

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TFP TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK SIKIŞTIRMALI
KALIPLAMA TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ TERMOPLASTİK
MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM TUTMA SÜRESİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

HASAN KARA

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TFP TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK SIKIŞTIRMALI
KALIPLAMA TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ TERMOPLASTİK
MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM TUTMA SÜRESİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

HASAN KARA

Doç. Dr. Mustafa Özgür BORA
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK
Jüri Üyesi, Karabük Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Alp Eren ŞAHİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 20.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ile ve kurallar uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

Beyan ederim.

- Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum tarafından maddi desteği ile desteklenmemiştir.
- Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ... tarafından – no'lu proje kapsamında maddi desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hasan KARA

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izimle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Hasan KARA

ÖNSÜZ VE TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans çalışmasında TFP teknolojisiyle üretilmiş termoplastik matrisli kompozitlerin sıkıştırılmalı kalıplama ile üretimlerindeki tutma sürelerinin, malzemenin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek en ileriki aşamalarda gerçekleştirilecek proses çalışmalarına yardımcı olması hedeflenmektedir. Bunun yanında, mekanik özellikler ile alternatif malzeme olabilmemesinin çalışmalarına yardımcı olması hedeflenmiştir.

Termoplastik matrisli kompozitlerin proses parametrelerine ek olarak, numunelerden çıkan sonuçlar ile birlikte, malzemenin otomobillerde ağırlık azaltmada, çevre emisyon değerlerinin yakalanması ve normlara uygunluk için, metal ve türevlerinin yerine kullanıp kullanılamayacağı araştırmalarına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Öncelikle sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesiyle tez konumun belirlenmesinde yardımcı olan, çalışmanın her detayında beni bilgilendiren ve yol gösteren, çalışmanın bu düzeye gelmesinde büyük emeği olan değerli tez danışmanım sayın Doç.Dr. Mustafa Özgür BORA'ya teşekkür ederim. Tez çalışmasında yer alan malzeme seçimi ve malzemelerin üretilmesinde, deneylerin yapılmasında bana eşlik eden ve yardımcı olan Emine BAŞ'a teşekkür ederim. Tezimde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bünyesinde bulunan ekipmanları kullanmama izin vere PLASCAM A.Ş. yönetimine ayrıca teşekkür ederim. Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Neziha KARA ve babam Ali KARA'ya, beni her konuda her zaman destekleyen bu süreçte beni motive ettiği ve cesaretlendirdiği, aynı zamanda ondan esirgediğim zamana karşı göstermiş olduğu anlayış ve sabır için eşim Tuğçe KARA'ya, ayrıca tezin son günlerinde dünyaya gözlerini açan oğlum Doruk KARA'ya tüm kalbimle teşekkür ederim.

Aralık – 2021

Hasan KARA

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÜZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Otomotiv Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı ve Gereksinimi	3
2.2. Geçmişten Günümüze Araçlarda Kullanılan Malzemelerin Değişimi	11
2.3. Polimer ve Polimer Matrisli Kompozitlerden İmal Edilmiş Otomobil Bileşenleri	14
2.3.1. Otomobilin Dış Parçalarında Kullanılan Polimer ve Polimer Matrisli Kompozitler	15
2.3.1.1. Tampon ve çamurluk	16
2.3.1.2. Ön, Arka ve İç Lambalar (Aydınlatmalar)	17
2.3.2. İç Trim Parçalar Kullanılan Polimer ve Polimer Matrisli Kompozitler	18
2.3.3. Görünmeyen Kaput Altı Parçalar	19
2.4. Kompozit Malzemeler	20
2.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	22
2.5.1. Kompozit Malzemelerin Takviye Cinsine Göre Sınıflandırılması	22
2.5.2. Kompozit Malzemelerin Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma	25
2.5.2.1. Metal Matrisli Kompozitler	27
2.5.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler	28
2.5.2.3. Polimer Matrisli Kompozitler	28
2.5.2.4. Termoset Matrisli Kompozitler	30
2.5.2.5. Termoplastik Matrisli Kompozitler	31
2.6. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	34
2.6.1. Termoplastik Matrisli Kompozitlerin Üretimi	35
2.6.1.1. Presli Kalıplama (Compression Molding)	38
2.7. Otomotiv Parçalarında İklimlendirme (Çevresel) Testler	44
2.8. Tezin İçeriği ve Önemi	45
3. LİTERATÜR TARAMASI	46
4. MALZEME VE METHOD	59
4.1. Kullanılan Malzemeler	59
4.2. Özel Fiber Yerleştirme (TFP) ile GF/PA6 Kumaş Örülmesi	61
4.3. Sıkıştırılmalı Kalıplama Tekniği ile GF/PA6 Kompozit Numunelerin Üretimi	63
4.4. İklimlendirme İşlemlerinin Klimatik Kabinde Uygulanması	67
4.5. Mekanik Testler	69
4.5.1. Çekme Testi	70
4.5.2. Üç Nokta Eğme Testi	72
4.5.3. Darbe Testi	74
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	76

5.1. Farklı Tutma Süreleri Altında Sıkıştırılmalı Kalıplama Yöntemiyle Üretilen GF/PA6 Kompozitlerin Çekme Davranışlarının İncelenmesi	76
5.2. Farklı Tutma Süreleri Altında Sıkıştırılmalı Kalıplama Yöntemiyle Üretilen GF/PA6 Kompozitlerin Üç Nokta Eğme Davranışlarının İncelenmesi	80
5.3. Farklı Tutma Süreleri Altında Sıkıştırılmalı Kalıplama Yöntemiyle Üretilen GF/PA6 Kompozitlerin Darbe Dayanımı Davranışlarının İncelenmesi	85
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	91
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	98
ÖZGEÇMİŞ	99



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Avrupa binek otomobilleri için yıllara göre CO ₂ emisyon değerleri standartları ve önerilen hedefler	8
Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi ve otomotiv ile havacılık endüstrilerindeki ana uygulamaları	9
Şekil 2.3. Kompozit malzemelerin kullanıldığı sektörler	10
Şekil 2.4. Yıllara göre otomobillerde kullanılan malzemeler ve değişimleri	12
Şekil 2.5. Otomobilde kullanılan polimer çeşitleri ve kullanıldıkları kısımlar	13
Şekil 2.6. Otomobil komponentlerinin bulundukları lokasyonlar	14
Şekil 2.7. Bir otomobilde polimer ve kompozit malzemelerin kullanıldığı kısımlar	15
Şekil 2.8. Örnek bir otomobil ön ve arka tampon parçaları	17
Şekil 2.9. Otomotiv polimer matrisli iç trim parçalarından bazıları	19
Şekil 2.10. Ferrari FF-2011 model kaput altı emme manifoldu	20
Şekil 2.11. Takviye elemanına göre kompozit malzemeler	23
Şekil 2.12. Kompozit malzeme sınıflandırılmasına örnekler	24
Şekil 2.13. Kompozit malzemelerin matris elemanına göre sınıflandırılması	26
Şekil 2.14. Hem reaktif hem de eriyik işleme için çeşitli matris malzemelerin eriyik viskoziteleri ve işleme sıcaklıkları	29
Şekil 2.15. Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin şematik gösterimi	34
Şekil 2.16. TFP konsepti: (1) iğne, (2) dikiş ipliği, (3) ana malzeme, (4) TFP tutacak ekipmanı, (5) takviye şerit ipliği, (6) yardımcı iplik (kol/rondela)	36
Şekil 2.17. TFP üretim sürecinin prensibi	38
Şekil 2.18. Presli kalıplama prosesi şematik anlatımı	39
Şekil 2.19. Presli kalıplama prosesinin şematik 4 adımda gösterimi, (A) Mamulün kalıp boşluğuna yüklenmesi, (B) Basınç ve ısı ile mamulün sıkıştırılması ve şekillenmeye başlanması, (C) Belli bir sıcaklık ve basınç altında şekillendirmenin tamamlanması, (D) Soğuma ve parçanın kalıptan ayrılması	40
Şekil 2.20. Presli kalıplama sisteminin temel şematik görünümü	41
Şekil 2.21. Sıkıştırma kalıplama arasında sıcaklık ve basınç değişimi	42
Şekil 2.22. Kalıp kapanma hızının kapama kuvvetine etkisi	43
Şekil 2.23. Kalıp şarj sıcaklığının kalıp kapama kuvveti üzerindeki etkisi	43
Şekil 3.1. Tek yönlü karbon/PEEK kompozit plakaların üretim verileri	48
Şekil 3.2. Tek yönlü karbon/PEEK kompozit üç farklı sıcaklık (380 °C, 410 °C ve 440 °C) ile üç farklı tutma süresi (20 dk, 40 dk ve 60 dk) altında üretimler sonunda elde edilen plakaların eğilme dayanımı ve eğilme modülünün sonuçları	48
Şekil 3.3. Özel fiber yerleştirme ve geleneksel delme kullanılarak oluşturulan numuneler	49
Şekil 3.4. Farklı tasarımla üretilen numunelerin çekme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	50
Şekil 3.5. GF/PA6 kompozitleri için yük ve yer değiştirme eğrileri	52
Şekil 3.6. GF/PA6 kompozitleri için yük ve yer değiştirme sonrası meydana gelen geometrik şekil	52
Şekil 3.7. Farklı kusurlar altındaki kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması	53
Şekil 3.8. a) çekme dayanımının kalıp sıcaklığına göre sonuçları b) eğilme dayanımının kalıp sıcaklığına bağlı değişimi c) eğilme modülünün sıcaklığa bağlı değişimi	54

Şekil 3.9. Proses parametrelerinin aşamalarının grafiksel gösterimi	55
Şekil 3.10. Fiber oryantasyonlarına göre çekme mukavemeti sonuçları	57
Şekil 3.11. Farklı sıcaklık basınç ve tutma süresi parametrelerinde kenevir fiber/PLA kompozitlerin çekme mukavemeti karşılaştırılması	58
Şekil 3.12. Farklı sıcaklık basınç ve tutma süresi parametrelerinde kenevir fiber/PLA kompozitlerin elastik modülü karşılaştırılması	58
Şekil 4.1. 1200 TYPE 30 single-end rovings ürünün sarılı halde örneği	59
Şekil 4.2. ZSK W-Head tekniğinin çalışma prensibine bir örnek	61
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan numunelerin TFP üretilmiş şekilleri	62
Şekil 4.4. Plascam firması tarafından tasarlanıp üretilen 160 bar kapasiteli hidrolik pres	63
Şekil 4.5. a) Kalıp kapalı pozisyonu, b) Kalıp açık dişi taraf, c) Kalıp açık erkek taraf, d) Kalıp arasına seperatör koyulmuş açık durumu tasarımları	64
Şekil 4.6. Hidrolik pres sistemine entegre edilmiş Roctool sisteminin şematik gösterimi	65
Şekil 4.7. Hidrolik pres altında a) kalıp açık pozisyonda, b) Kalıp kapanma evresi ve ön ısıtma c) Kalıp kapalı	65
Şekil 4.8. TFP ile üretilmiş numunelerin 2mm kalınlığa sahip gözde üretimi	66
Şekil 4.9. Sembolik olarak GF/PA6 kompozitlerin 5.30 dk.'lık tutma süresi altında sıkıştırılmalı kalıplama tekniği ile üretimi	66
Şekil 4.10. Termal yaşlandırma cihazı Plascam firması bünyesinde bulunan Discovery markasının DM1200C	67
Şekil 4.11. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 numunelerin kısa termal çevrimin etkisini görebilmek amacıyla çekme, üç nokta eğme ve impact test numuneleri iklimatik kabinde	69
Şekil 4.12. ISO 527 standardına göre çekme test numunelerin şematik görüntüsü ve ölçüsel sembolleri	70
Şekil 4.13. ISO 527 standardının Tip B isterlerine göre hazırlanmış ve üzerine kayma durumunun kontrolü için işaretli kupon numune	71
Şekil 4.14. ISO 527 standardına göre hazırlanan kupon numunelerin Shimadzu AGS-X cihazında çekme testleri	72
Şekil 4.15. Kenarlarda sabit destekler ve yükleme burnu ile üç nokta eğme konfigürasyonu	73
Şekil 4.16. Shimadzu AGS-X test cihazında farklı tutma sürelerinde üretilen GF/PA6 üç nokta eğme test anı a) Test başlangıç, b) Test anı, c) Test sonu	73
Şekil 4.17. Su jetiyle kesilen GF/PA6 numuneler, koşullandırıldıktan sonra Zwick/Roell markasına ait HIT25P test cihazında testleri gerçekleştirilmesi	74
Şekil 4.18. Charpy darbe testinin standarda uygun şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla çekiç konumunun gösterilişi	75
Şekil 5.1. Kısa termal çevrim uygulanmamış referans numunelerin üç nokta eğme testi sonrasındaki deformasyonların görsel incelenmesi	84
Şekil 5.2. Kısa termal çevrim uygulanmış referans numunelerin üç nokta eğme testi sonrasındaki deformasyonların görsel incelenmesi	85

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2.1. Dünya araç üretim adetleri	3
Tablo 2.2. Otomotiv malzemelerinin uygulama alanları ile avantaj ve dezavantajları	6
Tablo 2.3. Fiber ve geleneksel metal malzemelerin bazı özellikleri	11
Tablo 2.4. Bazı fiberlerin bazı avantaj ve dezavantajları	23
Tablo 2.5. Cam fiberlerin ağırlıkça yüzdesel olarak kimyasal bileşenleri	24
Tablo 2.6. Cam fiber türlerinin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini karşılaştırılması	25
Tablo 2.7. Kompozit malzemelerin başlıca matris elemanlarının özellikleri	26
Tablo 2.8. Magnezyum ve alüminyum matrisli metal matrisli kompozitlerden	27
Tablo 2.9. Termoset polimerlere ait reçine çeşitleri ve uygulama alanları	31
Tablo 2.10. Çeşitli termoplastik polimerlerin özellikler ve otomobillerde kullanıldıkları alanlar	33
Tablo 2.11. İleri tekstil üretim tekniklerinin karşılaştırılması	35
Tablo 3.1. CFRP esaslı malzemede uzun fiber takviyeli poliakrononitril (PAN) bazlı karbon fiber malzemesinin teknik özellikleri	46
Tablo 3.2. Test numunelerinin üretim parametreleri	46
Tablo 3.3. Test numunelerine ait mekanik test sonuçları	51
Tablo 3.4. Sürekli fiber termoplastik kompozit malzemeler ve tanımlamaları	51
Tablo 3.5. 2D-T700/E44 kompozit numunelerin hazırlamak için geliştirilmiş sıkıştırılmalı kalıplamanın işlem parametreleri	53
Tablo 3.6. PA6 fiberlerinin parça özellik parametreleri	54
Tablo 3.7. Üretim proses koşulları sıcaklık, basınç ve zaman	55
Tablo 3.8. Proses işlemleri sonucu numunelerdeki gözenek(boşluk) değerleri	56
Tablo 3.9. Fiber oryantasyon değişimleri sonucunda impact test sonuçları	56
Tablo 4.1. SE 1200-735 Tex (675 Yield) malzemesinin mekanik özellikleri.....	60
Tablo 4.2. Üretim de kullanılan özel üretilen PA6 ipliklerin özellikleri	60
Tablo 4.3. Poliyamid Dispersionu olan Hydrosize PA845H boyutlama malzemesi fiziksel özellikleri	61
Tablo 4.4. Deney numunelerinin hazırlandığı W-Head prensibine sahip makinenin özellikleri	62
Tablo 4.5. Discovery DM1200C cihazının teknik özellikleri	68
Tablo 4.6. ISO 527 standardına göre çekme test numunelerin ölçüsel değerleri	71
Tablo 5.1. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin kısa termal çevrim ve tutma süresi etkilerine göre elastik modül değerlerinin değişimi	77
Tablo 5.2. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin kısa termal çevrim ve tutma süresi etkilerine göre çekme dayanımı değerlerinin değişimi	78
Tablo 5.3. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin kısa termal çevrim ve tutma süresi etkilerine göre eğme modülü değerlerindeki değişim	81
Tablo 5.4. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin kısa süreli termal çevrim uygulanmış ve uygulanmamış farklı tutma sürelerinde üretilen numunelerin eğme dayanım sonuçlarındaki değişim	83

Tablo 5.5. Sıkıştırılmal kalıplama ile farklı tutma sürelerinde üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin darbe dayanımı değerlerinin kısa süreli termal çevrim etkisine göre değişimi	86
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C:	: Santigrat Derece
Ph	: Power of hydrojen (hidrojenin gücü)
mm	: milimetre

Kısaltmalar

CO ₂	: Karbondioksit
FRP	: Fiber Takviyeli Polimer (Fiber Reinforced Plastics)
PP	: Polipropilen
PUR	: Poliüretan
PA	: Poliamid
UV	: Güneş ışınları ultraviyole ışık
HDPE	: High Density Poly Ehlene (Yüksek Yoğunluklu Pelietilen)
PBT	: Polibütillen Tereftalat
POM	: Polioksimetilen
ABS	: Akrlonitril Bütadien Stiren
PC	: Polikarbonat
CCV	: Composite Concept Vehicle (Kompozit Konsept Araç)
GF	: Glassfiber (Cam fiber)
PET	: Polietilentereftalat
PU	: Poliüretan
PVS	: Polivinilklorid
PVC	: Polivinil klorür
GMT	: Çam Keçe Takviyeli Termoplastik
PPE	: Polifenilen Eter
PBT	: Polibütillen Tereftalat
SiO ₂	: Silika
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
C	: Karbon
SiC	: Silisyum Karbür
PE	: Polietilen
TFP	: Özel Fiber Yerleştirme (Tailored Fiber Placement)
OEM	: Orijinal Ekipman Üreticisi (Original Equipment Manufacture)
PAN	: Poliakronitril
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit
GFRP	: Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozit
VARTM	: Vakum destekli reçine transfer yöntemi
CF/PA6	: Karbon Fiber Takviyeli Poliyamid (Naylon) 6
GF/PA6	: Cam Fiber Takviyeli Poliyamid 6
HIPS	: Yüksek Darbe Dirençli Polistiren
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen

TFP TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK SIKIŞTIRMALI KALIPLAMA TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ TERMOPLASTİK MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM TUTMA SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Günümüzde çevresel kirlilik, küresel iklim krizi nedeniyle alınan kararlar doğrultusunda taşıtların çevreye verdiği zararların azaltılması istenilmektedir. Bunun için de tasarımsal ve teknolojik gelişmelerin yanında mevcut malzemelerin yerine taşıtın ağırlığını azaltabilen, bunu yaparken de istenilen mekanik özelliklerinde sağlanabildiği malzemeler araştırılmaktadır. Bu malzemelerden arasında termoplastik matrisli kompozitler de yer almakta olup, bu çalışmada cam fiber (GF)-poliamid (PA6)'ın TFP teknolojisinin yardımıyla fiber dokuma tekniği ile numuneler üretilerek, sıkıştırılmalı kalıplama prensibinde, Roctool sistemi yardımıyla üretimler, 16 bar basınç ve 300 °C sıcaklık sabit parametrelerinde 4.30 – 5.00 ve 5.30 dk tutma sürelerinde mekanik testler için gerekli plakaların üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen plakaların ebatları 305 mm x 305 mm olup, standartlarda belirtilen ebatlara getirebilmek amacıyla numuneler su jetinde kesilmiştir. Farklı tutma sürelerinde üretimler gerçekleştirilmiş olup, tutma sürelerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmek üzere ISO 527 standardına göre çekme testine, ASTM D 7264/ D 7246 standardına göre üç nokta eğilme testine ve ISO 179-1 test standardına göre de darbe testine kompozit numuneler tabi tutulmuştur. Ayrıca otomotiv sektöründe kullanılan parçalardan istenilen iklimlendirme testinin GF-PA6 kompozit malzeme üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla kısa süreli termal yaşlandırma çevrimlerine tabi tutulup, iklimlendirme öncesi numunelerde mekanik testlerle elde edilen mekanik test sonuçlarına göre karşılaştırmaları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklimlendirme, Mekanik Davranış, Özel Fiber Yerleştirme Tekniği, Sıkıştırılmalı Kalıplama, Tutma Süresinin Etkisi.

THE EFFECT OF HOLDING TIME ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF TFP PRODUCED THERMOPLASTIC MATRIX COMPOSITES UNDER COMPRESSION MOLDING PROCESS

ABSTRACT

It is desired to reduce the damage caused by vehicles to the environment in line with the decisions taken due to the global climate crisis caused by environmental pollution nowadays. The design and technological developments are besides, materials that can reduce the weight of the vehicle instead of existing materials and provide the required mechanical properties that will be used and are doing developed for these problems. In this study, the composite fabrics were produced with the fiber weaving technique with the help of TFP technology of glass fiber (GF)-polyamide (PA6) then they were produced in the compression molding process with help of the Roctool system, with compression molding process parameters at 16 bar pressure and 300 °C. The samples of production were cut with waterjet in order to bring them to the dimensions specified in the standards which the dimensions of the produced plates are 305 mm x 305 mm. In order to examine the effect of holding times on mechanical properties, different holding times produced composite samples were subjected to tensile test according to ISO 527 standard, three-point bending test according to ASTM D 7264/ D 7246 standard, and impact test according to ISO 179-1 test standard. In addition, the other purpose is to investigate the effect of the environmental acceleration to use the parts in the automotive industry. So, the production samples were tested the climatization test requested according to the automotive industry standard which GF/PA composite materials. After that, they were subjected to short-term thermal aging cycles and compared the references samples which they were tested previously.

Keywords: Accelerated Weathering, Compression Molding, Holding Time, Mechanical Properties, Tailored Fiber Placement.

1. GİRİŞ

Artan insan nüfusu ve bu artışa paralel olarak ihtiyaçların artmasıyla birlikte doğal kaynakların yetersiz olmasıyla başlayan yapay, doğaya zarar veren maddelerin kullanılması, çevresel kirliliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İnsan hayatının bir parçası olan enerji, doğal kaynaklardan çok fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların kullanılması sonucu da iklimsel değişiklikler başlamakta olup, çeşitli kuruluşlar tarafından dillendirilmektedir. Son yıllarda hükümetlerinde bu duruma sessiz kalmaması sonucu hayatımıza giren yeni amaçlar ve hedefler çıkmaktadır. Bu hedeflerden biri de otomobillerde emisyon değerlerinin düşürülmesi ve hedeflenen yıllarda sıfırlanması üzerinedir. Otomobillerde kullanılan fosil yakıttan çıkan zehirli gazların miktarı, araç ağırlığı ile doğrudan ilişkilidir. Otomobil üreticileri, bilimsel gelişmeleri yakından takip etmekte ve kendisi için avantaj sağlayacak çalışmaları kendi bünyesine katarak otomobillerine uyarlamaktadır. Emisyon değerlerindeki hedefleri tutturabilmek için otomobil üreticileri geleneksel malzemelerine alternatif malzemeler kullanmaktadırlar. Alternatif malzeme seçimlerinde yerine geçecek malzemedeki fonksiyonelliğinin, mekanik ve kimyasal özelliklerinin ona yakın veya daha iyi olmasını beklenmektedir. Otomobillerin üzerindeki parça sayısının binlerle ifade edildiğini düşünülürse, bir malzeme değişikliği ile onlarca farklı otomobil parçası etkilenebilmektedir. Otomobil sektörü için normal standartların dışında ayrıca firmaların belirledikleri özel standartlar da malzeme seçimi hakkında sınırlamalar sunmaktadır. Bu standartlar içinde özellikle otomobilde kullanılan yapısal parçaların çevresel şartlar altında mekanik davranışlarının incelenmesi gerekliliğidir. Gelişen teknolojiyle kompozit malzemelerin otomobil yapısal parçalarında daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başladığı ve bu malzemelerle üretilen parçaların otomotiv sektörü için daha cazip hale gelebilmesi için daha detaylı teknik bilgilerin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada özel fiber yerleştirme tekniği (TFP) kullanılarak üretilen tek yönlü sürekli E-Cam fiber takviyeli Polyamid-6 (PA6) kumaşların sıkıştırılmalı kalıplama üretim yöntemiyle termoplastik matrisli kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırılmalı kalıplama üretim yönteminde üç farklı üretim tutma süresi (4.30 dk, 5.00 dk ve 5.30 dk) seçilmiştir. Üretim tutma süresindeki değişimin E-Cam fiber/PA6 kompozit malzemesinin mekanik özelliklere etkisi öncelikle incelenmiştir. Bu bağlamda çekme, üç nokta eğilme ve darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında otomotiv sektörünün beklediği isterlerden biri olan termal

yaşlandırma etkisi incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla TFP teknolojisiyle üretilen ve sıkıştırmalı kalıplama üretim yöntemi kullanılarak (üç farklı tutma süresi) E-Cam fiber/PA6 kompozit malzemeler elde edilmiştir. Üretilen kompozit numuneler su jetiyle istenilen standartta kesildikten sonra kısa süreli termal yaşlandırmaya bırakılmıştır. Termal yaşlandırılmış kompozit numunelerin mekanik özellikleri çekme, üç nokta eğilme ve darbe testleriyle belirlenerek işlemsiz numunelerin mekanik özellikleriyle karşılaştırma yapılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Otomotiv Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı ve Gereksinimi

Tarih boyunca insanlar sürekli olarak bir yerden bir yere hareket halindedirler. Bu hareketlilik kimi zaman kısa mesafeli kimi zaman ise uzun mesafeli olmaktadır. İlk çağlarda yürüyerek kat edilen mesafeler daha sonraları atların evcilleştirilmesiyle kolaylaşmıştır ve at arabaları ile seyahat şeklini almıştır. Tarih içerisinde yaşanan olaylar bilimsel çalışmaları hızlandırmıştır ve sanayi devrimi gerçekleşmiştir. Sanayi devrimiyle birlikte, bilimsel çalışmalar ulaşım ve seyahat alanlarında da kendini göstermiştir. Bu gelişmeler sayesinde 1900’lü yılların başında ilk taşıtların keşfedilmesi ile birlikte otomobiller hayatımıza girmeye başlamıştır. Otomobiller ilk zamanlarda pahalı ve erişilmesi güç olmakla birlikte çok fazla eleştirilmekteydi. Günümüzde otomobiller hayatımızın vazgeçilmez parçalarından biri haline gelmiştir. İlk otomobilin üretilmesinden bu yana üretim adetleri katlanarak artmış olup, Tablo 2.1’de 2019 yılına ait otomotiv üretim adetlerini değerlendirerek, sektörün büyüklüğü gösterilmektedir (OCIA, 2019). 2019 yılında ki verilerden anlaşılabacağı üzere, bazı firmaların saniye de bir adet araç üretimi yapmaktadır.

Tablo 2.1. Dünya araç üretim adetleri (OCIA, 2019)

Üretim Yapılan Ülke veya Bölgeler	Üretim Adetleri (2019)
Avrupa	21,312,082
Türkiye	1,461,244
NAFTA	16,783,398
Güney Amerika	3,319,361
Asya ve Okyanusya	49,266,873
Afrika	1,105,147

Otomobil sektörünün büyüklüğü nedeniyle, ülkeler ve firmalar tarafından sektör dikkatli bir şekilde yakından izlenilmektedir. Birden fazla üreticinin sektörde yer alması rekabeti arttırmaktadır. Yapılan çalışmaların ve değişikliklerin iyi yönde ve yararlı olması durumunda, tüm firmalar değişikliğe ayak uydurmaya çalışmaktadır. Firmaların Ar-Ge merkezlerine yaptıkları yatırımlar hatırı sayılır boyutlarda olmak ile birlikte, firmanın tüm çalışanları yeniliklere hızlı ayak uydurabilmektedir. Bu çalışmaların amacı sürekli olarak değişen normlara ve teknolojik gelişmelere adapte araçların geliştirilmesi, tasarlanması ve üretilmesidir.

Yapılan çalışmaların yoğunlaştığı alanlardan biri de otomobillerde kullanılan malzemelerin geliştirilmesi veya değiştirilmesi yönündedir. Araçların tasarımı ve teknik özellikleri araçlarda kullanılan malzemeler ile doğru orantılı değişmektedir. Bir tasarımcı hayalindeki aracı çizim programlarında tasarlayabilmektedir. Tasarlanan otomobiller malzemelerin ve teknolojinin izin verdiği oranda üretilebilmektedir. Bir araçta genel olarak ana yapısal parçalarda demir esaslı ve alüminyum alaşımlı malzemeler kullanılmaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle, kullanıcıların ve uluslararası standardizasyon firmalarının isterlerinde dolayı, polimerik malzemeler ve polimer matrisli kompozitlerden oluşan yapılar kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle yakıt tasarrufu, CO₂ emisyon salınımı, hafiflik ve ergonomik beklentiler/istekler sebebiyle yeni nesil spesifik dayanımı yüksek, yüksek korozyon direncine sahip, kimyasal bileşenlere karşı yüksek direnç, akıllı yapı üretimine uygunluk ve düşük yoğunlukları sebebiyle otomobil üreticileri son yıllarda polimer matrisli kompozit malzemelerden hem yapısal hem de ergonomik otomobil parçaları tasarlayıp üretmektedir.

Otomobil endüstrisi, daha yüksek yakıt verimliliği, çevre ve performans taleplerini, rekabetçi maliyetlerle karşılamak için tüm zamanlardan daha fazla baskı altındadır. Plastik ve polimer kompozitlerin yanı sıra çelik, alüminyum ve magnezyum gibi tüm malzeme endüstrileri, otomotiv endüstrisinin değişen ihtiyaçlarına cevap vermek için çalışmaktadır. Son yıllarda, polimer matrisli kompozitler, araçların ağırlığının azaltılmasına yardımcı olurken ve müşterilere değerli ürünler sunarken, otomobillerin görünümünün, işlevselliğinin ve güvenlik standartlarının iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. Devletlerin kararları ile değişen düzenlemeler ve son teknolojik yenilikler, otomobil endüstrisini gelecekteki zorlukları aşabilmek ve fırsatları yakalayabilmek amacıyla gelişmiş plastik ve polimer kompozitlerin kullanımı arttırmaya teşvik edilmektedir (Todor ve diğ., 2016). Fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin, hafifliği, biyolojik olarak parçalanabilirliği yüksek mukavemeti, yüksek sertliği, iyi korozyon direnci ve düşük sürtünme katsayısı nedeniyle, otomobillerden havacılık uygulamalarına kadar mekanik ve tribolojik özelliklerde önemli olan birçok uygulama alanı bulunmaktadır (Çakmakkaya ve diğ., 2019).

Uluslararası topluluk ve ülkelerin enerji tüketimine ilişkin düzenleyici kısıtlamaları, son 30 yılı aşkın süredir araç gelişiminde ön plana çıkmaktadır. Ortadoğu'da artan

huzursuzluk ve hızla artan petrol talepleriyle oluşan fiyat artışları, popüler basında yaygın olarak dile getirilen küresel ısınma ve diğer çevresel kaygılar ile birlikte, araç verimliliğini arttırmaya yönelik teknolojik gelişmeler, küresel otomobil pazarında rekabet gücü için giderek önemli hale gelmektedir. Araçların hafifletilmesi, yakıt verimliliğini artırmakla birlikte, araç emisyonlarını düşürmekte ve sürüş performanslarını iyileştirmeye yardımcı olmaktadır. Davlumbazlar ve güverte kapakları gibi hafif ağırlıklı alt sistemlerde, ağırlık tasarrufları çalışmaları endüstride halihazırda yapılmaktadır. Esas olarak, araç verimliliğindeki önemli gelişmeler için, kütlede daha büyük değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bu verimlilik için birincil hedef, standart çelik konstrüksiyon aracın boş ağırlığının %20-25'ni oluşturan araç iskeleti (BIW-Body In White)'dir. BIW'ın ağırlığını azaltmak için iki ana strateji belirlenmiş olup, bunlar tasarım değişiklikleri ve malzeme ikamesidir. Tasarım alternatifleri, tek yönde en verimli olmakla birlikte, sıklıkla kullanılan yöntemdir. Fakat avantajlı konuma gelebilmek için, BIW ağırlığını daha fazla azaltabilmek amacıyla malzeme ikamesi yöntemi kullanılmalıdır. Malzeme ikamesi için öne çıkan malzemeler arasında, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP – Carbon Fiber Reinforced Plastics) ve cam fiber takviyeli polimer (GFRP- Glass Fiber Reinforced Plastics) kompozitler incelenmektedir (Fuchs ve diğ., 2008).

Ürün geliştirme sürecinde malzeme seçimin önemi geçmişten günümüze iyi bilinmektedir. En iyi ve optimum malzemeyi seçmek için, sistematik bir yöntem geliştirmek kolay bir iş olmamakla birlikte, seçim sürecini etkileyen bir dizi faktör bulunmaktadır. Malzeme seçiminde gerekli iki ana neden bulunmaktadır: Birincisi, mevcut bir ürünü daha iyi performans, daha düşük maliyet, artan güvenlik katsayısı ve ağırlığın azaltılması için tasarlamak; ikincisi ise yeni ürün için malzeme seçmektir. Otomotiv kompozit malzemeleri, takviyeli plastikler ve polimerler, geleneksel otomotiv malzemelerine kıyasla darbe dayanımı, kolay kalıplanabilirlik, geliştirilmiş estetik tasarım ve ağırlığın azaltılabilmesi gibi gelişmiş özellikler sunmakta olup, otomobillerin hafifleştirilmesi için yaygın olarak tercih edilen alternatiflerdendir. Kompozit malzemelerin kullanılması otomobil endüstrisinde, parça ağırlığının azaltılması ile, maksimum kütle azaltılmasını sağlamakta ve karbon emisyonu azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Fentahun ve diğ., 2018).

Tasarım sırasında, parçanın bulunduğu alana göre, malzemelerin avantajları ile dezavantajları göz önünde bulundurularak malzeme seçimi gerçekleştirilmektedir. Tablo 2.2’de görüldüğü üzere kompozit ve plastikler; yolcu kabinleri, tavan ekipmanları, tekerlek jant kapakları ve araç içi trim malzemeleri gibi görünür alanlarda ya da görünmeyen bölgelerde, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, iyi sertlik, iyi korozyon direnci ve kimyasal direnç avantajları nedeniyle tercih edilmektedir.

