



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PVC KAPLI CAM ELYAF TAKVİYELİ
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ayten Nur YÜKSEL YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül- 2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayten Nur YÜKSEL YILMAZ tarafından hazırlanan “PVC kaplı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması” adlı tez çalışması 16.08.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYRICI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 181331001 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ayten Nur YÜKSEL YILMAZ
Tarih: 13.08.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PVC KAPLI CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ayten Nur YÜKSEL YILMAZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYIRICI

2018, ix + 76 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYIRICI
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

Kompozit malzemeler sahip oldukları yüksek özelliklerden dolayı çağımızın gözde malzemeleridir. Dünya çapında geniş uygulama alanı bulan bu malzemelerin, Türkiye’de de kullanımı giderek artmaktadır. Bu çalışmada termoset matrisli kompozitlere göre üzerinde daha az çalışılan termoplastik matrisli kompozit üretimi ve çekme mukavemeti üzerinde durulmuştur. Takviye olarak kullanılan cam elyaf üzerine termoplastik matris olarak kullanılan PVC kaplaması yapılmış, daha sonra bu malzeme uygun formatta hem dokuma hemde tek yönlü olarak preslenerek anizotropik yapıda kompozit levha üretilmiştir. Bu levha üzerinde uygun standartlara göre çekme deney numuneleri çıkarılarak her iki yöndeki (atkı-çözü) çekme dayanımları karşılaştırılmıştır. Fiber olarak kullanılan cam elyafa göre oldukça düşük dayanıma sahip olan ancak kolay üretilmesi, çok geniş kullanım alanına sahip olması, elektrik ve ses izolasyonu sağlaması, geçirgenlik ve geri dönüşüm yeteneğine sahip termoplastik matris malzeme (PVC) ‘ye daha yüksek mekanik özellikler kazandırılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: cam elyaf, dokuma, kompozit filament, PVC, termoplastik kompozit

ABSTRACT

MS THESIS

**PVC COATED GLASS FIBER REINFORCED COMPOSITE MATERIAL
PRODUCTION AND INVESTIGATION OF THE MECHANICAL
PROPERTIES**

Ayten Nur YÜKSEL YILMAZ

**The Graduate School Of Natural and Applied Science Of Necmettin Erbakan
University The Degree Of Master Of Science in Mechanical Engineering**

Advisor: Asst.Prof.Dr. Mehmet KAYRICI

2018, ix + 76 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Mehmet KAYRICI

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Asst. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

Composite materials are the favorite materials in our age because of their high properties. The use of these materials has wide application area in the world and usage has increasing in Turkey. In this study focuses on thermoplastic matrix composite production and tensile strength, which are less studied than thermoset matrix composites. On the glass fiber used as a reinforcement, PVC coating which is used as a thermoplastic matrix was made, then this material was pressed in a suitable format both in weaving and unidirectional to produce anisotropic composite sheet. Tensile test specimens were removed from this plate according to the appropriate standards and the tensile strengths on both direction (weft-warp) were compared. It is aimed to acquire higher mechanical properties to thermoplastic matrix material (PVC) which has very low strength but has easy production, wide usage area, electrical and sound insulation, transparency and recycling ability compared to glass fiber used as fiber.

Keywords: composite filament , glass fiber, PVC, thermoplastic composite, woven

ÖNSÖZ

Çalışma sürem boyunca bilgilerini benimle paylaşarak yardımcı olan ve beni yönlendiren Sayın Dr.Öğr.Üyesi Mehmet KAYRICI'ya minnet ve şükranlarımı sunmayı her zaman için bir borç bilirim.

Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi hocalarından Sayın Prof.Dr.Hüseyin ARIKAN, Dr.Öğr.Üyesi Hakan GÖKMEŞE ve Dr.Öğr.Üyesi Yusuf UZUN hocalarıma bilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Öğrenim hayatımın her aşamasında her türlü maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen anne ve babama; her zaman yanımda durarak varlıklarını bana fazlasıyla hissettiren, beni cesaretlendiren eşim Atakan YILMAZ ve kardeşim Merve YÜKSEL' e sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmama 181331001 nolu proje ile maddi destek sağlayan Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne de teşekkürü bir borç bilirim.

Ayten Nur YÜKSEL YILMAZ
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kompozit Malzemeler	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Geleneksel Malzemelerle Karşılaştırılması	5
2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.3.1. Takviye elemanına göre sınıflandırma	7
2.3.1.1. Elyaf takviyeli kompozitler	7
2.3.1.2. Parçacık takviyeli kompozitler	8
2.3.1.3. Tabakalı kompozitler	8
2.3.2. Matris elemanına göre sınıflandırma	9
2.3.2.1. Polimer matrisli kompozitler	9
2.3.2.2. Metal matrisli kompozitler.....	10
2.3.2.3. Seramik matrisli kompozitler.....	11
3. ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER	12
3.1. Matris Elemanı.....	13
3.1.1. Termoplastik matrisler	13
3.1.1.1. Polietilen (PE).....	14
3.1.1.2. Polivinilklorür (PVC)	15
3.1.1.3. Polipropilen (PP).....	15
3.1.1.4. Stiren akrilonitril (SAN)	16
3.1.1.5. Akrilonitril bütadien stiren (ABS)	16
3.1.1.6. Poliakrilonitril (PAN)	17
3.1.2. Termoset matrisler	17
3.2. Takviye Elemanı	18
3.2.1. Cam elyaflar.....	19
3.2.2. Boron elyaf	22
3.2.3. Karbon elyaf	22
3.2.4. Aramid (kevlar) elyafı	22
4. ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ	24
4.1. Termoset Matrisli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	25
4.1.1. El yatırma yöntemi (Hand lay-up)	25
4.1.2. Püskürtme yöntemi (Spray- up)	26
4.1.3. Pultrüzyon yöntemi (Pultrusion).....	27
4.1.4. Elyaf sarma yöntemi (Filament winding)	28
4.1.5. Reçine transfer kalıplama yöntemi (Resin transfer molding, RTM)	29
4.1.6. Hazır kalıplama (Compression molding).....	30

4.2. Termoplastik Matrisli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	31
4.2.1. Enjeksiyon kalıplama yöntemi.....	31
4.2.2. Termal şekillendirme yöntemi (thermoforming)	32
4.2.3. Otoklav yöntemi (Autoclave)	33
4.2.4. Ekstrüzyon yöntemi	34
5.KAYNAK ARAŞTIRMASI	36
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
6.1. Malzeme Özellikleri	39
6.2. Filament Üretimi.....	40
6.3. Filamentin Dokunması.....	42
6.3.1. Dokuma ve çeşitleri	42
6.4. Filamentin Tek Yönlü Yönlendirilmesi (Unidirectional)	43
6.5. Dokunmuş ve Tek Yönlü Yönlendirilmiş Filamentin Preslenmesi	43
6.6. Mekanik Deneyler ve Mikroskop Görüntüleri.....	45
6.6.1. Çekme deneyi	45
6.6.2. Mikroskop görüntüleri	48
6.7. Hacim ve Kütle Oranları, Yoğunluk ve Boşluk Miktarları ve Elastisite Modülünün Hesaplanması.....	49
6.7.1. Hacim oranları hesabı	49
6.7.2. Kütle oranları hesabı	50
6.7.3. Yoğunluk hesabı	51
6.7.4. Boşluk miktarı hesabı	52
6.7.5. Elastiklik modülü E_1 ' in hesaplanması	54
7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	57
7.1. Çekme Deneyi Bulguları	57
7.1.1. Dokuma termoplastik kompozit.....	57
7.1.2. Tek yönlü termoplastik kompozit	60
7.1.3. Tek filament termoplastik kompozit.....	62
7.2. Mikroskop Görüntüleri	64
8. SONUÇLAR.....	69
9. ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
Al	: Alüminyum
Al₂O₃	: Alüminyum oksit
B	: Bor
BMC	: Bulk moulding compound
BŞD	: Birim şekil değiştirme
C	: Karbon
Cu	: Bakır
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
Mg	: Magnezyum
PAN	: Poliakrilonitril
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloretillen
RTM	: Reçine transfer yöntemi
SAN	: Stiren akrilonitril
SMC	: Sheet molding compound
SiC	: Silisyum karbür
Ti	: Titanyum
TiC	: Titanyum karbür

1. GİRİŞ

Kompozit malzeme en genel anlamda, insanların uzun yıllardır sorunlarına çözüm bulabilmek için en az iki farklı malzemeyi birleştirerek elde ettikleri üründür. Bu birleşme makro boyutta gerçekleşir. Yani kullanılan malzemeler çıplak göz veya büyüteçle görülebilir (Şahin, 2000). Kompozit malzemelerin ilk kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. İlk çağlardan bu yana insanlar kırılğan, hassas malzemelere doğal (bitkisel veya hayvansal) ve sentetik lifler ilave ederek daha sağlam, kullanışlı malzemeler üretmeye çalışmaktadır. Bildiği üzere kilin içine saman katılarak yapılan 'kerpiç' bunun en iyi örneğidir. Buradaki amaç, bir malzemenin zayıf yönünün diğer malzemenin güçlü yönüyle takviye edilmesiyle en az iki farklı malzemeyi birleştirerek daha iyi özelliklere sahip malzeme elde etmektir. Kompozit malzemeler günümüzde de oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptir. Özellikle, bu malzemeler endüstrinin neredeyse tüm alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle; hafiflik, yüksek mukavemet istenen yerlerde metallerin yerine tercih edilmektedir. Çizelge 1.1' de uygulama alanlarını detaylı olarak görülmektedir.

Takviye ve matris elemanı olarak belirtilen malzemelerden bazıları (doğal lifler, cam elyaf, seramik, polyamid, polyester vb.) günümüzde teknik tekstil alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Estetik ve dekoratif özelliklerinin yanı sıra teknik performansları ve fonksiyonel özellikleri için üretilen malzemelere 'teknik tekstiller' denilmektedir. Bu tip malzemeler mukavemet, elastikiyet, izolasyon ve iletkenlik, su geçirmezlik gibi özelliklere sahip olmalarının yanı sıra; insan sağlığı ile ilgili protez, ameliyat malzemeleri, mikroorganizmalara karşı koruma özelliklerine de sahiptirler. Tarım, inşaat, giyim, ev, endüstriyel, taşıt ve spor teknik tekstilleri olarak istenilen özelliklere göre çok geniş alanlarda kullanılmaktadırlar.

Kompozit malzemelerin istenilen özellikler ve kullanım yerlerine göre çeşitliliği oldukça fazladır. Mevcut kompozit yapılar arasında sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemeler; otomotiv sektörü, endüstri uygulamaları, teknik tekstil alanlarında ihtiyaçlar doğrultusunda gitgide daha çok önem kazanmaktadır. Bunun sebebi olarak özgül mukavemetin yüksek oluşu, şekil verilebilirliği ve geri dönüşüm kabiliyeti gösterilebilir.

Çalışmanın birinci bölümünde genel bir giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümünde kompozit malzemeler hakkında genel bilgi, geleneksel malzemelerle kıyaslanması ve çeşitli şekillerde sınıflandırılması gibi konulardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde elyaf takviyeli polimer kompozitler konu başlığı altında; termoset ve termoplastik matris elemanları, takviye elemanları çeşitleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde elyaf takviyeli polimer kompozit üretim yöntemleri, termoset matrisli ve termoplastik matrisli kompozit yöntemleri alt başlıkları altında anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise yapılan kaynak araştırmaları anlatılmıştır.

Altıncı, yedinci ve sekizinci bölümlerde kullanılan malzemeler ve cihazlar hakkında bilgi verilerek PVC kaplı cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzeme üretim aşamaları adım adım anlatılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerden ASTM standartlarına uygun numuneler kesilerek çekme testi yapılmıştır. Ayrıca optik ve stereo mikroskop kullanılarak malzemelerin mikroyapı ve yüzey görüntüleri sağlanmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sonuç ve öneriler kısmı oluşturulmuştur.

Bu çalışmada; teknik tekstil malzemeleri olan, matris elemanı olarak PVC ve takviye elemanı olarak ise sürekli cam elyaf kullanılmıştır. Cam elyafın üzeri, tez çalışması için BAP desteğiyle alınan ekstrüder yardımıyla kaplanarak, elyaf sarma makinasıyla bobin halinde sarılmıştır. Daha sonra elde edilen bu iplik düz dokuma şeklinde dokuma tezgahında dokunmuştur. Bu malzemeye sıcak pres uygulanarak PVC'nin erimesi sağlanmış ve termoplastik ile cam elyafın iyice birbirine bağlandığı bir tabaka elde edilmiştir. Daha sonra standartlara uygun olarak bu malzemenin numuneler hazırlanmış ve PVC kaplı cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca mikroskop görüntüleri sağlanmıştır. Üretilen bu malzemenin mekanik özellikleri ve mikroyapı görüntülerine göre; otomotiv sektörü, elektrik yalıtkanlığı istenilen alanlar, motorlu taşıtlar ve teknik tekstil alanlarında kullanılmak için önerilmesi planlanmıştır.

Çizelge 1.1. Çeşitli kompozit malzemelerin kullanım alanları (Türkmen, 2012)

Sektör	Kullanım Alanları	Kullanılan Kompozit Malzemeler
Uçak	Payandalar döşeme kirişleri, çerçeveler, vantilatör ve türbin kanatları, kanat ve gövde	B/Al, SiC/Al, Gr/Al, B/Al, cam/epoksi, C/epoksi, B/epoksi, K/epoksi, süper alaşımlar
Uzay	Uzay yapıları, antenleri, robot kolları	B/Al, B/Mg, Gr/Mg
Otomotiv	Yay, piston, tampon, çamurluk, Kapı açma-kapama yerleri, iç dizayn	Kevlar/epoksi, SiC/Al, SiC/Al, B/Al
Gemi	Gemi teknesi, gemi güvertesi	Kevlar/epoksi, Karbon/epoksi
Kimya	Borular, basınçlı kaplar ve tanklar	Cam/epoksi, Karbon/epoksi
Spor	Oltalar, golf sopaları, yüzme havuzları, tenis raketleri bisiklet ve motosiklet gövdesi	Gr/Al, B/Al, C/epoksi, B/epoksi, SiC/Al, B/Al, Gr/Al, SiC/Al
Elektrik	Motor fırçaları, kablo ve akü plakaları	Gr/Cu, Gr/Pb, Al ₂ O ₃ /Pb
Tekstil	Mekikler	B/Al, C/Al, SiC/Al
Tıp	Röntgen masaları, protezler ve tekerlekli sandalyeler	B/Al, SiC/Al
Uçak-Uzay	Uçak frenleri, roket memeleri, türbin pervaneleri, roket çıkış sistemleri	Karbon/karbon kompozit
Diğer Alanlar	Makine mil yatakları	C/Pb, Al ₂ O ₃ /Pb

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

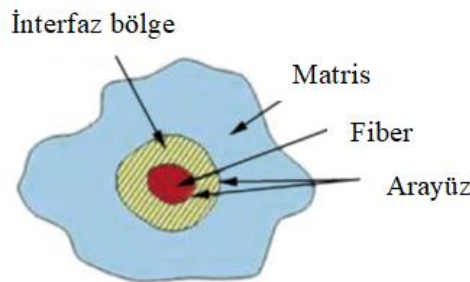
Birbirinden farklı şekil ve kimyasal içeriğe sahip en az iki malzemenin istenilen özellikleri elde edebilmek amacıyla makro seviyede birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelere kompozit malzemeler denir. Makro boyutla kastedilen, kompozit malzemeye çıplak gözle bakıldığı zaman yapı bileşenlerinin belirlenebilir olmasıdır. Bu belirlenebilirliği sağlayan yapı heterojen görünümlü olmasıdır. İç yapıları incelendiğinde bileşenleri ayırt edilebilir. Bu özellikleri kompozit malzemeleri alaşımlardan ayırır. Kompozit malzeme oluştururken bileşende tek başınayken olmayan özellikler, başka bileşenle veya bileşenlerle birleştirilerek elde edilmek istenen özellikler sağlanabilir. Bu elde edilmek istenen özellikler;

- Mukavemet
- Korozyon, aşınma, yorulma, kırılmaya karşı dayanım
- Rijitlik
- Ağırlık
- Yüksek sıcaklıklarda çalışma
- Isı yalıtkanlığı / iletkenliği
- Elektrik yalıtkanlığı / iletkenliği
- Akustik izolasyon
- Görünüm

vb. özellikler şeklinde sıralanabilir.

Kompozit malzemelerin yapısı, matris ve takviye elemanı olmak üzere iki bileşenden oluşur ve bu iki bileşen arasındaki belirli özelliklere sahip bölge interfaz bölge olarak bilinir (Şekil 2.1). Arayüz ise, iki boyutlu yapısı ile bileşenlerin arasındaki sınırı oluşturur (Mitchell, 2004). Matris fazıyla çevrelenen takviye elemanından oluşan kompozit malzemelerin iki fazlı yapısı, her iki malzemenin üstün özelliklerinin kullanılmasını sağlar. Genel olarak, takviye elemanları ana yük taşıyıcı eleman olarak hareket ederken; matrisler elyaflar arasında yük transfer elemanları olarak hareket

ederler ve yapıyı yüksek sıcaklık, nem gibi sert çevre koşullarına karşı korurlar (Mallick, 2008).



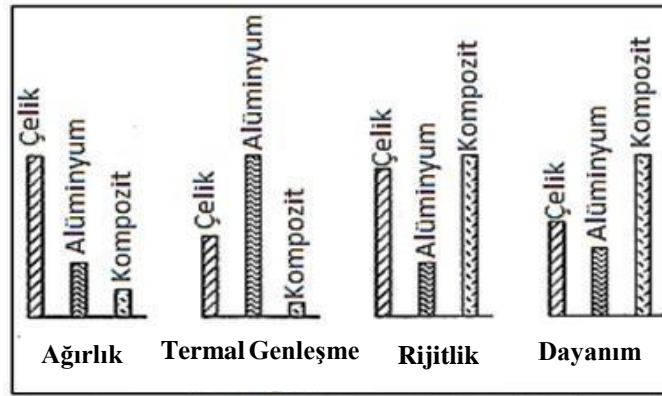
Şekil 2.1. Kompozit malzeme yapısının şematik gösterimi (Mitchell, 2004).

2.2. Kompozit Malzemelerin Geleneksel Malzemelerle Karşılaştırılması

Çizelge 2.1'den görebileceğimiz gibi, genel olarak kompozit malzemelerin özgül ağırlıkları geleneksel malzemelere göre oldukça düşüktür. Bu özellikleri havacılık, denizcilik, otomotiv gibi ağırlığın önemli olduğu birçok alanda geleneksel malzemeler yerine kompozitlerin tercih edilmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra takviye elemanı ile güçlendirilen kompozit malzemelerin dayanımlarının yüksek olması, korozyona karşı dirençleri, üretim yöntemlerindeki çeşitlilik gibi faktörler de kompozit malzemelerin seçilmesini sağlamıştır.

Çizelge 2.1. Kompozit ve klasik malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Türkmen, 2012)

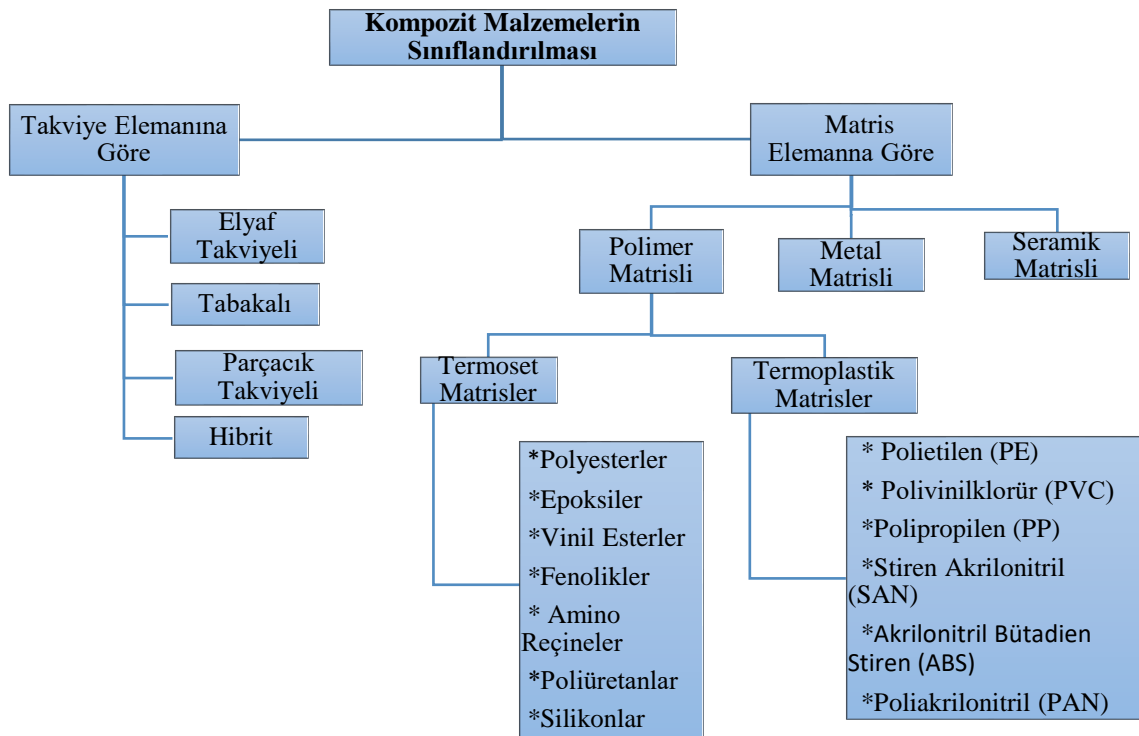
Malzeme Cinsi	Özl Ağırlık (g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Özgül Çekme Mukavemeti (σ/ρ)	Özgül Modül (E/ ρ)	Uzama Miktarı (%)
Alüminyum	2,8	84	71	30	25	-
Al-2024	2,8	247	89	88	25	8-20
Al Alaşımı	2,8	600	71	210	25	-
Titanyum	4,51	700	117	192	21,1	20
Ni Alaşımı	8,18	450-1200	204	147	24,9	26-45
Ahşap	0,7	110	13	157	19	-
Düşük Alaşımli Çelik	7,8	600	207	80-250	26,5	20-30
Dökme Demir	-	275	138	-	-	0,6
Pirinç (%30 Zn)	8,5	550	100	60	12	-
Karbon/Epoksi (%60)	1,62	1400	220	865	135	0,8
Kevlar/Epoksi	1,38	1310	83	950	60	-
Cam/Epoksi (%60)	1,66	1510	165	910	99	-
Cam/Polyester (%50)	1,9	750	38	390	19,8	1,8
Karbon/Epoksi (Y:D)	1,5	1650	140	1100	93	-
Cam/Polyester	1,55	110	9	72	5,7	2



Şekil 2.2. Farklı malzemelerin çeşitli özelliklerinin karşılaştırılması (Türkmen, 2012)

2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri; üretim şekillerine, kullanım alanlarına, kompoziti oluşturan elemanlara göre birçok farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bu çalışmada kompozit malzemeler takviye ve matris elemanına göre sınıflandırılarak, Şekil 2.3’de yapılmış olan şema üzerinden takip edilecek ve anlatılacaktır.

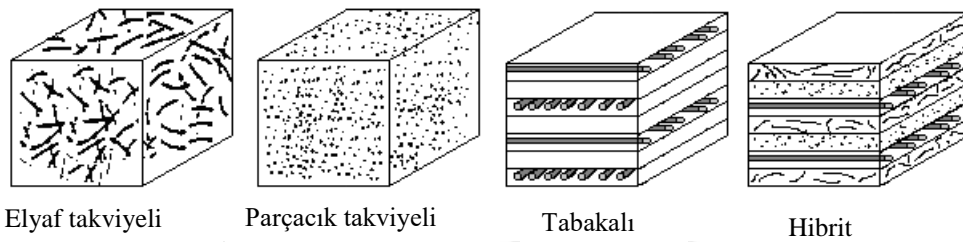


Şekil 2.3. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

2.3.1. Takviye elemanına göre sınıflandırma

Kompozitler, kullanılan takviye elemanına göre dört sınıfa ayrılırlar (Şekil 2.4).

