



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**GERİ DÖNÜŞÜMLÜ POLİPROPİLEN,  
POLİAKRİLONİTRİL VE KARBON ELYAF  
KOMPOZİTİNİN MEKANİK, TERMAL VE  
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

---

---

**ŞÜKRAN GÜNEY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR

İSTANBUL, 2020

---

---



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**GERİ DÖNÜŞÜMLÜ POLİPROPİLEN,  
POLİAKRİLONİTRİL VE KARBON ELYAF  
KOMPOZİTİNİN MEKANİK, TERMAL VE  
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

---

---

**ŞÜKRAN GÜNEY**

(533318001)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR

İSTANBUL, 2020

---

---

## **TEŐEKKÖR**

Tez çalıŐmalarım boyunca tÖm bilgi ve birikiminden her aŐamada yararlandığım, saygıdeğer hocam ve danıŐmanım Sayın Prof. Dr. MÖnir TAŞDEMİR'e sonsuz teŐekkÖr ederim.

Attığım her adımda koŐulsuz bir Şekilde arkamda duran, her tÖrlÖ desteğini benden esirgemeyen, beni bu gÖnlere getiren aileme teŐekkÖr etmeyi borç bilirim.

**NOT: Bu alıŐma Marmara Öniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiŐtir (Proje No: FEN-C-YLP-100719-0252)**

**AĞUSTOS 2020**

**ŐÖKRAN GÖNEY**

# İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
SEMBOLLER .....	vi
KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ .....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Polimer Malzemeler .....	2
1.1.1. Termoplastikler.....	4
1.1.2. Termosetler.....	4
1.1.3. Elastomerler.....	4
1.1.4. Polimer malzemelerin geri dönüşümü.....	5
1.2. Kompozit Malzemeler .....	5
1.2.1. Matris malzemeye göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	6
1.2.2. Takviye ediciye göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	8
1.3. Literatür Çalışması .....	9
2. MATERYAL ve YÖNTEM .....	17
2.1. Kullanılan Malzemeler .....	17
2.1.1. Geri dönüşümlü polipropilen (R-PP).....	17
2.1.1.1. Polipropilenin özellikleri ve kullanımı .....	18
2.1.2. Karbon elyaf .....	19
2.1.3. Poliakrilonitril (PAN).....	21
2.1.3.1. Özellikleri .....	22

2.2. Çalışmada Kullanılan Numunelerinin Eldesi .....	23
2.2.1. Terazî .....	23
2.2.2. Karıştırma ve ön kurutma prosesi.....	23
2.2.3. Ekstrüzyon işlemi .....	24
2.2.4. Enjeksiyon işlemi .....	25
2.3. Mekanik Testler .....	27
2.3.1. Çekme testi .....	27
2.3.2. Aşınma testi .....	29
2.3.3. Çentik açma cihazı.....	31
2.3.4. Darbe testi.....	32
2.3.5. Sertlik testi .....	33
2.4. Fiziksel Testler .....	34
2.4.1. Erime akışkanlık testi (MFI).....	34
2.4.2. Nem miktarı tayini.....	36
2.4.3. Yoğunluk testi .....	37
2.4.4. Isıl çarpılma sıcaklık (HDT) testi .....	38
2.4.5. Vicat yumuşama sıcaklığı.....	39
2.4.6. Sürtünme katsayısı belirleme testi .....	40
2.4.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) testi .....	41
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
3.1. Geri Dönüşümlü Polipropilen, Karbon Elyaf ve Poliakrilonitril Karışımı.....	44
3.1.1. Çekme testi .....	44
3.1.1.1. Çekme mukavemeti .....	45
3.1.1.2. Elastiklik modülü.....	46

3.1.1.3. Kopma mukavemeti.....	48
3.1.1.4. Kopma uzaması .....	49
3.1.2. Sertlik testi.....	51
3.1.3. Darbe testi.....	52
3.1.4. Yoğunluğun belirlenmesi .....	54
3.1.5. Erime akış indeksi (MFI).....	56
3.1.6. Nem miktarının tayini.....	58
3.1.7. Sürtünme testi.....	59
3.1.8. Aşınma testi .....	61
3.1.9. Vicat yumuşama sıcaklık testi .....	67
3.1.10. Isıl çarpılma sıcaklık (HDT) testi .....	68
3.1.11. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) testi.....	70
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	72
4.1. Sonuçlar.....	72
4.2. Öneriler.....	73
KAYNAKLAR.....	74

## ÖZET

### **GERİ DÖNÜŞÜMLÜ POLİPROPİLEN, POLİAKRİLONİTRİL VE KARBON ELYAF KOMPOZİTİNİN MEKANİK, TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Bu çalışmada iki ayrı kompozit elde edilmiş, geri dönüşümlü polipropilen (R-PP)/poliakrilonitril(PAN)(elyaf oranı %10- %20 ve %30) ve geri dönüşümlü polipropilen(R-PP)/karbon elyaf (elyaf oranı %10-%20 ve %30) polimer kompozitlerine %5 MAPP ilave ederek bir karışım elde etmek ve polipropilen ile elyaflar arasındaki adezyonu arttırmak hedeflenmiştir. Önceden kurutulmuş olan tüm malzemeler ekstrüzyon işlemi ile karıştırılmıştır. Ekstrüzyon işlemi sonrasında granüller tekrar kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde standart test numuneleri basılmıştır. Elde edilen deney numunelerine ilgili standartlar kullanılarak mekanik ve fiziksel testler yapılmıştır. Çekme deneyi ile değişen elyaf oranlarına bağlı olarak elastiklik modülü, akma mukavemeti, kopma mukavemeti ve kopma uzama değerlerindeki değişimler tespit edilmiştir. Vicat yumuşama sıcaklıkları, ısıl çarpılma sıcaklığı, erime akış indisleri, ve nem emme miktarlarındaki değişimler standart test metotları ile belirlenmiştir. Bunların yanı sıra shore sertlik, çentikli izod darbe mukavemeti, yoğunluk, 20-40-60-80 metrede aşınma oranları ve farklı yüklerdeki sürtünme kat sayı değerleri de belirlenmiştir. Karbon elyafın ve poliakrilonitrilin mikroyapı içerisindeki dağılımını incelemek için taramalı elektron mikroskopisi ile kırık yüzey fotoğrafları da çekilerek mikroyapı analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar fiziksel, mekanik ve morfolojik açıdan değerlendirilip raporlanmıştır.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF MECHANICAL, THERMAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF RECYCLED POLYPROPYLENE, POLYACRYLONITRIL AND CARBON FIBER COMPOSITES**

In this study, two separate composites were obtained, back polypropylene (R-PP) / polyacrylonitrile (PAN) (fiber ratio 10% -20% and 30%) and recycled polypropylene (R-PP) / carbon fiber (fiber ratio 10%, 20% and 30%) polymer composites to achieve a mixture by adding 5% MAPP and to increase adhesion between polypropylene and fibers. All pre-dried materials were mixed by extrusion. After the extrusion process, the granules were again dried and standard test samples were printed on the injection machine. Mechanical and physical tests were carried out using the relevant standards. Changes in elastic modulus, yield strength, tensile strength and elongation at break values were determined by tensile test. In addition, shore hardness, notched isod impact strength, density, wear rates at 20-40-60-80 meters and friction coefficient values at different loads were also determined. In order to examine the distribution of carbon fiber and polyacrylonitrile in microstructure, microstructure analysis was performed by scanning electron microscopy and fracture surface photographs were taken. The results obtained were evaluated and reported physically, mechanically and morphologically.

## SEMBOLLER

$\Delta m$	: Ağırlık kaybı
$E$	:Elastisitemodülü
$\sigma$	: Normal gerilme
$\varepsilon$	: Birim uzama
$F$	: Yük
$F_{max}$	: Uygulanan en yüksek kuvvet
$g$	: Gram
$J$	:Joule
$Kg$	: Kilogram
$kV$	: Kilovolt
$m$	: Metre
$m^2$	: Metrekare
$m^3$	: Metreküp
$mol$	:Mol
$\eta m$	: Nanometre
$Nm$	: Newton metre
$Pa$	: Pascal
$MPa$	: Mega Pascal
$ppm$	: Milyonda bir parça
$rpm$	: Dakikada devir sayısı
$\rho$	: Yoğunluk
$sn$	: Saniye
$dak$	: Dakika
$\sigma_{max}$	: Kopma dayanımı
$T$	: Sıcaklık
$T_g$	: Camsı geçiş sıcaklığı
$T_m$	: Erime sıcaklığı
$vol$	: Hacim
$wt$	: Ağırlık
$t$	: Zaman (s)
$T$	: Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )

## **KISALTMALAR**

<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PAN</b>	: Poliakrilonitril
<b>CF</b>	: Karbon elyaf
<b>MAPP</b>	: Maleik anhidrit polipropilen
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials
<b>EP</b>	:Epoksi reçine
<b>HDT</b>	: Isıl çarpılma sıcaklığı
<b>HDPE</b>	: Yüksek yoğunluklu polietilen (High densitypolyethylene)
<b>PEEK</b>	: Polieter eter keton
<b>ISO</b>	:International OrganizationforStandardization
<b>MFI</b>	: Eriyik akış indisi
<b>O</b>	: Oksijen
<b>PA</b>	:Poliamid
<b>PA6</b>	:Poliamid- 6
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>iPP</b>	: İzotaktikpolipropilen
<b>PS</b>	: Polistiren
<b>PVC</b>	: Polivinilklorür
<b>SEM</b>	: Taramalı electron mikroskobu
<b>Wt</b>	: Weight (Ağırlıkça)
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>UV</b>	: Ultra viole
<b>XRD</b>	: X-Işınları difraksiyonu
<b>EPDM</b>	: Etilen propilen dien monomeri

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Zincir yapılarına göre polimerler .....	2
Şekil 1.2. Polimerlerin polimerizasyon tepkimesi.....	3
Şekil 1.3. Polimer türleri .....	3
Şekil 1.4. Kompozit malzemeler .....	6
Şekil 1.5. Dolgu türlerine göre kompozit malzemeler .....	8
Şekil 1.6. M.H. Akonda ve arkadaşlarına ait çalışmada tespit edilen çekme mukavemeti, çekme modülü ve elastiklik modülü grafiksel gösterimi .....	10
Şekil 1.7. Chien-Lin Huang ve arkadaşlarına ait çalışmada tespit edilen çekme mukavemeti ve gerilme modülü .....	11
Şekil 1.8. Chien-Lin Huang ve arkadaşlarına ait çalışmadaki testte kullanılan çekme numuneleri.....	11
Şekil 1.9. Mehmet Emin Demir ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmaya ait kompozit malzemelerin farklı aşınma parametrelerindeki kayma mesafesine, hız ve yük miktarına bağlı ortalama sürtünme katsayısı değişimi .....	12
Şekil 1.10. Mehmet Emin Demir ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmaya ait kompozit malzemelerin farklı aşınma parametrelerindeki kayma mesafesine, hız ve yük miktarına bağlı kütle kayıpları.....	13
Şekil 1.11. Denisa Hirayama ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada PP/R-CF kompozitinin MFI değerleri .....	14
Şekil 1.12. Lien Zhu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada HDPE/ PAN kompozitinin çekme mukavemeti ve eğilme modülü değerleri.....	15
Şekil 1.13. Lien Zhu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada HDPE/PAN kompozitinin sertlik değerleri.....	15
Şekil 1.14. Emanuel Meshoyrer ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada PEEK/CF ve PEEK/R-CF kompozitlerinin darbe dayanımı .....	16

Şekil 2.1. Polipropilenin yapısı .....	18
Şekil 2.2. İzotaktik, sindiotaktik ve ataktik polipropilenin yapısı.....	18
Şekil 2.3. Polipropilen granülü.....	19
Şekil 2.4.Karbon elyaf .....	20
Şekil 2.5. Poliakrilonitril .....	22
Şekil 2.6. Elektronik terazi .....	23
Şekil 2.7. Etüv .....	24
Şekil 2.8. Ekstrüzyon makinesi .....	25
Şekil 2.9. Enjeksiyon makinesi .....	25
Şekil 2.10. Kullanılan kalıplar ve deney numune örnekleri .....	26
Şekil 2.11.Çekme test numunesi .....	28
Şekil 2.12. Çekme test cihazı .....	28
Şekil 2.13. Çekme test numune tipleri .....	28
Şekil 2.14. Aşınma test cihazı .....	30
Şekil 2.15. Çentik türleri .....	31
Şekil 2.16. Çentik açma cihazı .....	31
Şekil 2.17. Izod darbe deneyi test cihazı .....	32
Şekil 2.18. Sertlik testinde kullanılan uçların gösterimi .....	34
Şekil 2.19. Sertlik testi cihazı.....	34
Şekil 2.20. MFI cihazının şematik gösterimi .....	35
Şekil 2.21. MFI test cihazı .....	35
Şekil 2.22. Nem oranı tayini cihazı .....	37
Şekil 2.23. Yoğunluk kiti .....	38
Şekil 2.24. HDT-Vicat test cihazı .....	40
Şekil 2.25. Sürtünme katsayısı belirleme test cihazı.....	41

<b>Şekil 2.26.</b> Kaplama cihazı.....	42
<b>Şekil 2.27.</b> SEM cihazı.....	43
<b>Şekil 3.1.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarının çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi .....	45
<b>Şekil 3.2.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarının elastiklik modül değerlerinin grafiksel gösterimi .....	47
<b>Şekil 3.3.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait kopma mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi .....	49
<b>Şekil 3.4.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait kopma uzama miktarının grafiksel gösterimi .....	50
<b>Şekil 3.5.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerinin sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi.....	52
<b>Şekil 3.6.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait darbe mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi .....	53
<b>Şekil 3.7.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerinin yoğunluk değerleri grafiksel gösterimi.....	56
<b>Şekil 3.8.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait erime akış indekslerinin grafiksel gösterimi.....	57
<b>Şekil 3.9.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerine ait nem tayini değerlerinin grafiksel gösterimi.....	58
<b>Şekil 3.10.A.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (yüksüz).....	60
<b>Şekil 3.10.B.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (100 g).....	60
<b>Şekil 3.10.C.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (200 g).....	60
<b>Şekil 3.10.D.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (300 g).....	60

<b>Şekil 3.10.E.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (500 g) .....	61
<b>Şekil 3.11.A.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 20m aşınma sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	66
<b>Şekil 3.11.B.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 40m aşınma sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	66
<b>Şekil 3.11.C.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 60m aşınma sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	66
<b>Şekil 3.11.D.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 80m aşınma sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	66
<b>Şekil 3.12.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait vicat yumuşama sıcaklığı grafiksel gösterimi .....	68
<b>Şekil 3.13.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait ısıl çarpılma sıcaklığı grafiksel gösterimi .....	69
<b>Şekil 3.14.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait SEM fotoğrafları .....	70

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1.</b> Polipropilenin karakteristik özellikleri .....	17
<b>Tablo 2.2.</b> Karbon liflerinin karakteristikleri ve uygulama alanları .....	21
<b>Tablo 2.3.</b> Polimer kompozitinin karışım oranları.....	24
<b>Tablo 2.4.</b> Test numune ölçüleri .....	26
<b>Tablo 2.5.</b> Ekstrüzyon-Enjeksiyon makinesi kullanım şartları.....	27
<b>Tablo 2.6.</b> Kalınlıklara göre numune boyutları mm .....	29
<b>Tablo 2.7.</b> Metot tanımları, örnek tipleri, çentik tipleri ve çentik boyutları .....	33
<b>Tablo 2.8.</b> Bazı polimerlere ait sınıflar .....	36
<b>Tablo 2.9.</b> Polimer sınıflarına ait sıcaklık ve ağırlıklar .....	36
<b>Tablo 2.10.</b> HDT test metodu .....	39
<b>Tablo 2.11.</b> HDT test numune ölçüleri .....	39
<b>Tablo 2.12.</b> Vicat yumuşama sıcaklığı test metotları .....	40
<b>Tablo 3.1.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerinin karışım oranları .....	44
<b>Tablo 3.2.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait çekme mukavemeti değerleri .....	45
<b>Tablo 3.3.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait elastiklik modülü değerleri.....	47
<b>Tablo 3.4.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait kopma mukavemeti değerleri .....	48
<b>Tablo 3.5.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait kopma uzama miktarları.....	50
<b>Tablo 3.6.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit çalışma gruplarına ait sertlik değerleri.....	51

<b>Tablo 3.7.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait darbe mukavemeti değerleri.....	53
<b>Tablo 3.8.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarının yoğunluk değerleri .....	55
<b>Tablo 3.9.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarının erime akış indeksleri .....	57
<b>Tablo 3.10.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait nem tayini değerleri.....	58
<b>Tablo 3.11.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları.....	59
<b>Tablo 3.12.A.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait 20m aşınma oranı sonuçları .....	62
<b>Tablo 3.12.B.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait 40m aşınma oranı sonuçları .....	63
<b>Tablo 3.12.C.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait 60m aşınma oranı sonuçları .....	64
<b>Tablo 3.12.D.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait 80m aşınma oranı sonuçları .....	65
<b>Tablo 3.13.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait vicat yumuşama sıcaklık sonuçları.....	67
<b>Tablo 3.14.</b> R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait ısıl çarpılma sıcaklık sonuçları.....	69

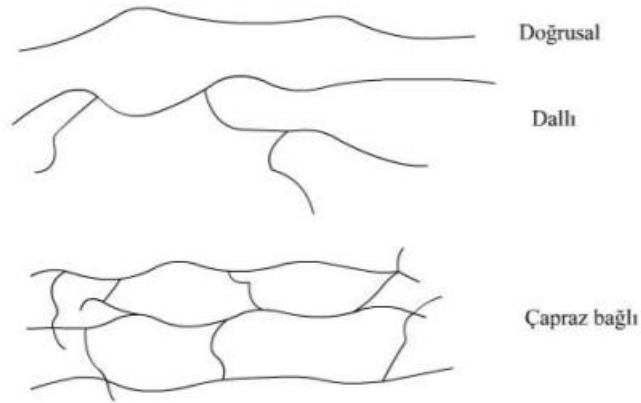
## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, sağladıkları avantajlar ve çeşitlilikleri dolayısı ile bugün birçok mühendislik uygulamasında önemli bir yer tutmaktadır. Uygulama alanlarında istenilen bazı fiziksel ve/veya kimyasal özellikleri tek başına karşılayamayan polimerlerin çeşitli tipte ve oranlarda tekstil lifleri ile desteklenmesi sonucunda istenilen özellikleri sağlayabilen kompozit yapıların elde edilmesi, son zamanlarda yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Mühendislik malzemelerinde kullanım yerine göre sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına(nem, güneş ışınları gibi) dayanıklılık, tokluk gibi temel özelliklerin yanı sıra zamana bağlı yorulma, darbe dayanımı, çatlama, eğilme dayanımları, kimyasal dayanım ve benzeri değerlerin uygunluğu da aranmaktadır. Bütün bu istenen özellikleri tek bir malzeme bulmak son derece ender rastlanan bir durumdur. 1950'li yıllardan itibaren alternatif malzeme olarak üretilmeye başlayan kompozitler farklı özellikleri bir arada bünyesinde barındıran malzeme teminindeki sıkıntıya çözüm olmaya başlamıştır. Lif ile güçlendirilmiş polimerik kompozitlere olan ilgi, yüksek özgül mukavemet ve modül özellikleri nedeniyle geçmiş yıllardan bu yana giderek artış göstermiştir. Kompozitler genel olarak polimer maddelerin görünüm, bağlanma ve fiziksel özellikleri ile liflerin, yüksek mekanik ve fiziksel performanslarını birleştiren, lif takviyeli polimerlerden oluşmuş hibrid materyallerdir. Kendisini oluşturan malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip bir bileşik malzeme olan kompozitler genellikle takviye ve matris olmak üzere en az iki materyalden oluşmaktadır. Kompozitlerde tekstil liflerinin takviye elemanı olarak tercih edilmesinin en önemli nedeni, kompozite yüksek mukavemet ve yüksek modül değerleri kazandırmaktır. Kompozit yapılarda; hafiflik, mukavemet ve modül, yorulma mukavemeti, elektrik ve ısı iletkenliği ve ekonomiklik gibi nedenler takviye materyalinin seçiminde rol oynamaktadır. Lifler arasında gerilim transferi sağlamak, lifleri korozyon, oksidasyon, ortamın etkisi ve darbelerden korumak ise matris malzemenin seçim kriterlerini oluşturmaktadır. Kompozit malzemelerin avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir.

## 1.1. Polimer Malzemeler

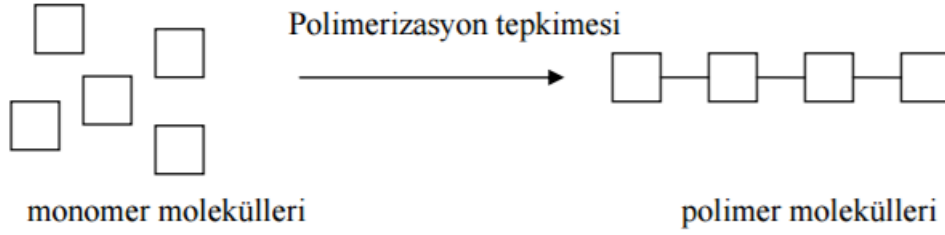
Çok sayıda molekülün kimyasal bağlarla düzenli bir şekilde bağlanarak oluşturdukları yüksek molekül kütleli bileşiklerdir. Polimerler; hafif, ucuz, mekanik özellikleri çoğu kez yeterli, kolay şekillendirilebilen, değişik amaçlarla kullanıma uygun, dekoratif, kimyasal açıdan inert ve korozyona uğramayan maddelerdir [1].

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi polimerler doğrusal (linear), dallı (branched) ya da çapraz bağlı (crosslinked) polimerler olmak üzere üçe ayrılırlar. Doğrusal polimerler aynı monomer yapısının sürekli tekrarı sonucu oluşan yapılardır. Dallı polimerler ise ana polimer zincirinin üzerindeki çeşitli merkez noktalarından bazı monomer gruplarının uzaması sonucu oluşurlar. Polimer molekülleri birbirlerine uçlarından bağlanmak yerine ortalarındaki noktalardan bağlanırlarsa o zaman da iç içe bağlı polimerler ortaya çıkar [2].



Şekil 1.1 Zincir yapılarına göre polimerler [1]

Monomer molekülleri Şekil 1.2'de görüldüğü gibi polimerizasyon tepkimeleri üzerinden polimer molekülüne dönüşürler. Bir polimer molekülünde yüzlerce hatta binlerce monomer bulunabilir.



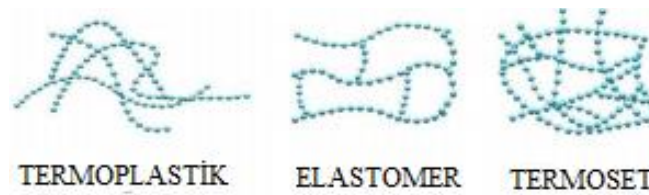
**Şekil 1.2** Polimerizasyon tepkimesi [1]

Polimerlerin sentezinde değişik kimyasal tepkimelerden yararlanılır ve bu tepkimeler genel işleyiş mekanizmaları açısından; basamaklı (kondensasyon) polimerizasyon ve katılma polimerizasyonu adları verilen iki temel polimerizasyon yöntemi altında toplanırlar.

Katılma (Zincir) Polimerizasyonu, monomerler aktif merkezlere tek tek katılarak polimer zincirini oluştururlar. Tepkime boyunca zincir büyümekte olduğu için ortamda yüksek mol kütleli polimer ve tepkimeye girmemiş monomer bulunur. Katılma tepkimesini başlatmanın iki yolu vardır. Birinde serbest radikallerin ısı, ışık ya da ultrasonikasyon gibi etkilerden yararlanılarak tepkime ortamında oluşturulmalarıyla polimerizasyon gerçekleştirilir. Diğer bir yol ise iyonik karakterli aktif merkezler üzerinden polimerizasyon tepkimesinin başlatılmasıdır.

Basamaklı (Kondensasyon) Polimerizasyon, fonksiyonel grupları bulunan iki molekül, aralarından küçük bir molekülü ayırarak birleşirler. Genelde tepkimelere giren fonksiyonel gruplar  $-OH$ ,  $-NH_3$ ,  $-COOH$  türü olduğu için tepkime sonunda ortaya çıkan küçük moleküller  $H_2O$ ,  $HCl$  ve  $NH_3$ 'tür [2].

