

**FİBER TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BULUNMASI**

169243

Mustafa Güleşen

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL

Ağustos - 2005

KABUL ve ONAY SAYFASI

Mustafa Güleşen'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı **Fiber takviyeli termoplastik kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin bulunması** başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

21/10/2005

(Sınav tarihi)

Üye : Doç.Dr. Rasim İPEK



Üye : Doç.Dr. Reşat ÖZCAN



Üye : Yrd.Doç.Dr. Mehmet ŞENEL (Danışman)



Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Yönetim Kurulu'nun 26/10/05 gün ve ...19... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

FİBER TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BULUNMASI

Mustafa GÜLEŞEN

Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2005

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL

ÖZET

Bu çalışmada, termoplastik kompozit malzeme üretimi için eşli kalıplama yöntemine göre tasarlanmış kalıp imal edilmiştir. Kompozit malzemenin matris malzemesi alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), takviye malzemesi olarak 0,3 mm çapında bakır fiber kullanılmıştır. % 0,4 ve % 0,5 oranlarında fiber hacimsel konsantrasyona sahip termoplastik kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen numunelerin çekme deneyleri Uludağ Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. Bakır fiber takviyesi ile polietilen matris malzemesindeki mekanik özelliklerinin değişimi tespit edilmiştir. Bakır fiber takviye yönleri 90° , 45° ve 0° 'deki çekme numunelerine strain-gage bağlanılarak şekil değiştirme miktarları bulunmuş, bu değerler neticesinde kompozit malzemenin poisson oranı, elastisite modülü ve kayma modülü tespit edilmiştir. Çekme deneyleri neticesinde elde edilen kuvvet-uzama diyagramları ile elastik bölgedeki elastisite modülü ve plastik bölgedeki plastisite sabiti (K), deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerleri hesaplanmıştır. Hacimsel konsantrasyonundaki artış elastisite modülü, kopma gerilmesi, poisson oranı, akma gerilmesi ve kayma modülü değerlerini arttırmıştır. 90° takviye yönünde elastisite modülü, akma gerilmesi ve kopma gerilme değerlerinde diğer takviye yönlerine ve polietilen matris malzemesine göre artış meydana gelirken, plastisite sabiti (K), deformasyon sertleştirme üssü (n), değerleri azalmıştır.

Anahtar Kelimeler : Bakır Fiber Takviyesi, Çekme Deneyi, Mekanik Özellikler, Termoplastik Kompozit.

**PRODUCTION OF FIBRE REINFORCED THERMOPLASTIC COMPOSITE
MATERIAL AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES**

Mustafa GÜLEŞEN

Mechanical Engineering, M.S. Thesis, 2005

Thesis Supervisor : Mehmet ŞENEL, Assistant Prof.

SUMMARY

In this study, the production of mould, designed by match die press forming, was done to produce thermoplastic composite material. The matrix material was polythene (low density) and reinforcement material was copper fibre having 0.3 mm diameter. Thermoplastic composite material having %0,4 and %0,5 fiber volume concentration were produced. Tensile experiments of these materials were done in Uludağ University. The change of mechanical properties of polythene material by the reinforcement of copper fibre was investigated. The elongation ratios of materials having direction of 90° , 45° and 0° copper fibre reinforcement were measured by strain-gages and poisson ratio, elasticity stress and sheer stress were calculated. By the results of force elongation diagrams elasticity in elastic region and plasticity constant (K), deformation hardening exponential (n) in plastic region were calculated. Increase in volume concentration increased the elasticity stress, rupture stress, poisson ratio, yielding stress and sliding stress. The elasticity stres, yielding stres and rupture stress of the reinforcement with the direction of 90° was higher than the other directions and substrate material. The plasticity constant (K) and deformation hardening (n) were decreased.

Keywords: Copper Fibre Reinforced, Mechanical Properties, Tensile Test, Thermoplastic Composite.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL'e, çekme deneylerinin yapılmasında yardımcı olan bilgisinden çok istifade ettiğim sayın Doç. Dr. Reşat ÖZCAN'a, çalışmalarımda beni teşvik eden eşime, aileme ve tüm hocalarımaya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.2. Polimer Matris Malzemeleri	4
2.2.1. Elastomerler	5
2.2.2. Termosetler.....	5
2.2.3. Termoplastikler.....	5
2.3 Polietilenler.....	7
2.3.1. Polietilen üretim teknolojileri.....	9
2.3.2. Uygulama Alanları	10
2.4. Takviye Malzemeleri.....	10
3. POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ.....	11
3.1 Elektriksel Özellikler.....	11
3.2 Kimyasal Özellikler.....	11
3.3 Mekanik Özellikler.....	12
3.4 Termal Özellikler.....	13
3.4.1 Isı iletkenliği.....	14
3.4.2 Özgül ısı.....	14
3.4.3 Isıl genleşme.....	15
3.5 Termoplastik Kompozit Malzemeler Üzerine Bazı Uygulamalar	15

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.5.1. Ekstrüzyonla tasarım problemleri çözer.....	15
3.5.2. Anti-sürtünme uygulamaları.....	16
3.5.3. Zor çevre şartlarına mukavemet uygulamaları.....	16
3.5.4. Mukavemet / sertlik / ağırlık uygulamaları.....	16
3.5.5. Statik iletkenlik uygulamaları.....	17
3.5.6. Düşük yanma, tutuşkan olmayan, anti gaz uygulamaları.....	17
4. İLERİ TERMOPLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ.....	18
4.1 Avantajları / Dezavantajları.....	18
4.2 Fiberlerin İşlenmesi.....	19
4.3 Fiber ile Matrisin Birleşimi.....	19
4.3.1 Eriterek kaplama.....	19
4.3.2 Film yığılma.....	20
4.3.3 Toz kaplama.....	20
4.3.4 Fiber hibritleştirme.....	21
4.4 Şekillendirme Teknikleri.....	22
4.4.1 Eşli kalıp presle şekillendirme.....	23
4.4.2 Enjeksiyon kalıplama.....	23
4.4.3 Termo şekillendirme.....	24
4.4.4 Diyafram şekillendirme.....	26
4.4.5 Hidro şekillendirme.....	26
4.4.6 Otoklav / vakum ile şekillendirme.....	27
4.4.7 Tel sarımı	28
4.4.8 Pultrüzyon	29
4.4.9 Merdane ile şekillendirme.....	29
4.5 Termoplastik Kompozitlerin Tezgah ile İşlenmesi.....	29
4.6 Yeniden İşlenebilirlik.....	29
5. DENEYSEL YÖNTEM.....	31
5.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler	31
5.2 Termoplastik Kompozitlerin Birleştirilmesi.....	33

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.1 Ergitme.....	33
5.2.2 Birleştirme.....	33
5.2.3 Katılma	34
5.3 Kompozit Malzemenin Üretimi.....	34
5.4 Hacimsel Konsantrasyonun Bulunması.....	36
5.5 Çekme Deneyi ile Plastisite Sabiti (K) ve Deformasyon Sertleşme Üssü (n)'in Hesaplanması.....	36
5.6 E ve G Mühendislik Sabitlerinin Bulunması.....	39
5.6.1 Elastisite modülünün (E) bulunması.....	39
5.6.2 Kayma modülünün (G) bulunması.....	39
5.7. Mekanik Davranışın Yöne Bağlı Olarak Değişimi.....	39
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	42
6.1 Hacimsel Konsantrasyona Göre Kullanılan Fiber Uzunluğunun Bulunması	42
6.2 Plastik Sabitlerin Bulunması.....	43
6.2.1. Polietilen numunenin plastik sabiti.....	43
6.2.2. 90° takviyeli numunenin plastik sabiti.....	45
6.2.3. 45° takviyeli numunenin plastik sabiti.....	47
6.2.4. 0° takviyeli numunenin plastik sabiti.....	49
6.3 Elastik Sabitlerinin Bulunması.....	51
6.3.1 %0,5 Hacimsel konsantrasyonlu 90° takviyeli numunenin elastik sabitleri....	51
6.3.2 %0,4 Hacimsel konsantrasyonlu 90° takviyeli numunenin elastik sabitleri....	52
6.3.3. 0° takviyeli numunenin elastik sabitleri.....	53
6.3.4. 45° takviyeli numunenin elastik sabitleri.....	54
6.3.5. Kayma modüllerinin (G) hesaplanması.....	55
6.4 Çekme Deneyleri ile Elastisite Modül Değerlerinin Bulunması.....	56
6.4.1 Polietilen numunenin elastisite modülü.....	56
6.4.2 90° takviyeli numune elastisite modülü.....	57
6.4.3 45° takviyeli numune elastisite modülü.....	58
6.4.4 0° takviyeli numune elastisite modülü.....	59

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.5 Sonuçlar.....	61
6.6 Öneriler.....	61
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	62



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Toz kaplama işlemi.....	21
4.2. Termoset ve termoplastik kompozitlerin işleme tekniklerinin sınıflandırılması....	22
4.3. Enjeksiyon ile kalıplama.....	24
4.4. Termoplastik tabakaların termo şekil değiştirme ile üretim yöntemleri gösterilmektedir.....	25
4.5. Diyafram şekillendirme işlemi.....	26
4.6. Hidro şekillendirme.....	27
4.7. Otoklav / vakum ile şekillendirme.....	27
4.8. Termoplastik kompozitlerin lif sarımı.....	28
5.1. Termoplastik kompozit üretim cihazı.....	31
5.2. Birleştirme için basınç-sıcaklık-zaman diyagramı.....	33
5.3. Termoplastik kompozit malzemenin prosesi.....	35
5.4. Üretilen termoplastik kompozit malzeme.....	35
5.5. Çekme deneyi için numune örneği.....	36
5.6. Kuvvet-uzama diyagramı.....	37
5.7. K ve n değerlerinin bulunması.....	38
5.8. Herhangi x-y eksenlerinden malzeme asal eksenlerine pozitif yönde dönüş.....	40
6.1. Polietilen matris malzemenin çekme numunesi	43
6.2. Polietilen numunenin kuvvet-uzama grafiği.....	44
6.3. Polietilen numunenin K ve n değerlerinin bulunması.....	44
6.4. 90° Takviyeli numune.....	45
6.5. 90° Takviyeli numunenin kuvvet-uzama grafiği.....	46
6.6. 90° Takviyeli numunenin K ve n değerlerinin bulunması.....	46
6.7. 45° Takviyeli numune.....	47
6.8. 45° Takviyeli numunenin kuvvet-uzama grafiği.....	48
6.9. 45° Takviyeli numunenin K ve n değerlerinin bulunması.....	48
6.10. 0° Takviyeli numune.....	49
6.11. 0° Takviyeli numunenin kuvvet-uzama grafiği.....	50
6.12. 0° Takviyeli numunenin K ve n değerlerinin bulunması.....	50
6.13. 90° Takviyeli numunenin strain-gage bağlantısı.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.14. 90° Takviyeli numunenin strain-gage bağlantısı.....	52
6.15. 0° Takviyeli numunenin strain-gage bağlantısı.....	53
6.16. 45° Takviyeli numunenin strain-gage bağlantısı.....	54
6.17. Polietilen numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	56
6.18. Polietilen numunenin elastik bölgedeki grafiği.....	56
6.19. 90° Takviyeli numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	57
6.20. 90° Takviyeli numunenin elastik bölgedeki grafiği.....	57
6.21. 45° Takviyeli numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	58
6.22. 45° Takviyeli numunenin elastik bölgedeki grafiği.....	58
6.23. 0° takviyeli numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	59
6.24. 0° takviyeli numunenin elastik bölgedeki grafiği.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Metal, seramik ve plastik malzemelerin bazı özelliklerinin karşılaştırılması.....	3
2.2 Termoset ve termoplastik kompozitlerin genel özellikleri.....	6
3.1 Bazı sık kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları.....	14
3.2 Bazı malzemelerin 300 K 'deki özgül ısıları.....	15
5.1 AYPE 'nin özellikleri.....	32
5.2 Kimyasal birleşimi.....	32
5.3 Bakırın özellikleri.....	32
6.1 Polietilen numune için çekme deneyi sonuçları.....	43
6.2 90 ⁰ takviyeli numune için çekme deneyleri sonuçları.....	45
6.3 45 ⁰ takviyeli numunenin çekme deneyi sonuçları.....	47
6.4 0 ⁰ takviyeli numunenin çekme deneyi sonuçları.....	49
6.5 90 ⁰ takviyeli numunenin strain gage kullanılarak çekme deney sonuçları (%0,5)	51
6.6 90 ⁰ takviyeli numunenin strain gage kullanılarak çekme deney sonuçları (%0,4)	52
6.6 0 ⁰ takviyeli numunenin strain gage kullanılarak çekme deney sonuçları.....	53
6.7 45 ⁰ takviyeli numunenin strain gage kullanılarak çekme deney sonuçları.....	54
6.8 Elastisite modül değerleri.....	60
6.9 Numunelerin plastisite sabitleri ve deformasyon sertleşmesi üssü değerleri.....	60
6.10 Polietilen matrisli 90 ⁰ bakır fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri.....	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
P	Kuvvet (N)
σ	Gerilme (MPa)
σ_0	Akma Gerilmesi (MPa)
ε	Şekil Değişirme Miktarı
ν_{12}	Poission Oranı
V_f	Fiber Hacmi
V_m	Matris Hacmi
E	Elastisite Modülü (MPa)
G_{12}	Kayma Modülü (MPa)
K	Plastisite Sabiti
n	Deformasyon Sertleşmesi Üssü
A_0	İlk Kesit Alanı (mm ²)
L_0	İlk Uzunluk (mm)
B_0	Genişlik (mm)
H_0	Kalınlık (mm)
L_p	Son Uzunluk (mm)
ΔL_p	Uzama (mm)
T_g	Camsı Duruma Geçiş Sıcaklığı (°C)
T_m	Ergime Sıcaklığı (°C)

Kısaltmalar	Açıklama
AYPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
HK	Hacimsel Konsantrasyon

1. GİRİŞ

İki veya daha fazla malzemenin, istenilen özellikleri elde edebilmek için belli şartlar ve oranlarda malzemelerin fiziksel olarak makro yapıda birleştirilmesi ile elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir.

Teknolojinin hızla gelişmesi temel sanayi girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Fakat bu gelişim yeryüzünde bulunan malzemelerin sınırlı olmasından dolayı teknolojinin gelişmesine ayak uyduramamıştır. Buradan hareketle bilim adamları daha mukavemetli, daha hafif ve aynı zamanda daha ekonomik malzeme arayışına girmişlerdir. Bu özelliklerin elde edilebildiği kompozit malzemelerin önemi artmıştır.

Kompozit malzemeler genellikle matris adı verilen ana faz ile fiber olarak adlandırılan ikincil fazların istenilen oranda ve tertipte fiziki karışımı ile üretilirler. Monotolik (tek fazlı) yapıların dışında kalan bütün yapılar heterojen (kompleks fazlı) yapılardır. O halde monotolik malzemeler dışında kalan bütün malzemeler kompozit grubuna girerler.

Fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da, fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylelikle fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olunur.

Kompozit malzeme teşkili ile sağlanabilecek özellikler;

- a) Mukavemet
- b) Rijitlik
- c) Korozyon direnci
- d) Aşınma direnci
- e) Görünüm güzelliği
- f) Ağırlık
- g) Yorulma ömrü
- h) Isı izolasyonu
- i) Isıya dayanıklılık
- j) Akustik izolasyon

k) İmalat kolaylığı

Yukarıda bahsi geçen avantajların hepsi aynı anda sağlanamaz. Gerçekte bütün bu özelliklerin kontrolüne ve belli değerlerde olmasına gerek yoktur. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak ihtiyaç duyulan özellikler artırılır, kontrol edilir ve böylece uygun kompozit malzemeler kullanılan matris ve tali fazın özelliklerinin taşıyacak şekilde elde edilir. Bu özelliklerin düzeltilmesi, istenen özelliklerde kompozit malzemeler üretilebilmesi için öncelikle kompozit malzemelerin genel olarak yapıları ve yapı özellikleri iyi bilinmelidir.

Bu tezin amacı endüstride çok kullanılan bir tür olan metal fiber takviyeli termoplastik kompozit malzemenin, bakır fiber takviyeli termoplastik kompozit malzemenin üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Bu kompozit malzemedeki metal fiber olarak 0,3 mm çapında bakır tel, matris malzemesi olarak alçak yoğunluklu Polietilen (F2-12) kullanılmıştır. Sıcaklık ve basınç kontrol edilebilecek bir kalıp tasarlanmış ve çekme standartlarına uygun numuneler elde edilmiştir. Çekme deneyleri neticesinde üretilen termoplastik kompozitin mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Malzemeler genellikle üç gruba ayrılır bunlar metaller, seramikler ve polimer malzemelerdir. Bu üç grubun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Çizelge 2.1'de dayanım ve tokluk özellik çiftinin en uygun olduğu grup olan metaller makina mühendisliğinde en yaygın olarak kullanılan malzeme türüdür [1].

Çizelge 2.1 Metal, seramik ve plastik malzemelerin bazı özelliklerinin karşılaştırılması [1].

Malzeme Grubu	Yoğunluk	Dayanım	Tokluk	Isıl kararlılık	Biçimlendirme	Birleştirme
Metaller	Orta Yüksek	Orta	İyi	Orta	Orta	Orta
Seramikler	Düşük Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Kötü	Kötü
Plastikler	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	İyi	İyi

Bu üç ana grubun yanında, aynı yada farklı gruplardan iki yada daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemede toplamak, yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelere kompozit denir[1, 19, 27].

Günümüzde çok gelişmiş olan bu malzemeler, aslında binlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Örneğin çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç, bir kompozit malzemedir. Ayrıca kompozit malzemeler doğada da değişik biçimlerde bulunmaktadır (ahşap malzemeler, kemik v.s.).

Kompozit malzeme üretiminin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemelerin geliştirilmesi ancak 1940'lı yıllarda cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır, önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri gösterilebilir. Cam takviyeli plastikler elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle bu amaç için kullanılabilir en uygun malzemedir. İlk CTP tekne 1942'de yapılmış, ilk elyaf sarma patenti ise 1946'da A.B.D.'de alınmıştır. 1950'lerde ise uçak pervaneleri kompozit malzemedan yapılmaya başlanmıştır. Bugün uçak endüstrisinde % 25-30'a varan oranlarda uçak ağırlığında kazanımlar vardır [3]. Kullanılan kompozit malzemelere örnek olarak, çeşitli polimerler (plastikler) içerisine gömülmüş karbon lifleri, alüminyum içerisine dizilmiş boron lifleri veya 1000° C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel-

alüminyum alaşımı içerisinde oluşturulmuş nikel-niobiyum levhaları ile kuvvetlendirilen malzemeler gösterilebilir. Verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere kullanılacak kompozit malzeme istenen mekanik özellikler, çevre şartlarına dayanıklılık, görünüm, maliyet vb. özellikler ile çok çeşitli olabilmekte ve hemen hemen her şartı karşılayabilecek uygun bir takviye-matris çifti oluşturulabilmektedir [1].

Polimer kompozit malzemeler yoğunluğunun az olması, hacim bazında düşünüldüğünde, önemli üstünlükler sağlamaktadır. Bu nedenle, ağırlığın kritik olduğu bütün sektörlerde olduğu gibi, örneğin uzay ve otomotiv sanayilerinde polimer kompozit malzeme vazgeçilemez bir eleman olarak kullanılmaktadır. Her kilogram ağırlık azalmasının yakıt sarfiyatında önemli düşüslere yol açtığı bilinen bu sektörlerden, örneğin otomotiv için, 1975 'li yıllarda orta ağırlıkların 900 kg'dan 1985'lerde 760 kg ve 1992'de ise 720 kg değerlerine inmesi; şüphesiz plastik malzeme kullanımının artması ile mümkün olmuştur. Yakın gelecekte, plastik malzeme kullanımının daha da artması ile, otomobillerde ek bir 100 kg daha hafiflemenin hedeflendiğini belirtmek gerekir [3].

2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri çok değişik şekilde sınıflandırmak mümkündür. Kompozit malzemeleri matris malzemesine göre;

- Metal matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Polimer matrisli kompozitler olarak sınıflandırabiliriz.

Yapı bileşenlerinin şekline göre ;

- Fiber takviyeli kompozitler
- Parçacık takviyeli kompozitler
- Dolgu kompozitler
- Tabakalı kompozitler olarak sınıflandırmak mümkündür.

2.2 Polimer Matris Malzemeleri

Plastikler, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Plastikler, metal ve seramiklere göre çok daha fazla komplekstirler. Matris olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışabilir malzemelerdir.

Diğer taraftan düşük modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termosetler, termoplastikler ve elastomerler olarak üç gruba ayrılan plastik matrisler genelde sürekli fiber takviyeli olarak kullanılırlar.

2.2.1 Elastomerler

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

Bazı elastomerler: Polibütadien, poliüretan kauçuk, Silikon kauçuk

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

2.2.2 Termosetler

Bu tip plastikler ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır. 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

2.2.3 Termoplastikler

Termoplastikler, oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Bunlarda çizgisel molekül zincirleri birbirine zayıf metaller arasında Van der Waals bağları ile bağlanır. Rijit bir yapıya sahip değildir. Isıtılırsa yumuşar, sıcaklık arttıkça vizkozitesi düşer. Bu özellik bunlardan yapılan ürünleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla şekillenmesini sağlar. Bu tekrar soğutulduğunda yeniden sertleşir. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda vizkozite hali yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosete göre daha zordur. Ancak şekillendirme kapasitesi iyi olduğundan bunların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu polimerler kristalin veya şekilsiz (amorf) olabilir. Kristal şekilli olanlarda moleküller büyük uzaklıklarda oldukça düzenli şekil

oluştururlar. Amorf polimerler de ise uzun zincirler birçok noktada birbirine doluşmuştur. Bunlar polimeri daha büyük sıcaklıklarda rijit yapar. Kısa elyafla küçük hacim ortamında hamur veya levha kalıplama yöntemi ile kullanılmaktadır. Kimyasal etkilere karşı keza hassastırlar. Ancak poli amid veya PEEK/karbon elyaflı kompozit 95°C'de suya karşı koyma dayanımında azalma olmamaktadır. Tutuşma direnci keza daha iyidir [28].