- 1) Elyaf takviyeli
- 2) Parçacık takviyeli
- 3) Tabakalı
- 4) Hibrit



Şekil 2.4. Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması (Anonim, 2011)

2.3.1.1. Elyaf takviyeli kompozitler

Ana yapısı matris ve takviye elemanı elyaf olan elyaf takviyeli kompozitler en yaygın kullanılan kompozit türlerinden biridir. Takviye elemanı olarak genellikle cam, karbon, aramid veya doğal elyaflar kullanılırken; matris elemanı olarak termoset ve termoplastik polimerler kullanılmaktadır. Elyaflar kompozit malzeme içinde sürekli, yönlendirilmiş, örgülü ve rastgele dizilmiş şekillerde olabilirler.

Elyafların kompozit malzeme içerisindeki verimliliği, elastisite modüllerinin matris elemanına göre daha yüksek olmasına bağlıdır. Eğer bu değer her iki elemenda da birbirine yakın olursa, elyaflar malzemeye etki eden yükü tam taşıyamaz. Bu da kompozit malzemedeki beklenen özelliklerin karşılanamamasına sebep olur (Karacaer, 2009). Elyafların kompozit yapı içerisindeki konumları, matris elemanı ile oluşturdukları arayüzey ve elyaf yönlendirme yönleri kompozitin dayanımı açısından oldukça önemlidir. Elyaflar matris içine birbirine paralel olarak yönlendirilirse, yönlendirme yönünde yüksek dayanım elde edilirken, yönlendirmeye dik doğrultuda düşük dayanım elde edilir. Matris yapı içerisine kısa elyafların homojen olarak takviye

edilmesiyle de yüksek dayanımlı, izotrop kompozitler elde edilebilir (Yalçın ve Gürü, 2002). Elyaf ile matris arasındaki bağ da kompozit malzemenin mukavemetinde oldukça önemlidir. Matris yapıda boşlukların olması elyaf ile matrisin temasını azaltır ve mukavemetin düşmesine sebep olur. Boşluğun yanında nem, hava kabarcıkları ve yanmış gaz kütleleri kompozit yapıyı olumsuz etkileyen diğer faktörlerdir.

İnşaat sektöründe kiremit görünümlü çatı kaplamaları, cephe kaplama panelleri; otomotiv sektöründe otomobil gövde parçaları, kamyon kasaları, demiryolu ve metro vagonlarının gövde parçaları; elektrik sektöründe aydınlatma direkleri, savunma sanayiinde hücum botları, askeri uçakların birçok parçası vb. kullanım alanlarındadır.

2.3.1.2. Parçacık takviyeli kompozitler

Bir malzemenin her doğrultuda boyutları hemen hemen aynıysa parçacık olarak tanımlanır. Parçacık takviyeli kompozitlerde matris malzeme içine başka bir malzeme parçacık halinde ilave edilir. En sık kullanılan malzeme polimer matris içerisinde yer alan metal esaslı parçacıklardır. Al_2O_3 ve SiC parçacıkları da en yaygın kullanılan takviye elemanlarıdır. Matrisi kauçuk takviye elemanı çelik tel olan araba lastiği ve uçak motor parçaları kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir.

2.3.1.3. Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozitler iki veya daha fazla sürekli veya süreksiz yönlendirmelerle takviye edilmiş tabakaların matris elemanı veya bağlayıcılar ile birleştirilmesi ile oluşur. Farklı yönlendirmelere sahip tabakalar sayesinde yüksek mukavemet elde edilebilir. Metallerle göre hem hafif hem de mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Uçaklarda yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılırlar.

2.3.1.4. Hibrit kompozitler

İki ya da daha fazla takviye elemanı ile matris yapının birleşerek daha iyi özelliklerde oluşturduğu kompozit yapıya hibrit kompozitler denir. En bilinen örneği cam elyaf ve karbon takviyeli polimerlerdir. Doğal liflerin kullanıldığı kompozit malzemelerde, doğal life ilaveten sentetik liflerle ilave edilerek dayanımı daha yüksek

hibrit yapılar oluşturulmaktadır. Spor malzemeleri, hafif ve ortopedik elemanlar kullanım alanlarına örnek verilebilir.

2.3.2. Matris elemanına göre sınıflandırma

Kompozitler matris elemanına göre; polimerler, metaller ve seramikler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

2.3.2.1. Polimer matrisli kompozitler

Monomer olarak isimlendirilen moleküllerin, art arda birbirine eklenmesiyle oluşan makromoleküler yapılara polimer denir. Genel olarak karbon (C), hidrojen (H), azot (N), oksijen (O), silisyum (Si), kükürt (S), klor (Cl) ve flor (F) elementlerinden oluşurlar (Yalçın ve Gürü, 2002).

Polimerler son zamanlarda endüstriyel uygulamalar başta olmak üzere, birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Polimerler genel olarak termoplastik, termoset ve elastomerler olarak üç gruba ayrılırlar. Kompozit malzemelerde matris elemanı olarak yaygın kullanılanlar termoset ve termoplastiklerdir. Takviye elemanı olarak ise başlıca cam elyaf, karbon, bor, kevlar vb. elyaflar kullanılır. Polimerlerin matris olarak tercih edilme sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

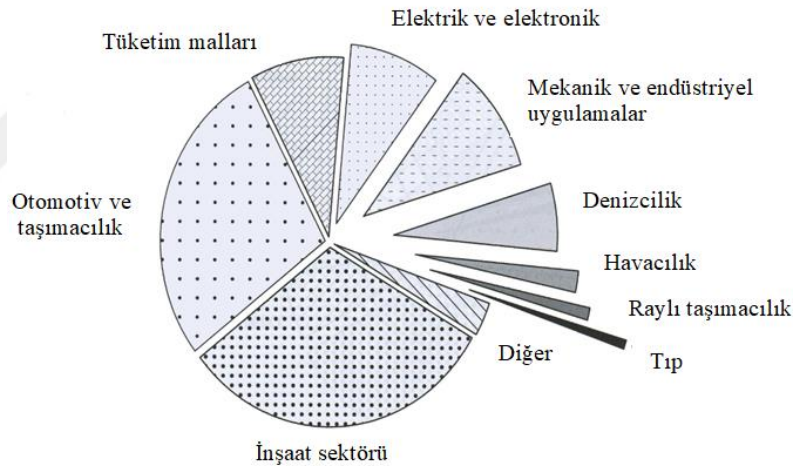
- Polimerlerin üretimi genel olarak yüksek sıcaklık ve basınç gerektirmez. Bundan dolayı karmaşık şekilli parçaların üretimi nispeten kolaydır.
- Çelik, bakır, alüminyum gibi geleneksel malzemelere göre özgül ağırlıkları düşüktür yani hafiftirler.
- Düşük sıcaklıkta üretilebildiklerinden, takviye elemanında bozulma meydana gelmez.
- Polimer matrisli kompozit malzeme üretimi için gerekli ekipmanlar basittir.
- Ucuzdurlar ve erişimleri kolaydır.
- Elektrik iletkenlikleri kötüdür, bu yüzden elektrik yalıtımı istenilen yerler için kullanılması uygundur.

Bu özelliklerinden dolayı polimer matrisli kompozitler havacılık ve savunma sanayi, otomotiv sektörü, denizcilik, motorlu taşıtlar, ev tasarımı, inşaat sektörü gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak polimerlerin çelik, bakır, alüminyum gibi geleneksel malzemelere göre hafif olmaları tercih edilmelerinin ana sebebidir. Ayrıca, mekanik özellikleri genellikle bu geleneksel malzemelere göre daha düşüktür. Fakat takviye elemanı kullanılarak mekanik dayanımı güçlendirilerek, yaygın olarak kullanımları artırılmaktadır.

Matris elemanı olarak kullanılan polimerleri 2 grup altında inceleyeceğiz:

- 1) Termoplastik matrisler
- 2) Termoset matrisler

Çizelge 2.2. Polimer matrisli kompozitlerin kullanıldığı alanların dağılımı (Biron, 2007)



2.3.2.2. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler en az bir tanesi metal olan iki ya da daha çok malzemenin birleştirilmesi ile meydana gelir. Yüksek sıcaklıklarda çalışma imkanı sağlamaları, dayanımlarının yüksek oluşu, neme karşı direçleri, elektriksel özelliklerinin yüksek oluşu gibi özellikleri matris malzemesi olarak seçilmelerinde etkilidir. Özgül ağırlıklarının yüksek, korozyona karşı dayanımlarının düşük olması ve üretim yöntemlerinin pahalı olması ise dezavantajlarıdır (Sönmez, 2009). Alüminyum, magnezyum, titanyum ve alaşımları en yaygın kullanılan metal matris malzemeleridir.

2.3.2.3. Seramik matrisli kompozitler

Seramikler düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık ve aşınma dayanımı gibi özelliklere sahip olmalarından dolayı matris malzemesi olarak tercih edilirler. Fakat gevrek yapıları ve gerilme dayanımlarının düşük olması kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Seramik yapıda meydana gelebilecek çatlak, hava kabarcıkları ve çizikler ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Takviye elemanlarıyla bu olumsuz faktörler giderilmeye çalışılmaktadır (Sönmez, 2009). Matris elemanı olarak karbürler, nitrürler, oksitler ve cam seramikler kullanılır. Kullanım alanları olarak türbin motorları, fren diskleri, askeriyede zırh parçaları örnek verilebilir.



3. ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER

Matris elemanı polimer, takviye elemanı ise elyaf olan kompozit malzemelere elyaf takviyeli polimer kompozitler denilmektedir. Matris elemanı olarak termosetler ve termoplastikler yaygın olarak kullanılırken; takviye elemanı olarak ise sentetik ve doğal elyaflar kullanılmaktadır. Sentetik olarak cam, karbon, aramid, bor vb. elyaflar; doğal elyaflar için de sisal, jüt, bambu vb. elyaflar en yaygın kullanılanlardır. Polimere takviye edilen elyaf, malzemenin mukavemet ve sertliğini artırır. Polimer malzemeler kolay eritilebilir ve sahip oldukları akışkan yapıdan dolayı, elyafı sarıp matrisle elyaf arayüzeyinin tam olarak bağlanmasını sağlarlar. Böylelikle boşluk olmayan dayanımı yüksek malzemeler elde edilebilir.

Fiber takviyeli polimer kompozit malzemeler, plastik deformasyon sergilemeyen heterojen ve anizotrop malzemelerdir. Özellikle uzay ve havacılık, otomotiv, denizcilik ve spor ekipmanlarının üretiminde geniş bir yelpazede çağdaş uygulamalarda kullanılmaktadır. Diğer elyaf takviyeli malzemeler arasında karbon fiber takviyeli polimer ve cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemeler, mükemmel mukavemet ve düşük özgül ağırlık özellikleri ile geleneksel malzemelerin yerini giderek değiştirmektedir. Özelleştirilmiş mukavemet özelliklerine sahip farklı kombinasyonlarda üretilebilirlikleri; ayrıca yüksek yorulma, tokluk, yüksek sıcaklık aşınma ve oksidasyon direnci özellikleri bu malzemelerin mühendislik uygulamalarında mükemmel bir seçim olmasını sağlar (Karataş, Gökkaya, 2018).

Uzun yıllardır savunma ve havacılık sistemlerinde yaygın olarak kullanılan yüksek mukavemetli ve hafif elyaf takviyeli polimerler son yıllarda da lüks otomobiller, rüzgar türbinleri, sıkıştırılmış gaz depolama tankları gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Hafiflik, dayanım ve sertlik istenen üretimlerde cezbedicilerdir. Hafif malzemeler ulaşım araçlarında önemli derecede enerji tasarrufu sağlamaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerin mukavemeti, dayanıklılığı ve yapısal özellikleri endüstriyel ekipmanların, binaların ve diğer altyapı elemanlarının servis ömrünü artırmaktadır. Bu nedenle elyaf takviyeli polimer malzemeler kompozit teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Anonim).

3.1. Matris Elemanı

Bölüm 2.3.2.1’de polimer matrisler hakkında bilgi verilmiştir. Bu bölümde de polimer matris olarak en yaygın kullanılan termoplastik ve termosetler hakkında bilgi verilecektir.

3.1.1. Termoplastik matrisler

Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastikler, sıcaklığın artırılması ile erir ve viskoz bir yapıya dönüşürler. Soğutulduklarında ise katılaşır. Herhangi bir sertleştirme işlemine gerek yoktur. Termoplastikleri termosetlerden ayıran en önemli özellik; termoplastikler tekrar tekrar ısıtıldıkları zaman yapılarında bir bozulma olmaz, tekrar kullanılabilirler. Yani geri dönüşüm için uygun malzemelerdir. Bu özellik, özellikle parça maliyetinin yüksek olduğu üretimlerde çok büyük avantaj sağlamaktadır. Termoset malzemelerde ise bu şekilde geri dönüşüm sağlanamaz, tekrar ısıtma işlemi yapıldığı zaman yapıları bozulur ve yanarlar (Sönmez, 2009).

Termoplastiklerin kullanım avantajları:

- Isı ile eritilip, şekillendirilebilirler.
- Geri dönüştürülebilirler.
- Kimyasal maddelere, çevre şartlarına dayanımları yüksektir.
- Elektrik yalıtkanlıkları çok iyidir.

Dezavantajları:

- Hammaddeleri termosetlere göre daha pahalıdır.
- Isıya karşı termosetler gibi dayanım gösteremezler, akıp erirler.
- Sıvı haldeyken çalışmaya elverişli olan termoplastiklerin sayısı azdır. (Biron, 2007).

En yaygın kullanılan termoplastik matrisleri bu çalışmada altı grup altında inceleyeceğiz.

1. Polietilen (PE)
2. Polivinilklorür (PVC)

3. Stiren akrilonitril (SAN)
4. Akrilonitril bütadien stiren (ABS)
5. Poliakrilonitril (PAN)

Çizelge 3.1 Bazı termoplastiklerin özellikleri (Smith, 2009)

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (izod, J/m)
Polietilen (düşük yoğunluk)	0.92-0.93	6.2-17.2	
Polietilen (yüksek yoğunluk)	0.95-0.96	20-37.2	21.35-747.3
Bükülmez PVC	1.49-1.58	51.7-62.1	53.38-298.9
Genel maksatlı PP	0.90-0.91	33-38	21.35-117.4
Stiren akrilonitril (SAN)	1.08	69-82.8	21.35-26.69
Plitetrafloretilen	2.1-2.3	6.9-27.6	64.05-362.98
Genel maksatlı (ABS)	1.05-1.07	40.7	320.28
Genel maksatlı akrilik	1.11-1.19	75.9	122.7
Selüloz, asetat	1.2-1.3	20.7-55.2	133.45-213.52

3.1.1.1. Polietilen (PE)

Normalde renksiz olan polietilen, renklendirici ilave edilerek farklı renklere elde edilme imkanı sağlayan bir malzemedir. Düşük ve yüksek yoğunluklu olmak üzere iki çeşit polietilen vardır. Düşük yoğunluklu polietilen dallanmış bir zincir yapısına sahipken, yüksek yoğunluklu polietilen düzgün bir zincir yapısına sahiptir. Bu dallanmış yapı; düşük yoğunluklu polietilenin yoğunluk, kristallik derecesini ve moleküller arasındaki bağ kuvvetini düşürmektedir. Buna karşın yüksek yoğunluklu polietilendeki düz zincirli yapı, molekülleri daha sıkı bir arada tutarak malzemenin dayanımını artırmaktadır. Polietilenin maliyetinin düşük olması, malzeme tokluğunun ve dayanımının istenilen düzeyde olması, çok düşük sıcaklıklarda bile şekillendirilebilir olması, yüksek yalıtım özelliği, tatsız ve kokusuz olması yaygın olarak tercih edilme sebepleridir. Elektrik malzemelerinde, mutfakta kaplarında, kimyasal tüpler ve paketleme ürünlerinde sık olarak kullanılmaktadır (Smith, 2009).

3.1.1.2. Polivinilklorür (PVC)

PVC'nin hammaddesi petroldür. Çeşitli katkı maddeleri ilave edilip harmanlandıktan sonra, yüksek sıcaklıklarda üretilen bir polimerdir. Polimer zincirlerinde bulunan klor atomu alevlenme ve kimyasallara karşı direnç sağlar. Diğer termoplastiklere göre daha yüksek dayanıma sahiptir. Isıtıldığı zaman elastik bir yapı meydana gelir. Ayrıca ucuz olması daha çok tercih edilmesinin bir başka sebebidir. (Smith, 2009).

Kapı ve pencere profillerinde akşap ve aliminyum yerine PVC kullanımı çok daha yaygındır. Bunun nedeni olarak hafif olmaları, geri dönüştürülebilmeleri, yalıtım özelliklerinin yüksek olması, uzun süre kullanılabilmesi, yüksek dayanımları ve ucuz olmaları gösterilebilir. Ayrıca kimyasal maddelerden etkilenmemesi sebebiyle içerisinde kimyasal taşıyan boru hatlarında, hastane atık torbalarında (kan, serum torbaları vb.) da yaygın olarak kullanılmaktadır. Mutfak gereçleri, muşamba, bavullar diğer kullanım alanlarına örnek verilebilir.

Çizelge 3.2. PVC'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Anonim)

Özellik	Birim	Değer
Özgül Ağırlık	g / cm ³	1.38
Isı İletkenliği	Kcal / kg / °C	0.104 – 0.149
Su Emiciliği	%	0.2 – 1.0
Gerilmeye Elastik Modül	MPa	2.75 – 20.69
Çekme Dayanımı	MPa	1-23.5
Uzama	5 cm de %	200-450
Soğuk Bükme Sıcaklığı	°C	(-57) – (-18)
Soğuk Eğme Sıcaklığı	°C	(-40) – (-20)
Hacimsel Direnç	Ω-cm	1-700 x 10 ¹²
Dielektrik Faktörü	60 Hz	0.05 – 0.15

3.1.1.3. Polipropilen (PP)

Hafif bir malzeme olan polipropilenin yumuşama sıcaklığı 100°C' nin üzerindedir. Kimyasallara karşı aktifliği polietilene göre daha fazladır. Bundan dolayı bazı durumlarda polietilenin yerine tercih edilebilir. Elektrik yalıtkanlıkları oldukça yüksektir (ıslak ortamlarda bile). Yorulma ve darbe dayanımı iyidir. Hidrofobik bir

yapıya sahiptir. Yani suyu (nemi) içine çekmez. Bu avantajlı özelliklerinin yanında bazı dezavantajlara da sahiptir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kaplama ve boya yapmak zordur.
- UV ışınlarına karşı direnci düşüktür.
- Oksitlenebilirler (çevre hava şartlarından etkilenirler).

Balık ağları, fan ve ısıtıcılar, sandalye ve masalar, kablo kaplama malzemeleri kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir (Smith, 2009).

3.1.1.4. Stiren akrilonitril (SAN)

SAN, stiren ve akrilonitril monomerlerinin amorf olarak birleşmesiyle oluşur. Bu termoplastik sert, parlak ve saydamdır. Kullanım yerine göre akrilonitril miktarı artırılarak sertliği, mekanik dayanımı, kimyasallara ve ısıya karşı direnci artırılabilir. Sert yapılarından dolayı çizilme ve aşınmaya karşı dayanımları yüksektir. Buzdolabı bölmeleri, araba sinyal lambaları, duşakabinler, şeffaf sıvı sabunluklar gibi çizilmeye karşı dayanım ve sertlik istenilen yerlerde kullanılabilirler.

3.1.1.5. Akrilonitril bütadien stiren (ABS)

ABS; akrilonitril, bütadien ve stiren monomerlerinin birleştirilmesiyle meydana gelen bir polimerdir. Bu polimeri oluşturan üç farklı yapıdan her biri, ABS polimerine farklı farklı özellikler kazandırmıştır. Akrilonitril kimyasallara ve ısıya dayanım sağlarken; bütadien düşük sıcaklıklardada özelliklerini koruma ve darbeye karşı dayanım; stiren ise parlaklık ve sertlik sağlamaktadır. Bütün bu avantajlarının yanında maliyetleri diğer polimerlere göre daha yüksektir. Stiren bütadien miktarının artırılmasıyla darbeye karşı dayanımı artırılabilir (Sönmez, 2009). Motorsiklet kaskları, beyaz eşya açma kapama kulpları, telefon gövdeleri kullanım alanlarına örnek verilebilir.

3.1.1.6. Poliakrilonitril (PAN)

Genellikle lif şeklinde kullanılan PAN, hammaddesi petrol olan akrilonitrilin organik bir çözücüde polimerizasyonu ile üretilir. Moleküller arasında bulunan hidrojen bağlarından dolayı kolay çözünmezler. Polar çözücü kullanılarak çözünmeleri kolaylaştırılabilir. PAN, bazı termoplastiklerde kimyasallara karşı yüksek direnç ve yüksek mukavemetinden dolayı katkı monomeri olarak katılmaktadır. Yüne çok benzeyen PAN lifleri battaniye, kazak, halı üretiminde sıkça tercih edilmektedir (Smith, 2009). Ayrıca sentetik lif üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1.2. Termoset matrisler

Termoset matrisli polimerlerin molekülleri birbirine çapraz bağ ile bağlıdır. Malzeme ısıtıldığı zaman çapraz bağdan dolayı atomlar birbiri üzerinde kayamaz. Bu yüzden bir kere ısıtılıp şekil verildikten sonra malzemeye tekrar ısıtılıp şekil verilemez. Yani geri dönüştürülemezler. Termoset matrisler dayanım ve sıcaklığa karşı gösterdikleri direnç yönünden genellikle termoplastiklerden daha üstündürler. Fakat termosetlerin geri dönüşümlerinin olmaması, ısıtma sırasında bozulabilmeleri, daha sert ve gevrek yapıya sahip olmaları gibi sebeplerden dolayı gelişen üretim teknikleri ve ihtiyaçlar doğrultusunda termoplastik malzemeler termoset malzemelerin yerini almaktadır.

Termoset polimerlerin avantajları ve dezavantajları:

- Çapraz bağlar sayesinde ısıya karşı daha dirençlidirler.
- Isıtılıp ilk şekil verildikten sonra tekrar ısıtılırsa bozulurlar.
- Ateş ve ısı karşısında direnç istenilen yerlerde tercih edilebilirler.
- Makro moleküllerin yer değiştirmesine engel olan bağ yapısından dolayı sürünme özellikleri daha iyidir.
- Dayanımları genel olarak daha yüksektir.
- Üretim sırasında çapraz bağın oluşturulması için fazla süre ve maliyet gerekir.
- Geri dönüştürülemezler.
- Üretim sürecinin takip edilmesi termoplastiklere göre daha zordur.
- Kaynak yapılması zordur (Marşoğlu, 1986).

Termoset polimerlerinde kullanım alanlarına göre farklı türleri vardır. En çok kullanılan termoset matrisleri epoksiler, polyesterler, fenolikler, poliüretanlar, silikonlar, vinil esterler, amino reçineler olarak sıralayabiliriz. Bu çalışmada matris elemanı olarak termoplastik bir malzeme olan PVC kullanıldığı için, yaygın olarak kullanılan termoplastik malzemeler hakkında daha detaylı bilgi verilip termoset matrisler sadece isim olarak belirtilmiştir.