Polimerler molekül yapılarına, şekillerine, ağırlıklarına, molekül büyüklüklerine ve bağ türlerine göre farklı özellikler gösterirler. Polimerler fiziksel özelliklerine göre termoplastik, termoset ve elastomer olmak üzere Şekil 1.3'de görüldüğü gibi üç gruba ayrılır.



**Şekil 1.3** Polimer türleri [3]

### **1.1.1. Termoplastikler**

Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ bulunmaz. Bu bağların bulunmaması termoplastiklerin tekrar tekrar işlenebilmesine imkân sağlamaktadır. Aynı zamanda termoplastikler kimyasal çözücülerde çözülebilmektedir. Termoplastikleri makromoleküllerin dizilişine göre ikiye ayırmak mümkündür. Eğer makromoleküllerin dizilişi rastgele gerçekleşmiş ise malzeme “amorf” olarak adlandırılır. Amorf malzemelere katkı malzemeleri katılmadığı sürece şeffaf bir görünüme sahiptirler. Bazı termoplastiklerde yer yer makromoleküllerin dizilişleri bir düzen ihtiva eder. Bu tarz termoplastikler “yarı kristal” olarak adlandırılır. Plastiklerde, makromoleküller karmaşık ve birbirine dolaşmış bir yapı ihtiva eder. Bu da plastik malzemelerin % 100 oranında kristalli bir yapıya sahip olmasını engeller. Bu yüzden plastik malzemelerde kristalli bölgeler arasında amorf bölgelerde yer alır. Kristalleşmiş bölgelerin tüm alana oranı “kristallik derecesi” olarak adlandırılır. Fakat daha basit zincir yapısına sahip olan plastik malzemelerin kristallik derecesi daha yüksektir.

Termoplastikler ısıtılırlar, ergitilirler ve sonunda şekillenmiş bir ürün eldesi sağlanabilir. Daha sonra katılaştırmış termoplastik yeniden ısıtılabilir ve ergitildikten sonra yeniden kalıplanarak ürün haline getirilebilir. Her ne kadar geri dönüşüm söz konusu olsa da termoplastiklerin ısıtılıp ergitme ve soğutma işlemleri belirli tekrarlarla sınırlı kalmalıdır. Aksi takdirde termoplastiğin fiziksel özelliklerinde değişiklikler görülmektedir [4].

### **1.1.2. Termosetler**

Termoset plastikler üç boyutlu çapraz bağlara sahiptir. Bağlar dönemediğinden ve kayamadığından termoset plastikler termoplastiklere göre daha iyi dayanım, sertlik ve peklik gösterirler. Termoset plastiklerin süneklilikleri ve darbe dayanımları düşüktür, camsı geçiş sıcaklıkları ise yüksektir. Çekme deneyinde, gevrek metallere ve seramiklerle benzer davranışlar sergilerler. Termoset plastiklerde ısı ve basınç çapraz bağların oluşumunu başlatan iki etmendir. Termosetlerde çapraz bağlar geri dönüşümsüzdür, bir defa oluşturuldu mu malzeme tekrar kullanılamaz ve geri dönüştürülemez [5].

### **1.1.3. Elastomerler**

Oda sıcaklığında orijinal boyunun en az iki misline uzatılabilen ve bu uzamayı temin eden kuvvet ortadan kaldırıldığında hemen hemen orijinal haline dönebilen polimerik

malzemeler elastomer olarak tanımlanır. Elastomerleri daha kapsamlı bir şekilde ‘Çok düşük sıcaklıklarda cam gibi sert olan, çok yüksek sıcaklıklarda dahi koyu sıvımsı akışkan özellikler göstermeyen, oda sıcaklığından, parçalanma sıcaklığına kadar geniş bir alan içerisinde elastik özellikler gösteren seyrek çapraz bağlanmış (vulkanize olmuş) polimerik malzemelerdir [6].

#### **1.1.4. Polimer Malzemelerin Geri Dönüşümü**

Plastikler atık olarak doğaya atıldıklarında, bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, ultraviyole ışınlarına dayanıklı olması, doğadaki bakterilere karşı dayanıklı olması onların uzun süre bozunmadan kalmalarına sebeptir. Bu sebepten dolayı çevreyi kirlendiklerinden “geri dönüşümleri” bir toplumsal zorunluluktur. Atık plastiklerin geri kazanımı incelendiğinde;

- Atıkları, orijinal plastiklere katıp orijinal polimere yakın yeni plastik elde etmek için yapılan geri kazanım, bu tip geri kazanımda, makinelerden çıkan artık plastikler ile temiz çöp plastikler kullanılır.
- İkinci geri kazanım yöntemi, orijinal plastik elde etme yerine ikinci kalite mal elde etmek için yapılan işlemdir. Plastik kullanılıp kirlendikten sonra, yani çöp haldeki plastik artıklar, ayrılır, temizlenir eritilerek kullanılır.
- Kimyasal geri kazanım işlemi, bu işlemde amaç, atık plastiklerden ihtiyaç olan monomeri alıp, yeni kimyasal içerikli farklı özellikte polimerler elde etmektir.
- Dördüncü geri kazanım işlemi ise atık plastikleri yakıp, çıkan enerjilerinden faydalanmaktır. Bu çıkan gazların insan sağlığına zararları yüzünden mahsurlu bir yöntemdir [7].

#### **1.2. Kompozit malzemeler**

Bir kompozit malzeme iki veya daha fazla bileşenin makroskobik seviyede ve birbirleri ile çözünmeden birleşiminden meydana gelir. Bu bileşenlerden biri veya daha fazlası takviye malzemesi olarak adlandırılırken takviye malzemesini saran diğer yapıya ise matris yapısı denilmektedir [8].

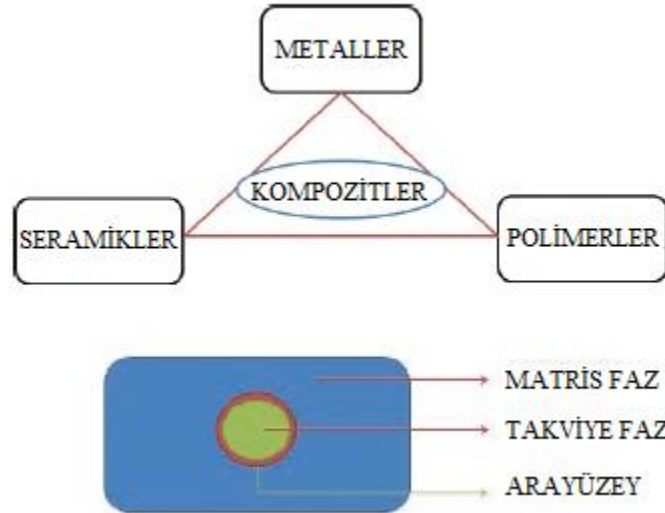
Matris malzemesi, kompozit yapıyı oluşturan diğer malzemelerin bir arada tutulmasını ve istenilen formu almasını sağlayan malzemedir. Özelliklerine bağlı olarak kimyasal ve fiziksel etkilere karşı yapıyı koruyan ve takviye elemanları üzerine etkiyen yük ve

kuvvetleri ileten fazı oluşturur. Matris kompozit malzemelerin yapısında meydana gelen gerilmelerin karşılanmasına yardımcı olarak, liflerde meydana gelen çatlama ve kopmaları önleyerek tok bir yapı oluşturur. Kompozit malzemelerde basınç dayanımı matris malzemesinin dayanımına bağlıdır. Matris malzemeleri ıslatıcılık özelliği ve şekillendirilebilme kolaylığı nedeniyle sıvı halde kullanılır. Matrisin akışkanlık direnci (viskosite) önemlidir. Kompozit malzeme kullanılarak yapılacak imalatta matrisin kimyasal özelliği, ısıl direnci, kürleme süresi ve ekonomik değeri gibi unsurlar belirleyicidir [9-12].

Takviye faz, üretim esnasında matris fazın tane büyüklüğünü kontrol eder ve iletilen yükleri paylaşarak karşı koyar. Matris yapı ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapan ara yüzey bağı ise, genellikle kırılma özelliği göstermesine rağmen oluşan herhangi bir kuvveti çözülmeye ve kırılmaya uğramadan takviye fazına iletir. Bu bölge malzemenin elastikiyet modülünü etkileyen en önemli bölgedir. Bu yüzden kompozit malzemenin dayanıklılığı ara yüzey bağının istenilen şekilde olmasına bağlıdır [13].

### 1.2.1. Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Matris malzemeler, kompozit malzemenin kullanım amacına ve üretim tekniğine göre Şekil 1.4'de görüldüğü gibi metal, seramik veya polimer malzemelerden oluşabilir.



Şekil 1.4 Kompozit malzemeler [14]

Metal matrisli kompozit malzemeler; Mevcut malzemelerin kullanım sıcaklığının üzerinde sıcaklıklarda kullanılacak ve daha yüksek spesifik mukavemet özelliğine sahip malzemelere duyulan ihtiyaç nedeniyle 1960'lı yılların başında metal matrisli

kompozit (MMK) malzemeler geliştirilmiştir. MMK'lar sermet, metalik köpük, partikül veya fiber takviyeli metaller gibi geniş bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. MMK'lar yerlerine kullanıldıkları metal ve diğer yekpare malzemelere oranla önemli avantajlara sahiptir [15,16].

Seramik matrisli kompozit malzemeler; Yüksek sıcaklık uygulamalarında polimer matrisli kompozitler sahip oldukları hidrokarbon yapısı nedeniyle kullanılamazken, seramik malzemeler yüksek yoğunluğa sahip metallere alternatif olarak kullanılmaktadır. Seramik malzemeler hem düşük yoğunlukları nedeniyle daha hafif, hem de yüksek oksidasyon dirençleri sebebiyle yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya oldukça elverişli malzemelerdir. Yekpare seramik malzemeler çatlaklara karşı çok hassas malzemelerdir. Seramiklerin bu kırılğan doğası yüksek sıcaklık mukavemeti, düşük yoğunluk, kimyasal kararlılık ve aşınma direnci gibi pek çok önemli özelliğinin arka plana atılmasına sebep olmakta, savunma sanayi ve havacılık uygulamaları gibi büyük pazar paylarına sahip alanlarda kullanılmalarını sınırlamaktadır. Son yıllarda yapısal seramikler alanında gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların seramik matrisli kompozit malzemeler ve çatlığa karşı daha az hassasiyete sahip mikroyapılar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir [17].

Polimer matrisli kompozit malzemeler; kompozit malzemelerin en önemli ve en çok kullanılan türlerinden biridir. Bu kompozitler; matris malzemesi olarak epoksi, polyester ve vinil ester gibi reçineler ile cam, aramid ve karbon elyaf gibi takviye malzemelerinin birleştirilmesi sonucunda üstün özellikler gösteren malzemelerdir. Bu malzemeler gösterdikleri üstün mekanik özellikler, korozyon direnci ve hafif olmaları nedeniyle çok fazla tercih edilmektedir. Ancak, darbe ve yorulma hasarına karşı gösterdikleri yüksek hassasiyetleri, bu malzemelerin hasar gördükten sonra tamir edilmesini zorlaştırmaktadır [18]. Termoset ve termoplastik matrisli olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Sürekli fiber takviyesi yapılarak polimer matrisli kompozitler güçlendirilebilir. Fiber olarak aramid, karbon, cam vb. kullanılabilir. Bazı uygulamalarda takviye edici olarak fiber yerine tanecikli yapılar da kullanılabilir. Tanecikli yapılara metal parçaları, toz, pudra, kil, mikroküreler örnek verilebilir [19].

## 1.2.2. Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Elyaf takviyeli kompozitler; kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam almıştır. Matris malzeme olarak plastik reçineler en fazla kullanılan tür olup bunlardan da polyester ucuzluğu sebebiyle ilk sırayı almaktadır. Lif takviyeli kompozit malzemelerde bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdır ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Matris (reçineler) termoset veya termoplastik olabilir. Takviye lifleri, uzun liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler vb. değişik formlarda olabilirler. Her biçim ayrı özelliklerle sonuçlanır. Kompozit malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığına bağlıdır [20].



**Şekil 1.5** Dolgu türlerine göre kompozit malzemeler [20]

Parçacık takviyeli kompozitler; Takviye malzemesinin boyutları, takviye malzeme özelliklerinin, kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacıklar, çoğunlukla kompozitin sertliğini artırmada etkili fakat dayanımı artırmada fazla bir etkiye sahip değildir. Parçacık dolgular, her ne kadar yaygın olarak fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için kullanılsa da birçok durumda sadece maliyeti azaltmak için kullanılırlar. Parçacık dolgulu malzemede performansı etkileyen çok değişik unsurlar vardır. Bunların içinde, parçacık boyutları boyut dağılımları, yüzey enerjileri, hacimsel oranlar, homojen dağılıp dağılmadıkları, eksen oranı kompozit özelliklerini etkiler.

Tabakalı kompozitler; tabakalı kompozit yapı en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit yapı tipidir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isı ve neme karşı dayanıklı yapılardır. Metallerle göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya

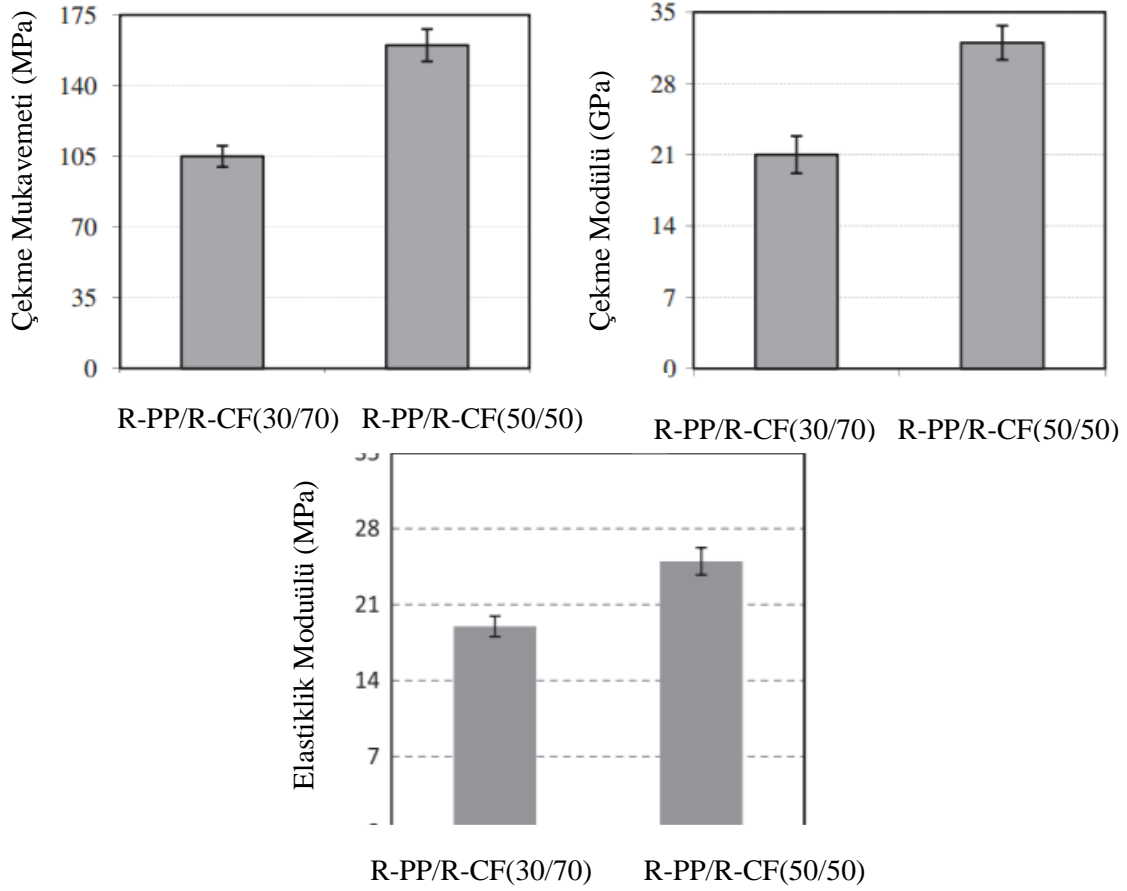
hafifliğini korurken, aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısı genleşme özelliklerini kapsamaktadır.

Karma kompozitler; aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanı çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere “hibrid kompozitler” denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise; düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyaf kullanılarak tasarlanan hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır [16,19,20].

### 1.3. Literatür Çalışması

Yukarıdaki bölümlerde sözü edildiği gibi, tüm dünyada polimer bilimi hızla gelişmekte ve ilerlemektedir. Bu ilerlemenin en büyük göstergesi sürekli yeni formülasyonlar, yeni karışımlar denenmesi olarak gösterilebilir. Bu çalışmalarda endüstrinin ihtiyaçları, ekonomik nedenlerin, geri dönüşüm gibi faktörlerin büyük bir rolü bulunmaktadır. Polimer kompozitleri konusunda fazlaca çalışma gerçekleştirilmiştir. Özellikle otomotiv sektöründe fazlaca kullanılan polipropilen bu çalışmaların başını çeken malzemelerdendir. Polipropilenin mekanik özelliklerinin geliştirilip, işlenebilirliğinin artırılması adına birçok çalışma yapılmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan polipropilen, karbon elyaf ve poliakrilonitril malzemelerinin ayrı ayrı kullanılmış olduğu birçok çalışma bulunmaktadır.

M.H. Akonda ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ; Kıyılmış geri dönüştürülmüş karbon elyafı (R-CF), geri dönüşümlü polipropilen(R-PP) ile karıştırmışlar ve termoplastik bir kompozit elde etmişlerdir [21]. Ağırlıkça R-PP/R-CF oranlarını 30/70 ve 50/50 olarak hazırlamışlardır. Takviye elyaf için normalde filament halindeki karbon elyaflar kullanılırken bu çalışmada taraklama işlemi uygulanarak geri dönüştürülmüş karbon elyaf kullanılmıştır. Bu oluşturdukları kompozit numuneleriyle bazı mekanik testleri incelemişlerdir. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi R-PP / R-CF kompozitinin mekanik özelliklerinde, çekme mukavemetinin, çekme modülünün ve elastiklik modülünün karbon elyaf oranı arttıkça arttığı tespit edilmiştir.

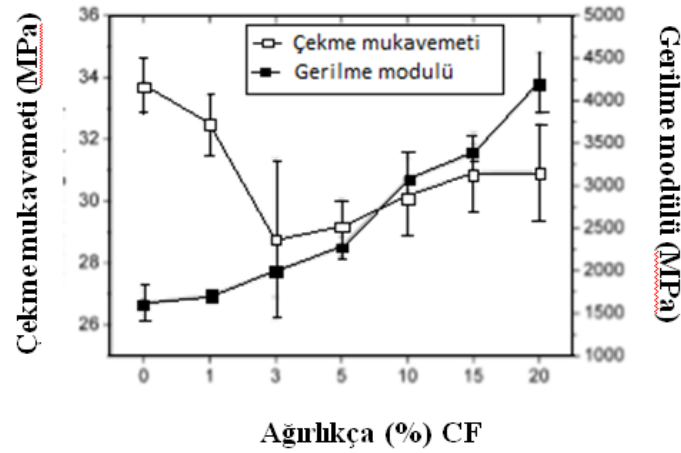


**Şekil 1.6** M.H. Akonda ve arkadaşlarına ait çalışmada tespit edilen çekme mukavemeti, çekme modülü ve elastiklik modülü [21]

Chien-Lin Huang ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı karbonlu malzemelerin farklı ölçümlerle takviye edebileceği kompozitlerin Polipropilen(PP)/Grafen(GN) ve Polipropilen(PP)/Karbon elyaf(CF) mekanik, kristalleşme ve elektromanyetik özellikleri incelenmiştir[22].

PP / CF iletken kompozitinin mekanik özelliklerinde, çekme mukavemetinin ilk önce azaldığı daha sonra karbon elyaf oranı arttıkça arttığı tespit edilmiştir. CF içeriği ağırlıkça % 3'ten fazla olduğunda, PP / CF iletken kompozitinin çekme mukavemeti sürekli artmış, bunun sonucu PP'nin neden olduğu çapraz yapıya ve yüksek bir CF içeriği ve bazı lifler dolaşmış ve daha sonra gerilme mukavemetine elverişli olan takviye edici etki sağladığı gözlemlenmiştir. Gerilme modülünde ise sürekli olarak artan bir grafik elde edilmiştir. Çekme dayanımı (33,74 MPa) ve saf PP katsayısı (1621 MPa) ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça % 20 CF'nin kombinasyonu PP/CF iletken

kompozitlerin gerilme dayanımının % 8.3 oranında ve 30,94 MPa'ya düşmesine neden olur ve gerilmelerini arttırır % 159 ila 4207 MPa arasındadır. Bu durum, Şekil 1.7 altında verilen grafik ile daha net bir şekilde anlaşılmaktadır.



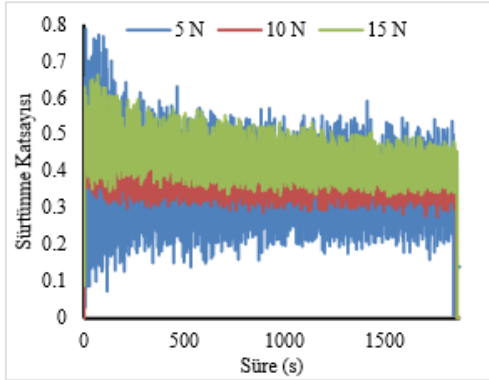
Şekil 1.7 Chien-Lin Huang ve arkadaşlarına ait çalışmada tespit edilen çekme mukavemeti ve gerilme modülü [22]



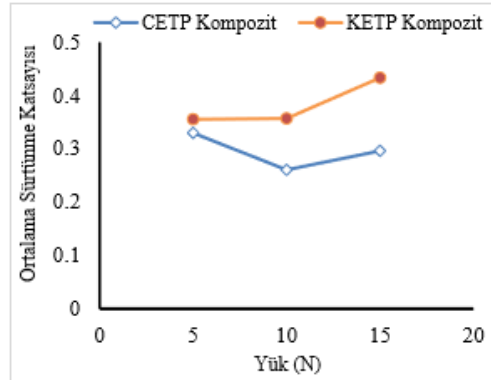
Şekil 1.8 Chien-Lin Huang ve arkadaşlarına ait çalışmadaki teste kullanılan çekme numuneleri [22]

Mehmet Emin Demir ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit çubukların kuru kayma koşullarındaki abrasiv aşınmaları gerçekleştirmişlerdir. Pin on disk cihazında gerçekleştirilen deneylerde elyaf türünün, uygulanan yükün(5, 10 ve 15 N): kayma hızının(0,4; 0,6 ve 0,8 m/s) ve kayma mesafesinin(250, 500 ve 750 m) kompozitlerin tribolojik davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde karbon elyaf takviyeli kompozitlerdeki sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Aşınmaya bağlı kütle kayıplarında, bütün

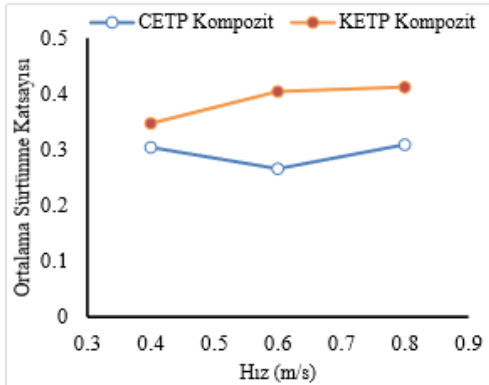
koşullar için cam elyafta kütle kaybının daha az olduğu görülmüştür. Artan yük, kayma hızı ve mesafesinin kütle kaybını arttırdığı tespit edilmiştir[23]. Karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitlerde en yüksek kütle kayıpları, 15 N yük, 0.8 m/s kayma hızı ve 750m kayma mesafesinin uygulandığı durumlarda gerçekleşmiştir. Bu durum, Şekil 1.9 ve Şekil 1.10 altında verilen grafikler ile sürtünme katsayısı değişimi ve kütle kaybı değerleri daha net bir şekilde anlaşılmaktadır.