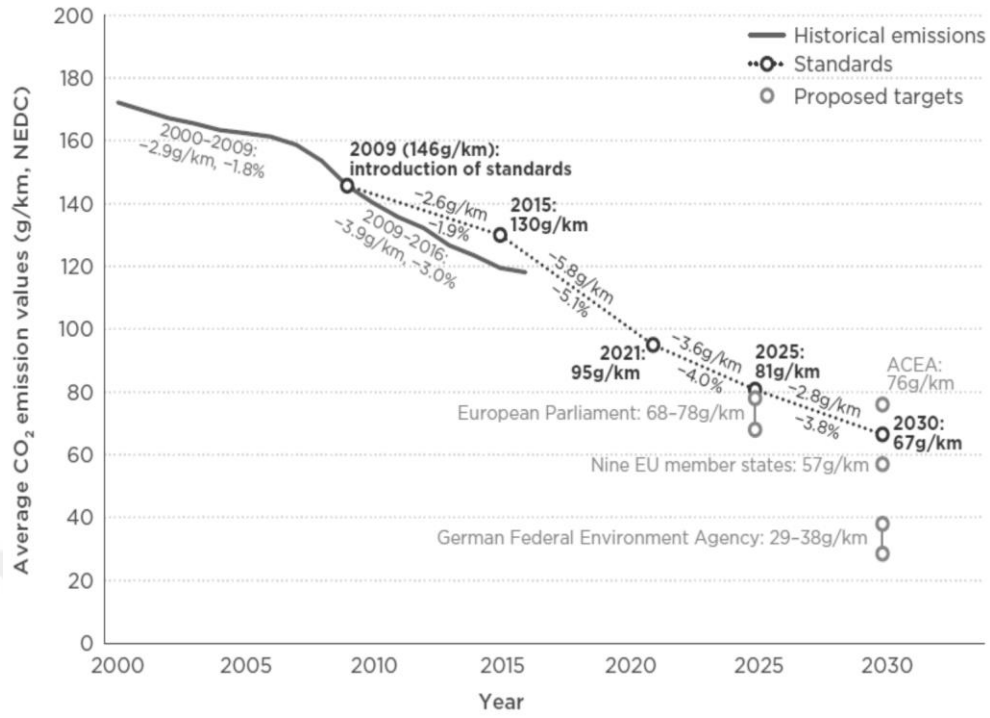
Tablo 2.2. Otomotiv malzemelerinin uygulama alanları ile avantaj ve dezavantajları (Fentahun ve diğ., 2018)

Malzeme	Çelik	Alüminyum	Magnezyum	Bakır	Kompozitler ve Plastikler
Uygulama Alanları	BIW, şase, güç aktarma organları, taponlar ve motor parçaları	Motor blokları, araç gövde panelleri, güç aktarma organları, piston ve silindir gömlekleri	Kapı içyapısı, direksiyon iskeleti, koltuk aktarım organları kutusu,	Elektromekanik uygulamalar, otomatik vites ve ABS fren sistemleri,	Yolcu kabinleri, tavan ekipmanları, tekerlek jant kapakları, iç trim malzemeleri, sütun kaplamaları, kaput altı
Avantajları	Güçlü ve sert yapılar, korozyon direnci, darbe enerjisini emme, iyi şekillendirilebilirlik ve birleştirilebilmeleri	Hafiflik, korozyona dayanıklılık, geri dönüştürülebilirlik, enerji verimliliği ve güvenilirlik	Mühendislik metallerinde en hafif olmaları	İyi elektrik iletkenliği sayesinde, elektronik ekipmanlarda kullanılabilir	Yüksek mukavemet/ağırlık oranı, iyi sertlik, iyi korozyon direnci ve kimyasal direnç
Dezavantajlar	Diğer otomobil malzemelerine göre çok ağır	Isı toleransı	Düşük erime sıcaklığı, yüksek oranda reaktif metal ve zayıf korozyon ve aşınma direnci	Sınırlı uygulama alanları	Pahalı olmaları, geri dönüştürmede sıkıntı olması, zorlu üretim süreçleri

Avrupa ülkeleri, küresel ısınmanın en büyük nedenleri arasında yer alan karbondioksit (CO₂) emisyon değerini azaltabilmek için ve azalmanın süreklilik kazanabilmesi için hedef değerler belirlemişlerdir. Bu değerleri otomobil üreticilerinin yakalamalarını istemekte olup, Avrupa’da satılacak tüm araç modellerinde bu standartlara uygun araçların üretilmesini hedeflemektedirler. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere 2000 yılından 2030 yılına kadar hedef standart değerleri belirtilmiştir. 2000 yılında 170 g/km olarak hedeflenen CO₂ emisyon değeri, 2021 yılında 95 g/km olarak belirlenmiş olup, uygulamaya geçirilmiştir. Yaklaşık 20 senede izin verilen emisyon değeri neredeyse yarı yarıya düşürülmüştür. Bu değerın önümüzdeki 10 yılın sonunda 67 g/km olacağı, hatta Almanya’nın kendisi için koyduğu hedefin 29-38 g/km olacağı belirtilmiştir. Birlik içerisindeki ülkelerde kullanılan standartlar daha sıkı hedefler ile kontrol altında tutulmaktadır. Otomotiv firmalarının bu değerlere uymaları sonucunda, belirtilen

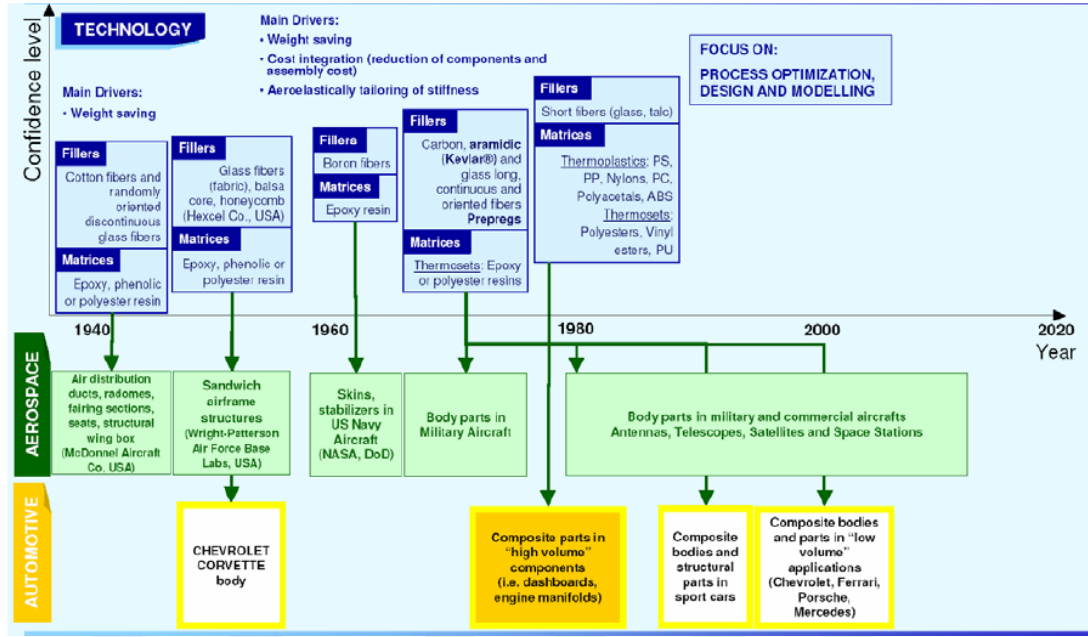
standartların da altında emisyon değerlerine ilgili yıllarda ulaşıldığı Şekil 2.1’de görülmektedir (Lachvajderova ve diğ., 2020). Gelecek yıllarda da emisyon değerlerinde azalma devam ettiği gibi, önerilen hedefler standartların altında yer almaktadır. Araçların ağırlıklarının azaltılması, motor gücünün düşürülmesine olanak tanınması sayesinde üreticilerin istenilen değerleri yakalamasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca elektrikli araçların piyasaya çıkması, ilerleyen yıllarda arzu edilen emisyon değerlerinin yakalanmasına olanak sağlayacaktır.

Şekil 2.2’de kompozit malzeme teknolojisinin ilk olarak havacılık sektöründe kullanıldığı, sonrasında ise otomotiv sektöründe kullanılmaya başlandığı görülmektedir. 1980’den sonra otomobillerin iç parçaları ile motor parçalarında kullanılan malzemelerin kompozit içerikli olmaya başladığı görülmektedir. İlerleyen yıllarda ise, otomobillerin ana iskeletleri ve yapısal parçalarında da kompozit malzemeden parçaların üretildiği belirtilmiştir. Araçların yakıt ekonomisinde istenen artışı ve toplam araç ağırlığının azaltılması gibi otomobil firmalarından beklenen yenilikler nedeniyle, yapısal parçalarda metal esaslı malzemelerin yerine kompozit malzemelerin kullanılması yaygınlaşmaktadır. E-Cam fiber, kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak düşük maliyet, yüksek spesifik dayanım ve korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Tarihsel olarak incelendiğinde, 1953 yılında Carlyle şirketinin Mobile Plastik Bölümü, önceden reçine emdirilmiş cam fiber takviyeli kumaşları tanıtmıştır. 1953’ten 1955’e kadar General Motors, Molded Fiberglass firmasıyla birlikte çalışarak Chevrolet Corvette, ilk tamamen fiber takviyeli polimer (FRP-Fiber Reinforced Plastics) gövdeli aracı tanıtmışlardır. Tanıtımdan sonra bu şekilde 300 adet aracın üretimi gerçekleştirilmiştir. Corvette ile elde edilen bu başarı FRP esaslı malzemelerin otomotiv sektöründe kullanımının önünü açarak, birçok firmanın da bu malzemelerden imal edilmiş araçların üretilmesini sağlamıştır (Chehroudi, 1999). Otomotiv endüstrisi, en hızlı büyüyen ve gelişen endüstrilerin başında gelmektedir. Müşterilerin sürekli değişen ihtiyaçlarını karşılama arayışında olunan, risklerin her zaman yüksek olduğu yoğun rekabetçi bir endüstride, hafif bileşenlere olan talep artmaktadır. Çevre dostu tasarım olarak adlandırılabilir talep, sürdürülebilirliği etkilemektedir. Bu durum, dünyanın yeşil enerji ve standartlarına döndüğü, ülkelerin küresel ısınmanın olumsuz etkilerini en aza indirmeye çalıştığı bir zamanda gerçekleşmektedir.



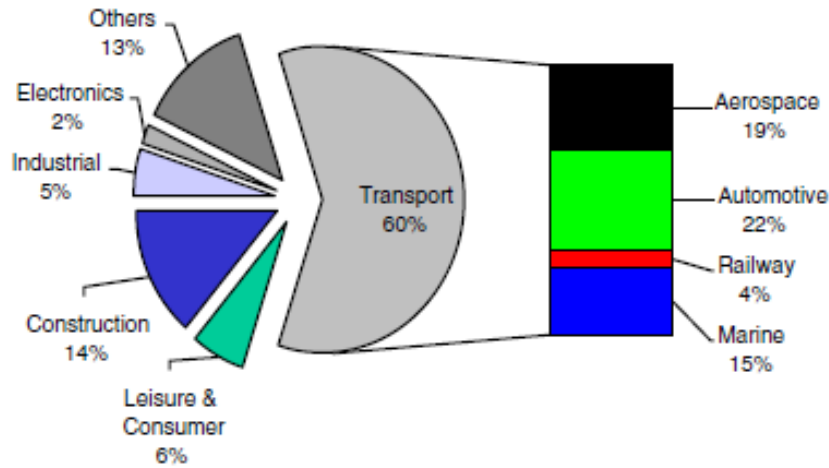
Şekil 2.1. Avrupa binek otomobilleri için yıllara göre CO₂ emisyon değerleri standartları ve önerilen hedefler (Lachvajderova ve diğ.,2020)

Emisyon değerlerini azaltma konusundaki artan farkındalık ve katı emisyon düzenlemeleri, otomobillerin ağırlığını azaltmak için daha hafif parçalara yönelmeleri konusunda otomotiv şirketleri üzerinde bir baskı oluşturmaktadır. Bir motorlu taşıtın ağırlığının %10 azaltılması, malzeme verimliliği anlamı taşıyan hammadde tüketimini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda otomobil yakıt tüketimini de %6 ila %8 arasında azalttığı kanıtlanmıştır. Bu veriler bize hafifleme'nin sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Hafif aracın daha az yakıt tüketmesinin nedeni, araç hareket halindeyken karşılaştığı çekiş kuvvetlerinin o kadar az olmasıdır. Yapılan araştırmalara göre, bir motorlu araçtan kaldırılan her 100kg'ın, her bir kilometre başına CO₂ emisyonunu 9 gram azalttığı görülmektedir (Chirinda ve diğ., 2020). Elektrikli otomobillerin hayatımıza girmesiyle yeni markalar ile tanışmaya başladık. Yeni otomotiv üreticileri, otomobilin ağırlığını azaltmak ve hibrit veya elektrikli araçların sürüş menzilini uzatmak için, önemli miktarda kompozit malzemeden parçalar kullanmaktadır. Geleneksel otomobil üreticileri de giderek zorlaşan emisyon standartlarını karşılayabilmek, performansı arttırabilmek için süper spor otomobillerde kompozit kullanmaktadır.



Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi ve otomotiv ile havacılık endüstrilerindeki ana uygulamaları (Chehroudi, 1999)

Bu uygulamalar hızlı otomobillerde kullanılan gelişmiş kompozitler kadar dikkat çekici olmayabilir, ancak geleneksel malzemelerin yerini alırken, ağırlık azalmaları, maliyetleri düşürmeleri, üretim adımlarını kısaltmaları, bakım ve hizmet ömründe iyileştirmelerin yanı sıra tasarım esnekliği arttırmaları önemli ilerlemeler sağlamaktadır. Otomobillerdeki yakıt tüketiminin %75'i doğrudan araç ağırlığıyla ilişkili olduğundan, ağırlık azaltmanın potansiyel faydaları daha küçük enerji ekipmanları ve daha hafif enerji depolama birimleri kullanılmasının yolunu açmaktadır. Kompozit malzemelerin sunduğu performanstaki sürekli ilerlemeler ve ağırlık tasarrufları ile otomobil ve ulaşım endüstrisindeki kullanımlarının önümüzdeki yıllarda artması öngörülmektedir (Imai ve diğ.,2019). Otomobilde çok fazla malzeme ve türevleri kullanılmaktadır. Bu malzemelerin seçiminde; parçanın tasarımı, araçta kullanılacağı bölge, çevresel faktörler, parçanın işlevselliği, standartlar ve yasalar tarafından belirlenen sınırlar nedeniyle çeşitlilik göstermektedir. İlk çıkan otomobillerde demir, cam ve ahşap ağırlıkta olurken, günümüzde kullanılan malzemeler çok farklılık göstermektedir. Emisyon değerleri ve verimlilik amacıyla yapılan çalışmalar özkütlesi düşük performansı yüksek malzemelere yönelmektedir. İlk zamanlarda kullanılan demir ve türevleri yerini metal alaşımlara bırakırken, yakın zamana kadar ise alüminyumdan parçaların üretilmesi gerçekleştirilmekteydi.



Şekil 2.3. Kompozit malzemelerin kullanıldığı sektörler (Friedrich ve diğ., 2013)

Alüminyumun özkütlesinin 2.7 g/cm^3 , demirin özkütlesinin ise 7.8 g/cm^3 olması nedeniyle, üreticiler özkütlesi düşük olan alüminyumı tercih etmeye başladılar. Fakat alüminyumun çekme modülü 70 GPa iken demirin 210 GPa olması, istenilen her yerde alüminyumun kullanılmasına engel olmaktadır. Otomobillerde verimlilik üzerine çalışılırken, araç içindeki ve dışındaki canlıların da güvenliği öncelikli olmakta ve göz ardı edilememektedir. Güvenlik standartlarının zorlayıcı koşulları nedeniyle otomobilin tüm aksamlarında alüminyum kullanılamamaktadır. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler sektör için yeni bir yarışa neden olmaya başlamıştır. Otomobil üreticileri kompozitlerin, fiberlerin ve plastiklerin gelişen özelliklerine ve üretim teknolojilerine ayak uydurmaya başlamışlardır. Ayrıca otomobil üreticileri malzeme sektörünün de en önemli tüketicileri durumuna geçmişlerdir.

Tasarımcılar yeni malzemeleri keşfettikçe, malzemelerin istenilen özelliklerde üretilebildiğini anladıkça ve çeşitlendirilebildiğini gördükçe, otomobillerde zorlayıcı ve dikkat çeken tasarımlar üretebilmişlerdir. Firmaların yapmak zorunda oldukları görevlerden biri olan emisyon değerlerinin düşürülmesinde en büyük engelleri otomobillerin ağırlıklarıdır ve bu durumunda en büyük nedeni kullandıkları malzemelerdir. Tablo 2.3'te görüldüğü üzere keşfedilen fiberlerin yoğunluklarının demir ve alüminyuma göre düşük, fakat çekme modülleri ve çekme mukavemetlerinin ise yüksektir. Bizlerinde bu çalışmada kullandığımız E-Cam Fiber'nin özkütlesinin 2.54 g/cm^3 gibi düşük bir değerde, özgül mukavemetinin $1.38 \text{ } \sigma_u/p$, demirin $0.043\text{-}0.27 \text{ } \sigma_u/p$ aralığından oldukça yüksek olduğu ve ayrıca çekme mukavemetinin ise 3.5 GPa gibi

demirin 0.34-0.21 GPa, alüminyumun (hangi seri) ise 0.14-0.62 GPa gibi değerlerin kat ve kat üstünde değerlere sahip olması en büyük avantajlarıdır. E-Cam Fiber bu özellikleri nedeniyle demir ve alüminyum malzemelerinin yerine kullanılmakta ve otomobillerde ağırlık yapan parçaların yerine alternatif malzeme olarak ön plana çıkmaktadır.

Tablo 2.3. Fiber ve geleneksel metal malzemelerin bazı özellikleri (Campbell, 2010)

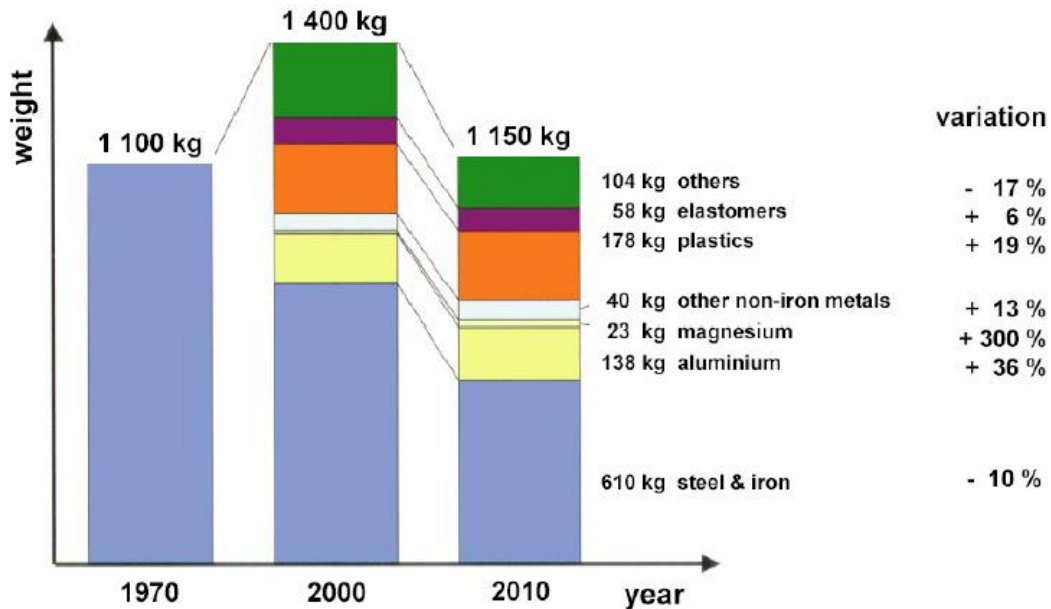
Malzeme	Çekme Modülü (E)(GPa)	Çekme Mukavemeti (σ_u) (GPa)	Yoğunluk (ρ) (g/cm ³)	Spesifik Modül (E/ ρ)	Spesifik Mukavemet (σ_u/ρ)
Fiberler					
E-Camı	72,4	3,5	2,54	28,5	1,38
S-Camı	85,5	4,6	2,48	34,5	1,85
Grafit (Yüksek Modül)	390,0	2,1	1,90	205,0	1,1
Grafit (Yüksek Çekme Mukavemeti)	240,0	2,5	1,90	126,0	1,3
Boron	385,0	2,8	2,63	146,0	1,1
Silika	72,4	5,8	2,19	33,0	2,65
Tungsten	414,0	4,2	19,30	21,0	0,22
Berilyum	240,0	1,3	1,83	131,0	0,71
Kevlar 49 (aramid polymer)	130,0	2,8	1,50	87,0	1,87
Geleneksel Metaller					
Demir	210,0	0,34-0,21	7,8	26,9	0,043-0,27
Alüminyum	70,0	0,14-0,62	2,7	25,9	0,052-0,23
Cam	70,0	0,7-2,1	2,5	28,0	0,28-0,84
Tungsten	350,0	1,1-1,4	19,30	18,1	0,057-0,21

2.2. Geçmişten Günümüze Araçlarda Kullanılan Malzemelerin Değişimi

Otomobillerin üretiminde kullanılan malzemelerde geçmişten günümüze doğru dikkate değer değişiklikler meydana gelmiştir. 1950’li yıllarda metalik bir dev olmaktan çıkan günümüz otomobili, alternatif hafif malzemelerin kullanılmasına doğru şekillenmeye başlamıştır. Yıllar içinde gerçekleşen bu çarpıcı değişim, yakıt ekonomisini iyileştirmek ve yasaların gereksinimlerini karşılamak için araç ağırlığını azaltmaya yönelik artan taleplere bağlanmaktadır. Hafifletme, parça konsolidasyonu, malzeme ikamesi ve tasarım optimizasyonu ile istenilen özellikler sağlanmaktadır. Özellikle polimerler ve

kompozitler ile malzeme ikamesi, otomotiv sektörü için hafif, kolay işlenebilir, korozyona ve kimyasal maddelere karşı dayanıklı parçalar üretilebilmektedir.

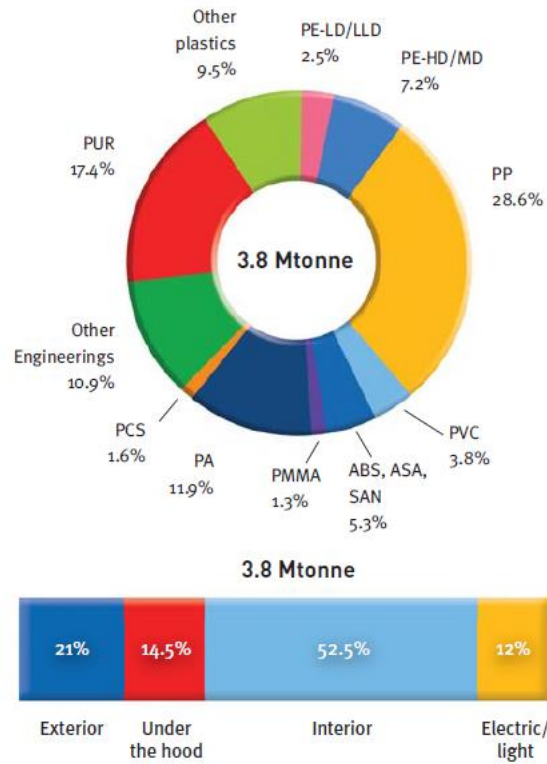
Şekil 2.4’de görüldüğü üzere otomobillerde kullanılan plastik kullanımı 1970’li yıllarda 10 kg gibi yok denecek kadar az iken 2010 yılına gelindiğinde bu ağırlık 170 kg’ını geçmektedir. Özellikle çelik ve demir kullanımının yerine geçildiği ve 1970’li yıllardaki araçlar ile günümüz araçların donanım, ekipmanları arasında oldukça farklılık olmasına rağmen ağırlık olarak yakın olduğu görülmektedir. 2000 yılında 1400 kg ağırlığa sahip otomobiller, 2010 yılında 1150 kg’a kadar ağırlıkları azalmıştır (Chehroudi, 1999). Günümüzde plastikler, düşük maliyetle dayanıklılık, korozyon direnci, tokluk, tasarım esnekliği, esneklik ve yüksek performans sağlamanın yanı sıra ağırlığı azaltarak otomobilleri, enerji verimliliği yüksek hale getirmek için kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde, ağırlıkça %68’i temsil eden demirli metaller ve alaşımlardan (demir, dökme demir, çelik, nikel) sonra otomotiv malzemelerinin ikinci en yaygın sınıfı olarak geniş bir uygulama yelpazesinde mühendislik ürünü kompozitler ve plastikler kullanılır. Ticari araçların plastik içeriği, güvenlik alt sistemleri, kapı ve koltuk tertibatları dâhil olmak üzere tüm iç bileşenlerin yaklaşık %50’sini oluşturmaktadır. Otomobillerde



Şekil 2.4. Yıllara göre otomobillerde kullanılan malzemeler ve değişimleri (Chehroudi, 1999)

plastik bileşenlerin kullanım oranlarının artmasıyla, plastik kullanım avantajları da değişmeye başlamıştır. Plastikler sayesinde, karmaşık geometrilere sahip bileşenlerin kalıplanabilmesi, genellikle diğer malzemelerdeki birkaç parçayı değiştirebilme ve tümü kolay montaj sağlayan bütünleşmiş donanımlar sunma yeteneği ortaya çıkarmıştır ve montaj maliyetlerini düşürmüştür. Her şekil ve büyüklükte binden fazla farklı parçada birçok polimer türü kullanılmaktadır. Otomobillere baktığımızda plastiklerin tamponlar, kapılar, pencereler, farlar, yan ayna muhafazası, bagaj kapakları, kaputlar, ızgaralar ve jant kapakları gibi dış ve iç bileşenlerde kullanıldığı görülmektedir (Szeteiova, 2010,).

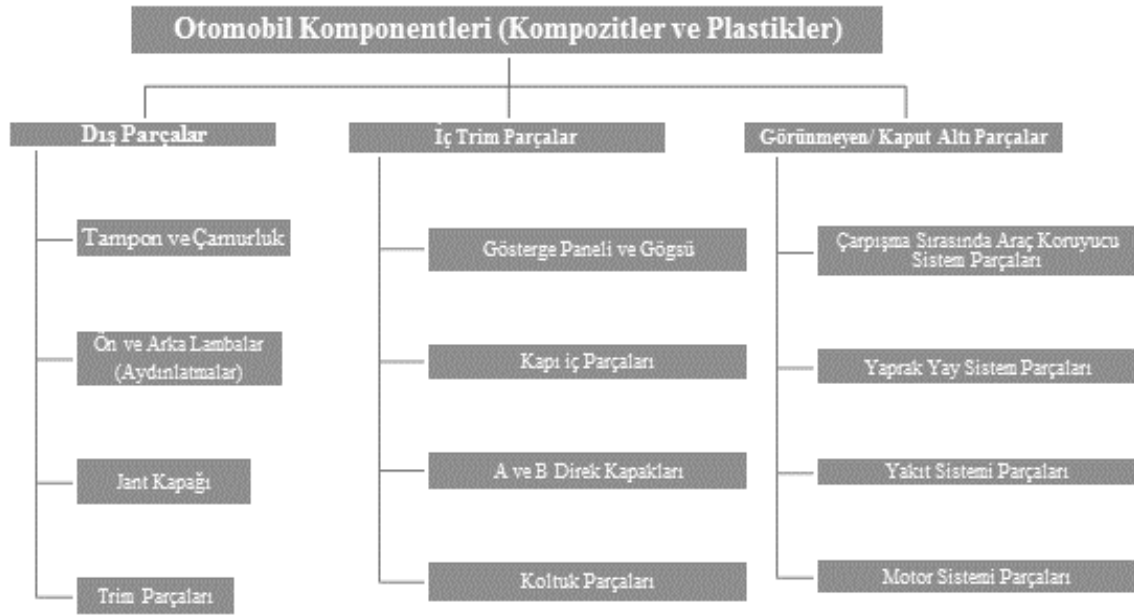
Otomobiller birçok sınıfa ve kitleye hitap etmektedir. Kullanıcıların amaçları ve araçları için seçim yapmaları nedeniyle çeşitli segmentler bulunmaktadır. Şekil 2.5'te görüldüğü üzere otomobillerde çok çeşitli polimerler kullanılmakta olup, bunların içerisinde en çok kullanılanları %28,6'lık büyük oran ile Polipropilen (PP) oluştururken, onu Poliüretan (PUR) ve Poliamid (PA) takip etmektedir. Polimer parçalar otomobilin kullanıldığı bölümlerde en çok iç trim denilen parçalarda görülmektedir. Bu da araç içerisine oturduğumuzda çevremizde çoğunlukla polimer malzemeleri görmemizi açıklamaktadır.



Şekil 2.5. Otomobilde kullanılan polimer çeşitleri ve kullanıldıkları kısımlar (PlasticsEurope, 2013)

2.3. Polimer ve Polimer Matrisli Kompozitlerden İmal Edilmiş Otomobil Bileşenleri

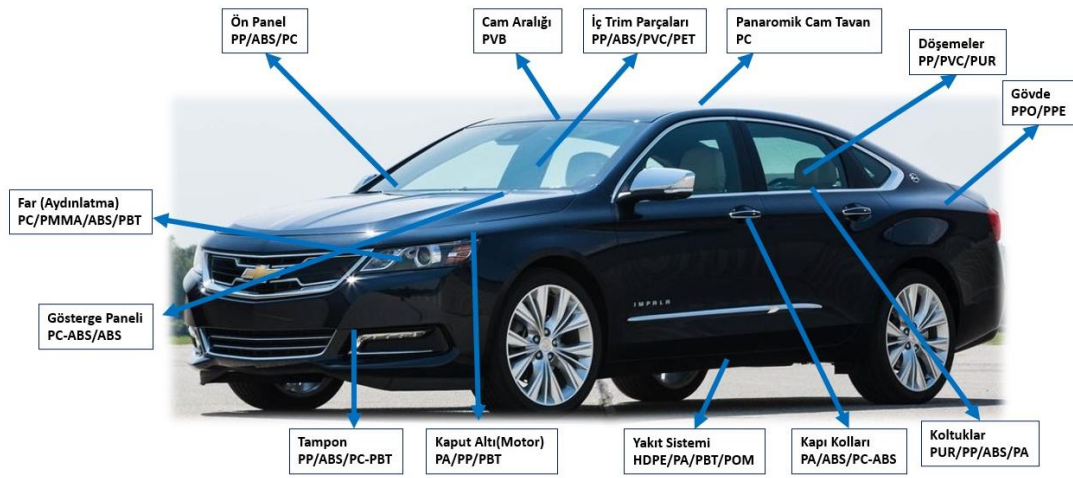
Şekil 2.6’da polimer ve polimer matrisli kompozit parçaların bir otomobilde kullanıldıkları yapılar belirtilmektedir. Şekil 2.7’de görüldüğü üzere otomobilin tüm bölümlerinde polimer veya polimer matrisli kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni, istenilen standartları polimerlerin veya kompozit malzemelerin sağlayabilmesidir. Bu standartlar arasında, yüzey kalitesi, görsellik (parlaklık ve geometrik yüzey şekilleri), istenilen geometrilere tasarlanabilme ve üretilebilme, bölgesel ısı ve sıcaklığa karşı dayanıklılık, güneş ışınlarına (UV) direnci, korozyona karşı dayanıklılık, araçta bulunan sıvılara (cam suyu, antifriz, benzin, dizel, biodizel, motor yağı vb.) karşı yapısal ve görsel olarak dirençli olmaları yer almaktadır. Bir tasarım sırasında parçanın geometrik şekli ve kullanım amacı kararlaştırıldıktan sonra malzeme seçimi yapılmaktadır.



Şekil 2.6. Otomobil komponentlerinin bulundukları lokasyonlar

Şekil 2.7’de otomobil parçalarının bulunduğu yerler ve bu parçaların üretiminde kullanılan kompozitler ve polimerler belirtilmektedir. Burada genel malzemelerin sınıflandırılması yapılmaktadır. Görüldüğü üzere aracın her noktasında plastik ya da kompozitlere denk gelmekteyiz. Aracın her bir bölgesi farklı dış etkenlere veya çevresel faktörlere maruz kalmaktadır. Örneğin, bir yakıt sistemi kimyasal olarak dış etkenlere

maruz kalırken, ön panel ise güneş ışınlarına ve sıcaklığa maruz kalmaktadır. Aracın bölgeleri arasında da çok farklı değişkenler bulunmaktadır. Bu değişkenliklere göre araçlarda bölgesel standartlar belirlenmekte ve bu standartlara uygun malzeme seçimi yapılmaktadır. Yakıt sisteminde kimyasal tepkimelere karşı dirençli olan HDPE (high density poly ethylene), PA, PBT (Polibütilen Tereftalat), POM (Polioksimetilen) kullanılırken, otomobilin çarpışmalarda ilk enerjiyi darbeyi alan kısımları olan tamponlar da PP, ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PC-PBT malzemeleri kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 2.7. Bir otomobilde polimer ve kompozit malzemelerin kullanıldığı kısımlar

2.3.1. Otomobilin Dış Parçalarında Kullanılan Polimer ve Polimer Matrisli Kompozitler

Bir otomobilin dış bileşenleri, tamponlar, tekerlekler, ayna yuvaları ve lamba ekipmanları gibi parçaların yanı sıra dış gövde yapısından oluşmaktadır. Ayrıca yakıt ekonomisinin iyileştirilmesine ve son zamanlarda çevresel sürdürülebilirliğe ilişkin endişeler göz önüne alındığı zaman, dış bileşenlerin de hafif olması ve geri dönüştürülebilir olması beklenmektedir.

Dış gövde panelleri, adlarından da anlaşılacağı üzere görünür bölgelerde bulunmaktadır. Bu nedenle aşağıdaki gereksinimleri karşılamaları gerekmektedir.

- “A sınıfı” bir yüzey kalitesi
- Boya gereken bölgeler olması nedeniyle, boyanın yüzeye iyi yapışabilir olması

- Boyama işleminin yüksek sıcaklıklarda olabilmesi nedeniyle yüksek bir ısı direncine sahip olması
- Düşük sıcaklıklarda da iyi darbe dayanımı göstermesi gerekmektedir (Mann ve diğ. 2007).

Chrysler firması, 1998 yılında CCV (Composite Concept Vehicle) aracının tanıtımını gerçekleştirmiştir. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen cam fiber polietilen (GF/PET) paneller ile ağırlıktan ve maliyetten tasarruf ettiklerini belirttiler. Ayrıca Renault Clio'nun kanatlarında 2mm kalınlıkta polimer kullanılarak 850 gr ağırlığında, 2 kg'lık çelik konstrüksiyona karşılık gelen yapı elde edilmiştir (Mann ve diğ. 2007).

2.3.1.1. Tampon ve çamurluk

Bir otomobilin hem ön hem de arka bölgelerine montajı gerçekleştirilen tamponlar, düşük hızda gerçekleşen çarpışmalardan kaynaklanan otomobil gövdesine verilen hasarı önlemeye ve / veya en aza indirmeye yardımcı olarak kalkan görevi görmektedir. Bir tampon tertibatı; hava akışını kontrol etmek ve estetiği sağlamak için dış plastik kaplama, şok etkisinin bir kısmını taşımak için genellikle polimer olan enerji soğurucu malzeme ve çarpışma enerjisini emerek otomobil gövdesini korumak için çelik, alüminyum veya fiber takviyeli kompozitten yapılmış bir takviye çubuğundan oluşmaktadır.

Bu bölgede kullanılacak malzemelerden bazı standartları karşılaması ve yapılacak testleri geçmesi beklenmektedir. Çıkan sonuçlara göre daha sonra tasarım ve maliyet karşılaştırılması yapılarak üretici firma kararını vermekte ve tampon üretimi belirlenen malzemedan yapılmaktadır.

Bu standart ve testlerden bazıları, bir ana üreticiden referans alınarak aşağıdaki şekilde belirtilmiştir;

- Parça desenli (yüzey kısmı geometrik ya da düzensiz tanecikli) ise örneklerle uygun olması, belirlenen parlaklık değerine de uygun olması beklenmektedir. Aracın dışarısında bulunan parçaların yüzeylerinde yüksek parlaklık beklenmektedir.
- Isıl yaşlanma, parça firmanın daha önceden belirlediği uluslararası standartlara uygun olması beklenmektedir.

- Hava şartlarına karşı, parçanın maruz kalacağı ortamlara benzer standartlara uygunluk testi yapılmaktadır.
- Parçaların işlevsel olduğu kadar görsel olarak da çizilmelere karşı dirençli olması istenmektedir.
- Dış ortamlardan gelebilecek kimyasal sıvılara (su / sabun / silecek suyu vb.) karşı da etkilenmeyecekleri malzemelerden üretilmeleri beklenmektedir.
- Güneş ışınlarına (UV)'ye karşı dirençli olması ve renklerinde solma meydana gelmemesi gerekmektedir (Mann ve diğ. 2007).



Şekil 2.8. Örnek bir otomobil ön ve arka tampon parçaları

2.3.1.2.Ön, Arka ve İç Lambalar (Aydınlatmalar)

Otomobilde, karanlık ve görüş mesafesinin kısa kaldığı zamanlarda aracın içinin ve dışının aydınlatılması ile fark edilmesini sağlayan aydınlatmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Aydınlatma ekipmanları aracın ön tarafında ve arka tarafında, fark edilmek ve fark etmek için bulunurken, araç içerisindeki aydınlatmalar sürücü ve yolcuların karanlıkta güvenli yolculuk etmesine yardımcı olmaktadır. İlk araçların aydınlatma lenslerinde cam ve türevleri kullanılmaktaydı. Polimerlerin keşfi ile birlikte lenslerde kullanılan malzemelerde camdan polimerlere geçildi. Ayrıca aydınlatma sistemlerindeki tasarımların günümüz şartlarını ve taleplerini karşılayabilmesi için çevresindeki parçaları da polimerlerden üretilmeye başlanılmıştır.

Polimerler içerisinde, polikarbonat (PC) ilk olarak denenilen polimer olup, günümüzde de sıklıkla otomobillerin lenslerinde kullanılmaktadır. PC'lerin yüksek ısı ve sıcaklığa dayanabilmeleri, darbe vb. hasarlara karşı parçalanmaya dayanıklı olmaları, son olarak da kalıplanabilir olmaları tercih sebebi olmaktadır (Mann ve diğ. 2007).

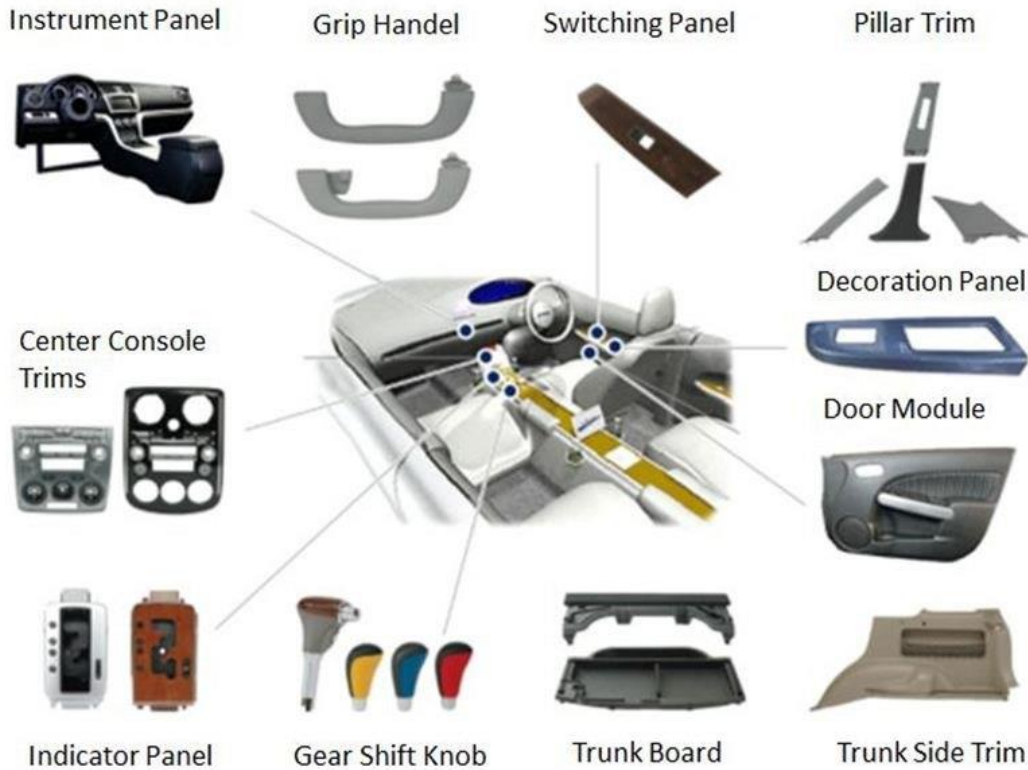
2.3.2. İç Trim Parçalar Kullanılan Polimer ve Polimer Matrisli Kompozitler

Otomobilin dış kısımlarında kullanılan polimerler, iç kısımda daha fazla kullanım kazanmaktadır. Bir otomobilin iç kısmı incelenmeye başlandığında ilk dikkat çeken kokpit tarafı olup, tamamen polimer esaslı malzemelerden oluşmaktadır. İncelemeye devam ettiğimizde ise yan panellerin ve koltuk alt kısımlarının, kapı kollarının ve ayak bölgesinde kalan parçaların da polimer olduğunu görülmektedir. Kısaca araçta kullanılan polimerler yoğun olarak iç trim parçalardan oluşmaktadır.

