

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CAM ELYAF TAKVİYELİ KESTAMİD MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin İPEK

**HAZİRAN 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CAM ELYAF TAKVİYELİ KESTAMİD MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Hüseyin İPEK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 09.06.2011**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Hüseyin İPEK tarafından hazırlanan

CAM ELYAF TAKVİYELİ KESTAMİD MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2011 gün ve 1406 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aykut ÇANAKÇI

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Günümüz şartları, piyasada rekabet edebilmek için gelişen teknolojiyi kullanmayı gerektirmektedir. Bu da üretilen malzemenin ekonomik, üretimi kolay, dayanımı yüksek ve hafif malzemelerin üretimine bağlıdır. Bu bağlamda; teknolojiye ayak uydurmak, rekabet gücünü artırmak, küresel ölçekte var olabilmek için kompozitlerin üstün özelliklerinden faydalanmak gerektirmektedir.

Kompozit malzeme deyince ilk sıralarda akla gelen polimer esaslı kompozitler, geliştirildiğinde bu gücü kullananlara avantaj sağlayacak bir malzemedir. Yukardaki durumlar göz önüne alındığında bu tezde yapılan çalışmanın, araştırmaya aç olan herkese bir nebze de olsa yol göstermesi, fikir vermesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada bana birlikte çalışma fırsatını sunan, çalışmamın her aşamasında yakın ilgisinin esirgemeyen kıymetli fikirleriyle bana ışık tutan değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI'ya teşekkürü borç bilirim. K.T.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü'nde yaptığım deneylerde yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Genççağa PÜRÇEK'e ve Arş. Gör. Onur SARAY'a, K.T.Ü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde görevli Mustafa ZIVALIOĞLU'na ve diğer teknisyenlere yaptıkları yardımlardan dolayı teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek hep yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin İPEK
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “*Cam Elyaf Takviyeli Kestamid Matrisli Kompozitlerin Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI ‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/05/2011

Hüseyin İPEK

İÇİNDEKİLER

	<u>Safta No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş	1
1.1.2. Polimer Uygulamaları.....	3
1.1.3. Polimer Endüstrisi ve Sınıflandırma.....	3
1.1.3.1. Plastikler	4
1.1.3.2. Lastik	6
1.1.3.3. Astarlar	6
1.1.3.4. Yapıştırıcılar	6
1.1.4. Katkı Maddeleri	7
1.1.5. Polimer Türlerinden Bazıları	7
1.1.5.1. Poliamidler veya Naylonlar (PA)	7
1.1.5.2. Özel Naylon Tipleri ve Özellikleri	8
1.1.5.2.3. Kestamid (Döküm Poliamid - PA6 G).....	11
1.2. Kompozit Malzemeler	13
1.3. Kompozitlerin Yapısı.....	14
1.3.1. Adsorbsiyon ve Islatma	15
1.4. Kompozit Malzeme Türleri	17
1.4.1. Polimer Matrisli Kompozitler.....	17
1.4.2. Kompozitlerin Mekanik Davranışı	19
1.4.3. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	20
1.4.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	21
1.4.5. Takviye Elemanları.....	24
1.4.6. Üretim Yöntemleri.....	25

1.4.7.	Basınçlı Kalıplama Yöntemi (Sıcak Presleme)	26
1.4.8.	Kompozit Malzemelerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler	27
1.4.8.1.	Matris Malzemenin Özellikleri	27
1.4.8.2.	Üretim Metodu ve Parametrelerin Etkisi	27
1.4.8.3.	Mikro Yapının Etkisi ve Porozite	28
1.5.	Elyaf	28
1.5.1.	Elyaf Çeşitleri Ve Özellikleri	28
1.5.1.1.	Cam Elyaf lar	29
1.5.2.	Elyaf Hacim Oranı	33
1.5.3.	Elyaf Şekli ve Doğrultusu	33
1.5.4.	Elyaf Çapı ve Boy/Çap Oranı	33
1.5.5.	Elyaf Geometrisinin Etkisi	34
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
2.1.	Kullanılan Malzemeler	35
2.1.1.	Kullanılan Matris Malzemesi	35
2.1.2.	Cam Elyaf (E - Camı)	36
2.2.	Üretim Yöntemi	37
2.2.1.	Numune Üretimi	37
2.3.	Deneyde Kullanılan Ekipmanlar Ve Deneysel Yöntemler	42
2.3.1.	Yoğunluk Tayini	42
2.3.2.	Çekme Mukavemetinin Belirlenmesi	42
2.3.3.	Darbe Dayanımının Belirlenmesi	43
2.3.4.	Sertlik Ölçümleri	44
2.3.5.	Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi	45
2.3.6.	TGA/DTA Analizi	46
3.	BULGULAR	47
3.1.	Kalıplama Sıcaklığı ve Basıncının Yoğunluğa Etkisi	48
3.2.	Kalıplama Sıcaklığı ve Basıncın Çekme Mukavemetine Etkisi	50
3.2.1.	Kalıplama Basıncının Çekme Mukavemetine Etkisi	52
3.3.	Kalıplama Sıcaklığının ve Kalıplama Basıncının Darbe Dayanımına Etkisi ...	54
3.4.	Sertlik Deneyleri	55
3.5.	Kırılma Yüzeyi İncelemeleri	58
3.5.1.	Stereo Mikroskop Görüntüleri	58
3.5.2.	SEM Görüntüleri	60

3.6.	TGA / DTA Analizi.....	68
4.	İRDELEME	69
5.	ÖNERİLER.....	73
6.	KAYNAKALAR	74
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

CAM ELYAF TAKVİYELİ KESTAMİD MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hüseyin İPEK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI
2011, 75 Sayfa

Bu çalışmada basınçlı kalıplama yöntemiyle polimer matrisli cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir. Matris malzemesi olarak döküm poliamid (kestamid), takviye malzemesi olarak ise kırılmış cam fiber kullanılmıştır.

Matris ve takviye malzemesinin miktarları ağırlıkça % 50 olarak alınmıştır. Kompozit üretim işlemi farklı sıcaklık ve farklı basınçlarda gerçekleştirilerek sıcaklık ve basıncın kompozit malzemenin mekanik özelliklerine etkisi belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin mikro-yapısı ve kırılma yüzeyleri Stereo ve taramalı elektron (SEM) mikroskopları yardımı ile incelenmiştir.

Kompozitlerin mekanik özelliklerinin artan sıcaklık ve basınç ile arttığı gözlenmiştir. Bunun yanında artan sıcaklıkla matris malzemesinin cam elyaf demetlerini daha iyi ıslattığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sabit sıcaklıkta artan presleme basıncının mekanik özellikleri arttırmada belli bir presleme basıncından sonra bu değerlerde önemli bir değişiklik yapmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda cam elyaf takviyeli döküm poliamid kompozit malzemeler için optimum işlem şartları sıcaklık ve presleme basıncı sırası ile 300 ° C ve 20 MPa olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Döküm Poliamid, Kompozit Malzemeler, Cam Elyaf

Master Thesis

SUMMARY

PRODUCTION OF CASTAMIDE MATRIX BASED COMPOSITES
REINFORCED GLASS FIBER AND INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL
PROPERTIES

Hüseyin İPEK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Metallurgy and Materials Engineering
Supervisor: Asst. Assoc. Dr. Hamdullah ÇUVALCI
2011. 75 Pages

In this study, a series of polymer based composite materials were produced by pressure molding method. The cast polyamide and chopped glass fiber were used as matrix and reinforcement agent in composites.

Matrix and reinforcement weight ratios were selected as wt 50%. Composite materials were produced at different temperature and pressures to determine these process conditions on the mechanical properties such as tensile strength, percent elongation, impact strength etc. In addition to that, the microstructure and fracture surface of composites were examined by a stereo and a scanning electron microscope (SEM).

It was observed that mechanical properties increased with the increasing both of moulding temperature and pressure. Further, it was also found that matrix materials showed more wetting capability with the increasing of temperature on the glass fiber bundles. On the other hand, it was also observed that the moulding pressure was more effect on mechanical properties of composites up to a specified pressure value and no effect after that value. Finally optimum process conditions having temperature and moulding pressure were determined as 300 °C and 20 MPa respectively for glass fiber reinforced castamide based composites.

Keywords: Cast Polyamide, Composite Materials, Fiber Glass

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Mühendislik malzemelerinin sınıflandırılması 1
Şekil 1.2.	Polimer ağ yapısı..... 2
Şekil 1.3.	Poliamidler için tekrar eden polimer birimi 8
Şekil 1.4.	Poliamid (naylon) yapımında kullanılan monomerler 9
Şekil 1. 5.	Elyaf ve matris malzemelerin gerilme uzama diyagramı 11
Şekil 1. 6.	Çeşitli kestim uygulamaları 12
Şekil 1.7.	Malzemeler arasındaki ilişki 13
Şekil 1. 8.	Kompozit çeşitlerinin şematik görünümü 14
Şekil 1.9.	Kompozit malzemede matris-takviye bağı oluşumunda ara yüzey ve ara fazlar 15
Şekil 1.10.	Katı yüzey üzerindeki sıvı damlası, ıslatmanın iyi olmadığı sistemde ıslatma açısı ve yüzey enerjilerinin şematik gösterimi 16
Şekil 1. 11.	Kompozit malzemelerde yönlenmenin etkisi 19
Şekil 1. 12.	Kompozit malzemelerin sınıflandırılması..... 22
Şekil 1.13.	Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde liflerin kompozit içerisindeki dizilişi 23
Şekil 1.14.	Parçacık takviyeli ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitlerin yapısı..... 24
Şekil 1.15.	Kompozit üretim yöntemlerinin sınıflandırılması 26
Şekil 1. 16.	Basınçlı kalıplama yöntemi..... 27
Şekil 1. 17.	Cam, karbon ve aramid elyafın fiyat, mukavemet, uzama ve modüllerinin karşılaştırılması 32
Şekil 2. 1.	Numune üretiminde izlenen işlemlerin akış şeması..... 39
Şekil 2.2.	Kalıptan çıkarılan numunelerin kalıp içerisindeki konumları..... 40
Şekil 2.3.	Kullanılan hidrolik presin ve yardımcı ünitelerin resmi 40
Şekil 2.4.	Hidrolik pres kalibrasyon doğrusu..... 41
Şekil 2.5.	Numune üretim kalıbının şematik resmi..... 41
Şekil 2.6.	Çekme deney düzeneği 42
Şekil 2.7.	Çekme testi numunesi 43
Şekil 2.8.	Charpy darbe testi düzeneği ve numune boyutları 44

Şekil 2.9.	Deneyselerde kullanılan Charpy deney düzeneğinin görünümü.....	44
Şekil 2.10.	Sertlik deneylerinin yapıldığı cihazın görünümü.....	45
Şekil 2. 11.	PVD kaplama ünitesi	45
Şekil 3. 1.	Kestamid ve cam elyafın stereo mikroskop görüntüsü	47
Şekil 3. 2.	Kestamid ve cam elyafın taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü ..	47
Şekil 3. 3.	Kullanılan elyafın çapını gösteren SEM fotoğrafı	48
Şekil 3. 4.	Değişen kalıplama sıcaklığının yoğunluğa etkisi	48
Şekil 3.5.	Kalıplama sıcaklığının gözenekliğe etkisi.....	57
Şekil 3. 6.	Değişen kalıplama basıncının yoğunluğa etkisi.....	57
Şekil 3.7.	Kalıplama basıncının gözenekliğe etkisi.....	58
Şekil 3. 8.	Kalıplama sıcaklığının çekme mukavemetine etkisi.....	58
Şekil 3. 9.	Değişen kalıplama sıcaklığının elastisite modülüne etkisi.....	59
Şekil 3. 10.	Kalıp sıcaklığının %0,2 akma mukavemetine etkisi.....	59
Şekil 3. 11.	% Uzamanın değişen kalıplama sıcaklığıyla ilişkisi.....	60
Şekil 3. 12.	Değişen kalıplama basıncının mukavemete etkisi	52
Şekil 3. 13.	Kalıplama basıncının elastisite modülüne etkisi.....	53
Şekil 3. 14.	%0,2 Akma Mukavemetinin değişen kalıplama basıncıyla ilişkisi	53
Şekil 3. 15.	Kalıplama basıncının % Uzama 'ya etkisi	54
Şekil 3. 16.	Kalıplama sıcaklığının darbe enerjisine etkisi	54
Şekil 3. 17.	Kalıplama basıncının darbe enerjisine etkisi	55
Şekil 3. 18.	Rockwell sertlik deneyi yapılan numunenin görünüm	55
Şekil 3. 19.	Kalıplama sıcaklığının sertliğe etkisi.....	56
Şekil 3. 21.	3,5 MPa 'lık sabit basınçta üretilen numunelerin stereo mikroskop resmi..	58
Şekil 3. 22.	Farklı basınçlarda üretilen numunelerin kırılma yüzeyler.....	59
Şekil 3. 24.	280°C kalıplama sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları	61
Şekil 3. 25.	300°C kalıplama sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları	62
Şekil 3. 26.	320° kalıplama sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları	63
Şekil 3. 27.	9 MPa kalıplama basıncında üretilen kompozit malzemeye ait kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları	64

Şekil 3. 28.	14 MPa kalıplama basıncında üretilen kompozit malzemeye ait kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları	65
Şekil 3. 29.	20 MPa kalıplama basıncında üretilen kompozit malzemeye ait kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları	66
Şekil 3. 31.	Kestamid için TGA/DTA analizi sonucunda elde edilen grafik.....	68

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1.	Bazı Naylonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması 10
Tablo 1. 2.	Kestamidin çeşitli kullanım alanları 12
Tablo 1. 3.	Bazı pekiştirici liflerin özellikleri 18
Tablo 1. 4.	Bazı lifli kompozitlerin özellikleri 19
Tablo 1. 5.	Elyaf takviyeli plastik kompozitlerin kullanım alanları 23
Tablo 1.6.	Kompozitlerde kullanılan cam elyaf türleri ve kimyasal bileşimleri 30
Tablo 1.7.	Başlıca cam elyaf türleri 30
Tablo 1. 8.	Piyasadaki camlar 31
Tablo 1. 9.	Kompozitlerde kullanılan bazı seramik elyafların mekanik ve fiziksel özellikleri 32
Tablo 2.1.	Deneysel çalışmalarda kullanılan matris malzemesinin özellikleri 36
Tablo 2.2.	Takviye elemanı olarak kullanılan cam fiberin özellikleri 37
Tablo 2. 3.	Üretilen kompozit malzemenin üretim değerleri 38
Tablo 2. 4.	Üretilen kompozitlerin bileşimleri 38
Tablo 2. 5.	ASTM standartlarına ilişkin bilgiler ve deneylerin yapıldığı cihazlar 38
Tablo 2.6.	Çekme testi numunesinin boyutları 43
Tablo 3. 1.	Farklı kalıplama sıcaklıkları ve kalıplama basınçlarında elde edilen sertlik değerleri 56

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

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	: Matrislerin 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
CTP	: Cam takviyeli plastik
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve malzeme birliği)
HRF	: Rockwell F sertlik skalası
PA	: Poliamid, naylon
PEEK	: Polieter eter keton
PA6-G	: Döküm poliamid, kestamid
PAN	: Poliakrilonitril
SDH	: Sıkı düzenli hegzagonal
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
PVC	: Polivinil klorür
MMC	: Metal matrisli kompozitler
SCM	: Levha kalıplama bileşimi
SRIM	: Yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıplama
BMC	: Toplu kalıplama bileşimi
RTM	: Reçine transfer kalıplama
TM	: Toz metalurjisi

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Malzeme kabaca, “bir fikri gerçekleştirmek amacıyla ihtiyaç duyulan cisimler” olarak tanımlanabilir. Bu tanımdan yola çıkarak malzemeleri 4 ana başlığa ayırmak mümkündür. Bu sınıflandırma; metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler şeklinde yapılmaktadır. Bu malzeme gurupları kullanılarak parçalar veya yapılar tasarlanır ve imal edilirler.

Malzemeler seçilir, malzemenin hasar analizi yapılır ve kullanılan malzemelerden yeterli performans beklenir [1]. Diğer bir sınıflandırma türü ise Şekil 1.1.’de verildiği gibidir.[2]



Şekil 1.1. Mühendislik malzemelerinin sınıflandırılması [2]

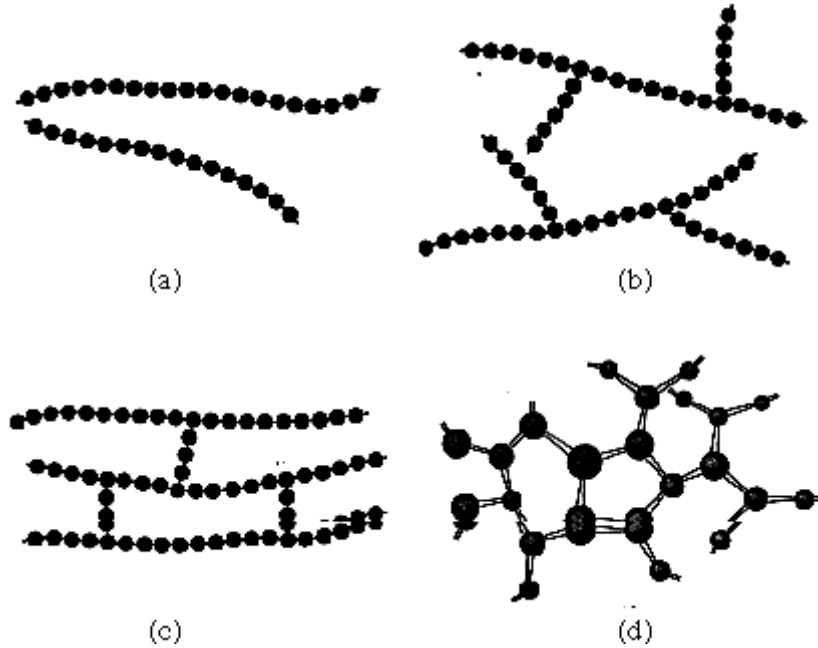
Genel olarak malzemeler Şekil 1.1’ de gösterildiği gibi kabaca birbirinden ayrılır. Örnek vermek gerekirse yapı çelikleri, takım çelikleri, dökme demirler, demir esaslı; bakır, nikel, alüminyum, vb. elementler demir dışı metaller grubunda incelenebilir. Plastik, deri ve ağaç gibi malzemeler organik, cam, seramik ve beton gibi malzemelerde inorganik malzemeler grubunda yer alırlar [2].

1.1.1. Plastik (Polimer) Malzemeler

Plastik kelimesi isim olarak bir malzeme türünü belirtir, bir sıfat olarak kalıcı şekil değiştirebilen cisim anlamına gelir. Örneğin bakır plastik şekil değiştirebilen bir malzemedir ve plastik şekil değiştirdikten sonra kırılır, fakat plastik malzeme değildir. Diğer taraftan bakalit bir plastiktir, fakat plastik şekil değiştirebilen bir malzeme değildir. Gevrek tir ve plastik şekil değiştirmeden kırılır [3].

Polimer malzemelerin birçoğu organik tir (karbon içeren). Uzun molekül zincirlerine ve ağlarına sahiptir. Yapısal olarak polimer malzemelerin çoğu kristal yapılı değildir. Fakat bazılarında kristal yapılı ve kristal yapılı olmayan bölgeler birlikte bulunabilmektedir. Polimer malzemelerin dayanımı ve sünekliliği büyük değişiklikler göstermektedir. İç yapılarından dolayı etkisiyle polimer malzemelerin çoğunun elektrik iletkenliği kötüdür. Bunların bir kısmı iyi yalıtıcıdır ve elektrik yalıtımında kullanılır. Genel olarak polimer malzemeler düşük yoğunluğa, düşük yumuşama ve bozunma sıcaklığına sahiptir [4].

Polimer malzemelerin iç yapıları farklılık gösterirler. Şekil 1.2.'de polimerlerin farklı ağ yapıları gösterilmiştir.

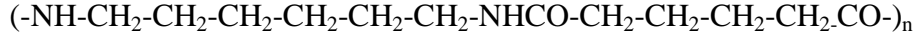


Şekil 1.2. Polimer ağ yapısı (a) Doğrusal (b) Dallı (c) Çapraz (d) Ağ [5]

Doğrusal polimer ağ yapısı Van der Waals bağlarının bir arada tuttuğu zincirler ile oluşur. Bu doğrusal zincirlerin çoğu S atomu olan bağlayıcılarla birbirine çapraz bağlanmasıyla Şekil 1.2 c' deki iç yapı oluşur (PVC, naylon, polietilen ...). Dallı yapı ise düşük paketleme faktörü yüzünden yoğunluğu az olan bir tür sentezlenme sırasında oluşur.

Polimer denildiğinde genelde, monomer denilen daha basit, kendini tekrarlayan moleküller akla gelir. Makromolekül (büyük molekül) polimerle aynı anlamda kullanılabilir [4].

Polimerler gösterilirken genelde son gruplar ihmal edilir. Çünkü bu gruplar polimerin özelliklerini göstermeyebilir. Örneğin; nylon 66 'nın tekrar eden kısmı diamin ve diacid aşağıdaki gibidir[4]:



1.1.2. Polimer Uygulamaları

Matris, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin önemli iki bileşeninden biri olup, elyaf takviyelerin öngörülen yükleri 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 [6].

Yapıştırıcı, plastik, kauçuk, boya ve astar; hepsi tüketim malzemesi ürünleridir. On yıllar boyunca ana malzemelerin kullanımları çok değişmemiştir. Yapay ya da doğal bir fiber hâlâ kıyafet ve ev mobilyalarında kullanılmaktadır. Otomobil parçalarının (tekerlek dahil) üçte ikisinden fazlası kauçuktan üretilmektedir. Polimerler koruyucular, dekoratif astarlar ve yapıştırıcılar çeşitli yüzeylerde kullanılmaktadırlar. Plastik alanında malzeme çeşitliliği ve uygulama alanlarının giderek arttığı göze çarpmaktadır [4].

1.1.3. Polimer Endüstrisi ve Sınıflandırma

1930'larda bazı endüstriler büyük ölçüde birbirinden bağımsız, doğal yada işlenmiş polimerik malzeme ürettiler. Bu endüstriler aşağıdaki gibi ayrılabilir [4] ;

- Plastik
- Lastik
- İp (fiber)
- Astar
- Yapıştırıcı

1.1.3.1. Plastikler

Oldukça yeni bir malzeme grubu olan plastikler ucuz, hafif, kolay işlenebilir, korozyona karşı dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına, iyi yüzey kalitesine ve görüntüye sahiptirler. Bundan dolayı makine, uçak, elektrik, elektronik ve ev aletleri gibi endüstrinin hemen hemen bütün dallarında geniş kullanım alanlarına sahiptir. [7].

“Plastik” ifadesi malzemenin şekillendirilebileceğini gösterir. Polimer ısı ve basınç altındaki uygulamalarla kolayca şekillendirilebilir ki bunlara termoplastik denir. Bu şekilde sadece bir defa sertleştirilebilen polimerlere ise termoset denir.

A) Termosetler

Termosetler, polimerizasyonla iki kademedede elde edilir. Birincisi malzemeyi ihtiva eden monomerler lineer zincirlerin bir araya getirdiği reaksiyonla 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 [7].

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 [8]

B) Termoplastikler

Termoplastikler, oda sıcaklığında katıdırlar. Bunlarda çizgisel molekül zincirleri birbirine zayıf Van der Waals bağları ile bağlanır. Rijit bir yapıya sahip değildirler. Bir termoplastik malzeme kritik bir “camsı 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. Buharlaşıma 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 yaygındır. Bu polimerler kristal yapılı veya amorf olabilir. Kristal yapılı 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. Kırpılmış elyafla küçük hacim ortamında, hamur veya levha kalıplama yöntemi ile kullanılmaktadır. Kimyasal etkilere karşı da hassastırlar. Ancak poliamid veya PEEK/karbon elyaflı kompozitte 95°C’de suya karşı koyma dayanımında azalma olmamaktadır. Tutuşma direnci keza daha iyidir [8].

