ağırlık azaltma çalışmaları	8
1.1.5. Otomotiv koltuklarında ağırlık azaltma trendleri	9
1.1.6. Otomotiv koltuğu bileşenleri	11
1.1.7. Sürücü koltuğu regülasyonları ve uygulanan testler	13
1.1.7.1. ECE-R14 emniyet kemer bağlantı regülasyonu analizi	14
1.1.7.2. ECE-R17 koltuk arkılığı moment analizi	15
1.2. Kompozit Malzemeler ve Genel Özellikleri	18
1.2.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	18
1.2.1.1. Fiber takviyeli kompozit malzemeler.....	19
1.2.1.2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler	24
1.2.1.3. Yapısal kompozit malzemeler	25
1.2.2. Prepregler	26
1.3. Üzerine Enjeksiyon (Over Molding)	28
1.4. Modelleme	31
1.5. Tezin Önemi ve İçeriği	34
1.6. Literatür Çalışması.....	35
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	63
2.1. Malzemelerin Tanımı.....	63
2.2. Üretim Süreci	64
2.3. Modelleme İşlemler ve Meshlemeler	66
2.4. Modellemenin Regülasyonlar ile Uyumu.....	70
3. TARTIŞMA.....	75
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR	93
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	102
ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	1886 Yılında Karl Benz tarafından geliştirilen ve Benz Patent Motorwagen tarafından üretilen içten yanmalı otomobil görseli.....	5
Şekil 1.2.	Standart koltuk arkılığı ve daha ince tasarlanan koltuk arkalık tasarımı.....	10
Şekil 1.3.	Taşıt koordinat sistemi.....	11
Şekil 1.4.	BMW 3.28i modeline ait sürücü koltuğu patlatılmış görüntüsü.....	13
Şekil 1.5.	ECE-R14 emniyet kemer bağlantı regülasyon analizi kuvvet yükleme simülasyonu	15
Şekil 1.6.	ECE-R17 arkalık moment analizi kuvvet yükleme simülasyonu	16
Şekil 1.7.	ECE R17 – Statik test – kafalık dayanım momentum testi 373Nm	17
Şekil 1.8.	ECE R17 / ECE R25 – Statik Test – Kafalık Çarpma Testi.....	17
Şekil 1.9.	ECE-R17 Kafalık enerji analizi kuvvet yükleme simülasyonu	17
Şekil 1.10.	Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	18
Şekil 1.11.	Doğal elyaflar	23
Şekil 1.12.	Sentetik elyaflar	24
Şekil 1.13.	Matrise takviye edilen fiber formlarının şekilsel gösterimi.....	24
Şekil 1.14.	İri parçacıklı kompozit malzemelere örnek olarak WC-Co kaynaşık karbürün sembolik gösterimi.....	25
Şekil 1.15.	Dispersiyonla dayanımı artırılmış Al/Al ₂ O ₃ kompozitin 10.000 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü.....	25
Şekil 1.16.	Lamine kompozit üretimi için fiber takviyeli polimerik kompozitlerin istiflenmesi	26
Şekil 1.17.	Bal peteği çekirdekli sandviç panelin yapısını gösteren şematik diyagram	26
Şekil 1.18.	Fiber takviyeli levha haline getirilmiş kompozit prepreg görselleri	28
Şekil 1.19.	Üzerine enjeksiyon prosesinin şematik gösterimi	29
Şekil 1.20.	CATIA programında oluşturulmuş bir uçak türbin tasarımı	32
Şekil 1.21.	CATIA programında tasarlanmış makine parça görseli	33
Şekil 1.22.	CATIA programında yüzey komutları ile tasarlanmış uçak görseli.....	33
Şekil 1.23.	CATIA programında oluşturulmuş teknik resim görseli	34
Şekil 1.24.	Normal üretim çözümü ile aynı kalınlığa sahip kompozit kırıla donatılmış tampon alt sisteminin zamana karşı reaksiyon kuvveti.....	36
Şekil 1.25.	Prototipleme adımları a) kumaş yerleştirme, b) kumaşa uygulanan vakum basıncı, c) konsolide kısım.....	38
Şekil 1.26.	(a) iç yüzey tabakası ve (b) dış yüzey tabakasının yeterli konsolidasyonunu gösteren mikro yapı	41

Şekil 1.27.	Bozulma alanlarının gösterimi (a) Eğilme testinden sonra tava kısmının enine kesit görünümü. Ortadaki kalıcı deformasyon görülmektedir. (b) Köpük hasarını ve PU köpük ile yüz tabakaları arasındaki bağın açıldığı alan(i). (c) Yükleme alanında (ii) hiçbir bağ açılmamış ve 5 mm'den az maksimum kalıcı sapma	42
Şekil 1.28.	Şasi profilinin Von Mises gerilim değerleri (1,5 mm).....	43
Şekil 1.29.	Koltuğun Von Mises gerilme değerleri (1,5 mm).....	44
Şekil 1.28.	Şasi profil kalınlıklarının FEA üzerindeki etkisi, Plastik gerinim	45
Şekil 1.29.	Şasi profil kalınlıklarının FEA üzerindeki etkisi, Von Mises gerilimi.....	45
Şekil 1.30.	Şasi profil kalınlıklarının FEA üzerindeki etkisi, Sırtlığın yer değiştirmesi	46
Şekil 1.31.	Enjekte edilen bileşik malzemenin yönünü (yeşil oklar) ve başlangıç, orta ve sonun sırasıyla koyu, normal ve açık mavi renklerle gösterildiği numune kesim konumlarını gösteren nervürlü plaka bileşeninin CAD modeli	46
Şekil 1.32.	Rib (Nervür) genişliği boyunca her bir alt bölüm için akış yönündeki lif oryantasyon bileşenleri. Hata çubukları standart sapmayı gösterir	47
Şekil 1.33.	Tüm numune kesim konumları için arayüzde deformasyonlar	47
Şekil 1.34.	Yapışma gücüne ısıtma gücü ve ısıtma süresinin etkisi	49
Şekil 1.35.	Yapışma mukavemetinin basınca göre değişimi	50
Şekil 1.36.	Yükleme koşulları için bileşen deformasyonları	50
Şekil 1.37.	FE modeli: (a) panelin görünümü; (b) sınır koşullarının ayrıntılı görünümü	51
Şekil 1.38.	Kompozit modeli: (a) mikroyapısal temsili hacim ögesi (RVE) ve (b) mimarinin parametreleri	53
Şekil 1.39.	DeneySEL ve sayısal testler arasında kuvvet-yer değiştirme eğrisi karşılaştırması: (a) tek eksenli çekme testi ve (b) üç noktalı eğme testi	54
Şekil 1.40.	Hazırlama yönteminin şeması.....	54
Şekil 1.41.	Üstüne enjeksiyon aşamasından sonra hazırlanan PET ve G-PET numunelerinin görünümü.....	55
Şekil 1.42.	Üstüne enjeksiyon durumuna göre 3D-Tow/LFT arayüzünün gücü.....	57
Şekil 1.43.	Ön tampon montaj bileşeninin statik üç noktalı eğilme testi sonucu	57
Şekil 1.44.	(a) 370°C ön ısıtma sıcaklığı ve 400 kN bağ kuvveti ayarları için farklı tutma basınç profillerinde iplik deformasyonu ve nervür çekme kuvveti. Hata çubukları standart sapmaları gösterir. (b) Yüksek (üst) ve düşük (alt) tutma basıncı ayarlarında nerv	58
Şekil 1.45.	Değişken tutma basıncı profillerinde boşluk içeriği ve ortalama lif yönü. 370°C ön ısıtma sıcaklığı ve 400 kN bağ kuvveti. Hata çubukları standart sapmayı gösterir.....	59

Şekil 1.46.	Organo levha matrisinin farklı ön ısıtma sıcaklıklarında ve kelepçe kuvvetlerinde yüzeye yer değiştirmesi. Hata çubukları standart sapmayı gösterir	59
Şekil 1.47.	Düşük ve yüksek erime sıcaklığı ile çekme kuvveti.....	60
Şekil 1.48.	Tutma süresinin bir fonksiyonu olarak çekme kuvveti.....	61
Şekil 1.49.	Üç farklı plaka için çekme kuvveti (IM: enjeksiyonla kalıplanmış plakalar; IS-A:magnezyum katalizör bazlı yerinde polimerizasyon plakaları; IS-B: Brüggemann AP-NYLON bazlı yerinde polimerizasyon plakaları).....	62
Şekil 2.1	Bu tez kapsamında kompozit tasarımı ve analizi gerçekleşecek sürücü koltuğu görseli.....	64
Şekil 2.2.	Ürün kalıp datasına ait görseller	65
Şekil 2.3.	Endüstriyel kızıl ötesi fırına ait görseller.....	65
Şekil 2.4.	Over-Molding kalıbı içerisine robotik kol ile yerleştirilmiş prepreg görseli	66
Şekil 2.5.	Over-Molding prosesi sonrasında kalıptan alınmaya hazır parça görseli.....	66
Şekil 2.6.	Sürücü koltuğu sırtlığı tasarımı ve analizi için akış şeması.....	67
Şekil 2.7.	Sonlu elemanlar modeli test numunesi	68
Şekil 2.8.	Sonlu elemanlar modeli	69
Şekil 2.9.	Test çubuğu sonlu elemanlar modeli	69
Şekil 2.10.	Test çubuğu katmanları.....	70
Şekil 2.11.	Test ve simülasyon grafiği.....	70
Şekil 2.12.	ECE-R14 emniyet kemer bağlantı regülasyon analizi kuvvet yükleme simülasyonu	71
Şekil 2.13.	ECE-R14 emniyet kemer bağlantı regülasyon analiz sonuçları	72
Şekil 2.14.	ECE-R17 arkalık moment analizi kuvvet yükleme simülasyonu	72
Şekil 2.15.	ECE-R17 arkalık moment regülasyonu analiz sonuçları.....	73
Şekil 2.16.	ECE-R17 kafalık enerji analizi kuvvet yükleme simülasyonu	73
Şekil 2.17.	ECE-R17 arkalık moment regülasyonu analiz sonuçları	74
Şekil 3.1.	Kompozit koltuk arkılığı Rev1 tasarım görseli.....	75
Şekil 3.2.	Rev1 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	76
Şekil 3.3.	Kompozit koltuk arkılığı Rev2 tasarım görseli.....	76
Şekil 3.4.	Rev2 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	77
Şekil 3.5.	Kompozit koltuk arkılığı Rev3 tasarım görseli.....	77
Şekil 3.6.	Rev3 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	78
Şekil 3.7.	Rev3 tasarımına yapılan analiz modeli görseli	78
Şekil 3.8.	Kompozit koltuk arkılığı Rev4 tasarım görseli.....	79
Şekil 3.9.	Rev4 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	80
Şekil 3.10.	Kompozit koltuk arkılığı Rev5 tasarım görseli.....	81
Şekil 3.11.	Rev5 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	81
Şekil 3.12.	Kompozit koltuk arkılığı Rev6 tasarım görseli.....	82
Şekil 3.13.	Rev6 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	82
Şekil 3.14.	Kompozit koltuk arkılığı Rev7 tasarım görseli.....	83
Şekil 3.15.	Rev7 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	83
Şekil 3.16.	Kompozit koltuk arkılığı Rev8 tasarım görseli.....	84
Şekil 3.17.	Rev8 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	85
Şekil 3.18.	Kompozit koltuk arkılığı Rev9 tasarım görseli.....	85
Şekil 3.19.	Rev9 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	86

Şekil 3.20.	Kompozit koltuk arkalığı Rev10 tasarım görseli	87
Şekil 3.21.	Rev10 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli	87
Şekil 3.22.	Kompozit koltuk arkalığı fiziksel ürün görseli	89
Şekil 3.23.	Kompozit koltuk arkalığı montajlı ürün görseli	89
Şekil 3.24.	Kompozit arkalık ECE R14 fiziksel test görseli.....	90



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Araç koltukları üzerinde potansiyel ağırlık azaltmalarının gösterimi	9
Tablo 1.2.	ECE-R14 regülasyon yük dağılım tablosu.....	14
Tablo 1.3.	Kompozit havalandırma erişim tavan kapısının ve metalik muadilinin ağırlık, sapma ve sönümlenme karşılaştırması.....	36
Tablo 1.4.	Polipropilen (PP) malzeme özellikleri.....	36
Tablo 1.5.	Çelik eklemeli numuneler için deneysel ve sayısal özfrekans değerleri	38
Tablo 1.6.	Çelik eklemesiz numuneler için deneysel ve sayısal özfrekans değerleri	39
Tablo 1.7.	MF teknolojisine göre hazırlanan kompozitlerin mekanik performansının %40 cam elyaf takviyeli polipropilen ile karşılaştırılması.....	40
Tablo 1.8.	Tasarlanan kompozit panel için kritik katın sayısal sonuçları.....	52
Tablo 1.9.	Çekme, eğilme ve darbe direnci ölçümlerinden mekanik özelliklerin karşılaştırılması.....	55
Tablo 2.1.	OM10 kodlu prepreg malzemesine ait teknik özellikler.....	63
Tablo 2.2.	Polytron P40B01 malzemesine ait teknik özellikler.....	63
Tablo 2.3.	Over-Molding enjeksiyon işlem parametreleri	65
Tablo 2.4.	Termoplastik prepreg malzeme çekme test sonuçları.....	68
Tablo 3.1.	Tüm modellere uygulanan testlerin sonuç ve özetleri	88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ANSI	: American National Standards (Amerikan Ulusal Standartları)
BF	: Basalt Fiber (Bazalt Fiber)
BFRP	: Basalt Fiber Reinforced Plastic (Bazalt Fiber Takviyeli)
BIW	: Body In White (Araç Gövdesi)
BMC	: Bulk Mold Compaund (Hamur Kalıplama Bileşeni)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAE	: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Analiz)
CF	: Carbon Fiber (Karbon Fiber)
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Plastics (Karbon Fiber Takviyeli Plastik)
CSN	: Czech Standards Institute (Çek Standartları Enstitüsü)
DIN	: Deutsches Insut Für Normung (Alman Standardizasyon Enstitüsü)
DLFT	: Direct Long Fiber Thermoplastic (Direk Uzun Elyaf Termoplastik)
ECE	: Economic Commission for Europe (Avrupa Ekonomik Komisyonu)
FMVVS	: Federal Motor Vehicle Safety Stadards (Federal Motorlu Araç Güvenlik Standartları)
FRP	: Fiber Reinforcement Polymer (Fiber Takviyeli Polimer)
GB	: Guobiao Standards (Guabiao Standartları)
GF	: Glass Fiber (Cam Fiber)
GFRP	: Glass Fiber Reinforced Plastics (Cam Fiber Takviyeli Plastikler)
GOST	: Government Standard Russia (Rusya Devlet Standartı)
ICCT	: International Council of Clean Transportation (Uluslararası Temiz Ulaşım Konseyi)
ILSS	: Interlaminar Sheat Strenght (Katmanlar Arası Kesme Dayanımı)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartizasyon Örgütü)
KF	: Kevlar Fiber
KFTP	: Karbon Fiber Takviyeli Plastik
MAPP	: Maleik Anhidrit Modifiyeli Polipropilen
MCV	: Medium Commercial Vehicle (Orta Ticari Araç)
NADA	: National Automobile Dealers Association (Ulusal Otomobil Satıcıları Derneği)
NCAP	: New Car Assesment Programme (Yeni Araba Değerlendirme Programı)
NFPC	: Natural Fiber Polymer Composite (Doğal Elyaf Polimer Kompozit)
NVH	: Noice Vibration Harshness (Gürültü Titreşim Sertlik)
PET-F	: Polietilen Tereftalat
PP	: Polipropilen
PRC	: Particle Reinforced Composites (Parçacık Takviyeli Kompozit)
SF	: Sisal Fiber
SMC	: Sheet Mold Compaund (Levha Kalıplama Bileşeni)

STL : Sound Transmission Loss (Ses İletim Kaybı)
TPE : Thermoplastic Elastomer (Termoplastik Elastomer)
TPO : Termoplastik Poliolefin
TPP : Thermoplastic Polyolefin
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
UKTGi : Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi



TERMOPLASTİK PREPREG ESASLI AĞIR TİCARİ ARAÇ KOLTUĞU TASARIMI, ANALİZİ VE ÜZERİNE ENJEKSİYON PROSESİ İLE ÜRETİMİ

ÖZET

Otomotiv endüstrisinde son dönemde kullanımı artan “üzerine enjeksiyon” (overmolding) yöntemi ile hibrit termoplastik kompozit üretimi önemli bir hafifletme teknolojisi olarak göze çarpmaktadır. Gelişmiş özelliklere sahip yeni bir malzeme oluşturmak için matriste iki veya daha fazla takviye elemanının birleştirilmesine hibrit kompozit denir. Hibrit kompozit, tek bir takviye elemanına sahip kompozite kıyasla üstün özellikler sunar. Bu yöntem aracılığı ile; araçların hafifletilmesi ve proses adımlarının azaltılması gibi temel avantajlar elde edilmekte olup uygun parça seçimi ve tasarım optimizasyonlarına bağlı olarak parça üretim maliyetlerinin de rekabetçi bir noktaya getirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, hibrit kompozit ile ileri kalıplama teknolojilerini birbirlerine entegre etmek ve belirli yapısal komponentleri, bu teknolojiyi kullanarak üretmek sektörel anlamda önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında kamyon koltuk yapısında kullanılan metal parçanın (S420 MC) kompozit teknolojisi ile üretilmesi amacı ile kullanılacak sürekli cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi gerçekleştirilmiştir. İlgili koltuk kısmının kompozit olarak üretimi için parça tasarım çalışmaları ve onlara uygulanan ECE R17 regülasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, çalışma ürünü olarak ağır ticari araç yolcu koltuk arkılığı seçilmiştir. Mevcut koltuk iskeleti nin sırt kısmı nın ağırlığı 3200 gr olup ilgili sırtlık S420 MC malzemesi ile imal edilen boruların tasarıma göre bükülmesi ve işlenmesinin ardından birbirlerine kaynaklanmıştır. Bu çalışmada mevcut sırt iskeletinin ağırlığını ve işlem proses sayısını düşürmek için Epoksi reçine esaslı cam elyaf katkılı (OM10) prepreg malzeme üzerine polipropilen / GF 40 (P40B01) hammaddesi kullanılarak üzerine enjeksiyon yöntemi uygulanarak ağırlık 1700 gr'a düşürülmüş ve ağırlık düşüşü başarıyla kanıtlanmıştır. Modellerin kabul kriteri olarak kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri (young modülü, maksimum çekme mukavemeti ve poisson oranı değerleri) ilgili kabul aralıkları olarak belirlenmiştir. Tasarım çalışmaları çeşitli senaryolarda analiz edilmiştir. Analiz çalışmaları kapsamında tüm senaryolar için malzemenin mekanik sınırlarını karşılayan tasarım kabul edilen tasarım olarak belirlenmiştir. ECE-R14 analizi için statik bir yükleme koşulu varken, ECE-R17 için dinamik sınır koşulları vardır. Tasarımlarda malzemenin mekanik sınırlarının üzerindeki alanlara feder ler eklenmiş, malzeme kalınlığında revizyonlar yapılmış ve mühendislik değişiklikleri kullanılarak mevcut tasarıma ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Ürün Tasarımı, Sonlu Elemanlar Analizi, Termoplastik Kompozit, Üzerine Enjeksiyon.

THERMOPLASTIC PREPREG BASED HEAVY COMMERCIAL VEHICLE SEAT DESIGN, ANALYSIS AND PRODUCTION BY OVER-MOLDING INJECTION PROCESS

ABSTRACT

The production of hybrid thermoplastic composites is significant lightening technology with “over-molding” method, which utilization has increased in recent years at the automotive industry. Combining two or more reinforcing elements into the matrix to compose a new material with enhanced properties is called hybrid composite. Hybrid composite offers superior properties in comparison with the composite which has a single reinforcing element. By favor of related method; prime advantages such as lightening the vehicles and reducing the process steps are obtained and it is aimed to bring the parts production costs to a competitive point depending on the appropriate part selection and design optimizations. In this regard, it is essential to integrate hybrid composite and advanced molding technologies and to produce certain structural components associated with using this technology.

Within the scope of this study, the metal part (S420 MC) used in the truck seat structure was modelled along with the finite element method of the continuous glass fiber reinforced composite material that will be used to produce with composite technology. Part design studies and ECE R17 regulation analysis applied to composite production of the relevant seat part have been realized. In this work, heavy commercial vehicle passenger seat backrest was chosen as the study product. The backrest of the existing weight is 3200 gr and the related backrest was welded from S420 MC tube. Based on this, weight reduced to 1700 gr by performing over-molding method under favor of using polypropylene / GF 40 (P40B01) raw material on Epoxy Resin based (OM10) prepreg material and weight reduction have successfully substantiated. The mechanical properties (young's modulus, ultimate tensile strength and poisson ratio values) of the materials used as the acceptance criteria of the models were determined as the relevant acceptance ranges. Design studies have been analyzed in varied scenarios. Within the scope of the analysis studies, the design that encounters the mechanical limits of the material for all the scenarios was determined as the accepted design. While there is a static loading condition for ECE-R14 analysis, there are dynamic boundary conditions for ECE-R17. In the designs, ribs were added to the areas above the mechanical limits of the material, revisions were made in the thickness of the material and the current design was achieved by using engineering changes such as forming.

Keywords: Composite Product Design, Finite Element Analysis, Thermoplastic Composite, Over-Molding.

GİRİŞ

Kompozit malzemeler; mükemmel mekanik özellikleri, düşük yoğunluk değerleri, korozyon direnci ve uygulamaya kolaylıkları nedeni ile son yıllarda hızlı bir gelişme gösteren; havacılık, deniz taşıtları, otomotiv ve biomedikal endüstrisinde yaygın olarak kullanım alanı kazanmıştır [1].

Otomotiv endüstrisinde ise son yıllarda, CO₂ emisyonunu azaltmaya yönelik oluşturulan yeni regülasyonlar ciddi oranda önem kazanmıştır. Bu durum da otomobil endüstrisini, daha hafif parça üretimi amacıyla yeni teknoloji geliştirme çalışmaları yapmaya yönlendirmiştir [2, 3]. Ek olarak birçok otomotiv üreticisi elektrikli araç piyasasında gelişmesi ile 2021 yılından sonra daha hafif araçlar ile piyasaya çıkacaklarını belirtmişlerdir [2]. Bu nedenle, özellikle araçların ağırlıkça %90'nını oluşturan metal parçaların yerine polimer esaslı malzeme kullanımı önem kazanmıştır. Fakat metal yerine kullanılması hedeflenen bu polimer esaslı malzemelerin ilgili güncel regülasyon isteklerini karşılaması, dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri olarak göze çarpmaktadır. Buna bağlı olarak metal yerine polimer esaslı malzeme kullanımı noktasında kompozit malzemenin üretilmiş parça teknolojileri öne çıkan en önemli çalışma alanlarından bir tanesidir. Diğer taraftan kullanılan kompozit teknolojisinin otomotiv endüstrisindeki rekabet koşullarını sağlıyor olması ve parça seri üretimine uygun olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu durumdan hareketle seri üretime uygun, regülasyon isteklerini karşılayabilen, kırılmış cam keçe elyaf katkılı termoplastik kompozitler (GMT, Glass Mat Thermoplastics) ve üzerine enjeksiyon (over-molding) ile hibrit termoplastik kompozit parça üretimi gibi teknolojiler öne çıkan en güncel kompozit parça üretim yöntemleri olarak gösterilmektedir [4]. Termoplastik esaslı kompozitler, üretim süreçlerinin hızlı ve çevre dostu olması sebebiyle günümüzde özellikle yüksek hacimli üretim yapılan endüstrilerde oldukça popülerdir. Termoplastik esaslı kompozitlerin üretiminde ara mamül olarak kullanılan sürekli elyaf katkılı termoplastik matrisli prepregler, özel bir depolama şartı olmaması, geri dönüştürülebilir olması ve raf ömrünün sınırsız olmasından dolayı önümüzdeki

dönemlerde daha da fazla kullanılması beklenen bir malzemedir. Termoplastik prepregler kurudur ve kolaylıkla istenilen ölçülerde kesilebilmektedir.

Hibrit termoplastik matrisli kompozit üretim teknolojisi; çoklu kalıplama, sürekli elyaf katkılı kompozitlerin enjeksiyon teknolojisi ile birleştirilerek oluşturulan parçaların, araçlarda kullanılan metal komponentlerin yerini almasını sağlayan önemli bir yöntem olarak dünya otomotiv endüstrisinde kendisine yer bulmaktadır [5]. Bu teknoloji ile otomotiv endüstrisinde akü taşıyıcı, yağ deposu, klima taşıyıcı, tampon taşıyıcı sistemi, koltuk şasi parçaları vb. birçok yapısal parça kompozit malzemelerden üretilmekte ve sektörde kendisine yer bulmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak NIFCO ve Dupont işbirliği ile üretilen yağ deposu projesi, Faurecia ve CETIM firmaları tarafından üretilen kompozit koltuk çalışması ve 2018 yılında tanıtımı yapılan Faurecia ve ZF tarafından geliştirilen koltuk projeleridir [6, 7]. Öne çıkan en önemli nokta ise ilgili kompozit parçaların belirtilen regülasyonu sağlayacak şekilde doğru tasarlanmasıdır. Bu noktada da ilgili kompozit parçaların bilgisayar desteği ile tasarlanıp parçayla ilgili regülatif isterlerin bilgisayar destekli analizlerle (CAE-Computer Aided Engineering) doğrulanması, diğer tasarım çalışmalarında olduğu gibi kompozit parça tasarım ve üretim sürecinin de ilk ve en önemli aşamalarından biridir. Bu doğrultuda üzerine enjeksiyon (over-molding) yöntemi ile üretilmesi hedeflenen bir parçanın sonlu elemanlar yöntemi ile analiz çalışmaları hakkında önemli bir adım gerçekleştirilmiş ve kompozit parça tasarımının aşamalı olarak gerçekleştirilmesi noktasında literatüre önemli bir katkı sunulmuştur [3]. Bu yöntemler ile yapılan çalışmalara örnek olarak Karpat ve arkadaşları [8], otobüslerde kullanılan yolcu koltuklarının ağırlıklarını azaltmak amacı ile yolcu koltuklarının tasarım ve analiz sonuçlarına odaklanmışlardır ve ilgili çalışmada yolcu koltuklarının ağırlıklarında %20 ağırlık azaltılması sağlanmıştır. Başka bir çalışmada ise Ning ve arkadaşları [9], ticari araçlarda kullanılan bir klima kapağı üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada alüminyum esaslı malzemeden imal edilen klima kapağını kompozit esaslı bir malzeme (Thermoplastic polyolefin-TPO) ile değiştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlardan parça ağırlığında %39'luk bir ağırlık azaltılması elde etmişlerdir [10]. Bu çalışma sayesinde kompozit esaslı malzemelerin geleneksel malzemelere alternatif olabileceğine değinilmiştir.

Sonlu elemanlar analizi, kompozit malzeme analizinde hasar ilerleme karakterizasyonu için kullanılmaktadır. İlgili analiz yönteminde, malzeme özellikleri model oluşturulduğunda kompozit yapıyı oluşturan ağa atanmaktadır. Bu yöntemle, ilgili elemanın entegrasyon noktalarında herhangi bir sonlu eleman ağına uygulanan yük nedeni ile elemanda hesaplanan gerilme ve gerinim değerleri hesaplanmaktadır. Bu yöntem ile malzeme özelliklerinin bu entegrasyon noktalarına atandığı varsayılmaktadır. Model üzerinde oluşturulan elemanlar, katmanların [11,12] birleşimi ile oluşturulmuş kompozit plakaları temsil etmektedir. Buna ek olarak, Heypermesh programı ile ilgili analizlerde kullanılır ve çok çeşitli CAD ve çözücü arayüzlerini desteklemektedir bu da analiz yöntemini birçok sektörün etki ettiği alanlar için mükemmel bir çözüm haline getirmektedir. Hypermesh, gelişmiş geometrisi ve ağ oluşturma yetenekleri ile hızlı model üretimi için bir ortam sağlamaktadır [13]. Üzerine enjeksiyon (over-molding) yöntemi, bir malzemenin (genellikle TPE- Thermoplastic Elastomer) ikinci bir malzemeye (tipik olarak sert plastik) kalıplandığı/üretildiği bir enjeksiyon ile kalıplama işlemidir. Üzerine enjeksiyon ile ilgili olarak proses koşulları, karmaşık parçalar için iyi rijitliğin yanı sıra yüksek mekanik özelliklerine de izin vermektedir. İlgili süreçte, her iki malzemenin biri düşük viskoziteli (erimiş) durumdadır. Üzerine enjeksiyon ile kalıplama işleminin üretim döngüsünde yüksek seviyede fonksiyon entegrasyonu ve büyük sayıdaki parçaların üretimi gibi birçok avantajı vardır ve bu nedenle son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir [14,15]. Şimdiye kadar gerçekleştirilen literatür çalışmaları incelenmiş ve ağır ticari araçlar için sürücü koltuğu yönetmeliğinin gerektirdiği seviyede kompozit malzemenin enjeksiyon teknolojisi ile üretilmiş bir ürüne rastlanmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışma ile ağır ticari sürücü koltuğu için gerekli olan ECE R17 yönetmeliği şartlarını sağlayabilecek kompozit malzemenin enjeksiyon teknolojisi ile üretilmiş bir sürücü koltuğunun elde edilebilmesi amaçlanmıştır. Buna göre gerekli malzemeler belirlenmiş olup, CATIA V5 programı kullanılarak üzerine enjeksiyon üretim prosesine uygun olarak koltuk sırtlığı modellenmiştir. Ardından isterleri sağlayan tasarım, üzerine enjeksiyon (over-molding) yöntemi ile üretimi gerçekleştirilmiş ve regülasyonlara uygun olarak fiziksel testler Assanhanil bünyesindeki akradite test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kompozit malzeme kullanılarak ağırlık kazanımı ve üzerine enjeksiyon üretim yöntemi kullanılarak parça üretim süresinin kısaltılması

hedeflenmiştir. Bu çalışmada sürekli cam elyaf katkılı polipropilen (PP) matrisli termoplastik prepreg malzemenin sanal analiz modelleme çalışmaları yapılmış olup, istenilen prepreg malzeme modeli oluşturulmuştur. Ayrıca, metal yapıdan oluşan koltuk arkalık parçası yerine plastik kompozit bazlı parça tasarımı oluşturulmuş, ilgili regülasyon ve diğer isterlere göre analiz çalışmaları tekrarlanarak tasarım son haline getirilmiştir.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Otomotiv Endüstrisindeki Tarihsel Gelişim ve Sürücü Koltuğu Geliştirme Süreci

1.1.1. Otomotiv endüstrisinin tarihi

19. yüzyılın ortalarında petrolün otomotiv endüstrisinde kullanım alanı bulması ile birlikte buhar gücünün yerini içten yanmalı motorlara bırakarak gelişmeye devam etmiştir. Otomobil tek bir kişi tarafından bulunmamıştır. Yaklaşık bir asır boyunca birçok farklı ülkelerden ortaya çıkan otomotiv buluşlarının bir araya gelmesi ile ortaya çıkmıştır [16]. Modern otomobilin ortaya çıkması otomobil özelinde yaklaşık 100.000 patent alımı sonucunda gerçekleştiği tahmin edilmektedir [16]. Ancak literatürde ilk içten yanmalı motora sahip otomobil olarak kabul edilen Karl Benz tarafından üretilen Benz Patent Motorwagen'dir. Şekil 1.1'de Karl Benz tarafından üretilen ilk aracın görseli verilmiştir.



Şekil 1.1. 1886 Yılında Karl Benz tarafından geliştirilen ve Benz Patent Motorwagen tarafından üretilen içten yanmalı otomobil görseli [16]

Otomobilin icat edilmesi ile birlikte insanların günlük yaşamlarındaki sosyal aktivitelerinde ve ulaşım yöntemlerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Otomobillerin üretilmeye başladığı dönemlerde sanayideki üretim hızına bağlı olarak

piyasadaki araç çeşitliliği ve adedi sınırlı iken günümüzde gelişen sanayi ile birlikte hergün sosyal ve iş hayatımızdaki çeşitli isteklerimize cevap veren otomobil üretimi gerçekleşmektedir. Ancak her ne kadar farklı araç sınıfında ve farklı isteklerimize hitap eden otomobil üretimi gerçekleşse de temel tasarım ve mühendislik sınırları oldukça benzerdir. Buna rağmen otomotiv endüstrisinin ilk yıllarından itibaren gerçekleşen tarihsel döngüsünde; üretilen otomobiller üzerinde önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir. Otomotiv sektörü; regülasyon ve yasal yaptırımlar, mühendislikte ve sanayide ortaya çıkan yeni teknolojiler, farklı müşteri talepleri ve küresel ticaret nedeni ile her geçen gün kendisini geliştirmek ve güncellemek zorundadır. Yapılan araştırmalar neticesinde otomotiv endüstrisi geçen dönemlerde olduğu gibi 21. yüzyılda da büyümeye devam eden ve gelişen bir sektör olacaktır [16]. Son yıllarda otomotiv endüstrisinde küreselleşme nedeni ile yeni fırsatlar meydana gelmektedir. Farklı otomobil markalarının tek bir çatı altında birleşerek pazar paylarını güçlendirmeleri ve işbirliğine gitmeleri buna bir örnek olarak verilebilmektedir. Küreselleşmenin bir etkisi olarak hem üretim hemde pazar olarak büyük oyuncular listesinde yer alan Çin ve Hindistan gibi ülkelerinde son yıllarda gittikçe artan otomobil kullanıcılarının ve endüstrilerinin eklenmesi ile birlikte otomotiv endüstrisinin dünyadaki en önemli endüstrilerden biri olmaya devam edeceği düşünülmektedir. Bu nedenle otomotiv endüstrisinde son yıllarda rekabet ortamı iyice artmakta ve müşteri talepleri değişmektedir. Buna bağlı olarak yeni ürünlerin çok daha hızlı üretilmesi ve pazara sunulması önem arz etmektedir. Bu isteklere cevap verebilecek yeni ürünlerin başarılarının arkasındaki en önemli etken ise etkili ürün geliştirme aşamalarıdır. İsteklere cevap verebilecek başarılı ve etkili bir ürün geliştirme süreci olmaz ise, otomotiv endüstrisinin bugün ve gelecekteki müşteri taleplerine cevap vermesi imkansıza hale gelebilir. Ancak 21. yüzyılda otomobil endüstrisi için ürün tasarımı, ürün geliştirme süreçleri ve ürün üretim süreçlerini yönetmek oldukça zor ve karmaşık bir süreçtir.

1.1.2. Otomotiv endüstrisindeki teknolojik gelişmeler

Otomotiv sektörü tarihsel gelişimi boyunca teknolojik gelişmelere uyum sağlamış ve gelişen teknolojiyi kullanmayı başarmıştır. Otomotiv endüstrisinin gelişim sürecinin ilk yıllarında dahi teknolojik gelişmeler uygulanmakta ve endüstri içerisinde herkes için önem arz etmekteydi. Ancak bu gelişmeler otomotiv

endüstrisi için 21. yüzyılda ivmelenerek devam etmiş ve otomotiv endüstrisinde, insanların araçlardan beklentisini ve algısını değiştirecek birçok yeniliğe yol açmıştır. [16]. Bu kapsamda artık alıştığımız otomobil kavramı değişmiş ve sürücüye ihtiyaç duymadan hareket edebilen otomobiller, diğer akıllı cihazlarımız ile entegre olarak çeşitli ihtiyaçlarımıza cevap veren otomobiller, hybrid ve elektrik enerjisi ile çalışan otomobiller bunlardan birkaçıdır. Aynı zamanda otomotiv endüstrisinde yaşanan teknolojik gelişmeler çeşitli regülasyonlar neticesinde daha hafif bir araç üretebilmek adına yeni ve hafif malzemelerin kullanımına da yol açmıştır.

1.1.3. Yakıt tüketimi ve tüketici davranışındaki eğilimler

Dünyadaki CO₂ emisyonlarının %23'ünü içten yanmalı motora sahip araçlar oluşturmaktadır. Bu rakamın 2010 yılına kadar %40 değerlerine ulaşması öngörülmektedir. Aynı zamanda dünya üzerindeki fosil yakıt rezervlerinin 2050 yılından kısa bir süre sonra tükeneceği tahmin edilmektedir [16]. Bu nedenlerle modern otomobiller, emisyon değerlerini düşürme ve yakıt azaltımı gibi sürekli artan taleplerle karşılaşmaktadır.

Hem yakıtlardaki hemde araç vergilerindeki artan rakamlar nedeni ile tüketiciler son yıllarda büyük SUV araçlardan ve lüks sedanlardan daha çok maliyeti daha az olan ve yakıt açısından daha verimli kompakt otomobil sınıflarına yönelmişlerdir.

Dünyanın en büyük otomotiv pazarlarından biri olarak kabul edilen ve sektörde belirleyici bir üstlenen ABD'de NADA tarafından yapılan bir ankette; ABD'deki otomotiv tüketicilerinin bir sonraki otomobillerini satın almalarındaki en büyük faktör ağırlıklı olarak yakıt tüketimi olduğunu göstermektedir. Anketteki en ilginç kısım ise; ankete katılanların büyük bir kısmının daha az yakıt tüketimi sergileyen bir araca sahip olmak için konfor isterlerini azaltmaya veya tamamen vazgeçmeye istekli olmalarıdır [16].

Modern otomobil üreticileri için 21. yüzyıldaki en büyük zorluk araç maliyetini korurken, aynı zamanda rakiplere göre otomobillerinin performansını arttırmak ve yakıt verimliliğini korumak olacaktır. Aracın performansı, hızlanma, yol tutuşu ve konfor gibi çeşitli kriterlerle ilişkilidir. Yakıt verimliliğinin ise aracın kütlesi ile doğrudan bir etkileşimi vardır. Araç ağırlığının azaltılması yakıt verimliliği üzerinde

doğrudan olumlu bir etki oluşturmaktadır. Araç ağırlığının azaltılması da yenilikçi malzemeler ile mümkün olabilmektedir [17].

Hafif ve yenilikçi malzemeler genellikle çelik ve alüminyum gibi geleneksel mühendislik malzemelerinden daha pahalı olduklarından, araçlardaki ağırlık azaltımındaki en büyük sınırlama maliyettir. Bu nedenle; geleneksel malzemeleri daha etkili şekilde kullanabilen yenilikçi tasarım fikirleri, otomobil endüstrisinde potansiyel bir ağırlık azaltma kaynakları olacaktır.

1.1.4. Otomotiv endüstrisinde ağırlık azaltma çalışmaları

2010 yılında Lotus firmasının mühendisleri, modern otomobillerde ağırlık azaltma çalışmaları üzerine bir çalışma yayınlamışlardır. 2009 model Toyota Venza marka bir aracı yeniden yapılandırarak, piyasadaki en iyi çözümleri sistem düzeyinde bir mühendislik metodolojisi ile birleştirerek, önemli ölçüde ağırlık azaltmanın ve aracın maliyetini düşürmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir [17]. Bu çalışma araç işlevlerinden, performansından ve güvenlikten ödün vermeden başarılmıştır. 2017 yılında üretilen Toyota Venza bir önceki versiyonuna göre toplam ağırlığından %21 kadar daha hafif üretilmiştir. 2021 yılında üretimi gerçekleşecek olan yeni modelde ise ağırlık azaltma hedefinin %38 olduğu belirtilmiştir [17]. İlgili çalışmada maliyet, ağırlık ve aracın diğer performanslarında bazı ayrıntılı analizlerin eksikliğini kabul etmiş olsalarda, otomotiv endüstrisinde geniş bir potansiyel ağırlık azaltma alanını ortaya çıkarmıştır. Bu konuyla ilgili başka bir çalışmada ise, FEV şirketi tarafından AB içerisinde satışı gerçekleşen bazı araçlara ilişkin ayrıntılı olarak ağırlık azaltma tahminlerinin dahil edildiği International Council of Clean Transportation (ICCT) tarafından hazırlanan bir çalışma makalesidir. Çalışmada ağırlık azaltma çalışmalarına bağlı olarak üretim maliyetlerindeki değişme ve ağırlık azaltılmasına göre emisyon maliyetlerinin ne kadar düştüğüne odaklanılmaktadır [18]. Sonuç olarak FEV, 2021 yılına kadar Avrupa pazarındaki hafif ticari araçların toplam ağırlığının %18,3 kadar azaltılabileceğini tahmin etmiştir. Bu çalışma 2010 yılında üretimi gerçekleşen Toyota Yaris, Ford Focus, Toyota Camry, Ford Transit Connect ve Ford Transit araçları kapsadığı belirtilmiştir. ICCT'nin yalnızca araç koltuğunda meydana gelebilecek ağırlık azaltılmasındaki oranlar Tablo 1.1'de verilmiştir [18].

Hem Lotus hemde FEV firmalarında gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen bulgularının sonuçlarını açıklamak için sistem seviyesi yaklaşımının anlaşılması gerekmektedir. Tek bir bileşenin ağırlığının azaltılması, yakıt ekonomisini veya performansı önemli ölçüde etkileyebilir. Bununla birlikte, sistem düzeyinde bir yaklaşım düşünülürse, bir bileşenin azaltılmış olan ağırlığı başka bir bileşen üzerindeki kısıtlamaları azaltabilir. Örneğin; aktarma organları üzerinde gerçekleştirilecek olan bir ağırlık azaltma çalışması, 2,0 litrelik bir motor yerine 1,6 litrelik motorun kullanılmasına olanak sağlayabilirken daha hafif ve kompakt aktarma organ tasarımları, şasi ve süsyansiyon sistemine daha az yük getirecek ve zamanla bu sistemlerde daha kompakt bir yapıda tasarlanıp üretilebilecektir. Tüm bu ağırlık azaltma çalışmalarının sonucunda araç üzerindeki kütle ve yapısal gereksinimlerin azalması sağlanacaktır. Bu kademeli etki, otomobil üreticilerine maliyetleri düşük tutarken yakıt verimliliğini ve performansını iyileştirme fırsatları yaratmaktadır [17].