İç trim parçalar incelendiğinde renkli, farklı geometrik yüzeylere ve gerektiğinde fonksiyonel işlevselliğe sahip olmaktadır. Parçaların yüzeylerini incelediğimizde doğal yüzey desenleri olduğu gibi, kimi firmalar geometrik desenleri tercih edebilmektedir. İçeride bulunan parçaların parlaklıkları dış parçalara göre düşük seviyede olmaktadır. Bunun nedeni de dışarıdan gelen ışınların yansıma yaparak sürücü ve yolcuların gözünü almasının engellenmesidir. Fonksiyonel olarak da plastiklere araç içerisinde görev düşmektedir. Havalandırma ekipmanları polimerlerden oluşmaktadır. Burada parçalar havanın istenilen şekilde yönlendirilmesi ile istenilen şiddette olmasını sağlamaktadır. Bu alanda kullanılan polimerlerden bazıları şu şekildedir; poliüretan (PU), PP, ABS/PVS (polivinilklorid) malzemeleri panelde, PU, PVC (polivinil klorür) koltuk aksamalarında, PP, ABS ise kapı iç panellerinde, PP, PU, ABS/PVC ise tavan iç kısımlarında kullanılmaktadır (Zhang ve diğ. 2013). Araçların iç parçaların iskeletlerinde PA 66GF malzemesinden kiriş yapıları elde edilmektedir (Mann ve diğ. 2007). Diğer iç trim parçalarında koltuk iskeletlerinde, koltuk başlık iskeletlerinde, yükleme kısımlarında GMT (glass mat thermoplastic/cam keçe takviyeli termoplastik) kompozit; kapı iç panellerinde ABS ya da GMT kompozit, bagaj yükleme korumalarında PC/ABS ya da GMT kompozit malzemeler kullanılmaktadır (Park ve diğ. 2012).

2.3.3. Görünmeyen Kaput Altı Parçalar

Otomobilde görünmeyen fakat arka planda yapısal ya da fonksiyonel parçalar da bulunmaktadır. Bu parçalara kaput altı ya da görünmeyen parçalar denilmektedir. Birçoğu görünen parçaların altlarında olup, görsel parçaların sökülmesi sonrası ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.9. Otomotiv polimer matrisli iç trim parçalarından bazıları (Gaikwad, 2019)

Bu parçalar arasında aracın gövdesini oluşturan yapılar, görsel parçaların arkasında destek elemanı görevi görenler, dış parçaların gövdeye sabitleyenler ve motor ekipmanlarına yardımcılarından oluşmaktadır. Bu ekipmanlardan bazıları, motor yağ filtresi modülü, emme manifoldu, hava filtre modülü, yakıt tankı, akü kutusu ve destekleri vb. birçok parça polimer esaslı kompozitlerden oluşmaktadır (Campbell, 2010). Görüldüğü üzere parçaların konumları ve beklentileri farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, karşılaşılabilecek darbeler, ısı ve sıcaklık, yabancı sıvı maddeler gibidir. Kullanılacağı yere ve çevresel etkenlere göre polimer malzemesinin seçimi gerçekleştirilmektedir. Motor ve çevresinde bulunan bir parça yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu da parçanın düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklıklara çıkıldığında deforme

olmamasını gerektirmektedir. Şekil 1.10’da görüldüğü üzere süper spor bir otomobilin emme manifoldu ve çevresel parçaları polimer matrisli kompozitlerden oluşmaktadır. Kaput altı veya görünmeyen parçalar da PP, PPE, ABS, PE, PVC ve PBT kullanılmaktadır (PlasticsEurope, 2013).



Şekil 2.10. Ferrari FF-2011 model kaput altı emme manifoldu

2.4. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, tek başına kullanılan bileşenlerin özelliklerinden daha iyi özellikler sağlayan iki veya daha fazla malzemenin bir kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır. Metalik alaşımların aksine, her malzeme ayrı kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini korur. İki bileşen, bir takviye ve bir matristen oluşmaktadır. Kompozit malzemelerin ana avantajları, döküm ve metal malzemelerle karşılaştırıldığında düşük yoğunluklarına rağmen yüksek mukavemet gösterebilmeleridir (Campbell, 2010).

Malzemede yerine göre sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ışınları, gibi) dayanıklılık, darbe dayanımı, sertlik gibi günlük yaşamda kullanılan terimlerle ifade edilen özellikler yanında daha bilimsel dille ısı genleşme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğme dayanımları ve benzeri değerlerin uygunluğu aranmaktadır. 1950’li yıllarda polimer matrisli kompozit malzemelerin keşfedilmesiyle birlikte aranan özellikleri sağlayan malzemelerden parçaların üretilmesi mümkün olmuştur. Günümüzde

polimer matrisli kompozitler havacılık, spor malzemeleri, lastik, beyaz eşya, basınca dayanıklı boru ve otomotiv sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte günümüz teknolojisinin gelişmesi ve malzemelerden beklenen isterlerin artmasıyla yüksek mukavemet, yüksek ısı dayanımına sahip ve uzun ömürlü kullanım sağlayacak yeni nesil elyaf takviyelerinin ve polimerik malzemelerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar dünyada ve ülkemizde devam etmektedir (Yıldızhan,2008).

Kompozit malzemenin geleneksel malzemelere göre üstünleri belirtilmiştir (Yiğit, 2010);

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısıl direnç,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm,
- Enerji yutuculuğu

Kompozit malzemelerin başlıca avantajları;

- Yüksek sıcaklığa ve hava koşullarına karşı dayanıklılık,
- Daha hafif ve geliştirilmiş yorulma ömrü,
- Korozyona karşı direnç,
- Daha az bağlantı elemanı ve detay parçası sayesinde montaj maliyetleri azaltma,
- Kimyasal maddelere karşı dayanıklılık,
- Yüksek mukavemet,
- Düşük yanıcılık ve düşük duman yoğunluğu,
- İstenildiği gibi şekillendirilebilme,

Kompozit malzemelerin başlıca dezavantajları;

- Malzeme yapıları, metal malzemelere göre daha karmaşık mekanik karakterizasyona sahiptir,
- Tamir süreçleri, metal malzemelere göre karmaşıktır,
- Metallere göre yüksek üretim maliyetleri,
- Sınırlı raf ömürleri,
- Geri dönüştürülemez,
- Delme ve kesme işlemlerinde tabakalar arası ayrılma (delaminasyon hasarı) (Thori ve diğ. 2013) (Kurt, 2021)

2.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

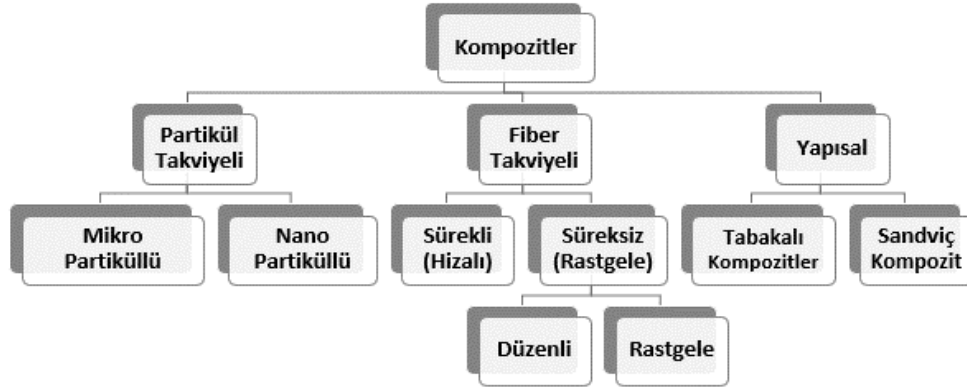
2.5.1. Kompozit Malzemelerin Takviye Cinsine Göre Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler esas özelliklerini, takviye elemanları ve bu takviye elemanlarının bir arada kalmasını sağlayan, matris fazını oluşturan metal, seramik veya polimer esaslı malzemelerden almaktadırlar. Şekil 2.11’de takviye elemanlarına göre kompozit malzemeler sınıflandırılmıştır. Kompozit malzemeler Şekil 2.11’de görüldüğü üzere partikül takviyeli, fiber takviyeli ve yapısal olmak üzere 3 ana takviye grubundan oluşmaktadır (Calister ve diğ. 2009).

Kompozit malzemelerin partikül takviyesi ve fiber yönlenmesine göre sınıflandırılması Şekil 2.11’de verilmiştir. Şekil 2.12’de özellikle fiber yönlenmesinde tek yönlü, çapraz örgülü, çok yönlü, rastgele yönlendirilmiş kısa fiber takviyesi ve tek yönlü yönlendirilmiş kısa fiber takviyesi gibi yönlendirmeler ile matris malzemesinin takviye edilebileceği görülmektedir (Daniel ve diğ. 2006).

Fiberler, uzun molekül zincirleri tarafından oluşturulan bükülebilir saç telleri benzeri yapılardır. Uzun sürekli fiber ipliklerine filament denilmektedir. Tek doğal filament fiberi, kozalaklardan veya örümcek ağlarından elde edilen ipeklerdir.

Gelişmiş kompozitlerde kullanılan fiberler, cam, karbon, silisyum karbür, alümina, bor veya kevlar gibi malzemelerdir. Sürekli demetler (çekme veya fitil), yüksek performanslı kompozit uygulamalar için temel fiber formlarıdır. Bu formlar, filament sarma veya pultrüzyon gibi işlemlerde doğrudan kullanılabilmekte veya bant, kumaş ve diğer formlara dönüştürülebilmektedir

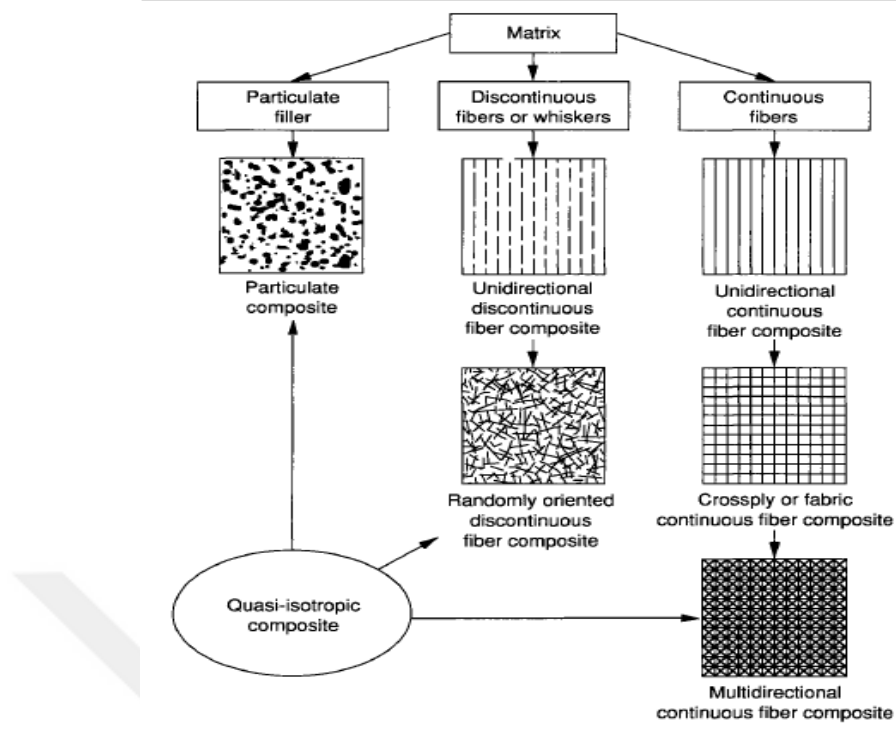


Şekil 2.11. Takviye elemanına göre kompozit malzemeler (Calister ve diğ. 2009)

Tablo 2.4'te fiber türlerinin özelliklerini göstermektedir (Lukkassen ve diğ., 2007). Yüksek mukavemetli cam fiberler, yüksek sıcaklıkta dayanıklılık, kararlılık, şeffaflık ve esneklik gibi özelliklerinin yanında düşük maliyet-ağırlık performansı sunmaktadırlar. Yüksek mukavemetli cam fiber bileşimlerinin faydası, fiziksel, mekanik, elektrik, termal, akustik, optik ve radyasyon özellikleri ile karşılaştırılır (Hartman ve diğ., 1996).

Tablo 2.4. Bazı fiberlerin bazı avantaj ve dezavantajları (Lukkassen ve diğ., 2007)

Fiber	Avantajlar	Dezavantajlar
E-, S-Camı	- Yüksek mukavemet, - Düşük maliyet,	- Düşük sertlik, - Kısa yorulma,
Aramid (Kevlar)	- Yüksek çekme mukavemeti, - Düşük yoğunluk	- Düşük sıkıştırma kuvveti, - Yüksek nem emme,
Boron	- Yüksek sertlik, - Yüksek sıkıştırma kuvveti	Yüksek mukavemet,
Karbon (AS4, T300)	- Yüksek mukavemet - Yüksek sertlik	Orta maliyet
Grafit	Çok yüksek sertlik	- Düşük mukavemet - Yüksek fiyat
Seramik (silikon karbit, alümina)	- Yüksek sertlik - Yüksek kullanım sıcaklığı	- Düşük mukavemet - Yüksek mukavemet



Şekil 2.12. Kompozit malzeme sınıflandırılmasına örnekler (Daniel ve diğ. 2006)

Tablo 2.5 ve 2.6’da belirtildiği üzere E-Cam’ı alkali içeriği ağırlıkça %2 olan alümina-kalsiyum-borosilikat cam sınıfına girmektedir. E-Cam fiberlerin genel amaçları mukavemet ve yüksek elektrik direncine ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılmaktadır (Hartman ve diğ., 1996).

Tablo 2.5. Cam fiberlerin ağırlıkça yüzdesel olarak kimyasal bileşenleri (Sathishkumar ve diğ., 2014)

Tip	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	B ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃
E-Cam	55.0	14.0	0.2	7.0	22.0	1.0	0.5	0.3	-
C-Cam	64.6	4.1	-	5.0	13.4	3.3	9.6	0.5	-
S-Cam	65.0	25.0	-	-	-	10.0	-	-	-
A-Cam	67.5	3.5	-	1.5	6.5	4.5	13.5	3.0	-
D-Cam	74.0	-	-	22.5	-	-	1.5	2.0	-
R-Cam	60.0	24.0	-	-	9.0	6.0	0.5	0.1	-

Fiberler arasında en çok tercih edilenlerden biri cam fiberlerdir. Cam fiberler, günümüzde kullanılan çok yönlü bir endüstriyel malzemedir. Sınırsız miktarda mevcut olan hammaddeler kullanılarak üretilmektedir. Cam fiberlerin çoğu silika (SiO₂) kullanılarak yapılmaktadır. Çalışma sıcaklığını değiştirmek ve bazı özel uygulamalarda yardımcı olabilecek özellikler kazandırmak için temel malzeme silikaya kalsiyum, alüminyum, sodyum, bor, magnezyum ve demir oksit gibi bazı bileşenler eklenmektedir.

Cam fiberlerin en çok tercih edileni, %90'ına göre ucuz ve birçok genel uygulama alanında kullanılabilen E-Cam fiberleridir (Amer ve diğ., 2018).

2.5.2. Kompozit Malzemelerin Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

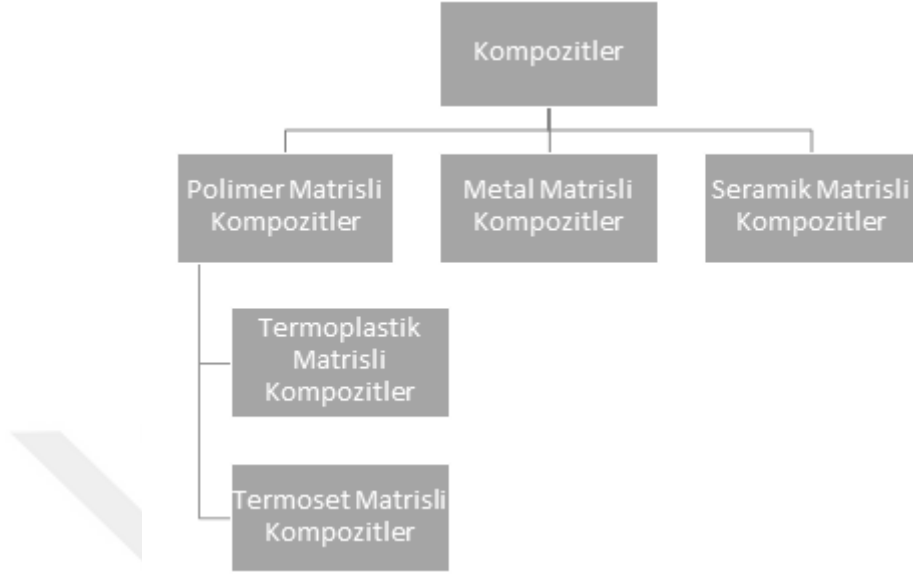
Kompozit malzemeler, matris elemanlarına göre Şekil 2.13'te sınıflandırılmışlardır. İçerisinde bulunan matris fazı kompozitler için çeşitli işlevlere hizmet etmektedir. İlk olarak, fiberleri birbirlerine bağlamakta ve dışarıdan uygulanan bir stresin fiberlere iletilmesine ve dağıtılmasına aracı olmaktadır. Matrisin ikinci işlevi, mekanik aşınma veya çevre ile kimyasal reaksiyonların bir sonucu olan yüzey hasarından korumaktır (Daniel ve diğ. 2006). Kompozit malzemelerde takviye elemanları bir arada tutan yapıya matris denir.

Tablo 2.6. Cam fiber türlerinin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini karşılaştırılması (Sathishkumar ve diğ., 2014)

Cam Fiber Türleri	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (GPa)	Çekme Modülü (GPa)	Uzama (%)	Termal Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁷ /°C)
E-Cam Yüksek mukavemet ve elektrik direnci	2.58	3.445	72.3	4.8	54
C-Cam Yüksek korozyon direnci	2.52	3.310	68.9	4.8	63
S-Cam Yüksek mukavemet	2.46	4.890	86.9	5.7	16
A-Cam Yüksek dayanıklılık, güç ve elektrik direnci	2.44	3.310	68.9	4.8	73
D-Cam Düşük elektrik sabiti	2.11-2.14	2.415	51.7	4.6	25
R-Cam Yüksek mukavemet ve asit korozyon direnci	2.54	4.135	85.5	4.8	33

Kompozit malzemelerde kullanılan matrisler polimer, metal ve seramik olmak üzere farklı özelliklere sahiptirler. Bu özellikleri Tablo 1.8'de verilmektedir. Tablo 1.8'de görüldüğü üzere metal matrisli malzemelerin özkütleleri diğer matris malzemelerine göre

yüksek gelmektedir. Ayrıca elastikiyet katsayısı da özkütleleriyle doğru orantılı yüksek gelmektedir.



Şekil 2.13. Kompozit malzemelerin matris elemanına göre sınıflandırılması

Tablo 2.7. Kompozit malzemelerin başlıca matris elemanlarının özellikleri (Mukhtar, 2012)

Malzeme	Özkütle (g/cm ³)	Kesme Modülü G (GPa)	Poisson oranı (ν)	Çekme Dayanımı σ _t (GPa)	Termal Genleşme α (µεK ⁻¹)
Epoksi	1.25	1.27	0.38	0.04	58
Polyester	1.38	1.1	0.37	0.04	150
Polietereterketon	1.30	1.4	0.37	0.07	45
Polikarbonat	1.15	0.9	0.33	0.06	70
Poliüretan kauçuk	1.20	0.003	0.46	0.02	200
Alüminyum	2.71	26	0.33	0.07	24
Magnezyum	1.74	7.5	0.33	0.19	26
Titanyum	4.51	44	0.33	0.24	8
Bor silikat Camı	2.23	28	0.21	0.09	3.2

2.5.2.1.Metal Matrisli Kompozitler

Kompozitlerde matris fazı metal veya metal alaşımdan olan malzemeler ile takviye elemanı olarak kullanılan seramik veya organik malzemelerin bir araya getirilmesinden oluşmaktadır. Metal Matrisli Kompozit (MMK) malzemelerin belli başlı özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Yüksek sertlik ve yüksek mukavemet
- Yüksek çekme modülü
- Yüksek sıcaklıklarda yüksek yorulma mukavemeti
- Yüksek korozyon direnci
- Düşük yoğunluk
- Yüksek termal ve elektrik iletkenliği
- Yüksek aşınma direnci (Haghshenas, 2016).

Tablo 2.8’de metal matris malzemelerinden olan alüminyum ile magnezyum matrisli malzemelerin özellikleri belirtilmiştir. Matris özelliklerini içeriklerin ve miktarların etkilediği değerleri incelediğimizde görülmektedir.

Tablo 2.8. Magnezyum ve alüminyum matrisli metal matrisli kompozitlerden (Kaczmar ve diğ., 2000)

	Malzeme	Akma Dayanımı Re (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama Oranı A (%)	Çekme Modülü E (GPa)
Mg	ZC 63.12%SiCp T6	220	240	0,6	63
Mg	ZC 63	158	232	4,5	44
Mg	QE 22.20% Al ₂ O ₃	177	250	0,5	72
Mg	QE 22	160	240	4,0	55
Al	-	64	90	21	
Al	SiC,20	117	200	10	
2014-T6	-	429	476	7,5	
2014-T6	SiC, 10	457	508	1,8	
2014-T6	Al ₂ O ₃ , 20	495	515	1,2	
6061-T6	-	275	290	18	
6061-T6	SiC,15	290	340	5,5	
6061-T6	SiC,20	345	410	4,9	
6061-T6	SiC,30	380	435	1,8	

2.5.2.2.Seramik Matrisli Kompozitler

Genel olarak seramik malzemelerin, çok yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve yüksek sertlik, kimyasal eylemsizlik, düşük yoğunluk vb. avantajlı özellikleri bulunmaktadır. Fakat termal şoka karşı son derece hassastırlar ve imalat ve/veya servis sırasında kolayca zarar görebilmektedirler (Chawla, 2016). Seramik matrisli kompozitler (CMC/ceramic matrix composite), hem takviyenin hem de matris malzemesinin seramik olduğu özel bir kompozit türüdür. Malzeme olarak karbon (C), silisyum karbür (SiC), ve silika (SiO₂) dir. Başlıca uygulama alanları, ısı eşanjörleri, türbin kanatları, stator kanatları, sıcak preslenmiş kalıplar, jet motorları içi itme kontrol kanatları, uzay araçları vb. dir (Furnace, 2018).

2.5.2.3.Polimer Matrisli Kompozitler

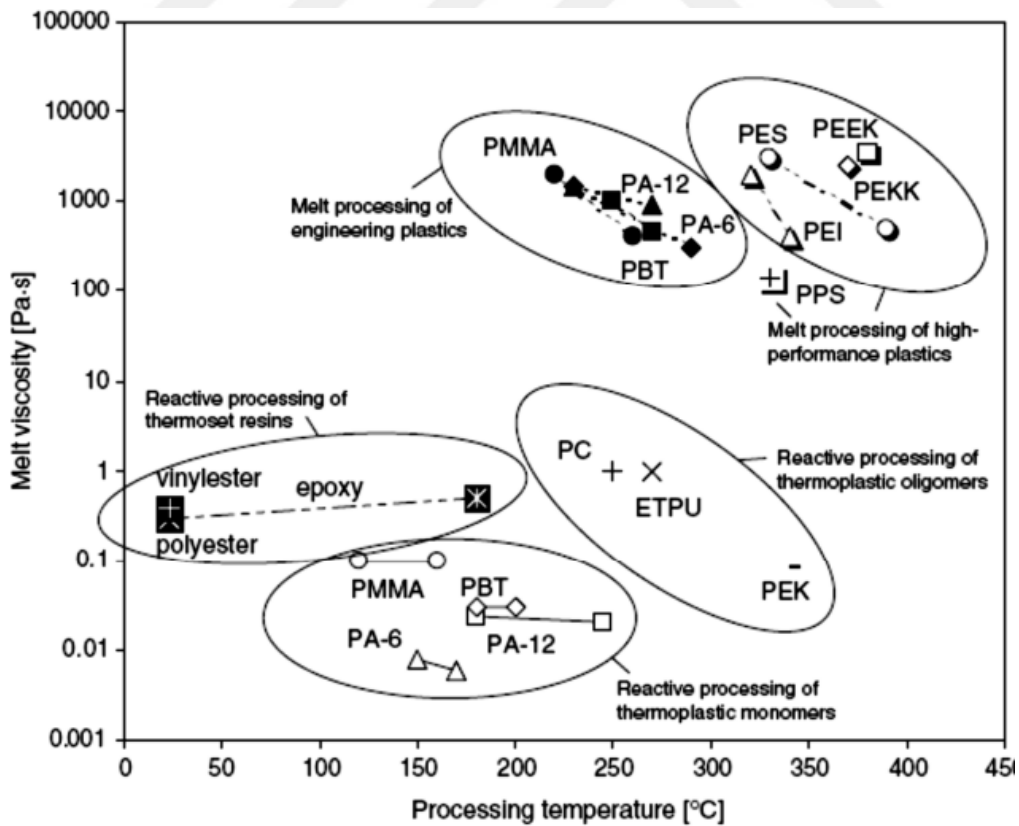
Bir polimer matris kompozit, bir organik polimer matrisi ile birbirine bağlanmış çeşitli kısa veya sürekli fiberlerden oluşan bir kompozit malzemedir. Polimer matrisli kompozitler mühendislik alanında en yaygın kullanılan yapısal malzemelerden biridir. Bunun nedeni olarak yüksek performanslı fiberlerden olan karbon, polietilen ve aramid malzemelerde sağlanan gelişmeler ile birlikte kullanılan polimerlerdeki gelişmeler de gösterilmektedir.

Polimer matrisli kompozitler matrisin termoset veya termoplastik polimer olmasına göre sınıflandırılmaktadır. Termoset matrisli kompozitler geleneksel olarak çok yaygındır, ancak termoplastik matrisli kompozitler şu anda hızlı bir gelişim sürecinden geçmektedir. Polimer matrisli kompozitlerin üretimi, matris malzemesinin polimerik esaslı malzeme olmasından dolayı metal ve seramik matrisli kompozitlere göre daha düşük sıcaklıklarda ürünlerin elde edilmesine olanak sağladığı için maliyet anlamında da fayda sağlamaktadır (Pelegrin ve diğ., 2017).

Polimer matrisli kompozitlerin başlıca özellikleri; korozyona dirençli, uzun süreli kullanıma uygun, işlenmesi kolay, şekillendirilebilen, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir (Kaya, 2016).

Üretim kolaylığı ve maliyetinin görece düşük olması nedeniyle polimer matrisli kompozitler genel olarak endüstriyel uygulamalarda daha çok kullanılan kompozit

türüdür. Takviye olarak adlandırılan güçlendirici yapı ise; doğal veya sentetik malzemeler, metal seramik veya polimerler gibi pek çok farklı malzeme gruplarından elde edilmektedir. Polimer matrisli kompozitler hafifliği, korozyona dirençleri, yorulmaya dayanıklılıkları ve kolay montaj edilebilmeleri gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Takviyenin matris içerisinde, sürekli fiber takviyeli, süreksiz fiber takviyeli, partikül takviyeli, fiberlerden dokunması sonrası tabakalı yapı ve farklı grup takviyelerin bir arada olmasıyla da hibrit takviyeli olarak sınıflandırılmaktadır. Üretim yöntemleri bakımından elle serme, püskürtme, filaman sarma, pultrüzyon, basınçlı kalıplama, reçine transfer kalıplama, otoklav fırında kalıplama, vakum torbalama, infüzyon, enjeksiyon, savurma kalıplama gibi yöntemler ile üretilmektedir. Bu yöntemler ayrıca metal matrisli ve seramik matrisli kompozitlere kıyasla daha kolay şekillendirmeyi sağlayan ve üretim maliyetleri düşük yöntemlerdir (Çağar, 2021). Özelliklerinin verdiği avantajlar ile birlikte, uzay araçları, uzay ve uçak araçlarının parçalarından, elektronik paketleme malzemeleri, medikal ekipmanlar, ev ve mutfak ekipmanları, spor malzemeleri, ayakkabı sektörü ve otomotiv sanayisi gibi alanlarda kullanılmaktadırlar.



Şekil 2.14. Hem reaktif hem de eriyik işleme için çeşitli matris malzemelerin eriyik viskoziteleri ve işleme sıcaklıkları (Başer, 2012)

2.5.2.4. Termoset Matrisli Kompozitler

Termoset polimerler, işlendiğinde üç boyutlu bir ağ oluşturan kimyasal bir değişim geçiren sentetik malzemelerdir. Isıtılan ve şekil verilen bu moleküller yeniden işlenemez ve şekillendirilemezler. Fakat geri dönüşümleri mümkün olup, termoset kompozitlerin geri dönüşümü mekanik, termal ve kimyasal yöntemler ile sağlanmaktadır. Termal işlem olarak yanma (combustion), ısıl bozunma (pyrolysis) ve akışkan yataklı yanma (fluidised bed) yöntemleri kullanılmaktadır. Kimyasal olarak ise kimyasal çözünme (solvolysis) işlemi uygulanmaktadır (Balıkoğlu ve diğ., 2017).

Termoset polimerler en basit tanımıyla, kritik bir sıcaklığın üzerinde kalıcı olarak sertleşen ve tekrar ısıtıldığında yumuşamayan polimerlerdir. Termoset kelimesinin kökenine baktığımızda, bu polimerler termoset adını, ısıl işlem altında kalıplandıkları (polimerize oldukları) için (termo) ve verilen şekil bir daha bozulamayacağı için (set), almışlardır (Topçu, 2010).

Termoset polimerler, bir çapraz bağlayıcılarla veya bağlayıcısız, çapraz bağlanmaya uğrayan ve 3 boyutlu ağlardan oluşan reaktif fonksiyonel gruplara sahip (düşük molekül ağırlıklı) oligomerlerdir. Termoset bazlı ürünler, genel olarak termoplastiklere kıyasla düşük sıcaklık ve basınçta kalıplanabilmektedir. Isıyla sertleşen reçinelerin bir başka belirgin özelliği, reçinelerin kimyasına ya da molekül ağırlığına değil, büyük oranda reçine ağının çapraz bağ yoğunluğuna da bağlı olmasıdır. Termoset reçineler, oligomerik veya monomerik düşük viskoziteli sıvı formlarda mevcut olduğundan, elyaf demetlerinin reçineyle emdirilerek ve elyaf yüzeyinin reçine tarafından uygun şekilde ıslatılmasını kolaylaştırmak için mükemmel akış özelliklerine sahiptirler. Termoset kompozitler, kullanılan takviyeye bağlı olarak geniş bir şekilde FRP kompozitleri, partiküllü kompozitler ve nanokompozitler olarak gruplandırılmaktadır. Tablo 2.10'da termoset reçine örnekleri ve uygulama alanları verilmektedir (Ratna, 2009).

Termoset polimerlerin bazı avantajları aşağıdaki gibidir;

- Termoset polimerler ısıtıldıklarında sıvı faza geçmeden bozunurlar. Bu nedenle termoset polimerler ateş ve ısıya karşı koruyucu bir özellik kazandırdığından tercih edilmelerini kolaylaştırmaktadır.

- Zincirler arası bağları nedeniyle sürtünme özellikleri daha iyidir.
- Termoplastiklerle kıyaslandıklarında daha yüksek dayanıma sahiptirler.

Tablo 2.9. Termoset polimerlere ait reçine çeşitleri ve uygulama alanları (Ratna, 2009)

Reçine	Uygulama Alanları
Fenol Reçine	Ev aletleri, otomotiv, uçak yapımı ve aksesuarları, elektrik ve aydınlatma, kalıplama bileşikleri, fiber kompozitler
Doymamış polyester	Yüzey kaplama, mekanik ekipman ve bina inşaatı, elektrik ve aydınlatma endüstrileri için fiber kompozitler
Epoksi	Mühendislik yapıştırıcıları, boyalar ve yüzey kaplama, elektrik laminatları, otomotiv, deniz inşaatı ve havacılık uygulamaları için fiber kompozitler
Vinil ester	Mekanik ekipman ve bina inşaatı, deniz inşaatı, elektrik endüstrileri için fiber kompozitler
Melamin	Kaplamalar, kalıplama bileşikleri, ahşap malzeme işleme, sürtünme balataları, tekstil yardımcı maddeleri
Üre	Kalıplama bileşikleri, tekstil yardımcı maddeleri, ahşap malzemeler, döküm bağlayıcı köpükler,
Tetrafenol	Ateşe dayanıklı malzeme işleme, fiber kompozitler, kalıplama bileşikleri, taşlama taşları, aside dayanıklı çimentolar
Poliüretan (PU)	Kaplama, yapıştırıcı, kapsülleyici malzemeler, aside dayanıklı çimentolar, köpükler, yapıştırıcılar
Poliimid	Yüksek sıcaklık uygulamaları için kaplama ve kompozit
Siyanat ester	Uçaklar, roketler için fiber kompozitler, füzeler
Bizmalemid	Uçaklar, roketler için fiber kompozitler, füzeler

Termoset polimerlerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir;

- Yapılarında ki çapraz bağlardan dolayı üretim süreleri uzundur,
- Tekrar kullanılamazlar,
- Üretim süreçlerinin takibi termoplastiklere kıyasla zordur,
- Eritilememeleri nedeniyle kaynaklama işlemi yapılamamaktadır (Kiraz, 2019).

2.5.2.5. Termoplastik Matrisli Kompozitler

Mühendislik plastikleri olarak da adlandırılan termoplastik grubunu oluşturan ve en çok kullanılanları: Akrilik, asetal, Akronitril-Butadiene-Streyn (ABS), politetra floroetilen Poliamid (PA), Polietilen (PE), Polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) dir. Erime sıcaklığında eriyen ve şekillendirildikten sonra amorf, yarı kristal veya kristal katıya soğutulan viskoz, uzun, ayrı moleküllerden oluşmaktadır. Termoplastiklerin işlenmesi

tersine çevrilebilir ve basitçe işlem sıcaklığına yeniden ısıtılarak istendiği takdirde başka bir şekle dönüştürülebilir. Ayrıca çatlama ve darbe hasarına karşı dirençlidirler. Üretim açısından ve avantajları sayesinde gelecek için yüksek üretim ve daha fazla kullanım alanı bulacağı düşünülmektedir. Çünkü bir malzemeyi ısıtmak ve soğutmak, onu kürmekten daha kolay ve hızlıdır. Bu nedenlerden dolayı da otomobil endüstrisi gibi yüksek hacimli endüstrilerin ilgisini çekmektedir (Kaczmar ve diğ., 2000).

Günümüzde kullanılan kompozit malzemelerin çoğunda, matris olarak ısıyla şekil alabilen polimerler olan termoplastikler kullanılmaktadır. Termoset polimerlerin çeşitli performans eksiklikleri bulunmaktadır. Kimyasal olarak reaktif olmaları nedeniyle, çözünmelere karşı duyarlılıkları, çapraz bağlanmamış termoset polimerlerin reaktivitesi, raf ömrünü sınırlamakta, işleme süresini arttırmakta, geri dönüşüm ya da tekrar kullanılamaz duruma gelmekte ve kolayca tamir edilemeyen parçalar üretilmektedir. Termoplastik matrisli polimerler ise darbeye karşı dayanıklı olmalarının yanında, sınırsız raf ömrüne sahip olmaları, işlenmeleri için sadece ısı ve basınç ihtiyacı duymaları, son yapılan çalışmalar ile birlikte yüksek hacimli üretilebilmeleri, bunların yanında düşük bütçeye ihtiyaç duymaları, yüksek performanslı termoplastik matrisli kompozitlerin üretimine imkân tanımaktadır (Bigg ve diğ., 1988).

Termoplastik polimerlerin kullanıldığı kompozitler yüksek hasar toleransına, mükemmel korozyon ve solvent direncine, yüksek kırılma tokluğuna, yüksek darbe direncine, iyi yorulma direncine, düşük depolama maliyetine sonsuz raf ömrüne sahiptir. Bunlar yeniden işlenebilir, onarılabılır ve yeniden şekillendirilebilir olup, ayrıca üretim kolaylığı ve maliyet etkinliğine sahiptirler. Yapılarının verdiği imkân sayesinde karmaşık şekillerde üretilebilirler. Termoplastik matrisli kompozitlerin üretiminde yüksek sıcaklık ve basınç gerekmektedir, bu durum kompozit parçaların entegrasyonunu sınırlayabildiği gibi üretim maliyetini arttırabilir. Fakat hızlı, güvenilir ve uygun maliyetli termoplastik matrisli kompozit birleştirme veya montaj teknikleriyle yüksek düzeyde entegrasyon sağlanabilmektedir. Günümüzde termoplastik kompozit yapıların birleştirilmesi, havacılık, otomotiv ve deniz endüstrilerinde statik ve yorulma yüklerine daha iyi dayanmak için metallik ve termoset kompozit muadillerini yerini almaktadır (Yousefpour ve diğ., 2004).