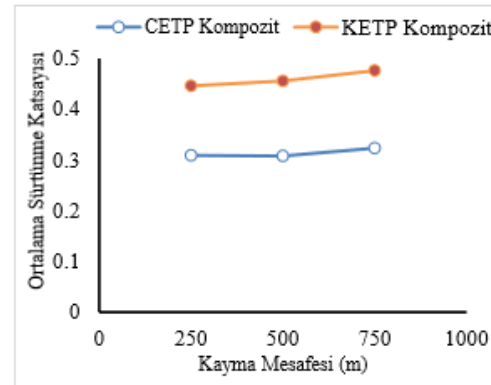
Malzeme: Karbon elyaf takviyeli plastik kompozit;  
kayma hızı: 0,4 m/s



Kayma hızı: 0,4 m/s  
Kayma mesafesi: 500 m

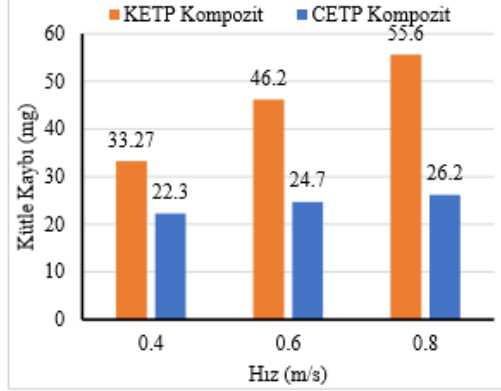
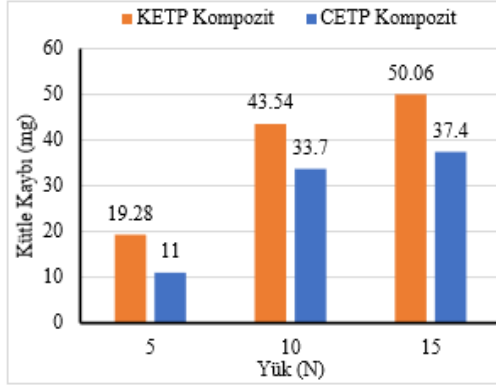


Uygulanan yük:5 N;  
Kayma mesafesi:750 m



Kayma hızı: 0,8 m/s,  
Uygulanan yük 15 N

**Şekil 1.9** Mehmet Emin Demir ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmaya ait Kompozit malzemelerin farklı aşınma parametrelerindeki kayma mesafesine, hız ve yük miktarına bağlı ortalama sürtünme katsayısı değişim[23]

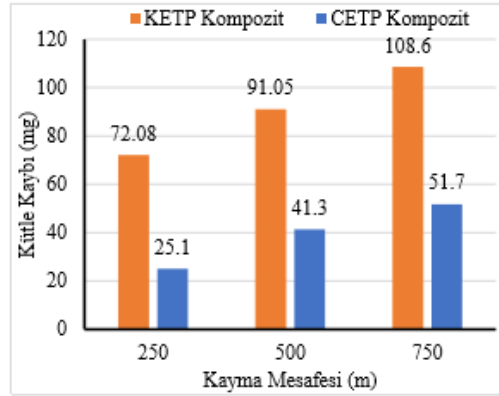


Kayma Hızı: 0,4 m/s;

Uygulanan Yük:5 N;

Kayma Mesafesi: 500 m

Kayma Mesafesi:750 m



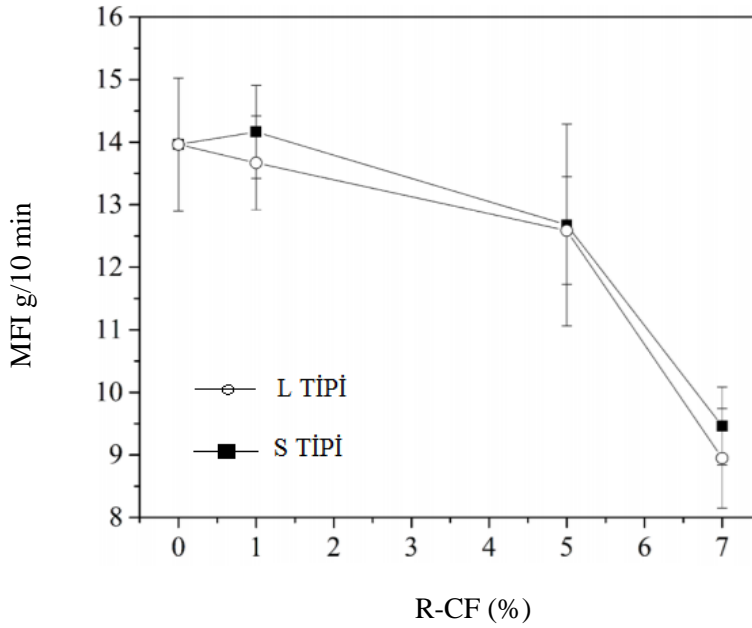
Kayma Hızı: 0,8 m/s,

Uygulanan Yük 15 N

**Şekil 1.10** Mehmet Emin Demir ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmaya ait Kompozit malzemelerin farklı aşınma parametrelerindeki kayma mesafesine, hız ve yük miktarına bağlı kütle kayıpları[23]

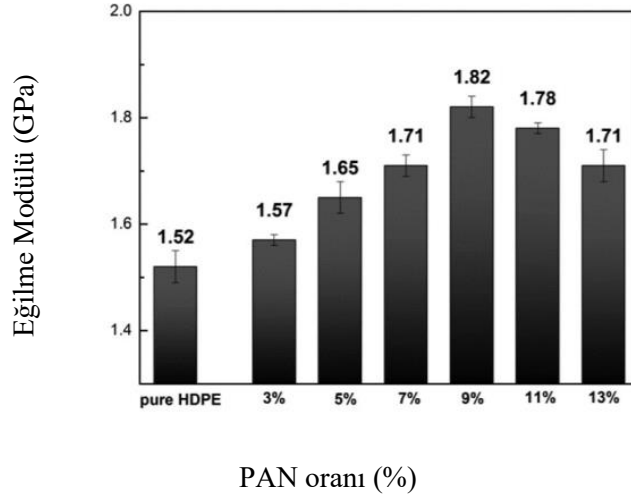
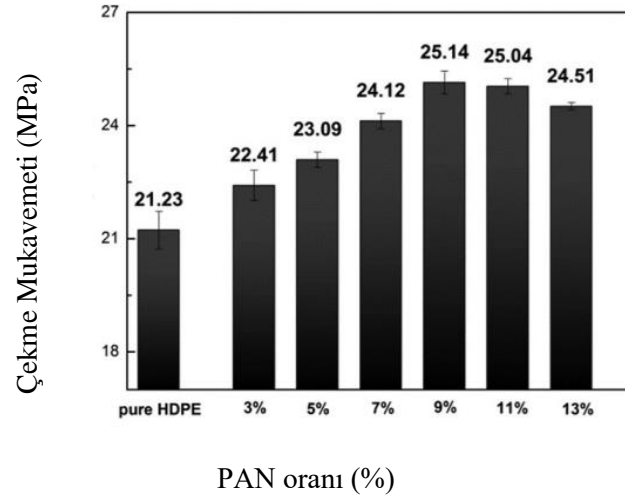
Denise Hirayama ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; kompozit atıklardan kaynaklanan karbon elyaflarının miktar ve boyutlarının yeni bir polipropilen matris bileşiğine etkisini incelemişlerdir[24]. Çalışmayı gerçekleştirmek için, geri dönüştürülmüş karbon elyaf iki farklı uzunlukta (4,5 mm ve 3,0 mm) doğranmış elyafların üretimi için mekanik olarak işlenmiştir. Lif ağırlığı muhtevasında %1, %5 ve %7 oranlarında doğranmış karbon fiber/polipropilenden termoplastik kompozitler, ekstrüzyon ve enjeksiyon işlemiyle elde edilmiştir. Daha sonra, elde edilen kompozit materyali karakterize etmek için bir dizi laboratuvar testi (mekanik, termal ve morfolojik)

yapılmıştır. Şekil 1.11'de görüldüğü gibi geri dönüşümlü karbon fiber (R-CF) ilavesi erime akışını azaltma eğilimindedir, kompozit için önemli bir azalma ise %7 karbon lifi konsantrasyonunda meydana gelmiştir. Her iki elyaf uzunluğunda da (L ve S) oran arttıkça MFI azaldığı görülmüştür. Sonuçlar ise yeni kompozitin geri dönüştürülmüş karbon elyafları ve polipropilen matrisi arasında düşük yapışması olan karmaşık bir faz sistemi sunmasına rağmen, elyafların bir takviyeye neden olabileceğini göstermiştir.

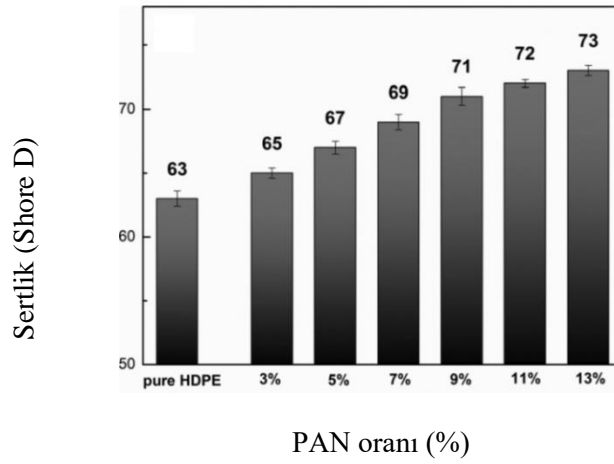


**Şekil 1.11** Denisa Hirayama ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada PP/R-CF kompozitinin MFI değerleri[24]

Lien Zhu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; yüksek yoğunluklu polietilen(HDPE)/poliakrilonitril (PAN) kompozitleri çift vidalı ekstruder ile eritilip karıştırılarak, test için numuneler bir enjeksiyon kalıplama kullanılarak yapılmıştır[25]. Ağırlık olarak %9 PAN elyafının eklenmesiyle, gerilme dayanımı ve eğilme katsayısının tüm HDPE'lerde maksimum değere sahip olduğu bulunmuştur. HDPE/PAN kompozitinin değeri saf HDPE'den 1,2 kat arttığı gözlemlenmiştir. Sertlik, depolama modülü ve kompozitlerin vicat yumuşama noktası PAN ilavesiyle iyileştirdiği görülmüştür. PAN oranındaki sürekli artış kompozitin ısıl kararlılığı ve işlenebilirliği, kristallik derecesini arttırdığı incelenmiştir. Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'de görüldüğü gibi PAN polietilenin yüksek çekme dayanımı ve deformasyona karşı koyma kabiliyetini arttırdığı tespit edilmiştir.

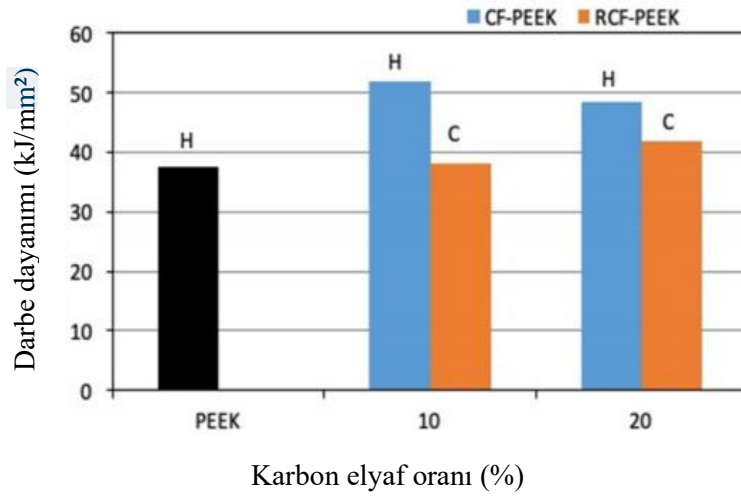


Şekil 1.12 Lien Zhu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada HDPE/PAN kompozitinin çekme mukavemeti ve eğilme modülü değerleri[25]



Şekil 1.13 Lien Zhu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada HDPE/PAN kompozitinin sertlik değerleri [25]

Emanuel Meshoyrer ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; geri dönüşümlü polietereketon(PEEK)/karbon elyaf (R-CF) ve PEEK/karbon elyaf (CF) polimer kompozitleri üsttün karıştırma sağlamak için bir enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılarak numuneler elde edilip mekanik morfolojik, ısıl özellikleri ve elektrik iletkenliği incelenmiştir[26]. Bu çalışmaya göre PEEK'e %10 R-CF ve CF katıldığı her iki durumda da darbe direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Şekil 1.14'ü incelediğimizde CF'nin R-CF'ye göre darbe direncinde daha fazla artış gösterdiği görülmüştür. Fakat %20 karbon elyaf eklediğinde %10 eklendiği durumdan CF eklenende bir miktar azalma görülürken, R-CF eklenen de artış tespit edilmiştir.



**Şekil 1.14** Emanuel Meshoyrer ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada PEEK/CF ve PEEK/R-CF kompozitlerinin darbe dayanımı[26]

## BÖLÜM 2 - MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

#### 2.1.1. Geri dönüşümlü polipropilen (R-PP)

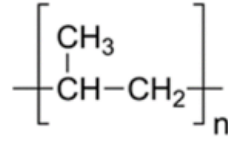
Kompozit malzemeyi hazırlarken kullanılan polipropilen; EMAŞ A.Ş. tarafından üretilmiş olan EMOPLen CP-M 8081 tipidir ve enjeksiyon kalıplama için uygundur. Bu polipropilenin firmadan alınan teknik bilgileri Tablo 2.1’ de verilmiştir.

**Tablo 2.1** Polipropilenin karakteristik özellikleri

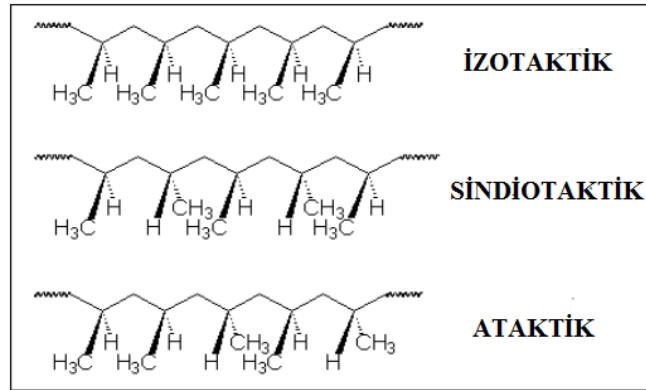
ÖZELLİKLER	DEĞER	BİRİM	METOT
Yoğunluk	0,90-0,95	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Ergime akış indeksi	9-14	g/10dak	ISO 1133
Max. çekme dayanımı (50 mm/dk)	≥16	MPa	ISO 527
Kopma uzaması (50 mm/dk)	≥40	%	ISO 527
Elastiklik modülü (1 mm/dk)	≥750	MPa	ISO 527
Flex modülü (1 mm/dk)	≥700	MPa	ISO 527
Izod çentikli darbe dayanımı (23 °C)	≥8	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
Izod çentikli darbe dayanımı (-30 °C)	≥4	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
Sertlik	56-60	Shore D	ISO 868
Kalıp çekme	1,15-1,25	%	-
HDT/A (1,8 MPa)	≥54	°C	ISO 75/2B
HDT/A (0,45 MPa)	≥82	°C	ISO 75/2B
VICAT/N (50 N)	≥65	°C	ISO 306

Polipropilen, propilen monomerinin termoplastik bir polimeridir. PP'nin kimyasal formülü (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)<sub>n</sub>'dir ve yapısı Şekil 2.1' deki gibi gösterilebilir. İlk olarak G. Natta ve arkadaşları tarafından 1954'te K. Ziegler katalizörünün geliştirilmesinden sonra üretilmiştir [27]. 1957'de en yaygın kullanılan ticari PP şekli, Montecatini tarafından monomerlerin bağlanması yoluyla kristalleştirilebilir zincirlere yol açan Ziegler-Natta katalizörleri (yani Al ve Ti bazlı katalizörler) yardımıyla üretildi. Monomer moleküllerinin bağlanması sırasında metil gruplarının (CH<sub>3</sub>) oryantasyonu, taktiklik kavramını dikkate alır. Tüm metil gruplarının ana zincir boyunca aynı tarafta olması durumuna izotaktik PP adı verilir. Asılı metil grupları ana zincire dönüşümlü olarak bağlanırsa, sindiotaktik PP olarak adlandırılır. Metil gruplarının polimer ana zinciri üzerinde rastgele bir şekilde konumlandırıldığında ise ataktik PP olarak adlandırılır [28-

29]. Şekil 2.2’de metil gruplarının polipropilen ana zinciri üzerindeki dizilişi gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Polipropilenin yapısı [28]



Şekil 2.2 İzotaktik, sindiotaktik ve ataktik polipropilenin yapısı [30]

### 2.1.1.1. Polipropilenin özellikleri ve kullanımı

Polipropilenin mekanik ve termal özellikleri, taktikliğe, moleküler ağırlığa, dağılımına ve % kristalliliğine bağlı olarak değişebilir. PP, diğer termoplastikler gibi viskoelastik bir malzeme olduğundan, mekanik özellikleri zamana, sıcaklığa ve strese bağlıdır.

PP, yorulmaya karşı direnç, hafif, lekelenmeye karşı direnç, tokluk, ısı direnci, yarı sertlik, yüksek çekme dayanımı, darbe dayanımı, kolay imalat, sertlik, esneklik ve yüksek basınç dayanımı gibi çeşitli fiziksel özelliklere sahiptir. Propilen monomerinin bir petrol yan ürünü olması kullanılabilirlik kolaylığı ve düşük maliyet sağlar. Ayrıca, fiziksel özelliklerinden dolayı farklı tekniklerle işlem yapabilme kabiliyetine sahiptir. Düşük yoğunluklu olması, yüksek erime noktasına, birçok kimyasal çözücüye karşı dirence, asit-baz ve bükülme direncine sahip olması, polipropilenin temel özellikleridir [31].

Polipropilen, özellikle araştırma, ürün geliştirme ve ticarileştirmedeki yoğun faaliyetler için en yaygın kullanılan poliolefinlerden biri haline gelmiştir. Polipropilen, ambalajdan, oyuncaklardan, borulardan ve aletlerden elektronik, uçak ve otomotiv

endüstrilerinde umut vaat eden bazı özel uygulamalara kadar günlük yaşamımızda çeşitli uygulamalara sahiptir. Polipropilen uygulamaları enjeksiyonla kalıplanmış, üfleli kalıplanmış ürünlerden, elyaflardan ve filamanlardan filmlere ve ekstrüzyon kaplamalarına kadar uzanmaktadır. Ekstrüde polipropilen lifler, halı ipliği, dokuma ve örme kumaşlar gibi ürünlerde kullanılır. Dokunmamış polipropilen kumaşlar, halı arkalıklarında, tek kullanımlık çocuk bezleri için astarlar, tek kullanımlık hastane kumaşları, yeniden kullanılabilir havlular ve mobilya toz kapakları uygulamalarında kullanılırken, yönlendirilmiş polipropilen film, sigara, atıştırmalıklar ve fonograf kayıtları gibi öğelerin üzerine sarma olarak kullanılır [30].



Şekil 2.3 Deneyde kullanılan polipropilen granülü

### 2.1.2. Karbon Elyaf

İnsanların kültür ve gelir seviyelerinin artması ile tekstil sektöründen beklentileri de değişmiştir. Amaç, örtünmek olmaktan çıkmış, konfor ve üstün özelliklere sahip ürünlerin kullanılması durumuna gelmiştir. Bunun sonucu olarak da yeni materyallerin üretilmesi veya mevcut materyallerin özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Karbon liflerinin gelişimi ve uygulanabilirliğinin sağlanması ile kullanım alanı genişlemiştir. Başlıca kullanım alanları, savunma amaçlı giysiler, uzay araçları, otomobil sektörü, medikal kullanımlar (özellikle ortopedik operasyonlarda) olan karbon liflerinin üretiminde farklı hammaddeler kullanılmaktadır. Karbon liflerinin üretiminde, organik kökenli hammaddelerin ısıtılması sonucu karbon dışındaki diğer atomlar uzaklaşmakta böylece karbon atomlarından oluşmuş filamentler elde edilmektedir. Bu filamentlerin kristalizasyonundan sonra yüksek mukavemetli lifler elde edilmektedir. Poliakrilonitril liflerinden, bitkisel esaslı hammaddelerden, katran tortusu veziftten, polivinilden klorür veya polivinilden klorür kopolimerlerinden üretilen karbon liflerinin özellikleri kullanılan hammaddeye, işlem sıcaklığına ve üretim aşamalarına bağlı olarak

değişmektedir. Üretim koşullarına göre farklılık gösteren karbon liflerinin özellikleri ve kullanım alanları birbirlerinden farklı olmaktadır.



Şekil 2.4 Deneyde kullanılan karbon elyaf

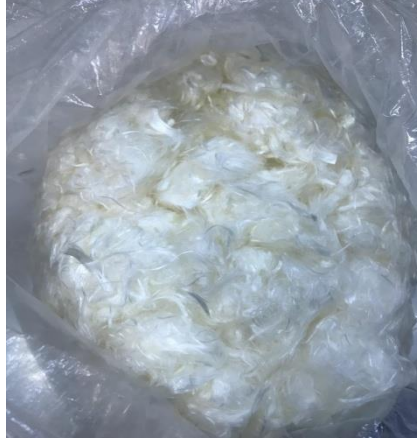
Karbon liflerinin yoğunluğu kullanılan hammadde ve işlem sıcaklığına bağlı olarak 1,6-2,2 g/cm<sup>3</sup> arasında değişiklik göstermektedir. Karbon lif üretiminde kullanılan hammadde yoğunluğu 1,14-1,19 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Elde edilen lif modülündeki artış grafitizasyon sıcaklığının artışı ile artmaktadır [32]. Karbon liflerinden yapılmış kompozitler 1020 çelik konstrüksiyonlarda 5 kat daha dayanıklı ve 1/5 ağırlığındadır. Aynı şekilde 6061 alüminyum konstrüksiyonlarda 7 kat daha dayanıklı iken, 2 kat daha sert ve 1,5 kat daha hafiftir. Karbon liflerinin yorulma davranışı bilinen tüm metallere göre daha iyidir. Uygun reçine ile kaplandığı zaman elde edilen kompozitin korozyona karşı dayanımı iyi olmaktadır. Katran esaslı karbon liflerinin elektriksel iletkenliği bakırdan 3 kat daha fazladır [33].

**Tablo 2.2** Karbon liflerinin karakteristikleri ve uygulama alanları

1. Fiziksel dayanım, özel tokluk ve düşük ağırlık	Uzay, yol ve liman yapımlarında, spor malzemelerinde
2. Yüksek boyut stabilitesi, düşük termal uzama katsayısı ve düşük aşınma	Füze, uçak frenlerinde, uzay antenlerinde ve destek yapılarında, büyük teleskoplarda
3. İyi mukavemet	İşitsel ekipmanlar, Hi-fi ekipmanları için hoparlör, loudspeakers for Hi-fi equipment, pikap kolu, robot kolu
4. Elektriksel iletkenlik	Otomobil, elektronik ekipmanlar için kaplamalar, EMI ve RF koruyucu kılıf, fırçalar
5. X-ray geçirgenliği ve biyolojik hareketsizlik	Protez gibi tıbbi uygulamalar, araştırma ve x-ray cihazları, implantlar, tendonlar
6. Yorulma direnci, kendi kendini yağlama, yüksek sönüm	Tekstil makineleri
7. Kimyasal hareketsizlik, yüksek korozyon direnci,	Kimyasal endüstri, nükleer alan, valfler, yelkenler, pompa bileşenleri
8. Elektromanyetik özellik	Zincir koparan büyük jeneratörler, radyolojik ekipmanlar

### 2.1.3. Poliakrilonitril (PAN)

Akrilik lif üretiminde kullanılan poliakrilonitril (PAN) polimerleri akrilonitril monomerlerinin radikal zincir polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Akrilonitril, yüksek mol kütleli polimer verebilen bir monomerdır. İlk kez 1893'de Almanya'da yapıldı. Akrilik lifler akrilonitrilden kuru veya yaş çekme (spun) yöntemiyle üretilir. Poliakrilonitrilden lif üretimine yönelik çalışmalar 1930'larda başlamış; ancak 35 poliakrilonitrili çözebilecek bir çözücü bulunamayışı sebebiyle 1944'lere kadar olumlu bir sonuç alınamamıştır. Akrilik 1944 yılında ilk kez DuPont tarafından geliştirildi ve ilk ticari olarak üretimi 1950'de gerçekleştirildi. 1991'de DuPont akrilik üretimini durdurdu ve bugün çok az sayıda şirket akrilik üretir. Akrilik, kütleye en az % 85 akrilonitril birimleri içeren uzun zincirli, lif oluşturabilen sentetik polimerden üretilen lif olarak tanımlanır. Akrilik liflerden hoş, yumuşak, hacimli ve yün hissi veren lüks kumaş hazırlanır. Orlon akrilonitril den oluşmuş bir polimerdir. Uzama oranı da oldukça yüksektir. Kuru durumda % 17, yaş durumda % 16 oranında uzama gösterir. Gün ışığı ve radyasyona oldukça dayanıklıdır. Genel mukavemeti ve kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı yüksek değildir. Örgü işleri yapımına elverişlidir. Yünle karıştırılarak kullanılır. Battaniye yapımında geniş çapta kullanılmaktadır. İnceliği ve tutumunun yumuşaklığı bu life kullanım alanında ayrıcalık sağlar. Orlonun genel kullanım alanları; sportif kumaşlar, şort ve kostümlükler, erkek ve kadın giysileri, perdeler, döşemeliklerdir.