Bu gruba giren plastikler;

- a) Asetol reçineler: Şaft yatağı
- b) Akriklikler (polimetil metakrilat): Işıklı panolar
- c) Selülozik (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): Naylon torba, meşrubat kasası
- h) Stiren (polistiren): Okul gereçleri, yoğurt kabı
- i) Vinil (poli vinil klorür, P.V.C)
- j) Polikarbonat: Trafik ışıkları [8]

1.1.3.2. Lastik

Kauçuk ağacının öz suyundan elde edilen lateksten üretilir. Lateks, sülfür ile kalıba dökülüp ısıtılarak daha kullanışlı bir hale getirilir. Stabil, su geçirmez malzemeler ve tekerlek imalatına uygundur. Bugün ise bir otomobilin yaklaşık %70'i lastikten üretilmektedir [4]. Bu ise lastiğin önemli bir malzeme olduğunu gösteren basit bir örnektir.

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. Silikon kauçuk elastomere iyi bir örnektir. Oto lastikleri, bisiklet lastiği, kösele, sızdırmazlık halkaları,....vb. [6] yerlerde kullanılırlar.

1.1.3.3. Astarlar

Dekoratif ve koruma amaçlı astarlar doymamış yağ ve doğal çam sakızından imal edilmiştir. Bu astarlar lateks boya bazlı vinyl asetat ve acrylic reçine ile geliştirilmiştir. İç ve dış mekanlarda kullanıma uygundur [4].

1.1.3.4. Yapıştırıcılar

Astarlara benzerler. Genel olarak iki ara yüzeyi tutturmakta faydalanılır. Doğal veya sentetik olarak üretilir.

Polimerler geniş ve karmaşık bir çalışma alanıdır. Polimer hakkında konuşurken özel sınıflandırmalar yapılabilir. Bunlar; en geniş anlamda düşük molekül ağırlıklı ve yüksek molekül ağırlıklıdır [4].

Bunun dışında birkaç kullanışlı sınıflandırma daha bulunur. Bunlar ise[4];

- ✓ Molekül yapısı
- ✓ Fiziksel durumu
- ✓ Kimyasal yapı
- ✓ Çevreye verdiği tepki
- ✓ Son işlem
- ✓ Fiyatı

1.1.4.Katkı Maddeleri

Polimerlerin çoğu katkı maddeleri içerirler. Söz konusu katkılar polimerlerin özelliklerinin iyileştirilmesi için katılırlar. Kullanılan belli başlı katkılar; renklendiriciler, yanmayı geciktiriciler, yumuşatıcılar, dolgular, şişiriciler, bağlayıcılar, stabilizatörler ve takviye maddeleridir [6].

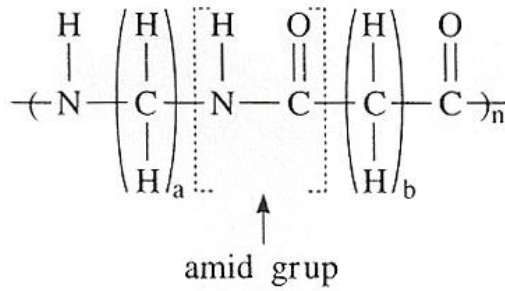
1.1.5.Polimer Türlerinden Bazıları

Aşağıdaki konularda polimerle ilgili değişik sınıflandırma, açıklama ve bu tez çalışmasında kullanılan polimer çeşidi olan döküm poliamid (kestamid) başta olmak üzere bazı polimerlere değinilmiştir.

1.1.5.1.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 geliştirilmiştir. Naylon, dayanıklı olup elastik modülü yüksek ve abrasif 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 çelikle aynı olmasına rağmen ağırlıkça %20 daha düşük olmasındandır [6].

Şekil 1.3'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 1.3. Poliamidler için tekrar eden polimer birimi [9].

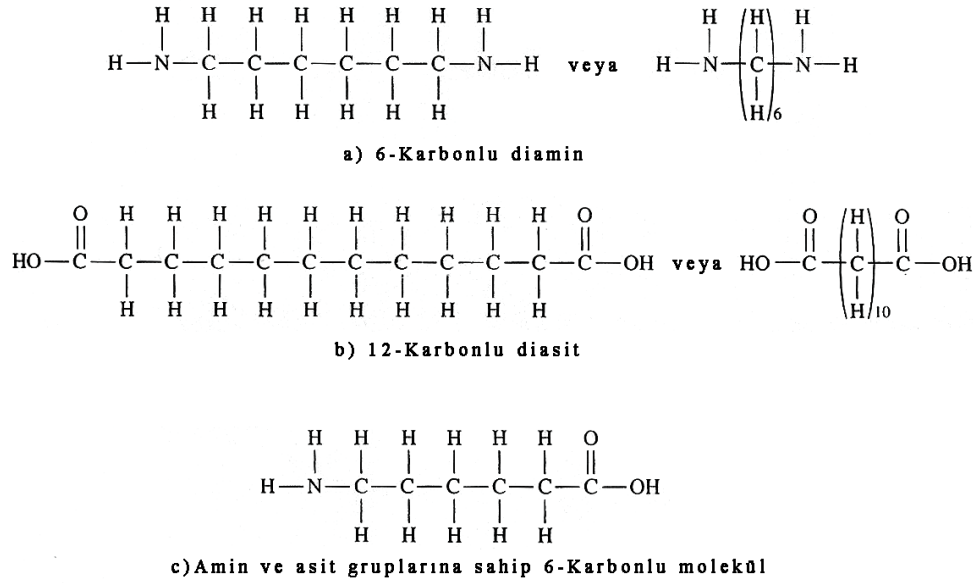
Naylonlar yoğunlaşma polimerizasyonu ile oluşurlar. Monomerler, amid gruplar ve yan ürün olarak su oluşturmak için birleşirler. Amid grup, naylon ailesi özelliklerinin ana belirleyicisidir. N-H bağı ve C-O bağlarının her ikisi de polardır ve N ve O negatif uçlardır. Bu polarite komşu naylon molekülleri 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 [6].

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 [6].

Amid grubun polaritesi, geleneksel çözücü esaslı yapıştırıcılarla naylonun birleştirme yeteneğini artırır. Polar olmayan çözücülere duyarsızdırlar. Bu yüzden yağ ve grese maruz parçalarda yaygın olarak kullanılır [6].

1.1.5.2. Özel Naylon Tipleri ve 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 1.4 a'da gösterildiği gibi 6-karbonlu bir diamin ve Şekil 1.14 b'de gösterildiği gibi 12-karbonlu bir diasit den oluşmuşsa ortaya çıkan poliamid, naylon (6/12) olarak adlandırılır [6].



Şekil 1.4. Poliamid (nylon) yapımında kullanılan monomerler [9].

Ayrıca poliamidler, monomerin bir ucunda amin grubu diğer ucunda ise asit grubunun yer almasıyla sadece bir monomerden de oluşabilirler, Şekil 1.4 c ise ticari nylonlar, nylon (6), nylon (11), nylon (12), nylon (6/6), nylon (6/12)'ye ait 6 karbonlu molekül yapısını göstermektedir. En yaygın kullanılan nylon çeşidi, aynı zamanda piyasaya ilk çıkan nylon (6/6) dır [6].

Diamin ve diasit de 6 karbonun seçimi düşük maliyet ve monomerlerin bulunabilirliğini sağlar. 6 karbonlu zincirler yeterli esneklik ve iyi toklukla birlikte kristalli, sert ve mukavemetli bir nylon (6/6) meydana getirirler. Uzun zincirler daha esnektir. Kısa zincirler güçlü, sert ancak gevrekler [6].

Nylon (6/6)'dan nylon elyaf yapımının neredeyse ideal olduğu kanıtlanmıştır. Bu liflerin, halılarda, çoraplarda, takviye elemanı olarak kemer, hortum ve tekerleklerde, ayrıca ağır-iş endüstriyel uygulamalarında kullanımları mevcuttur. Ekstra mukavemet ve tokluğun gerekli olduğu uygulamalarda nylonlar kısa cam ve karbon lifler ile takviye edilirler [6].

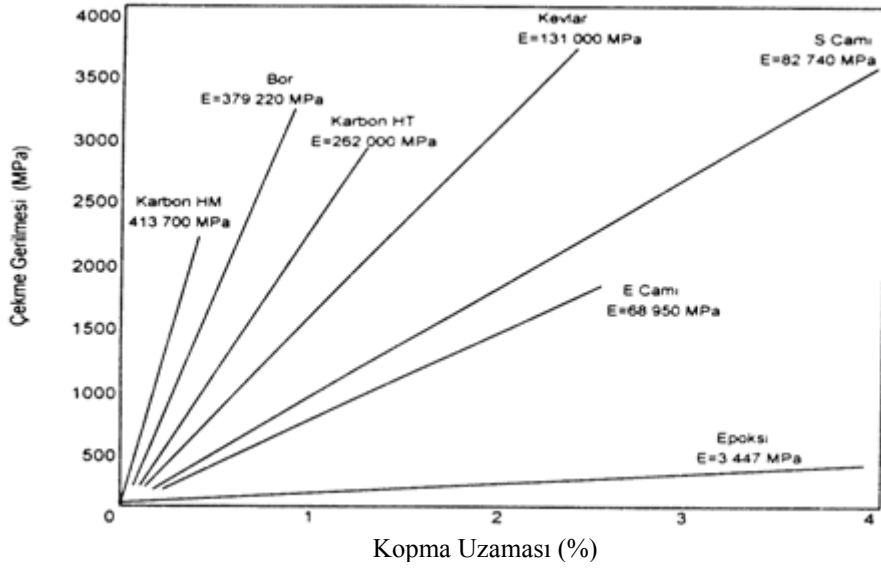
Nylonların avantajları; 100° C servis sıcaklığı, düşük sürtünme katsayısı, çok yüksek basma dayanımı, yüksek sertlik, yüksek darba dayanımı, sıcaklık dayanımı, kimyasal madde dayanımı, hafiflik, darbe dayanımı, korozyon dayanımı, PA 6'ya oranla daha az su emme gibi sıralanabilir.

Kullanım alanları ise kızaklar, tekerlekler, rulolar, dişliler, yataklar, makaralar, kasnaklar, aşınma plakaları, demir çelik sanayi parçaları, ambalaj sanayi parçaları, gıda sanayi parçaları, kimya sanayi parçaları, kağıt sanayi parçaları, tekstil sanayi parçalarıdır [10]

Nem alam özelliğine sahip olmaları, kuvvetli asit ve oksitlere karşı dayanıksızlık, kalıplamada yüksek büzülme, bazı özelliklerinin nem içeriği ile değişimi gibi özellikleri ise naylonların zayıf yönleridir [11].

Tablo 1.1. Bazı Naylonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [11].

Malzeme Özellikleri	Naylon 6/6	Naylon 6/10	Naylon 6/10 (Cam elyaf takviyeli)
Yoğunluk (g/cm ³)	1,13-1,15	1,09	1,17-1,52
Çekme dayanımı (MPa)	62-82	58-60	89-240
Izod darbe dayanımı (J/mm)	0,05-0,1	0,06	0,06-0,3
Sertlik (Rockwell)	R108-R120	R111	M94, E75
Termal genleşme (10 ⁻⁴ / °C)	20	23	3-8
Sıcaklık direnci (°C)	80-150	80-120	150-205
Dielektrik mukavemeti (V/mm)	15000-18500	13500-19000	16000-2000
Dielektrik sabiti (60 Hz)	4-4,6	3,9	4-4,6
Su absorpsiyonu (24 saat,%)	1,5	0,4	0,2-2
Ergime sıcaklığı (°C)	260	220	---



Şekil 1.5. Elyaf ve matris malzemelerin gerilme uzama diyagramı [12].

1.1.5.2.3. 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 [13].

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 katkılı 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.



Şekil 1. 6. Çeşitli kestamid uygulamaları [13].

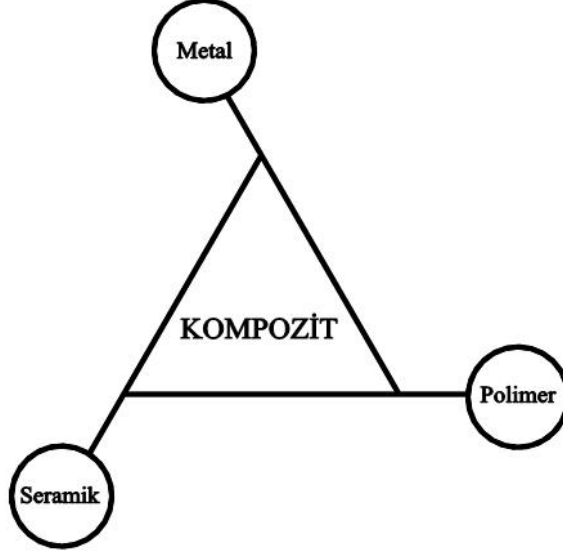
Alüminyum, bakır, bronz, çelik, fiber, pirinç ve diğer metallerin kullanıldığı birçok yerde bu metallerin yerine kullanılabilir. Kestamid'in çeşitli kullanım alanları Tablo 1.2'de verilmiştir.[13]

Tablo 1. 2. Kestamidin çeşitli kullanım alanları [13].

ÇEŞİTLİ KULLANIM ALANLARI	
İnşaat Makineleri Parçaları	Pompa ve Vana Kılıfları
Rulo, Silindir Kaplamaları	Manifolter
Gemi Şaftı	Zamanlama Dişlileri
Contalar	Kaplinler
Besleme Vidaları	Aşınma Pabuçları
Aşınma Plakaları	Elevatör Kovaları
Kılavuz Bantları	Çelik Göbekli Makaralar
Yönlendirici Profiller	Teleskopik Silindir Yatakları
Sıyırıcılar	Kurutma Silindir Dişlileri
Pres Plakaları	Su Tasfiye Ekipman Parçaları
Çekiç Başları	Araba Tekerlekleri
Prototip Makine Parçaları	

1.2.Kompozit Malzemeler

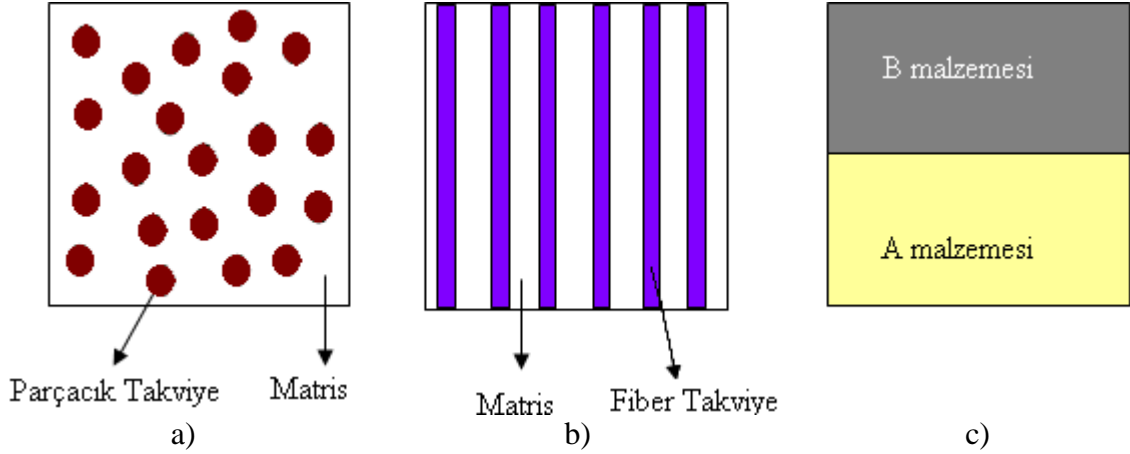
Metaller, seramikler ve polimerlerin bir biri ile karıştırılması ile kompozitler malzemeler üretilir. Şekil 1.7.'de kompozit malzeme ile diğer malzeme türleri arasındaki ilişkiyi gösteren şemaya yer verilmiştir.



Şekil 1.7. Malzemeler arasındaki ilişki

Karışım, iki veya daha fazla malzemedan meydana gelir. Betonarme, çimento ve kumun karışımı ile meydana gelen kompozit bir malzemedir. Polyester ile camyünü beraber kullanılarak kompozit bir malzeme yapılabilir. Kompozit malzemeler, hafif, dayanıklı, şekillenebilir ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık gibi özelliklere sahip olarak üretilebilirler.

Kompozitler çok fazlı malzeme sayılırlar. Karbon-fiber takviyeli polimerler gibi kompozit malzemeler uzay araçları ve uçak sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ağaç, tabiatta bulunan kompozit malzemelere iyi bir örnektir. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı bulunur. Kompozit malzemeler donatılı veya pekiştirilme türüne göre Şekil 1.8'teki gibi üç gruba ayrılır [12];



Şekil 1. 8. Kompozit çeşitlerinin şematik görünümü a) Parçacık takviyeli b) Fiber takviyeli(lifli, elyaflı) c) Tabakalı (tabakalı) [12]

1.3. Kompozitlerin Yapısı

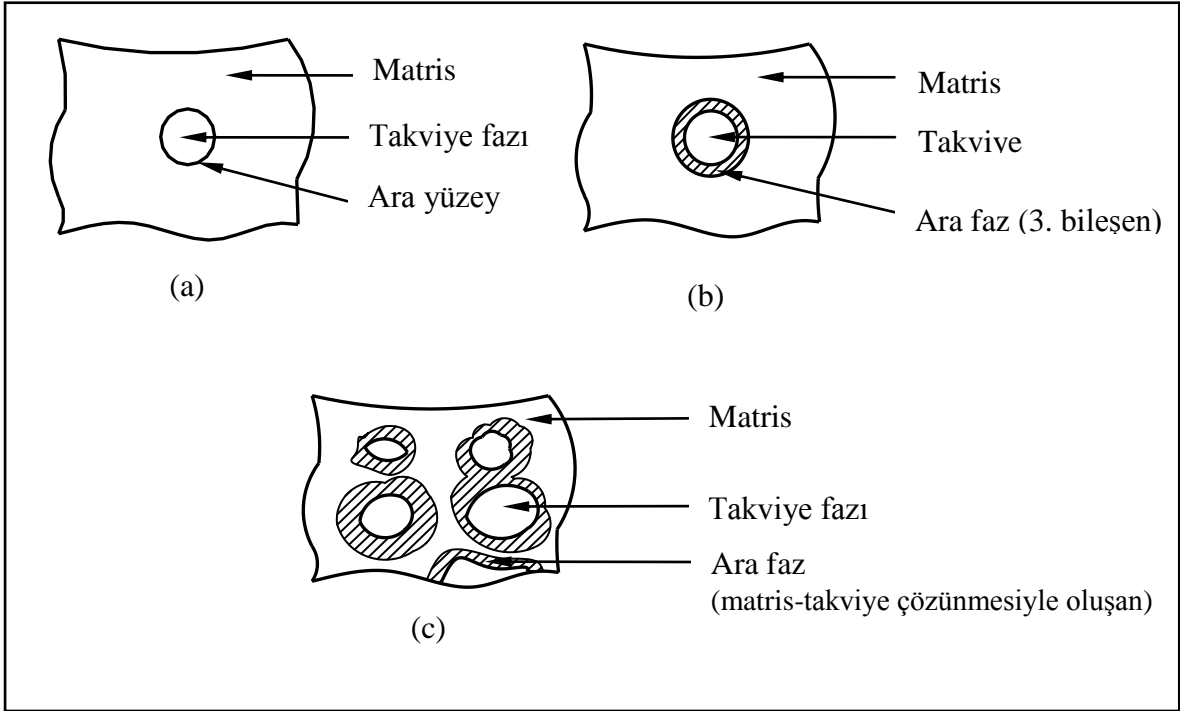
Kompozit malzemeler genellikle; matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Kompozit içinde genellikle daha sert ve daha yüksek dayanıma sahip bileşen kısım takviye olarak adlandırılır. Kompozitin ana yapı malzemesi olarak da tanımlanan, nispeten daha düşük dayanıma sahip olan fakat genellikle sünekliği yüksek olan kısım matris olarak adlandırılır [14].

Matris malzemesinin kompozit sisteminde kompozit malzemeye gelen yükleri takviye malzemelerine iletmek, kompozit malzemenin tokluğunu artırmak, kırılan elyaflardan çatlağın yayılmasını önlemek, kompozit malzemenin mukavemetine katkıda bulunmak, takviye elemanlarını bir arada tutmak (bağlayıcı faz görevi yapmak), takviye malzemelerini ortamın etkilerinden ve darbelerden korumak gibi görevleri vardır [14].

Kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde kompoziti oluşturan matris ve takviye malzemelerinin özellikleri, matris ve takviye malzemelerinin hacim oranları, matris takviye arasındaki bağın özellikleri, takviye malzemesinin şekli, yapısı ve kompozit içerisindeki yönelmesi etkili olmaktadır [14].

Kompozitin tarifine göre matris ve takviye fazı birbiri içinde çözünmemelidir. Ancak çok az miktarda çözünürlük matris-takviye arasında güçlü bir bağın oluşumunu olumlu yönde etkiler (Şekil 1.9 (c)) [14].

Bazı durumlarda matrisle takviye arasında doğrudan bağ oluşur. Matrisle takviye arasında iyi bir bağ oluşmaması durumunda takviye üzerine matris ile bağ oluşturan bir malzeme kaplanır [14].



Şekil 1.9. Kompozit malzemedeki matris-takviye bağının oluşumunda ara yüzey ve ara fazlar (a) Doğrudan (ara fazsız) birleşme, (b) Kaplanmış takviye kullanımı, (c) Karşılıklı sınırlı oranda çözünmeyle ara faz oluşumu [6].

Matris-takviye ara yüzeyinin yapısı ve özellikleri kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Çünkü, matris üzerine etki eden gerilmelerin takviye elemanına aktarılması ara yüzey aracılığı ile olur [6].

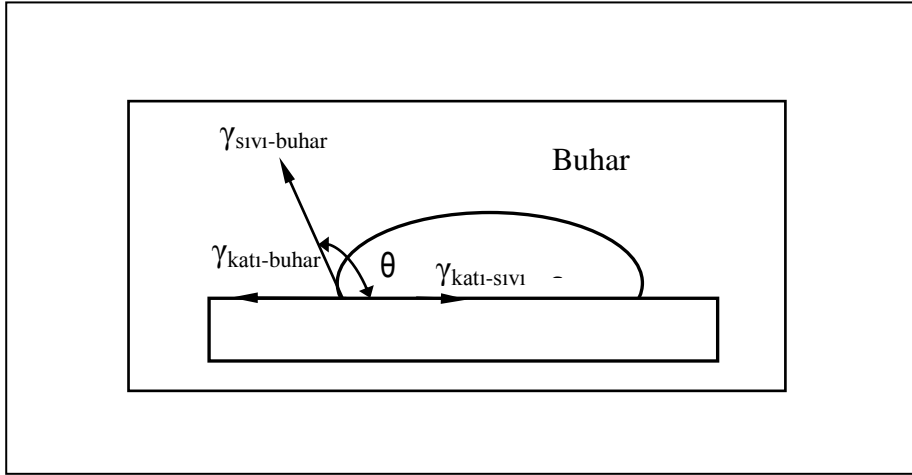
Matris ve takviye arasındaki adhezyon bağı, adhezyon teorisine göre beş ayrı mekanizma ile açıklanır. Matris-takviye bağında bu mekanizmalardan biri veya bir kaç etkin olur [14].

