

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ek-2

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DOĞAL MİNERAL VE ELYAF TAKVİYELİ POLİ(FENİLEN  
SÜLFİD) MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**AYTUŇ KIZIL**

**KOCAELİ 2019**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞAL MİNERAL VE ELYAF TAKVİYELİ POLİ(FENİLEN  
SÜLFİD) MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

AYTUNÇ KIZIL

Prof. Dr. Taner YILMAZ  
Danışman, Kocaeli Üniversitesi  
Doç. Dr. Ali DURMUŞ  
Jüri Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.07.2019

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüz ihtiyaçlarının getirdiği gereksinimler ve ilerleyen teknoloji ile birlikte malzemelerin bu ihtiyaçlara cevap vermesi gerekliliği doğmuştur. Günümüz ihtiyaçlarına cevap verebilecek malzemeler olarak kompozitlerin kullanımı çok yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada kompozitlerin özelliklerinin günümüz ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Yüksek lisans eğitimime başladığım ilk günden itibaren bana duyduğu güveni her zaman hissettiğim, bana her anlamda örnek ve destek olan, çalışmam boyunca bana kılavuzluk ederek yol gösteren, kendi tecrübe, bilgi ve deneyimlerini aktararak gelişimimde yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Taner YILMAZ'a tüm emekleri için sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca sahip olduğu bilgi birikimini çalışmam boyunca eksik etmeyen, çalışmam boyunca bana yol gösteren ve beni cesaretlendiren, üstün iş disiplini ve ahlakı ile bana örnek olan güler yüzlü değerli hocam Doç. Dr. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ'a sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Bana çalışmam boyunca karşılaştığım her zorlukta istisnasız olarak sürekli yardımda bulunan, zaman ve mekan fark etmeksizin gösterdiği ilgi ve yaptığı yapıcı eleştiriler ile yol göstererek hem bana hem çalışmama büyük katkıda bulunan, sabrına, çalışkanlığına ve kişiliğine hayran kaldığım, akademik hayatında üstün başarılarla imza atacağına inandığım kıymetli Arş. Gör. Okan GÜL'e sonsuz teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden sonra yüksek lisans eğitimimi de birlikte aldığım, ileride mükemmel mühendislik başarılarının altında imzası olacağına inandığım, zekasına, fikirlerine, çalışkanlığına ve azmine hayran olduğum, hem tez çalışmamda hem özel yaşamımda hiçbir konuda desteğini esirgemeyen değerli ev ve yol arkadaşım, mükemmel insan Mak. Müh. Uğur DİNÇER'e en kalbi teşekkürlerimi sunarım.

En kıymetli varlıklarım, annem Sadiye KIZIL'a, teyzem Emine YANGÖZ'e ve anneannem Gülsüm TOKER'e, enişteden öte bir baba olarak gördüğüm Birol YANGÖZ'e, kendisini sürekli yanımda hissettiğim melek kardeşim Emre YANGÖZ'e, doğduğum günden bugüne her şeyimi paylaştığım can yoldaşım ve ikiz kardeşim Aysut KIZIL'a ve abisi olmanın haklı gururunu yaşadığım Eren YANGÖZ'e bana ömrüm boyunca kendimi şanslı hissettirdikleri, her an her durumda yanımda oldukları, her türlü destekleri ve bugüne gelene kadar yaptıkları tüm fedakarlıklar için kalbimin en derin yerinden teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz – 2019

