

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİLAH GÖVDELERİ İÇİN POLİMER ESASLI KOMPOZİT
MALZEME ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Kadir ERBAY

EKİM 2009
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİLAH GÖVDELERİ İÇİN POLİMER ESASLI KOMPOZİT
MALZEME ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. Kadir ERBAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"Makina Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.09.2009
Tezin Savunma Tarihi : 14.10.2009

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Fazlı ARSLAN

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Gençaga PÜRÇEK

H. Çuvalcı
F. Arslan
A. Purçek

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Küresel firmaların Türkiye’de faaliyet gösteren işletmelerinde yapılan küresel pazarlara yönelik üretimde rekabet gücünü artırmak için teknolojiyi yenilemek, üretimi geliştirmek gerekir. Bu yenilik ve gelişimle birlikte daha üstün özellikli malzemelere duyulan ihtiyaçtan dolayı son yıllarda polimer esaslı kompozit malzemeler üzerindeki çalışmalar yoğunluk kazanmış ve önemli bir konuma gelmiştir.

Bu kapsamda yapılan çalışmada, silah gövdelerinde kullanılmak üzere polimer esaslı yeni bir kompozit malzeme üretiminin yapılması ve özelliklerinin incelenerek insanlık hizmetine sunulması amaçlanmıştır.

Bu konuda bana kendisiyle birlikte çalışma fırsatını tanıyan ve çalışmanın her aşamasında yakın ilgisini esirgemeyip değerli fikirleriyle beni yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Hamdullah ÇUVALCI’ya teşekkür ederim. Tüm çalışmalarımda beni yakından takip eden, soruları ve fikirleri ile yardımcı olan Sayın Prof.Dr. Fazlı ARSLAN hocama ilgisinden dolayı teşekkür ederim. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’ndeki değerli hocalarıma gösterdikleri ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Makine Mühendisliği Bölümü’nde yapmış olduğum deneylerde göstermiş olduğu yardımlarından dolayı Sayın hocam Doç.Dr. Gençğa PÜRÇEK’e ve Arş.Gör. Onur SARAY’a teşekkür ederim. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde görevli Teknisyen Mustafa ZIVALIOĞLU’na ve diğer teknisyenlere yaptıkları yardımlardan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Aynı zamanda, çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyip hep yanımda olan annem, babam ve kardeşime teşekkürlerimi sunarım.

Kadir ERBAY
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı	3
1.3. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	4
1.3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları.....	4
1.3.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	5
1.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
1.4.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler.....	6
1.4.2. Parçacıklı Kompozitler.....	6
1.4.3. Tabakalı Kompozitler.....	7
1.4.4. Karma (Hibrid) Kompozitler.....	8
1.5. Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler.....	8
1.5.1. Matris ve Liflerin Fonksiyonu	9
1.5.2. Takviye Elemanları	9
1.5.2.1. Cam Elyaf.....	10
1.5.2.2. Karbon Elyaf	13
1.5.2.3. Aramid Elyaf.....	13
1.5.3. Polimer Matris Malzemeleri.....	14
1.5.3.1. Elastomerler	15
1.5.3.2. Termosetler	15
1.5.3.3. Termoplastikler	16
1.5.4. Poliamidler veya Naylonlar (PA).....	17
1.5.4.1. Poliamidlerin Genel Özellikleri	17
1.5.4.2. Özel Naylon Tiplerinin Özellikleri	18

1.5.4.3.	Aramidler	19
1.5.4.4.	Kestamid (Döküm Poliamid - PA6 G)	20
1.5.5.	Katkı Maddeleri	21
1.5.6.	Üretim Yöntemleri	21
1.5.6.1.	Basınçlı Kalıplama Yöntemi	22
1.5.7.	Kompozit Malzemelerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler	23
1.5.7.1.	Elyaf Hacim Oranı	23
1.5.7.2.	Elyaf Şekli ve Doğrultusu	23
1.5.7.3.	Elyaf Çapı ve Boy/Çap Oranı	24
1.5.7.4.	Matris Malzemenin Özellikleri	24
1.5.7.5.	Elyaf Geometrisinin Etkisi	24
1.5.7.6.	Üretim Metodu ve Parametrelerin Etkisi	25
1.5.7.7.	Mikro Yapının Etkisi ve Porozite	25
1.6.	Literatür Çalışmaların Özeti	25
1.7.	Çalışmanın Amacı	27
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
2.1.	Kullanılan Malzemeler	28
2.2.	Numune Üretimi	29
2.3.	Ölçümlerin Yapılışı	34
2.3.1.	Yoğunluk Ölçümü	34
2.3.2.	Çekme Mukavemetinin Belirlenmesi	34
2.3.3.	Darbe Dayanımının Belirlenmesi	36
2.3.4.	Sertlik Ölçümü	36
2.3.5.	Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi	36
3.	BULGULAR	37
3.1.	Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Morfolojik Yapıları	37
3.2.	Fiziksel ve Mekanik Özellikler	38
3.3.	Elyaf Hacim Oranının Çekme Mukavemeti ve Yoğunluğa Etkisi	40
3.4.	Elyaf Hacim Oranının Darbe Dayanımı ve Sertliğe Etkisi	42
3.5.	Kırılma Yüzeyleri	44
4.	İRDELEME	47
5.	SONUÇLAR	49
6.	ÖNERİLER	50
7.	KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu çalışmada polimer esaslı bir seri kompozit malzeme, basınçlı kalıplama yöntemi ile üretildi. Kompozit malzeme üretiminde, matris malzemesi olarak döküm poliamid (kestamid) takviye malzemesi olarak kırılmış cam elyaf kullanıldı. Değişik elyaf oranlarında üretilen kompozit levhadan çıkarılan deney numuneleri üzerinde mekanik ve fiziksel deneyler yapılarak söz konusu numunelerin çekme mukavemeti, darbe mukavemeti, elastisite modülü, % uzama, sertlik ve yoğunluk değerleri belirlendi. Bunun yanında darbe deney numunelerinin kırılma yüzeyleri stereo mikroskop yardımı ile incelendi.

Elyaf hacim oranının kompozit malzemelerin sertlik ve çekme dayanımlarını arttırdığı ancak % 30 hacim oranı üzerindeki elyaf katkılarının bu özellikleri olumsuz yönde etkilediği gözlemlendi. Diğer taraftan artan elyaf oranıyla birlikte kompozitlerin darbe dayanımlarında azalma gözlemlendi. % 30 elyaf hacim oranının üzerindeki değerlerde darbe mukavemetinin önemli oranda düşüş sergilediği gözlemlendi. Elyaf hacim oranı arttıkça malzemelerin süneklik değerlerinde sürekli bir düşüş olduğu gözlemlendi. Öte yandan elyaf hacim oranı arttıkça üretilen kompozit malzemelerin elastisite modüllerinin arttığı belirlendi.

Deneyler sonucunda en üstün mekanik özelliklere sahip % 30 hacim oranında elyaf içeren kompozit malzemenin silah gövdesi olarak kullanılabileceği belirlendi.

Anahtar Kelimeler : Döküm Poliamid, Kırılmış Elyaf, Kompozit Malzeme, Elyaf Hacim Oranı

SUMMARY

Production of Polymer Based Composite Materials for Gun Bodies and Investigation of Their Properties

In this study, a series of polymer based composite materials were produced by pressure moulding method. The cast polyamide and chopped glass fiber were used as matrix materials and reinforcement agent respectively in composites. The experimental specimens which machined from composite materials at different fiber contents were used to determine mechanical and physical properties of composite materials such as tensile strength, impact strength, percent elongation, young modulus and density. In addition to that, fracture surfaces of impact test specimens were examined by a stereo microscope.

It was observed that the mechanical properties of composites increased with the increasing fiber volume fraction up to 30 %. The mechanical properties of composites decreased when fiber was added more than 30 %. On the other hand, impact strength of the composites decreased with the addition of the fiber. It was also found that substantial low impact results were obtained at the fiber content more than 30 %. In addition to that, the percent elongation of composites (ductility behavior) continuously decreased with increasing fiber volume fraction. On the other hand, It was found that young modulus of composite materials increased with the increase of fiber volume fraction.

As a result of this work, it was determined that the superior mechanical properties of composite materials containing 30 % fiber volume fraction could be used as gun bodies.

Key Words : Cast Polyamide, Chopped Fiber, Composite Materials,
Fiber Volume Fraction

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Kompozit malzemenin kesit görünüşü	3
Şekil 1.2.	Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	5
Şekil 1.3.	Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde liflerin kompozit içerisindeki dizilişi	6
Şekil 1.4.	Parçacık takviyeli ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitlerin yapısı.....	7
Şekil 1.5.	Cam elyafın üretim aşamaları	12
Şekil 1.6.	Karbon elyaf üretim şeması	13
Şekil 1.7.	Cam, karbon ve aramid elyafın fiyat, mukavemet, uzama ve modüllerinin karşılaştırılması	14
Şekil 1.8.	Poliamidler için tekrar eden polimer birimi	17
Şekil 1.9.	Poliamid (naylon) yapımında kullanılan monomerler	18
Şekil 1.10.	Aramid polimerin tekrar eden birimi (keklar)	19
Şekil 1.11.	Kompozit üretim yöntemlerinin sınıflandırılması	21
Şekil 1.12.	Basınçlı kalıplama yöntemi	22
Şekil 2.1.	Kompozit levhadan çıkarılan a) çekme, b) darbe, c) sertlik ve yoğunluk numunelerin görünümü.....	30
Şekil 2.2.	Kompozit üretimi işlem akış diyagramı	31
Şekil 2.3.	Numune üretiminde kullanılan hidrolik pres.....	32
Şekil 2.4.	Hidrolik pres kalibrasyon eğrisi	32
Şekil 2.5.	Deney numunelerinin üretiminde kullanılan kalıp düzeneğinin şematik resmi	33
Şekil 2.6.	Numune hazırlama kalıbı, sıcaklık kontrolörü, güç kaynağı ve karıştırma aparatı	34
Şekil 2.7.	Çekme testi düzeneği.....	35
Şekil 2.8.	Çekme testi numunesi.....	35
Şekil 2.9.	Charpy darbe testi düzeneği ve numune boyutları	36
Şekil 3.1.	Çalışmada kullanılan; (a) demet haldeki E-camı liflerinin ve (b) talaş haldeki kestamid'in düşük ve yüksek büyütmede çekilen görüntüleri.....	37
Şekil 3.2.	Farklı bileşimlere sahip numunelerin mukavemet değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi	39

Şekil 3.3. Farklı bileşimlere sahip numunelerin uzama değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi	39
Şekil 3.4. Farklı bileşimlere sahip numunelerin elastisite modülü değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterim	39
Şekil 3.5. Farklı bileşimlere sahip numunelerin darbe dayanımı değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi	40
Şekil 3.6. Farklı bileşimlere sahip numunelerin sertlik değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi	40
Şekil 3.7. Üretilen kompozit malzemede çekme mukavemetinin elyaf hacim oranıyla değişimi	41
Şekil 3.8. Üretilen kompozit malzemede % uzama değerlerinin elyaf hacim oranıyla değişimi	41
Şekil 3.9. Üretilen kompozit malzemede yoğunluğun elyaf hacim oranıyla değişimi	42
Şekil 3.10. Üretilen kompozit malzemede elyaf hacim oranının darbe dayanımına etkisi.....	43
Şekil 3.11. Üretilen kompozit malzemede elyaf hacim oranının sertliğe etkisi	43
Şekil 3.12. EO10 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin görünümü	44
Şekil 3.13. EO20 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin görünümü	45
Şekil 3.14. EO30 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin görünümü	45
Şekil 3.15. EO40 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin görünümü	45
Şekil 3.16. EO50 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin görünümü	46
Şekil 3.17. EO60 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin görünümü	46
Şekil 3.18. EO70 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin görünümü	46

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Elyaf takviyeli plastik kompozitlerin kullanım alanları	8
Tablo 1.2. Kompozitlerde kullanılan cam elyaf türleri ve kimyasal bileşimleri	11
Tablo 1.3. Kestamid'in çeşitli kullanım alanları.....	20
Tablo 2.1. Deneyisel çalışmalarda kullanılan matris malzemesinin özellikleri.....	28
Tablo 2.2. Deneyisel çalışmalarda kullanılan elyafın özellikleri.....	29
Tablo 2.3. Üretilen kompozitlerin bileşimleri.....	29
Tablo 2.4. Çekme testi numunesinin boyutları	35
Tablo 3.1. Numunelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	38

SEMBOLLER DİZİNİ

ABS	: Akronitril butadin stiren
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BS	: Stiren butadin
CTP	: Cam takviyeli plastik
HRF	: Rockwell F sertlik skalası
PA	: Poliamid, naylon
PA6-G	: Döküm poliamid, kestamid
PAN	: Poliakrilonitril
PE	: Polietilen
PET	: Polietilenteraftalat
PMMA	: Polimetil metha akrilat, akrilik
POM	: Polioksimetilen, delrin
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloretilen
PVC	: Polivinil klorür
RTM	: Reçine transfer kalıplama
SAN	: Stiren akrilonitril
SDH	: Sıkı düzenli hegzagonal
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
ρ	: Yoğunluk, gr/cm ³
m	: Kütle, gr
v	: Hacim, cm ³
b	: numune genişliği, mm
h	: numune kalınlığı, mm
A _f	: Liflerin toplam kesit alanı, mm ²
A _m	: Matrisin toplam kesit alanı, mm ²
V _f	: Liflerin hacimsel oranı, %
V _m	: Matrisin hacimsel oranı, %
F _ç	: Çekme kuvveti, N
$\sigma_{\text{ç}}$	: Çekme dayanımı, MPa

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Malzemeler genellikle metaller, seramikler ve plastikler olarak üç ana gruba ayrılırlar. Bu üç grubun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Bu üç ana grubun yanında, aynı ya da farklı gruplardan iki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler, karma (kompozit) malzeme olarak adlandırılır. Atomsal veya molekül düzeyde birleştirilen malzemeler (örneğin alaşımlar) makroskopik olarak homojen olduklarından karma malzeme olarak sınıflandırılmazlar. Kompozitler yapay ve çok fazlı malzemelerdir. Yapıyı oluşturan bileşenler, kimyasal olarak farklıdır ve fazları birbirinden ayıran belirgin bir ara yüzey bulunmaktadır [1].

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir. Kompozit malzemelerin üretimiyle aşağıdaki özelliklerin biri veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanır:

- Mukavemet
- Yorulma dayanımı
- Aşınma dayanımı
- Korozyon dayanımı
- Kırılma tokluğu
- Yüksek sıcaklık özellikleri
- Isıl iletkenlik
- Elektrik iletkenliği
- Akustik iletkenlik
- Rijitlik
- Ağırlık
- Fiyat
- Estetik görünüm [1].

Günümüzde oldukça gelişmiş olan kompozit malzemeler, aslında binlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Örneğin çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç, bir kompozit malzemedir. Ok yayı yapılırken üst üste konulan, özellikleri ve lif yönleri farklı

ağaç levhalar kompozit bir malzeme oluştururlar. Ayrıca kompozit malzemeler doğada da değişik biçimlerde bulunmaktadır (ahşap malzemeler, kemik v.s.).

Kompozit malzeme üretiminin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemelerin geliştirilmesi ancak 1940'lı yıllarda cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır. Önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri gösterilebilir. Cam takviyeli plastikler elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle bu amaç için kullanılabilecek en uygun malzemelerdir. İlk CTP (cam takviyeli plastik) tekne 1942'de yapılmış, ilk elyaf sarma patenti ise 1946'da A.B.D.'de alınmıştır. 1950'lerde ise uçak pervaneleri kompozit malzemeden yapılmaya başlanmıştır [1]. Günümüzde bu malzemeler, her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Elyaf takviyeli gelişmiş kompozitler, kompozit malzemeler içerisinde ayrıcalıklı bir yere sahiptir. Hatta gelişmiş elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi, jet motorundan sonra en büyük teknolojik devrim olarak nitelendirilir. Bu tür kompozitlere yüksek teknoloji kompozitleri de denilmektedir. Bunlar elastiklik modülü yüksek olan karbon elyaf veya bor elyafla takviye edilmektedir. Diğer kompozitlere göre oldukça yüksek mukavemet ve rijitliğe sahiptirler. Yüksek mukavemetli çeliğe göre aynı mukavemet değerlerine sahip gelişmiş kompozitler, % 70 oranında daha hafiftirler. Bazı gelişmiş kompozitler, alüminyuma göre üç kat daha kuvvetlidir. Bu sebeple kompozitlerden imal edilen uçak parçalarının ağırlığı, geleneksel uçak malzemelerinden imal edilenlere göre % 60 oranında daha düşüktür [2].

Günümüzde uçak endüstrisinde, kompozit malzeme kullanımı % 30 oranlarına ulaşmıştır. Son yıllarda uçak sanayinde kullanılan kompozit malzeme gelişimi, çeşitli aşamalardan geçmiştir. İlk aşamada kompozitler, uçakların bazı kısımlarında deneme amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Test uçuşları sonunda herhangi bir problem çıkmayınca, mevcut uçakların metal parçaları, kompozitlerle değiştirilerek kullanılmıştır. General Dynamics firmasının ürettiği F-111'lerin gövdesinde kullanılan bor-epoksi çifti, yine aynı kuruluşun ürettiği Northrop F-5'lerin gövdesinde kullanılan grafit-epoksi çifti, bu uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Diğer bir aşamada ise, uçak tasarımı sırasında parçaların bir kısmının kompozit malzemeden yapımı öngörülmüştür. Grumman F-14 ve McDonnell-Douglas F-15'lerde kullanılan bor-epoksi, General Dynamics'e ait YF-16'larda kullanılan karbon-epoksi esaslı kompozitler, bunlara örnek olarak verilebilir. Alüminyum içine dizilmiş bor lifleri, 1000 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel-alüminyum alaşımı içerisinde oluşturulmuş nikel-niobyum levhaları ile kuvvetlendirilen

malzemeler, uçak sanayinde kullanılan diğer kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalar yoğun olarak devam etmekte olup özellikle gelişen teknolojinin malzeme gereksinimini karşılamak için tek çözüm olarak bu malzemeler görülmektedir [2].

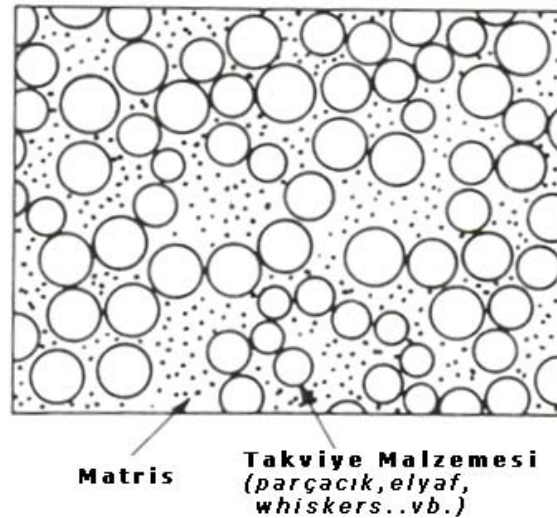
Bu malzemeler hava ve uzay endüstrileri yanında, değişik özelliklerinden dolayı kara ve deniz taşımacılığı, çeşitli spor malzemeleri, tıbbi cihazlar, robot yapımı, kimya sanayi, elektrik ve elektronik ve müzik aletleri yapımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

İleri teknoloji malzemeleri yanında, ucuzluğu ve elde edilişi oldukça kolay olan cam elyaf-polyester (CTP) çifti, oldukça yaygın olarak kullanılan bir kompozit türüdür. Yaygın olarak kullanılan polyester-cam elyaf çiftinin oluşturduğu kompozit malzemelerin, çeşitli faktörlere bağlı mekanik ve tribolojik özelliklerinin saptanması, bu malzemelerin daha uygun şartlarda ve daha bilinçli olarak kullanılmasını sağlayacaktır.