Tablo 2.10. Çeşitli termoplastik polimerlerin özellikler ve otomobillerde kullanıldıkları alanlar (Mallick, 2010)

Polimer	Kısaltma	Amorf ya da yarı kristal	Özkütle (g/cm ³)	Çekme Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Otomobil uygulama alanları
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	HDPE	Yarı kristal	0,96	1	20-30	Silecek su şişesi, yakıt deposu
Polipropilen	PP	Yarı kristal	0,90	1,3	30-40	Akü kutusu, havalandırma kanalları, gösterge paneli, iç konsol
Polikarbonat	PC	Amorf	1,2	2,5	60	Far koruyucu, gösterge panel koruyucu,
Polimetil Metakrilat	PMMA	Amorf	1,17-1,20	2,8	50-70	Arka stop koruyucu,
Akrilonitril Butadiyen Sitren	ABS	Amorf	1,05-1,07	2,2	40	Tampon kirişi, ön konsol bilgi-eğlence, ayna kapakları, iç konsollar
Stiren-Maleik Anhidrit Polimer	SMA	Amorf	1,05-1,15	2,8	35-60	
Polyamide-6 (Nylon-6)	PA-6	Yarı kristal	1,14	2,5	80	Emme manifoldu, rezonatör, motor gaz keleşbeği gövdesi, soğutma fanı
Polyamide-6.6 (Nylon-6.6)	PA-6.6	Yarı kristal	1,14	2,8	60-80	Emme manifoldu, rezonatör, anahtarlar, motor dişlileri, soğutma fanı
Polyamide-4.6 (Nylon 4.6)	PA-4.6	Yarı kristal	1,18	3	99	Elektrik konnektörleri, anahtar gövdesi, şarj sistemi ve hava soğutucuları, zincir gergi ekipmanları
Polioksimetilen	POM	Yarı kristal	1,41	2	61-70	Dişliler, cam kolu, emniyet kemeri parçaları, kapı kilit yuvaları
Polietilen Tereftalat	PET	Amorf	1,37	2	70	Elektrik konnektörleri, ateşleme bobinleri
Polibütillen Tereftalat	PBT	Yarı kristal	1,31	1,7	55	Sigorta kutuları, sensör muhafazaları, ayna muhafazaları
Polifenilen Sülfid	PPS	Yarı kristal	1,34	3,3	69	Pompa çarkları, termostat muhafazası, gaz keleşbeği gövdesi, ateşleme bobini

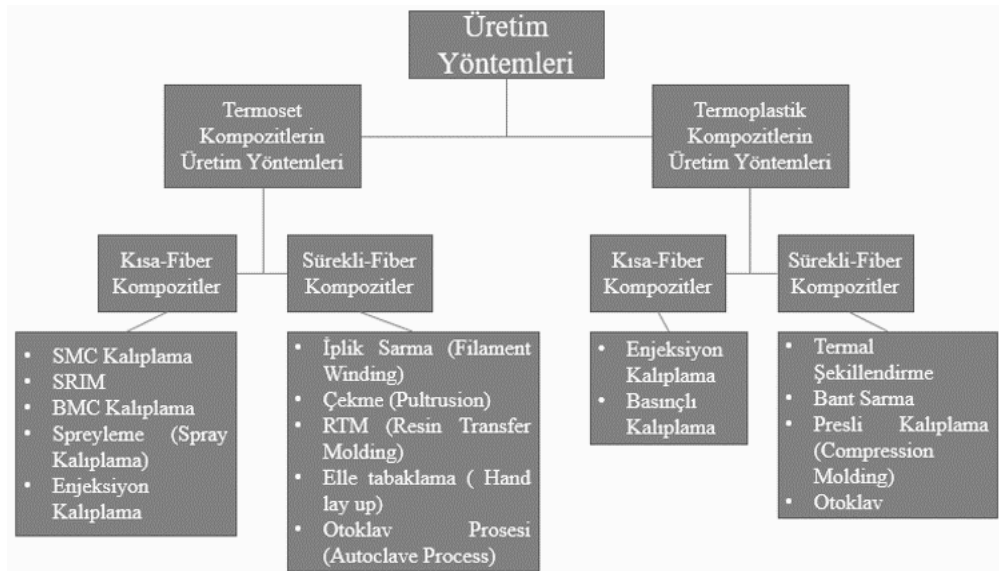
Termoplastik matrisli kompozitlerin modülünü ve/veya mukavemetini arttırmak, ısı sapma sıcaklığını arttırmak, termal genleşmeyi kontrol etmek ve kalıp büzülmesini azaltmak için genellikle mineral dolgu maddeleri veya kısa/uzun liflerle birleştirilmektedir. İşleme özelliklerini değiştirmek için ve bazılarının bir veya daha fazla mekanik özelliği geliştirmek için; ısı stabilizatörleri, antioksidanlar, yangın geciktiriciler, plastikleştiriciler, darbe düzenleyiciler ve renklendiriciler gibi çeşitli katkı maddeleri içerebilmektedir.

Termoplastik matris polimerlerinden olan Poliamid 6 (PA6), temel mühendislik malzemelerinden biri olarak geçmektedir. Polar olmayan solventlere karşı iyi kimyasal

dirence, iyi termal ve çok iyi mekanik özelliklere sahip termoplastik bir polimerdir. Uygun dolgu maddeleri kullanılarak mekanik özellikleri kolaylıkla değiştirilebilir. Örneğin, ağırlıkça %40'tan fazla miktarda cam elyaf (GF) ile güçlendirilmiş PA6, iyi bir metal ikamesi göstermektedir (Dryzek ve diğ.,2017). Poliamid malzemelerin diğer bir adı Nylon olarak geçmektedir. PA'lar iyi bir parlak ve pürüzsüz yüzey görünümü elde edilmesine olanak tanımaktadır. PA'lerle ilgili önemli tasarım endişesi, parçanın özelliklerini ve boyutsal kararlılığını etkileyen nemi emmeleridir. Cam takviyesi bu sorunu en aza indirmekle kalmamakta ve güçlü, darbeye dayanıklı bir malzemeye dönüşmesine yardımcı olmaktadır (Mazumdar, 2001). PA'ler mukavemet ve sertlik açısından PP ve polietilen (PE)'den daha iyi olup, ancak yeterli süneklik ve esneklik yapılarını korumaktadırlar. Takviye fiberler ile güçlendirildiklerinde yük taşıma uygulamalarında ve yapısal bileşenlerde kullanılabilmektedirler (Vaidya ve diğ., 2008).

2.6. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

İstenilen mekanik özellikteki kompozitlerin üretilmesinde birçok yöntem bulunmaktadır. Şekil 2.15'te polimer matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir. Kompozitlerin üretim yöntemleri farklı da olsa kompozit bir parça üretilirken önce şekil verilir, sonra parça işlenir, en son da birleştirme ve bitiş işlemleri gerçekleştirilmektedir (Baydar, 2011).



Şekil 2.15. Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin şematik gösterimi (Baydar, 2011)

2.6.1. Termoplastik Matrisli Kompozitlerin Üretimi

Termoplastik matrisli kompozit malzemelerin üretiminin termoset matrisli kompozit malzemelerin üretime göre birçok avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır.

Avantajları:

- Soğutma sistemine ihtiyaçları bulunmamakta,
- Parçalar ısı ile birleştirilebilmekte,
- Parçalar geri dönüştürülebilir, kalıba sokularak tekrar parça üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Dezavantajları:

- Termosetlerden daha fazla sıcaklıkta üretilenmekte,
- Termoplastikler rijitlerdir. Kısmi kür edilmiş epoksilerin yapışkanlığı bulunmamaktadır (Yıldızhan, 2008).

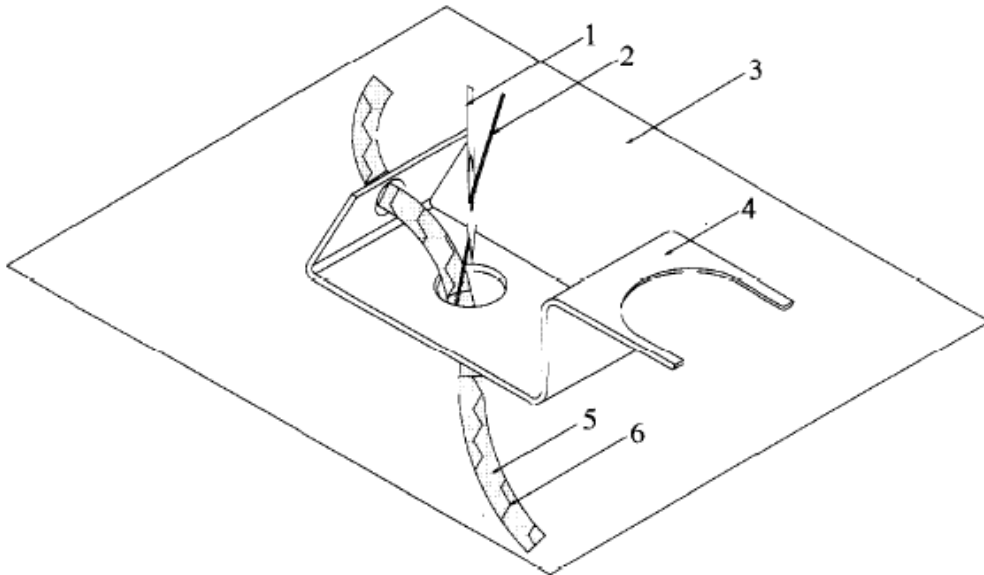
Presli kalıplama öncesinde, kalıba yerleştirilecek plakaların hazırlanması gerekmektedir. Bu hazırlama işlemi farklı şekillerde olabilmektedir. Dikiş, dokuma, örgü ve örme olmak üzere dört tekstil prosesi, karmaşık kompozit bileşenlerin üretim maliyetini önemli ölçüde azaltmakta ve darbe gibi kritik tasarım durumlarında gelişmiş mekanik performansa sahip yapılar üretme potansiyeline sahip olmaktadır. Dört temel üretim tekniği Tablo 2.11’de kısa bir özetini ve değerlendirmesini bulunmaktadır.

Tablo 2.11. İleri tekstil üretim tekniklerinin karşılaştırılması (Bannister, 2004)

Tekstil Süreci	Taslak Biçim	Fiber oryantasyonu	Üretkenlik / Kurulum
Dikiş / Dikme (genel)	Birkaç yapıyı birleştirerek karmaşık şekillere imkân vardır.	Temel şekle bağlı	Yüksek verimlilik ve kısa sürede kurulum ile üretilebilirlik
Dikiş (Nakış İşleme)	Temel kumaşa eklenen fiberler	Karmaşık fiber oryantasyonlar mümkündür, örnek olarak maksimum stres yönüne	Makul düzeyde üretkenlik, kısa sürede kurulum
Üç boyutlu dokuma	Düz kumaşlar, bütünleyici sertleştiriciler, bütünleyici sandviç yapı ve basit profiller	Farklı kalınlıklarda yapılar mümkündür, ancak fiberler 0°/90° yönlerinde olmaktadır.	Yüksek verimlilik, uzun kurulum süresi
Üç boyutlu örgü	Açık ve kapalı profiller (I, L, Z, O, U vb.) ve düz kumaşlar	0° fiberler ile, 0° / 80° / 90° yönünde fiberlerin örülebilmesi	Makul düzeyde üretkenlik, uzun sürede kurulum
Örgü (general)	Düz kumaşlar ve çok karmaşık şekiller	Ağ benzeri yapıda son derece ilmekli fiberler	Makul düzeyde üretkenlik, kısa sürede kurulum
Örgü (Kıvrımı olmayan)	Düz kumaşlar ve bütünleyici sandviç yapılar	Çok eksenli düzlem içi yönlendirme 0° / 90° / ± 45° / ±45°	Yüksek verimlilik, uzun kurulum süresi

TFP bir dikiş tekniği olup, bu işlem de dikiş kafasının yoluna bir takviye ipliği beslenmekte ve şekil yüzeyine dikilmektedir. Mevcut bilgisayar kontrollü dikiş kafaları ile bir düzlem üzerine oldukça karmaşık şekiller yerleştirmek dikmek mümkündür. Teknik dikiş tekniği, optimize edilmiş bir elyaf deseni içeren eksiksiz ön kalıplar oluşmak için kullanılmaktadır. Bu teknoloji, alüminyum muadilinden %60 daha hafif olan bir karbon fiber robotik kol üretmek için Özel Fiber Yerleştirme (Tailored Fiber Placement (TFP), ticari adıyla Higtex GmbH firması tarafından kullanılmıştır. Üç boyutlu kompozitler üretmek için diğer tekstil işlemleriyle karşılaştırıldığında, dikiş genellikle en basit ve en ucuz olanıdır. Aynı zamanda çok esnek bir tekniktir, takviyenin sadece istendiği yerde uygulanmasına izin verir ve standart iki boyutlu kumaşın tutuşunu geliştirmektedir (Bannister, 2004).

TFP teknolojisi, eğrisel fiber şekillerin üretimi konusunda Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden çalışmalar yapmış ve icat etmiştir. TFP, isteğe bağlı takviye fiberlerin Şekil 2.16’da gösterildiği gibi, iki boyutlu (2D) bir düzlem üzerine istenilen takviye fiberlerin (örneğin; karbon, cam ve aramid fiber) istenilen şekilde yönlendirilmesine izin veren dikiş tabanlı tekstil formunda bir üretim tekniğidir (Uhlig ve diğ., 2016).



Şekil 2.16. TFP konsepti: (1) iğne, (2) dikiş ipliği, (3) ana malzeme, (4) TFP tutacak ekipmanı, (5) takviye şerit ipliği, (6) yardımcı iplik (kol/rondela) (Crothers ve diğ., 1996)

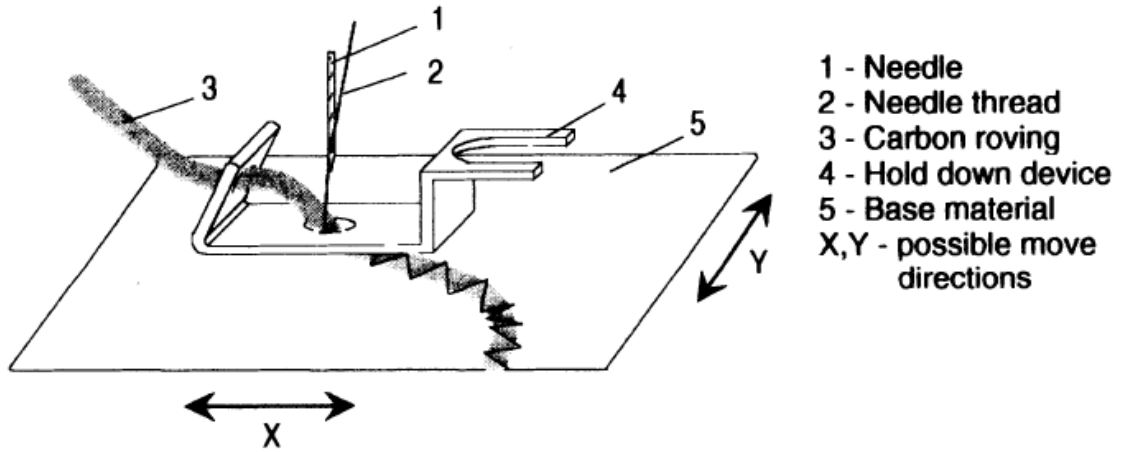
Diğer tekstil ön şekillendirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, TFP takviye fiberleri herhangi bir yöne yönlendirilebilir ve fiber yapısının anizotropik özelliklerinden yararlanılarak malzemedeki yüklenme tarafı ile hizalanmasına izin verecek şekilde yarıçapta eğrilebilmektedir. TFP sürecinin bazı avantajları şunlardır:

- Takviye fiberlerin hafif yapılarından maksimum düzeyde yararlanılmakta,
- Fiber yerleştirmeleri yüksek doğrulukta ve tekrarlanabilmekte,
- Mükemmel şekil bütünlüğü sağlanmakta,
- Kesme işlemi gerektirmemekte,
- Herhangi bir yere yerleştirme gerektirmemekte,
- İstenilen şekle net üretim ya da çok az atık ile üretim yapılabilmekte,
- Fiberler istenildiği gibi yönlendirilmekte ve hizalanabilmekte (Crothers ve diğ. 1996).

TFP'nin ana dezavantajı, iğnenin taban malzemesine tutturma sırasında takviye fiberlerine zarar vermesidir. Yeni geliştirilen sistemler ile birlikte, iğnenin takviye fiberinin her iki tarafında bir zikzak hareketiyle dikiş yapmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede iğne doğrudan takviye fiberlerinden geçmemekte ve hasar büyük ölçüde azaltılmaktadır (Crothers ve diğ. 1996).

Bir fitil, temel malzeme üzerindeki dikişler ile sabitlenmektedir. Dikişler arasında, taban malzemesi sayısal kontrol ile X, Y yönünde hareket ettirilebilmektedir. Fitil, fitilin her iki tarafında zikzak dikişlerle temel malzemeye işlenmektedir. Temel malzeme bir kumaş veya dokunmamış bir kumaş olabilmektedir. Fitil, karbon, cam fiber veya diğer fiber türlerinden yapılabilir. Yaygın tekstil teknolojilerine kıyasla en büyük avantajı, 0o ile 360°'lik açılarla takviye alanının her yönünde takviye fiberlerinin düzenlenebilmesidir. Ayrıca aynı alan boyunca birkaç kez dikilerek fiberlerin birikmesi sağlanabilmektedir (Mattheij ve diğ., 1998).

TFP yöntemiyle üretilen kumaşlar daha sonra presli kalıplama, otoklav, sarma veya pultrüzyon yoluyla kalıplanabilmektedir. Fakat presli kalıplama, sağladığı avantajlar nedeniyle tercih edilmektedir. Presli kalıplama işlem parametreleri (örneğin, ön ısıtma sıcaklığı, kalıplama sıcaklığı, kalıplama basıncı tutma süresi, soğutma hızı vb.) doğrudan matris malzemenin akışını ve takviye edici fiberlerin matris tarafından sarılmasını etkilemektedir.



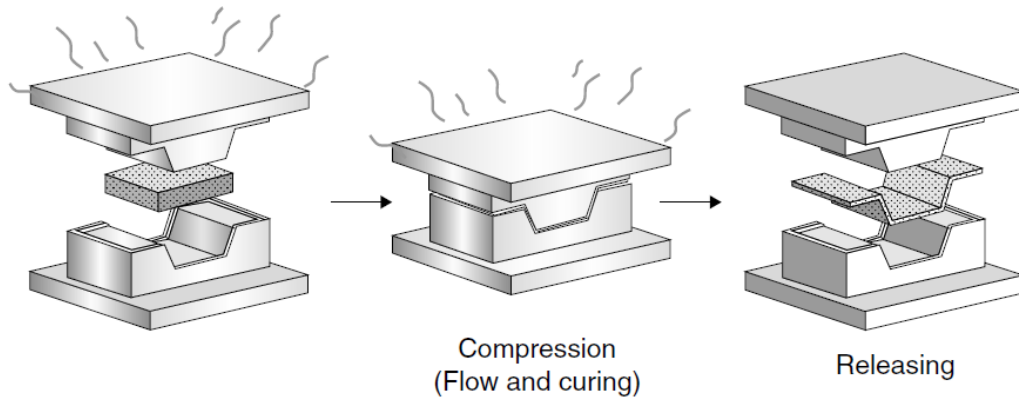
Şekil 2.17. TFP üretim sürecinin prensibi

Bu da fiber matris ara yüzeyinin daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Proses parametreleri arasındaki etkileşimler birleştiğinde, istenilen parçanın kalitesi ve mekanik performansı üzerinden bir etki yaratmaktadır. İstenilen parçanın mekanik performansının optimize etmek için, çeşitli faktörler arasındaki etkileşimi analiz etmek ve presli kalıplamanın en iyi proses parametrelerini belirlemek çok önemlidir (Xie ve diğ., 2019).

2.6.1.1.Presli Kalıplama (Compression Molding)

Presli kalıplama (sıkıştırılmalı kalıplama), plastik ve polimer matrisli kompozit malzemelerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan üretim yöntemlerinden biridir. Bu üretim yöntemiyle cam elyaf takviyeli polimerin ilk uygulaması, 1953 yılında geliştirilen GM Corvette'in ön panelidir. Günümüzde, presli kalıplama yöntemi, düşük maliyet (birim kütle başına fiyat açısından en ucuz kompozit malzeme: birim kütle başına çelikten yaklaşık iki kat daha pahalı) nedeniyle kompozit malzemelerin en popüler üretim yöntemi olmaktadır. Presli kalıplama işleminde, kalıbın dişi ve erkek (üst ve alt blokları) blokları arasına istenilen miktarda malzeme yerleştirilir ve daha sonra malzeme Şekil 2.18'de gösterildiği gibi kalıba basınç uygulanarak nihai şekil verilmektedir (Park ve diğ., 2012).

Bir presli kalıplama işleminin, anlaşılması kolay döngüsü 4 farklı aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, reaksiyona girmemiş mamul alt kalıp yarısına dökülmekte ya da yerleştirilmektedir. Daha sonra, yükü sıkıştırmak için bir kuvvet uygulanmakta, uygulanan kuvvet sırasında her iki kalıp yarısı da ısıtılmaktadır.

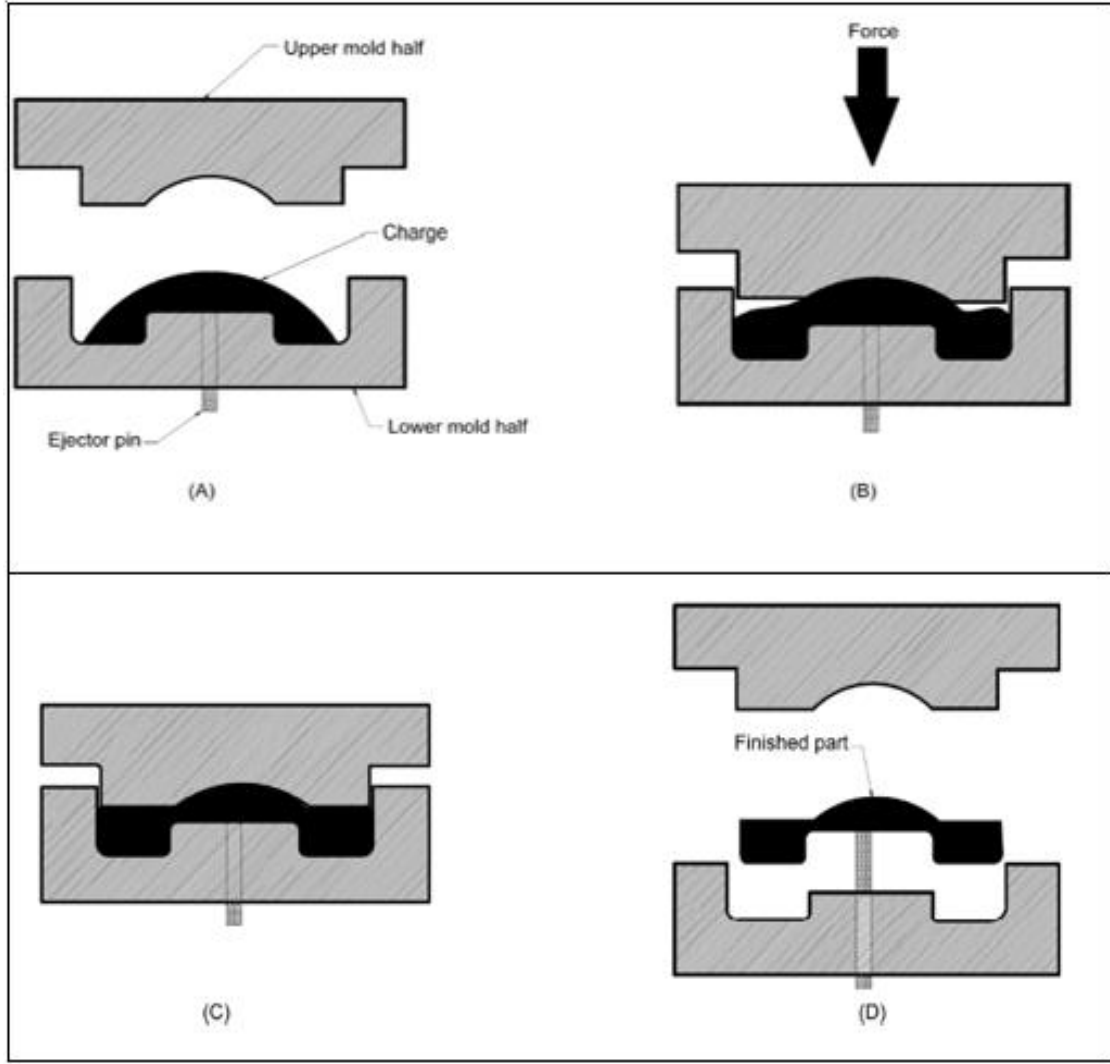


Şekil 2.18. Presli kalıplama prosesi şematik anlatımı (Park ve diğ., 2012)

Basınç ve sıcaklık yardımıyla kalıpların arasında kalan mamul erimeye ve şekillenmeye başlamaktadır. Üçüncü adımda ise, şekillenmeye başlayan mamul belli bir süre belli bir sıcaklık ve basınç altında tutulmakta ve şekillenmenin tamamlanması beklenmektedir. Son olarak, şekillenme tamamlanmasıyla birlikte kalıbın soğutulur ve açılarak nihai ürünün kalıptan çıkartılması sağlanır. Bu sıralama tüm presli kalıplama için geçerlidir. Bu üretim işlemleri, basit geometrik şekillerden, karmaşık üç boyutlu geometrik şekillere kadar birçok parçanın üretilmesinde uygulanabilmektedir. Bu ürünler arasında, aydınlatma ve elektrikli cihazlar ekipmanları, nakliye ekipmanları, elektrikli duvar anahtar plakaları ve prizleri, devre kesiciler, şişe kapakları, düğmeler, ambalajlar, kaplar, kapaklar, koruyucu kasklar, pompa bileşenleri, dişliler, fren parçaları ve çevre parçaları, kasnaklar, araç panelleri, bulaşık makinesi parçaları vb. bulunmaktadır. Özellikle çok çeşitli elyaf takviyeli ürünlerin üretilmesi için kullanışlı bir yöntemdir. Bir presli kalıplama cihazı temelde ısıya sahip mengene benzeri bir pres sisteminden oluşmaktadır. Kullanılan cihazların temel şematik görünümü Şekil 2.19'daki gibidir (Tatara, 2017).

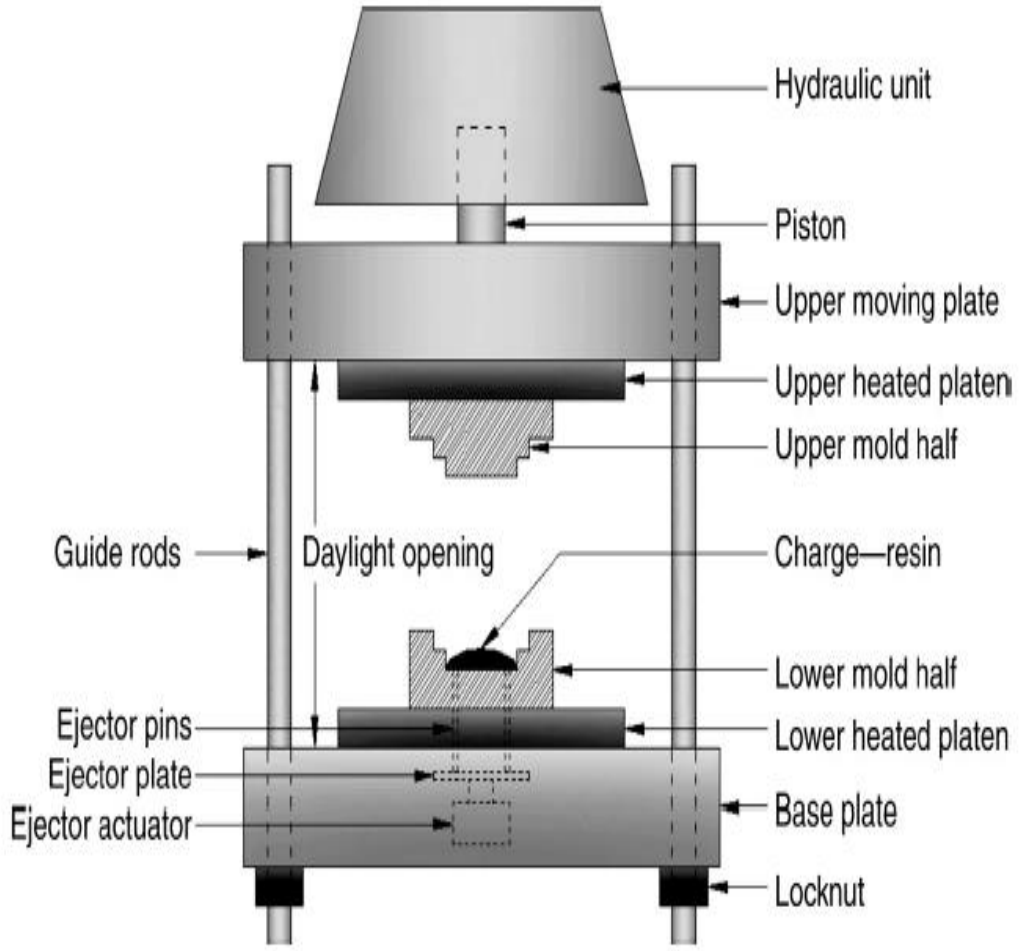
Presli kalıplama yönteminin avantajları:

- Seri üretimde aynı geometride parçalar üretilmekte,
- İçerisine katılan fiberlerin özelliklerinin istenildiği gibi olabilmesi için kolay kontrol edilebilmekte,
- Parlak iç ve dış yüzeyler elde edilebilmekte,
- Reçine formülasyonuna ve dolgu tipine bağlı olarak, iyi elektrik performansı ve alev direnci elde edilebilmekte,



Şekil 2.19. Presli kalıplama prosesinin şematik 4 adımda gösterimi, (A) Mamulün kalıp boşluğuna yüklenmesi, (B) Basınç ve ısı ile mamulün sıkıştırılması ve şekillenmeye başlanması, (C) Belli bir sıcaklık ve basınç altında şekillendirmenin tamamlanması, (D) Soğuma ve parçanın kalıptan ayrılması (Tatara, 2017)

- Karmaşık şekillerde parçalar (feder yapıları, yön bulucular, delikler, ince detaylar dahil) üretilebilmekte,
- Birkaç bileşenden oluşan parçalar, ikincil işlemler veya montaj adımları olmaksızın tek bir parçada üretilebilmekte,
- Yüksek hacimli üretimler gerçekleştirilebilmekte,
- İşçilik maliyetleri düşürülmekte,
- Hurda malzeme oranları minimum seviye tutulmakta,
- Parçalardan minimum fazlalık meydana gelmektedir,



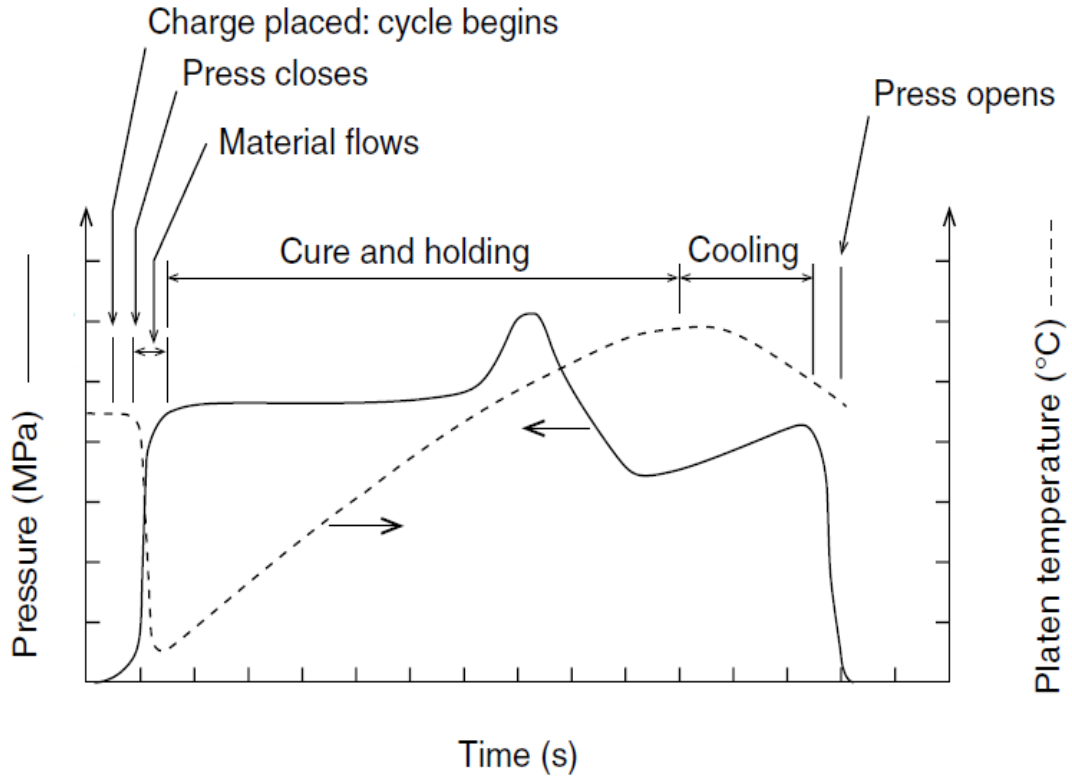
Şekil 2.20. Presli kalıplama sisteminin temel şematik görünümü (Tatara, 2017)

Dezavantajları:

- Şeffaf ürünlerin üretilmesi mümkün değildir,
- Hand lay-up üretim yöntemine göre daha pahalıdır,
- Hand lay-up yöntemine göre daha fazla ekipmana ihtiyaç duyulmakta,
- Çöküntüler ve dalgalı yüzey kusurları meydana gelebilmektedir (Park ve diğ., 2012).

Presli kalıplama yönteminde, polimer matrisli kompozitlerin kalıplanması sırasındaki

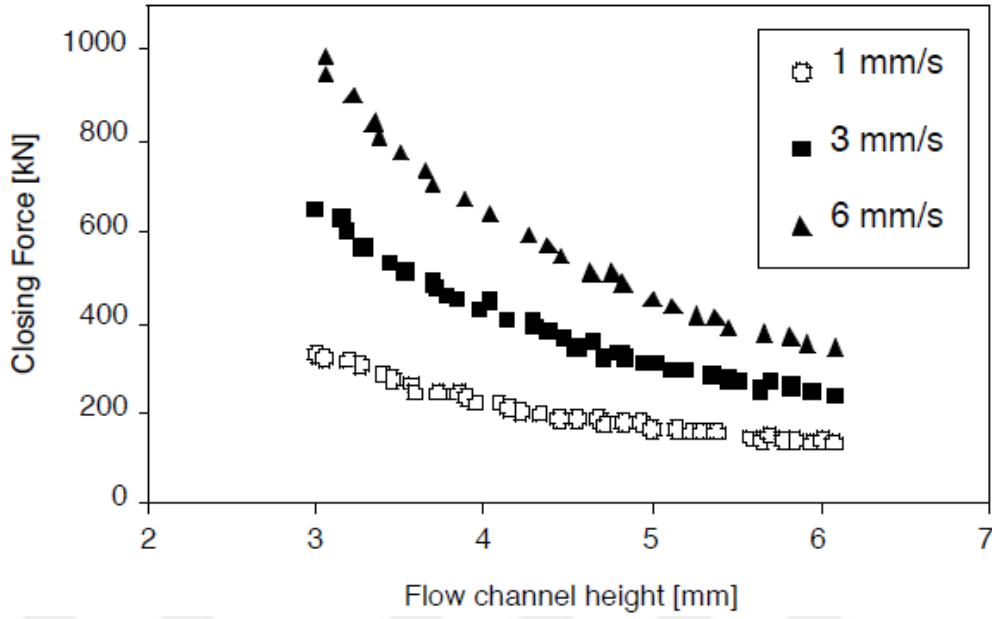
sıcaklık farkının, kalıplanmış ürünlerde çeşitli kusurlara neden olabileceği öngörülmektedir. Bu durum, kalıpta bulunan ısıtma borularındaki sıcaklık farklılıklarının, belirli bir bölgedeki aşırı sıcaklık nedeniyle polimerlerin önerilen işlem sıcaklığı sınırlarını aşmasıyla ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 2.21. Sıkıştırma kalıplama arasında sıcaklık ve basınç değişimi (Park ve diğ., 2012)

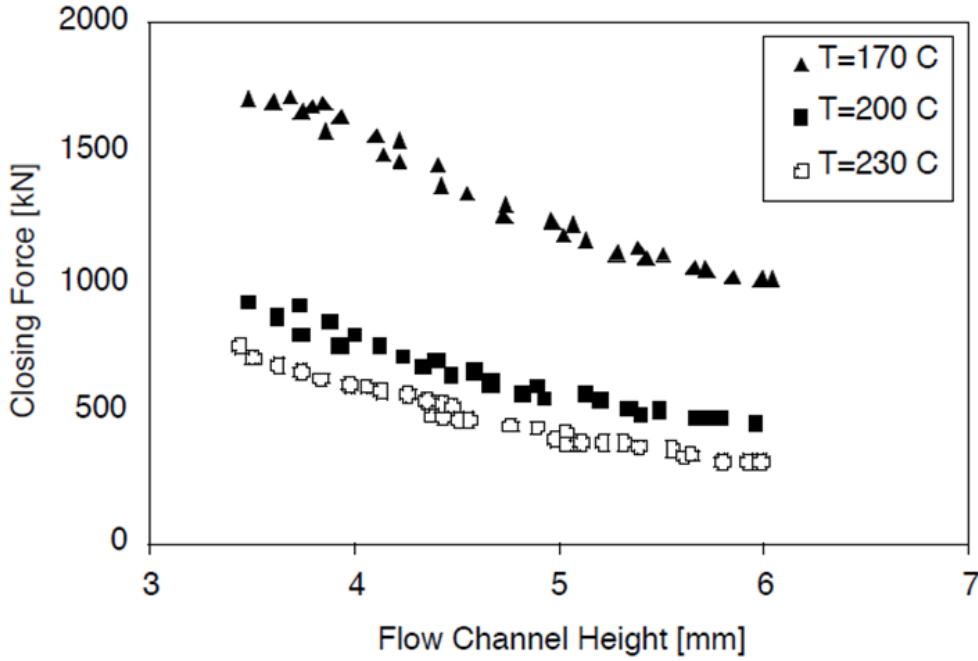
Diğer bir problem ise, numune kalınlığının tüm yüzey boyunca aynı olmaması, tüm yüzeylere etkiyen sıcaklık aynı olsa da kalın yüzeye sahip olan bölgede matris ve fiber arasında zayıf bağlara neden olabilmektedir. Bu durumlar malzemenin gerçek mukavemetinden daha düşük mukavemette arızalanmasına, deforme olmasına neden olabilmektedir (Verma ve diğ. 2021).