Tablo 1.1. Araç koltukları üzerinde potansiyel ağırlık azaltmalarının gösterimi [18]

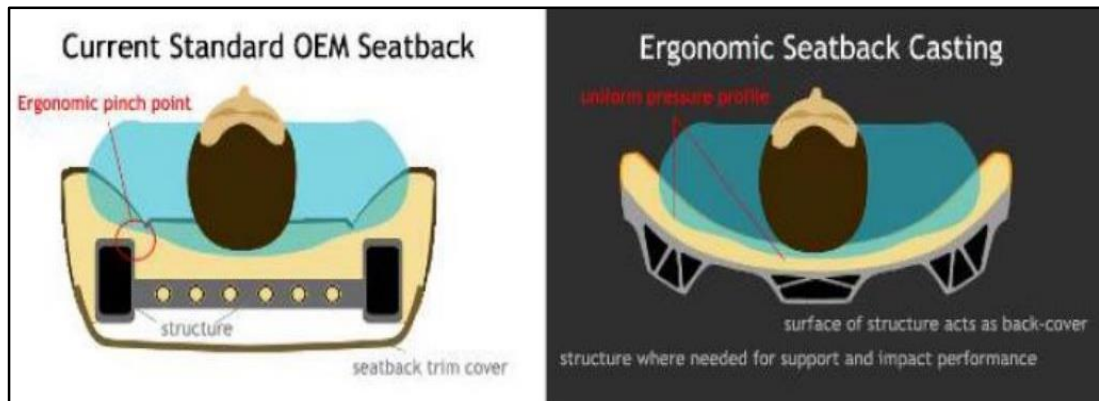
Parça	Temel Ağırlık (KG)	Ağırlık Azaltma (KG)	Ağırlık Azaltma (%)
Arka Koltuk %60	26,48	13,55	51,2
Arka Koltuk %40	16,41	1,49	9,1
Ön Sürücü Koltuğu	26,91	4,72	17,5
Ön Yolcu Koltuğu	22,75	3,64	16,0
Koltuklar Toplam	92,55	23,39	25,3

1.1.5. Otomotiv koltuklarında ağırlık azaltma trendleri

Otomotiv koltuklarının ağırlıklarının azaltılmasında mevcut eğilimler, sistem entegrasyonu ve ortak modelleme süreçlerinin yanı sıra magnezyum, hibrit malzeme kombinasyonları gibi hafif ve çevreci malzemelerin kullanımı ile mümkün olmaktadır. Bunun ile birlikte bu malzemelerin kullanılması mevcut koltukların birim maliyetlerini %50'ye kadar arttırabilmektedir. Ancak magnezyum vb. ürün grupları yerine termoplastik üretim yöntemi ile üretilebilecek geri dönüşümü mümkün olan ürün gruplarında ve kompozit malzemelerin kullanımı parça ağırlığının yanı sıra parça birim maliyetini de düşürebilmektedir. Diğer yandan sünger grupları için geri dönüştürülebilir çevre dostu malzemeler, otomotiv

koltuklarında açık bir trend olduğunu göstermektedir. Bunlardan bir tanesi, mevcut ağırlığı %15 azalttığını iddia eden BASF kimya şirketi tarafından üretilen Elastoflex® W. Kompozitler, otomotiv koltukları için potansiyel bir yapı malzemesidir ve otomotiv koltuğunu tamamen kompozit malzemeler kullanarak yapmak, koltuk arkalığının kalınlığını %15 ve ağırlığını %20 oranında azaltacağı belirtilmiştir [19]. Malzeme seçimi genellikle mühendislik tasarımlarının sınırını belirlediğinden, bu yeni malzemeler gelecekteki tasarımlar için heyecan verici gelişmelere sebebiyet vermektedir. Yapısal malzeme olarak ümit verici bir gelecek sağlamalarına rağmen, çoğu otomotiv şirketi için genellikle kısıtlı bütçe ile çelişen ve artan üretim maliyetleri anlamına gelmektedir ve bu nedenlerle bu yenilikçi ürünlerin piyasaya girişi için günümüz uygun değildir. Otomotiv endüstrisinin önündeki en büyük zorluk, malzeme ve üretim maliyetlerini düşürmenin yanı sıra, daha hafif ve daha az sayıda araç bileşenlerinin üretilmesini ve rekabetçi çözümlerde kullanılmasını sağlayan yenilikçi ürün tasarımları gerçekleştirmek olacaktır.

Koltuğun tasarımıyla ilgili olarak Lotus firması mühendislerinin gerçekleştirdiği çalışmada mevcut şekil, gerekli istekleri yerine getirebilmek için darbe emici sünger/köpük ve süspansiyon gerektirdiğinden, koltuk sırtlığı şeklinin şu anda ergonomik olarak optimal olduğu düşünülmemektedir [17]. Geleneksel koltuk sırtlıklarının yapıları, çerçevenin ön kenarlarında kısıtım noktaları oluşturmaktadır ve müşterilerin konfor gereksinimlerini karşılamak için ekstra dolguya ihtiyaç duymaktadır. Lotus, Mercedes SLK’da kullanılan çok benzer şekilde daha ergonomik ve daha ince bir tasarım çalışması gerçekleştirmiştir, bu da ihtiyaç duyulan dolgu miktarını azaltır ve böylece ağırlıktan tasarruf sağlamaktadır [17].

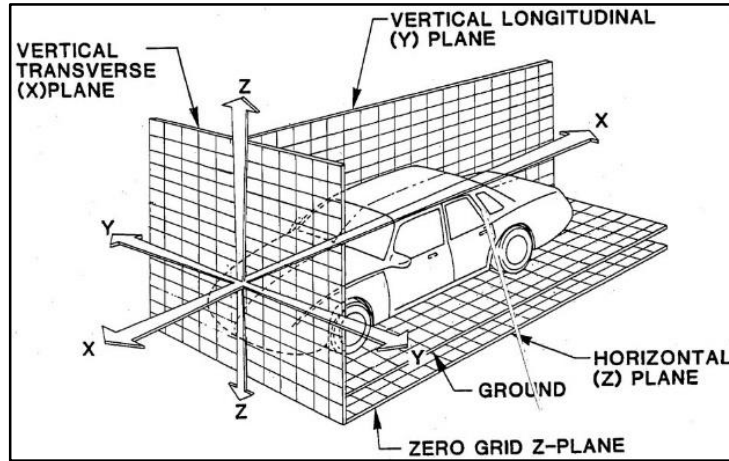


Şekil 1.2. Standart koltuk arkalığı ve daha ince tasarlanan koltuk arkalık tasarımı [17]

Ağırlıktan tasarruf etmede yararlı olduğu kanıtlanan bir başka tasarım fikri, koltuk bağlantılarının araç gövdesine entegrasyonudur. Geleneksel olarak ön koltuklar çelik yükseltici braketlere monte edilmektedir (Şekil 1.2). Braketler zemine bağlantı elemanları ile (civata, kaynak vb.) sabitlenmektedir. Bu braketler ve sistem taşıma sırasında ve bir çarpışma durumunda koltuk üzerine gelen yükleri sönmüleyebilecek yada koltuk sisteminin güvenli durumunu koruyabilecek şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu zemine montajlı koltuk bağlantılarını ve zemine montaj etmek için kullanılan braket vb. takviyelerini değiştirmek, koltuk alt sisteminin ağırlığını azaltabilmektedir [17].

1.1.6. Otomotiv koltuğu bileşenleri

Yeni bir koltuk sistemi tasarlamadan önce mevcut sistemi anlamak önemlidir ve bunu anlamının en iyi yolu, sistemdeki farklı bileşenleri ve bu bileşenlerin hangi işlevleri yerine getirdiğini tanımlamaktır. Tez çalışmasında sürücü koltuğuna odaklanıldığı için arka koltuklar bu sistem analizine dahil edilmemiştir. Ön koltuklar alt sistemi sürücü koltuğu ve yolcu koltuğu olmak üzere iki koltuktan oluşmaktadır. Sürücü koltuğu, güç destekli ayarlar ve bel desteği gibi ek konfor özelliklerini içerdiğinden genellikle en ağır olan koltuktur. Alt sistem, taşıtların tasarlandığı tüm müşterilere, ergonomik olarak doğru bir sürüş pozisyonunun mümkün olmasını sağlamak amacıyla koltuğu manuel veya elektriksiz olarak ayarlama özelliği sağlayacaktır. Emniyet kemeri ve yan hava yastıkları ile birlikte yolcuları koruması beklenmektedir [17]. Şekil 1.3'te taşıtların koordinat sistemi ve hareket yönlerine doğru verilen harfler gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Taşıtların koordinat sistemi [10]

Koltuk bileşeni koltuk tabanı ve koltuk arkılığı olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Ön koltuklar ve BIW (Body In White) arasındaki arayüz, zemine ve koltuk tabanı çerçevesine civatalanmış bir kayar ray segmentidir. Koltuk tabanı ise, alt çerçeve, oturma süngeri ve taban kılıfından oluşmaktadır. Tabanın amacı, sürücünün z eksenindeki ağırlığını desteklemek ve BIW'ye bir ray ve ray segmenti üzerinden bağlandığı için koltuğun ana yapısını sağlamak ve aynı zamanda koltuk arkılığına bağlanmaktır. Otomotiv endüstrisi için koltuk performans ve kütle açısından kritik bir bileşen olarak kabul edilmektedir. Koltuk tabanının bir diğer işlevi de, önden çarpma sırasında sürücünün emniyet kemerinin altına kaymasını engellemektir. Bu nedenle, önden çarpma sırasında sürücünün kütesinin üreteceği kinetik enerjiyi emmek için koltuk tabanı her zaman 10° - 20° arasında açılı olarak tasarlanıp imal edilmektedir. Örnek bir sürücü koltuğu bileşenlerini gösteren parçalar Şekil 1.4'de gösterilmiştir.

Bir sürücü koltuğu, sürücüyü esas olarak x ekseninde destekleyen arka çerçeve (Şekil 1.4-örneğin 7 nolu parça), arka dış kapak (Şekil 1.4-örneğin 10 nolu parça), ped (Şekil 1.4-örneğin 12 ve 11 numaralı parçalar), emniyet kemer kilidi (Şekil 1.4 örneğin 4 nolu parça) ve kafalıktan (Şekil 1.4 örneğin 9 nolu parça) oluşmaktadır. Günümüzdeki otomotiv koltuklarında, koltuk arkılığının ayarlanabilir bir bel desteğinin yanı sıra koltuk başlığında bir tür boyun ağrısı koruması içermesi de yaygındır. Uzanma mekanizması genellikle bu bileşenin içinde bulunur ve taban ile arka yapı arasında bir bağlantı görevi görmektedir. Hem koltuk sırtlığı hem de koltuk tabanında, sürücüyü y ekseninde destekleyen pedlerden dışarı çıkan yan yastıklar vardır. Koltuk tabanı ile BIW arasındaki bağlantı genellikle dört destek ayağından ve iki raydan oluşur, ikincisi BIW'ye civatalanmaktadır. Destek ayakları hareket ettirilebilir ve bu sayede taban çerçevesini yukarı kaldıran bir kol aracılığıyla koltuğun yüksekliğinin ayarlanmasına olanak tanımaktadır. Raylar (Şekil 1.4-örneğin 3 nolu parça), tüm koltuğun uzunluğunun ayarlanmasını sağlayarak birbiri içinde kayabilmektedir. Yatar koltuk işlevi ile birlikte, bir araba koltuğunun ana ayarlarını oluşturmaktadırlar. Koltuk yapısının önemli bir yönü, bir çarpışma durumunda üzerine gelen yükleri sönmüleyebilmesi ve araç gövdesine aktarabilmesidir. Bu, koltuğun mevcut koltuk tasarımları tarafından belirlenen tüm performans

gereksinimlerini karşılayacak kadar güçlü olması gerektiğinden, ağırlık azaltma açısından yapısal bir kısıtlama anlamına gelmektedir.



Şekil 1.4. BMW 3.28i modeline ait sürücü koltuğu patlatılmış görüntüsü [A2MAC1 2021]

1.1.7. Sürücü koltuğu regülasyonları ve uygulanan testler

Bir kaza durumunda otomotiv yapılarının güvenlik performansını bilgisayar destekli mühendislik programları ve sonlu elemanlar simülasyon programları ile tahmin etmek çok önemlidir. Tasarım sürecine entegre olarak ilgili mühendisler tarafından dünyada kabul gören regülasyonlara göre uygun test analizleri daha koltuk üretimi gerçekleşmeden önce bilgisayar destekli sayısal analiz programları (CAE-Computer Aided Engineering) ile gerçekleştirilmektedir. Ürün prototip sürecinde ise bilgisayar üzerinde gerçekleştirilen testler fiziksel olarak prototip koltuk üzerinde uygulanır ve test çıktıları üretim onayı almak için ilgili kurum ve kuruluşlara gönderilerek üretimi yapılacak olan sürücü koltuğunun gerekli sınır şartlarını taşıdığı ispat edilerek üretim sürecine başlanır. Bu tez kapsamında emniyet kemeri barındıran ağır ticari araç sürücü koltuğu için gerekli analizler ECE-R14 “emniyet kemer bağlantı regülasyonu analizi”, ECE-R17 “koltuk arkılığı moment analizi”dir. Analizler ile ilgili detaylı açıklama aşağıda tanımlanmıştır.

1.1.7.1. ECE-R14 emniyet kemer bağlantı regülasyonu analizi

ECE-R14 regülasyonu, taşıtlar için emniyet kemerinin bağlantı noktalarının uygunluğunu incelemektedir. Emniyet kemeri bağlantıları araç gövdesinde veya koltuk üzerinde olabilir. ECE-R14 analizi emniyet kemerinin konumundan bağımsız olarak her bir emniyet kemeri için regülasyonda açıklanan şartlar doğrultusunda, regülasyonda belirtilen kuvvet değerlerini ilgili koltuğa fiziksel olarak akridite test merkezlerinde statik olarak uygulamaktadır. Uygulanan bu kuvvet değerlerinin sonucunda emniyet kemeri bağlantı noktalarında, emniyet kemerinde veya emniyet kemerinin bağlandığı diğer parça ve komponentlerin bütünlüğünü koruyarak ana yapıya bağlı kalması beklenmektedir [20]. ECE-R14 analizi sırasında ilgili araca uygun olan yükler Tablo 1.2’de belirtilmiştir.

Tablo 1.2. ECE-R14 regülasyon yük dağılım tablosu [20]

3 Noktalı Emniyet Kemer	M1 / N1 100%	M2 / N2 100%	M3 / N3 100%
Omuz Bloğu	1350 daN \pm 20 daN	675 daN \pm 20 daN	450 daN \pm 20 daN
Oturak Bloğu	1350 daN \pm 20 dN	675 daN \pm 20 daN	450 daN \pm 20 daN
Koltuk	20 x Koltuk Ağırlığı	10 x Koltuk Ağırlığı	6,6 x Koltuk Ağırlığı

M1 Kategorisi Araçlar: Sürücü dışında en fazla sekiz kişilik oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik motorlu araçlardır.

M2 Kategorisi Araçlar: Sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik azami kütlesi 5 tonu aşmayan motorlu araçlardır.

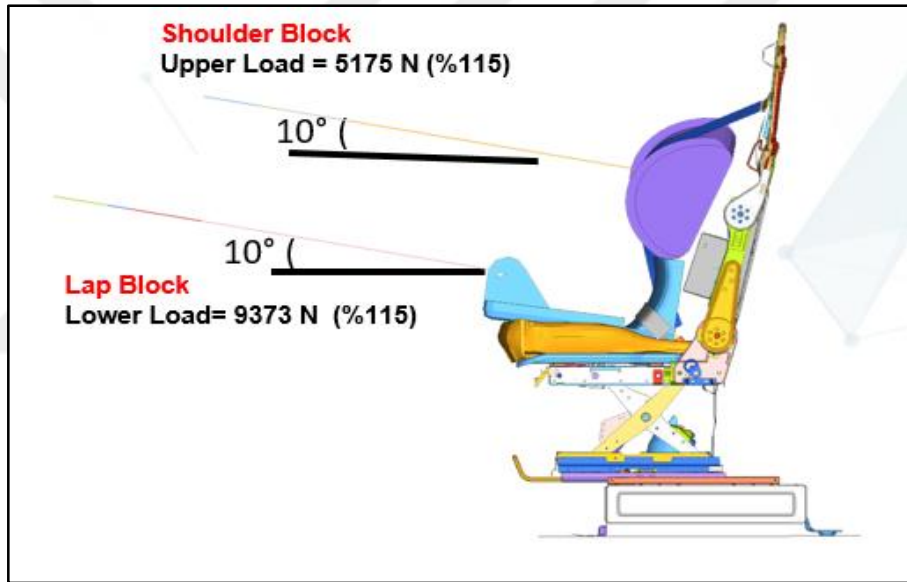
M3 Kategorisi Araçlar: Sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik ve azami kütlesi 5 tonu aşan, motorlu araçlardır.

N1 Kategorisi Araçlar: En az dört lastikli ve azami ağırlığı 3,5 tonu aşmayan, genellikle şehir içi kullanımlarda tercih edilen hafif ticari araçlardır. Örneğin: Fiat Doblo

N2 Kategorisi Araçlar: En az dört lastikli ve azami ağırlığı 3,5 ton ile 12 ton arasındaki araçlardır. Genellikle eşya taşınmasında tercih edilen kasalı hafif ticari araçlar. Örneğin: Mitsubishi L200

N3 Kategorisi Araçlar: En az dört lastikli ve azami ağırlığı 12 tondan yüksek ağır ticari araçlardır. Örneğin: Ford F-MAX

İlgili ürün ve komponentlerin belirtilen yük değerine 0,2 sn boyunca karşı koyabilmesi beklenmektedir. Ürün ve komponentler için belirlenen yük değerleri ve bu yüklerin uygulama açıları ilgili ECE-R14 regülasyonun tanımlanmıştır [21]. İlgili analiz sisteminin detayları Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. ECE-R14 emniyet kemer bağlantı regülasyon analizi kuvvet yükleme simülasyonu

1.1.7.2. ECE-R17 koltuk arkılığı moment analizi

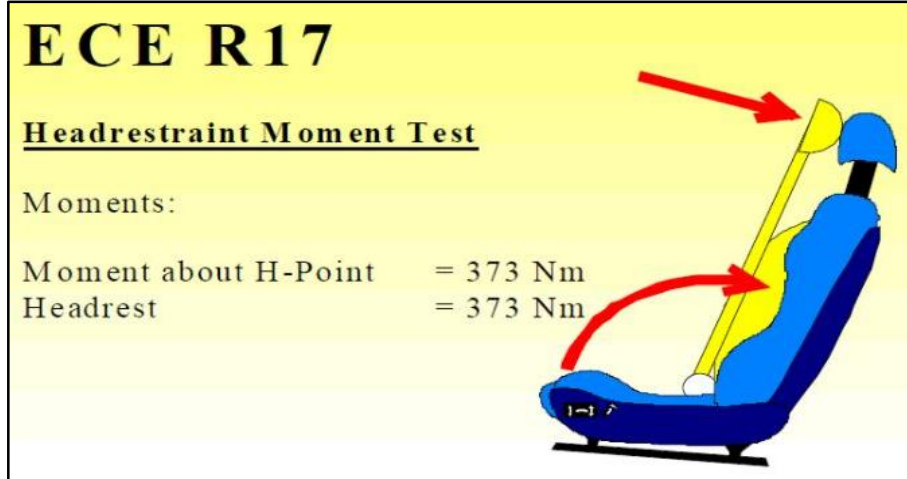
Avrupa Ekonomik Komisyonu (ECE) tarafından yayınlanan ECE-R17 regülasyonu, araçların koltuklar, ankrajları ve koltuk başlıklarının onayına yönelik sınır şartlarını içermektedir. Bu yasal düzenleme, belli kategorilerdeki araçların koltukları ve ankrajların gücü ile baş dayanakları ve koltuk arkalıklarının arka kısımlarının tasarımını ve yolcuları bu tehlikelerden korumak için tasarlanan cihazların tasarımını kapsamaktadır. ECE-R17 regülasyonu içerisinde hem statik hem de dinamik test yöntemi tanımlanmıştır. Araç koltuk üretici firma statik veya dinamik test şartlarından herhangi birini seçerek ECE-R17 koltuk tip onayı alabilmektedir

[20]. ECE-R17 regülasyonu koltuğun bağlantı noktalarını incelemektedir. ECE-R17 Koltuk arkalık moment analizinde amaç, ECE-R17 regülasyonuna uygun test koşullarının modellenerek koltuğun davranışının incelenmesidir. Bu doğrultuda koltuğun arkalıgına ve kafalıgına Şekil 1.6'da yer aldığı eksenlerde regülasyonda belirlenen kuvvetler uygulanmaktadır ve kafalık deplasmanı bu kuvvetler altında ölçülmektedir. ECE-R17 regülasyonuna göre uygulanan statik test momentum kuvvetleri Şekil 1.6 ve Şekil 1.7'de gösterilmiştir. Regülasyona göre, deplasman değeri 102 mm'den düşük olmalı, yolcu veya sürücüye hayati risk oluşturacak keskin köşe olmamalı, koltuk bütünlüğü korunmalı ve koltuk üzerinde herhangi bir parçada kırılma olmamalıdır.

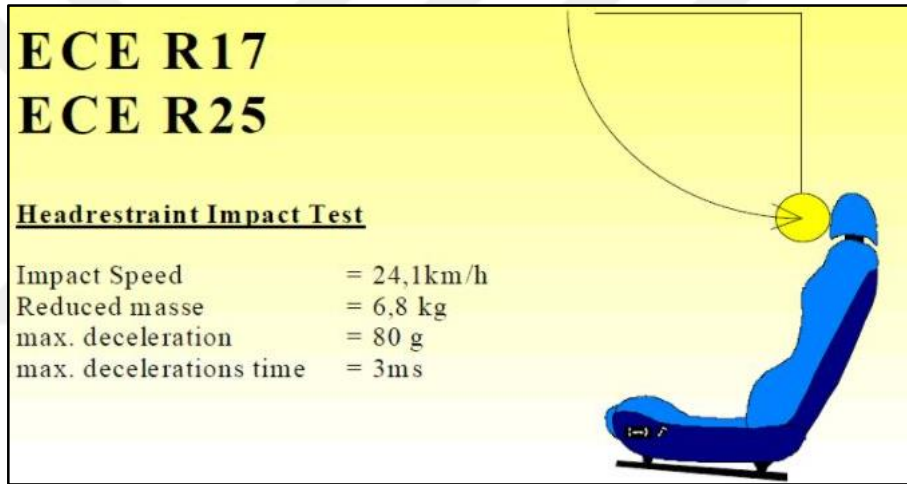


Şekil 1.6. ECE-R17 arkalık moment analizi kuvvet yükleme simülasyonu

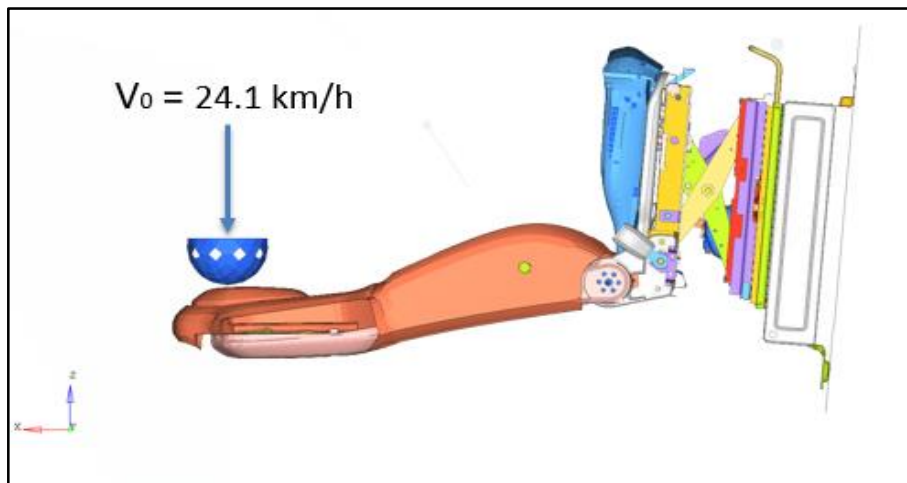
ECE-R17 kafalık enerji analizinde amaç, ECE-R17 regülasyonuna uygun test koşullarının modellenerek koltuğun davranışının incelenmesidir. Koltuğun kafalıgına Şekil 1.8 ve 1.9'da görüldüğü gibi 165 mm çapında ve 6,8 kg ağırlığında bir küre 24,1 km/saat hızla çarptırılmakta ve ivmesi ölçülmektedir. Regülasyona göre, maksimum ivme değeri 3 ms boyunca 80 G'den düşük olmalı, yolcu veya sürücüye hayati risk oluşturacak keskin köşe olmamalı, koltuk bütünlüğü korunmalı ve koltuk üzerinde herhangi bir parçada kırılma olmamalıdır [20].



Şekil 1.7. ECE R17 – Statik test – kafalık dayanım momentum testi 373Nm [20]



Şekil 1.8. ECE R17 / ECE R25 – Statik Test – Kafalık Çarpma Testi [20]



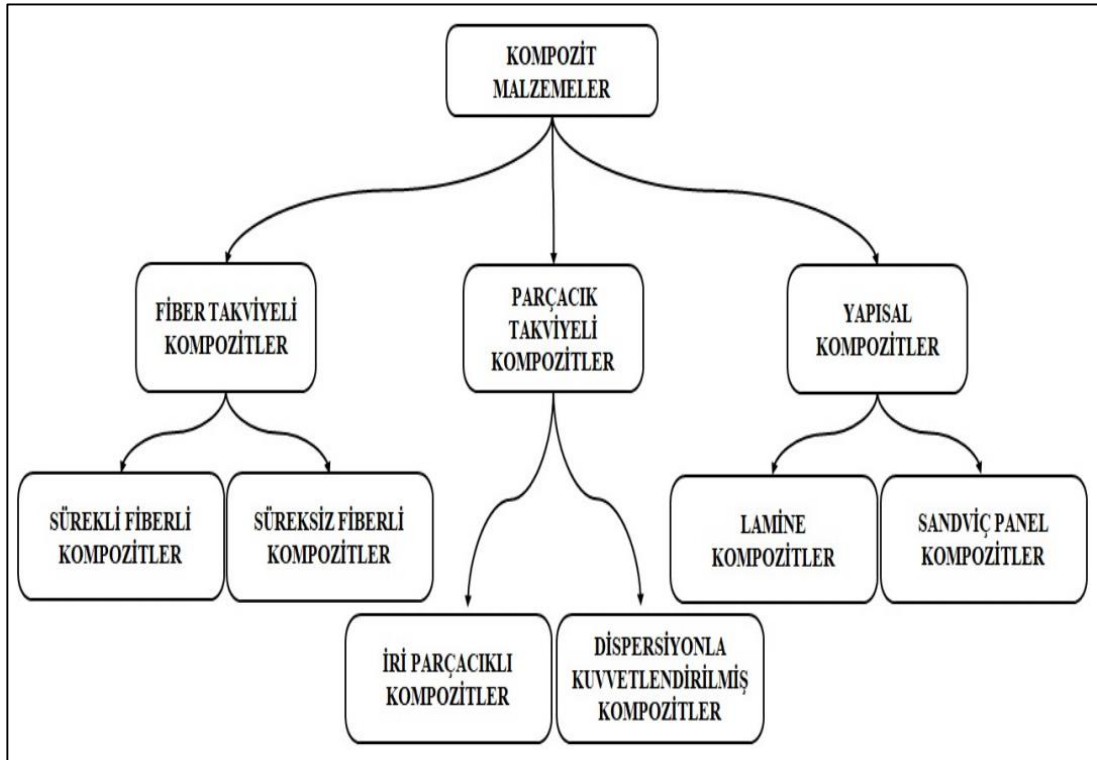
Şekil 1.9. ECE-R17 Kafalık enerji analizi kuvvet yükleme simülasyonu

1.2. Kompozit Malzemeler ve Genel Özellikleri

İmalat sanayilerindeki hızlı büyüme, iyileştirilmiş sürdürülebilirlik ile birlikte mukavemet, sertlik, yoğunluk ve daha düşük maliyet açısından malzemelerin iyileştirilmesi ihtiyacına yol açmıştır. Kompozit malzemeler, çeşitli uygulamalarda potansiyellerine hizmet eden özelliklerde bu kadar iyileştirmeye sahip malzemelerden biri olarak ortaya çıkmıştır [22]. Kompozit malzemeler, biri matris fazında bulunan ve diğeri partikül veya lif formunda olabilen iki veya daha fazla bileşenin bir karışımıdır. Kompozit malzemelerin üretiminde doğal veya sentetik elyafların kullanılması inşaat, mekanik, otomobil, havacılık, biyomedikal ve denizcilik gibi çeşitli alanlarda önemli uygulamaları ortaya çıkarmıştır [23].

1.2.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler içeriklerine, yani temel malzeme ve dolgu malzemesine göre sınıflandırılır. Dolgu malzemesini yapılarada bağlayan veya tutan temel malzeme, bir matris veya bağlayıcı malzeme olarak adlandırılırken, dolgu malzemesi doğal veya sentetik malzemedden tabakalar, parçalar, parçacıklar, lifler şeklinde mevcuttur [24]. Kompozit malzeme ile ilgili sınıflandırma şablonu Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması [24]

1.2.1.1. Fiber takviyeli kompozit malzemeler

Kompozitler, matris yapısındaki fiberlerden oluşur ve fiber uzunluğuna göre sınıflandırılabilir. Uzun fiber takviyeli kompozitler, sürekli fiber takviyeli kompozitler olarak adlandırılırken, kısa fiber takviyeli kompozitler, kesintili fiber takviyeli kompozitler olarak adlandırılır. Hibrit fiber takviyeli kompozitler, iki veya daha fazla fiber tipinin tek bir matris yapısında güçlendirildiği kompozitlerdir [25]. Sürekli elyaf kompozitlerin matris yapısına elyaflar tek yönlü veya çift yönlü olarak yerleştirilebilir ve matristen elyafa çok kolay ve etkili bir şekilde yük alırlar. Süreksiz lifler, etkili yük aktarımı için yeterli uzunluğa sahip olmalı ve kırılğan matrisler durumunda malzeme bozulmasını önlemek için çatlakların büyümesini sınırlandırmalıdır. Liflerin düzenlenmesi ve yönlendirilmesi, kompozit malzemenin özelliklerini ve yapısal davranışını tanımlar [26]. Darbe dayanıklılığı ve yorulma mukavemeti gibi özelliklerde iyileşme, kimyasal olarak işlenmiş doğal liflerin kullanılmasıyla görülebilir. Dağınık fazdaki cam, karbon, bazalt ve aramid lifleri, geleneksel olarak fiber takviyeli polimer (FRP – Fiber Reinforcement Polymer) kompozit malzemelerin matris yapısında kullanılmıştır [27]. Doğal fiber polimer kompozitlerin (NFPC'ler – Natural Fiber Polymer Composite) önemli özellikleri, modern endüstride potansiyel uygulamalara sahiptir.

Kompozit malzemeler için çok sayıda fiber mevcuttur ve bunlar öncelikli olarak doğal veya sentetik fiber olarak kategorize edilir. Dahası, son çalışmalar, bu iki fiber bir araya getirildiğinde, bir matris malzemesiyle harmanlanarak bir hibrit kompozit oluşturduğunda, benzeri görülmemiş malzeme özelliklerini ortaya çıkarmıştır [28].

Kimyasal sentezle üretilen liflere sentetik fiberler denir ve içeriklerine göre organik veya inorganik olarak sınıflandırılır [29]. Genel olarak, fiber materyallerin mukavemeti ve sertliği matris materyalinden çok daha yüksektir ve bu onları kompozit yapıda bir yük taşıyıcı eleman yapar [30-33].

Cam fiberler (glass fiber-GF), mükemmel mukavemet ve dayanıklılık, termal stabilite, darbeye direnç, kimyasal, sürtünme ve aşınma özellikleri sundukları için tüm sentetik elyaflar arasında en yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, cam fiber takviyeli polimerlerin (glass fiber reinforced plastics-GFRP) işlenmesi nispeten yavaştır, zordur ve geleneksel işleme sistemlerinde çalışırken daha az takım

ömrü göstermektedir [34]. GF'ler ayrıca hizmet ömürlerinin sonunda imha etme dezavantajını da taşımaktadır [35]. Ancak bazı uygulamalarda daha fazla sertlik gerekir. Bu nedenle GF'ler yerine karbon fiberleri (carbon fiber-CF) kullanılır. Aramid, bazalt, poliakrilonitril (PAN-F), polietilen tereftalat (PET-F) veya polipropilen elyaflar (PP-F) gibi diğer sentetik fiber türlerinden bazıları bazı avantajlar sunsa da, termoplastik kısa fiberlerde nadiren kullanılırlar [36]. Karbon fiber takviyeli polimer (carbon fiber reinforced plastics-CFRP) kompozitler, havacılık, otomobil, spor ve diğer birçok endüstride sayısız uygulama ortaya çıkarmıştır [37, 38]. Karbon fiberlerin ağırlık yüzdesi %10'dan %30'a çıktığında elastik modülü ve kayma modülü sırasıyla %78 ve %113 artmıştır. Hücresel yapıdaki gelişme, mikro hücreli enjeksiyon kalıplama ile hazırlanan kompozit köpükleri yapmak için karbon fiber/polipropilen (CF/PP) kullanıldığında elastik modülünde %35 iyileşme ile sonuçlanmıştır [39].

Grafen fiberler, karbon elyaflara kıyasla gelişmiş elektrik iletkenliği ile yüksek gerilme mukavemetini yansıtan yeni bir yüksek performanslı karbonlu fiber türüdür. Grafen liflerinin çeşitli gelişmiş özellikleri, hafif iletken kablolar ve teller, örülebilir süper kapasitörler, mikromotorlar, güneş pili tekstilleri, aktüatörler vb. gibi çeşitli uygulamalarda potansiyellerini gösterir [40, 41]. Polimer kompozitlerin grafen takviyeli moleküler dinamik simülasyonu elastik modülünde, kayma modülünde ve sertliğinde sırasıyla %150, %27,6 ve %35 artış göstermiştir. Ayrıca, sürtünme katsayısı ve aşınma oranında %35 ve %48 oranında azalma sağlanmıştır [42].

Bazalt fiber (basalt fiber-BF), cam fiberlere göre daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Ek olarak, Bazalt fiber (BF), karbon fiberlerden önemli ölçüde daha ucuzdur. Sıcaklığın bazalt fiber takviyeli polimer (basalt fiber reinforced plastic-BFRP) kompozitler üzerindeki etkisi, sıcaklıklarda bir düşüş ile gözlenen belirli bir maksimum gerilmeye statik mukavemet ve yorgunluk ömründe bir artışın olduğu araştırılmıştır [43].

Kevlar fiber takviyeli kompozitlerin (Kevlar fiber reinforced composites-KFRC) termal özellikleri, cam veya karbon elyaflarıyla hibritlenerek geliştirilir, ancak Kevlar fiberlerin (KF) doğal fiberlerle hibridizasyonu hakkında daha az araştırma vardır. KFRC'ler yüksek derecede gerilme özellikleri ile yüksek darbe mukavemeti

gösterirler, ancak anizotropik yapıları nedeniyle cam ve karbon fiber muadillerine kıyasla düşük sıkıştırma mukavemetine sahiptirler [44].

Doğal fiberler (natural fiber-NF), elde edilmesi çok kolay, doğada yaygın olarak bulunan bir malzemedir. Biyolojik olarak parçalanabilirlik, birim hacim başına düşük maliyet, yüksek mukavemet ve spesifik sertlik gibi bazı olağanüstü malzeme özelliklerini ortaya çıkarırlar. NF takviyelerinden yapılan kompozitler, sentetik liflere göre azaltılmış ağırlık, maliyet, toksisite, çevre kirliliği ve geri dönüştürülebilirlik gibi bazı farklı özellikler taşıyor gibi görünmektedir. NF kompozitlerinin bu ekonomik ve çevresel faydaları, modern uygulamalar için onları sentetik elyaf takviyeli kompozitlere göre baskın hale getirmektedir [26]. Türüne bağlı olarak, doğal lifler farklı bileşimlerle benzer yapılara sahiptir. Termoset matrislere uzun ve kısa doğal liflerin dahil edilmesi, yüksek performanslı uygulamalar ortaya koymuştur [45, 46].

Sisal fiber (sisal fiber-SF) bazlı kompozitler, iyi tribolojik özelliklerinden dolayı sıklıkla otomobil iç mekanlarında ve mobilyalarda döşemede kullanılmaktadır. Sisal Fiber'ler polyester kompozitlerle takviye edildiğinde, gerilme mukavemeti elyaf hacmi ile arttı ve polietilen (PE) kompozitlerle takviye edildiğinde, 6 mm uzunluğundaki sisal elyaflarda 12,5 MPa'lık gerilme mukavemeti gözlenmiştir [47, 48].

Kenevir kompoziti, propilen matrisli GF ile güçlendirilmiş kompozite kıyasla bir materyalin özgül eğilme mukavemetinde %52'lik bir artış göstermiştir [49]. Ağırlıkça %15 oranında güçlendirilmiş polipropilen (PP) matris ile karıştırılmış ağırlıkça %5 maleik anhidrit modifiyeli polipropilen (MAPP) içeren kompozit malzeme, alkali ile işlenmiş kenevir fiberleri eğilme ve gerilme mukavemetinde %37 ve %68 ilerleme göstermiştir [50].

Kenaf fiber takviyeli polilaktik asit (PLA) termoplastik kompozitler, sırasıyla 223 MPa ve 254 MPa çekme ve eğilme mukavemetine sahiptir [51]. Ayrıca, laminasyondan önce, liflerden emilen suyun çıkarılması, kenaf fiber laminatların hem eğilme hem de gerilme özelliklerinde iyileşme ile sonuçlanmaktadır [52].

Herhangi bir takviye içermeyen polyester numuneleri, sırasıyla 42,24 MPa ve 3,61 GPa eğilme mukavemeti ve eğilme modülü gösterirken, doymamış polyester matriste %11,1 alkali ile işlenmiş kenaf liflerinin takviyesinden sonra, kompozit malzeme eğilme mukavemeti ve eğilme modülü 69,5 MPa ve 7,11 GPa olarak bulunmuştur [53].

Keten fiber takviyeli polipropilen kompozitlerin (FF / PP'ler) ses ve titreşim davranışı, bir ses iletim kaybı (STL – Sound Transmission Loss) testi kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, malzeme yüksek ses emme özelliklerine sahip olduğundan, iletim kaybındaki artışa bağlı olarak malzemenin sertliğinde, sönümlenme oranında ve birim alan başına kütlede bir artış olduğunu göstermiştir [54]. Kısa keten fiber (FF) laminatların kullanılması, bir malzemenin gerilme özelliklerinde bir artışla sonuçlanmıştır. Ayrıca, 45° fiber oryantasyonu ile malzeme mukavemeti ve kayma modülü sırasıyla %15 ve %46 artmıştır [55].

Rami fiber takviyeli polipropilen kompozitlerin (RF/PP'ler) serbest titreşim özellikleri üzerine yapılan çalışma, bir polimer matristeki daha yüksek fiber içeriğinin fiber ile matris arasında kaymaya yol açtığını ve bunun da sönümlenme oranında bir artışa yol açtığını göstermiştir. Bu, fiber içeriğindeki bir artışın, RF / PP kompozitin sönümlenme özelliklerinde artışla sonuçlandığı anlamına gelir [56, 57].

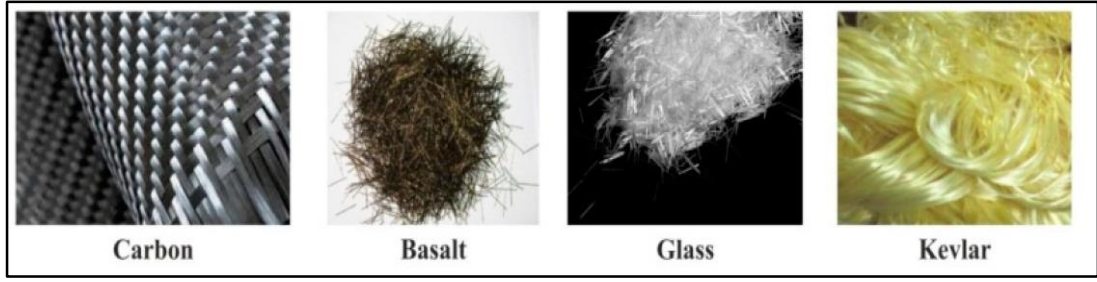
Doğal liflerle güçlendirilmiş termoplastik kompozitler, termoset kompozitlere kıyasla zayıf mukavemet performansı gösterir. Bu nedenle, tasarım esnekliği ve geri dönüşüm olanaklarından faydalanmak için, bu doğal fiber kompozitler, teknik uygulamalar için daha cazip hale getirmek için küçük miktarlarda sentetik fiber ile hibritlenir. Kenevir/ cam fiber hibrit polipropilen kompozitleri, ağırlıkça bir kompozit yapıda dolgu içeriği %25 kenevir ve %15 cam mevcut olduğunda, 101 MPa ve 5,5 GPa bükülme modülü eğilme mukavemeti sergilemiştir. Malzemenin darbe dayanımı ve su emme özelliklerinde de artış gözlemlenmiştir [58]. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışması, malzemenin gerilme ve eğilme özelliklerinde iyileşmeyi ortaya koyan, lif ile palmye yağı/ kenaf fiber takviyeli epoksi hibrit kompozit matrisi arasında mükemmel arayüzey bağını ortaya çıkarmıştır. Dahası, diğer kompozitlerle karşılaştırıldığında, palmye yağı/ kenaf fiber hibrit kompozit, hibrit malzemeyi otomotiv sektöründe iyi bir rakip haline getiren darbeli yüklemeye

sırasında daha fazla enerji emilimi meydana getirmiştir [59]. Şekil 1.11’de doğal elyaflar ve Şekil 1.12’de sentetik elyaflara ait görseller verilmiştir.