**Şekil 2.5** Deneyde kullanılan Poliakrilonitril(PAN)

### **2.1.3.1. Özellikleri**

Akrilik liflerin kimyasal dayanımları ve ısıl kararlılıkları iyidir. Tablo 2.3’de sayısal değerleri gösterilmiştir. Tipik erime noktası göstermezler, ancak yumuşama sıcaklıkları 250 °C dolayındadır. Orlon ısıtıldığında rengi sarı, kahverengi üzerinden siyaha döner. Isıtma altı saat 200 °C sürdürüldüğünde kopma dayanımının yarıdan fazlasını korur. Alevde kısa süreli yanmalarda kararlıdır, kütlelerinin ancak %30’unu kaybederler. Poliakrilonitril, karbon lif eldesi için uygun bir polimerdir, 2800 °C dolayında yapılan piroliz ile karbon life dönüşür. Bu deneysel çalışmada kullanılan atık poliakrilonitril Epiriler Tekstil A.Ş. Firmasından temin edilmiştir. Firma ticari kaygılarından dolayı kullandığı PAN’ın ürün değerlerini vermemiştir [33].

Akrilik çok çekici özelliklere sahiptir, spor dünyası artan avantajlara sahip bir endüstridir. Bu amaçla örneğin, kısa çorapların yapımında kullanılmaktadır. Bütün tür atletler elastikliğinden, nem kontrol edebilmesinden ve şekil hafızalı olmasından dolayı, akriliği kullanmaktadır. Bu lif deriden nemi çeker ve çabucak onu yüzeye taşır. Akriliğin bu fitil yeteneği sürekli. Akriliğin diğer özellikleri: Çabuk kuruma zamanı, ele yumuşak gelmesi, mükemmel renk kalıcılığı olması, konforlu dokuma veya kaplama termal yapı endüstrisinde (binalarda, inşaatda) sıcaklık bakımının kolay olmasıdır.

## **2.2. Geri Dönüşümlü Polipropilen/Karbon Elyaf ve Geri Dönüşümlü Polipropilen/Poliakrilonitril Polimer Kompozitinin Elde Edilmesi**

### **2.2.1. Terazı**

Çalışmada kullanılmak üzere geri dönüşümlü polipropilen 1000 g, 850 g, 750 g, 650 g olmak üzere ayrı ayrı, karbon elyaf 100 g, 200g, 300 g; poliakrilonitril 100 g, 200 g, 300 g ve MAPP her grup için 50 g olmak üzere Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Plastik Laboratuvarında bulunan, DENSI markalı DS-05 model, 0,5 g hassasiyetli ve 5 kg kapasiteli terazi ile tartılmıştır. Cihazın görseli Şekil 2.6'da verilmiştir.



**Şekil 2.6** Elektronik terazi

### **2.2.2. Karıştırma ve ön kurutma prosesi**

Çalışmada kullanılması amacı ile tartılmış numuneler, ekstrüzyon işlemi öncesi homojenliğin sağlanması amacıyla granül halinde LB-5601 isimli katı karıştırıcıda (The Patterson-Kelley Co., Inc., USA) 15 dakika boyunca karıştırıldı.

Homojen bir Şekilde karışması sağlanan numuneler, nem giderme amacı ile Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde Plastik Laboratuvarında kullanılan etüv cihazı içerisine tepsiler ile yerleştirildi. Numuneler 24 saat boyunca 105 °C sıcaklıktaki kurutuldu. Cihazın görseli Şekil 2.7'de verilmiştir.



**Şekil 2.7** Etüv

### 2.2.3. Ekstrüzyon işlemi

Her bir çalışma grubuna ait karıştırılmış granüller, ön kurutma işlemi sonrasında ekstrüzyon işlemi için hazırlanmıştır. Gruplara ait toplam ürün miktarları 1000 g olarak belirlenmiş ve malzeme oranları Tablo 2.3'te verilmiştir.

**Tablo 2.3** Polimer kompozitinin karışım oranları

	<b>R-PP</b> (%)	<b>PAN</b> (%)	<b>Karbon Elyaf</b> (%)	<b>MAPP</b> (%)
<b>1. Grup</b>	100	-	-	-
<b>2.Grup</b>	85	10	-	5
<b>3.Grup</b>	75	20	-	5
<b>4.Grup</b>	65	30	-	5
<b>5.Grup</b>	85	-	10	5
<b>6.Grup</b>	75	-	20	5
<b>7.Grup</b>	65	-	30	5

Değişik oranlardaki polimer kompozitinin, Mikrosan marka çift vidalı bir ekstrüzyon makinesinde (Mikrosan Makine A.Ş., Türkiye) 180-220°C sıcaklık aralığında, 15 bar basınç altında ve 25 dev/dak'lık hızla dönen vida ile eriyik olarak karıştırıldı ve granül haline getirildi. Bu granüller enjeksiyon öncesi kurutma amacıyla tekrar 24 saat

boyunca 105 °C sıcaklıktaki etüv içerisine yerleştirildi. Cihazın görseli Şekil 2.8'de verilmiştir.



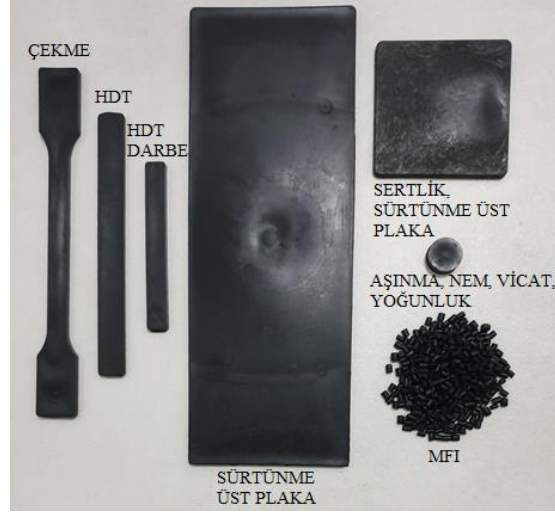
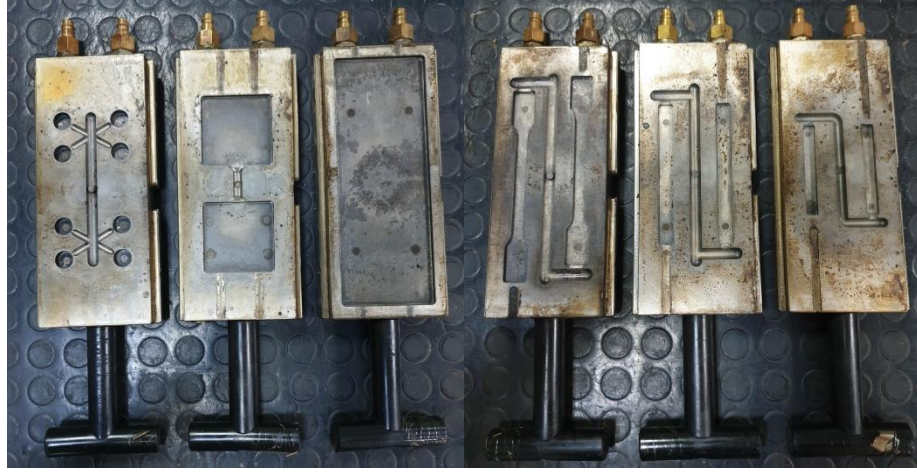
Şekil 2.8 Ekstrüzyon makinesi

#### 2.2.4. Enjeksiyon işlemi

Yapılacak testlere uygun numuneler hazırlamak için enjeksiyon makinesinde numuneler, 180-220 °C enjeksiyon sıcaklık aralığında, 90-110 bar enjeksiyon basıncı ve 25 dev/dak vida dönme hızı ile basıldı. Etüvde kurutulan kompozit malzemeler; istenilen test numunelerinin kalıplarına göre standartlara uygun olarak enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. Enjeksiyon makinesi kullanım şartları Tablo 2.5' de verilmiştir. Cihazın görseli Şekil 2.9'da verilmiştir. Kullanılan kalıplar ve deney numune örnekleri ve ölçüleri Şekil 2.10 ve Tablo 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.9 Enjeksiyon makinesi



Şekil 2.10 Kullanılan kalıplar ve deney numune örnekleri

Tablo 2.4 Test numune ölçüleri

Kullanılacak Test	Numune Boyutları
Çekme Testi Numunesi	Dar bölüm genişliği: 19mm Dar bölüm uzunluğu: 57mm Toplam genişlik: 29mm Toplam uzunluk: 246mm Tutma noktaları arasındaki mesafe: 115mm
Aşınma Testi Numunesi Yoğunluk Testi Numunesi	Çap: 15,5mm Kalınlık: 7mm
Sürtünme Testi Numuneleri	Üst Numune Uzunluk: 200mm      Alt Numune Uzunluk: 63mm Üst Numune Genişlik 80mm      Alt Numune Genişlik: 63mm
Darbe Testi Numunesi Isıl Çarpılma Testi Numunesi Vicat Testi Numunesi	Uzunluk 80mm Genişlik: 10mm Kalınlık: 4mm

**Tablo 2.5** Ekstrüzyon-Enjeksiyon makinesi kullanım şartları

Proses	Ekstrüzyon	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	180–220	180–220
Basınç (bar)	15	90–110
Kalıpta bekleme süresi (sn)	-	20
Vida hızı (rpm)	25	25
Kalıp sıcaklığı (°C)	-	40

### 2.3. Mekanik Testler

Malzemelerin mekanik davranışlarını incelemek ve yapılarıyla özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla mekanik testler yapılır. Farklı oranlarda hazırlanan polimer kompozitin mekanik özelliklerini belirlemek için çeşitli testler yapılmıştır.

#### 2.3.1. Çekme Testi

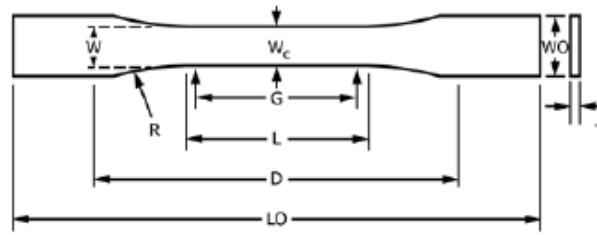
Mekanik testler arasında en yaygın olarak kullanılan test çekme testidir. Çekme testinde; malzemelerin mekanik davranışlarıyla ilgili elde ettiğimiz sonuçları mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılmaktadır. Çekme testi malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırmak amacıyla yapılır. Standartlara uygun olarak hazırlanan numunelerin tek eksen ve sabit bir hızla koparıncaya kadar çekilmesi işlemidir. Malzemenin kullanım sıcaklığına göre test sıcaklığı belirlenmelidir. Bu testi oda sıcaklığında yapılmıştır. Test sonucunda numunenin gerilim-boyut değiştirme grafiği elde edilmiştir. Grafikten yararlanılarak malzemenin kopma mukavemeti, çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Çekme testinde numuneye uygulanan gerilimin homojen dağılabilmesi için rijit numunelerde test hızı düşük, sünek malzemelerde test hızı yüksek olarak ayarlanmalıdır. Test hızı; çenelerin ayrılma hızını ifade etmektedir. Bu tezde çekme test hızı 50 mm/dak. olarak belirlenmiştir. Çekme testleri; Zwick Z010 marka test cihazı kullanılarak ASTM D 638 standardında bulunan Tip 1 numunesine göre yapılmıştır. Numune örneği görseli Şekil 2.1'de ve çekme testi numune tipleri Şekil 2.13'de verilmiştir.



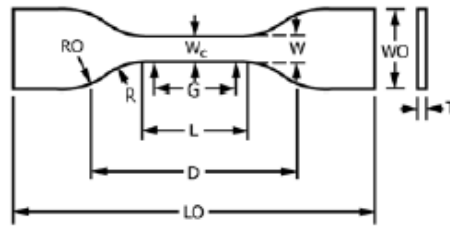
Şekil 2.11 Çekme test numunesi



Şekil 2.12 Çekme test cihazı



TİP 1, 2, 3, 5



TİP 4

Şekil 2.13 Çekme testi numune tipleri

**Tablo 2.6** Kalınlıklara göre numune boyutları mm

Boyutlar (çizimlere bakınız)	≤7 (0,28)		7 ve 14 arası (0,28-0,55)		≥4 (0,16)	Toleranslar
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	
W-Dar bölüm genişliği	13	6	19	6	3,18	±0,5
L-Dar bölüm uzunluğu	57	57	57	33	9,53	±0,5
WO-Genel genişlik, <u>min</u>	19	19	29	19	-	+6,4
WO-Genel genişlik, <u>min</u>	-	-	-	-	9,53	+3,18
LO-Toplam uzunluk, <u>min</u>	165	183	246	115	63,5	
G-Ölçme uzunluğu	50	50	50	-	7,62	±0,25
G-Ölçme uzunluğu	-	-	-	25	-	±0,13
D-Çeneler arası mesafe	115	135	115	65	25,4	±5
R-Yarıçap	76	76	76	14	12,7	±1
RO-Dış yarıçap (Tip 5)	-	-	-	25	-	±1

### 2.3.2. Aşınma Testi

Birbirine sürtünen malzemelerin, sürtünen yüzeylerinde oluşan malzeme kaybına aşınma denir. Malzemenin yüzeyinde oluşan deformasyonlar sonucunda sürekli olarak parça kopma miktarının belirlenmesidir. Bu şekilde, yüzeyler ilk şekillerini kaybederler ve aralarındaki boşluklar büyür. Temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Hareket eden komponentlerin arasındaki boşluğun artmasına, istenmeyen hareket serbestliğine ve bununla bağlantılı olarak hassasiyetin azalmasına yol açar. Titreşimle beraber mekanik yüklenmenin artmasına ve aşınma şiddetlenmesinin giderilmesine neden olur. Bu durum yorulma kırılması ile beraber gelişir. Bir silindir üzerine sarılmış 500 numara zımpara kâğıdı, ısınmaya neden olmayacak hızda, sabit duran polimeri aşındırır. Numune zımpara kâğıdı üzerine 10 Newton (1kg)'luk kuvvetle temas eder. Test, numunenin cinsine göre 20, 40, 60, 80 metrelik mesafelerden birine göre yapılır. Test

sonunda malzemenin aşınma direnci hesaplanır. Aşınma direnci, aşınan malzemede belli bir süre sonucunda oluşan hacim kaybı veya aşınma kaybı olarak verilir. Aşınma testi DIN 53 516'ya göre devotrans marka aşınma test cihazında yapılmıştır. 3 adet numune test edilerek ortalamaları alınmıştır. Aşınma test numunelerinin çapı 15,5 mm ve kalınlığı ise 7 mm'dir. Tamburun dönme hızı 40 dev/dakikadır. Kullanılan aşınma test cihazı Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunmaktadır. Cihazın görseli Şekil 2.14'de verilmiştir.



**Şekil 2.14** Aşınma test cihazı

Cihaz çalıştırılarak test başlatılır. İlk olarak tartılan test parçası tambur üzerinde 20 metre (44 devir) yol alacak şekilde ilerletilir ve test sonlandırılır. 20 m'den sonra cihazın numune takılı olan kafası kendiliğinden açılır. Test parçasından geriye kalan kısım tutucudan çıkartılarak yeniden tartılır. Bu işlemler üç numuneye de uygulandıktan sonra hesaplamalara başlanır. Aşınma testi öncesi malzeme numunesi hassas tartı ile tartılır. Aşınma testinden sonra numune tekrar aynı hassas tartı ile tartılarak, aradaki fark ile ağırlık kaybı tespit edilir. Ağırlık kaybı; malzemenin yoğunluğu, aldığı yol ve yükün çarpımına bölününce aşınma oranını verir. Aşağıdaki formül ile aşınma oranı hesaplanır.

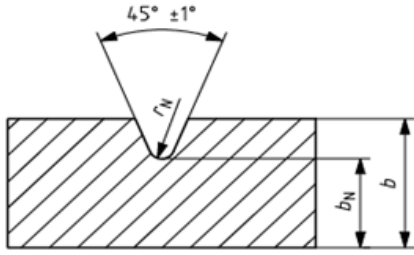
$$\text{Aşınma Oranı} = \frac{\Delta m}{\rho \times L \times F_N}$$

- W: Aşınma oranı (cm<sup>3</sup>/Nm)
- $\Delta m =$  Ağırlık kaybı  $= m_1 - m_2$  ( $m_1 =$  ilk tartım,  $m_2 =$  aşınma sonrası tartım) (g)

- P=yoğunluk (g/ cm<sup>3</sup>)
- L=yol (m)
- FN= uygulanan yük (N) [34].

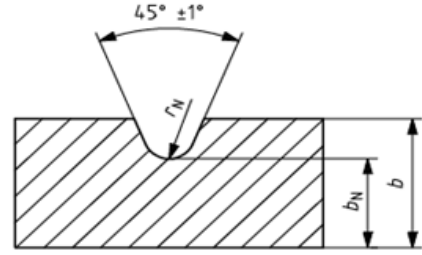
### 2.3.3. Çentik açma cihazı

Çentikli Izod darbe testi için gerekli çentik, ASTM D 256 ve ISO 180/1A standartlarında belirtildiği gibi Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan CEAST marka çentik cihazı kullanılarak açıldı. Cihazın görseli aşağıdaki şekilde verilmiştir. Çentik türleri Şekil 2.15’ te verilmiştir. Enjeksiyon makinesinde basılan Izod darbe test numunelerine aşağıda Şekil 2.16 ‘da görseli bulunan çentik açma cihazında 2 mm derinliğinde çentikler açıldı.



$r_N$ - Çentik tabanının yarıçapı (0,25 mm  $\pm$ 0,05 mm)  
**b**- Numune genişliği (10 mm  $\pm$  0,2 mm )  
 $b_N$ - çentikten sonra kalan genişlik (8 mm  $\pm$  0,2 mm )

**Tip A**



$r_N$ - Çentik tabanının yarıçapı (1 mm  $\pm$  0,05 mm)  
**b**- Numune genişliği (10 mm  $\pm$  0,2 mm)  
 $b_N$ - çentikten sonra kalan genişlik (8 mm  $\pm$  0,2 mm)

**Tip B**

Şekil 2.15 Çentik türleri



Şekil 2.16 Çentik açma cihazı

### 2.3.4. Darbe Testi

Gevrek kırılmaya neden olabilecek şartlarda kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde darbe testi kullanılır. Ani darbelere karşı dayanımı yüksek olan malzeme seçimi için; malzemenin kopmaya karşı olan direnci darbe testi ile ölçülmelidir. Tokluk; bir malzemenin kırılmadan önce sönümlendiği enerjinin bir ölçüsüdür. Darbe deneyi süresince malzeme tarafından soğurulan enerji, malzemenin dayanımının ve tokluğunun bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Darbe testi Izod ve Charpy olarak farklı çekiçler kullanılarak yapılabilir. Charpy test numunesi yatık olarak izod test numunesi dik olarak test cihazına yerleştirilmelidir. Ayrıca darbe testi numuneye çentik açılarak veya çentiksiz olarak da yapılabilir. Darbe testinin uygulama şekline göre test sonuçları değişiklik göstermektedir. Cihazın görseli Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17 Izod darbe deneyi test cihazı

Darbe testi; ASTM D-256-10<sup>E1</sup> standartlarına göre Izod çekiç kafası kullanılarak numunelere çentik açılarak ve numuneler üzerine 5,4 kJ'lük sarkaç düşürülerek yapılmıştır. Test numuneleri ISO180/A standardı Tip 1A'ya göre enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. Test numunelerini ölçüleri 80x10x4 mm'dir. Çentik sonu derinliği ise 8 mm'dir. Ani yük altında malzemenin kırılması için gerekli enerji miktarını, kJ/m<sup>2</sup> cinsinden hesaplanmıştır. Zwick marka cihaz kullanılmıştır. Numune boyutları Tablo 2.7'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

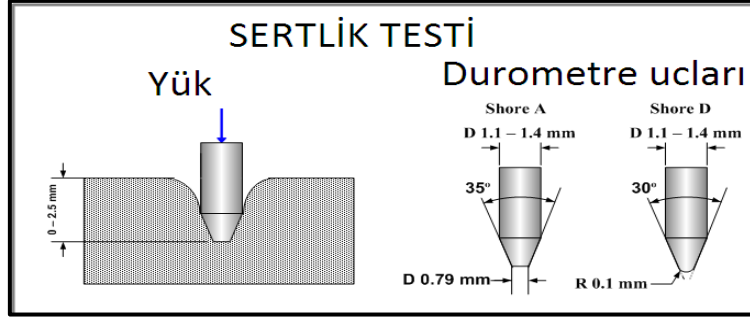
**Tablo 2.7** Metot tanımları, örnek tipleri, çentik tipleri ve çentik boyutları

Metot	Numune	Çentik Tipi	Çentik Tabanı Yarıçapı, $r_N$	Çentikten Sonra Kalan Genişlik, $b_N$
ISO 180/U	Uzunluk $l=80\pm 2$	Çentiksiz	-	-
ISO 180/A	Genişlik $b=10,0\pm 0,2$	A	$0,25\pm 0,05$	$8,0\pm 0,2$
ISO 180/B	Kalınlık $h=4,0\pm 0,2$	B	$1,00\pm 0,05$	

### 2.3.5. Sertlik testi

Sertlik; malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. İzafe bir ölçüdür. Sertlik testi malzemeler üzerinde sıkça uygulanmaktadır. Test yönteminin kolay oluşu ve malzemeyi diğere test yöntemlerine kıyasla daha az deforme etmesi bunun sebeplerindedir. Ayrıca sertlik miktarı ile diğere mekanik özellikler arasında paralel bir ilişki bulunmaktadır.

Plastik ya da esnek malzemelerin sertlik değerini belirlemede durometre kullanılır ve kullanılan yöntemde Shore sertlik değeri denir. Ölçümlerde A ve D tipi olmak üzere iki farklı durometre kullanılmaktadır. Bu yöntemler batıcı ucun şekline ve kullanılan ağırlığa göre sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemle, malzemeye batırılan belirli bir ucun batma derinliği ölçülür. A tipi durometreler, yumuşak plastiklerde kullanılır ve uygulanan kuvvet 1 kg dır. D tipi durometreler ise sertler için uygundur ve uygulanan kuvvet 5 kg dır. A tipi durometrede ölçüm yaparken elde edilen sonuç 90'ın üzerinde ise D tipi durometre kullanılmalıdır. Eğer D tipi durometrede ölçüm yapıyorsak ve okunan değer 20'nin altında ise A tipi durometre kullanılmalıdır. Test uygulanırken numune düz, sert ve yatay bir zeminde ve durometre dik konumda olmalıdır. Deney numunesinin kenarlarından en az 12 mm içerisinde ölçüm yapılır. En az 6 farklı yerden ölçüm yapılarak ortalamaları alınmalıdır. Ölçümler arası mesafe en az 6 mm olmalıdır. Baskı ayağının deney parçasına tamamen değmesine dikkat edilmelidir. Uç batırıldıktan sonra  $15\pm 1$  sn sonra değer okunmalıdır. Ani bir ölçme isteniyor uç batırıldıktan 1 sn sonra ölçüm yapılmalıdır. Basınç uygulandığı ilk andaki değer ile basınç uygulandıktan bir süre sonra okunan değerler arasında fark vardır. Buna polimerlerin sürünme özelliğinden olmaktadır. Sertlik miktarları; Zwick marka test cihazı kullanılarak hesaplanmıştır. Sertlik testinde kullanılan uçların gösterimi Şekil 2.18'de ve sertlik testi cihazı Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.18 Sertlik testinde kullanılan uçların gösterimi

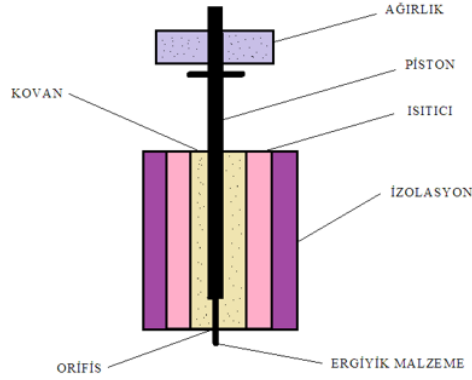


Şekil 2.19 Sertlik testi cihazı

## 2.4. Fiziksel Testler

### 2.4.1. Erime akışkanlık Testi (MFI)

Bu deney, plastik malzemelerin işlenmesi sırasındaki akma olayını belirlemede kullanılmaktadır. Aynı zamanda hammadde üretiminin aynı kalitede olmasını kontrol edebilmek açısından oldukça önemlidir. Malzemenin ekstrüzyon veya enjeksiyon gibi çalışma şartlarını önceden belirmeye yardımcı olur. Ekstrüzyonda düşük akma hızına sahip malzemeler kullanılırken, enjeksiyon ile kalıplama da yüksek akma hızına sahip malzemeler kullanılmaktadır. Malzemenin akışı hakkında yorum yapmamızı sağlayan ergime akış indeksi viskozite ile ters orantılıdır. Ergime akışın indeksinin artışı malzemenin akışının arttığını gösterir yani viskozitesi düşmüş demektir. Şekil 2.20'de MFI cihazının şematik görünümü verilmiştir.