Bu gruba giren plastikler;

- a) Asetol reçineler (şaft yatağı)
- b) Akriklikler (polimetil metakrilat) ışıklı reklamlarda
- c) Selilozik (selüloz asetat) ışıklı reklamlarda
- d) Florokarbon (polutetro floroetilen) teflon tava
- e) İzosiyonatlar (Poliüretan) ısı izolasyonunda
- f) Poliamitler (naylon) ip imalinde, çorap, çamaşır
- g) Poliolefinler (polietilen-polipropilen) naylon torba-meşrubat kasası
- h) Stiren (polistren) okul gereçleri, yoğurt kabı
- i) Vinil (poli vinil klorür, P.V.C)
- j) Polikarbonat (trafik ışıkları)

Çizelge 2.2 Termoset ve termoplastik kompozitlerin genel özellikleri [18].

Özellikler	Termoset Kompozitler	Termoplastik Kompozitler
Fiber hacmi	Orta-yüksek	Düşük-orta
Fiber uzunluğu	Sürekli ve süreksiz	Sürekli ve süreksiz
Kalıplama süresi	Yavaş : 0.5 ila 4 saat	Hızlı : 5 dakikadan az
Kalıplama basıncı	Düşük : 1 ila 7 bar	Yüksek : 14 bar'dan yüksek
Malzeme maliyeti	Düşük ila yüksek	Düşük ila orta
Güvenlik / işleme	İyi	Mükemmel
Çözücü dayanımı	Yüksek	Düşük
Termal dayanımı	Düşük ila yüksek	Düşük ila orta
Depolama süresi	İyi (soğutma ile 6 ila 24 ay)	Sınırsız

Termoplastik malzemelerin termosetlere göre avantajları [18];

- Yeniden şekillendirilebilmeleri
- İyi çözücü ve kimyasal dayanımının olması
- Proses süresinin kısalığı
- Yüksek tokluk ve darbe dayanımı
- Biçim ve şekil verme esnekliği
- Tamir edilebilir olması

2.3 Polietilenler

Polietilen termoplastik ailesinin en eski polimerlerinden biri olup önceleri sadece alçak yoğunluklu üretilirken gelişim göstermiş ve yüksek yoğunluklu , lineer , orta yoğunluklu olmak üzere üç yeni polietilen türü aileye eklenmiştir. Her dört polietilen türünde de monomer etilen olup, polimer molekülünün değişik yapıları bu üç yeni türün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Polimer molekülünü meydana getiren zincir şeklindeki makro moleküllerin değişik dallanma durumları polietilenin çeşitliliğini sağlar. Örneğin lineer alçak yoğunluklu polietilende dallanma yok denecek kadar az , yüksek yoğunlukluda biraz fazla , orta yoğunluklu polietilende ise daha fazladır. Alçak yoğunluklu polietilende ise dallanma maksimum düzeyde olup dallanmanın uzun ve kısa oluşu da polimer özelliklerini etkiler. Bu dört cins polietilen de sanayiinin temel polimerik malzemeleri olup çok farklı kullanım sahaları mevcuttur.

Polietilenlerin genel karakteristik özellikleri şöyledir :

- Asit, baz ve çözücülere dayanıklıdır,
- Dielektrik özellikleri üstündür,
- Çevre şartlarına dayanıklıdır,
- Kolay işlenebilirler.

Polimer zincirindeki dallanmalar kristalliğin derecesini tayin eder. Lineer ve yüksek yoğunluklu polietilende dallanma çok az olup molekül yapısı doğrusaldır. Dallanmanın az olduğu molekül yapılarında kristalinite genellikle daha fazladır. Polimer içindeki kristallik arttıkça sertlik artar, mekanik ve kimyasal özellikler iyileşir ve sıvı ile gazlara karşı dayanıklılık artar.

Polimerleri en iyi tanımlayan özelliği o polimerin ortalama molekül ağırlığıdır. Ortalama molekül ağırlığı, yaklaşık olarak erime indeksiyle belirlenir. Erime indeksi molekül ağırlığıyla ters orantılıdır. Yüksek molekül ağırlıklı PE'lerin sertliği ve sağlamlığı daha fazla, erime akış indeksleri (MFI) daha düşüktür. Genellikle bütün polimerler için geçerli olan kurala göre, yüksek molekül ağırlığı düşük erime akış indeksi ile eşdeğerdir. Polimerlerin molekül ağırlıkları Gel Permeation Chromotography (GPC) cihazı ile ölçülür. Bu cihaz teknolojinin son ürünlerinden biri olup çalıştırılması çok özeldir.

Polietilenlerin özelliklerini iyileştirmek bazı etkilere karşı direncini ve dayanımını artırmak için eritilerek basınç altında karıştırma yöntemiyle aşağıdaki kimyasal maddeler polietilenlerin içine katılır.

- **Oksitlenmeyi önleyiciler (anti oksidantlar)** : Bu tür kimyasal maddeler genellikle fenolik yapıda olup primary ve secondary antioksidant olarak iki gruba ayrılır. Primary antioksidantlar diğer bir deyişle radikal söndürücüler polimerin ısıtılması esnasında makromolekülün parçalanması ile ortaya çıkan radikalleri etkisiz hale getirir çoğalmasını önler. Secondary anti oksidantlar ise polimerin oksijenli ortamda bozunması ile oluşan hidroksiperoksitleri parçalar ve bozunmanın devamını engeller. Bu iki antioksidantın değişik oranlardaki karışımları polimerin uzun süre bozunmaya karşı dirençli olmasını sağlar buna sinerjistik etki denir. Polimer içinde fenolik antioksidantın 500 ppm'in üzerine çıkması halinde özellikle ışiksiz yerlerde depolama esnasında sararma problemi ortaya çıkar.

- **UV kararlılık sağlayıcılar**: Güneş ışığının ultraviyole kesimi her türlü karbon-karbon bağına etki eder ve bu bağı zaman içinde zayıflatarak kırılmasına neden olur. Bunun önüne geçmek için polimer içine güneşin bu etkisini polimerden önce soğuran kimyasal maddeler konur. Bu kimyasal maddeler UV absorber, UV quencher olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Ayrıca bu iki grubun sinerjistik etki gösteren karışımları da UV kararlılığını artırmada kullanılır. Ülkemizde bu konuda geçmişte çok spekülatif yaklaşımlar olmuş konu tam bilinmediği için ülke ekonomisi zarar görmüştür. Burada bu işni tekniğine girilmeyecektir. UV katkı maddeleri genelde benzofenon, nikel quencher ve HALS olmak üzere üç cinstir. Şu anda sanayide kullanılan bu tür katkı maddeleri yukarıda verilen maddeler ya da bunların değişik kombinasyondaki karışımlarıdır. HALS diye bilinen maddeler yeni bir ürün olup, kimyasal adları "Hindered Amin Light Stabilizers" dir. HALS ler günümüzde çok yaygınlaşmış olup birçok firma tarafından üretilmektedir.

Diğer yandan renkli pigmentler de UV önlemede önemli etkiye sahiptirler. Özellikle karbon siyahı polimerin güneşe dayanımını artırmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Her pigment UV amaçlı kullanılmaz bu konuda dikkat etmek gerekir. Bazı pigmentler UV katkıları ile kullanıldığında katkının etkisini azaltır.

- **Kaydırıcı ve bloklama önleyiciler :** Kaydırıcı olarak yağ asitlerinin aminleri (stearik asit , oleik asit ,eruşik asit) , bloklama önleyici olarak da % 90'nın üzerinde silisyum dioksit ihtiva eden inorganik birleşikler kullanılır. Bloklama önleyici katkılarda tane büyüklüğü dağılımı ve maddenin yağ absorpsiyonu çok önemlidir. Kaydırıcı ile birlikte kullanılan bloklama önleyicilerde yağ absorpsiyonu önemlidir.

2.3.1 Polietilen üretim teknolojileri

Polietilen, yüksek ve alçak basınç prosesleri olmak üzere belli başlı iki temel yöntemle üretilir. Yüksek basınç prosesi ile alçak yoğunluklu polietilen ve kopolimerleri, düşük basınç prosesiyle ise yüksek yoğunluklu polietilen ve yeni geliştirilmiş olan lineer AYPE türü üretilir. Ayrıca yeni geliştirilen düşük basınç proseslerinde orta yoğunluklu polietilen üretilmekte olup, istenildiğinde aynı proseste hem yüksek yoğunluklu hem alçak yoğunluklu polietilen üretmek mümkündür. Polietilenler sanayide aşağıdaki gibi adlandırılır.

AYPE : LDPE : Alçak yoğunluklu polietilen
 YYPE : HDPE : Yüksek yoğunluklu polietilen
 OYPE : MDPE : Orta yoğunluklu polietilen
 LAYPE : LLDPE : Lineer alçak yoğunluklu polietilen

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) bir otoklavda veya boru tipi tübular reaktörde, etilen monomerlerinin 1200-3000 atm basınç ve 130-350°C sıcaklıkta, organik peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir. AYPE'nin yoğunluğu 0.910-0.925 gr/cm³ arasında değişir.

YYPE ise titanyum tetraklorür katalizör (Ziegler – Natta katalizörü) ve organometalik kokatalizörler yardımıyla 10-20 atm basınç ve 70-80 °C sıcaklıkta etilenin polimerizasyonu sonucu elde edilir. Yüksek yoğunluklu polietin (YYPE) dallanmamış moleküler yapıya sahip olup yoğunlukları 0.948-0.968 gr/cm³ arasında değişir.

Orta yoğunluklu polietilen (OYPE) yoğunluğu 0.926-0.948 gr/cm³ arasında olup, yüksek veya alçak basınç proseslerinde elde edilir.

LAYPE 1985 li yıllarda hızlı bir şekilde ortaya çıkan polietilen türü olup düşük basınç ve düşük sıcaklıkta gaz fazı reaktörlerde üretilir. Yoğunluğu normal AYPE gibi olup düşüktür.

2.3.2 Uygulama alanları

AYPE filmler parlak, şeffaf ve ucuz olup, işlenmesi kolaydır.

Filmlerin uygulama alanları:

- Yiyecek paketlenme
- İnşaat örtüsü
- Ziraat örtüleri
- Çöp gübre torbaları
- Büzme ile sarma alanları

YYPE ve AYPE ekstrüzyon kalıplama alanında çok yaygın kullanılır. YYPE, kasa, yeraltı kanalları ve büyük boy eşya yapımında; AYPE ise, esneklik, sertlik ve parlaklık istenen yerlerde kullanılır.

Üfleme ile kalıplama yolu ile AYPE 'den sıkılabilen şişeler imal edilir.

Yeni bir tüketim sahası da oto benzin depolarıdır. Bu amaç için yüksek molekül ağırlıklı yüksek yoğunluklu polietilen kullanılır. AYPE kağıt, kumaş gibi yüzeylerin kaplanmasında kullanılır. Bu kaplama, yüzeye sertlik verdiği gibi yüzeyin düzgün olmasını sağlar ve dış şartlara karşı direncini artırır (süt kapları, meyve suyu kutuları).

PE' den tel ve kablo imali giderek yaygınlaşmaktadır. Tüm PE' ler bu alanda kullanılır.

Yüksek molekül ağırlıklı, yüksek ısı kararlılığı, karbon siyahı AYPE ' ler kabloların dış kılıflarında kullanılır. Karbon siyahı bu kılıfın UV ışığına dayanımını artırır. Erime indeksleri 0.2-0.5 gr/10 dak. arasındadır [2].

2.4 Takviye Malzemeleri

Kompozit malzemelerin yapımında kullanılan reçineler, pek çok malzeme ile takviye edilebilirler. Bunların en çok kullanılanları, plastik fiberler, metal veya hafif metal fiberler, tabii fiberler, cam fiberler, grafik ve karbon fiberlerdir [28].

3.POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

3.1 Elektriksel Özellikler

Yıllar önce, plastikler henüz sanayideki yerini almamışken, elektrik kablosu üretiminde yalıtkan madde olarak lastik kullanılırdı. Üretim güçlüğü ve zaman kaybı yanında bu tür yalıtkanlık, aradan yıllar geçince, yapı bozunmasıyla tehlikeli akım kaçaklarına sebep olurdu. Plastikler sayesinde dayanıklı ve istenilen kalitede yalıtma ve diğer elektrik malzemelerini ekonomik olarak yapmak mümkün olabilmiştir [9]. Biraz ısının açığa çıktığı bazı elektrik devre elemanlarının yapımında, sıradan termoplast plastiklerin kullanımı sakıncalı ise de, yumuşama sıcaklığı yüksek, hatta bazı dolgularla ısıl özellikleri iyileştirilen termoplastlar ve termoset ürünlerin kullanımı mümkündür [7]. Fenol formaldehit, melamin formaldehit ve halojenli plastikler, tipik birer örnek olarak verilebilir.

Alışlagelenin dışında, bazen, özel amaçlar için plastiğin iletken olması gerekir. Sıradan plastikler için bu amaca, bileşimine metal tozları, grafit, karbon siyahı gibi maddeler katılarak ulaşılabilir [8]. Son zamanlarda üzerinde çalışılan poliasetilen ve benzeri plastiklerin dolgu maddesine gerek kalmadan iletken özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Kablo yapımı ve metalden yapılan diğer elektrik malzemeleri için bakıra alternatif olarak kullanılabilceği düşünülmektedir [2].

3.2 Kimyasal Özellikler

Genelde çoğu plastik maddeler, belirli derişimlerde asitlere ve bazlara karşı dirençlidirler. Bu direnç, plastik türlerine göre az çok değişmektedir. Polietilen, polipropilen, apoksi ,poyester, süflon, vinil plastikleri kuvvetli asitlere ve bazlara karşı dirençli plastiklerin tipik örnekleridir. Akrilik, fenolik, poliasetal ve termoplast poliester ise kuvvetli asit ve bazlara karşı direnç göstermeyen ürünlerdir [13]. Son yıllarda geliştirilen yüksek performanslı termoplastikler iyi ısı ve kimyasal dirence sahip olarak karakterize edilirler. Bunlar Polikarbonatlar, polietilen ve polyesterler gibi termoplastikler örnek verilebilir [12].

Açık hava koşullarından her plastik farklı şekillerde etkilenir. Nemin plastikler üzerinde kimyasal bir etkisi yoktur.

3.3 Mekanik Özellikler

Türlerine göre, plastiklerin mekanik özellikleri çeşitlilik gösterir. Yüksek mekanik özelliklere sahip olanlarınki demir dışı metallerinkine yaklaşıır. Bununla beraber metallerinkinden yüksek de olabilir. Sertlik, çekme ve basma dayanımları genelde metallerinkinden daha düşük değerlerdedir.

Sürünme dayanımı plastikler için de çok önemli bir mekanik özelliktir. Statik ölçümler, teknoloji gereksinimlerini her zaman yeterli bir şekilde karşılayamayabilir. Biçimlendirilmiş bir plastik parça. basınç, sıcaklık gibi faktörlerle belirli bir süre zorlanırsa, ilk andaki mekanik değerlerinde düşmeler görülür.

Termoplastik polimerler üstün özellikleri nedeni ile fiber takviyeli kompozitlerde matris malzemesi olarak en uygun malzemedir [4]. Termoplastik polimerlerin özellikleri, çevresel etkilere dayanımı, yüksek darbe dayanımı ve iyi geri dönüşüm kabiliyetlerinin olmasıdır [5]. Özellikle poliamid polimerler yüksek sıcaklıklarda uygun mekanik özellikleri ile son derece düşük maliyetli malzemelerdir. Termoplastik malzemelerde sünekten gevrek malzemeye kadar her birinden bulmak mümkün bu nedenle değişik mekanik özellikler elde edilebilir [6].

Bazı plastiklerin belirli mekanik özelliklerine ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

Akrilonitril : Çekme ve darbe dayanımları yüksek , uzaması az. Epoksi aynı özelliklerde

Fenolik : Sert , kırılğan, çekme dayanımı dolgu maddesine göre yüksek veya düşük , uzaması çok az

Melamin : Fenolik gibi, ancak çekme dayanımı daha yüksek

Polikarbonat : Çekme, sürünme ve darbe dayanımı yüksek

Poliüretan : Çekme dayanımı değişik , darbe dayanımı yüksek , uzaması çok fazla.

Darbe dayanımı, malzemenin çarpmalara karşı dayanıklılığının bir ölçüsüdür. Denemelerde elde edilen sonuçlar kesin ve güvenilir olmamasına rağmen malzemenin çarpma direnci, başka bir deyişle enerji absorblama yeteneği hakkında fikir vermektedir. Buna göre yüksek çekme direnci ve orta derecede uzaması olan plastiklerin, çarpma direnci iyidir. Diğer taraftan, yumuşak fakat zayıf malzemelerin çarpma direnci mükemmeldir. Sıcaklık artışı plastiğin uzamasını arttırdığı gibi, çarpma direncini de artırır. Sıcaklık düşünce kırılğanlık artar. Bu yüzden plastik seçilirken, düşük sıcaklıklardaki mekanik özellikleri dikkate alınmalıdır [9].

3.4 Termal Özellikler

Plastiklerin en önemli ısıl özellikleri, ısı iletkenliği, ısı genişmesi (boyca), ısıya dayanıklılık, erime sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı ve yanma oranı incelemesidir.

Plastikler genelde çok küçük ısı genişmesi katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısına sahiptirler. Özellikle köpük, plastik haline getirildikten sonra, yalıtım değerleri daha da yükselir.

Yumuşama ve erime sıcaklıkları daha çok termoplast ürünler için söz konusudur. Termoset ürünler ise genelde daha yüksek ısıl özelliklere sahiptirler. Termoplastlar genelde 50 ila 125 °C sıcaklıktaki ortamlarda kullanılabildiği halde termosetler 110 ile 300 °C 'de bile dayanıklıdır. Keza yanma özellikleri de plastiklerde çok değişiktir.

Yüksek sıcaklıktaki ortamlarda termoplastik kompozitlerin performansı morfolojisine ve polimer matrisin Tg camı duruma geçme sıcaklığına bağlıdır [14]. Tg' nin altındaki polimerler ya amorf yada yarı kristal yapıdadır. %100 kristal yapıdaki polimere Tg sıcaklığı yerine Tm (ergime sıcaklığı) uygulanır, fakat aşırı kristalizasyon reçinenin yumuşaklığında bozulmasına neden olacaktır [15]. Tg ve Tm sıcaklıkları arasında yarı kristal polimer, rijit kristal bölgede az miktarda amorf matrisin içine dağılmasıyla oluşur. Bu yüzden polimerler esnektir. Yarı kristal termoplastiklerin özellikleri önemli ölçüde azaltmıştır, buna karşılık amorf termoplastiklerde daha azdır, yük taşıma özelliklerini yitirmemektedir. Fakat ergime sıcaklığının üstünde değil. Amorf termoplastikleri eritmek için tam bir ergime sıcaklığına sahip olmadığından kristal yapısı birleştirilemez [16]. Tg sıcaklığı üstündeki amorf termoplastiklerin mekanik özelliklerinde büyük kayıplar meydana gelmektedir. Kompozitin kullanılabilecek sıcaklığı matris malzemesinin Tg sıcaklığının 25-30 °C altındadır.

Termoplast plastikler, ısı ile yumuşamalarından yararlanılarak çeşitli yöntemlerle biçimlendirilirler. Termosetler de nispeten ısıya dayanıklı olduklarından elektrik malzemeleri yapımında fazla miktarda kullanılırlar.

3.4.1 Isı iletkenliği

Plastiklerin ısı iletim katsayısı, metallerinkine oranla daha dūşüktür. Çünkü metallerde ısı iletimi lokalize elektronlarla olurken, plastiklerde moleköl zincirinden atlamayla olur. Bu da ısı iletkenliği oldukça dūşürür.

Kompozit malzemelerde plastiklerin kullanılması, bunların da ısı iletim katsayısının dūşük olmasına neden olur. Benzer şekilde plastik yapı içinde hava kabarcıklarının olması bu maddenin ısı iletim katsayısını daha da dūşürür.

Çizelge 3.1 Bazı sık kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları [2,17].

MALZEME CİNSİ	ISI İLETİM KATSAYISI (W/m.K)
Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	0.48
Dūşük Yođunluklu Polietilen (AYPE)	0.33
Naylon (Poliamid)	0.24
Epoksi	0.19
Polikarbonat	0.20
Polipropilen	0.12
Polisitiren	0.11
Durgun hava	0.024

3.4.2 Özgöl ısı

Özgöl ısı, birim kütlenin sıcaklığını 1 °C arttırmak için gereken ısıdır. İlk bakışta demir veya gibi bir malzemenin daha küçük yoğunluklu bir malzemeye göre daha dūşük özgöl ısıya sahip olması şaşırtıcı gelebilir. Ancak özgöl ısı birim hacim ile değil, birim kütle ile ilgilidir. Polimeri ısıtırken ve eritirken özgöl ısının sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu unutulmamalıdır. Kristal ergime geçişinde gizli füzyon ısısı nedeniyle önemli değişiklikler olabilir. Kristalik yapı göstermeyen polimerler, yumuşama sıcaklıklarında, pik noktasında birçok düzensizlik gösterir. Çizelge 3.2' de oda sıcaklığında bazı malzemelerin özgöl ısı değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.2 Bazı malzemelerin 300 K deki özgül ısıları [2,17].