1.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı

Bir kompozit malzeme genelde düşük elastisite modülü ve dayanıma sahip reçine veya matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır, Şekil 1.1.

Takviye malzemesi; sürekli elyaf, kesikli elyaf, parçacık, dokuma kumaş yüzeyi, çok yönlü kumaş yüzey, üç boyutlu dokuma veya örme ön form, lif demeti şeklinde olabilir. Matris malzemesi ise metal, plastik veya seramik olabilir [3, 4].



Şekil 1.1. Kompozit malzemenin kesit görünüşü [5].

1.3. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin özellikleri;

- Bileşenler,
- Bileşenlerin dağılımı,
- Bileşenler arasındaki etkileşim,

faktörlerinden büyük ölçüde etkilenmektedir.

Kompozit bir plakanın kesit görünüşüne baktığımızda liflerin ve matris malzemenin durumu Şekil 1.1' deki gibidir.

Burada liflerin ve matrisin hacimsel oranı;

A_f : liflerin toplam kesit alanı

A_m : matrisin toplam kesit alanı

$A_c = A_f + A_m$ olduğundan,

$$V_f = A_f / A_c \quad (1)$$

$$V_m = A_m / A_c \quad (2)$$

lif ve matris malzemenin hacimsel oranları olarak tanımlanır.

Bir bileşenin kompozit malzeme özelliklerine olan katkısı, bu hacimsel oran parametresi ile belirlenir. Konsantrasyon, genelde kompozit malzeme özelliklerini en çok etkileyen parametre olarak sayılmaktadır. Aynı zamanda, kompozit malzemenin özelliklerini değiştirmek için kolaylıkla kontrol edilebilen bir üretim değişkenidir [5].

Konsantrasyon dağılımı, sistemin homojenliği ve üniform oluşunun bir ölçüsüdür. Üniform olmayan bir sistemden kaçınılmalıdır. Çünkü bu özellikler malzemedeki en zayıf bağlar tarafından belirlendiğinden, düşüşler görülmektedir. Örneğin üniform olmayan bir malzemedeki hatalar en düşük dayanıma sahip bölgelerde başlamaktadır ki, bu da malzemenin toplam dayanımını etkilemektedir [6].

1.3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları

- a. Yüksek dayanım,
 - Yorulma dayanımı
 - Aşınma dayanımı
 - Korozyon dayanımı

- b. Üstün sıcaklık özellikleri,
- c. İyi termal ve ısı iletkenliği,
- d. Yüksek rijitlik,
- e. Düşük ağırlık,
- f. Estetik görünüm vb. [2].

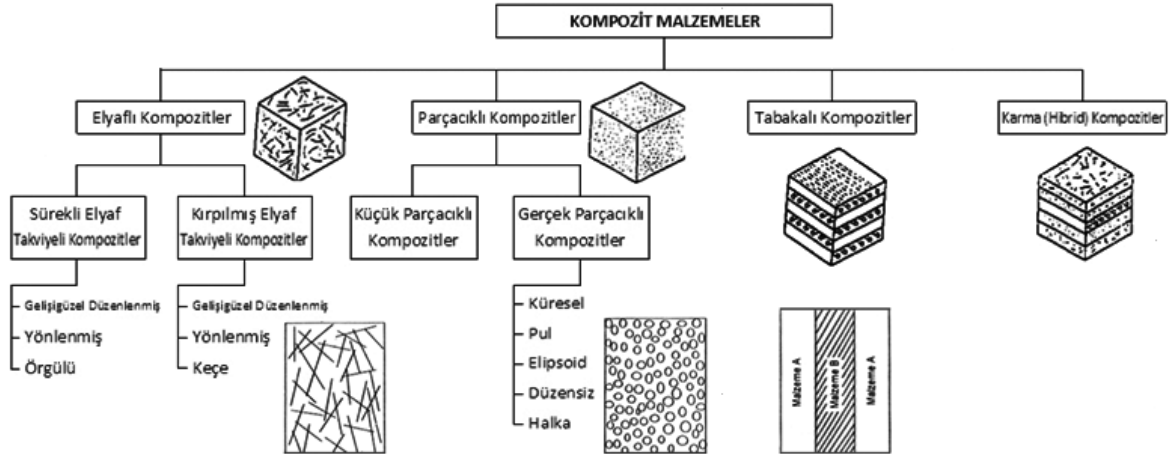
1.3.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

- a. Üretim zorluğu,
- b. Pahalı olması,
- c. Gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi,
- d. Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- e. Kırılma uzamasının az oluşu gibi faktörler sayılabilir [2].

1.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu şekilde yapılan sınıflandırma Şekil 1.2’ de görülmektedir [7].

Ayrıca matris malzemesinin türüne göre de polimer matrisli, seramik matrisli ve metal matrisli kompozitler şeklinde sınıflandırma da yapılabilir.

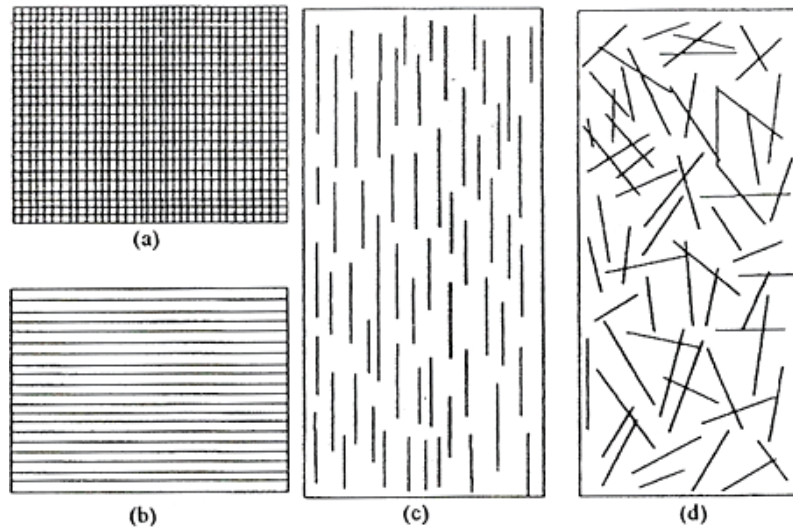


Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması [7].

1.4.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler

Kompozit malzemelerin en yaygın türüdür ve iki değişik grupta incelenebilir: Sürekli elyaf takviyeli kompozitler ve kırılmış elyaf takviyeli kompozitler. Hem sürekli elyaf takviyeliler hem de kırılmış elyaf takviyeliler, liflerin düzenli ve gelişigüzel bulunmaları açısından iki gruba ayrılırlar (Şekil 1.3).

Elyaf takviyeli kompozitlerde, iki ana yapıdan biri olan elyaf, oldukça dayanıklı ve rijittir. Yük tamamen elyaf tarafından taşınmaktadır. İkinci ana yapı olan matris ise lifleri birbirine bağlama görevi görür ve yükü liflere iletir. Bu tür malzemelerin özellikleri açısından en önemli parametreler, elyaf yönlenmesi, elyaf hacim oranı ve lif-matris ara yüzey özellikleridir. Kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanının çeşidi yanında, bu üç parametre, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerdir.

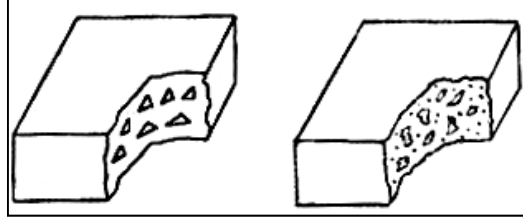


Şekil 1.3. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde liflerin kompozit içerisindeki dizilişi: a) Örgülü elyaf takviyeli, b) Sürekli elyaf takviyeli, c)Yönlenmiş süreksiz elyaf takviyeli, d) Gelişigüzel dağılmış süreksiz elyaf takviyeli kompozitler [6].

1.4.2. Parçacıklı Kompozitler

Bu tip kompozitler tek veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup, ortalama gömülen parçacık boyutu $1\mu\text{m}$ 'den büyük ve elyaf hacim oranı % 25'den fazla

kullanılmamaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise Al_2O_3 ve SiC 'den oluşan seramiklerdir. Bu tür kompozitlerde yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır ve özellikler yine izotropiktir. Şekil 1.4'de gösterildiği gibi, bunlar büyük parçacık içerdiklerinden kaymayı etkili olarak yapamazlar [2].



Şekil 1.4. Parçacık takviyeli ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitlerin yapısı [2].

1.4.3. Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozit malzemeler, değişik özelliklere sahip birden çok malzemenin bir yapıştırıcıyla birleştirilmesiyle oluşturulurlar. Bu tür kompozitler, “Lamine Kompozit Malzeme” diye de adlandırılmaktadır.

Tabakalı kompozit malzemeler, çeşitli yönlerden farklılıklar gösteren tabakaların bir araya getirilmesiyle üretilmektedir. Bu farklılık, mukavemet, ısı iletimi, gözeneklilik, ağırlık, yüzey sertliği, suya ve diğer dış etkilere karşı direnç gösterme gibi çok çeşitli yönlerden olabilmektedir.

Tabakalı kompozitler en az iki tabakadan oluşurlar. Ancak, dayanım ve mekanik özelliklerin özellikle önem taşıdığı ve kompozitin tabakaların düzlemindeki birbirine dik iki ayrı doğrultusunda birbirine yakın özelliklerin beklendiği hallerde, malzemenin hedeflenen bu özelliklere sahip olabilmesi için en az üç veya daha fazla tabaka kullanılmaktadır. Bu tabakaları oluşturan malzemeler farklı olabileceği gibi, aynı tür malzemedenden de yapılabilmektedir [8].

1.4.4. Karma (Hibrid) Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafdır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır [7].

1.5. Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler

Plastik matrisli ve elyaf takviyeli kompozit malzemeler, son yıllarda mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta ve geleneksel malzemelerin yerini almaktadır. Özgül dayanımlarının geleneksel mühendislik malzemesi olan metallere göre oldukça iyi olması, bu malzemelerin önemini her geçen gün artırmaktadır. Özellikle hafif malzeme gereksinimi olan uzay ve taşımacılık alanında kullanımı sürekli olarak yaygınlaşmaktadır. Tablo 1.1’de elyaf takviyeli ve plastik matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanlarına ilişkin bazı örnekler verilmiştir.

Tablo 1.1. Elyaf takviyeli plastik kompozitlerin kullanım alanları [9].

Kullanım Alanı	Örnekler
Havacılık Sanayi	Uçak gövde ve kanat panelleri, Zemin plakası
Otomotiv Sanayi	Gövde parçaları, Cam sileceği, Dikiz aynası
Denizcilik Sanayi	Yelkenli gövdesi, Yelken direği
Kimya Sanayi	Basınçlı kaplar, borular
Spor Araçları	Sörf tahtaları, Palet, Golf sopası, Tenis raketi
Ulaşım	Teleferik, Kabin, Oturma birimi
Müzik Aletleri	Keman, Gitar vb.

1.5.1. Matris ve Liflerin Fonksiyonu

Kompozit malzemede liflerin temel fonksiyonları;

- Yüğü taşımak; yapısal kompozitlerde yükün % 70-90' ı lifler tarafından taşınır.
- Kompozit malzemeye, sertlik, ısı stabilite ve diğer yapısal özellikleri kazandırmak.
- Kullanılan elyafın türüne bağlı olarak, elektriksel iletkenlik veya yalıtkanlık kazandırmaktır [3].

Bir matris malzeme, kompozit malzeme yapısında birçok fonksiyonu yerine getirir. Bunların birçoğu, yapının yeterli performans değerleri için çok önemlidir. Matris malzemenin önemli fonksiyonları;

- Lifleri bağlar ve yükü liflere iletir. Yapıya, rijitlik ve şekil kazandırır.
- Lifleri izole eder. Bu sayede lifler ayrı, bireysel olarak davranabilirler. Bu da, çatlak büyümesini durdurur veya yavaşlatır.
- İyi bir yüzey kalitesi sağlar ve net şekilli veya yarı net şekilli parçaların üretimini sağlar.
- Takviye liflerinin kimyasal etkilere ve mekanik hasarlara karşı korunmasını sağlar.
- Seçilen matris malzemesine bağlı olarak, esneklik, darbe dayanımı gibi performans karakteristikleri etkilenir.

Yüksek sertlik ihtiyacı için, termoplastik esaslı kompozitler seçilir. Malzemenin yetersizliği, kullanılan matris malzemenin çeşidi ve elyafa uyumluluğundan çok etkilenmektedir.

1.5.2. Takviye Elemanları

Mühendislikte kullanılan takviye elemanlarının pek çoğu elyaf şeklinde üretildiklerinden dayanım ve rijitlikleri katı haldeki konumlarından yaklaşık 30-50 kat daha dayanıklı ve 3 kat daha rijit olduklarından kütle halindeki gösterdikleri özelliklerinden daha üstün performans gösterirler. Örneğin, karbon elyaf kütle halindeki grafitten yaklaşık 50 kat daha fazla mukavemete sahip bulunmakta ama bu özellik bilhassa whisker'lerde daha belirgindir.

Çapları genellikle 5-20 µm (mikrometre) olan elyafli kompozitlerin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler arasında elyafın şekli, boyu ve yönlendirmeleri

ile matrisin mekaniksel özellikleri ile yeterli elyaf-matris ara yüzey bağına sahip olmaları gerekmektedir. Takviye elemanı, kompoziti oluşturan en önemli elemanlardan biri olup kompozit üzerine gelen yükün büyük bir kısmını taşımaktadır. Yükün elyafa iletilebilmesi için fazlar arasında fiziksel ve kimyasal uyumun iyi olması, ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanı ile matrisin ısı genleşme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir [2].

Kompozit üretilirken takviye elemanı seçimi, üretim tekniği, üretim esnasında elyafın matris tarafından ıslatılabilmesi, yönlendirilmeleri ve elyaf içeriği; kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler. Bu nedenle takviye elemanı seçimi ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

Elyaf genellikle üç gruba ayrılır:

- Doğal elyaf (örneğin yün, pamuk, asbest vb.)
- Rejenere elyaf (doğada bulunan uzun makro moleküllerden yararlanılarak elde edilirler, rayon gibi)
- Yapay elyaf (naylon, kevlar vb.) [1].

En çok kullanılan takviye elemanları cam, karbon ve aramid elyafıdır.

1.5.2.1. Cam Elyaf

Polimer esaslı kompozit malzemelerde cam elyafı en yaygın kullanılan ve en ucuz takviye türüdür. Esas olarak SiO_2 (silikon dioksit, silika) olan camda diğer elementlerin oksitleride bulunur. Elektriksel iletkenlik, kimyasal direnç ve korozyon dayanımı gibi özellikleri sağlamak için, farklı kimyasal bileşimlerde olan camlar üretilir, Tablo 1.2.

En yaygın olarak kullanılan cam elyaf türü E-camıdır. Malzeme mukavemetini ve elektrik direncini artırmak için kullanılır. E-camının mukavemeti, üretim sırasındaki işlemlere ve testin yapıldığı çevre koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Bunların başında, ortamdaki nem gelmektedir. Nem, mukavemeti düşürmektedir. Camın asitlerle teması ise mukavemeti düşüren diğer bir nedendir. Üretim sırasında cam elyaf liflerinin birbirlerine sürtünmesi de dayanımı azaltmaktadır. Elyaf içerisinde yok edilemeyen bazı süreksizliklerin oluşması da mukavemet değerlerinin her ölçümde aynı çıkmamasına neden olmaktadır.

Tablo 1.2. Kompozitlerde kullanılan cam elyaf türleri ve kimyasal bileşimleri [10].

Özellikler	Cam Tipi				
	E	S	R	C	D
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.54	2.49	2.49	2.49	2.16
Çekme dayanımı (20 °C) (GPa)	3.5	4.65	4.65	2.8	2.45
Elastik modülü (20 °C) (GPa)	73.5	86.5	86.5	70	52.5
Kopma uzaması (20 °C) (%)	4.5	5.3	5.3	4.0	4.5
Katkı Malzemeleri (%)					
SiO ₂	54	65	60	65	74
Al ₂ O ₃	15	25	25	4	
CaO	18		9	14	0.2
MgO	4	10	6	3	0.2
B ₂ O ₃	8			5.5	23
F	0.3				
Fe ₂ O ₃	0.3				
TiO ₂					0.1
Na ₂ O				8	1.2
K ₂ O	0.4			0.5	1.3

Alüminyum ve magnezyum oksit içeriği daha yüksek olan S-camının mekanik özellikleri daha iyidir. Bu nedenle yüksek çekme mukavemeti gerektiren alanlarda kullanılır. C-camı ise, korozyonlu ortamlara karşı kimyasal kararlılığı yüksek olduğundan asidik ortamlarda kullanılacak kompozitlerde kullanılır.

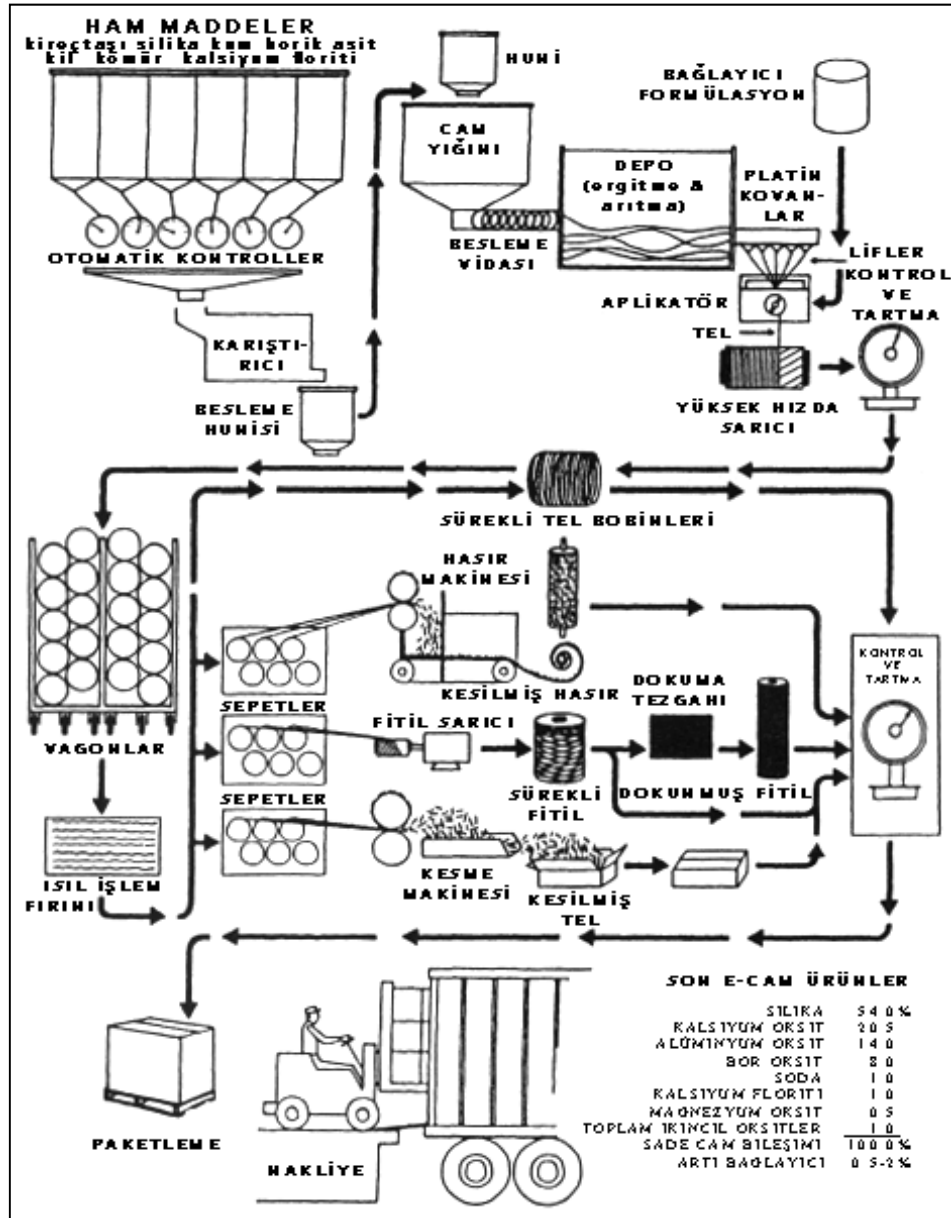
Cam elyafının üstünlükleri ucuzluğu, yüksek çekme ve darbe dayanımı, yüksek kimyasal dayanım olup, zayıf yönleri ise düşük elastiklik modülü, liflerin sürtünerek birbirini aşındırması, düşük yorulma dayanımı ve matrise tutunmanın az oluşudur. Cam yanmaz, mekanik özellikleri ise yüksek sıcaklıklarda çok fazla düşmez. Çok güçlü alkaliler ve hidroflorik asit dışında korozyon dayanımı mükemmeldir.