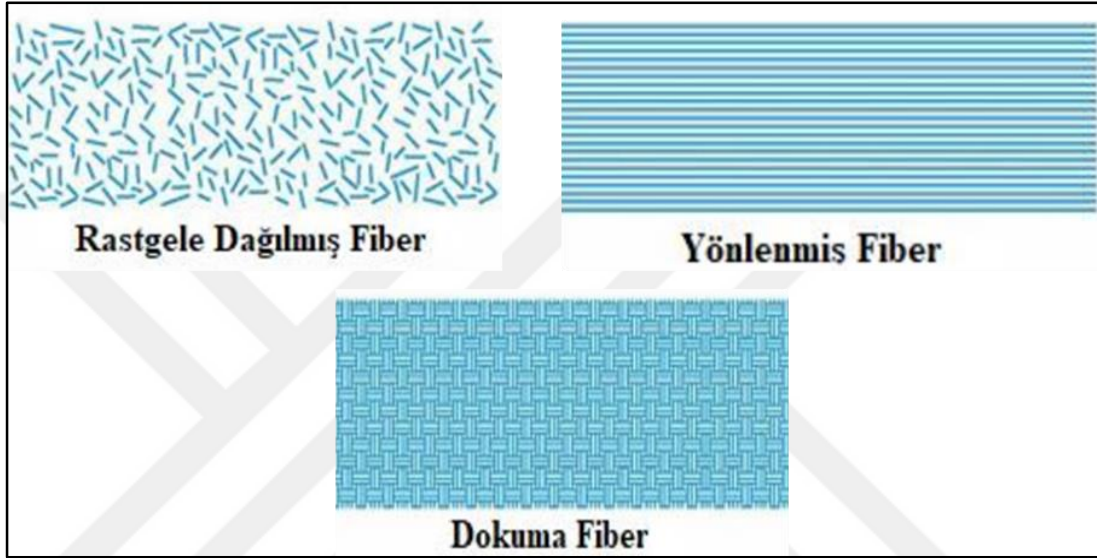
Epoksi reçine matrisinde karbon ve keten fiber takviyesinden oluşan bir hibrit kompozit, malzemenin ortalama ağırlığında %17,98 azalma, maksimum laminar kayma mukavemeti (ILSS – Interlaminar Shear Strength) 4,9 MPa ve 77,66 HRC sertlik gözlenmiştir [60]. Fiber hibridizasyonu, iki veya daha fazla fiber tipinin, fiber tipinin dezavantajını azaltmak ve diğerlerinin faydalarını korumak için bir kompozit materyal matrisinde birleştirildiği ümit verici bir stratejidir. Her iki lifin sinerjik etkileri, bileşenlerden hiçbirinin sahip olmadığı kompozit malzemenin özelliklerini geliştirmeye yardımcı olur [61, 62]. Şekil 1.13’de Matrise tavsiye edilen fiber formlarının şekilsel gösterimleri verilmiştir.



Şekil 1.11. Doğal elyaflar [46]



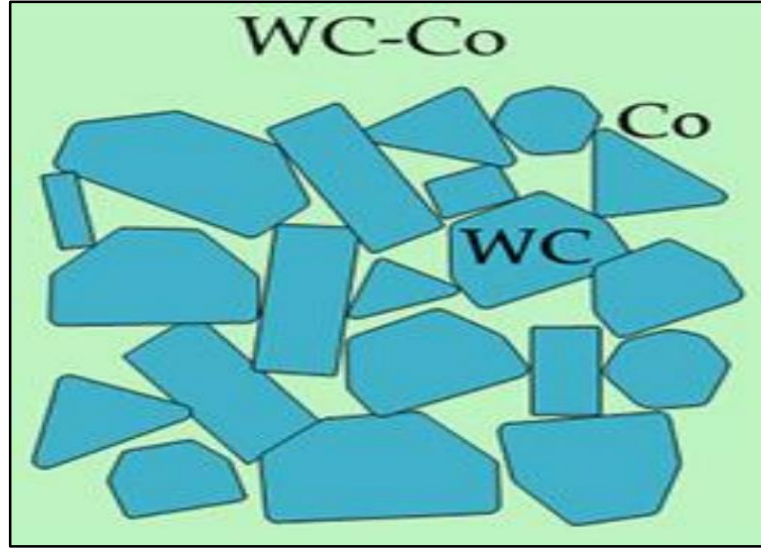
Şekil 1.12. Sentetik elyaflar [29]



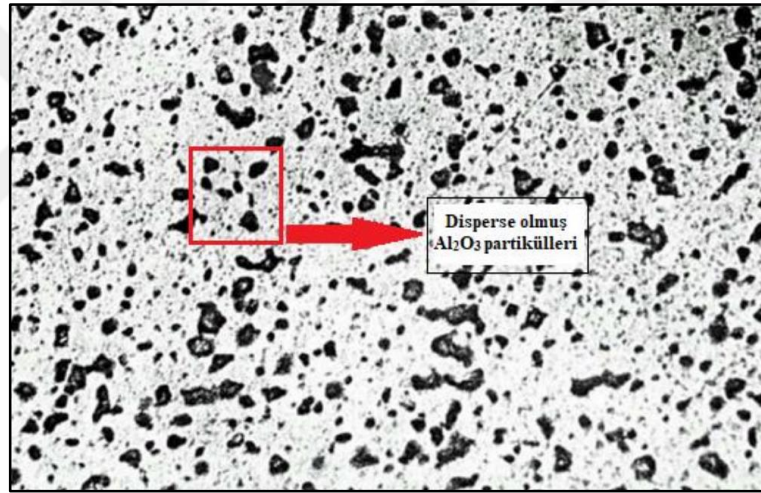
Şekil 1.13. Matrise takviye edilen fiber formlarının şekilsel gösterimi [63]

1.2.1.2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

FRC ile karşılaştırıldığında, partikül takviyeli kompozit (particle reinforced composites-PRC), malzeme mukavemeti ve kırılma direnci özelliği sayesinde o kadar etkili değildir. Ancak seramik, metal veya inorganik partiküller deformasyonu sınırlar ve iyi bir malzeme sertliği sağlar. Son günlerde, PRC'ler de izotropik özellikleri ve maliyet etkinlikleri nedeniyle daha az ilgi görmektedir. Ayrıca bu kompozitler, monolitik malzeme için kullanılan benzer teknikler kullanılarak üretilir [64, 65]. PRC'ler, yüksek derecede aşınma direncinin beklendiği yollar ve beton yapılar gibi sivil uygulamalar için kullanılır. Betonda, çimento bir bağlayıcı malzeme görevi görürken, bir dolgu malzemesi olarak iri kaya veya çakıl agregası sertlik ve sertlik sağlar [66]. Şekil 1.14'de iri parçacıklı kompozit malzemelere örnek olarak WC-Co kaynaşık karbürün sembolik gösterimi verilmiştir ve Şekil 1.15'de Dispersiyon ile dayanımı arttırılmış Al/Al 203 kompozitin 10.000 büyütmedeki mikroyapısına ait görsel verilmiştir.



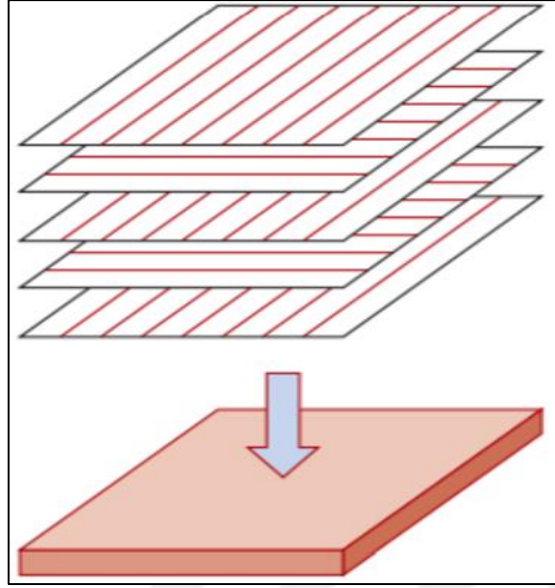
Şekil 1.14. İri parçacıklı kompozit malzemelere örnek olarak WC-Co kaynaşık karbürün sembolik gösterimi [67]



Şekil 1.15. Dispersiyonla dayanımı artırılmış Al/Al₂O₃ kompozitin 10.000 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü [68]

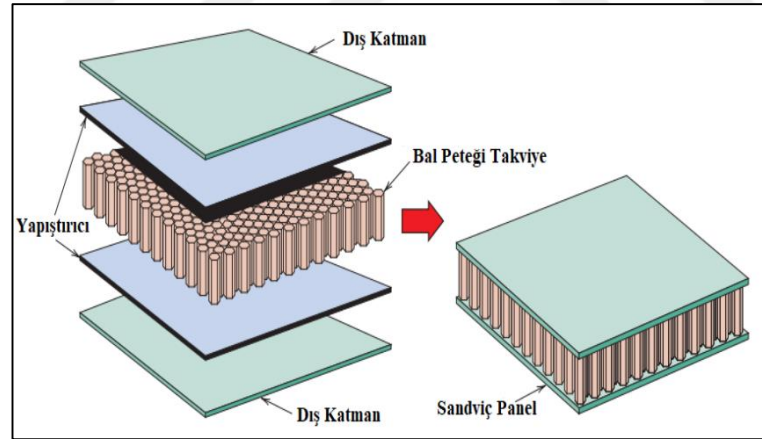
1.2.1.3. Yapısal kompozit malzemeler

Yapısal kompozitler (SMC – Sheet Moulding Compound), homojen olmayan kompozit laminatlar oluşturmak için bir sıkıştırma kalıplama işlemi kullanılarak homojen malzeme katmanlarının yapıştırılmasıyla üretilir. Laminat katmanlardan oluşur ve fiber levhalardan yapılan FRP kompozitlerinde, laminattaki katman sayısının artmasıyla malzemenin burkulma stabilitesi iyileşir [69]. SMC, yüksek mukavemet / ağırlık oranından oluşan otomotiv gövde parçaları gibi büyük yapısal bileşenlerde uygulamayı göstermektedir [70- 72]. Şekil 1.16’da Lamine kompozit üretimi için fiber takviyeli polimerik kompozitlerin istiflenmesi gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Lamine kompozit üretimi için fiber takviyeli polimerik kompozitlerin istiflenmesi [73]

Şekil 1.17’de Balpeteği çekirdekli sandviç panelin yapısını gösteren şematik diyagram verilmiştir.



Şekil 1.17. Bal peteği çekirdekli sandviç panelin yapısını gösteren şematik diyagram [73]

1.2.2. Prepregler

Bir prepreg, bir matris (veya reçine) ve elyaf takviyesi kombinasyonundan oluşur. Diğer bir deyişle prepreg, bir takviye kumaşına reçine emdirilerek kullanıma hazır hale gelmiş elyaflar için kullanılan genel bir terimdir. Bileşen, imalat sürecinde kullanıma hazırdır. Prepregler, son derece güçlü ancak hafif bileşenler oluşturmak için ısı ve basınç altında sertleşen elyaf takviyeli reçinelerdir [74].

Prepreg kullanmanın avantajları:

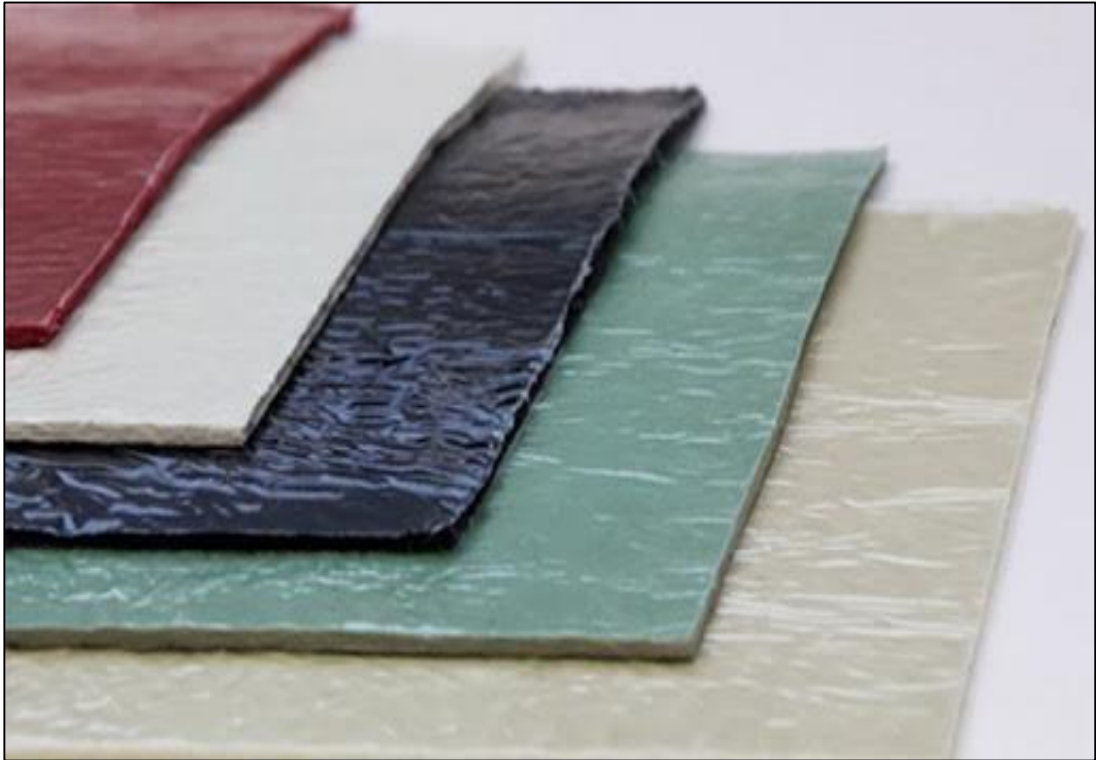
1. Maksimum güç özellikleri: Normal el serisinde %50 reçine yapısı elde etmek kolay değildir. Bu durum tammalanan laminat ağırlığının %50 reçine ve %50 kumaş yapısında olduğunu göstermektedir. Klasik el laminatları, vakum torbası varlığında bile yüksek oranda reçine varlığı ile sonuçlanmaktadır. Reçine miktarının yüksek olması genel özellikleri azaltarak, kırılabilirliği artırmaktadır. Ayrıca, prepreglerin geneli %35 civarında reçine varlığı barındırmaktadır. Bu durum maksimum sertleşme oluşması için ideal bir özelliktir [75, 76].
2. Parça düzgünlüğü: Prepregler ile üretilen parçalar diğer yöntemlere göre yapısal olarak daha düzenli olmaktadır. Bu durum zaman kaybını azaltmaktadır. Ayrıca üretilen her parça aynı kalınlıkta, aynı özellikte ve birbirine benzer olarak üretilmektedir [74].
3. Daha az karışıklık ve daha az atık: Kompozit hazırlama işlemleri ve kürlenme işlemi süresinde ortaya çıkacak ve akacak reçine miktarı elle yatırma yönteminde prepreglerden daha yüksektir [77].
4. Daha az kürlenme süresi: Isı kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra parça, servise hazırdır. Tipik bir el laminasyonunda olduğu gibi tam bir kürlenme sağlamak için standart 48 saat beklemeniz gerekmez [74].
5. Daha iyi estetik görünüm: Kalıp hazırlama ve kalıp ayırma hala gereklidir ve el yatırma ile hazırlanan bir laminat gibi parçanın estetik görünüm bileşenlerini doğrudan etkileyecektir. Prepregler ile üretilen parçalarda daha iyi bir görünüm elde edilebilir. Bununla birlikte cam prepregler hava kabarcıklarını neredeyse tamamen ortadan kaldırır ve pürüzsüz, parlak bir yüzeye daha kolay ulaşılabilir [77].

Prepreglerin Dezavantajları:

1. Maliyet: Prepregler pahalı malzemelerdir. Reçine, küre ve elyaf maliyetlerini artırırsanız bile prepregler daha maliyetlidir.
2. Raf ömrü: Cam prepregler oda sıcaklığında (23,8°C) altı aya kadar saklanabildiği için bu daha az problemdir. Bununla birlikte ısı işlemi, ön ısıtma ve daha yüksek sıcaklıklarda saklanması raf ömrünü azaltacaktır. Malzemeyi soğuk tutmak yardımcı olacaktır ve donma, ömrü önemli ölçüde uzatacaktır.

3. Gerekli ısı kürü: En azından bir ısı kaynağı ve vakum torbası olması gerekecektir. En az 132,2°C'ye ulaşabilmeli ve bu sıcaklığı en az 4 saat boyunca sürdürebilmelisiniz. Pek çok ileri imalatçı otoklav kullanır, ancak herhangi bir ısı kaynağı işe yarar [78, 79].

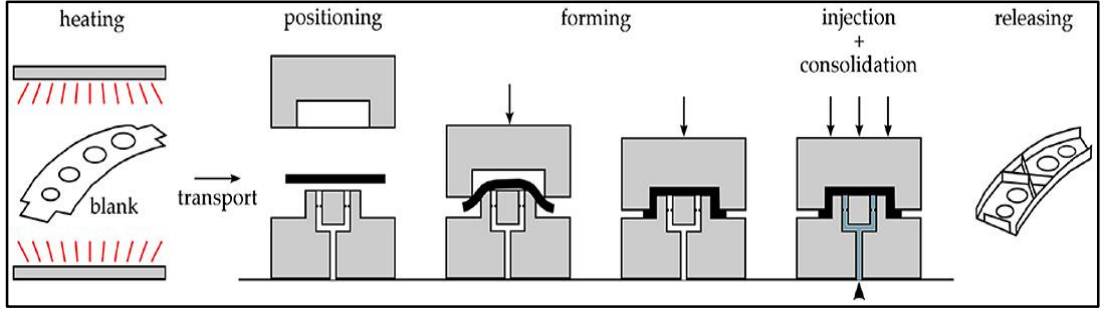
Şekil 1.18'de Fiber takviyeli levha haline getirilmiş kompozit parça görselleri verilmiştir.



Şekil 1.18. Fiber takviyeli levha haline getirilmiş kompozit prepeg görselleri [26]

1.3. Üzerine Enjeksiyon (Over Molding)

Termoplastik kompozitlerin üzerine enjeksiyon (over-molding) ile kalıplanması, sürekli fiber takviyeli termoplastik prepeg malzemenin yada kompozit levhanın ısıyla şekillendirilmesini bir enjeksiyon veya basınç ile kalıplama işlemini birleştiren hibrit bir işlemdir. Süreç, sürekli lifler nedeniyle yüksek yapısal performansa sahip karmaşık parçaların üretilmesine imkan tanıyarak, yüksek sertlik ve mukavemetli parça üretimine olanak vermektedir. Diğer avantajları, yüksek seviyede fonksiyonelli parça entegrasyon potansiyeli, karmaşık şekillerde parça imalatına olanak vermesi ve otomasyon sayesinde yüksek adetli seri üretime olanak vermesidir [80]. Üzerine enjeksiyon (Over Molding) işleminin şematik bir görseli Şekil 1.19'da verilmiştir.



Şekil 1.19. Üzerine enjeksiyon prosesinin şematik gösterimi [81]

Bir enjeksiyon kalıplama işlemi olan üzerine enjeksiyon, son on yılda tüketici ürünlerinin estetiğini, tasarımını ve işlevselliğini büyük ölçüde değiştirmiştir. Genellikle yumuşak dokunuş olarak adlandırılan doku oluşturmasıyla bilinmesine rağmen, süreç ergonomi, iki renkli estetik, marka tanımlama ve özellik değişikliği dahil olmak üzere çok daha fazlasını sunmaktadır. Süreç bir ürüne işlevsellik katabilir (ör. Gürültü ve titreşim sönümlenme, su geçirmezlik ve şok emilimi) ve bir ürünün değerini artırabilir [82].

Üzerine enjeksiyon, jeton enjeksiyonlu, iki vuruşlu ve sandviç kalıplama ile birlikte çok malzemeli kalıplamanın geniş kategorisine girer. Çok malzemeli kalıplamanın temel dayanağı, benzersiz şekilde farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemeyi tek bir kalıplanmış bileşene dahil ederek ekonomik avantaj sağlamaktır [83].

Üzerine enjeksiyon uygulamalarında, son parçayı tamamlamak için bir alt tabaka malzemesinin etrafına, üzerine, altına veya içinden bir üst kalıp enjeksiyonla kalıplanır. Bu enjeksiyon, multishot işlemiyle veya insert kalıplama ile yapılabilir. Genellikle üst kalıplanmış malzeme elastomerik bir reçinedir [82].

Multishot Süreci: Çoklu kalıplama, eğer üst kalıbın konfigürasyonu izin veriyorsa, cihazlar için iyi bir seçimdir. İşlem, iki veya daha fazla yapı içeren özel bir pres gerektirir, böylece farklı reçineler aynı enjeksiyon kalıplama aletine püskürtülebilir. Birbirine paralel veya bir L konfigürasyonunda düzenlenmiş yapılar, alete ortak veya ayrı enjeksiyon noktalarından reçineyi besler. Bir ortak enjeksiyon noktası kullanıldığında, işleme kojeksiyon denir. Sonuç, bir kabuğun bir çekirdek reçineyi kapsüllediği kompozit bir parçadır. Ayrı enjeksiyon noktaları, bir bileşenin diğerinin üzerine enjeksiyonuyla üretilen ve katmanlı bir yapı oluşturan bir üst kalıplı parça ile

sonuçlanır. Ancak tüm ürünler için çok çekimli kalıplama mümkün değildir. Üzerine enjeksiyon için gerekli hacim, bir sürgü hareket ettirilerek veya kalıp maçası başka bir kalıp boşluğuna döndürülerek oluşturulabilmelidir [84, 85].

Insert Kalıplama: Tamamen üzerine enjeksiyon uygulanabilmesi için, alt tabaka takımdan çıkarılmalı ve üst kalıp malzemesinin hacmini oluşturmak için farklı bir göbeğe ve boşluğa yerleştirilmelidir. Bu işlem sırasında, ayrı bir takım aynı veya farklı bir baskıda (atış boyutuna bağlı olarak) çalıştırılmalıdır. Genellikle, bir parçanın üst kalıp kısmı alt tabakadan önemli ölçüde daha küçüktür. Optimum yapışma mukavemetine ulaşmak için yüzey sıcaklığını üst kalıbın erime sıcaklığına yaklaştırmak için substratın ön ısıtılması gerekli olabilir. Ortaya çıkan parça, katmanlı bir yapı oluşturmaktan ziyade temelde iki malzemeyi birleştirdiğinden, bazen üzerine enjeksiyon, kalıp içi montaj olarak adlandırılır. Hem bireysel bileşenler hem de montajlar üzerine enjeksiyonlanabilir. Ancak uygulamadan bağımsız olarak, alt tabaka malzemesi ile üst kalıplanmış bileşen arasında mekanik veya kimyasal bir bağ elde etmek çok önemlidir [84, 85].

Genel olarak, üst kalıp reçinesinin erime sıcaklığı aralığı, bağlanmayı güçlendirmek için substrat ile aynı aralıkta olmalıdır. Üst kalıbın erime sıcaklığı, substratın yüzeyini eritemeyecek kadar düşükse, bağ zayıf olabilir. Bununla birlikte, eriyik sıcaklığı çok yüksekse, alt tabaka yumuşayabilir ve deforme olabilir. Aşırı durumlarda, üst kalıp alt tabakaya girebilir ve bu da parçanın reddedilmesine neden olabilir. Uyumlu malzemelerin seçilmesi, iyi bir bağ sağlamak için çok önemlidir [82, 85].

Uyumlu malzemeler benzer kimyaya sahiptir veya uyumlu harmanlanmış bileşenler içerir. Substrat ve üzerine enjeksiyon malzemeleri uyumsuz olduğunda, mekanik bir kilit genellikle kimyasal bağın yerini alabilir [83].

Üzerine enjeksiyon kalıplama işleminde yaygın sorunlar vardır. En yaygın olanları, polimerler arasında yetersiz kimyasal veya mekanik bağlanma, bir veya daha fazla bileşenin eksik doldurulması ve bir veya daha fazla bileşenin parlamasıdır [85].

Enjeksiyon kalıplama makinesinin atıştan atışa tutarlılığı kritik bir faktördür. Üzerine enjeksiyon uygulamasının atış boyutu oranının da kalıplama kalitesinde parçaların

önemli bir unsurdur. Bu oran tüm kalıplama işlemlerinde kritik olmasına rağmen, özellikle bir alt tabakanın üst kalıplanması sırasında önemlidir. Üst kalıbı kapatmak için bir set görevi gören kapatma, metalden metale yüzeylere göre sert metal ve daha esnek plastik yüzeyler arasında kurulması daha zordur [83-85].

1.4. Modelleme

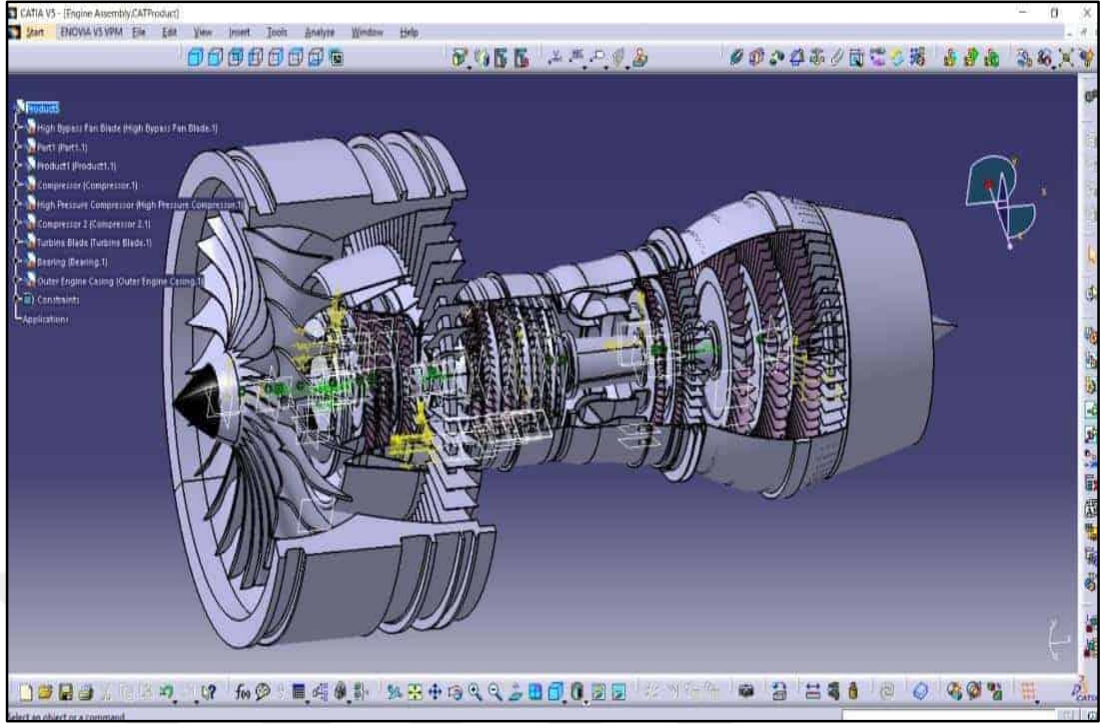
Modellemenin en temel amacı, üretimi yapılacak ürünün sanal modelini oluşturmak ve modelin tasarımını üretime geçmeden önce modelin tasarımını değerlendirmek, analiz etmek ve incelemektir [86, 87]. Ürün modelleme özelliklerini yansıtan CAD (Computer Aided Design) modelleri, ürün tasarım verilerinin basitleştirilmesi ve birleştirilmesini de destekler [88]. Günümüzde modelleme için tasarım programları kullanılmaktadır. Örneğin: Catia, Unigraphics vb. ve bu programlar ile yapılan modelleme işlemlerine CAD adı verilmektedir.

CAD tasarım programları kullanarak modelleme yapmanın avantajları aşağıdaki gibidir;

Tasarım Kalitesini Arttırır: 3D CAD yazılımları, 700.000'den fazla standart mekanik bileşen şablonu ile gelir ve bu sayede tasarımcıların mevcut şablonları kullanmasına olanak tanır, böylece tasarımın doğruluğunu sağlar ve ayrıca tasarım süresinden tasarruf edilmesini sağlar. Şekil 1.20'de örnek bir çalışma erilmiştir.

Tasarımcının Üretkenliğini Arttırır: 3D CAD modelleme, tasarımcının mekanik bileşeni ilk aşamada 3D (3 boyutlu) olarak görselleştirmesine ve gerekirse herhangi bir değişikliği anında yapmasına yardımcı olur. Bu, tasarımcının daha sonraki bir aşamada tasarımı yeniden gözden geçirmesi ihtiyacını ortadan kaldırdığı için, tasarımcının üretkenliğini arttırır.

Kolay Dökümantasyon: Geleneksel taslak oluşturma yöntemleri, mekanik bileşenin çeşitli yönlerini manuel olarak belgelemeyi içerir; bu, zahmetli bir süreçtir ve yüksek düzeyde uğraş gerektirir. 3D CAD modelleme, ürünün geometrilerini ve boyutlarını belgeleme, malzeme özellikleri, malzeme listesi vb. gibi dökümantasyon seçenekleri ile önceden yüklenmiş olarak geldiği için bileşen tasarımlarını belgeleme sürecini kolaylaştırır.



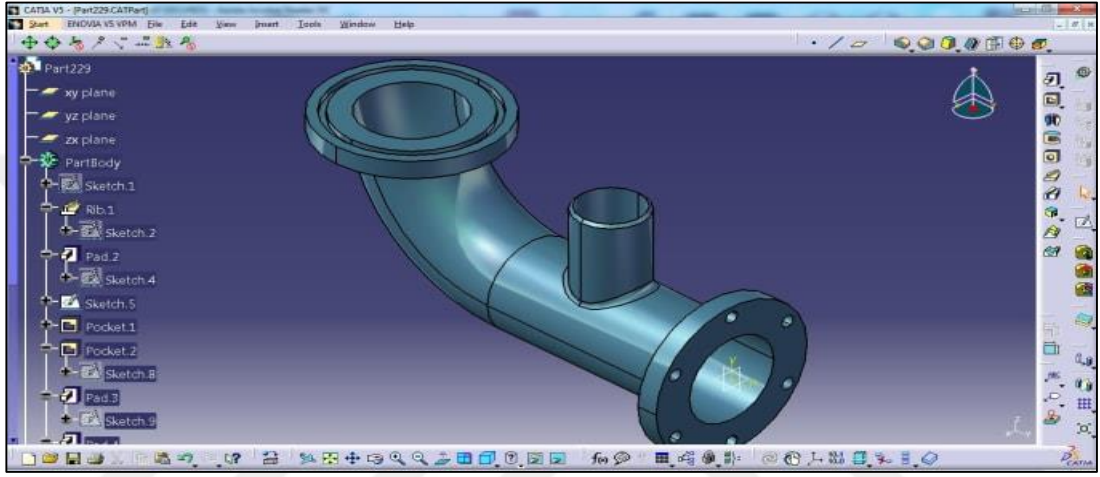
Şekil 1.20. CATIA programında oluşturulmuş bir uçak türbin tasarımı [89]

Uluslararası Standartlarla Uyumlu: 3D CAD programları ile tasarım yapmak, tasarımların uluslararası standartlara uygun olmasını sağlar. CAD, BSI (British Standards Institution), ANSI (American National Standards Institute), DIN (Deutsches Institut Für Normung), CSN (Czech Standards Institute), GB (Guobiao Standards), ISO (International Organization for Standardization), TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ve GOST (Government Standard Russia) standartları tasarım programlarını destekler. Endüstri standartları ile uyumlu olmak, iç iletişimi geliştirir ve dayı iyi çıktılar alınmasına olanak sağlar.

Tasarımın Otomatik Olarak Yeniden Çizilmesi: Modellemesi tamamlanmış bir parçanın imalat resminin (Teknik Resim) hazırlanması oldukça zahmetli bir süreçtir, özellikle bileşenlerin gizli kısımlarının çizilmesi, geleneksel çizim tekniklerini kullanan tasarımcılar için zahmetli bir süreçtir. 3D CAD yazılımları, tasarımda herhangi bir değişiklik varsa, 3D CAD çizimleri ve kesikli çizimleri otomatik olarak yeniden çizer, böylece herhangi bir hata olasılığını ortadan kaldırır.

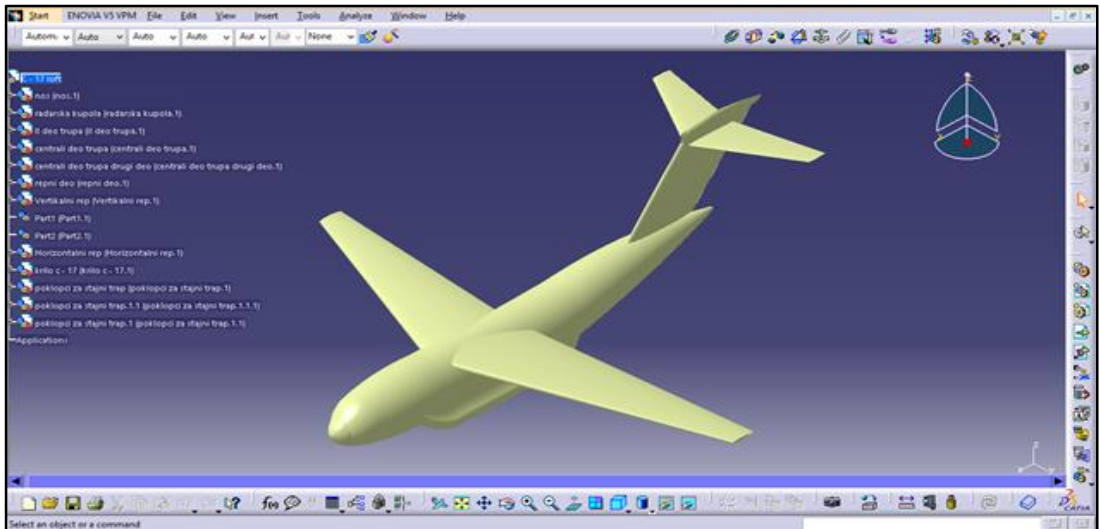
Tasarım Süresini Azaltır: Tasarım aşamasında sanal bir 3D CAD modeli oluşturmak, sürecin daha hızlı gelişmesine ve mühendislerin gerekli güncellemeleri yaparak mekanik bileşenlerin üretimine çok daha hızlı başlanmasına yardımcı olur.

Müşteriler İçin Daha İyi Görselleştirme İmkani: 3D CAD modelleme, 3D olarak tasarlanacak bileşenlerin en iyi görsel görüntülerinin oluşturulmasını sağlar. Bileşenler üzerine belirli hareketler tanımlanarak çalışma ortamı sanal olarak gözlemlenebilir. Görsel grafikleri müşterinin bileşenin özelliklerini daha iyi anlamasına yardımcı olur. Bu ayrıca, bileşenlerin işlevselliğini müşteriye göstermeye ve bir teklifte bulunulmasına yardımcı olur. Şekil 1.21, 1.22 ve 1.23’de CATIA programı kullanılarak oluşturulan parça tasarımlarından örnekler verilmiştir.



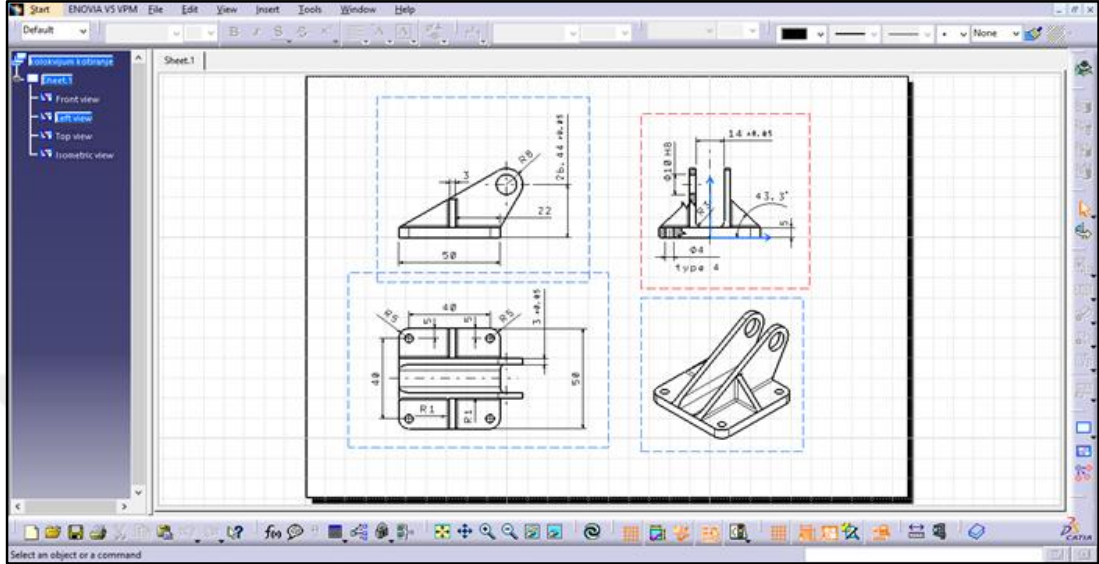
Şekil 1.21. CATIA programında tasarlanmış makine parça görseli [90]

Veri ve Çizimlerin Kaydedilmesi: CAD üzerinde oluşturulan tasarımlar, ileride erişilebilir üzere kolayca kaydedilebilir. Bazı standart bileşenlerin yeniden tasarlanması gerekmez ve bu gelecekteki tasarımların oluşturulması için oldukça fazla zaman kazandırır.



Şekil 1.22. CATIA programında yüzey komutları ile tasarlanmış uçak görseli [91]

Maaliyet Tasarrufu Sağlar: 3D CAD, tasarımcıyı tüm süreçlere her seferinde sıfırdan başlama zahmetinden kurtaran birçok standart tasarlanmış bileşen ve standart eleman ile birlikte gelir. Bu sayede zaman ve maddi tasarruf sağlar.



Şekil 1.23. CATIA programında oluşturulmuş teknik resim görseli [91]

1.5. Tezin Önemi ve İçeriği

Bu çalışmada sürekli cam elyaf katkılı termoplastik polipropilen (PP) matrisli prepreg malzemenin sonlu elemanlar analizi için numune modellemesi yapılmış olup, ilgili numuneye yapılan fiziki testler ile model korelasyonu sağlanmıştır. Ardından, malzeme verileri kullanılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulup koltuk üzerinde sayısal analizler yapılmıştır.

Analiz sonuçları dikkate alınarak tasarım geliştirilmiş ve Revizyon 10 (Rev10) tasarımının, kompozit parça optimizasyonu ve analiz çalışmaları kapsamında en iyi tasarım olduğu belirlenmiştir. Buna göre tasarım fazı Rev10'da tamamlanmıştır. Tasarımın güncel hali, ECE-R14 regülasyon koşulları içerisinde istenilen sınır değerleri içerisindedir.

Çalışmanın temel amacı olan metal ile kompozit yapının yer değiştirmesi ile performans olarak metale benzer ancak metale göre daha hafif bir yapı elde edilebilmiştir. Bu kapsamda %30 oranında ağırlık azaltımı sağlanmış olup ilgili proje hususunda başarı elde edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışma ve pilot üretim öncesi önemli kazanımlar elde edilmiştir.

Bu çalışma TÜBİTAK 1511 öncelikli alanlar araştırma teknoloji geliştirme ve yenilik programı kapsamında TÜBİTAK tarafından kısmen desteklenmiştir (Proje Numarası: 1160352).

1.6. Literatür Çalışması

Ning ve diğ. [92]'nin araştırmasında bir toplu taşıma otobüsündeki klima kapaklı bir tavan kapısı, bir alüminyum bileşenin “form-fit-fonksiyonu” ile değiştirilmesi için tasarlanmış, analiz edilmiş ve üretilmiştir. Parçayı oluşturmak için termoplastik kompozit malzemeler ve ısıyla şekillendirme işleme teknolojisini kullanan yeni tasarım gösterilmiştir. Dış yüzey olarak termoplastik poliolefin (TPO) ve yapısal sertlik ve mukavemet sağlamak için nervürlü çatı katı cam mat termoplastik (CMT) iç astar olarak adlandırılan yenilikçi kompozit malzemeler kullanılmıştır. Termoplastik kompozit tavan kapısı, bir toplu taşıma otobüsü için uygun fonksiyon yaklaşımı kullanılarak başarıyla tasarlanmış, üretilmiş ve analiz edilmiştir. Parçayı oluşturmak için termoplastik kompozit malzemeler ve işleme teknolojisinin yenilikçi bir kombinasyonu gösterilmiştir (Tablo 1.3). Üretilen kompozit kapı, (a) boyanabilir ve estetik açıdan çekici bir yüzeye, (b) alüminyum muadili ile karşılaştırıldığında %42 azaltılmış serbest duran sapma ile arttırılmış sertliğe ve (c) alüminyum taban hattına göre %39 ağırlık tasarrufuna sahip olduğu gösterilmiştir.