1.3.1. Adsorbsiyon ve İslatma

Elektriksel olarak nötr karakterde olan iki yüzey birbirine yeteri kadar yaklaştığında aralarında bir çekim oluşur. Bu olay sıvıların katı yüzeyleri ıslatması ile açıklanır. İki katı yüzey birbirine temas ettiğinde yüzey pürüzlülüğü bu iki yüzeyin belirli noktalar dışında atomsal veya mikro düzeyde birbirine temas etmesini engeller. Diğer taraftan genellikle yüzeylerde kirlilik de vardır. Yüzeyler temizlense bile temas noktalarında oluşan adhezyon

tüm yüzeye oranlandığında zayıf olur. Etkin bir ıslatma için sıvının katı yüzeyindeki bütün girintileri ve çıkıntıları doldurarak arada bulunan havanın yerini alması gerekir [14].

Islatma, bir katı yüzeyinde bir sıvının yayılma kabiliyeti olarak tanımlanabilir ve katı-sıvı arasındaki yakın ilişkinin (temas) derecesini temsil eder. Şekil 4’de görüldüğü gibi ıslatma katı madde yüzeyine düşen sıvı damlacığı ile katı arasındaki temas açısıyla tanımlanabilir [14].



Şekil 1.10. Katı yüzey üzerindeki sıvı damlası, ıslatmanın iyi olmadığı sistemde ıslatma açısı ve yüzey enerjilerinin şematik gösterimi [14]

Yüzey enerjileri ve ıslatma açısı arasındaki temel ilişki aşağıda verilen Young-Dupre eşitliği ile ifade edilir [14]

$$\gamma_{\text{kb}} = \gamma_{\text{ks}} + \gamma_{\text{sb}} \cos \theta \quad (1.1)$$

Burada γ_{kb} katı-buhar ara yüzey enerjisi, γ_{ks} katı-sıvı ara yüzey enerjisi, γ_{sb} sıvı-buhar ara yüzey enerjisi ve θ ıslatma açısıdır. Katının üzerine sıvının yayılması için sistemin serbest enerjisinde azalma olması gerekir. Sıvı ile katı arasındaki bağ kuvveti (yani adhezyon işi) aşağıdaki eşitlikten bulunur [14]:

$$W_a = \gamma_{\text{sb}} + \gamma_{\text{kb}} - \gamma_{\text{ks}} \quad (1.2)$$

(1.1) eşitliği ile verilen γ_{kb} değeri yerine konursa;

$$W_a = \gamma_{\text{sb}} (1 + \cos \theta) \quad (1.3)$$

elde edilir [14].

Bu nedenle sıvı ile katı arasındaki bağ kuvveti temas (ıslatma) açısı ve sıvının yüzey gerilimi ile ifade edilebilir [14].

Islatma açısının büyüklüğü ıslatmayı tanımlar. Buna göre;

$$\begin{aligned} \theta = 0 & \quad \text{mükemmel ıslatma} \\ \theta = 180 & \quad \text{ıslatma yok} \\ 0 < \theta < 180 & \quad \text{kısmi ıslatma gerçekleşir.} \end{aligned}$$

Temas (ıslatma) açısının küçük olması iyi bir ıslatmanın gerçekleştiğini ifade eder. $\cos\theta > 0$ (veya $\gamma_{sb} > \gamma_{ks}$) olunca ıslatma gerçekleşir. Dellannay'e göre vakum ortamında ıslatma için itici gücü etkileyen iki faktör; sıvının yüzey gerilimi ve sıvı-katı ara yüzeyindeki etkileşim kuvvetidir [14].

Islatmayı etkileyen faktörler ve iyileştirme yöntemleri ilerideki bölümlerde daha ayrıntılı olarak verilmiştir [14].

Sıvı faz ortamında metal-seramik sistemlerinde ıslatmayı iyileştirmek zordur. Örneğin C, SiC, Al₂O₃ parçacıklarının 950°C' nin altındaki sıcaklıklarda alüminyum ve alüminyum alaşımları tarafından iyi ıslatılamaz [14].

MMK'lerde ara yüzey bağ mukavemetinin maksimum düzeyde olabilmesi için ıslatmayı iyileştirmek, kimyasal reaksiyonları kontrol etmek ve oksitlerin oluşmasını minimuma indirmek gereklidir [14].

1.4.Kompozit Malzeme Türleri

- a) Polimer matrisli kompozitler
- b) Metal matrisli kompozitler
- c) Seramik matrisli kompozitler

1.4.1.Polimer Matrisli Kompozitler

Liflerle güçlendirilmiş plastiklerde iki önemli ana bileşen vardı; polyester ve epoksi reçineler [4].

Liflerle takviye edilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanım alanına sahiptir. Takviye olarak cam, karbon, kevlar ve boron lifleri kullanılır. Kompozit malzemede liflerin temel fonksiyonları;

- Yükü taşımak; yapısal kompozitlerde yükün % 70-90' ı lifler tarafından taşınır.

- Kompozit malzemeye, sertlik, ısıl stabilite ve diğer yapısal özellikleri kazandırır.
- Kullanılan elyafın türüne bağlı olarak, elektriksel iletkenlik veya yalıtkanlık kazandırmaktır [15].

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

- Lifleri bir arada tutar 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 liflerini ortamın kimyasal etkileri ve mekanik hasarlara karşı korunmasını sağlar.
- Seçilen matris malzemesine bağlı olarak, esneklik, darbe dayanımı gibi performans karakteristikleri etkilenir [15].

Bazı takviye edici liflerin özellikleri Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1. 3. Bazı pekiştirici liflerin özellikleri [12]

Malzeme	Özgül ağırlık ρ (gr / cm ³)	Çekme mukavemeti MPa (N/mm ²)	Elastisite modülü GPa (N/mm ²)
Cam lifi	2,54	2410	70
Karbon lifi	1,75	3100	220
Kevlar lifi	1,46	3600	124

Polimer kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Takviye edici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/yoğunluk, σ/ρ) ve özgül elastisite (E/ρ) modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelerden üstün durumdadırlar [12]. Lifli kompozitlerin bazı özellikleri Tablo 1.4.'de verilmiştir.

Tablo 1. 4. Bazı lifli kompozitlerin özellikleri [12].

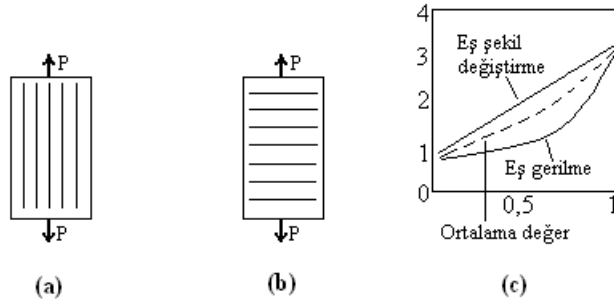
Malzeme	Özgül ağırlık ρ (gr / cm ³)	Çekme mukavemeti MPa (N/mm ²)	Elastisite modülü GPa (N/mm ²)
Cam lifi – polyester	1,5 – 2,1	200 – 340	55 – 130
Karbon lifi – epoksi	1,5 – 1,8	1860	145
Kevlar – epoksi	2,36	2240	76
Boron lifi - epoksi	1,4	1240	176

1.4.2. Kompozitlerin Mekanik Davranışı

Kompozitlerde lifler kuvvet yönüne paralel, dik yönde yada rast gele dağılmış durumda bulunurlar. Lifler yönlenmiş durumda iken kompozit büyük ölçüde anizotrop olur. Lifler rast gele dağılmış ise düzlemsel boyutta izotrop olurlar [12].

Liflerle kuvvet birbirine paralel ise liflerle matris aynı miktarda şekil değiştirir. Buna eş şekil değiştirme hali denir. Matrisin elastisite modülü E_m , liflerini elastisite modülü E_f ve liflerin hacimsel oranı V_f ise kompozitin paralel doğrultudaki bileşke elastisite modülü [12] eşitlik (1.4)'deki gibi olur.

$$E_k = E_f * V_f + V_f (I - E_m) \quad (1.4)$$



Şekil 1. 11. Kompozit malzemelerde yönlenmenin etkisi (a) Eş şekil değiştirme hali (Paralel lifler) (b) Eş gerilme hali (Dik lifler) (c) Elastisite modülünün kompozitin bileşim oranı ile değişimi (Rast gele lifler)[12]

Kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri liflerin kopmasıyla sona erer. En uygun kompozit yapısında lifler kuvvet doğrultusunda paraleldir. Liflerin kuvvet yönüne dik olduğu hallerde makro ile lifler aynı yükü taşır. Eş gerilme hali bilinen bu yükleme karşısında kompozitin elastisite modülü [12] Eşitlik 1.5'deki gibidir;

$$E_k = \frac{E_m E_f}{E_m V_f + (1 - V_f) E_f} \quad (1.5)$$

Eşitlik (1.3)'de kompozitin çekme mukavemeti T_k , liflerin çekme mukavemeti T_f , liflerin koştugu andaki şekil değiştirme için matristeki gerilme T_m ve liflerin hacimsel oranı V_f . Arasındaki bağıntı gösterilmiştir. Kompozitin çekme mukavemeti [12] aşağıdaki (1.6) Eşitliği ile ifade edilir.

$$T_k = T_f V_f + (1 - V_f) T_m \quad (1.6)$$

1.4.3. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

- Hafiflik: Polimer kompozitler genelde $1,5 - 2 \text{ gr / cm}^3$ yoğunluğundadır. Metal kompozitler, $2,5 - 4,5 \text{ gr / cm}^3$ olmakla beraber özel kompozitlerde sıçrama görülebilir. Seramik kompozitler ise ikisi arasındadır.
 - Rijitlik ve boyut kararsızlığı: Genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterir.
 - Yüksek mekanik özellikler: Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir.
 - Yüksek kimyasal direnç: Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir.
 - Yüksek ısı dayanımı: Kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastiklere göre yüksektir.
 - Elektriksel özellikler: Elektriksel özellikler kompozitlerde isteęe göre ayarlanabilir.
- Metal Matrisli Birleşik Malzemeler (MMC)'ler iletkenlerdir.[12]

Kompozit malzemelerin özelliklerini kısaca bir liste halinde özetlemek gerekirse:

Kompozit malzemelerin avantajları

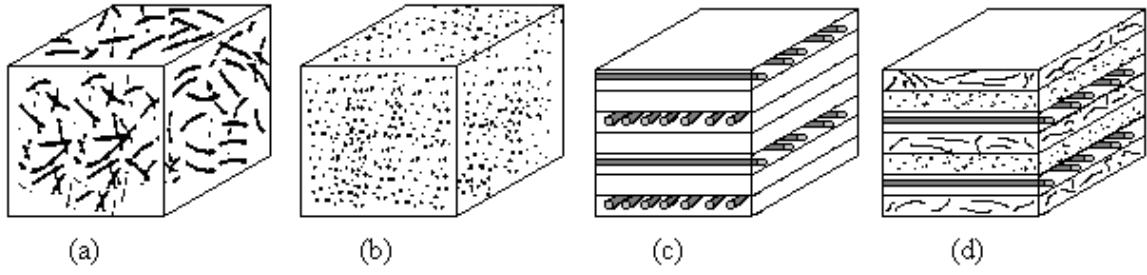
- a. Yüksek dayanım,
 - Yorulma dayanımı
 - Aşınma dayanımı
 - Korozyon dayanımı
- b. Üstün sıcaklık özellikleri,
- c. İyi termal ve ısı iletkenliği,
- d. Yüksek rijitlik,
- e. Düşük ağırlık,
- f. Estetik görünüm vb. [16].

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 [16].

1.4.4.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

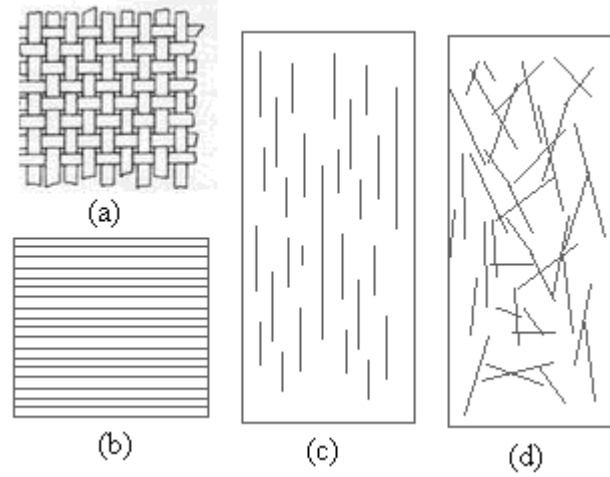
Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki takviye malzemesi cinsine göre bir sınıflandırma yapmak mümkündür. Bu sınıflama Şekil 1.12.'da verilmektedir [12].



Şekil 1.12. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması a) Elyafli kompozitler, b) Parçacıklı kompozitler, c) Tabakalı kompozitler, d) Karma kompozitler [12].

a) Elyaf Takviyeli Kompozitler: Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafın matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafın matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyafın doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyafın dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyeleriyle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyafın mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafın uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyafın iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir [12].

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyafın iletilen yük miktarı azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir [12]. Matrisdeki boşluklar ve elyafın yönelimleri Şekil 1.13.'de gösterilmiştir. Tablo 1.5.'de ise bu kompozitlerin kullanım yerlerine ait örnekler yer verilmiştir.

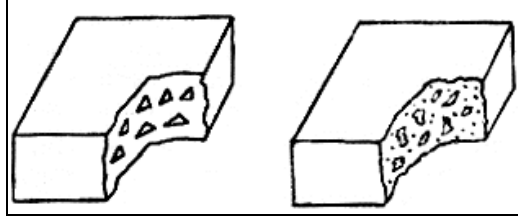


Şekil 1.3. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyafların kompozit içerisindeki dizilişi a)Örgülü elyaf takviye,b)Sürekli elyaf takviyeli, c)Yönlenmiş süreksiz elyaf takviyeli, d)Gelişigüzel dağılmış süreksiz elyaf takviyeli kompozitler [17].

Tablo 1. 5. Elyaf takviyeli plastik kompozitlerin kullanım alanları [18].

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.

b) Parçacık Takviyeli Kompozitler: Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılarıdır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler [12]. Şekil 1.14.'de parçacıklı kompozitlerin şematik görünümü bulunmaktadır.



Şekil 1.4.Parçacık takviyeli ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitlerin yapısı [16].

c) Tabakalı Kompozitler: Tabakalı kompozit tipi, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler [12].

Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler [12].

d) Hibrid (Melez) Kompozitler: Aynı kompozit yapıda iki yada 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 elyafıdır, ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafıdır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitte iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır [12].

1.4.5.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 sahiptir [16].

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 gelmektedir. 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 ısıl genleşme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir [16].

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 [19].

Elyaf genellikle üç gruba ayrılır:

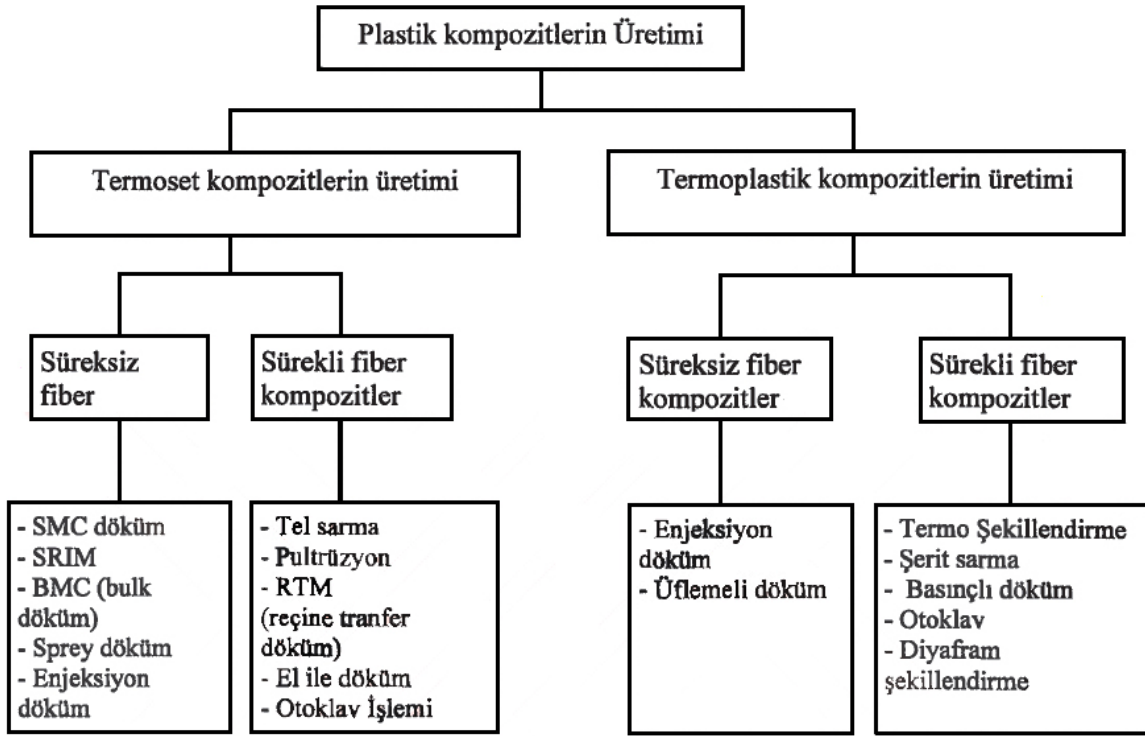
- Doğal elyaf (örneğin yün, pamuk, asbest vb.)
- Rejenere elyaf (doğada bulunan uzun makro moleküllerden yararlanılarak elde edilirler, rayon gibi)
- Yapay elyaf (nylon, kevlar vb.) [19].

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

1.4.6.Üretim Yöntemleri

Kompozit malzeme üretim yöntemlerinde, elyaflar, reçineler, hasırlar, ön gömülmüş tabakalar, 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 1.15'da en sık kullanılan kompozit üretim yöntemleri gösterilmiştir [8].

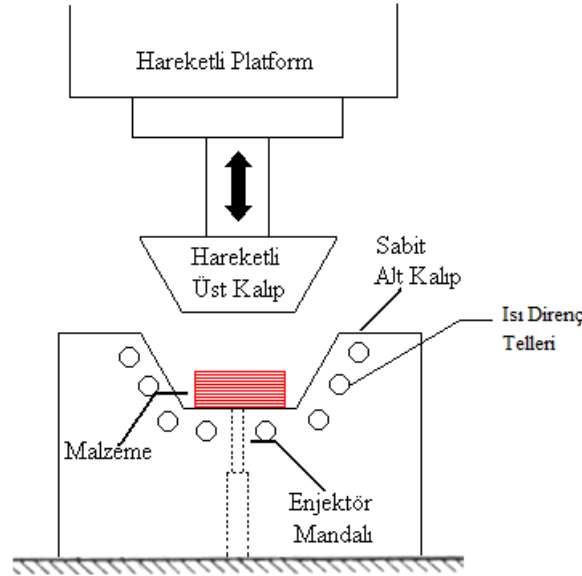
Ayrıca bu konu altında, sadece çalışmada kullanılan üretim yönteminden bahsedilmiştir.



Şekil 1.5. Kompozit üretim yöntemlerinin sınıflandırılması [8].

1.4.7. Basınçlı Kalıplama Yöntemi (Sıcak Presleme)

Bu kalıplamada tabaka kalıp bileşeni ve yığın kalıp bileşeni en yaygın kullanılan ham-maddelerdir. Basınçlı kalıplama yöntemine ait şematik resim Şekil 1.16'de verilmiştir. Bu şekilde hareketli piston aşağıya inerek haznede eriyik durumunda bulunan malzemeyi enjektör mandalından kalıp boşluğuna doğru iterek kalıp boşluğunu doldurur.



Şekil 1. 6. Basınçlı kalıplama yöntemi

1.4.8. 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 [20].

1.4.8.1. 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 [6].

1.4.8.2. Üretim Metodu ve Parametrelerin Etkisi

Üretim metodunun kompozitin mekanik özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Toz metalurjisi metodu (TM) ile üretilen malzemeler, sıvı metal karıştırma metodu ile elde edilen malzemelerden, parçacık şekli, boyutu ve mikro yapısı bakımından farklıdır. TM ile üretilen kompozitler daha üniforma 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 kompozitlerde daha yüksek mekanik özellikler elde edilebilmektedir [6].

1.4.8.3.Mikro Yapının Etkisi ve Porozite

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine mikro yapının ve porozitenin (gözeneklilik) 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 [6].

1.5.Elyaf

1.5.1.Elyaf Çeşitleri Ve Özellikleri

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojiye kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır [12].

1. Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
3. Elastite modülünün çok yüksek olması [12].

1.5.1.1.Cam Elyaf lar

Cam elyaf lar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken $1260\text{ }^\circ\text{C}$ civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir. Cam elyaf ların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [21].

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyaf lı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
5. Elektrikli iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksiz yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyaf lı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanır lar [21].

Polimer esaslı kompozit malzemelerde cam elyaf ı en yaygın kullanılan ve en ucuz takviye türüdür. Esas olarak SiO_2 (silikon dioksit, silika) olan camda diğer elementlerin oksitleri de bulunur. Elektriksiz iletkenlik, kimyasal direnç ve korozyon dayanımı gibi özellikleri sağlamak için, farklı kimyasal bileşimlerde olan camlar üretilir [21].

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 [21]. Tablo 1.6.'da cam elyaf türleri ve kimyasal özelliklerine ilişkin bilgiler verilmiştir.

Tablo 1.6. Kompozitlerde kullanılan cam elyaf türleri ve kimyasal bileşimleri [22].

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

Başlıca cam elyafı cinslerinin kompozisyonları (% olarak) Tablo 1.7.'de görülmektedir.

Tablo 1.7. Başlıca cam elyaf türleri [23].

Katkı maddeleri (%)	A	C	E	R	S
SiO ₂	72.0	64.6	52.4	60.0	64.4
Al ₂ O ₃	1.5	4.1	14.4	25.0	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	9.0	---
MgO	2.5	3.3	4.6	6.0	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	---	0.3
B ₂ O ₃	---	4.7	10.6	---	---
BaO	---	0.9	---	---	---

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 [19].

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 [19].

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. Fitol (bükümsüz), fitil (yarı bükümlü), bükülmüş iplik, keçe ve dokuma şekillerinde üretilebilir [19].

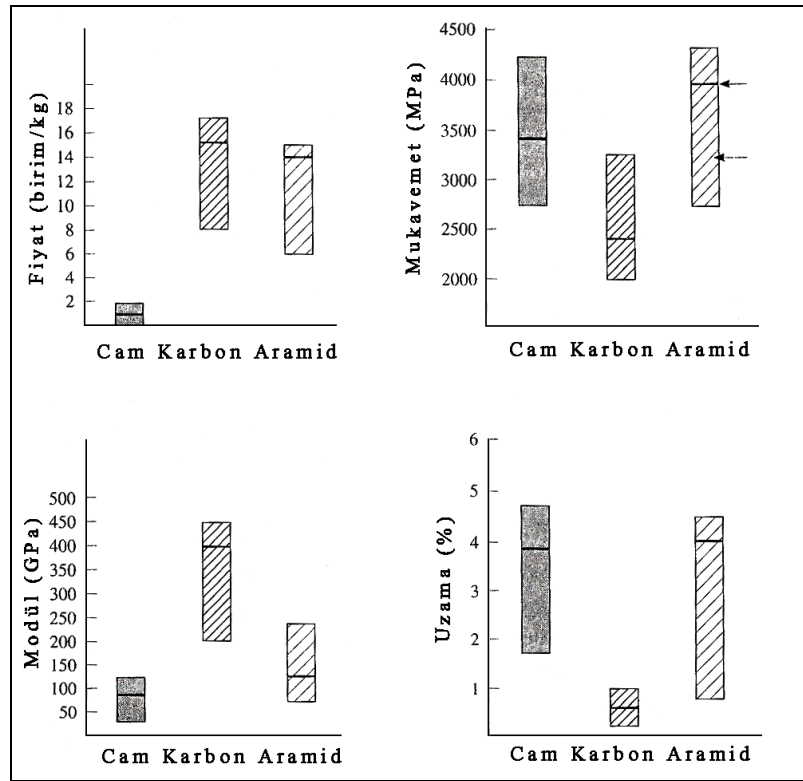
Camın viskozitesi, sıcaklığı ve çekme hızı değiştirilerek farklı çaplarda (ticari olarak 2,5 μm – 20 μm) elyaf üretilebilir [19]. Piyasaya sunuluşu aşağıdaki gibi olan camların türlerine ait bilgiler Tablo 1.8.'de verilmiştir. Tablo 1.9.'da da bu camlara ait mekanik ve fiziksel özelliklere değinilmiştir.