Cam elyaf sürekli ve süreksiz olarak üretilir. 1300 °C sıcaklıktaki sıvı cam, bir platin kovanın tabanındaki çok sayıda delikten aşağıya doğru demet halinde çekilir. Bir soğutma işleminden sonra, koruyucu yüzey kaplaması uygulanır. Bu tabaka, sürtünmeyi azaltarak hem aşınmayı önler hem de üretim sırasında liflerin birbirine göre hareketini kolaylaştırır. Aynı zamanda matris ile ara yüzeyi de oluşturur. Lifler daha sonra fitil olarak adlandırılan demetler halinde toplanır. Bu üretim sırasında hız 3 km/dak' ya kadar ulaşabilir. Bobinlere

sarılan elyaf kondisyonlanır ve kurutulur. Bu sırada koruyucu tabaka içerisindeki çözücü sıvı ve su giderilir. Cam elyafın üretim aşamaları Şekil 1.5’de gösterilmiştir.

Camın viskozitesi, sıcaklığı ve çekme hızı değiştirilerek farklı çaplarda (ticari olarak 2,5 μm – 20 μm) elyaf üretilir. Piyasaya sunuluşu;

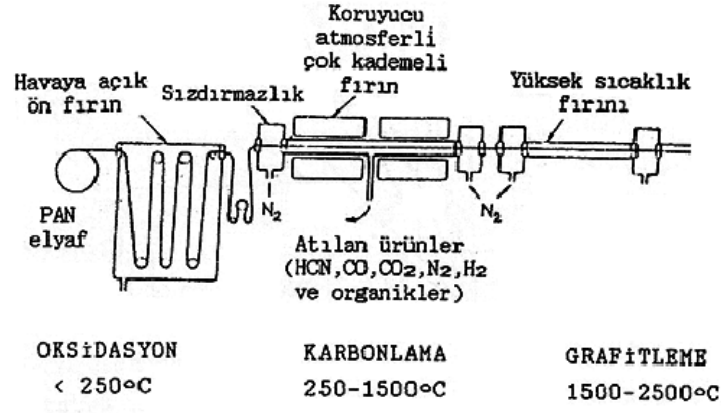
- Fıtil (bükümsüz),
- Fıtil (yarı bükülmüş),
- Bükülmüş iplik,
- Keçe ve
- Dokuma şeklindedir [1].



Şekil 1.5. Cam elyafın üretim aşamaları [6].

1.5.2.2. Karbon Elyaf

Yüksek elastiklik modülüne sahip karbon elyafın yoğunluğu düşük, yüksek sıcaklık dayanımı iyidir. Önceleri kılcal kristal olarak elde edilebilen bu malzeme, geliştirilen teknikler sayesinde sürekli lifler olarak da üretilmektedir. Bu yöntemlerde yüksek oranda karbon içeren bir ön mamul kullanılır (örneğin rayon ve poliakrilonitril-PAN). Isıl ve mekanik etkilerle karbon dışındaki elementler giderilmeye ve elyafıta güçlü karbon-karbon bağları elyaf eksenine getirilmeye çalışılır. Şekil 1.6'da karbon elyaf üretim şeması verilmiştir.



Şekil 1.6. Karbon elyaf üretim şeması [1].

Karbon elyaf oda sıcaklığında, nemden, atmosferden, zayıf asit ve bazlardan etkilenmez. Düşük sıcaklıklarda, cam ve aramid elyafları gibi gerilmeli korozyona karşı dayanıksız değildir. Yüksek sıcaklıklarda, diğer elyaflarla karşılaştırılamayacak kadar üstünlüklere sahiptir. Bunun yanında yüksek sıcaklıklarda oksitlenme önemli bir problemdir [10].

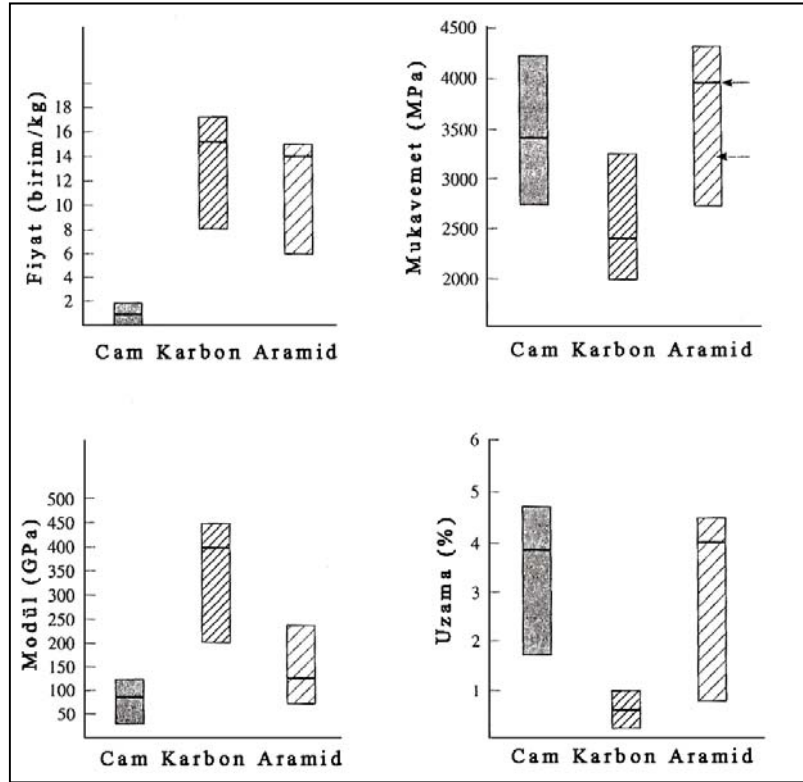
1.5.2.3. Aramid Elyaf

Değişik yapay elyaf türleri, otomobil lastikleri, balonlar, paraşütler vb. yerlerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadırlar. Bunlar arasında en çok tanınanlar amin gruplarının tekrarlandığı polimerler, örneğin poliamid veya naylon ile benzen halkaları içeren aromatik poliamidlerdir (aramidler). Aramid ailesi içinde en çok kullanılan türler Kevlar 29 ve Kevlar 49 dur.

İlginç bir elyaf olan Kevlar 49 camdan hafif ve rijit olup, fiyatı camdan pahalı diğer elyaflardan daha ucuzdur. Elyafa işlem yapmak çok kolaydır ve üretimleri değişik biçimlerde gerçekleştirilebilir (iplik, fitil, dokuma gibi). Elyaf sarmada başarı ile uygulanabilirler (basınçlı kaplar, roket gövdeleri ve elektrik hatları yalıtım boruları).

Basma dayanımlarının düşük olması kullanımlarını sınırlar. Isındıkça kısalırlar ve bu durum tasarımda göz önüne alınmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımları oldukça iyidir. En zayıf yönleri kolay eğilmeleridir. Kesmesi zordur. Birçok ortamda korozyon dayanıklılığı iyi olmasına rağmen sülfirik aside ve güneş ışınlarına karşı duyarlıdır. Mukavemet özellikleri 300°C den sonra ani olarak düşmektedir.

Cam elyafın diğer takviye elemanları ile çeşitli kıyaslamaları Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7. Cam, karbon ve aramid elyafın fiyat, mukavemet, uzama ve modüllerinin karşılaştırılması [11].

1.5.3. Polimer Matris Malzemeleri

Matris, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin önemli iki bileşeninden biri olup, elyaf takviyelerin öngörülen zorlamaları taşıması matrisin uygun olarak seçilmesine bağlıdır.

Matris, bağlayıcı bir faz etkisi göstererek elyafları bir arada tutar, kuvvetleri elyafa iletir, elyafı ortamın etkisi ve darbelerden korur, kompozit malzemenin şekillenmesini sağlar ve tokluğunu artırır.

Termosetler, termoplastikler ve elastomerler olarak üç gruba ayrılan plastik matrisler genelde sürekli elyaf takviyeli olarak kullanılırlar.

1.5.3.1. Elastomerler

Üç boyutlu şebeke yapısı oluşturacak yüksek esneklik gösteren polimerlerden meydana gelir. Zayıf kuvvetlerle deforme olabilen bu kuvvet kaldırıldığında kolayca eski şekli alabilen aynı zamanda ısı ve basınç uygulaması ile bir enjeksiyon veya ekstrüzyon cihazla biçimlendirilebilen yüksek mol ağırlıklı polimerdir.

Bazı elastomerler: Polibütadien, poliüretan kauçuk, silikon kauçuk

Kullanıldığı yerler: Oto lastikleri, bisiklet lastiği, kösele, sızdırmazlık halkaları vb.

1.5.3.2. Termosetler

Termosetler, polimerizasyonla iki kademede elde edilir. Birincisi malzemeyi ihtiva eden monomerler lineer zincirlerin bir araya getirdiği reaktörde başlarken ikinci polimerizasyon işlemi kalıplama işlemi esnasında sıcaklık ve basınçla reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirleri üç boyutlu yapıya sahip olurlar ve rijittirler. Bunlar tekrar ısıtılarak yumuşatılamazlar. Yüksek sıcaklıklarda ise kovalent bağlar kopar ve malzeme giderek kömürleşir.

Bu gruba giren plastikler;

- a) Polyester: Banyo küveti, botlar
- b) Epoksiler: Uçak iç donanımı, en kuvvetli yapıştırıcıların temel maddesi
- c) Alkilitler: Arabaların boyanmasında kullanılan boya sistemlerinin temel elemanları
- d) Fenolik reçineler: Elektrik aksamı
- e) Furan reçineler: Koruyucu metal kaplama
- f) Amino reçineler: Tabak
- g) Silikon: Oto cilası

1.5.3.3.Termoplastikler

Termoplastikler, oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Bunlarda çizgisel molekül zincirleri birbirine zayıf Van der Waals bağları ile bağlanır. Rijit bir yapıya sahip değildirler. Bir termoplastik malzeme kritik bir “camsı duruma geçiş sıcaklığının” üzerine ısıtılırsa yumuşar ve sıcaklık arttıkça plastiğin viskozitesi düşer. Bu özellik bunlardan yapılan ürünleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla şekillenmesini sağlar. Bu malzemeler tekrar soğutulduklarında yeniden sertleşirler. Buharlaşma ile bileşimleri değişmediği sürece bu çevrim istenildiği kadar tekrarlanabilir. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozite hali yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosete göre daha zordur. Ancak şekillendirme kapasitesi iyi olduğundan bunların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu polimerler kristalin veya şekilsiz (amorf) olabilir. Kristal şekilli olanlarda moleküller büyük uzaklıklarda oldukça düzenli şekil oluştururlar. Amorf polimerler de ise uzun zincirler birçok noktada birbirine dolaşmıştır. Bunlar polimeri daha büyük sıcaklıklarda rijit yapar. Kısa elyafla küçük hacim ortamında hamur veya levha kalıplama yöntemi ile kullanılmaktadır. Kimyasal etkilere karşı keza hassatırlar. Ancak poliamid veya PEEK/karbon elyaflı kompozitte 95°C’de suya karşı koyma dayanımında azalma olmamaktadır. Tutuşma direnci keza daha iyidir [13].

Bu gruba giren plastikler;

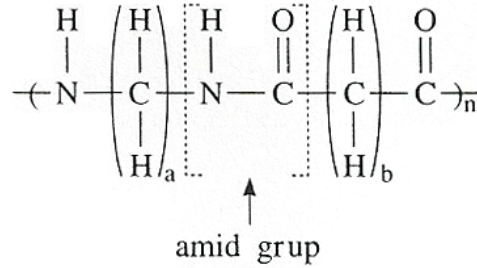
- a) Asetol reçineler: Şaft yatağı
- b) Akrilikler (polimetil metakrilat): Işıklı panolar
- c) Selilozik (selüloz asetat): Işıklı panolar
- d) Florokarbon (polutetro floroetilen): Teflon tava
- e) İzosiyonatlar (poliüretan): Isı izolasyonunda
- f) Poliamidler (nylon): İp imalinde, giysi vb.
- g) Poliolefinler (polietilen-polipropilen): Nylon torba, meşrubat kasası
- h) Stiren (polistiren): Okul gereçleri, yoğurt kabı
- i) Vinil (poli vinil klorür, P.V.C)
- j) Polikarbonat: Trafik ışıkları

1.5.4. Poliamidler veya Naylonlar (PA)

En önemli PA ailesi naylon olup naylon 6 ve naylon 6.6 olarak iki kalitesi vardır. Bunlar Du Pont Şirketi tarafından geliştirilmektedir. Naylon dayanıklı olup elastik modülü yüksek ve abrasiv aşınmaya karşı dirençlidir. Kendi kendini yağlama özelliğine sahiptir. 125 °C civarında mekanik özelliğini muhafaza eder. Önemli bir dezavantajı ise suyu emmesidir. Dişli, yatak vb. parçaların yapımında dayanım ve düşük sürtünmenin gerekli olduğu yerlerde metal yerine kullanılmaktadır. İkinci grup poliamidler Aramidler'dir. Ticari ismi Kevlar olup elyaf takviyeli kompozitler için önem kazanmaktadır. Kevlar'a olan ilginin sebebi ise dayanımı çelikten aynı olmasına rağmen ağırlıkça %20 daha düşük olmasındandır.

1.5.4.1. Poliamidlerin Genel Özellikleri

Şekil 1.8'de verilen tekrar eden polimer birimi poliamidleri temsil eder. Tekrar eden birimdeki a ve b ile gösterilen CH₂ (metilen) gruplarının sayısı bir naylondan diğer naylona değişir. Bu CH₂ gruplarının sayısı, bu ailedeki farklı polimer tipleri arasındaki ana farklılığın temelidir.



Şekil 1.8. Poliamidler için tekrar eden polimer birimi [11].

Naylonlar yoğunlaşma polimerizasyonu ile oluşurlar. Monomerler, amid gruplar ve yan ürün olarak su oluşturmak için birleşirler.

Amid grup, naylon ailesi özelliklerinin ana belirleyicisidir. N-H bağı ve C-O bağlarının her ikisinde polardır ve N ve O negatif uçlardır. Bu polarite komşu naylon molekülleri arasında ikinci bağların oluşumuna yol açar. Bu ikincil bağlar (H bağları) naylon moleküllerinin birbirine göre hareketini sınırlar ve çekme mukavemetini artırır. Ayrıca

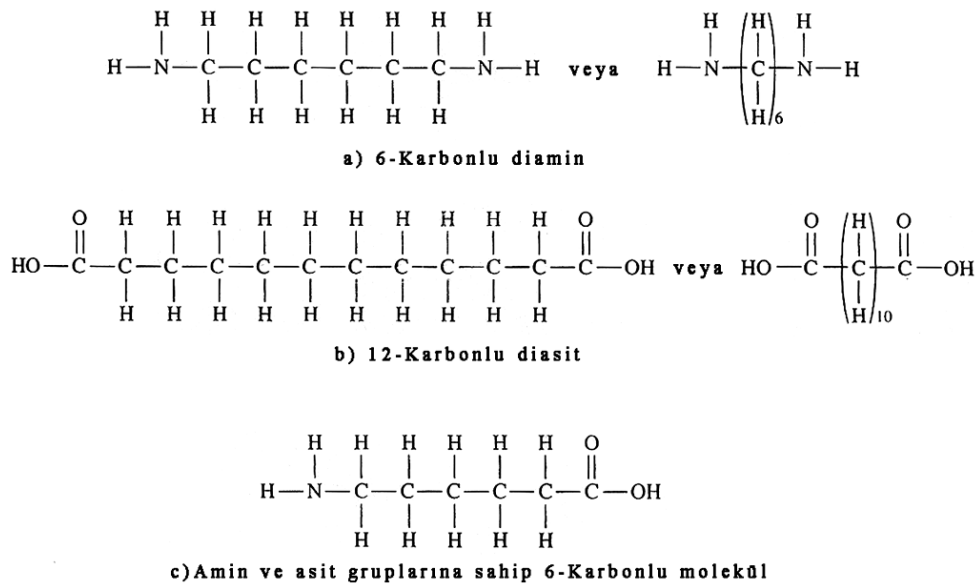
ikincil bağlar naylon moleküllerinin yüksek kristalleşmesi sonucu oluşan sıkışmayı rahatlatır. Bu kristalleşme, yüksek mukavemet, yüksek katılık, düşük gaz ve buhar geçirgenliği, yarı saydamlık, dar bir ergime aralığı, iyi aşınma direnci, iyi yorulma ömrü ve yüksek sıcaklıkta işlenmeye olanak tanır. Bu özellikleri kullanan tipik naylon parçalar, dişliler, merdaneler, miller, pervaneler, yataklar, vakum sistemleri için filmler, pişirme torbaları, fermuarlardır.

Amid grubun polaritesi naylonu su gibi polar çözücülere karşı duyarlı yapar. Naylonun su emmesi (% 2,5 ağırlık) diğer tüm mühendislik termoplastiklerinden daha yüksektir. Su emme özellikler üzerinde önemli etki yapar.

Amid grubun polaritesi, geleneksel çözücü esaslı yapıştırıcılarla naylonun birleştirme yeteneğini artırır. Polar olmayan çözücülere duyarsızdır. Bu yüzden yağ ve grese maruz parçalarda yaygın olarak kullanılır.

1.5.4.2. Özel Naylon Tiplerinin Özellikleri

Çeşitli naylon tipleri arasındaki farklılıklar büyük oranda, amid grupları arasındaki molekül kısımlarındaki karbonların sayısına bağlıdır. Bu kısımlar, naylon polimeri oluşturmada kullanılan monomerlerdeki kısımlardır. Bundan dolayı, naylon Şekil 1.9a'da gösterildiği gibi 6-karbonlu bir diamin ve Şekil 1.9b'de gösterildiği gibi 12-karbonlu bir diasit den oluşmuşsa ortaya çıkan poliamid, naylon (6/12) olarak adlandırılır.