3.2.Takviye Elemanı

Fiberlere değişik kaynaklarda lifler veya elyaflarda denilmektedir. Takviye malzemesinin boyutları arasında oldukça büyük bir fark varsa lif olarak bahsedilebilir. Lifler kompozit malzeme içerisinde farklı şekillerde (sürekli, süreksiz ve parçacık) olabilirler. Bu şekiller kompozit malzemenin özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür (Callister, 2000).

Lif takviye türlerinden bazıları;

- Sürekli lifler ve iplikler
- Kesikli lifler
- Dokuma ve örme kumaşlar

Lifler bazı üretim yöntemlerinde (elyaf sarma gibi) kesilmeden sürekli olarak yönlendirilmektedir. Sürekli olarak yapılan takviye işleminde yönlendirme (boyuna) yönünde enlerinden daha yüksek mekanik özellikler gösterirler. Yani malzemenin bütün doğrultularda sahip olduğu özellikler aynı değildir. Malzeme anizotropik yapıdadır. Bu sebepten kompozit malzeme üretim sürecinde; liflerin matris elemanı içerisindeki konumu ve şekli elde edilmek istenen özellikleri belirleyen çok önemli bir faktördür (Callister, 2000). Kesikli lifler matris içerisine rastgele dağıtılır ve kompozit malzeme izotropik yapıda olur. Farklı yönlerden yüklemelere maruz kalacak malzemeye ise lifler ya dokunarak ya da farklı yönlerde yönlendirilerek yerleştirilebilir. Dokuma lifler kompozit malzemenin en az iki yönde dayanımının yüksek olmasını sağlar. Dokuma boyutu (3 boyutlu) artırıldıkça daha çok yönde dayanım sağlanabilir (Demircioğlu, 2006).

Bir kompozit malzemede fiberlerin görevlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Bir kompozit malzemeye uygulanan kuvvetin yükünün büyük kısmını (yaklaşık olarak %70-90) fiberler taşır.
- Kompozit malzemeye sertlik, dayanım, yüksek elastisite modülü gibi özellikleri kazandırır.
- Kompozit malzemenin iletkenlik/ yalıtım gibi özelliklerini belirlerler.

Kompozit alanındaki ilerlemeler ve gelişen teknoloji fiberlerinde gelişmesini de sağlamıştır. Bunun sonucu olarak bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar geliştirilmiştir. Çok küçük çaplarda üretilebilen elyaflar yapısal hata payını oldukça düşürmüş ve kompozitin yüksek mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamıştır (Asi, 2008).

Polimer matrisli kompozitlerde en çok kullanılan elyaf türlerini dört grupta inceleyebiliriz:

- 1) Cam elyaf
- 2) Boron elyaf
- 3) Karbon elyaf
- 4) Aramid (kevlar) elyafı

Çizelge 3.3. Bazı takviye elemanlarının özellikleri (Anonim)

Takviye elemanı	Özgül ağırlık ρ (gr / cm ³)	Çekme dayanımı MPa	Elastisite modülü GPa
Cam	2,54	3445	70
Karbon	1,75	3100	220
Kevlar	1,46	3600	124

3.2.1. Cam elyaflar

Camın hammaddesi silis kumu (SiO₂) olup; kalsiyum, alüminyum, sodyum, demir ve bor gibi elementlerin oksitlenmesiyle üretilir. Polimer matrisli kompozitlerde en yaygın kullanılan takviye elemanıdır ve diğer takviye elemanlarına göre daha ucuzdur (Şahin, 2000). Cam elyaflar amorf bir yapıya sahiptirler. Cam, alt kısmında deliklerin bulunduğu özel ocaklarda eritilip çok ince deliklerden lif şeklinde çıkması sağlanır. Soğuduktan sonra makaralara sarılan cam elyaflar kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı olarak kullanılır.

Cam elyafların polimerler için ideal takviye malzemesi olmasının sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- Çekme dayanımları yüksektir (geleneksel malzemelere kıyasla).
- Kimyasallara karşı dirençleri yüksektir.
- Isıl dayanımları düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
- Yalıtıkcıdır. Elektrik yalıtkanlığının önemli olduğu durumlarda cam elyaf takviyesine olanak sağlarlar.
- Nem dirençleri mükemmeldir.
- Maliyetleri genel olarak düşüktür ve yüksek performansa sahiptirler.

Cam elyaflar uzun ve kısa, sürekli ve süreksiz olmak üzere çeşitli şekillerde hem termoset hemde termoplastik matrislerde takviye elemanı olarak kullanılabilirler ve malzemenin mukavemet, korozyon direnci, dielektriksel gibi özelliklerinde artış sağlarlar. Camın hammaddesi olan silis kumuna Çizelge 3.4’de gösterilen farklı katkı maddelerinin ilavesi ile değişik özelliklere sahip cam elyaflar elde edilebilmektedir. Bu eklenen malzemelere göre cam elyaflar sınıflandırılırlar. Yaygın olarak kullanılanlar ve mekanik özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Cam elyafların % karışım oranları (Anonim, 2003)

Cam tipi	A Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	Advantex	ECRGlass	AR Tipi	R Tipi	S-2 Tipi
Oksit	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	63-72	64-68	72-75	52-56	59-62	54-62	55-75	56-60	64-66
Al ₂ O ₃	0-6	3-5	0-1	12-16	12-15	9-15	0-5	23-26	24-26
B ₂ O ₃	0-6	4-6	21-24	5-10	<0,2		0-8	0-0,3	<0,05
CaO	6-10	11-15	0-1	16-25	20-24	17-25	1-10	8-15	0-0,2
MgO	0-4	2-4	-	0-5	1-4	0-4	-	4-7	9,5-10,3
ZnO	-	-	-	-	-	2-5	-	-	-
BaO	-	0-1	-	-	-	-	-	0-0,1	-
Li ₂ O	-	-	-	-	-	-	0-1,5	-	-
Na ₂ O+K ₂ O	14-16	7-10	0-4	0-2	-	0-2	11-21	0-1	<0,3
TiO ₂	0-0,6	-	-	0-0,8	-	0-4	0-12	0-0,25	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	1-18	-	-
Fe ₂ O ₃	0-0,5	0,8	0-0,3	0-0,4	-	0-0,8	0-5	0-0,5	0-0,1
F ₂	0-0,4	-	-	0-1	-	-	-	0-0,1	-

Çizelge 3.5 Cam elyafların mekanik özellikleri (Anomim, 2003)

Özellikler	A	C	D	E	Advantex	ECR	AR	R	S-2
Yoğunluk (g/cm ³)	2,44	2,52	2,11- 2,14	2,55- 2,62	2,62	2,68- 2,72	2,70	2,54	2,46- 2,49
Yumuşama Noktası °C	705	750	771	846	916	882	773	952	1056
Tavlanma Noktası °C	-	588	521	657	736	-	-	-	816
Gerilme Mukavemeti (Mpa-23°C)	3310	3310	2415	3445	-	3445	3241	4135	4890
Young Modülü (Gpa-23°C)	68,9	68,9	51,7	72,3	76,6	80,3	73,1	85,5	86,9
Esneleme %	4,8	4,8	4,6	4,8	4,6	4,8	4,4	4,8	5,7

Cam elyaflar kullanım alanlarına uygun olarak, Çizelge 3.4'te verilen karışım oranlarına göre farklı şekillerde üretilebilirler. Takviye elemanı olarak kullanılan bazı cam elyaflar:

- A tipi elyaf: Kimyasallara karşı direnci yüksek olan, en yaygın kullanılan cam tipinden biridir. Yüksek oranda alkali içerdiğinden elektrik iletkenliği fazladır.
- C tipi elyaf: Korozyona karşı dayanımı oldukça yüksektir. Kimyasallarla etkileşim istenmeyen tank, depo gibi yerlerde yaygın olarak kullanılır.
- E tipi elyaf: Düşük oranda alkali içerdiğinden elektrik yalıtkanlığı oldukça iyidir. Su ve neme karşı yüksek direnç gösterebilen, mukavemeti yüksek, en çok kullanılan cam türüdür.
- R tipi elyaf: Mukavemet ve asidik korozyona karşı direnci yüksek bir cam türüdür.
- S-2 tipi elyaf: Cam elyaf çeşitleri arasında en yüksek çekme dayanıma sahip elyaf çeşitidir.

3.2.2. Boron elyaf

Boron elyaflar, tungsten adı verilen çekirdeğin üzerinin borla kaplanmasıyla elde edilirler. Son yıllarda tungsten yerine karbon da kullanılmaktadır (Schwartz, 1984). Silisyum karbür (SiC) veya bor karbür (B₄C) ile bor kaplanarak yüksek sıcaklıklara karşı dayanım ve çekme mukavemeti artırılabilir (Chawla,1987).

Yoğun tungsten borit çekirdeği içeriği nedeniyle bor elyafların çapları karbon elyafların çaplarından çok büyüktür. 100 ve 140 µm çaplarında elyaflar üretilmektedir. Elyaf çaplarının büyük olması bor elyafların bükülme mukavemetini artırırken, kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmalarını kısıtlar. Ayrıca çap büyüklüğü bor elyafın kumaş haline getirilmesini de engeller (Baker ve ark., 2004).

3.2.3. Karbon elyaf

Ana bileşenleri katran, naylon ve orlon olan karbon elyaf ipeksi bir maddedir. Karbon kristallerinin sahip olduğu hegzagonal yapı ve vander waals bağları sayesinde karbon lifleri yüksek elastisite modülü ve dayanıma sahiptir (Kılıç, 2006).

Karbon elyaf 2.268 gr/cm³ yoğunluğa sahip, cam elyafa göre çok daha sonra gelişen ve yaygın olarak kullanılan malzemedir. Düşük yoğunluk ve yüksek tokluğa sahip olan karbon elyaf, genellikle epoksi ve polyester reçineler ile yaygın olarak kullanılır. Karbon elyaflar korozyon, nem, asit ve bazlardan etkilenmezler. Çeliğe göre mukavemeti yüksek olup, aşırı katıdırlar. Cam elyaf ile karşılaştırıldığında young modülü 3 kat daha fazladır. Bu, belirli gerilme altında karbon elyafın daha az elastik deformasyona uğrayacağını gösterir. Belirtilen avantajların yanında üretiminin pahalı olmasından dolayı kullanım alanları sınırlıdır. Askeri ve sivil uçak yapılarında, otomotiv endüstrisinde ve spor aletlerinde kullanım alanına sahiptir.

3.2.4. Aramid (kevlar) elyafı

Kevlar (DuPont) ve Twaron (Akzo Nobel) isimleriyle bilinen aramid elyafı 'aromatik poliamid' kelimesinin kısaltmasıdır. Aramidin zincirli yapısında altı karbon

atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmıştır. Aramid elyafı kullanılacak olan alanlara göre farklı özelliklerde üretilebilmektedir. Çoğunlukla hafiflik, yüksek mukavemet ve sertlik, hasar direnci ve yorulma direnci istenen kompozit yapılarda kullanılır. Tekne gövdesi, askeri amaçlı kasklar, salmastra, avcılık kıyafetleri gibi alanlar kullanım yerlerine örnek olarak verilebilir (Enşici, 2004).

Aramid elyafları Meta-aramid, Para-aramid olmak üzere iki katagoride incelenir. Burada meta ve para terimi aramid elyaf yapısındaki kimyasal bağların izafi konumlarını belirtmektedir. Para-aramid elyafların kimyasal bağları elyafların uzun yönünde hizalanır. Para-aramidden yapılmış elyaflar daha yüksek mukavemet sağlarlar. Elyaf takviyeli polimer kompozitlerde darbenin önemli olduğu ince levhalarda ve yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kevlar ve technoro ticari olarak bilinen en önemli para-aramidlerdir. Meta-aramidler ise uzun yönde daha az hizalanırlar bu nedenle çekme dayanımları düşüktür. Meta-aramidler bağlardan oluşan elyaflar mükemmel termal, kimyasal ve radyasyon direncine sahiptir. Genellikle itfaiyeci ve yarış otomobili sürücülerinin kıyafetlerinde, ateş gibi yanıcı etkilere karşı dayanıklılık beklenen tekstil ürünlerinde kullanılır (Prashanth ve ark., 2017).

Aramid (keklar) elyafın önemli özellikleri:

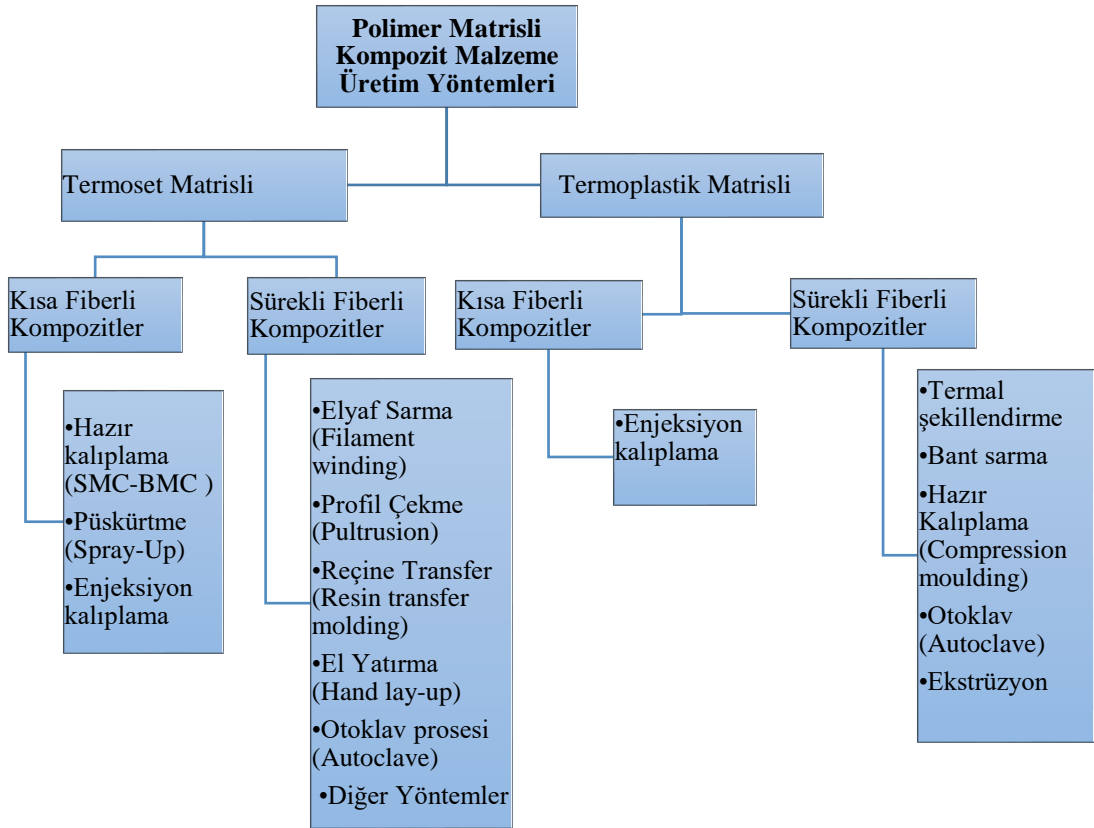
- Yüksek çekme, darbe, aşınma dayanımı
- Kimyasallara karşı yüksek direnç
- Hafif olmaları (cam elyafa göre %35 daha hafifler)
- Basınca karşı dayanım
- Renginin genellikle sarı olması
- Düşük yoğunluğa sahip olması olarak sıralanabilir.

Dezavantajları ise :

- Aramid elyafların bazı türleri ultraviole ışıktan bozulurlar. Bu yüzden karanlıkta saklanmaları gerekebilir.
- Matris ile çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durum çatlaklara sebep olabilir.

4. ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzeme üretiminde, matris ve takviye elemanın özelliklerinin yanında kompozitin üretim yöntemi de kompozit malzemenin özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Kompozit malzeme üretiminde istenilen özellikleri sağlamak için kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları vardır. Bu sebepten dolayı en uygun üretim yöntemini bulmak; üretilen kompozit malzemenin kalite, dayanım gibi özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri matris elemanına göre termoset ve termoplastik matris olmak üzere iki kısımda incelenir. Şekil 4.1’de üretim yöntemlerini şematik olarak görebiliriz. En yaygın kullanılan üretim yöntemleri alt başlıklar şeklinde daha detaylı anlatılacaktır.



Şekil 4.1. Kompozit malzeme üretim yöntemleri (Mazumdar, 2002)

4.1. Termoset Matrisli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerde matris elemanı termoset olan malzemelerin, çeşitli üretim yöntemi vardır. Şekil 4.1'den de görebileceğimiz gibi, takviye elemanına göre (kısa fiber ve sürekli fiber takviyeli) üretim yöntemleri değişmektedir. Üretilecek parçanın kalitesine, miktarına ve maliyetine göre uygun olan üretim şekli seçilebilir. Bu üretim yöntemlerinden yaygın kullanılanlar aşağıda açıklanmıştır.

4.1.1. El yatırma yöntemi (Hand lay-up)

El yatırması yöntemiyle kompozit malzeme üretimi, bilinen en eski ve en basit yöntemlerinden biridir. El yatırma yönteminde kullanılacak kalıbın yüzeyi pürüzsüz yüzeyler elde edebilmek için parlatılır ve kalıp ayırıcı ile kaplanır. Ayırıcı, malzemenin sertleştikten sonra kalıptan kolay ayrılmasını sağladığı için önemlidir. Kalıbın üzerine cam elyaf yerleştirilerek bir el aleti ile (firça vb.) matris elemanının cam elyaf üzerine iyice emdirilmesi sağlanır. Bu işlemde oluşabilecek hava kabarcıklarını engellemek için rulo da kullanılabilir. Sertleşmenin gerçekleşmesi için malzeme kendi haline soğumaya bırakılır. Sertleşme gerçekleştikten sonra malzeme kalıptan çıkartılır ve yüzeyde çapak oluşumu var ise temizlenir. Son olarak kompozit malzeme kullanım yer ve miktarına göre istenilen boyutlarda kesilebilir. Cam elyaftan yapılmış dokuma ve keçeler takviye elemanı olarak kullanılabilir. Tekneler, rüzgar türbin kanatları, depolar, otomobil parçaları, makine parçaları vb. parçalar üretilir.

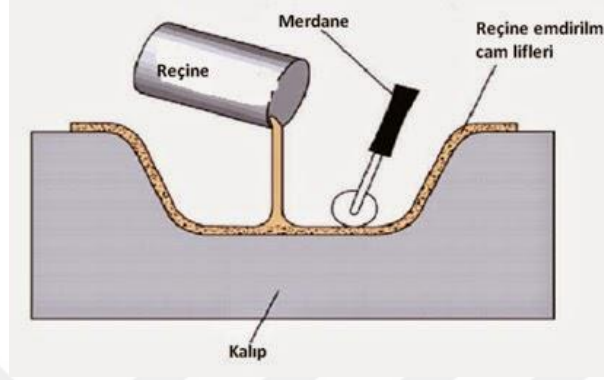
Bu yöntemin avantajları olarak:

- Maliyetinin düşük olması,
- Ucuz ve hızlı kalıp yapılabilmesi,
- Çeşitli boyutlarda üretim imkanı sunması,
- Renkli yüzeyler elde edilebilme sayılabilir.

Dezavantajları ise:

- Üretimde kalite tutarlılığı sorunu (eğer işlemler profesyonel kişiler tarafından gerçekleştirilmiyorsa, heterojen matris dağılımı veya hava kabarcıkları oluşabilir. Bunlar da malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler.),

- Sadece bir yüzeyin parlak olması,
- Boyutlarda sapma olasılığı (yüksek elyaf oranlarına ulaşmak zor olabilir, çünkü matris elemanı az oranlarda katıldığı zaman ıslanmayan bölge ve hava kabarcıkları oluşabilir.)

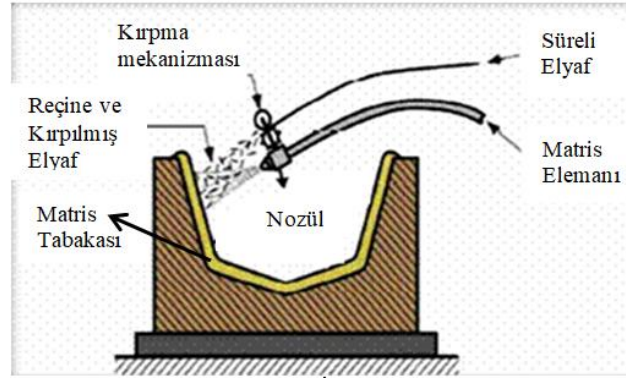


Şekil 4.2. El yatırma yöntemi (Gay ve Hoa, 2007)

4.1.2. Püskürtme yöntemi (Spray-up)

El yatırması ile kompozit üretim yönteminin tabancalı şekli olarak düşünülebilir. Elyaf sürekli olarak tabancaya yönlendirilir ve tabancada yer alan kırpıcı sayesinde kırpılır. Kırpılmış elyaflar, uygun hızda kalıp yüzeyine sertleştirici ilaveli matris elemanı ile birlikte özel bir tabanca kullanılarak püskürtülür. Kullanılan cam elyaf miktarı elyafın tam olarak ıslanabilmesi için önemlidir. Genellikle %35'ten fazla elyaf miktarlarında ıslanma tam olmamaktadır. Püskürtme işleminden sonra hava kabarcıklarını yok etmek ve ıslanmanın daha iyi olmasını sağlamak amacıyla rulo kullanılır. Daha sonra sistem sertleşmeye bırakılır. Sertleşme süresi dolduktan sonra malzeme kalıptan ayrılır (Arıcasoy, 2006; Enşici, 2004).

Maliyeti düşük ve karmaşık olamayan bu yöntem ile kompleks parçalar üretilebilir ve boyutta herhangi bir sınırlama olmaz. Kullanılan elyaf kırpma tabancası sayesinde el yatırması yöntemine göre daha kontrollü ve hızlı bir yöntemdir. El yatırması yöntemindeki gibi profesyonel kişilere gerek yoktur. Kısa elyaf kullanımından dolayı mekanik dayanımları sınırlıdır. Bu yüzden direk yük taşımanın esas olmadığı durumlarda kullanılmalıdır. Havuzların iç yüzeyi, küvet, otomobil kaportası ve kayıklar bu yöntemle üretilirler.



Şekil 4.3. Püskürtme yöntemi (Gay ve Hoa, 2007)

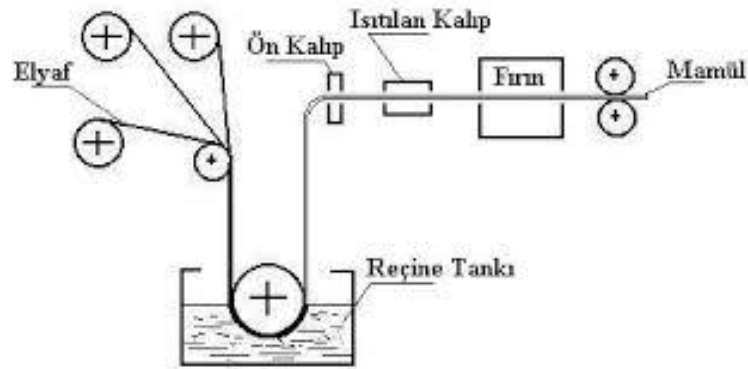
4.1.3. Pultrüzyon yöntemi (Pultrusion)

Pull ve extrusion kelimelerinden türetilen pultrüzyon yöntemi, ilk olarak 1948’li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem sabit kesitli, sürekli ürünler üretebilme imkanı sağlayan bir seri üretim yöntemidir. Takviye elemanı, sisteme sürekli olarak beslenerek reçine havuzundan geçirilir. Islanma işlemi gerçekleştikten sonra uygun sıcaklığa ısıtılmış kalıptan geçirilerek sertleşmeye bırakılır. Kullanılan elyaf oranı yaklaşık %60-65 civarındadır. Daha yüksek oranlarda elyaflar tam olarak ıslanmayabilir. Elyafın sürekli olarak yönlendirilmiş olmasından dolayı yönlendirme yönünde oldukça yüksek dayanımlar elde edilir. Enine de yük taşınmasının istenildiği durumlarda dokuma elyaflar kullanılabilir (Arıcasoy, 2006; Enşici, 2004).