**Şekil 2.20** MFI cihazının şematik görünümü

Deney, ISO 1133 standardına göre Zwick marka 4100 model test cihazında yapılmıştır. Deney numunesi; toz, granül şerit, film parçaları vb. çeşitli formlarda olabilir. Bu testte, malzeme belirli bir sıcaklık ile eritilirken üzerine yük uygulanır. Yük, 2.16, 5.00, 21.6 kg ağırlığında olur. Ağırlığın baskısıyla malzeme kılcal bir borudan geçerek orifis adı verilen delikten akıtılır ve 10 dakika süreyle akan malzeme tartılır. Ardından aşağıda verilen denklem ile ergime akış indeksi hesaplanır. MFI birimi; g/10 dak.' dır.

$$MFI = \frac{M \times 600}{T}$$

verilen denklemde M:toplam ağırlık (gr), T: toplam süre (sn)'dir. Bu projede L sınıfına ait sıcaklık ve ağırlık değerleri kullanılmıştır. Sıcaklık 210 °C, ağırlık ise 2,16 kg olarak ayarlanmıştır. Bazı polimerlere ait sınıflar ve sınıflara ait sıcaklıklar Tablo 2.8'de ve Tablo 2.9'da görülmektedir. Cihazın görseli Şekil 2.21'de verilmiştir.



**Şekil 2.21** MFI testi cihazı

**Tablo 2.8** Bazı polimerlere ait sınıfları

Malzeme	Sınıfı
Asetal	E, M
Akrilik	H, I
Akrilonitril bütadien stiren	G
Selüloz ester	D, E, F
Polietilen	A, B, D, E, F, N
Polikarbonat	O
Polipropilen	L
Polistiren	S, H, I, P
Polietilentreftalat	T
Vinil asetat	L
Poliamid	K, Q, R, S

**Tablo 2.9** Polimer sınıflarına ait sıcaklık ve ağırlıklar

Sınıfı	Sıcaklık (°C)	Ağırlık (kg)
A	125	0,325
B	125	2,160
C	150	2,160
D	190	0,325
E	190	2,160
F	190	21,60
G	200	5,000
H	230	1,200
I	230	3,800
J	265	12,50
K	275	0,325
L	230	2,160
M	190	1,050
N	190	10,00
O	300	1,200
P	190	5,000
Q	235	1,000
R	235	2,160
S	235	5,000
T	250	2,160

#### 2.4.2. Nem miktarı tayini

Malzemelerin içinde ne kadar nem tuttuğunu tespit etmek adına gerçekleştirilen testte, Kern marka nem tayin cihazı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanmış yedi gruptan, grup başına üçer numune olacak şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Numuneler test öncesinde 0,001g hassasiyetle tartılır. Sonrasında cihaz çalıştırılır ve etüv 105°C sıcaklığa ulaşınca kadar beklenir. Belirlenen sıcaklık değerine ulaşan numune, desikatör içerisinde sıcaklık oda sıcaklık değerine düşene kadar bekletilir ve tekrar tartılır.

$$NM: \frac{m_{ilk} - m_{son}}{m_{ilk}} \times 100$$

- NM: Nem miktarı (%)
- $m_{ilk}$ : İlk tartım (g)
- $m_{son}$ : Son tartım (g)

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Plastik Laboratuvarında bulunan Kern marka cihaz ile gerçekleştirilen deneyler ASTM D 6980 standardına uygun olarak yapılmıştır. Cihazın görseli Şekil 2.22'de verilmiştir.



Şekil 2.22 Nem oranı tayini cihazı

### 2.4.3. Yoğunluk testi

ISO 1183'e göre gerçekleştirilen testlerde, plastik malzemelerin kütlesi öncelikle havada, sonrasında ise yoğunluğu bilinen bir alkol içerisinde tartılır. 0,0001 tartım hassasiyetiyle gerçekleştirilen tartımlarda, alkol olarak aseton kullanılmıştır. Tartımlar sonrasında aşağıdaki formül ile numunelerin yoğunluğu belirlenmiştir.

$$\rho_{\text{numune}} = \frac{H.A}{H.A - A.A} \times \rho_{\text{alkol}}$$

$\rho_{\text{numune}}$  : Yoğunluğu hesaplanacak numune ( $\text{g/cm}^3$ )

H.A.: Numunenin havadaki kütlesi (g)

A.A.: Numunenin alkoldeki kütlesi (g)

$\rho_{\text{alkol}}$  : Alkolün yoğunluğu ( $\text{g/cm}^3$ )

Testler sırasında, tanımlanmış olan yedi çalışma grubundan, grup başına üçer adet numune kullanılmış ve bu sonuçların ortalaması alınarak nihai veriler elde edilmiştir. Çalışmalar Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Plastik Laboratuvarı'nda bulunan Precisa marka 205A SCS model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Cihazın görseli Şekil 2.23'de verilmiştir.



Şekil 2.23 Yoğunluk kiti

#### 2.4.4. HDT-yük altında eğilme sıcaklığı belirleme testi

Polimerlerin sabit yük altında eğilmeye başladığı sıcaklığı tespit etmek için uygulanan test yöntemidir. Deney düzeneği; deney numunesinin en az 50 mm daldırılabilceği sabit sıcaklıkta bir yağ banyosundan (silikon yağı vb.) ucunda baskı kafası olan bir batırma kolundan oluşur. Yüke ve sıcaklığa bağlı olarak deney parçasında eğilme meydana gelir. Eğilme mesafesi mikrometrik kadranlı bir ölçü cihazı ile gözlemlenir. Cihaz  $120 \text{ }^\circ\text{C/saat} \pm 10^\circ\text{C/saat}$  lik sabit ısıtma hızına sahiptir. Deney numunesi dikdörtgen kesitli çubuk şeklinde bir parçadır. Test farklı metotlarda uygulanabilir. Ayrıca HDT testine ait iki farklı numune ölçüsü bulunmaktadır. Metotlara ve numune ölçülerine ait bilgiler Tablo 2.10 ve Tablo 2.11'de verilmiştir. Bu projede deney

pozisyonu yatay (flatwise), numune ölçüleri 80x10x4 mm olarak seçilmiştir ve metot A'ya göre test yapılmıştır. Bu test ISO 75 standardına göre Devotrans marka üç istasyonlu test cihazında yapılmıştır.

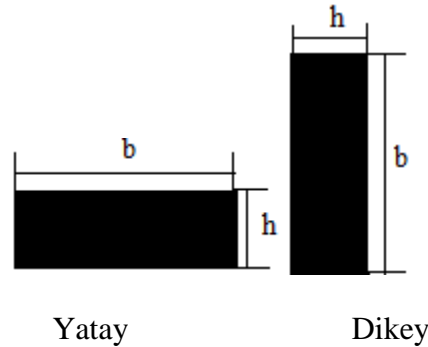
**Tablo 2.10** HDT test metodu

Metot	Eğilme mukavemeti (MPa)
A	1,80
B	0,45
C	8,00

**Tablo 2.11** HDT testi numune ölçüleri

Pozisyon	Ölçüler (mm) (a, b, h)	Mesnetler arası mesafe (mm)	Eğim miktarı (mm)
Dik (edgewise)	120x9,8-15x4,2	100	0,32
Yatay (flatwise)	80x10x4	64	0,34

Deney parçası üzerine uygulanan kuvvet aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır. Kuvvet Newton (N) cinsinden verilir. Batma kolunun ve ölçme cihazının ağırlıkları, toplam ağırlıktan çıkartılır. Kalan ağırlık cihaz üzerine uygulanır.



$$F = (2 \times \sigma \times b \times h^2) / 3L \quad F = (2 \times \sigma \times h \times b^2) / 3L$$

Bu denklemlerde;  $\sigma$ : eğilme mukavemeti (MPa), b: numune genişliği (mm), h: numune kalınlığı (mm), L: mesnetler arası mesafe (mm)' dir.

#### 2.4.5. Vicat yumuşama sıcaklığı

Polimerlerin sabit yük altında yumuşamaya başladığı sıcaklığı tayin etmek için kullanılır. Deney düzeneği; deney numunesinin en az 35 mm daldırılabilceği sabit

sıcaklıkta bir yağ banyosundan (silikon yağı vb.) ucunda batıcı iğnesi olan bir batırma kolundan oluşur. Batıcı uç 3 mm uzunluğunda, yuvarlak kesitli ve kesit alanı  $1 \text{ mm}^2 \pm 0,015 \text{ mm}^2$  dir. Deney parçası üzerine 1000 gr'lık yük uygulanır. Batırma kolunun ve mikrometre baskı yayının ağırlığı hesaba katılmalıdır. Uygulanan basınca bağlı olarak batıcı ucun deney parçasına  $1 \text{ mm}^2$ 'lik yüzeyde 1 mm derinlikte battığı andaki sıcaklık göstergeden okunur. Bu sıcaklık vicat yumuşama sıcaklığını verir. Ucun batırma derinliği  $\pm 0,01 \text{ mm}$  doğrulukla ölçülebilen bir mikrometre ile gözlemlenir. Vicat yumuşama sıcaklığı testi, Devotrans marka üç istasyonlu cihazla ISO 306 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu standartta termoplastik malzemelerin yumuşama sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan dört metot bulunmaktadır. Bu projede sistem  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ısıtılmış yağ banyosunun sıcaklığı bir hızla arttırılır.

**Tablo 2.12** Vicat yumuşama sıcaklığı test metotları

Metot	Kuvvet (N)	Isıtma hızı ( $^\circ\text{C}/\text{saat}$ )
Metot A 50	10	50
Metot B 50	50	50
Metot A 120	10	120
Metot B 120	50	120

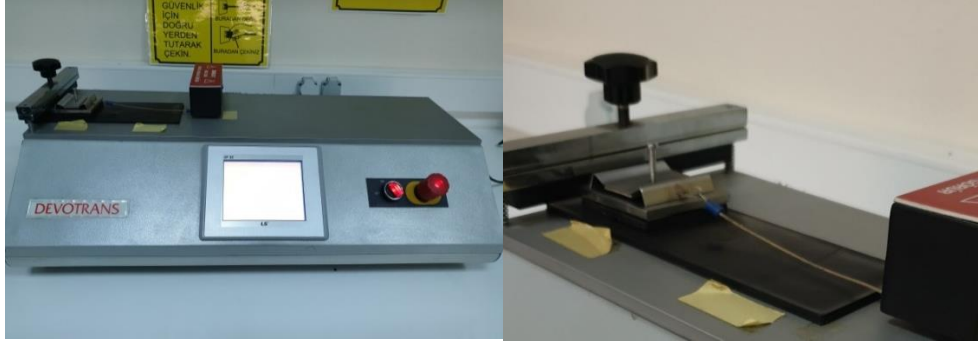


**Şekil 2.24** HDT-Vicat test cihazı

#### 2.4.6. Sürtünme Katsayısı Belirleme Testi

Bir cismi farklı yüzeylerde hareket ettirmek, cismin hareketinde farklı etkilere yol açmaktadır. Hareket yüzeyinin pürüzlü olması cismin hareketini zorlaştırırken, yüzeyin düz veya pürüzsüz olması aynı cismin hareketini kolaylaştırır. Yani cismin hareket

ettiği yüzeyin pürüzlülüğü arttıkça cismin hareket etmesi için gereken kuvvet artmaktadır. Bir zemin üzerindeki cismin harekete geçmesi için, cisme uygulanan hareketin zıt yönünde oluşan sürtünme kuvvetinden daha büyük bir kuvvete ihtiyaç vardır. Uygulanan kuvvet sürtünme kuvvetinden küçük veya buna eşitse cisim hareket etmez. Bu bilgilerden yola çıkarak; cisimlerin hareket ederken, temas yüzeylerinin sürtünmesinden oluşan kuvvete sürtünme kuvveti denir ve bu kuvvet harekete zıt yönde etki eder. Sürtünme kuvveti, yüzeyin pürüzlülüğüne, cismin ağırlığına vb. bağlı olarak değişir. Sürtünme katsayısı genellikle 0 ile 1 arasında olur. Eğer sürtünme katsayısı 0 ise cisim yüzeye temas etmiyor yani tepki kuvveti yoktur demektir. Temas yüzeyleri arasında izafi hareket yok ise statik sürtünmeden bahsedilir. Eğer cisim yüzeyleri arasında izafi hareket görünüyorsa oluşan sürtünmeye dinamik sürtünme denir. Bu projede sürtünme katsayısı statik ve dinamik olarak incelenmiştir. Devotrans marka cihazda ISO 8295 standardına uygun olarak üretilmiş test numuneleriyle yapılmıştır. Deney numuneleri alt ve üst plakadan oluşur. Alt plaka ölçüleri 80 mm x 200 mm ve üst plaka ölçüleri 63 mm x 63 mm' dir. Test yola veya yük değişkenine bağlı olarak gerçekleştirilebilir. Bu projede, sürtünme katsayısı testi yüke bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulanan ağırlık yüksüz, 100 gr, 200 gr, 300 gr ve 500 gr olarak belirlenmiştir. Sürtünme katsayısı belirleme cihazı ise Şekil 2.25 'da verilmiştir.



Şekil 2.25 Sürtünme katsayısı belirleme test cihazı

#### 2.4.7. SEM (Taramalı elektron mikroskobu) Analizi

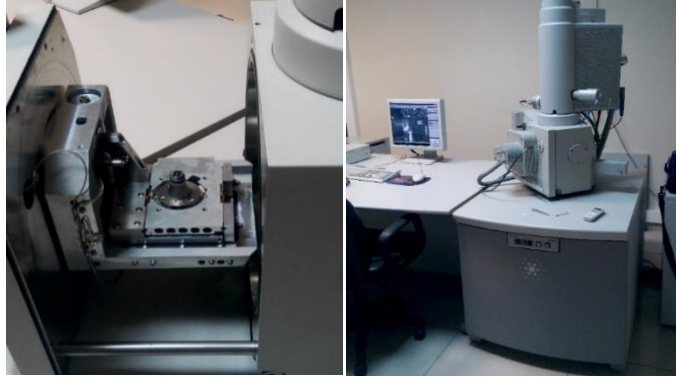
Taramalı elektron mikroskobu (SEM (Scanning Electron Microscope)) ile malzemelerde yapılabilecek her türlü katkı ve faz değişimleri, metal-metal, iletken-yarı iletken, yarı iletken-yarı iletken tabakaların kontak yapıları, kristal yapıların kontak yapıları, karışım ve alaşım yapıları, biyoteknolojik numunelerin incelenmesi işlemleri

yapılabilmektedir. Ayrıca; tozların, seramik ve diğer malzemelerin yüzey ve kesitlerinin; yüksek büyütme oranları ile morfolojik ve kimyasal analizi için kullanılmaktadır. Çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. Taramalı elektron mikroskobu yüksek büyütmelerde yüksek çözünürlüklü görüntü alma tekniğidir. Bu teknik sayesinde düşük büyütmelerden çok yüksek büyütmelere (x300.000 veya daha fazla) kadar morfolojik, yapısal ve elementel bilgiler alınabilmektedir. Yüksek vakum koşulları altında ikincil elektron (SE), geri saçılmış elektron (BSE) veya karışık (SE+BSE) sinyal görüntüleri alınarak fotoğraflama yapılmaktadır. Ayrıca incelenen numuneler üzerinde X-ray elementel dağılım haritalaması (X-ray mapping) ile incelenen numune üzerinde standartsız kalitatif elementel analizler (SEM-EDS) yapılmaktadır.



**Şekil 2.26** Kaplama cihazı

Yüksek enerjili demet elektronları numune atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi taşır ve Auger Spektroskopisinin çalışma prensibini oluşturur. Yine yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde toplanırlar. Bu elektronlar ikincil elektron (seconderelectrons) olarak tanımlanır. İkincil elektronlar numune odasında bulunan sintilatörde toplanarak ikincil elektron görüntüsü sinyaline çevrilir. İkincil elektronlar numune yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır.



**Şekil 2.27** SEM cihazı

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Geri Dönüştürülmüş Polipropilen (R-PP), Karbon Elyaf ve Poliakrilonitril (PAN) karışımı

Aşağıda bulunan Tablo 3.1’de geri dönüşümlü polipropilen, karbon elyaf ve poliakrilonitril polimer kompozitinin karışım oranları verilmiştir. Tanımlanmış olan gruplara ait numuneler kullanılarak mekanik ve fiziksel testler gerçekleştirilmiş, elde edilen veriler aşağıda tanımlanmıştır.

**Tablo 3.1** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitinin karışım oranları

	<b>R-PP</b> (%)	<b>PAN</b> (%)	<b>Karbon Elyaf</b> (%)	<b>MAPP</b> (%)
<b>1. Grup</b>	100	-	-	-
<b>2.Grup</b>	85	10	-	5
<b>3.Grup</b>	75	20	-	5
<b>4.Grup</b>	65	30	-	5
<b>5.Grup</b>	85	-	10	5
<b>6.Grup</b>	75	-	20	5
<b>7.Grup</b>	65	-	30	5

##### 3.1.1. Çekme testi

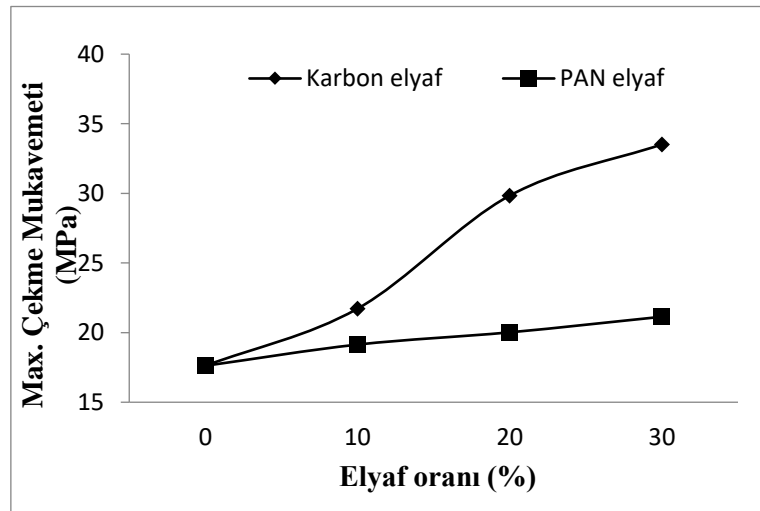
Çalışmada kullanılmış olan geri dönüşümlü polipropilen, karbon elyaf ve poliakrilonitril polimer kompozit gruplarına çekme testi uygulanmış ve belirli bir statik yük altında oluşan elastik ve plastik değişimler, test cihazının vermiş olduğu verilerle tespit edilmiştir. Test sonrasında numunelere ait çekme mukavemeti, elastiklik modülü, kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere ilişkin tablo ve grafikler aşağıda verilmiştir.

### 3.1.1.1. Çekme mukavemeti

Çekme mukavemeti, malzemenin boyun vermeden taşıyabileceği maksimum mukavemet değeridir. Çekme mukavemetine ait veriler çekme testi sonucunda elde edilir. R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerine ait çekme mukavemeti değerleri Tablo 3.2 ve Şekil 3.1’de verilmiştir. Tanımlanmış olan her grup için 5 adet numune test edilmiş ve bu testler sonucunda ortaya çıkan sonuçların ortalaması, standart sapma ile birlikte Tablo 3.2 içerisinde verilmiştir. Ortalama sonuçlar grafiksel olarak şekil 3.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.2** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait çekme mukavemeti değerleri

Gruplar	Max. Çekme Mukavemeti (MPa)					Ort.	St. Sapma
	Test Numune Sayısı						
	1	2	3	4	5		
Grup 1 R-PP (100)	19,5	16,9	16,6	15,8	19,3	17,62	1,68
Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)	19,2	19,2	18,9	19,3	19,1	19,14	0,15
Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)	20	21,1	20,9	19,9	18,2	20,02	1,15
Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)	21,4	21,6	20,6	21	21,1	21,14	0,38
Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)	19,1	18,8	20,6	19,1	31	21,72	5,24
Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)	31	30,8	28	31,8	27,6	29,84	1,90
Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)	17,4	43,1	35,2	34,1	37,8	33,52	9,66



**Şekil 3.1** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarının çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi

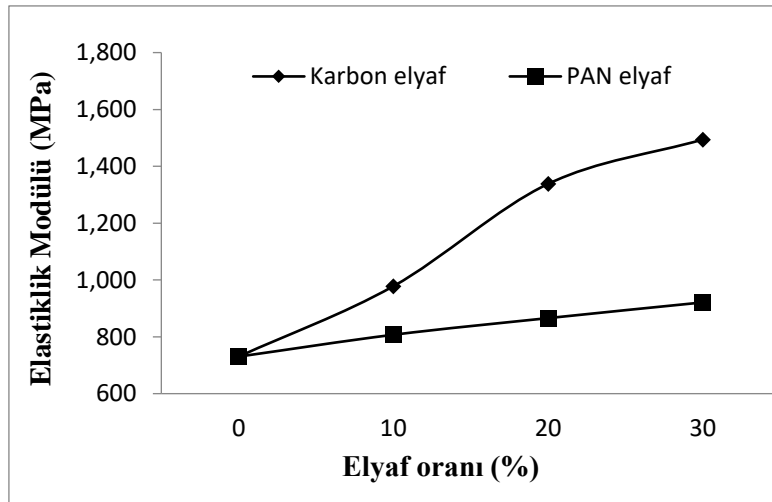
Şekil 3.1’de bulunan grafikte görülebileceği gibi saf PP’nin çekme mukavemeti değeri 17,62 MPa olarak tespit edilmiştir. Kompozit içerisindeki karbon ve PAN elyaf oranlarının artmasıyla çekme mukavemet değerinin de arttığı görülmektedir. En yüksek çekme mukavemeti değerini %30 karbon elyaf ilaveli grup vermiştir. Saf geri dönüşümlü PP’nin (R-PP) çekme mukavemeti değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP’nin çekme mukavemeti değeri ile kıyasladığımızda %90’lık bir artış tespit edilmiştir. Çekme mukavemetindeki bu artış elyafın polipropilene göre daha gevrek bir malzeme olması ile açıklanabilir. Ancak kompozit grupları içerisinde artan karbon elyaf oranı, PAN’a göre çekme mukavemeti değerini daha da arttırdığı Tablo 3.2 ve Şekil 3.1 incelendiğinde görülebilmektedir. Grafikten de anlaşıldığı gibi karbon elyaf, PAN elyafa kıyasla daha yüksek çekme mukavemeti değeri verdiği de anlaşılmaktadır. Akonda ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [22], geri dönüştürülmüş polipropilenin içerisine geri dönüştürülmüş karbon elyaf katıp elde ettikleri polimer kompozitinin özelliklerini incelemişlerdir. Karbon elyaf oranının artmasıyla çekme mukavemeti değerinin de arttığını belirlemişlerdir. Chien-Lin Huang ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada [20]; polipropilen içerisine değişik oranlarda karbon elyaf takviye ederek mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Karbon elyaf oranının %3’lük kısmına kadar azalma görülmüştür, daha sonra karbon elyaf oranının artmasıyla çekme mukavemeti değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Lien Zhu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [24]; yüksek yoğunluklu polietilen içerisine poliakrilonitril katıp elde ettikleri kompozitin mekanik değerlerini incelediklerinde, PAN oranının artmasıyla çekme mukavemeti değerleri de arttığı belirlenmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışmalar; yapmış olduğumuz polimer kompozitin çekme mukavemeti sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

### **3.1.1.2. Elastiklik modülü**

Çekme testi sonrasında elde edilen bir başka veri olan elastiklik modülü, malzemenin yük altında elastik şekil değişim miktarını vermektedir. R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerine elastik modülü değerleri Tablo 3.3 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Tanımlanmış olan her grup için 5 adet numune test edilmiş ve bu testler sonucunda ortaya çıkan sonuçların ortalaması, standart sapma ile birlikte Tablo 3.3 içerisinde verilmiştir. Ortalama sonuçlar grafiksel olarak şekil 3.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.3** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait elastiklik modül değerleri

Gruplar	Elastiklik Modülü (MPa)					Ort.	St. Sapma
	Test Numune Sayısı						
	1	2	3	4	5		
Grup 1 R-PP (100)	733	732	730	721	736	730,4	5,68
Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)	817	861	814	793	751	807,2	39,99
Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)	878	861	879	876	835	865,8	18,70
Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)	971	911	889	878	956	921	40,92
Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)	950	721	939	950	1330	978	219,68
Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)	1290	1260	1290	1330	1520	1338	104,74
Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)	1500	1570	1480	1400	1520	1494	62,29



**Şekil 3.2** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarının elastiklik modül değerlerinin grafiksel gösterimi

Elde edilen veriler sonucunda en düşük değer saf polipropilene ait olup 730,4 MPa olarak ölçülmüştür. Çalışma grupları içerisinde tespit edilen en yüksek değer yedinci gruba aittir ve 1494 MPa olarak ölçülmüştür. En yüksek değer elde edildiği grup en yüksek karbon elyaf oranını içermektedir. Saf geri dönüşümlü PP'nin (R-PP) elastiklik modülü değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP 'nin elastiklik modülü değeri ile kıyasladığımızda %104,5'lik bir artış tespit edilmiştir. Şekil 3.2 incelendiğinde, gruplar arasında elyaf oranının artması elastiklik modülünü arttırmıştır, karbon elyafın PAN'a göre elastik modülünü daha çok arttırdığı gözlemlenmiştir. Sistem içerisindeki elyaf

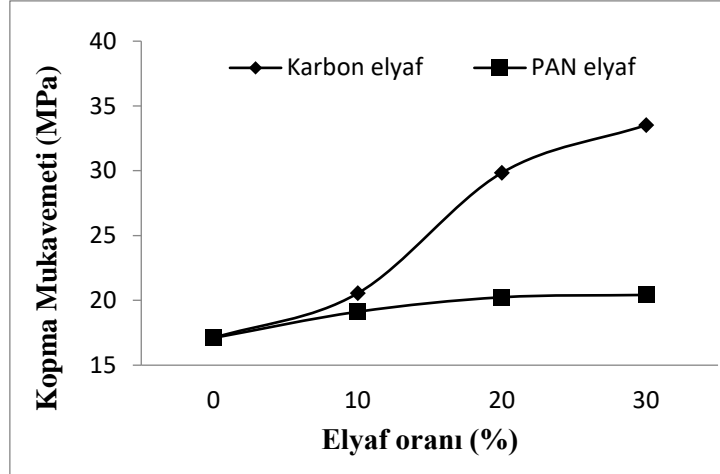
oranları numunelerin gevrekliğini arttırmıştır. Akonda ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [22]; geri dönüşümlü karbon elyafın geri dönüşümlü polipropilen üzerindeki etkisini incelemişler ve karbon elyaf oranının artmasıyla elastiklik modülünün de arttığını tespit etmişlerdir. Elastiklik modülü değerlerine ilişkin sonuçlar yapmış olduğumuz çalışma ile benzerlik göstermektedir.