Şekil 1.9. Poliamid (naylon) yapımında kullanılan monomerler [11].

1.5.4.4. Kestamid (Döküm Poliamid - PA6 G)

Kestamid, poliamid grubundan bir malzeme olup döküm yoluyla imal edilir. Döküm Poliamid veya Döküm Naylon adları ile de tanımlanır. Sıkı bir dokuya ve sertliğe sahiptir. Kimyasal yönden çapraz bağlı moleküler yapısı nedeni ile üstün özelliklere sahip bir poliamid türüdür. Poliamidler yüksek mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerden dolayı sanayide en çok kullanılan mühendislik plastiklerinden biridir.

Kestamid çok yüksek molekül ağırlığı, kristal yapısı ve çapraz bağlara sahip olma özelliklerinden dolayı sert, aşınmaya ve bükülmeye dayanıklı ve Naylon 6'ya göre daha az su emen sağlam bir plastiktir. Kestamid'in bilinen mekanik ve fiziksel özelliklerini daha da arttırmak amacı ile özel katkı tipleri de imal edilmektedir. Kestamid sarı renktedir. Arzu edilirse siyah veya değişik renklerde de üretilmesi mümkündür. Kestamid universal metal ve ağaç işleme tezgahlarında kolaylıkla işlenebilir. Kestamid'in kimyasal maddelere dayanımı iyidir.

Alüminyum, bakır, bronz, çelik, fiber, pirinç ve diğer metallerin kullanıldığı birçok yerde bu metallerin yerine kullanılabilir. Kestamid'in çeşitli kullanım alanları Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Kestamid'in çeşitli kullanım alanları [12].

ÇEŞİTLİ KULLANIM ALANLARI	
İnşaat Makineleri Parçaları	Pompa ve Vana Kılıfları
Rulo, Silindir Kaplamaları	Manifoltlar
Gemi Şaft ve Dümen Mili Yatakları	Zamanlama Dişlileri
Contalar	Kaplinler
Besleme Vidaları	Aşınma Pabuçları
Aşınma Plakaları	Elevatör Kovaları
Kılavuz Bantları	Çelik Göbekli Makara, Dişli ve Burçlar
Yönlendirici Profiller	Teleskopik Silindir Yatakları
Sıyırıcılar	Kurutma Silindir Dişlileri
Pres Plakaları	Su Tasfiye Ekipman Parçaları
Kayıcı Aşıklar	Araba Tekerlekleri
Çekiç Başları	Prototip Makine Parçaları

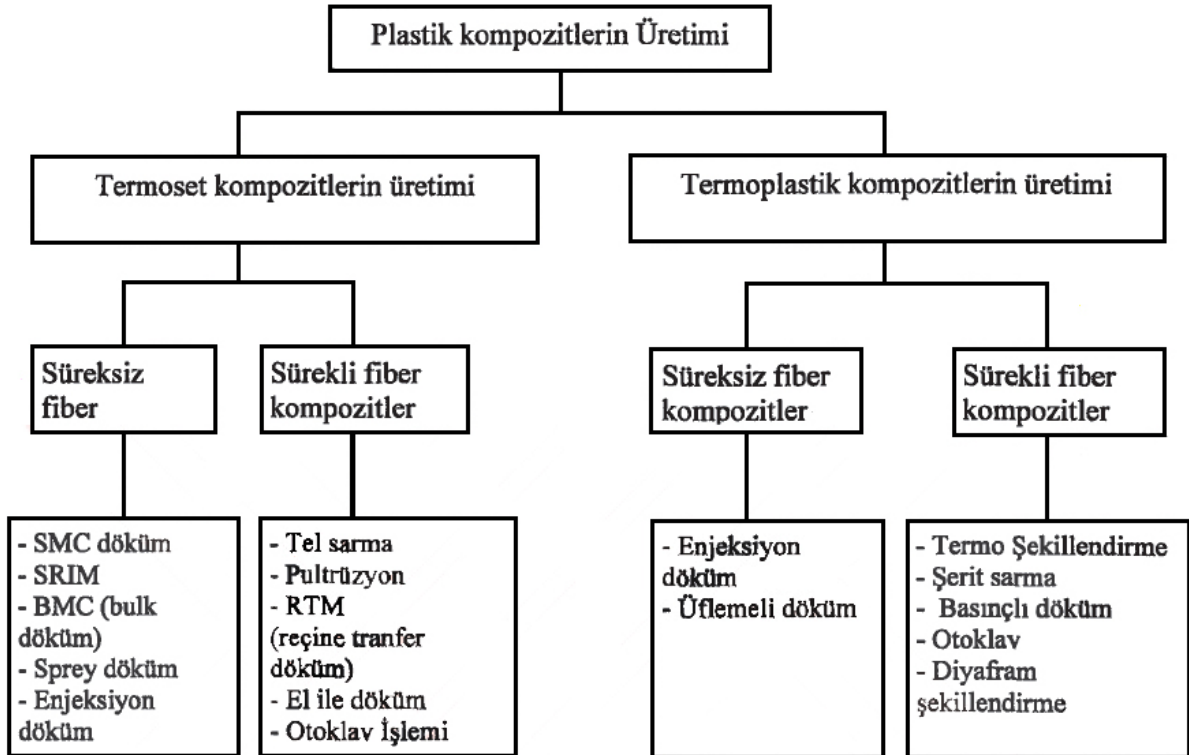
1.5.5. Katkı Maddeleri

Polimerlerin çoğu katkı maddeleri içerirler. Söz konusu katkıları polimerlerin özelliklerinin iyileştirilmesi için katılırlar. Kullanılan belli başlı katkıları; renklendiriciler, yanmayı geciktiriciler, yumuşatıcılar, dolgular, şişiriciler, bağlayıcılar, stabilizatörler ve takviye maddeleridir.

1.5.6. Üretim Yöntemleri

Kompozit malzeme üretim yöntemlerinde, elyaflar, reçineler, hasırlar, ön gömülmüş tabakalar (prepregler), kalıp bileşenleri gibi çeşitli kompozit hammaddelerinden, kompozit parça üretiminde faydalanılır. Her bir üretim yöntemi, farklı tipte malzeme sistemi, işlem şartları ve farklı donanım gerektirir. Şekil 1.11’de en sık kullanılan kompozit üretim yöntemleri gösterilmiştir.

Ayrıca bu konu altında, sadece çalışmada kullanılan üretim yönteminden bahsedilmiştir.



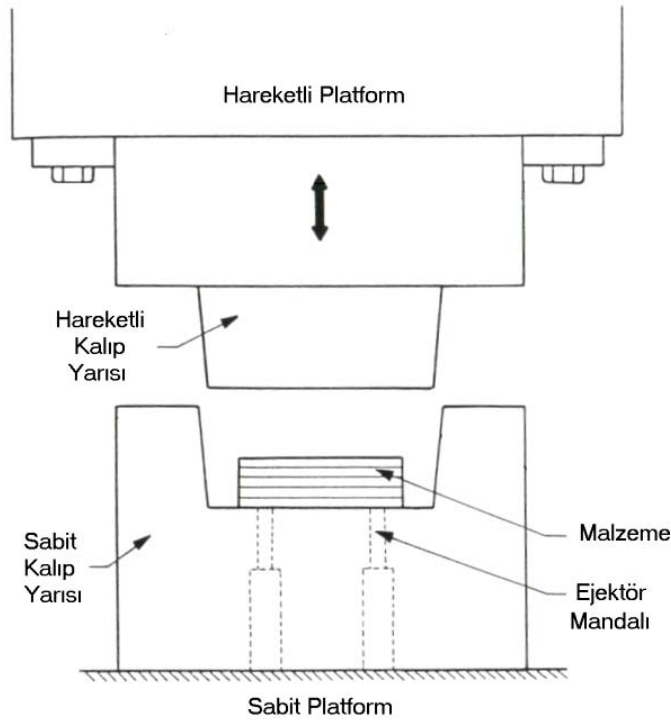
Şekil 1.11. Kompozit üretim yöntemlerinin sınıflandırılması [13].

1.5.6.1. Basınçlı Kalıplama Yöntemi

Basınçlı kalıplama yüksek kapasitesi nedeniyle otomotiv endüstrisinde popülerdir. Bu yöntem büyük otomobil panellerinin kalıplanmasında kullanılmaktadır. Bu kalıplamada tabaka kalıp bileşeni (SMC) ve yığın kalıp bileşeni (BMC) en yaygın kullanılan hammaddelerdir.

Kalıplama işleminde SMC dikdörtgensel parçalara kesilir ve önceden ısıtılmış olan kalıbın alt yarısına yerleştirilir. Kalıba konulan malzeme, toplam alanın %30 – 90' ı arasında yer kaplamaktadır, geriye kalan alan kalıplama sonrası malzemenin akışı ile doldurulur.

Bu yöntem reçine transfer kalıplamaya (RTM'e) benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine/elyaf karışımının kalıp dışarısında karışmış ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte ediliyor olmasındadır. Sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntemde kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar birçok ürün bu yöntemle üretilmektedir.



Şekil 1.12. Basınçlı kalıplama yöntemi [6].

1.5.7. Kompozit Malzemelerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik gibi özelliklerini etkileyen pek çok faktör vardır. Bunları genel olarak elyaf hacim oranı, elyaf şekli ve doğrultusu, elyaf çapı ve boy/çap oranı, matris malzemesin özellikleri, elyaf geometrisi, üretim metodu ve mikro yapının etkisi olarak sınıflandırabiliriz [14].

1.5.7.1. Elyaf Hacim Oranı

Elyaf hacim içeriğinin artması çekme dayanımı ve elastisite modülünün arttığını göstermektedir. Elyaf hacim oranı iki ana faktöre bağlıdır. Bunlar, kompozit malzemeye uygulanan üretim tekniği ve elyaf geometrisidir.

Değişik çalışmalarda, elyaf hacim oranının malzemenin mekanik özelliklerine etkisi ele alınmıştır. Eğilme mukavemetinin, % 10 elyaf ağırlık oranına kadar azaldığı, bu orandan sonra ise arttığı görülmüştür. Malzeme sertliğinin ise elyaf hacim oranı arttıkça, arttığı saptanmıştır.

1.5.7.2. Elyaf Şekli ve Doğrultusu

Kompozit malzemelerde çok değişik elyaf geometrisi kullanılır. Fakat bunlar genellikle üç ana guruba ayrılırlar: (a) Tek yönlü (0°) bütün elyaflar bir doğrultuda ve yönde düzenlenmiş, (b) Çift yönlü ($0^\circ/90^\circ$), bir kısım elyaflar 0° de yönlenirken diğerleri de ($0/90$) olarak tanzim edilirler. Uzun tek yönlü olarak elyaflar elyaf eksenine paralel olarak yüklendiğinde kompozit bu yönde yüksek dayanım ve yüksek rijitlik verir. En düşük özellikler ise elyaf eksenine dik doğrultuda yapılan düzenlemelerde elde edilir. Fakat elde edilen bu özellikler çok anizotropiktir. Bu durum için; ya örme türü elyaf kullanılarak ya da tek yönlü olarak düzenlenen elyaf tabakalarının sırasıyla hem 0° de hem de 90° de düzenlenerek sağlanır. Ancak, buna göre daha iyi özellikler ise $0^\circ/45^\circ$ veya $0^\circ/60^\circ$ düzenleme yapılarak sağlanabilmektedir. Elyaflar düzlem içinde rast gele dağıtılmış ve yönlenmiş durumda ise iki yönlülere göre biraz daha düşük mekanik özellikler gösterirler.

1.5.7.3. Elyaf Çapı ve Boy/Çap Oranı

Elyaf çapının da dayanım üzerine etkisi çok büyüktür. Küçük çaplı çok sayıda elyafı ıslatabilmek güç olduğundan küçük çaplı elyafların üretimi zordur. Ancak yeterli ara yüzey bağı temin edildiği takdirde oldukça yüksek mekanik özellikler elde edilir. Elyaf çapı arttıkça mekanik özelliklerde azalmalar görülürken tersine elyaf çapı azaldıkça da mekanik özelliklerde epey artışlar görülmektedir. Elyaf boy/çap oranına gelince; büyük boy/çap oranına sahip olan kesikli elyafların matris içine daha kolay katılması ile çekme dayanımı ve elastisite modülünde yeterli artışlar sağlanabilmektedir. Elyaf içeriğine bağlı olarak dayanımın arttığı görülmektedir. Örneğin, elyaf uzunluğunun kritik elyaf uzunluğuna eşit olması halinde yaklaşık 800 MPa dayanım elde edilirken elyaf uzunluğu kritik elyaf uzunluğunun 2 katına çıktığında ise bu değer yaklaşık olarak 1260 MPa değerine ulaşabilmektedir [14].

1.5.7.4. Matris Malzemenin Özellikleri

Matris malzemenin özellikleri kompozit malzemenin dayanımını etkiler. Özellikle yüksek sıcaklıklarda matris malzemenin dayanımının düşmesi kompozit malzemenin dayanımının düşmesine neden olur. Bu özellikle polimer esaslı kompozit malzemelerde ön plana çıkmaktadır.

1.5.7.5. Elyaf Geometrisinin Etkisi

Bütün elyaflar bir yönde düzenlenirse kompozit bu yönde oldukça dayanıklı ve rijit olacak, fakat bu yöne dik doğrultuda ise düşük elastik modüle ve dayanıma sahip olacaktır. Tek yönde takviyeli kompozit elyaf ekseninden (0°)'den küçük ayrılmalara test edildiğinde dayanımda hayli düşmeler gösterir. Elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliği üzerine elyaf doğrultusunun etkisi büyüktür. Örneğin tek yönlü cam elyaf takviyeli tabakalı kompozitin çekme modülü üzerine değişik elyaf yerleştirme açılarının etkisi vardır. Hangi tür kompozit olursa olsun anizotropik özellik gösterdiği açıktır. Eğer aynı miktarda elyafın yarısı tek yönlü diğer yarısı da dik yönlerde düzenlenirse bu durumda her iki yönde de eşit dayanım ve rijitlik sağlanabilmektedir.

Ancak bütün bu geometrik düzenlemelerden hiç biri tek yönlü takviyeli kompozit malzeme kadar dayanımı yüksek değildir. Aynı miktarda elyaf düzlem içinde rast gele yönlendirilmişse o zaman kompozit malzeme düzlem içinde bütün yönlerde eşit dayanım ve elastisite modülüne sahip olacaktır. Tek yönlü kompozit malzemede mekanik özellikler eksene dik doğrultuda çift yönlü elyafli kompozitlerden daha düşük değerlerdedir.

1.5.7.6. Üretim Metodu ve Parametrelerin Etkisi

Üretim metodunun kompozitin mekanik özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Toz metalurjisi metodu (TM) ile üretilen malzemeler, sıvı metal karıştırma metodu (EMK) ile elde edilen malzemelerden, parçacık şekli, boyutu ve mikro yapısı bakımından farklıdır. TM ile üretilen kompozitler daha uniform bir parçacık dağılımına sahiptir. Fakat mikro yapılar arasında ve parçacık boyutunda farklar mevcut bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak da döküm tekniğine göre toz metalurjisi tekniği ile üretilen kompozitlerden daha yüksek mekanik özellikler elde edilebilmektedir.

1.5.7.7. Mikro Yapının Etkisi ve Porozite

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine mikro yapının ve porozitenin (gözeneklik) büyük etkisi vardır. Özellikle porozitenin yüksek olması kompozit malzemenin dayanımını önemli ölçüde düşürmektedir. Çünkü porozite bölgeleri çatlak başlangıç noktaları olarak davranmakta ve malzemenin statik ve dinamik zorlamalardaki dayanım değerlerini düşürmektedir.

1.6. Literatür Çalışmaların Özeti

Güllü ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, polipropilen (PP) ve poliamid-6 (PA6) plastiklerini ağırlıkça % 15 ve % 30 oranlarında silan kaplı E-camı elyafı (uzunluk= 6 mm, çap= 13µm) ile takviyelendirmişlerdir. ISO 294, ISO 527 ve ISO 180 standartlarına göre numuneler hazırlayıp enjeksiyon parametrelerinin (hız ve basınç) ve elyaf takviyesinin çekme ve darbe dayanımına etkilerini incelemişlerdir. Çekme mukavemetini ve kırılma enerjisini etkileyen en önemli parametrelerin elyaf uzunluğu ve elyaf ağırlık oranı

olduğunu bulmuşlardır. Ağırlıkça % 15 ve % 30 elyaf oranlarında PA6'nın çekme dayanımı % 74 ile 111 arasında iyileşmiştir. Ayrıca elyaf takviyelendirmesinin darbe dayanımı üzerinde farklı bir mekanizmasının olduğu gözlenmiştir. Ağırlıkça % 30 elyaf takviyesi PA6'nın kırılma enerjisini % 9 artırırken, bu değerin ağırlıkça % 15 elyaf takviyesinde % 21 azaldığı görülmüştür [15].

Sui ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, kauçukla güçlendirilmiş naylon-6,6 matris malzemesine ağırlıkça % 0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında kısa cam elyaf (uzunluk= 12 mm, ϕ = 10 μ m) katarak kompozit malzemeler üretmişlerdir. Kompozit üretiminde enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yöntemini kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda çekme dayanımı ve güçlendirilmiş naylon-6,6 rijitliğinin kısa cam elyaf takviyesi ile lineer bir artış sergilediği görülmüştür (Ağırlık oranı % 10 olan elyaf karışımı hariç). Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin (yüksek elyaf oranlarında bile) ekstrüzyon yöntemine göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ağırlıkça % 30 elyaf oranlarında kompozit malzemenin çekme mukavemeti enjeksiyonla kalıplamada 85 MPa iken ekstrüzyon yönteminde 70 MPa civarında bulunmuştur. Aynı şekilde elastisite modülü enjeksiyon yönteminde 7 GPa iken ekstrüzyon yöntemiyle üretilen kompozitlerde 5 GPa bulunmuştur [16].

Fu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle ürettikleri kısa cam elyaf takviyeli ve kauçukla güçlendirilmiş poliamid-6,6/polipropilen karışımından oluşan kompozitin mekanik özelliklerine PA6,6/PP oranının etkilerini incelemişlerdir. Artan PA6,6/PP oranıyla birlikte kompozit dayanımı artarken elastisite modülünün azaldığı ortaya çıkmıştır. Cam elyaf takviyeli kompozitlerde PA6,6/PP oranları 75/25, 50/50 ve 25/75 olanların 100/0 veya 0/100 olanlardan daha yüksek yüzde uzamasına sahip olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde Charpy darbe dayanımları bu orta sınıf (75/75 veya 50/50) PA6,6/PP oranlarında daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca üstün tüm mekanik özelliklerin optimum birleşimiyle üretilen kompozitlerde PA6,6/PP oranı kontrolünün etkili bir yol olduğunu kanıtlamışlardır [17].

Thomason'un yaptığı çalışmada, uzun cam elyafla takviyelendirilmiş poliamid 6,6 kompozitler, enjeksiyon kalıplama tekniği ile hazırlanmıştır. Çalışmada, ϕ ları ortalama 10, 14 ve 17 μ m olan ağırlıkça % 10 - 50 oranlarında cam elyaftan hazırlanan kompozitlerin mukavemet ve uzama değerleri incelenmiştir. Kompozit dayanımının artan elyaf konsantrasyonu ile lineer olmayan biçimde arttığı ve artan elyaf ϕ ı ile lineer olarak azaldığı bulunmuştur. Ağırlıkça % 35 elyaf oranlarında malzemedeki uzamanın maksimum

olduğu kanıtlanmıştır. Azalan elyaf çapı ile birlikte bu maksimum değer daha belirgin olarak ortaya çıkarılmıştır [18].