MALZEME CİNSİ	ÖZGÜL ISI (J/kg.K)
Bakır	385
Demir	444
Alüminyum	900
Poliformaldehit	1214
Naylon	1599
Polipropilen	1789
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	1855
Düşük Yoğunluklu Polietilen	2315
Tabii Kauçuk	1817
Etanol	2457
Su	4181

3.4.3 Isıl genleşme

Isıl genleşme genellikle plastik malzemelerin işletmesinde ortaya çıkan önemli bir problemdir. Birçok polimerin ısı genleşme katsayısı $2-20 \times 10^{-5}$ aralığında değişir. Polimerlerin ısı genleşmeleri, yapıya inorganik dolgu maddeleri ilave edilerek önemli oranda düşürülebilir [18].

3.5 Termoplastik Kompozit Malzemeler Üzerine Bazı Uygulamalar

3.5.1 Ekstrüzyonla tasarım problemleri çözer

Delme, diş çekme, çentik açma, tutkal yapıştırma ve kaynak gibi ikinci işlemlerin hepsi mühendislik termoplastikleri ekstrüzyon ürünleri ile birleşiktir. Bir çok mühendislik termoplastiğinde sınırsız renk seçimi vardır. Tüm standart plastiklerin dekorasyon metotları mümkündür. Haddelenmiş mühendislik tipi genelde ölçme, tavlama veya boyama gibi daha ileri işlemler gerektirmez [10]. Ekstrüzyon işlemesi ucuzdur. Bununla birlikte komplike tüpler, hassas toleranslar, kalın veya ince duvarlar ve sonradan eklenen tasarım işleme maliyetini artırır [11].

3.5.2 Anti-sürtünme uygulamaları

Mühendislik termoplastikleri veya bunların karışımlarının haddeden çıkmış elemanları yataklarda, kayan yüzeylerde ve temas eden elemanlar arasında relatif hareketin olduğu her yerde kullanılırlar. Genelde ilave bir yağlama gerektirmez. Sıkça kullanılan reçineler Floropolimer, Naylon, Olifin ve Poliketon içerir. Miktarı arttırmak için bu ve diğer reçineler PTFE, Aramid fiber ve mobilden Disülfid ile karıştırılır. Kullanılacak malzemenin seçimi yüzeyler arasındaki basınç ve hıza, çevre şartlarına ve temas eden yüzeylerin durumuna bağlıdır. Anti-sürtünme ekstrüzyon kullanımı elemanların birleştirilmesi için imkan sağlar [18].

3.5.3 Zor çevre şartlarına mukavemet uygulamaları

Mühendislik termoplastik elemanları 300 °C ve -60 °C gibi sert çevre şartlarında kullanılırlar, radyasyona, gama ışınlarına, x ışınlarına ve mikrodalga, solvent, su, deniz suyu içeren organik ve mineral kimyasal malzemelere maruz kalırlar.

Aşırı sıcaklık kullanımı için malzemeler karışımlarda olduğu gibi floropolimer, poliketon, polisülfon, Naylon 11 ve Naylon 12 içerirler [18].

Şartlara bağlı olarak bir çok reçineler, alaşımlar ve karışımlar radyasyon etkisi altında yeterli hizmeti verecektir [20]. Floropolimerler, polilifinler ve naylonlar bunların karışımı gibi kimyasal mukavemet uygulamalarında kullanılır.

3.5.4 Mukavemet / sertlik / ağırlık uygulamaları

Mühendislik termoplastikleri, özellikle fiberleri ile karıştırıldığında ve özel tasarımlı şekillerde haddelendiğinde daha hafif ağırlıktaki metallerin sertlik ve mukavemetini sağlayabilirler. Rijid mühendislik termoplastiklerin çoğu, özellikle aramid, cam veya grafit karışımı olanları kullanılır. PVC, ABS ve polistren en düşük maliyet için kullanılırlar. PPO, Naylon 66 ve Polikarbonat fiyat ve miktar olarak orta derecededir. Polisulfonylar, Polidler ve Poliketonlar en çok gerek duyulan uygulamalarda kullanılırlar. Mekanik tasarımın tüm bilinen kuralları mühendislik termoplastiklerine başurmaktadır. Cam ve grafit fiber destekli malzemeler haddelendiğinde tamamen anisotropik olduğu akılda tutulmalıdır. Gerilim arttırıcılarından sakınmak zaruridir. Anti-sürtünme ve/veya statik dağılmanın kuvvet ile birleştirilmesi yaygındır. Bu elemanları birleştirmek ve ayırma hareketi ile montajı basitleştirmek için büyük kolaylık sağlar.

3.5.5 Statik iletkenlik uygulamaları

Mühendislik termoplastikleri mükemmel tabi yalıtkanlardır. Bununla birlikte, yüksek mukavemet, düşük ağırlık, düşük sürtünme ve çevre şartlarına mukavemeti gibi diğer özellikleri karışımlarına alaşımları ve katkı maddelerini genişleterek bu malzemelerin yeterince iletken olmasına imkan sağlar. Bu iletkenlik kalıcıdır, nemden bağımsızdır ve ortadan kaldırılamaz. Gerçekte tüm müh. termoplastikleri statik dağıtma uygulamalarında kullanılır. Çevre şartları ve mekanik gereksinimler malzeme seçimi için kriterlerdir. Sıkça kullanılan iletken dolgular, desteklemeler iletken organikler, karbon tozu ve grafit fiber ihtiva ederler. Paslanmaz çelik fiber ve alüminyum tabaka daha büyük iletkenlikleri için kullanılır. Statik dağılan bir kalıpsal eleman tasannu hemen hemen daima elemanlarda pekleşme ile sonuçlanır. Her hadde şeklinde malzemenin davranışı farklı olacağından bu tasarımlar dikkatle yürütülmelidir.

3.5.6 Düşük yanma, tutuşkan olmayan, anti gaz uygulamaları

Organik malzemeler olduğu için çoğu termoplastikler yanar. Yandıkları zaman zararlı gazlar ve duman çıkarırlar. Bununla birlikte, Mühendislik termoplastikleri hava taşıtlarında otomobillerde ve toplu taşımının tüm alanlarında ve tehlike riskini metot ve malzemelerin geliştirilmesiyle evlerde kullanımı yaygındır. Şimdi polisülfonlar ve poliketonlar gibi tutuşturması ve yanması son derece güç olan reçineler vardır. Reçinelere eklenebilen halojen olmayan katkı maddeleri tutuşma riskini büyük ölçüde azaltır, ateşi söndürür ve gaz duman çıkmasını büyük ölçüde azaltır [18].

4. İLERİ TERMOPLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

Yüksek performanslı termoplastik kompozit üretiminde bilgi eksikliği bu yeni malzemelerden yeteri kadar yararlanamamamıza neden olmaktadır. Termoplastik kompozit üretimindeki teknikler ile ortaya çıkan malzemelerdeki yeniliklere rağmen termoset kompozit malzemelere göre daha az makale yayınlanmıştır. Fakat yapısal uygulamalarda yüksek kalite termoplastik kompozit parçaların ürünleri uzay endüstrisinde kullanımı artmıştır. Yenilenen üretim teknikleri sayesinde termoplastiklerin kolayca işlenmesinde önemli engellerin (yüksek ergime viskozitesi, yüksek işleme sıcaklığı) üstesinden gelmek için araştırılmış ve geliştirilmiştir. Bu bölümde sürekli fiber takviyeli kompozitlerin üretiminde ileri termoplastik matrisler ile ilgili literatür çalışması yapılmıştır. Termoplastiklerin avantajları ve dezavantajları, termoset kompozitler ile karşılaştırılması incelenmiştir.

4.1 Avantajları / Dezavantajları

Termoplastik kompozitler ile termoset kompozitleri kıyasladığımızda termoplastik kompozitlerin en önemli üstünlükleri sınırsız depolama süresi, kısa sürede işlenebilirlik ve geri dönüşümünün olması nedeni ile tekrar tekrar ergitilip işlenebilmesidir. Bu avantajları termoplastikleri ekonomik kılar. Çoğu termoplastik kompozitlerde depolama süresi sınırsızdır ve işleme süresi termoset kompozitler gibi saatlerden çok dakikalar ile sınırlıdır. Çünkü fiber ile matrisin birleşiminden önce polimerizasyon tamamlanmıştır [24]. Termosetlerde olduğu gibi üretim esnasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar için bir süre gerektirmez. Termoplastikler termosetlerdeki gibi denenmiş ekzoterm eksikliğinden dolayı çeşitli ısıtma ve soğutma değerlerinde hala işlenebilir olmasıdır. Üretim esnasında son derece sık karşılaşılan ürünün tamiri göz önünde tutulursa bu çok önemli bir neticedir. Yarı kristal termoplastiklerdeki soğutma değerinin kontrolü morfolojik yapı ve kompozitin mekanik özelliklerini belirlemede çok önemlidir.

Eritilmiş termoplastiklerin kabiliyetleri yeni üretim teknolojisinin gelişmesine liderlik eder. Termoplastik tabakalarda görünen boşluk ve hatalar yeniden birleştirilebilmesi nedeni ile bu hatalar ortadan kaldırılırken, termosetlerde ise bu yapılamaz. Malzemenin fazlalıkları veya talaşları yeniden kullanılabilir. Düzgün birleştirilmiş bir levhadan kompleks üç boyutlu parçalara dönüştürme ve şekillendirme yapılabilir. Bir kompozitin toplanmasında gereken adhesiv yapışma ve mekanik bağlayıcıları ayrı tutarsak kompozit parçaları termal olarak ilave edilebilir [19].

4.2 Fiberlerin İşlenmesi

Gelişmiş kompozit özellikler için su ve kimyasal dayanımı iyileştirmek gerekir. Fiber-reçine ara yüzeyi arasındaki ıslatma çok önemlidir. Gerçekte çoğu termoplastik fiber ile birleştirilmeden önce polimerizasyon gerçekleşir, nispeten soy hale getirilen fiber ile matris arasında iyi bir birleşmenin başarılması genellikle zordur [24]. Buna karşı çoğu termoplastik bağların eklenmesi dışında iyi bir fiber-matris ara yüzeyi içinde karbona eğilim gösterir [19].

Fiber takviyesi yapışmayı geliştiren ve yükselten bir yöntemdir. Fiber takviyeleri üzerine yapılan literatürdeki çalışmaların çoğu termosetler üzerinedir. Buna karşın termoplastik kompozitler için fiber takviye edilmesi yöntemleri patentler alınmıştır [24]. Takviye edilecek fiberin seçimi termoplastiğin çeşidine ve fiber tipine bağlıdır. Uygulamanın boyutlandırılması ve uygun bağlama boyutu için reaktif yerlerdeki fiberlerin temizliğine, dağlanmasına ve oksitlenmenin önlenmesi önemlidir [24]. Bu operasyonlar fiberlerin (elle) işlenmesini azaltmak için fiber veya prepreg şeklinde aynı zamanda tamamlanır. Bir boyutlandırmanın uygulanabilmesi; uçucu olmamasına, kolay uygulanabilmesine, matris ile uyumuna ve termal olarak kararlılığına bağlıdır. Bir fiber takviye işleminin termoset kompozit için uygun hale getirilmiş ise aynı takviye işleminin termoplastik kompozitler için uygun olmayabilir. Yüksek performanslı takviye edilmiş termoplastiklerin yüksek işleme sıcaklığında, boyutlandırma esnasında mümkün olan bozulmalar önemli bir problemdir. 400 °C yakın sıcaklıkta plastiklerin hiç biri bozulmaya karşı koyamaz [19].

4.3 Fiber ile Matrisin Birleşimi

Termoplastik matrisler ile fiberlerin birleşiminde literatürde yayınlanan çok teknik vardır [24]. Bunlar eriterek kaplama, film yığma, toz kaplama ve fiber hibritleştirme olarak sıralayabiliriz. Bu yöntemlerin bazıları termosetler içinde kullanılmaktadır [19].

4.3.1 Eriterek kaplama

Eriterek kaplama, fiber ile matris birleşiminde yaygın kullanımı olan bir yöntemdir. Başlangıçta fiber çekilerek burma makaradan çözülür ve daha iyi yönlendirebilme yapmak için taraktan geçirilir. Fiberler sonra bir makara veya hava jetine maruz bırakılarak çok sayıdaki fiberi mümkün olan polimere yaymak ve prepreg malzemedeki boşlukları en aza indirmektir. Erimiş polimer kalıp içine ya ilave edilerek yada reçine kalıplama gibi kağıt üzerine döşenerek fiberler kalıp içinde beslenir ve sonra kaldırılır. Bu aşamada sadece fiber demetlerine ve

fiberlere tek tek kaplama yapılması için eriyik üstüne basınç uygulanır. Basıncın önemi fiberlerin tamamen emdirilmesi için gereklidir. Kalıp çıkışında sıcak şerit soğutulur ve sarılır.

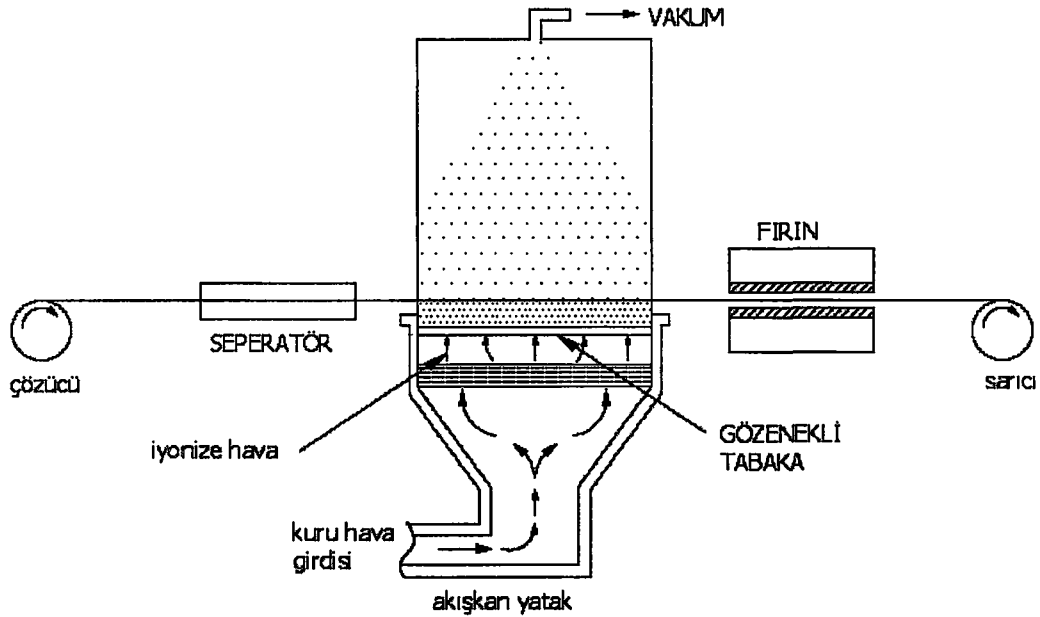
Eriterek kaplamada halen emdirme metodu tercih edilir. Islatmayı genellikle mükemmel yaptığından az bir boşluk içerir, fakat elde edilen prepreg bükülmez, serttir. Eriterek kaplama metodu çok yüksek erime vizkositesine sahip termoplastik polimerleri işleme için uygun değildir. Termal olarak birkaç tehlikesi vardır. Isıtıldığında vizkositesi düşer polimerlik azalır [24].

4.3.2 Film yığma

Film yığma termoplastik polimer film veya toz katmanlarını birlikte kumaş veya şerit şeklinde takviye fiber katmanlarına serpilmesinden meydana gelir. Fiberlerin ıslatılması birleşme işlemi esnasında gerçekleşir. Yüksek kalitede tabaka elde edilmesi minimum boşluk ve fiberlerin iyi birleştirilmesine bağlıdır. Fiber demetlerini yüksek basınç ve sıcaklık ve/veya uzun süren kalıplama çevrimi ile birleştirmek gerekir [19].

4.3.3 Toz kaplama

Toz kaplama; yüksek erime viskoziteli, düşük çözünürlüklü termoplastik malzemelerle çalışma zorluğunun üstesinden gelen, cazip ve sürekli bir prosestir. Şekil 4.1'de Georgia Teknoloji Enstitüsünde geliştirilen toz kaplama prosesini göstermektedir [24]. İnce toz formundaki polimer (genelde 2 μm -50 μm çapta, ancak 90, 110, 240 μm de olabilir) yüklenir ve sıvılaştırılır. Toz, elektrostatik bir yöntemle sıvılaştırılmış bir yataktan geçen fiberlerde çöktürülür. Fiberler üzerinde toz biriktirme yapılabilir. Sıvı süspansiyonu hava sıkıştırmanın bir çeşididir. Sıvılaştırılmış yataktan çıkmakta olan kaplanmış fiberler hemen haddelenebilir veya polimerin fiber üzerinde eridiği bir fırına verilir, sonra soğutulup haddelenir. Nihai ürün (towpreg) iyi kıvrımlara ve bağlayıcı kullanılması durumunda iyi bir birleşme olur. Eğer kaplanmış fiberler ısıtma ve eritme prosesine girmezse fiberlere daha az yoğun gerilme empoze edilir, ancak ileri tutuş esnasında tozun fiberlerden ayrılmasına dikkat edilmelidir. Toz ayrılmasından kaçınmak için tutuş veya biriktirmeden (toplama) önce prepreg üzerine su püskürtülebilir.



Şekil 4.1 Toz kaplama işlemi [19].

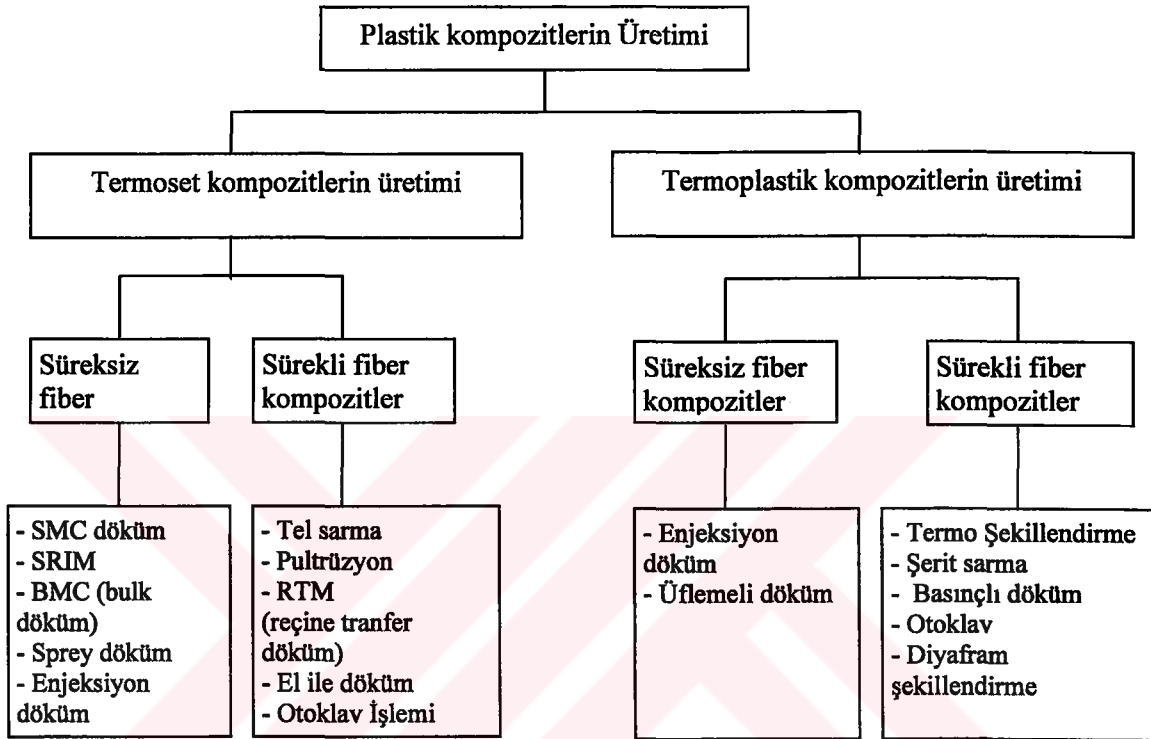
4.3.4 Fiber hibritleştirme

Fiberler ile termoplastik matriks malzemelerin birleştirilmesinde başka bir yaklaşım da büyük gelişmelerin kaydedildiği fiber hibritleştirmedir. Toz kaplamada olduğu gibi karışım teknolojisinde; yüksek ergime viskozitesi ve düşük çözünürlüğe sahip polimer kullanılması uygundur. Proses, fiber destekli bir tel ile termoplastik bir malzemedan bükülmüş bir telin birleştirilmesinden ibarettir.

Birleştirme sırasında çok karmaşık hatlara, ön ısıtmasız ve tel ayırtmadan uygun örülmüş yapılar dizayn edilebilir. Isı ve basınç altında termoplastik tel erir takviye fiberleri ıslatır. Yoğun fiber ağının iyi ıslatılmasını sağlamak için karışık örülmüş örgülerde birleşik yönlü termoplastik prepreglere nazaran daha uzun işlem süresi ve/veya daha yüksek sıcaklık ve basınç gerekir.

4.4 Şekillendirme Teknikleri

Şekillendirme iki boyutlu tabakanın üç boyutlu hale getirilmesidir. Konu üzerindeki literatürün yeni olmasına ve yaygın olmamasına rağmen, büyüyen bir ilgi ve termoplastik kompozitler için elverişli şekillendirme prosesi geliştirme çalışmaları sürmektedir [19].



Şekil 4.2 Termoset ve termoplastik kompozitlerin işleme tekniklerinin sınıflandırılması [18].