Belingardi ve diğ. [93]'nin çalışmasında kompozit ve geri dönüştürülebilir termoplastik malzemelerin otomotiv ön tampon tasarımına uygulanmasının tasarım yönlerinin ve analiz yönteminin araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, malzeme değişiminin otomobilin çarpışma davranışı üzerindeki etkisini anlamak için tampon enine kiriş için çelik (yani normal üretim olanı), cam keçe takviyeli termoplastik (CKTT) ve karbon fiber takviyeli plastik (KFTP) (yarı-izotropik yerleşim, çapraz-katlı yerleşim ve açılı-katlı yerleşim) olmak üzere üç farklı malzeme değerlendirilmiştir. Düşük hızlı önden çarpışma testi standart Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (UKTGİ) etki testlerine göre ABAQUS kodu ile sayısal simülasyon yoluyla gerçekleştirilmiştir. Modüler tabanlı araç çarpışma analizi, tasarım değişkenleri ve malzeme türündeki değişiklik için tampon alt sisteminin performansının araştırılmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, simülasyon için kullanılacak modelin boyutlarının çok büyük ölçüde azaltılmasına izin verir. Örneğin

mevcut çalışmada 329.300 elemandan oluşan tam araç modeli tek bir araç kütesine yerleştirilmiştir ve saf ön tampon alt sistemi 13.488 elementten oluşmaktadır.

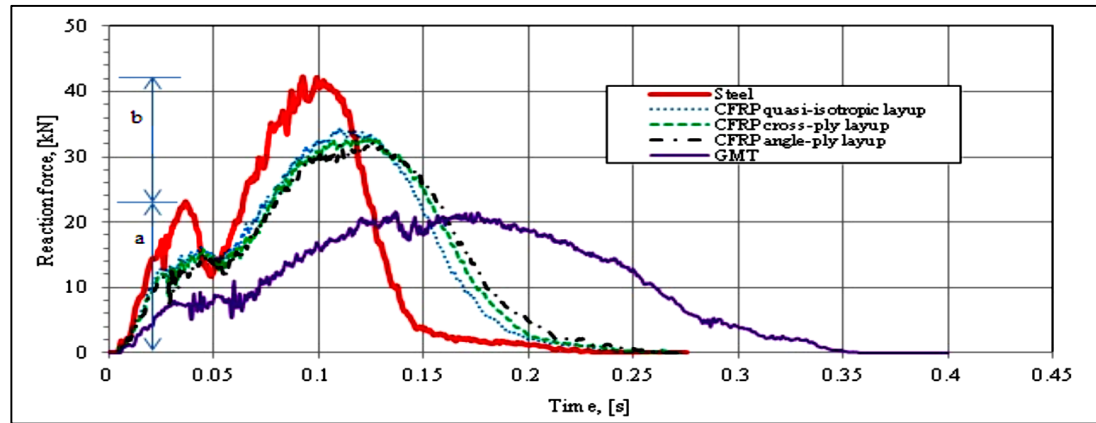
Tablo 1.3. Kompozit havalandırma erişim tavan kapısının ve metalik muadilinin ağırlık, sapma ve sönümlenme karşılaştırması [92]

	Ağırlık (kg)	Serbest pozisyonda sapma (mm)	Sönümlenme oranı
Temel tasarım (3 mm Al kabuk ve takviye kafes kiriş)	21	45	0,14
Kompozit tasarım (3 mm TPO dış kaplama/3 mm CMT iç astar)	12,9	26	0,004
İyileştirme yüzdesi	39%	42%	97%

Tablo 1.4. Polipropilen (PP) malzeme özellikleri [93]

İlk verim (MPa)	Maks. Alan sayısı çekme gerilmesi (MPa)	Maks. Alan sayısı sıkıştırma gerilimi (MPa)	E (GPa)	V _{esnek}	V _{plastik}
6	16,87	25,25	2,44	0,41	0,31

Tampon kirişinin malzeme değişimi eşit sac kalınlığı altında yapıldığında; CFRP malzemesi kullanıldığında maksimum reaksiyon kuvvetinde büyük bir azalma ve yer değiştirmede büyük bir artış saptanmıştır (Şekil 1.24). Elde edilen sonuca göre, istifleme dizisi katları hafif bir şekilde tamponun çarpışma davranışını değiştirebilmektedir. CMT malzemesi kullanıldığında ise dikkate alınan darbe yüküne dayanamayarak, otomobilin ön kısımlarını hasara maruz bırakabilecek sonuçlar oluşmuştur [93].



Şekil 1.24. Normal üretim çözümü ile aynı kalınlığa sahip kompozit kiriş donatılmış tampon alt sisteminin zamana karşı reaksiyon kuvveti [93]

Şekil 1.24’de çelik çözeltili için reaksiyon kuvvetinin bir kısmı (yavaşlama), fasya ve polipropilen köpük üzerindeki yük etkisinden kaynaklanırken, yükten gelen b kısmı esas olarak tampon kirişinin kendisine etki eder. Şekilde açıkça görüldüğü gibi, bu reaksiyon kuvvetlerinin değerleri, tampon kiriş malzemelerinin sertliği ile orantılı olarak değişmektedir. Şekil 1.24’e göre CMT tamponu için tepki kuvveti daha düşüktür, çelik tampon ise en yüksek tepki kuvveti değerini sergiler; CFRP çözümleri ara davranışlar verir. Bu, sırasıyla CMT ve çeliğin en düşük ve en yüksek elastik modülünden kaynaklanmaktadır. Bu diyagramın gözlemlenmesinden elde edilen bir başka sonuç, Çapraz kat, açılı kat ve yarı izotropik CFRP laminatlar arasında, küçük farklılıklar görülebilir, ancak açılı laminat çözeltisi en düşük reaksiyon kuvvetini sergilemiştir. Bu, açılı kat CFRP’nin en düşük elastisite modülleri ile açıklanabilir. Düşük uzunlamasına ve enine sertlik değerlerinden bağımsız olarak, yarı-izotropik laminatlar, çapraz katlı laminattan biraz daha yüksek reaksiyon kuvveti sergiler. Bu sonuç, yarı-izotropik laminatta ± 45 kat, [0/90/45 / – 45] rs varlığıyla artan daha yüksek kesme modülleri değerinden kaynaklanmaktadır [93].

Tampon kirişinin malzeme değişimi eşit bükülme sertliği kriterleri altında yapıldığında; CMT, çelik ve CFRP malzemelerine göre reaksiyon kuvvetini azaltarak daha iyi çarpışma dayanıklılığı sergilemiştir. Ayrıca, önerilen tüm malzemeler tarafından sergilenen maksimum giriş değerleri, çarpma sonrası normal çalışma koşullarını etkilemeden aydınlatma sistemi, kaput ve kapılarda hasarsız veya küçük hasar bırakan makul bir değer olan 80 mm’den az bulunmuştur. Ağırlık tasarrufu ile ilgili olarak, çelik üretim malzemesine göre CMT ile tampon kirişinde %46,4’e kadar ağırlık azaltımı sağlanmıştır. CMT daha kolay üretim süreci, geri dönüştürülebilirlik ve ağırlığın azaltılmasındaki avantajları nedeniyle CFRP malzemesine göre daha uygun bir seçenek olarak belirtilmiştir [93].

Labans ve diğ. [94]’nin çalışmasında cam fiber takviyeli polipropilen (GF/PP) kompozitten yapılmış kamyon kabin koltuk plakasının optimizasyonu ve prototiplemesi incelenmiştir. Araştırmada hızlı prototipleme amacıyla ilk değerlendirme materyali olarak piyasada bulunan cam elyaf/polipropilen kompozit malzeme kullanılmıştır. Prototipleme teknolojisinin ilk doğrulamasına sahip olmak için sabit taban kalınlığı 3 mm olan kompozit parça üretilmiştir. Bu noktalardaki

gerilim yoğunlaşmalarını azaltmak ve çok sayıda kumaş tabakasının istiflenmesini önlemek için koltuk çerçevesinin sabitleme noktalarında çelik ekler uygulanmıştır (Şekil 1.25).



Şekil 1.25. Prototipleme adımları a) kumaş yerleştirme, b) kumaşa uygulanan vakum basıncı, c) konsolide kısım [94]

Prototipler, çeşitli frekans spektrumunda dinamik etki üzerindeki yapı tepkilerini ölçen POLYTECH PSV-400 lazer vibrometre test cihazı kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapısal yanıtlar, bir lazer titreşim ölçer tarafından yakalanmış ve sonlu eleman yöntemi (FEM) öz modu sonuçlarıyla görsel eşleştirme için grafik mod şekillerine dönüştürülmüştür. Araştırmada çelik eklemeli ve eklemesiz oturma plakaları olmak üzere iki seri prototip incelenmiştir. Çelik ekleri olmayan parçaların özfrekansları Tablo 1.5’de verilmiştir.

Tablo 1.5. Çelik eklemeli numuneler için deneysel ve sayısal özfrekans değerleri [94]

Özfrekans	Set 1		Set 2		Set 3		FEM
	Hz	$\Delta\%$	Hz	$\Delta\%$	Hz	$\Delta\%$	
1	43,75	3,59	42	7,45	43	5,24	45,38
2	133	-30,1	118,25	-15,69	113	-10,56	102,21
3	216,7	-7,66	196,75	2,25	219	-8,8	201,28
4	238,5	-6,6	216,7	3,15			223,74
5			260	-6,67	262,5	-7,7	243,74
6	290,25	4	288,5	4,58	301	0,44	302,34
7	420,25	-1,97	415	-0,7	401,75	2,52	412,12
8	473,75	-1,88			469	-0,86	465,01

Hz: Hertz Δ : FEM: Sonlu Eleman Yöntemi

Tablo 1.5’e göre bu 3 numunelik seriler için, numuneler arasında küçük frekans dağılımı gözlemlenmiştir.

Çelik eklemesiz parçaların özfrekansları Tablo 1.6’da verilmiştir. Tablo 1.6’ya göre numuneler arasındaki dağılım nispeten küçüktür, ancak sayısal ve sonlu elemanlar modeli arasındaki en büyük fark 2. öz frekans değerinde gözlemlenmiştir.

Tablo 1.6. Çelik eklemesiz numuneler için deneysel ve sayısal özfrekans değerleri [94]

Özfrekans	Set 1		Set 2		Set 3		FEM
	Hz	$\Delta\%$	Hz	$\Delta\%$	Hz	$\Delta\%$	
1	46	3,1	41,8	12,1	42,3	11	47,5
2	130,5	-21,9	125,5	-17,2	131	-22,3	107,1
3	22,8	-9,1	217,8	-6,7	212,8	-4,2	204,1
4			253,5	-13,2			223,9
5			279,5	-12,7	287	-15,7	248
6	314	-5	311,3	-4,1	318,8	-6,6	299
7							394,8
8	420,5	-4,5	406,8	-1,1	400	0,6	402,4
9	436		435,3	0,9	433,3	1,4	439,4

Hz: Hertz Δ : FEM: Sonlu Eleman Yöntemi

Başlangıçta topoloji optimizasyonunun sonuçları, önemli yerel gerilimlerin meydana geldiği yük giriş noktalarına ek takviye yapılması gerektiğini göstermiştir. Parametrik FEM modelinin kullanıldığı bir sonraki adımda, GF/PP termoplastik kompozit malzemenin aynı zamanda gerekli mukavemet özelliklerini sağlama potansiyeline sahip olduğu ve dolayısıyla ağırlığı makul ölçüde düşük tutacağı tahmin edilmiştir. Elyaf kompozit kabuğun kalınlıkları ilk çelik parçanın kalınlığını aşsa da, GF/PP malzemenin düşük yoğunluğu, referans çelik parçaya kıyasla ağırlığın %75’e kadar azaltılmasını sağlamıştır. Çalışmada deneysel olarak elde edilen öz frekans modu şekilleri, prototipin yeterli tahmin sertlik kapasitesini gösteren garanti göstergesi ile sayısal olarak elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çekme testi, mevcut takviye modelinin tasarlanan yük durumu için geçerli olan tasarım yükü değerini aşmaya yeterli olduğunu doğrulamıştır. Kompozit parçayı çelik kabin bileşeniyle birleştirmek için prototip yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için daha fazla araştırma yapılması önerilmiştir [94].

Perwaiz ve diğ. [95]’nin araştırmasında otomotiv sektöründe ekipman üreticilerinin araç ağırlığını önerilen sınırlara düşürmek için önlemler almaya sevk eden nedenler

ortaya konulmuştur. Araştırmaya göre iklim değişikliği sorunları nedeniyle, küresel otomotiv endüstrisi, aracın yakıt verimliliğini artırmak için yeni işlevsel malzemeler geliştirmek için büyük çaba göstermektedir. Tüm kombine sera gazı emisyonlarının (GHG) dörtte birinden fazlasının karayolu ulaşım araçlarıyla ilişkili olduğuna inanılmaktadır. Artan tüketici bilinci ve enerji güvenliği sorunları ile bağlantılı olarak otomotivde ağırlığı azaltma dünya çapında önemli bir araştırma teması haline gelmiştir. Toronto Üniversitesi, Biyokompozitler ve Biyomalzeme İşleme Merkezi'nin (CBBP) gelişmiş kompozitler ve selüloz etkin hafif otomotiv kompozitleri geliştirmesi ile ilgili çalışmaları bulunmaktadır. Termoplastiklere dayalı halihazırda kullanılan kompozit malzemeler arasında levha kalıplama bileşikleri veya toplu kalıplama bileşikleri (SMC'ler / BMC'ler), cam elyaf keçe takviyeli termoplastikler (GMT'ler) ve fiber bileşenin cam elyaf olduğu uzun elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin (LFRT) bulunduğu belirtilmiştir. CBBP mikro fiber kompozitlerin darbe performansını artırmak ve uzun fiber kompozitlerin ekonomik olarak üretilmesi için mikrofiber teknolojisi (MF) ile Direct-Long Fiber Termoplastik teknolojisini (DLFT) entegre ederek, Micro Fiber Direct-Long Fiber Termoplastik teknolojisini (MF-DLFT) geliştirmiştir. Bu teknolojiyi endüstriyel ortaklarla birlikte otomotiv uygulamaları için daha yüksek performanslı hibrit kompozitler üretmek için kullanılmıştır. Mikrofiber etkinleştirilmiş kompozitler, geleneksel cam dolgulu termoplastik yapılara kıyasla birçok benzersiz avantaja sahiptir (Tablo 1.7). Bu avantajlar arasında %15 - %30 hafif olması ve yakıt kullanımında %14'lük bir kazanç oluşturmasıdır. Geliştirilen teknoloji ile CBBP, çeşitli uygulamalar için kullanılmak üzere çeşitli selüloz mikro fiber karbon fiber hibrit kompozitler geliştirmiştir [95].

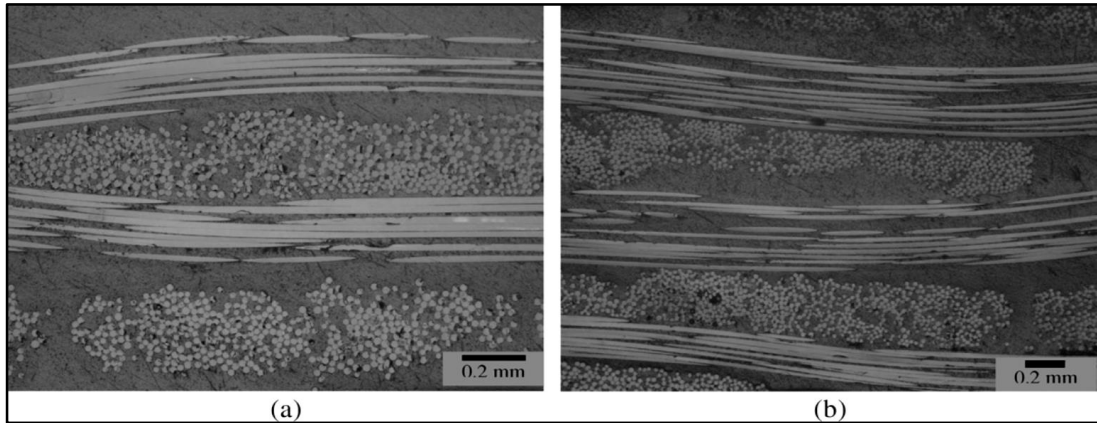
Tablo 1.7. MF teknolojisine göre hazırlanan kompozitlerin mekanik performansının %40 cam elyaf takviyeli polipropilen ile karşılaştırılması [95]

Performans özelliği	%40 GF takviyeli PP	MF teknolojisi+ kısa cam elyaf hibrit
Lif içeriği (ağırlıkça %)	40	50
Çekme mukavemeti, MPa	101	~ 90
Eğilme mukavemeti, MPa	160	~ 135
Eğilme modülü, GPa	6,2	~ 6,5
Izod darbe dayanımı, J / m	214	-
Yoğunluk (g / cm ³)	1,14	1,10

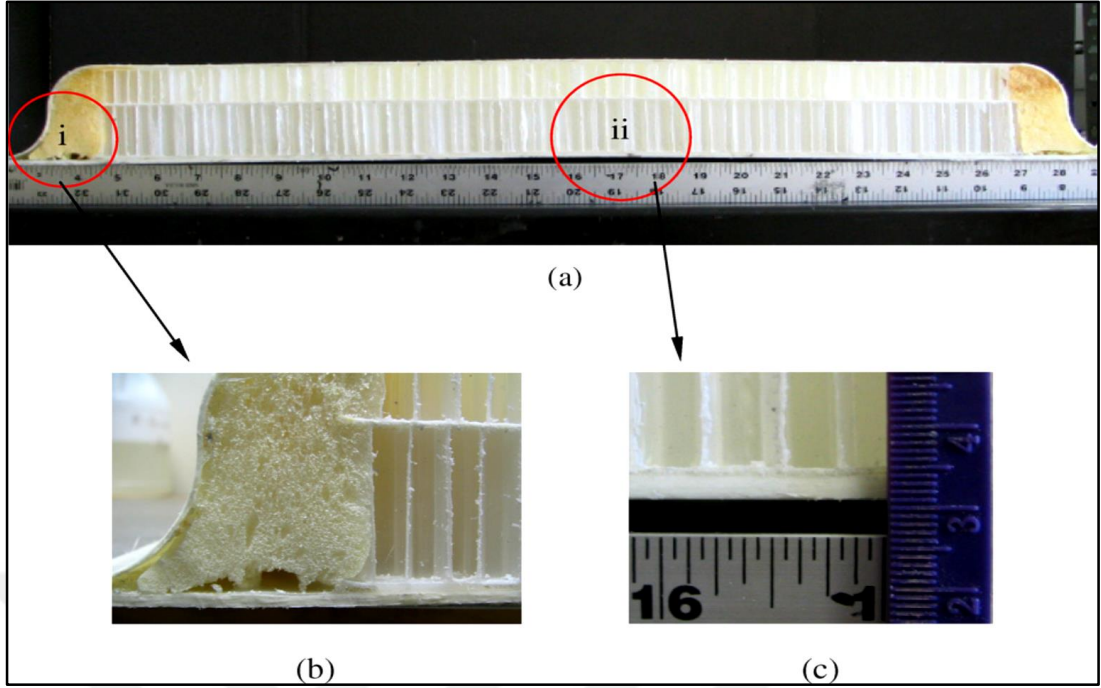
Ning ve diğ. [96]'nin çalışmasında araçlarda ağırlık tasarrufunun özellikle toplu taşıma sistemlerinde yakıt verimliliğini artırdığı ve bakım maliyetlerini düşürdüğü belirtilmiştir. Geleneksel çelik ve alüminyum bileşenlerin yerini almak için cam elyaf takviyeli polimerler gibi hafif kompozit malzemeler kullanılmıştır. Araştırmada termoplastik kompozit malzemeler kullanılarak bir toplu taşıma otobüsü yan gövde paneli tasarlanmış, analiz edilmiş ve üretilmiştir. Araştırmada tasarım, düşük ağırlık, yüksek mukavemet ve enerji emilimi avantajları sağlayan bileşenler olarak E-cam elyaf/polipropilen (cam/PP) yüzey tabakalar (facesheet) ve PP esaslı bal peteği çekirdeği (honeycomb core) içeren bir sandviç kompozit kullanılmıştır. Panel Pro/Engineer 2001 (Pro/E), Altair Hypermesh 6.0 (Hypermesh) ve ANSYS 7.0 (ANSYS) kullanılarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Cam/PP yüzey tabakaları üretmek için tek bir diyafram oluşturma işlemi kullanılmıştır. Bu işlem, yüz tabakalarının mikroyapısal analizi ile teyit edilen mükemmel bir konsolidasyon sağlamaktadır (Şekil 1.26) [96].

Araştırmada yüz tabakaları ve ana malzeme uygun yapıştırma materyali kullanılarak birleştirilmiştir ve modeli doğrulamak için test edilmiştir. Gövde panelinde yük 11,7 kN'ye ulaştığında bozulma oluşmuştur. Meydana gelen bu bozulmanın kullanılan yapışkan materyalinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Şekil 1.27).

Araştırma sonuçları Amerikan Toplu Taşıma Birliği'nin (APTA) gövde paneli için statik yükleme gereksinimleri karşılanmıştır. Termoplastik kompozit gövde paneli, alüminyum kaplama ve destekleyici çelik çubuklara sahip geleneksel bir otobüs ile karşılaştırıldığında %55'in üzerinde mükemmel ağırlık tasarrufu sergilemiştir [96].



Şekil 1.26. (a) iç yüzey tabakası ve (b) dış yüzey tabakasının yeterli konsolidasyonunu gösteren mikro yapı [96]



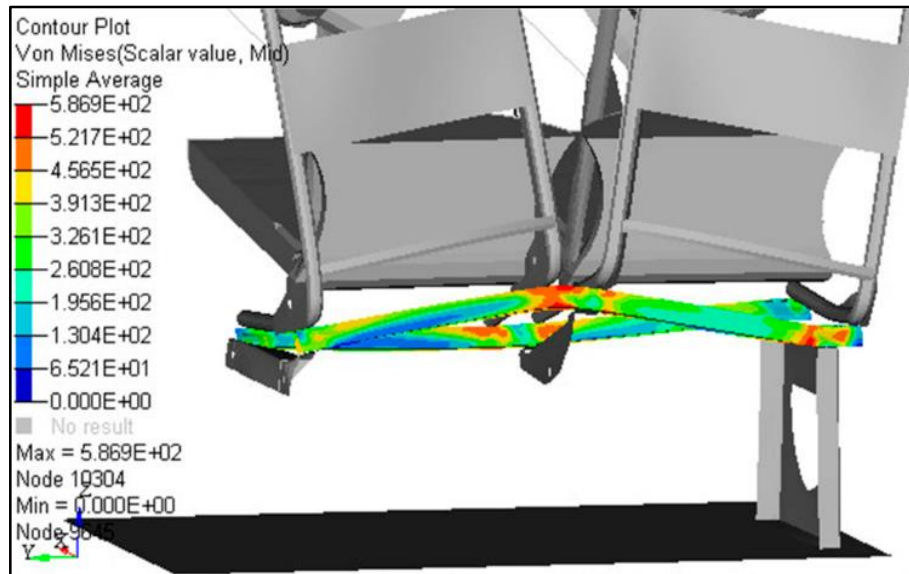
Şekil 1.27. Bozulma alanlarının gösterimi (a) Eğilme testinden sonra tava kısmının enine kesit görünümü. Ortadaki kalıcı deformasyon görülmektedir. (b) Köpük hasarını ve PU köpük ile yüz tabakaları arasındaki bağın açıldığı alan(i). (c) Yükleme alanında (ii) hiçbir bağ açılmamış ve 5 mm'den az maksimum kalıcı sapma. [96]

Yüce ve diğ. [97]'nin araştırmasında yolcu koltuğu yapısı, araç başına sayı bakımından ticari araçların kütleindeki önemli rolü nedeniyle hafifletme alanı olarak değerlendirilmiştir. Ek olarak, koltuk yapıları, yeni malzemeler ve tasarım teknikleri kullanılarak ağırlık azaltma için yeni yöntemlerin belirlenmesi incelenmiştir. Yolcu koltuklarının ayrıntılı (3D) sonlu eleman modelleri, sonlu eleman analizleri (FEA) için geliştirilmiştir. Hafif ve güvenli bir oturma yapısı elde etmek için farklı malzemeler ve profil kalınlıkları analiz edilmiştir. Şasi ve sırtlık çerçevesi üzerinde S420MC yüksek mukavemetli çelik kullanılarak, tüm koltuk yapısında ağırlıkça %20 azalma sağlanmıştır. Şasi çerçevesinde 1,5 mm kalınlığında yüksek mukavemetli çelik profiller kullanılmıştır. Koltuk direği ayrıca şasiye kaynaklanmış yüksek mukavemetli çelik sacdan oluşuyordu. FEA analizi yardımıyla koltuk şasisinin optimum malzeme ve profil kalınlıkları belirlenmiştir. Dört farklı profil kalınlığı (1, 1,5, 2 ve 2,5 mm) analiz edilmiştir. Analizlerde koltuk arkılığı çerçeve kalınlığı ve malzemesi sabit tutulmuştur. FEA, şasi çerçevesinde, 1,5 mm kalınlığa sahip yüksek mukavemetli çelik profillerin koltuğun yapısal stabilitesini sağladığını bulmuştur. Simülasyon sonuçlarının incelenmesinin ardından prototip koltuklar üretilmiş ve tezgah testlerine tabi tutulmuştur. Sonlu eleman modeli ile test sonuçları arasında iyi

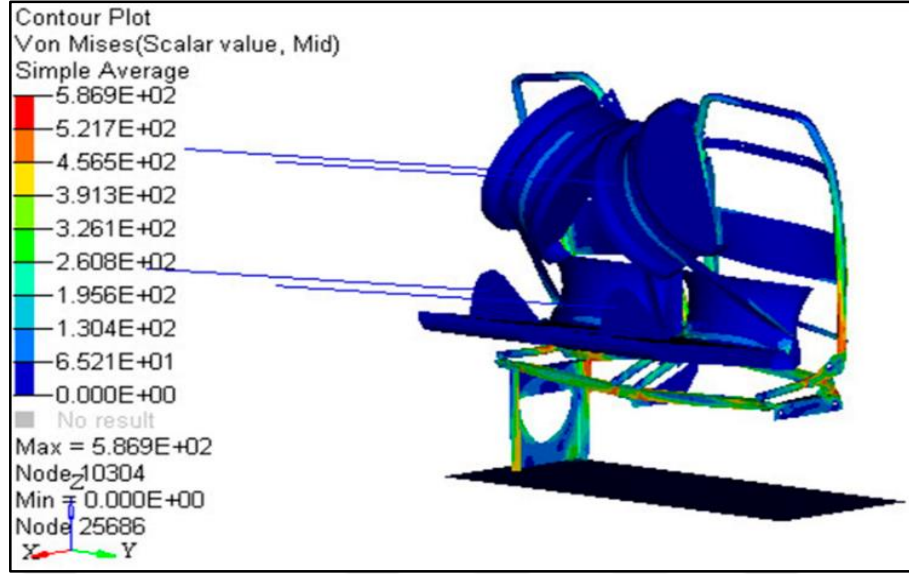
bir korelasyon elde edilmiştir. Sonuç olarak, herhangi bir güvenlik veya konfor kriterinden ödün vermeden %20 ağırlık azaltımı ile yeni prototip koltuk elde edilmiştir [97].

Yapılan 2 ve 2,5 mm profil kalınlıklarında yapılan koltuk şasi yapısı regülasyon güvenlik limitini karşılamıştır. Bu modellerde, diğer durumlardan farklı olarak, maksimum von Mises gerilmeleri sırasıyla 543 MPa ve 514 MPa olarak bulunmuştur. 2 mm kalınlık için sütun, şasi ve sırtlık çerçevesi üzerindeki ortalama gerilmeler sırasıyla 300 MPa, 290 MPa ve 285 MPa idi. 2,5 mm kalınlık için ortalama gerilme değerleri azalmıştır. Şasi, sütun ve sırtlık çerçevesi için gerilmeler sırasıyla 265 MPa, 285 MPa ve 280 MPa olmuştur. Bu durumlarda, plastik gerginlik ve arkalık çerçevesi yer değiştirmesi düzenleme standartlarını karşılamıştır. Ancak koltuk yapısının bu profil kalınlıkları ile hafifletilmesi mümkün olmamıştır. FE analizleri, 1,5 mm kalınlığın istenen güvenlik koşullarını sağladığını göstermektedir [97].

Tüm koltuk çerçevesi göz önüne alındığında, maksimum von Mises gerilimi yaklaşık 586 MPa idi (Şekil 1.28) ve koltuk şasisi arka profilinin ortasında gözlemlendi (Şekil 1.29). Bu kalınlıkta, koltuk şasisi için ortalama von Mises gerilimi 325 MPa olarak bulunmuştur. Sütun ve sırtlık çerçevesi için ortalama gerilmeler 300 MPa'da aynıydı. Bu değerler, uygun aday malzeme gerilme mukavemetini göstermiştir. Bu sonuçlar, koltuk şasisi, sütun ve sırtlık çerçevelerinin sertliğinin artırılmasıyla ortalama gerilim değerlerinin arttığını göstermiştir [97].



Şekil 1.28. Şasi profilinin Von Mises gerilim değerleri (1,5 mm) [97]



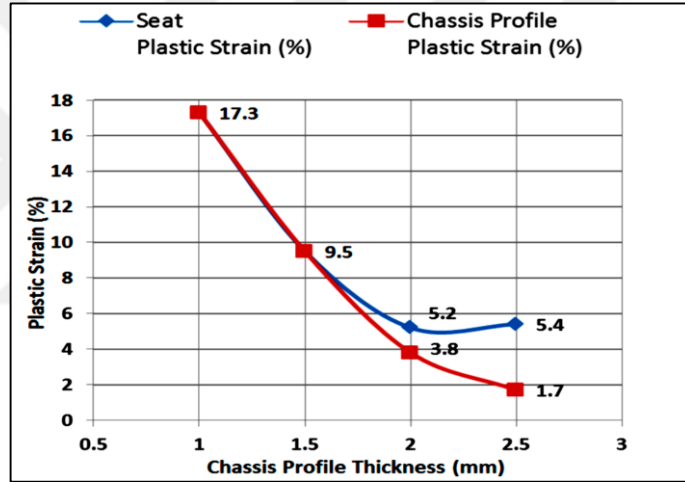
Şekil 1.29. Koltuğun Von Mises gerilme değerleri (1,5 mm) [97]

1,5 mm profiller kullanılırken, plastik gerinim değerleri de malzeme özelliğinin sınırları olarak gözlenmiştir. S420MC çelik profilinin toplam uzaması %16 idi ve bu analizlerde gözlemlenen toplam uzama değeri %9,5 olarak bulunmuştur. Ek olarak, bu durum için koltuk arkalığının yer değiştirmesi ECE-R14 normlarıyla uyumlu bulunmuştur. Çalışmada, RADIOSS ve HyperView yardımı ile dört farklı vaka analiz edilmiştir. Her simülasyon için koltuğun von Mises gerilim değeri, şasi profilleri, şasi profilinin plastik gerilmesi ve koltuk arkalığı çerçevesinin yer değiştirmesi belirlendi. Sonuçlar Şekil 1.30'de sunulmuştur [97].

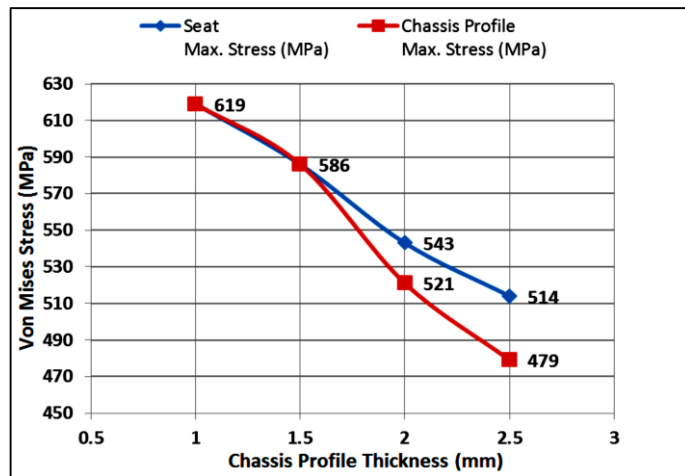
Şekil 1.30'a göre artan profil kalınlıkları nedeniyle şase üzerindeki plastik gerinim değeri düşürülmüştür. 1 ve 1,5 mm kalınlıklarda maksimum plastik gerinim tüm yapıda olduğu gibi şasi üzerinde de meydana gelmiştir. Ancak 2 ve 2,5 mm kalınlıklarda koltuk yapısının farklı kısımlarında (direk ve şasi kaynaklı bölge) maksimum plastik gerinim oluşmuş ve bu değer üzerinde şasi üzerinde oluşmuştur. Şasi profillerinin kalınlığının artması ile koltuk yapısının maksimum gerilme değeri ve sırtlık deplasmanı azalmıştır. Yüksek mukavemetli çelik kullanılarak boruların kalınlıkları azaltıldı; ancak çerçevenin sertliği de azaltıldı. Bu nedenle, gerilme değerleri malzeme özelliklerine ve kalınlığına bağlıdır [97]

Valverde ve diğ. [98] termoplastik kompozit üst kalıplama, birleşik sürekli ve kısa elyaf takviyeleri ile bileşenler üretmek için entegre bir işlem olduğunu belirtmişlerdir. Bu bileşenler, yüksek içsel mekanik özelliklerden, geometrik karmaşıklıktan ve

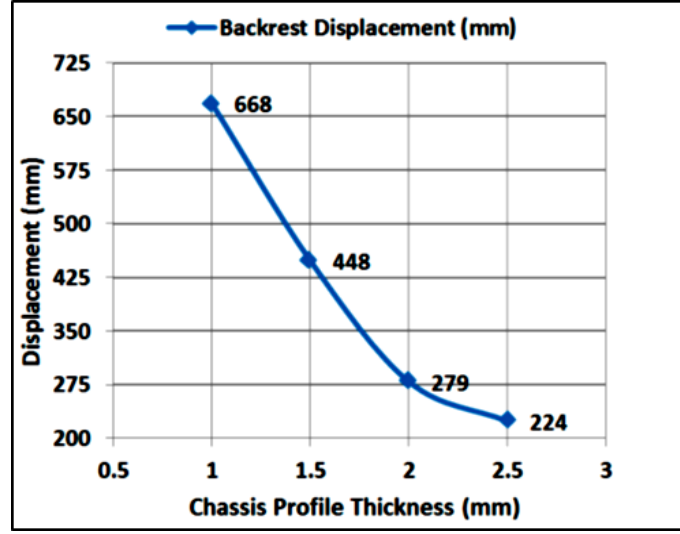
düşük üretim döngüsü sürelerinden faydalanmışlardır. Bu çalışmada, nervürlü plakalar, kısa elyafli CF/PPS (karbon elyaf/polifenilen sülfid) kompozit malzemenin sürekli dokuma elyaf CF/PPS düz preformlar üzerine kalıplanmasıyla üretilmiştir. Bu çalışmada, CF/PPS aşırı kalıplanmış nervürlü plakalar, 140 saniyelik bir döngü süresinde standart bir enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılarak üretilmiştir. Kesintisiz elyaf taban plakası ve kısa elyaf nervürleri arasındaki bağlanma kalitesi, yarı statik nervür çekme testleri ve kırılma davranışının analizi yoluyla değerlendirilmiştir. Numune mikrografları aracılığıyla, proses kaynaklı özelliklerin bir kısmının yalnızca nervür geometrisi seçiminden değil, aynı zamanda, enjekte edilen akışın başlangıcı ve bitişi arasındaki özellik varyasyonları ile kanıtlanan numunelerin alındığı konumdan da etkilendiği gösterilmiştir [98].



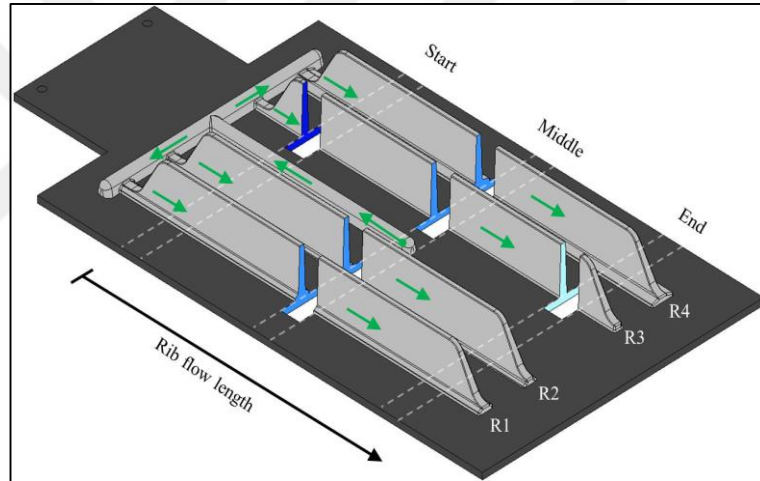
Şekil 1.28. Şasi profil kalınlıklarının FEA üzerindeki etkisi, Plastik gerinim.



Şekil 1.29. Şasi profil kalınlıklarının FEA üzerindeki etkisi, Von Mises gerilimi.

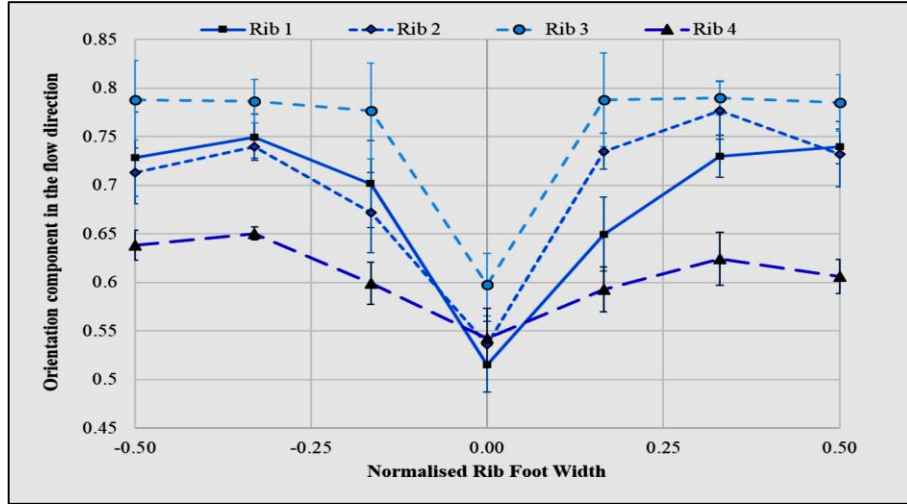


Şekil 1.30. Şasi profil kalınlıklarının FEA üzerindeki etkisi, Sırtlığın yer değiştirmesi.



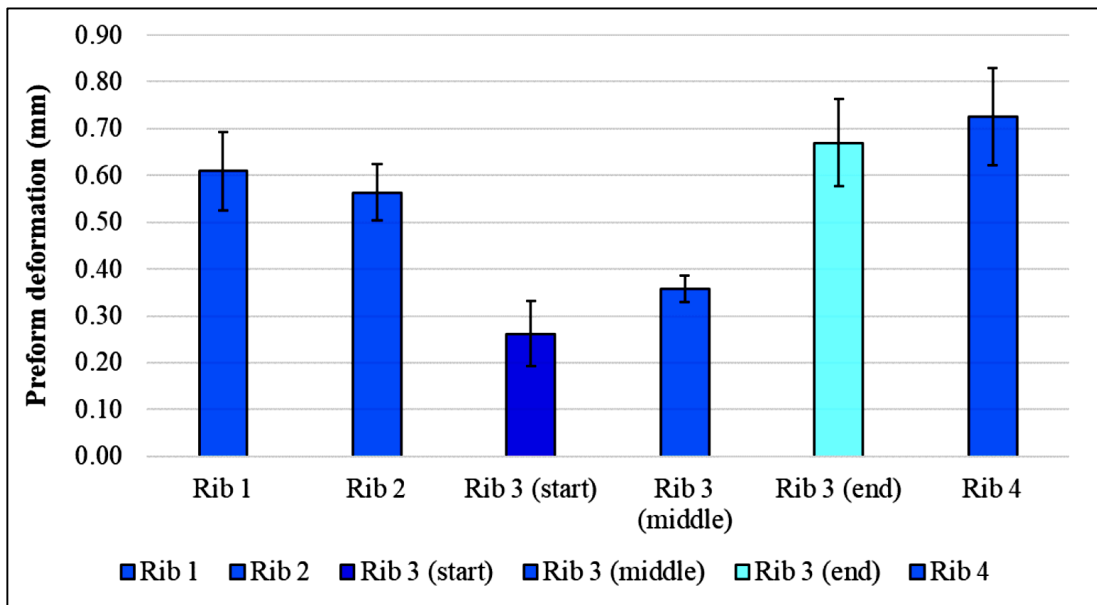
Şekil 1.31. Enjekte edilen bileşik malzemenin yönünü (yeşil oklar) ve başlangıç, orta ve sonun sırasıyla koyu, normal ve açık mavi renklerle gösterildiği numune kesim konumlarını gösteren nervürlü plaka bileşeninin CAD modeli [98]

Mikrografların analizi, liflerin genel olarak bileşik malzemenin akışı ile hizalandığını düşündüren yüksek düzeyde bir yönelim ortaya koymaktadır. Lif oryantasyonundaki genişlik dağılımının, Şekil 1.32’de görüldüğü gibi, merkezde bir düşüşü açıkça vurgulayarak, üst kalıplanmış dört nervür arasında değiştiği görülmektedir. Rib 1 (Nervürlü plaka 1) ($0,72 \pm 0,10$) ve Rib 2’nin ($0,73 \pm 0,11$) ortalama akış yönelimleri karşılaştırmasında farklılık bulunmamıştır. Bununla birlikte, sırasıyla en düşük ve en yüksek ortalama lif yönelimlerini gösteren Rib 4 ($0,63 \pm 0,05$) ve Rib 3 ($0,78 \pm 0,12$) arasında açık bir fark bulunmuştur [98].