Thomason yaptığı çalışmada, enjeksiyon tekniği ile üretilmiş uzun cam elyaf takviyeli poliamid-6,6 kompozit malzemenin elyaf uzunluğu, çapı ve konsantrasyonunun elastisite modülü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu kompozitlerin deney sonuçlarını ekstrüzyon tekniği ile üretilen standart kısa cam elyaflı kompozitlerle karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, elyaf uzunluğu ve çapının kompozit malzemenin elastisite modülü üzerinde aşırı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ancak elyaf hacim oranının elastisite modülünü lineer bir şekilde tırmandırdığı gözlenmiştir [19].

Pegoretti ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, naylon-6 / E-camı elyafı kompozitinin ara yüzeyindeki çatlak oluşumuna sıcaklık ve elyaf yüzeyinin etkilerini incelemişlerdir. Test sıcaklığı arttıkça ara yüzey özelliklerinin azaldığı gözlenmiştir. Artan sıcaklıkla birlikte matrisin kesme dayanımı ve elastisite modülündeki azalmayı ara yüzeydeki kesme kuvvetinin düşüşüyle açıklamışlardır [20].

1.7. Çalışmanın Amacı

Laboratuvar ortamlarında elde edilen plastiklerin tipleri, kaliteleri, mekanik ve fiziksel özellikleri hakkında bir sınır çizmek zordur. İmalat parametrelerindeki küçük bir değişikle bile plastiklerin özellikleri etkilenebilir. Bu parametrelerin kontrolü ile amaca uygun malzemeler geliştirilebilir. İşte bu esneklik mühendislik plastiklerini geleceğin malzemeleri yapmaktadır.

Uygulama alanlarına bağlı olarak, elyaf ve parçacık takviyeleri plastiklerin mekanik özelliklerini geliştirebilirler. Benzer dayanıma sahip malzemelerle karşılaştırıldığında bu takviye malzemeleri, mekanik özellikleri iyileştirmek ve maliyeti düşürmek amacıyla plastiklere katılırlar. Elyaf ve plastiklerden elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri yapıdaki elyaf dağılımına ve oranına bağlıdır [15].

Silah gövdesi imalinde kullanılan metalik malzemeler yerine polimer esaslı kompozit malzemeler kullanmak üreticiye üretim maliyetlerinde düşüş, üretim hızında artış, silah ağırlığında azalma, makul fiyat ve yurt dışı pazarda rekabet gibi imkanlar sağlayacaktır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada, kompozit esaslı yeni bir gövde malzemesinin geliştirilmesi ve bu malzemenin özelliklerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında, kompozitin optimum bileşim oranı da belirlenmeye çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada döküm poliamid (kestamid) matris, değişik elyaf hacim oranlarında cam elyaf ile takviye edilerek kompozit malzeme üretimi yapıldı. Elyaf hacim oranlarının çekme mukavemeti, sertlik ve darbe dayanımına etkileri incelendi.

Bu çalışmada incelenen numunelerin üretiminde matris malzemesi olarak Kestamid ticari ismi ile piyasaya sürülen döküm poliamid talaş haline getirilerek kullanıldı. Bu ürünün teknik özellikleri Tablo 2.1’de verildi. Takviye malzemesi olarak Cam Elyaf Sanayii A.Ş.’nin ürettiği 10 µm çapında ve 3 mm boyunda kırılmış demet haldeki E-camı elyafı kullanıldı. Söz konusu elyafın kimyasal bileşimi ve özellikleri Tablo 2.2’de verildi.

Tablo 2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan matris malzemesinin özellikleri [12].

Özellikler	Test Metodu ISO	Birim	Kestamid
Yoğunluk	1183	gr/cm ³	1,15
Su emme (doymuş)	62	%	7
Çekme Dayanımı	527	MPa	80-85
Elastiklik Modülü	527	GPa	4
Kopma Uzaması	527	%	>20
Basma Dayanımı	604	Kg/cm ²	950
Basma Modülü	604	MPa	2700
Darbe Dayanımı (Izod, çentikli)		Kj/m ²	5,6
Sertlik (Shore D)	868	Shore D	84
Aşınma Hızı		mg/km	0,44
Erime Sıcaklığı		°C	220
Kısa Süreli Maks. Çalışma Sıcaklığı		°C	170
Isı Genleşme Kat.	11359	°C ⁻¹	8x10 ⁻⁵

Tablo 2.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan elyafın özellikleri

Özellikler	Test Metodu ISO	Birim	E-camı elyafı
Yoğunluk	1183	gr/cm ³	2,56
Çekme Dayanımı	527	MPa	3445
Elastiklik Modülü	527	GPa	76
Kopma Uzaması	527	%	2,75
Lif çapı		µm	10
Kırılma boyu		mm	3
Nem miktarı		%	maks. 0,1
Kimyasal Bileşim		%	52,4 SiO ₂ 14,4 Al ₂ O ₃ 10,6 B ₂ O ₃ 4,6 MgO 17,2 CaO 0,8 Diğer

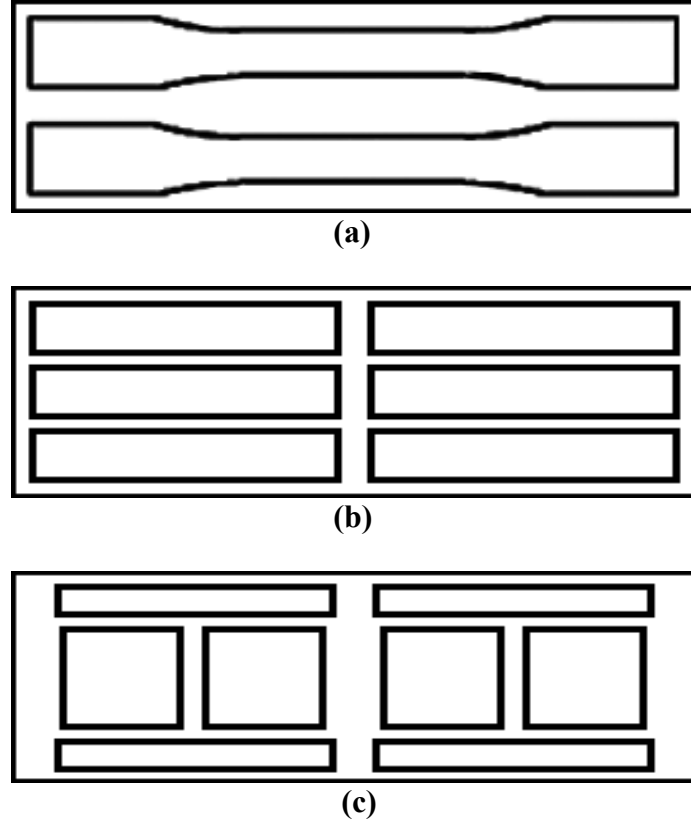
2.2. Numune Üretimi

Bu çalışmada numune üretimi için basınçlı kalıplama yöntemi kullanıldı. Üretimi yapılan kompozitlerin bileşimleri Tablo 2.3’de verildi.

Tablo 2.3. Üretilen kompozitlerin bileşimleri

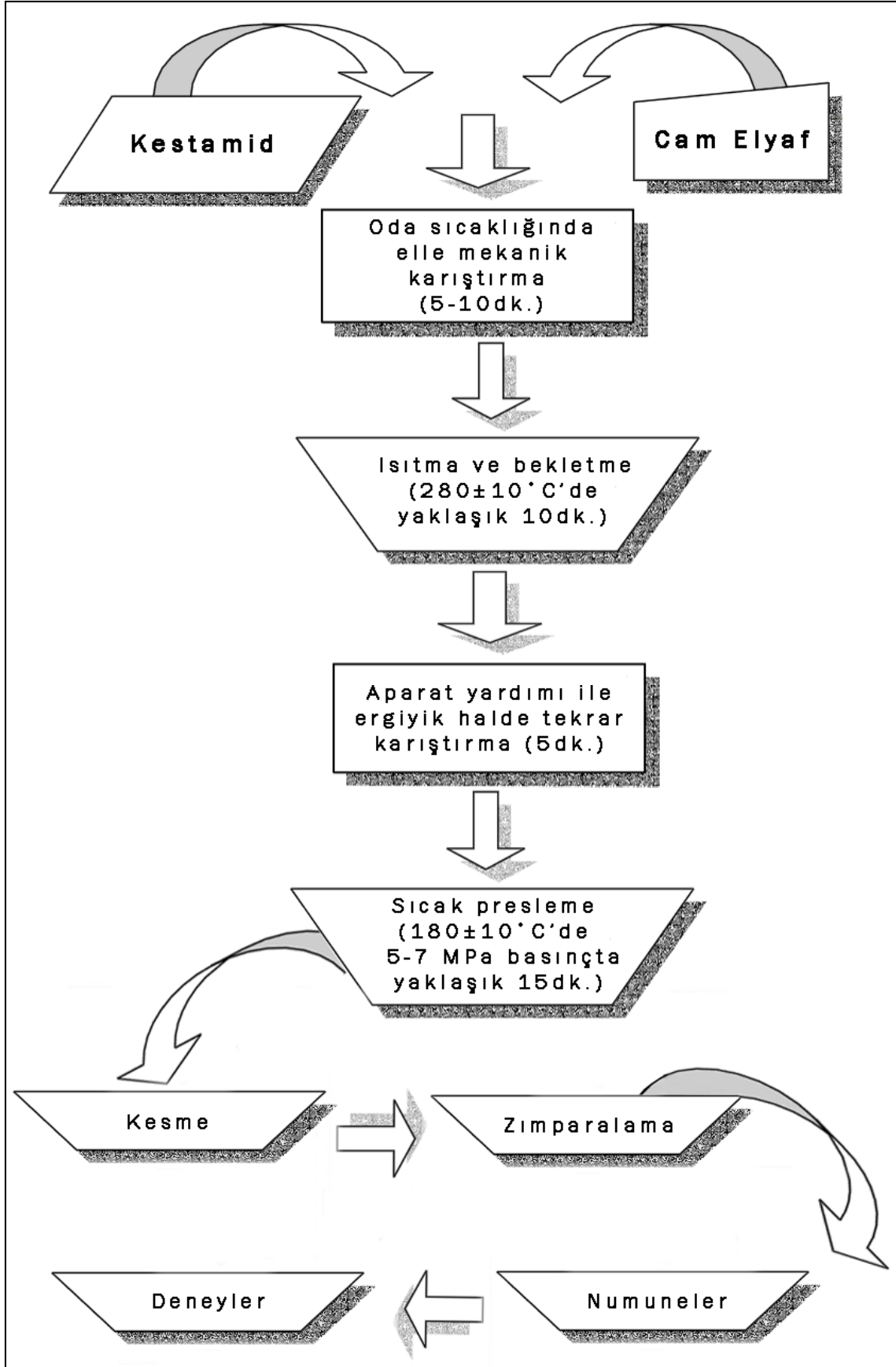
Numune kodu	E-camı elyafı		Kestamid	
	Ağırlık Oranı (%)	Hacim Oranı (%)	Ağırlık Oranı (%)	Hacim Oranı (%)
EO10	10	4,75	90	95,25
EO20	20	10,10	80	89,90
EO30	30	16,14	70	83,86
EO40	40	23,05	60	76,95
EO50	50	31,10	50	68,90
EO60	60	40,26	40	59,74
EO70	70	51,18	30	48,82

Numune üretiminde kullanılan tozlar 0,001 g hassasiyetli terazide tartıldı. Farklı ağırlık oranlarında hazırlanan bileşimler, homojen bir dağılım elde edilinceye kadar oda sıcaklığında 5-10 dakika elle mekanik olarak karıştırıldı. Karıştırılan bileşimler sıcaklık kontrollü bir kalıp içine doldurulup 280 ± 10 °C sıcaklığa ısıtılıp bu sıcaklıkta ergitilerek yaklaşık 10 dakika bekletildikten sonra bir aparat yardımı ile ergiyik halde tekrar karıştırıldı. Karışımın ardından bileşimler zımba yardımı ile kalıp içinde 15-20 bar ($5-7$ N/mm²) basınçta 15 dakika tutuldu. Daha sonra kalıp oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Yapışmayı önlemek amacıyla, zımba, gövde ve kalıp yüzeylerine kalıp ayırıcı sprej sıkıldı. Kalıptan çıkarılan kompozit levha elmas diskle kesilerek çekme, darbe, sertlik ve yoğunluk deneyleri için gerekli numuneler alındı (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kompozit levhadan çıkarılan a) çekme, b) darbe, c) sertlik ve yoğunluk numunelerinin düzeni

Alınan numuneler ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına uygun hale getirildi. Numunelerin yüzeylerinde oluşan boyut düzensizlikleri 400 nolu zımpara kâğıdı ile zımparalanarak deneylere hazır hale getirildi. Numune üretimi işlem akış diyagramı Şekil 2.2’de verildi.

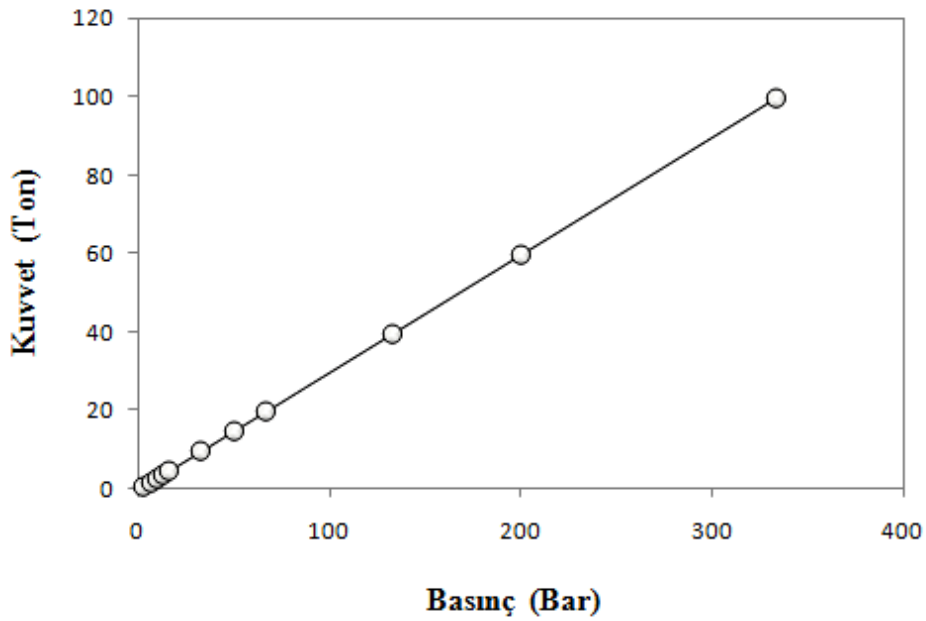


Şekil 2.2. Kompozit üretimi işlem akış diyagramı

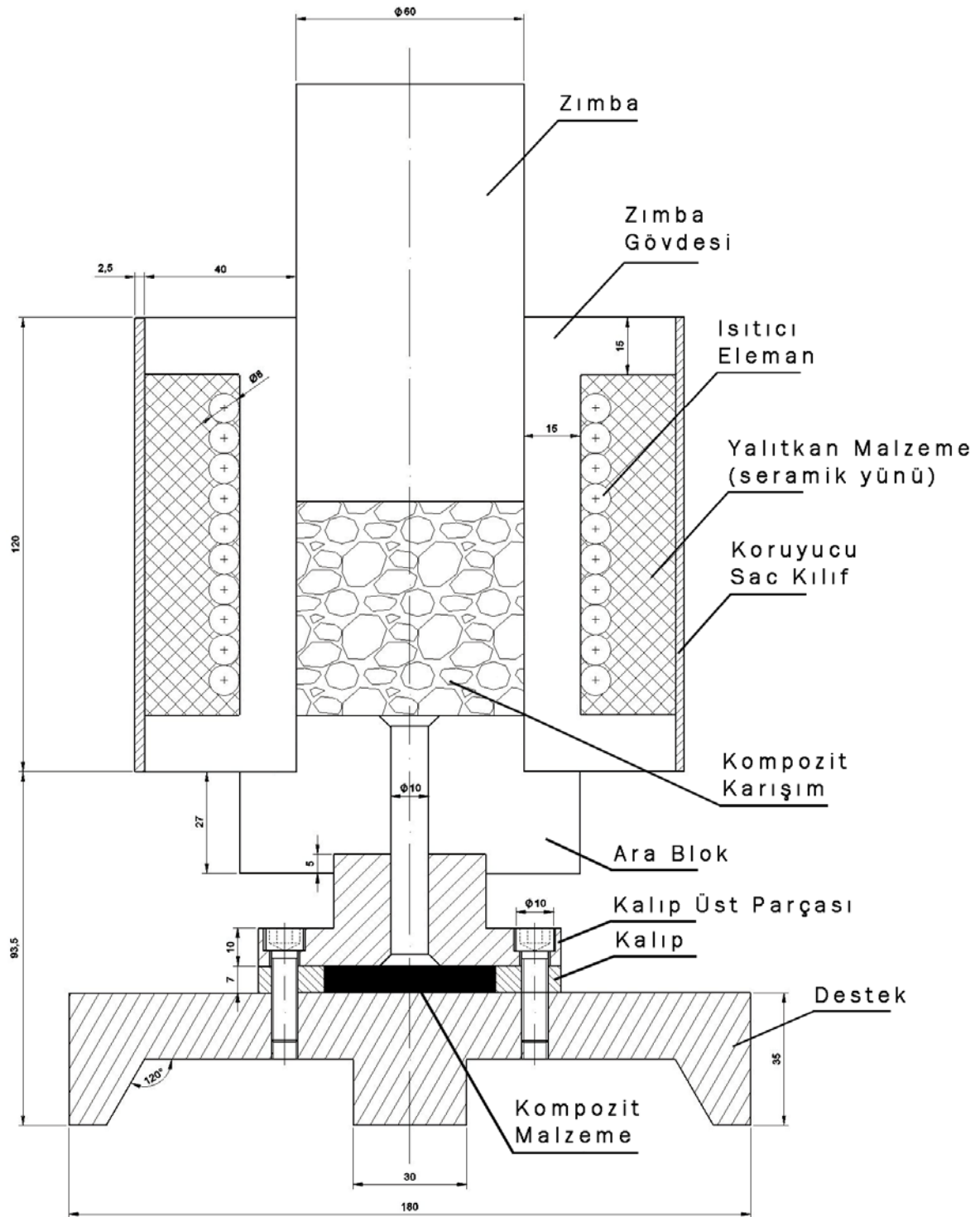
Numune üretiminde kullanılan hidrolik presin şekli Şekil 2.3’de, hidrolik prese ait kalibrasyon eğrisi ise Şekil 2.4’de verildi. Numune üretiminde kullanılan kalıp düzeneğinin şematik resmi Şekil 2.5’de verildi. Ayrıca Şekil 2.6’da deney numunelerinin hazırlandığı kalıp ile sıcaklık kontrolörü, güç kaynağı ve karıştırma aparatı gösterildi.