Aytunç KIZIL

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
TABLolar DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	3
1.1. Kompozit Malzemeler .....	3
1.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması .....	4
1.2.1. Polimer matrisli kompozitler .....	5
1.2.2. Fiber takviyeli kompozitler .....	7
1.2.3. Partikül takviyeli kompozitler .....	9
1.2.4. Hibrit kompozitler .....	9
1.3. Kompozitlerin Özellikleri .....	10
1.4. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri .....	11
1.4.1. Ekstrüzyon .....	12
1.4.2. Enjeksiyon ile kalıplama .....	14
1.4.3. Laboratuvar ölçekli karıştırıcılar .....	14
1.5. Polimer Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları .....	15
1.6. Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi .....	16
1.6.1. Termogravimetrik analiz .....	16
1.6.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre .....	17
1.6.3. Taramalı elektron mikroskobu .....	18
1.6.4. Çekme testi .....	18
1.6.5. Aşınma testi .....	19
1.6.6. Dinamik mekanik analiz .....	20
1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	21
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	22
2.1. Doğal Mineral Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Özellikleri .....	23
2.2. Fiber Takviyeli Kompozitlerin ve Hibrit Kompozitlerin Özellikleri .....	26
2.3. Karbon Fiber, Bazalt Fiber, Bentonit, Zeolit ve PPS İçeren Çalışmalar .....	30
3. MALZEMELER VE YÖNTEM .....	40
3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....	40
3.1.1. Karbon fiber .....	40
3.1.2. Bazalt fiber .....	41
3.1.3. Bentonit .....	42
3.1.4. Zeolit .....	42
3.1.5. Poli(fenilen sülfid) .....	43
3.1.6. Çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri .....	43
3.2. Kompozitlerin Üretilmesi .....	44

3.2.1. Kompozitlerin karışım oranları.....	45
3.3. Kompozitlerin Karakterizasyonu .....	46
3.3.1. Çekme testi .....	46
3.3.2. Adhezif aşınma deneyi ve aşınma oranının hesaplanması.....	47
3.3.3. Dinamik mekanik analiz .....	49
3.3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre .....	50
3.3.5. Termogravimetrik analiz.....	50
3.3.6. Taramalı elektron mikroskobu.....	51
4. BULGULAR.....	52
4.1. Doğal Mineral Takviyeli Kompozitlerin Deney Sonuçları .....	52
4.1.1. Çekme testi sonuçları.....	52
4.1.1.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları .....	52
4.1.1.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları .....	54
4.1.1.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarının karşılaştırılması .....	56
4.1.2. TGA sonuçları.....	57
4.1.2.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları .....	57
4.1.2.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları .....	58
4.1.2.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçlarının karşılaştırılması .....	59
4.1.3. DMA sonuçları .....	59
4.1.3.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin DMA sonuçları .....	59
4.1.3.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin DMA sonuçları .....	61
4.1.3.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin DMA sonuçlarının karşılaştırılması .....	63
4.1.4. DSC analizi sonuçları .....	66
4.1.4.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları .....	66
4.1.4.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları .....	67
4.1.4.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçlarının karşılaştırılması .....	68
4.1.5. Aşınma testi sonuçları.....	69
4.1.5.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin aşınma testi sonuçları .....	69
4.1.5.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma testi sonuçları .....	72
4.1.5.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma testi sonuçlarının karşılaştırılması .....	76
4.2. Fiber Takviyeli Kompozitlerin Deney Sonuçları .....	78
4.2.1. Çekme testi sonuçları.....	78
4.2.2. TGA sonuçları.....	81
4.2.3. DMA sonuçları .....	82
4.2.4. DSC analizi sonuçları .....	84
4.2.5. Aşınma testi sonuçları.....	85
4.3. Hibrit Takviyeli Kompozitlerin Deney Sonuçları .....	88
4.3.1. Doğal mineral partikülleri ve bazalt fiber içeren hibrit kompozitlerin deney sonuçları.....	88
4.3.1.1. Çekme testi sonuçları .....	88
4.3.1.2. TGA sonuçları .....	90

4.3.1.3. DMA sonuçları .....	91
4.3.1.4. DSC analizi sonuçları .....	94
4.3.1.5. Aşınma testi sonuçları .....	95
4.3.2. Doğal mineral partikülleri ve karbon fiber içeren hibrit kompozitlerin deney sonuçları .....	99
4.3.2.1. Çekme testi sonuçları .....	99
4.3.2.2. TGA sonuçları .....	101
4.3.2.3. DMA sonuçları .....	102
4.3.2.4. DSC analizi sonuçları .....	103
4.3.2.5. Aşınma testi sonuçları .....	105
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	110
KAYNAKLAR .....	116
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	125
ÖZGEÇMİŞ .....	126