Şekil 1.32. Rib (Nervür) genişliği boyunca her bir alt bölüm için akış yönündeki lif oryantasyon bileşenleri. Hata çubukları standart sapmayı gösterir [98]

Şekillendirme aşaması sırasında, ön kalıp yüzeyi, alet yarımlarıyla doğrudan temas eden alanlarda hemen katılaşırsa, oyuklara maruz kalan alanlar, nispeten daha düşük ısı kaybı nedeniyle hem sınırlandırılmamış hem de daha sıcak bir durumda kalır. Bu, sürekli fiber materyalin, basınçlı bileşik materyal yoluyla sağlamlaştırılana kadar nervür boşluklarına lokal olarak çıkıntı yapmasına ve onu kısmen orijinal durumuna geri zorlamasına neden olur. Akış yolunun orta konumundaki en büyük deformasyonlar, Şekil 1.33’de görüldüğü gibi, Rib 4’te ($0,73 \pm 0,10$ mm), en küçüğü ise Rib 3’te ($0,36 \pm 0,03$ mm) gözlenmektedir [98].

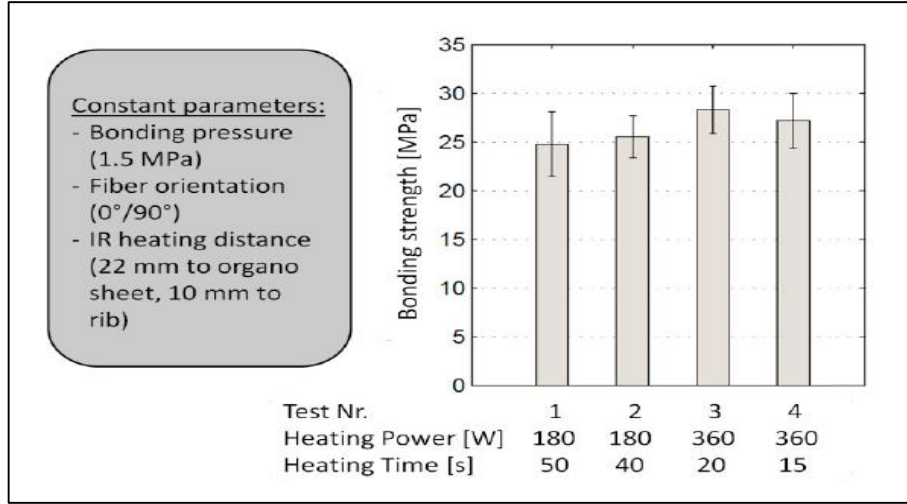


Şekil 1.33. Tüm numune kesim konumları için arayüzde deformasyonlar [98]

Genel olarak, taban plakası ve nervürler arasında çok iyi bir bağlanma elde edilmiştir. Arayüzde yapışkan ağırlıklı bir arızanın aksine, daha yüksek yüklerde belirli nervür tasarımlarının kohezif başarısızlığı bulunmuştur. Bununla birlikte, arıza tipindeki bu varyasyon, mekanik davranışı tahmin etmek için bu tür bileşenlerin modellenmesinin, arayüzün yakınında ve üst kalıplanmış yapı boyunca gelişen sayısız işlem kaynaklı özellikler ve geometriye bağlı özellikler nedeniyle karmaşık bir görev haline gelebileceğini göstermektedir. Bu tür özelliklerin analizi, üst kalıplama sırasında gerçekleşen konsolidasyon mekanizmaları hakkında bir fikir verir ve bileşenlerin gelecekteki tasarımına yardımcı olabilir [98].

Kroll ve diğ. [99]'nin araştırmasında bir enjeksiyon kalıplama sürecinde üretilen kısa elyaf takviyeli nervür yapıları (NERVÜR- Feder) ve sürekli elyaf takviyeli termoplastikleri (cam veya karbon elyaf) birleştirmek için teknolojik parametreleri ve bağlanma mukavemeti araştırılmıştır. Birleştirme işlemi için kızılötesi radyatörler kullanılmıştır. Karşılık gelen kompozit bileşenleri kısa sürede üretebilmek için karşılık gelen ısıtma güçleri, ısıtma süreleri ve birleştirme basınçları belirlenmiştir. Organo levha (bir termoplastik matris ile sürekli fiber takviyeli laminat) oluşturulmuş yapısının sabit kalmasını sağlamak ve enjeksiyonla kalıplanmış yapıya iyi bir bağlanma mukavemeti elde etmek için yüzeyin sadece bir tarafında eritilmiştir. Bu durum sonraki bir birleştirme işlemi durumunda, organo tabakanın yeniden birleştirilmemiş alanları önemli bir güç kaybını azaltmaktadır. İlk test serisinde, radyatörlerin kızılötesi ısıtma gücü ve ısıtma süresi, yapıştırma mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemek için değiştirilmiştir [99].

180 W ısıtma gücü için 40 sn ve 50 sn ısıtma süreleri ve 360 W ısıtma gücü için 15 sn ve 20 sn ısıtma süreleri, farklı birleştirme sıcaklıklarının ve birleştirme sürelerinin etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Birleştirme basıncı için 1,5 MPa'lık başlangıç değeri, ısıtma elemanları ile birleştirme basınçları için ön testlere dayalı olarak seçilmiştir. Birleştirme işlemi için sıcaklıklar organo levha için 280°C'ye ve nervür yapısı için 250°C'ye ulaşmıştır. 20 s ısıtma süresi ve 360 W ısıtma gücü ile 28,3 MPa maksimum yapıştırma gücüne ulaşılmıştır. Daha yüksek ısıtma gücü ve daha kısa ısıtma süresi ile organo-levha yüzeyinin birincil ısıtması gerçekleşir ve temel organo tabakanın mukavemeti büyük ölçüde bozulmadan kalmaktadır (Şekil 1.34) [99].

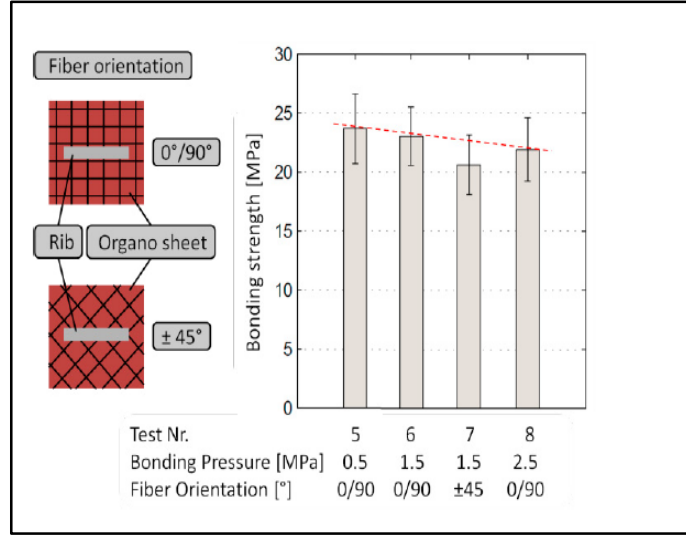


Şekil 1.34. Yapışma gücüne ısıtma gücü ve ısıtma süresinin etkisi [99]

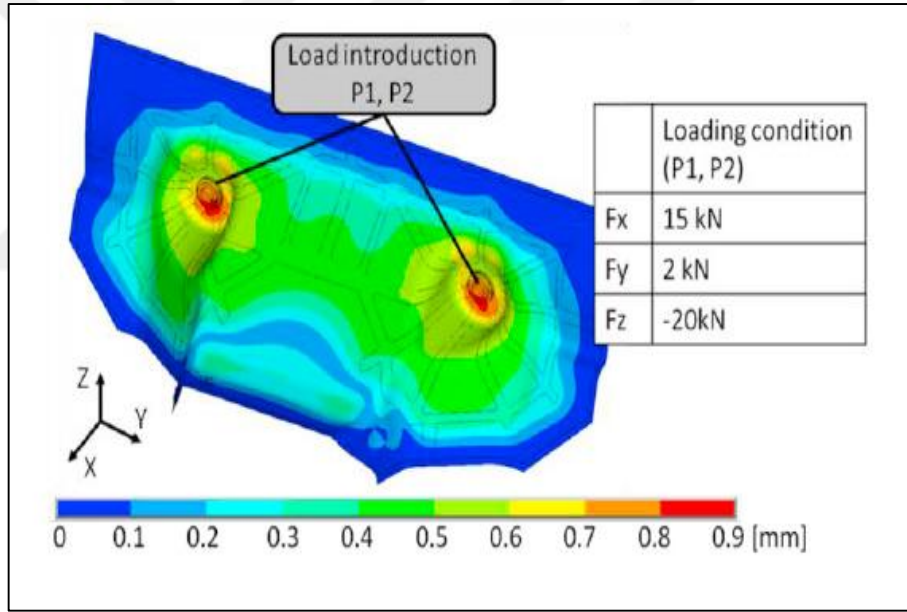
Sıcaklık ölçümleri, daha düşük ısıtma gücünün, konsolidasyon durumunda ve organo tabakanın ilişkili temel mukavemetinde bir değişikliğe neden olduğunu göstermektedir. Bağlama basınçları çok yüksekse, birleştirme bölgesindeki azalmış matris değeri, nervür malzemesinin organo tabakaya daha az yapışmasına neden olabileceği belirtilmiştir [99].

Organo tabakanın nervür üst kısmı ile temas halinde olan yüzey alanı yaklaşık olarak 6200 mm²'dir. Böylece, kalıplanmış nervür yapısı ile organo levha üst kapak arasında yeterince güçlü bir bağlantı oluşturmak mümkündür. Araştırma test sonuçlarına ve küçük bir güvenlik faktörüne bağlı olarak, 20 MPa'lık bir yapıştırma mukavemeti, sürekli fiber takviyeli termoplastikler ile oldukça rijit bağlanmış kompozit bileşenler oluşturmak için uygundur. Bu nedenle, yapıştırma mukavemeti maksimum 124 kN kuvvete dayanabilir (Şekil 1.35) [99].

Yükleme koşullarını oluşturmaya yönelik kuvvetler, uçlarda bileşene eklenmiştir (Şekil 1.36). Birleştirilmiş kompozit bileşenin toplam deformasyonu 1 mm'yi geçmemelidir. Topoloji, mevcut tasarım alanı ve sınır koşulları için optimize edilmiştir. Alt ve üst organo tabaka tabakası için 2 mm'lik bir kalınlık, gerekli deformasyonu aşmamak için yeterlidir. Optimize edilmiş topolojiye dayanarak, nervür yapısının ve geometrisinin hizalaması bir takip aşaması olarak türetilmiş ve doğrulanmıştır. Hesaplama, sürekli fiber takviyeli alt ve üst tabakalar için maksimum mukavemet değerleri aşılmadığından, yüksek rijit birleştirilmiş kompozit yapıda kırılmalar oluşmamıştır [99].



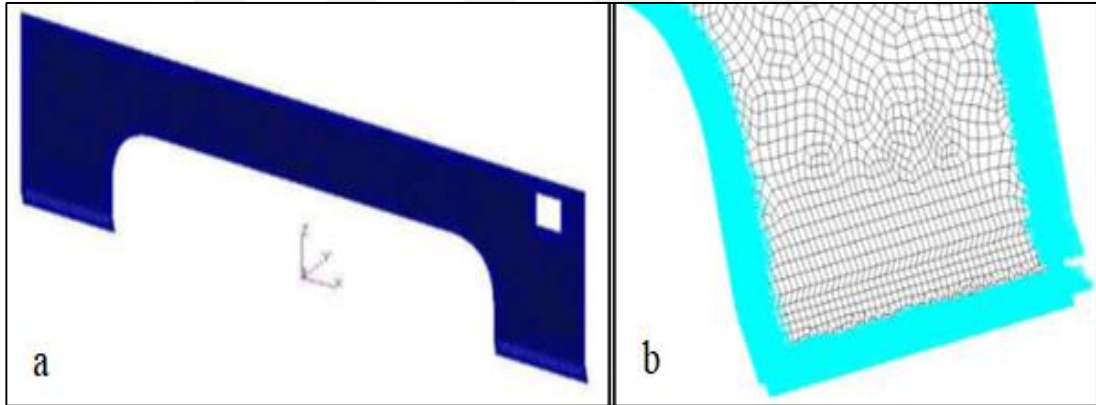
Şekil 1.35. Yapışma mukavemetinin basınca göre değişimi [99]



Şekil 1.36. Yükleme koşulları için bileşen deformasyonları [99]

Gallone ve diğ. [100]'nin araştırmasında, bir toplu taşıma aracının termoplastik kompozit bir bileşeni, hesaplamalı analizler ve deneysel testlerin karmaşık bir karışımı kullanılarak tasarlanmıştır. Hali hazırda mevcut kompozit malzemeler arasında, E-cam fiber/ polieterimid (PEI) termoplastik kompozit malzeme, alev geciktirici özellikleri ve yaşam döngüsü perspektifi açısından değerlendirilmektedir. Termoplastik kompozit panel, AnsaldoBreda yapısal yükleme ve performans gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmıştır. Araştırmada, MSC Nastran® kodu kullanılarak bir FE (Sonlu Eleman) modeli geliştirilmiştir. Bileşen, 4 düğümlü kabuk

elemanları kullanılarak birleştirilmiş ve termoplastik prepreg'i tanımlamak için bir 2D-ortotropik malzeme kullanılırken, panelin istifleme sırasını oluşturmak için PCOMP işlevi kullanılmıştır (Şekil 1.37a). Nihai yan gövde paneli, 20 mm'lik bir derinlik için tüm kenarlar boyunca aracın şasisine yapıştırılarak birleştirileceğinden, modelin dış düğümleri tüm dönme ve ötelemeye karşı tutulmuştur (Şekil 1.37b). AnsaldoBreda gerekliliklerine ve Avrupa standardına göre, aşağıdaki iki statik yükleme koşulu, P-IV sınıfı bir araç için önerildiği şekilde modele tanımlanmıştır: Durum 1 - Atalet yükünün 3g'ye eşit olan atalet yükünü birleştiren x-yönü boyunca bileşen kütlesi, y-yönü boyunca 1g bileşen kütlesine eşit eylemsizlik yükü ve yerçekimi yönü boyunca bileşen kütlesinin 3g'sine eşit eylemsizlik yükü; Durum 1A - 160 km / saate eşit bir yanal rüzgar ve yerçekimi yönü boyunca bileşen kütlesinin 1 g'sine eşit bir eylemsizlik yükünü birleştiren yanal rüzgar durumu. Yanal rüzgar, panelin yüzeyine dağıtılmış 1185N/m^2 dinamik basınç uygulanarak simüle edilmiştir [100].



Şekil 1.37. FE modeli: (a) panelin görünümü; (b) sınır koşullarının ayrıntılı görünümü [100]

Optimizasyon, hedef işlevi en aza indirmek ve aynı zamanda belirli davranışsal kısıtlamaları karşılamak için belirli tasarım değişkenlerinin değerlerini değiştirerek elde edilir. Bu çalışmada, istifleme sırasını ve toplam kat sayısını aynı anda optimize etmek için, ayırık kat açıları, 0° , $\pm 45^\circ$ ve 90° tasarım parametreleri olarak kabul edilmiştir. Tasarım prosedürü, [0,90] 4S yerleştirme konfigürasyonunun, bileşenin yapısal ağırlığının optimize edilmesine izin vermesi koşuluyla sağlanmıştır. Tablo 1.8, tasarlanan kompozit panel için kritik katın sayısal sonuçlarını bildirmiştir. RF, türetilmiş deneysel mukavemet ve sayısal gerilim değerleri arasındaki oran olarak hesaplanan rezerv faktörüdür [100].

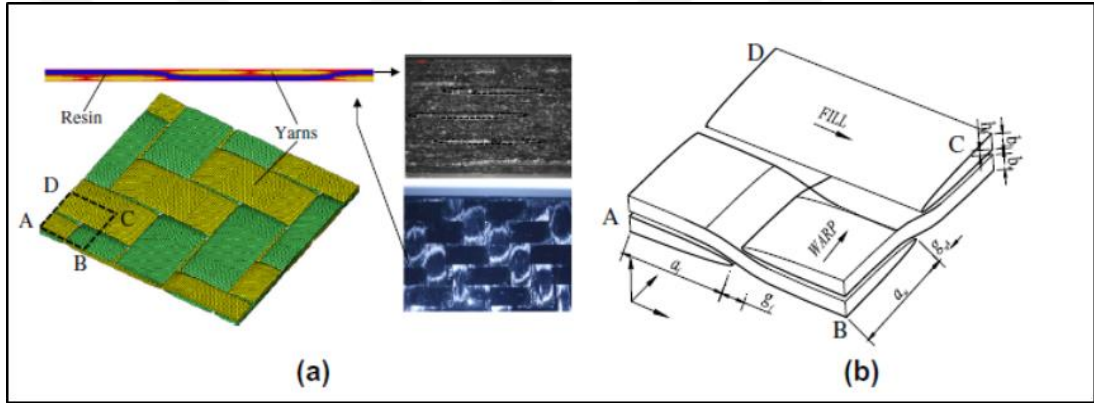
Tablo 1.8. Tasarlanan kompozit panel için kritik katın sayısal sonuçları [100]

İD	Yükleme	Hill Maksimum Endeksleri	Maksimum Kesme Değeri [MPa]	Maksimum Yer Değiştirme [mm]	RF Kesme Gerilmesi	RF Max Ana Gerilme	RF Min Temel Gerilme
1	Atalet Yüğü	2,69E-03	0,65	0,46	167,93	330,90	312,04
1A	Yanal Rüzgâr	9,42E-02	22,60	16,20	4,85	9,61	8,82

Araştırmada sonuç olarak termoplastik panelin son konfigürasyonu, geleneksel alüminyum panele kıyasla %50'den fazla mükemmel ağırlık tasarrufu sergilemiştir [100].

Bartus ve Vaidya [101]'nin araştırmasında uzun fiber (cam) takviyeli termoplastikler (UFT'ler), otomotiv uygulamalarında ön uçlar, tampon kirişleri, gösterge panelleri ve gövde altı kalkanları için giderek daha fazla kullanılmakta olduğu belirtilmiştir. Otobüsler, kamyonlar ve demiryolu araçlarında toplu taşıma uygulamaları için önemli bir potansiyele sahiptirler. UFT'ler, başlangıç elyaf uzunlukları > 12 mm olan uzun cam (veya karbon, aramid, vb.) elyaflarla takviye edilmiş polipropilen (PP) veya poliamid (PAI) gibi bir termoplastik matris ile bir pultrüzyon işleme yöntemiyle işlenir. UFT bileşenleri tipik olarak ekstrüzyon-sıkıştırılmalı kalıplama kullanılarak üretilir. Mevcut çalışmada, halihazırda kullanılan tasarımlara göre UFT teknolojisinin ağırlığı ve maliyeti düşürmek için uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Proses modellemesi için UFT'ler için Cadpress-Termoplastik (EXPRESS) sıkıştırma kalıplama yazılımı kullanılmıştır. E-cam/PP UFT'nin sıkıştırılarak kalıplanması sırasında akış simülasyonu yapılmıştır. Akış simülasyonundan sonra fiber oryantasyonu ve dağılımı sonucunda geliştirilen mekanik özellikleri doğrulamak için sonlu eleman gerilme analizi yapılmıştır. UFT koltuğu çevresel, uzunlamasına ve alt taraf boyunca entegre takviye / güçlendirmeye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. UFT koltuk tasarımı, çelik çerçeve versiyonuna göre parça başına %43 ağırlık ve %18 toplam üretim maliyeti tasarrufu sağlamıştır. Sonuçlar, sıkıştırılmalı kalıplama sırasında parçada geliştirilen akış ön ilerlemesi ve elyaf oryantasyonunun mükemmel bir niteliksel doğrulamasını göstermektedir. Ekstrüzyonla sıkıştırılmalı kalıplama işlemi, yüksek kaliteli yüzey kaplaması ile optimum bileşenleri elde etmek için uygun işleme koşulları ve elyaf yönlendirme durumları oluşturmak için kontrol ve optimize edilebilir [101].

Liu ve diğ. [102]'nin çalışması elektrikli aracın gövde yapısının çarpmaya dayanıklılık analizine uygulanacak karbon dimi dokuma kumaş kompozitin üç boyutlu elastik modelini tahmin etmek için çok ölçekli bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamaktadır. Geometrik parametreler, T300 karbon dimi dokuma kumaş kompozitinin mikroyapısının optik mikroskopi ile ölçülmesiyle elde edilmiştir. Homojenizasyon tekniği kullanılarak malzemelerin elastik özelliklerini karakterize etmek için laminat kompozitteki temsili hacim elemanının (RVE) sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 1.38). Özelliğin sayısal sonuçları, tek eksenli çekme ve üç noktalı eğme testlerinden elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Son olarak, bu tür bir kompozitin kurucu modeli, elektrikli araç gövde yapısı için tavan çarpışması ve yan direk çarpışması altında çarpışmaya dayanıklılık analizinde kullanılmıştır [102].

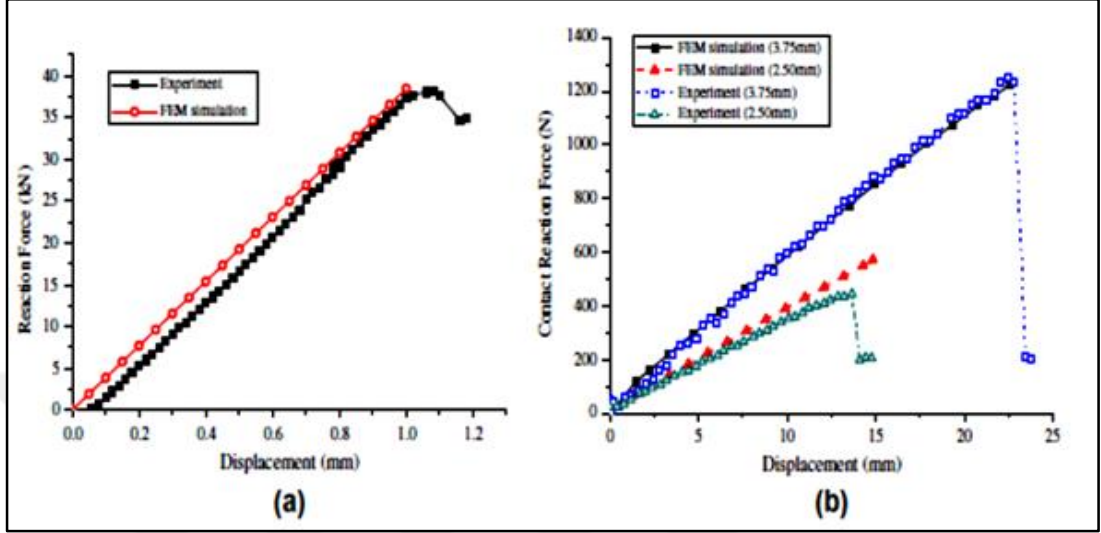


Şekil 1.38. Kompozit modeli: (a) mikroyapısal temsili hacim ögesi (RVE) ve (b) mimarinin parametreleri [102]

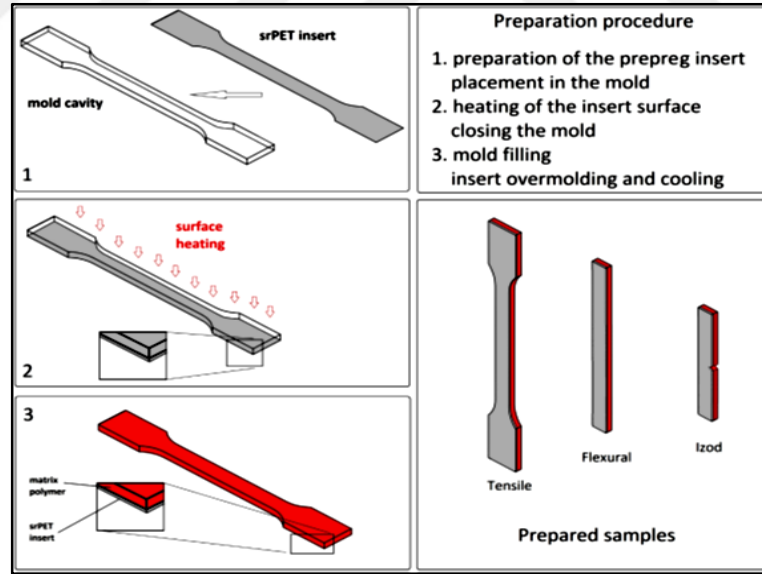
Çalışma, laminatın elastik özellikleri kullanılarak hesaplanan deformasyon davranışlarının, sırasıyla %4,04 ve %7,79 maksimum bağıl hata ile çekme ve eğilme deney sonuçları ile iyi bir uyum içinde olduğunu göstermektedir (Şekil 1.39). Cam elyaf takviyeli plastikten (GFRP) yapılan bir önceki modele kıyasla karbon dimi dokuma kumaş kompoziti kullanılarak araç gövde ağırlığında %28'lik bir azalma elde edilmiştir [102].

Andrzejewski ve diğ. [103]'nin çalışmasında, standart üzerine enjeksiyon prosedürü sırasında aşırı enjeksiyon için uygun, kendinden takviyeli uçlar kullanma konseptini ortaya koymaktadır. Kendinden takviyeli poli (etilen tereftalat) tabakalardan (srPET) yapılan takviye ekleri, matris polimeri tarafından üzerine enjeksiyonlanmıştır. Matris malzemesi olarak PET (saf şişe sınıfı reçine) ve G-PET (amorft PET bazlı kopolimer)

olmak üzere iki tip poli (etilen tereftalat) kullanılmıştır. Üzerine enjeksiyon işleminin farklı koşulları altında hazırlanan numuneler, mekanik özellikler, DMA ve DSC analizi açısından test edilmiştir.



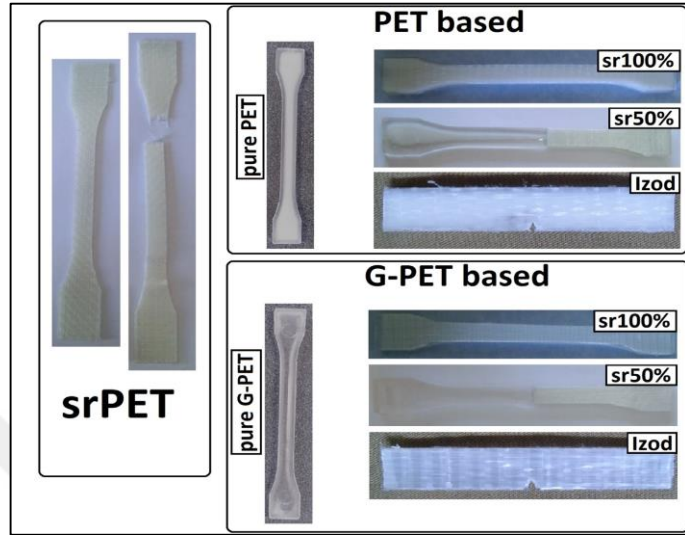
Şekil 1.39. Deneysel ve sayısal testler arasında kuvvet-yer değiştirme eğrisi karşılaştırması: (a) tek eksenli çekme testi ve (b) üç noktalı eğme testi [102]



Şekil 1.40. Hazırlama yönteminin şeması [103]

Mekanik testlerin sonuçları, gerilme mukavemetindeki ve E modülündeki artışın sırasıyla %60 ve %32'ye ulaştığı G-PET numuneleri için daha uygun olan farklı kırılma davranışını doğrulamıştır. En önemli artış darbe direnci değerlerinde gözlenmiştir. Her iki tip polyeester için darbe dayanımı 5 kJ/m^2 'nin altındaki başlangıç değerinden 50 kJ/m^2 'ye ulaşmıştır. Matris-takviye arayüzünün

morfolojisini araştırmak için SEM mikroskobu kullanılmıştır. Bağlama arayüzünün gözlemleri, delaminasyon sürecinin eksikliğini ve matris malzemeleri ile güçlendirici srPET eki arasında yüksek düzeyde yapışma olduğunu göstermektedir [103].



şekil 1.41. Üstüne enjeksiyon aşamasından sonra hazırlanan PET ve G-PET numunelerinin görünümü [103]

Tablo 1.9. Çekme, eğilme ve darbe direnci ölçümlerinden mekanik özelliklerin karşılaştırılması [103]

Örnek	Çekme modülü (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopmada uzama (%)	Eğilme Modülü* (MPa)	Eğilme dayanımı (MPa)	Darbe dayanımı (kJ / m ²)
Bileşenler						
srPET	4664(±257)	161 (±8)	18.8(±0.6)	4660(±23)	149.2(±6.1)	77.8(±11.3)
PET	2621 (±64)	60.4(±0.3)	320 (±27)	3014 (±4)	94.6 (±0.4)	2.7 (±0.4)
G-PET	2156 (±26)	50.9 ±0.2)	350 (±40)	2385 (±6)	82.8 (±0.7)	4.4 (±0.4)
Tamamen kalıplanmış numuneler						
PET(sr100%)	3606 ±131)	51.1(±1.5)	17.2(±0.5)	4224 (±6) paralel*	123.3(±8.5) 99.8 (±1.5)	45.9 (±6.0)
				3360(±21) dikey		
G-PET sr100%	2858(±123)	81 (±7)	15.2(±3.5)	3705(±28)	119.5(±0.4) 87.3 (±1.2)	47.1(±10.4)
				Paralel		
				2830(±34)		
				Dikey		
Kısmen üst kalıplanmış numuneler						
PET(sr50%)	2900 (±29)	43.5(±1.4)	2.8 (±0.1)	-	-	-
G-PETsr50%	2589 (±56)	37.4(±2.4)	2.6 (±0.2)	-	-	-

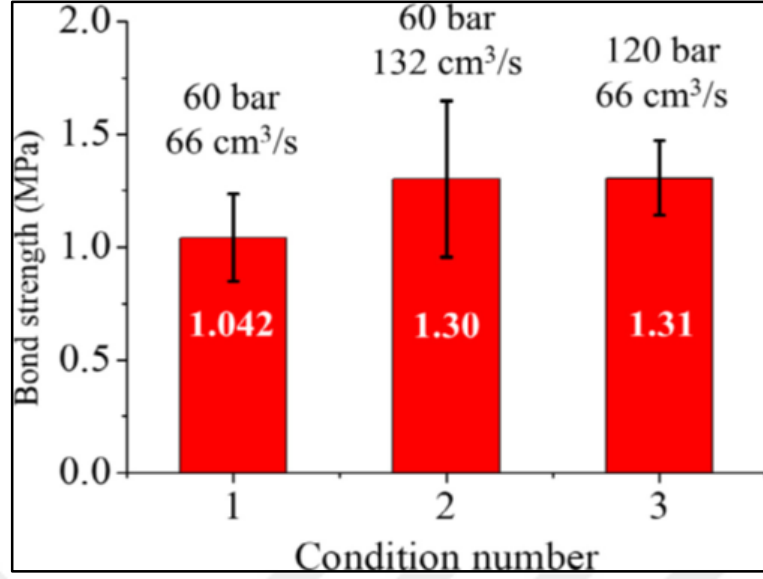
Eğilme özellikleri, takviye eklentisinin iki farklı yönünde ölçülmüştür.

Çalışmada sonuçlar, kendiliğinden güçlendirilmiş kompozitlerin hazırlanması için üzerine enjeksiyon teknolojisinin kullanılmasıyla ilgili önerilen konseptin endüstriyel uygulama potansiyeline sahip olduğunu doğrulamaktadır [103].

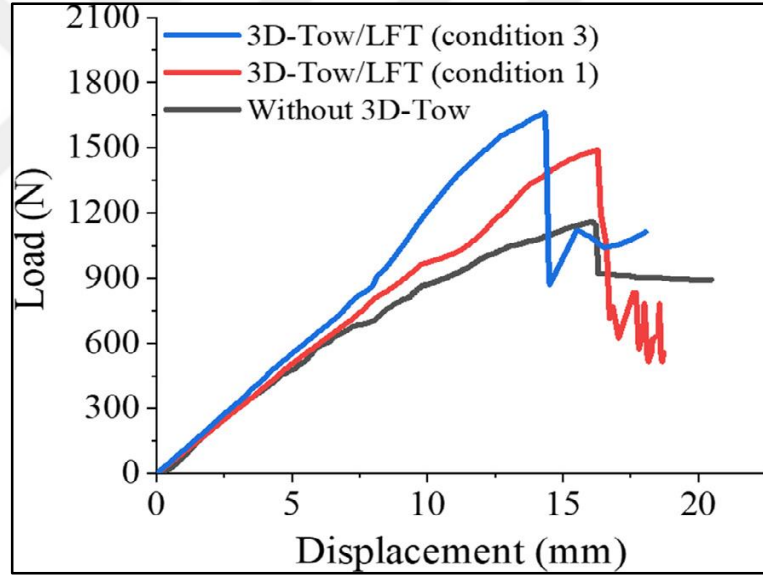
Joo ve diğ.[104]'nin çalışmasında sürekli bir cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit çubuğun (3D-Tow) / üzerine enjeksiyonlanmış uzun kesilmiş cam elyaf takviyeli termoplastik (LFT) kompozitin bağlanma davranışının deneysel ve sonlu eleman analizini (FEA) sunmaktadır. Kompozitin 3D-Tow ve LFT arasındaki arayüzey bağ gücünü elde etmek için, işlem parametrelerine göre bağ özelliği değişikliklerini araştırmak için LFT malzemesinin üzerine enjeksiyon koşullarına göre çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.42, üzerine enjeksiyon durumuna göre çekme testi sonuçlarını gösterir. Koşul (1) (düşük enjeksiyon akış hızı ve enjeksiyon kalıplama basıncı), tüm durumlar arasında en düşük bağlanma mukavemetini (1,04 MPa) göstermiştir. Bu arada, yüksek enjeksiyon akış hızı durumu (koşul (2)), 1,30 MPa'lık gelişmiş bağlanma mukavemeti göstermiştir. Bu sonuçlar, arayüzde difüzyonu artıran hızlı enjeksiyon akış hızı sayesinde 3DTow'da nispeten yüksek LFT malzemesine ulaşılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek enjeksiyonlu kalıplama basıncı durumu (koşul (3)) ayrıca, artan kalma süresi (15 s) ile yüksek ikamet basıncı (100 bar) nedeniyle gelişmiş bir bağlanma mukavemeti göstermiştir. Bu nedenle, bu durum, 3D-Tow / LFT arayüzünde (1,31 MPa bağ gücü) gelişmiş difüzyon nedeniyle düşük standart sapma ile en yüksek bağlanma gücünü ortaya koymuştur [104].

Ayrıca sonuçlar, maksimum yükün, hafif bir ağırlık artışıyla (356,4 gr'dan 385,4 gr'a) yaklaşık %44'lük bir iyileşme (FEA sonucu) olan, 1150'den 1661 N'ye 3D-Tow (Koşul (3)) eklenmesiyle önemli ölçüde arttığını göstermiştir (Şekil 1.43). 3D-Tow takılı durumlar arasında, maksimum yük, 3D-Tow / LFT arayüzünün bağlanma mukavemeti ile orantılıdır. 3D-Tow / LFT arayüzünün bağlanma özelliği, statik yükleme altında mekanik performans için önemli bir faktördür [104].

Araştırmada elde edilen bağ özellikleri, 3D-Tow / LFT kompozitinden yapılmış bir prototip ön tampon montaj bileşeninin mekanik davranışını doğru bir şekilde tahmin eden yapısal bir simülasyona uygulanmıştır [104].



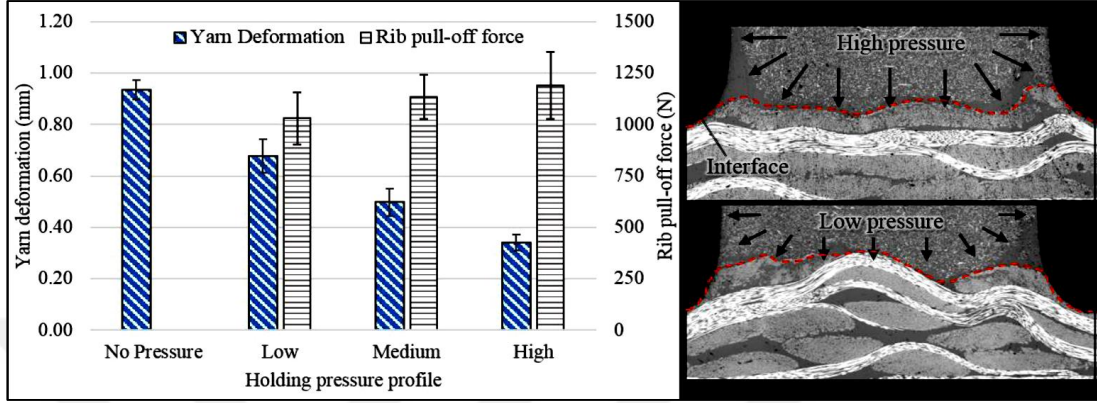
Şekil 1.42. Üstüne enjeksiyon durumuna göre 3D-Tow /LFT arayüzünün gücü [104]



Şekil 1.43. Ön tampon montaj bileşeninin statik üç noktalı eğilme testi sonucu [104]

Valverde ve diğ. [105]'in araştırmasında Polifenilen Sülfür (CF -PPS) üzerine enjeksiyon ile üretilen nervürlü plakalada işleme parametrelerinin, özellikle organ levha ön ısıtma sıcaklığı, tutma basıncı ve kenetleme kuvvetinin, karbon fiberde iplik deformasyonu, elyaf oryantasyonu, boşluk içeriği ve organ levha matris yer değiştirmesi üzerindeki etkilerini anlamayı amaçlamaktadır. Nervürlerin dokuma kumaş organo-tabakasına bağlanması, özel olarak tasarlanmış bir kelepçeleme tertibatı kullanılarak rib çekme testleri ile değerlendirilir. Tutma basıncı profili ve

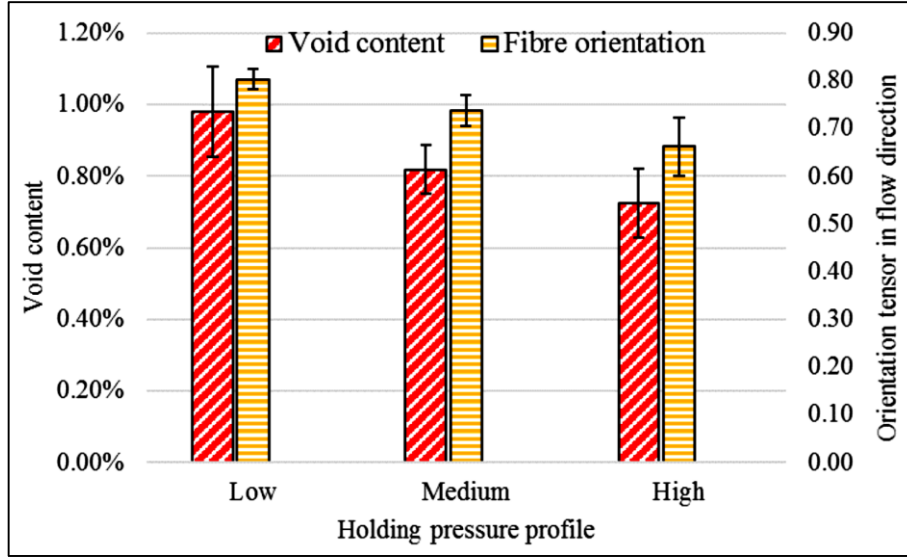
sıkıştırma kuvveti, ağırlıklı olarak iplik deformasyonunu etkilerken, ön ısıtma sıcaklığı, üst kalıplanmış nervürler ve organo yaprak levha arasındaki bağlanmayı etkiler. Şekil 1.44, tutma basıncı profilinin alçaktan yüksek ayara yükseltilmesinin iplik deformasyonunu %50 azalttığını göstermektedir.