Tipik olarak termo şekillendirme bir ön formu harici bir fırında şekillendirme sıcaklığına ısıtmaktan ibarettir. Isıtma; infrared radyasyonla, ısıtılmış levhalar arasındaki ısı alış veriş veya konvensiyonel fırın ile yapılabilir. Daha sonra ön form haddenin kalıp tarafından belirlenen şekle getirildiği şekillendirme sistemine gönderilir. Şekillendirmeden sonra kompozit parça, şekillendirme sisteminden çıkarılmadan önce, basınç altında Tg sinin altına soğutulur. Kompozit parça kullanılan ön forma bağlı olarak son şekline getirilir. Bu ön form ya termoplastik prepreg tabakalarının birikimi düz ve dikdörtgen olan birleştirilmiş tabaka yada özel bir şekilde kesilmiş tabaka olabilir.

Parçadaki incelmenin belirgin olmasının beklendiği yerlerine daha fazla katman yerleştirilebilir. Ön form, son geometriye ve istenen mekanik özelliklere göre ya örgü yada

birleşik yönlü şeritten oluşturulabilir. Örgü tabakalar birleşik yönlü şeritlerden yapılan tabakalara göre daha düşük mekanik özelliklere sahiptir, ancak kullanımları çok daha kolaydır.

Parça geometrisine bağlı olarak, (malzeme davranış şekli ve uygulanan şekillendirme prosesi ile alakalı) iki boyutlu parçayı üç boyutlu kavisli yüzeye çevirmek büyük deformasyonlara sebebiyet verir [24].

Termoplastik parça üretim maliyeti ve parçanın kalitesi uygulanan şekillendirme prosesine bağlıdır. Bir şekillendirme prosesiyle üretilen belli geometrideki parça, başka bir şekillendirme prosesiyle üretilmiş hali kadar kaliteli olmayabilir. Şu anda termoplastik malzemeden parça şekillendirme tekniklerinin pek çok çeşidi mevcuttur. Bunlar eşli-kalıp pres şekillendirme, lastik ıstampalı pres şekillendirme, diyafram şekillendirme, hidro şekillendirme ve otoklav/vakum şekillendirmeyi kapsar. Bunlar kısaca aşağıda tanımlanmış ve pultrasyon, tel sarımı ve merdane ile şekillendirme prosesleri tanımları ile takip edilmiştir.

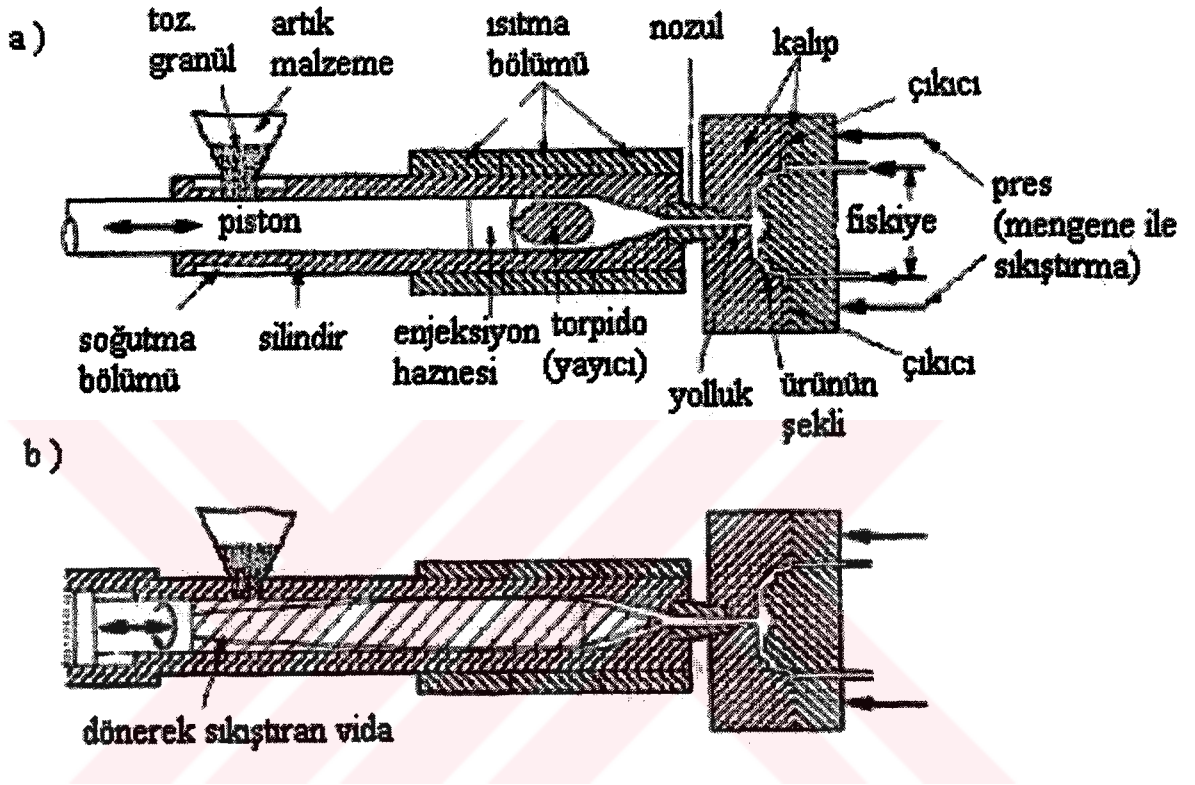
4.4.1 Eşli kalıp presle şekillendirme

Eşli kalıp presle şekillendirme en yaygın kullanılan şekillendirme yöntemidir. Daha önce de belirtildiği gibi kalıplar birleştirme esnasında düzenli basınç ve ısı transferi sağlamak için hassas olmalıdır. Soğuk işlemeye tabii tutulduğunda kompozitin çok hızlı soğumasından dolayı, şekillendirilen parçalarda eşli metal işleme başarısız bir yöntem olarak görülmektedir. Ayrıca metal kalıpların şekil değiştirmemesi yüzünden fiber yer değiştirmelerini kontrol etmek zordur. Genellikle rijid katı metal malzeme (alüminyum gibi) dışı işleme için kullanılır ve elastomerik malzeme, silikon lastik gibi, katı bir tabanda erkek kalıbı işlemek için kullanılır. Genel bir metal kalıba göre daha düzenli birleştirme basıncı uygulanır. Doğru seçilmiş metal takımların maliyeti düşer. Ancak elastomerik malzeme şekillendirme sıcaklığına dayanmalıdır.

4.4.2. Enjeksiyon kalıplama

Çok yüksek üretim miktarlarında çok büyük hacimli kompleks parçalar üretmek için tekli veya çok parçalı kalıplar kullanılarak yapılan bir üretim yöntemidir. Farklı termoplastik malzemelerle çok değişik mekanik, kimyasal, elektriksel ve ısıl özellikler elde edilebilir. Bu işlem normal plastik kalıplamak için kullanılan işleme benzer ancak cam elyaf ihtiva eden ve onları dağıtan besleyici deposu mevcut bulunmaktadır. Granül elde etmek için polimer tanecikler ve kırılmış elyaflar karıştırılır ve vidalı bir karıştırıcı da ısıtılır. Çok delikli kalıp aracılığıyla çekilir. Bu deliklerden geçirilen kırılmış elyaflar % 50 hacim oranlı çok ince dağılmış boyu 1 mm olan küçük tanecikler granüller haline dönüşür. Tanecikler enjeksiyon

makinasına gönderilir ve daha sonra soğuk kalıp içine enjekte edilir. Plastik kalıpta katılaştığında kalıp ayrılarak parça çıkarılır. Şekil 4.3 de enjeksiyon kalıplama düzeneği gösterilmiştir. Dişliler, valf gövdeleri, otomobil aygıtı panelleri ve yüksek boyutsal kararlılığa sahip ve tasarımı karışık parçalar üretilir.



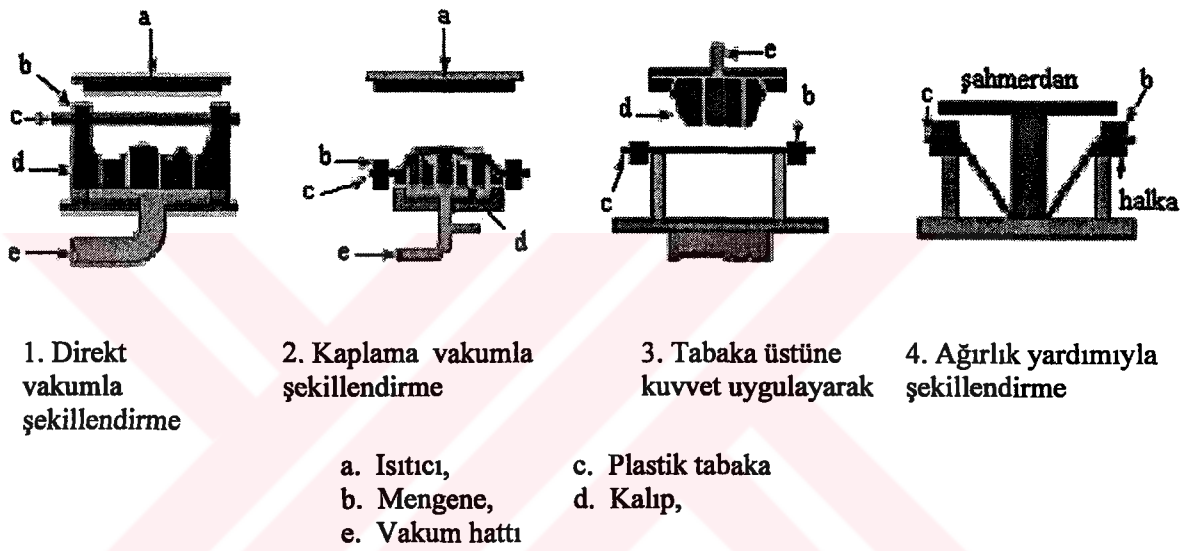
Şekil 4.3 Enjeksiyon ile kalıplama a) pistonlu, b) vidalı [29].

Kalıp olarak tek veya parçalı sertleştirilmiş takım çeliğinden yapılan kalıplar kullanılır. Naylon, polikarbonat, polietilen, polipropen ve polistülfın gibi bütün termoplastikler reçineler kullanılır. Bu metot ile en yüksek hacim ve yüksek uniformlu. büyük parça hassasiyeti ve tasarım esnekliği gibi avantajlar sağlanabilir. Çok küçük ve çok büyük kompleks parçalar ve diğer işlemlerle yapılamayan kalıplamalar da gerçekleştirilebilir. Reçine malzemesinin çokluğu mevcut bileşimler yanında renk katkı maddeleri ve çok özel kimyasal ve fiziksel özellikler elde edilebilir.

4.4.3 Termo şekillendirme

Bu metot takviyesiz termoplastikleri yapmak için başlıca uygulanan işlem olup, termosetler için kullanılanlarla aşağı yukarı aynı fakat matriks malzemesi olarak poliamid veya

polisüfitler kullanılır. Mükemmel yüzey görünümü ve dayanımlı parçalar üretmek için soğuk kalıplanmış cam elyaf takviyeli plastik laminelerle vakumla oluşturulan termoplastiklerin bileşimi ile meydana gelen özel bir işlemdir. Şekil 4.4'te ince bir termoplastik film oluşturmak için standart bir termo dönüştürücü genellikle "akrilik" kullanılır. Bu ince film soğuk bir kalıp içerisine yerleştirilir ve preform, mat veya termo-şekillenmiş katman içine püskürtme ile cam elyaf kompozit laminate uygulanır. İnce ön gömülmüş elyaflarla termoplastik filmlerin ve sürekli elyafların sıcak preslenmesiyle yapılır. Sonra preslenmiş olan gömülü birleştirilmiş levhalar kesilir.

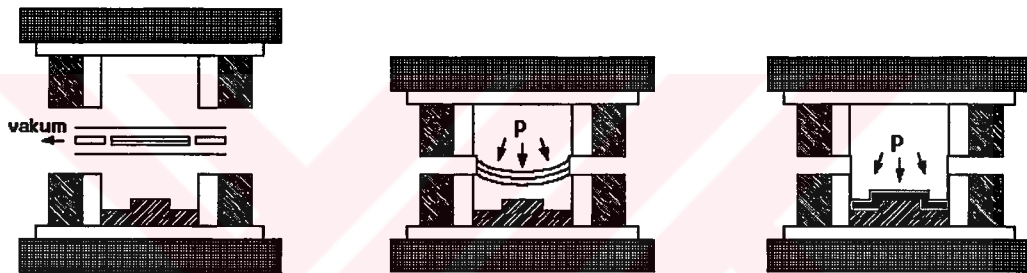


Şekil 4.4 Termoplastik tabakaların termo şekil değiştirme ile üretim yöntemleri gösterilmektedir [29].

İkinci alternatif işlem ise levha kalıplama teknolojisi fakat reçine olarak genellikle poliamid 6 veya polipropilin seçilir. Ön gömülmüş elyaf ergimiş termoplastik levhalar ve kırılmış rastgele düzleme sahip elyaflar ile yapılır. Bundan istenilen şekil kesilir. Daha sonra Tg geçiş sıcaklığı üzerinde ısıtılır ve soğuk kalıplar arasında preslenir. Sınırlı bir akma meydana gelir ve çevrim zamanı çok kısa olup yaklaşık 5-10 sn 'dir. Prepreg (ön gömülmüş) elyaf Tm sıcaklığı üzerinde ısıtılırsa tabakanın makineye transferi esnasında poliamid bez örtü üzerinde desteklenmelidir. Neticede bu da kalıbın bir parçası olacaktır. Fakat daha fazla akma sağlanarak çıkıntılı ve saplı parçalar üretilebilir. Hızlı katılan polyesterler ile akrilik termo şekillendirmiş levha matriks reçine olarak tercih edilir. Bu metod ile uzun elyaflarla mükemmel mekanik özelliklere sahip olan tabakalar üretilir. Bunlarda son bitirme yüzeyi ve görünümü iyidir. Termoplastik kabuk kompozitin darbe direncini iyileştirir [29].

4.4.4 Diyafram şekillendirme

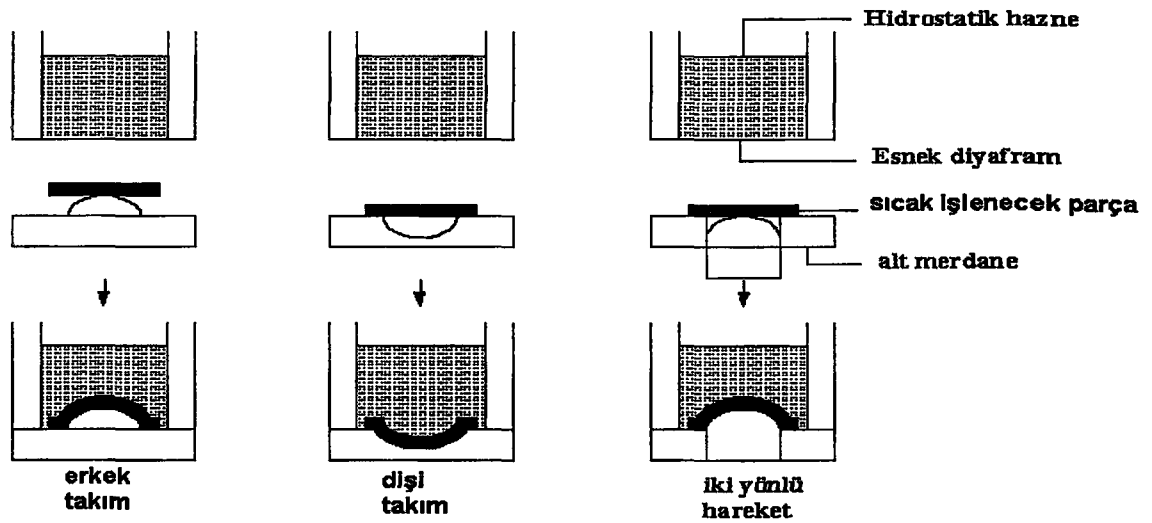
Diyafram şekillendirmede, iş parçası ve diyaframlar otoklav olabilen proses döngüsünde, proses sıcaklığına ısıtılır (şekil 4.5). Daha sonra pnömatik basınç altında, istenilen şekli üretmek için şekillendirme kalıbına preslenir. İş parçası gaz tahliyesi için genelde vakum altındadır. Basınç döngüsüne bağlı olarak, ısıtma/soğutma süresi nedeniyle çevrim süreleri uzun olabilir. Diyaframlar için kullanılan malzemeler, iş parçasının plastik şekil değiştirebildiği sıcaklık aralığında uzayabilir olmalıdır. En genel kullanılan malzemeler süper plastik alüminyum ve kapton (dupont tarafından), Upilex-R (UBE endüstri, Japonya) gibi polymide filmlerdir. Diyafram şekillendirme, şekillendirme prosesleri arasında en hassaslığı yakalayan olarak görülür [24].



Şekil 4.5 Diyafram şekillendirme işlemi [24].

4.4.5 Hidro şekillendirme

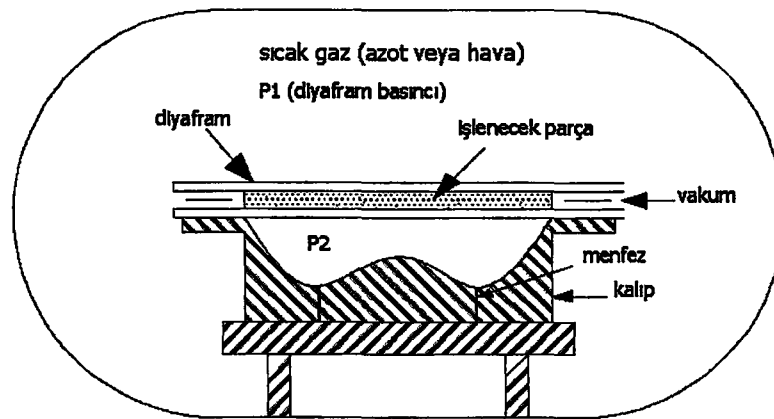
Hidro şekillendirme, kağıt-metal şekillendirmede yaygın kullanılan bir teknolojidir. Bu proses şekil 4.6 da gösterilmiştir. Üst levhaya yerleştirilen iş parçasından çok daha büyük bükülebilir bir diyaframdan (kalın lastik) ibarettir. Diyaframın arkasında bir akışkan vardır, genelde hidrolik akışkandır. Basınç altında, ön ısıtılmış iş parçası dişi veya erkek takımın şekline dönüşür. Yüksek basınçlar (Büyük sistemler için 69 MPa) ve düşük çevrim süreleri elde edilebilir. Bütün sistem basınç etkisi altında olduğu için çevredeki ekipmanlar (termokupl, ısıtma ve soğutma bağlantıları gibi) doğrudan takımın kendisine bağlanamaz [19].



Şekil 4.6 Hidro şekillendirme [19].

4.4.6 Otoklav / vakum ile şekillendirme

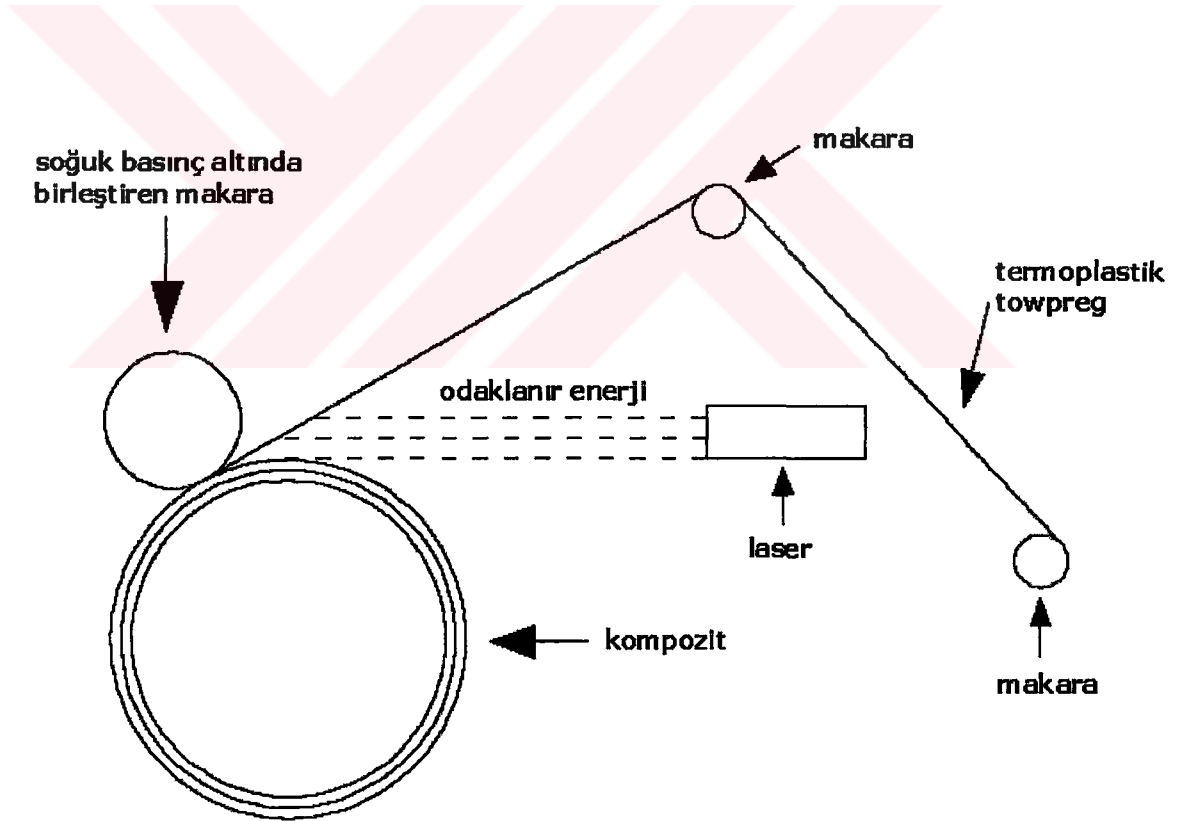
Otoklav / vakum teknolojisi özellikle diyafram şekillendirmeye benzer (Şekil 4.7). Vakum basıncı, iş parçası ve bükülebilir diyafram ile kaplanmış iş parçasını takıma uymaya zorlayan takım arasında çekilir. Termoplastik bir parçayı birleştirmek ve şekillendirmek için vakum tek başına yeterli değildir, yüksek basınçta gerekir. Şekillendirme boşluğu daha sonra hava ile basınç uygulanır. Otoklav büyük ise çevrim süreleri uzun olur. Ne var ki, otoklav mevcut ise bu yöntem caziptir ve yarı yarıya takım gereksinimi, işleme maliyetini düşürür [19].