Profil çekme yönteminin avantajları:

- Maliyeti yüksek olmayan, hızlı ve seri üretime olanak veren bir yöntemdir.
- Matris ve takviye oranları kontrol edilebilir.
- Yönlendirme yönünde yüksek mukavemet sağlar.

Sadece sabit kesite sahip parça üretiminde kullanılabilen bir yöntem olduğu için kullanım alanları sınırlıdır. Köprüler, merdivenler, bina kafes sistemleri ve iskeletleri, aydınlatma direkleri ve pencereler kullanım alanları olarak sayılabilir.



Şekil 4.4. Profil çekme yöntemi üretim şeması (Aktaş, 2010)

4.1.4. Elyaf sarma yöntemi (Filament winding)

Sürekli olarak bir makaradan gelen elyaf, reçine banyosuna daldırılıp ıslatıldıktan sonra tekrar bir makara ile çekilerek döner kalıp üzerine sarılır. Elyafın kalıba farklı açı ve kat sayısında sarılması ile farklı mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilir. Sarma işlemi bittikten sonra malzeme sertleştirilir ve kalıptan ayrılır. Bu yöntem de pultrüzyon yöntemi gibi seri üretim için uygun bir yöntemdir (Philips, 1989).

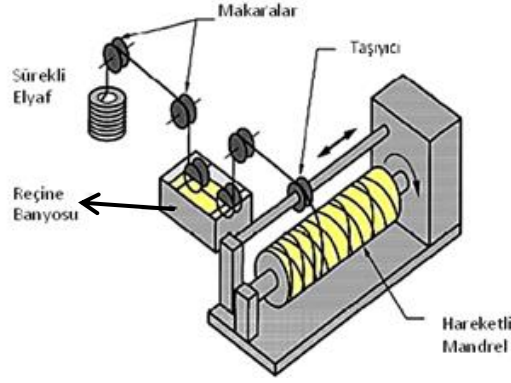
Elyaf sarma yönteminin avantajları;

- Hızlı sarım ve düşük maliyet,
- Reçine miktarı kontrolü,
- Kalıp maliyeti az,
- Elyafların farklı yönlendirilmesine ve kat sayısına imkan tanır.

Elyaf sarma yönteminin dezavantajları;

- Sadece konveks şekilli parçalar üretilebilir.
- Büyük parça üretimleri için sarım yapılacak olan kalıp pahalı olabilir.
- Malzemenin dış yüzeyinin işlenmesi gerekebilir.

Bu yöntemle üretilen ürünlere su tankları, silindirik borular, yat direkleri, dairesel basınç tankları örnek verilebilir.

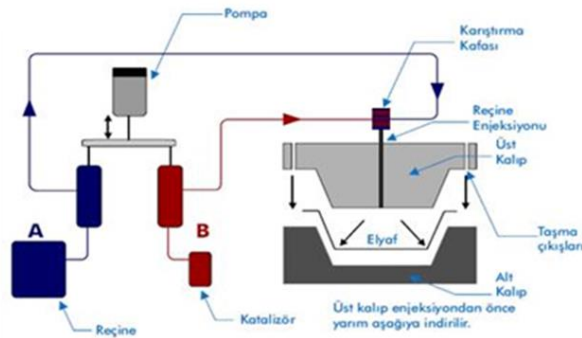


Şekil 4.5. Elyaf sarma yöntemi üretim şeması (Eker, 2011)

4.1.5. Reçine transfer kalıplama yöntemi (Resin transfer molding, RTM)

Bu yöntemde iki tane kalıp (dişi ve erkek) kullanılır. Kalıp boşluğuna takviye malzemesi boşluğu dolduracak şekilde eklenir ve kalıp kapatılır. Matris malzemesi basınç altında kalıba pompalanır. Matrisin vizkozitesi elyafları ıslatıp aralarına sızacak kadar düşük olmalıdır. Kalıp içerisindeki havanın dışarı çıkması ve matrisin takviye elemanını tam olarak ıslatabilmesi için vakum kullanılabilir. Kalıp kapalı olduğu için zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir. El yatırması ve püskürtme yöntemine göre kompozit numunenin her iki yüzeyi de aynı kalite ve kalınlıkta elde edilebilmektedir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Ahşap, köpük ve metal kalıplar kullanılabilir. Uygun vakum değerlerinin seçilmesi oldukça önemlidir, aksi takdirde elyaflar zarar görebilir.

Uçak ve otomotiv parçaları, duşabinler, paneller, F1 arabalarının bazı parçaları bu yöntemle üretilmektedir. Hem termoplastik matrisli hem de termoset matrisli kompozit malzeme üretiminde kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 4.6. Reçine transfer kalıplama yöntemi üretim şeması (Eker, 2011)

4.1.6. Hazır kalıplama (Compression molding)

Hazır kalıplama yönteminde cam elyaf, reçine, katkı ve dolgu malzemelerinden oluşan kalıplamaya hazır malzemeler sıcak preste kalıplanarak kompozit malzeme üretilmektedir (Arıcasoy, 2006; Enşici, 2004).

Kompleks parçaların üretilebilmesi ve metal parçaların kompozit yapı içerisine gömülebilmesi olanaklarına imkan sağlar. Basınçla kalıplamada iki yüzey kalıp tarafından şekillendirilmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerinin imkan vermediği delikli makine parçaları da kolay bir şekilde elde edilebilmektedir. Fire oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları; kompozit hammaddesinin prepreg malzemelerde olduğu gibi -18°C ye kadar soğuk odalarda muhafaza edilmeleri şartı, kalıp maliyetinin yüksekliği ve büyük parça için daha büyük preslere ihtiyaç olmasıdır. Kalıplamada kullanılan kompozit içeriğine göre SMC ve BMC olmak üzere iki çeşit kalıplama yöntemine ayrılır.

SMC takviye malzemesi olarak kırılmış elyaf ile matris malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçimindeki malzemedir. Lifler, 25-50 mm kırık ve ağırlıkça oranları %25-30 civarındadır. Genellikle 1000mm x3mm boyutlarında levha şeklinde üretilirler (Arıcasoy, 2006; Enşici, 2004).

BMC takviye malzemesi kırılmış elyaf ve dolgu malzemesi, katalizör, pigment, yağlayıcıdan oluşan hamur biçiminde malzemedir. Bu yöntem reçine transfer kalıplama yöntemine benzer bir yöntemdir. Reçine/elyaf karışımı kalıp dışında karıştırılır ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte edilir. Düşük vizkoziteye sahip reçineler için bu yöntem kullanılır. Diğer yöntemlere nazaran daha hızlıdır. Ev aletleri endüstrisinde, otomotiv sanayiinde, oyuncak sektöründe, uçak parçaları da dahil birçok alanda bu yöntem kullanılır (Arıcasoy, 2006; Enşici, 2004).

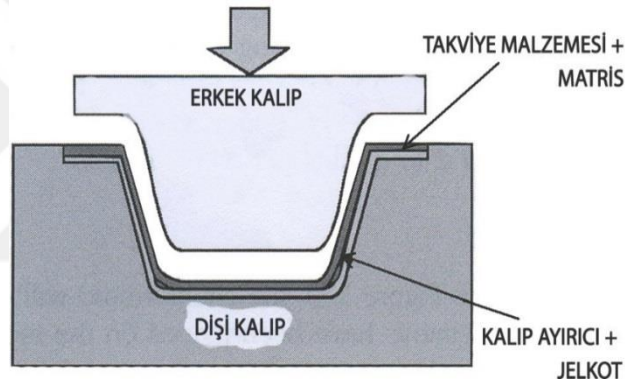
BMC'nin avantajları:

- Esnek tasarım,
- Pürüzsüz yüzey,
- Boyanabilme ve kolay kaplanabilme kolaylığı,

- Geri dönüştürülebilme,
- Metal gömme olan parçalarda montaj kolaylığı ,
- Yüksek hacimde dolgu maddesi takviyesi ile mekanik dayanımın artırılabilmesi,
- Yüksek sıcaklığa dayanım.

BMC' nin dezavantajları:

- İnce parçaların üretimi zordur (min 1.8 mm).
- Prototip üretimi zordur.
- Kalıp maliyeti yüksektir.
- Büyük parçalarda presleme maliyeti artar (Arıcasoy, 2006; Enşici, 2004).



Şekil 4.7. Hazır kalıplama Yöntemi (SMC), (Gay ve Hoa, 2007)

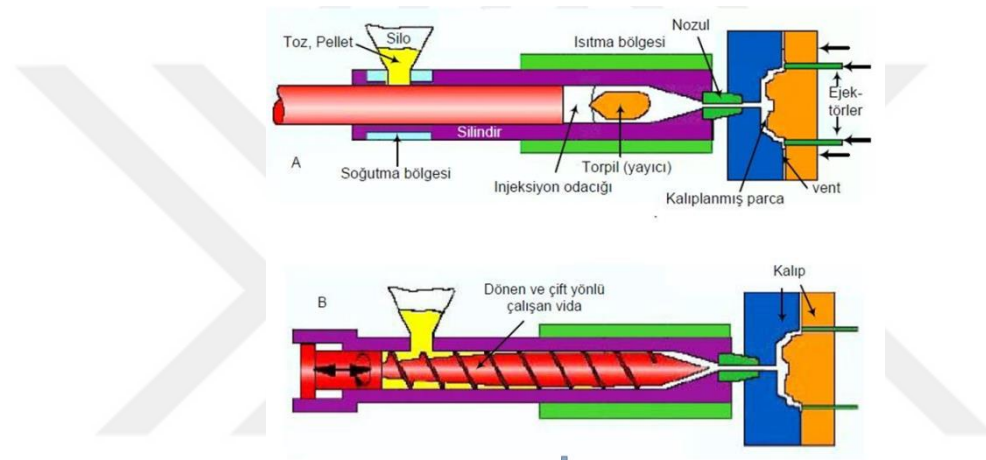
4.2. Termoplastik Matrisli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Termoplastik matrisli kompozitlerin Şekil 4.1'den de görülebileceği gibi, takviye elemanına göre (kısa ve sürekli fiber takviyeli) çeşitli üretim yöntemleri vardır. Üretilmek istenen malzemenin miktarı, maliyeti, kullanım alanları gibi faktörlere göre uygun üretim yöntemi seçilir. Aşağıda yaygın kullanılan üretim yöntemleri daha detaylı anlatılmaktadır.

4.2.1. Enjeksiyon kalıplama yöntemi

Yüksek üretim miktarı, kompleks parça üretim imkanı sağlayan elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzeme üretim yöntemlerinden biridir. Farklı takviye elemanı

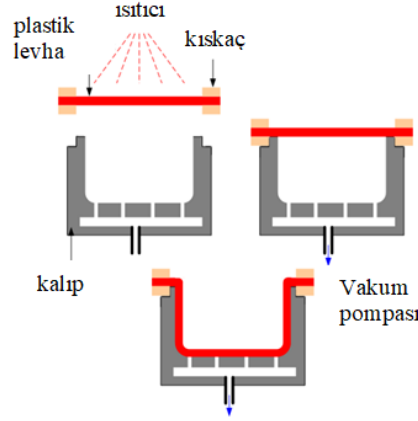
ve termoplastik malzemeler kullanılarak değişik kimyasal, mekanik, elektriksel ve ısı özelliklere sahip malzemeler üretilebilir. Bu yöntem normal plastik kalıplama yönteminden elyaf besleme deposu bulundurması sebebiyle ayrılır. Polimer malzemeler ve kırık elyaflar vida yardımıyla karıştırılarak ısıtılıp, ilerlemesi sağlanarak soğuk kalıba enjekte edilir. Malzeme, kalıpta katılaştıktan sonra kalıptan çıkartılır. Takviyeli enjeksiyon kalıplama, sadece plastik kalıplama yöntemine göre daha fazla basınç ve çevrim süresi gerektirir (Şahin, 2000). Valf gövdeleri, dişliler, otomobil panelleri bu yöntemle üretilmektedir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi termoset matrisler için de kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 4.8. Enjeksiyon kalıplama sistemleri: A, Plunger (dalma pistonlu) tip. B, Reciprotating (ileri-geri çalışmalı) vidalı tip (Beşergil, 2012)

4.2.2. Termal şekillendirme yöntemi (thermoforming)

Elyaf takviyeli termoplastik levhaların şekillendirilmesinde kullanılır. Yumuşama sıcaklığına kadar ısıtılan levha vakum, basınçlı hava ile şekillendirilir. Levha kalıba yerleştirildikten sonra ısıtılır ve kalıp boşluğundaki hava emilerek vakum elde edilir. Vakum sertleşme meydana gelene kadar uygulanır. Biçimlendirmeden sonra kompozit malzeme kalıptan alınır.



Şekil 4.9. Termal şekillendirme yöntemi (Anonymous, 2018)

4.2.3. Otoklav yöntemi (Autoclave)

Karmaşık kalıba yerleştirilen prepreg malzeme (genellikle reçine emdirilmiş karbon fiber) üzerine delikli vakum naylonu serilir ve üzerine fazla reçineyi emmek için vakum battaniyesi serilir. İlk vakum için (800mm Hg) vakum torbasına konularak vakumlanır. Bu vakum prepreg malzemeyi özellikle karmaşık kalıpların en ince köşe ve radyuslara kadar yerleştirir. Vakumlu halde otoklav içerisine yerleştirilen vakum torbalı malzemeye, otoklav fırını ısıtılarak kürlenme işlemine başlanır. Otoklavdaki ısı prepreg malzemenin içindeki tercihen epoksi matrisini eritirken otoklava minimum 6 bar inert bir gaz ile (azot gazı) basılarak, eriyen prepreg tabakaları basınç ve sıcaklık altında birbirine yapıştırılır. Bu esnada vakum torbasındaki vakum ucu açık hava atmosferine açılır, eriyen fazla reçineler vakum battaniyesine emilirken açığa çıkan kısmen içinde hava olan atık gazlar da atmosfere atılmış olur. Bu şekilde malzeme, kullanılan matrisin kürlenme şartları kadar otoklavda tutulur. Daha sonra otoklav dışına alınarak soğutulur. Bu işlemde otoklavın en önemli görevi diğer kompozit üretim yöntemlerine nazaran malzeme içerisinde herhangi bir boşluk (hava veya gaz) kalmaması ve çok karmaşık parçaların üretilebilmesine olanak sağlamasıdır.

Otoklav yönteminin avantajları:

- Yüksek mukavemet,
- Yüksek fiber/hacim oranı,
- Minimum boşluk hacmi, (min. %2' den az)
- Aynı anda birden çok parça üretebilme imkanı,

- Kontrollü sıcaklık, basınç ve kütleme işlemi

Otoklav yönteminin dezavantajları:

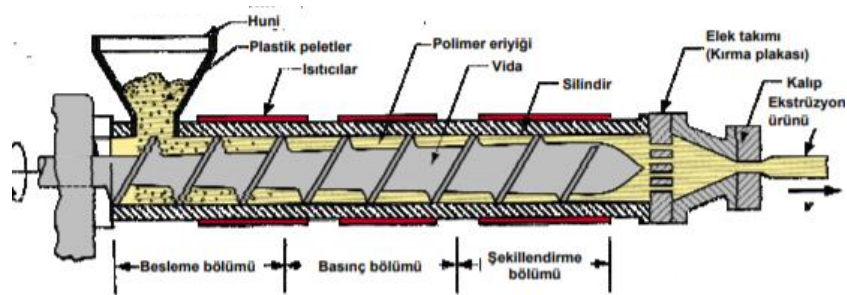
- Otoklav fırınları yüksek maliyetlidir.
- Yüksek ısı ve basınca ihtiyaç vardır.
- Prepreg malzemenin kullanma prosedürünün karmaşıklığı ve maliyeti (üretim, nakliye, soğutma)



Şekil 4.9. Otoklav fırını (Anonymous, 2018)

4.2.4. Ekstrüzyon yöntemi

Ekstrüzyon cihazı kovan, mil ve kalıptan meydana gelmektedir. Isıtılan kovanda eriyen eriyik malzeme, kovan içinde çalışan mil vasıtası ile kalıba sürülür ve plastik şekillendirme gerçekleştirilmiş olur. İçi boş ve dolu profiller, film ve levha şeklindeki ürünler, cam ve karbon liflerin kaplanması, çeşitli geometrik kesitlerdeki malzemeler bu yöntemle üretilir.



Şekil 4.10. Ekstrüder cihazı (Anonim)

Çizelge 4.1 : Bazı üretim yöntemlerinin karşılaştırılması (Biron, 2007)

Üretim Yöntemi	Çıktı (Adet)	Çevrim Zamanı	Yatırım	İşçilik Maliyeti
El Yatırma	1 - 1000	30 dakika ila birkaç saat	Düşük	Yüksek
Püskürtme	1 - 1000	30 dakika ila birkaç saat	Düşük	Yüksek
Matris Enjeksiyon	200 - 10.000	30 dakika ila birkaç saat	Orta	Orta
Soğuk Kalıplama	500 - 20.000	5 ila 30 dakika	Orta - Yüksek	Orta
Sıcak Kalıplama (keçe ve ön şekillendirme)	Kitlesele Üretim	1 ila 10 dakika	Yüksek	Orta
Sıcak Kalıplama (prepreg)	Kitlesele Üretim	2 ila 5 dakika	Yüksek	Düşük
Yüksek Basınçlı Enjeksiyon	> 10.000	-	Yüksek	Düşük
Otoklav	< 5000	-	Orta	Orta
Filament Sarma	< 10.000	Parçaya göre değişken	Yüksek	Yüksek
Santrifüj Kalıplama		10 dakika ila birkaç saat	Yüksek	Düşük
Pultrüzyon	Sürekli	Sürekli	Yüksek	Düşük
Sürekli Emdirme	Sürekli	Sürekli	Yüksek	Düşük
Ekstrüzyon	Sürekli	Sürekli	Orta	Orta

Çizelge 4.2. Parça boyutları, örnek kullanım alanları ve üretim yöntemleri (Biron, 2007)

Üretim Yöntemi	Parça Boyutu, maksimum alan (m ²)	Kalınlık (mm)	Örnek Kullanım	Yüzey Pürüzsüzlüğü
El yatırma	Neredeyse Sınırsız, < 300	Sınırsız, genellikle 2 - 10	Denizcilik	1
Püskürtme	Neredeyse Sınırsız	Sınırsız, genellikle 2 - 10	Denizcilik	1
Matris Enjeksiyon	15m ² 'ye kadar	1 - 10	Otomotiv Gövde Elemanı	2
Soğuk Kalıplama	15m ² 'ye kadar	3 - 10	Otomotiv Gövde Elemanı	2
Sıcak Kalıplama (keçe ve ön şekillendirme)	5m ² 'ye kadar	1 - 16	Otomotiv Gövde Elemanı	2
Sıcak Kalıplama (prepreg)	5m ² 'ye kadar	2 - 10	Otomotiv Gövde Elemanı	2
Yüksek Basınçlı Enjeksiyon	10m ² 'ye kadar		Elektrik Elektronik Parçalar	2
Santrifüj	30m ² 'ye kadar	3 - 15	Boru, Tüp	1
Otoklav	20m ² 'ye kadar		Havacılık	
Filament Sarma	5 cm - 25 metre arası özel ekipmanlar	1 - 10	Basınç Tankı	1
Pultrüzyon	Limitli kesit	3 - 20	Profil	Tümü
Sürekli Emdirme	Limitli kesit	1 - 4	Çatı Malzemesi	2
Ekstrüzyon	Limitli kesit	3 - 20	Levha, lif	Tümü

5.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Konuyla alakalı daha önce yapılmış olan çalışmalarda doğrudan PVC kaplı cam elyaf takviyeli filament kompozit malzeme üretimiyle alakalı akademik bir çalışma olmamakla birlikte, elyaf (karbon, cam, doğal elyaflar vb.) takviyeli termoset ve termoplastik matrisli kompozit malzemelerin üretimi ve özellikleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Literatür taraması yaparken, polimer matrisli kompozit üretiminde matris elemanı olarak termoset matrislerin termoplastiklere göre daha yaygın kullanıldığı görülmüştür. Fakat son yıllarda geri dönüşüm, daha yüksek sıcaklıklara dayanım gibi özelliklerinden dolayı termoplastik matrisli kompozit malzemeler üzerine çalışmalar ön plana çıkmaktadır.

Zhang ve ark. (2010), Şangay Expo binasının merkezi eksen çatısında kullanılan PTFE (Politetrafloretillen) kaplamalı kumaşların mekanik özellikleri üzerinde çalışmışlardır. Eksenel olmayan ve çift eksenli çekme testlerinden oluşan gruplar oluşturup, hasar mekanizmaları ve dayanım kriterleri üzerine çalışmışlardır. Ayrıca sıcaklığın mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. PTFE kumaşların tipik olarak ortotropik olduklarını, farklı eğilim açılarında (bias angle) numuneler keserek fiber yönlendirmelerinden uzaklaştıkça artan eğilim açısıyla, çekme dayanımının gitgide azalırken kopma dayanımının arttığı bulmuşlardır. Farklı şekil değiştirme hızlarında gerilme / gerinim eğrileri çizilerek artan şekil değiştirme hızıyla çekme dayanımının arttığı sonucuna varmışlardır. 45° 'lik numune de çekme dayanımı en düşük (75MPa), kopma dayanımı en yüksek çıkmıştır.

Boeman ve ark. (2004) fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde şekil değiştirme hızının etkilerini araştırmak için kompozit malzemelerin eğilme, basma, kayma dayanımları üzerinde şekil değiştime hızının etkileri üzerinde geçmişte yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Üretim kolaylığının yanı sıra üretimlerindeki düşük maliyetten dolayı büyük ölçüde yük taşıyıcı mühendislik ve endüstriyel alanlarda geniş kullanım alanı bulan kompozit malzemeler hakkında yeterli çalışmalar yapılmadığını, çalışmaların artırılması gerektiğini savunmuşlardır.

Herrera-Franco ve Valadez- Ganzalez (2003) sürekli henequen liflerle (Agave fourcroydes) takviye edilmiş yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) mekanik davranış

üzerinde çalışmışlardır. Silan bağlayıcı ajanı ve alkali işlemleri ile matris takviye elemanı arasındaki yapışmayı incelemişlerdir. Silan bağlayıcı ajanının kimyasal bir etkileşimi gerçekleştirmek için kullanılmasının, fiber matris yapışmasının derecesini geliştirdiğini ancak kompozitin mukavemetinin ve sertliğinin, fiber üzerinde biriktirilen silan miktarına bağlı olduğu bulunmuştur. Max. çekme dayanımının ağırlıkça 0.015% silan bağlayıcı ajanıyla sağlandığını, bu oranın üzerine çıkıldıkça çekme dayanımının azaldığını bulmuşlardır. Boyuna çekme dayanımının silan ajanı kullanılarak 71.8 MPa'dan 79.3 MPa'ya (yani % 10'luk bir artış) yükselirken; enine çekme dayanımının ise 2.75 MPa 'dan 3.95 MPa (yani 43% lük bir artış) yükseldiğini bulmuşlardır.

Chen ve ark. (2006), polyamide 66/polifenilen sülfid karışımı matrisin, sırasıyla % 5, % 10, %20 ve %30 gibi farklı cam elyaf hacim oranlarında mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Maksimum çekme dayanımı % 30 (yaklaşık 130MPa), maksimum eğilme dayanımı % 20 elyaf hacim oranında (yaklaşık 170MPa) bulmuşlardır. En yüksek darbe dayanımı ise % 0 elyaf hacim oranında bulunmuştur (fiber, matris birleşimi kompozit malzemelere kıyasla).