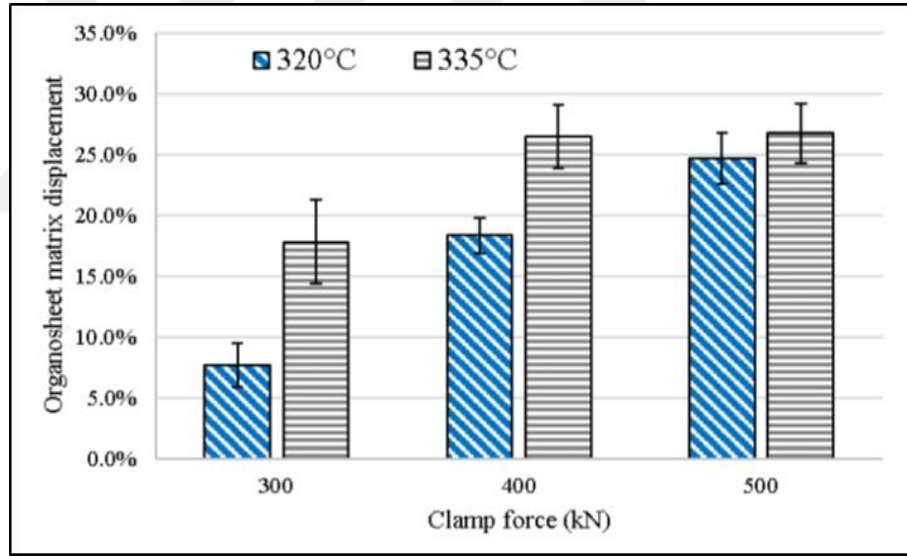
Şekil 1.44. (a) 370°C ön ısıtma sıcaklığı ve 400 kN bağ kuvveti ayarları için farklı tutma basıncı profillerinde iplik deformasyonu ve nervür çekme kuvveti. Hata çubukları standart sapmaları gösterir. (b) Yüksek (üst) ve düşük (alt) tutma basıncı ayarlarında nervür

Enjeksiyon aşamasından önce kalıp baskı levhalarının kapatılmasının ardından, organosheet yüzeyi kenetleme levhası yüzeyi ile doğrudan temas eden alanlarda hemen donmaya başlarken, boşluğa maruz kalan bölgeler çok daha yavaş bir soğutma hızı görür ve erimiş halde kalır. Bu, ipliklerin, Şekil 1.44b'de görülebileceği gibi, üst kalıplanmış malzeme tutma basıncı yoluyla bunları birleştirene kadar nervür boşluklarına çıkıntı yapmasına neden olur ve iplikleri kısmen orijinal durumlarına geri zorlar. Preslenmiş numunelerde 0,93 mm'lik bir iplik deformasyonu (Şekil 1.44'teki ilk çubuk) ölçülür ve tutma basıncının olmaması nedeniyle mümkün olan maksimum deformasyonu temsil eder [105].

Preslenmiş plakalarda ölçülen iplik deformasyonu, ısıtma sıcaklığı 350°C'den 370°C'ye yükseldikçe %29 artmaktadır. 400kN'den 500kN'ye artan bir sıkıştırma kuvveti, iplik deformasyonunun 0,50 mm'den 0,76 mm'ye yükselmesine neden olur. Preslenmiş plakaların görüntü analizi, Şekil 1.45'de gösterildiği gibi ön ısıtma sıcaklığı ve kenetleme kuvveti açısından matris yer değiştirmesinin ölçülmesine izin verir. Sonuçlar, daha yüksek sıcaklıklarda ve kenetleme kuvvetlerinde, daha fazla matris malzemesinin organ tabakasından ve yüzeyine zorlandığını göstermektedir [105].



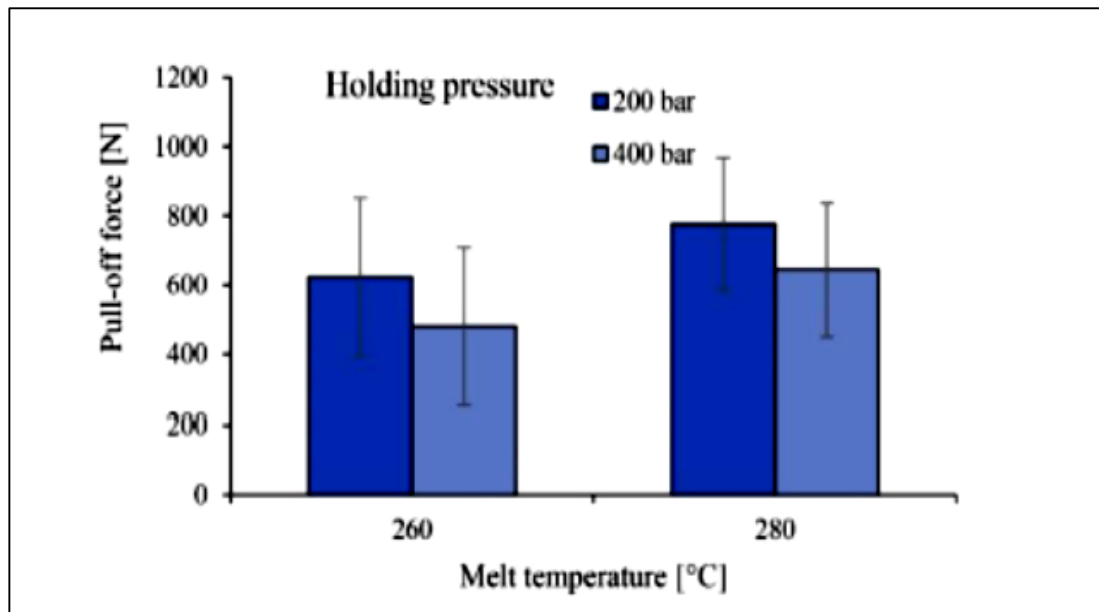
Şekil 1.45. Değişken tutma basıncı profillerinde boşluk içeriği ve ortalama lif yönü. 370°C ön ısıtma sıcaklığı ve 400 kN bağ kuvveti. Hata çubukları standart sapmayı gösterir [105]



Şekil 1.46. Organo levha matrisinin farklı ön ısıtma sıcaklıklarında ve kelepçe kuvvetlerinde yüzeye yer değiştirmesi. Hata çubukları standart sapmayı gösterir [105]

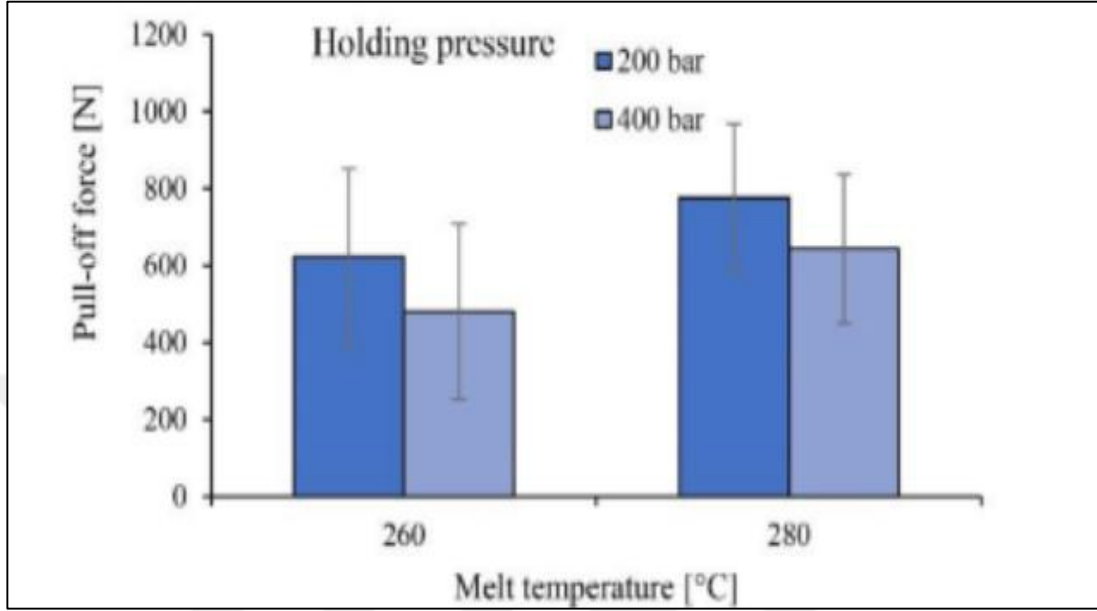
Kırılma davranışı, farklı işlem koşullarında üretilen bileşenler arasında değişir. Arayüzey baskın kırılma davranışı sergileyen daha büyük bir numune yüzdesi (düşük tutma basınçlarında imal edilmiştir) vardır. Bununla birlikte, yüksek tutma basınçlarında imal edilen nervürlü plakalardan test edilen numuneler, daha büyük bir yüzde nervür baskın kırılma modelleri göstermiştir. İşleme koşullarının arıza modu üzerindeki etkisini nicelleştirmek için kırılma yüzeyleri üzerinde daha fazla analiz yapılması gerekecektir [105].

Boros ve diğ. [106]'nin araştırmasında polimerizasyon ile üretilen, üstüne enjeksiyon nervürlerle güçlendirilmiş ürünler araştırılmıştır. Araştırmada preform in situ polimerizasyonla üretilen magnezyum katalizörlü bir malzeme, Brüggemann AP-NYLON bazlı yerinde polimerizasyon malzemesi ve enjeksiyonla kalıplanmış bir PA6 (Durethan B30S, Lanxess GmbH) malzemesi şeklinde üç farklı malzeme kullanılmıştır. Nervürlü tabakalar aynı PA6 malzemesinden (Durethan B30S, Lanxess GmbH) oluşturulmuştur. Farklı teknolojik parametrelerin, üstüne enjeksiyon nervürlerin çekilmesi yoluyla etkisi incelenmiştir. Erime sıcaklığının, tutma basıncının ve bekletme süresinin ve kalıp sıcaklığının etkisi ölçülmüştür. Üstün enjeksiyon için en önemli parametreler, plakayı ve nervürü bir arada tutan basınç (doldurma basıncı da, ancak esas olarak tutma basıncı), basıncın süresi (tutma süresi) ve ayrıca erime sıcaklığı ve plakanın ön ısıtma sıcaklığıdır. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi ölçümlerine (ISO 11357-3: 2018) dayalı olarak, farklı PA6 türlerinin erime sıcaklıkları 218–223 C'dir. Bu nedenle ön plakanın yüzey sıcaklığı, kaynak etkisine sahip olmak için erime sıcaklığına ulaşmalıdır. Üstüne enjeksiyon için önerilen eriyik sıcaklığı aralığı 260°C ila 280°C arasında değişmektedir. Bu nedenle iki sınır test edilmiştir. Önerilen kalıp sıcaklığı aralığı 80°C ile 100°C arasında değişmektedir. Ancak prototip kalıbın kalıp sıcaklığı tam olarak kontrol edilememektedir. Bu nedenle üç farklı (düşük kalıp sıcaklığı yaklaşık 30°C, orta sıcaklık 50°C, yüksek sıcaklık ise 70°C) kalıp sıcaklığı kullanılmıştır [106].



Şekil 1.47. Düşük ve yüksek erime sıcaklığı ile çekme kuvveti [106]

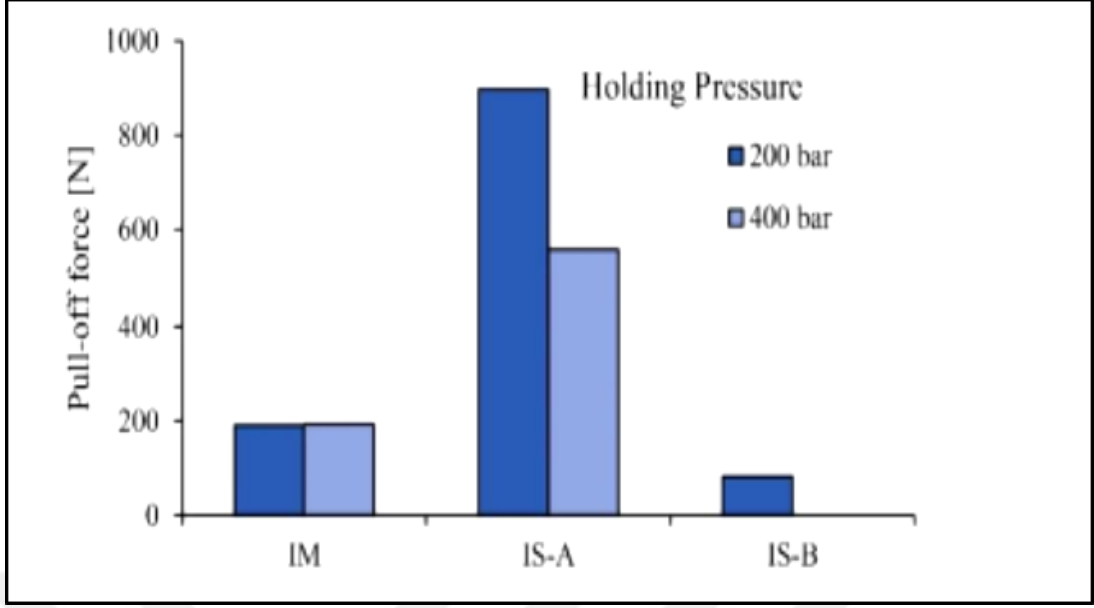
Tutma basıncı, iki test serisi için 200 bar ve 400 bar ve tutma süresi ise 15 saniyeye ayarlanmıştır. Beklenenin aksine, artan tutma basıncı ve tutma süresi, plaka ile nervür arasındaki yapışma mukavemetini düşürmüştür (Şekil 1.48) [106].



Şekil 1.48. Tutma süresinin bir fonksiyonu olarak çekme kuvveti [106]

Bu sonuçlara dayanarak, malzemelerin karşılaştırılması için yüksek erime sıcaklığı ve kısa tutma süreli düşük tutma basıncı kullanılmıştır. En iyi sonuçlar yerinde polimerizasyon bazlı plakalarla elde edilirken, diğer ikisi büyük ölçüde daha düşük sonuçlar göstermiştir (Şekil 1.47). 200°C’de plakaların monomer içeriğini ölçmek için termogravimetrik analiz (TGA, Q500, TA Instruments, New Castle, DE, ABD) sonucunda en düşük monomer içeriği, ticari olarak temin edilebilen in situ polimerizasyon (%1,34) plakasında bulunmuştur olan. Monomer içeriği üstüne enjeksiyon yapılmış malzemede %1,49 ve polimerizasyon malzemesinde %1,82 olarak tespit edilmiştir [106].

Şekil 1.47’da görülebileceği gibi, IS-B malzemesinin mekanik özellikleri son derece zayıftır. Bu durum, TGA sonuçlarına göre erime sıcaklığı üzerinden malzemenin bozunmasının (depolimerizasyonunun) bir sonucudur. İki tüketici malzemesinin (IS-A, IM) aksine üretilen malzemede stabilizatör bulunmadığından erime sıcaklığında önemli bir bozulma meydana gelmiştir. Araştırmada termogravimetrik analiz (TGA) ile ölçülen malzemelerin sıcaklığa bağlı kütle kaybına göre monomer göçü ve bağlanma mukavemetinin ilişkili olduğu belirtilmiştir [106].



Şekil 1.49. Üç farklı plaka için çekme kuvveti (IM: enjeksiyonla kalıplanmış plakalar; IS-A:magnezyum katalizör bazlı yerinde polimerizasyon plakaları; IS-B: Brüggemann AP-NYLON bazlı yerinde polimerizasyon plakaları) [106]

Literatür çalışmaları incelenmiş ve üzerinde emniyet kemeri olan M3 sınıfı bir araca ait sürücü koltuğuna özel gerekli regülasyon (ECE-R14, ECE-R17) testlerinden başarı ile geçen bir ürüne rastlanmamıştır. Bu çalışma ile M3 sınıfı bir araca ait sürücü koltuğu arkalığının kompozit parça tasarımları bilgisayar destekli tasarım programlarında modellenerek, bilgisayar destekli sayısal analiz programlarında analizleri (ECE-R14, ECE-R17) tamamlanacaktır. Gerekli isterleri sağlayan tasarım üzerine enjeksiyon (over-molding) yöntemi ile üretilerek fiziksel testleri yapılacaktır.

2.MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzemelerin Tanımı

Bu çalışmada, termoplastik kompozit prepreg malzeme olarak; Kordsa firmasında geliştirilen sürekli cam elyaf katkılı dokuma ve PP (Polipropilen) matrisli termoplastik prepreg (OM10) kullanılmıştır. Termoplastik prepreg malzemesine ait teknik özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. OM10 kodlu prepreg malzemesine ait teknik özellikler [107]

Polimer Tipi	Yüksek Kristalli Polipropilen (PP)
Fiber Tipi	PP Uyumlu 1200 tex fitil camı
Fiber Hacmi	%45
Özgül Ağırlık	1,6 g/cm ³
Kumaş Alan Ağırlığı	600 gsm
Kumaş Tipi	Twill 2/2 Dengeli
Erime Sıcaklığı	167°C
Camsı Geçiş Sıcaklığı	-7°C
İşleme Sıcaklığı	195-215°C
Gerilme Direnci (ISO 527-4)	385 MPa
Gerilme Modülü (ISO 527-4)	18,5 GPa
Kalınlık	3mm

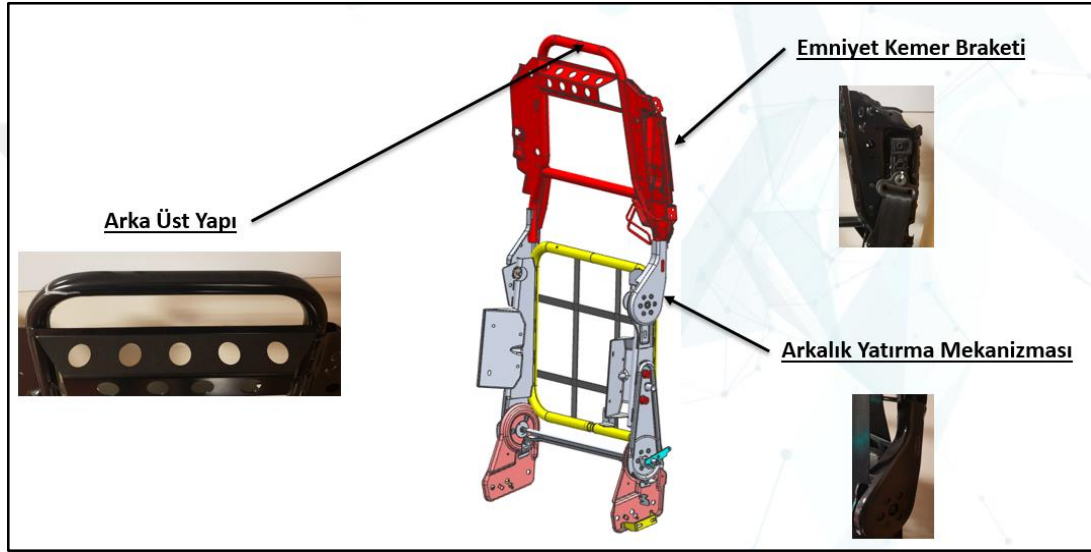
Plastik enjeksiyon prosesi sırasında, hammadde olarak %40 hacimce uzun cam elyaf oranına sahip Polipropilen (PP) malzeme (Poytron P40B001) kullanılmıştır. İlgili hammaddenin teknik özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Polytron P40B01 malzemesine ait teknik özellikler [108]

Özgül Ağırlık	1,22 g/cm ³
Eğilme Modülü (ISO 178)	9000 MPa
Eğilme Mukavemeti (ISO 178)	190 MPa
Gerilim Modülü (ISO 527-2/1A)	10000 MPa
Gerilme Direnci (ISO 527-2/1A)	125 MPa
Çentikli Charpy Etkisi @-40°C Edgewise (ISO 179-1/1eA)	18 kJ/m ²
Keskin Kenarlı Çentikli Charpy Etkisi (ISO 179-1/1eA)	20 kJ/m ²
Çentiksiz Charpy Etkisi @-40°C Edgewise (ISO 179-1/1eA)	45 kJ/m ²
Keskin Kenarlı Çentiksiz Charpy Etkisi (ISO 179-1/1eA)	55 kJ/m ²

2.2. Üretim Süreci

Bu çalışma kapsamında Şekil 2.1’de gösterilen M3 sınıfı sürücü koltuğu arkalığının metal aksamları bilgisayar destekli tasarım programları ile tasarlanmış ve ilgili regülasyon analizleri önce bilgisayar destekli sayısal analiz programları ile analiz edilmiş daha sonra, üzerine enjeksiyon (over-molding) yöntemi ile PP (Propilen) matrisli prepreg üzerine PP GF40 hammadesi enjekte edilerek üretilen koltuğa ilgili testler uygulanmıştır.



Şekil 2.1. Bu tez kapsamında kompozit tasarımı ve analizi gerçekleştirilecek sürücü koltuğu görseli

Bilgisayar ortamında yapılan tasarım ve analiz çalışmaları sonucunda nihai ürün datasına uygun kalıp üretimi Karel Firması tarafından yapılmıştır. Şekil 2.2’de üretimi gerçekleşen kalıp datası gösterilmektedir. Daha sonra üretilen kalıp içerisinde insert malzeme olarak kullanılacak polipropilen matrisli prepreg malzeme (OM10) lazerli kesim makinesi ile 3D Cad tasarımına uygun ölçüde kesilmiştir. Kalıplama prosesi öncesinde epoksi reçine esaslı (OM10) prepreg malzeme endüstriyel tip kızılötesi fırında 30 saniye süre ile 180°C’de yeniden ısıtılmıştır. Kızıl ötesi fırına ait görsel Şekil 2.3’de verilmiştir. OM10 prepreg malzeme içerisinde PP matris aktif hale getirildikten sonra malzeme over-molding kalıbına robotik kol ile yerleştirilmiştir. Daha sonra kalıp kapanarak prepreg malzeme üzerine PP GF40 (P40B001) malzemesi 15-30 saniye arasında enjekte edilmiştir. Enjeksiyon işlem parametreleri Tablo 2.3’de ve proses ile ilgili görseller ise sırasıyla Şekil 2.4 ve 2.5’de verilmiştir.



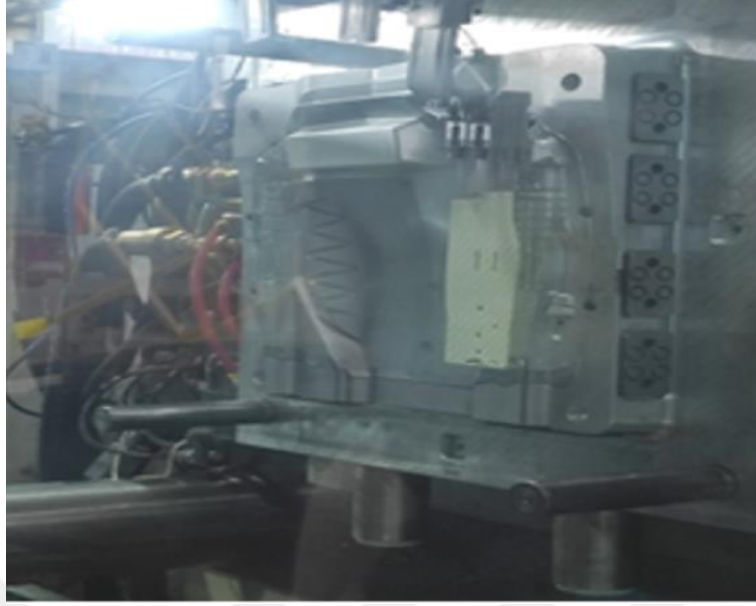
Şekil 2.2. Ürün kalıp datasına ait görseller

Tablo 2.3. Over-Molding enjeksiyon işlem parametreleri

Insert Malzeme Cinsi	Epoxy Resin based (OM10) prepreg
Enjeksiyon Malzeme Cinsi	Polytron P40B001 PP GF40
Enjeksiyon Basıncı	1000 TON
Kalıp Sıcaklığı	60 °C
Enjeksiyon Hızı	50 mm/sn
Tutma Basıncı	80 bar
Tutma Süresi	7 sn



Şekil 2.3. Endüstriyel kızıl ötesi fırına ait görseller



Şekil 2.4. Over-Molding kalıbı içerisine robotik kol ile yerleştirilmiş prepreg görseli

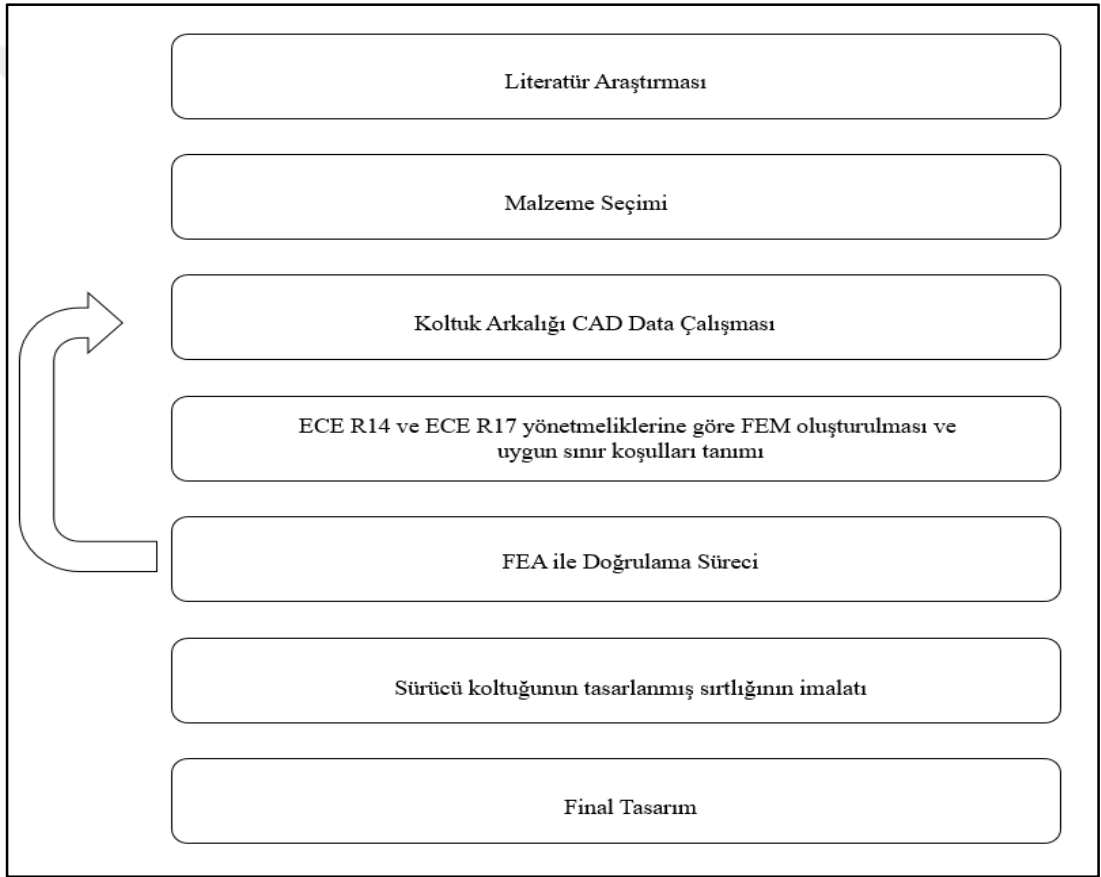


Şekil 2.5. Over-Molding prosesi sonrasında kalıptan alınmaya hazır parça görseli

2.3.Modelleme İşlemler ve Meshlemeler

Termoplastik kompozit prepres esaslı sürücü koltuğu tasarımı için CATIA V5 programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar (FEA) analizleri için ise Hypermesh programı kullanılmıştır. Referans metodoloji Şekil 2.6'da verilmiştir. Termoplastik kompozit prepreg malzemenin sanal analiz modelleme çalışmalarını gerçekleştirebilmek adına, ilgili malzemelerden ISO 527-4 standartlarına uygun

olarak kupon numuneler hazırlanmış ve bu kılpon numuneleri Instron 5982 statik çekme test cihazında 2 mm/dakika hızla çekilerek çekme test eğrileri oluşturulmuştur. Çekme testleri, malzeme veri tabanı oluşturmak ve simülasyonlar için gerekli malzeme verisini istenilen ölçekte elde edebilmek adına 0°/90° elyaf yönelmesine sahip test numuneleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri sonucunda elastisite modülü, maksimum çekme dayanımı ve poisson katsayısı verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler Hypermesh programında modellenmiş olup çözümler Radioss'ta eksplisit olarak çözdürülmüştür. Tüm test numunesi, boyu 5 mm olan Radioss QBAT shell formülasyonu baz alınarak modellenmiştir.



Şekil 2.6. Sürücü koltuğu sırtlığı tasarımı ve analizi için akış şeması

Kompozit koltuk arkalık parçası tasarım çalışmaları Catia V5 programı kullanılarak bilgisayar destekli ortamda 10 revizyon olarak (Rev1-Rev10) gerçekleştirilmiştir. Yapılan her tasarıma ECE-R14 ve ECE-R17 regülasyonu gerekliliğine göre; emniyet kemeri bağlantı noktaları, koltuk araç bağlantı noktaları yapısal bütünlüğünü korumalı, regülasyonda verilen maksimum deplasman miktarını aşmamalı ve koltuk üzerinde yaralanmaya sebep olabilecek herhangi bir keskin köşe oluşmamalıdır.

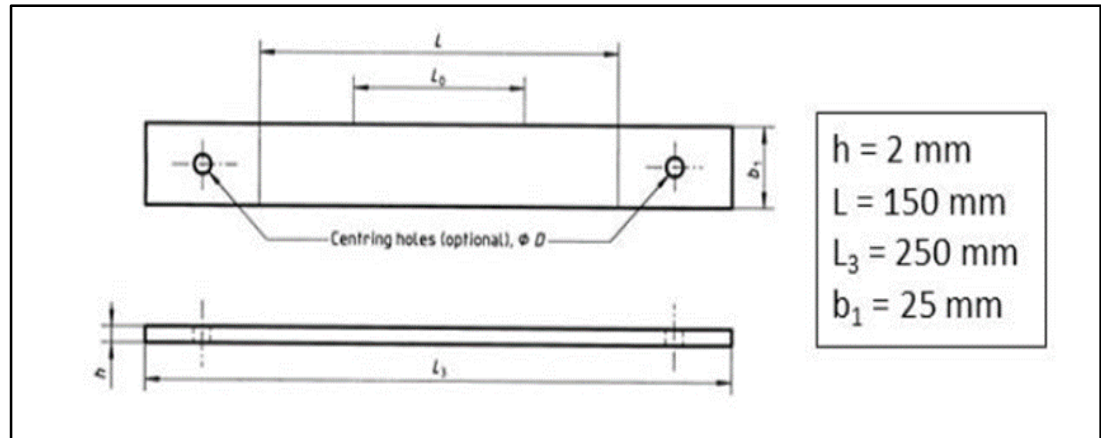
2.3.1. Yapılan Kupon Testleri ve Elde Edilen Veriler

Termoplastik prepreg malzemeye sanal analiz modelleme çalışması gerçekleştirmenin temel amacı; malzemeye uygulanan çekme testleri ile mekanik özellikleri belirlenen katmanlı cam elyaf katkılı $0^\circ/90^\circ$ elyaf (dokuma) yönlenmesine sahip PP matrisli kompozit numunenin sonlu elemanlar metodu ile simülasyonunun yapılması ve sanal analiz çalışmalarında bu modelin kullanılmasıdır. Bu doğrultuda ilgili kompozit malzemenin sanal analiz modelleme çalışmalarında kullanılan ve çekme testlerinden elde edilen malzeme verileri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Termoplastik prepreg malzeme çekme test sonuçları

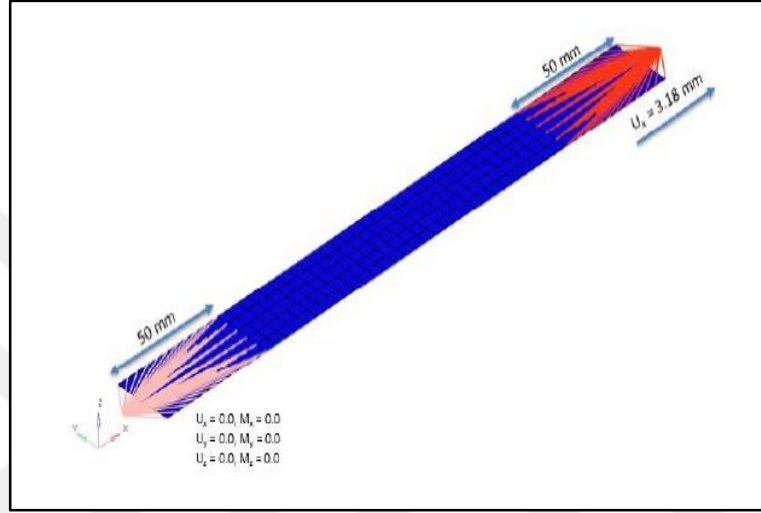
Çekme Testi – 0° (ISO 527-4)	Ultimate Çekme Dayanımı (MPa) – X_t	437,00
	Young Modülü (GPa) – E_1	20,90
	Major Poisson Oranı (ν_{12})	0,06
Çekme Testi – 90° (ISO 527-4)	Ultimate Çekme Dayanımı (MPa) – X_t	417,00
	Young Modülü (GPa) – E_1	19,90
	Major Poisson Oranı (ν_{12})	0,08

Kupon testleri ile malzeme veri tabanı oluşturulmuş olup, bu deneysel çalışmanın sonlu elemanlar yöntemi ile desteklenerek, kompozit malzeme için bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. İlgili parçanın üstten ve yandan görünüşleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir. H kompozit malzemenin kalınlığı (2 mm), L3 malzemenin toplam uzunluğu (250 mm), L çekme test cihazının sabitleme çenelerinin dışında kalan uzunluk toplam (150 mm), b1 kompozit malzemenin genişliği ise (25 mm)'dir.



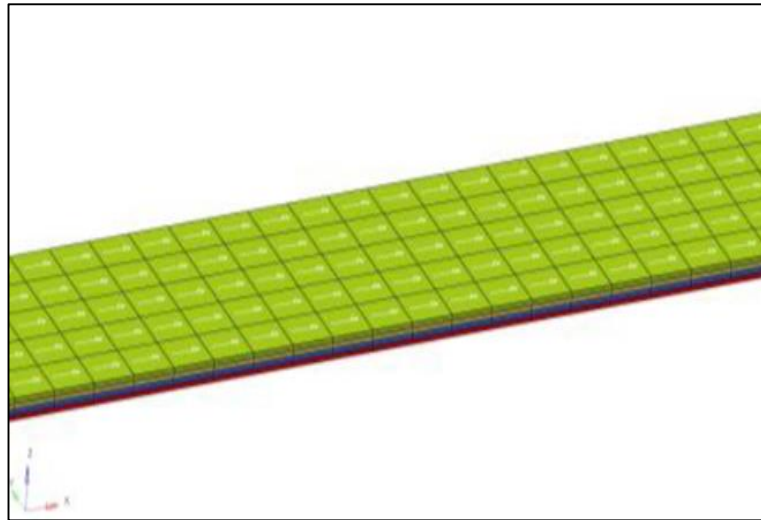
Şekil 2.7. Sonlu elemanlar modeli test numunesi

İlgili test numunesinin sonlu elemanlar modeli Şekil 2.8’de verilmiştir. Sonlu elemanlar modeli, çekme test sonuçlarını karşılaştırmak için test koşullarındaki gibi modellenmiş olup, modelde sabit çenenin bulunduğu bölgeye sabit mesnet ($U_x=0,0$, $U_z=0,0$, $U_y=0,0$, $M_x=0,0$, $M_z=0,0$, $M_y=0,0$) sınır koşulu tanımlanmıştır. Çekme yapan çenenin bulunduğu bölgeye ise çekme yönünde 3,18 mm deplasman uygulanmıştır.




Şekil 2.8. Sonlu elemanlar modeli

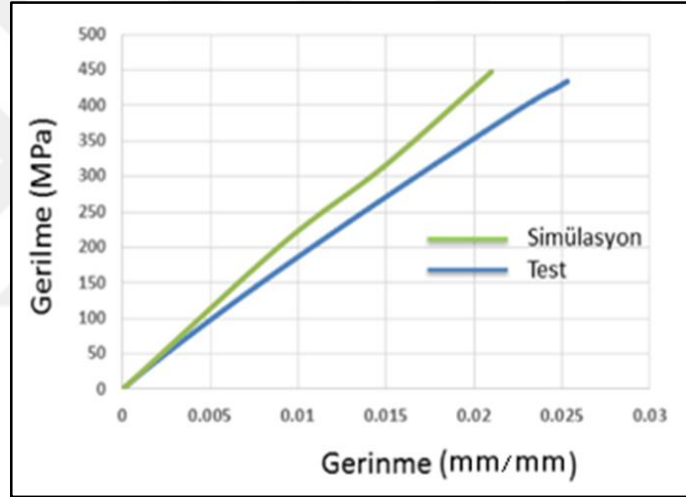
Sonlu elemanlar modeli 4 katmanlı kompozit model olarak hazırlanıp her bir katmandaki elyaf yönelme durumuda modele tanımlanmıştır. Şekil 2.9’da ilgili modelin bilgisayar görüntüsü, Şekil 2.10’da ise ilgili numune katmanları gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Test Çubuğu Sonlu Elemanlar Modeli

Ply lay-up: Laminate					
Total number of plies:	4	Ply	Material	Thickness T1	Orientation Degrees
Total thickness:	2.0				
	■	1	material1	0.5	0.0
	■	2	material1	0.5	0.0
	■	3	material1	0.5	0.0
	■	4	material1	0.5	0.0

Şekil 2.10. Test Çubuğu Katmanları



Şekil 2.11. Test ve simülasyon grafiği

Şekil 2.11’de görüldüğü üzere yapılan test ve simülasyon çalışmalarında benzer karakteristikte gerilme-gerinme grafikleri elde edilmiştir. Ek olarak da sonlu elemanlar modelinde, benzer gerinme değeri için çekme dayanım değerinin teste göre %15 kadar daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

2.4. Modellemenin Regülasyonlar ile Uyumu

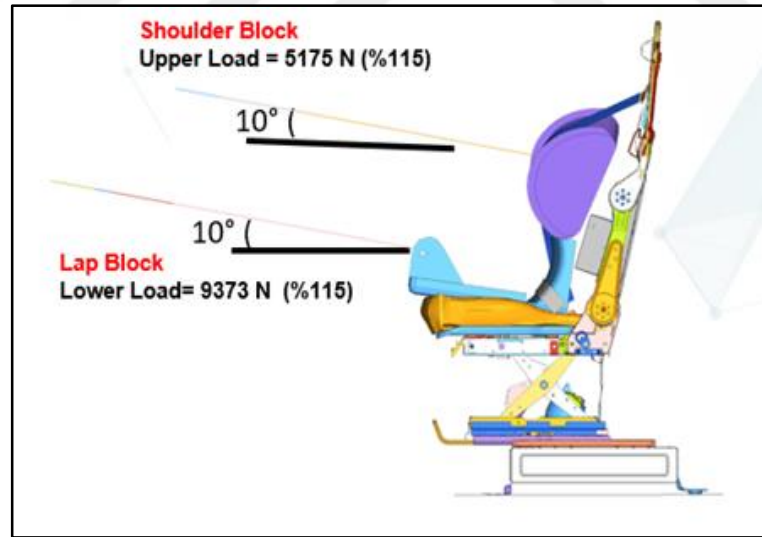
Bu çalışmada mevcut üretimi devam eden bir koltuk ürününe odaklanılmış ve mevcut koltuğun metal arkalık yapısının maruz kaldığı yükler ve ilgili şartnameleri karşılaması için gerekli yük dağılımının belirlenmesi amacı ile tanımlı güvenlik şartname analizleri yapılmıştır. Bu analizler sırası ile ECE-R14 Emniyet Kemer

Bağlantı Regülasyonu Analizi, ECE-R17 Arkalık Moment Analizi ve ECE-R17 Kafalık Enerji Analizidir.

ECE-R14 Emniyet Kemer Bağlantı Regülasyonu Analizi'nde amaç, ECE-R14 (emniyet kemeri sabitleme testi) regülasyon testi gerçekleştirildiğinde koltuğun nasıl davranacağını gözlemlemektir. ECE-R14 testine göre; koltuklar, emniyet kemerleri ve bütün sabitleme noktaları yeterince sağlam olmalıdır. Bu analiz sırasında;

ECE-R14 Emniyet Kemer Bağlantı Regülasyonu Analizi'nde amaç, ECE-R14 (emniyet kemeri sabitleme testi) regülasyon testi gerçekleştirildiğinde koltuğun nasıl davranacağını gözlemlemektir. ECE-R14 testine göre; koltuklar, emniyet kemerleri ve bütün sabitleme noktaları yeterince sağlam olmalıdır. Bu analiz sırasında Tablo 1.2'de belirtilen ilgili araca uygun olan yükler uygulanmıştır.

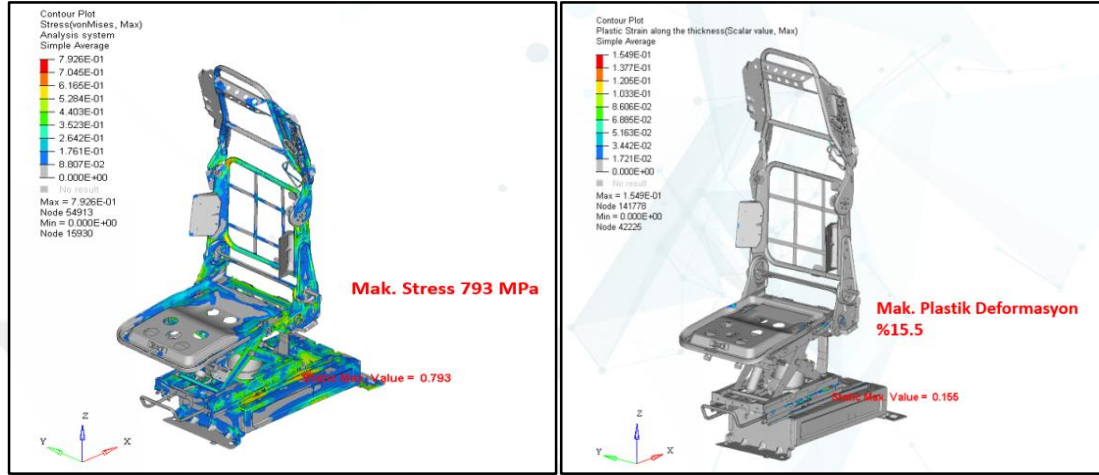
Analiz sırasında kuvvetler olabildiğince çabuk uygulanmalı ve sistem en az 0,2 saniye boyunca belirlenen kuvvete dayanmalıdır ve koltuk bütünlüğü (bağlantıların bütünlüğü) korunmalıdır. İlgili analiz sisteminin detayları Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. ECE-R14 emniyet kemer bağlantı regülasyon analizi kuvvet yükleme simülasyonu

Yapılan analizler sonucunda Şekil 2.13'den de görüleceği üzere ECE-R14 Emniyet kemer bağlantı regülasyonu çerçevesinde metal sırt iskelet sistemine gelen maksimum gerilme 793 MPa'dır. Bunun paralelinde ilgili yapıdaki maksimum plastik deformasyon da %15'dir.