Şekil 2.3. Numune üretiminde kullanılan hidrolik pres



Şekil 2.4. Hidrolik pres kalibrasyon eğrisi



Şekil 2.5. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan kalıp düzeneğinin şematik resmi



Şekil 2.6. Numune hazırlama kalıbı, sıcaklık kontrolörü, güç kaynağı ve karıştırma aparatı

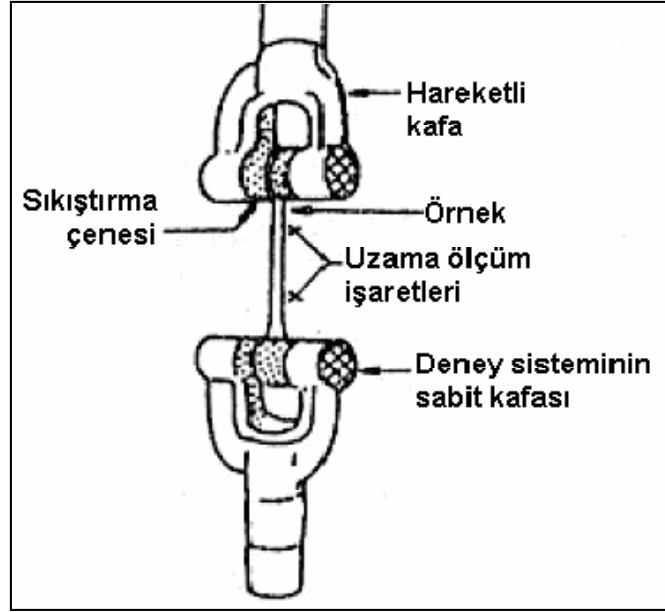
2.3. Ölçümlerin Yapılışı

2.3.1. Yoğunluk Ölçümü

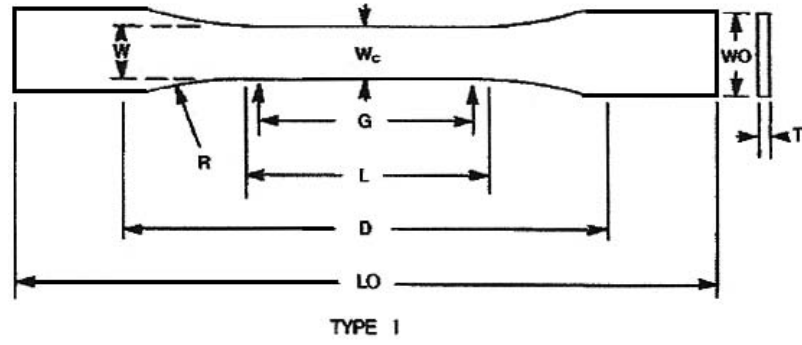
Yoğunluk tayini için üretilen levhadan 7x60x7 mm³ ebatlarında numuneler alınarak bunların kütleleri 0,1 mg hassasiyete sahip dijital terazide tartıldı. Boyutları 1 µm hassasiyetli mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplanan numunelerin, yoğunlukları $\rho = \frac{m}{V}$ eşitliğinden hesaplandı.

2.3.2. Çekme Mukavemetinin Belirlenmesi

Çekme deneyleri, ASTM D 638 – 03 standardına göre hazırlanan numuneler üzerinde, 100 kN yükleme kapasiteli Instron marka çekme deney makinesinde yapıldı. Numuneler çeneler arasına bağlanıp gerekli parametreler (numune genişliği ve kalınlığı) girildikten sonra 2 mm/dk sabit çekme hızında deneyler gerçekleştirildi. Şekil 2.7’de temsili çekme testi düzeneği gösterildi. Söz konusu deneyler sonucunda numunelerin temsil ettiği malzemeye ait çekme dayanımı, elastisite modülü ve % uzama değerleri belirlendi.



Şekil 2.7. Çekme testi düzeneği [13].



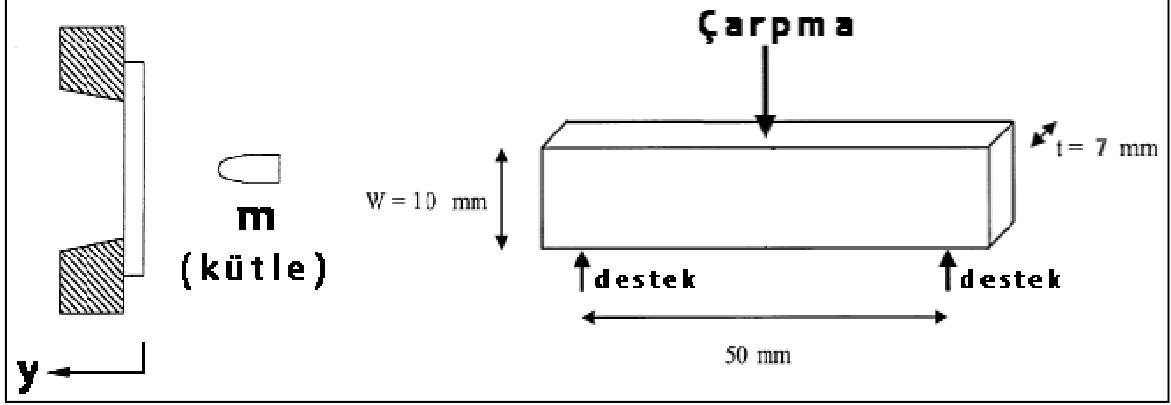
Şekil 2.8. Çekme testi numunesi [22].

Tablo 2.4. Çekme testi numunesinin boyutları [22].

W ; dar kısmın genişliği, mm	13
L ; dar kısmın uzunluğu, mm	57
WO ; tüm genişlik, mm	19
LO ; tüm uzunluk, mm	165
G ; ölçüm uzunluğu, mm	50
D ; kısıkaçlar arası mesafe, mm	115
R ; pervaz yarıçapı, mm	76
T ; kalınlık, mm	7

2.3.3. Darbe Dayanımının Belirlenmesi

Numunelerin Charpy darbe dayanımları oda sıcaklığında belirlendi. Numuneler $10 \times 65 \times 7 \text{ mm}^3$ boyutlarında ve çentiksiz olarak imal edildi. Numunelerin darbe dayanımları kırılma enerjisinin numune alanına bölünmesiyle hesaplandı.



Şekil 2.9. Charpy darbe testi düzeneği ve numune boyutları [24].

2.3.4. Sertlik Ölçümü

Oda sıcaklığında gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde $25 \times 25 \times 7 \text{ mm}^3$ boyutlarında numuneler kullanıldı. Her numunenin baskı yönüne dik doğrultudaki yüzeylerinden sertlik ölçümleri yapılarak, en az 5 ölçümün ortalaması alınıp sertlik değerleri tespit edildi. Sertlik ölçümlerinde HRF (Rockwell F) sertlik skalası kullanıldı. Bu deneyde 1/16" çapındaki sertleştirilmiş çelik bilya 10 kg. lık ön yük ve 60 kg.lık ana yük altında numune yüzeyine bastırıldı.

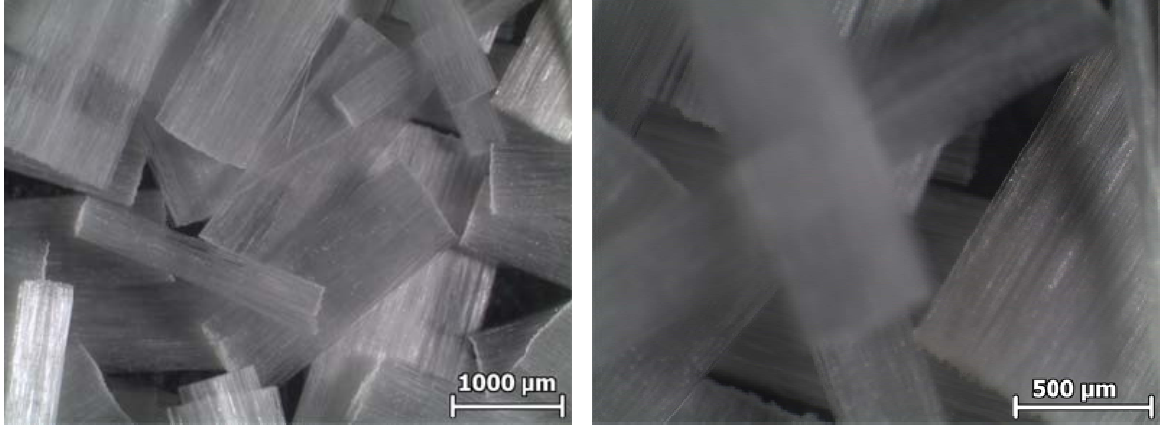
2.3.5. Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Charpy darbe deneyi sonucunda kopan numunelerin kırılma yüzeylerinden alınan örnekler Stereo Mikroskobu yardımı ile incelendi. Değişik elyaf hacim oranlarındaki numunelerin kırılma yüzeylerine ait fotoğrafları çekildi.

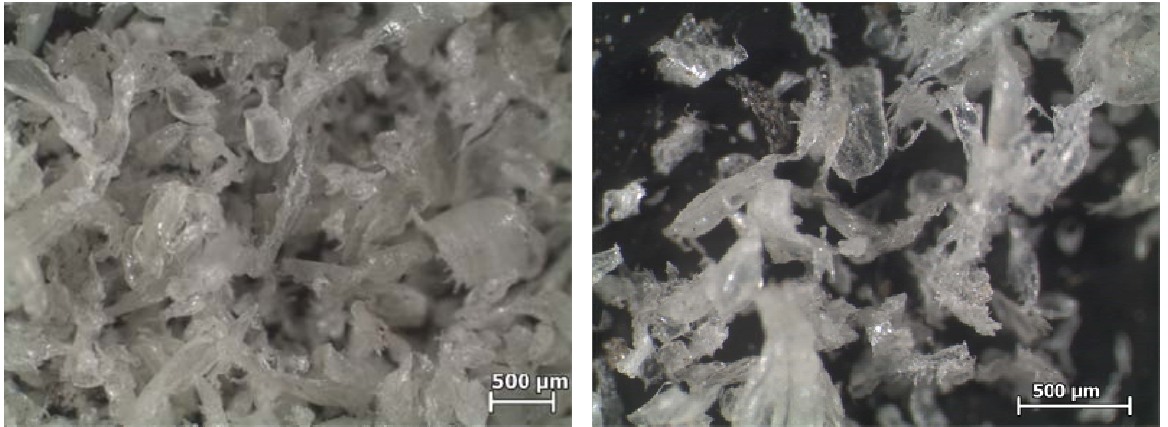
3. BULGULAR

3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Morfolojik Yapıları

Çalışmada kullanılan demet haldeki E-camı liflerinin ve talaş haldeki kestamid'in stereo mikroskopundaki görünümü Şekil 3.1'de verildi. E-camı lifleri 3 mm boyunda ve 10 mikron kalınlığında olup lifler birbirine yapışık demet halinde piyasaya sürülmektedir, Şekil 3.1. (a). Kestamid talaşının düzensiz şekilli büyük ve küçük parçacıklardan oluştuğu gözlenmiştir, Şekil 3.1. (b).



(a)



(b)

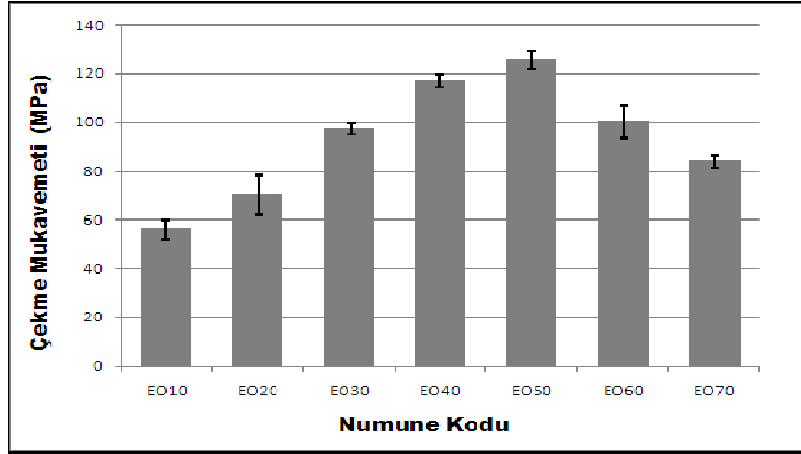
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan; (a) demet haldeki E-camı liflerinin ve (b) talaş haldeki kestamid'in düşük ve yüksek büyütmede çekilen görüntüleri

3.2. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

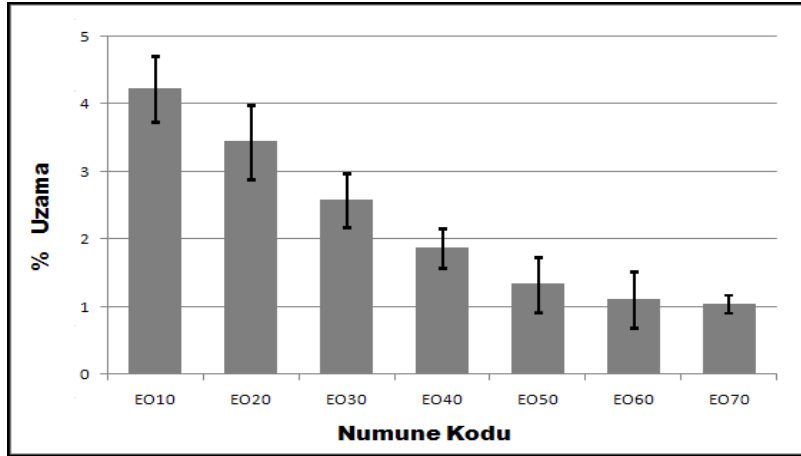
Üretilen numunelerin yoğunluk, çekme mukavemeti, elastisite modülü, yüzde uzama, darbe dayanımı ve sertlik değerleri Tablo 3.1’de verildi. Söz konusu sonuçların çubuk diyagramlarında gösterimi ise Şekil 3.2-3.6’da verildi.

Tablo 3.1. Numunelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

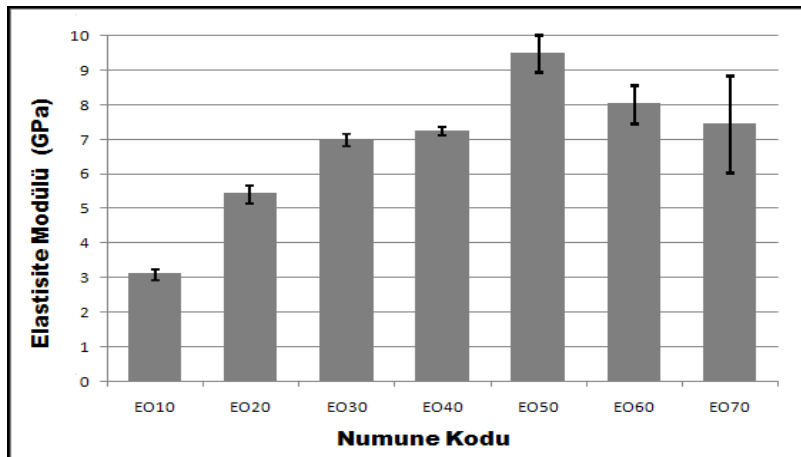
Numune Kodu	Numune Özellikleri					
	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme mukavemeti (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Uzama (%)	Darbe dayanımı (J/cm ²)	Sertlik (Rockwell F)
EO10	1,148	55,6 ± 5,25	3,12 ± 0,11	4,23 ± 0,48	5,24 ± 0,1	50,48 ± 2,78
EO20	1,187	69,4 ± 8,87	5,46 ± 0,31	3,45 ± 0,52	4,57 ± 0,23	54,72 ± 1,42
EO30	1,235	97,6 ± 2,34	7,02 ± 0,16	2,58 ± 0,34	4,06 ± 0,51	56,11 ± 1,18
EO40	1,302	117,2 ± 2,75	7,26 ± 0,09	1,88 ± 0,25	3,68 ± 0,09	62,58 ± 1,05
EO50	1,374	125,7 ± 5,18	9,52 ± 0,49	1,34 ± 0,39	3,25 ± 0,16	69,87 ± 5,56
EO60	1,537	100,3 ± 7,66	8,06 ± 0,52	1,11 ± 0,41	2,21 ± 0,27	61,24 ± 1,13
EO70	1,730	84,4 ± 4,46	7,46 ± 1,34	1,05 ± 0,15	2,42 ± 0,11	59,15 ± 1,15



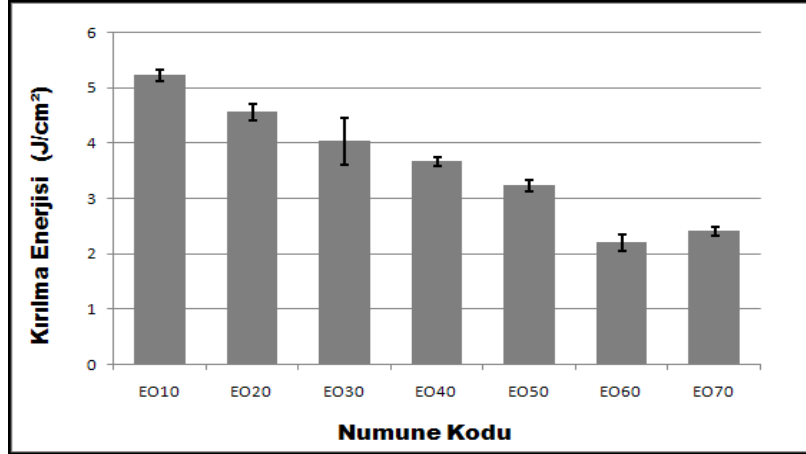
Şekil 3.2. Farklı bileşimlere sahip numunelerin mukavemet değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi



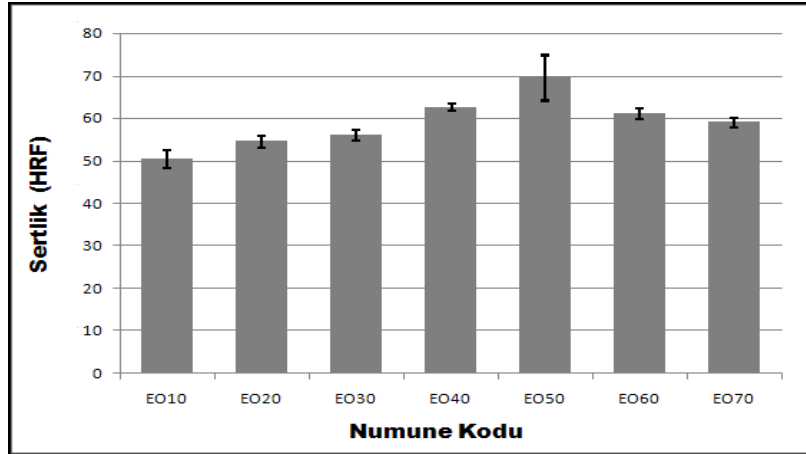
Şekil 3.3. Farklı bileşimlere sahip numunelerin uzama değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi



Şekil 3.4. Farklı bileşimlere sahip numunelerin elastisite modülü değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi



Şekil 3.5. Farklı bileşimlere sahip numunelerin darbe dayanımı değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi

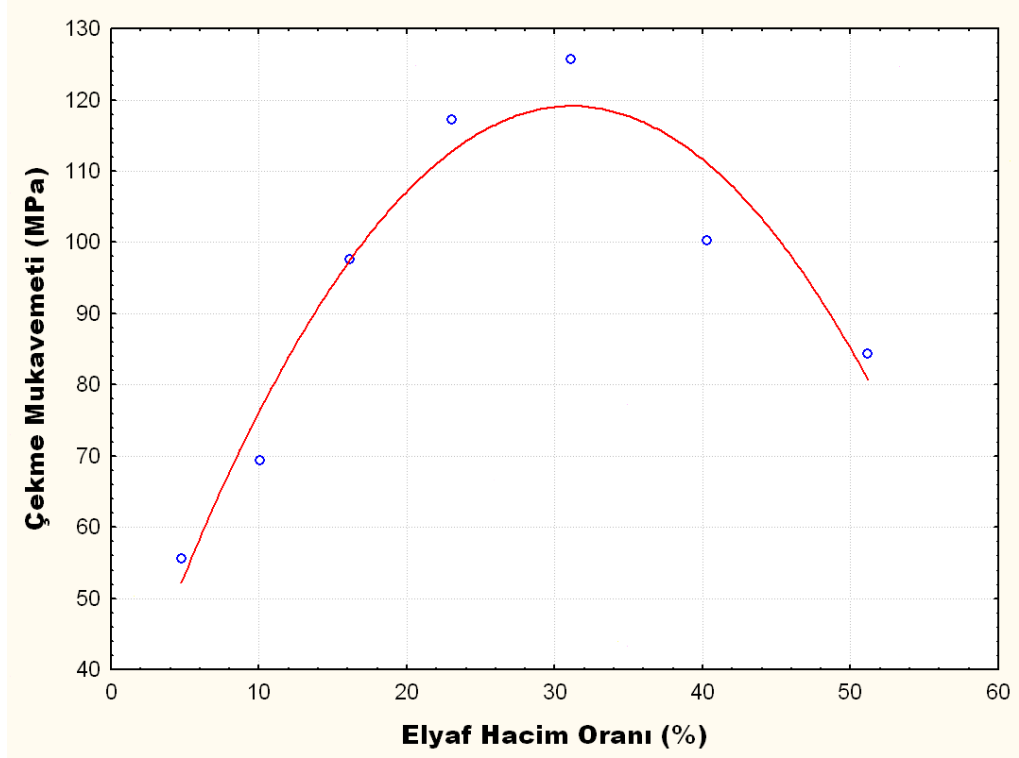


Şekil 3.6. Farklı bileşimlere sahip numunelerin sertlik değerlerinin çubuk diyagramı ile gösterimi

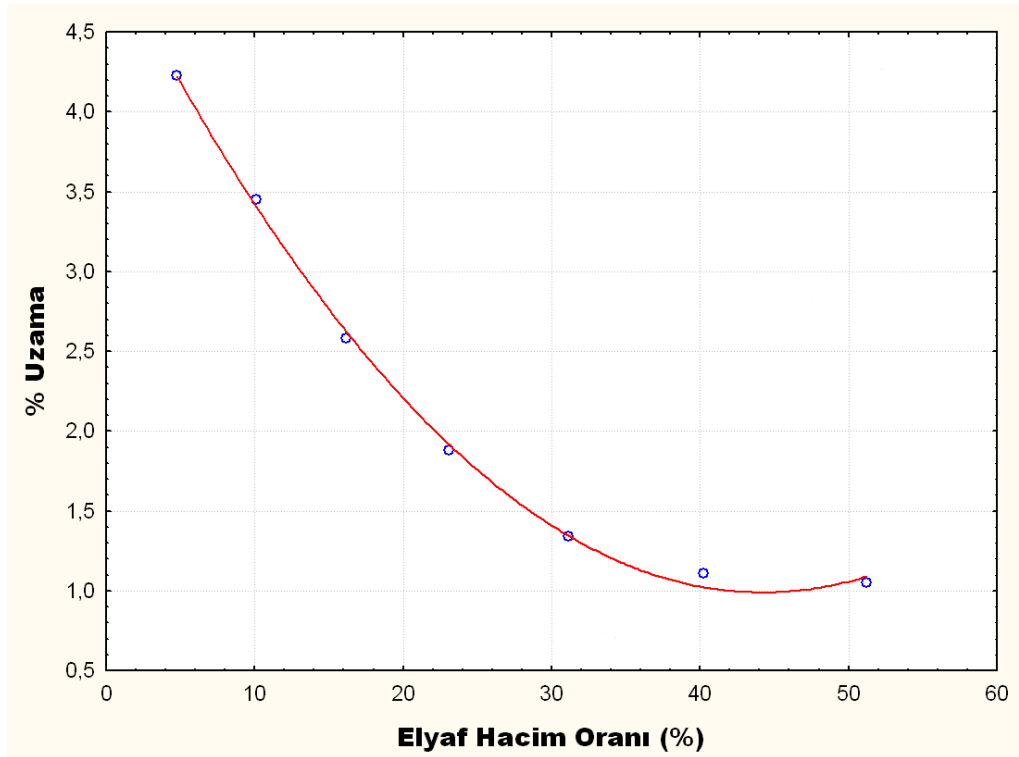
3.3. Elyaf Hacim Oranının Çekme Mukavemeti ve Yoğunluğa Etkisi

Üretilen numunelerin çekme mukavemetinin elyaf hacim oranına göre değişimini gösteren eğri Şekil 3.7’de verildi. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi elyaf hacim oranı arttıkça malzemenin çekme dayanımı artmaktadır. Bu artış yaklaşık % 30 elyaf hacim oranına kadar doğrusal bir karakter göstermektedir. Bu orandan sonra ise çekme dayanımı hızla azalmaktadır.

Yüzde uzama değerlerinin elyaf hacim oranıyla değişimini gösteren eğri ise Şekil 3.8’de verildi. Şekil’den görüldüğü üzere elyaf hacim oranı arttıkça % uzama değerleri gittikçe azalan bir eğilim sergilemektedir.

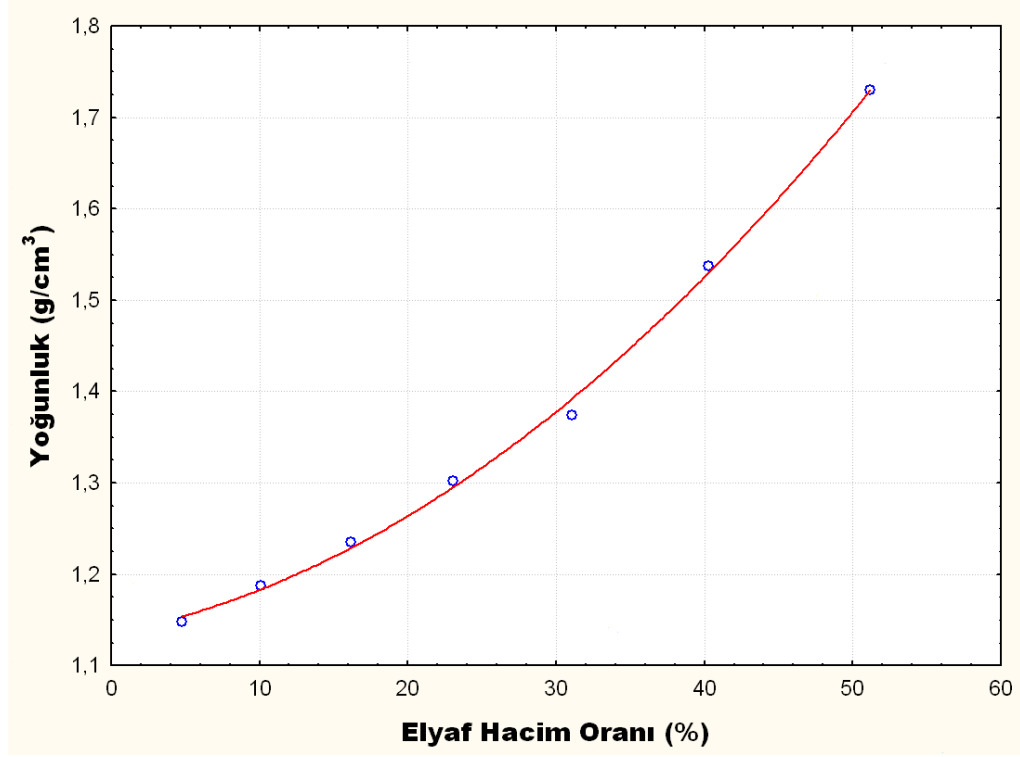


Şekil 3.7. Üretilen kompozit malzemede çekme mukavemetinin elyaf hacim oranıyla değişimi



Şekil 3.8. Üretilen kompozit malzemede % uzama değerlerinin elyaf hacim oranıyla değişimi

Üretilen numunelerin yoğunluklarının elyaf hacim oranıyla değişimini gösteren eğri Şekil 3.9'da verildi. Şekil'den görüldüğü gibi elyaf hacim oranı arttıkça malzemenin yoğunluğu artmaktadır. Bu artış doğrusal bir karakter göstermektedir.

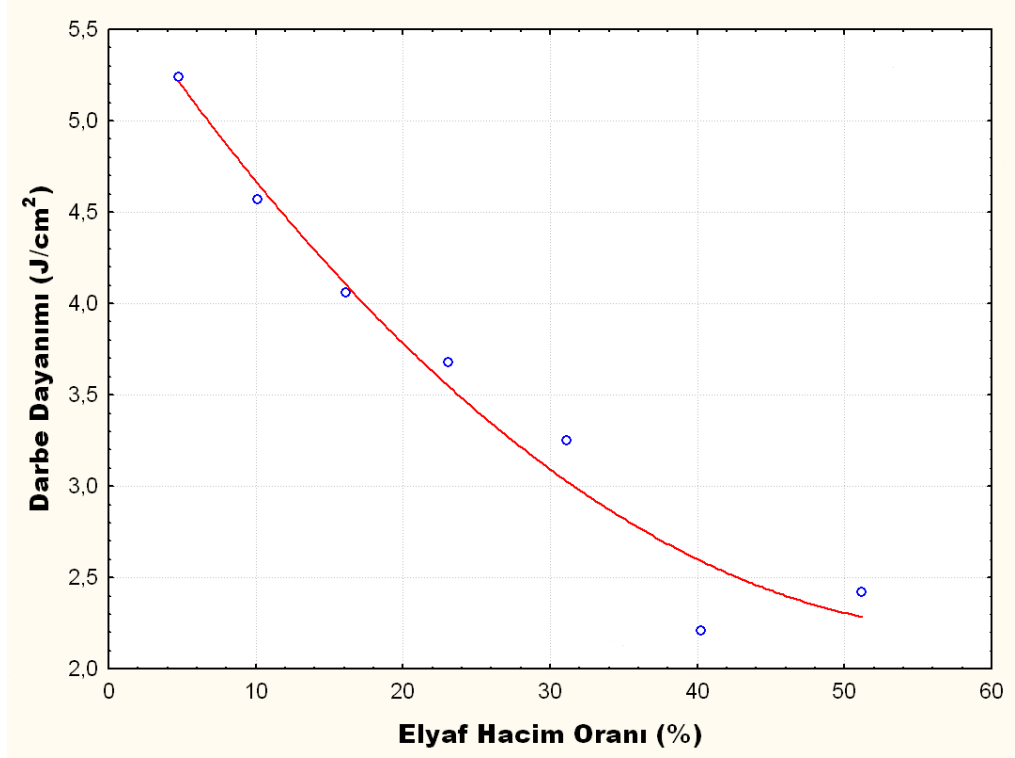


Şekil 3.9. Üretilen kompozit malzemede yoğunluğun elyaf hacim oranıyla değişimi

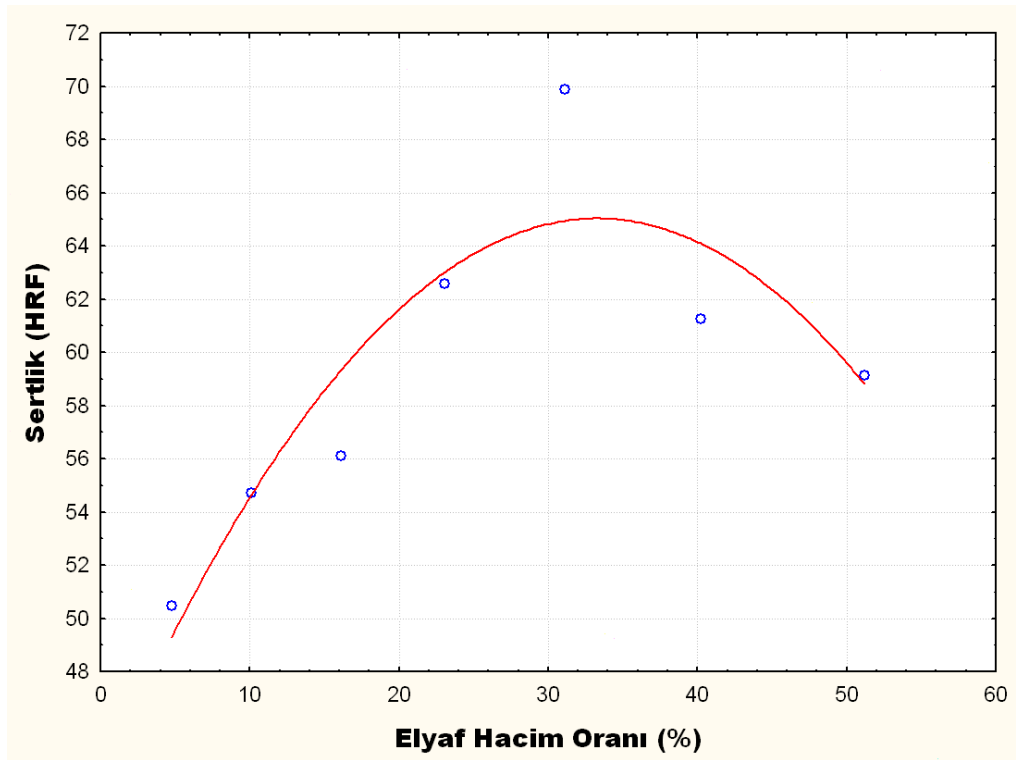
3.4. Elyaf Hacim Oranının Darbe Dayanımı ve Sertliğe Etkisi

Üretilen numunelerin darbe dayanımının elyaf hacim oranına göre değişimini gösteren eğri Şekil 3.10'da verildi. Şekil'den görüldüğü üzere artan elyaf hacim oranı ile birlikte numunelerin darbe dayanımlarında düşüş görülmektedir. Kırılma enerjilerindeki bu düşüş % 30 elyaf hacim oranına kadar lineer bir şekilde iken bu orandan sonra belirli bir değerde stabil kalmaktadır.

Sertliğin elyaf hacim oranına göre değişimini gösteren eğri Şekil 3.11'de verildi. Şekil'den görüldüğü gibi yaklaşık % 25 elyaf hacim oranına kadar makro sertlik doğrusal olarak artmakta, % 30 elyaf hacim oranında ise maksimum değere ulaşmaktadır. Bu orandan sonra ise sertlik değerlerinde hızla düşüş gözlenmektedir.



Şekil 3.10. Üretilen kompozit malzemede elyaf hacim oranının darbe dayanımına etkisi



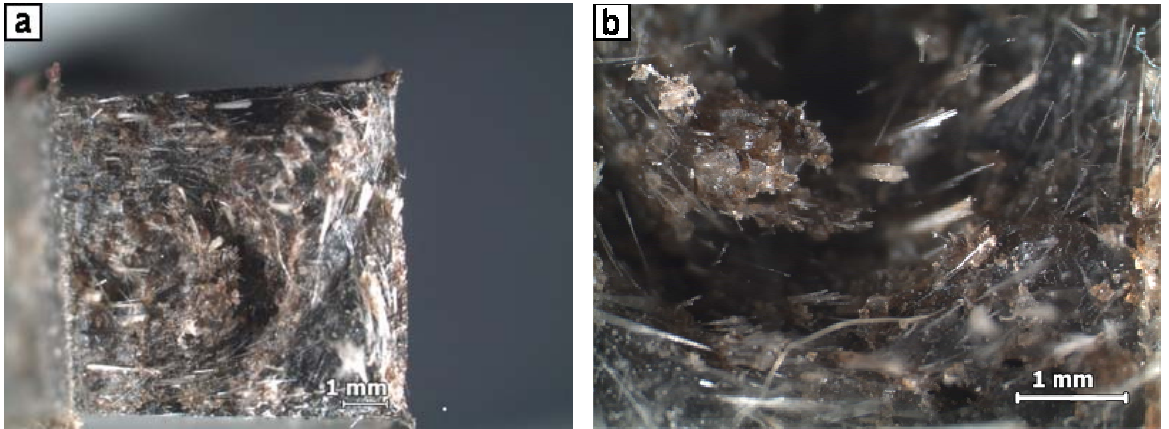
Şekil 3.11. Üretilen kompozit malzemede elyaf hacim oranının sertliğe etkisi

3.5.Kırılma Yüzeyleri

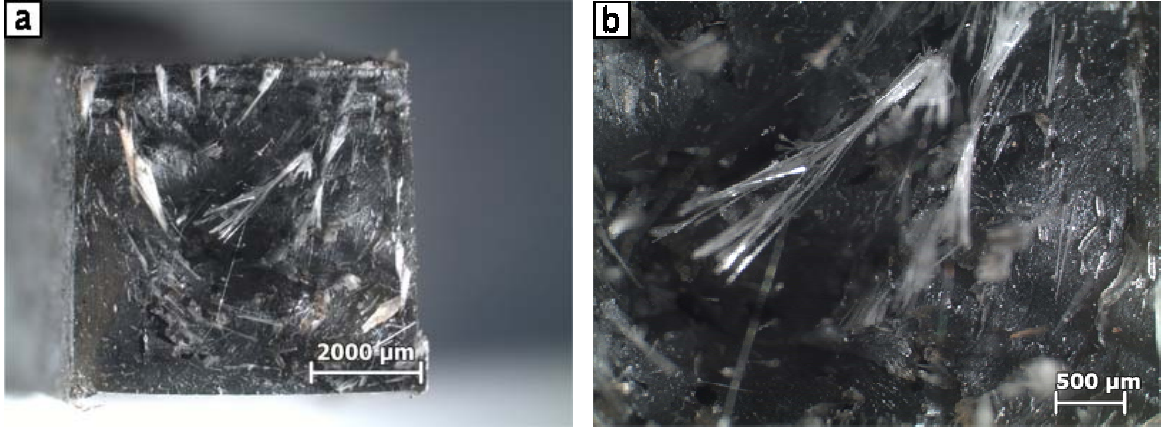
Charpy darbe deneyi sonucunda kopan numunelerin kırılma yüzeylerinden alınan örnekler Stereo Mikroskobu'nda incelenerek fotoğrafları çekildi (Şekil 3.12-3.18). Düşük elyaf hacim oranına sahip kompozit numunelerin kırılma yüzeylerine bakıldığında elyafın matrise yeterince güçlü tutunamayıp sıyrılarak ayrıldıkları görülmüştür ki bu gözlem mekanik testler sonucunda düşük elyaf oranıyla takviyeli numunelerin daha düşük dayanım göstermelerini destekler niteliktedir (Şekil 3.12 ve 3.13).

Maksimum mukavemetin görüldüğü % 30 elyaf hacim oranına sahip kompozit malzemenin kırılma yüzeyi fotoğrafına baktığımızda matris sistemi olan kestamid'in, takviye sistemi olan E-camı elyafı sardığı ve ara yüzey yapışmalarının başarılı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte elyaf yönlenmesinin gelişigüzel olduğu ve değişik doğrultularda elyafların yer aldığı görülmektedir. Elyaf takviyesinin artması ile birlikte kırılma yüzeylerinde daha fazla elyaf malzemesinin varlığı gözlenmektedir (Şekil 3.16).