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Ekstrüder ve temel kısımları .....	12
Şekil 1.2.	Konik çift vida yapısı.....	13
Şekil 1.3.	Çift vidalı ekstrüderlerin sınıflandırılması.....	13
Şekil 1.4.	Enjeksiyon kalıplama cihazı .....	14
Şekil 1.5.	Laboratuvar ölçekli mini ekstrüder .....	15
Şekil 1.6.	TGA cihazının şematik gösterimi .....	17
Şekil 1.7.	DSC hücre kesiti .....	17
Şekil 1.8.	SEM analizi cihazının şematik gösterimi .....	18
Şekil 1.9.	Çekme testi cihazının temel kısımları.....	19
Şekil 1.10.	Aşınma test cihazı ve uygulaması.....	20
Şekil 1.11.	DMA cihazı şematik gösterim .....	21
Şekil 3.1.	PPS'nin tekrarlanan birimi.....	43
Şekil 3.2.	“DSM Xplore” marka mini ekstrüder .....	44
Şekil 3.3.	“DSM Xplore” marka enjeksiyonla kalıplama cihazı.....	45
Şekil 3.4.	“Instron 4411” marka çekme cihazı.....	47
Şekil 3.5.	Pin-on-disk test cihazı (Nanovea Tribometer).....	48
Şekil 3.6.	“Nikon SMZ 745T” optik mikroskobu .....	48
Şekil 3.7.	Aşınma izi ölçülmüş örnek bir numune .....	49
Şekil 3.8.	“TA Instruments Q800” model DMA cihazı .....	49
Şekil 3.9.	“TA Instruments-Q200” model DSC test cihazı.....	50
Şekil 3.10.	“TA Instruments-Q50” model TGA test cihazı .....	51
Şekil 3.11.	“JEOL JCM-6000” model SEM cihazı.....	51
Şekil 4.1.	Bentonit takviyeli kompozitlerin çekme dayanım değerleri.....	52
Şekil 4.2.	Bentonit takviyeli kompozitlerin (a)gerilme-gerinim grafiği ve (b-c) kırılma yüzeyleri.....	53
Şekil 4.3.	Zeolit takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri .....	54
Şekil 4.4.	Zeolit takviyeli kompozitlerin (a)gerilme-gerinim grafiği ve kırılma yüzeyleri (b)PPS_5Z ve (c)PPS_10Z .....	55
Şekil 4.5.	Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin çekme sonuçlarının karşılaştırılması .....	56
Şekil 4.6.	Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları.....	60
Şekil 4.7.	Bentonit takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafiği.....	61
Şekil 4.8.	Zeolit takviyeli kompozitlerin depo modülü-sıcaklık grafiği .....	62
Şekil 4.9.	Zeolit takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafiği.....	63
Şekil 4.10.	Partikül takviyeli kompozitlerin depo modülü – sıcaklık grafiği .....	64
Şekil 4.11.	Partikül takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafikleri .....	65
Şekil 4.12.	Bentonit takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği .....	69
Şekil 4.13.	Bentonit takviyeli kompozitlerin aşınma oranı grafiği .....	71
Şekil 4.14.	Bentonit takviyeli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	72
Şekil 4.15.	Zeolit takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği .....	73