Torabizadeh (2013), tek yönlü cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin statik ve düşük sıcaklık (25 ° C, -20 ° C, -60 ° C) koşullarında basma, çekme ve düzlem içi kayma davranışlarını incelemiştir. Çekme testi sonuçları gerilme-şekil değiştirme eğrisinin artan sıcaklıkla azaldığını göstermiştir. 60 °C' de maksimum çekme mukavemetini (784.94MPa), young modülünü (28.65MPa), basma mukavemetini (186.22 MPa) ve kayma mukavemetini (1.33x 10⁻⁸ MPa) bulmuştur.

Khondker ve ark. (2005), doğal ve işlenmiş halde olan jüt ipliklerini, metalik çerçeveler üzerine tabakalar halinde sardıktan sonra polipropilen filmleri bu tabakalar arasına yerleştirerek; 140, 150 ve 160°C sıcaklık ve 2MPa sabit basınçta presli kalıplama işlemi yapmışlardır. 3 nokta eğilme ve çekme deneyleri yapılarak mekanik özellikleri incelemişler, optik ve elektron mikroskobu ile malzeme görüntülerini almışlardır. Polipropilene ağırlıkça 50% doğal jüt takviye ederek elde edilen kompozit malzemenin takviye edilmemiş polipropilene göre çekme mukavemeti, çekme modülü ve eğilme dayanımının sırasıyla % 285, % 388 ve 190% oranında arttığını bulmuşlardır.

Lee ve ark. (2017), çalışmalarında cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde, soğutma hızının etkisini incelemişlerdir. Çekme dayanımının, artan soğutma hızlarında cam elyafla polipropilen arasındaki yetersiz yapışmadan dolayı azaldığını belirtmişlerdir. Ancak cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit malzemenin kırılma tokluğu, tabakalar arası kayma dayanımı ve darbe özelliklerinin ise artan soğutma hızı ile çok fazla arttığını bulmuşlardır.

Özer (2015) tez çalışmasında, termoplastik kompozit olarak polietilen, polipropilen ve poliamid kullanıp, takviye elemanı olarak da cam elyaf kullanarak laminasyon tekniği ile kompozit malzeme üretmiştir. Elde edilen kompozit plakaları ASTM standartlarına göre keserek çekme, basma, kayma, üç nokta eğilme ve çentik darbe testleri yapmıştır. Polyamid matrisli cam elyaf kompozit malzemenin en yüksek çekme (231MPa) ve kayma gerilmesine (70.59MPa), Polipropilen matrisli termoplastik kompozit malzemenin ise en yüksek basma gerilmesine (142,7 MPa) sahip olduğunu belirtmiştir.

İpek (2011) , yüksek lisans tez çalışmasında ağırlıkça % 50 oranında cam elyaf ve polyamid kullanarak polyamid matrisli cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Artan sıcaklık ve basınç ile kompozit malzemelerin mekanik özelliğinin arttığı ve artan sıcaklıkla matris malzemesi ile cam elyafın daha iyi ıslandığını gözlemlemiştir. Sabit sıcaklıkta artan presleme basıncının mekanik özellikleri arttırmada belli bir presleme basıncından sonra önemli bir değişiklik yapmadığı belirtmiştir. Cam elyaf takviyeli döküm polyamid kompozit malzemeler için en uygun çalışma sıcaklık ve presleme basıncının 300 °C ve 20 MPa olduğunu belirtmiştir.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Üretilen kompozit malzemenin üretim şekli hakkında genel bir bilgi verilip, daha sonra alt başlıklar altında işlem süreçleri daha detaylı anlatılacaktır.

Bu çalışmada, 30mm mil çaplı ekstrüzyon makinasının haznesine granül şeklinde konulan PVC, 60dev/dk hızla birinci kısımda 150 °C , ikinci kısımda 162 °C ve T kafa da 173 °C sıcaklığa ayarlanmış bölmelerden geçerek erimiş şekilde ilerleyen ilerleyen malzeme, T kafa bölümünde bir nozuldan beslenen cam elyaf filament ile karşılaşarak ekstrüderden çıkar. T kafada kullanılan kalıplar cam elyafın üzerini PVC kaplayacak şekilde ayarlanabilir şekildedir. PVC kaplanmış olarak ekstrüderden çıkan cam elyaf filament, soğutma haznesinin içinden geçirilerek sarma hızı 44dev/dk olan iplik çekme aparatı yardımıyla makaralara sarılmıştır. Daha sonra üretilen bu filamentler hem düz dokuma yöntemi ile dokunarak hem de tek yönlü (unidirectional) olarak yönlendirilerek hazırlanmış ve 165°C, 2.5 MPa basınçta preslenmiştir. Üretilen kompozit levhalarda matris ve takviye elemanının dağılım morfolojilerini, arafaz bölgeyi gözlemleyebilmek için HARDWAY marka optik mikroskop ve LECIA marka stereo mikroskoplar kullanılarak mikro yapı ve yüzey görüntüleri alınmıştır. ASTM 3039 standartına göre hazırlanan numunelere SHIMADZU AGS-X marka çekme test cihazı kullanılarak çekme testi yapılmıştır. Hem düz dokuma hem de tek yönlü filament yönlendirmede elde edilen mikro yapı ve çekme deneylerinden elde edilen çekme dayanımı/ gerinim, kuvvet/ yer değiştirme diyagramları ile üretilen kompozit malzemelerin davranışları incelenmiştir.

6.1. Malzeme Özellikleri

Yapılan bu çalışma kapsamında polimer matrisli kompozit malzemelerin üretimine yönelik olarak, matris ve takviye malzemesi olarak sırasıyla PVC ve cam elyaf deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak kullanan PVC PETKİM firmasından, takviye malzemesi cam elyaf malzemesi ŞİŞECAM firmasından temin edilmiş ve bu malzemelerin ticari ve mekanik özellikleri ise Çizelge 6.1 ve 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. WR300Tex cam elyafın kalınlık ve ticari özellikleri

Cam Tipi	E
Fitel Teksi (g/1000m)	300 ± %7
Elyaf Çapı (μ)	nom. 14
Nem Miktarı (%)	max . 0,1
Bağlayıcı Miktarı (%)	0,55 ± 0,15
Bağlayıcı Türü	Silan
Reçine Uyumu	Polyester , Vinylester , Epoxy
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.54
Çekme Dayanımı (MPa)	3448

Çizelge 6.2. Granül EN 43 PVC'nin spesifik değerleri

Özellikler (Birim)	Değerler	Test Metotları
Sipesifik ağırlık (g/cm ³)	1,28	ASTM D 792
Sertlik (SHORE A)	85	ICI SOLVIC PCC152
Kopmada gerilme direnci (MPa)	13.52	ICISOLVIC PCC 160/67
% Uzamada direnci (MPa)	4.78	ICISOLVIC PCC 160/67
Erime (°C)	95	TEMPERATURE
Kopmada uzama (%)	200	ICISOLVIC PCC 160/67

6.2. Filament Üretimi

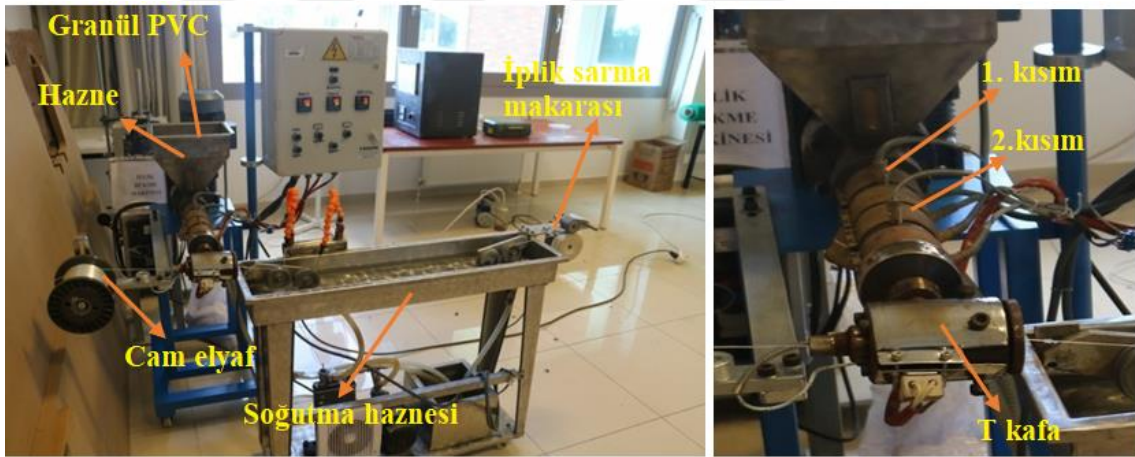
Kompozit malzeme üretimini gerçekleştirmek için Granül şeklinde ekstrüder haznesine yerleştirilen EN 43 PVC malzeme, 60dev /dk hızda ve birinci kısım sıcaklık 150 C°, ikinci kısım sıcaklığı 162 C° ve T kafa sıcaklığı ise 173 C° sıcaklıklarda ısıtılıp, bu sıcaklıklar sabitlenerek PVC'nin ekstürüde ilerlerken erimesi sağlanmıştır. Ekstrüderden erimiş halde gelen PVC malzeme özel kalıplardan geçirilerek silan bazlı cam elyafın üzerini kaplamıştır. Kaplanmış olan cam elyaf soğutma haznesinin içinden geçirilerek sarma hızı 44dev / dk olan makaraya sarılmıştır (Şekil 6.1). Üretilen filament kalınlığı 1.6 mm' dir.

İlk olarak nişasta bazlı cam elyafı ile üretim gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Fakat üretim aşamasında cam elyafın üzerinin PVC ile kaplanması sağlanamamıştır. Nişasta

bazından dolayı PVC, elyafın üzerinden sıyrılarak çıkmıştır, elyafa tutunamamıştır. Daha sonra silan bazlı cam elyaf kullanılmış ve PVC ile silan baz arasında uyum sağlandığından dolayı PVC cam elyafa tutunmuş ve PVC kaplı cam elyaf üretilmiştir.

Ekstrüder cihazında 1.kısım, 2.kısım ve T kafa sıcaklıkları belirlenirken literatürde PVC için uygulanan sıcaklıklar dikkate alınmıştır. PVC'nin kovan içinde yanmadan eriyerek ilerlemesini sağlayan yukarıda bahsettiğimiz 1. 2 ve T kafa sıcaklıkları, farklı sıcaklık değerleri denenerek belirlenmiştir.

Elyafın üzerini PVC ile kaplayabilmek için ekstrüder cihazının T kafa olarak bahsettiğimiz bölümü tasarlanarak imal ettirilmiştir. Ve bu T kafanın iç kısmında (PVC ile elyafın bulunduğu bölgede) PVC tarafından elyafın kaplanmasını sağlamak için kalıplar üretilmiştir.



Şekil 6.1. PVC kaplı cam elyaf filament üretimi



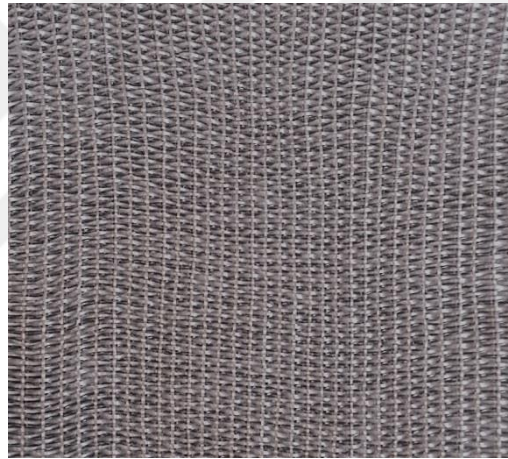
Şekil 6.2. Üretilen PVC kaplı cam elyaf filament malzeme

6.3. Filamentin Dokunması

Makaraya sarılmış PVC kaplı cam elyaf filament düz dokuma yöntemiyle klasik dokuma tezgahında, 2.5x2.5 cm'de 7 çözgü / 19 atkı olacak şekilde dokunmuştur. Dokunmuş kumaş ve dokuma özellikleri sırasıyla Çizelge 6.3 ve Şekil 6.3'de görülmektedir.

Çizelge 6.3. Dokunmuş kumaşın özellikleri

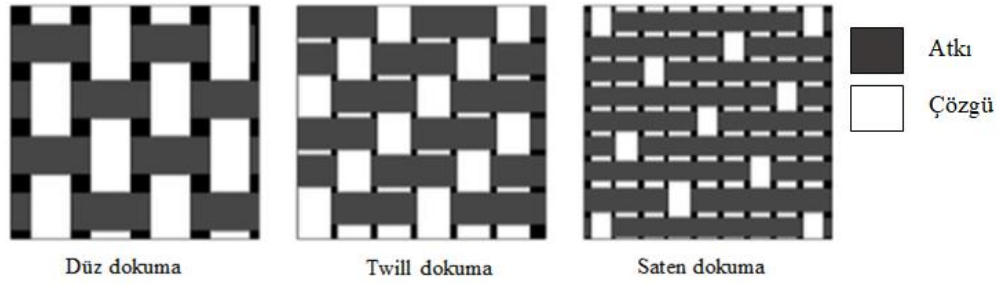
PVC/ Cam Elyaf	2.5x2.5' cm de 7 çözgü / 19 atkı
Örgü Tipi	Düz dokuma
Gramaj	2575 gr/m ²
Filament Çapı	1.6 mm



Şekil 6.3. Dokuma tezgahında dokunmuş PVC kaplı cam elyaf filament

6.3.1. Dokuma ve çeşitleri

Dokumada atkı ve çözgü olmak üzere iki temel bileşenden vardır. Çözgü; dokuma yapılan kumaşın uzunluğunu belirleyen, içlerinden atkılarının geçirildiği ipliklerdir. Atkı ise enine olarak çözgülerin arasından geçerek dokuma yüzeyini oluşturan ipliklerdir. Dokuma çeşitleri Şekil 6.4'te gösterilmiştir. En yaygın kullanılan düz (plain) dokumadır. Düz dokumalarda atkı çözgünün bir altından bir üstünden geçirilerek dokuma yapılır. Atkılarının çözgülerin altından ve üstünden geçirilme sıklığına veya genişliğine göre diğer dokuma çeşitleri (twill, saten vb.) oluşturulur.



Şekil 6.4. Dokuma çeşitleri (Anonim)

6.4. Filamentin Tek Yönlü Yönlendirilmesi (Unidirectional)

Üretilen filament 200x200x2mm' lik kalıba tek yönde yönlendirilerek, iplik sarma cihazı yardımıyla sarılmıştır (Şekil 6.5).

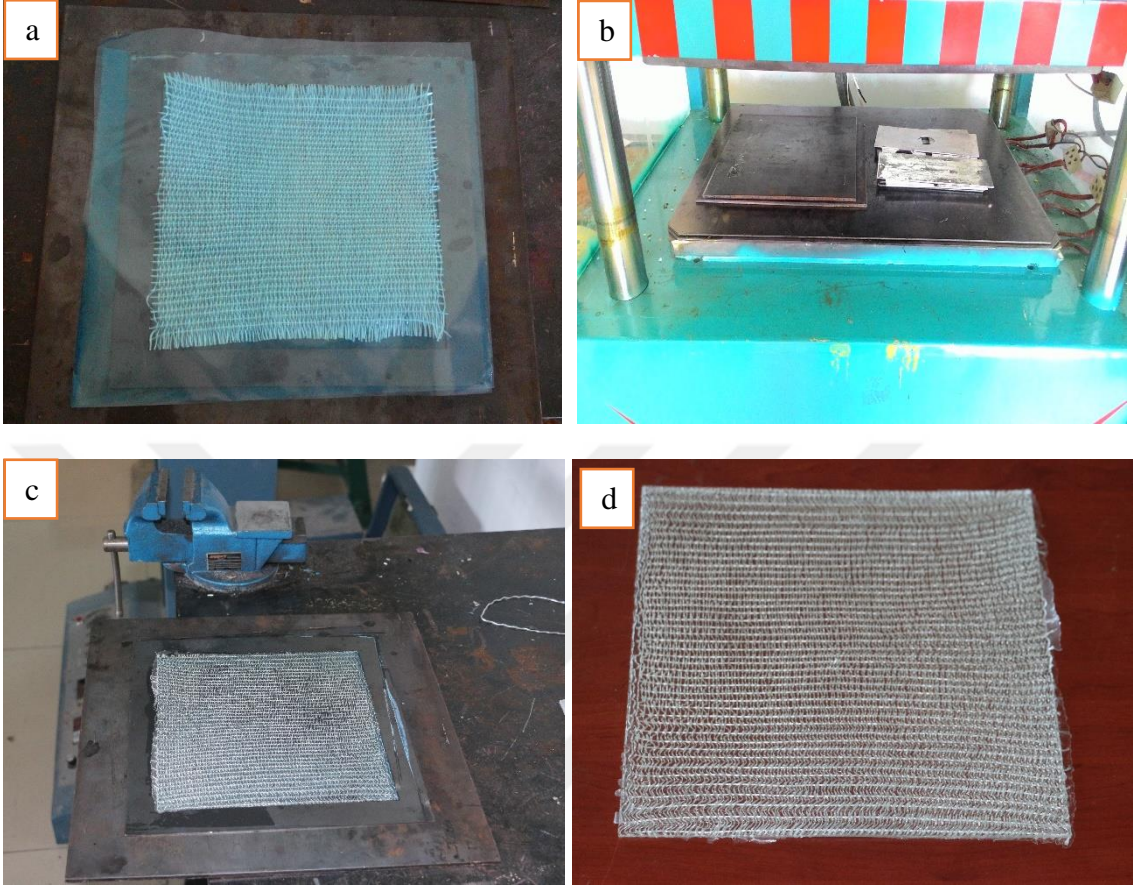


Şekil 6.5. Tek yönlü yönlendirilmiş filament

6.5. Dokunmuş ve Tek Yönlü Yönlendirilmiş Filamentin Preslenmesi

Dokuma ve tek yönlü yönlendirilmiş PVC kaplı cam elyaf filament, 200*200*2 mm boyutundaki kalıba göre kesilip kalıp içine yerleştirilmiştir. Kumaş kalıba yerleştirilirken kumaşın iki yüzeyi de 300 C° sıcaklığa dayanabilen naylon ile kapatılmıştır (Şekil 6.6a). Bunu yapmaktaki amaç presleme işleminden sonra pürüzsüz bir yüzey elde edebilmektir. Preslemek için hazır olan malzeme camsı geçiş sıcaklığı olan 60°C ısıtılıp basınçsız olarak 15 dakika boyunca ön ısıtma da, daha sonra 165 °C ve 2.5Mpa basınçta 1 saat boyunca tutulmuştur (Şekil 6.6b). Soğutma esnasında camsı

geçiş sıcaklığı olan 60°C ye kadar basınçlı 45 dk bekletilmiştir. Daha sonra prestren çıkarılarak oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır (Şekil 6.6c).



Şekil 6.6. Dokuma ve tek yönlü yönlendirilerek üretilen kompozit malzemenin üretim süreci; a) Kalıba yerleştirme, b) Pres, c) Kalıptan çıkartma, d) Kompozit malzeme



Şekil 6.7. Pres cihazı

Dokunduktan sonra preslenerek üretilen kompozit malzeme gibi tek yönlü yönlendirilmiş filamentlere de yukarıdaki işlemlerin aynısı yapılarak preslenmiştir ve kompozit levha şeklinde üretilmiştir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8. Pres işleminden sonra tek yönlü yönlendirilerek üretilen kompozit malzeme

Üretilen kompozit malzemelerin matris ve takviye elemanı arasındaki mikroyapı morfolojilerini, kararlılık durumunu gözlemleyebilmek için, Hardway ve Leica marka optik mikroskop kullanılmıştır. Ayrıca ASTM D 3039 standartına göre hem dokunmuş kompozit malzemedan hem de tek yönlü yönlendirilmiş malzemedan numuneler kesilerek çekme testi yapılmış ve bu testten elde edilen çekme dayanımı/birim şekil değiştirme, kuvvet/uzama grafikleri çıkarılarak malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir.

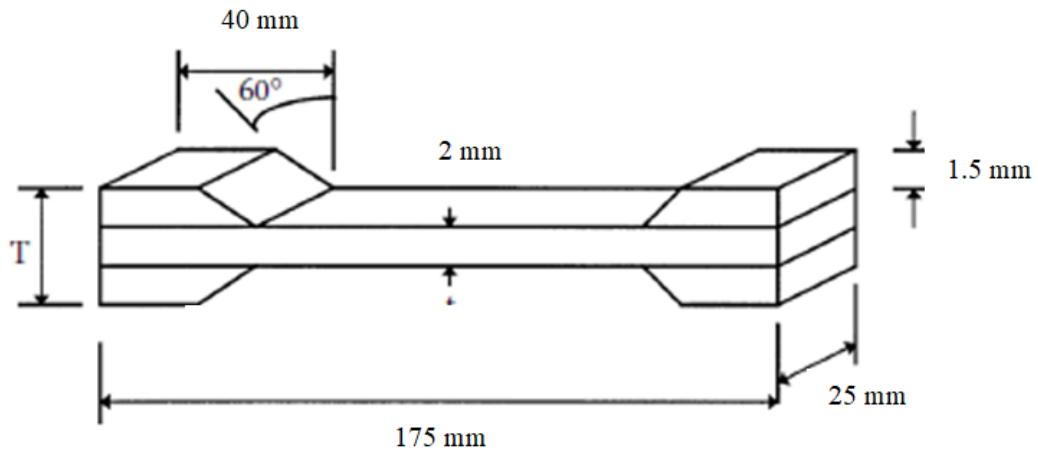
6.6. Mekanik Deneyler ve Mikroskop Görüntüleri

Üretilen kompozit levhalara uygulanacak olan çekme deneyi için ASTM D3039 standartlarına uygun olarak numuneler kesilerek, deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerin mikroyapı ve yüzey görüntüleri alınmıştır.

6.6.1. Çekme deneyi

Üretilen kompozit malzemedan; dokuma ile üretilen malzemedan 3 adet atkı, 3 adet çözgü yönünde numune ve tek yönlü yönlendirme ile üretilen kompozit malzemedan 3 adet numune yönlendirme yönünde çekilmek üzere, ASTM D3039

standartına uygun olarak kesilmiştir. Çekme numuneleri Şekil 6.9'da gösterilen ölçülerde hazırlanmıştır.



Şekil 6.9. ASTM D3039 standartına göre çekme testi yapılan polimer matrisli kompozit numune ölçüleri (ASTM D3039, 2017)

Numunelere 100 kN kapasiteli SHIMADZU AGS-X cihazında ASTM D 3039'a uygun olarak 5mm/dak'lık çekme hızı altında çekme testleri yapılmıştır. Cihaza bağlı olan program destekli bilgisayar sayesinde de deney sonuçları kaydedilmiş ve bu verilerden grafikler çizilmiştir.