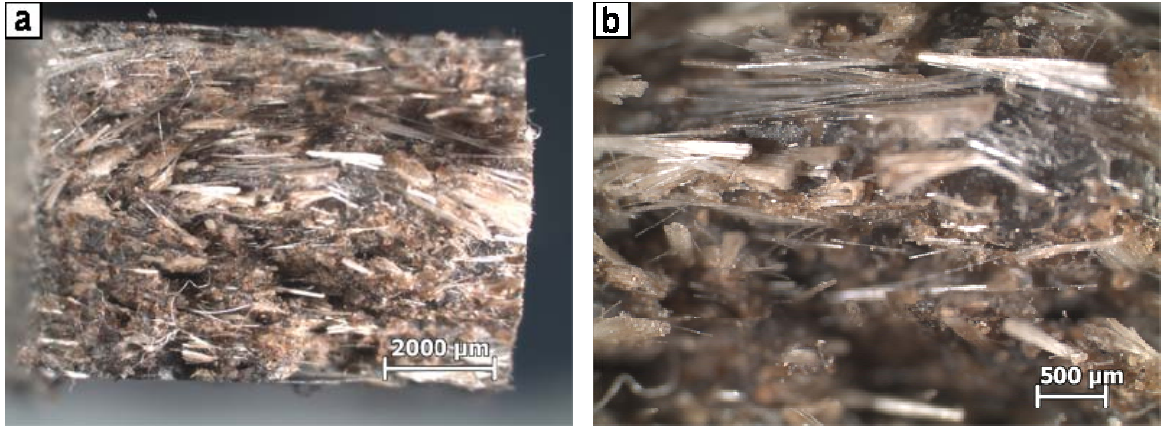
% 50 elyaf hacim oranına sahip kompozit malzemenin kırılma yüzeyine baktığımızda düşük büyütmedeki görüntüden yanal yüzeylerde belirgin plastik değişimlerin mevcut olmadığı ve gevrek tür bir kırılmanın meydana geldiği gözlenmektedir. Yüksek büyütmedeki yüzey görüntüsünde ise elyafların tam birbirinden ayrılmadığı ve kısmen küçük demetler halinde yapıda yer aldığı gözlenmektedir. Söz konusu bu durum, viskozitesi yüksek olan kestamid'in elyafı yeterince saramamasında kaynaklanmaktadır. Böylece yüksek elyaf hacim oranlarında malzemedeki çentik hassasiyeti artmakta ve elyaf etkin bir takviye elemanı olarak görev yapamamaktadır (Şekil 3.18).



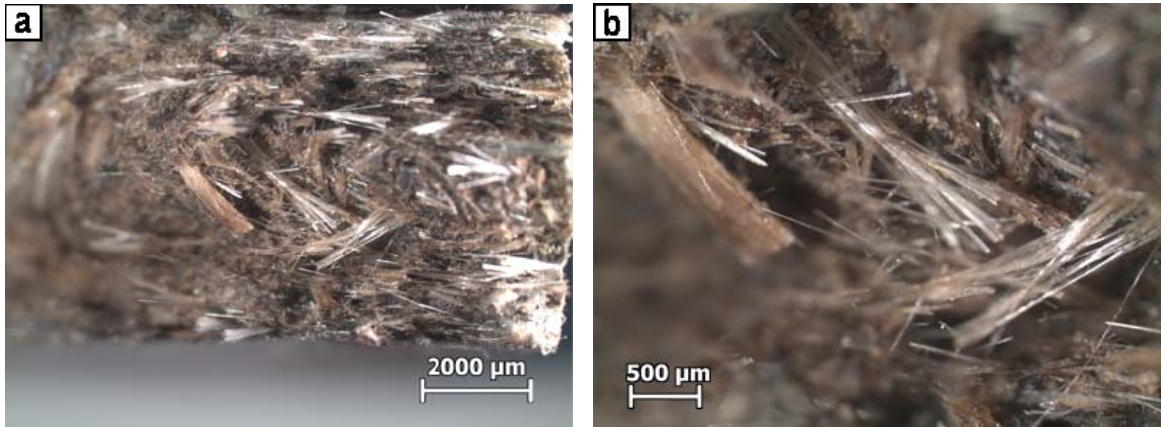
Şekil 3.12. EO10 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin (a) düşük ve (b) yüksek büyütmedeki görünümü



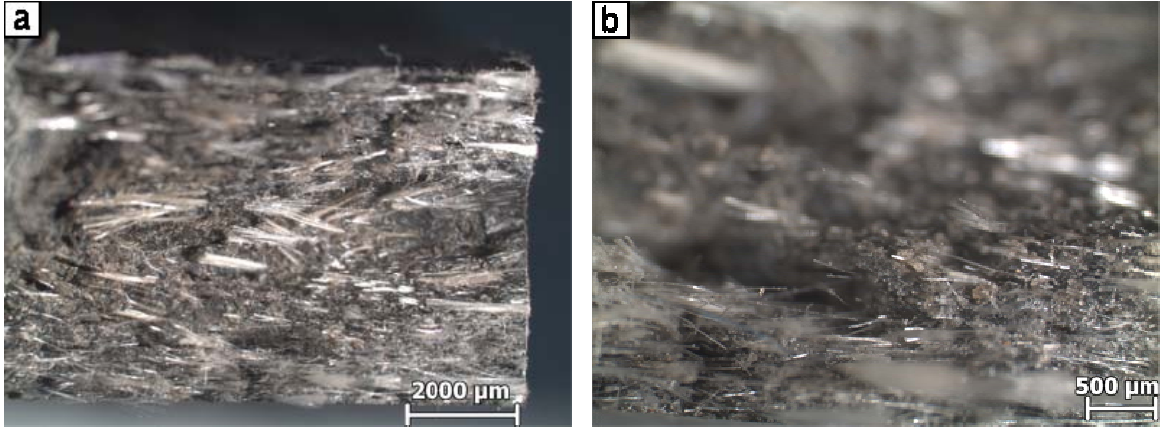
Şekil 3.13. EO20 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin (a) düşük ve (b) yüksek büyütmedeki görünümü



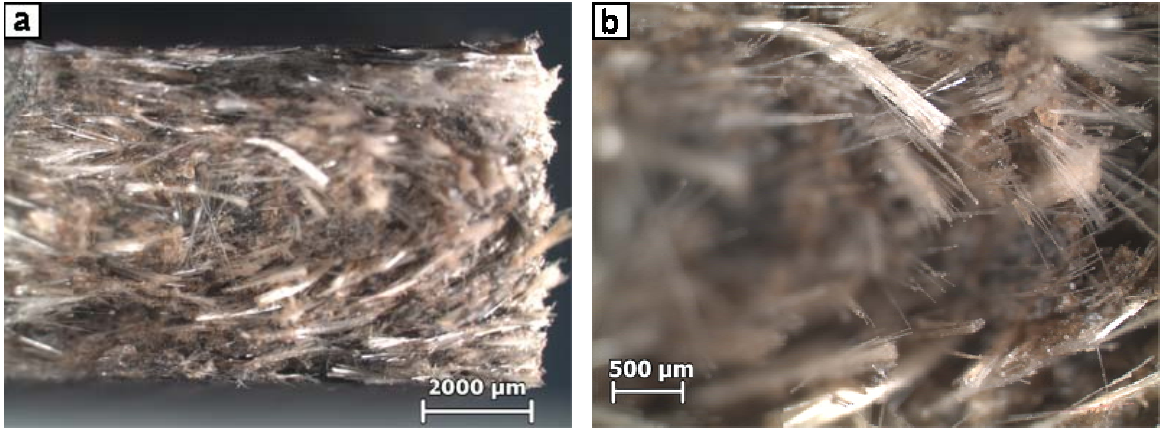
Şekil 3.14. EO30 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin (a) düşük ve (b) yüksek büyütmedeki görünümü



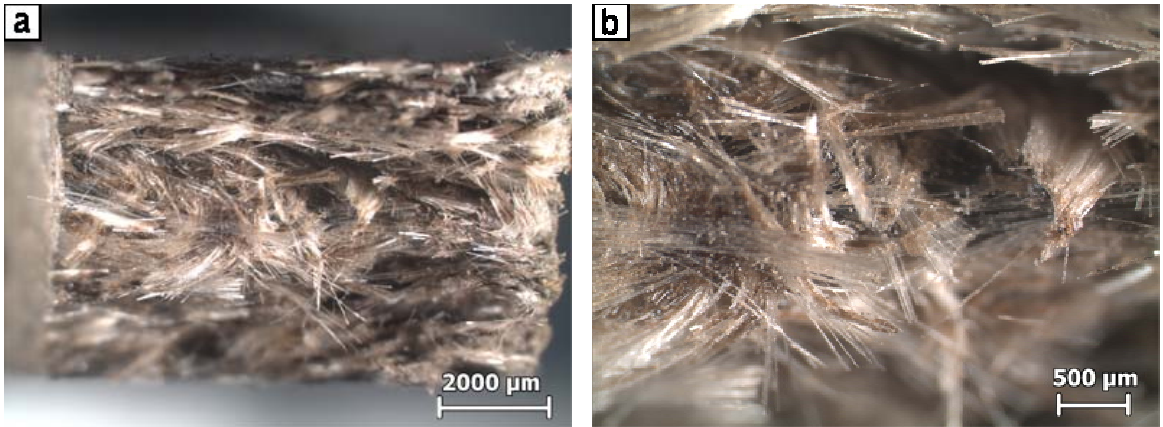
Şekil 3.15. EO40 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin (a) düşük ve (b) yüksek büyütmedeki görünümü



Şekil 3.16. EO50 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin (a) düşük ve (b) yüksek büyütmedeki görünümü



Şekil 3.17. EO60 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin (a) düşük ve (b) yüksek büyütmedeki görünümü



Şekil 3.18. EO70 kodlu kompozit numuneye ait kırılma yüzeyinin (a) düşük ve (b) yüksek büyütmedeki görünümü

4. İRDELEME

Üretilen kompozit malzemelerin çekme mukavemeti artan elyaf takviyesi ile belirli bir elyaf hacim oranına kadar lineer olarak artmaktadır. Hacimsel olarak % 4,75 oranında elyaf içeren kompozit malzemede çekme mukavemeti 55,57 MPa olarak gerçekleşirken % 31,10 hacim oranında elyaf içeren numunede bu değer 125,74 MPa olarak gerçekleşmektedir. Bu değerden sonra artan elyaf hacim oranı ile birlikte çekme dayanımı değerlerinde gittikçe azalma gözlenmektedir. Nitekim % 51,18 elyaf hacim oranında çekme mukavemeti 84,36 MPa değerine düşmektedir. Belli bir değer üzerindeki elyaf katkılarının kompozit malzemenin mukavemetini düşürmesi, fiberlerin matris tarafından homojen bir şekilde sarılmaması ve fiber-matris ara yüzeylerinde birleşmenin yeterli olmaması ile açıklanabilir (Şekil 3.17 ve 3.18). Bu etkenler kompozit malzemenin çentik hassasiyetini arttırabilir. Kestamid malzemenin elyaf katılmamış haldeki çekme mukavemeti Tablo 2.1'den 80 MPa olarak alındığında % 31 hacim oranında elyaf takviyesi ile bu değer 125 MPa'ya çıkarak çekme dayanımında % 64 oranında bir artış sağlanmaktadır. Polimer malzemelerde elyaf ile mukavemetin arttırılması sık kullanılan ve bilinen bir yöntemdir. Literatürde de benzer sonuçları görmek mümkündür. Elyaf uzunluğu ve elyaf ağırlık oranının çekme mukavemetine etkisini inceleyen Güllü ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ağırlıkça % 15 ve % 30 oranlarında cam elyaf takviyeli poliamid-6 (PA6)'nın çekme dayanımında % 74 ile 111 (sırası ile) oranında artış olduğunu belirlemişlerdir [15].

Çekme mukavemetine paralel olarak sertlik değerlerinde de maksimum değer % 31,10 elyaf hacim oranında gözlenmiştir. Bu orana kadar yapılan elyaf takviyesi kompozit malzemenin sertliğini doğrusal olarak arttırırken bu orandan sonra sertlik değerlerinde düşüş görülmüştür. Polimer malzemelerde mukavemet ile birlikte sertlik artışının meydana gelmesi beklenen bir durumdur ve malzeme bilimi ilkeleriyle uyushmaktadır. Üretilen kompozit malzemelerin elyaf hacim oranının artması ile birlikte mukavemet değerlerinde artış gözlenmesine karşın süneklik değerinin bir göstergesi olan % uzama değerlerinde sürekli bir düşüşün meydana geldiği gözlenmiştir. Nitekim % 4,75 elyaf hacim oranında 4,23 olarak gerçekleşen % uzama değeri % 51,18'lik elyaf hacim oranında % 1,05 değerine kadar düşmektedir. Başka bir deyişle elyaf hacim oranı arttıkça üretilen malzemeler daha gevrek hale gelmektedir. Takviye malzemesi olan elyaf katkılarının polimer malzemelerin

süneklik değerlerini düşürdüğü bilinen bir gerçektir [11]. Takviye malzemesi olarak katılan E-camı elyafı seramik esaslı bir malzeme olup düşük uzama gösteren (% 2.75, Tablo 2.2) bir malzemedir. Yapılan başka bir çalışmada, poliamide % 30 oranında elyaf takviyesi yapıldığında % uzama değerinin % 50'den % 2 değerine düştüğü belirlenmiştir [11].

Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri elyaf hacim oranı ile artmaktadır. % 4,75 elyaf hacim oranına sahip numunede yoğunluk $1,148 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülürken % 51,18 elyaf hacim oranında bu değer $1,730 \text{ g/cm}^3$ olarak elde edilmiştir. Bu durum kullanılan elyaf malzemesinin yoğunluğunun (2.56 g/cm^3) polimer matris malzemesinin yoğunluğundan (1.15 g/cm^3) daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Üretilen kompozit malzemelerin darbe dayanımı değerlerinin elyaf hacim oranının artışı ile birlikte azaldığı gözlenmiştir. 6 mm uzunluğunda cam elyaf takviyeli poliamid-6 (PA6) kompozitler ile çalışan Wu ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarda artan elyaf oranıyla, hazırladıkları kompozitlerin darbe dayanımı değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir [21]. Elyaf oranının artışı ile birlikte malzemenin süneklik değerlerinin düşmesi ve gevrek bir davranış sergilemesi darbe dayanımı değerlerini düşürmektedir.

5. SONUÇLAR

1. Kırpılmış cam elyaf takviyesi, döküm poliamid (kestamid) malzemenin çekme mukavemetini ve sertliğini lineer bir şekilde arttırmaktadır. En yüksek çekme mukavemeti ve sertlik değerleri % 30 elyaf hacim oranında ortaya çıkmaktadır.
2. Kestamid malzemeye katılan cam elyaf takviye elemanı kompozit malzemenin süneklik değerlerini düşürmektedir. Özellikle % 30 elyaf hacim oranından sonra kompozit malzeme daha gevrek hale gelmektedir.
3. Cam elyaf takviyeli kestamid malzemenin yoğunluğu artan elyaf hacim oranı ile birlikte artmaktadır.
4. Kompozit malzemelerin darbe dayanımları artan elyaf takviyesi ile birlikte azalmaktadır.
5. Kompozit malzemelerde elastisite modülü elyaf hacim oranıyla doğrusal olarak tırmanmaktadır. Ancak % 30 elyaf hacim oranının üzerinde bu artış görülmemektedir.
6. Optimum mekanik özellikler, % 30 elyaf hacim oranına sahip kompozit malzemelerde görülmektedir.
7. % 30 elyaf hacim oranına sahip kompozit malzeme silah gövde malzemesi olarak kullanılabilir.

6. ÖNERİLER

1. Kompozit numune üretiminde enjeksiyon kalıplama yöntemi uygulanabilir.
2. Presleme basıncı, sıcaklığı ve süresi gibi işlem parametrelerinin üretilen kompozit malzemelerin özelliklerine etkisi incelenebilir.
3. Karbon elyaf veya bor elyaf gibi farklı elyaf katkılarının mekanik ve fiziksel özelliklere etkileri incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Aran, A., Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
2. Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 2000.
3. Mazumdar, S.K., Composites Manufacturing: Material, Product and Process Engineering, CRC Press LLC., New York, 2002.
4. Rosato, V.R., Designing with Reinforced Composites, Carl Hanser Verlag Inc., New York, 1997.
5. Agarwall, B.D. ve Broutman, L.J., Analysis and Performance of Fiber Composites, John Wiley & Sons Inc., New York, 1980.
6. Mallick, P.K., Fiber-Reinforced Composites, Second Edition, Marcell Dekker Inc., New York, 1988.
7. http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm Kompozit Malzemeler. 14 Ocak 2009.
8. Ersoy, H.Y., Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001.
9. Hull, D. ve Clyne, T.W., An Introduction to Composite Materials, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
10. Bunsell, A.R. ve Renard, J., Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials, IOP Publishing Ltd., Paris, 2005.
11. Strong, A.B., Plastics Materials and Processing, Prentice Hall, Ohio, Columbus, 2000.
12. <http://www.polikim.com.tr/kestamid.asp> Kestamid Kullanım Alanları. 13 Mayıs 2009.
13. Güleşen, M., Fiber Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2005.
14. Asi, D., Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2008.
15. Güllü, A., Özdemir, A. ve Özdemir, E., Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics, Materials & Design, 27,4 (2006) 316-323.

16. Sui, G., Wong, S. ve Yue, C., Effect of extrusion compounding on the mechanical properties of rubber-toughened polymers containing short glass fibers, Journal of Materials Processing Technology, 113,1-3 (2001) 167-171.
17. Fu, S., Lauke, B., Li, R. ve Mai, Y., Effects of PA6,6/PP ratio on the mechanical properties of short glass fiber reinforced and rubber-toughened polyamide 6,6/polypropylene blends, Composites Part B: Engineering, 37,2-3 (2006) 182-190.
18. Thomason, J.L., The influence of fibre length, diameter and concentration on the strength and strain to failure of glass fibre-reinforced polyamide 6,6, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39,10 (2008) 1618-1624.
19. Thomason, J.L., The influence of fibre length, diameter and concentration on the modulus of glass fibre-reinforced polyamide 6,6, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39,11 (2008) 1732-1738.
20. Pegoretti, A., Fidanza, M., Migliaresi, C. ve DiBenedetto, T., Toughness of the fiber/matrix interface in nylon-6/glass fiber composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 29,3 (1998) 283-291.
21. Wu, S., Wang, F., Ma, C., Chang, W., Kuo, C., Kuan, H. Ve Chen, W., Mechanical, thermal and morphological properties of glass fiber and carbon fiber reinforced polyamide-6 and polyamide-6/clay nanocomposites, Materials Letters, 49,6 (2001) 327-333.
22. ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, United States, 2003.
23. ASTM D2240, Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness, ASTM International, United States, 2005.
24. ASTM D256 Method B, Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, United States, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Kadir ERBAY 1982 yılında Trabzon/Sürmene’de doğdu. 2000 yılında Sürmene Hasan Sadri Yetmişbir Anadolu Lisesi’ni bitirdi. 2000 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans eğitimine başladı. 2002-2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’ne yatay geçiş yaptı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinden “Makine Mühendisi” ünvanı ile mezun oldu. 2005 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.