Şekil 4.16. Zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma oranı grafiği .....	74
Şekil 4.17. Zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	75
Şekil 4.18. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiklerinin karşılaştırılması .....	76
Şekil 4.19. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma oranı grafiklerinin karşılaştırılması .....	77
Şekil 4.20. Ağırlıkça %5 partikül takviyesi içeren kompozitlerin aşınma yüzeyleri.....	78
Şekil 4.21. Fiber takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları.....	79
Şekil 4.22. Bazalt fiber takviyeli kompozitin (a) kırılma yüzeyinin SEM mikrografı, (b-c) fiberlerin yüzeyleri ve (d) fiber kırılması.....	80
Şekil 4.23. Fiber takviyeli kompozitlerin depo modülü – sıcaklık grafiği.....	82
Şekil 4.24. Fiber takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafikleri.....	83
Şekil 4.25. Fiber takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafikleri.....	85
Şekil 4.26. Fiber takviyeli kompozitlerin aşınma oranı grafikleri .....	86
Şekil 4.27. Fiber takviyesi içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	87
Şekil 4.28. Doğal mineral ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları .....	88
Şekil 4.29. Bazalt fiber takviyeli kompozitlerin depo modülü – sıcaklık grafikleri.....	92
Şekil 4.30. (a) Doğal mineral ve bazalt fiber takviyeli hibritlerin ve (b) %10 partikül içeren hibritlerin tan delta – sıcaklık grafikleri .....	93
Şekil 4.31. Doğal mineral partikülü ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafikleri.....	96
Şekil 4.32. Doğal mineral partikülü ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma oranı grafikleri.....	97
Şekil 4.33. Doğal mineral partikülü ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri .....	98
Şekil 4.34. Doğal mineral ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları .....	99
Şekil 4.35. Karbon fiber içeren kompozitlerin depo modülü-sıcaklık grafiği .....	102
Şekil 4.36. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafiği .....	103
Şekil 4.37. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı– kayma mesafesi grafikleri .....	106
Şekil 4.38. Doğal mineral partikülü ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma oranları .....	107
Şekil 4.39. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	108



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Bazı fiberler ve mekanik özellikleri.....	8
Tablo 1.2. Bazalt fiber ve e-cam fiberin bazı özellikleri .....	9
Tablo 3.1. Karbon fiberlerin mekanik özelliklerinin değer aralıkları .....	41
Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri.....	43
Tablo 3.3. Çalışmada yer alan kompozitlerin karışım oranları ve kodları .....	46
Tablo 4.1. Partikül takviyeli kompozitlerin dayanım değerlerinin azalma oranları .....	57
Tablo 4.2. Bentonit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları .....	57
Tablo 4.3. Zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları.....	58
Tablo 4.4. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları.....	59
Tablo 4.5. Bentonit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları .....	66
Tablo 4.6. Zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları .....	67
Tablo 4.7. Partikül takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçlarının karşılaştırılması .....	68
Tablo 4.8. Fiber takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları.....	81
Tablo 4.9. Fiber takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları .....	84
Tablo 4.10. Bazalt fiber takviyeli hibritlerin dayanım değerlerindeki değişim .....	89
Tablo 4.11. Bazalt fiber takviyeli hibritlerin TGA sonuçları.....	91
Tablo 4.12. Bazalt fiber takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları .....	94
Tablo 4.13. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin dayanım değerlerindeki değişim .....	100
Tablo 4.14. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları.....	101
Tablo 4.15. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları .....	104

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$V_f$	: Fiber hacim oranı, (%)
$\Delta H_c$	: Kristalleşme entalpisi, (J/g)
$\Delta H_m$	: Füzyon ısısı, (J/g)
$\Delta H_m^0$	: Katkısız matris malzemesinin füzyon ısısı, (J/g)
$D$	: Aşınma izi genişliği, (mm)
$E'$	: Depo modülü, (MPa)
$E''$	: Kayıp modül, (MPa)
$k$	: Aşınma oranı, (mm <sup>3</sup> /Nm)
$L$	: Yük, (N)
$R$	: Sürtünme yarıçapı, (mm)
$r$	: Aşındırıcı küre yarıçapı, (mm)
$T_{10\%}$	: %10 ağırlık kaybı yaşanan sıcaklık, (°C)
$T_{5\%}$	: %5 ağırlık kaybı yaşanan sıcaklık, (°C)
$\tan\delta$	: Sönümlenme faktörü, ( $\delta$ )
$T_c$	: Soğuk kristalleşme sıcaklığı, (°C)
$T_g$	: Camsı geçiş sıcaklığı, (°C)
$T_m$	: Erime sıcaklığı, (°C)
$V$	: Aşınma hacmi, (mm <sup>3</sup> )
$X$	: Kayma mesafesi, (m)
$X_c$	: Kristalinite oranı, (%)
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$\pi$	: Pi sayısı
$\sigma_c$	: Kompozit dayanımı, (MPa)
$\sigma_f$	: Fiber dayanımı, (MPa)
$\sigma_m$	: Matris dayanımı, (MPa)
$\omega_{f/p}$	: Takviye elemanı ağırlık oranı, (%)