Şekil 6.10. Çekme cihazı ve deney düzeneği

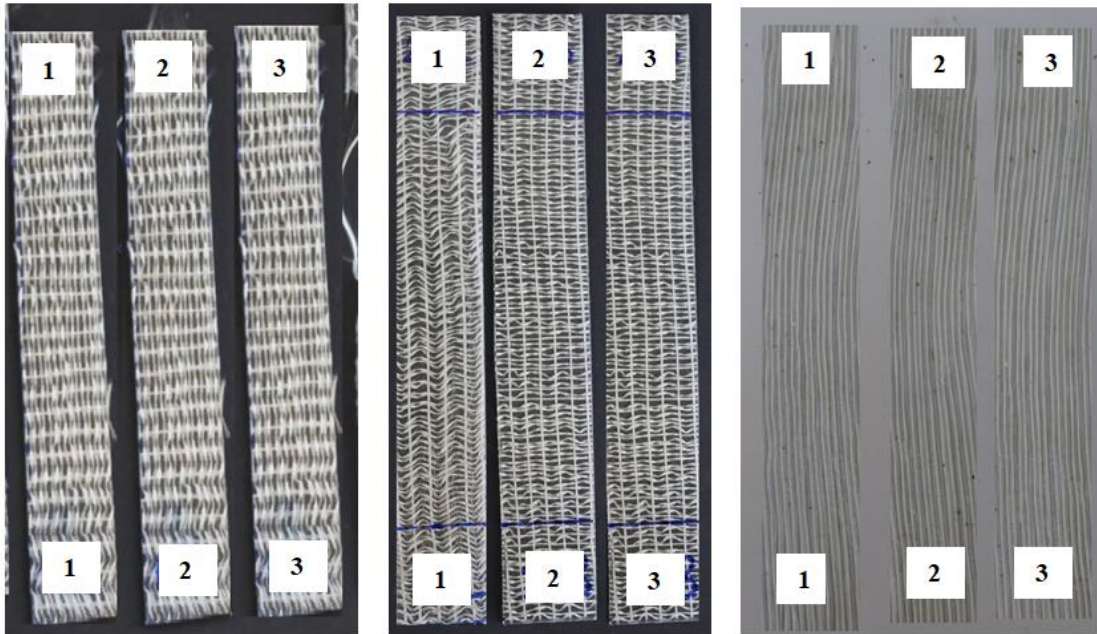
Çizelge 6.4. Dokunarak üretilen kompozit malzemeden kesilen çekme test numuneleri (3 adet atkı-3 adet çözgü yönü)

Numuneler	Çekme Yönü	Boy(mm)	Genişlik(mm)	Kalınlık(mm)	Çekme hızı (mm/dak)
1	Atkı	175	25	2	5
2	Atkı	175	25	2	5
3	Atkı	175	25	2	5

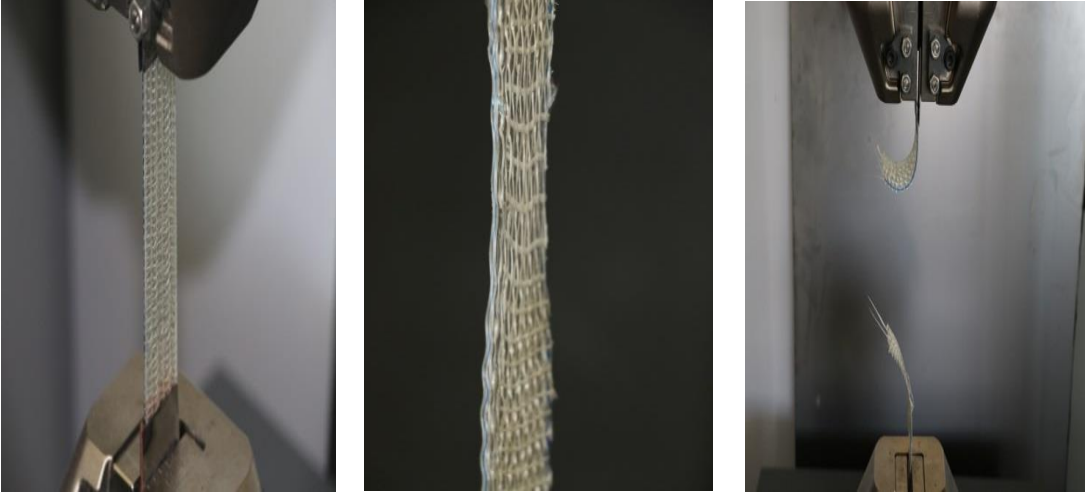
Numuneler	Çekme Yönü	Boy(mm)	Genişlik(mm)	Kalınlık(mm)	Çekme hızı (mm/dak)
1	Çözgü	175	25	2	5
2	Çözgü	175	25	2	5
3	Çözgü	175	25	2	5

Çizelge 6.5. Tek yönlü yönlendirilerek üretilen kompozit malzemeden kesilen çekme test numuneleri

Numuneler	Çekme Yönü	Boy(mm)	Genişlik(mm)	Kalınlık(mm)	Çekme hızı(mm/dak)
1	Yönlendirme yönü	175	25	2	5
2	Yönlendirme yönü	175	25	2	5
3	Yönlendirme yönü	175	25	2	5



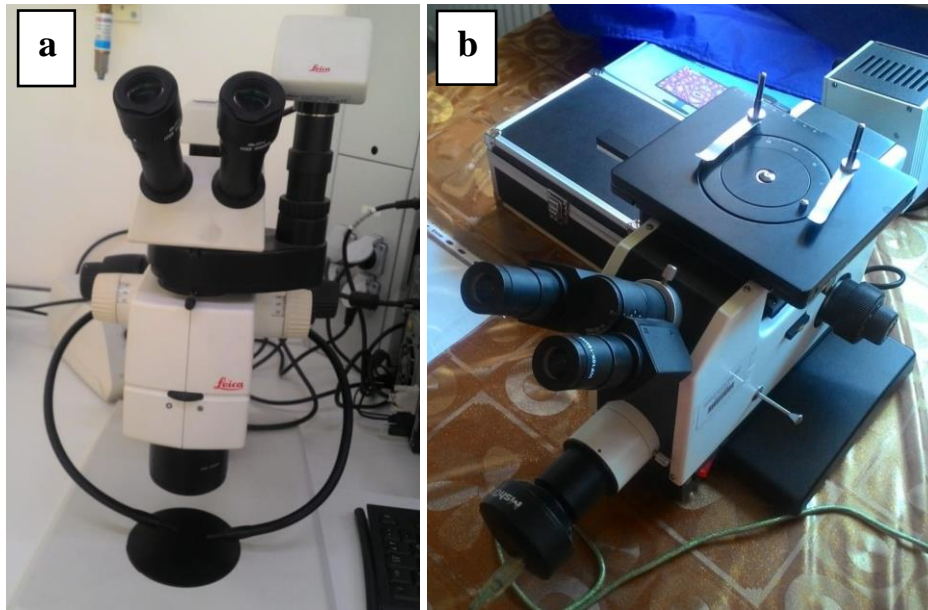
Şekil 6.11. Çekme testi için; a) atkı yönü b) çözgü yönü c) tek yönlü hazırlanan numuneler



Şekil 6.12. Kompozit numuneler için çekme test süreci

6.6.2. Mikroskop görüntüleri

Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi malzeme ve metalürji bölümü laboratuvarında bulunan mikroskoplar, takviye ve matris elemanlarının dağılım morfolojilerini incelemek için kullanılmıştır. Üretilen PVC kaplı cam elyaf filamentten dokuma ve tek yönlü yönlendirilerek üretilen kompozit numunelerin, Hardway marka optik mikroskop kullanılarak mikroyapı görüntüleri (100x) büyütme oranında ve Leica-BM2500 Stereo+upright Mikroskop kullanılarak yüzey görüntüleri (25x) büyütme oranında elde edilmiştir. İncelemeler sonucunda cam elyaf ile PVC ara yüzeyi arasındaki etkileşim, PVC'nin takviye elemanı ile bağlanabilirliği ve PVC cam elyafın birbirleri içinde dağılımları hakkında bilgi sağlanmıştır.



Şekil 6.13. Leice ve Hardway marka mikroskoplar a) Stereo b) Optik

6.7. Hacim ve Kütle Oranları, Yoğunluk ve Boşluk Miktarları ve Elastisite Modülünün Hesaplanması

Kompozit malzemeler içinde fiber hacim ve ağırlık oranı oldukça önemlidir. Çünkü fiber oranları kompozit malzemenin özelliklerini belirler (mekanik, ısı, yalıtım vb). Matris/ fiber oranları hesaplamalarında (6.1)'den (6.21)'e kadar verilen formüller kullanılmıştır.

6.7.1. Hacim oranları hesabı

Fiber ve matris elemanında oluşan bir kompozit malzeme için aşağıdaki sembolik ifadeler kabul edilsin (Kaw, 2014).

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

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

Fiber hacim oranı V_f ve matris hacim oranı V_m ile gösterilirse,

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} ,$$

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (6.1)$$

Hacim oranları toplamı,

$$V_f + V_m = 1$$

Denklem (6.1) 'den

$$v_f + v_m = v_c$$

6.7.2. Kütle oranları hesabı

Kompozit malzeme için aşağıdaki sembolik gösterimleri kabul edelim.

$W_{c,f,m}$ = sırasıyla kompozit, fiber ve matris kütlesi.

Fiberlerin kütle oranı W_f ve matris kütle oranı W_m ile gösterilirse,

$$W_f = \frac{w_f}{w_c},$$

$$W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad (6.2)$$

Kütle oranları toplamı,

$$W_f + W_m = 1$$

Denklem (6.2)' den

$$W_f + W_m = W_c$$

Tek bir malzeme yoğunluğu tanımından,

$$\begin{aligned}
W_c &= \rho_c v_c, \\
W_f &= \rho_f v_f, \\
W_m &= \rho_m v_m
\end{aligned}
\tag{6.3}$$

Denklem (6.3), denklem (6.2) de yerine konursa fiber ve matris hacim oranları cinsinden, kütle ve hacim oranları aşağıdaki denklemler gibi yazılabilir (Kaw, 2014).

$$\begin{aligned}
W_f &= \frac{\rho_f}{\rho_c} V_f, \\
W_m &= \frac{\rho_m}{\rho_c} V_m
\end{aligned}
\tag{6.4}$$

Kütle ve hacim oranları, her bir bileşenin özelliği cinsinden gösterilecek olursa;

$$\begin{aligned}
W_f &= \frac{\frac{\rho_f}{\rho_c}}{\frac{\rho_f}{\rho_m} V_m} V_f \\
W_f &= \frac{1}{\frac{\rho_f}{\rho_m} (1 - V_m) + V_m} V_f
\end{aligned}
\tag{6.5}$$

Bu çalışmada ASTM D3171-15 standartına göre üretilen kompozit malzemeye yakma (burning) yöntemi uygulanarak elyaf/matris ağırlık oranları hesaplanmıştır (Şekil 6.16).

6.7.3. Yoğunluk hesabı

Hacim oranlarından kompozit yoğunluğu denkleminin türetilmesi aşağıdaki gibidir (Kaw, 2014).

$$W_c = W_f + W_m \tag{6.6}$$

Denklem (6.3) denklem (6.6) da yerine yazılırsa,

$$\rho_c v_c = \rho_f v_f + \rho_m v_m$$

$$\rho_c = \rho_f \frac{v_f}{v_c} + \rho_m \frac{v_m}{v_c} \quad (6.7)$$

Denklem (6.1)'de belirtilen hacim oranını (6.7)'de yerine yazarsak,

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (6.8)$$

Kompozit hacmi,

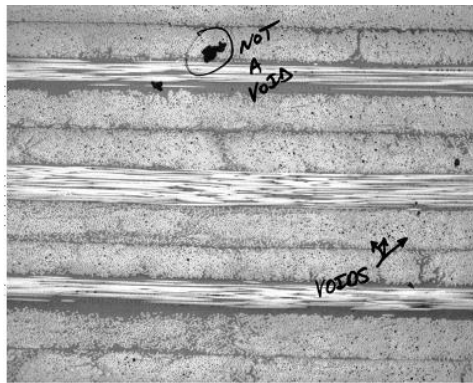
$$v_c = v_f + v_m \quad (6.9)$$

Kütle oranları cinsinden kompozit yoğunluğu aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{1}{\rho_c} = \frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_m}{\rho_m} \quad (6.10)$$

6.7.4. Boşluk miktarı hesabı

Kompozit malzemelerin üretiminde iç kısımlarda boşluklar meydana gelebilir. Bu da teorik malzeme yoğunluğunun, gerçekte olan malzeme yoğunluğundan fazla çıkmasına sebep olur. Ayrıca bu boşluklar kompozit malzemenin homojen yapısını bozarken mekanik dayanımını da azaltır.



Şekil 6.14. Boşluklu kompozitin kesit görüntüsü (Kaw 2006)

Kompozit yapılarda meydana gelebilecek boşluklar aşağıda verilen özelliklerin değerlerini düşürmektedir (Kaw, 2014).

- Kayma dayanımı
- Basma dayanımı
- Enine çekme dayanımı
- Yorulma direnci
- Korozyon direnci

Belirli bir boşluk hacmi v_v 'ye sahip kompozitler için boşluk hacim oranı V_v aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$V_v = \frac{v_v}{v_c} \quad (6.11)$$

Boşluklu kompozitin toplam hacmi (v_c)

$$v_c = v_f + v_m + v_v$$

(6.12)

Kompozitin deneysel yoğunluğu ρ_{ce} ile gösterilirse kompozitin gerçek hacmi,

$$v_c = \frac{w_c}{\rho_{ce}}$$

(6.13)

ve teorik yoğunluk ρ_{ct} ile gösterilirse kompozitin teorik hacmi,

$$v_f + v_m = \frac{w_c}{\rho_{ct}}$$

(6.14)

(6.13) ve (6.14) ifadeleri denklem (6.12)'de yerine yazılırsa,

$$\frac{w_c}{\rho_{ce}} = \frac{w_c}{\rho_{ct}} + v_v$$

Boşluk hacmi aşağıdaki eşitlikle bulunur:

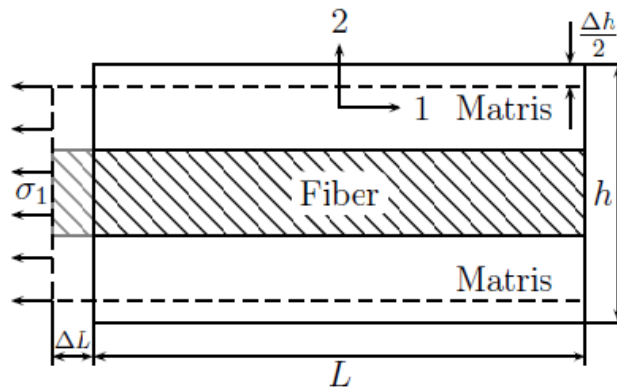
$$v_v = \frac{w_c}{\rho_{ce}} \left(\frac{\rho_{ct} - \rho_{ce}}{\rho_{ct}} \right) \quad (6.15)$$

Denklem (6.13) ve (6.15), denklem (6.11)'de yerine yazılırsa boşluk hacim oranı aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$V_v = \frac{\rho_{ct} - \rho_{ce}}{\rho_{ct}} \quad (6.16)$$

6.7.5. Elastiklik modülü E1' in hesaplanması

Kompozit malzemeye fiber doğrultusunda σ_1 gerilmesi uygulandığı kabul edilirse, kompozit malzemeyi oluşturan matris ve takviye elemanları aynı miktarda şekil değiştirmeye (ϵ_1) sahip olurlar (Şekil 6.15), (Tümer, 2013).



Şekil 6.15. Kompozit malzemede gerilmenin takviye doğrultusunda uygulanması (Tümer, 2013)

Kompozit malzemeye etki eden F_c yükü, fiber ve matris tarafından (F_f ve F_m) paylaşılır ve aralarındaki ilişki,

$$F_c = F_f + F_m \quad (6.17)$$

dir. Gerilmeler ve kesit alanına bağılı olarak matris, fiber ve kompozit tarafından taşınan yükler yazılırsa:

$$\begin{aligned} F_c &= \sigma_c A_c, \\ F_f &= \sigma_f A_f, \\ F_m &= \sigma_m A_m \end{aligned} \quad (6.18)$$

burada,

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

$A_{c, f, m}$ = sırasıyla kompozit, fiber ve matristeki alanlar

Fiber, matris ve kompozit için Hooke Kanununun geçerli olduğunu kabul edersek ve fiber ile matrisin izotropik olduğu kabul edilerek her bileşen ve kompozit için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları,

$$\begin{aligned} \sigma_c &= E_1 \varepsilon_c, \\ \sigma_m &= E_m \varepsilon_m, \\ \sigma_f &= E_f \varepsilon_f \end{aligned} \quad (6.19)$$

yazılır. Burada,

$\varepsilon_{c, f, m}$ = sırasıyla kompozit, fiber ve matristeki şekil değiştirmeler

$E_{c, f, m}$ = sırasıyla kompozit, fiber ve matristeki elastisite modülleri

Denklem (6.18) ve denklem (6.19), denklem (6.17)'de yazılırsa,

$$E_1 \varepsilon_c A_c = E_f \varepsilon_f A_f + E_m \varepsilon_m A_m \quad (6.20)$$

bulunur. Kompozit, fiber ve matristeki şekil değiştirmeler eşit olduğundan ($\varepsilon_c = \varepsilon_f = \varepsilon_m$).

Bu durumda denklem (6.20) 'den,

$$E_1 = E_f \frac{A_f}{A_c} + E_m \frac{A_m}{A_c} ,$$

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (6.21)$$

yazılır.

Numune	Elyaf hacim oranı (%)	Matris hacim oranı (%)	Elyaf ağırlık oranı (%)	Elastisite Modülü E1(atkı)/E2(çözgü) (MPa)	Yoğunluk (g/cm ³)
PVC kaplı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme	8.68	91.32	17.14	427/ 527	1.38

Şekil 6.16. Yakma yöntemine göre elyaf/matris hacim ve ağırlık oranları (ASTM D3171-15)

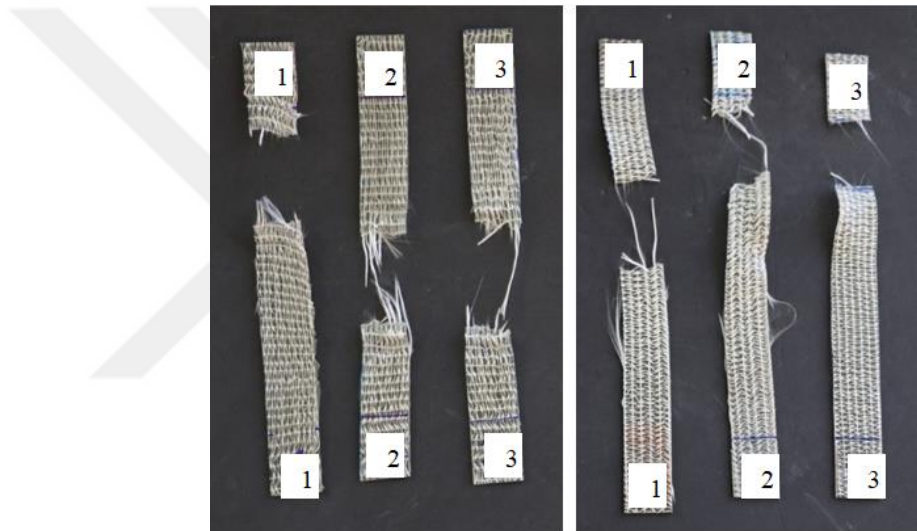


7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

7.1. Çekme Deneyi Bulguları

7.1.1. Dokuma termoplastik kompozit

Şekil 7.1’de çekme testinden sonra numunelerin görüntüsü ve kopma bölgeleri gösterilmiştir. Atkı ve çözgü yönündeki numunelerin çekme deneyleri sonucu elde edilen gerilme- birim şekil değiştirme ve kuvvet-uzama grafikleri ise Şekil 7.3, 7.4, 7.5 ve 7.6’da verilmiştir.



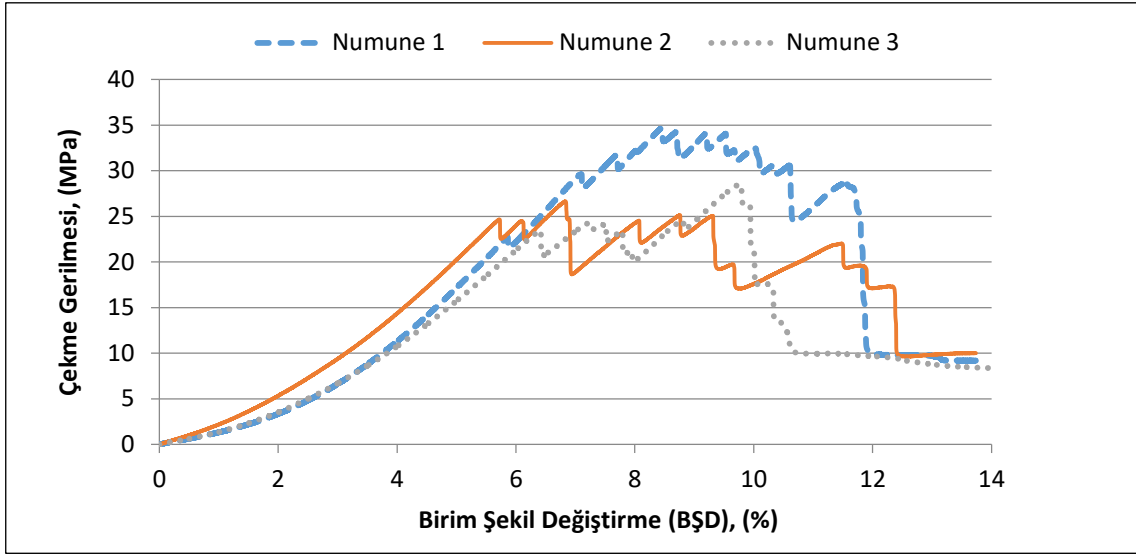
Şekil 7.1. Çekme testinden sonra numuneler; a) atkı yönü b) çözgü yönü

Çizelge 7.1. Atkı yönünde çekme test sonuçları

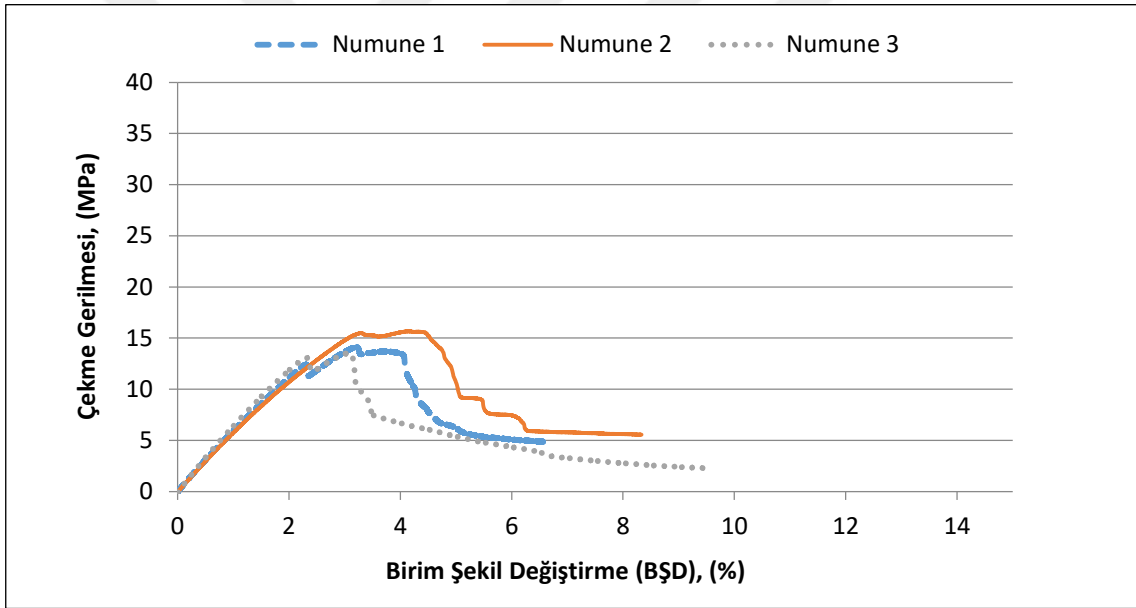
Numune	Elastik Kuvvet (N/mm ²) (350 - 500N)	Max. Kuvvet (N)	Max. Gerilme (MPa)	Max. Uzama (mm)	Max. Yüzde Uzama	Max. BŞD (%)
1	450.704	1768.65	34.6795	9.29153	8.44685	8.44685
2	431.643	1279.72	26.6608	7.51491	6.83173	6.83173
3	401.976	1405.41	28.5653	10.7374	9.76131	9.76131

Çizelge 7.2.Çözgü yönünde çekme test sonuçları

Numune	Elastik Kuvvet (N/mm ²) (350 - 500N)	Max. Kuvvet (N)	Max. Gerilme (MPa)	Max. Uzama (mm)	Max. Yüzde Uzama	Max. BŞD (%)
1	520.996	705.242	14.1048	3.53032	3.20938	3.20938
2	494.628	799.036	15.6674	4.52074	4.10977	4.10977
3	565.744	720.358	13.5406	3.40411	3.09464	3.09464



Şekil 7.3. Atkı yönünde çekilen numunelerin çekme gerilmesi-birim şekil değiştirme grafiği



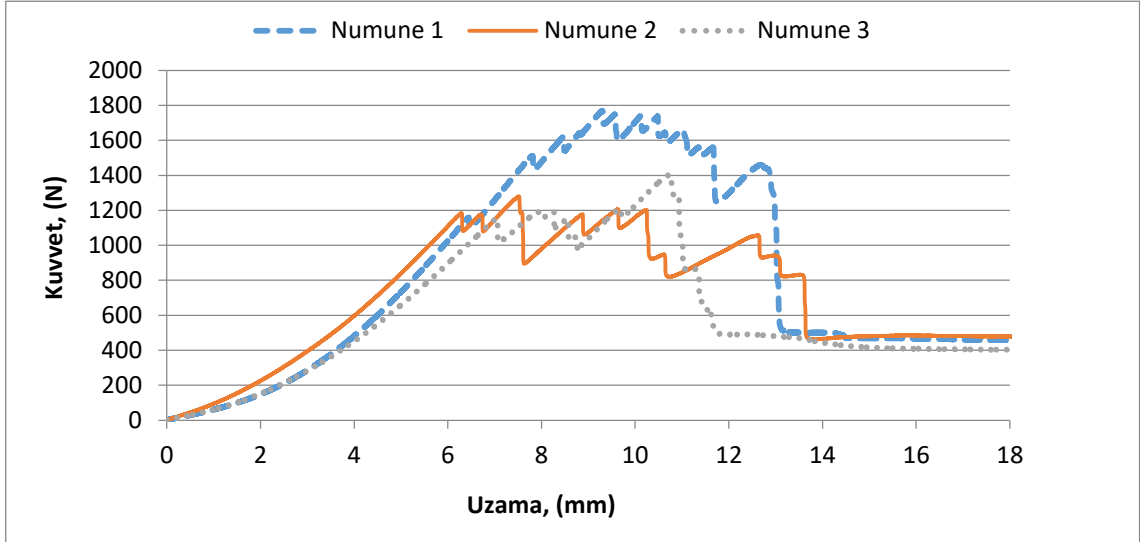
Şekil 7.4. Çözgü yönünde çekilen numunelerin çekme gerilmesi-birim şekil değiştirme grafiği

Atkı yönündeki gerilme/ gerinim eğrileri incelendiğinde atkı yönündeki ilk lif kopmalarının 25MPa civarında olduğu, max. gerilmenin ise 30MPa civarında gerçekleştiği görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere atkı yönündeki lif sayısının fazlalığı ile birlikte, dokuma mantığından dolayı atkı boyunun kararsız olmasından dolayı malzemenin akma bölgesi de kararsız ve geniş bir dalgalanmaya sahiptir.