Şekil 4.7 Otoklav/vakum ile şekillendirme [19].

4.4.7 Tel sarımı

Termoset kompozitlerin tel sarımı bir mandrelin aksi yönünde hareket ettirilerek polimer kaplı fiberlerin sarılmasına müteakip iyileştirilmesinden ibaret kullanışlı bir prosestir. Termoplastik kompozitle sarılan yapıların uzun ve maliyetli iyileştirme işlemi nedeni ile gerek yoktur. Aynı ancak biraz geliştirilmiş ekipman kullanılarak tel sarımı yapılabilir. Önceden birleştirilmiş tabakalara uygulandığından, gelen şeridi ergime sıcaklığına ısıtmak için bir ısı kaynağına ihtiyaç yoktur (şekil 4.8). Birleştirme, bir merdaneden uygulanan ısı ve basınç yardımı ile yapılır. Kullanılan ısı kaynakları sıcak gaz, alev, mikro dalgalar, endüksiyon, kızıl ötesi lambalar veya lazer olabilir. Isı ergitilmiş bölgeden çekildiğinde, malzemenin katılaşması gerçekleşir. Malzemenin mikro yapısını etkileyen soğutma oranı en çok şerit hızına ve ısı sınır durumuna (birleştirilmiş tabaka sayısı, mandrelin malzemesine) bağlıdır. Tel sarım ile PEEK/Karbon ve PPS üretilmektedir.



Şekil 4.8 Termoplastik kompozitlerin lif sarımı [24].

4.4.8 Pultrüzyon

Pultrüzyon, termoset kompozitler için kullanışlı, ancak termoplastik kompozitler için gelişmekte olan bir yöntemdir. Gerekli yüksek sıcaklık ve basınç kapasitesine sahip oldukları takdirde, termosetler için var olan pultrüzyon teçhizatı veya hafif modifiye edilmiş ekipmanlar, termoplastiklerle kullanılabilir. Çubuklar, yarım daireler, birleşik yönlü cam içeren tüpler veya PPS deki karbon fiberler gibi pultrüze edilmiş şekillerin yanı sıra karmaşık şekiller Philips Petroleum tarafından üretilmiştir. İyi birleştirme, iyi yüzey görünümü ve iyi mekanik özellikler elde edilmiştir. Yeniden şekillendirme veya sonradan şekillendirmek bu pultrüzyon yöntemi ile kolaylıkla uygulanmıştır.

4.4.9 Merdane ile şekillendirme

Metal işleme teknolojisinden uyarlanan merdane ile şekillendirme düz ve kıvrımlı yapıda termoplastik üretmek için geleceği parlak olabilir. Bu birleştirilmiş termoplastik kompozitlerin ergime sıcaklığına ön ısıtmak suretiyle, düzenli olarak seçilmiş bir merdane kalıbı ile şekillendirildiği otomasyonlu, sürekli bir süreçtir. 0,25 m/sn'e kadar merdane yüzey hızı elde edilebilir.

4.5 Termoplastik Kompozitlerin Tezgah ile İşlenmesi

Termoplastik kompozitler konvansiyonel metal tezgah takımları ile işlenebilirler ama takımları çok keskin (genelde elmas uçlu) ve kesme hızlarının yüksek olması gerekir. termoplastiğin doğasından dolayı, işleme boyunca soğutma sıvısı temin edilmelidir. Eğer soğutma sıvısı temin edilmez ise termoplastik matris, takım üzerinde eriyebilir. Arka yüzde fiber silinmesini engellemek için, yeterli arka yüzey desteği sağlanmalıdır.

4.6 Yeniden İşlenebilirlik

Hurda veya artık termoplastik kompozitleri tekrar ergitilerek eski haline dönüşür. Üretilen termoplastik tabakalardaki kusurları ortadan kaldırmak ve yüksek kaliteli ürünler üretmek için yeniden kalıplanabilir. Teorik olarak birçok kez yeniden işlenebilir, fakat bazı termoplastikler işleme çevrimlerini kısıtlayan nedenlerden dolayı termoplastik, termoset özelliği gösterir. Örneğin, havada ısıtma esnasında PPS ve PEEK (daha az uzama) oksidatif çapraz bağlamaya, zincirleme genişlemeye ve zincirleme kesme reaksiyonuna maruz kalırlar. Bu olaylar en çok havadaki oksijen yerine azot geldiğinde yavaşlar. Çapraz bağlama miktarı düşüktür ve termoplastik yeniden işlenebilir, ancak elde edilecek en iyi kristallik derecesi, orijinal

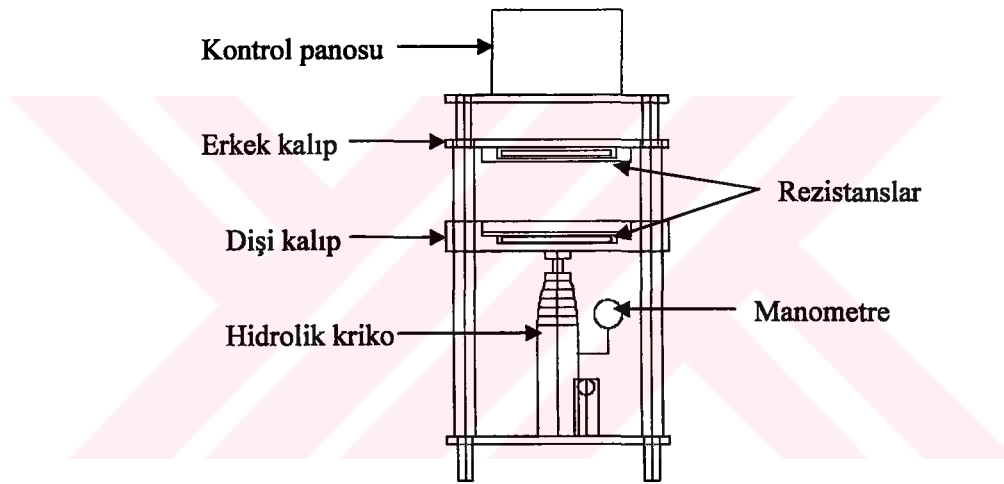
malzemedeki gibi olamaz ve bu işlem çevrim sayısını düşürür. Ayrıca kimyasal ve mekanik özellikleri de etkiler.

Belli termoplastiklerde meydana gelen çapraz bağlama durumu, özellikle termoplastiğin kaç kere yeniden işlendiği ile polimerizasyon derecesinin nasıl değiştiğine karar vermek ve bunun mekanik ve kimyasal özellikleri nasıl etkilediğini bulmak açısından, araştırılmalıdır [19].



5. DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmada eşli kalıplama yöntemi ile termoplastik kompozit imalatı gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1 'de görüldüğü gibi erkek ve dişi kalıbın içine yerleştirilen spiral rezistanslar kalıp içerisindeki sıcaklığın 200 °C'ye çıkması sağlanmıştır. Bu değerlerin okunabilmesi için Elimko 72 (dijital göstergeli) termometre kontrol panosuna ve K tipi termokapıl ise kalıba monte edildi. 10 ton kapasiteli hidrolik kriko sayesinde kalıba basınç uygulanmıştır, bu basınç değerinin okunabilmesi için 0-600 bar göstergeli manometre, hidrolik krikoya monte edilmiştir.



Şekil 5.1 Termoplastik kompozit üretim cihazı

Termoplastik kompozit üretim cihazında üretilen kompozitler çekme deneyi ile mekanik özellikleri (elastisite modülü (E), kayma modülü (G), poisson oranı (ν) plastisite sabiti (K) ve deformasyon sertleşmesi üssü (n) bulunmuştur.

5.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler

Matris malzemesi olarak alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) kullanılmıştır. Alçak yoğunluklu polietilen bir otoklavda veya boru tipi tübular reaktörde, etilen monomerlerinin 1200-3000 atm basınç ve 130-350°C sıcaklıkta, organik peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir. AYPE'nin yoğunluğu 0.910-0.925 gr/cm³ arasında değişir [2].

Çizelge 5.1 AYPE 'nin özellikleri [2].

Özellikler	Akma Gerilme dayanımı (MPa)	Kopma gerilme dayanımı (MPa)	Kopmada Uzama (%)	Elastisite modülü 1 mm/dak. (MPa)
AYPE	8,3	13,7	600	160

Takviye malzemesi olarak 0,3 mm çapında bakır tel kullanıldı. Kullanılan bakır telin özellikleri [21];

- Mükemmel soğuk ve sıcak işlenebilirlik
- Yüksek termik ve mekanik dayanıklılık
- Çözücülere dayanıklılık
- İyi dövme ile şekil değiştirme yeteneğinin olması
- Mükemmel korozyon direnci.

Çizelge 5.2 Kimyasal birleşimi [21].

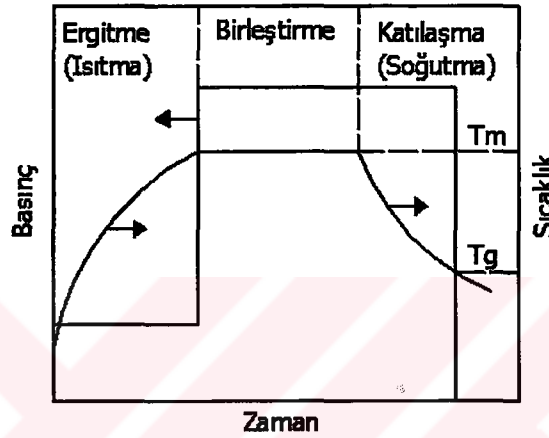
Cu
0.99

Çizelge 5.3 Bakırın mekanik özellikleri [22].

	Yoğunluk (gr/cm ³)	$\sigma_{çek}$ (MPa)	Poission oranı	Elastisite modülü (GPa)
Bakır	8,9	221 - 455	0,31	115

5.2 Termoplastik Kompozitlerin Birleştirilmesi

Fiber destekli termoplastik kompozit malzeme üretiminde tabakaları; ergimeye, birleştirmeye ve katılaştırmaya tabii tutulmalıdır [24]. Aşağıda tanımlanan bu adımlar, tabakaların birleştirilmesini gösteren tipik bir sıcaklık-zaman-basınç profilinin bulunduğu şekil 5.2’de belirtilmiştir.



Şekil 5.2 Birleştirme için basınç-sıcaklık-zaman diyagramı [19].

5.2.1 Ergitme

Termoplastik prepreg matrisler ergiyene kadar ısıtılır. Isıtma esnasında düşük basınç uygulanabilir. Eğer hiçbir kimyasal polimerizasyon reaksiyonu olmazsa, uçuların gelişmesi yok demektir ki bu hızlı ısıtma nedeniyle olmaktadır. Kristalli yapılarda en yüksek işlem sıcaklığı bütün küresel yapıdaki çekirdekçikler yerine, yeni ve daha düzenli kristalli yapı üretmek için ergime sıcaklığından daha yüksek seçilir [23].

5.2.2 Birleştirme

Matriks ergitildiğinde, tabakaları sıkı bağlantılı hale getirmek, boşluk oluşumunu engellemek, matriksin akmasını sağlamak, iyi bir tabakalar arası adhezyon ve tabaka ara yüzeyinde bağ yapısı sağlamak için bir birleştirici basıncı uygulanır [19]. Birleştirilmiş bir termoplastik kompozit basınç uygulanmadan ergime sıcaklığına ısıtıldığında ayrışma meydana gelir [24].

Termoplastikler için, yüksek ergime viskozitesi ve kısa işlem süresi nedeniyle bağlayıcının uçması ve boşluklu yapı, büyük zorun teşkil etmez. Bu çalışmada termoplastik kompozit 3 MPa civarı birleştirme basıncı uygulandı, ancak bazıları 7-9 MPa arası basınçlar gerektirebilir. Günümüz proses parametreleri gibi, süresini ve sıcaklığını da en aza indirmek hedeflenmiştir. Bu parametrelerin her hangi birinin indirgenmesi maliyeti düşürür, üretim oranını artırır.

Termoset proseslerinin aksine; enerji kayıplarından, suyun, uçucuların ve O₂ 'nin sebep olduğu boşluklu yapıdan kaçınmak amacıyla termoplastiklere vakum pek uygulanmaz. Bunun nedeni suyun emiliminin kolay olması, çözücünün birçok plastik ile kullanılmaması ve prosesin vakumsuz olarak daha kolay olmasıdır. Uygulanan birleştirme basıncı genelde sıkışmış gazları ortadan kaldırmaya yeterlidir. Yine de vakum işlemi kesinlikle gerekli olmamasına ve çok nadir uygulanmasına rağmen, önerilir [19].

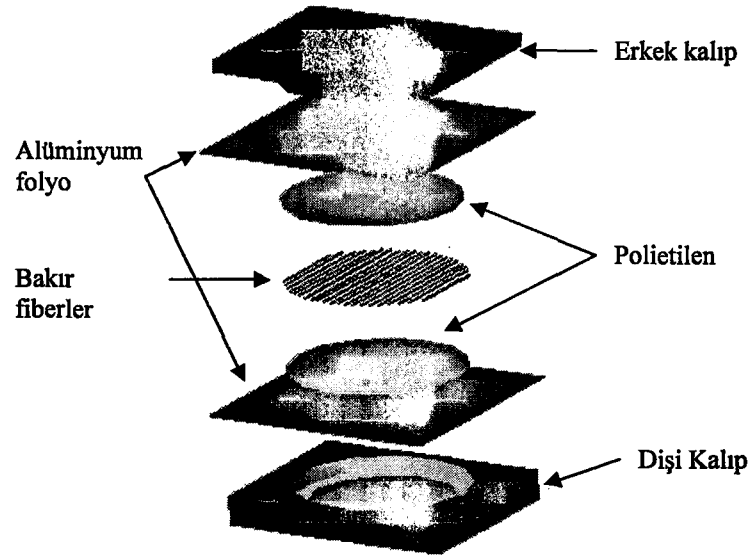
5.2.3 Katılaşma

Birleştirmeden sonra kompozit parça soğutulur. Genelde katılaşma süresince tabakalar arası ayrılmadan kaçınmak, termal ve kristalleşme çekmesinden kaynaklanan boşluklu yapıyı engellemek için birleştirme basıncının uygulanması sürdürülür. Basınç, kompozitin sıcaklığı T_g sinin altına indiğinde düşürülür. Yarı kristalli polimer için belirtildiği gibi kristalli yapı gelişimi mekanik özellikleri etkileyeceğinden soğutma işlemi önemli bir aşamadır [19].

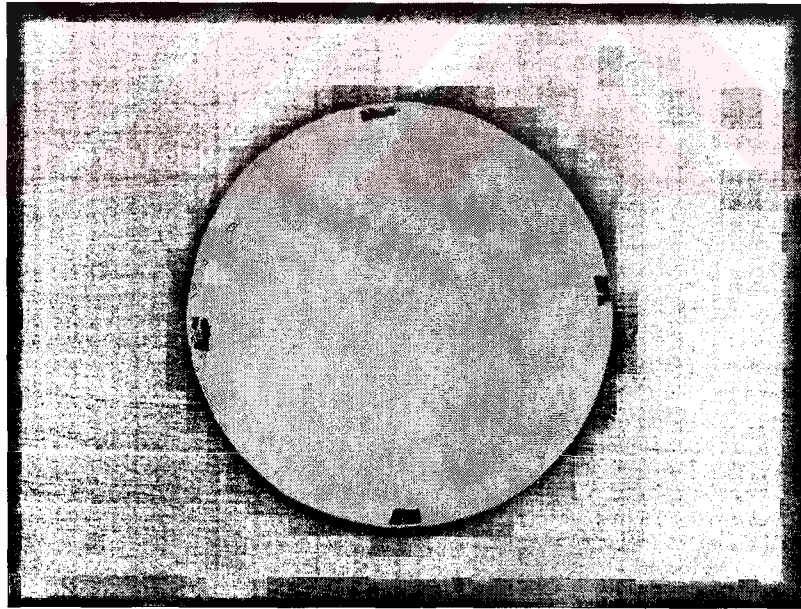
5.3 Kompozit Malzemenin Üretimi

Yapılacak deneyler için fiber ve polietilen plakalar kalıba göre kesilir. Oluşturulacak kompozit malzemenin homojenliğini sağlamak için fiberleri mümkün olduğunca düzgün yerleştirilir.

Şekil 5.3 de görüldüğü gibi çelik fiberin iki tarafına 2 mm kalınlığında polietilen levha ve onların da üstüne-altına çelik plakalara yapışmalarını önlemek için alüminyum folyo kullanılarak dişi kalıbın içerisine yerleştirildi. Daha sonra kalıp birleştirilerek 200 °C' ye kadar ısıtıldı. Bu sıcaklık değerinde hidrolik kriko ile manometrede 30 kg/cm² basınç altında 5 dak. bekletilerek kompozit malzeme şekillendirildi. Kompozit malzemedeki boşlukların oluşmaması için katılaşma esnasında T_g sıcaklığına kadar kalıba belirli aralıklarda basınç uygulandı. T_g sıcaklık değerinin altına inildikten sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı.

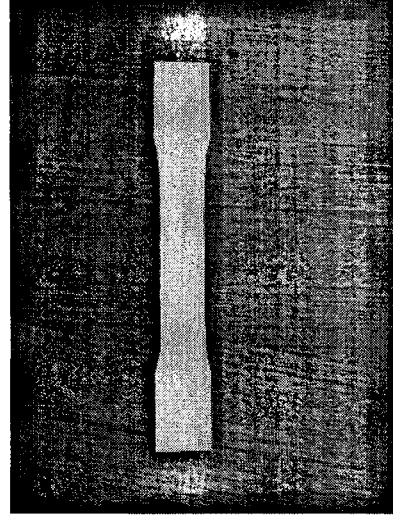
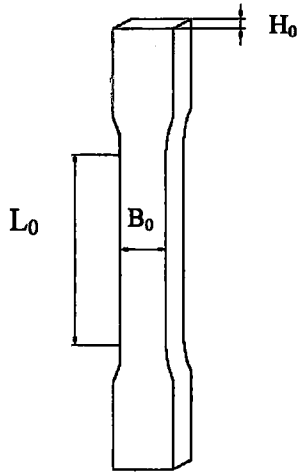


Şekil 5.3 Termoplastik kompozit malzemenin prosesi



Şekil 5.4 Üretilen termoplastik kompozit malzeme

Şekil 5.4' de eşli kalıplama yöntemi ile imal edilmiş termoplastik kompozit malzeme.



Şekil 5.5 Çekme deneyi için numune örneği

Şekil 5.5’de üretilen termoplastik kompozit malzeme çekme numune standartlarına göre boyutları $L_0 = 65$ mm, $B_0 = 15$ mm, $H_0 = 4$ mm çekme deney numunesi haline getirildi.

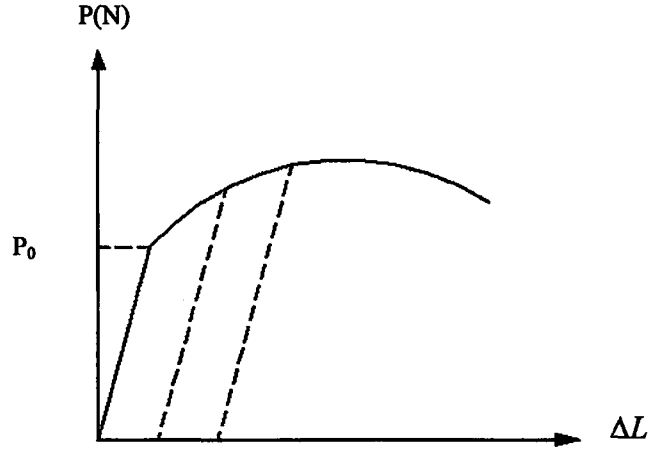
5.4 Hacimsel Konsantrasyonun Bulunması

Hacimsel konsantrasyonun bulunmasında formül (5.1) de görüldüğü gibi takviye elemanı olan fiberin hacminin, matris ve fiber malzemelerinin toplamına bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$HK = \frac{V_f}{V_m + V_f} \quad (5.1)$$

5.5 Çekme Deneyi ile Plastisite Sabiti (K) ve Deformasyon Sertleşme Üssü (n)’in Hesaplanması

Kuvvetin çubuk üzerinde oluşturduğu şekil değişimini bulmak ve kuvvetin çubuk kesitine nasıl dağıldığını incelemek için çekme deneyi yapılır. İlk boyu L_0 ve ilk kesit alanı A_0 olan kompozit parça çekme cihazında uygulanan P kuvveti yavaş yavaş artırılarak deney yapılır. Parça kopmadan deney durdurularak parçaya ait kuvvet (P), uzama (L) diyagramı elde edilir.