ECE-R17 Arkalık Moment Analizi'nde amaç, ECE-R17 regülasyonuna uygun test koşullarının modellenerek koltuğun davranışının incelenmesidir. Bu doğrultuda koltuğun arkalığına ve kafalığına Şekil 2.14'de yer aldığı eksenlerde regülasyonda belirlenen kuvvetler uygulanır ve kafalık deplasmanı ölçülür.



Regülasyona göre, deplasman değer 102 mm'den düşük olmalı, yolcu veya sürücüye hayati risk oluşturacak keskin köşe olmamalı, koltuk bütünlüğü korunmalı ve koltuk üzerinde herhangi bir parçada kırılma olmamalıdır.

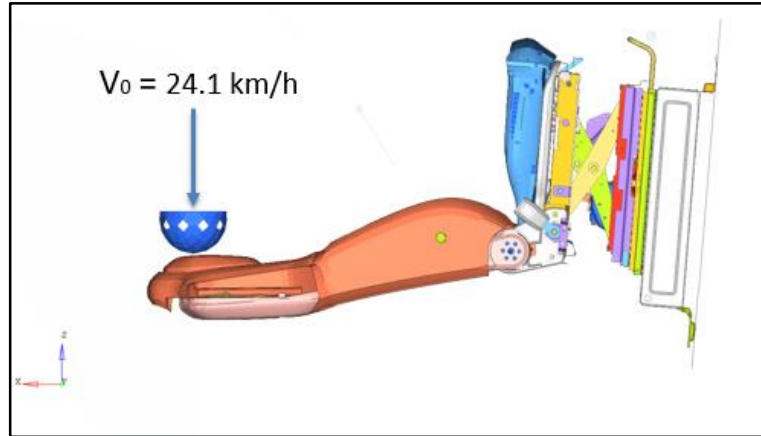
Yapılan analizler sonucunda Şekil 2.15’de görüleceği üzere ECE-R17 arkalık moment analizi regülasyonu çerçevesinde metal sırt iskelet sistemine gelen maksimum gerilme 586 MPa’dır. Bunun paralelinde ilgili yapıdaki maksimum plastik deformasyon da %0,9’dur.



Şekil 2.15. ECE-R17 arkalık moment regülasyonu analiz sonuçları

ECE-R17 Kafalık Enerji Analizi’nde amaç, ECE-R17 regülasyonuna uygun test koşullarının modellenerek koltuğun davranışının incelenmesidir.

Koltuğun kafalığına Şekil 2.16’da görüldüğü gibi 165 mm çapında ve 6,8 kg ağırlığında bir küre 24,1 km/s hızla çarptırılır ve ivmesi ölçülür.



Şekil 2.16. ECE-R17 kafalık enerji analizi kuvvet yükleme simülasyonu

Regülasyona göre, maksimum ivme değeri 3ms boyunca 80G’den düşük olmalı, yolu veya sürücüye hayati risk oluşturacak keskin köşe olmamalı, koltuk bütünlüğü korunmalı ve koltuk üzerinde herhangi bir parçada kırılma olmamalıdır.

Yapılan analizler sonucunda Şekil 2.17'den de görüleceği üzere ECE-R17 Kafalık enerji analizi regülasyonu çerçevesinde metal sırt iskelet sistemine gelen maksimum gerilme 713 MPa'dır. Bunun paralelinde ilgili yapıdaki maksimum plastik deformasyon da %0,9'dur.

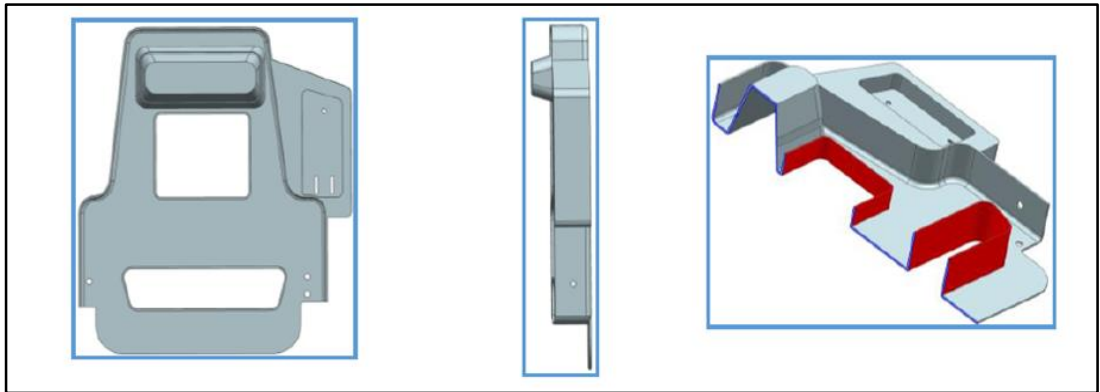


Şekil 2.17. ECE-R17 arkalık moment regülasyonu analiz sonuçları

3. TARTIŞMA

Yapılan tasarım çalışmalarında; 3200 gr olan metal koltuk iskeleti ağırlığını düşürmek ve metal koltuk iskeleti kaynak prosesi içeren montaj süresini plastik enjeksiyon üretim yöntemi ile azaltmak ana hedef olarak belirlenmiştir. Güncel durumda üretimi gerçekleştirilen metal koltuk iskeleti üretim süresi 50 dk olarak ölçülmüştür.

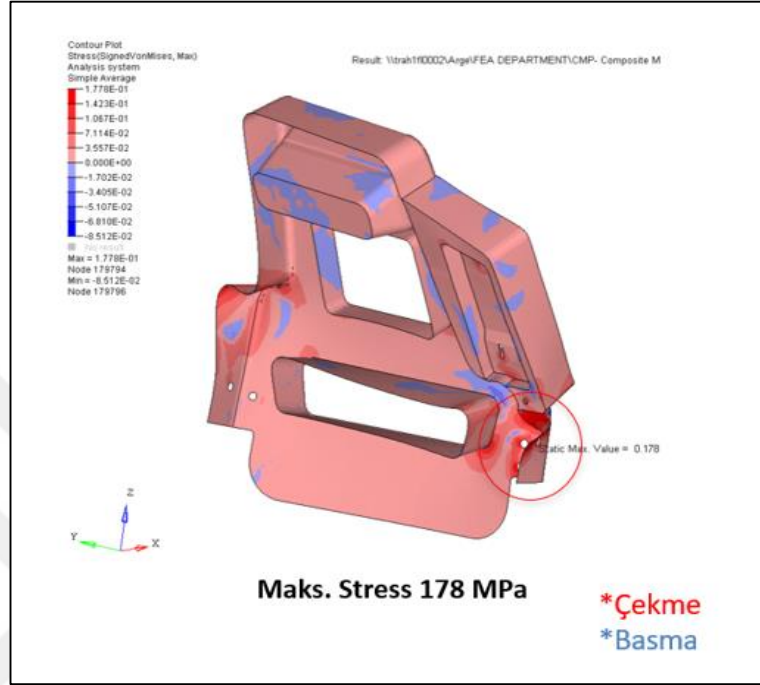
Tasarım çalışmalarında referans koltukta bulunan metal yapının incelenmesi ve yapılan araştırma çalışmalarına bağlı olarak gerçekleştirilen Rev1 tasarımı ile başlamıştır (Şekil 3.1). Bu tasarımda plastik koltuk sırtlığının davranışını gözlemleyebilmek sonraki adımlarda tasarım çalışmalarına yön verebilmek adına prepreg insert mataryeli eklenmemiştir ve metal koltuk iskeleti üzerine uygulanan yapısal testleri bilgisayar ortamında simüle edebilmek için taslak bir plastik gövde oluşturulmuştur ve oluşturulan gövde ECE-R14 regülasyon değerlerine göre Hypermesh programında modellenmiş ve Radioss'ta çözümlenmiştir. ECE-R14 regülasyonu ECE R-17'ye göre daha zor bir regülasyon olduğundan ilgili modellerde ECE-R14 regülasyon isterlerini karşılamayan revizyon modeline ECE-R17 regülasyon değerleri uygulanmamıştır.



Şekil 3.1. Kompozit koltuk arkalı Rev1 tasarım görseli

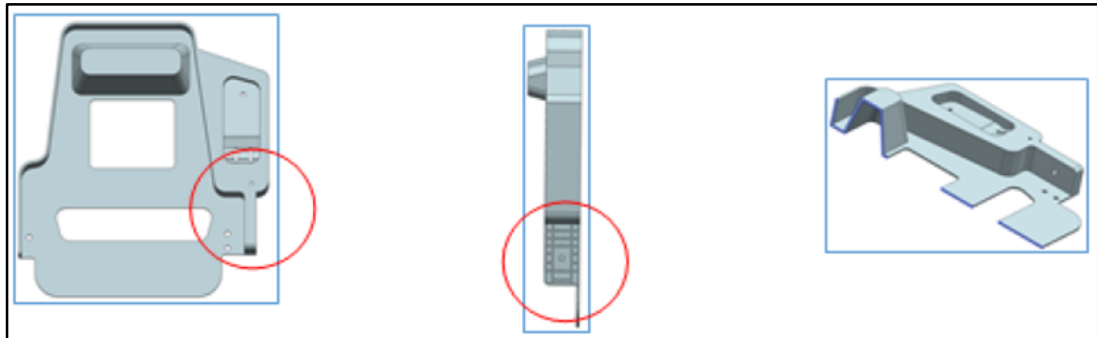
Rev1 tasarımına uygulanan ECE R14 bilgisayar destekli sayısal analiz sonuçlarından görüleceği üzere, özellikle emniyet kemer bölgesinin alt kısmında, maksimum gerilme değeri 178 MPa olarak tespit edilmiş ve uygulanan kuvvete karşı koyamadığı

için parçada deformasyon gözlenmiştir. İlgili analizde beklenen maksimum plastik uzamanın çok ötesinde bir sonuç gözlemlenerek %8,9 uzama değeri tespit edilmiştir. İlgili analiz görseli Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Rev1 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli

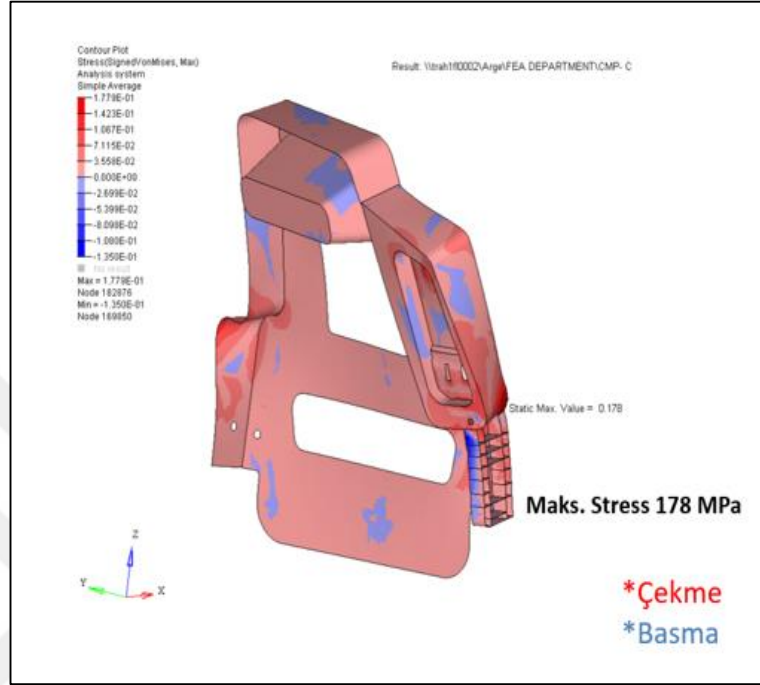
Rev1 tasarımı ilgili regülasyon analizlerinde istenilen sonuçları göstermediği için ilgili tasarımda yer alan emniyet kemer bölgesinin alt yan yüzeyine Şekil 3.3’den de görüleceği üzere 2,5 mm ve 3 mm kalınlığında federler atılmış olup aynı zamanda ana gövde kalınlığı da 5 mm’ye çıkartılmıştır. Bu tasarım Rev2 olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.3. Kompozit koltuk arkılığı Rev2 tasarım görseli

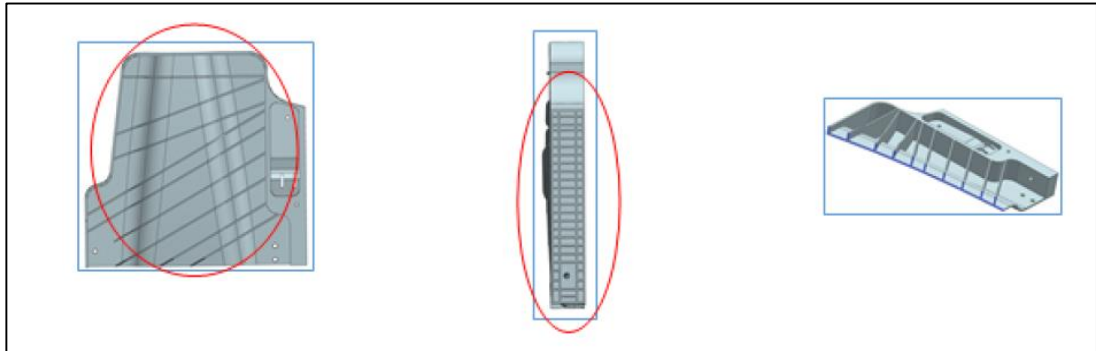
Şekil 3.4’den görüldüğü üzere Rev2 tasarımına uygulanan analiz çalışmalarında da istenilen sonuçlar elde edilememiş ve yine aynı emniyet kemer bölgesinde 178 MPa gerilme değeri ölçülmüş ve uygulanan kuvveti karşılayamadığı için parçada

deformasyon gözlenmiştir. Ayrıca plastik uzama değerinin %8,4 olduğu tespit edilmiştir. Rev1'e göre plastik uzama değerinde az da olsa bir azalma elde edilmiştir ancak ECE-R14 regülasyon değerlerini karşılayamamıştır.



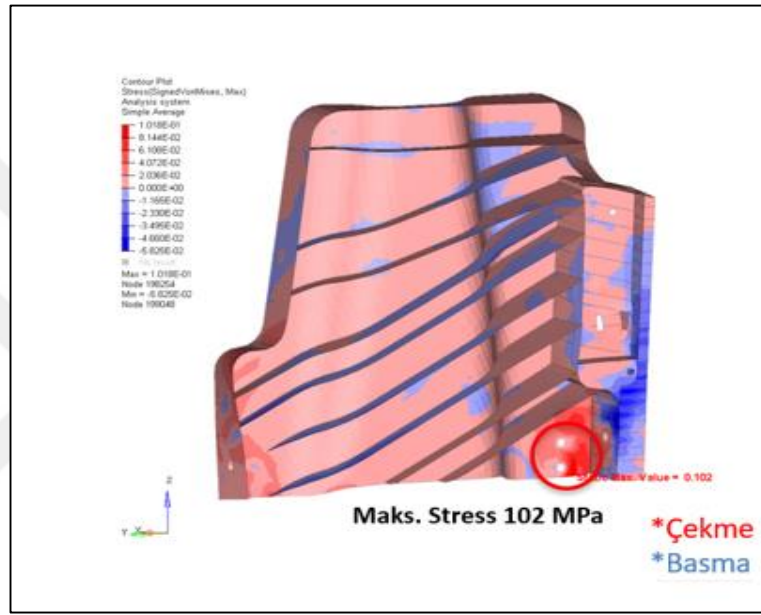
Şekil 3.4. Rev2 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli

Rev2 tasarımı da ilgili regülasyon analizlerini sağlayamadığı için Şekil 3.5'den de görüleceği üzere ana gövdenin ön yüzeyine 3 mm et kalınlığında tek yönlü uzun federler eklenmiştir. Ayrıca emniyet kemer bölgesinin alt yan yüzeyinde yer alan 2,5 mm'lik federler yüzey boyunca arttırılmıştır. Yapının arka yüzeyine ise 2 mm'lik yeni federler eklenmiş ve ana gövde Z ekseninde doğrusal form yapısından açısall form yapısına geçilmiştir. Yapılan tasarım değişiklikleri neticinde tasarım Rev3 olarak isimlendirilmiştir.

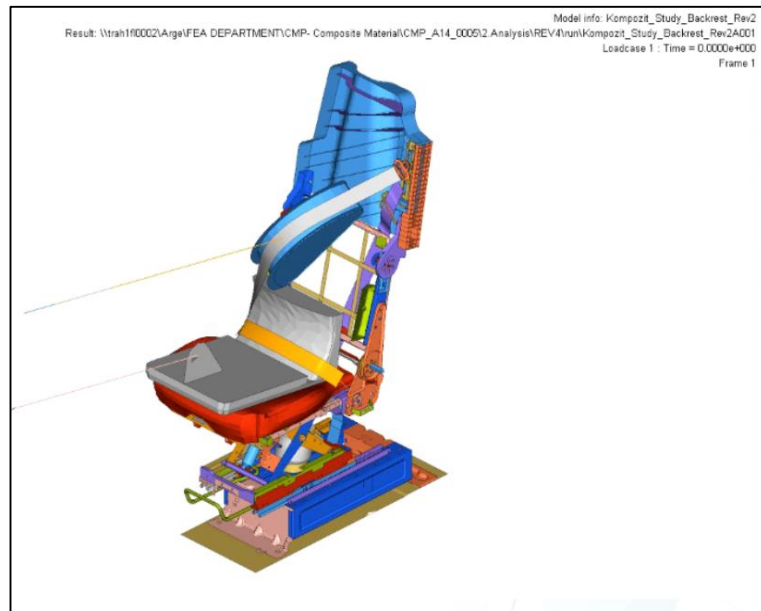


Şekil 3.5. Kompozit koltuk arkılığı Rev3 tasarım görseli

Rev3 tasarımına uygulanan analiz çalışmalarında ECE-R14 regülasyon isterlerini karşılanamamıştır. Rev3 tasarımında emniyet kemer bölgesinde 102 MPa gerilme değeri ölçülmüş ve parçada deformasyon gözlenmiştir. Ayrıca plastik uzama %4,2 olarak ölçülmüştür. Rev2 tasarımında elde edilen analiz sonuçlarına göre gerilme değerinde ve plastik uzama değerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Rev3 modeli için ilgili analiz görseli Şekil 3.6’da verilmiştir. Rev2 tasarımının analiz simülasyon modeli Şekil 3.7’de verilmiştir.



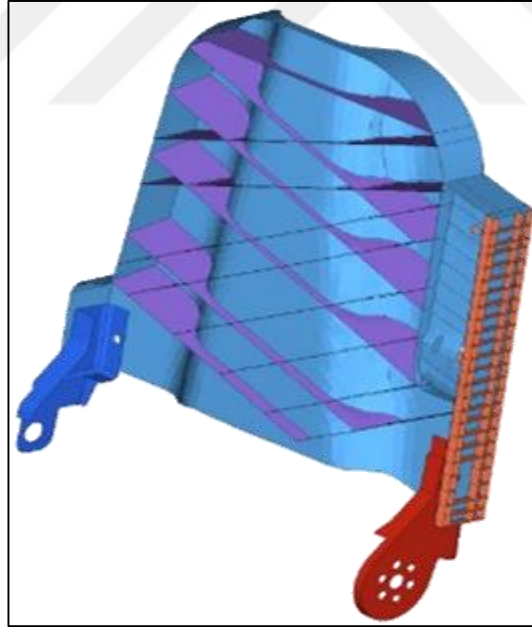
Şekil 3.6. Rev3 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli



Şekil 3.7. Rev3 tasarımına yapılan analiz modeli görseli

Rev3 tasarımında yapılan tasarım değişikliklerinin analiz çalışmaları üzerinde olumlu yönde iyileşme yaratmasının ardından Rev 3 tasarım çalışmasında kullanılan tek yönlü federlere çapraz (cross) olacak şekilde yeni feder tasarımları eklenmiştir. Model üzerinde yapılan tasarım değişiklikleri Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Rev4 tasarımında ana gövde et kalınlığı Rev3 tasarımında olduğu gibi 3 mm feder kalınlıkları 2 ile 3 mm arasındadır. Modeli oluşturulan tasarım Rev4 olarak isimlendirilmiştir.

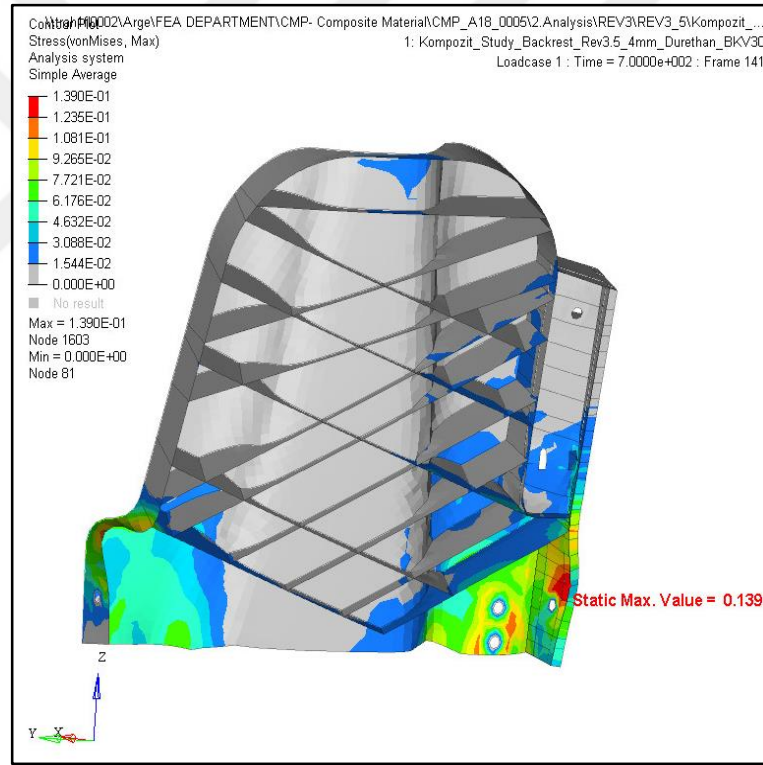
Rev4 tasarımına uygulanan analiz çalışmalarında da ECE-R14 regülasyon isterleri karşılanamamıştır. Rev4 tasarımında emniyet kemer bölgesinde 139 MPa gerilme değeri ölçülmüş ve parçada deformasyon gözlenmiştir. Ayrıca plastik uzama %6,7 olarak ölçülmüştür. Rev3 tasarımında elde edilen analiz sonuçlarına göre gerilme değerinde ve plastik uzama değerinde iyileşme gözlemlenmemiştir. Rev4 modeli ECE-R14 regülasyon isterlerini karşılamadığı için Rev5 modeli için tasarım ve analiz çalışmalarına devam edilmiştir. İlgili analiz görseli Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.8. Kompozit koltuk arkılığı Rev4 tasarım görseli

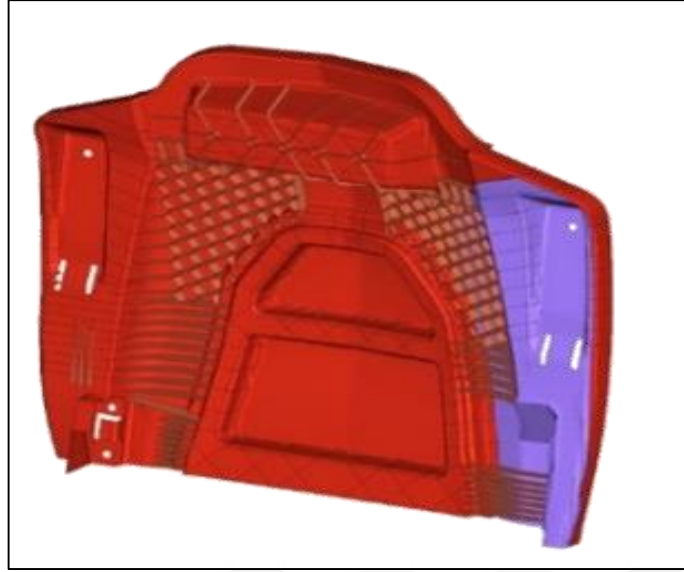
Rev4 tasarımına kadar yapılan tasarım çalışmaları; ECE-R14 regülasyon isterleri nedeni ile yapılan analiz çalışmalarında olumlu iyileşmeler gerçekleştirmiş ancak regülasyon isterlerini karşılayamamıştır. Bu nedenle Assanhanil bünyesinde benchmark çalışmaları gerçekleştirilmiş ve benchmark çalışmalarından elde edilen

çözümlere göre tasarım modeli yeniden yaratılmıştır. Bu yeni tasarım Rev5 olarak isimlendirilmiştir. Rev5 tasarımına bal peteği şeklinde federler eklenerek yapı güçlendirilmiştir. Ayrıca plastik tasarımın, koltuktaki bağlantı noktalarına yükü doğru iletmesi amaçlanmıştır. Uygulanan kuvvet parçayı deformasyona uğratmadan metal aksama (ana taşıyıcı aksam) iletmesi için uygun feder yapıları (kuvvet yönüne paralel oluşturulan doğrusal federler) ve kesit değişiklikleri ile yük yolları tasarım çalışmasına eklenmiştir. Tasarım çalışmalarına ek olarak Rev5 tasarımında ilk defa prepreg malzemesi sayısal analizlere dahil edilmesi için modellenmiştir. Rev5 tasarımında parça et kalınlığı 3 mm, prepreg kalınlığı 2 mm, koltuk sırtlığı parçası üzerine atılan bal peteği ve doğrusal yapıdaki federlerin et kalınlığı ise 1,5-3 mm arasında modellenmiştir. İlgili tasarım Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

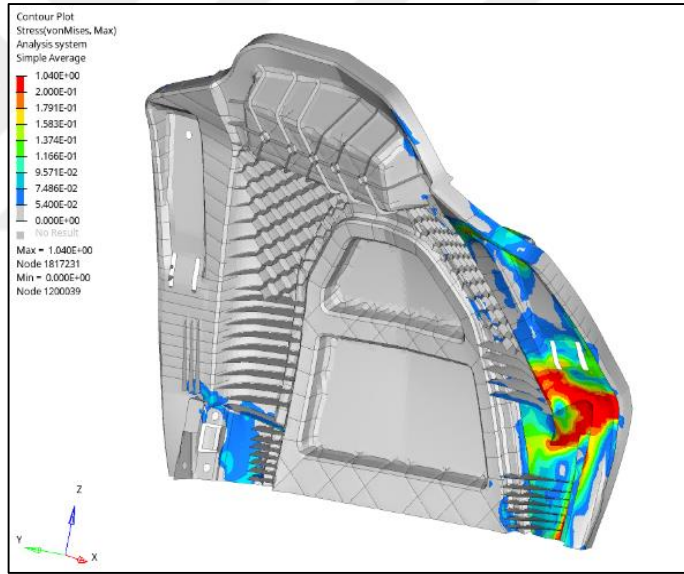


Şekil 3.9. Rev4 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli

Rev5 tasarımında emniyet kemer bölgesinde prepreg malzemede 264 MPa gerilme değeri ölçülmüş ve parçada deformasyon gözlenmiştir. Ayrıca plastik uzama %4,5 olarak ölçülmüştür. Rev 5 tasarımı Rev 4 tasarımına göre daha iyi sonuçlar vermemiş ve ECE R-14 regülasyon isterlerini karşılayamamıştır. Bu nedenle Rev5 modeli için tasarım ve analiz çalışmalarına devam edilmiştir. İlgili analiz görseli Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Kompozit koltuk arkılığı Rev5 tasarım görseli



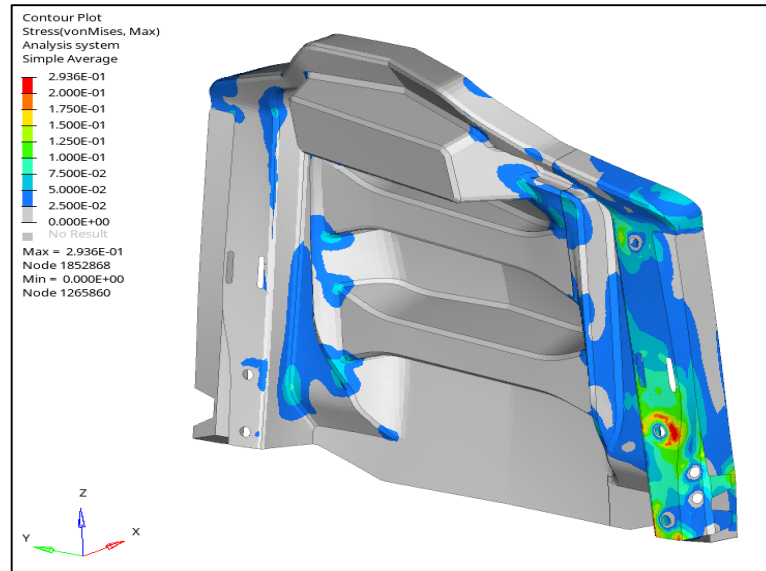
Şekil 3.11. Rev5 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli

Rev6 tasarımında Rev5 tasarımında oluşturulan bal peteği feder yapıları ve doğrusal yük aktarım federleri yetersiz kaldığı düşüncesi ile kaldırılmış olup yüzey geçişleri değiştirilmiştir. Buna göre yapıya iki adet U profili şeklinde bir yapı eklenmiştir. Bu sayede U profillerinin yük aktarımlarındaki görevi gözlemlenmesi amaçlanmıştır. İlgili tasarım görseli Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Rev6 tasarımında ana taşıyıcı gövde et kalınlığı 3 mm olarak modellenmiş olup, prepreg et kalınlığı ise 2 mm’de sabit tutulmuştur.



Şekil 3.12. Kompozit koltuk arkalığı Rev6 tasarım görseli

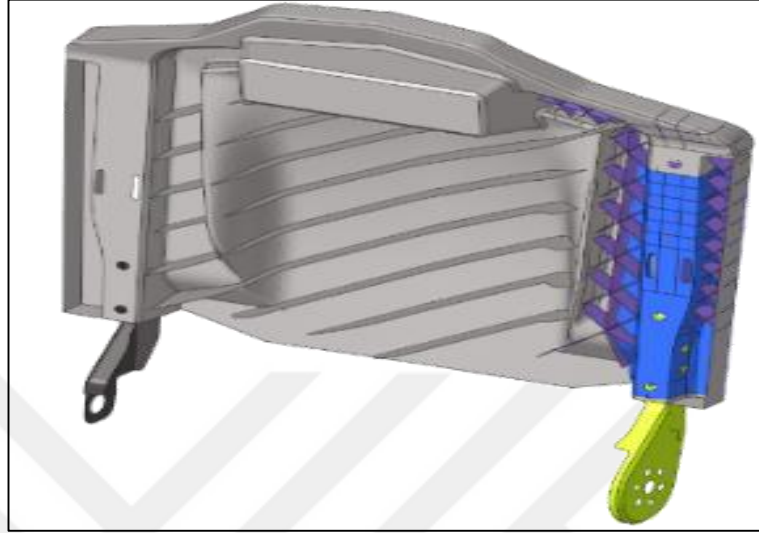
Rev6 tasarımında emniyet kemer bölgesinde 294 MPa gerilme değeri ölçölmüş ve parçada deformasyon gözlenmiştir. Ayrıca plastik uzama %6,6 olarak ölçölmüştür. Rev6 tasarımı Rev5 tasarımına göre daha kötü sonuç göstermiştir. Bu nedenle tasarım ve modelleme çalışmalarını devam ettirebilmek için Rev6 isimli modelin tasarlanmasına başlanmıştır. İlgili analiz sonuçları Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Rev6 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli

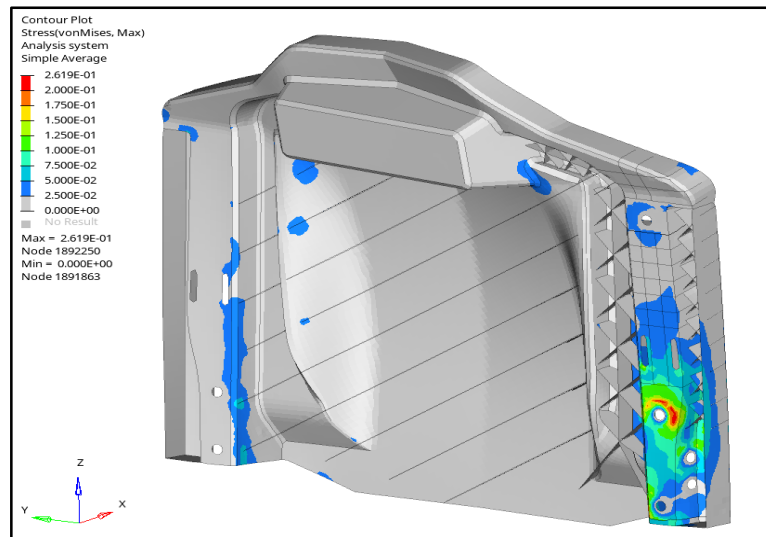
Rev7 tasarımında; Rev6 tasarımında oluşturulan U profillerin analiz sonuçlarına olumsuz yansması nedeni ile U profil yapısı tamamen kaldırılmıştır ve gövdeye tek yönlü federler eklenmiştir. Ayrıca prepreg alanı kenarlardan 5 mm olacak şekilde

daraltılmıştır. Ana gövde et kalınlığı 3 mm, tek yönlü federlerin et kalınlıkları 2 mm ve prepreg et kalınlığı 2 mm olacak şekilde tasarıma dahil edilmiştir. İlgili modelin tasarım görseli Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Kompozit koltuk arkalığı Rev7 tasarım görseli

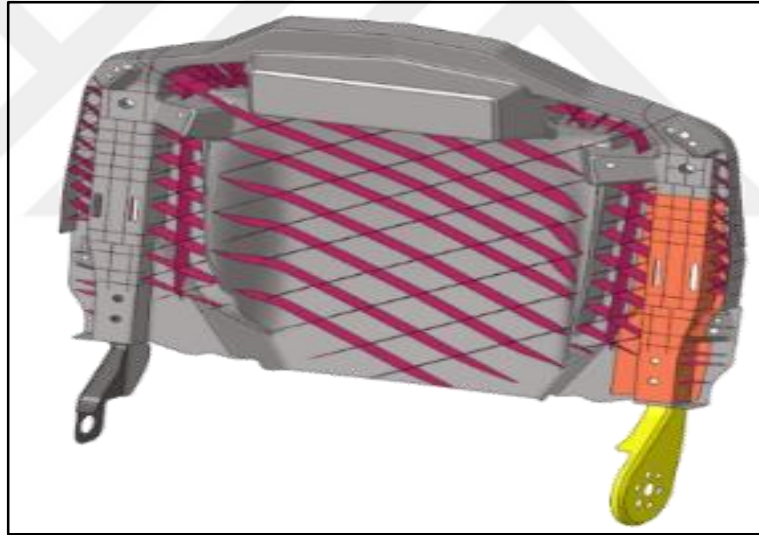
Rev7 tasarımında emniyet kemer bölgesinde 261 MPa gerilme değeri ölçülmüş ve parçada deformasyon gözlenmiştir. Plastik uzama %4,2 olarak ölçülmüştür. Rev7 tasarımı Rev6 tasarımına göre daha iyi sonuç göstermiş olmasına rağmen ECE R14 regülasyon değerleri altında kalmıştır. Bu nedenle tasarım ve modelleme çalışmalarını devam ettirebilmek için Rev8 isimli modelin tasarlanmasına başlanmıştır. İlgili analiz sonuçları Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. Rev7 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli

Rev7 analizlerinden elde edilen know-how sonrası Rev8'de çift yönlü federler eklenmiş olup yapıdaki yerleşime uyumluluk ve plastik bağlantı noktalarının optimize edilmesine bağlı olarak gövde yerleşime ve plastik parça bağlantılarına uyacak şekilde revize edilmiş ve braket bağlantı delikleri güncellenmiştir. İlgili tasarım Şekil 3.16'da gösterilmiştir. İlgili tasarımda ana gövde et kalınlığı 3 mm, ana gövde üzerine atılan federlerin et kalınlıkları 2-3 mm ve prepreg malzemesinin et kalınlığı 3 mm olarak dizayn edilmiştir.

Rev8 tasarımına uygulanan analiz kapsamında, maksimum plastik uzama değeri %7,3 olarak ölçülmüştür. Maksimum gerilme değeri ise 371 MPa olarak ölçülmüştür. İlgili analiz görseli Şekil 3.17'de verilmiştir. 371 MPa değeri koltuğun bağlantı noktalarında (metal iskelete bağlantı için delinen delikler) gözlemlenmiş ve parçada deformasyon gözlenmiştir.

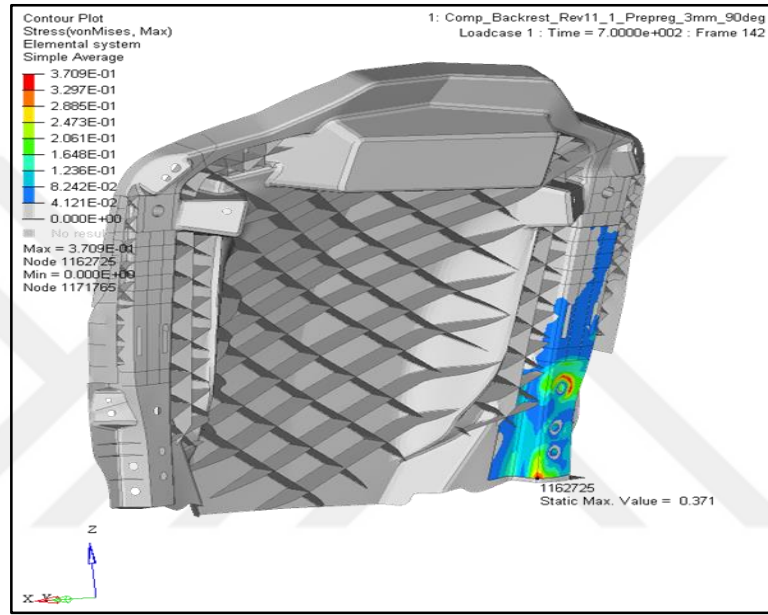


Şekil 3.16. Kompozit koltuk arkılığı Rev8 tasarım görseli

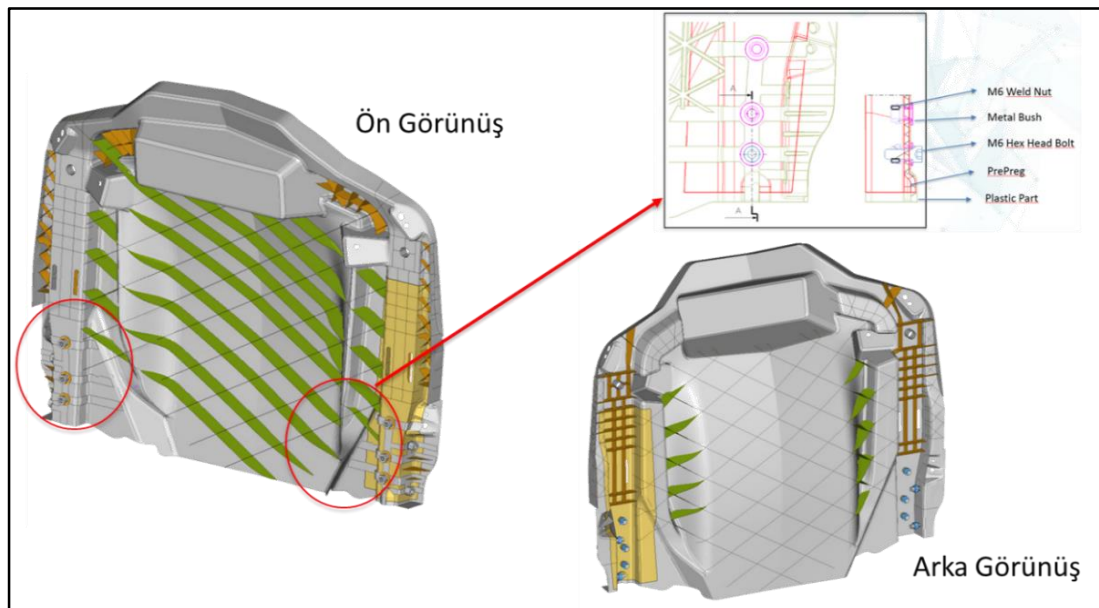
Rev1 ile Rev8 arasındaki tüm modeller ECE-R14 regülasyonu gereğince uygulanan 5175 N değerinde bir çekme kuvvetine karşı koyamamış ve modeller üzerinde kopma/deformasyon gözlenmiştir.

Ancak Rev8 modelindeki yapının genel performans değeri, delik çevreleri harici bölgelerde bugüne kadar yapılan tasarımlar içerisinde daha iyi bir sonuç verdiği için yeniden dizayn edilmek yerine sadece problemler alanların çözülmesi üzerine yoğunlaştırılmıştır. Rev9 modeli Rev8 modeli üzerine problemler bölgeleri çözmek adına oluşturulmuştur.