Tablo 1. 8. Piyasadaki camlar [23].

Cam Tipi	Özellikleri
A-camı	Yüksek alkali oranı-düşük maliyet
C-camı	Kimyasal dayanım (Yüzey tülleri)
E-camı	Elektriksel özellikler
L-camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M-camı	Yüksek elastik modül
S-2 camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 camı	Paneller için yarı şeffaf
AR-camı	Alkali dayanım
R-camı	Yüksek çekme dayanımı

Tablo 1. 9.Kompozitlerde kullanılan bazı seramik elyafların mekanik ve fiziksel özellikleri [6].

Malzeme Cinsi	Yoğunluk (kg/m ³)	Elyaf Çapı (µm)	Elastik Modülü(GPa)	Çekme Dayanımı (GPa)
E-camı	2500	12	70	1.5-2.0
S-camı	2600	10	90	4.6
Karbon(PAN)	1800	7-10	400	2.0-2.8
Karbon(YD)	1700	7-10	200	3.0-3.5
Karbon(Mesa-faz)	1900	7-10	220	3.2
Boron	2600	140-160	400	3.4
Al ₂ O ₃ (FP)	3950	20	380	1.4-2.1
Al ₂ O ₃	3300	3.0	300	2.0
Al ₂ O ₃ /SiC	3100	10	206	1.7
SiC	3200	1-50	480	7.0
SiC(Nicalon)	2250	12	200	2.5



Şekil 1. 7.Cam, karbon ve aramid elyafların fiyat, mukavemet, uzama ve modüllerinin karşılaştırılması [9].

1.5.2.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 [20].

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 [20].

1.5.3.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 (c) $0^\circ/45^\circ$ 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 [20].

1.5.4.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 [20].

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 [20].

1.5.5.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 ayrılmalarla 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 [6].

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 malzemedeki mekanik özellikler eksene dik doğrultuda çift yönlü elyafli kompozitlerden daha düşük değerlerdedir [6].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1.Kullanılan Malzemeler

2.1.1.Kullanılan Matris Malzemesi

Bu çalışmada, ticari ismi ile kestamid olarak bilinen polimer malzeme kullanılmıştır. Yukarda, özellikleri detaylı olarak incelenmiş olan döküm poliamid ticari olarak önemi yüksek bir malzemedir. Bu sebepten dolayı bu malzemenin geliştirilmesinde cam elyaf takviyesi ile matris fazı olarak döküm poliamid seçilmiştir.

Daha önce yapılan deneysel çalışmalara dayanarak [6], elde edilen optimum (ağırlıkça %50 fiber, %50 kestamid) bileşim oranı seçildi. Bu bileşimde farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde numuneler hazırlanarak bu numuneler üzerlerinde çeşitli mekanik deneyler yapıldı. Deney sonuçlarında, üretilen kompozit malzemenin yeni özellikleri tespit edildi. Tablo 2.1.'de deneysel çalışmalarda kullanılan matris malzemesi olan kestamidin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan matris malzemesinin özellikleri [10].

KESTAMİD (Döküm Poliamid - PA6G)				
FİZİKSEL ÖZELİKLER	DEĞER	BİRİM	TEST METODU	
			DIN	ISO
Özgül Ağırlık	1,15	g/cm ³	53479	1183
Servis Sıcaklığı	100	0 °C	53461	75
Ergime Noktası	220	0 °C	-	-
Termal Uzama	8-9	1/K*10 ⁵	53752	-
Çekme Dayanımı	55-85	N/mm ²	53455	527
Çekme Uzaması	-	%	53455	527
Kopma Dayanımı	88-90	N/mm ²	53455	527
Kopma Uzaması	10-40	%	53455	527
Darbe Dayanımı	-	Kj/m ²	53453	179
Çentik Darbe Dayanımı	-	Kj/m ²	53453	179
Elastiklik Modülü	3900-4200	N/mm ²	53452	178
Su Emme	6-7	%	53495	62
Hacimsel Direnç	>10 ¹⁵	W . cm	53482	167
Yüzeysel Direnç	>10 ¹²	W	53482	167
Dielektrik Dayanımı	80-100	KV/mm	53481	243
Shore	85	Skala D	53505	
Bilye Çentiği 358/30	110-160	N/mm ²	53456	2039-1

2.1.2 Cam Elyaf (E - Camı)

E-camı deneysel çalışmalarda kullanılan fiber takviyesi olup Tablo 2.2’de E-camına ait özellikler verilmiştir. Bu camlar düşük maliyetli, yüksek elastik ve yorulma dayanımı gerektiren parçalarda kullanılır [16].

Tablo 2.2. Takviye elemanı olarak kullanılan cam fiberin özellikleri [15].

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	10-13
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.Üretim Yöntemi

2.2.1.Numune Üretimi

Piyasadan satın alınan ve dolu silindirik şekilde bulunan döküm poliamid hidrolik testere yardımı ile kesilerek talaş haline getirildi ve basınçlı döküm yöntemiyle kalıba alındı. Üretilen numuneler iki ana grupta incelendi. Birinci grupta kalıplama basıncı 3,5 MPa'da sabit tutularak kalıplama sıcaklığı değiştirildi; ikinci grupta ise, birinci grupta 300°C olarak tespit edilen optimum sıcaklık sabit tutulmuş ve kalıp basıncı değiştirilerek deneyler yapıldı. Bu gruplar Tablo 2.3'de gösterilmiştir. Tablo 2.4.'de ise üretilen malzemedeki bileşim oranı verilmektedir.

Tablo 2. 3. Üretilen kompozit malzemenin üretim değerleri

	Numune Adı	Kalıp Sıcaklığı(°C)	Basınç (MPa)
Grup 1	G1	260	3,5
	G2	280	3,5
	G3	300	3,5
	G4	320	3,5
Grup 2	D1	300	9
	D2	300	14
	D3	300	20
	D4	300	25

Tablo 2. 4. Üretilen kompozitlerin bileşimleri

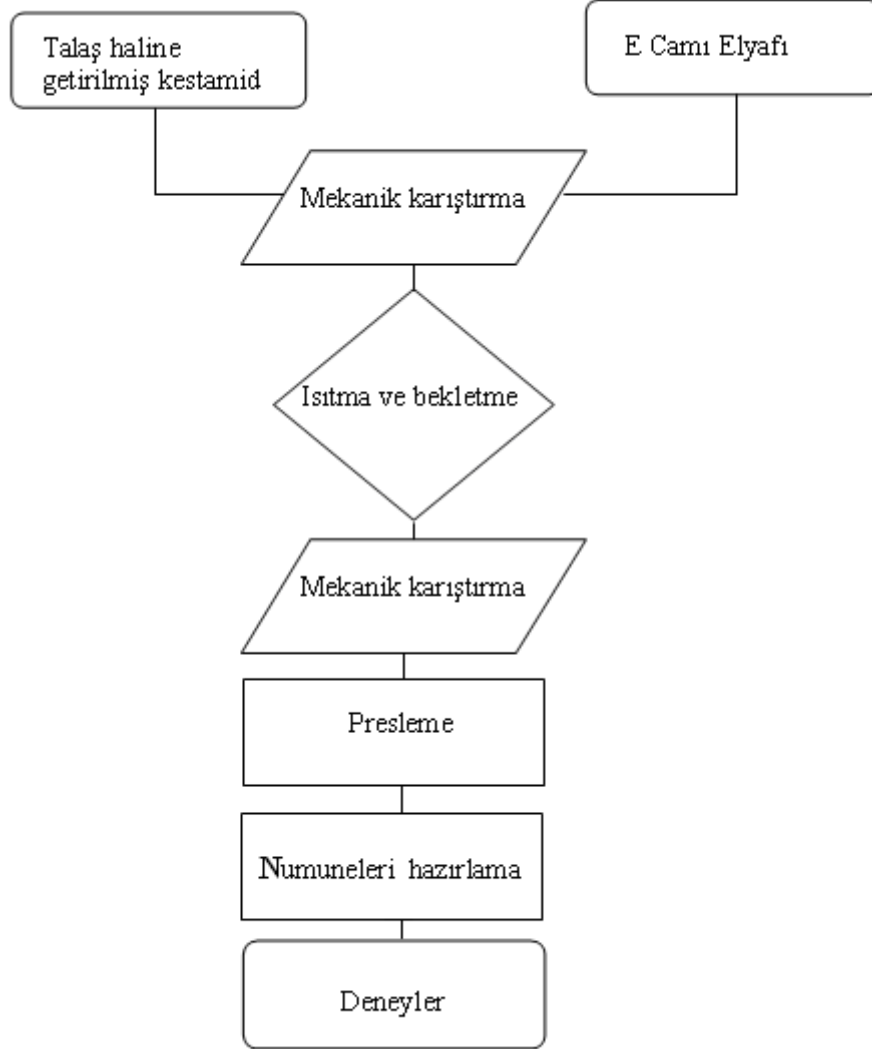
	Ağırlık Oranı (%)	Hacim Oranı (%)
E-camı elyafı	50	31,10
Kestamid	50	68,90

Tartım işlemi 0,001 gr hassasiyetli elektronik tartıda yapılmıştır. Sonrasında döküm poliamid talaşı ile E camı elyafı homojen olacak şekilde karıştırılmış ve yukarıda verilen sıcaklık değerlerinde basınçlı kalıba alınmıştır. Kalıba zımba yardımı ile preslenen karışım 10-15 dakika kadar basınç altında tutulmuş ve sonrasında kalıptan çıkarılarak çekme numunesi, darbe numunesi ve sertlik ölçüm numunesi alınacak şekilde parçalara kesilmiştir. Numuneler ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. Standartlara ilişkin bilgiler Tablo 2.5.'de verilmiştir.

Tablo 2. 5. Numune bileşim ve deney standartları ile deneylerin yapıldığı cihazlar

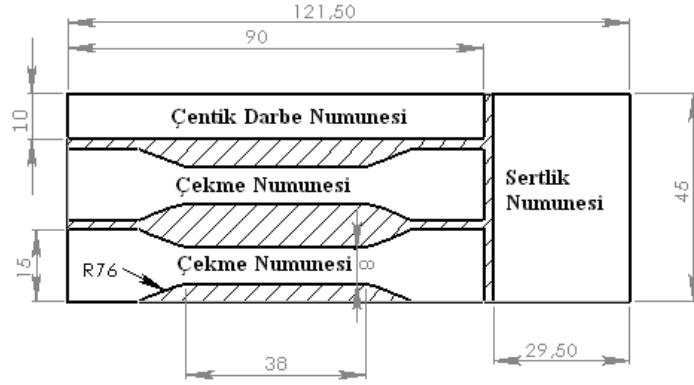
Malzeme	ASTM Standardı	Kullanılan Cihaz
Döküm Kestamid	ASTM D 4000[24]	-----
Cam Elyaf (E – Camı)	ASTM D 578-05[25]	-----
Deney		
Çekme Deneyi	ASTM D 638-03[26]	Instron Çekme Cihazı
Darbe Deneyi	ASTM D 256[27]	DVT Darbe Test Cihazı
Sertlik Deneyi	ASTM D 2583[28] ASTM D 2240[29]	AOB Dijital Rockwell ve Brinell Test Cihazı
TG/DTA	-----	Seiko II Exstar 6000

Üretilen kompozit malzemelerin ve elde edilen numunelerin akış diyagramı Şekil 2.1.'deki verilmiştir.

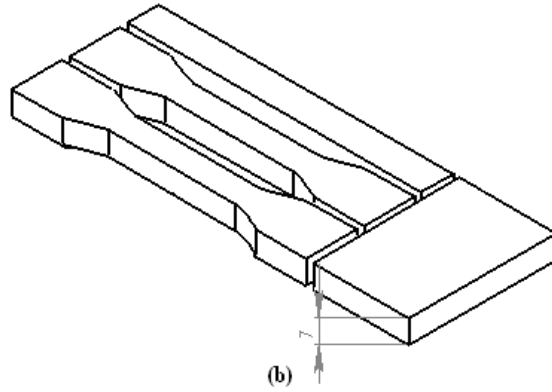


Şekil 2. 1. Numune üretiminde izlenen işlemlerin akış şeması

Şekil 2.2'de Kalıptan çıkarılan numunelerin kalıp içerisindeki konumları detaylı olarak verilmiştir.



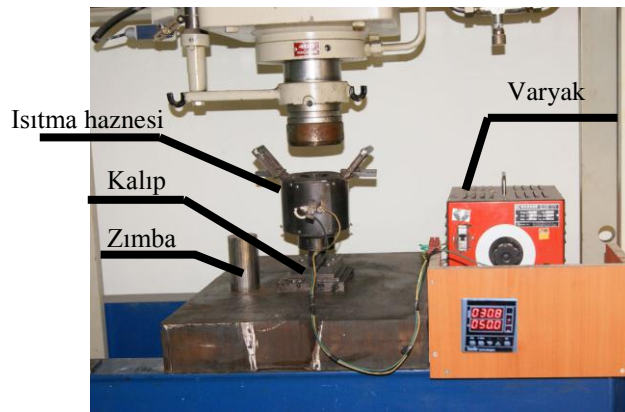
(a)



(b)

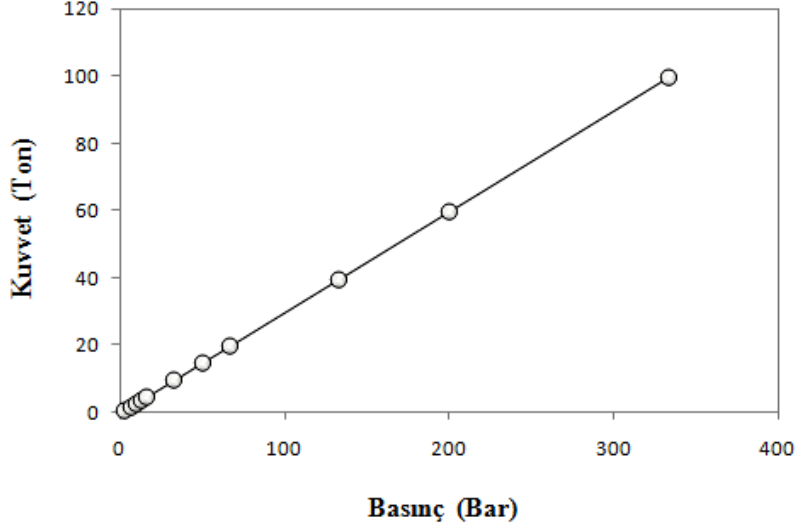
Şekil 2.2. Kalıptan çıkarılan numunelerin kalıp içerisindeki konumları (a) Kalıptan çıkarılan bütün haldeki numuneden elde edilen deney numunelerinin yerleşimi ve ölçüleri, (b) Deney numunelerinin perspektif görünümü

Şekilde 2.3.'de kompozit üretiminde kullanılan 120 ton kapasiteli hidrolik presin, kullanılan kalıbın ve güç kaynağının görünümü, Şekil 2.4.'de ise kullanılan presin kalibrasyon eğrisi verilmiştir. Şekil 2.5.'de ise kalıbın detaylı çizimlerine yer verilmiştir.

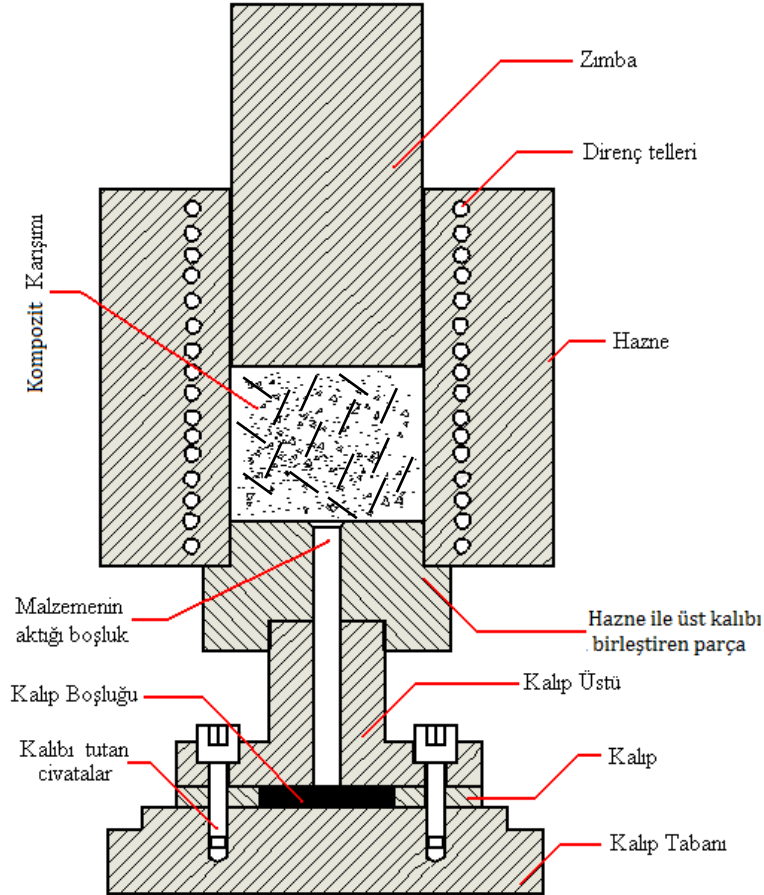


Şekil 2.3. Kullanılan hidrolik presin ve yardımcı ünitelerin resmi

Numuneler Şekil 2.3.'te görünen 120 ton kapasiteli hidrolik preste kalıba alınmıştır. Aynı şekilde ısıtma haznesi, varyak, kalıp zımbası ve karıştırma aparatı da görülmektedir.



Şekil 2.4. Hidrolik pres kalibrasyon doğrusu



Şekil 2.5. Numune üretim kalıbının şematik resmi

2.3.Deneyde Kullanılan Ekipmanlar Ve Deneysel Yöntemler

2.3.1 Yoğunluk Tayini

Yoğunluk tayini için üretilen levhadan 12x12x7 mm³ ebatlarında numuneler alınarak bunların kütleleri 0,0001 gr hassasiyete sahip dijital terazide tartıldı. Boyutları 1 µm hassasiyetli mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplanan numunelerin, yoğunlukları $\rho=m/v$ eşitliğinden hesaplandı. Burada ρ yoğunluk (gr/cm³), m kütle (gr), v hacim (cm³)'dir.

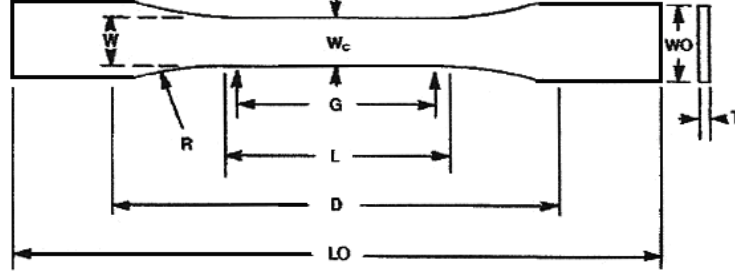
2.3.2 Çekme Mukavemetinin Belirlenmesi

Çekme deneyleri, ASTM D 638 – 03 [24] standardına göre hazırlanan numuneler üzerinde, 100 kN yükleme kapasiteli Instron marka DX serisi çekme deney makinesinde yapıldı. Numuneler çeneler arasına bağlanıp gerekli veriler (numune genişliği ve kalınlığı) girildikten sonra 2 mm/dk'lık sabit çekme hızında deneyler gerçekleştirildi. Her bir kompozit malzeme için 2 çekme numunesi hazırlanarak elde edilen değerlerin ortalamaları alındı. Söz konusu deneyler sonucunda numunelerin çekme dayanımı, elastisite modülü ve % uzama değerleri belirlendi. Bu çalışmada kullanılan çekme cihazına ait görüntü Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Çekme deney düzeneği

Çekme deneyine tabi tutulan çekme numunelerinin teknik resmi Şekil 2.7.'de boyutlar ise Tablo 2.6.'da verilmiştir.



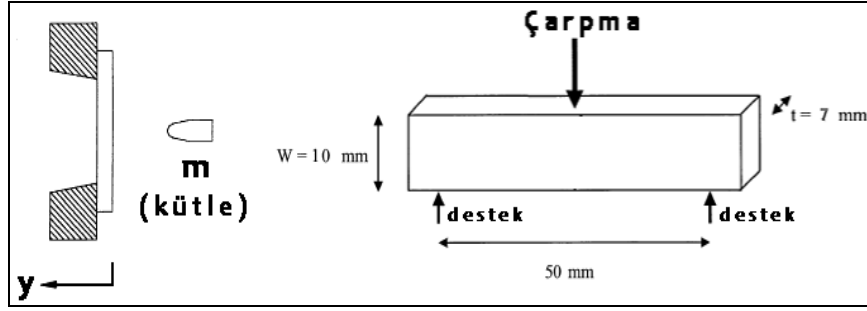
Şekil 2.7. Çekme testi numunesi [27].

Tablo 2.6. Çekme testi numunesinin boyutları [27].

W ; dar kısmın genişliği, mm	8
L ; dar kısmın uzunluğu, mm	38
WO ; tüm genişlik, mm	15
LO ; tüm uzunluk, mm	90
G ; ölçüm uzunluğu, mm	30
D ; Çeneler arası mesafe, mm	55
R ; eğrilik yarıçapı, mm	76
T ; kalınlık, mm	7

2.3.3 Darbe Dayanımının Belirlenmesi

Numunelerin darbe dayanımları oda sıcaklığında Charpy deneyleri yapılarak belirlendi. Numuneler 12x75x7 mm boyutlarında ve çentiksiz olarak imal edildi. Numunelerin darbe dayanımları kırılma enerjisinin numune alanına bölünmesiyle hesaplandı. Charpy darbe deney düzeneği ve numune boyutları şematik olarak Şekil 2.8'de verilmiştir. Söz konusu deneylerde kullanılan çentik darbe cihazına ait resim ise Şekil 2.9.'da görülmektedir.



Şekil 2.8. Charpy darbe testi düzeneği ve numune boyutları [28]



Şekil 2.9. Deneysel olarak kullanılan Charpy deney düzeneğinin görünümü

2.3.4. Sertlik Ölçümleri

Oda sıcaklığında gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde 30x30x7 mm boyutlarında numuneler kullanıldı. Her numunenin baskı yönündeki 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 bilye 10 kg'lık ön yük ve 60 kg'lık ana yük altında numune yüzeyine bastırıldı. Bu deneyde kullanılan sertlik ölçüm cihazının fotoğrafına Şekil 2.10.'de yer verilmiştir.



Şekil 2.10.Sertlik deneylerinin yapıldığı cihazın görünümü

2.3.5.Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Çekme deneyi sonucunda numunelerin kırılma yüzeyleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Stereo Mikroskobu ve Carl Zeiss Evo 10 marka elektron mikroskopunda incelendi. Değişik sıcaklık ve basınç altında üretilen numunelerin değişik büyüklüklerdeki kırılma yüzeylerine ait fotoğrafları çekildi.

Numuneler iletken olmadığı için SEM'e yerleştirilmeden önce Emitech SC 7620 marka PVD kaplama ünitesi ile 10^{-6} mbar vakum altında, 15-18mA gerilim ve 90 sn süreyle Au-Pt kaplanmıştır.

Şekil 3.21.'de PVD kaplama ünitesine ait resim verilmiştir.