Presli kalıplama yönteminde, kalıbın kapama hızı artıkça kalıbın dolması daha hızlı olabilmektedir. Ancak katılaşma (kürleme) süresi kalıbın kapama hızından etkilenmediği için döngü süresinde değişiklik olmayacaktır. Daha hızlı kapama, akışkan reçine ile takviye edici lifler arasında yüksek sürüklenme kuvvetine neden olacaktır. Bu da fiber matrisin ayırma etkilerini azaltacaktır (Davis ve diğ.).



Şekil 2.22. Kalıp kapanma hızının kapama kuvvetine etkisi (Davis ve diğ.)

Kalıp ilk sıcaklığında ki artış ise, Şekil 2.23’de gösterildiği gibi kapama kuvveti gereksinimini büyük ölçüde azaltmaktadır. Fakat yüksek sıcak bir kalıp yüzeyinin dezavantajı ise, daha uzun soğuma süresine neden olacağından, katılaşma süresi uzamaktadır (Davis ve diğ.).



Şekil 2.23. Kalıp şarj sıcaklığının kalıp kapama kuvveti üzerindeki etkisi (Davis ve diğ.)

2.7. Otomotiv Parçalarında İklimlendirme (Çevresel) Testler

Otomobil firmaları tarafından üretilen araçlardaki parçaların kalitesi müşteri memnuniyeti açısından önemli olmaktadır. Araç üretiminde kullanılan parçaların her birinin ömrünün müşteri tarafından kullanıldığı süre zarfında deforme olmaması istenilmektedir. Fakat bir otomobilin hangi koşullarda kullanılacağı üretici tarafından bilinemediği için de birçok farklı iklim ve çevresel şartlara uygun malzeme seçimi yapılması gerekmektedir. Bu nedenle de parçaların her biri, araçta bulunduğu konuma göre ya da kullanım amacına uygun olacak şekilde testlere tabi tutulmaktadırlar. Bu testlerin amacı, araç müşteriye gönderilmeden önce parçaların çevresel koşullarda istenilen özellikleri sergileyip sergilemediğini öğrenmektir.

Günümüzde, malzemelerin aşınma davranışı ve aşınmalarının minimuma indirilmesi otomobil performansını geliştirme amacıyla yapılan araştırmalarda önemli bir alan haline gelmektedir. Mühendislik malzemelerinin aşınma performansı ve termal stabilitesini sistematik olarak incelemek için, atmosferik hava koşullarında maruz kalma, karanlık ortamda maruz kalma, cam altında maruz kalma vb. yapay olarak hızlandırılmış hava koşullarına maruz kalınması sağlanarak iç ve dış çevresel koşullara göre birçok test standardı oluşturulmuştur (Deng ve diğ., 2020). Bu konuyla ilgili yapılacak çalışmalara yön vereceği düşünülmektedir. Parçaları ısı, nem, kirlleticiler, mekanik gerilmeler ve biyolojik şartlar etkilemektedir. Günümüzde laboratuvarlarda hızlandırılmış yaşlandırma teknikleri, doğal güneş ışığının spektral güç dağılımını yansıtan bir tür yapay ışık kaynakları kullanılmaktadır. Işık yoğunluğu gündüz için arttırılmakta, karanlık durumlar için ise azaltılabilmektedir (Pickett ve diğ., 2008). En yaygın mühendislik malzemelerinden biri olan PA6, mükemmel mekanik özelliklerinin yanında, kimyasal direnci nedeniyle de uygulama alanına sahiptir. Bir çeşit kimyasal bağ, karbon-hidrojen bağlarından oluşması, parçanın kullanımı sırasında ısı, oksijen, ışık ve suya maruz kalınması karbon yapısı üzerinde etki edebilmektedir. Kimyasal ve fiziksel olarak parçada bozulmalar meydana gelebilmekte ve sonucunda malzemenin arızalanmasına ve kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, çeşitli doğal ortamlarda PA6'nın bozunma davranışının ve hava koşullarına dayanıklılığının doğru bir şekilde değerlendirilmesi hem güvenlik hem de ekonomik açıdan çok önemlidir. Doğal ortamdaki sıcaklık, nem, güneş radyasyonu ve hava kirleticilerinin malzeme performansları üzerine etkilerini doğru bir

şekilde yansıtarak doğal çevreye uyumlarının ve hizmet ömürlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. PA6'nın dış mekân maruz kaldığı etkenler, yaşlanmaya neden olan faktörler arasında ısı, UV ışınları, ozon ve mikroorganizmaları ile atmosferdeki oksijen ve nemde yaşlanmayı etkilemektedir (Shi ve diğ., 2016).

Birçok OEM firması, parçalarının bulunduğu konuma göre performans spesifikasyonu tanımlamaktadır. OEM firması tarafından tanımlanan WSS-M15P50-C2 spesifikasyonu ile motor bölmesi ve gövde altı polimer bileşenlerinin malzeme dayanıklılığını ele almaktadır. Bu spesifikasyonda ön koşullandırma gerektirmeyen parçalar için hazırlanmış, cam sil depoları, akü kutuları, gövde altı, havalandırma kalkanları, tekerlek davlumbazları, hava deflektörleri vb. parçaların malzeme dayanıklılığına atıfta bulunmaktadır (Ford, 2016).

2.8. Tezin İçeriği ve Önemi

Bu çalışmada TFP teknolojisiyle hazırlanmış sürekli tek yönlü E-Cam fiber takviyeli PA6 kumaşın, sıcak pres tekniği kullanılarak 2mm kalınlığında termoplastik matrisli kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarında hem TFP teknolojisi hem de sıcak pres tekniğinin bir arada kullanılarak gerçekleştirilen termoplastik matrisli kompozit üretimi ve bu üretimden elde edilen ürünün mekanik özelliklerini araştıran detaylı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Gerçekleştirilen çalışmada, sıcak pres üretimlerinde farklı tutma sürelerinin (4.30 dk / 5.00 dk / 5.30 dk) E-Cam fiber-PA6 (GF-PA6) kompozit malzemelerinin mekanik özelliklerine etkileri üç nokta eğilme, çekme ve charpy darbe testleri uygulanarak incelenmiştir. Eğilme modülü, eğilme dayanımı, çekme modülü, çekme dayanımı ve darbe dayanımı değerlerine sıcak pres üretimlerindeki tutma sürelerinin etkisi detaylı olarak yorumlanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, otomobil sektöründe kullanılması hedeflenen termoplastik matrisli kompozit malzemenin çevresel şartlar altındaki mekanik özelliklerindeki değişimin yorumlanması ve değerlendirilmesi adına WSS-M15P50-C2 OEM (Original Equipment Manufacture)'ine göre termal yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sıcak pres üretiminde seçilen tutma sürelerinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi daha detaylı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulguların literatürdeki bu eksikliği gidereceği ve ileriki çalışmalara yardımcı olacağı düşünülmektedir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Yaptığı çalışmada (Xie ve diğ., 2019), karbon fiber takviyeli polimer kompozitin (CFRP) sıkıştırılmalı kalıplama üretim parametrelerinin (sıkıştırma sıcaklığını, sıkıştırma basıncı, basınç tutma süresi ve soğutma hızı) etkilerinin çekme mukavemeti üç nokta eğilme test sonuçları karşılaştırılarak proses parametrelerinin optimizasyonu incelenmiştir. CFRP esaslı malzemede uzun fiber takviyeli poliakrononitril (PAN) bazlı karbon fiber kullanılmıştır. Tablo 3.1’de kullanılan malzemelerin teknik özellikleri verilmiştir. CFRP esaslı numuneler hidrolik pres kullanılarak 500mm x 500mm boyutunda üretilmiştir.

Tablo 3.1. CFRP esaslı malzemede uzun fiber takviyeli poliakrononitril (PAN) bazlı karbon fiber malzemesinin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Form	12 K; 2x2 kumaş
En (genişlik)	1,000 ± 10
Kumaş yüzey özkütlesi (g/m ²)	400 ± 10
Prepreg yüzey özkütlesi (g/m ²)	727 ± 28
Reçine İçeriği (%)	40 ±2
Prepreg kalınlığı (mm)	0,44 ± 0,02

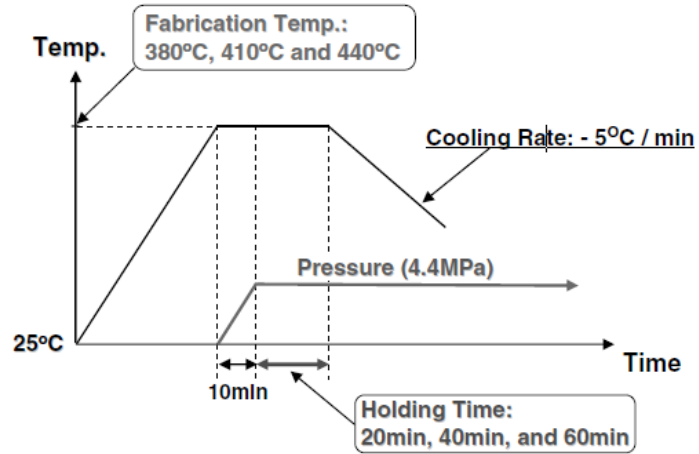
CFRP esaslı test numuneleri Tablo 3.2’de belirtilen farklı sıcak pres proses parametrelerinde üretilmiş ve ardından üç nokta eğilme testleri yapılarak proses parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

Tablo 3.2. Test numunelerinin üretim parametreleri (Xie ve diğ., 2019)

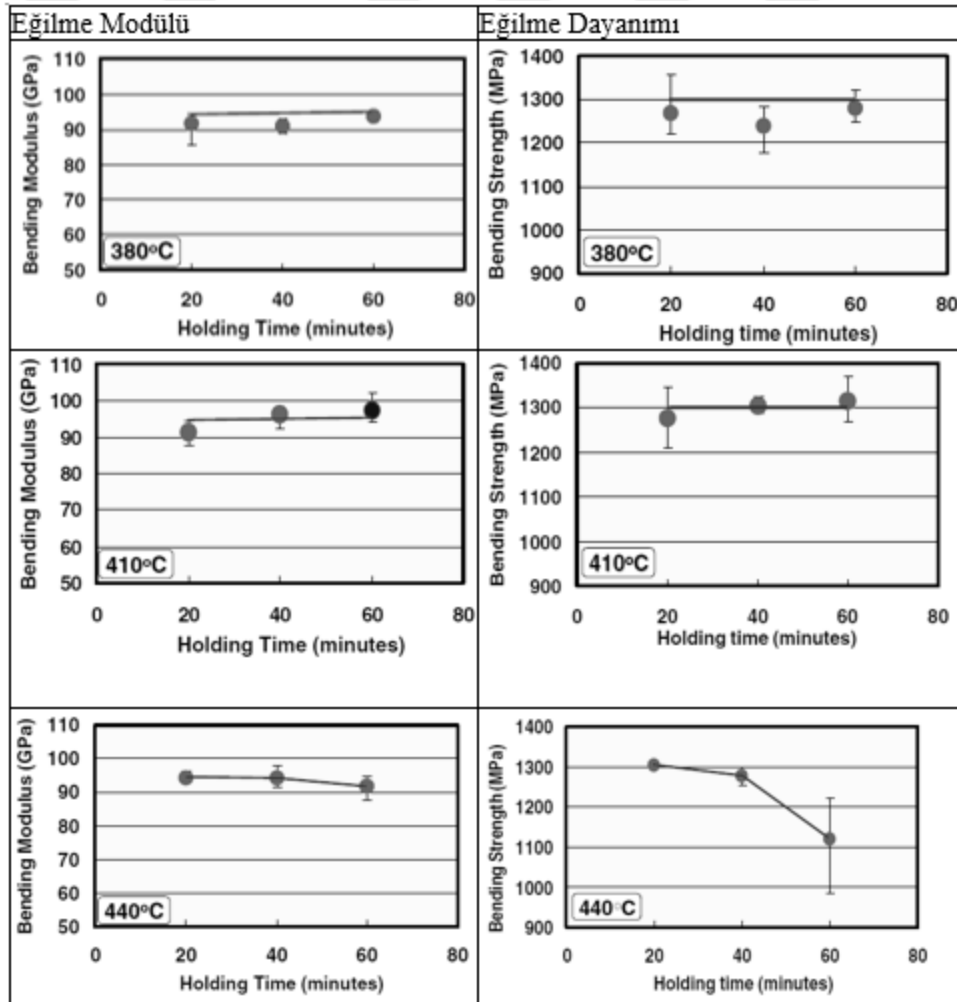
Numune	A Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)	B Kalıp Açık Sıcaklığı (°C)	C Soğutma Hızı (°C / dk)	D Sıkıştırma Basıncı (MPa)	E Tutma Süresi (dk)
1	140	70	3	40	10
2	150	80	3,5	45	15
3	160	90	4	50	20
4	170	100	4,5	55	25

Farklı parametrelerde üretilen test numunelerinin eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, sıkıştırma sıcaklığının 150 °C olduğu durumda, maksimum eğilme dayanımı değerleri (680.36 MPa) tespit edilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde, kalıplama işleminde sıcaklığın düşük olmasının reçinenin tamamen erimesine imkân vermediği, bunun da dayanım değerlerini (140 °C için 632.62 MPa) düşürdüğü belirtilmiştir. Bununla birlikte sıkıştırma sıcaklığının (170 °C için 582.67 MPa) arttırılması ile eğilme dayanımı değerlerinin, yapıyı oluşturan reçinenin bozulması nedeniyle düştüğü saptanmıştır. Çalışmada ayrıca kalıp tutma süresinin etkisi incelenmiştir. Kalıp tutma süresinin etkisi incelendiğinde, belirli bir noktaya kadar tutma süresinin artmasıyla (20 dk için 680.36 MPa) malzemenin eğilme dayanımı değerlerinin yükseldiği, kalıp tutma süresinin arttırılması durumunda (25 dk için 681.76 MPa) ise eğilme dayanımı değerlerinde kayda değer bir artışın olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak gerçekleştirilen çalışmada, CFRP malzemesinin sıkıştırma kalıplama üretiminde proses parametrelerin ürününün optimum eğilme dayanımı eldesi için 150 °C sıkıştırma sıcaklığı, 20 dakikalık tutma süresi, 50 T sıkıştırma basıncı, 3,5 °C/dk soğutma hızı ve 80 °C kalıp açma sıcaklığı olduğu görülmüştür (Xie ve diğ., 2019).

Yaptığı çalışmada (Fujihara ve diğ., 2004), bir mikro örgülü üretim yöntemine dayalı olarak, karbon fiber takviyeli PEEK matrisli kompozit malzemelerinin optimum proses parametrelerini dört nokta eğilme testiyle tespit etmişlerdir. Tek yönlü tabakalı karbon/PEEK kompozit plakalar sıkıştırma kalıplama ile üretilmiştir. Elde edilen tek yönlü karbon/PEEK kompozit plakaların eğilme dayanımı ve eğilme modülünü araştırmak için üç farklı sıcaklık (380 °C, 410 °C ve 440 °C) ile üç farklı tutma süresi (20 dk, 40 dk ve 60 dk) altında üretimler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1). Elde edilen tek yönlü karbon/PEEK kompozit, üç farklı sıcaklık (380 °C, 410 °C ve 440 °C) ile üç farklı tutma süresi (20 dk, 40 dk ve 60 dk) altında üretimler sonunda elde edilen plakaların eğilme dayanımı ve eğilme modülünü sonuçları Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarında, karbon/PEEK kompozitleri elde etmek için daha düşük bir üretim sıcaklığı ve daha kısa tutma süresinin gerekli olduğu tespit edilmiştir. Üretim sıcaklığının 380 °C ve tutma süresinin 20 dk olmasının malzemenin eğilme özelliklerine olumlu etki ettiği belirtilmiştir. Fakat bu sıcaklığın altında yapılan üretimde zayıf bir ara yüzey oluştuğu için istenilen mekanik özellikler sağlanamamıştır.

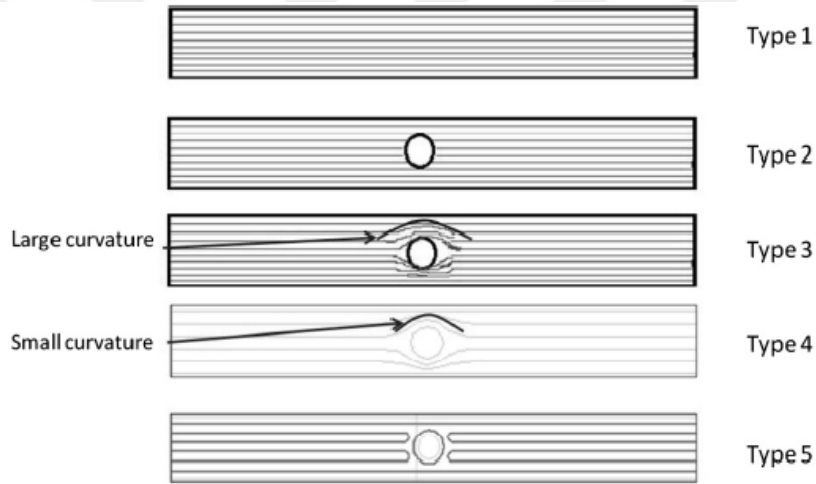


Şekil 3.1. Tek yönlü karbon/PEEK kompozit plakaların üretim verileri (Fujiyara ve diğ., 2004)



Şekil 3.2. Tek yönlü karbon/PEEK kompozit üç farklı sıcaklık (380 °C, 410 °C ve 440 °C) ile üç farklı tutma süresi (20 dk, 40 dk ve 60 dk) altında üretimler sonunda elde edilen plakaların eğilme dayanımı ve eğilme modülünün sonuçları (Fujiyara ve diğ., 2004)

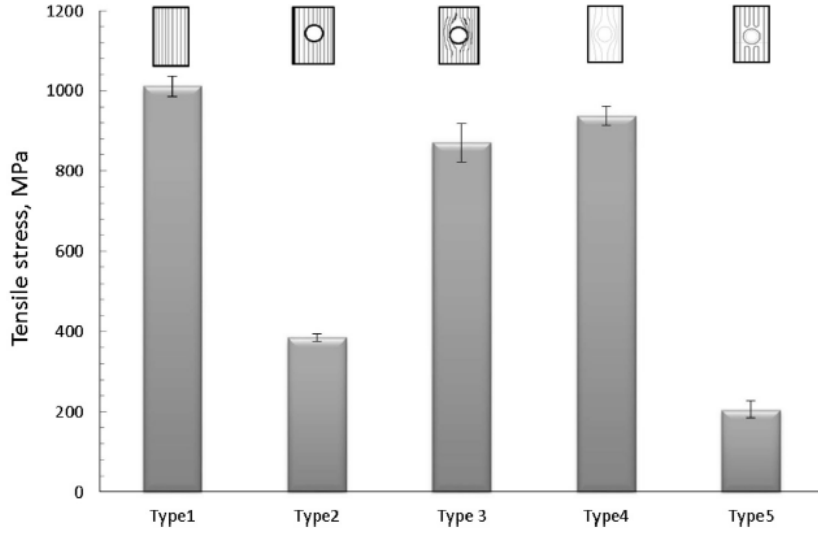
Yapmış oldukları çalışmada (Koricho ve diğ., 2015) kompozit malzemelerde delik veya çentik bölgelerinde hasar oluşumlarında ortaya çıkacak mukavemet kayıplarının, TFP teknolojisi ile çentik veya delik formu verilerek üretilen malzemelerin hasar durumları, çekme dayanımı testleri ile karşılaştırılmıştır. Laystitch fiber yerleştirme makinesi kullanılarak TFP tekniği ile beş tip numune üretilmiş olup, numuneler yaklaşık olarak 3.2 mm kalınlığında tek yönlü 4 kattan oluşmaktadır. Hazırlanan 5 farklı numuneden, Tip 1 deliksiz, Tip 2 dikey freze makinesi kullanılarak 10 mm çapında delik açılmış, Tip 3 geniş açılı eğri ile oluşturulmuş deliğe, Tip 4 ise dar açılı eğri ile oluşturulmuş deliğe ve Tip 5 ise delik çevresinde kesintili fiberler ve dikiş işlemi kullanılarak takviye içeren numuneler Şekil 3.3’de gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneleri şekillendirilmek için vakum destekli reçine transfer yöntemi (VARTM) kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Özel fiber yerleştirme ve geleneksel delme kullanılarak oluşturulan numuneler (Koricho ve diğ., 2015)

Şekil 3.4’de tüm numuneler içerisinde maksimum çekme dayanımına Tip-1 no’lu numunelerin (1012 MPa) sahip olduğu tespit edilmiştir. Geleneksel olarak delinmiş Tip 2 numunesinin (385 MPa), Tip 1 numunesine göre %62 oranında mukavemeti azaldığı görülmektedir. Tip 3 ile Tip 4 no’lu numunelerde TFP ile üretimin çekme dayanımına etkisi görülmektedir. Tip 3 numunesinin, Tip 1 numunesinde elde edilen çekme dayanımının %92,7’sine yaklaştığı görülmüştür. Yapılan çalışma ile sonuçların değerlendirilmesinde, yüksek gerilmeler altında fiber yerleştirmenin (TFP tekniği prensibinin) etkisi vurgulanmaktadır. Aynı miktarda toplam fiber içeriği ile fiber gerilme alanı boyunca hizalanması, kompozit malzemenin yük taşıma kapasitesi üzerinde büyük

bir avantaj sağlamıştır. Bu yöntem ile fiber kırılmasının ortadan kaldırılması ve sürekli fiberlerin varlığı, geniş bir uygulama yelpazesi için TFP tekniği ile üretilmiş kompozitlerin kullanımında büyük potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir (Koricho ve diğ., 2015).



Şekil 3.4. Farklı tasarımla üretilen numunelerin çekme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması (Koricho ve diğ., 2015)

Yaptıkları çalışmada (El-Dessouky ve diğ., 2019), TFP teknolojisi kullanılarak üretilen karbon fiber/naylon(poliamid) 6 (CF/PA6) termoplastik çapraz katlı kompozitlerin çekme modülü ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerin tespit edilmesi için çekme testi uygulamışlardır. Üretilen ve gerilim altında test edilen, her biri delik çevresinde farklı yöreğe fiber yoluna sahip özel delikleri olan iki farklı çentikli kompozit tasarlanmıştır. Üretilen numuneler ayrıca fiziksel olarak fiber hacim fraksiyon analizi ve optik mikroskop ile karakterize edilmiştir Gerçekleştirilen çalışmada, yüksek mukavemete sahip karbon fiber olarak Grafil 34-700 sürekli, PAN bazlı fiber 12k lineer yoğunluk 800 tex ile termoplastik matris (fiber), destek malzemesi (film) ve dikiş ipliği (ince iplik) Naylon-6'dan (PA6) dan yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde (Tablo 3.3), TFP teknolojisinin geleneksel işleme sürecinin yerini alma potansiyeline sahip olduğu, verilerin ışığında umut verici bir teknik olduğu kanıtlanmıştır. Bu çalışmada, üç farklı tip numunenin (geleneksel delik delme, TFP delik 1 ve TFP delik 2) çentikli olarak testlerde verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar yorumlandığında, takviyenin gerekli olduğu yere TFP tekniği ile fiber yerleştirilebildiği, delikli numunelerin (çentikli) çentiksiz numunelere kıyasla daha düşük sertlik ve mukavemet gösterebildiği, TFP delik 2'nin daha az fiber kesintisi ve delik etrafında ilmeksiz olması nedeniyle çekme modülü ve gerilme mukavemeti en az azalma göstermiştir.

Tablo 3.3. Test numunelerine ait mekanik test sonuçları (El-Dessouky ve diğ., 2019)

Çeşit	Çekme Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzama Oranı (%)
Esas Parça	36,74 ± 2,68	429,00 ± 32,54	0,95 ± 0,07
Geleneksel Delik Delme	25,65 ± 1,39	287,83 ± 15,81	1,44 ± 0,16
TFP Delik-1	20,10 ± 1,78	285,50 ± 21,51	1,29 ± 0,13
TFP-Delik-2	33,25 ± 2,23	392,28 ± 14,59	1,28 ± 0,07

Sonuç olarak, gerçekleştirilen çalışmada, stres/yük yollarının ve ilgili fiber yönelimlerinin doğru anlaşılmasının önemi vurgulanmıştır (El-Dessouky ve diğ., 2019).

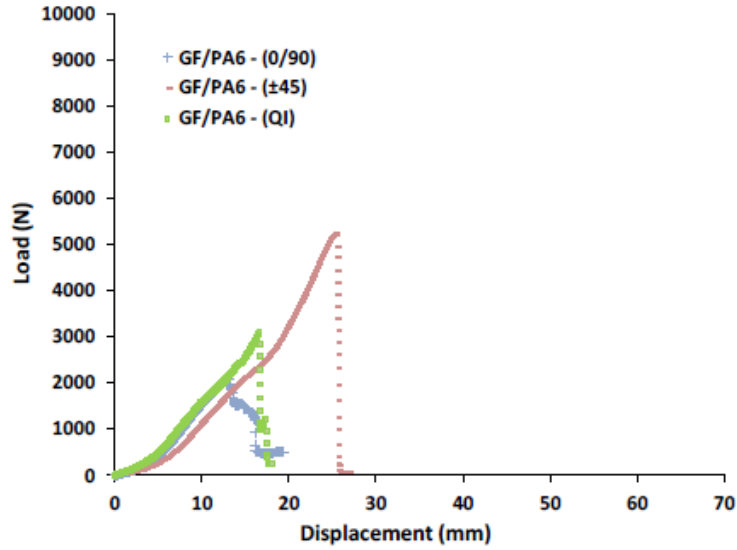
Yapmış olduğu çalışmada (Boucher ve diğ., 2018), bir otomotiv parçasının 4 farklı sürekli fiber termoplastik kompozit malzemeleri (Tablo 3.4) ile üretilerek üç nokta eğilme testi ile sonuçları karşılaştırılmıştır. Test numuneleri üretmek için, kompozit bantlar ilk olarak istenilen istifleme düzenlerine göre bir kalıba manuel olarak yerleştirilmiş ve yığınlar daha sonrasında dikdörtgen paneller üretmek için kalıplanarak sıkıştırılmıştır. Tüm numunelerin sıkıştırılmalı kalıplama döngüsü sırasında, laminatlar erime sıcaklıklarının 40°C üzerinde ısıtılmış, 5 dakika boyunca yüksek sıcaklıkta tutularak sonrasında 10 °C/dakika hızında oda sıcaklığına soğutulmuşlardır.

Tablo 3.4. Sürekli fiber termoplastik kompozit malzemeler ve tanımlamaları (Boucher ve diğ., 2018)

Malzeme	Fiber İçeriği (wt%)	Özkütle (g/cm ³)	Şeri Kalınlığı (mm)	Erime Sıcaklığı (°C)
GF/PP	70	1,67	0,25	162
GF/PA6	60	1,69	0,26	220
CF/PA6	60	1,45	0,16	220
CF/PA66	60	1,44	0,17	260

Kalıplama prosesi sırasında 0.7 MPa'lık sabit basınç uygulanmıştır. Ardından su jetiyle gerçekleştirilen üç nokta eğilme testlerini sonuçları Tablo 3.4'de gösterilmiştir. PA6

matrisli kompozitlerin kopmadan önce %100'ün üzerinde deformasyona ulaşılabilirdiği elde edilmiştir. Diziliş olarak 0° ile 90° derece yapılan çalışmalardaki numunelerde gelen yükü absorbe ettikleri gözlemlenmiştir. Fakat $\pm 45^\circ$ 'de izotropik konfigürasyonlar için Şekil 3.6'de gösterilene benzer şekilde numune ortasında kırılma gözlemlenmiştir. (Boucher ve diğ., 2018).



Şekil 3.5. GF/PA6 kompozitleri için yük ve yer değiştirme eğrileri (Boucher ve diğ., 2018)



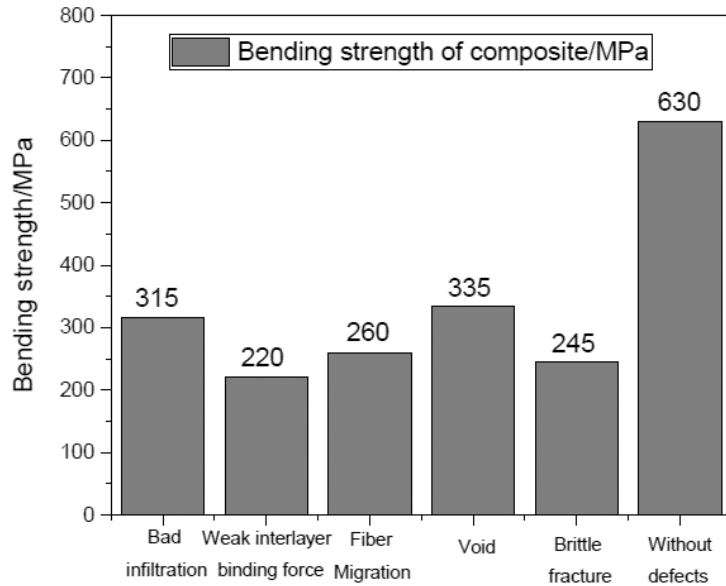
Şekil 3.6. GF/PA6 kompozitleri için yük ve yer değiştirme sonrası meydana gelen geometrik şekil (Boucher ve diğ., 2018)

Sıkıştırılmalı kalıplamada (Ma ve diğ. 2018), proses parametrelerinin kontrol edilemediğinde ortaya çıkacak kusurların 2D-T70/E44 kompozit malzemenin mekanik özelliklere etkisi eğilme mukavemeti sonuçları incelenerek tespit edilmiştir. Hazırlanan numuneler Tablo 3.5 de belirtilen parametreler altında şekillendirildiler.

Tablo 3.5. 2D-T700/E44 kompozit numunelerin hazırlamak için geliştirilmiş sıkıştırılmalı kalıplamanın işlem parametreleri (Y. Ma ve diğ. 2018)

Kürleme Oranı / Kütüle Oranı	Doğal Kürlenme Süresi / Saat	Basınçsız Isıtma Kürleme Sıcaklığı/ °C	Basınçsız Isıtma Kür Süresi /Dakika	Basınçlı Isıtma Kürleme Sıcaklığı /°C	Basınçlı Isıtma Kürleme Basıncı/ MPa	Basınçlı Isıtma Kür Süresi/ Dakika
5:1	6	115	110	50	10	25

Kompozit malzemelerde sıkıştırılmalı kalıplama üretiminde farklı kusurların (kötü emdirmeye, zayıf ara katman bağlanma kuvveti (kötü sızıntı 315 MPa, ara katman bağlanma kuvveti,220 MPa, fiber yer değiştirme 260 MPa, boşluk oluşma kuvveti 335 MPa ve gevrek kırılma 245 MPa) eğilme mukavemetine etkileri Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7. Farklı kusurlar altındaki kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Ma ve diğ. 2018)

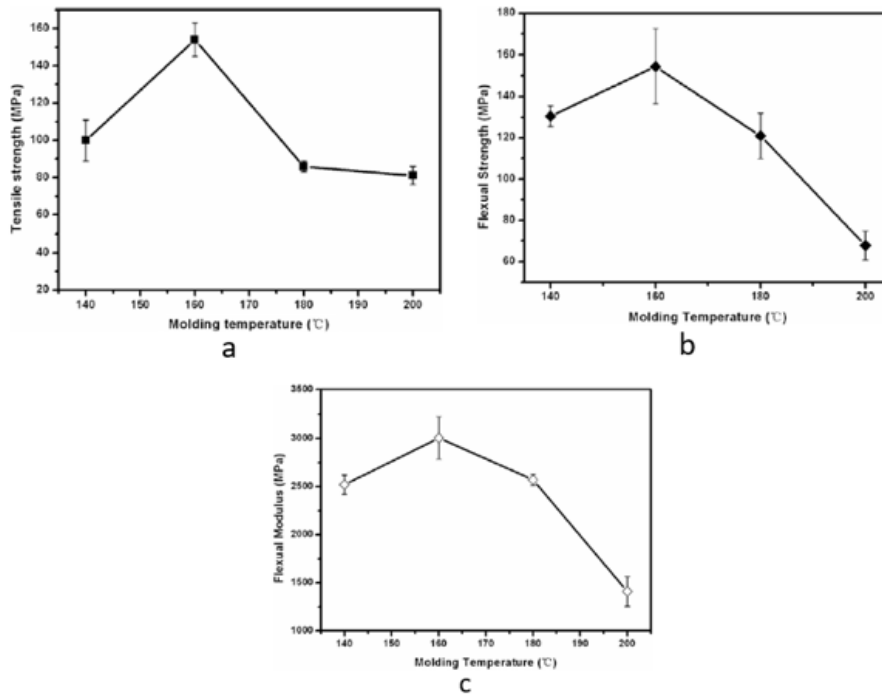
Yapmış olduğu çalışmada (Gong ve diğ., 2010), Poliamid 6 (PA6) fiberi (Tablo 3.6) ve PA6 matrisinden oluşan Poliamid tek polimer kompozitlerden kalıp sıcaklıklarının 140, 160, 180 ve 200 °C de olduğu numuneler hazırlanarak hem çekme hem de eğilme mukavemetinin en yüksek değere ulaştığı sıcaklık belirlenmeye çalışılmıştır. Numunelerin üretimi homojen bir ısıtma elde etmek için kalıp sıcaklığı sırayla 140, 160, 180 ve 200 °C’de yeterli bir süre sabit tutulan sıcak pres makinesine yerleştirilmiş, daha

sonra kalıplama işlemi sırasında liflerin büzülmesini ve gevşemesini önlemek için pres tarafından 10 MPa’lık bir stres uygulanmıştır.

Tablo 3.6. PA6 fiberlerinin parça özellik parametreleri (Gong ve diğ., 2010)

	Molekül		Çap / μm	Çekme Dayanımı/MPa	Çekme Modülü/GPa	Uzama/%
	M_n	M_w				
PA6 Fiber	12,9	23,1	11,6 $\pm$ 0,5	523 $\pm$ 30	9,3 $\pm$ 0,5	5,6 $\pm$ 0,5

Gerçekleştirilen çekme ve üç nokta eğme testleri Şekil 3.7 ‘de çıkan sonuçlara göre kalıp sıcaklığının 160 °C de numunelerin en yüksek değerlere ulaştığına ulaşılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla verilerde düşmelerin yaşandığı görülmüştür (Gong ve diğ., 2010).