Şekil 5.6 Kuvvet-uzama diyagramı

Diyagramdan akma noktası tespit edilir. Akma gerilmesi;

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{A_0} \quad (5.2)$$

Malzemenin şekil değiştirme esnasında hacminin değişmeyeceği kabul edildiğine göre

$$A_0 \times L_0 = A \times L \quad (5.3)$$

ifadesinden A çekilerek ; gerçek gerilme

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P \times L}{A_0 \times L_0}$$

eşitliği ile yazılır.

Bu eşitlik plastik deformasyon bölgesi için

$$\sigma = \frac{P \times L_p}{A_0 \times L_0}$$

şeklinde yazılır.

Bu bölgede alınan her noktayı " i " indisi ile ifade edersek, eşitlik

$$\sigma_i = \frac{P_i \times L_{pi}}{A_0 \times L_0} \quad (i=1,2,3\dots n) \quad (5.4)$$

halini alır.

Plastik uzamalara (ΔL_{pi}) karşılık gelen yükler (P_i) diyagramdan okunur.

$$L_{pi} = L_0 + \Delta L_{pi} \quad (5.5)$$

Her noktaya karşılık gelen σ_i gerilmeleri hesaplanır. Plastisite sabiti k ile deformasyon sertleşmesi üssü n 'in bulunması amacıyla plastik deformasyon bölgesinde geçerli olan LUDWIK denkleminde yararlanılır [25].

$$\sigma = \sigma_0 + K.\varepsilon_p^n \quad (5.6)$$

Burada σ : gerçek plastik gerilme

ε_p : gerçek plastik şekil değiştirme

$$\varepsilon_p = \ln \frac{L_{Pi}}{L_0} \text{ olmak üzere} \quad (5.7)$$

Ludwik denklemi:

$$\sigma = \sigma_0 + K.\varepsilon_p^n$$

$$\sigma - \sigma_0 = K.\varepsilon_p^n$$

$$\ln(\sigma - \sigma_0) = \ln K.\varepsilon_p^n$$

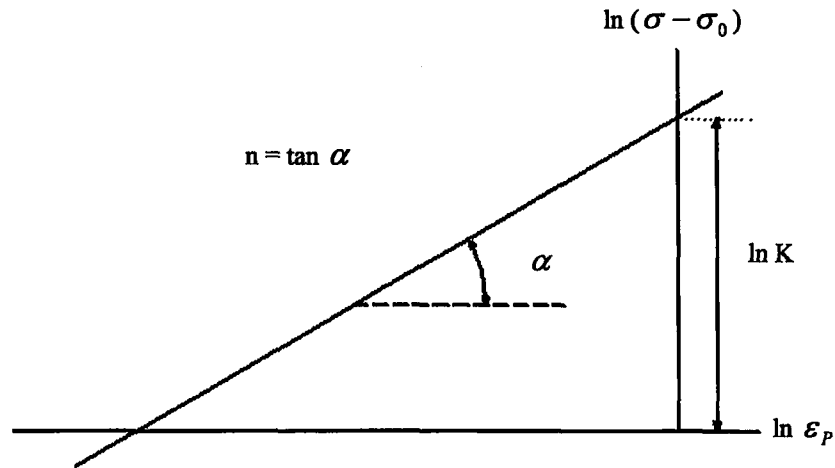
$$\ln(\sigma - \sigma_0) = \ln K + n \ln \varepsilon_p \quad (5.8)$$

$$y = a + nx$$

ile bir doğru denklemi şeklinde ifade edilebilir. Burada deformasyon sertleşmesi üssü n doğrunun eğimini vermektedir.

$n = \tan \alpha$ ile ifade edilir.

$0 < n < 1$ dir ve $n=0$ ise ideal plastik malzeme, $n=1$ ise elastik malzeme söz konusu olur.



Şekil 5.7 K ve n değerlerinin bulunması

5.6 E ve G Mühendislik Sabitlerinin Bulunması

5.6.1 Elastisite modülünün (E) bulunması

Hazırlanan numuneye eksenini doğrultusunda strain-gage yapıştırılır. Parçayı çekme cihazına parça eksenini doğrultusuna bağladıktan sonra akma noktasına gelmeden yedi-sekiz noktada cihaz durdurularak strain-gage'deki değerler tespit edilir, $\sigma_i = \frac{P_i}{A_0}$ formülüyle uygulanan değişik yüklerdeki gerilmeler bulunur. İndikatörden okunan ε değerleri 10^{-6} ile çarpılır. $\sigma_i = E\varepsilon_i$ denkleminde elastisite modülleri bulunur [25]. Tek yönlü fiber takviyeli numuneler için E_1 ve E_2 birbirinden farklıdır.

5.6.2 Kayma modülünün (G) bulunması

Strain-gage ile yapılan ölçümlerde $\varepsilon_1, \varepsilon_2, E_1, E_2, G_{12}$ ve ν_{12} değerleri bulunur. Bunun için strain-gage uçları indikatöre bağlanır ve göstere sıfırlanır. Yükleme, malzemede akma başlanıncaya kadar devam edilir. Uygulanan her yük için göstergeden sapma miktarı kaydedilir. Maksimum ve minimum sapsmalar arasındaki farktan $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ bulunur.

$$\frac{\nu_{12}}{E_1} = \frac{\nu_{21}}{E_2} \quad (5.9)$$

$$\nu_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (5.10)$$

formülleri ile ν_{12} bulunur.

$$G_{12} = \frac{1}{\left[\frac{4}{E_x} - \frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} + \frac{2\nu_{12}}{E_1} \right]} \quad (5.11)$$

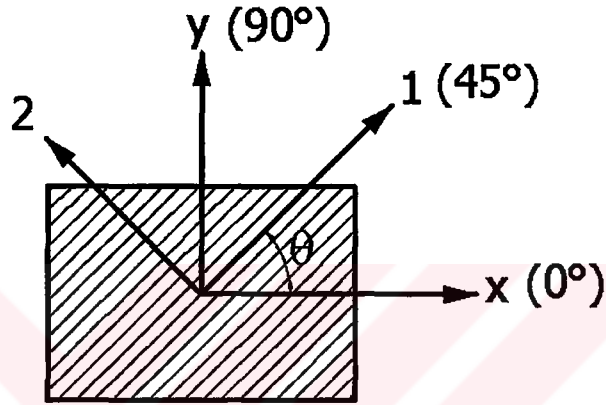
formülü ile G_{12} bulunur [26].

5.7 Mekanik Davranışın Yöne Bağlı Olarak Değişimi

Ortotropik malzemelerin asal doğrultusundaki gerilme-şekil değiştirme bağıntılarında uygulanan gerilmeler her zaman malzemenin asal eksenleri ile çakışmayabilir. Böyle bir durumda farklı yönlerdeki bağıntılar transformasyon tansörü (T_{ij}) kullanılarak saptanabilir.

Örneğin, etkiyen gerilmeler malzemenin asal doğrultuları 1 ve 2 yönlerinde değil, x ve y yönlerinde etkimesi halinde bu gerilme halinin malzeme asal eksenleri ile çakışan bir koordinatta şekil 5.8’de ifadesi veya transformasyonu şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (5.12)$$



Şekil 5.8 Herhangi x-y eksenlerinden malzeme asal eksenlerine pozitif yönde dönüş

Veya bunun tersi

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

olur. Benzer şekilde

$$\begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \frac{\gamma_{12}}{2} \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

(-1) üsteli matris tersini belirtmektedir ve transformasyon matrisi [T] aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2\sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2\sin \theta \cos \theta \\ -\sin \theta \cos \theta & \sin \theta \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (5.15)$$



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Hacimsel Konsantrasyona Göre Kullanılan Fiber Uzunluğunun Bulunması

Tezde % 0,4 ve % 0,5 oranında hacimsel konsantrasyona sahip bakır fiber takviyeli termoplastik kompozit malzeme üretilmiştir. Bakır fiberin çapı 0,3 mm, kullanılan polietilen matris malzemesinin kalınlığı 2 mm ve kalıbın çapı 230 mm olduğu için kalıba uygun bir şekilde boyutlandırılmıştır.

Polietilen matris malzemesinin hacmi;

$$V_m = \frac{\pi.R^2}{4}.h$$

$$V_m = \frac{\pi.230^2}{4}.4$$

$$V_m = 166190,25 \text{ mm}^2$$

Bakır fiberin alanı;

$$A_b = \frac{\pi.R^2}{4}$$

$$A_b = \frac{\pi.0,3^2}{4}$$

$$A_b = 0,0707 \text{ mm}^2$$

Hacimsel konsantrasyonu;

$$HK = \frac{V_f}{V_m + V_f}$$

% 0,5 Hacimsel konsantrasyon için;

$$0,005 = \frac{V_f}{166190,15 + V_f}$$

$$V_f = 869,44 \text{ mm}^2$$

$$V_f = L_f \times A_f \rightarrow 869,44 = L_f \times 0,0707$$

$$L_f = 12300 \text{ mm}$$

% 0,4 Hacimsel konsantrasyon için;

$$0,004 = \frac{V_f}{166190,15 + V_f}$$

$$V_f = 661,75 \text{ mm}^2$$

$$V_f = L_f \times A_f \rightarrow 661,75 = L_f \times 0,0707$$

$$L_f = 9360 \text{ mm olarak bulunmuştur.}$$

6.2 Plastik Sabitlerin Bulunması

6.2.1 Polietilen numunenin plastik sabiti

$$L_0 = 54,61 \text{ mm} \quad (\text{ilk boyu})$$

$$B_0 = 15,84 \text{ mm} \quad (\text{genişlik})$$

$$H_0 = 5,03 \text{ mm} \quad (\text{kalınlık})$$

$$P_0 = 925 \text{ N}$$

$$P_y = 983 \text{ N}$$

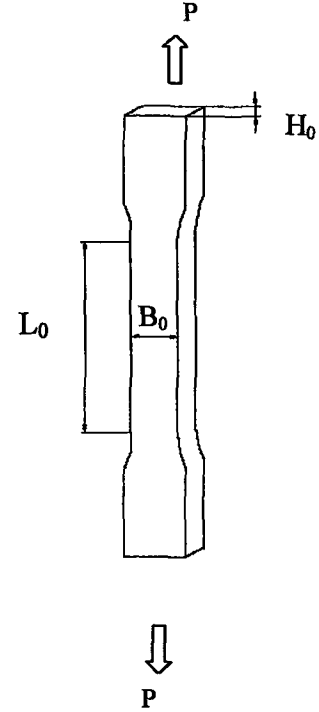
$$A_0 = B_0 \times H_0 = 15,84 \times 5,03 = 79,67 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{A_0}$$

$$\sigma_0 = 11,61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0}$$

$$\sigma_y = 12,34 \text{ MPa}$$



Şekil 6.1 Polietilen matris malzemenin çekme numunesi

Çizelge 6.1 Polietilen numune için çekme deneyi sonuçları

P (N)	ΔL_{P_n}	L_{P_n}	$\sigma_n = \frac{(P_n \times L_{P_n})}{(L_0 \times A_0)}$	$\epsilon_p = \ln\left(\frac{L_{P_n}}{L_0}\right)$	$\ln \epsilon_p$	$\ln(\sigma_n - \sigma_0)$
983	0.460	54.970	12.44252	0.008403	-4.779	-0.18377
1023	0.600	55.110	12.9818	0.010947	-4.515	0.31584
1134	0.920	55.430	14.47395	0.016737	-4.090	1.052063
1245	1.300	55.810	15.99965	0.023569	-3.748	1.479159
1397	1.630	56.140	18.05917	0.029464	-3.525	1.863891
1459	1.830	56.340	18.92784	0.033021	-3.411	1.990262
1534	2.280	56.790	20.05978	0.040976	-3.195	2.134094
1615	2.520	57.030	21.20825	0.045193	-3.097	2.26154
1690	3.030	57.540	22.39162	0.054096	-2.917	2.377807
1721	3.280	57.790	22.90143	0.058432	-2.840	2.424009
1788	3.990	58.500	24.08532	0.070643	-2.650	2.523721
1801	4.220	58.730	24.35582	0.074566	-2.596	2.545172
1824	4.450	58.960	24.76346	0.078475	-2.545	2.576655
1841	4.680	59.190	25.09176	0.082368	-2.497	2.601309
1850	5.140	59.650	25.41038	0.09011	-2.407	2.624668

$$\ln(\sigma - \sigma_0) = \ln K + n \ln \varepsilon_p$$

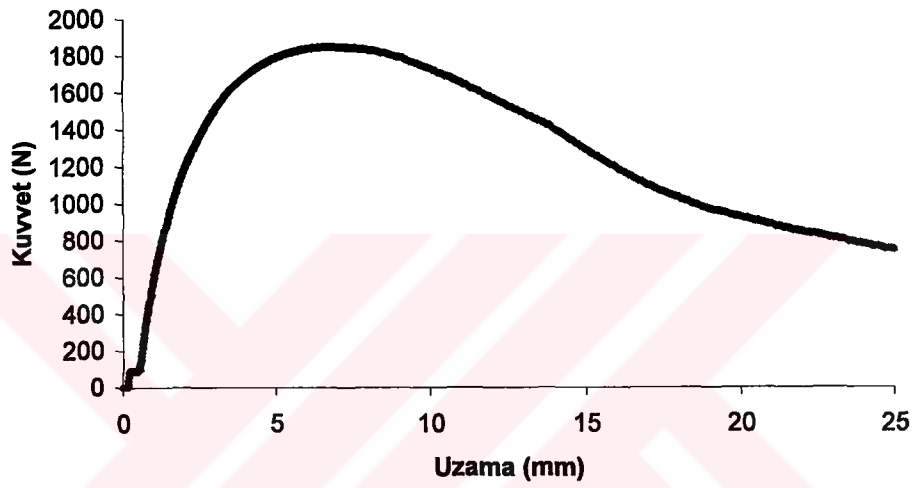
$$y = a + n \cdot x$$

$$y = 5,616 + x \cdot (1,14)$$

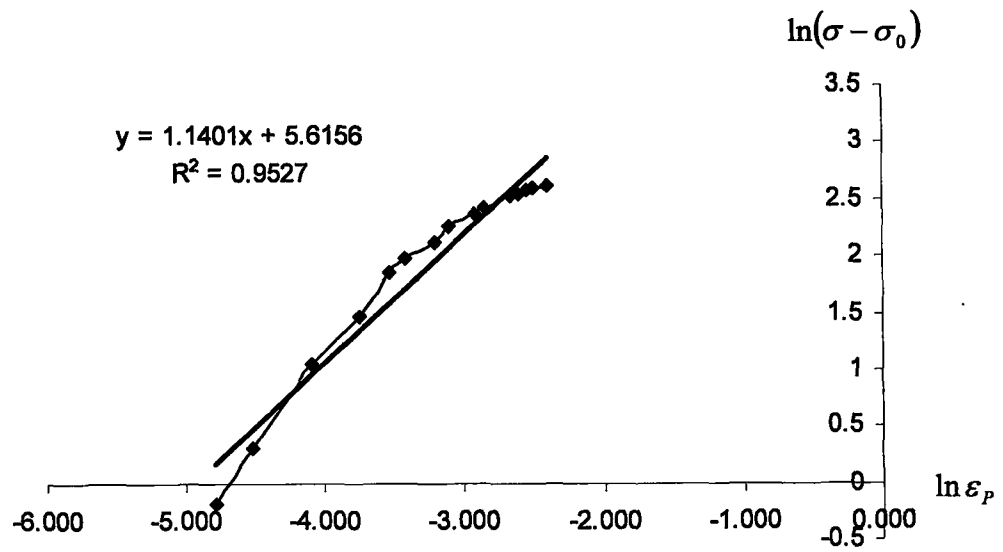
$$\ln K = 5,616$$

$$K = 274,79$$

$$n = \tan \alpha = 0,9527$$



Şekil 6.2 Polietilen numunenin kuvvet-uzama grafiği



Şekil 6.3 Polietilen numunenin K ve n değerlerinin bulunması

6.2.2 90° Takviyeli numunenin plastik sabiti

$$L_0 = 65 \text{ mm} \quad (\text{ilk boyu})$$

$$B_0 = 15 \text{ mm} \quad (\text{genişlik})$$

$$H_0 = 4 \text{ mm} \quad (\text{kalınlık})$$

$$P_0 = 950 \text{ N}$$

$$P_y = 1000 \text{ N}$$

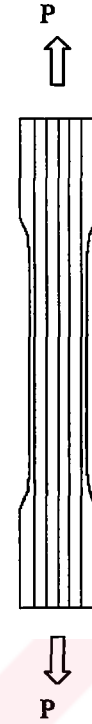
$$A_0 = B_0 \times H_0 = 15 \times 4 = 60 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{A_0}$$

$$\sigma_0 = 15,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0}$$

$$\sigma_y = 16,67 \text{ MPa}$$



Şekil 6.4 90° takviyeli numune

Çizelge 6.2 90° takviyeli numune için çekme deneyleri sonuçları

P (N)	ΔL_{P_n}	L_{P_n}	$\sigma_n = \frac{(P_n \times L_{P_n})}{(L_0 \times A_0)}$	$\epsilon_p = \ln\left(\frac{L_{P_n}}{L_0}\right)$	$\ln \epsilon_p$	$\ln(\sigma_n - \sigma_0)$
1060	1,630	66,630	18,10969	0,024768	-3,698	0,82404
1105	1,855	66,855	18,94225	0,028139	-3,571	1,135346
1156	2,090	67,090	19,88616	0,031648	-3,453	1,400238
1192	2,250	67,250	20,55436	0,03403	-3,381	1,552732
1254	2,620	67,620	21,74243	0,039517	-3,231	1,777057
1285	2,790	67,790	22,33594	0,042027	-3,169	1,872715
1339	3,150	68,150	23,39817	0,047324	-3,051	2,023951
1356	3,300	68,300	23,74738	0,049522	-3,005	2,069061
1392	3,580	68,580	24,47778	0,053614	-2,926	2,157303
1441	4,010	69,010	25,49831	0,059864	-2,816	2,268854
1468	4,370	69,370	26,11158	0,065067	-2,732	2,330354
1482	4,440	69,440	26,3872	0,066076	-2,717	2,356808
1500	4,660	69,660	26,79231	0,069239	-2,670	2,394463
1514	5,980	70,980	27,5548	0,088011	-2,430	2,461706
1562	7,020	72,020	28,84493	0,102557	-2,277	2,566097

$$\ln(\sigma - \sigma_0) = \ln K + nx \ln \varepsilon_p$$

$$y = a + n.x$$

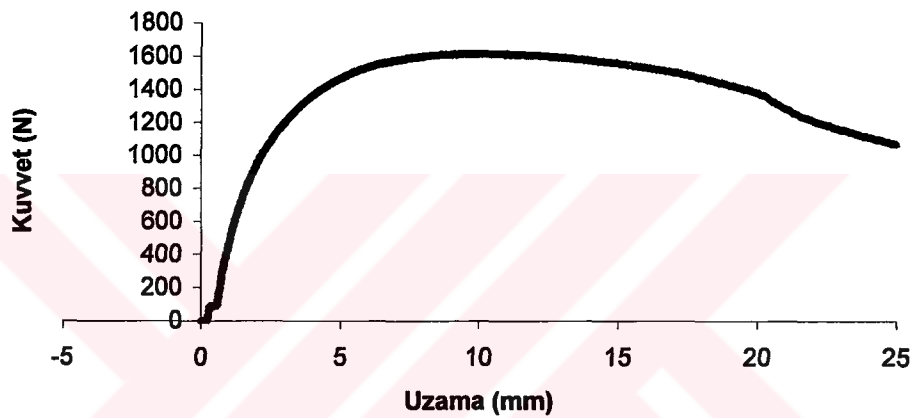
$$y = 5,5407 + x \cdot (1,1962)$$

$$\ln K = 5,5407$$

$$K = 254,67$$

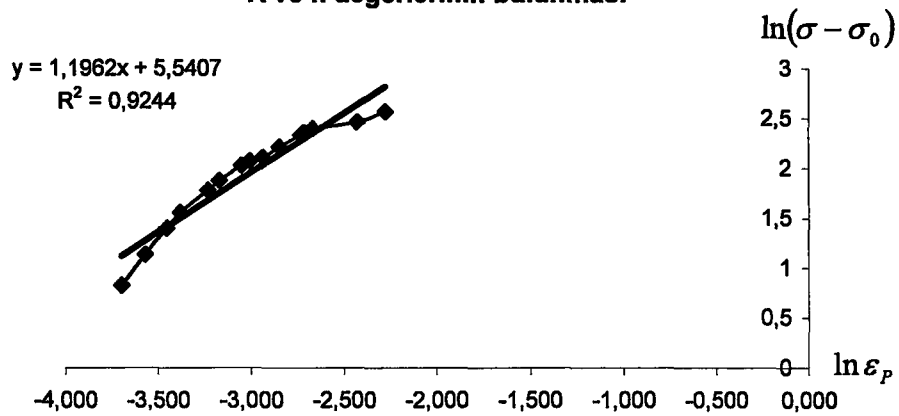
$$n = \tan \alpha = 0,9244$$

Kuvvet-uzama diyagramı



Şekil 6.5 90° takviyeli numunenin kuvvet-uzama grafiği

K ve n değerlerinin bulunması



Şekil 6.6 90° takviyeli numunenin K ve n değerlerinin bulunması

6.2.3 45° Takviyeli numunenin plastik sabiti

$$L_0 = 65 \text{ mm} \quad (\text{ilk boyu})$$

$$B_0 = 16,04 \text{ mm} \quad (\text{genişlik})$$

$$H_0 = 4,24 \text{ mm} \quad (\text{kalınlık})$$

$$P_0 = 850 \text{ N}$$

$$P_y = 900 \text{ N}$$

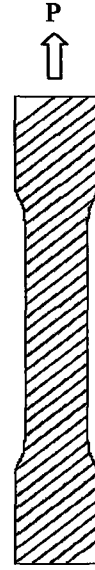
$$A_0 = B_0 \times H_0 = 16,04 \times 4,24 = 68 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{A_0}$$