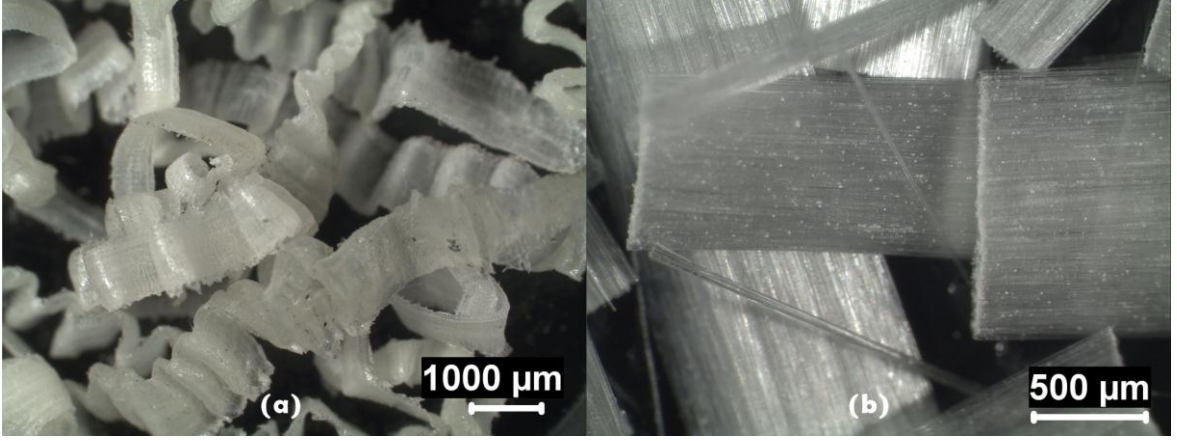
Şekil 2.1.PVD kaplama ünitesi

2.3.6.TGA/DTA Analizi

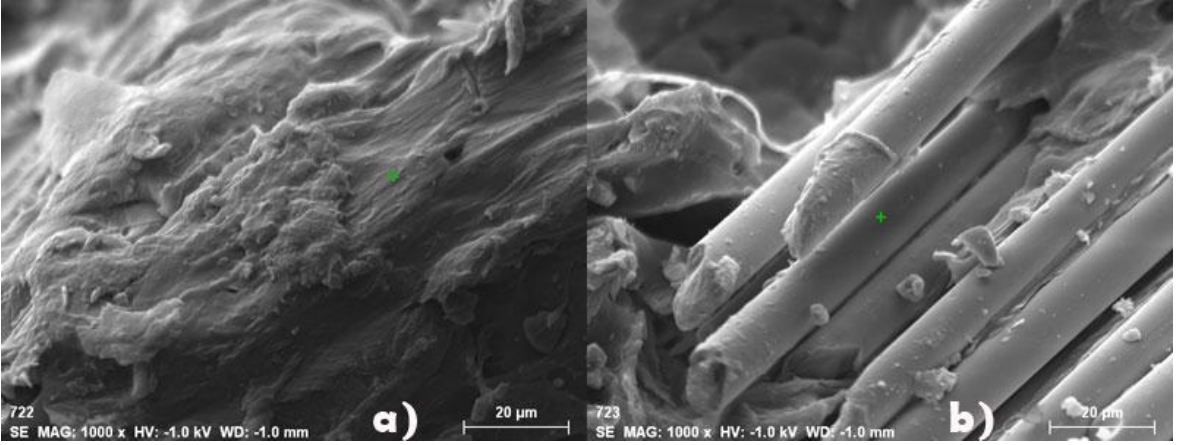
Döküm poliamidin (kestamid) termik analizi ile ilgili deneyleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Kimya Bölümünde bulunan cihazda yapılmıştır. Azot atmosferi altında 20°C/dak ısıtma hızında Al₂O₃ referans alınarak, platin kapsül içerisinde 5-10 mg arasında numune alınarak 30-700°C aralığı tarandı ve Şekil 3.31'deki grafik elde edildi.

3. BULGULAR

Deneysel çalışmalarda kullanılan E-camı' na ve Kestamid' e ait stereo mikroskop görüntüleri Şekil 3.1.'de verilmiştir.

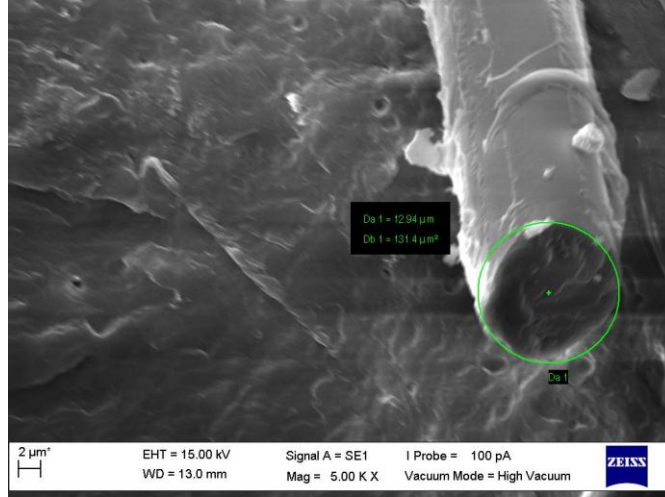


Şekil 3. 1. a) Kestamidin stereo mikroskop görüntüsü (125X) b) Cam elyafın stereo mikroskop görüntüsü (125X)



Şekil 3.2. a) Kestamidin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü (1000x) b) Cam elyafın taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü (1000x)

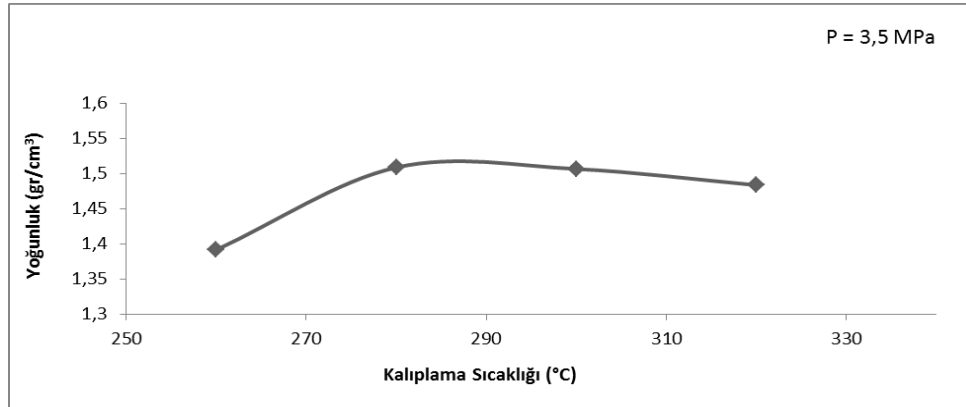
Kullanılan cam elyafın çapını gösteren fotoğraf Şekil 3.3.'de verilmiştir. Elyafın 10-13µm çapında olduğu Tablo 2.2.'de verilmişti. Burada ise SEM'de alınan ölçüde elyaf çapının 12,94 µm olduğu belirlendi.



Şekil 3.3.Kullanılan elyafın çapını gösteren SEM fotoğrafı (5000x)

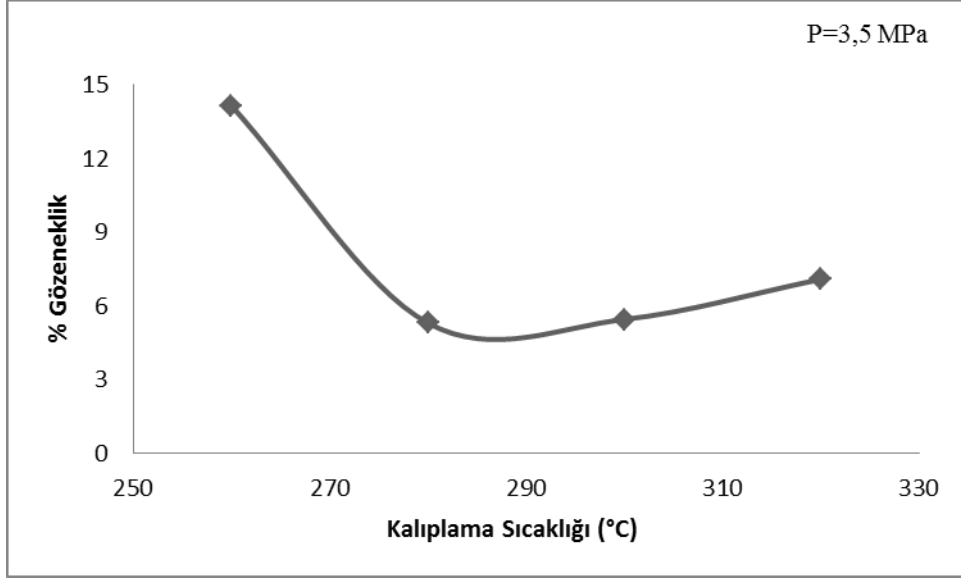
3.1.Kalıplama Sıcaklığı ve Basıncının Yoğunluğa Etkisi

Değişik kalıplama sıcaklıklarında üretilen kompozit malzemeleri yoğunluğa etkisi Şekil 3.4'te verilmiştir. Kompozit malzeme ait teorik yoğunluk ise $1,587 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuş ve yoğunluk ilişkileri Şekil 3.5 ve 3.6' da gösterilmiştir.

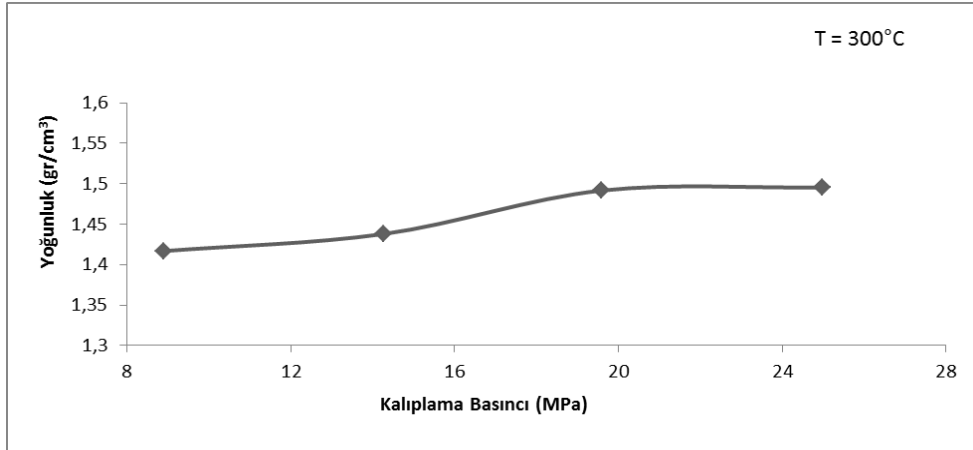


Şekil 3.4. Değişen kalıplama sıcaklığının yoğunluğa etkisi

Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi basınç sabitken sıcaklık arttırıldığında yoğunluk belirli bir noktaya kadar artmaktadır. Sonrasında ise bir miktar azalma eğilimi göstermektedir. Bu grafikten yola çıkarak en yüksek yoğunluk $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik kalıplama sıcaklığında meydana gelmektedir.

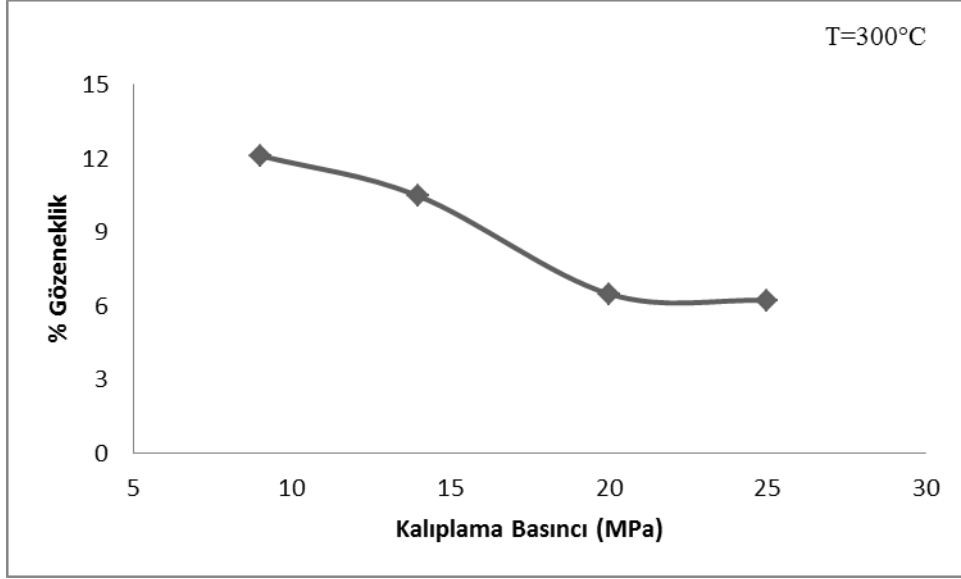


Şekil 3.5. Kalıplama sıcaklığının gözenekliliğe etkisi



Şekil 3. 6. Değişen kalıplama basıncının yoğunluğa etkisi

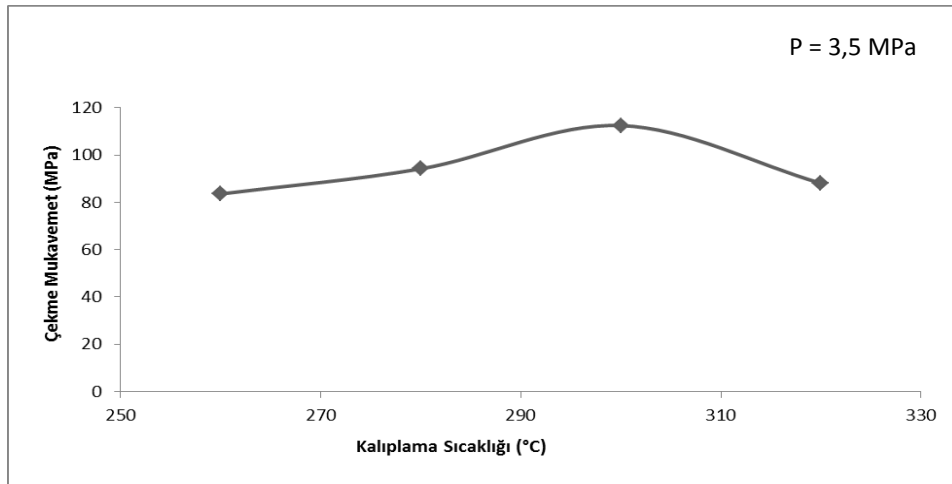
Sıcaklık sabit tutularak (300 °C) basınç arttırıldığında yoğunluğun önce bir miktar arttığı ve daha sonra sabit bir yoğunluk (maksimum) değerine ulaştığı görüldü.



Şekil 3.7. Kalıplama basıncının gözenekliliğe etkisi

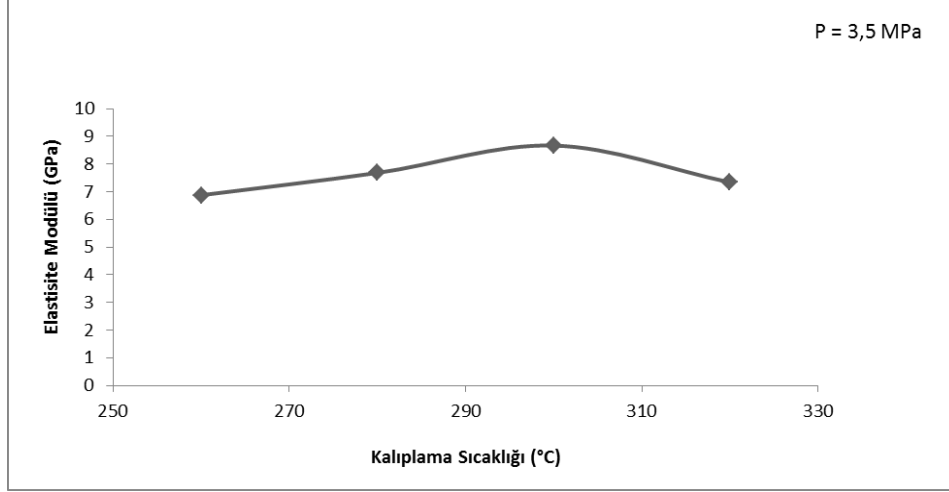
3.2. Kalıplama Sıcaklığı ve Basıncın Çekme Mukavemetine Etkisi

Sabit basınç altında (3,5 MPa) ve farklı kalıplama sıcaklıklarında (260°C, 280°C, 300°C, 320°C) elde edilen çekme mukavemeti değerleri Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekilde en yüksek çekme mukavemetinin 300 C° 'de ortaya çıkmıştır.



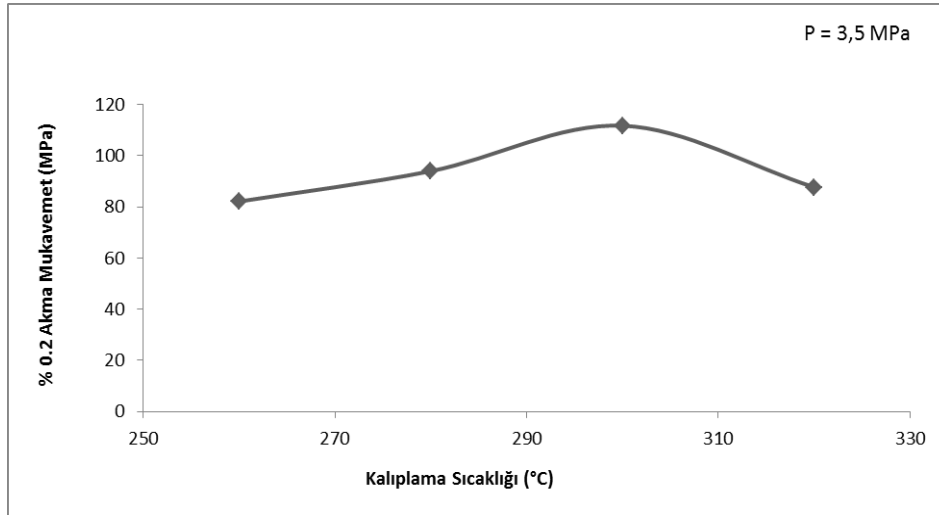
Şekil 3. 8. Kalıplama sıcaklığının çekme mukavemetine etkisi

Şekil 3.9.'de kalıp sıcaklığının üretilen kompozit malzemelerin elastisite modülüne etkisi verilmiştir. Şekilden 300 °C 'de en yüksek elastisite modülünün elde edildiği görülmüştür.



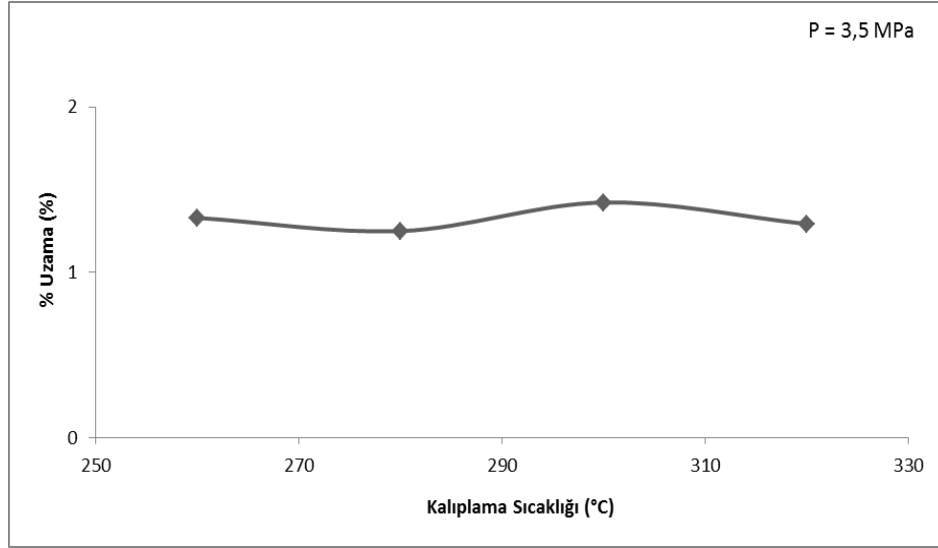
Şekil 3. 9. Değişen kalıplama sıcaklığının elastisite modülüne etkisi

Şekil 3.10.'te %0,2 akma mukavemetinin kalıp sıcaklığı ile değişimini gösteren grafik verilmiştir. Bu grafikte 300°C'ye kadar %0,2 akma mukavemeti artarken bu sıcaklıktan sonra bir düşüş olduğu görülmüştür.



Şekil 3. 10.Kalıp sıcaklığının %0,2 akma mukavemetine etkisi

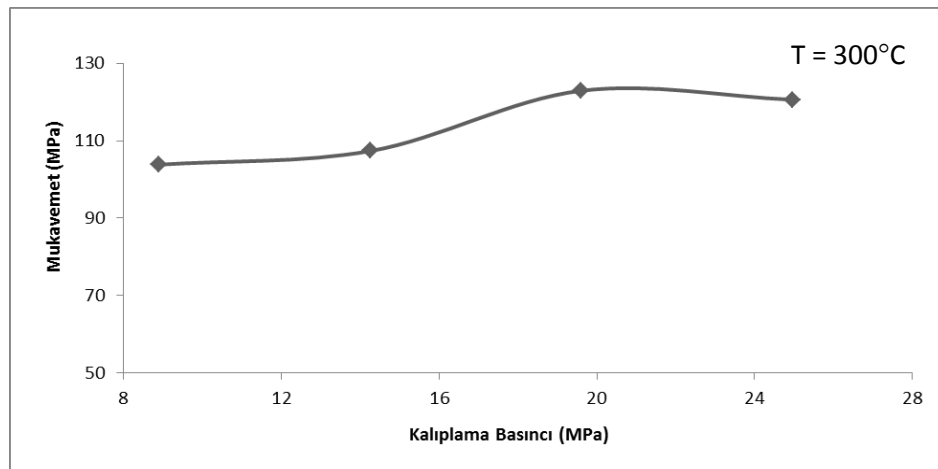
Kalıp sıcaklığının üretilen kompozit malzemelerin % uzama değerlerine etkisi Şekil.3.11. 'de verilmiştir. Grafikten % uzama değerinin artan sıcaklıkla birlikte büyük değişiklikler göstermese de dalgalı bir davranış sergilediği görülmektedir.



Şekil 3. 11. % Uzamanın değişen kalıplama sıcaklığıyla ilişkisi

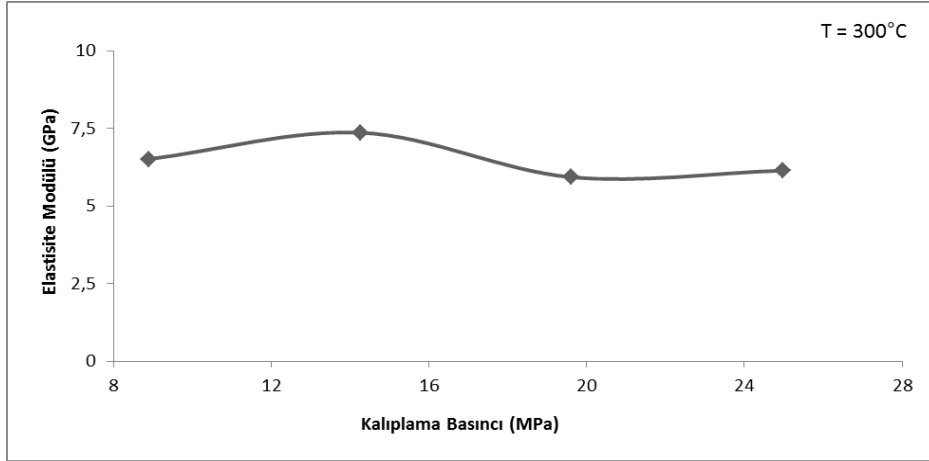
3.2.1. Kalıplama Basıncının Çekme Mukavemetine Etkisi

Sıcaklığın sabit 300°C ve kalıp basınçlarının ise sırasıyla 9, 14, 20, 25 MPa olarak uygulandığında elde edilen çekme mukavemeti – kalıplama basınç değişim grafiği Şekil 3.12.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 20 MPa'a kadar basınç arttıkça çekme mukavemetinin arttığı, sonrasında ise sabit olduğu görüldü.