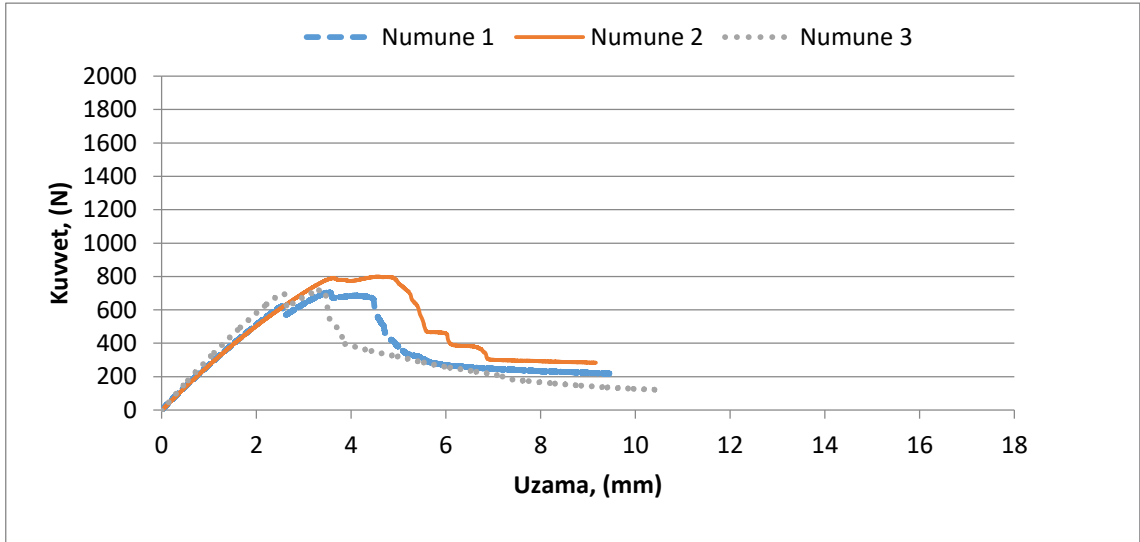
Çözgü yönündeki gerilme/ birim şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde çözgü yönündeki ilk lif kopmalarının 13MPa civarında olduğu, max. gerilmenin ise 15MPa

civarında gerçekleştiği görülmektedir. Eğriden anlaşılacağı üzere çözümlü lifleri dokuma esnasında kısmen öngerilmeli olarak montaj yapıldıktan sonra dokuma işlemi yapıldığından daha kararlı bir yapı sergilemektedir.

Atkı ve çözümlü yönündeki ortalama gerilme farklılıkları bu yönlerdeki fiber takviye elemanının toplam kesitin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 7.5. Atkı yönünde çekilen numunelerin kuvvet-uzama grafiği



Şekil 7.6. Çözümlü yönünde çekilen numunelerin kuvvet-uzama grafiği

Atkı yönündeki numunelerde elyafın kesit alanının fazla olması ve dokuma kaynaklı esneklikten dolayı ortalama 1200N kuvvette meydana gelmiş ve daha fazla

emniyetli uzama gözlemlenmiştir. Çözümlü yönündeki kuvvet-uzama grafikleri incelendiğinde ise ön gerilmeli ve elyaf kesit alanının azlığından dolayı ortalama 750N kuvvette akma gerilmesi ve 3 mm gibi atkıya daha az emniyetli uzama gözlemlenmiştir.

7.1.2. Tek yönlü termoplastik kompozit

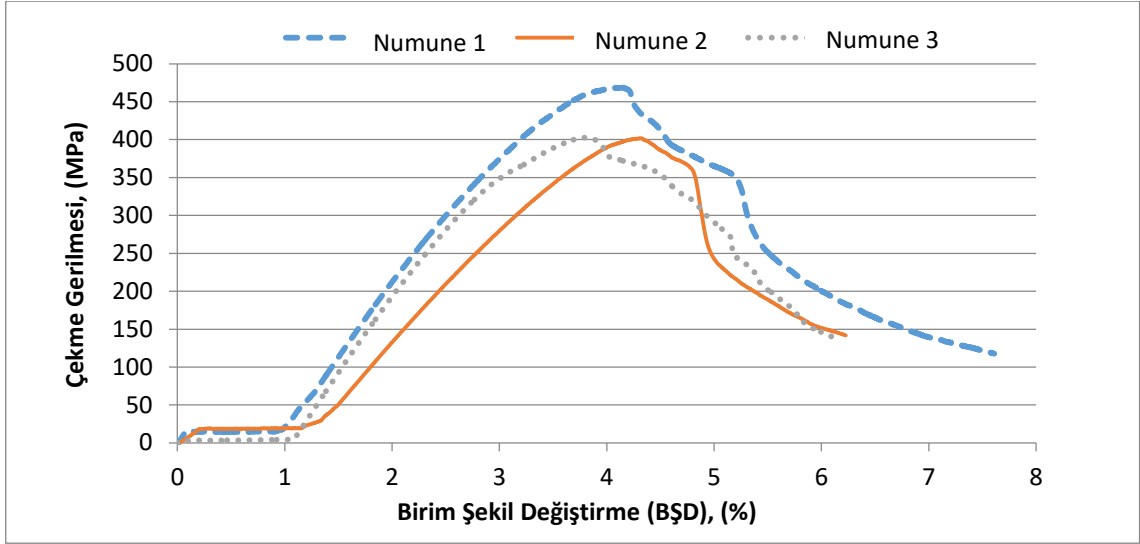
Tek yönlü yönlendirilerek üretilen kompozit malzemenin ASTM D-3039 standartına uygun olarak kesilen ve çekme testi yapılan numunelerin çekmeden sonraki görüntüleri Şekil 7.7.'de verilmiştir.



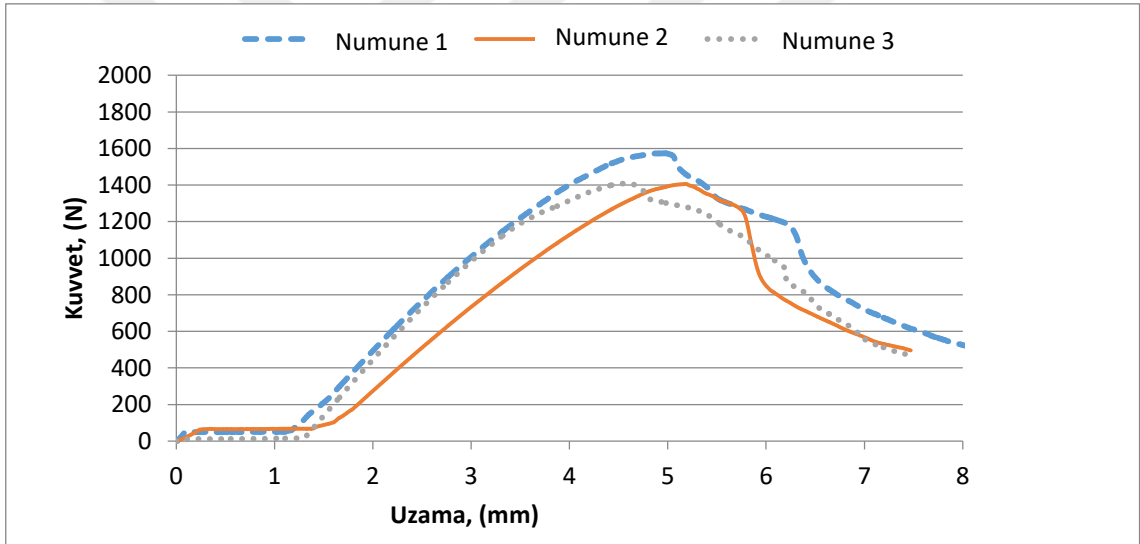
Şekil 7.7. Çekme testinden sonra tek yönlü hazırlanan numune

Çizelge 7.3. Tek yönlü yönlendirilen numune çekme test sonuçları

Numune	Elastik Kuvvet (N/mm ²) (10 – 20 N)	Max. Kuvvet (N)	Max. Gerilme (N/mm ²)	Max. Uzama (mm)	Max. Yüzde Uzama	Max. BŞD (%)
1	21868.8	1573.91	468.426	4.98658	4.15548	4.15548
2	8851.29	1406.26	401.788	5.18410	4.32008	4.32008
3	73.3213	1275.81	379.705	4.33153	3.60961	3.60961



Şekil 7.8. Tek yönlü yönlendirme yönünde çekilen numunelerin çekme gerilmesi-birim şekil değiştirme grafiği



Şekil 7.9. Tek yönlü yönlendirme yönünde çekilen numunelerin kuvvet-uzama grafiği

Tek yönlü kompozit numunede elyaf yönünde çekme gerilmesi uygulandığı için akma dayanımı 400MPa civarında gerçekleşmiştir. Kompozitteki PVC faktöründen dolayı kuvvet-uzama eğrisinden görüleceği üzere 5mm gibi bir elastikiyet kazandırılmıştır.

Dokuma yapılarak üretilen kompozit malzemelerden kesilerek, atkı yönünde çekilen numunelerin ortalama olarak maksimum çekme dayanımları 29.96 MPa iken çözgü yönünde çekilen numunelerin yaklaşık olarak 14.45 MPa olduğu bulunmuştur.

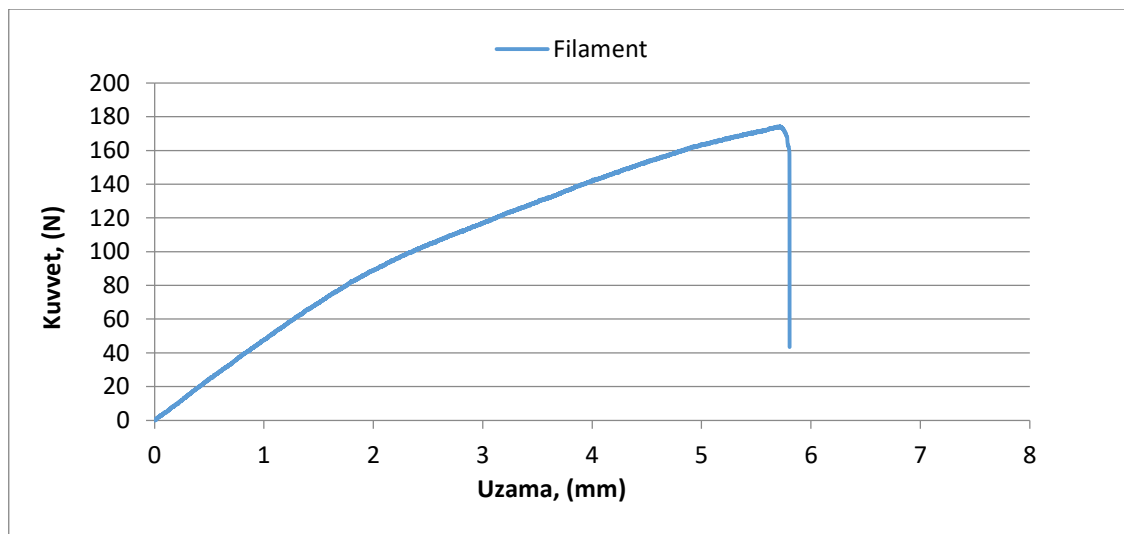
Yani atkı yönünde çekilen numunelerin maksimum çekme dayanımı çözgü yönündeki numunelerin yaklaşık 2 katıdır. Tek yönlü yönlendirilerek çekilen kompozit numunelerin ise ortalama maksimum çekme dayanımı 416.640 MPa bulunmuştur. Bu değer ise atkı yönünde çekilen numunelerin maksimum çekme dayanımlarının yaklaşık 14 katıdır. Bu sonuca göre, tek yönlü yönlendirilmiş (unidirectional) numunelerin çekme dayanımları dokuma ile üretilen numunelere göre oldukça fazladır.

7.1.3. Tek filament termoplastik kompozit

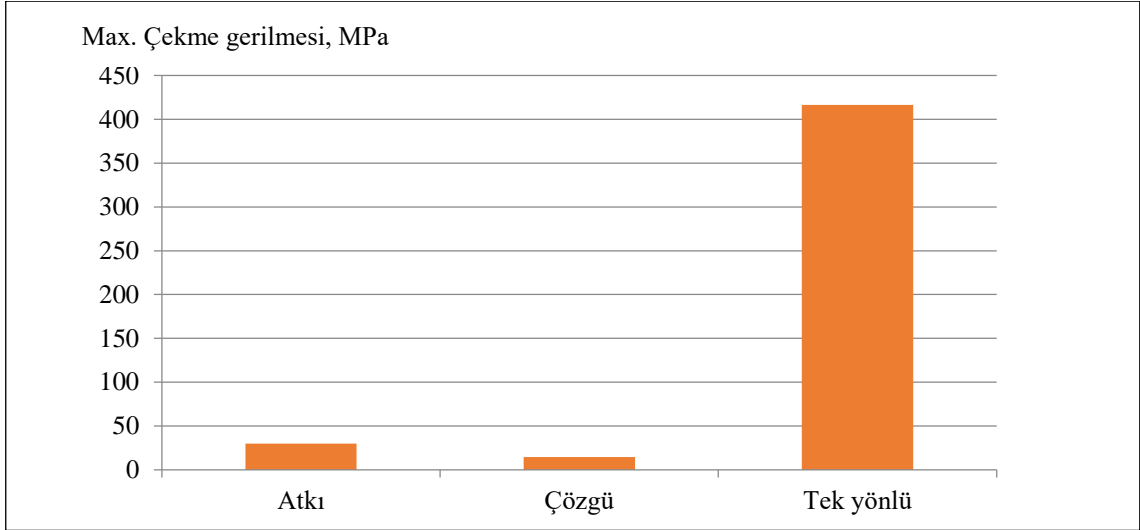
300tex, 14 μ elyaf fitilin max. çekme dayanımı 3445MPa'dır. PVC malzemenin yalın halde max. çekme dayanımı 41MPa'dır. Kompozit filament numunenin fiber/matris alansal oranı %7.7 olduğu için kompozit filamentin max. çekme gerilmesi 87MPa çıkmaktadır. Yani cam fiber takviyesi ile yüksek oranda elastikiyet kazandırılmıştır. Malzemenin çekme dayanımının artırılması fiber/matris oranının artırılması ile mümkündür.

Çizelge 7.4. Üretilen PVC kaplı cam elyaf filamentin çekme test sonuçları

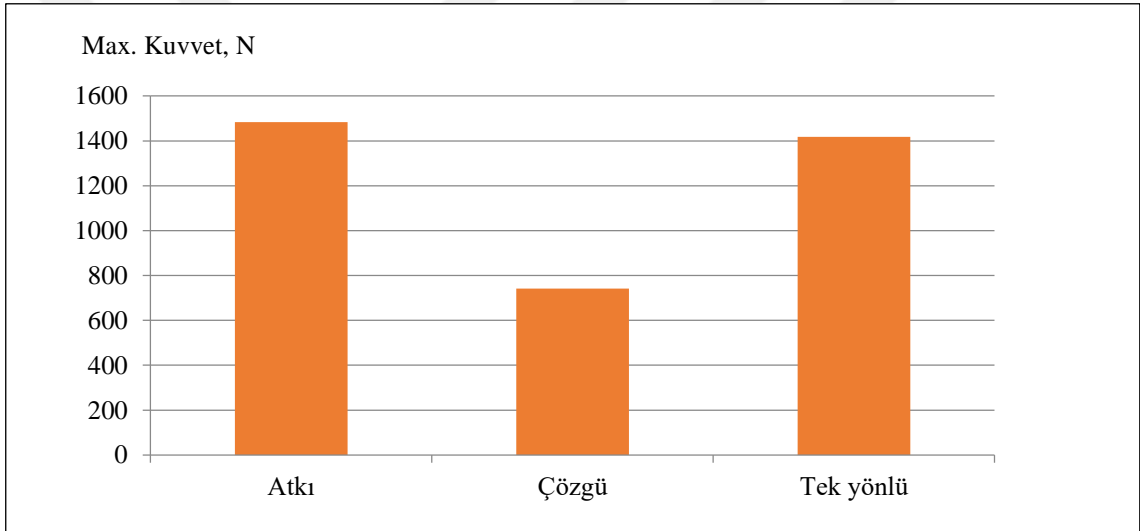
Numune	Elastisite Modülü(MPa)	Max. Kuvvet(N)	Max. Gerilme (MPa)	Max. Uzama	Max. BŞD(%)
1	3352	175	87.08	5.65	4.84519



Şekil 7.10. PVC kaplı cam elyaf takviyeli kompozit filamentin kuvvet- yer değiştirme grafiği



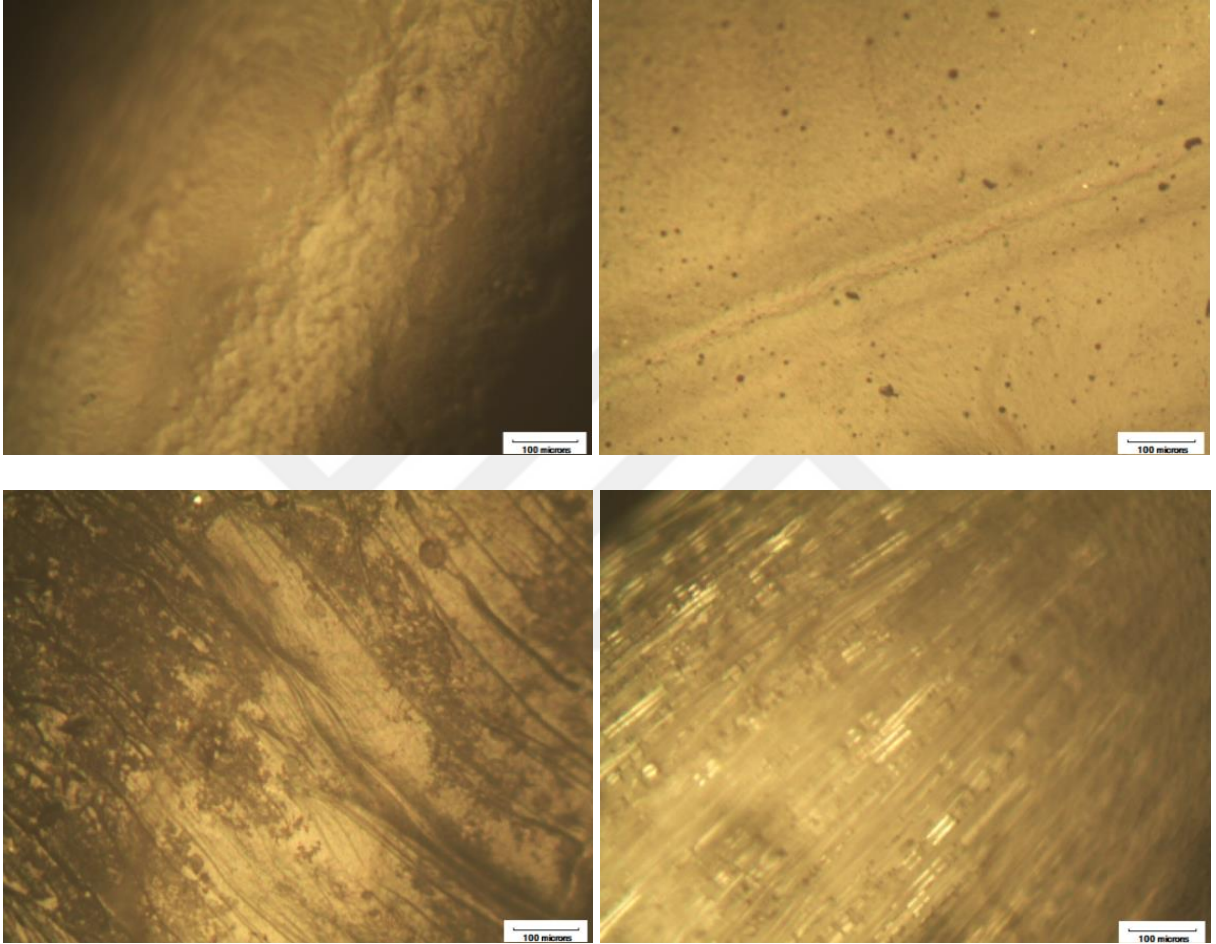
Şekil 7.11. Atkı, çözü ve tek yönlü çelilen numunelerin max. çekme gerilmelerinin karşılaştırılması