Rev9 tasarımında ana gövdeye arkadan destek sağlamak amacı ile braketlerin boyu uzatılmıştır. (metal koltuk gövdesine bağlantı için kullanılan metal braketler.) Parça üzerindeki feder kalınlıkları revize edilerek en düşük feder et kalınlığı 2 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca kaynak somunu, metal burç gibi standart bağlantı elemanları detaylandırılarak Rev9 tasarımı oluşturulmuştur. İlgili tasarım çalışması Şekil 3.18’de verilmiştir. İlgili tasarımda ana gövde et kalınlığı 3 mm ve prepeg malzemesinin et kalınlığı 3 mm olacak şekilde tasarım çalışması gerçekleştirilmiştir.



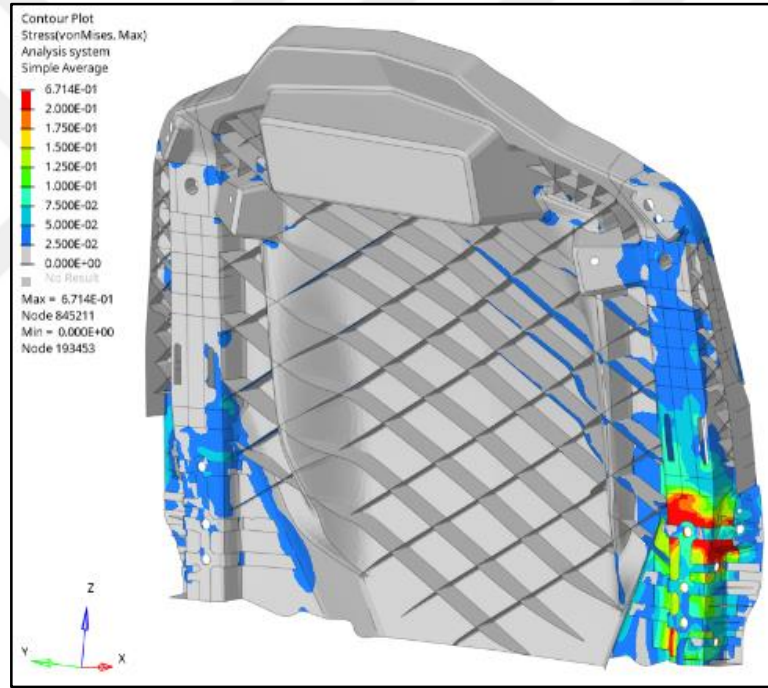
Şekil 3.17. Rev8 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli



Şekil 3.18. Kompozit koltuk arkalığı Rev9 tasarım görseli

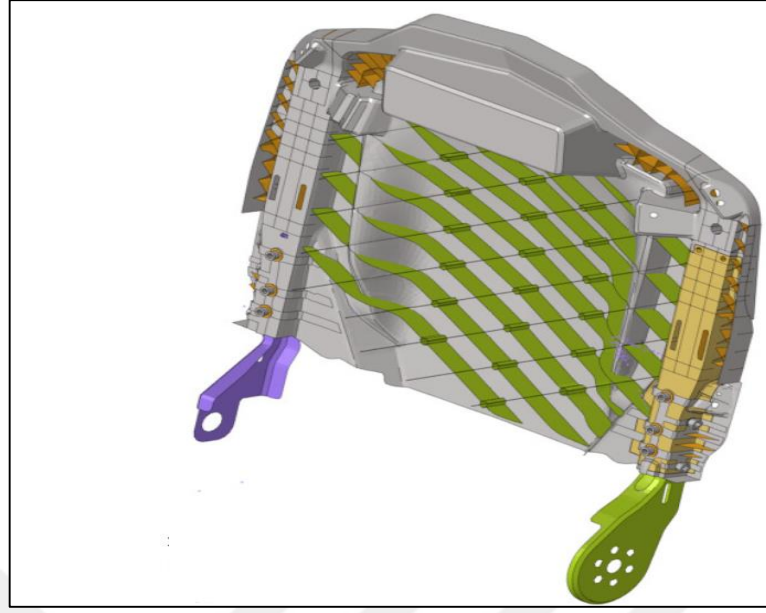
Rev9 tasarımına uygulanan analiz kapsamında, maksimum plastik uzama değeri %3 olarak ölçülmüştür. Maksimum gerilme değeri ise 415 MPa olarak ölçülmüş ve parçada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir. İlgili analiz görseli Şekil 3.19'da verilmiştir.

Rev9 tasarımı; ECE-R14 regülasyonu gereğince 5175 N değerinde kuvvete 0,2 sn süresince maruz bırakılmış ve model testten başarı ile geçmiştir. Ancak uygulanan 5175 N değerinde kuvvet Şekil 3.19'da gösterildiği gibi metal gövdeye olan bağlantı deliğinde malzemenin akma değeri olan 430 Mpa değerine çok yaklaşmış ve riskli olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle tasarım üzerinde iyileştirmeler yapılması adına Rev10 tasarımına devam edilmiştir.

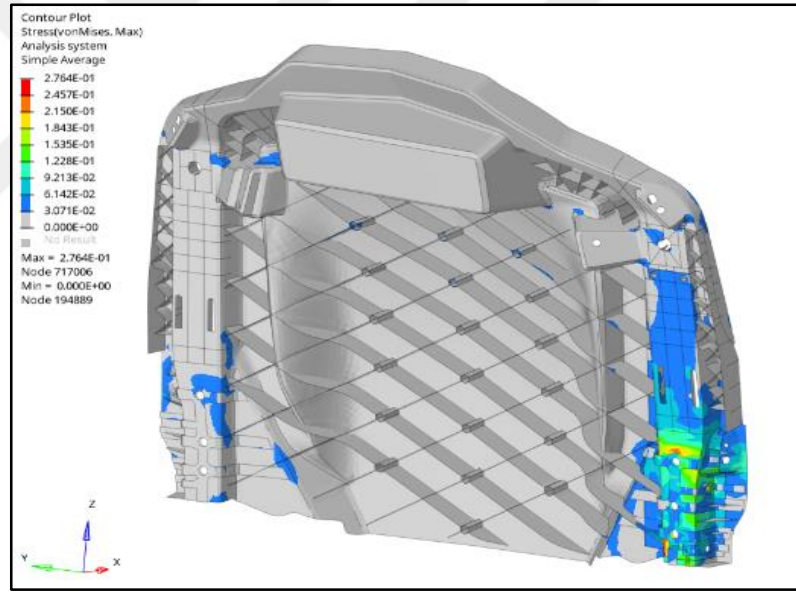


Şekil 3.19. Rev9 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli

Rev10 tasarımına; Rev 9 tasarımına ek olarak modelde insert olarak kullanılan prepreg malzemenin arkasındaki feder yapıları kuvvetlendirilmiş ve kalınlıkları 1 mm arttırılmıştır. Ayrıca Feder kesişim bölgelerine kalıplama sırasında olumlu yönde etkisi olması adına boss (federlerin birbirleri ile kesişen noktalarına eklenen dairesel yapılar) Parça arka yüzeyindeki tüm feder yapılarının yükseklikleri maksimum 10 mm olacak şekilde sınırlandırılmıştır. İlgili tasarım görseli Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Kompozit koltuk arkalığı Rev10 tasarım görseli




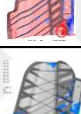
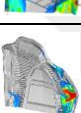
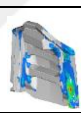
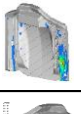
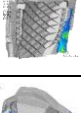
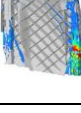
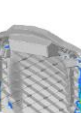
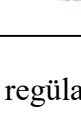


Şekil 3.21. Rev10 tasarımına yapılan analiz çalışması görseli

Rev10 tasarımına ECE-R14 regülasyonu gereğince uygulanan 5175 N değerindeki çekme kuvveti analizi kapsamında, maksimum plastik uzama değeri %2 olarak ölçülmüştür. Maksimum gerilme değerı ise 276 MPa olarak ölçülmüş ve parçada herhangi bir deformasyon gözlenmemiş uygulanan yükü karşılayabilmiştir. İlgili analiz görseli Şekil 3.21'de verilmiştir. Gerçekleştirilen ECE-R14 analizinde uygulanan yükler altında kopma gözlemlenmediği, yer değiştirme regülasyon sınırları içerisinde kaldığından ve malzeme akma sınırının çok altında bir gerilme direnci hesaplandığından dolayı başarı ile geçmiştir.

Tablo 3.1’de bugüne kadar yapılan tasarım ve analiz çalışmaları ile referans metal koltuk arkalıği analiz sonuçları paylaşılmıştır.

Tablo 3.1. Tüm modellere uygulanan testlerin sonuç ve özetleri

İsim	Görsel	ECE R 14 TEST SONUCU	ECE R 17 TEST SONUCU	PLASTİK UZAMA %	SONUÇ
Ref. Kol.		Uygulanan kuvvet sonrasında 795 MPa maksimum gerilme değeri ölçülmüş ve herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir.	Uygulanan kuvvet sonrasında 586 MPa maksimum gerilme değeri ölçülmüş ve herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir.	0,9	BAŞARILI
Rev1		Uygulanan kuvvet sonrasında 178 MPa da deformasyon gözlenmiştir.	N/A	8,9	BAŞARISIZ
Rev2		Uygulanan kuvvet sonrasında 178 MPa da deformasyon gözlenmiştir.	N/A	8,4	BAŞARISIZ
Rev3		Uygulanan kuvvet sonrasında 102 MPa da deformasyon gözlenmiştir.	N/A	4,2	BAŞARISIZ
Rev4		Uygulanan kuvvet sonrasında 139 MPa da deformasyon gözlenmiştir.	N/A	6,7	BAŞARISIZ
Rev5		Uygulanan kuvvet sonrasında 264 MPa da deformasyon gözlenmiştir.	N/A	4,5	BAŞARISIZ
Rev6		Uygulanan kuvvet sonrasında 294 MPa da deformasyon gözlenmiştir.	N/A	6,6	BAŞARISIZ
Rev7		Uygulanan kuvvet sonrasında 261 MPa da deformasyon gözlenmiştir.	N/A	4,2	BAŞARISIZ
Rev8		Uygulanan kuvvet sonrasında 371 MPa da deformasyon gözlenmiştir.	N/A	7,3	BAŞARISIZ
Rev9		Uygulanan kuvvet sonrasında herhangi bir deformasyon gözlenmemiş ancak malzeme akma sınırına çok yakın bir değer olan 415 MPa ölçülmüştür.	N/A	3	BAŞARILI
Rev10		Uygulanan kuvvet sonrasında herhangi bir deformasyon gözlenmemiş ve maksimum gerilme direnci 276 MPa olarak ölçülmüş ve testi başarılı ile geçmiştir.	Uygulanan kuvvet sonrasında 214 MPa maksimum gerilme değeri ölçülmüş ve herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir.	2	BAŞARILI

ECE-R14 regülasyonundan başarı ile geçen Rev10 modeline ECE-R17 regülasyon isteklerine uygun analiz uygulanmıştır. ECE-R17 regülasyonu gereğince 165 mm çapında 6,8 kg ağırlığında bir küre koltuk sırtlığında yer alan kafalık kısmına 24,1 km/h saat hız ile çarptırılmış ve model üzerine herhangi bir deformasyon gözlenmemiş ve maksimum gerilme direnci 214 Mpa olarak ölçülmüş ve ECE R 17

regülasyon isterlerini karşılamıştır. Rev10 isimli tasarım gerekli regülasyon değerlerini karşıladığı için tasarım dondurulmuş ve ilgili tasarım üzerine kalıp tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Over-Molding yöntemi ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen termoplastik prepreg katkılı kompozit koltuk arkılığı görseli Şekil 3.22’de göstermiştir. Şekil 3.23’de ise üretimi tamamlanan kompozit koltuk arkılığının koltuk iskeletine montajlı hali gösterilmiştir. Üretim aşaması başarı ile tamamlandıktan sonra ilgili ürüne Assanhanil bünyesindeki akradite edilmiş test merkezinde fiziksel ECE R14 regülasyon testi uygulanmıştır. Test esnasında çekilmiş olan görsel Şekil 3.25’de gösterilmiştir. Fiziksel test sonuçları da bilgisayar destekli analiz sonuçlarına yakınsak değerde ölçülmüştür. Tablo 3.1’de bugüne kadar yapılan tasarım ve analiz çalışmaları ile referans metal koltuk arkılığı analiz sonuçları paylaşılmıştır.

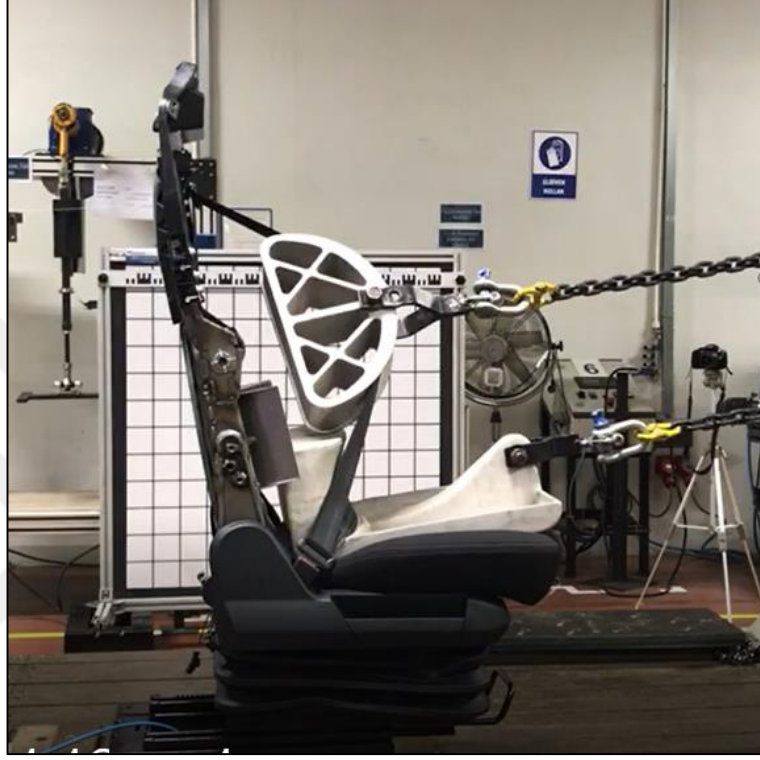


Şekil 3.22. Kompozit koltuk arkılığı fiziksel ürün görseli



Şekil 3.23. Kompozit koltuk arkılığı montajlı ürün görseli

Üretimi gerçekleştiren Rev10 isimli modele, ECE-R14 regülasyonu gereğince Assanhanil bünyesinde yer alan akredite test merkezinde 5175 N değerindeki kuvvet sonucunda koltuk üzerinde herhangi bir deformasyon/kopma gözlenmemiş ve maksimum gerilme direnci 319 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.24. Kompozit arkalık ECE R14 fiziksel test görseli

Bu çalışma ile birlikte kompozit koltuk arkalığı projesi mevcut metal iskelet yapısına göre 1500 gr bir hafifletme değeri elde edilmiş ve 3200 olan metal iskelete sahip ağır ticari araç sürücü koltuğu 1700 gr ağırlığına düşürülmüştür. Proje üretim süresi ve kolaylığı içinde avantaj sağlamış olup; metal koltuk sırtlığı için gerekli olan kaynak-montaj hattı isteri ortadan kaldırılmış ve 2 saat olan üretim süreci 50 dk olarak ölçülmüştür. Ayrıca regülasyon gereği uygulanan ECE-R14 ve ECE-R17 analizlerinde koltuk sırtlığında metale göre daha az gerilme direnci ölçülmüş ve uygulanan enerjiyi sönmüleme açısından metal koltuğa göre daha başarılı bir performans ortaya koymuştur.

Bu çalışma; kompozit malzemelerin ECE-R14 gibi yüksek kuvvet değerlerine maruz kalan parçalarda bile metal malzemeler yerine tercih edilebileceğini kanıtlamıştır. Ayrıca metal malzemelere göre enerji emiciliğinin daha iyi olabileceğini göstermiştir.

Bu kapsamda özellikle otomotiv sektöründe kompozit malzemeler, metal malzemeler yerine kullanılabilir. Özellikle çarpışma durumlarında metal malzemelere göre daha fazla enerjiyi sönümleyebileceklerinden gelecekte araç şase lerinde kompozit malzemelerin kullanımına daha fazla rastlayacağız. Termoplastik ürün gruplarını kompozit yapıya çevirmek için termoset ürün grupları yerine (Prepreg vs.) metal malzemeler ilede üretebiliriz. Bu sayede insert ürün olarak metal kullanılan kompozit malzemeler araç gövdesinde yer alan diğer metal malzemeler ile daha kolay montaj edilebilme kolaylığına kavuşacaklardır.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda sürekli cam elyaf katkılı dokuma esaslı termoplastik PP matrisli prepreg malzemenin sonlu elemanlar analizi için numune modellemesi yapılmış olup, ilgili numuneye yapılan fiziki testler ile model korelasyonu sağlanmıştır. Ardından, malzeme verileri kullanılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulup koltuk üzerinde sayısal analizler yapılmıştır.

Analiz sonuçları dikkate alınarak tasarım geliştirilmiş ve Rev10 tasarımının; kompozit parça optimizasyonu ve analiz çalışmaları kapsamında en iyi tasarım olduğu belirlenmiştir. Buna göre tasarım fazı Rev10'da dondurulmuştur. Tasarımın güncel hali, ECE R14 regülasyon koşulları içerisinde istenilen sınır değerleri içerisindedir.

Bilgisayar destekli tasarım ve analiz çalışmalarından başarı ile geçen Rev10 tasarımı over-molding (üzerine enjeksiyon) yöntemi ile üretilmiş ve üretimi gerçekleştirilen Rev10 tasarımı koltuk iskeleti üzerine montaj edilerek ECE-R14 regülasyonu gereğince Assanhanil bünyesinde akradite test merkezinde fiziksel teste maruz bırakılmıştır. Fiziksel testten de başarı ile Rev10 tasarımında isterler karşılanmış ve çalışma sonlanmıştır.

Çalışmanın temel amacı olan metal ile kompozit yapının yer değiştirmesi ile performans olarak metale benzer ancak metale göre daha hafif bir yapı elde edilebilmiştir. Bu kapsamda 1500 gr ağırlık azaltımı sağlanmış olup ilgili proje hedefi hususunda başarı kazanılmıştır.

Bu çalışma ile ilgilenen ve benzer bir çalışma yürütecek olan arkadaşlara tavsiye olarak; prepreg ile termoplastik malzeme seçiminde aynı matris grubundan ürünleri seçmelerine dikkat etmeleri, prepreg malzemenin kürlenme için infared fırından sonra kalıp içerisine yerleştirilme sürelerine dikkat etmeleri ve eğer kompozit ürün metal bir malzeme ile montaj edilecek ise bağlantı yerlerinde metal insert veya metal bağlantı elemanları kullanmaları yönünde olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Prashik SG, Comparison of Steel and Composite Leaf Springs Using Fea. Published Spring, 2018.
- [2] Schijve W., Kulkarni S. “New Thermoplastic Composite Solutions Present Viable Options for Automotive Lightweighting”, Sabic Innovation Plastics, 2016.
- [3] European Federation for Transport and Environment “How clean are Europe’s cars? An analysis of carmaker progress towards EU CO2 targets in 2010”, 2011.
- [4] Carello M., Amirth N., Airale A.G., Monti M., Romeo A. “Building Block Approach for Structural Analysis of Thermoplastic Composite Components for Automotive Applications”, Applied Composite Materials, 2017, 24, 1309–1320.
- [5] European Environment Agency. Monitoring CO₂ Emissions From New Passenger Cars and Vans in 2014, 2014.
- [6] Dupont and Nifco. Vizilon® Thermoplastic Composite Oil Pan, 2018.
- [7] Faurecia and CETIM “Composite Structures for the Seats of the Future”, 2018.
- [8] Yuce C., Karpas F., Yavuz N., Sendeniz G. A Case Study: Designing for Sustainability and Reliability in an Automotive Seat Structure”, Sustainability, 2014, 6, 4608-4631.
- [9] Ning H., Pillay S., Vaidya U.K. Design and development of thermoplastic composite roof door for mass transit bus. Mater. Des. 2009, 30, 983–991.
- [10] The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space, 2021.
- [11] Güneş G. Uçak Koltuğu Kompozit Sırtlık Sisteminin Modellenmesi Ve Sonlu Elemanlar Analizi, Yüksek Lisans Tezi, 2019,601090
- [12] Banerjee S., Sankar B., Mechanical Properties Of Hybrid Composites Using Finite Element Method Based Micromechanics, *Composites: Part B*, 2014, 318-327.
- [13] Ferruh D. Araç Yolcu Koltuk Ayaklarında Farklı Malzemelerinin Kullanımının Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Testler ile Mekanik Etkisinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, 2017,470572

- [14] Coleman M.M., Serman C.J., Bhagwagar D.E., Painter P.C., A Practical Guide to Polymer Miscibility, *Polymer*, 31(7), 1187–1203, 1990.
- [15] Akkerman R., Bouwman M., Wijskamp S. Analysis of the Thermoplastic Composite Overmolding Process: Interface Strength. DOI: 10.3389/fmats.2020.00027
- [16] URL1:https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-HDV-tech-2025-30_20180116.pdf, European Heavy-Duty Vehicles : Cost-Effectiveness of Fuefficiency Technologies For Long-Haul Tractor-Trailers in The 2025-2030 Timeframe, 2021. (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2021).
- [17] URL2: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/case-studies/lotus-engineering-2009-toyota-venza-mass-reduction-programme/>, 2021, (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2021).
- [18] URL3:https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-HDV-tech-2025-30_20180116.pdf, (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2021).
- [19] URL4:<https://www.faurecia.com/sites/groupe/files/investisseurs/Half%20yearly%20results%202014.pdf>, Faurecia Half-Year Results, 2021. (Ziyaret tarihi: 01 Nisan 2021).
- [20] URL5: <https://www.homologasyon.com/surucu-hostes-ve-yolcu-koltuklari-test-gereksinimleri/> ECE R17, ST 0791 Test Gereksinimleri, (Ziyaret tarihi: 01 Nisan 2021).
- [21] URL6: <https://unece.org/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R014r5e.pdf> ECE R-14 Regülasyonu, (Ziyaret tarihi: 01 Nisan 2021).
- [22] Yashas Gowda TG., Sanjay M.R., Subrahmanya Bhat K., Madhu P., Senthamaraikannan, P., Yogesha, B. SS Polymer Matrix-Natural Fiber Composites: An Overview. *Cogent. Eng.* 2018, 5, 1446667.
- [23] Clyne T.W., Hull D. An Introduction to Composite Materials, 3rd ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2019.
- [24] Altenbach H., Altenbach J., Kissing W. Classification of Composite Materials. In *Mechanics of composite Structural Elements*, 2nd ed, *Springer Press, Singapore*, 2004, 1-14.
- [25] Panthapulakkal S., Raghunanan L., Sain M., Birat K.C., Tjong J. Natural fiber and hybrid fiber thermoplastic composites. 1th ed, *CRC Press, Iranian*, 2017, 10-32.
- [26] Nair A.B., Joseph R. Eco-Friendly Bio-Composites Using Natural Rubber (NR) Matrices and Natural Fiber Reinforcements. In *Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber*, Woodhead Publishing: Sawston, UK, Cambridge, UK, 2014.

- [27] Dixit S., Goel R., Dubey A., Ahivhare P.R., Bhalavi T. Natural Fibre Reinforced Polymer Composite Materialsa Review. *Polym. Renew. Resour.* 2017, (8), 71–78.
- [28] Sathishkumar T., Naveen J., Satheeshkumar S. Hybrid Fiber Reinforced Polymer Composites—A Review. *J. Reinf. Plast. Comp.* 2014, (33), 454–471.
- [29] Rahman R., Zhafer Firdaus S.P.S. Tensile Properties of Natural and Synthetic Fiber-Reinforced Polymer Composites. In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, Woodhead Press, Sawston, UK, Cambridge, UK, 2019, 81–102.
- [30] Jawaid M., Thariq M., Saba N. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, Woodhead Press: Sawston, UK, Cambridge, UK, 2019.
- [31] Rajak D.K., Pagar D.D., Kumar R., Pruncu C. Recent progress of Reinforcement Materials: A Comprehensive Overview of Composite Materials. DOI: 10.1080/15440478.2018.1494079
- [32] Ghalia M.A., Abdelrasoul A. Compressive and Fracture Toughness of Natural and Synthetic Fiber-Reinforced Polymer. In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, Woodhead Press, Sawston, UK, Cambridge, UK, 2019, 123–140.
- [33] Abdellaoui H., Raji M., Essabir H., Bouhfid R., Qaiss A. Mechanical Behavior of Carbon/Natural Fiber-Based Hybrid Composites. In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, Woodhead Press, Sawston, UK, Cambridge, UK, 2019, 103–122.
- [34] Prakash S. Experimental Investigation of Surface Defects in Low-Power CO2 Laser Engraving of Glass Fiber-Reinforced Polymer Composite. *Polym. Compos.* 2019, DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.09.068
- [35] Chalmers D.W. Experience in Design and Production of FRP Marine Structures. *Mar. Struct.* 1991, (4), 93–115.
- [36] Unterweger C., Brüggemann O., Fürst C. Synthetic fibers and Thermoplastic Short-Fiber-Reinforced Polymers: Properties and characterization. *Polym. Compos.* 2013, (35), 227–236.
- [37] Haim A. Stability of Composite Stringer-Stiffened Panels. In *Stability and Vibrations of Thin Walled Composite Structures*, Woodhead Press, Sawston, UK, Cambridge, UK, 2017, 461–507.
- [38] Chung, D.D.L. Introduction to Carbon Composites. In *Carbon Composites: Composites with Carbon Fibers, Nanofibers, and Nanotubes*, Elsevier Science: Amsterdam, *The Netherlands*, 2017, 88–160.

- [39] Nobe R., Qiu J., Kudo M., Ito K., Kaneko M. Effects of SCF Content, Injection Speed, And CF Content On the Morphology and Tensile Properties of Microcellular Injection-Molded CF/PP composites. *Polym. Eng. Sci.* 2019, (59), 1371–1380.
- [40] Xu Z., Gao C. Graphene Fiber: A New Trend in Carbon Fibers. *Mater. Today* 2015, (18), 480–492.
- [41] Sreenivasulu B., Ramji B., Nagaral M. A Review On Graphene Reinforced Polymer Matrix Composites. *Mater. Today: Proc.* 2018, (5), 2419–2428.
- [42] Li Y., Wang S., Wang Q. A Molecular Dynamics Simulation Study On Enhancement of Mechanical and Tribological Properties of Polymer Composites by Introduction of Graphene. *Carbon* 2017, (111), 538–545.
- [43] Zhao X., Wang X., Wu Z., Keller T., Vassilopoulos A.P. Temperature Effect On Fatigue Behavior of Basalt Fiber-Reinforced Polymer Composites. *Polym. Compos.* 2018, (40), 2273–2283.
- [44] Singh T.J., Samanta S. Characterization of Kevlar Fiber and Its Composites: A Review. *Mater. Today: Proc.* 2015, (2), 1381–1387.
- [45] Omrani E., Menezes P.L., Rohatgi P.K. State of The Art On Tribological Behavior of Polymer Matrix Composites Reinforced with Natural Fibers in The Green Materials World. *Eng. Sci. Technol. Int. J.* 2016, (19), 717–736
- [46] Ouarhim W., Zari N., Bouhfid R., Qaiss A. Mechanical Performance of Natural Fibers–Based Thermosetting Composites. In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, Woodhead Publishing: Sawston, UK, Cambridge, UK, 2019, 43–60.
- [47] Senthilkumar K., Saba N., Rajini N., Chandrasekar M., Jawaid M., Siengchin S., Alotman O.Y. Mechanical properties Evaluation of Sisal Fibre Reinforced Polymer Composites: A Review. *Constr. Build. Mater.* 2018, (174), 713–729.
- [48] Saxena M., Pappu A., Haque R., Sharma A. Sisal fiber Based Polymer Composites and Their Applications. In *Cellulose Fibers: Bio-and Nano-Polymer Composites*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2011, 589–659.
- [49] Shahza, A. Hemp fiber and Its Composites—A review. *J. Compos. Mater.* 2011, (46), 973–986.
- [50] Sullins T., Pillay S., Komus A., Ning H. Hemp Fiber Reinforced Polypropylene Composites: The Effects of Material Treatments. *Compos. Part. B-Eng.* 2017, (114), 15–22.
- [51] Ochi S. Mechanical Properties of Kenaf Fibers and Kenaf/PLA Composites. *Mech. Mater.* 2008, (40), 446–452.

- [52] Abdi B., Azwan S., Abdullah M.R., Ayob A. Flexural and Tensile Behaviour of Kenaf Fibre Composite Materials. *Mater. Res. Innov.* 2014, **(18)**, 6–184.
- [53] Ben Mlik Y., Jaouadi M., Rezig S., Khoffi F., Slah M., Durand B. Kenaf fibre-Reinforced Polyester Composites: Flexural Characterization and Statistical Analysis. *J. Text. Inst.* 2017, **(109)**, 713–722.
- [54] Huang K., Tran L.Q.N., Kureemun U., Teo W.S., Lee H.P. Vibroacoustic Behavior and Noise Control of Flax Fiber-Reinforced Polypropylene Composites. *J. Nat. Fibers* 2019, **(16)**, 729–743.
- [55] Habibi M., Laperrière L., Mahi Hassanabadi H. Replacing Stitching and Weaving in Natural Fiber Reinforcement Manufacturing, Part 2: Mechanical Behavior of Flax Fiber Composite Laminates, DOI: 10.1080/15440478.2018.1494079
- [56] Chen D., Pi C., Chen M., He L., Xia F., Peng S. Amplitude-Dependent Damping Properties of Ramie Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites with Varying Fiber Content. *Polym. Compos.* 2019, **(40)**, 2681–2689.
- [57] Du Y., Yan N., Kortschot M.T. The Use of Ramie Fibers as Reinforcements in Composites. *Biofiber Reinf. Compos. Mater.* 2015, 104-137
- [58] Panthapulakkal S., Sain M. Injection-Molded Short Hemp Fiber/Glass Fiber-Reinforced Polypropylene Hybrid Composites-Mechanical, Water Absorption and Thermal Properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 2006, **(103)**, 2432–2441.
- [59] Hanan F., Jawaid M., Md Tahir P. Mechanical Performance of Oil Palm/Kenaf Fiber-Reinforced Epoxy-Based Bilayer Hybrid Composites. *J. Nat. Fibers* 2018, 155-167
- [60] Ramesh M., Bhoopathi R., Deepa C., Sasikala G. Experimental Investigation On Morphological, Physical and Shear Properties of Hybrid Composite Laminates Reinforced with Flax and Carbon Fibers. *J. Chin. Adv. Mater. Soc.* 2018, **(6)**, 640–654.
- [61] Swolfs Y., Gorbatikh L., Verpoest I. Fibre Hybridisation in Polymer Composites: A Review. *Compos. Part. A-Appl. S.* 2014, **(67)**, 181–200.
- [62] Swolfs Y., Verpoest I., Gorbatikh L. Recent Advances in Fibre-Hybrid Composites: Materials Selection, Opportunities and Applications. *Int. Mater. Rev.* 2018, **(64)**, 181–215.
- [63] Ulcay Y., Akyol M., Gemci R. Polimer Esasli Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farkli Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi", 2010.
- [64] Chawla N., Shen Y.L. Mechanical Behavior of Particle Reinforced Metal Matrix Composites. *Adv. Eng. Mater.* 2001, **(3)**, 357–370.

- [65] Mallick P. Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FA, USA, 2007.
- [66] Tanzi M.C., Farè S. Foundations of Biomaterials Engineering, Matthew, D., Ed., Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, Academic Press, London, UK, 2019.
- [67] Tanzi M.C., Farè S. Foundations of Biomaterials Engineering, Matthew, D., Ed., Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, Academic Press, London, UK, 2019.
- [68] URL7:
https://www.researchgate.net/publication/323535066_2th_A_M_M_E_'2_003_Essence_of_polyphase_sintering_of_metal_matrix_composites_and_their_properties Download Citation of 2th A M M E '2 003 Essence of Polyphase Sintering of Metal Matrix Composites and Their Properties, 2021, (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2021).
- [69] Manickam G., Bharath A., Das A.N., Chandra A., Barua P. Thermoelastic Stability Behavior of Curvilinear Fiber-Reinforced Composite Laminates with Different Boundary Conditions. *Polym. Compos.* 2018, **(40)**, 2876–2890.
- [70] Fang K. Encapsulation Technologies for Electronic Applications, 2nd ed., Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019, 123–181.
- [71] Aditya Narayana D., Ganapathia M., Pradyumna B. Investigation of Thermo-Elastic Buckling of Variable Stiffness Laminated Composite Shells Using Finite Element Approach Based On Higher-Order Theory. *Compos. Struct.* 2018, **(211)**, 24–40.
- [72] Kelly J., Mohammadi M. Uniaxial Tensile Behavior of Sheet Molded Composite Car Hoods with Different Fibre Contents Under Quasi-Static Strain Rates. *Mech. Res. Commun.* 2018, **(87)**, 42–52.
- [73] Askeland D. R., Wright W. J. Science and Engineering of Materials, 7th ed, CL Engineering Press, England, 2015.
- [74] Schmidt C., Hocke T., Denkena B. Artificial Intelligence for Non-Destructive Testing of CFRP Prepreg Materials. *Production Engineering*, 2019, **(5)**, 617-626.
- [75] Shin J. H., Kim D., Centea T., Nutt S. R. Thermoplastic Prepreg with Partially Polymerized Matrix: Material and Process Development For Efficient Part Manufacturing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2019, **(119)**, 154-164.
- [76] Yeole P., Herring C., Hassen A., Kunc V., Stratton R., Vaidya U. Improve Durability and Surface Quality of Additively Manufactured Molds Using Carbon Fiber Prepreg. *Polymer Composites*, 2021, **(4)**, 2101-2111.

- [77] Deringer T., Gröschel C., Drummer D. Influence Of Mold Temperature And Process Time On The Degree Of Cure Of Epoxy-Based Materials For Thermoset Injection Molding And Prepreg Compression Molding. *Journal of Polymer Engineering*, 2018, (1), 73-81.
- [78] Baurova N. I., Zorin V. A. Current Prepreg-Formation Technologies. *Polymer Science, Series D*, 2017, (2), 156-159.
- [79] Islam A. I., Kelkar A. D. Fabrication and Characterization of Nanofiber Enhanced Prepregs. *MRS Advances*, 2017, (17), 951-956.
- [80] Jiang B., Zhang, M., Fu L., Zhou, M., Zhai Z. Molecular Dynamics Simulation on the Interfacial Behavior of Over-Molded Hybrid Fiber Reinforced Thermoplastic Composites. *Polymers*, 2020, (6), 1270.
- [81] Bouwman M. B., Donderwinkel T., Krämer E., Wijskamp S., Costa F. Overmolding - An Integrated Design Approach for Dimensional Accuracy and Strength of Structural Parts, in *CAMX 2016 - Composites and Advanced Materials Expo* (Anaheim, CA), 2016, 26–29.
- [82] Grujicic M. Injection Over Molding of Polymer-Metal Hybrid Structures. *Joining of Polymer-Metal Hybrid Structures: Principles and Applications*, 2018, 277-305.
- [83] Bakr M., Bossuyt F., Vanfleteren J., Su Y. Flexible Microsystems Using Over-molding Technology. *Procedia Manufacturing*, 2020, (52), 26-31.
- [84] Matsumoto K., Ishikawa T., Tanaka T. A Novel Joining Method by Using Carbon Nanotube-Based Thermoplastic Film for Injection Over-Molding Process. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2019, (13), 616-627.
- [85] Goodsell J., Miller J., Cutting R., Mansson Q. C., Pipes R. B., Mansson J. A. Simulation of Injection Over-Molding for High-Rate Composites Processing. *Association of Chamber of Commerce Executives*, 2017.
- [86] Vignesh R., Suganthan R., Prakasan K. Development of CAD Models from Sketches: A Case Study for Automotive Applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2007, (221): 41–47.
- [87] Hsiao SW., Tsai HC. Applying a Hybrid Approach Based On Fuzzy Neuralnetworkandgenetic Algorithm Toproduct Formdesign. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2005, (35), 411–428.
- [88] Ostrosi E., Bluntzer J B., Zhang Z., Stjepandi'c J. Car Style-Holon Recognition in Computer-Aided Design. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2019, (4), 719–738.
- [89] URL8:<https://www.skyfilabs.com/project-ideas/latest-projects-based-on-catia>, (Ziyaret tarihi: 12 Mart 2021).

- [90] URL9: <https://www.fiverr.com/youssefkar/do-3d-print-design-cad-design-and-in-catia>, (Ziyaret tarihi: 12 Mart 2021).
- [91] URL10: 2021.<https://www.24houranswers.com/subjects/Engineering/Catia>, (Ziyaret tarihi: 12 Mart 2021).
- [92] Ning H., Pillay S., Vaidya U. K. Design and Development of Thermoplastic Composite Roof Door for Mass Transit Bus. *Materials & Design*, 2009, (4), 983-991.
- [93] Belingardi G., Koricho E. G., Martorana B. Implementation of Composite and Recyclable Thermoplastic Materials for Automotive Bumper Subsystem. *International Journal of Automotive Composites*, 2014, (1), 67-89.
- [94] Labans E., Kalnins K., Skukis E., Lefort P., Dufour C., Trümper W., Callin T. Implementing of The Optimized Truck Seat Plate Made of Thermoplastic Gf/Pp Composite. *International Conference on Composite Materials*, 2015.
- [95] Pervaiz M., Panthapulakkal S., Sain M., Tjong J. Emerging Trends in Automotive Lightweighting Through Novel Composite Materials. *Materials Sciences and Applications*, 2016, (1), 26.
- [96] Ning H., Janowski G. M., Vaidya U. K., Husman G. Thermoplastic Sandwich Structure Design and Manufacturing for The Body Panel of Mass Transit Vehicle. *Composite structures*, 2007, (1), 82-91.
- [97] Yuce C., Karpas F., Yavuz N., Sendeniz G. A Case Study: Designing for Sustainability and Reliability in an Automotive Seat Structure. *Sustainability*, 2014, (7), 4608-4631.
- [98] Valverde M. A., Kupfer R., Wollmann T., Kawashita L. F., Gude M., Hallett S. R. Influence of Component Design On Features and Properties in Thermoplastic Overmoulded Composites. *Composites Part B: Engineering*, 2020, 132, 105823.
- [99] Kroll L., Meyer M., Nendel W., Schormair M. Highly Rigid Assembled Composite Structures with Continuous Fiber-Reinforced Thermoplastics for Automotive Applications. *Procedia Manufacturing*, 2019, (33), 224-231.
- [100] Galoone A., Ariante M., Fusco G., Flores F. F., Bizzarro G., Zinno A., Prota A. Thermoplastic Composite Structure for Mass Transit Vehicle: Design, Computational Engineering and Experimental Validation. In *15th European Conference on Composite Materials*, 2012, 24-28.
- [101] Bartus S. D., Vaidya U. K., Ulven C. A. Design and development of a long fiber thermoplastic bus seat. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2006,(2), 131-154.

- [102] Liu Q., Lin Y., Zong Z., Sun G., Li Q. Lightweight design of carbon twill weave fabric composite body structure for electric vehicle. *Composite Structures*, 2013, (97), 231-238.
- [103] Andrzejewski J., Przyszczykowski P., Szostak M. Development and characterization of poly (ethylene terephthalate) based injection molded self-reinforced composites. Direct reinforcement by overmolding the composite inserts. *Materials & Design*, 2018, (153), 273-286.
- [104] Joo S. J., Yu M. H., Kim W. S., Lee J. W., Kim H. S. Design and Manufacture of Automotive Composite Front Bumper Assemble Component Considering Interfacial Bond Characteristics Between Over-Molded Chopped Glass Fiber Polypropylene and Continuous Glass Fiber Polypropylene Composite. *Composite Structures*, 2020, (236), 111849.
- [105] Valverde M. A., Kupfer R., Kawashita L. F., Gude M., Hallett S. R. Effect of Processing Parameters On Quality and Strength in Thermoplastic Composite Injection Overmoulded Components. In ECCM18–18th *European conference on composite materials*, 2018, 8.
- [106] Boros R., Rajamani P. K., Kovács J. Thermoplastic Overmolding onto Injection-Molded and in Situ Polymerization-Based Polyamides. *Materials*, 2018, (11), 2140.
- [107] URL11: <https://composite.kordsa.com/en/images/pdf/product/OM10.pdf>, (Ziyaret tarihi: 12 Mart 2021).
- [108] URL12: <https://polyram-group.com/product/polytron-p40b01-s/>, (Ziyaret tarihi: 12 Mart 2021).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Birçiçek S.**, Bora M.Ö., Arkın E., Yakar B., Erturk E., Godek E.. Design and Analysis of Thermoplastic Prepreg Based Heavy Commercial Vehicle Seat. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 11 Aralık 2020, 98-105.



ÖZGEÇMİŞ

Lise öğrenimini Bursa Tophane Anadolu Teknik Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü'nden 2012 yılında mezun oldu. 2015 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Kalite Yönetimi Yüksek Lisans Eğitimini 2017 yılında başarı ile tamamlamıştır. 2018- 2019 bahar yarıyılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Bilim ve Teknolojisi Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2012 yılından itibaren otomotiv özelinde özel sektörde plastik ürün geliştirme mühendisi olarak kariyerine devam etmektedir.