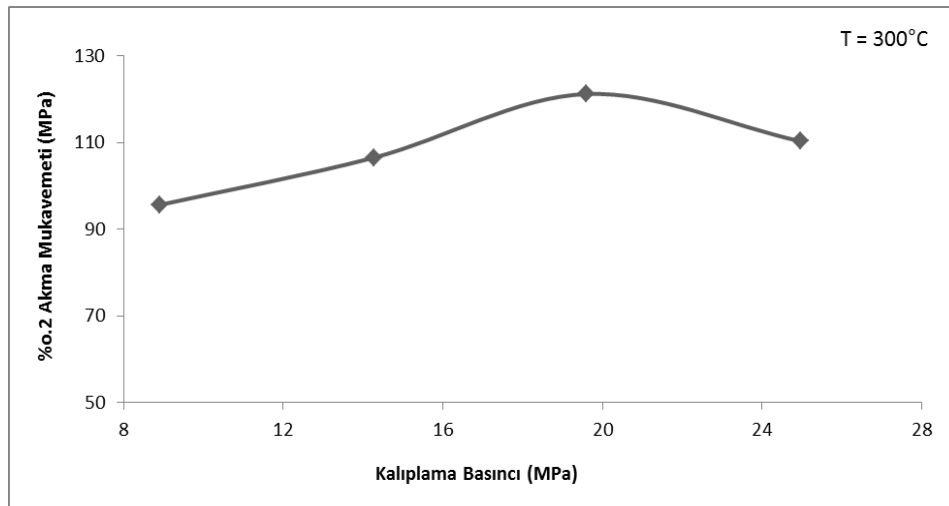
Şekil 3. 12. Değişen kalıplama basıncının mukavemete etkisi

Kalıplama basıncının, kompozit malzemelerin elastisite modülüne etkisi Şekil.3.13.'de verilmiştir. Şekilden elastisite modülünün dalgalı bir seyir izlediği ve en yüksek değere 7.36 GPa'lık elastisite değerine 14 MPa'lık kalıplama basıncında ulaştığı görülmektedir.



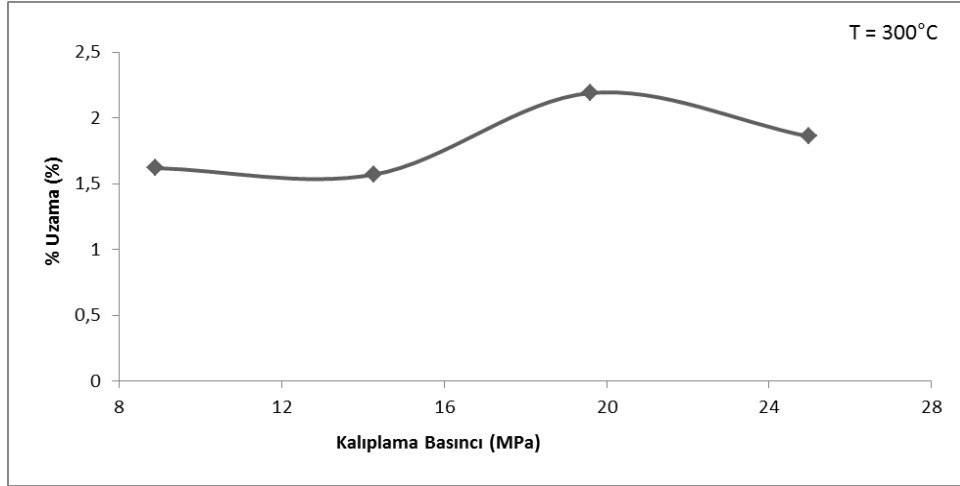
Şekil 3.13. Kalıplama basıncının elastisite modülüne etkisi

%0,2 akma mukavemetinin kalıplama basıncıyla değişim grafiği Şekil 3.14.'de verilmiştir. 20 MPa kalıp basıncı uygulandığında maksimum %0,2 akma mukavemeti değerine ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 3.14. %0,2 Akma Mukavemetinin değişen kalıplama basıncıyla ilişkisi

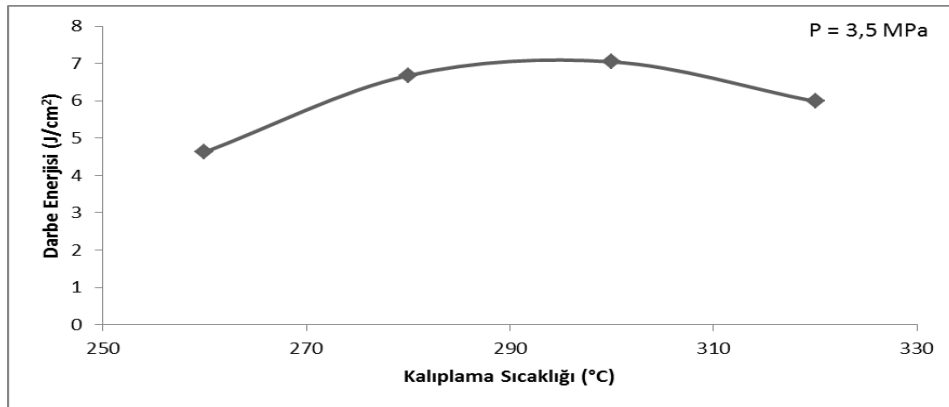
Şekil 3.15.'de kalıplama basıncının % uzama değerine etkisini gösteren grafik verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi 20 MPa'lık kalıplama basıncında % uzama değeri maksimum olmaktadır.



Şekil 3.15. Kalıplama basıncının % Uzama 'ya etkisi

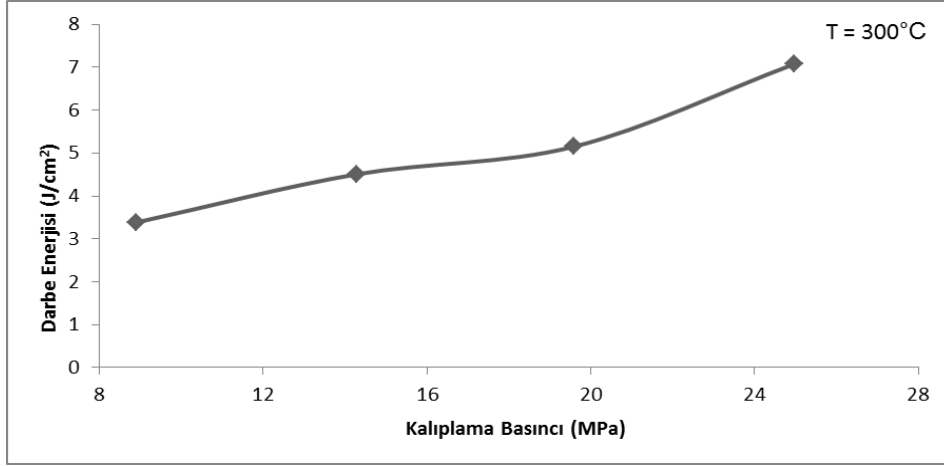
3.3.Kalıplama Sıcaklığının ve Kalıplama Basıncının Darbe Dayanımına Etkisi

Çentik darbe deney cihazıyla yapılan deneyler sonucunda darbe enerjisinin kalıp sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.16 verilmiştir. Grafiğe göre maksimum darbe dayanımının 280°C'de elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.16. Kalıplama sıcaklığının darbe enerjisine etkisi

Kalıplama basıncının darbe enerjisine etkisi Şekil 3.17.'de verilmiştir. Şekilden kalıplama basıncı ile darbe enerjisi arasında lineer bir ilişki olduğu açıkça görülmektedir. Şekilden 9 MPa 'da darbe enerjisi 3 J/cm² iken 25 MPa 'da 7,5 J/cm² olmaktadır.



Şekil 3.17.Kalıplama basıncının darbe enerjisine etkisi

3.4.Sertlik Deneyleri

Rockwell sertlik deneyi yapılan bir numunenin görünümü Şekil 3.18.'te verilmiştir.



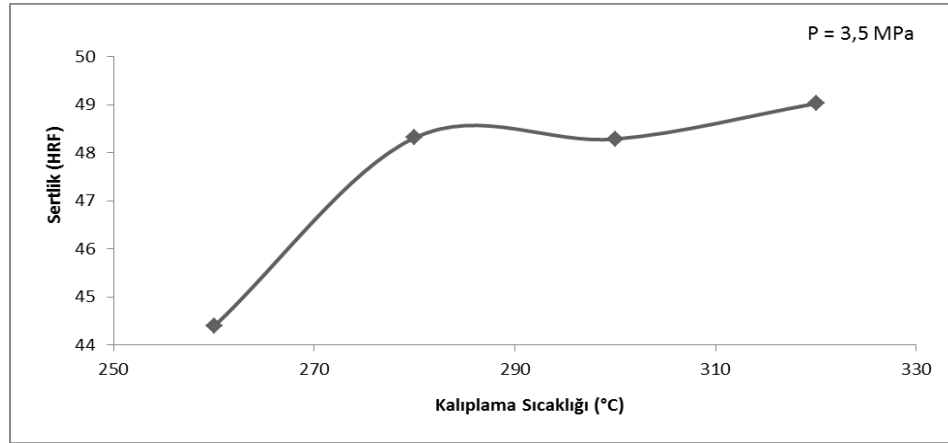
Şekil 3.18.Rockwell sertlik deneyi yapılan numune yüzeyinde izlerin görünümü

Tablo 3.1.'de farklı kalıplama sıcaklıkları ve kalıplama basınçlarında elde edilen sertlik değerleri verilmiştir. Bu sertlik değerleri basma yönünde her numune için en az 5 değerin ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Tablo 3. 1.Farklı kalıplama sıcaklıkları ve kalıplama basınçlarında elde edilen sertlik değerleri

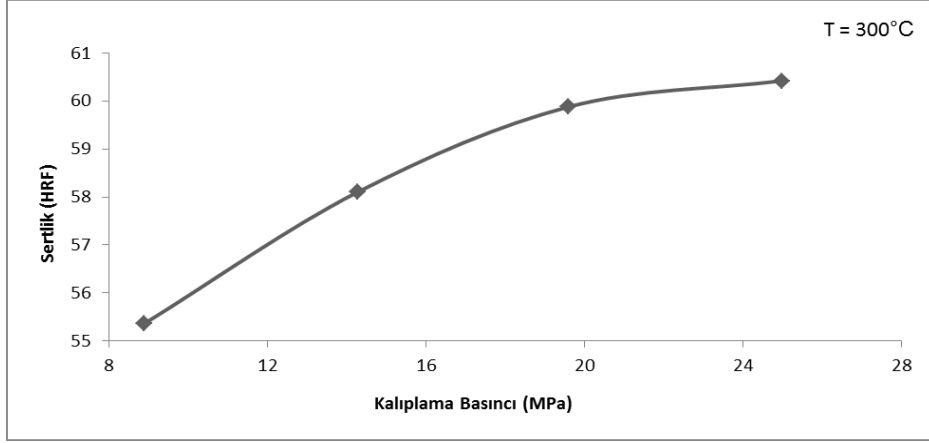
Numune	Kalıplama Sıcaklığı (°C)	Ortalama Sertlik Değeri (HRF)	Numune	Kalıplama Basınçları (MPa)	Ortalama Sertlik Değeri (HRF)
G1	260	44,3	D1	9	55,3
G2	280	48,3	D2	14	58,0
G3	300	48,2	D3	20	59,8
G4	320	49,0	D4	25	60,4

Şekil 3.19.'daki grafik farklı kalıp sıcaklıklarında üretilen numunelerin sertlik değerlerinin değişimini göstermektedir.



Şekil 3. 19. Kalıplama sıcaklığının sertliğe etkisi

Şekil 3.19.'da kalıplama sıcaklığı arttıkça numunelerde elde edilen sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. 280°C ile 300°C de hemen hemen aynı mertebede kalan ortalama sertlik değeri 320°C'de maksimuma ulaşmaktadır.



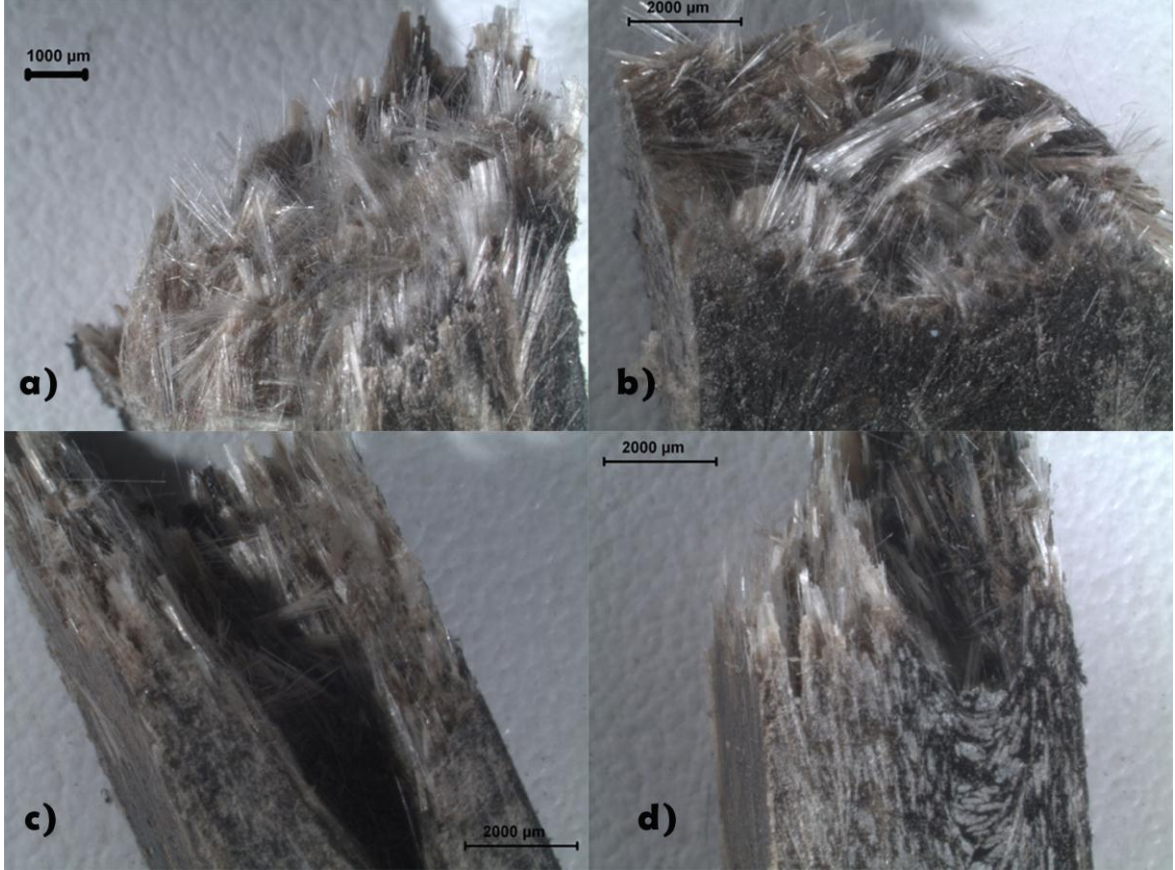
Şekil 3. 20.Kalıplama basıncının numunelerin sertliğine etkisi

Şekil 3.20'de, uygulanan kalıplama basıncı arttıkça sertliğinde arttığı görülmektedir.

3.5.Kırılma Yüzeyi İncelemeleri

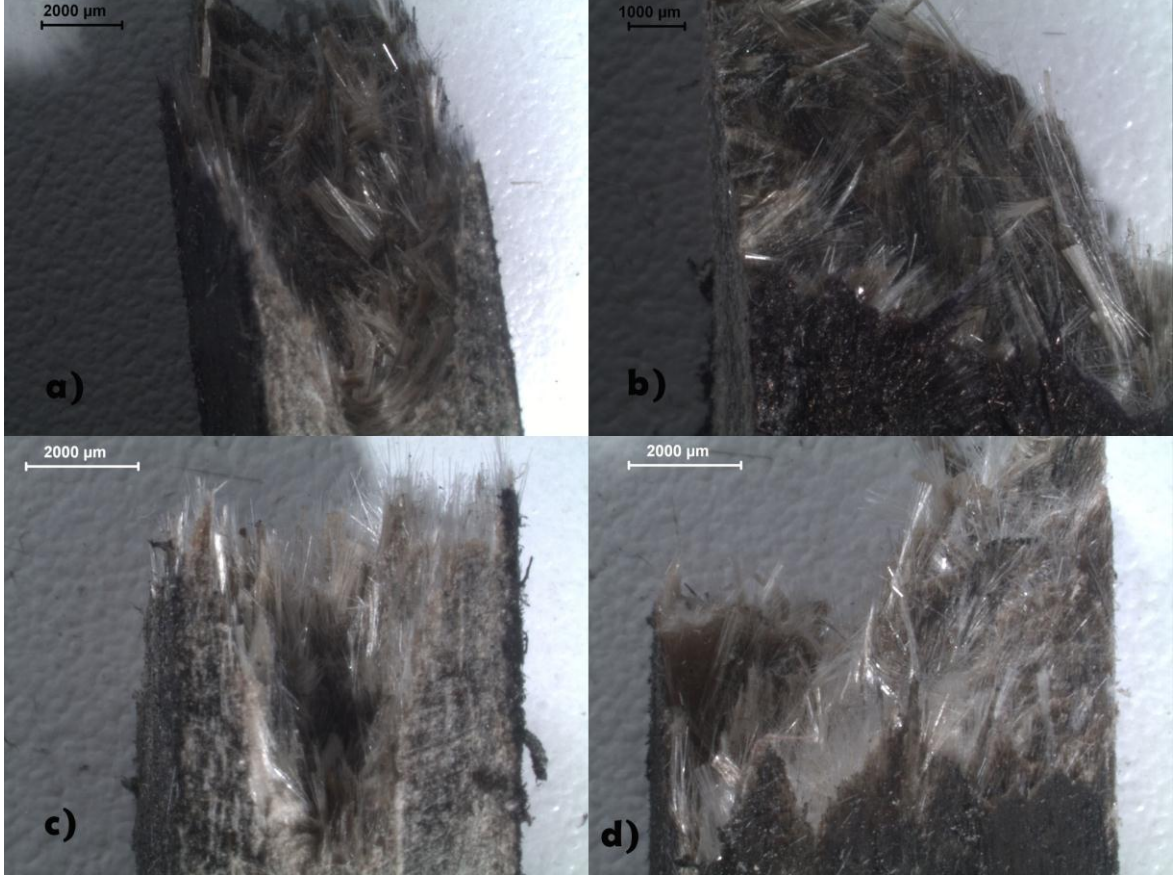
3.5.1.Stereo Mikroskop Görüntüleri

Şekil 3.21.' de farklı sıcaklıklarda üretilen numunelere ait olan çekme/darbe numunelerinden elde edilen kırılma yüzeyleri verilmiştir.



Şekil 3. 21.3,5 MPa 'lık sabit basınçta üretilen numunelerin stereo mikroskop görüntüleri
a) 260° b) 280°C c) 300°C d) 320°C

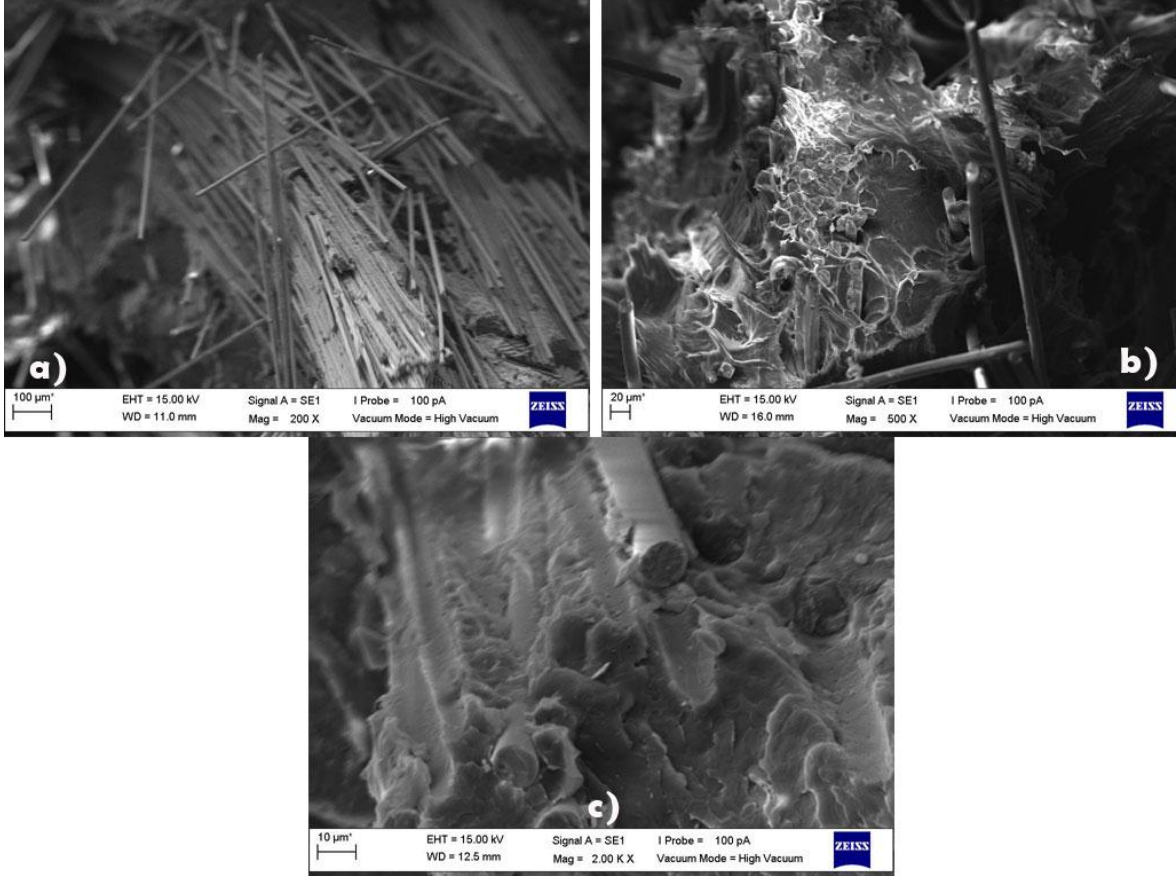
Şekil 3.22.'de farklı basınçlarda elde edilen numunelere ait çekme/darbe deneylerinden elde edilen kırılma yüzeylerine ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 3. 22.Farklı basınçlarda üretilen numunelerin kırılma yüzeyleri a) 9 MPa. b) 14 MPa
c) 20 MPa d) 25 MPa

3.5.2. SEM Görüntüleri

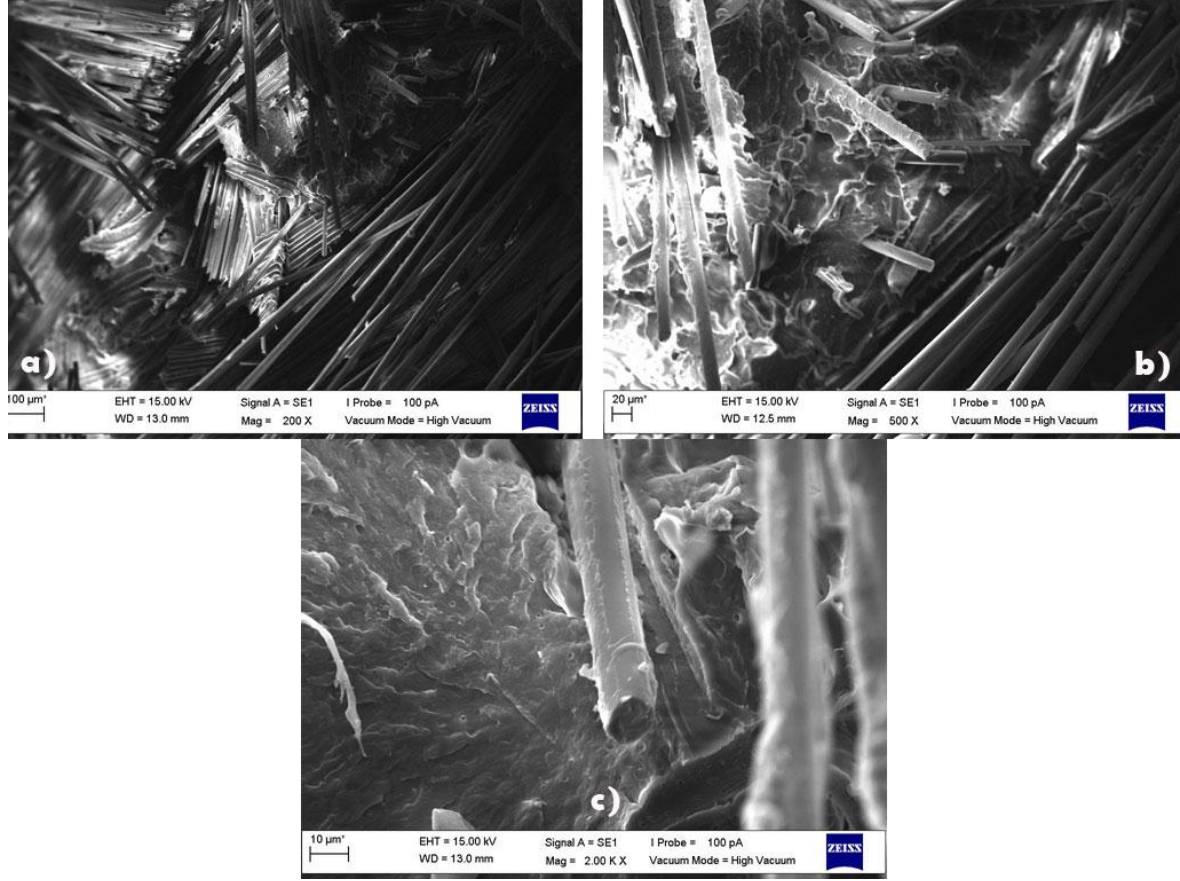
Farklı kalıplama sıcaklıkları ve basınçlarda üretilen numunelerin kırılma yüzeylerinin incelenmesi amacıyla SEM görüntüleri çekildi.