### 3.1.1.3. Kopma mukavemeti

Kopma mukavemeti, çekme testi sonunda elde edilen, numunelerin kırılıncaya ya da kopuncaya kadar dayandığı mukavemet değerine denir. R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerine ait kopma mukavemeti değerleri Tablo 3.4 ve Şekil 3.3'te verilmiştir. Tanımlanmış olan her grup için 5 adet numune test edilmiş ve bu testler sonucunda ortaya çıkan sonuçların ortalaması, standart sapma ile birlikte Tablo 3.4 içerisinde verilmiştir. Ortalama sonuçlar grafiksel olarak şekil 3.3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.4** R-PP/Karbon Elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait kopma mukavemeti değerleri

Gruplar	Kopma Mukavemeti (MPa)					Ort.	St. Sapma
	Test Numune Sayısı						
	1	2	3	4	5		
<b>Grup 1R-PP (100)</b>	17,4	16,7	17,9	16,8	16,7	17,1	0,53
<b>Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)</b>	18,8	19,7	19,8	19,5	17,8	19,12	0,83
<b>Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)</b>	20,2	20,7	20,1	20,5	19,7	20,24	0,38
<b>Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)</b>	19,5	20,4	20,2	20	22	20,42	0,94
<b>Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)</b>	18	18,4	19,3	16	31	20,54	5,97
<b>Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)</b>	31	30,8	28	31,8	27,6	29,84	1,90
<b>Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)</b>	17,4	43,1	35,2	34,1	37,8	33,52	9,66



**Şekil 3.3** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait kopma mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi

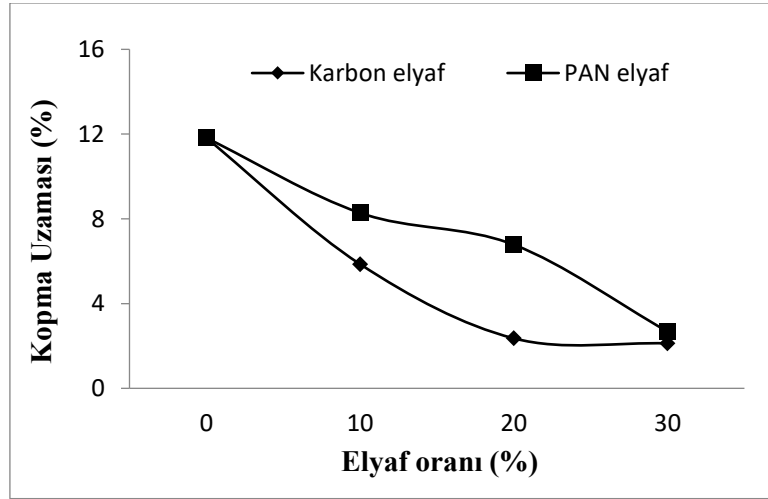
Tablo 3.4 ve Şekil 3.3'te görülebileceği gibi çekme testi sonucunda elde edilen kopma mukavemeti değerlerine göre en yüksek sonuç yedinci çalışma grubunun olup 33,52 MPa olarak ölçülmüştür. Saf geri dönüşümlü PP'nin (R-PP) kopma mukavemeti değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP 'nin kopma mukavemeti değeri ile kıyasladığımızda %96,02'lik bir artış tespit edilmiştir. Elastiklik modülü ve çekme mukavemeti verilerinde olduğu gibi, kopma mukavemeti sonuçlarında da en düşük değere sahip grup 17,1 MPa değeri ile saf polipropilenin olmuştur. Yine akma mukavemeti ve elastiklik modülü verilerine benzer olarak, gruplar arasında elyaf oranlarının artması ile kopma mukavemeti değeri artış göstermiştir. Elyaf arasında ise karbon elyaf da PAN'a göre daha fazla artış söz konusudur. Karbon elyafta oranların artışıyla lineer bir artış görülmektedir.

#### 3.1.1.4. Kopma uzaması

Çekme test cihazına bağlanmış ve teste tabii tutulmuş olan malzemenin kopuncaya ya da kırılıncaya kadar göstermiş olduğu plastik uzama miktarının, malzemenin test başlangıcındaki boyuna oranı ile kopma uzama miktarı tespit edilir. R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerine ait kopma uzaması miktarlar Tablo 3.5 ve Şekil 3.4'te verilmiştir. Tanımlanmış olan her grup için 5 adet numune test edilmiş ve bu testler sonucunda ortaya çıkan sonuçların ortalaması, standart sapma ile birlikte Tablo 3.5 içerisinde verilmiştir. Ortalama sonuçlar grafiksel olarak şekil 3.4'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.5** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait kopma uzama miktarları

Gruplar	Kopma Uzaması (%)					Ort.	St. Sapma
	Test Numune Sayısı						
	1	2	3	4	5		
<b>Grup 1 R-PP (100)</b>	11	15	10	16	7,1	11,82	3,7
<b>Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)</b>	10	7,7	4,4	5,3	14	8,28	3,87
<b>Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)</b>	6,5	6,9	8,8	5,6	6,1	6,78	1,2
<b>Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)</b>	2,9	2,6	2,5	2,4	3	2,68	0,26
<b>Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)</b>	6,1	5,7	6,5	6	5	5,86	0,6
<b>Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)</b>	2,6	2,6	2,4	2,2	2	2,36	0,3
<b>Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)</b>	2,1	2,3	2,1	2,1	2	2,12	0,1



**Şekil 3.4** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait kopma uzama miktarlarının grafiksel gösterimi

Şekil 3.4'te de görüldüğü gibi, kompozit içerisinde artan elyaf oranları, kopma uzama miktarında düşüşe yol açmıştır. En yüksek kopma uzama miktarına %11,82 ile saf polipropilenin sahip olduğu tespit edilmişken, kompozit içerisinde artan elyaf oranı kopma uzama miktarını azalttığı ve en düşük kopma uzama miktarının %2,12 uzama oranı ile en yüksek karbon elyaf içeren yedinci grupta olduğu belirlenmiştir. Saf geri dönüşümlü PP'nin (R-PP) kopma uzaması değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP'nin kopma uzaması değeri ile kıyasladığımızda %82,06'lık bir azalış tespit edilmiştir. Kompozit içerisinde artan iki elyaf oranları da neredeyse aynı düzeyde malzemenin

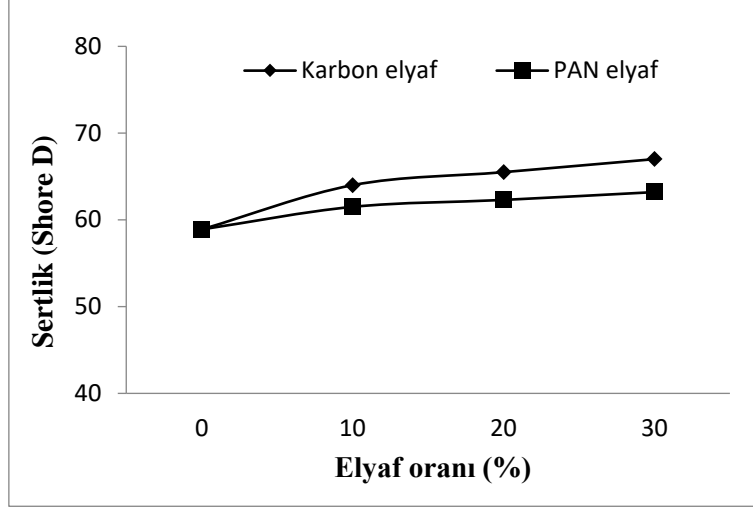
kopma uzamasında düşüş Şekil 3.4’te açıkça görülmektedir. Elde edilen bu verilere göre malzeme içerisinde artan elyaf oranının polimer kompozitinin sünekliğini azalttığı yani malzemenin kalıcı şekil değiştirme yeteneğini zorlaştırdığı gözlemlenmiştir.

### 3.1.2. Sertlik testi

Sertlik testi, malzemeden daha sert bir batıcı ucun malzemeye batması ile malzemenin bu duruma karşı sergilediği deformasyon direncinin ölçülmesidir. Sertlik ile batma boyu ters orantılı değerlerdir. R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerinin sertlik değerleri Tablo 3.6 ve Şekil 3.5’te verilmiştir. Tanımlanmış olan her grup için 2 adet numune test edilmiş ve bu testler sonucunda ortaya çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Ortalama sonuçlar grafiksel olarak şekil 3.5’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.6** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait sertlik değerleri

Sertlik (Shore D)			
Test numune sayısı			
Gruplar	1	2	Ortalama
Grup 1 R-PP (100)	59	58,8	58,9
Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)	61,4	61,6	61,5
Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)	62,5	62	62,3
Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)	62,9	63,5	63,2
Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)	63,7	64,3	64,0
Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)	64,4	66,6	65,5
Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)	66,7	67,3	67,0



**Şekil 3.5** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerinin sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 3.5'te de görüldüğü gibi kompozit içerisinde artan elyaf oranı malzeme sertliğini arttırmıştır. Saf polipropilenin sertliği 58,9 shore d ölçülmüşken, en yüksek karbon elyaf oranlı olan yedinci grubun sertliği 67,0 shore D ölçülerek çalışma grupları arasında en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Saf geri dönüşümlü PP'nin (R-PP) sertlik değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP 'nin sertlik değeri ile kıyasladığımızda %13,7'lik bir artış tespit edilmiştir. Karbon elyaf oranı PAN'a göre sertlikte daha çok artışa sebep olurken iki elyaf oranı da artıkça lineer bir şekilde sertlikte artış gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, kompozit içerisinde artan elyaf oranının malzeme sertliğini arttırdığı, PAN'nın karbon elyafa göre biraz daha yumuşak bir yapısının olması PP'nin sertlik artış oranını etkilemiştir. Lien Zhu ve arkadaşlarının yaptığı çalışma incelendiğinde [24]; HDPE içerisindeki PAN oranı arttıkça sertliğin arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar, R-PP/PAN/MAPP kompozitimizin sertlik değerleri ile benzerlik göstermektedir.

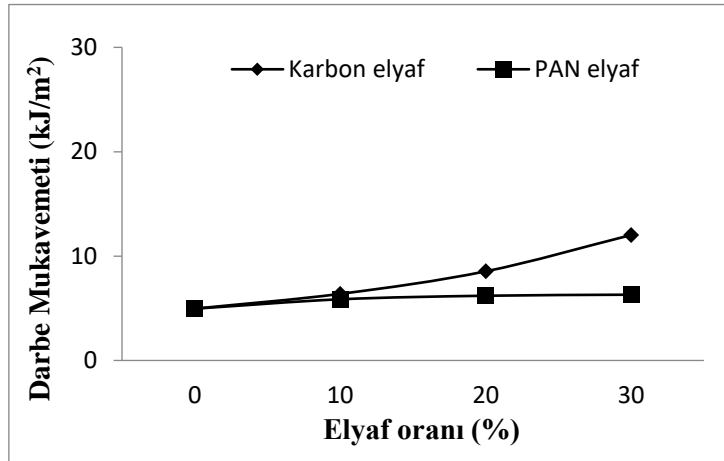
### 3.1.3. Darbe testi

Darbe testi, malzemelerin elastik bölgede kırılmaya karşı gösterdikleri direncin bulunması için gerçekleştirilir ve test sonrasında elde edilen veriler malzemelerin darbe mukavemetini vermektedir. R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerinin sertlik değerleri Tablo 3.7 ve Şekil 3.6'da verilmiştir. Tanımlanmış

olan her grup için 6 adet numune test edilmiş ve bu testler sonucunda ortaya çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Ortalama sonuçlar grafiksel olarak şekil 3.6'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.7** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına darbe mukavemeti değerleri

Darbe Mukavemeti (kJ/m <sup>2</sup> )						
Test numune sayısı						
Gruplar	1	2	3	4	5	Ortalama
Grup 1 R-PP (100)	5,2	5,7	5,3	3,8	4,8	4,96
Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)	5,7	5,7	5,7	6,1	6,1	5,86
Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)	6,3	7,5	5,5	6,5	5,2	6,20
Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)	6,3	6,5	6,3	6,3	6,1	6,30
Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)	6,5	6,5	6,1	6,3	6,5	6,38
Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)	8,3	8,3	8,1	9,3	8,7	8,54
Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)	11,7	11,3	12,1	11,9	13,1	12,02



**Şekil 3.6** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait darbe mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 3.6 ve Tablo 3.7'de görüldüğü gibi R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitleri içerisinde elyaf oranının artmasıyla birlikte darbe mukavemeti saf polipropilene göre yükselmiştir. Gruplar içerisindeki Karbon elyaf oranının artmasıyla birlikte darbe mukavemetinin PAN'a göre daha çok arttığı tespit edilmiştir. Saf polipropilenin darbe mukavemet değeri 4,96 kJ/m<sup>2</sup>olarak ölçülmüştür. Son çalışma grubu olan ve %30 oranında karbon elyaf içeren yedinci gruba ait darbe mukavemeti ise

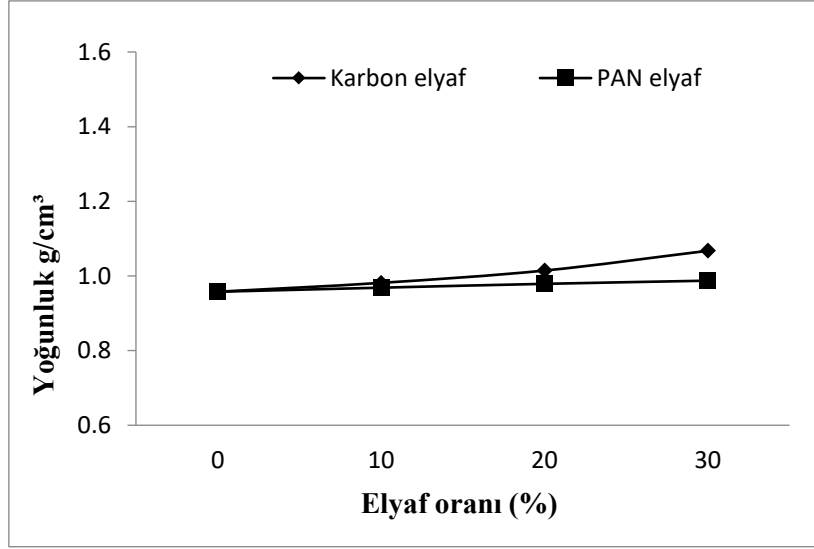
12,02 kJ/m<sup>2</sup> olarak ölçülürken, dördüncü gruba ait ve %30 oranında PAN içeren kompozitimizin darbe mukavemeti 6,30 kJ/m<sup>2</sup>olarak tespit edilmiştir. Saf geri dönüşümlü PP'nin (R-PP) darbe mukavemeti değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP'nin darbe mukavemeti değeri ile kıyasladığımızda %142,3'lük bir artış tespit edilmiştir. Emanuel Meshoyrer ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [26]; PEEK içerisine farklı oranlarda geri dönüşümlü karbon elyaf ilave edilerek kompozitin mekanik değerleri incelenmiştir. Karbon elyaf oranının artmasıyla darbe mukavemeti değerinin de arttığı belirlenmiştir. Bu durum bizim çalışmamızla benzerlik göstermektedir.

#### **3.1.4. Yoğunluğun belirlenmesi**

Bir malzemenin ağırlığının hacmine oranı, o malzemenin yoğunluğunu vermektedir. Saf polipropilen ve R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitleri çalışma gruplarına ait yoğunluğun belirlenmesi adına havada ve alkol içerisinde ölçümler gerçekleştirilmiştir ve çalışma gruplarının yoğunlukları Tablo 3.8 ve Şekil 3.7'de verilmiştir. Tanımlanmış olan her grup için 3 adet numune havada ve alkol içerisinde tartılmış ve gruplara ait yoğunluk değerleri elde edilen sonuçların ortalamalarına göre belirlenmiştir. Ortalama sonuçlar grafiksel olarak şekil 3.7'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.8** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarının yoğunluk değerleri

Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>					
Gruplar	Numune	Havada	Alkolde	Yoğunluk	Ortalama
Grup 1 R-PP (100)	1.	1,204	0,211	0,9579	0,9576
	2.	1,2043	0,2091	0,9560	
	3.	1,2065	0,2125	0,9589	
Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)	1.	1,2288	0,231	0,9729	0,9685
	2.	1,2257	0,2282	0,9707	
	3.	1,2215	0,2183	0,9619	
Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)	1.	1,2898	0,2385	0,9692	0,9788
	2.	1,3068	0,2457	0,9729	
	3.	1,2613	0,2591	0,9942	
Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)	1.	1,3232	0,2516	0,9755	0,9873
	2.	1,3179	0,2609	0,9850	
	3.	1,323	0,2794	1,0015	
Grup 5 R-PP/Karbon elyaf/MAPP(85/10/5)	1.	1,2421	0,2416	0,9808	0,9814
	2.	1,2433	0,2386	0,9776	
	3.	1,2466	0,2476	0,9858	
Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)	1.	1,3276	0,2976	1,0183	1,0144
	2.	1,3255	0,2875	1,0088	
	3.	1,3254	0,295	1,0162	
Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)	1.	1,4032	0,3715	1,0745	1,0673
	2.	1,4023	0,3643	1,0673	
	3.	1,3973	0,3562	1,0603	



**Şekil 3.7** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerinin yoğunluk değerleri grafiksel gösterimi

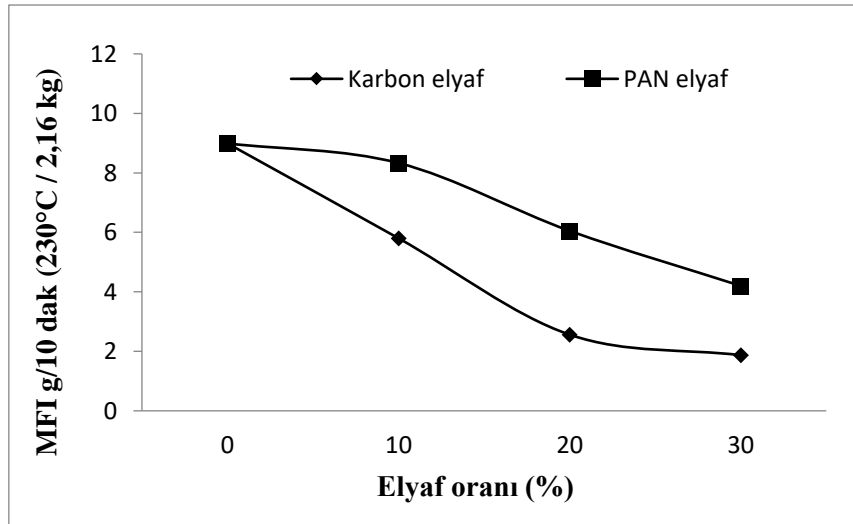
Gerçekleştirilen ölçümler sonrasında saf polipropilenin yoğunluk değeri  $0,9576 \text{ g/cm}^3$  iken içerisine %10 karbon elyaf ilavesiyle bu değer  $0,9814 \text{ g/cm}^3$  olduğu görülmektedir. %20 karbon elyaf ilavesiyle  $1,0144 \text{ g/cm}^3$  ve %30 karbon elyaf ilavesi ile de bu değer  $1,0673 \text{ g/cm}^3$ 'e çıktığı tespit edilmiştir. En yüksek artışın %30 karbon elyaf ilavesinde olduğu görülmektedir. Saf geri dönüşümlü PP'nin (R-PP) yoğunluk değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP 'nin yoğunluk değeri ile kıyasladığımızda %11,4'lük bir artış tespit edilmiştir. Buna karşılık PAN ilaveli gruplarda %10 da  $0,9685 \text{ g/cm}^3$ , %20 de  $0,9788 \text{ g/cm}^3$  ve %30 da  $0,9873 \text{ g/cm}^3$  değerleri tespit edilmiştir. Yani iki elyaf miktarının artışıyla da yoğunluğun artmasına rağmen karbon elyafta daha belirgin bir artış söz konusudur.

### 3.1.5. Erime akış indeksi (MFI)

Erime akış indeksi, belirli bir sürede, sıcaklık ve basınç altında malzemenin akışkanlığının tespit edilmesi için uygulanan bir test yöntemidir. Saf polipropilen, R-PP/karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait erime akış indeksleri Tablo 3.9 ve Şekil 3.8'de verilmiştir. Analizler sonrasında elde edilen sonuçlar g/10dak cinsinden belirlenmiştir. Her çalışma grubundan test edilen 2 adet numuneye ait sonuçlar, ortalamalarıyla birlikte tablo 3.9'da verilmiştir. Sonuçların grafiksel gösterimleri şekil 3.8'de bulunmaktadır.