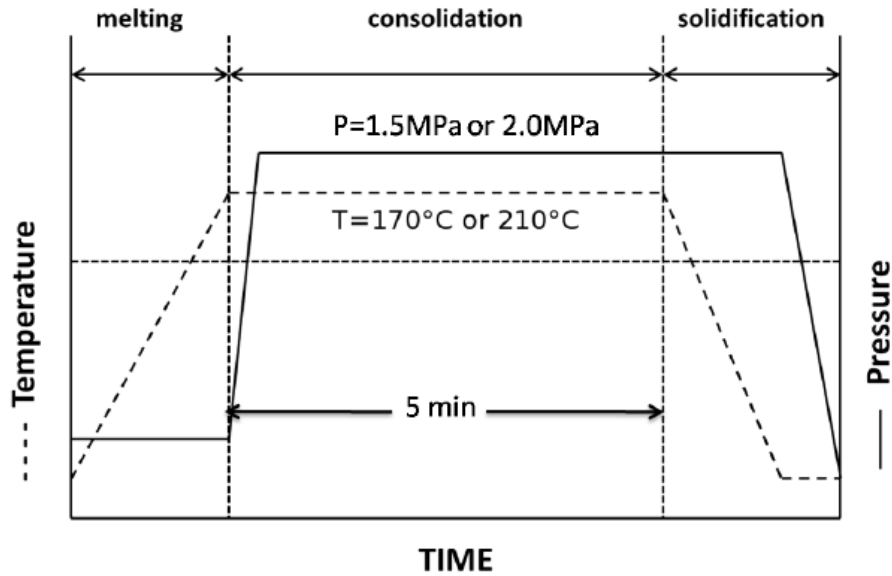
Şekil 3.8. a) çekme dayanımının kalıp sıcaklığına göre sonuçları b) eğilme dayanımının kalıp sıcaklığına bağlı değişimi c) eğilme modülünün sıcaklığa bağlı değişimi

Yapmış olduğu çalışmada (Li ve diğ., 2015), GF-PP karışımı iplik örgülü kumaş laminatları emdirme kalitesi üzerindeki basınç ve sıcaklığın etkisini hidrolik pres kullanarak araştırmışlardır. Çalışmada yan yana dizilen harmanlanmış iplikler kullanılmış olup, fiber kütle oranı 0.7 ve alan yoğunluğu 0.765 kg/m², cam fiberlerinin ve PP

fiberlerinin yoğunlukları sırasıyla 2640 kg/m³ ve 910 kg/m³'tür. Hazırlanan katmanlar ana eksen uzunluğu yaklaşık 2mm ve yan eksen uzunluğu yaklaşık 0.6mm olan bir elips şeklinde kesite sahiptir. Proses işlemleri 4 farklı koşul altında gerçekleştirilmiş olup, proses parametrelerine ait veriler Tablo 3.7'de belirtilmiş olup prosese ait grafik şekil 2.8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Üretim proses koşulları sıcaklık, basınç ve zaman (Li ve diğ., 2015)

No	T (°C)	P (MPa)	Time(min)
A	170	1,5	5
B	170	2,0	5
C	210	1,5	5
D	210	2,0	5



Şekil 3.9. Proses parametrelerinin aşamalarının grafiksel gösterimi (Li ve diğ., 2015)

Demetlerin içerisinde kalan boşluklar Tablo 3.8'de gösterilmektedir. Tablodaki veriler incelendiğinde sıcaklığın yükselmesiyle boşluk oranının arttığı tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç emdirme hızını önemli ölçüde arttırabilmektedir. Ancak demetler arasındaki boşluğun da artmasına neden olmaktadır. Deneysel çalışmada elde edilen bir diğer bilgi de soğutma işlemi sırasındaki basınç düşüşüdür. Soğutma işlemi

sırasında basınçlarda düşüş yaşanması, laminatlar üzerinde tutma basıncının düşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, daha yüksek bir ilk soğutma sıcaklığı daha yüksek bir büzülme ve bu büzülmeyle demetler arasında boşluklara neden olacağından, yüksek sıcaklıklarda demetler arası boşluğun yüksek olduğu tespit edilmiştir (Li ve diğ., 2015).

Tablo 3.8. Proses işlemleri sonucu numunelerdeki gözenek(bošluk) değerleri (Li ve diğ., 2015)

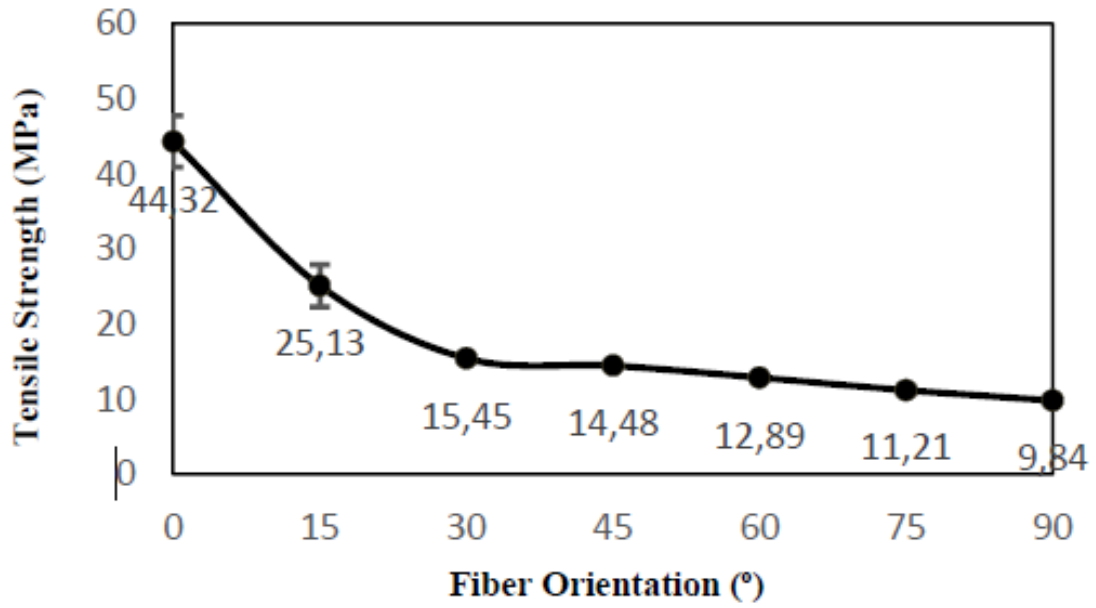
	A	B	C	D
Demet İçi	%1,02	%0,79	%0,52	%0,41
Demet İçi	%0,17	%0,29	%1,77	%1,55
Total	%1,19	%1,08	%2,29	%1,96

Yapmış olduğu çalışmada (Lasikun ve diğ., 2018), zalacca midrib fiber/HDPE kompozitlerinin fiber oryantasyonun çekme ve darbe özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

Bunun için kompozitlerden 150 °C’de sıcaklığında, 50 bar basınç altında ve 25 dk bekleme süresinde sıkıştırma kalıplama teknolojisi kullanılarak numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin fiber hacim oranları %10 olup, fiber yönelimleri, 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° de üretilmiş numunelere, sırasıyla ASTM D638 ve ASTM D5941’e göre çekme testi ve izod darbe testi uygulanmıştır. Şekil 3.9’da deney sonuçları incelendiğinde fiber oryantasyonların 0°’den 90°’ye artmasıyla mekanik mukavemetlerin azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.9. Fiber oryantasyon değişimleri sonucunda impact test sonuçları (Lasikun ve diğ., 2018)

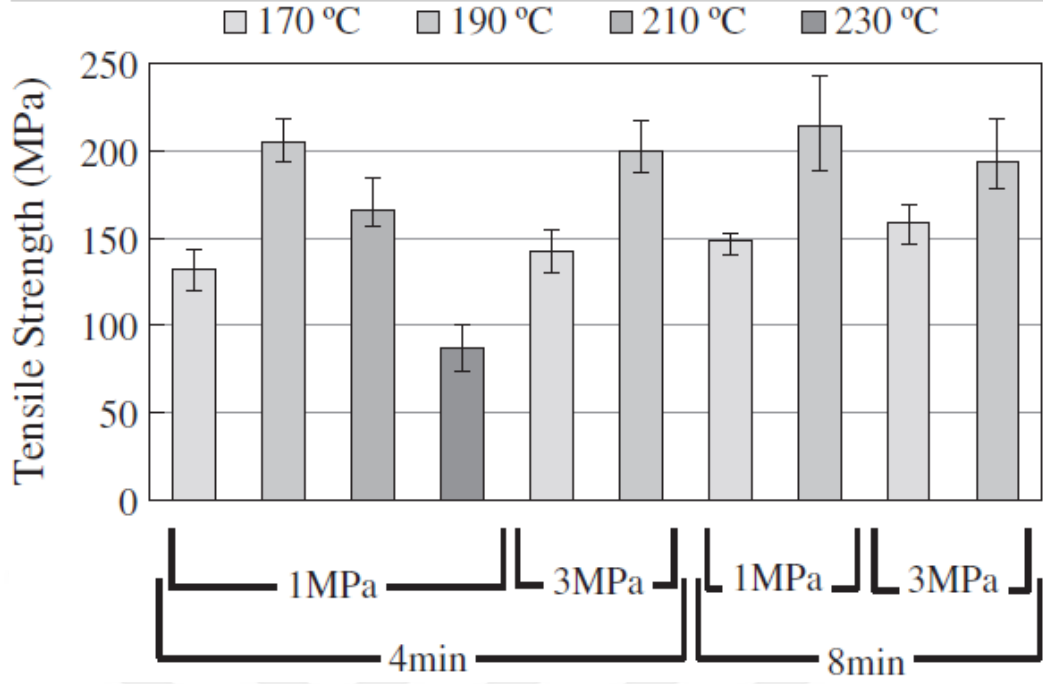
No	Fiber Oryantasyonu	Enerji Soğurumu (kJ)	Enerji Soğurumunun Standart Sapması	Çarpma Dayanımı (kJ/m ²)	Çarpma Dayanımı Standart Sapması
1	0	2077,87	43,2	64,75	1,5
2	15	1946,01	81,3	60,88	2,4
3	30	1818,70	111,4	56,75	3,2
4	45	1618,64	40,7	50,64	1,1
5	60	1251,49	153,6	39,14	4,6
6	75	724,07	131,9	22,75	4,1
7	90	592,21	35,6	18,55	1,1



Şekil 3.10. Fiber oryantasyonlarına göre çekme mukavemeti sonuçları (Lasikun ve diğ., 2018)

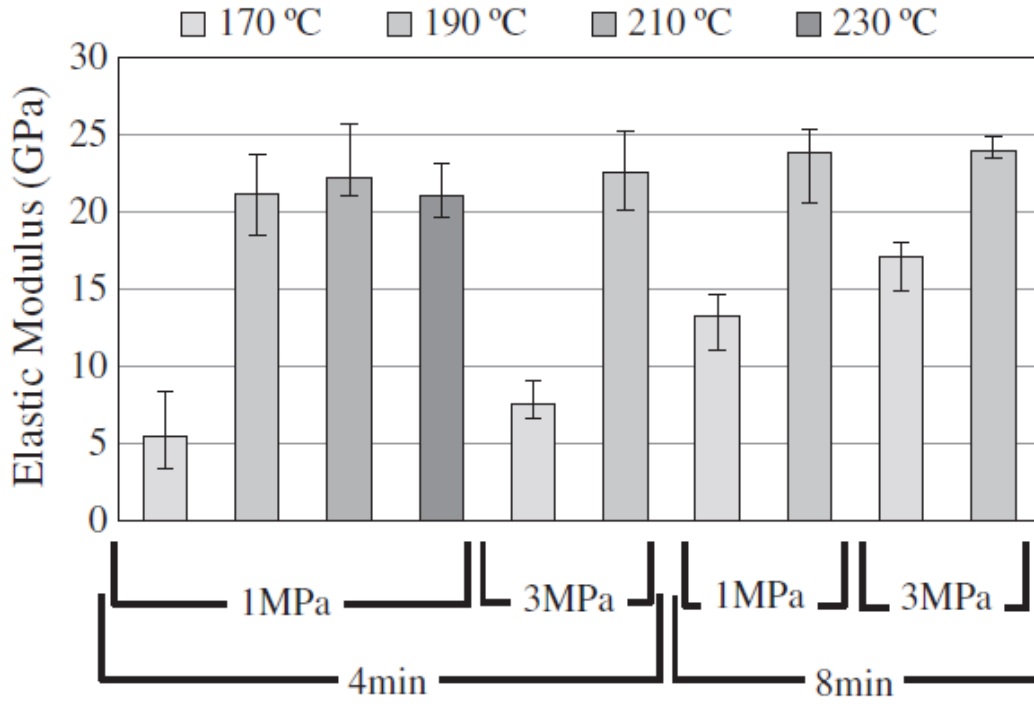
Araştırmada (Kobayashi ve diğ., 2012), sürekli fiber takviyeli termoplastik kompozitin mekanik özelliklerinin basınç, sıcaklık ve tutma sürelerinin etkinliği çekme testi ile değerlendirilmiştir. Sürekli kenendir fiber takviyeli PLA termoplastik kompozit numuneler sıkıştırılmalı kalıplama üretim metoduyla, proses sıcaklığı (170 °C, 190 °C ve 210 °C), basıncı (1 MPa ve 3 MPa) ve tutma süresi (4 dk ve 8 dk) olacak şekilde parametrelerde üretilmişlerdir. Farklı proses parametrelerinde sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen kompozitlerin çekme mukavemeti Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Çıkan sonuçlara göre, 170 °C’den 190 °C’ye artan kalıplama sıcaklığı ile çekme mukavemeti artarken, 210 °C ve 230 °C kalıplama sıcaklığında mukavemetin azaldığı görülmektedir. Kenendir elyaf ipliklerine matris emdirilmesinin ve elyaf hacim fraksiyonunun daha yüksek kalıplama sıcaklığın da arttığı düşünülmektedir. Fakat belli bir sıcaklığın üzerinde kenendir fiberlerin termal olarak bozunduğu ve kompozitlerin çekme mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir.

Farklı proses parametrelerinde kalıplanan elastik modülü Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Elastik modül, artan kalıplama sıcaklığı ile artmış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın dayanımla birlikte emdirilme artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çıkan sonuçlara göre, en optimum kalıplama koşulu 190 °C sıcaklıkta, 1MPa basınç altında, 4 dk lık tutma süresi olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.11. Farklı sıcaklık basınç ve tutma süresi parametrelerinde kenevir fiber/PLA kompozitlerin çekme mukavemeti karşılaştırılması (Kobayashi ve diğ., 2012)

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde sıcaklık ve basıncın artmasının her zaman fiberlerin mukavemeti arttırmadığı sonucunu ortaya çıkartmaktadır.



Şekil 3.12. Farklı sıcaklık basınç ve tutma süresi parametrelerinde kenevir fiber/PLA kompozitlerin elastik modülü karşılaştırılması (Kobayashi ve diğ., 2012)

4. MALZEME VE METHOD

4.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada otomotiv sektöründe yaygın bir şekilde tercih edilen E-Cam fiber takviyeli Poliyamid 6 (PA6) kompozit malzemesi seçilmiştir. GF/PA6 kompozit malzemelerinde kullanılan E-Camı Owens Corning firması tarafından üretilen SE 1200 TYPE 30 single-end rovings ürünüdür. Ürünün seçilmesindeki en önemli özelliklerinden biri de örme ve dokuma için uygun olmasıdır. Ayrıca ürün polyester, vinil ester, epoksi ve poliüretan reçine sistemlerinde filament sarma ve pultrüzyon uygulamalarında iyi çalışan çok yönlü bir ürün olup, uzun fiber termoplastik PA6 birleştirme uygulamaları içinde uygundur. Şekil 4.1’de 1200 TYPE 30 single-end rovings ürün gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 1200 TYPE 30 single-end rovings ürünün sarılı halde örneği (Owens Corning,2015)

1200 TYPE 30 single-end rovings ürünün avantajları:

- Düşük temizleme ve yüksek makine verimliliğine eşit olan düşük tüylenme özellikleri,
- Standart dokuma tezgahlarında ve çok eksenli örgü makinelerinde kullanım için, filament sarma ve pultrüzyon da mükemmel işleme, uzun fiber termoplastik PA6 bileşimi için uygun,
- Hızlı ıslanma ve yüksek reçine tutma, kalıplama sonrası parçalarda görsel olarak artan kalite,
- Mükemmel laminat mukavemeti ve yorulma özellikleri,
- Dünyanın herhangi bir bölgesinde kullanılabilmesi düşük tasarım ve nitelik maliyeti sağlamakta,
- Korozyona maruz kalan uygulamalarda daha uzun parça ömrü ve daha yüksek hizmet ömrü sunabilmektedir (Owens Corning,2015).

SE 1200-735 Tex (675 Yield) üretim malzemesinin özelliklerini Tablo 4.1’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. SE 1200-735 Tex (675 Yield) malzemesinin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler SE1200-735 Tex (675 Yield)	İplik Çekmeleri ASTM D 2343	Tabakalar Arası Kayma Dayanımı ASTM D 2344
	Dayanım (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)
Anhidrit/DER 331 Epoksi Reçine	2700	66,3
Polyester F701 Reçine	2570	73,4

Kullanılan PA6 malzemesi ise Universal Fibers şirketi tarafından müşterisi Coast firması için özel olarak üretilmekte olup üretilen her bir ürünü için analiz sertifikası hazırlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan PA6 malzemesine ait analiz sertifikasında yer alan bilgiler Tablo 4.2’de belirtilmektedir.

Tablo 4.2. Üretim de kullanılan özel üretilen PA6 ipliklerin özellikleri (Universal Fibers, 2018)

Test Metodu	Minimum Değer	Ortalama Değer	Maksimum Değer
4400-Denier (fiberin gram olarak ağırlığı)	998	1017,3333	1050
Kendini Çekme	%3,22	%3,46	%3,67
Gerilmeye Karşı Direnci	3,78	3,8967	4,05
Yüzde Uzama Miktarı	%47,2	%59,9	%60,6

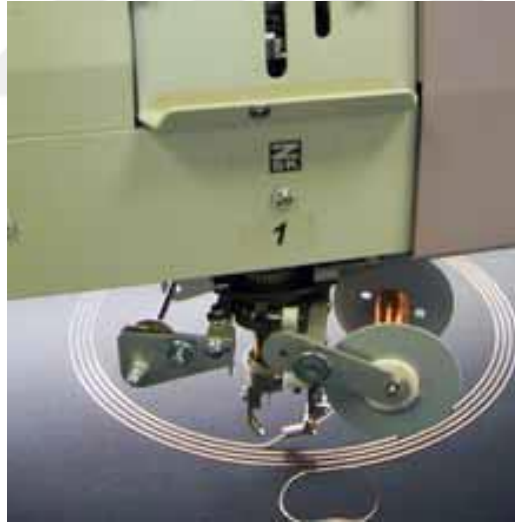
Çalışmada sizing amacıyla Michelman tarafından üretilen Poliyamid Dispersionu olan Hydrosize PA845H kullanılmış olup fiziksel özellikleri Tablo 4.3’de belirtilmektedir. Sizingin özelliği cam fiber, karbon fiber ve doğal fiberlerin üretiminde kullanılmak üzere tasarlanmış haşılama ve bu fiberlerin hem süreksiz hem de sürekli versiyonlarında kullanılabilir. Bağlayıcı olmanın yanı sıra, bulunduğu yüzeylere termal kararlılık sağlamaktadır (Michelman).

Tablo 4.3. Poliyamid Dispersionu olan Hydrosize PA845H boyutlama malzemesi fiziksel özellikleri (Michelman)

Görünüş	Beyaz sıvı
Katı Türü	Poliyamid
Emülgatör Yükleme	Anyonik
Uçucu Olmama (%)	28-32
Ph:	10 – 11,4
Viskozite (cps)	0-500

4.2. Özel Fiber Yerleştirme (TFP) ile GF/PA6 Kumaş Örülmesi

Bu çalışmada, ZSK firmasına ait ZSK technical embroidery systems W-Head metoduna sahip TFP makinesi ile üretim örgü kumaşlar üretilmiştir. ZSK W-Head tekniği (Şekil 4.2) fiberlerin tekstil veya esnek bir taşıyıcı malzeme üzerine dikilmesine nakış işleme teknolojiyle olanak tanımaktadır.



Şekil 4.2. ZSK W-Head tekniğinin çalışma prensibine bir örnek (ZSK, 2019)

W-Head nakış prensibi; dikilecek aktif fiber sistemi ile kılavuz eleman yardımıyla taşıyıcı malzeme yüzeyine doğru itilmektedir. Daha sonra zikzak dikiş ile üst iplikle nakış gibi dokunarak sabitlenir. Pantograf yardımıyla taşıyıcı malzeme hareket ettirilerek istenilen yönde ve miktarda fiberlerin döşenmesi sağlanır. Bu sistem 70 µm dan birkaç mm kalınlığa kadar olan telleri işleyebilmektedir. Bu sistem taşıyıcı malzemenin 2 boyutlu seviyesinde tamamen özgür ve esnek bir şekilde yerleştirilmesine izin vermektedir.

Çalışmadaki GF/PA6 kumaş üretiminin gerçekleştirildiği makinenin özellikleri Tablo 4.4’de belirtilmiştir (ZSK,2019).

Tablo 4.4. Deney numunelerinin hazırlandığı W-Head prensibine sahip makinenin özellikleri (ZSK,2019)

Makine Tanımı	Kafa Sayısı	Kafa Mesafesi	Çalışma Alan Derinliği	Çalışma Alan Genişliği	Makine Net Boyutu (Uzunluk x Derinlik)
CZCW 0800-900D-1500	8	900mm	1.200mm	8x900mm/4x1.800mm	13.000x3.460mm

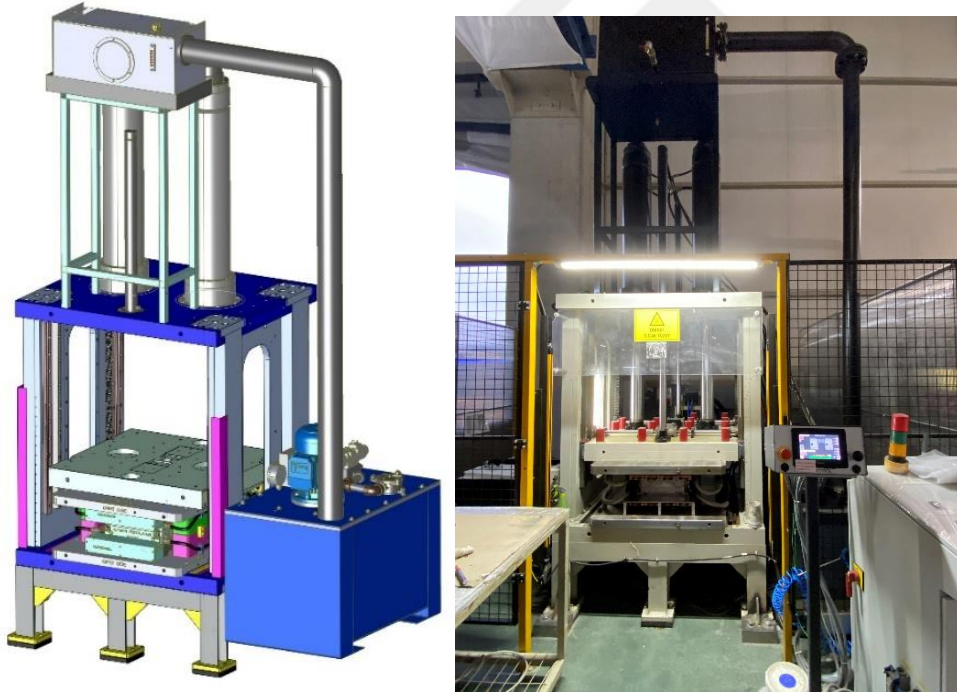
Bu çalışmada W-Head nakış tekniğini kullanarak, CXCW 0800-900D-1500 makinesinde UD yönünde E-Cam fiber/PA6’nın 1:1 oranında numuneler üretilmiş olup örnek bir numune Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Numunelerin ebadı 305 mm x 305 mm olup, numunelerin ağırlığı hassas terazi de ölçülerek tespit edilmiştir. Numunelerin ağırlığı 367 gramdır. Numuneler sıkıştırılmalı kalıplama tekniği ile üretimlerden önce desikatörde muhafaza edilmiştir.



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan numunelerin TFP üretilmiş şekilleri

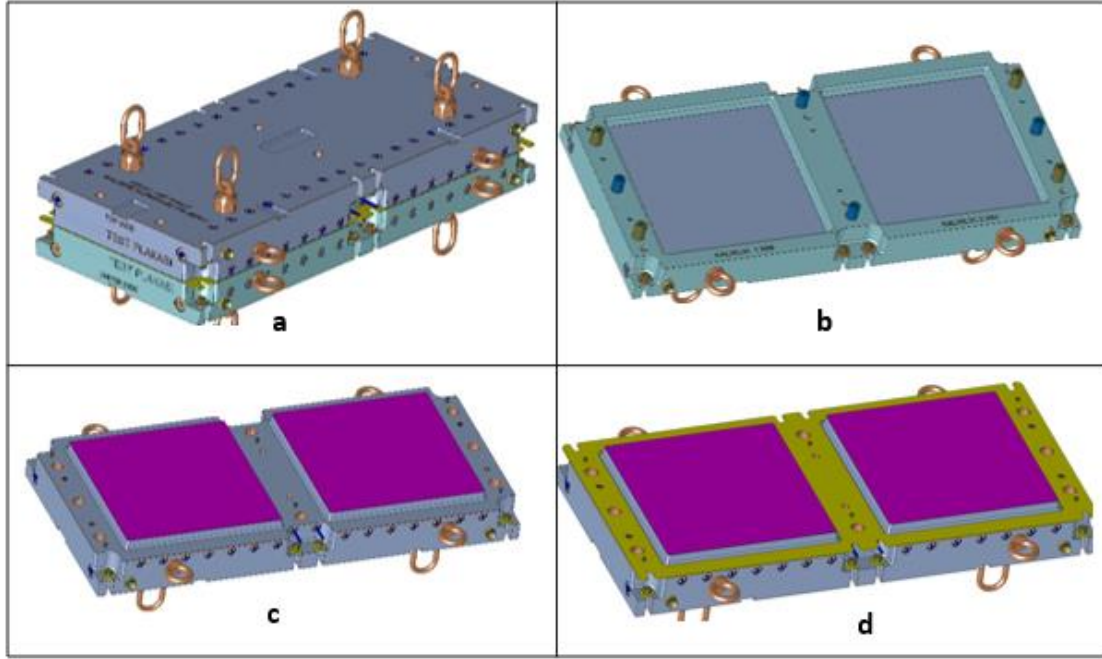
4.3. Sıkıştırılmalı Kalıplama Tekniği ile GF/PA6 Kompozit Numunelerin Üretimi

Bu çalışmada termoplastik malzemelerin üretim yöntemlerinden biri olan sıkıştırılmalı kalıplama tekniği kullanılmıştır. Sıkıştırılmalı kalıplama tekniği için Plascam bünyesinde hazırlanan özel tasarım 160 bar basınç üretebilen hidrolik preste (Şekil 4.4) GF/PA6 kompozit numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Sistemin sahip olduğu avantajlardan biri aynı anda iki adet üretim yapabilecek kalıp tasarımına sahip olmasıdır. Bu üretim için de yine firma bünyesinde tasarlanıp ardından imalatı gerçekleştirilen 830 mm x 380 mm x 145 mm boyutlarında her bir gözünün 305 mm x 305 mm olan 2 gözlü kalıptan (Şekil 4.5) yararlanılmıştır. Her bir gözün kalınlığı 2mm olmak üzere araya koyulan seperatör ile numune kalınlığı 4mm'ye kadar çıkarılabilmektedir. Kalıp içerisinden, kalıbın gözlerinin ısıtılması için sıcak su yolu ve soğutulabilmesi içinde soğutma su yolları bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Plascam firması tarafından tasarlanıp üretilen 160 bar kapasiteli hidrolik pres

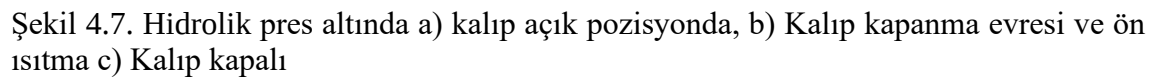
TFP tekniği ile üretilen dokuma kumaşlar uygun saklama koşullarında bekletildikten sonra üretimden bir gün önce kurutma cihazında kurutulmuşlar ve daha sonrasında hidrolik presin bulunduğu üretim hattına getirilmişlerdir. Kalıp hidrolik pres sistemine bağlantıları gerçekleştirilmiş olup, üzerine takılan termokupullar ile sıcaklık değişimleri bilgisayar kontrollü olarak takip edilmiştir (Şekil 4.7).

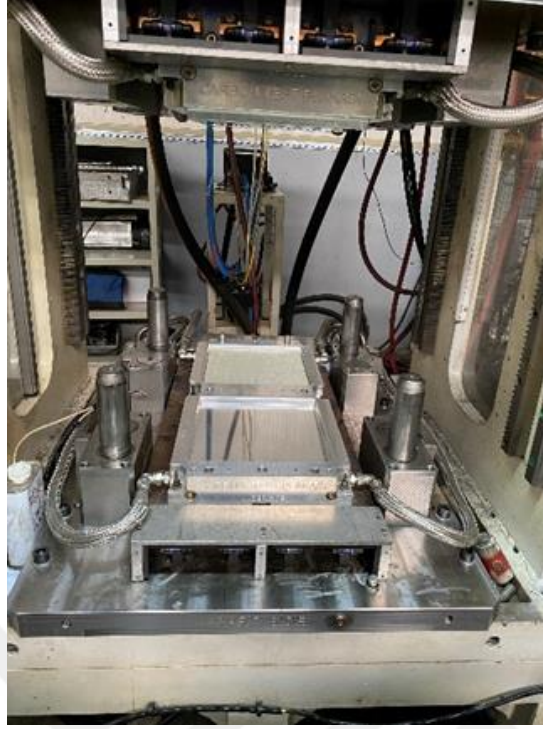


Şekil 4.5. a) Kalıp kapalı pozisyonu, b) Kalıp açık dişi taraf, c) Kalıp açık erkek taraf, d) Kalıp arasına seperatör koyulmuş açık durumu tasarımları

Sıkıştırılmalı kalıplama üretimlerinde en büyük dezavantajlarında biri kalıpların uzun sürede ısınması ve soğumasıdır. Roctool sistemi yardımıyla bu süreleri hızlı bir şekilde gerçekleştirilmekte ve zamandan kazanılmaktadır. Döngü süresi, yıllık üretim hacimlerinin katlanarak büyüyen kompozit endüstrisi için yüksek bir hedef olmaya devam ederken, çoğu uygulama için son parçanın maliyeti açısından kritik olmaktadır. Bu konuda geliştirilerek patenti alınan, Roctool sisteminden destek alınabilmektedir. Roctool ismi hem ticari hem de teknolojisinin adı olarak geçmektedir. Roctool'un patentli teknolojisi, ısı sağlamak için “indüktörler” olarak adlandırılan teknik ekipmanların kalıba yerleştirilmesinden oluşmaktadır. Bu indüktörlerin esnekliği, karmaşık 3D şekillerde uygulanabilmesi ve gereksinimlere uyacak çok çeşitli entegrasyonlara uyabilmelerini sağlayabilmektedir. Gelişen teknoloji ile Roctool sisteminin üretim prosesine sağladığı avantajlardan biri, sıcaklığın homojenliğini boyutsal kararlılıkta hızlı ısıtma yeteneğinin yanında enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Parça boyutuna göre yatırım maliyetleri yüksek olabilecektir fakat standart proses maliyetlerine göre ilerleyen süreçte %40'a varan sermaye tasarrufu sağlanabilmektedir.

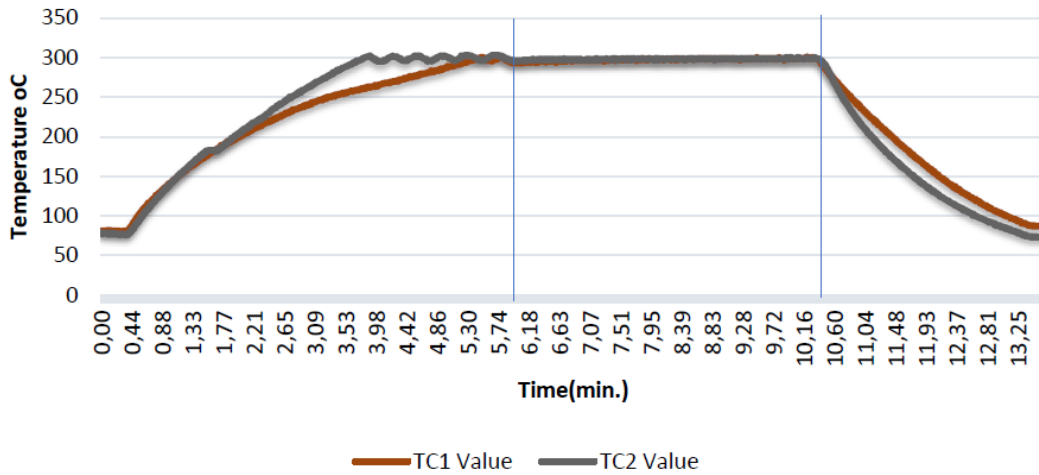
Bu çalışmada Roctool firması ile geliştirilen R unit, jeneratör, bağlantı kutuları, soğutma ünitesi ve press thermoregulation ekipmanlarından oluşmaktadır. Sistem kalıbın hızlı





Şekil 4.8. TFP ile üretilmiş numunelerin 2mm kalınlığa sahip gözde üretimi

Şekil 4.8’de gösterildiği gibi 367 gramlık dokuma kumaşlar kalıp gözlerine yerleştirilmiştir. Tüm kontroller yapıldıktan sonra üretilecek olan GF/PA6 kompozitlerinin mekanik özelliklerine sıkıştırılmalı kalıplama tutma süresinin etkisinin tespiti için üç farklı tutma süresinde (4.30 dk., 5.00 dk. ve 5.30 dk.) üretimler gerçekleştirilmiştir. Sembolik olarak GF/PA6 kompozit numunesinin üretim adımları Şekil 3.9’de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Sembolik olarak GF/PA6 kompozitlerin 5.30 dk.’lık tutma süresi altında sıkıştırılmalı kalıplama tekniği ile üretimi

4.4. İklimlendirme İşlemlerinin Klimatik Kabinde Uygulanması

Otomobillerde kullanılan parçalar üretildikten sonra çevresel koşullardan etkilenmeye başlamakta olup bu süreç otomobillerin servis süresinde daha da artmaktadır. Havanın değişen sıcaklık ve nem şartlarına maruz kalan kompozit malzemeden üretilen parçaların mekanik, boyutsal ve kimyasal özelliklerinin değişmemesi, istenilen özelliklerini belli bir süre zarfında korumaları gerekmektedir. Bu durumun otomobiller üretilmeden önce tespit edilebilmesi ve kontrol edilebilmesi amacıyla parçalara kısa süreli termal yaşlandırma testi gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan termal yaşlandırma cihazı Plascam firması bünyesinde bulunan Discovery markasının DM1200C modeli (Şekil 4.10) olup, özellikleri Tablo 4.5'te belirtilmiştir.



Şekil 4.10. Termal yaşlandırma cihazı Plascam firması bünyesinde bulunan Discovery markasının DM1200C

Otomobil firmaları kendi belirledikleri parça kategorilerine göre, parçanın otomobilin bulunduğu bölge ve işlevselliğine göre, performans spesifikasyonları belirlemektedir. Bu çalışmada otomobilin motor bölmesi ve gövde altı polimer bileşenlerine malzeme

Tablo 4.5. Discovery DM1200C cihazının teknik özellikleri (Angelantoni, 2017)

Kullanılabilen İç Hacim	1076 litre
Yaklaşık İç Boyut Ölçüleri	1000 mm x 1130 mm x 953 mm
Yaklaşık Dış Boyut Ölçüler	1278 mm x 2222 mm x 2111 mm
Sıcaklık Değerleri	-75 °C + 180 °C
Sıcaklık Dalgalanması	± 0.1 °C ... ± 0.3 °C
Sıcaklık değişim oranı ısıtma	4,5 K/min
Sıcaklık Değişim Oranı Soğutma	2,3 K/min
Nem Aralığı(%) (($\tau=-3/+94^{\circ}\text{C}$) ²)	10...98
Klimatik Test Sıcaklık Aralığı (°C)	10...95

dayanıklılığını belirleyen spesifikasyona (WSS-M15P50-C2) göre kısa süreli termal yaşlandırma testi uygulanmıştır. Bu spesifikasyon kompozit malzemelerin testinde de benzerlik göstermektedir. Teste başlanılmadan önce teste tabi tutulacak GF/PA6 kompozit test numunelerinin $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%50 \pm \%5$ bağıl nem kontrollü ortamda 24 saatten az olmamak kaydıyla koşullandırılması gerekmektedir (Ford,2017). Çevrim sıcaklığındaki değişiklik dakika da 5°C olacak şekilde 25 çevrim gerçekleştirilen, kısa süreli yaşlandırma çevriminin nem ve sıcaklık koşullandırması aşağıdaki gibi olup Şekil 4.11’de gösterildiği gibi ilgili test numunelerin kesim sonrası kısa termal çevrim için iklimatik kabine koyulmuştur.

- Seçilen maksimum sıcaklık 110°C (GF/PA6’nın otomobillerde yerini alması düşünülen parçaların bulunduğu konum nedeniyle seçilmiştir.)
- 5 saat $-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- 30 dakika (minimum) $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%50$ nem altında
- 5 saat $110^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

- 30 dakika (minimum) 23 ± 2 °C ve %50 nem altında
- 2 saat 50 ± 2 °C ve 95 ± 5 % nem altında
- 30 dakika (minimum) 23 ± 2 °C ve %50 nem altında
- 5 saat -40 ± 2 °C
- 30 dakika (minimum) 23 ± 2 °C ve %50 nem altında uygulanmıştır. Bu maddelerin tamamı bir çevrimi (toplamda 19 saat) ifade etmektedir.