$$\sigma_0 = 12,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0}$$

$$\sigma_y = 13,23 \text{ MPa}$$



Şekil 6.7 45° takviyeli numune

Çizelge 6.3 45° takviyeli numunenin çekme deneyi sonuçları

P (N)	ΔL_{P_n}	L_{P_n}	$\sigma_n = \frac{(P_n \times L_{P_n})}{(L_0 \times A_0)}$	$\epsilon_p = \ln\left(\frac{L_{P_n}}{L_0}\right)$	$\ln \epsilon_p$	$\ln(\sigma_n - \sigma_0)$
900	1.090	66.090	13.45724	0.01663	-4.097	0.267918
965	1.750	66.750	14.57325	0.026567	-3.628	0.885108
1045	1.878	66.878	15.81165	0.028483	-3.558	1.297915
1071	2.005	67.005	16.23583	0.03038	-3.494	1.407524
1160	2.437	67.437	17.6984	0.036807	-3.302	1.713509
1218	2.767	67.767	18.67425	0.041688	-3.178	1.875527
1272	3.123	68.123	19.60463	0.046928	-3.059	2.008835
1334	3.606	68.606	20.70597	0.053993	-2.919	2.14663
1383	3.961	68.961	21.57762	0.059154	-2.828	2.243643
1402	4.161	69.161	21.93749	0.06205	-2.780	2.281105
1436	4.644	69.644	22.62642	0.069009	-2.674	2.349127
1468	4.954	69.954	23.23359	0.073451	-2.611	2.405466
1498	5.580	70.580	23.92055	0.08236	-2.497	2.465601
1518	5.750	70.750	24.2983	0.084765	-2.468	2.49719
1548	6.560	71.560	25.06219	0.096149	-2.342	2.558172

$$\ln(\sigma - \sigma_0) = \ln K + n \ln \varepsilon_p$$

$$y = a + n \cdot x$$

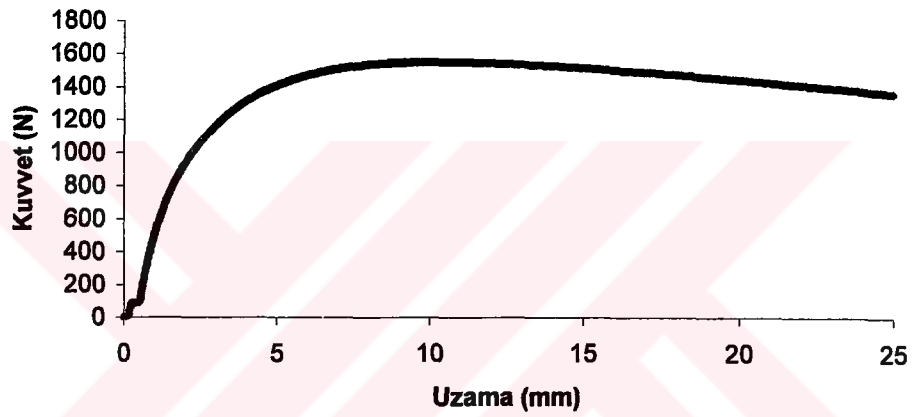
$$y = 5,7868 + x \cdot (1,28)$$

$$\ln K = 5,7868$$

$$K = 326$$

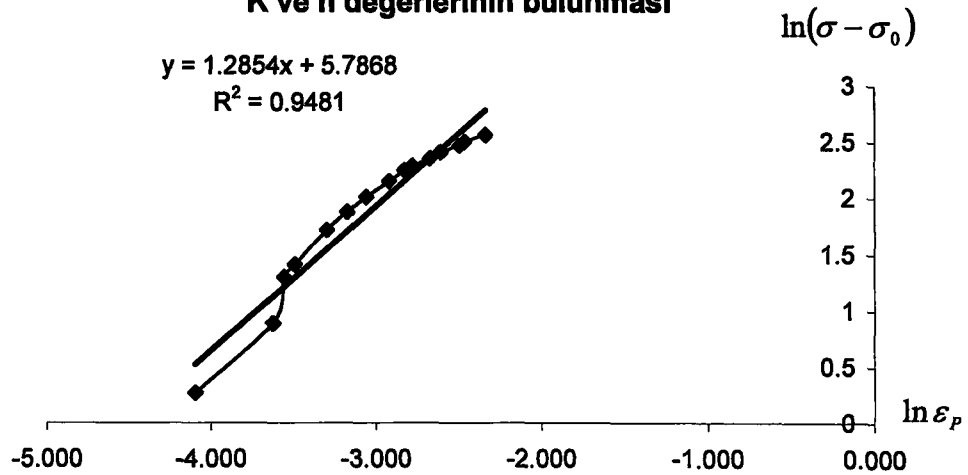
$$n = \tan \alpha = 0,9481$$

Kuvvet-uzama diyagramı



Şekil 6.8 45° takviyeli numunenin kuvvet-uzama grafiği

K ve n değerlerinin bulunması



Şekil 6.9 45° takviyeli numunenin K ve n değerlerinin bulunması

6.2.4 0° Takviyeli numunenin plastik sabiti

$$L_0 = 65 \text{ mm} \quad (\text{ilk boyu})$$

$$B_0 = 16,17 \text{ mm} \quad (\text{genişlik})$$

$$H_0 = 4,05 \text{ mm} \quad (\text{kalınlık})$$

$$P_0 = 760 \text{ N}$$

$$P_y = 850 \text{ N}$$

$$A_0 = B_0 \times H_0 = 16,17 \times 4,05 = 65,5 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{A_0}$$

$$\sigma_0 = 11,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0}$$

$$\sigma_y = 12,97 \text{ MPa}$$



Şekil 6.10 0° takviyeli numune

Çizelge 6.4 0° takviyeli numunenin çekme deneyi sonuçları

P (N)	ΔL_{P_n}	L_{P_n}	$\sigma_n = \frac{(P_n \times L_{P_n})}{(L_0 \times A_0)}$	$\epsilon_p = \ln\left(\frac{L_{P_n}}{L_0}\right)$	$\ln \epsilon_p$	$\ln(\sigma_n - \sigma_0)$
850	1.295	66.295	13.23564	0.019727	-3.926	0.492036
898	1.447	66.447	14.01513	0.022017	-3.816	0.881752
947	1.651	66.651	14.82525	0.025083	-3.686	1.17101
987	1.778	66.778	15.48089	0.026986	-3.612	1.356064
1014	1.905	66.905	15.93463	0.028886	-3.544	1.466635
1027	1.955	66.955	16.15098	0.029633	-3.519	1.515342
1085	2.235	67.235	17.13446	0.033807	-3.387	1.710994
1094	2.286	67.286	17.2897	0.034565	-3.365	1.738657
1139	2.514	67.514	18.06188	0.037948	-3.272	1.86592
1169	2.717	67.717	18.59335	0.04095	-3.195	1.944959
1196	2.895	67.895	19.07279	0.043575	-3.133	2.011269
1214	2.997	67.997	19.38893	0.045076	-3.099	2.052703
1250	3.276	68.276	20.0458	0.049171	-3.012	2.133669
1267	3.454	68.454	20.3714	0.051775	-2.961	2.171496
1290	3.657	68.657	20.80271	0.054736	-2.905	2.219498

$$\ln(\sigma - \sigma_0) = \ln K + n \ln \varepsilon_p$$

$$y = a + n.x$$

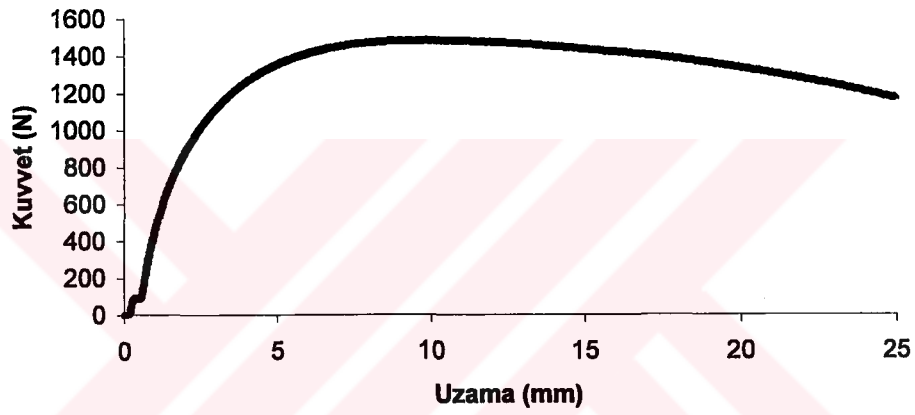
$$y = 6,3183 + x \cdot (1,3803)$$

$$\ln K = 6,3183$$

$$K = 554,6$$

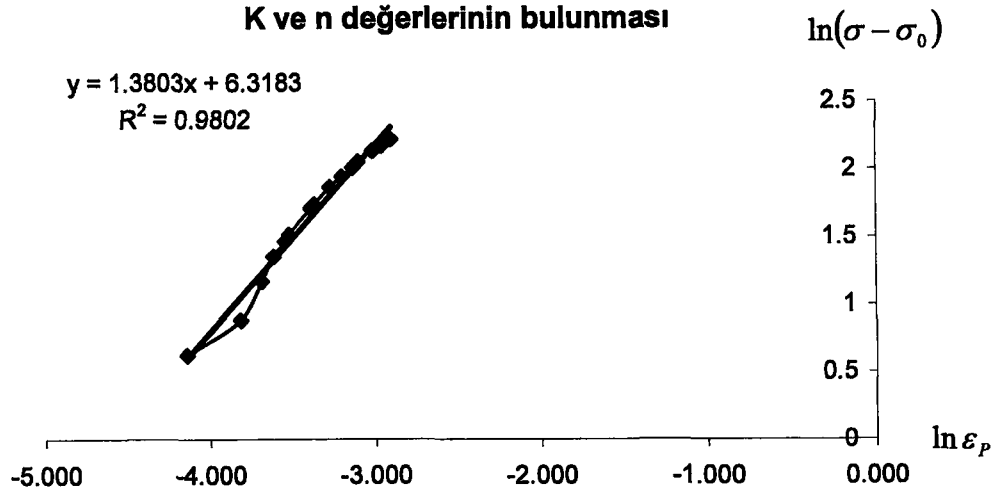
$$n = \tan \alpha = 0,9802$$

Kuvvet-uzama diyagramı



Şekil 6.11 0° takviyeli numunenin kuvvet-uzama grafiği

K ve n değerlerinin bulunması



Şekil 6.12 0° takviyeli numunenin K ve n değerlerinin bulunması

6.3 Elastik Sabitlerinin Bulunması

6.3.1 %0,5 Hacimsel konsantrasyonlu 90° takviyeli numunenin elastik sabitleri

Şekil 6.13 'deki gibi dizilmiş bakır fiberler ve ε_1 için çekme yönünde (fiber sarım yönü), ε_2 için çekme yönünden 90°'lik açı ile strain-gage'ler bağlanmıştır. P

Çekme cihazının ilerleme hızı 1 mm/dak.

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta P}{A}$$

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\Delta\sigma_1 = \frac{\Delta P_1}{A_1}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

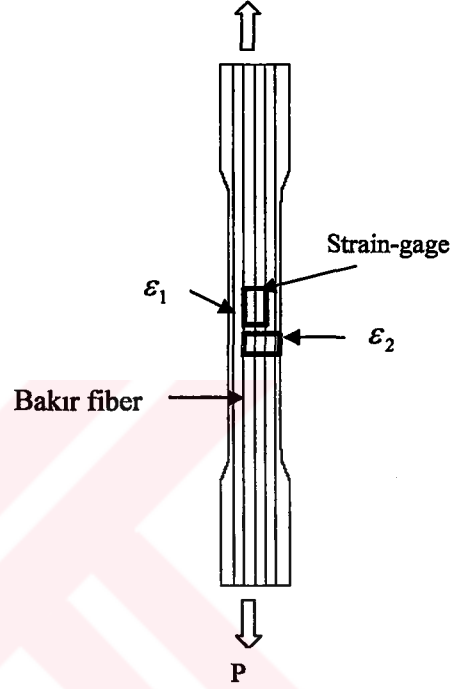
$$E = \frac{\left(\frac{P}{A_0}\right)}{\varepsilon}$$

$$\nu_{12} = -\left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right)$$

$$B_0 = 15.45 \text{ mm} \quad (\text{genişlik})$$

$$H_0 = 4.18 \text{ mm} \quad (\text{kalınlık})$$

$$A_0 = 64.70 \text{ mm}^2 \quad (\text{alan})$$



Şekil 6.13 90° Takviyeli numunenin strain-gage bağlantısı

Çizelge 6.5 90° takviyeli numunenin strain gage kullanılarak çekme deney sonuçları (%0,5 için)

P (N)	$(\varepsilon_1 * 10^{-6})$	$(\varepsilon_2 * 10^{-6})$	$E_1 = \frac{P_n}{A_0 \times \varepsilon_n}$	$\nu_{12} = -\left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right)$
0				
100	0,0008	-0,0012	1931,99	1,50
200	0,0017	-0,0021	1818,35	1,24
300	0,0071	-0,0029	653,07	0,41
400	0,0142	-0,0041	435,38	0,29
500	0,0181	-0,0044	426,96	0,24
600	0,0221	-0,0046	419,62	0,21
700	0,0255	-0,0048	424,28	0,19
800	0,0286	-0,0049	432,33	0,17
			$E_{\text{ort}} = 817,75$	$\nu_{12\text{ort}} = 0.53$

6.3.2 %0,4 Hacimsel konsantrasyonlu 90° takviyeli numunenin elastik sabitleri

Şekil 6.13 'deki gibi dizilmiş çelik fiberler ve ε_1 için çekme yönünde (fiber sarım yönü), ε_2 için çekme yönünden 90° 'lik açı ile strain-gage'ler bağlanmıştır. P

Çekme cihazının ilerleme hızı 1 mm/dak.

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta P}{A}$$

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\Delta\sigma_1 = \frac{\Delta P_1}{A_1}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

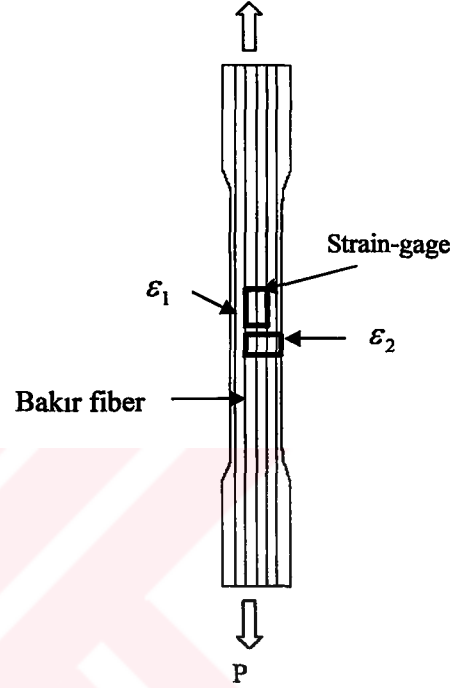
$$E = \frac{\left(\frac{P}{A_0}\right)}{\varepsilon}$$

$$\nu_{12} = -\left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right)$$

$B_0 = 15.65 \text{ mm}$ (genişlik)

$H_0 = 4.16 \text{ mm}$ (kalınlık)

$A_0 = 65.1 \text{ mm}^2$ (alan)



Şekil 6.14 90° Takviyeli numunenin strain-gage bağlantısı

Çizelge 6.6 90° takviyeli numunenin strain gage kullanılarak çekme deney sonuçları (%0,4 için)

P (N)	$(\varepsilon_1 * 10^{-6})$	$(\varepsilon_2 * 10^{-6})$	$E_1 = \frac{P_n}{A_0 \times \varepsilon_n}$	$\nu_{12} = -\left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right)$
0				
100	0.0009	-0.0014	1706.78	1.56
200	0.0021	-0.0024	1462.95	1.14
300	0.0067	-0.0034	687.81	0.51
400	0.0123	-0.0041	499.54	0.33
500	0.0153	-0.0044	501.99	0.29
600	0.0174	-0.0046	529.69	0.26
700	0.0218	-0.0047	493.24	0.22
800	0.0279	-0.0048	440.46	0.02
			$E_{1ort} = 790,31$	$\nu_{12ort} = 0.54$

6.3.3 0° Takviyeli numunenin elastik sabitleri

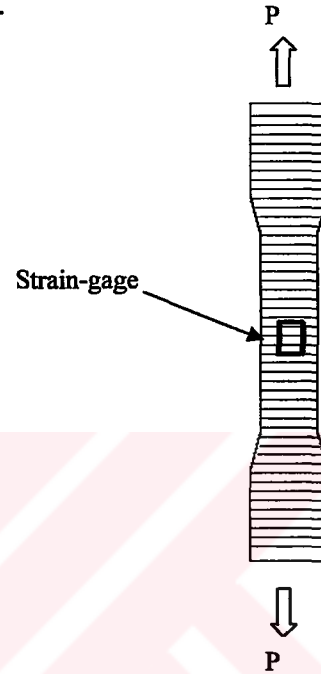
Şekil 6.14 'deki gibi dizilmiş çelik fiberler ve ε_1 için çekme yönünde strain-gage bağlanmıştır.

Çekme cihazının ilerleme hızı 1 mm/dak.

$B_0 = 15.6 \text{ mm}$ (genişlik)

$H_0 = 4.35 \text{ mm}$ (kalınlık)

$A_0 = 67.86 \text{ mm}^2$ (alan)



Şekil 6.15 0° Takviyeli numunenin strain-gage bağlantısı

Çizelge 6.7 0° takviyeli numunenin strain gage kullanılarak çekme deney sonuçları

P (N)	%0,5 Hacimsel Konsantrasyonlu		%0,4 Hacimsel Konsantrasyonlu	
	$(\varepsilon_1 * 10^{-6})$	$E_2 = \frac{P_n}{A_0 * \varepsilon_n}$	$(\varepsilon_1 * 10^{-6})$	$E_2 = \frac{P_n}{A_0 * \varepsilon_n}$
0				
100	0,0028	526,76	0.0037	412.37
200	0,0068	433,80	0.0071	429.80
300	0,0135	327,76	0.0122	375.19
400	0,0172	343,01	0.0143	426.79
500	0,0186	396,49	0.0163	468.03
600	0,0199	444,70	0.0184	497.54
700	0,0234	441,22	0.0218	489.93
800	0,0276	427,51	0.0279	437.50
		$E_{2ort} = 417,66$		$E_{2ort} = 442,15$

6.3.4 45° Takviyeli numunenin elastik sabitleri

Şekil 6.15 'deki gibi 45°'lik dizilmiş çelik fiberler ve ε_1 'in çekme yönünde strain-gage bağlanmıştır.

Çekme cihazının ilerleme hızı 1 mm/dak.

%0,5 Hacimsel Konsantrasyonlu

kompozitin çekme numune boyutları

$B_0 = 16,36$ mm (genişlik)

$H_0 = 4,31$ mm (kalınlık)

$A_0 = 70,51$ mm² (alan)

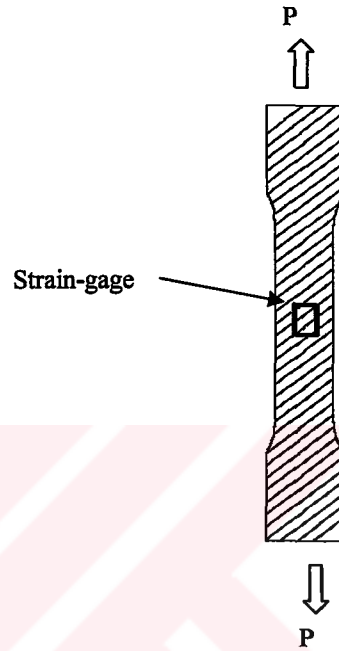
%0,4 Hacimsel Konsantrasyonlu

kompozitin çekme numune boyutları

$B_0 = 15,68$ mm (genişlik)

$H_0 = 4,18$ mm (kalınlık)

$A_0 = 65,54$ mm² (alan)



Şekil 6.16 45° Takviyeli numunenin strain-gage bağlantısı

Çizelge 6.8 45° takviyeli numunenin strain gage kullanılarak çekme deney sonuçları

P (N)	%0,5 Hacimsel Konsantrasyonlu		%0,4 Hacimsel Konsantrasyonlu	
	$(\varepsilon_1 * 10^{-6})$	$E_x = \frac{P_n}{A_0 * x \varepsilon_n}$	$(\varepsilon_1 * 10^{-6})$	$E_x = \frac{P_n}{A_0 * x \varepsilon_n}$
0				
100	0,0009	1575,82	0.001	1525.79
200	0,0023	1233,25	0.0035	871.88
300	0,0095	447,86	0.0105	435.94
400	0,0146	388,56	0.0136	448.76
500	0,0186	381,25	0.0158	482.84
600	0,0215	395,79	0.0172	532.25
700	0,0249	398,70	0.0194	550.54
800	0,0284	399,50	0.0254	480.56
		$E_{xort} = 652,59$		$E_{xort} = 666,07$

6.3.5 Kayma modüllerinin (G_{12}) hesaplanması

6.3.5.1 % 0,5 hacimsel konsantrasyona sahip termoplastik kompozit için;

$$G_{12} = \frac{1}{\frac{4}{E_x} - \frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} + \frac{2\nu_{12}}{E_1}}$$

$$E_x = 652,59 \text{ MPa}$$

$$E_1 = 817,75 \text{ MPa}$$

$$E_2 = 417,66 \text{ MPa}$$

$$\nu_{12} = 0,53$$

$$G_{12} = \frac{1}{\frac{4}{652,59} - \frac{1}{817,75} - \frac{1}{417,66} + \frac{2 \cdot 0,53}{817,75}} = 262,57 \text{ Mpa}$$

6.3.5.3 % 0,4 hacimsel konsantrasyona sahip termoplastik kompozit için;

$$G_{12} = \frac{1}{\frac{4}{E_x} - \frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} + \frac{2\nu_{12}}{E_1}}$$

$$E_x = 666,07 \text{ MPa}$$

$$E_1 = 790,31 \text{ MPa}$$

$$E_2 = 442,15 \text{ MPa}$$

$$\nu_{12} = 0,54$$

$$G_{12} = \frac{1}{\frac{4}{666,07} - \frac{1}{790,31} - \frac{1}{442,15} + \frac{2 \cdot 0,54}{790,31}} = 261,8 \text{ Mpa}$$

6.4 Çekme Deneyleri ile Elastisite Modül Değerlerinin Bulunması

6.4.1 Polietilen numunenin elastisite modülü

Çekme cihazının ilerleme hızı 10 mm/dak.