**Tablo 3.9** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarının erime akış indeksleri

MFI g/10 dak (230°C / 2,16 kg)							
Gruplar	Süre (sn)	Kütle	MFI	Süre (sn)	Kütle	MFI	Ortalama
Grup 1 R-PP (100)	25	0,4487	10,7688	27	0,3243	7,2067	8,99
Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)	29	0,4373	9,0476	36	0,4568	7,6133	8,33
Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)	31	0,2981	5,7697	27	0,2847	6,3267	6,05
Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)	33	0,3175	5,7727	43	0,1883	2,6274	4,20
Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)	31	0,3035	5,8742	37	0,3527	5,7195	5,80
Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)	38	0,1713	2,7047	33	0,1332	2,4218	2,56
Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)	41	0,1118	1,6361	48	0,1684	2,1050	1,87



**Şekil 3.8** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait erime akış indekslerinin grafiksel gösterimi

Yapılan ölçümler sonrasında elyaf oranının artması ile erime akış indisi değerlerinin değiştiği şekil 3.8’de açıkça görülmektedir. Polipropilene karbon elyaf ve PAN ilavesiyle erime akış indisi değerleri düşmüş fakat en düşük erime akış indisi değeri %30 karbon elyaf ilaveli grupta tespit edilmiştir. Saf geri dönüşümlü PP’nin (R-PP) MFI değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP ‘nin MFI değeri ile kıyasladığımızda %79,1’lik bir azalış tespit edilmiştir. Her iki elyaf için de oranlardaki artışla beraber düzenli bir düşüş söz konusudur. Denise Hirayama ve arkadaşlarının yaptığı çalışma incelendiğinde [23]; polipropilen içerisine farklı uzunluklarda geri dönüşümlü karbon

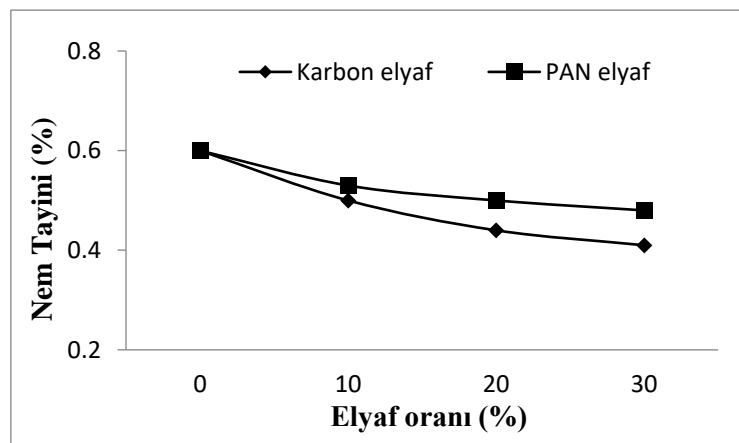
elyaf ilave edilmiş ve her iki karbon elyafda da oran arttıkça MFI değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

### 3.1.6. Nem miktarının tayini

Saf polipropilen, R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarının içerisinde ne kadar nem tuttuğunu tespit etmek adına gerçekleştirilen testlerin sonuçları tablo 3.10 ve şekil 3.9’da verilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, her grup için 3 adet numune kullanılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak Tablo 3.10’da verilmiştir. Sonuçların ortalamaları ile oluşturulmuş grafiksel gösterim şekil 3.9’da bulunmaktadır.

**Tablo 3.10** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait nem tayini değerleri

Nem Tayini (%)				
Test Numune Sayısı				
Gruplar	1	2	3	Ortalama
Grup 1 R-PP (100)	0,58	0,60	0,61	0,60
Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)	0,51	0,53	0,55	0,53
Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)	0,52	0,49	0,49	0,50
Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)	0,49	0,48	0,48	0,48
Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)	0,38	0,59	0,52	0,50
Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)	0,43	0,44	0,45	0,44
Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)	0,43	0,40	0,40	0,41



**Şekil 3.9** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozitlerine ait nem tayini değerlerinin grafiksel gösterimi

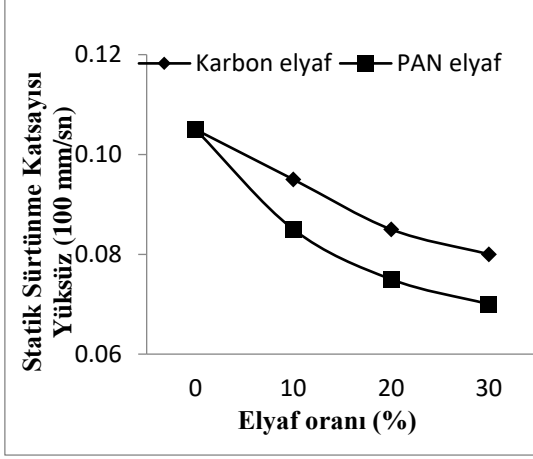
Şekil 3.9'da bulunan grafiksel sonuçlar incelendiğinde elyaf oranının artmasıyla birlikte nem emme miktarında azalma tespit edilmiştir. Saf polipropilen içerisinde %0,60 oranında bulunan nem miktarının, %10 karbon elyaf ilavesiyle %0,50, %20 karbon elyaf ilavesiyle %0,44 ve %30 karbon elyaf ilavesiyle %0,41 oranlarında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük nem emme miktarı %30 karbon elyaf içeren yedinci grupta ortaya çıkmıştır. Saf geri dönüşümlü PP'nin (R-PP) nem tayini değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP 'nin nem tayini değeri ile kıyasladığımızda %31,6'lık bir azalış tespit edilmiştir. PAN ilavesinde ise %10'da %53, %20'de %50 ve %30'da %48 gibi bir düşüş söz konusudur.

### 3.1.7. Sürtünme testi

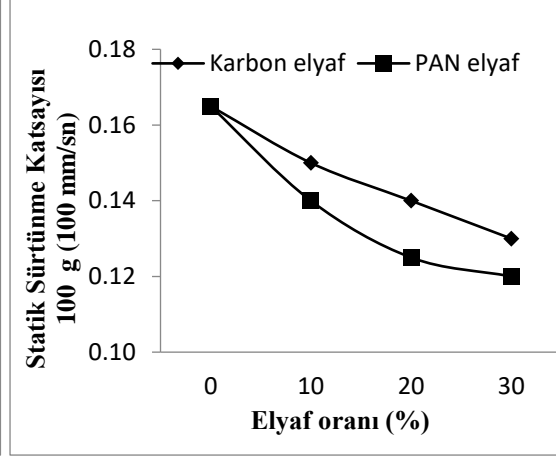
Sürtünme testi, malzemelerin hareketi esnasında temasta buldukları yüzeyler ile arasında meydana gelen, sürtünmeden kaynaklı ve yer değiştirmeye zıt yönde ortaya çıkan kuvvetin tespiti için gerçekleştirilmektedir. Saf polipropilen, R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait, 5 farklı yük altında gerçekleştirilmiş test sonuçları Tablo 3.11 ve Şekil 3.10.A, Şekil 3.10.B, Şekil 3.10.C, Şekil 3.10.D, Şekil 3.10.E'de verilmiştir.

**Tablo 3.11** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti gruplarına ait sürtünme test sonuçları

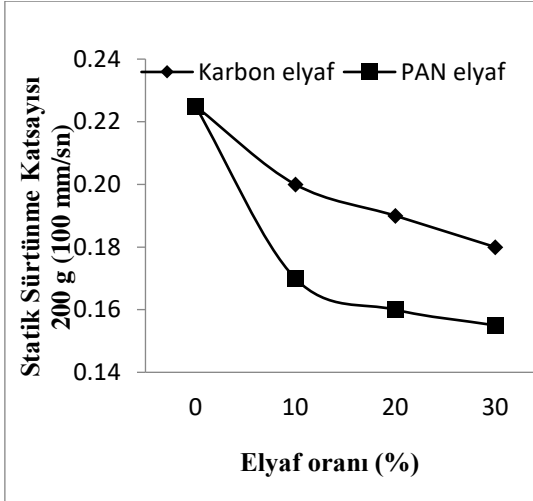
Gruplar	Statik Sürtünme Katsayısı (100 mm/sn)				
	Yüksüz	100	200	300	500
<b>Grup 1 R-PP (100)</b>	0,105	0,165	0,225	0,25	0,345
<b>Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)</b>	0,085	0,13	0,17	0,22	0,285
<b>Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)</b>	0,075	0,125	0,16	0,21	0,28
<b>Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)</b>	0,07	0,12	0,155	0,2	0,27
<b>Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)</b>	0,95	0,15	0,2	0,24	0,33
<b>Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)</b>	0,085	0,14	0,19	0,23	0,32
<b>Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)</b>	0,08	0,13	0,18	0,235	0,31



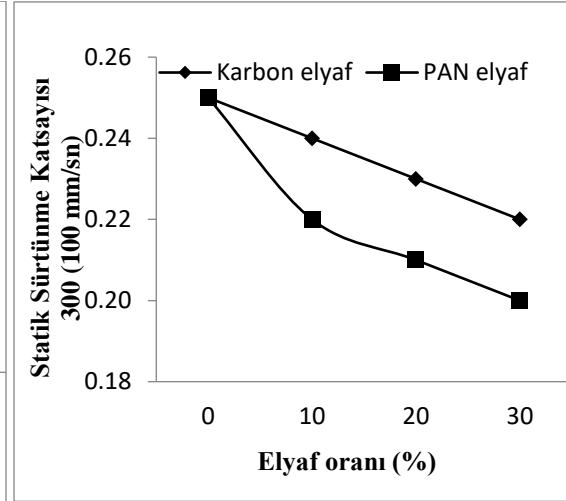
Şekil 3.10.A R-PP/Karbon elyaf /MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (yüksüz)



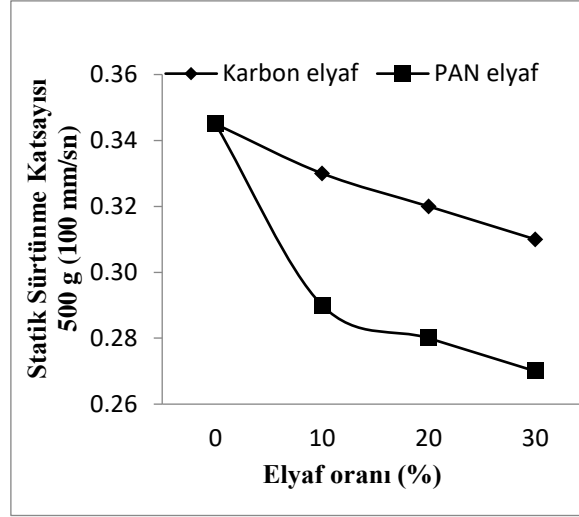
Şekil 3.10.B R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (100g)



Şekil 3.10.C R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (200g)



Şekil 3.10.D R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (300g)



**Şekil 3.10.E** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait sürtünme test sonuçları (500g)

R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarının sürtünme davranışlarının incelenmesi amacıyla değişik yükler altında (1.96N, 2.94N, 3.92N, 4.90N ve 6.86 N) numuneler 100 mm/dak'lık hız ile birbiri üzerinde kaydırılmış ve statik sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Yükün, kompozitin statik sürtünme katsayısı üzerinde büyük bir etkisi olduğu görülmüştür. Yük arttıkça, tüm gruplarda statik sürtünme katsayılarının arttığı tespit edilmiştir. Karbon elyaf ve PAN oranının gruplar içerisindeki artışı statik sürtünme katsayılarının düşmesine sebebiyet vermiştir. Farklı yüklerde tekrarlanan testler sonucunda bu durum doğrulanmıştır. Mehmet Emin Demir ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [21]; karbon elyaf takviyeli polimer kompozitinin yük miktarı arttıkça sürtünme katsayısı değerinin de arttığı tespit edilmiştir.

### 3.1.8. Aşınma testi

Aşınma testi, malzemelerin kullanım sırasında yüzeyine gerçekleştirilen temaslar sonucunda, ürün yüzeyinden parça kopması sonucunda ortaya çıkan yüzey bozulmasının tespit edilmesi için gerçekleştirilmektedir. Saf polipropilen, R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 3 numune ile 10 N yük altında 20m, 40m, 60m ve 80m mesafelerde sürtünme testi gerçekleştirilmiş, sonuçlar ve sonuçların ortalamaları Tablo 3.12.A, Tablo 3.12.B, Tablo

3.12.C ve Tablo 3.12.D verilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalamaları, Şekil 3.11.A, Şekil 3.11.B, Şekil 3.11.C ve Şekil 3.11.D’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

**Tablo 3.12.A** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait 20m aşınma oranı ( $\text{cm}^3/\text{Nm}$ )sonuçları

AŞINMA 20 m							
		İlk Değer	Son Değer	$\Delta m$	Yoğunluk	WR	Ortalama
1. Grup	1. Numune	1,2052	1,1955	0,0097	0,9576	0,000050647	0,000049603
	2. Numune	1,2031	1,1928	0,0103		0,000053780	
	3. Numune	1,2048	1,1963	0,0085		0,000044382	
2. Grup	1. Numune	1,2195	1,2084	0,0111	0,9685	0,000057305	0,000056961
	2. Numune	1,2259	1,2150	0,0109		0,000056273	
	3. Numune	1,2296	1,2185	0,0111		0,000057305	
3. Grup	1. Numune	1,2603	1,2424	0,0179	0,9510	0,000094111	0,000090957
	2. Numune	1,2643	1,2446	0,0197		0,000103575	
	3. Numune	1,2605	1,2462	0,0143		0,000075184	
4. Grup	1. Numune	1,3265	1,2913	0,0352	0,9512	0,000185029	0,000186782
	2. Numune	1,3181	1,2829	0,0352		0,000185029	
	3. Numune	1,3207	1,2845	0,0362		0,000190286	
5. Grup	1. Numune	1,2448	1,2221	0,0227	0,9582	0,000118451	0,000107841
	2. Numune	1,2410	1,2203	0,0207		0,000108015	
	3. Numune	1,2462	1,2276	0,0186		0,000097057	
6. Grup	1. Numune	1,3251	1,2963	0,0288	1,0144	0,000141956	0,000145570
	2. Numune	1,3275	1,2990	0,0285		0,000140477	
	3. Numune	1,3298	1,2985	0,0313		0,000154278	
7. Grup	1. Numune	1,3967	1,3559	0,0408	1,0673	0,000191137	0,000185671
	2. Numune	1,3996	1,3591	0,0405		0,000189731	
	3. Numune	1,3928	1,3552	0,0376		0,000176145	

**Tablo 3.12.B** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait 40m aşınma oranı (cm<sup>3</sup>/Nm)sonuçları

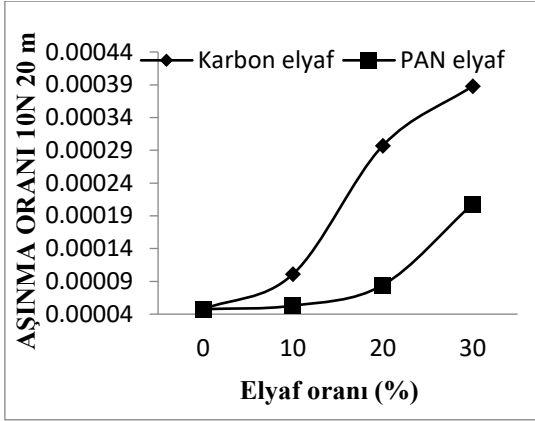
AŞINMA 40 m							
		İlk Değer	Son Değer	Δm	Yoğunluk	WR	Ortalama
1. Grup	1. Numune	1,1955	1,1776	0,0179	0,9576	0,000046731	0,000047602
	2. Numune	1,1928	1,1767	0,0161		0,000042032	
	3. Numune	1,1963	1,1756	0,0207		0,000054041	
2. Grup	1. Numune	1,2084	1,1856	0,0228	0,9685	0,000058854	0,000052917
	2. Numune	1,2150	1,1948	0,0202		0,000052142	
	3. Numune	1,2183	1,1998	0,0185		0,000047754	
3. Grup	1. Numune	1,2424	1,2080	0,0344	0,9510	0,000090431	0,000084297
	2. Numune	1,2446	1,2151	0,0295		0,000077550	
	3. Numune	1,2462	1,2139	0,0323		0,000084911	
4. Grup	1. Numune	1,2913	1,2091	0,0822	0,9512	0,000216043	0,000208246
	2. Numune	1,2829	1,2031	0,0798		0,000209735	
	3. Numune	1,2845	1,2088	0,0757		0,000198959	
5. Grup	1. Numune	1,2221	1,1823	0,0398	0,9582	0,000103841	0,000100971
	2. Numune	1,2203	1,1818	0,0385		0,000100449	
	3. Numune	1,2276	1,1898	0,0378		0,000098622	
6. Grup	1. Numune	1,2963	1,2361	0,0602	1,0144	0,000296727	0,000297056
	2. Numune	1,2990	1,2363	0,0627		0,000309050	
	3. Numune	1,2985	1,2406	0,0579		0,000285390	
7. Grup	1. Numune	1,3559	1,2743	0,0816	1,0673	0,000382273	0,000388051
	2. Numune	1,3591	1,2839	0,0752		0,000352291	
	3. Numune	1,3552	1,2635	0,0917		0,000429589	

**Tablo 3.12.C R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait 60m aşınma oranı (cm<sup>3</sup>/Nm)sonuçları**

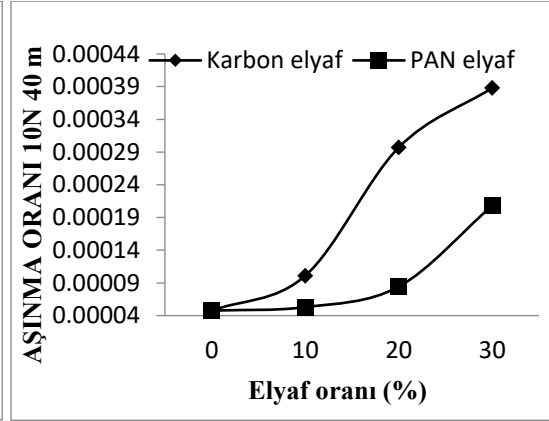
AŞINMA 60 m							
		İlk Değer	Son Değer	Δm	Yoğunluk	WR	Ortalama
1. Grup	1. Numune	1,1776	1,1506	0,0270	0,9576	0,000046992	0,000042815
	2. Numune	1,1767	1,1528	0,0239		0,000041597	
	3. Numune	1,1759	1,1530	0,0229		0,000039857	
2. Grup	1. Numune	1,1856	1,1661	0,0195	0,9685	0,000033557	0,000042506
	2. Numune	1,1948	1,1663	0,0285		0,000049045	
	3. Numune	1,1998	1,1737	0,0261		0,000044915	
3. Grup	1. Numune	1,2080	1,1595	0,0485	0,9510	0,000084998	0,000096565
	2. Numune	1,2151	1,1583	0,0568		0,000099544	
	3. Numune	1,2139	1,1539	0,0600		0,000105152	
4. Grup	1. Numune	1,2091	1,0953	0,1138	0,9512	0,000199397	0,000189585
	2. Numune	1,2031	1,0935	0,1096		0,000192038	
	3. Numune	1,2088	1,1076	0,1012		0,000177320	
5. Grup	1. Numune	1,1825	1,1259	0,0566	0,9582	0,000098448	0,000098912
	2. Numune	1,1818	1,1290	0,0528		0,000091839	
	3. Numune	1,1898	1,1286	0,0612		0,000106450	
6. Grup	1. Numune	1,2361	1,1481	0,0880	1,0144	0,000433754	0,000442133
	2. Numune	1,2363	1,1398	0,0965		0,000475651	
	3. Numune	1,2406	1,1560	0,0846		0,000416995	
7. Grup	1. Numune	1,2743	1,1499	0,1244	1,0673	0,000582779	0,000578719
	2. Numune	1,2839	1,1554	0,1285		0,000601986	
	3. Numune	1,2635	1,1458	0,1177		0,000551391	

**Tablo 3.12.D R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompozit gruplarına ait 80m aşınma oranı (cm<sup>3</sup>/Nm) sonuçları**

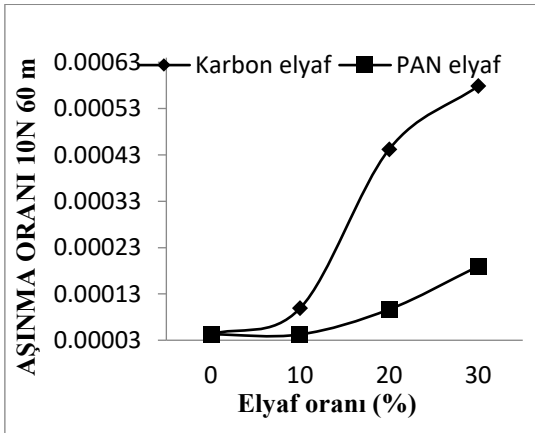
AŞINMA 80 m							
		İlk Değer	Son Değer	Δm	Yoğunluk	WR	Ortalama
1. Grup	1. Numune	1,2058	1,1776	0,0282	0,9576	0,000036811	0,000038073
	2. Numune	1,2071	1,1763	0,0308		0,000040205	
	3. Numune	1,2077	1,1792	0,0285		0,000037202	
2. Grup	1. Numune	1,2245	1,1842	0,0403	0,9685	0,000052013	0,000060360
	2. Numune	1,2228	1,1700	0,0528		0,000068147	
	3. Numune	1,2276	1,1804	0,0472		0,000060919	
3. Grup	1. Numune	1,2414	1,1668	0,0746	0,9510	0,000098055	0,000098055
	2. Numune	1,3075	1,2319	0,0756		0,000093369	
	3. Numune	1,2897	1,2161	0,0736		0,000096740	
4. Grup	1. Numune	1,3301	1,2006	0,1295	0,9512	0,000170180	0,000164923
	2. Numune	1,3066	1,1832	0,1234		0,000162164	
	3. Numune	1,3116	1,1880	0,1236		0,000162426	
5. Grup	1. Numune	1,2424	1,1648	0,0776	0,9582	0,000101231	0,000096579
	2. Numune	1,2435	1,173	0,0705		0,000091969	
	3. Numune	1,2455	1,1715	0,074		0,000096535	
6. Grup	1. Numune	1,2283	1,2181	0,0102	1,0144	0,000050276	0,000220492
	2. Numune	1,2219	1,2014	0,0205		0,000101045	
	3. Numune	1,3239	1,2204	0,1035		0,000510154	
7. Grup	1. Numune	1,4998	1,2421	0,2577	1,0673	0,001207252	0,001043443
	2. Numune	1,4949	1,2341	0,2608		0,001221775	
	3. Numune	1,4009	1,2512	0,1497		0,000701302	



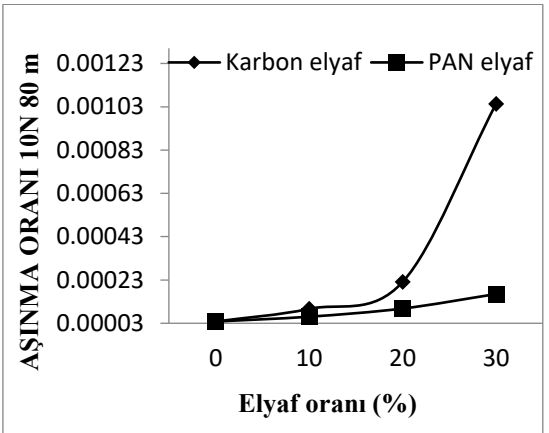
**Şekil 3.11.A** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 20m aşınma



**Şekil 3.11.B** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 40m aşınma



**Şekil 3.11.C** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 60m aşınma sonuçlarının grafiksel



**Şekil 3.11.D** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait 80m aşınma sonuçlarının grafiksel

10 N yük altında, 0,32 m/s hızla dönen zımparalı (# 60) tambur üzerinde gerçekleştirilen testlerde, tüm çalışma gruplarında elyaf oranlarının artmasına paralel olarak aşınma oranı değerlerinin arttığı görülmektedir. Saf polipropilene ait 20m aşınma değeri  $10,18 \times 10^{-5}$  olarak ölçülmüşken, %30 oranında PAN'da  $13,69 \times 10^{-5}$  olarak ve %30 karbon elyaf oranında ise  $15,57 \times 10^{-5}$  olarak ölçülmüştür. Benzer durumların diğer mesafelerdeki

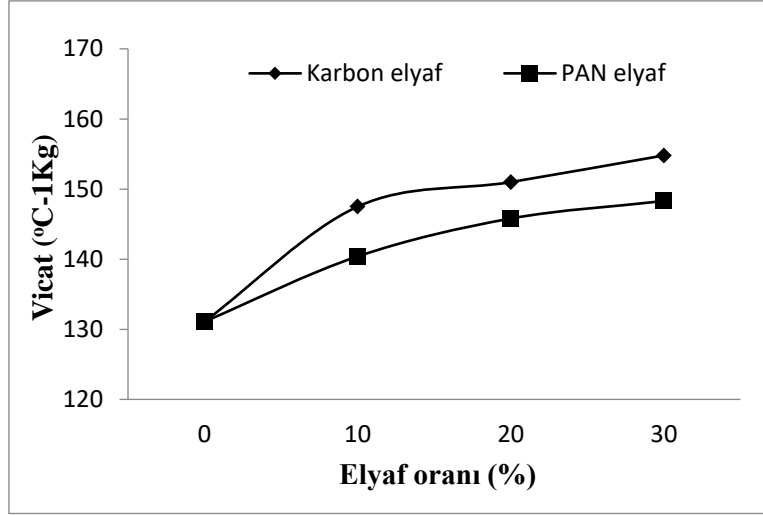
aşınma testleri için de geçerli olduğu görülmüştür. 80m aşınma testinde en yüksek değerin elde edildiği yedinci grubun ortalama aşınma oranı  $10,43 \times 10^{-4}$  olarak tespit edilmiştir. Karbon elyaf PAN'a göre daha yoğun bir malzeme olduğu için aşınma değerleri PAN'a göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında aşınma mesafesinin artması da aşınma değerlerini etkileyen bir parametre olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.1.9. Vicat yumuşama sıcaklık testi

Vicat yumuşama sıcaklık testi, plastik malzemelerin ısıtma banyosu içerisinde, noktasal sabit bir yük altında yumuşamaya başladığı sıcaklığın bulunması adına gerçekleştirilmektedir. Testlerde saf polipropilen, R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait ikişer numune kullanılmış ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Test sonuçları Tablo 3.13 içerisinde verilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalamaları grafiksel olarak Şekil 3.12’te gösterilmiştir.