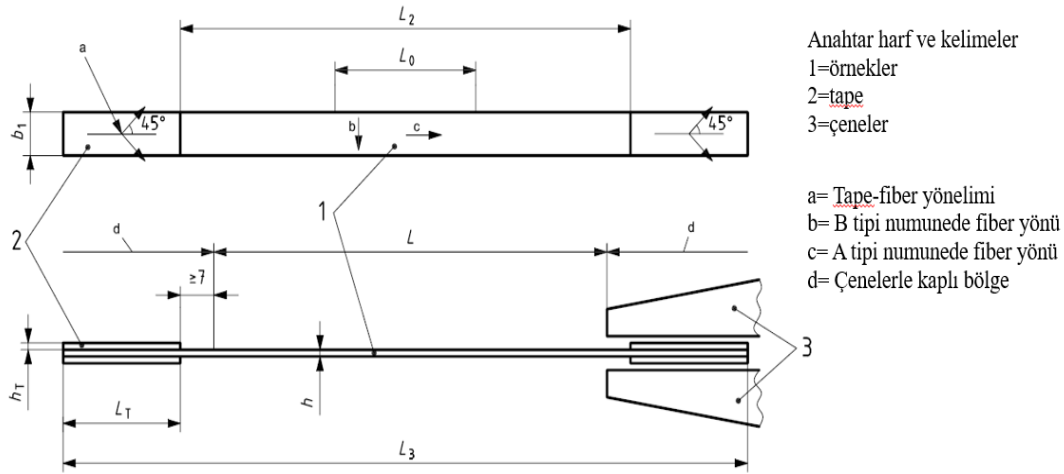
Şekil 4.11. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 numunelerin kısa termal çevrimin etkisini görebilmek amacıyla çekme, üç nokta eğme ve impact test numuneleri iklimik kabinde

4.5. Mekanik Testler

Malzemelerin performanslarının belirlenebilmesi amacıyla mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada seçilen mekanik testler sırasıyla çekme, üç nokta eğme ve darbe testleridir. Çalışmada gerçekleştirilen testlere, standartlarda belirtilen boyutlarda plakalardan su jeti yardımıyla kesilerek numuneler hazırlanmıştır. Bu testler aynı proses parametrelerinde üretilmiş farklı numunelere iklimlendirme öncesi ve iklimlendirme sonrası uygulanmış olup, kısa termal çevrimin de mekanik performansa etkisi incelenmiştir.

4.5.1. Çekme Testi

Sıkıştırılmalı kalıplama üretim tekniği ile çeşitli bekletme sürelerinde (4.30 dk / 5.00 dk / 5.30 dk) üretilen GF/PA6 kompozit plakaların çekme mukavemeti ve çekme modüllerinin belirlenebilmesi için ISO 527 test standardına göre hazırlanan ve markalanan numuneler test öncesi 24 saatlik koşullandırmaya tabi tutulmuştur. ISO 527 test standardında istenilen numune boyutlandırması Şekil 4.12’de verilmiş olup, Tablo 3.6’da da değerleri belirtilmiştir. Standart iki farklı boyutta çekme testinin gerçekleştirilebilmesine olanak tanımakta olup, çalışmada hazırlanan kupon numuneler Tip B’ye göre su jeti yöntemine göre kestirilmiştir (ISO, 2009).



Şekil 4.12. ISO 527 standardına göre çekme test numunelerinin şematik görüntüsü ve ölçüsel sembolleri (ISO, 2009)

ISO 527 standardına ait test yöntemi, tek yönlü fiberlerle güçlendirilmiş, önceden emdirilmiş malzemeler dahil termoplastik veya termoset matrisli kompozitler için uygundur. Standardın kapsadığı takviye malzemeler karbon fiberler, cam fiberler, aramid fiberler ve diğer benzer fiberler bulunmaktadır (ISO, 2009).

Bu çalışmada, numune boyutları 250 mm x 25 mm x 2 mm (Tip B) seçilmiş olup her bir numunenin iki kenarı arasındaki düzlemsellik 0.2 mm’yi geçmeyecek şekilde hazırlanmıştır. Test esnasında tape üzerinden test numunesi GF/PA6’ların kayma durumu kontrolü için, hazırlanan numunelere işaretleme yapılmış ve test esnası ile test sonrasında işaretler kontrol edilmiştir. Standardın da izin vermesi ve daha önceden edinilen tecrübe ile birlikte tapeler için zımpara kâğıdı kullanılmıştır.

Tablo 4.6. ISO 527 standardına göre çekme test numunelerin ölçüsel değerleri (ISO, 2009)

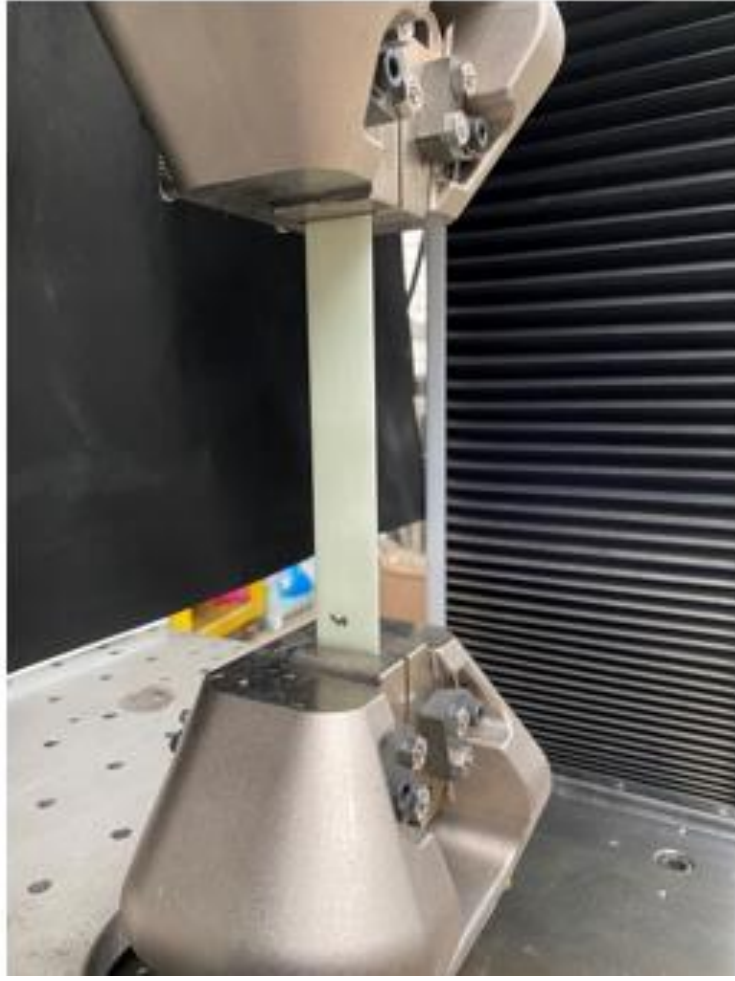
		Tip A	Tip B
L₃	Toplam Uzunluk	250 mm	250 mm
L₂	Tape Sonları Arası Boşluk	150 mm ± 1	150 mm ± 1
b₁	Genişlik	15 mm ± 0.5	25 mm ± 0.5
h	Kalınlık	1 mm ± 0.2	2 mm ± 0.2
L₀	Gösterge Uzunluğu (Ekstansometreler için önerilir)	50 mm ± 1	50 mm ± 1
L	Çeneler Arası Mesafe (nominal)	136 mm	136 mm
L_T	Tape Uzunluğu	> 50 mm	> 50 mm
h_T	Tape Kalınlığı	0.5 – 2 mm	0.5 -2 mm

Çekme testleri hazırlanan GF/PA6 kupon kompozit numunelerine (Şekil 4.13) şirket bünyesinde bulunan Shimadzu AGS-X serisi test cihazında 1 mm/dk hız ile gerçekleştirilmiş olup, test süresince değerler bilgisayar uygulaması TrapeziumX'den takip edilmiş ve kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.14). Kısa termal çevrim uygulanmış ve uygulanmamış GF/PA6 kompozit numunelerin çekme dayanımı ve çekme modülü değerlerinin tespit edilebilmesi için her bir set 6'şar adet numune test edilmiştir. Test sonuçları standart sapma ile birlikte verilmiştir. Shimadzu AGS-X test cihazının çekme ve basma yetkinliğine sahip olup, özellikleri şöyledir:

- Model olarak AGS-X 100kN + 250 mm uzatılmış
- Test hız aralığı: 0.001 mm/dk'dan 800 mm/dk (adımsız)
- Test hızı hassasiyeti: %0,1
- Test alanı: 600 mm x 1505 mm
- EN 10002-2, ISO 7500/1, ASTM E4, DIN51221 standartlarına göre; 100 kN ila 200 N aralığında Class1 (±%1) hassasiyetli okuma kabiliyeti



Şekil 4.13. ISO 527 standardının Tip B isterlerine göre hazırlanmış ve üzerine kayma durumunun kontrolü için işaretli kupon numune



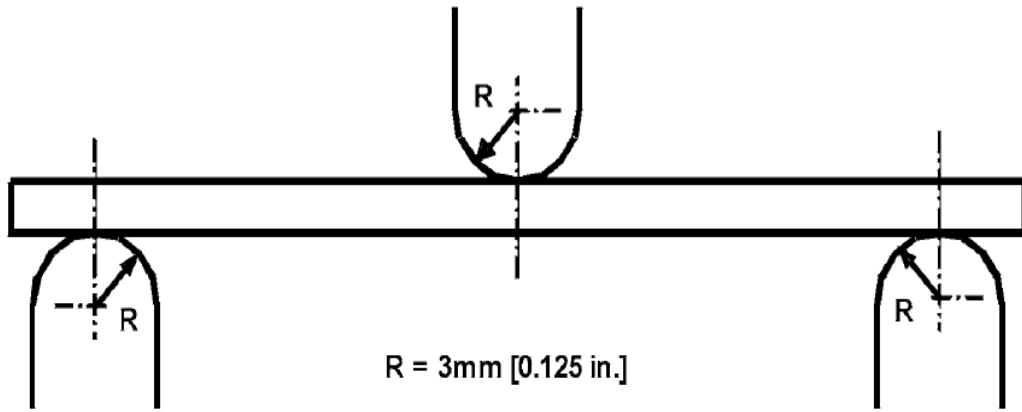
Şekil 4.14. ISO 527 standardına göre hazırlanan kupon numunelerin Shimadzu AGS-X cihazında çekme testleri

4.5.2. Üç Nokta Eğme Testi

Sıkıştırırmalı kalıplama tekniği ile farklı bekletme sürelerinde (4.30 dk / 5.00 dk ve 5.30 dk) üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin (2.00 mm kalınlık) ASTM D 7264 test standardına göre üç nokta eğme testleri gerçekleştirilmiştir. GF/PA6 kompozit plakalar standardın istemiş olduğu ebatlarda su jetiyle kesilmiş ve ardından su jeti işlemi sırasında kupon numunelerin emdikleri nemin atılması amacıyla da koşullandırılarak teste hazır hale getirilmiştir. Bu test yöntemi, tanımlanan koşullar altında polimer matrisli kompozit malzemelerin eğilme özelliklerini (dayanım, sertlik ve yük/sapma davranışı) belirlemeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu test yöntemi, sürekli elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerden optimum yararlanabilmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu çalışmada

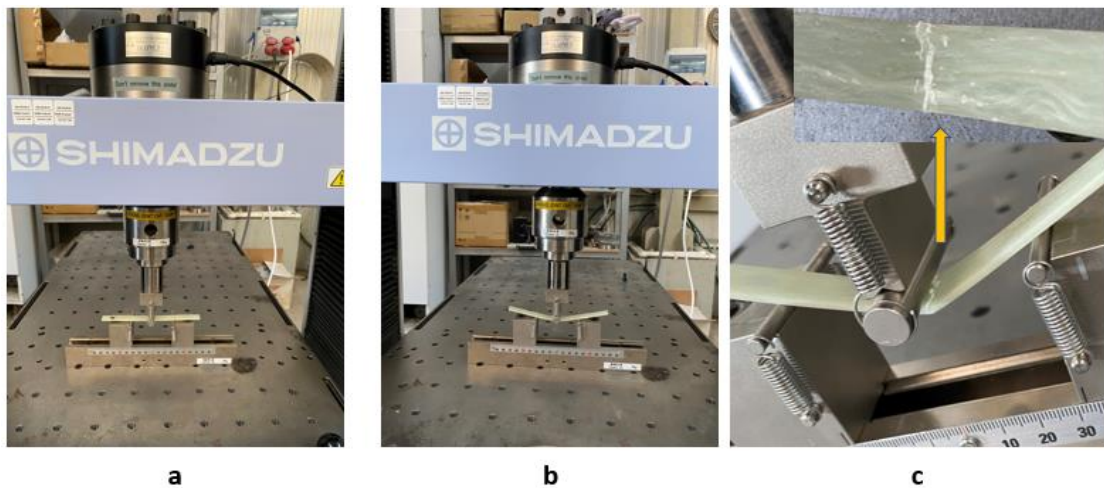
uygulanmak üzere seçilen üç nokta eğme testinin şematik görüntüsü Şekil 4.15'te belirtilmiştir.

Bu çalışmada, alt destek mesafesi 32:1 olarak seçilmiş olup, numune kalınlığı 2 mm ve standart numune genişliği 13 mm olarak seçilmiştir. Üç nokta eğme testinde belirtilen numune destek aralığından yaklaşık %20 daha uzun olacak şekilde boyutlarda kesilmiştir. Çalışmanın gerekliliği olan test, Shimadzu AGS-X serisi cihazda 1 mm/dk hızda Şekil 3.16'da gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. GF/PA6 kompozit numunelerin



Şekil 4.15. Kenarlarda sabit destekler ve yüklemeye burnu ile üç nokta eğme konfigürasyonu (ASTM, 2007)

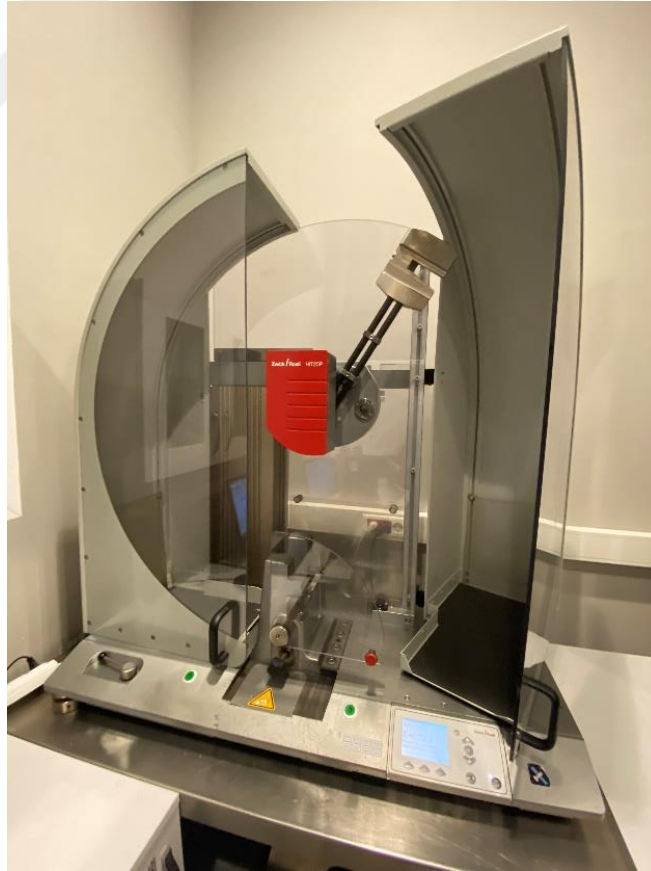
eğme dayanımı ve eğme modülü değerlerinin tespit edilebilmesi için her bir sette 6'şar numune test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar standart sapma ile birlikte verilmiştir.



Şekil 4.16. Shimadzu AGS-X test cihazında farklı tutma sürelerinde üretilen GF/PA6 üç nokta eğme test anı a) Test başlangıç, b) Test anı, c) Test sonu

4.5.3. Darbe Testi

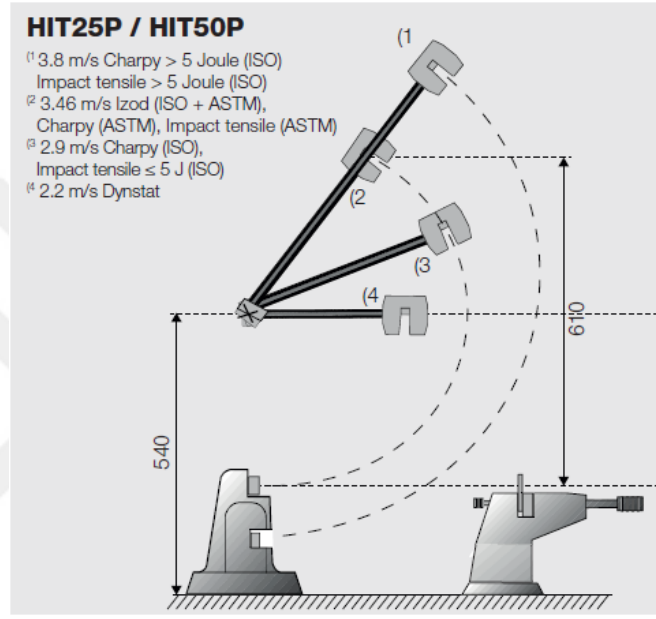
Bu çalışmada çentiksiz darbe dayanımını araştırmak için, sıkıştırırmalı kalıplama tekniği ile farklı tutma sürelerinde (4.30 dk / 5.00 dk / 5.30 dk) üretilen GF/PA6 kompozit plakaların ISO 179-1 standardına göre belirlenebilmesi için su jeti yardımıyla istenilen ebatlarda kupon numuneler kesilmiştir. ISO 179-1 test standardı belirli koşullar altında üretilen kompozitlerin darbe dayanımlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Çentiksiz bir numunenin kırılmasında emilen darbe enerjisi, numunenin orijinal kesit alanına karşılık gelmektedir. Emilen darbe enerjisi, metrekaire başına düşen kJ/m^2 olarak ifade edilmektedir. Su jetiyle kesilen GF/PA6 kompozit numuneler, koşullandırıldıktan sonra Zwick/Roell markasına ait HIT25P test cihazında (Şekil 4.17) testleri gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamında takip edilerek kaydedilmiştir. Şekil 4.18'de Charpy darbe testinin standarda uygun şekilde gerçekleştirilebilmesi için çekiç yükseklik ve pozisyonu belirtilmiştir.



Şekil 4.17. Su jetiyle kesilen GF/PA6 numuneler, koşullandırıldıktan sonra Zwick/Roell markasına ait HIT25P test cihazında testleri gerçekleştirilmesi

ISO 179-1 standardından Charpy darbe testi seçilerek, V-çentiği bulunmayan 6'şar adet parça için tek bir vuruş olacak şekilde çekiç gücü 15 kJ olarak seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan test numuneleri boyutları 80 mm x 10 mm x 2 mm'dir. GF/PA kompozit numunelerin darbe dayanımlarına sıkıştırılmalı kalıplama tekniği tutma süresinin ve kısa süreli termal yaşlandırma çevriminin etkisinin tespit edilebilmesi için her bir sette 6'şar numune test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar standart sapma ile birlikte verilmiştir.



Şekil 4.18. Charpy darbe testinin standarda uygun şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla çekiç konumunun gösterilişi (Zwick/Roell)

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Farklı Tutma Süreleri Altında Sıkıştırılmalı Kalıplama Yöntemiyle Üretilen GF/PA6 Kompozitlerin Çekme Davranışlarının İncelenmesi

Otomobillerde kullanılan malzemelerden metallerin tercih edilmesindeki nedenlerden biri mekanik özelliklerinin iyi olması ve istenilen değerleri karşılayabilmeleridir. Otomobil firmalarının mevcut malzemenin yerine yeni bir malzeme kullanabilmeleri için, kullanılacak malzemenin mevcut değerleri yakalaması veya üstünde değerleri karşılayabilmesi beklemektedir. Bu değerler otomobillerin gerekli güvenlik normlarını yakalayabilmesi için gerekmekte olup standartların dışında değerlere sahip malzemelerin kullanılmaması konusunda kesin kuralları yer almaktadır. Bu nedenle malzemenin mekanik özellikleri incelenirken çekme test sonuçları da dikkate alınmaktadır.

Bu çalışmada, geleneksel malzemelerin yerini alabileceği düşünülen TFP tekniğiyle üretilen kumaşların sıkıştırılmalı kalıplama yöntemiyle plakalar haline getirilen E-Cam Fiber/ Poliyamid 6 (GF/PA6) kompozitlerinin çekme özelliklerine tutma sürelerinin etkisi araştırılmıştır. Tutma sürelerinin etkisi araştırılırken aynı zamanda çevresel etkinin de mekanik performansa etkisinin çekme testi yardımıyla anlaşılabilmesi için kısa çevrim termal yaşlandırılma sonrası numunelerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Kısa termal çevrim (yaşlandırma) uygulanmamış ve uygulanmış farklı tutma sürelerinde (4.30 dk. / 5.00 dk./ 5.30 dk.) üretilen GF/PA6 kompozit numunelerinin çekme testleri sonucunda elde edilen elastik modül değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Tablo 5.1’den genel olarak termal çevrim uygulanmamış numuneler ($6737,45 \text{ N/mm}^2$, $6625,89 \text{ N/mm}^2$ ve $6540,91 \text{ N/mm}^2$) ile kısa termal çevrim uygulanmış numunelerin ($8359,81 \text{ N/mm}^2$, $9947,37 \text{ N/mm}^2$ ve $10004,61 \text{ N/mm}^2$) elastik modül değerleri karşılaştırıldığında kısa termal çevrimli numunelerin elastik modül değerlerinin tüm tutma süreleri için daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aradaki fark tutma süresi arttıkça artış göstermiş olup, %24’den %40’a doğru değer artışlarına denk gelmektedir. Genel olarak bu artışın kısa termal çevrim uygulanması ile poliyamid malzemesinin rijitliğini arttırdığını bununda GF/PA6 kompozit numunelerinin elastik modül değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada (Umar ve diğ. 2012) kısa termal çevrim uygulanan HDPE ve kenaf fiber takviyeli HDPE numunelerin elastik modül değerlerinin polimer malzemedeki zincir yayılımının nedeniyle arttığı belirtilmiştir.

Tablo 5.1. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin kısa termal çevrim ve tutma süresi etkilerine göre elastik modül değerlerinin değişimi

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler		Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler		
Tutma Süresi	Elastik Modül N / mm ²	Standart Sapma	Elastik Modül N/ mm ²	Standart Sapma
4,30 dk	6737,45	± 130	8359,81	± 250
5,00 dk	6625,89	± 175	9947,37	± 200
5,30 dk	6540,91	± 185	10004,61	± 800

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler

Tutma Süresi	Elastik Modül N/mm²
4.30 dk	6737,45
5.00 dk	6625,89
5.30 dk	6540,91

Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler

Tutma Süresi	Elastik Modül N/mm²
4.30 dk	8359,81
5.00 dk	9947,37
5.30 dk	10004,61

Kısa termal çevrim uygulanmamış referans kompozit numunelerin çekme test sonuçlarından elde edilen elastik modül değerleri incelendiğinde tutma süresinin 4.30 dk'dan 5.30 dk'ya çıkartılması ile elastik modül değerlerinin 6737,45 N/mm²'den 6540,91 N/mm² değerine düştüğü tespit edilmiştir. Standart sapmalar da dikkate alındığında referans numunelerin elastik modülü değeri için sıkıştırılmalı kalıplama tekniğindeki tutma süresinin kayda değer bir şekilde etki etmediği gözlemlenmiştir. Kısa termal çevrim uygulanmış kompozit numunelerde ise tutma süresinin arttırılması ile GF/PA6 kompozit numunelerin elastik modül değerlerinin 8359,81 N/mm²'den 10004,61 N/mm²'ye yükseldiği belirlenmiştir. Özellikle kısa termal çevrim uygulamasının malzemenin elastik modül değerlerini arttırdığı ve bu nedenle malzemenin daha rijit davrandığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmaya (Niu ve diğ., 2017) ait elastik modül değerleri incelendiğinde, karbon fiber takviyeli poli (eter eter keton) (PEEK) matrisli kompozitlerin 1560 saatlik termal çevrim sonucunda yaklaşık olarak %7,5 değerini düşüğü belirtilmiştir. Bu kısmi ölçekteki değer düşüşünün PEEK matris malzemesinin su emiliminin düşük olması sebebiyle fiber matris ara yüzeyinin çok fazla deforme

olmamasından kaynaklandığı, UV ve su ortamının malzemenin sadece yüzey bölgesini etkilediği belirtilmiştir.

Bu çalışmada sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen PA6/GF kompozitlerinin çekme özelliklerinden çekme dayanımı değerleri de araştırılmıştır. Farklı tutma süreleri arasındaki farklılıklar araştırılırken, kısa termal çevrimin de kompozit numunelere etkisi incelenmiştir. Kısa çevrim termal yaşlandırma uygulanmamış ve uygulanmış farklı tutma sürelerinde (4.30 dk. / 5.00 dk./ 5.30 dk.) üretilen GF/PA6 kompozit numunelerinin çekme dayanımı değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin kısa termal çevrim ve tutma süresi etkilerine göre çekme dayanımı değerlerinin değişimi

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler			Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler	
Tutma Süresi	Çekme Dayanımı N / mm ²	Standart Sapma	Çekme Dayanımı N / mm ²	Standart Sapma
4,30 dk	639,087	± 10	591,168	± 20
5,00 dk	642,035	± 25	580,571	± 30
5,30 dk	633,339	± 10	567,351	± 40

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler Çekme Dayanımı N/mm² Tutma Süresi		Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler Çekme Dayanımı N/mm² Tutma Süresi	
--	--	---	--

Tablo 5.2’deki değerler incelendiğinde, sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerinin çekme dayanım değerleri arasındaki farkın standart sapma değeri içerisinde olduğu ve kısa termal çevrim uygulanmış numunelerde ise bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tutma sürelerine ait çekme dayanımı değerleri

incelendiğinde tutma süresinin artması sonucunda çekme dayanımı değerinde bir düşüş görülmektedir. Bu durum 4,30 dk için elde edilen 639,087 N/mm² olurken, 5,30 dk 633,339 N/mm² olarak bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Farklı kenevir fiber (Popa ve diğ., 2013) ağırlık oranlarında takviye edilmiş polipropilen kompozit malzemelerin, termal yaşlandırmaya maruz bırakıldıktan sonra mekanik özelliklerinin değişimini incelemiştir. Yapılan işlemler sonrasında elde edilen veriler karşılaştırıldığında, termal yaşlandırmaya maruz kaldıktan sonra, polimer bozunmasının etkileri nedeniyle gerilme mukavemetinin düştüğü, bunun nedeninin de PP ve kenevir fiberlerin fotooksidasyonuna bağlanmışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada. (Spiridon ve diğ., 2016) PLA/lingofiber kompozitlerinin termal yaşlandırma ile mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla nem ve UV radyasyonu altında hızlandırılmış yaşlandırma gerçekleştirilmiştir. Termal yaşlandırma işleminden sonra, UV ışıınımı, sıcaklık ve nemin birleşik etkisinin malzemenin daha kırılğan hale geldiği, yapısında kristallik artışının olduğu gözlemlenmiştir. Yapmış oldukları çalışmada. (Benini ve diğ.,2011) organik fiber/Yüksek Darbe Dirençli Polistiren (HIPS – high impact polystrene) kompozitlerinin termal yaşlandırmaya maruz kaldıktan sonraki mekanik özellikleri için yapmış olduğu çalışmada, termal yaşlandırmaya maruz bırakılmayan numunelerin çekme dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu, ayrıca organik fiber oranı arttıkça termal yaşlandırma sırasında uygulanan UV ve nem etkisinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun polimer matrisine eklenen lignoselülozik fiberlerin bozunma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Yapmış olduğu. (Xie ve diğ., 2019) çalışmaların da poliakrilonitril (PAN) bazlı karbon fiber takviyeli ısıyla sertleşen polimer kompozit numunelerin farklı tutma sürelerinde (10 dk / 15 dk / 20 dk ve 25 dk) üretilmesinden sonraki mekanik performanslarından çekme dayanımı değerlerindeki değişim incelenmiştir. Tutma süresi 10 dk'dan 20'dk ya kadar artarken elde edilen çekme dayanımı artmıştır. Fakat 20 dk'dan sonraki 25'ya doğru tutma süresi artmaya devam ettirildiğinde çekme dayanımının 785,28 MPa'dan 776,64 MPa düştüğü gözlemlenmiştir. Çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde, mekanik performansın tutma süresinden etkilendiği, belli bir süreden sonrasında değerin sabit kaldığı, artan tutma süresiyle birlikte reçinenin tamamen emdirilmesinden sonra, reçine ve fiberler arasında emdirilme akışın durduğu tespit edilmiştir. Çalışmaların da. (Kastiawan ve diğ., 2020) termoplastik matrisli kompozit malzemesinin mekanik özelliklerinin 3 farklı tutma sürelerindeki değişimleri

incelenmiştir. 3 farklı tutma süresi olarak seçilen 0 dk, 30 dk ve 60 dk'da 3 farklı sıcaklık değeri için tekrarlanan üretimler ile elde edilen kompozit numunelerin çekme dayanım sonuçları incelenmiştir. Tutma süresinin giderek arttırılması sonrasında çekme mukavemetinin azaldığı gözlenmiştir. Çekme mukavemetindeki azalışın, tutma süresi arttıkça meydana gelmesi, kompozit malzemenin daha fazla kırılgan hale geldiği ve sıcaklığın artmasıyla polipropilen matris içerisinde gaz oluşumuyla kabarcıkların oluşması bu durum kompozit soğutulurken de hava kabarcıklarının gözenek olarak kalması sonucu meydana geldiği tespit edilmiştir.

5.2. Farklı Tutma Süreleri Altında Sıkıştırılmalı Kalıplama Yöntemiyle Üretilen GF/PA6 Kompozitlerin Üç Nokta Eğme Davranışlarının İncelenmesi

Otomobillerde kullanılan yapısal malzemelerin, maruz kaldıkları eğilme yüklemeleri karşısında, gelen kuvveti soğurarak otomobilin daha güvenli olması sağlanması beklenmektedir. Bu nedenle malzemeler otomobillerde kullanılmasına karar verilmeden önce birçok teste ve deneye tabi tutulmaktadırlar. Bunlardan biri de üç nokta eğme testi olup, test sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek, malzemenin davranışı incelenmektedir. İstenilen değerler arasında gelen malzemeler otomobillerde Otomobiller de kullanılan yapısal malzemelerin, maruz kaldıkları eğilme yüklemeleri karşısında, gelen kuvveti soğurarak otomobilin daha güvenli olmasını sağlanması beklenmektedir. Bu nedenle malzemeler otomobillerde kullanılmasına karar verilmeden önce birçok teste ve deneye tabi tutulmaktadırlar. Bunlardan biri de üç nokta eğme testi olup, test sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek, malzemenin davranışı incelenmektedir. İstenilen değerler arasında gelen malzemeler otomobillerde kullanılabileceği gibi, üstünde gelen değerler ise otomobilin kritik bölgelerinde tercih edilebilmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada, otomobillerde kullanılan geleneksel malzemelerin yerini alabileceği düşünülen TFP tekniğiyle üretimi gerçekleştirilen kumaşların sıkıştırılmalı kalıplama yöntemiyle plakalar haline getirilen E-Cam Fiber/Poliamid 6 (GF/PA6) kompozitlerin üç nokta eğme testlerinde elde edilen eğme modülü ve eğme dayanımı değerlerine farklı tutma sürelerinin etkisi araştırılmıştır. Tutma sürelerindeki değişikliğin eğme modülü ve eğme dayanımı özellikleri araştırılırken aynı zamanda çevresel etkinin de mekanik performansa etkisinin üç nokta eğme testi yardımıyla anlaşılabilmesi için kısa çevrim termal yaşlandırılma sonrası numunelerin sonuçları referans numuneler ile

karşılaştırılmıştır. Kısa çevrim termal yaşlandırma uygulanmamış ve uygulanmış farklı tutma sürelerinde (4.30 dk / 5.00 dk / 5.30 dk) üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin üç nokta eğme test sonuçlarından elde edilen eğme modülü değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3'te genel olarak termal çevrim uygulanmış ile termal çevrim uygulanmamış kompozit numunelerin eğme modülü değerleri karşılaştırıldığında termal çevrim uygulanmış numunelerin eğme modül değerlerinin ortalama olarak %340 oranında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca termal çevrim uygulanmamış referans numuneler incelendiğinde, farklı tutma sürelerinde üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin eğme modülü değerleri arasında %3'e yakın olup, dikkate değer bir büyüklükte olmadığı tespit edilmiştir. Gerçekleştirdiği çalışmada (Shibata, 2012) doğal fiber takviyeli kompozitlerin eğme özelliklerine tutma süresinin etkisini araştırmıştır. Çalışmada belirlenen tutma süreleri 0 dk, 10 dk, 20 dk ve 30 dk olarak seçilmiştir.