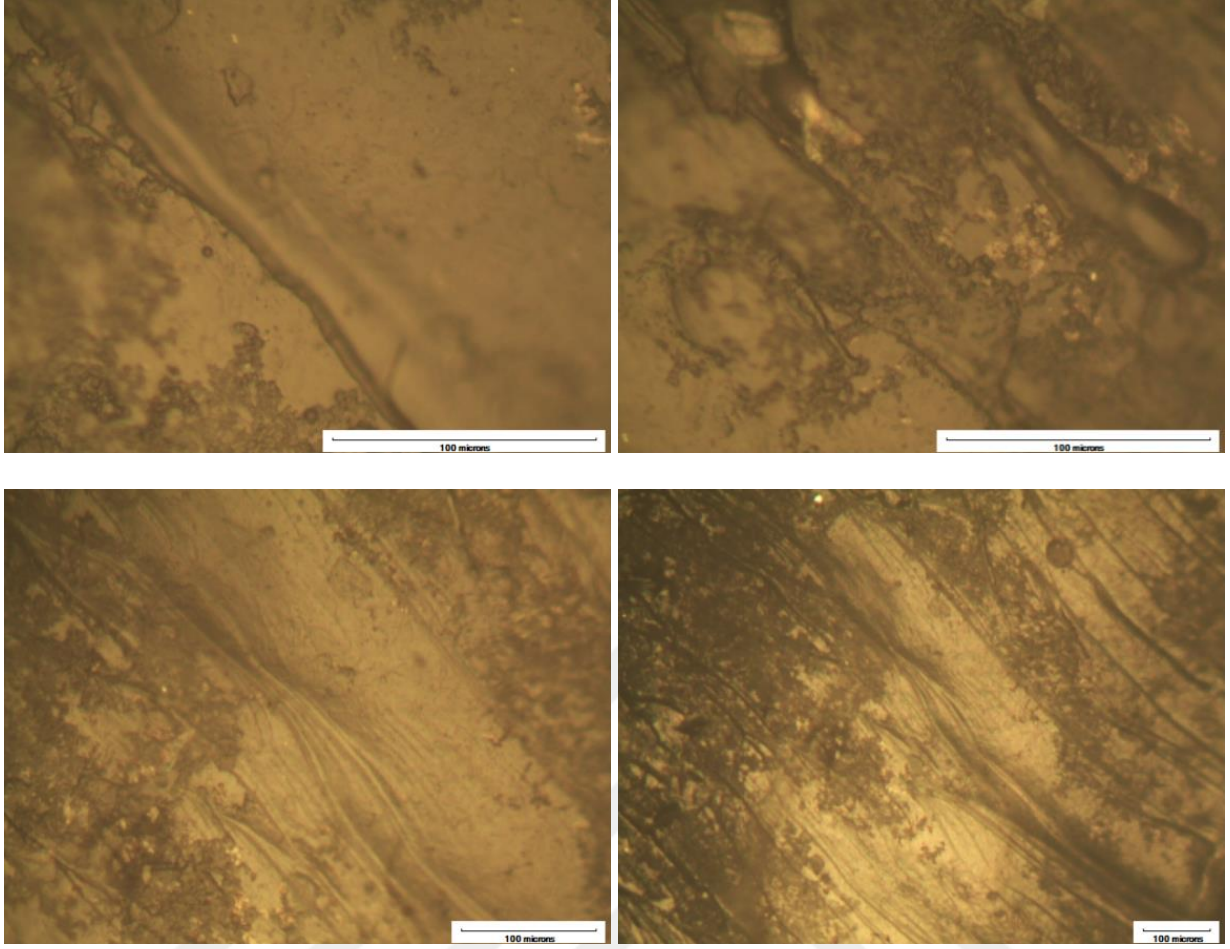
Şekil 7.12. Atkı, çözü ve tek yönlü çelilen numunelerin max. kuvvetlerinin karşılaştırılması

7.2. Mikroskop Görüntüleri

Üretilen kompozit malzemenin çekme testinden önce ve sonraki mikroyapı görüntüleri aşağıda verilmiştir.

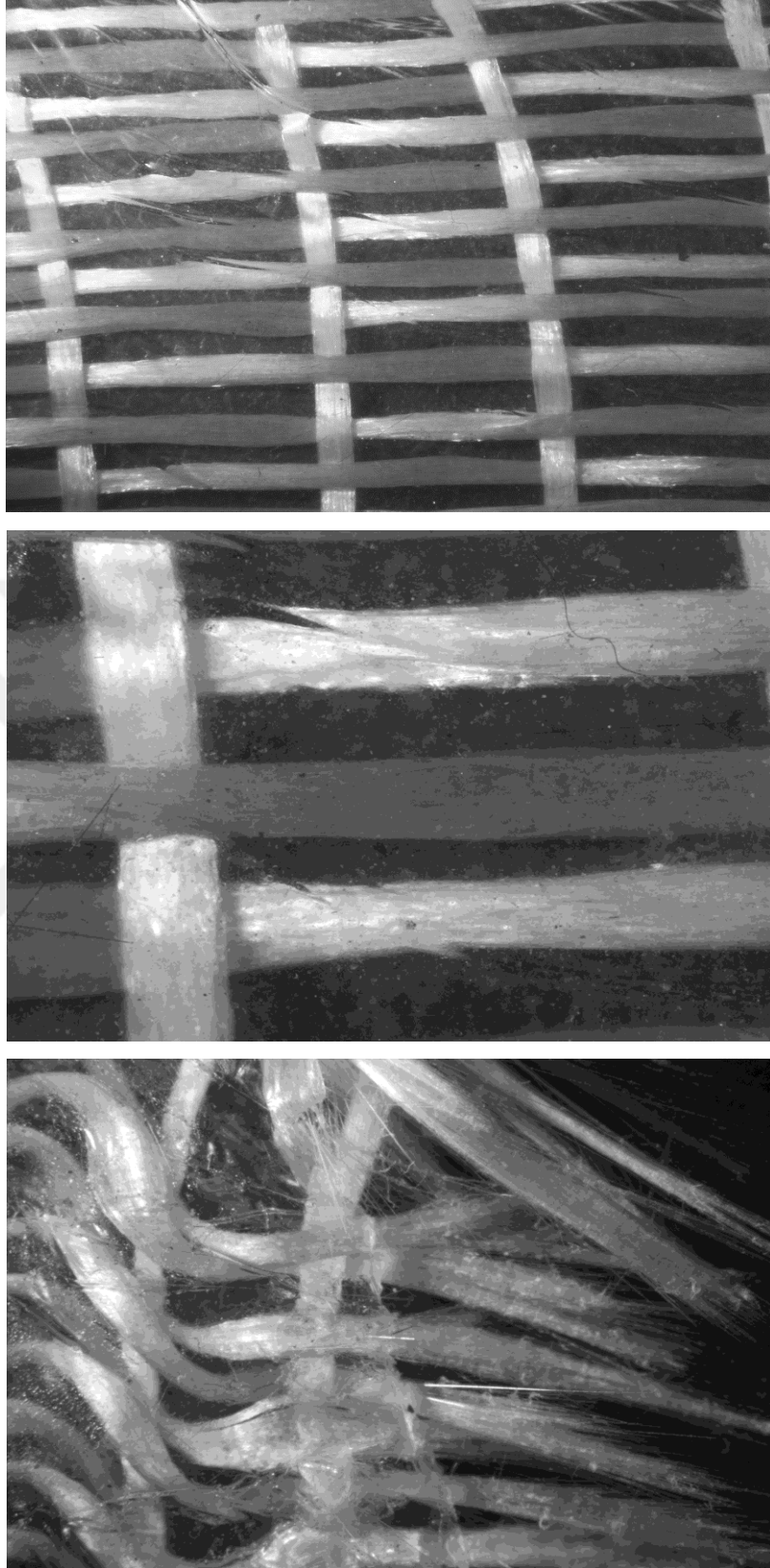


Şekil 7.13. Dokuma ile üretilen kompozit numunenin çekme testinden önce mikro yapı görüntüleri (100x)

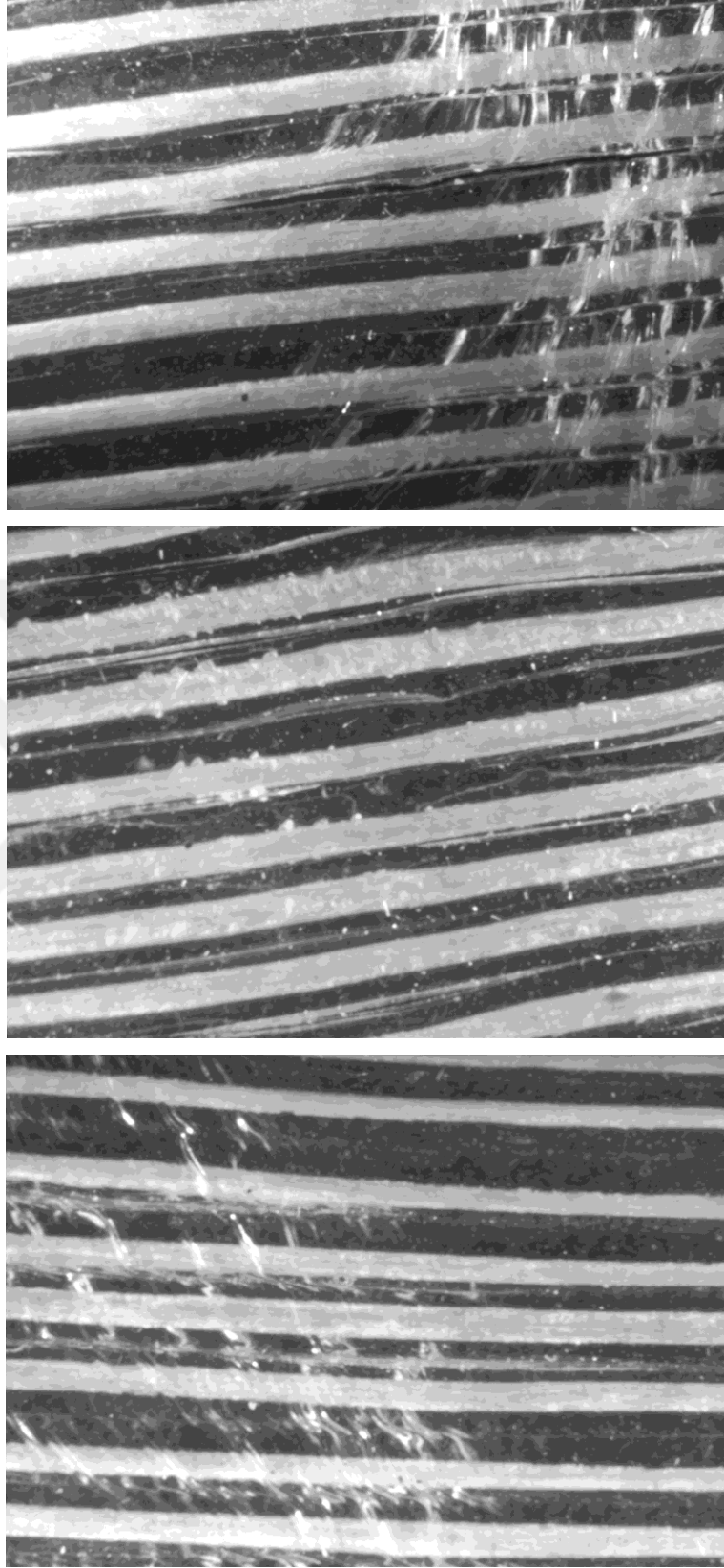


Şekil 7.14. Dokuma ile üretilen kompozit numunenin çekme testinden önce aksel mikro yapı görüntüleri (100x)

Yukarıdaki görüntülere göre matris görüntülerinde herhangi bir gaz boşluğu olmadığı, matris/ fiber ara yüzlerinde herhangi bir çatlak, adezyon kaybı oluşmadığı görülmektedir. Burada cam fiber yüzeyine PVC matrisinin tam yapıştığı ve uyum sağladığı gözlenmiştir.



Şekil 7.15. Dokuma ile üretilen kompozit numunelerin çekme testinden sonraki yüzey görüntüleri(25x)



Şekil 7.16. Tek yönde yönlendirilerek üretilen kompozit numunelerin çekme testinden sonraki yüzey görüntüleri (25x)

Çekme gerilmesi altında malzemenin kesit alanı son derece azalmakta ve lifler kenardan kesit merkezine doğru kopmaktadır. Kopma esnasında lifler matristen kurtulmaktadır. Şekillerde görülen çekme yönüne paralel izler ise çekme yönünde matrislerde oluşan boyuna büzüşmelerden kaynaklanmaktadır.



8. SONUÇLAR

1. Çekme deneyi esnasında kenar etkisinden dolayı malzemede akma (ilk lif kopmaları) numunenin kenerlarından başlamakta ve iç bölgelere doğru hareket etmektedir. Bunun sebebi numune elde edilmesinde çentik ve kesici takım hasarlarının kesme yüzeyi olan kenarlarda oluşmasıdır. Diğer bir sebebi de liflerin güç aktarımı esnasında matris etkisinden sıyrılmasıdır. Kenarlardan başlayan çekme yönündeki lif kopmaları yük stabil hale geldiğinde numunenin iç bölgelerine doğru devam etmektedir.

2. Termoplastik matrisli kompozitlerde çene oturma etkisi ve çene bağlantı hassasiyeti önemlidir.

3. Atkı yönünde malzemeye uygulanan kuvvet gerek fiber kesit oranının fazla olması gerekse de atkı boyunun kararsız olmasından dolayı, çözgü yönüne göre oldukça yüksek çıkmıştır. Sonuçta dokuma işleminde çözgü kararlı atkı kararsızdır.

4. Malzemede akma başlama noktasına kadar takviye elemanı fiberler matris ile oldukça uyumlu bir yük transferi gerçekleştirmişlerdir. Liflerdeki hasar aynı anda gerçekleşmediğinden malzemenin akma bölgesi periyodu geniştir. Muhtemelen son lif koptuğu anda uygulanan yük artık matrise binen yüküdür.

5. Elde edilen kompozit levha PVC'nin esneklik özelliğinden dolayı kolay kullanılabilir bir yapıya sahiptir.

6. Mikroskop görüntülerindeki mikro yapılar incelendiğinde cam elyaf ile PVC matrisinin birbiri ile çok iyi uyum sağladığı, interfaz bölgesinin kararlı olduğu ve bu bölgede herhangi bir gaz ve hava boşluğu bulunmadığı malzemenin genelinde yapılan muayeneler sonucu çıkarılmıştır.

7. Tek yönlü yönlendirilmiş levhalardan çıkarılan deney numunelerindeki mikroskop görüntülerinde çeneye yakın bölgelerde filamet kesitine dik yönde(çekme yönüne dik) matris yığılmalarının meydana geldiği görülmüştür. Bunun sebebi matris içindeki elyaf filament boyunun homejen olmamasındandır.

8. Dokuma termoplastik kompozitlerde atkı ve çözgü sayısı değiştirilerek istenilen takviye yönlerinde malzeme elde edilmesi mümkündür. Bu durum örneğin silindirik basınçlı kaplarda, radyal ve aksenal yöndeki gerilmeleri rahatlıkla karşılayacak kombinasyonların üretilmesi anlamına gelir.

9. Cam elyafa göre oldukça düşük çekme dayanımına sahip PVC'ye takviye elemanı, yani cam elyaf katılarak dayanımı artırılmıştır. PVC'nin çekme dayanımı 13.52 MPa iken PVC kaplı cam elyaf filamentin max. çekme dayanımı 87.08 MPa olarak bulunmuştur. Yani çekme dayanımı yaklaşık 6.7 katına çıkmıştır.

10. Dokuma yapılarak üretilen kompozit malzemenin atkı yönündeki max. çekme dayanımı yaklaşık 30MPa bulunmuştur. PVC'nin 13.52 MPa olan çekme dayanımının cam elyaf takviyesi ile %121 oranında artırıldığı görülmektedir. Çözgü yönünde ki max. çekme dayanımı ise yaklaşık 15 MPa bulunmuştur (PVC çekme dayanımı %10 artırılmıştır.)

11. Silan bazlı cam elyafın PVC ile kaplamaya uygun olduğu, kaplama sırasında herhangi bir ayrılma, sıyrılma olmadığı tespit edilmiştir.

12. Ekstrüder cihazında PVC'yi eritebilmek için optimum sıcaklık değerleri sırasıyla 1.kısım, 2. kısım ve T kafa sıcaklıkları 150, 162, 173 C° olarak bulunmuştur.

9. ÖNERİLER

1. Elyaf/matris oranının yükselmesi ile daha yüksek mekanik dayanımlar elde edilebilecektir.

2. Elde edilen kompozit yapı teknik tekstillerin kullanma amaçlarına uygun yönde takviye edilmeye olanak sağlar.

3. Elde edilen malzeme endüstride asit ve korozif ortamlara dayanıklılık gerektiren, elektrik ve ses ızalasyonu amaçlı olarak kullanılabilceği gibi teknik tekstil olarak endüstriyel örtü ve tarımsal amaçlı olarak da kullanım alanı bulabilecektir.



KAYNAKLAR

- Aktaş, M. 2010, Kompozit malzeme ders notları. DEÜ Makine mühendisliği bölümü
- Asi, D., 2008. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *AKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon
- Anonymous, <https://industrialin.com/thermoforming>, , (Ziyaret tarihi: 28 Mayıs 2018)
- Anonymous, 2003, Advanced Glassfiber Yarns Llc, Technical Paper, “High Strength Glass Fibers, p. 2-11
- Anonim, http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm, (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2018)
- Anonim, http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm, (Ziyaret tarihi: 06.06.2018)
- Anonim, <http://www.ulusalaluminium.com.tr/?/pvc-fiziksel-ve-kimyasal-ozellik>, (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2018)
- Aricasoy, O., “Kompozit Sektör Raporu”, İstanbul Ticaret Odası, 2006
- ASTM D3039 / D3039M-17, 2017, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA
- ASTM D3171-15, 2015, Standard Test Methods for Constituent Content of Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA
- Biron, M., 2007, Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastic Users, *Elsevier – Butterwoth-Heinemann*: Oxford.
- Baker, A., Dutton, S., Kelly, D., 2004, Composite Materials of Aircraft Structures, 2nd edition, *AIAA Education Series*, USA
- Beşergil, B. 2012, Birsen Beşergil Ders Notları, CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chen, Z., Liu, X., Lu, R., 2006, Mechanical and tribological properties of PA66/PPS blend., *III. Reinforced with GF. J Appl Polym Sci*; 102: 523–529
- Callister, W., 2000 “Materials Science and Engineering an Introduction 5th Edition”, *John Wiley & Sons*, New York, 528-547
- Chawla, K.K., 1987, Composite Materials Science and Engineering. 140-283s Springer Verlag New York Inc
- CTP Teknolojisi, Cam Elyaf Sanayi A.Ş. yayınıdır

- Demircioğlu, G., 2006, "Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyunun Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, Türkiye
- Eker, A., 2011. Plastik Matrisli Kompozitler Ders Notları. YTÜ Makine Mühendisliği Bölümü
- Enşici, A., 2004, Polimer esaslı kompozit malzemeler ve ürün tasarımında kullanımları raporu
- Fiber-Reinforced Polymer Composites, Advanced Manufacturing Office, https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/pdfs/fiber_reinforced_composites_factsheet.pdf, (Ziyaret tarihi: 20.07.2018)
- Gay, D., and Hoa, V.S., 2007: Composite Materials: Design and Application, CRC Pres – Boca, Rato
- Guide to citing Internet sources [online], <http://www.slc-lab.be/services/process-equipment/thermoforming/thermoforming>, [Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2018]. Leuven, Belgium
- Guide to citing Internet sources [online], <http://www.sistemteknik.com/non-ferrous/kompozit-otoklavi-s39.html>, [Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2018].
- Herrero-Franco, P.J., Valadez- Ganzalez, A., 2003, Mechanical properties of continuous natural fibre- reinforced polymer composites, *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*, 35(3):339-345
- İpek, 2011, Cam Elyaf Takviyeli Kestamid Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon
- Karataş Altın, M., Gökkaya, H., 2018, A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials, *Defence Technology* 14, 318-326
- Karacaer, Y., 2009, Cam kumaş takviyeli SMC kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Selçuk üniversitesi, *Fen bilimleri enstitüsü*, Konya
- Kaw, A.K., (2014), Mechanics of Composite Materials. 2nd Edition, çev Okutan Baba, B., Karakuzu, *Efil yayınevi*
- Khondker, U. A., Ishiaku, U.S., Nakai, A., Hamada, H., 2005, Fabrication Mechanical Properties of Unidirectional Jute/PP Composites Using Jute Yarns by Film Stacking Method, *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 13, No. 2

- Kılıç, E., 2006, “Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 3-15
- Lee, I.-G., Kim, D.-H., Jung, K.-H., Kim, H.-J., Kim, H.-S., 2017, Effect of the cooling rate on the mechanical properties of glass fiber reinforced thermoplastic composites, *Composite Structures*, 177, 28-37. South Korea
- Marşoğlu, M., 1986, Plastik Malzemeler, *Arpaz Matbaacılık*, İstanbul
- Mazumdar, S.K., 2002. Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering. 4-5s New York
- Mitchell, B.S., An introduction to materials engineering and science for chemical and materials engineers, *John Wiley & Sons*; 2004
- Mallick, P.K., 2008, Fiber-reinforced composites. In: Materials, manufacturing, and design. *third ed. Boca Raton: Taylor & Francis*
- Sönmez, M., 2009, Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiyeden Dört Örnek Firma Üzerine, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi , *Fen bilimleri enstitüsü*, İstanbul
- Smith, W.F., 2009, “Material Science and Engineering”, 3.baskı, çev. Kınıkoğlu, Nihat G., McGraw-Hill
- Schwartz, M.M., 1984, Composite Materials Handbook. 8-26s McGraw-Hill Inc
- Şahin, Y., 2000, ”Kompozit Malzemelere Giriş”, *Gazi Kitapevi*, Ankara
- Torabizadeh, M.A., 2013, Tensile, compressive and shear properties of unidirectional glass/epoxy composites subjected to mechanical loading and low temperature services. *Ind J Eng Mater Sci*; 20: 299–309
- Türkmen İ., 2012. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa
- Tümer, H., 2013, Karbon ve cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit Çiftlerin burulma mukavemeti. Yüksek Lisans Tezi, *EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri
- Özer, H., 2015, Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Otomotiv Mühendisliği Anabilim dalı, Bursa
- Philips, N. L., 1989, Design with Advance Composite Materials, Springer-Verlag. *The Design Council*, Great Britain

Prashanth, S., Subbaya, K.M., Nithin, K., Sachhidananda, S., 2017, Fiber Reinforced Composites - A Review. *J Material Sci Eng* 6: 341. doi: 10.4172/2169-0022.1000341

Yalçın, H., Gürü M., 2002, “Malzeme Bilgisi”, Ankara, Palme Yayıncılık

Zhang, Y., Zhang, Q., Zhou, C., Zhou, Y., 2010, Mechanical Properties of PTFE Coated Fabrics, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(24), 3624-3630



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ayten Nur Yüksel Yılmaz
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya / 09.02.1992
Telefon : +90 (555) 855 63 16
e-mail : yukselayten@gmail.com.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Selçuk Üni., Müh. Fakültesi, Selçuklu, Konya	2014
Yüksek Lisans	: N. Erbakan Üni., Fen Bil. Enst. Meram, Konya	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2016	FNP Mühendislik	Makine Mühendisi
2018- ...	Bursa Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Kayrıcı, M., Y.Yılmaz, A., " PVC Coated Glass Fiber Reinforced Composite Filament Material Production And Investigation Of The Mechanical Properties."American Journal of Engineering Research (AJER), vol. 7, no. 07, 2018, pp. 57-63. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır.)