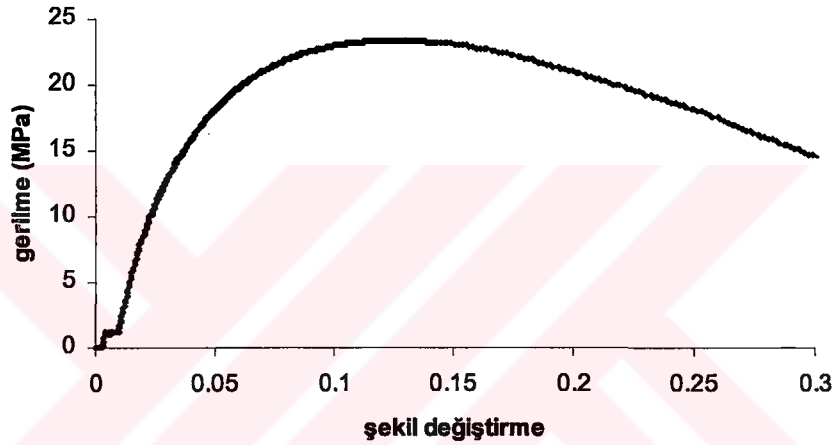
Çekme numunesinin boyutları;

$L_0 = 65$ mm (ilk boy)

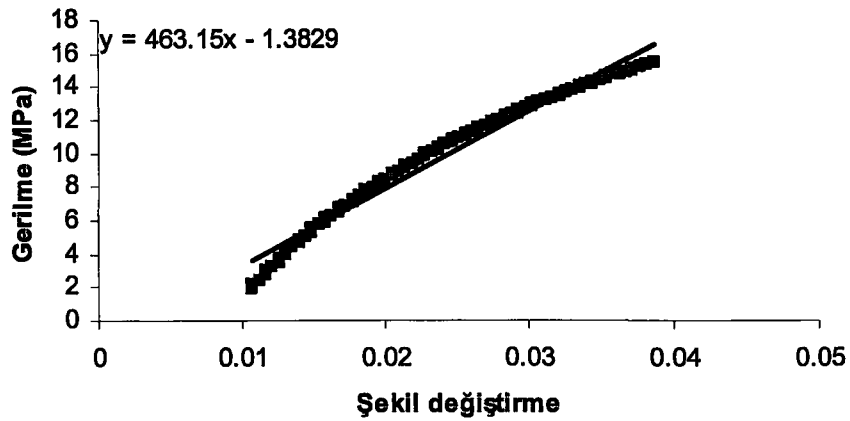
$B_0 = 15$ mm (genişlik)

$H_0 = 4$ mm (kalınlık)

$A_0 = 60$ mm² (alan)



Şekil 6.17 Polietilen numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 6.18 Polietilen numunenin elastik bölgedeki grafiği

Polietilen malzemesinin şekil 6.17'deki denklemden elastik bölgedeki elastisite modülü;

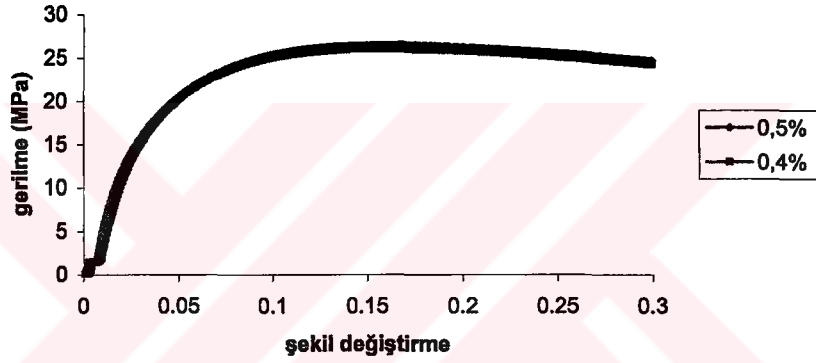
$E_1 = 463,15$ MPa olarak bulunmuştur.

6.4.2 90° Takviyeli numune elastisite modülü

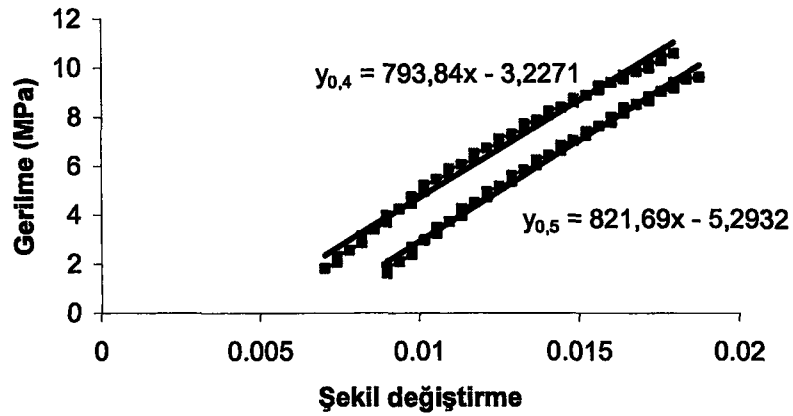
Çekme numunelerinin boyutları;

	%0,5 Hacimsel Konsantrasyonlu	%0,4 Hacimsel Konsantrasyonlu
L ₀ (ilk boy)	65 mm	65 mm
B ₀ (genişlik)	15.45 mm	15.65 mm
H ₀ (kalınlık)	4.21 mm	4.16 mm
A ₀ (alan)	65.04 mm ²	65.1 mm ²

Gerilme-şekil değiştirme diyagramı



Şekil 6.19 90° takviyeli numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 6.20 90° takviyeli numunenin elastik bölgedeki grafiği

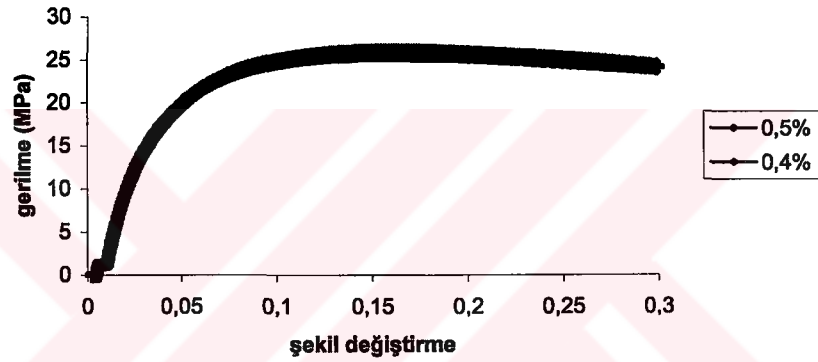
90° takviyeli numunelerin şekil 6.19'deki denklemden elastik bölgedeki elastisite modülü; %0,4 HK $E_1 = 793,84$ MPa ve %0,5 HK $E_1 = 821,69$ MPa olarak bulunmuştur.

6.4.3 45° Takviyeli numune elastisite modülü

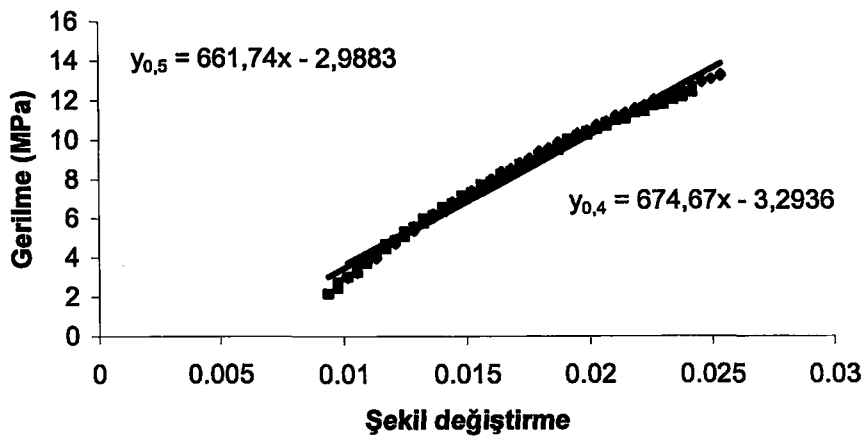
Çekme numunesinin boyutları;

	%0,5 Hacimsel Konsantrasyonlu	%0,4 Hacimsel Konsantrasyonlu
L ₀ (ilk boy)	65 mm	65 mm
B ₀ (genişlik)	15.80 mm	15.83 mm
H ₀ (kalınlık)	4.24 mm	4.18 mm
A ₀ (alan)	66.99 mm ²	66.17 mm ²

Gerilme-şekil değiştirme diyagramı



Şekil 6.21 45° takviyeli numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 6.22 45° takviyeli numunenin elastik bölgedeki grafiği

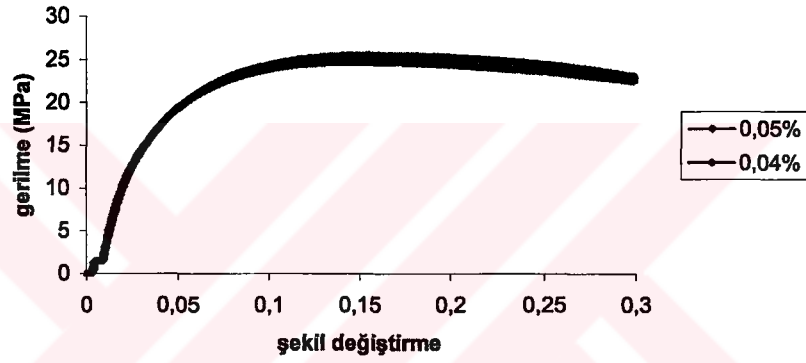
45° takviyeli numunelerin şekil 6.21'deki denklemden elastik bölgedeki elastisite modülü; %0,5 HK $E_x = 661,74$ MPa ve %0,4 HK $E_x = 674,67$ MPa olarak bulunmuştur.

6.3.4 0° Takviyeli numune elastisite modülü

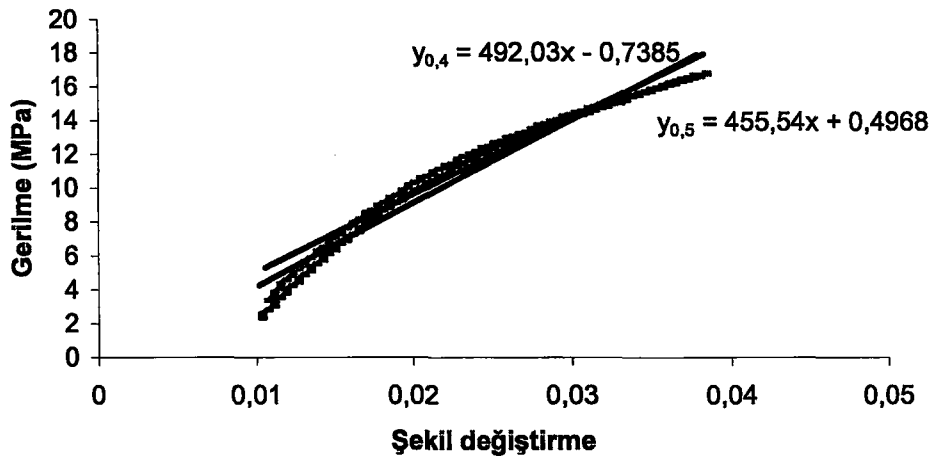
Çekme numunelerinin boyutları;

	%0,5 Hacimsel Konsantrasyonlu	%0,4 Hacimsel Konsantrasyonlu
L_0 (ilk boy)	65 mm	65 mm
B_0 (genişlik)	16.03 mm	15.86 mm
H_0 (kalınlık)	4.16 mm	4.16 mm
A_0 (alan)	66.68 mm ²	65.98 mm ²

Gerilme-şekil değiştirme diyagramı



Şekil 6.23 0° takviyeli numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 6.24 0° takviyeli numunenin elastik bölgedeki grafiği

0° takviyeli numunelerin şekil 6.23'deki denklemden elastik bölgedeki elastisite modülü; %0,5 HK $E_2 = 455,54$ MPa ve %0,4 HK $E_x = 492,03$ MPa olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.9 Elastisite modül değerleri

	Poliyeten malzemenin	Gerilme-şekil değiştirme diyagramından hesaplanan değerler			Strain-gage kullanılarak hesaplanan değerler		
		90°	45°	0°	90°	45°	0°
Çelik fiber yönü	-	90°	45°	0°	90°	45°	0°
Elastisite Modülü (MPa)	463,15						
%0,5 Hacimsel Kons. Termoplastik Kompozit (E)		821,69	661,74	455,54	817,75	652,59	417,66
%0,4 Hacimsel Kons. Termoplastik Kompozit (E)		793,84	674,67	492,03	790,31	666,07	442,15

Çizelge 6.10 Numunelerin plastisite sabitleri ve deformasyon sertleşmesi üssü değerleri

		Poliyeten malzemenin	0° takviyeli numunenin	45° takviyeli numunenin	90° takviyeli numunenin
%0,5 Hacimsel Kons. Termoplastik Kompozit	Plastisite sabiti (K)	274,79	554,6	326	254,67
	Deformasyon sertleşmesi üssü (n)	0,9527	0,98	0,948	0,9244
%0,4 Hacimsel Kons. Termoplastik Kompozit	Plastisite sabiti (K)	274,79	496,4	304	278,12
	Deformasyon sertleşmesi üssü (n)	0,9527	0,973	0,943	0,931

Çizelge 6.11 Poliyeten matrisli 90° bakır fiber takviyeli malzemenin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	%0,5 Hacimsel Kons.	%0,4 Hacimsel Kons.
Elastisite modülü (MPa)	817,75	790,31
Kayma modülü (MPa)	262,57	261,8
Plastisite sabiti (K)	254,67	278,12
Deformasyon sertleşmesi üssü (n)	0,9244	0,931
Poisson oranı (ν_{12})	0,53	0,54

6.5 Sonuçlar

1. Eşli kalıplama yöntemi ile termoplastik kompozit malzemenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Katılaşma esnasında kompozit malzemeye sıcaklık artışı ile beraber basınç uygulanmasının önemli olduğu tespit edilmiştir.
2. Çekme deneyleri sonucunda polietilen malzeme ile bakır fiber takviye edilmiş polietilen malzeme arasındaki mekanik özelliklerinde iyileşmeler tespit edilmiştir.
3. Gerilme-şekil değiştirme diyagramında elde edilen elastisite modülleri ile strain-gage kullanılarak elde edilen elastisite modül değerleri arasında küçük farklar bulunmuş, bu farkların strain-gage'in numuneye tam olarak yapışmamasından ve çekme cihazındaki çenelerde oluşabilecek numunenin kaymasından kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır.
4. %0,4 ve %0,5 hacimsel konsantrasyona sahip 0° bakır fiber takviye edilen kompozit malzemenin elastisite modülü saf polietilen malzemenin elastisite modülü değeri olan 463,15 MPa'dan düşük bir değer bulunmuştur. Bu değer farkının oluşmasında temel nedenin elik fiber takviyesinin çekme esnasında numuneye çentik etkisi yapmasıdır. 45° bakır takviyeli kompozit malzemenin elastisite modülü sırasıyla 674,67 MPa ve 661,74 MPa bulunmuştur. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde takviye malzemesinin yönünün önemli olduğu tespit edilmiştir.
5. Takviye elemanı olan bakır telin elastisite modülü 115 GPa, matris malzemesi olan polietilen (F2-12)'nin elastisite modülü 160 MPa iken %0,4 ve %0,5 hacimsel konsantrasyona sahip 90° bakır fiber takviyeli polietilen matris kompozitin elastisite modülü sırasıyla 793,84 MPa ve 821,69 MPa olarak çekme deneyleri sonunda yapılan hesaplar ile bulunmuştur. Bu yönde takviye ile kompozit malzemenin mukavemeti artırılmıştır.

6.6 Öneriler

1. Numunenin kalıp içerisinde soğutulması esnasında Tg sıcaklığının altına düşene kadar basınç tatbikine devam edilmeli.
2. Aynı fiber ve matris malzeme kullanımı ile, fiberler dairesel olarak yerleştirilip kutupsal koordinatlarda inceleme yapılabilir. Fiber ve takviye elemanı değiştirilerek yeni kompozit malzeme üretilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Aran, A., 1990, elyaf takviyeli karma malzemeler, İTÜ, İstanbul, Türkiye
- [2] <http://www.petkim.com.tr/>
- [3] Akovalı, G., 1995, Polimerler, TÜBİTAK Bilim ve Teknik dergisi,;35-36
- [4] Aatmeeyata, Gupta S.K., 1998, Simulation and optimization of a n industrial Nylon6 reactor: a review. Polymer-Plastics Technology and Engineering 201-39.
- [5] Vedula, M., Koczak M.J., 1989, Impact resistance of cross-plyed poly-phenylene sulfide composites, Journal of Thermoplastic Composite Materials, No 2: 154-63.
- [6] Sakaguchi, M., A. Nakai A., H. Hamada H., N. Takeda N., 2000, The mechanical properties of unidirectional thermoplastic composites manufactured by a micro-braiding technique, Composites Science and Technology, Volume 60, Issue 5, Pages 717-722
- [7] Trakhtenberg, L. I., and et al., 2002, New nano-composite metal-polymer materials: dielectric behaviour, Journal of Non-Crystalline Solids, Volume 305, Issues 1-3, Pages 190-196
- [8] Park, S.J., and et al., 2002, Roles of work of adhesion between carbon blacks and thermoplastic polymers on electrical properties of composites, Journal of Colloid and Interface Science, Volume 255, Issue 1, Pages 145-149
- [9] Çakmak, G., Z. Küçükyavuz Z., S. Küçükyavuz S., Çakmak H., 2004, Mechanical, electrical and thermal properties of carbon fiber reinforced poly(dimethylsiloxane)/polypyrrole composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 35, Issue 4, pp 417-421
- [10] Awaja F., Pavel D. 2005, Recycling of PET European Polymer Journal, Volume 41, Issue 7, Pages 1453-1477
- [11] Lee, J. M., Kim, B., M., Gil Kang, C., 2005, Effects of chamber shapes of porthole die on elastic deformation and extrusion process in condenser tube extrusion, Materials & Design, Volume 26, Issue 4, Pages 327-336
- [12] <http://www.iupac.org/publications/pac/2004/pdf/7611x1985.pdf>
- [13] Spontak, R. J., Patel, N. P., 2000, Thermoplastic elastomers: fundamentals and applications, Current Opinion in Colloid & Interface Science, Volume 5, Issues 5-6, Pages 333-340
- [14] Leach, D.C., Cogswell, F.N., Nield, E., 1986, High Temperature Performance of Thermoplastic Aromatic Polymer Composites, 31st International Sampe Symposium,
- [15] Cogswell, and et al., 1987, Semi-Crystalline Thermoplastic Matrix Composites for Service at 350°F, 32nd International Sampe Symposium, pp. 382 - 395

- [16] Leeser, D., Banister. B., 1989, Amorphous thermoplastic matrix composites for new application”, 21st International Sampe Technical Conference, pp. 507 - 513
- [17] Boles, M.A., Cengel, Y., 1994, Thermodynamics: An Engineering Approach, Second Edition, McGraw-Hill Inc, , p987
- [18] Hou, M., Ye, K., Mai, Y. W., 1997, Manufacturing process and mechanical properties of thermoplastic composite components Journal of Materials Processing Technology, No 63, 334-338
- [19] Beland, S., 1990, High Performance Thermoplastic Resins and Their Composites, Noyes Data Corporation, p177
- [20] Reinicke, R., Hauptert, F., Friedrich K., 1998, On the tribological behaviour of selected, injection moulded thermoplastic composites Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 29, Issue 7, Pages 763-771
- [21] www.sedlins18.sandvik.com
- [22] www.matweb.com
- [23] Cattanach, J.B, Cogswell, F.N., 1986, Processing with Aromatic Polymer Composites, Developments in Reinforced Plastics-5, Applied Science Publishers, London.
- [24] Muzzy, J.D., 1988, Processing of advanced thermoplastic composites, The Manufacturing Science of Composites, Vol. IV, Edited by Gutowski, T.G., pp. 27-39.
- [25] Johnson, W., Mellor, P.B., 1972, Engineering Plasticity, Van Nostrand Reinhold Company, London, p646
- [26] Jones, R.M., 1998, Mechanics of Composite Material, Taylor & Francis, Inc., p520.
- [27] Mazumdar, S.K., 2002, Composites manufacturing, CRC pres, p383.
- [28] Şimşir, S., 2002, Tek yönlü termoplastik kompozitlerin imalatı ve mekanik özelliklerinin bulunması, lisans tezi, DEÜ, İzmir, Türkiye
- [29] Erden, Z., 2004, Forming and shaping plastics and composite materials, Atılım Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.