**Tablo 3.13** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait vicat yumuşama sıcaklık sonuçları

Vicat yumuşama sıcaklığı (°C-1Kg)			
Test Numune Sayısı			
Gruplar	1	2	Ortalama
<b>Grup 1 R-PP (100)</b>	123,6	138,4	131,0
<b>Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)</b>	139,5	141,2	140,4
<b>Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)</b>	147,7	143,9	145,8
<b>Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)</b>	148,4	148,1	148,3
<b>Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)</b>	146,8	148,2	147,5
<b>Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)</b>	146,9	155,1	151,0
<b>Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)</b>	154	155,6	154,8



**Şekil 3.12** R-PP/Karbon elyaf/MAPP, R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait vicat yumuşama sıcaklığı grafiksel gösterimi

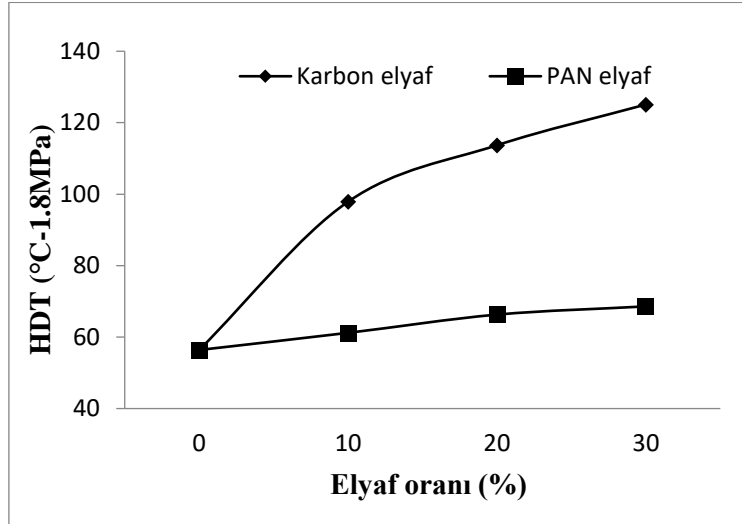
Şekil 3.12’te de görüldüğü gibi elyaf oranının artması ile vicat yumuşama sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Fakat karbon elyafın yoğunluğunun fazla olması nedeniyle PAN'a göre vicat sıcaklığı daha yüksek tespit edildiği görülmektedir. Saf polipropilenin vicat yumuşama sıcaklık değeri 131,0°C iken içerisine %30 PAN ilavesiyle bu değer 148,3°C, %30 karbon elyaf ilavesiyle 154,8°C kadar çıktığı tespit edilmiştir. En yüksek artışın %30 karbon elyaf ilavesinde olduğu görülmektedir. Saf geri dönüşümlü PP’nin (R-PP) vicat yumuşama sıcaklığı değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP ‘nin vicat yumuşama sıcaklığı değeri ile kıyasladığımızda %18,16’lık bir artış tespit edilmiştir. İki elyaf türünde de düzenli bir artış gözlenmektedir.

### 3.1.10. Isıl çarpılma sıcaklık (HDT) testi

Isıl çarpılma sıcaklığı testi (HDT), plastik numunelerin bir ısıtma banyosu içerisinde noktasal olarak sabit bir yük altında deformasyona uğradığı sıcaklığın tespit edilmesi için kullanılır. Gerçekleştirilen testlerde tüm çalışma gruplarından ikişer numune kullanılmış ve elde edilen sonuçlar ortalamaları ile birlikte Tablo 3.14’te verilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalamaları Şekil 3.13’te grafiksel olarak gösterilmiştir.

**Tablo 3.14** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait ısı çarpılma sıcaklık sonuçları

Isıl Çarpılma Sıcaklığı HDT (°C-1.8MPa)				
Test Numune Sayısı				
Gruplar	1	2	3	Ortalama
Grup 1 R-PP (100)	57,9	55,1	56,2	56,4
Grup 2 R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)	61,5	61,5	60,5	61,2
Grup 3 R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)	67,3	66,5	65	66,3
Grup 4 R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)	68,8	69,2	67,7	68,6
Grup 5 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(85/10/5)	98,4	98	97,3	97,9
Grup 6 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(75/20/5)	116,1	114,7	110,3	113,7
Grup 7 R-PP/Karbon Elyaf/MAPP(65/30/5)	124,7	125,6	124,9	125,1

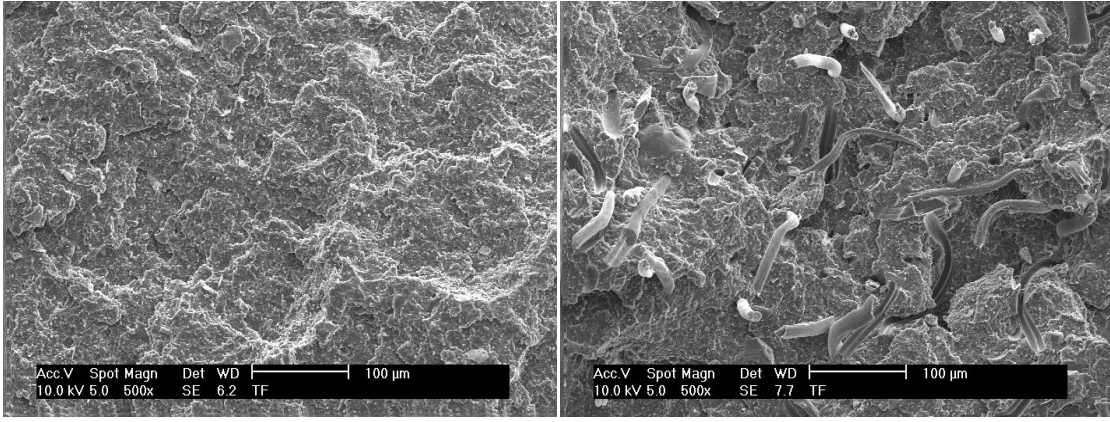


**Şekil 3.13** R-PP/Karbon elyaf/MAPP ve R-PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait ısı çarpılma sıcaklığı grafiksel gösterimi

Madde 3.1.10 altında vicat yumuşama sıcaklığı ile ilgili gerçekleştirilen yorumların, ısı çarpılma sıcaklığı içinde geçerli olduğu Şekil 3.13'te bulunan verilerle görülebilmektedir. Saf polipropilene ait HDT değeri 56,4°C olarak tespit edilmiştir. İçerisinden %30 oranında PAN ilavesi ile 68,6°C, %30 Karbon elyaf ilavesiyle ise 125,1°C olduğu tespit edilmiştir. Elyaf oranının artmasıyla bir artış gözükürken karbon elyaf ilavesi ile en yüksek sıcaklığa ulaştığı görülmektedir. Saf geri dönüşümlü PP'nin (R-PP) ısı çarpılma sıcaklığı değerini %30 karbon elyaf ilaveli R-PP'nin ısı çarpılma sıcaklığı değeri ile kıyasladığımızda %121,8'lik bir artış tespit edilmiştir.

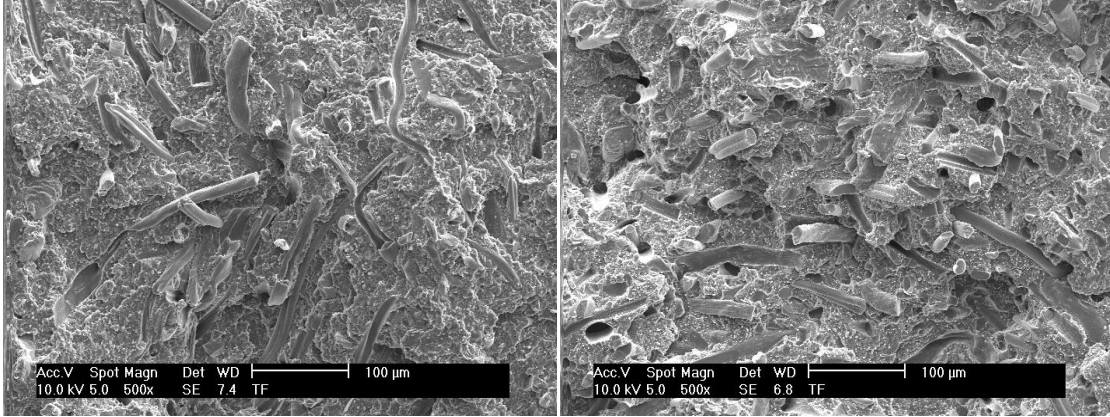
### 3.1.11. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) testi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM – Scanning Electron Microscope), kabaca yüksek enerjiye sahip elektronların, çok küçük bir alana odaklanarak yüzeyi taraması şeklinde gerçekleştirilen bir test yöntemidir. SEM testi ile saf polipropilen, PP/Karbon elyaf/MAPP ve PP/PAN/MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait numunelerin yüzey fotoğrafları 10 kV gerilim altında çekilmiştir. Elde edilen mikroyapı fotoğraflarına bakılarak, karbon elyafın ve poliakrilonitrilin polipropilen matrisi içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Fotoğraf Şekil 14'te gösterilmiştir.



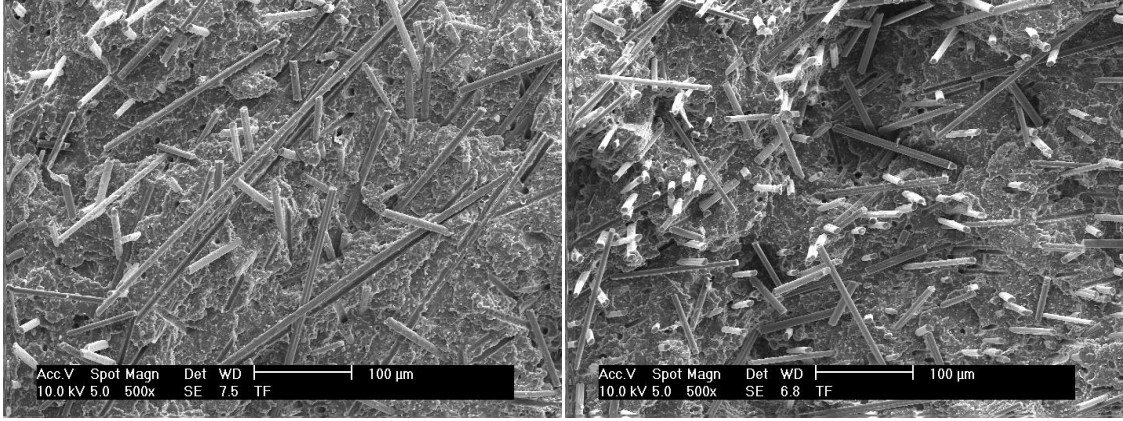
A. 1.Grup (Saf PP)

B. 2.Grup R-PP/PAN/MAPP(85/10/5)

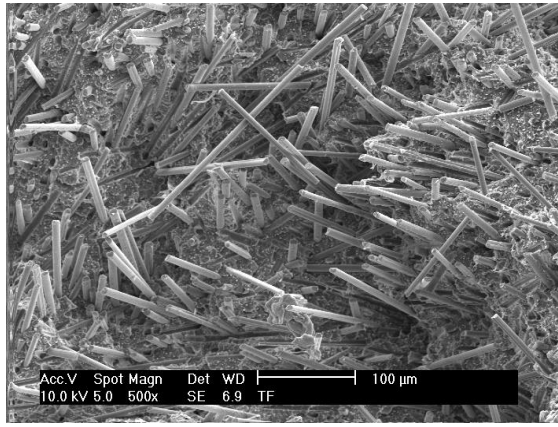


C. 3. Grup R-PP/PAN/MAPP(75/20/5)

D.4. Grup R-PP/PAN/MAPP(65/30/5)



E. 5. Grup R-PP/Karbon elyaf/MAPP(85/10/5) F. 6. Grup R-PP/Karbon elyaf/MAPP(75/20/5)



G. 7. Grup R-PP/Karbon elyaf/MAPP(65/30/5)

**Şekil 3.14** R-PP/PAN/MAPP ve R-PP/Karbon elyaf/ MAPP polimer kompoziti çalışma gruplarına ait SEM Fotoğrafları

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada geri dönüşümlü polipropilen polimerine farklı oranlarda karbon elyaf ve poliakrilonitril katarak iki farklı polimer kompozitinin elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması, sertlik değeri, çentikli izod darbe mukavemeti, yoğunluk değerleri, vicat yumuşama sıcaklığı, ısıl çarpılma sıcaklığı, erime akış indisi, nem emme miktarı, aşınma oranı, statik sürtünme katsayısı ve mikroyapı özellikleri incelenmiş olup karbon elyafın ve poliakrilonitrilin ilavesiyle değerlerde önemli değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre:

- Geri dönüşümlü polipropilene karbon elyaf ilavesi ile elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, sertlik değeri, çentikli izod darbe mukavemeti ve yoğunluk değerleri artmıştır. Bu artışın sebebi karbon elyafın gevrek yapısından kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde poliakrilonitril ilavesi ile de bu değerlerin arttığı tespit edilmiştir. Ama poliakrilonitrilde karbon elyafa oranla daha az bir artış söz konusudur.
- Geri dönüşümlü polipropilene göre daha gevrek bir malzeme olan karbon elyaf ve poliakrilonitril ilavesi kopma uzama değerinde bir düşüş sağlamıştır.
- Geri dönüşümlü polipropilene karbon elyaf ilavesi ile vicat yumuşama sıcaklığı, ısıl çarpılma sıcaklığı ve aşınma oranı değerleri artmıştır. Bu artışın sebebi karbon elyafların gevrek yapısından kaynaklanmaktadır. Poliakrilonitril ilavesi ile de bir artış söz konusudur fakat karbon elyafa oranla daha az artış görüşmüştür.
- Geri dönüşümlü polipropilene karbon elyaf ve poliakrilonitril ilavesi erime akış indeksi ve nem emme değerlerini düşürmüştür.
- Karbon elyaf ve poliakrilonitril oranlarının artmasıyla aşınma oranı değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak aşındırma mesafeleri arttıkça da aşınma oranlarının arttığı görülmektedir.
- Yük arttıkça, tüm gruplarda statik sürtünme katsayı değerleri artmıştır. Karbon elyaf ve poliakrilonitril oranının gruplar içerisindeki artışı statik sürtünme katsayılarının bir miktar düşmesine sebebiyet vermiştir.

- Mikroyapı fotoğraflarından anlaşıldığı gibi karbon elyaflar ve poliakrilonitriller homojen olarak dağılmıştır.

#### **4.2. Öneriler**

Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamalara benzer olarak, ileride gerçekleştirilecek çalışmalar için aşağıdaki tespit edilen öneriler uygulanabilir.

- Gerçekleştirilecek olan çalışmalarda geri dönüşümlü polipropilene takviye malzemesi olarak karbon elyaf ve poliakrilonitil içerisine bu çalışmada kullanılan MAPP oranları sabit tutularak, MAPP yerine EPDM polimeri karıştırılarak değişkenler incelenebilir.
- Bu çalışmada kullanılan takviye malzemesi karbon elyaf ve poliakrilonitril yerine, doğal elyaf takviyeli bir kompozit üzerinde çalışılabilir. Doğal elyaf takviyesinin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Yalçınkaya,S.E.(2008). Nanokil-Polimer Kompozitlerinin Sentez Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [2] Tanrısever,T.,(2006). Polimer Kimyası Ders Notu. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye.
- [3] Al-Mashhadani, A., (2017). Viscoelastic Behaviour of Thermosets-Thermoplastic Polymer Composite. Yüksek Lisans, Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen ve Teknoloji Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [4] Ekşi,O., (2007). Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye.
- [5] Sarıkaya, E., (2011), Plastik Kalıp Malzemelerinin Özellerine Farklı Yüzey İşlemlerinin Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale, Türkiye.
- [6] Erkek, S., (2007). Karbon Siyahı/Yağ ve Karbon Siyahı/Dolgu Maddesi Farklı Vulkanizasyon Sistemlerinde EPDM, NBR ve SBR Elastomerlerinin Fiziko-Mekaniksel Özelliklerin Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- [7] Ay,İ.,(2008). Polimer Malzemelerin İşlenme Teknikleri Ders Notu. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye.
- [8] Sanjay, M. R., G. R. Arpitha, and B. Yogesha. "Study on mechanical properties of naturalglass fibre reinforced polymer hybrid composites: A review." *Materials today: proceedings* (2015), 2.4-5: 2959-2967.
- [9] H.Y. Ersoy, Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama, San. Tic. Ltd. Şti. İSTANBUL (2001).
- [10] Y. Şahin, Kompozit Malzemelere Giriş, GAZİ Kitabevi, ANKARA (2000)
- [11] M.Saçak, Polimer Kimyası, GAZİ Kitabevi, ANKARA (2002)

- [12] Y.Olcay, M.Akyol,R.GEMCİ, Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metodlarının incelenmesi: Uludağ Üniversitesi MühendislikMimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1) (2002) 93.
- [13] Qu, J. (1993). The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials. *Mechanics of Materials*, 14(4), 269-281.
- [14] Kaya, A.İ. (1995). Atık Kâğıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Doktora tezi), sparta, 239p
- [15] Mazumdar, S.K., *Composites manufacturing: materials, product and process engineering*, CRC Press LLC, A.B.D., 2002.
- [16] Akbulut, H., Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matriksli kompozit üretimi ve mikroyapı özellik ilişkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1995.
- [17] Ha, J., *Toughening Mechanisms in Weak Matrix Ceramic Composites*, Doktora Tezi, University of Missouri-Rolla, Amerika, 1991.
- [18] Post, W., et al. "Healing of a glass fibre reinforced composite with a disulphide containing organic-inorganic epoxy matrix." *Composites Science and Technology* (2017), 152: 85-93.
- [19] Gurbanov, N., (2018). Farklı Tip Fiber Takviyeli HDPE Matrisli Polimer Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- [20] V. Vasiliev, E. V. Morozov, *Mechanics and Analysis of Composite Materials*, 1. Basım, Elsevier Science Ltd. (2001)
- [21] Akonda,M.H., Lawrence, C.A., Weager, B.M., (2012). Recycled Carbon Fibre-Reinforced Polypropylene Thermoplastic Composite. *Science Direct*, 43, 79-86
- [22] Huang, C., Lou, C., Liu, C.F., Song, X.M., and Horng Li, J., (2015). Polypropylene/Graphene and Polypropylene/Carbon Fiber Conductive Composites: Mechanical, Crystallization and Electromagnetic Propertie. *Applied Sciences*, 5, 1196-1210

- [23] Demir M. E., Çelik Y. H. ve Kılıçkap E., (2019). Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin, Yükün, Kayma Hızı ve Mesafesinin Abrasiv Aşınmaya Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 22(4): 811-817.
- [24] Hirayama, D., Saronb C., Botelhoc, E.C., Costac, M.L., Juniora A.C.A., (2017). Polypropylene Composites Manufactured from Recycled Carbon Fibers from Aeronautic Materials Waste. *Materials Research*, 1980-5373
- [25] Zhu K., Wu D., Wang B., Zhao J., Jin, Z., Zhao, K., (2017). Reinforcing high-density polyethylene by polyacrylonitrile fibers. *Research Paper, Pigment & Resin Technology*,
- [26] Meshoyrer E., Pan C., Yao B., Zhang J., Dr., Lync J., Chang E., (2019). Development of Polymer Composites Reinforced with Recycled Carbon Fibers. *New Jersey's Governor's School of Engineering and Technology*.
- [27] Yavuz, Z., (2016). Investigation and Control of The Static Electrification in Polypropylene, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- [28] Yılmaz Ş.S. (2011). Preparation and Characterization of Organoclaypolypropylene Nanocomposites with Maleic Anhydride Grafted Polypropylene Compatibilizer. Yüksek Lisans, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [29] Mirzadeh A., Kokabi M., (2007). The Effect of Composition and Draw-Down Ratio on Morphology and Oxygen Permeability of Polypropylene Nanocomposite Blown Films. *European Polymer Journal*, (43), 3757-3765.
- [30] Güneysu, H., (2014). Effects of Anti-Scratch Additives on The Properties of Polypropylenes. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [31] Güçlü, M., (2007). Light Stability and The Effect of Temperature on Mechanical Properties of Polypropylene / Poly(Ethylene-Vinyl-Acetate) Blends. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Doğal ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [32] [http://www.eng.uab.edu/epcl/b\\_fiber.htm#carbon](http://www.eng.uab.edu/epcl/b_fiber.htm#carbon)
- [33] Walsh P.J., *Carbon Fibers*, ASM Handbook, 2001, 21, 35-40

- [34] Koç, R., 2011.Mühendislik plastiklerinin aşınma davranışlarının deneysel incelenmesi. Balıkesir: Teknolojik Araştırmalar

## ÖZGEÇMİŞ

**ŞÜKRAN GÜNEY**

**Tel:** 0 (539) 424 87 77

**Adres:** Osmanağa Mah. kuşdili Cad.

No:67 Kadıköy / İstanbul

**e-mail:** sukranguney95@gmail.com



**Doğum Tarihi :**17.02.1995

**Doğum Yeri :** Bursa

**Uyruğu :** T.C.

**Medeni Hali :** Bekar

### **Eğitim Durumu :**

2018 - .... **Marmara Üniversitesi (İstanbul)**

Metaller ve Malzeme Müh. Malzeme Prog. Yüksek Lisans Eğitimi  
(Gano:3,92)

2013 – 2017 **Marmara Üniversitesi (İstanbul)**

Metaller ve Malzeme Mühendisliği Lisans Eğitimi (Gano:3,30)

2009 – 2013 **İMKB Anadolu Lisesi (Bursa)**

Lise

**Yabancı Diller :**

**İngilizce**

(Orta Seviyede)

**Almanca**

(Başlangıç Seviyesi)

**Sınav Bilgileri :**

**YÖKDİL :** 60,0

**ALES :** 75,8

**Staj :**

2016 **M.A.Y Fren Sistemleri A.Ş.(Bursa)**

65 iş günü işyeri eğitimi stajı (Tesis İşletmesi ve Yönetimi)

- 2015 **FOMPAK A.Ş. (Bursa)**  
36 iş günü yaz stajı (Tesis İşletmesi ve Yönetimi)
- 2014 **B-Plas A.Ş. (Bursa)**  
36 iş günü yaz stajı (Üretim ve Laboratuvar)

**Tez Konuları :**

- 2017 Yosun Takviyeli Polipropilen Kompozitinin Mekanik, Isısal ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi (Lisans Bitirme Tezi)
- 2020 Geri Dönüştümlü Polipropilen, Poliakrilonitril ve Karbon Elyaf Kompozitinin Mekanik, Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Bitirme Tezi )

**Bilgisayar Bilgisi :** \* AutoCAD \*MasterCAM  
\* Word \* Solidworks  
\*Excel \*Powerpoint

**İlgilenilen Alanlar:** Sergi gezmek, fotoğraf çekmek, yeni yerler keşfetmek, kitap okumak, çizim yapmak, yürümek, sinema, müzik, Puzzle.