Şekil 3.23. 260°C kalıplama sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları a)200x b)500x c)2000x

Şekil 3.23 a' da 200x büyütme deki SEM görüntüsünde kestamidin elyafı iyi ıslatamadığı ve cam elyaf demetleri arasına yeterince giremediği görülmektedir. Şekil b'de ise kestamidin katmanlar halinde yapıda kaldığı görülmektedir. Şekil c'de 2000x büyütmede alınan SEM görüntüsünde katmanlı yapı daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Ayrıca koparak ayrılmaları beklenen cam elyafların yapıdan kayarak ayrıldığını gösteren izleri mevcuttur. Bu durum kestamid ile cam elyaf arasındaki adezyonun yetersiz olduğunu göstermektedir.

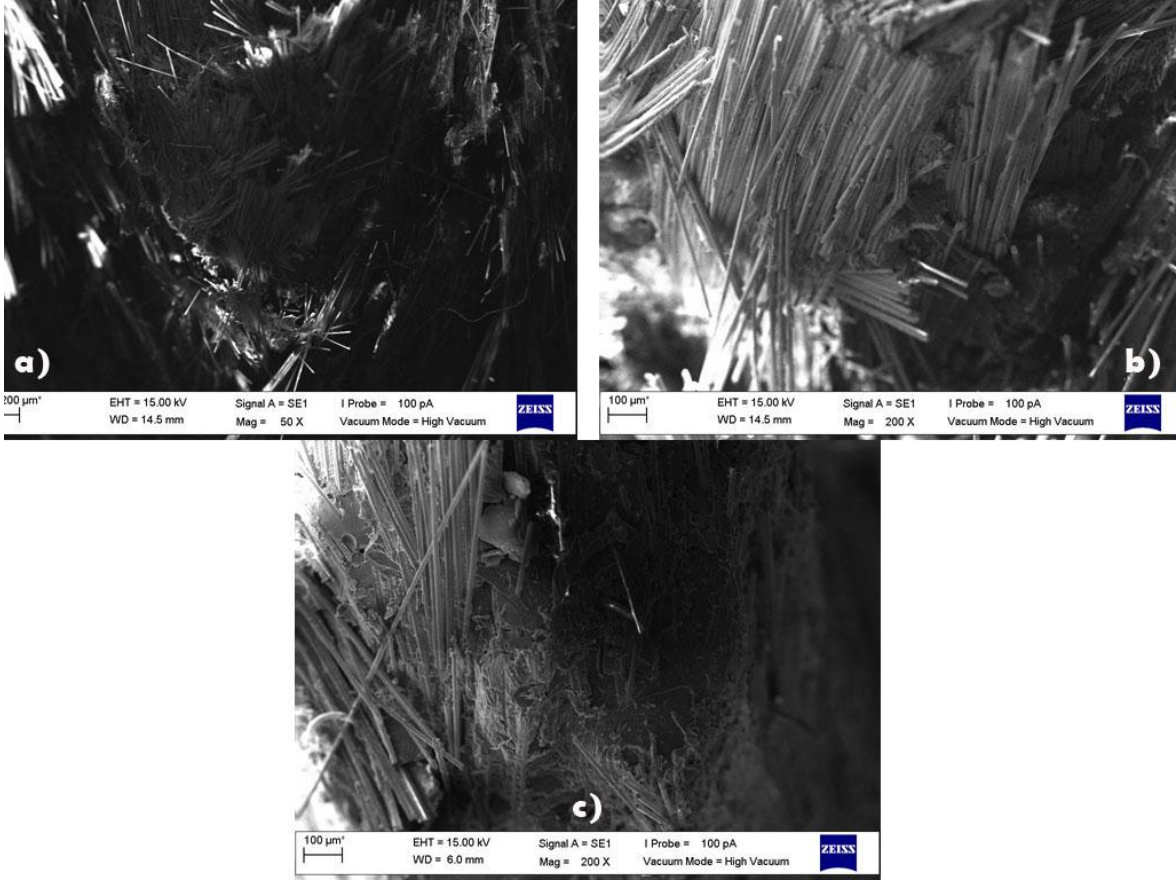
Şekil 3.24.'de 280°C kalıplama sıcaklığında 3,5 MPa sabit basınç altında üretilen numunelerin kırılma yüzeylerine ait SEM görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 3. 24.280°C kalıplama sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları a)200x b)500x c)2000x

Şekil 3.24. a) 'da görünen içyapıda cam elyaf ve kestamidin dağılımı görülmektedir. Şekil b) 'de aynı numuneye ait farklı bir noktada 500x büyütme altında çekilmiş SEM görüntüsü verilmiştir. Bu şekilde de kestamidin tabakalar halinde olduğu ve fiberlerin yerinden çıkarak bütünlüğü bozduğu görülmektedir. Şekil c) 'de ise 2000x büyütmedeki SEM görüntüsünde cam elyaf üstünde kestamid kalıntıları görülmektedir. 280°C'de de ıslatmanın yetersiz olduğu görülmüştür.

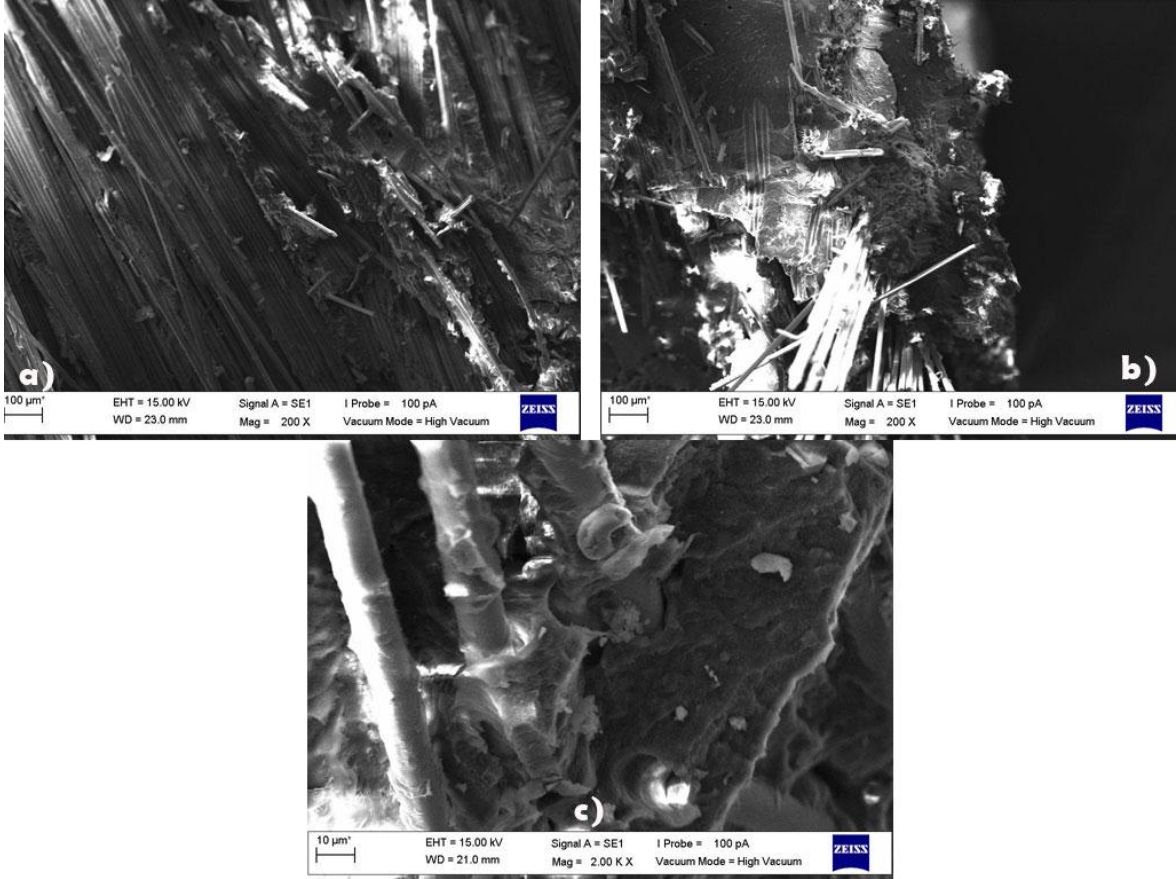
Şekil 3.25.'de 300°C kalıplama sıcaklığında, 3,5 MPa sabit basınç altında üretilen çekme numunesine ait kırılma yüzeyine ait çeşitli büyütmelelerdeki SEM görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 3.25. 300°C kalıplama sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları a)50x b)200x c)200x

Şekil 3.25.a) 'da 50x büyütmedeki SEM görüntüsü verilmektedir. Şekil b) 'de aynı bölgeye ait 200x büyütme SEM görüntüsü verilmiştir. Bu şekilde demetler arasında kestamidin daha fazla girdiği, cam elyafın nispeten daha fazla bir iletme oluşturduğu görülmüştür. Bu da çekme diyagramı grafiklerine yansıdığı ve çekme mukavemeti değerini arttırdığı gözlenmiştir. Şekil c) 'de kestamide ait katmanlı oluşumun nispeten azaldığı görülmektedir.

Şekil 3.26.da 320°C kalıplama sıcaklığında, 3,5 MPa sabit kalıplama basıncı altında üretilen çekme numunesine ait kırılma yüzeyine ait SEM fotoğrafları verilmiştir.

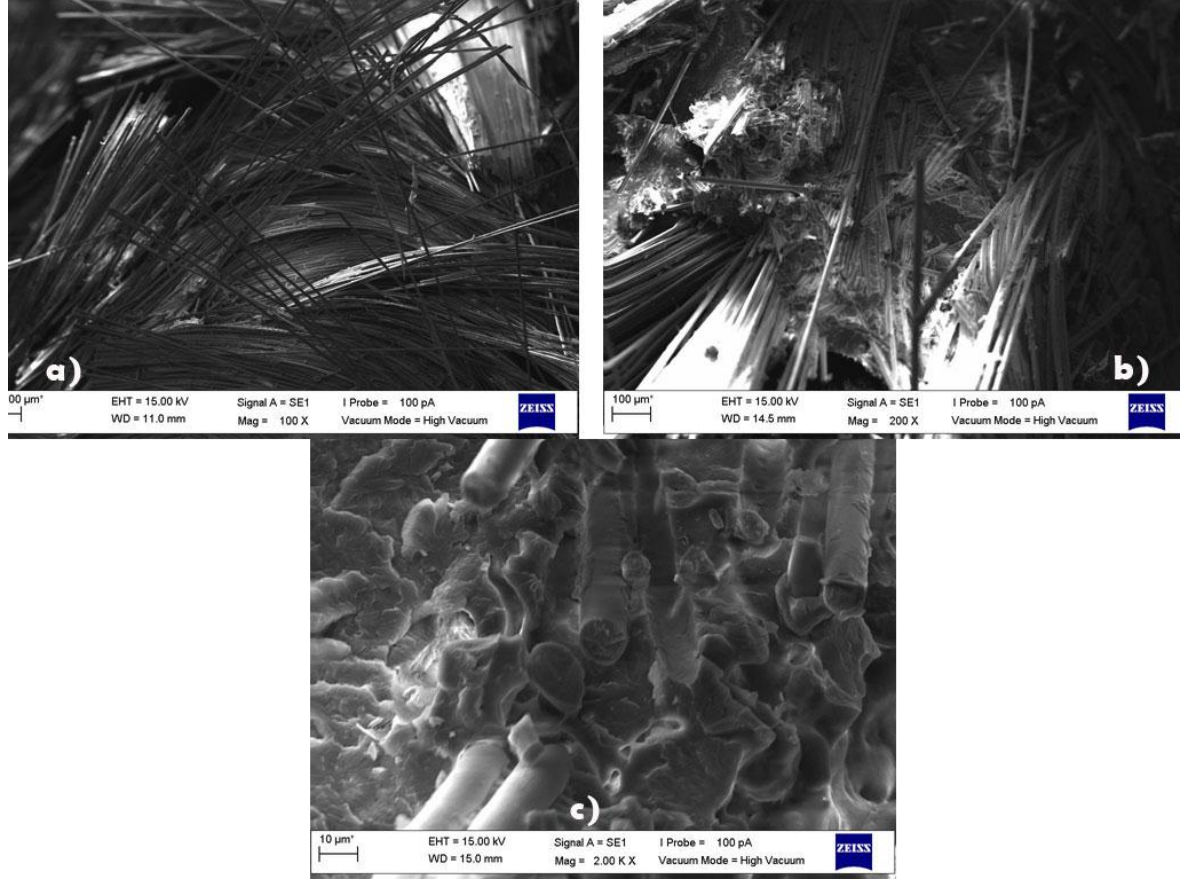


Şekil 3.26. 320° kalıplama sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları a)200x b)200x c)2000x

200x büyütmedeki şekil a) 'da görüntüsünde kestamidin cam elyaf demetleri arasına girdiği görülmektedir. 200x büyütmedeki farklı bir bölgeye ait Şekil b) 'de elyaf demetleri arasındaki kestamid daha açık bir şekilde görülmektedir. Şekil c) 'de 2000x büyütmede cam elyaf ile kestamid arasındaki ilişki incelendiğinde cam elyafı saran kestamid ve matrisi dolduran kestamid görülmektedir. Burada kestamidin tabakalı yapısının düşük sıcaklık değerlerine göre çok daha az olduğu gözlenmiştir. SEM resimlerine bakıldığında dayanımın artması beklenmektedir. Ancak Şekil 3.6.'deki diyagramda 320°C sıcaklığa çıkıldığında mukavemetin azaldığı görülmüştür. Buradan yüksek sıcaklığa çıkıldığında kestamidin bozunmaya maruz kaldığını söylemek mümkündür.

Sabit basınçla üretilen numunelerden elde edilen verilerle optimum sıcaklık 300°C olarak bulunmuştur. Buradan hareketle değişik basınç değerleri için deneyler yapılmıştır. Aşağıda bu deneylere ait kırılma yüzeylerini gösteren SEM görüntülerine yer verilmiştir.

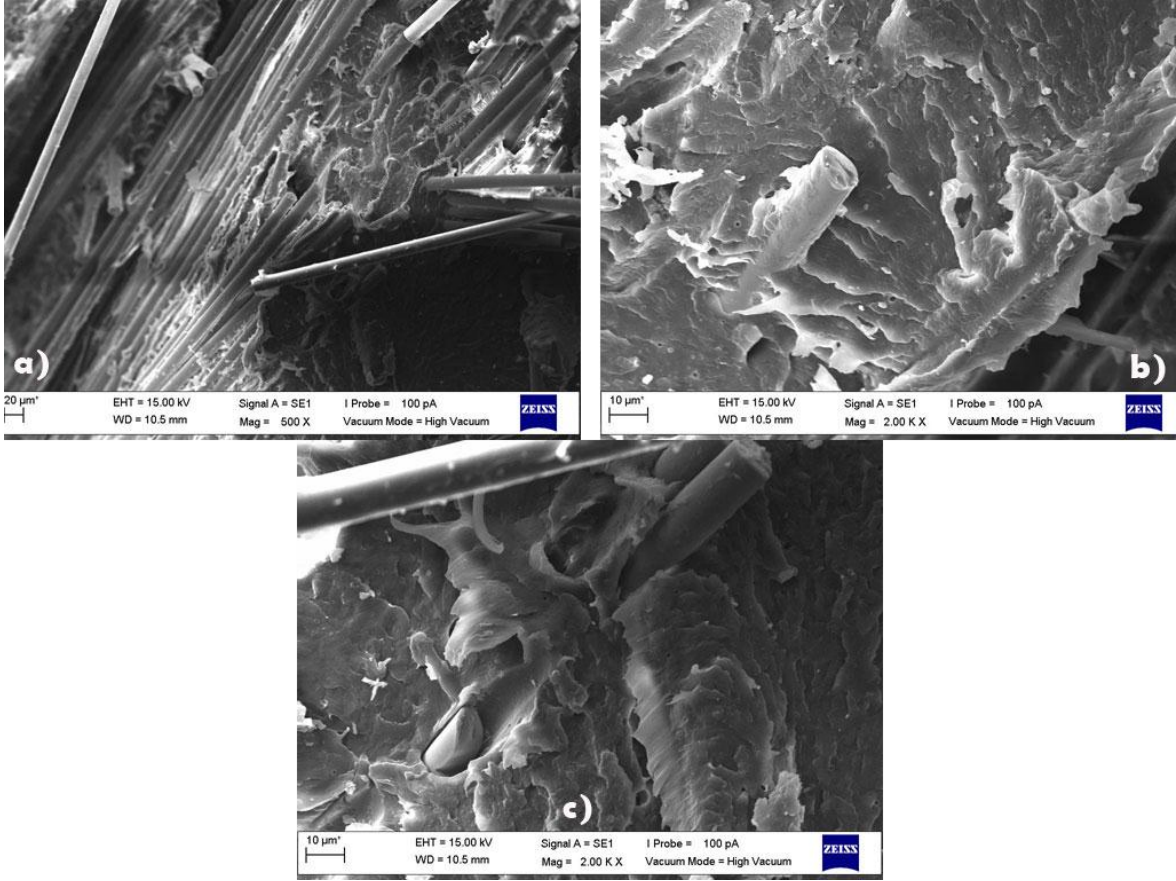
Şekil 3.27.'de 300°C kalıplama sıcaklığında 9 MPa kalıplama basıncı uygulanan numunenin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. 27.9 MPa kalıplama basıncında üretilen kompozit malzemeye ait kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları a)100x b)200x c)2000x

Şekil b)' de cam elyaf demetleri ve kestamid arasındaki ilişki görülmektedir. Bu sıcaklık ve basınçta ıslatmanın sabit basınç numunelerine nazaran daha iyi olduğu görülmektedir. 2000x büyütmedeki Şekil c) 'de cam elyafların ve kestamidin davranışını göstermektedir. Kırılma yüzeyindeki elyafların yapıdan ayrılma durumu azalmıştır.

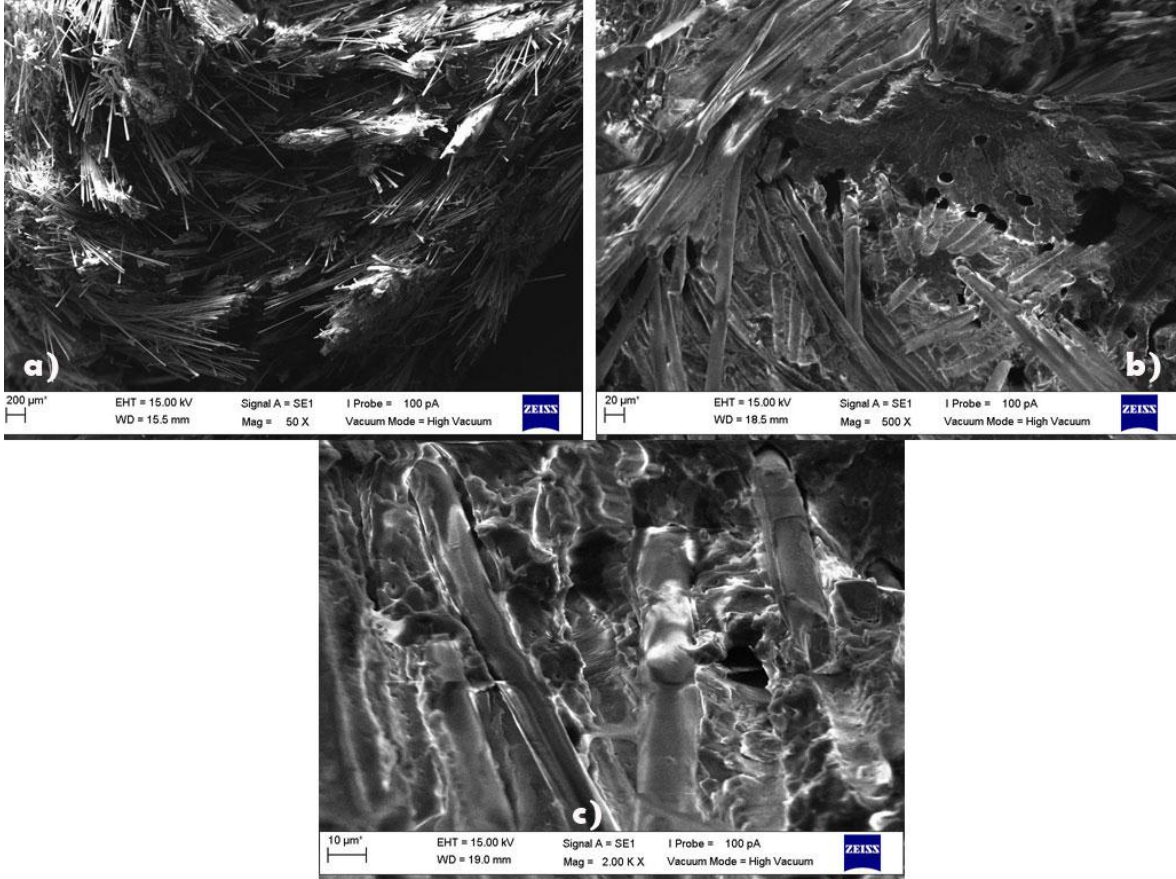
Şekil 3.28.'de 300°C'de 14 MPa kalıplama basıncı altında üretilen numunelerin kırılma yüzeylerinin çeşitli büyütmelerdeki SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. 28.14 MPa kalıplama basıncında üretilen kompozit malzemeye ait kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları a)500x b)2000x c)2000x

Şekil 3.28. a) 'da 500x büyütmede kestamidin önceki yapılarına nazaran demetler arasına daha iyi girdiği, cam elyaf demetlerini daha iyi ıslattığı görülmektedir. Şekil b) ve c) 'de farklı bölgelerden alınmış 2000x büyütmedeki SEM görüntüleri vardır. Bu resimlerde açıkça elyafın matris tarafından sarıldığı, daha sıkı bir adezyon kuvveti ile tutundukları, elyafın kayıp gitmesi yerine yapıdan koparak ayrılmaya zorlandığı görülmektedir.