Tablo 5.3. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin kısa termal çevrim ve tutma süresi etkilerine göre eğme modülü değerlerindeki değişim

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler			Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler	
Tutma Süresi	Eğme Modülü N / mm ²	Standart Sapma	Eğme Modülü N / mm ²	Standart Sapma
4,30 dk	28777,3	±1250	98014,2	± 2150
5,00 dk	28719,3	± 1300	97152	± 2100
5,30 dk	27792,6	± 1000	95801,3	± 2000

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler Eğme Modülü N/mm² Tutma Süresi		Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler Eğme Modülü N/mm² Tutma Süresi	
--	--	---	--

Çalışmanın sonunda, tutma süresinin arttırılmasının kompozitin numunenin içerisindeki reçinenin renginin değiştiği gözlemlenmiştir. Tutma sürelerinin uzatılması reçinenin depolimerizasyonunun artmasına ve kompozitin eğme modülü değerinin düşmesine neden olabileceği ileri sürülmüştür. Bu nedenle tutma süresinin optimum olarak belirlenmesi, en yüksek performanslı doğal elyaf takviyeli kompozitin üretilebileceğini belirtmektedir. Çalışmalarında (Chen ve diğ., 2011) PET kompozit malzemelerin sabit bir sıcaklık (225 °C) konsolidasyonda farklı tutma sürelerinde (3 dk, 6,5 dk ve 10 dk) elde edilen numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Mekanik özelliklerinden eğme modülü sonuçları değerlendirildiğinde çıkan değerlerin (3 dk için 3,65 GPa, 6,5 dk için 3,63 GPa ve 10 dk için 3,53 GPa) birbirlerine yakın olduğu, tutma süresinin artmasıyla eğme modülü değerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum incelendiğinde matrisin bozulmaya başladığı ve gevrekleşmesi nedeniyle ara fazın erken bozulmasına neden olmaktadır. (Gulmine ve diğ.,2002) düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), doğrusal düşük yoğunluklu (LLDPE) ve yüksek yoğunluklu (HDPE) polimerlerine sahip kompozit numunelerden yapmış oldukları çalışma sonucunda elde ettikleri veriler değerlendirildiğinde, termal çevrimin mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilediği, bunun nedeninin de ultraviyole ışık ve yoğunlaşma döngülerinin birleşik etkisi, polimer matrisine, lignoselülozik dolguya ve kompozitin ara yüzüne etkisinden kaynaklı mekanik performansın değişmesidir. Ayrıca döngüde yer alan nemin fiberlerin şişmesine neden olduğu tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, sıkıştırırmalı kalıplama ile üretilen PA6/GF kompozitlerinin üç nokta eğme testlerinden elde edilen eğme dayanım değerlerinin karşılaştırılması Tablo 5.4'te verilmiştir. Karşılaştırılan numuneler TFP tekniği ile üretilen kumaşların, farklı tutma sürelerinde (4.30 dk / 5.00 dk / 5.30 dk) sıkıştırırmalı kalıplama yöntemiyle üretilen kompozit plakaların kısa çevrim termal yaşlandırma uygulanmamış ve uygulanmış olarak üç nokta eğme testinin eğme dayanımları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.4'ten genel olarak tutma süresindeki artışın eğme dayanımını olumsuz etkilediği görülmektedir. Kısa termal çevrim uygulanmış numunelerde eğme dayanımlarında düşüşlerin görülmesi, kompozit malzemenin çevresel koşullardan olumsuz etkilendiğinin bir göstergesi olduğu düşünülmektedir. 4,30 dk tutma süresinde üretilen referans kompozit numunelerin eğme dayanım değerlerine göre tutma süresinin 5,30 dk'ya yükseltilmesi ile eğme dayanımı değerlerinin yaklaşık olarak 609 N/mm²'a düştüğü tespit edilmiştir. Bununla birlikte kısa

termal çevrim uygulanan numunelerde ise hem termal çevrimin hem de tutma süresinin artmasının eğme dayanımı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Özellikle 4,30 dk tutma süresinde üretilen referans numuneye göre kısa termal çevrim uygulanmış numunenin eğme dayanımı değerlerinde yaklaşık olarak %15'lik azalış gözlemlenmiştir. Artan tutma sürelerinde ise termal çevrim etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir. (Chan ve diğ.,2014) hindistan cevizi fiber takviyeli HDPE polimerlerinden oluşan kompozit malzemeler ile yapmış olduğu çalışmada termal çevrim uygulanan kompozit malzemelerin eğme dayanım değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Termal çevrim süresinin 28 günden 56 güne doğru arttırıldıkça kompozit malzemedeki aşınma derecesinin artması nedeniyle eğme dayanımındaki değerinin %20 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.4. Sıkıştırılmalı kalıplama ile üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin kısa süreli termal çevrim uygulanmış ve uygulanmamış farklı tutma sürelerinde üretilen numunelerin eğme dayanım sonuçlarındaki değişim

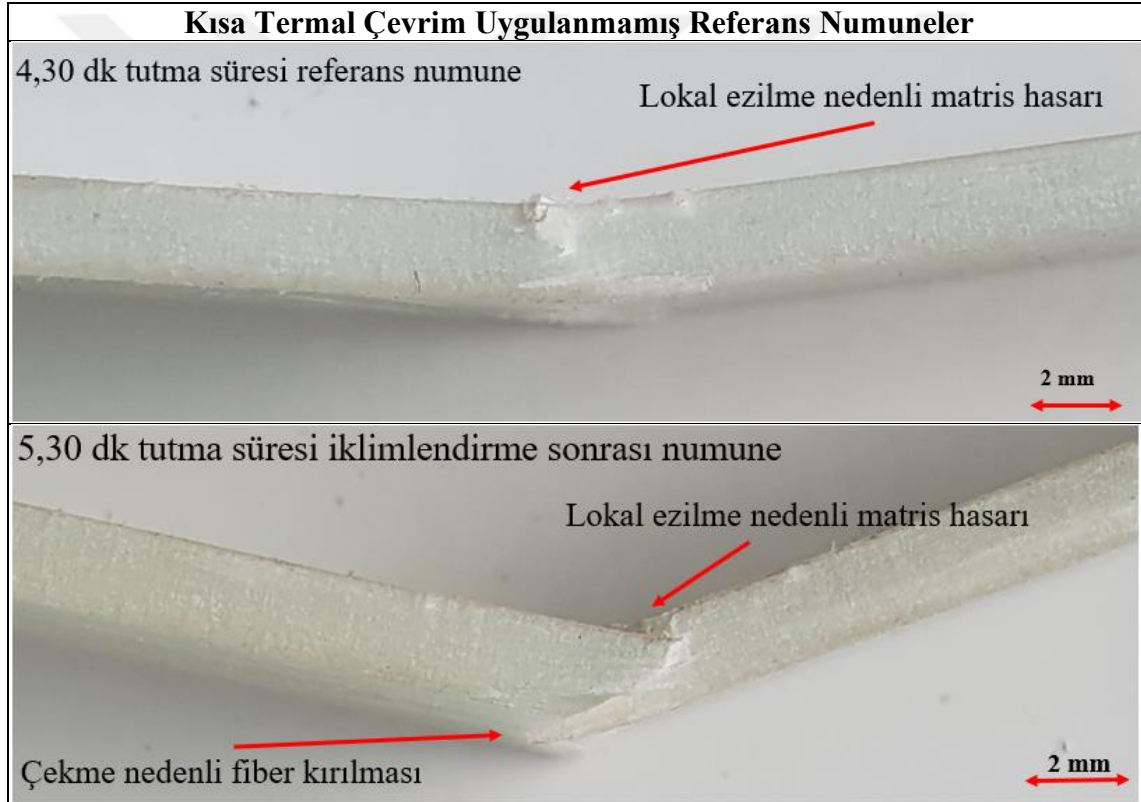
Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler			Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler	
Tutma Süresi	Eğme Dayanımı N / mm ²	Standart Sapma	Eğme Dayanımı N / mm ²	Standart Sapma
4,30 dk	689,70	± 20	581,68	± 20
5,00 dk	653,01	± 40	598,39	± 30
5,30 dk	608,90	± 15	595,63	± 20

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler			Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler	
---	--	--	--	--

Yönlü sürekli cam fiber takviyeli poli (eter eter keton) eğme özellikleri araştırıldığında (Xu ve diğ.,2018) tutma sürelerinin (10 dk'dan 150 dk'ya kadar değişen) artması matrisin basınç ve altında cam fiberlere kademeli nüfuz etmesi ve cam fiberlerin dağılmasını

iyileştirmesi olduğunu, fakat tutma süresinin belli bir noktadan sonra artmaya devam etmesinin performansı iyileştirmediği sonucu çıkmıştır. Tutma süresi 10 dk'dan 120 dk'ya doğru artarken eğme dayanımı 636,7 MPa'dan 941,1 MPa'a artış göstermiş fakat, 150 dk'ya gelindiğinde eğme dayanımı 836,9 MPa seviyelerinde düşmüştür.

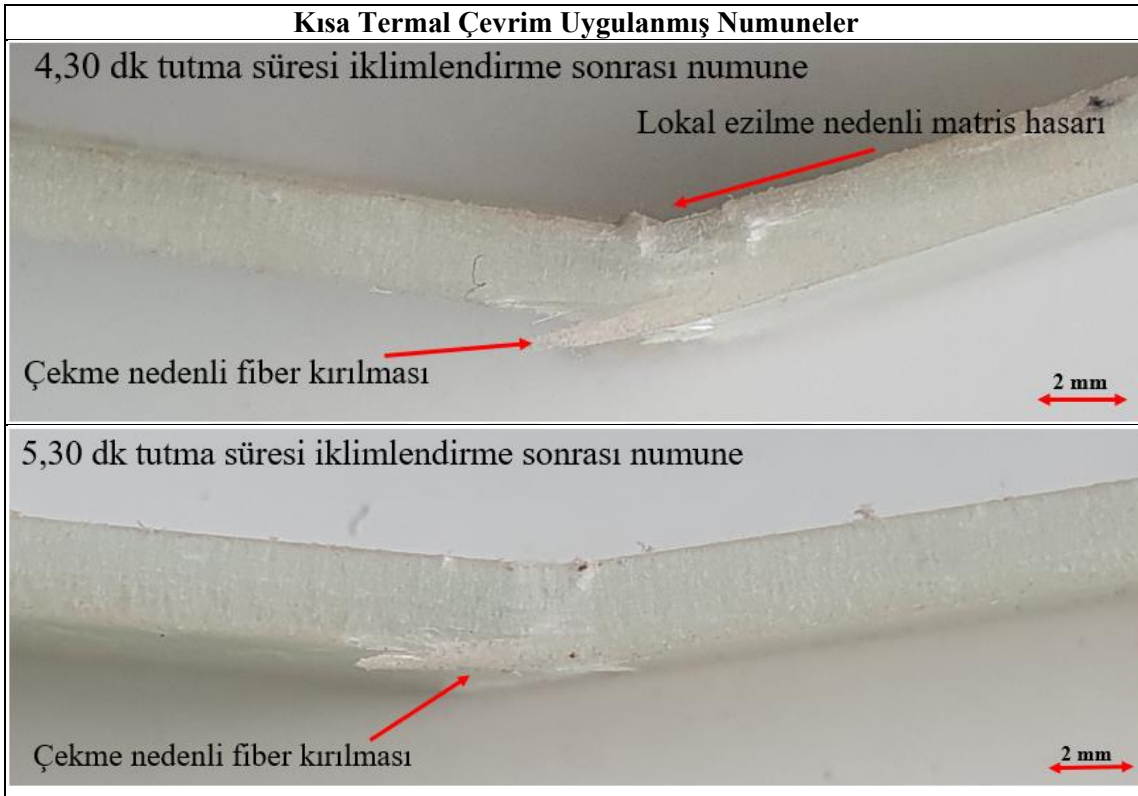
Gerçekleştirilen üç nokta eğme testleri sonrası referans numuneler incelenmiş olup (Şekil 5.1), tutma süresi 4,30 dk olan GF/PA6 kompozit numunelerin kuvvete maruz kaldığı bölgelerde lokal ezilme nedenli matris hasarı tespit edilmiştir. Tutma süresi 5,30 dk olan referans numuneler incelendiğinde ise çekme nedenli fiber matris hasarları tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. Kısa termal çevrim uygulanmamış referans numunelerin üç nokta eğme testi sonrasındaki deformasyonların görsel incelenmesi

GF/PA6 kompozit numunelerin termal kısa çevrim uygulanmasından sonra gerçekleştirilen üç nokta eğme testlerine ait numunelerin deformasyon bölgelerindeki hasar nedenleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Tutma süresi 4,30 dk olan, termal kısa çevrim uygulaması sonrası numuneye ait deformasyon bölgesi incelendiğinde, lokal ezilme nedenli matris hasarı ve çekme nedenli fiber hasarı gözlemlenmiştir. Bir diğer tutma

süresi olan 5,30 dk kısa termal çevrim uygulaması sonrasında ait numunelerde ise aynı şekilde lokal ezilme nedenli matris hasarı ve çekme nedenli fiber hasarı tespit edilmiştir. Referans numuneler ile termal kısa çevrim uygulanmış numunelerin üç nokta eğme testi sonrasında ait görseller incelendiğinde, termal kısa çevrim uygulaması sonrası hasar bölgesinin arttığı ve oluşan hasarın da arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.2. Kısa termal çevrim uygulanmış referans numunelerin üç nokta eğme testi sonrasındaki deformasyonların görsel incelenmesi

5.3. Farklı Tutma Süreleri Altında Sıkıştırılmalı Kalıplama Yöntemiyle Üretilen GF/PA6 Kompozitlerin Darbe Dayanımı Davranışlarının İncelenmesi

Otomobil firmalarının öncelikli ve en önemli görevlerinden biri otomobilin içerisindeki insanların her koşulda sağlıklı bir şekilde otomobili terk edebilmesinin sağlanmasıdır. Bu konuda test kuruluşları olduğu gibi, ülkelerinde belirlediği standartlar bulunmaktadır. Belirtilen standartlara uyumluluk konusunda otomobil firmaları aracın çarpışma ve kaza sırasında insanların en az hasar alabilmesini sağlamaya çalışmaktadır. Otomobil üretiminde tercih edilen malzemelerde standart ve ülkelerin isterlerini karşılayabilmeleri ve insanların kaza gibi durumlarda aracı sağ terk edebilmeleri gerekmektedir. Bu konuda

malzemelere darbe testi gerçekleştirilmekte ve malzemenin herhangi bir darbe anında verdiği tepki incelenmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada, GF/PA6 kompozit numunelerin darbe testi sonrası elde edilen darbe dayanımları ve çevresel etkilere maruz kalan numunelerin darbe testine ait darbe dayanım verileri incelenmiştir. Darbe dayanım testinden elde edilen verilen Tablo 5.5’de verilmiş olup, Tablo 5.5’teki veriler incelendiğinde tutma süresindeki (4,30 dk’dan 5,30 dk’ya) artış ile birlikte darbe dayanımında (252,27 kJ/m²’den 262,45 kJ/m²’ye) dikkate değer bir artış kaydedilmediği görülmektedir. Kısa termal çevrim numuneler incelendiğinde, üç farklı tutma süresinde de darbe dayanımı değerlerinde %2,42’den %6’ya varan oranlarda düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.5. Sıkıştırılmalı kalıplama ile farklı tutma sürelerinde üretilen GF/PA6 kompozit numunelerin darbe dayanımı değerlerinin kısa süreli termal çevrim etkisine göre değişimi

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler			Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler	
Tutma Süresi	Darbe Dayanımı kJ/m ²	Standart Sapma	Darbe Dayanımı kJ/m ²	Standart Sapma
4,30 dk	252,27	± 20	246,15	± 15
5,00 dk	261,15	± 10	258,34	± 10
5,30 dk	262,45	± 20	245,38	± 15

Kısa Termal Çevrim Uygulanmamış Referans Numuneler Darbe Dayanımı kJ/m² Tutma Süresi		Kısa Termal Çevrim Uygulanmış Numuneler Darbe Dayanımı kJ/m² Tutma Süresi	
--	--	---	--

Yaptıkları araştırmada (Beg ve diğ., 2008) Kraft ahşap fiber takviyeli polipropilen kompozit malzemelerden üretilen numunelerin, termal yaşlandırma altında meydana gelen değişiklikleri araştırmışlardır. Termal yaşlandırma 1000 saat süresince farklı sürelerde tekrarlanmak üzere kompozit malzemelere uygulanmış numuneler, referans

numunelere göre karşılaştırmak üzere darbe testlerine tabi tutulmuşlar. Darbe dayanım sonuçları incelendiğinde, referans numune (0 saat), termal yaşlandırılmış numuneler 150, 400, 600, 800 ve 1000 saatlik dilimlerinde ki numunelerin test sonuçlarının $10,5 \text{ kJ/m}^2$ 'den $3,3 \text{ kJ/m}^2$ 'ye doğru düşen değerler gözlemlenmiştir. Gerçekleştirdikleri çalışmada (Popa ve diğ.,2013) kenevir fiber takviye polipropilen matrisli kompozit malzemedan üretilen numunelerin farklı sürelerde termal yaşlandırmaya maruz bırakılarak, numunelerde oluşabilecek kimyasal ve fiziksel değişimleri incelemişlerdir.

Referans numune baz alınarak, 300 ve 600 saatlik termal çevrim sonrasına ait numuneler incelendiğinde, darbe dayanımı değerinin $7,89 \text{ kJ/m}^2$ 'den önce $6,83 \text{ kJ/m}^2$ 'e sonrasında $3,74 \text{ kJ/m}^2$ 'e düştüğü tespit edilmiştir. Termal yaşlandırmaya maruz kalma süresinin artması parçaların darbe dayanımlarını azalttığı tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada (Butylina ve diğ., 2012) ahşap fiber takviyeli polipropilen kompozitlerin 2000 saatlik termal yaşlandırma testi ile meydana gelen mekanik değişimleri incelenmiştir. Gerçekleşen yaşlandırma sonrası yapılan darbe testinde, yaşlandırma öncesine ait referans numunelere göre darbe dayanımının %17 oranında değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Fiber ve polipropilen matris arasındaki ara yüzeyin bozulması, termal yaşlandırma koşullarından sonra kompozitlerin daha düşük darbe mukavemeti ile sonuçlandığı düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, TFP tekniği ile örülmüş GF/PA6 kompozit kumaşların sıkıştırılmalı kalıplama yöntemiyle farklı tutma sürelerinde üretilen kompozit malzemelerin mekanik davranışlarına tutma sürelerinin etkisi ile birlikte bu numunelerin çevresel etkilere maruz kalmaları sonucunda oluşacak etkilerin belirlenmesi için ek olarak kısa termal çevrim uygulanmıştır. Kısa termal çevrim uygulanmış numunelerin mekanik özellikleri ile termal çevrim uygulanmamış numunelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlardan, çalışmada incelenen GF/PA6 termoplastik kompozit malzemelerin davranışı hakkında bazı sonuçlar çıkarmak mümkün olmuştur:

- GF/PA6 kompozitlerin çekme özelliklerine, tutma süresinin (4,30 dk, 5,00 dk ve 5,30 dk) etkisini çekme testi uygulanarak referans numunelerin elastik modül özellikleri belirlenmiş olup aynı zaman da çevresel etkinin de mekanik performansa etkisinin anlaşılabilmesi için termal kısa çevrim uygulanmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda referans numunelerin tutma süresi artışı sonucunda, elastik modül değerlerinin önemsenmeyecek oranda yaklaşık %3 lük düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Kısa termal çevrim uygulanan numunelerde ise elastik modül referans numunelerin tutma süreleri arasında karşılaştırıldığında %24'ten %40'a doğru değer artışı saptanmıştır. Ayrıca çekme testi çıktılarından çekme dayanımının incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde ise tutma sürelerinde artış yaşanırken çekme dayanım değerinde standart sapma değeri içerisinde düşmeler gözlemlenmiştir. Kısa termal çevrim uygulanan numunelerde ise çıkan sonuçlar incelendiğinde, referans numunelere göre yaklaşık %8'lerden %10'lara yakın çekme dayanımında kayıplar yaşanılmıştır.
- GF/PA6 kompozit numunelerin çekme özelliklerinden sonra eğme özelliklerinin de belirlenmesi aşamasına geçilerek eğme modülü ve eğme dayanımı değerlerine farklı tutma sürelerinin etkisi ve aynı zamanda kısa termal çevrimin sonucunu incelemesi gerçekleştirilmiştir. Referans numunelerin eğme modülleri arasındaki değerin %3'e yakın olması dikkate değer büyüklükte olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca termal kısa çevrim uygulanan kompozit numunelerin eğme modüllerinin %29 oranında yükseldiği gözlemlenmiştir.
- Otomobillerin darbeler karşısında verdikleri tepkilerin önemli olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada yapılan diğer araştırma GF/PA6 kompozit malzemelerin darbe testleri

karşısından elde edilen değerlerin karşılaştırılmasıdır. Referans numunelerin darbe testinden sonra elde edilen sonuçların 252 kJ/m^2 'den $262,45 \text{ kJ/m}^2$ 'ye dikkate değer bir artışın kaydedilmediği görülmektedir. Kısa termal çevrim uygulanan numuneler incelendiğinde ise üç farklı tutma süresinde de darbe dayanımı değerlerinin $\%2,42$ 'den $\%6$ varan oranlarda düştüğü saplanmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışma ile otomobillerin istenen düşük emisyon değerlerine uyum sağlayabilmesi amacıyla otomobil ağırlığının azaltılmasına yardımcı olmak amaçlanmıştır. Otomobil ağırlığı azaltılmasına yardımcı olunurken, yerine geçeceği metal türevi malzemelerin mekanik özelliklerine yakın değerler elde ederek, tasarım kabiliyetinin devamlılığı, işlevsellik, tüketici ihtiyaçlarının karşılanabilmesi ve tabi ki güvenlik vb. kriterlerinde sağlanabilmesi hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen testler ve incelemeler ile birlikte GF/PA6 kompozitlerin TFP tekniği ile kumaş olarak hazırlanırken istenilen geometriye uygun olabileceği, proses basamaklarının azaltılabileceği gösterilmiştir. TFP tekniği istenilen geometri ile proses basamaklarının azaltılabilmesi otomobil üretiminde OEM firmaların araç başına istenilen hedef maliyet azaltılmasına yardımcı olabilecektir. Sıkıştırılmalı kalıplama teknolojisindeki son gelişmeler ile birlikte Roctool yardımıyla seri üretimin desteklenebileceği şekilde zamandan kazanımlar elde edilebilmekte olup, proses yeterlilik gerçekleştirilerek proses de süreklilik kazanılabilir. GF/PA6 kompozitlerin termal kısa çevrim sonrasına ait test sonuçlarını incelediğimizde, OEM standardının belirttiği üzere kompozit numunelerin şekil ya da geometrik olarak herhangi bir değişikliğe uğramadığı tespit edilmiş olup, otomobillerde kullanılabilecek malzemeler olduğu belirtilebilir.

Termal kısa çevrim sonrasına ait numunelerin test sonuçları incelendiğinde düşüşler gözlemlenmiş olabilir fakat kabul edilmeyecek yüzde düşüşlere rastlanılmamıştır. Gerçekleştirilecek çalışmalarda test numunelerine uygulanacak termal çevrim süresi uzatılabilir. Çalışmanın sıkıştırılmalı kalıplama teknolojisi ile üretiminde sabit tutulan sıcaklık, basınç ve soğutma gibi üretim parametrelerin değiştirilerek yapılacak üretimlerden elde edilen kompozitlerin mekanik özellikleri incelenebilir.

GF/PA6 kompozitlerin kumaş olarak üretiminde TFP tekniği kullanılırken, örgü yönü UD dışında farklı yönlerde (30° , 45° ve 90° vb.) kumaşlar dokunabilir ve örgü yönünün mekanik özelliklere etkileri incelenebilir.

Tüm çalışmaya ait sonuçlar değerlendirildiğinde, bu çalışmanın gelecek kaygısı taşıyan tüm insanların vazgeçemediği otomobillerin ağırlıklarının azaltılarak, bu yapılırken fonksiyonellik ve güvenlikten de ödün vermeyecek şekilde, küresel iklim sorununa geleneksel malzemeler yerine alternatif malzemelerin geçilebileceği konusunda yapılacak çalışmalara referans olarak kullanılması düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akay, M. (2015). An Introduction to Polymer Matrix Composites.
- Al-Mukhtar, A. M. (2012). The Effect Parameters For Designing The Single Layer Composite Materials.
- Amer, A., Abdullah, M., Ming, L., & Tahir, M. (2018, November). Performance and properties of glass fiber and its utilization in concrete-A review. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 2030, No. 1, p. 020296).
- Angelantoni Test Technologies, SRL January 2017.
- ASTM International. Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials (2007). ASTM International (D 7264/D 7264M – 07).
- Balıkoğlu, F., Demircioğlu, T. K., Akın, A. T. A. Ş., Beyaz, S., & Arslan, N. (2018). Termoset Matrisli Cam Elyaf Takviyeli Polimer CTP Atıkların Mekanik Geri Dönüşüm Ürünlerinin Sıcak Pres Kalıplama Bileşiminde BMC Tekrar Değerlendirilmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 168-180.
- Bannister, M. K. (2004). Development and application of advanced textile composites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 218(3), 253-260.
- Baochao, L., I., Deleglise-Lagardere, M., Park, C., H., & Lacrampe, M. F. Analysis Of Intra-yarn Impregnation In Commingled Yarn Thermoplastic Composites Consolidation. *ICCM20 porceeding*, 2207-4, 2015.
- Başer, G. (2012). Production of fiber reinforced thermoplastic composites. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Department of Polymer Science and Technology Polymer Science and Technology Programme.
- Baydar, D. G. (2011). Sürekli cam fibertakviyeli polipropilen kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Beg, M. D. H., & Pickering, K. L. (2008). Accelerated weathering of unbleached and bleached Kraft wood fibre reinforced polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 93(10), 1939-1946.
- Beninia, K. C. C. C., Voorwald, H. J. C., & Cioffi, M. O. H. (2011). Mechanical properties of HIPS/sugarcane bagasse fiber composites after accelerated weathering. *Procedia Engineering*, 10, 3246-3251.
- Bigg, D. M., Hiscock, D. F., Preston, J. R., & Bradbury, E. J. (1988). High performance thermoplastic matrix composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1(2), 146-160.

- Butylina, S., Hyvärinen, M., & Kärki, T. (2012). Accelerated weathering of wood–polypropylene composites containing minerals. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(11), 2087-2094.
- Cagar, P. (2021). Endüstriyel Ürünlerin Tasarımında Yaygın Yer Edinen Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Özellikleri , Ege Üniversitesi
- Çakmakkaya, M., Mehmet, K. U. N. T., & Terzi, O. (2019). Investigation of Polymer Matrix Composites in Automotive Consoles. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 3(3), 51-56.
- Callister W.D., & Rethwisch D.G. (2007). Materials science and engineering, an introduction. John Wiley & Sons. Inc.–New York, USA.
- Campbell, F. C. (2010). Structural composite materials. ASM international.
- Chawla, K. K. (2013). Ceramic matrix composites. Springer Science & Business Media.
- Certificate Of Analysis, Universal Fibers. www.universalfibers.com
- Chehroudi, B. (2015). Composite materials and their uses in cars part II: applications (Doctoral dissertation, PhD thesis).
- Chen, J. C., Wu, C. M., Pu, F. C., & Chiu, C. H. (2011). Fabrication and mechanical properties of self-reinforced poly (ethylene terephthalate) composites. *Express Polymer Letters*, 5(3).
- Chirinda, G. P., & Matope, S. The Lighter the Better: Weight Reduction in the Automotive Industry and its Impact on Fuel Consumption and Climate Change. *Composites Turkey*, Eylül 2014, Sayı:8. *Kompozit Sanayiciler Derneği, sf.* 28-37.
- Crothers, P. J., Drechsler, K., Feltin, D., Herszberg, I., & Kruckenberg, T. (1997). Tailored fibre placement to minimise stress concentrations. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(7), 619-625.
- Daniel, I. M., Ishai, O., Daniel, I. M., & Daniel, I. (2006). Engineering mechanics of composite materials (Vol. 1994). New York: Oxford university press.
- Darie, R. N., Bercea, M., Kozłowski, M., & Spiridon, I. (2011). Evaluation of properties of LDPE/oak wood composites exposed to artificial ageing. *Cellulose Chem Technol*, 45(1-2), 127-135.
- Davis, B. A., & Gramann, P. J. (2003). Compression molding. Hanser Verlag.
- Deng, Z., Lan, F., & Chen, J. (2020). Differential Distribution Analysis and Region and Grade Regulation on Auto-Parts Weathering External Factors with Non-Uniform Thermal Environment. *Applied Sciences*, 10(15), 5116.

- Dornoff J., Miller J., Mock P., & Tietge U. (2018). The European Commission Regulatory Proposal for post-2020 CO₂ targets for cars and vans: A summary and evaluation, www.theicct.org
- Dryzek, E., Wróbel, M., & Juszyńska-Gałązka, E. (2017). Free-volume and tensile properties of glass fibre reinforced polyamide 6 composites. *Acta Phys Pol A*, 132, 1501-5.
- El-Dessouky, H. M., Saleh, M. N., Gautam, M., Han, G., Scaife, R. J., & Potluri, P. (2019). Tailored fibre placement of commingled carbon-thermoplastic fibres for notch-insensitive composites. *Composite Structures*, 214, 348-358.
- Fentahun, M. A., & Savas, M. A. (2018). Materials used in automotive manufacture and material selection using ashby charts. *Int. J. Mater. Eng*, 8(3), 40-54.
- Ford, Engineering Material Specification, Performance, Plastic Components, Underbody, Underhood, Engine, (WSS-M15P50-C2)
- Freile-Pelegrín, Y., & Madera-Santana, T. J. (2017). Characterization Techniques for Algae-Based Materials. In *Algae Based Polymers, Blends, and Composites* (pp. 649-670). Elsevier
- Friedrich, K., & Almajid, A. A. (2013). Manufacturing aspects of advanced polymer composites for automotive applications. *Applied Composite Materials*, 20(2), 107-128.
- Fuchs, E. R., Field, F. R., Roth, R., & Kirchain, R. E. (2008). Strategic materials selection in the automobile body: Economic opportunities for polymer composite design. *Composites science and technology*, 68(9), 1989-2002.
- Fujihara, K., Huang, Z. M., Ramakrishna, S., & Hamada, H. (2004). Influence of processing conditions on bending property of continuous carbon fiber reinforced PEEK composites. *Composites science and technology*, 64(16), 2525-2534.
- Gaikwad R.S. (2019). Shruweta Technology Company Profile, www.shruwtaindia.com
- Gong, Y., Liu, A., & Yang, G. (2010). Polyamide single polymer composites prepared via in situ anionic polymerization of ϵ -caprolactam. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(8), 1006-1011.
- Gulmine, J. V., Janissek, P. R., Heise, H. M., & Akcelrud, L. (2003). Degradation profile of polyethylene after artificial accelerated weathering. *Polymer degradation and stability*, 79(3), 385-397.
- Haghshenas, M. (2016). Metal–matrix composites. Reference module in materials science and materials engineering, 35, 03950-3.
- Hartman D., Mark E., Greenwood ve David M., AGY Technical Paper, High Strength Glass Fibers, www.agy.com
- Hit Pendulum Impact Testers From 5 to 50 Joule, Zwick /Roell, www.zwickroell.com

Hydrosize PA845H, Technical Data Sheet, Michelman, www.michelman.com

Imai, Y., Fortin, G., Pinpathomrat, B., Nishitani, K., Memon, A., Yang, Y. and Hamada, H. (2019). Quasi-Static Flexural Properties of a Pultruded Glass Fiber/Unsaturated Polyester Square Pipe. *Open Journal of Composite Materials*, 9(03), 271.

ISO, B. (2009). Plastics–determination of tensile properties. Part 4: Test Conditions for Isotropic and Orthotropic Fibre-Reinforced Plastic Composites.(EN ISO 527-5)

Kaczmar, J. W., Pietrzak, K., & Włosiński, W. (2000). The production and application of metal matrix composite materials. *Journal of materials processing technology*, 106(1-3), 58-67.

Kastiawan, I. M., & Sutantra, I. N. (2020). Effect of Melt Temperature and Holding Time on Mechanical Properties of Polypropylene Composites Bottom Ash Reinforced. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 988, No. 1, p. 012117). IOP Publishing.

Kaya, A. İ. (2016). *Kompozit Malzemeler ve Özellikleri*. s. 38-45.

Kiraz, A. T. (2019). Polimer matrisli demir oksit takviyeli kompozit malzemenin kuru kayma aşınma davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kobayashi S., & Takada K. (2013). Processing of unidirectional hemp fiber reinforced composites with micro-braiding technique. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 46, 173-179.

Koricho, E. G., Khomenko, A., Fristedt, T., & Haq, M. (2015). Innovative tailored fiber placement technique for enhanced damage resistance in notched composite laminate. *Composite Structures*, 120, 378-385.

Kumar, S., Saha, A., & Bhowmik, S. (2022). Accelerated weathering effects on mechanical, thermal and viscoelastic properties of kenaf/pineapple biocomposite laminates for load bearing structural applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(2), 51465.

Kurt E. (2021). Farklı Termal Çevrimlere Maruz Bırakılmış Alüminyum/Alüminyum Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Eğilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Lachvajderová, L., & Kádárová, J. (2020). Emissions in Life Cycle of Electric Vehicle. *Perner's Contacts*, 15(2).

Lasikun, Ariawan, D., Surojo, E., & Triyono, J. (2018). Effect of fiber orientation on tensile and impact properties of Zalacca Midrib fiber-HDPE composites by compression molding. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 1931, No. 1, p. 030060). AIP Publishing LLC.

- Lukkassen, D., & Meidell, A. (2003). Advanced materials and structures and their fabrication processes. Narrik University College, Hin.
- Ma, Y., Li, S., Wang, J., Ju, L., & Liu, X. (2018). Influence of defects on bending properties of 2D-T700/E44 composites prepared by improved compression molding process. *Materials*, 11(11), 2132.
- Mallick, P. K. (2021). Thermoplastics and thermoplastic–matrix composites for lightweight automotive structures. In *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles* (pp. 187-228). Woodhead Publishing.
- Mann, D. (1999). Automotive plastics and composites: worldwide markets and trends to 2007. Elsevier.
- Mattheij, P., Gliesche, K., & Feltin, D. (1998). Tailored fiber placement-mechanical properties and applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 17(9), 774-786.
- Mazumdar S. (2001). Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering. CrC Press.
- Niu, Y. F., Yang, Y., Li, T. Y., & Yao, J. W. (2018). Effects of UV irradiation and condensation on poly (ether-ether-ketone)/carbon fiber composites from nano-to macro-scale. *High Performance Polymers*, 30(2), 230-238.
- OICA Baseprototal. (2019). World Motor Vehicle Production by Country and Type, <https://www.oica.net/wp-content/uploads/By-country-2019.pdf>
- Ramírez-Chan, D. E., López-Naranjo, E. J., Canto-Canché, B., Burgos-Canul, Y. Y., & Cruz-Estrada, R. H. (2014). Effect of accelerated weathering and Phanerochaete chrysosporium on the mechanical properties of a plastic composite prepared with discarded coir and recycled HDPE. *BioResources*, 9(3), 4022-4037.
- Park, C. H., & Lee, W. I. (2012). Compression molding in polymer matrix composites. In *Manufacturing techniques for polymer matrix composites (PMCs)* (pp. 47-94). Woodhead Publishing.
- Park, C. K., Kan, C. D. S., Hollowell, W. T., & Hill, S. I. (2012). Investigation of opportunities for lightweight vehicles using advanced plastics and composites.
- Ratna, D. (2009). Handbook of Thermoset Resins. iSmithers. Shawbury, UK.
- Pelegriin, Y.F. and Santana, T.J.M. Characterization Techniques for Algae-Based Materials, Chapter 18, Algae Based Polymers, Blends, and Composites.
- Pickett, J. E., Gibson, D. A., & Gardner, M. M. (2008). Effects of irradiation conditions on the weathering of engineering thermoplastics. *Polymer Degradation and Stability*, 93(8), 1597-1606.
- Plastics Europe AISBL. (2013). www.plasticseurope.org

- Popa, M. I. Pernevan S., Sirghie C., Spiridon, I., Chambre D., Copolovici D. M., & Popa N. (2013). Mechanical Properties and weathering behavior of polypropylene-hemp shives composites. *Journal of Chemistry*.
- Shi, K., Gao, L., Tao, Y., Ye, L., Li, G., & Jie, G. (2017). Outdoor weathering behavior of polyamide 6 under various climates in China. *Journal of Applied Polymer Science*,134(2).
- Shibata, S. (2012). Effects of forming processing conditions on the flexural properties of bagasse and bamboo plastic composites. *BioResources*, 7(4), 5381-5390.
- SingleEndRovings_SE1200_product sheet_ww_01-2015_Rev7. (2015). Owenscorning www.composites.owenscorning.com
- Spiridon, I., Darie, R. N., & Kangas, H. (2016). Influence of fiber modifications on PLA/fiber composites. Behavior to accelerated weathering. *Composites Part B: Engineering*, 92, 19-27.
- Szeteiová, K. (2010). Automotive materials plastics in automotive markets today. Institute of production technologies, Machine technologies and materials, Faculty of Material Science and Technology in Trnava, Slovak University of technology Bratislava.
- Tatara, R. A. (2017). Compression molding. In *Applied plastics engineering handbook* (pp. 291-320). William Andrew Publishing.
- Technical Embroidery Systems, (2019), ZSK Company
- Thori, P., Sharma, P., & Bhargava, M. (2013). An approach of composite materials in industrial machinery: advantages, disadvantages and applications. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(12), 350-355.
- Todor, M. P., & Kiss, I. (2016). Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient. *Applied Engineering Letters*, 1(4), 91-97.
- Topçu E. (2010). Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi , Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Trudel-Boucher, D., & Champagne, M. F. (2018). Stamping of high performance thermoplastic composite intrusion beams. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 418, No. 1, p. 012127). IOP Publishing.
- Uhlig, K., Tosch, M., Bittrich, L., Leipprand, A., Dey, S., Spickenheuer, A., & Heinrich, G. (2016). Meso-scaled finite element analysis of fiber reinforced plastics made by Tailored Fiber Placement. *Composite Structures*,143, 53-62.
- Umar, A., E.S, Z., & S.M., S. (2012). Effect of accelerated weathering on tensile properties of kenaf reinforced high-density polyethylene composites. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 2, 198-205.

- Vaidya, U. K., & Chawla, K. K. (2008). Processing of fibre reinforced thermoplastic composites. *International Materials Reviews*, 53(4), 185-218.
- Verma, N., Singh, M. K., Zafar, S., & Pathak, H. (2021). Comparative study of in-situ temperature measurement during microwave-assisted compression-molding and conventionally compression-molding process. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 35, 336-345.
- Xie, J., Wang, S., Cui, Z., & Wu, J. (2019). Process optimization for compression molding of carbon fiber-reinforced thermosetting polymer. *Materials*, 12(15), 2430.
- Xu, Z., Zhang, M., Wang, G., & Luan, J. (2019). Bending property and fracture behavior of continuous glass fiber-reinforced PEEK composites fabricated by the wrapped yarn method. *High Performance Polymers*, 31(3), 321-330.
- Yıldızhan H. (2008). Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yiğit, A.. (2010). Petek Yapılı Sandviç Yapıların Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yousefpour, A., Hojjati, M., & Immarigeon, J. P. (2004). Fusion bonding/welding of thermoplastic composites. *Journal of Thermoplastic composite materials*, 17(4), 303-341.
- Zhang, H., & Chen, M. (2014). Current recycling regulations and technologies for the typical plastic components of end-of-life passenger vehicles: a meaningful lesson for China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16(2), 187-200.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- K. Hasan,** B.Ö. Mustafa, B. Emine. (2021). *The effect of holding time on the mechanical properties of TFP produced thermoplastic matrix composites under compression molding process*, *International Conferences on Science and Technology Engineering Sciences and Technology*, ICONST EST 2021, Budva, Karadağ, 08 Eylül 2021, ss.203-213.
- K. Hasan,** B.Ö. Mustafa, B. Emine. (2022). *The influence of holding time on the impact and flexural properties of TFP produced GF-PA6 composites under compression molding process*, *International European Conference on Mathematics, Engineering Natural & Medical Sciences*, MAS 16th Mardin, Türkiye, 22-23 Şubat 2022. (Kabul alındı.)



ÖZGEÇMİŞ

Orta öğrenimini Mezitli Belediye İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra lise sınavına girerek İçel Anadolu Lisesi'nde öğrenimini tamamladı. Üniversiteye kaydını yaptıranlar arasında birincilikle giriş yaptığı Karabük Üniversitesi'nin Otomotiv Mühendisliği bölümünden 2014 yılında mezun oldu. 2014-2016 yılları arasında Konya-Pistonsan A.Ş. firmasında Üretim-Planlama Sorumlusu olarak çalıştıktan sonra, Gebze-Güneş Plastik A.Ş. firmasında Kalıphane Mühendisi olarak devam etti. Ardından askerlik vazifesini icra etmek için istifa ederek, yedek subay olarak Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nda askerlik vazifesini yerine getirdi. 2017 yılından beri Tier 1 olarak faaliyet gösteren Plascam A.Ş. firmasında Proje Mühendisi olarak, OEM ve Tier 1 firmalarının (Ford, Jaguar-Land Rover, Magna, Şişecam) projelerinde yer almaktadır.

Ocak 2018 yılından beri Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini sürdürmektedir.