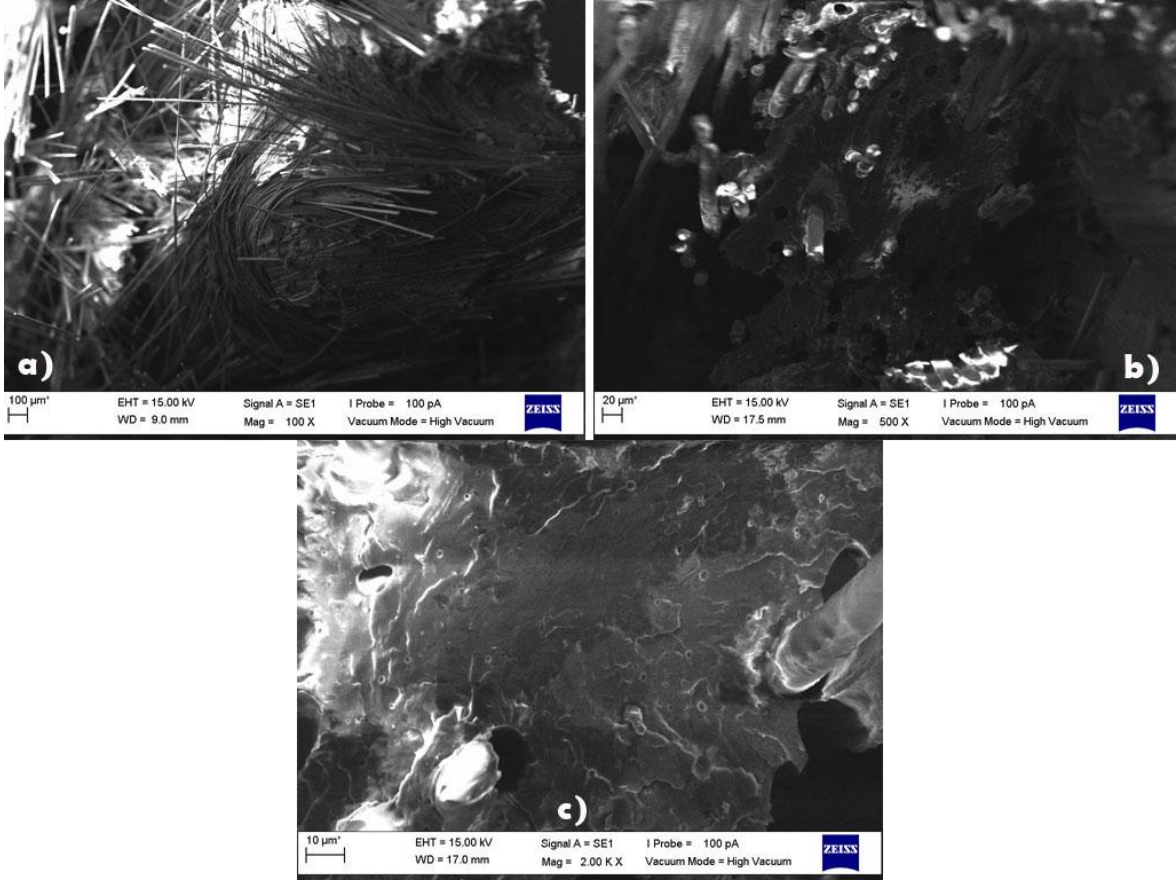
Şekil 3.29.'de 300°C kalıplama sıcaklığı ve 20 MPa kalıplama basıncı altında üretilen numunelerin kırılma yüzeylerine ait çeşitli büyütmelelerdeki SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. 29.20 MPa kalıplama basıncında üretilen kompozit malzemeye ait kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları a)50x b)500x c)2000x

Şekil 3.29. a) 'da 50x büyütmedeki SEM görüntüsüdür. Burada kestamidin cam elyaf demetlerini bir arada tutmaya çalıştığı görülüyor. Şekil b) de ise 500x büyütmedeki görüntüdür. Bazı yerlerden elyafların bütün olarak kayıp çıkarsa da büyük bir çoğunluğunun yapıdan kaymadan koparak uzaklaştığı görülüyor. Şekil c) 'de 2000x büyütmedeki bir SEM görüntüsü verilmiştir.

Şekil 3.30. 'de 300°C kalıplama sıcaklığı ve 25 MPa kalıplama basıncında üretilen numuneye ait farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri verilmiştir.



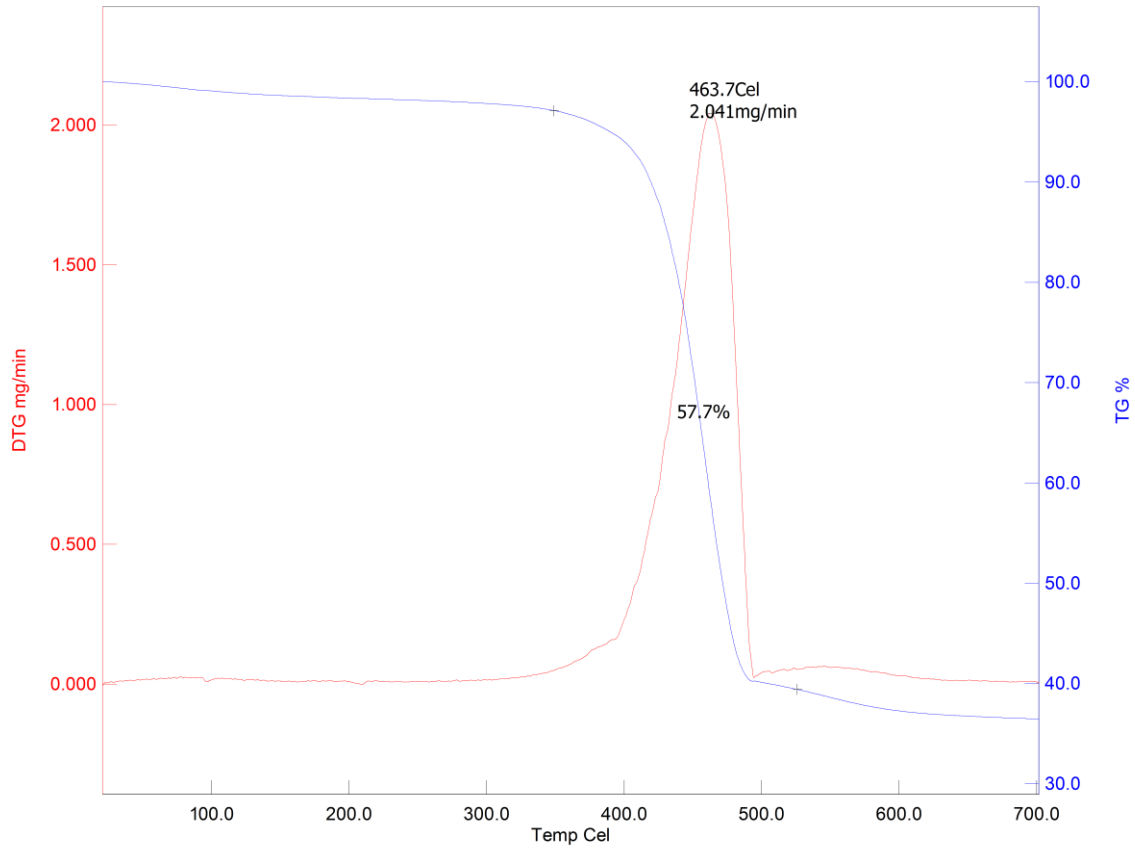
Şekil 3.30. 25 MPa kalıplama basıncında üretilen kompozit malzemeye ait kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları a)100x b)500x c)2000x

Şekil 3.30. a) 'da 100x büyütmedeki görüntü kestamidin cam elyaf demetleri arasına girdiği görülüyor. Şekil b) 500x büyütmedeki, Şekil c) ise 2000x büyütmedeki SEM görüntüsüdür ve Şekil 3.27'dekine benzer şekilde yapıdan kayarak ayrılan cam elyaflar olduğu halde çoğunun koparak ayrılmaya maruz kaldığı görülmektedir.

20 MPa ve 25 MPa uygulama basıncında üretilen numunelerin benzer olduğu görülmüştür. Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi mukavemet değerleri neredeyse aynı kalmıştır. Ancak 25 MPa'lık kalıplama basıncı altında üretilen numunelerin elastisite modülü, % uzama gibi değerlerinde düşüş görülmektedir.

3.6. TGA / DTA Analizi

Termal Gravimetrik / Diferansiyel Termal Analiz olarak bilinen deneyde kestamide ait grafik Şekil 3.31’ da verilmiştir. Burada kestamide uygulanan deneyde mavi renkte gösterilen eğri kontrollü bir sıcaklık artışı altında numunenin sıcaklık ile kütlesi arasındaki değişimi göstermektedir. Kırmızı grafik ise değişen sıcaklık ile kütle arasındaki ilişkiyi referans malzeme baz alınarak işlenmesini göstermektedir.



Şekil 3. 31. Kestamid için TG/DTA analizi sonucunda elde edilen grafik

Şekil 3.31.’de görülen grafikte mavi renkteki TGA eğrisi 400 – 500°C arasında % olarak madde kaybını göstermektedir. Bu kayıp %57.7 dir. Belirtilen sıcaklıklar arasında kestamidin bozunmaya uğradığı ve kütle kaybettiği görülmektedir. Kırmızı ile gösterilen DTG eğrisi ise 463.7°C’de gerçekleşen bu madde kaybının ekzotermik olduğunu göstermektedir. Polimerlerde ekzotermik olaylar; polimerleşme veya oksitlenme şeklindedir. Diğer bir deyişle bu sıcaklık kestamid için bozunma sıcaklığıdır.

4. İRDELEME

Farklı sıcaklıklarda üretilen kompozit numunelerin yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında 260°C'deki gibi düşük sıcaklıkta yoğunluk değerinin düşük olduğu (1.39 g/cm) 280°C'da ise bu değer %7.3 oranında artarak 1.5 g/cm değerine ulaştığı görülmüştür. Bu durum büyük ölçüde artan sıcaklıkla beraber polimer viskozitesinin düşmesi ve daha iyi bir karışım oluşturması ile açıklanabilir. Bu değer üzerindeki sıcaklıkların (300 ve 320°C) üretilen kompozit numunelerin yoğunluk değerlerini pek etkilemediği belirlenmiştir. Nitekim 280°C'da 1.50 olan yoğunluk değeri 300°C'da değişmemekte 320°C'da ise 1.48 değeri düşerek çok fazla bir değişim sergilememektedir.

Farklı basınçlarda üretilen kompozit numunelerin yoğunluk değerleri incelendiğinde, kalıplama basıncı arttıkça yoğunluk değerlerinin tedrici olarak arttığı görülmüştür. Nitekim 9 MPa'lık presleme basıncında yoğunluk 1.41 g/cm iken bu değer 14 MPa'da 1.43 değerine sonunda 25 MPa'da ise 1,5 g/cm değerine ulaştığı belirlenmiştir. Kalıplama basıncının 9 MPa 'dan 25 MPa 'ya çıkması yoğunluk değerini %6 oranında arttırmıştır. Bu artış presleme basıncı ile daha yoğun ve gözeneksiz bir yapının ortaya çıkması ile açıklanabilir.

3,5 MPa basınç uygulayarak farklı kalıplama sıcaklıklarında üretilen numunelerin çekme deney sonuçları karşılaştırıldığında; 300°C kalıplama sıcaklığında üretilen numunenin en yüksek çekme dayanımı, elastisite modülü ve %0.2 akma mukavemeti değerleri sergilediği gözlenmiştir. Bu değerlere ait grafiklere bakıldığında benzer eğriler olduğu görülmektedir. Çekme dayanımı, modül ve akma mukavemeti arasında lineer bir ilişkinin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Nitekim malzeme biliminde çekme mukavemetinin artışı ile birlikte elastisite modülü ve akma mukavemetinin de arttığı bilinen bir gerçektir.[9] 260°C 'lik kalıp sıcaklığında çekme mukavemeti 83,5 MPa iken bu değer 300°C'da 112.4 MPa değerine ulaşarak % 25,7 oranında artış kaydedilmiştir. Bu durum artan sıcaklıkla beraber takviye elemanı ile matris arasında daha iyi bir karışım olması ve sonunda porozite oranının düşmesi ile açıklanabilir. Üretilen numunelerin % uzama değerlerinin kalıp sıcaklığı ile çok fazla değişmediği gözlenmiştir. Söz konusu bu değerlerin % 1.25-1.42 aralığında değiştiği göz önüne alındığında bu değerlerin son derece düşük olduğu ve numunelerin kırılma davranışlarının gevrek türde olduğu belirlenmiştir. Kestamid malzeme homopolimer olarak kullanıldığında % uzama miktarı % 10-40

aralığında iken [9] söz konusu bu çalışmada fiber takviyesi ile beraber bu değer azalarak % 1 seviyesine düşmektedir. Bu sonucun yapılan diğer çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Nitekim naylon polimer takviye elemanı olmadığında % 50 oranında uzama göstermesine rağmen söz konusu bu polimere % 30 oranında kırılmış elyaf katıldığında bu değer % 2 oranına kadar düşmektedir [6].

Kalıplama basıncı çekme mukavemeti ve akma gerilmesi üzerinde 20 MPa' a kadar etkili olmakta bu değerlerin üzerindeki basınçlar mekanik özellikler üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Kalıplama basıncı üretilen kompozit malzemelerin çekme mukavemetini 103 MPa' dan 123 MPa' a çıkararak maksimum % 16 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında kalıplama sıcaklığının % 25.7 artış oranı ile çekme mukavemeti üzerinde daha etkin olduğu söylenebilir. Kalıplama basıncının % uzama değerlerine etkisi ise düzenli bir davranış sergilememiştir. Ancak yine % uzama değerlerinin % 1-2 aralığında olduğu ve gevrek bir davranış sergilediği gözlenmiştir.

Darbe deney sonuçlarına bakıldığında 300°C'de kalıp sıcaklığında maksimum darbe mukavemetinin elde edildiği gözlenmiştir. Bu durum bir önceki sıcaklık-% uzama değeri ile uyum içerisindedir. % uzama değeri 300°C'da maksimum 1.42 değerine ulaşmakta ve öte yandan bu sıcaklıkta darbe enerjisi maksimum olmaktadır. Bu durum beklenen ve malzeme bilimi ilkeleriyle uyuşan bir sonuçtur. Malzemelerin darbe dayanımının süneklik ile doğru orantılı olduğu bilinen bir gerçektir [30].

Kalıplama basıncı ile darbe mukavemeti değerlerinin lineer olarak arttığı gözlenmiştir. Nitekim 9 MPa'lık kalıplama basıncında 3.4 J/cm² 'lik bir darbe mukavemeti değeri elde edilirken 25 MPa'da bu değer % 110 oranında artarak 7.1 J/cm² değerine ulaştığı belirlenmiştir.

Üretilen kompozit malzemelerin sertlik grafikleri incelendiğinde sertlik değerlerinde yaklaşık 5 HRF değeri artış olduğu gözlenmiştir. Nitekim 260°C'da 44.4 olan sertlik değeri 4.7 HRF artarak 320°C'da 49.1 HRF değerine çıkmaktadır. Öte yandan 9 MPa'da 55.4 HFR sertlik değeri 25 MPa'da 60.4 HRF değerine çıkarak 5 HRF'lik bir artış göstermiştir. Sertlik değerlerinde 280°C kalıplama sıcaklığındaki artış dikkat çekicidir. 260°C kalıplama sıcaklığında 44.4 HRF sertlik değeri gösteren numune 280°C'da % 8 oranında artarak 48.3 HRF değerine ulaşmaktadır. Bu durumun büyük ölçüde içyapıda mevcut poroziteden kaynaklandığı söylenebilir. Nitekim 260 ve 280°C'da ölçülen yoğunluk değerleri sırası ile 1.39 ve 1.50 g/cm³ olarak elde edilmiştir. 320°C'da maksimum sertlik değeri 49 HRF olarak elde edilirken 25 MPa'lık kalıplama basıncında

sertlik değeri 60 HRF olarak elde edilmiştir. Buradan sertlik değerleri üzerinde basıncın daha etkili olduğu görülmektedir.

Çekme deney numunelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde kırılma davranışlarının neredeyse aynı olduğu görüldü. Takviye malzemesi olarak katılan fiber demetlerin bazılarının birbirinden tamamen ayrılmayarak içyapıda yer aldığı gözlenmiştir. Bunun yanında bazı fiber demetinden ayrılan tekil fiberlerin de içyapıda yer aldığı SEM fotoğraflarında açıkça görülmektedir. SEM’de incelenen kırılma yüzeylerinde ise kestamidin elyafi ıslatması konusunda düşük sıcaklık ve düşük basınç değerlerinde daha az olduğu, kestamidin düşük basınç ve sıcaklık değerlerinde daha tabakalı bir yapı oluşturmaya eğilimli olduğu görüldü. Kırılma morfolojisine bakıldığında hem lif kırılması ve hem de liflerin matrisdeki yerinden çıktığı gözlemlendi. Artan basınç ile birlikte fiber-matris ara yüzey birleşmesinin daha iyi olduğu Şekil 3.29’dan açıkça görülmektedir. Bunun yanında fiber kırılmasına tipik bir örnek ise Şekil 3.28 c’de verilmiştir. Öte yandan düşük sıcaklıktaki kırılma yüzeyi incelenmesi sonucunda fiber-matris ara yüzey birleşmesi iyi olmadığından fiberlerin yapıdan kayması sonucunda uzaklaştığı gözlenmiştir (Şekil 3.23)

TGA / DTA analizinin sonucuna bakıldığında kestamidin bozunma sıcaklığının tepe değeri 463°C olarak belirlendiği Şekil 3.31’den açıkça görülmektedir. Ancak bozunmanın az da olsa 350°C civarında başladığı grafikten anlaşılmaktadır. Bu durumda 320°C ‘lık bir kalıplama sıcaklığının bozunma sıcaklığına yakın bir değer olduğu ve kalıp sıcaklık değerinin ölçüm hassasiyetinin önemli olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu bozunma sıcaklığı civarında yapılacak kalıplama işlemi üretilen malzeme özelliklerini olumsuz etkileyeceği aşikardır.

SONUÇLAR

- 1.) Ağırlıkça %50 kestamid ve %50 cam elyaftan üretilen polimer kompozit malzemelerde mekanik özellikler açısından optimum kalıplama sıcaklığı 300°C olarak belirlenmiştir. Öte yandan 20 MPa kalıplama basıncında maksimum çekme ve akma değerleri elde edilmektedir.
- 2.) % 50 oranında cam elyaf içeren döküm poliamid (kestamid) çok düşük süneklik değerleri sergilediği belirlenmiştir.
- 3.) Optimum kalıplama sıcaklığı (300°C), düşük sıcaklığa göre çekme mukavemeti değerlerini % 25 oranında arttırmaktadır.
- 4.) Kestamidin 350°C civarında bozunmaya başladığı ve kalıplama sıcaklığının bu değerden daha düşük alınması gerektiği tespit edildi.
- 5.) %50 oranında cam elyaf içeren döküm poliamid esaslı kompozit malzemelerde 20 MPa kalıplama basıncı ve 300°C kalıplama sıcaklığının en uygun işlem parametreleri olduğu belirlendi.
- 6.) Düşük sıcaklıklarda fiber-matris ara yüzey birleşmesinin iyi olmadığı ve fiberlerin yapıdan daha çok kayarak ayrıldığı gözlemlendi.

5. ÖNERİLER

- 1.) Aynı parametrelerde farklı boyutlar ve farklı türlerdeki cam elyaflar kullanılabilir, bu cam elyafların yapıdaki etkileri araştırılabilir.
- 2.) Daha hassas bir ısıtma toleransına ve homojen ısı dağılımına sahip kalıp tasarımı yapılabilir.

6. KAYNAKALAR

1. Askeland, D., R., The Science and Engineering of Materials, Çeviri Dr. Erdoğan, M., 1.Cilt, 3. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1998.
2. Yüksel, M., Malzeme Bilimleri Serisi-Cilt 1, Malzeme Bilimlerine Genel Bir Bakış, Özkan Matbaacılık Ltd.Şti., Denizli 2001.
3. Onaran, K., Malzeme Bilimi, 11.Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 2009.
4. Smith,W.,F., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Çeviri Kınıkoğlu, N., G., 3.baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001.
5. <http://www.ejsong.com/mdme/memmods/MEM30007A/polymers/polymers.html>
30 Mart 2011.
6. Erbay, K., Silah Gövdeleri için Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 2009.
7. Uğuz, A., Malzeme Ders Notları, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bursa, 1995.
8. Güleşen, M., Fiber Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2005.
9. Strong, A.B., Plastics Material and Processing Prentice Hall, Ohio, Columbus,2000.
10. <http://karıncaoglumetal.com/kestamid.html> 17 Şubat 2011.
11. Erdoğan, Y., Polyamid Esaslı Kompozit Üretiminde Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Lisans Tezi, Trabzon, 2010.
12. http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm 14 Ocak 2011.
13. <http://www.polikim.com.tr/pdf/kestamid.pdf> 25 Ocak 2011.
14. Çanakçı, A., AA2024 Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli, Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Trabzon, 2006.
15. Mazumdar, S.K., Composites Manufacturing: Material, Product and Process Engineering, CRC Press LLC., New York, 2002.
16. Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 2000.

17. Mallick, P.K., Fiber-Reinforced Composites, Second Edition, Marcell Dekker Inc., New York, 1988.
18. Hull, D. ve Clyne, T.W., An Introduction to Composite Materials, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
19. Aran, A., Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
20. Asi, D., Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2008.
21. Akdoğan, A., Plastik Matrisli Kompozitler, Ankara, 2008.
22. Bunsell, A.R. ve Renard, J., Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials, IOP Publishing Ltd., Paris, 2005.
23. <http://www.camelyaf.com.tr/kutuphane/detay.aspx?SectionID=AmiB%2fxzLoG8UqeoA%2ftiNbA%3d%3d&ContentID=yJFLKGOYZgT%2bXLRtaBuhQ%3d3d> 27 Ocak 2011.
24. <http://www.insaatmuhendisligi.net/index.php?PHPSESSID=g5cvjppj1754s8022g86g2ndfp6&topic=439.0> 14 Ocak 2011.
25. ASTM D 4000, Standart Classification System for Specifying Plastic Materials, ASTM International, United State, 2011.
26. ASTM D 578 Standard Specification for Glass Fiber Strands.
27. ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, United States, 2003.
28. ASTM D 256 Method B, Standart Test for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, United State, 2004.
29. ASTM D 2583 Standart Test Method For Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of Barcol Impressor, ASTM International, United State, 2007.
30. Savaşkan, T., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Celepler Matbaacılık, Trabzon, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin İPEK 1986 yılında Amasya / Merzifon'da doğdu. 2008 yılında Amasya Anadolu Lisesi'nden Mezun oldu.2004 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde Metal Öğretmenliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2008 yılında mezun oldu ve aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.