## Kısaltmalar

ABS	: Akrilonitril Bütadiyen Stiren
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alümina
DM	: Düşük Modüllü
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
DSC	: Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
GNP	: Grafen Nanoplatelet
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
HIPS	: High Impact Polystyrene (Yüksek Darbe Dayanımlı Polistiren)
LDPE	: Low Density Polyethylene (Düşük Yoğunluklu Polietilen)
MAH-g-PP	: Maleic Anhydride Grafted Polypropylene (Maleik Anhidrit Aşınlanmış Polipropilen)

OM	: Orta Modüllü
PA-6	: Poliamid 6
PAN	: Poliakrilonitril
PBO	: 1,4-Fenilen-Bis-Oksazolin
PBT	: Poli(Bütülen Tereftalat)
PC	: Polikarbonat
PEEK	: Poli(Eter Eter Keton)
PES	: Poli(Eter Sülfon)
PET	: Poli(Etilen Tereftalat)
PHBV	: Poli(Hidroksibütirat-Ko-Hidroksivalerat)
PLA	: Poli(Laktik Asit)
PMMA	: Poli(Metil Metakrilat)
PP	: Polipropilen
PPS	: Poli(Fenilen Sülfid)
PPS-NH <sub>2</sub>	: Amin Grup İçeren Poli(Fenilen Sülfid)
PS	: Polistiren
PVC	: Poly(Vinyl Chloride) (Poli(Vinil Klorür))
SAN	: Stiren Akrlonitril Kopolimer
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
Tan delta	: Sönümlenme Faktörü
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TMA	: Termomekanik Analiz
UHMWPE	: Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen)
UYM	: Ultra Yüksek Modüllü
VARTM	: Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplama)
YM	: Yüksek Modüllü

# DOĞAL MINERAL VE ELYAF TAKVİYELİ POLİ(FENİLEN SÜLFİD) MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmada, iki farklı tür doğal mineral partikülü ve iki farklı tür elyaf kullanılarak Poli(fenilen sülfid) (PPS) matrisli kompozitler, ekstrüzyon ve enjeksiyon ile kalıplama yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Takviye elemanı olarak fiberler karbon fiber ve bazalt fiber, doğal mineral partikülleri ise bentonit ve zeolit olarak seçilmiştir. PPS matrisine fiberler ağırlıkça %10 olarak, partiküller ise ağırlıkça %1, %5 ve %10 olacak şekilde önce tek tek, daha sonra bir partikül bir fiber olacak şekilde takviye edilmişlerdir. Takviye oranının, takviye türünün ve sinerjik etkinin hazırlanan kompozitlerin mekanik, termal, termomekanik, tribolojik ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi adına, kompozitlere çekme testi, aşınma testi, termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi, dinamik mekanik analiz (DMA) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi uygulanmıştır. Yapılan test ve analizler, partiküllerin tek başlarına PPS matrisine takviye edilmelerinin, kompozitlerin araştırılan özellikleri üzerinde istenilen seviyede gelişim yaratmadığını göstermiştir. Buna karşın partiküllerin, fiberler ile birlikte takviye edilmeleri, araştırılan özelliklerde güçlü artış sağlamıştır. Bununla birlikte araştırılan tüm özellikler üzerinde en fazla iyileşme ağırlıkça %10 bentonit ve karbon fiberin bir arada takviye edildiği hibrit kompozitte gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada fiber türü, partikül türü, takviye oranı ve hibrit etkinin kompozitlerin özellikleri üzerinde önemli etkilerinin olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit Kompozit, Mekanik Özellikler, Mineral Partikülü, Poli(fenilen sülfid) (PPS), Termal Özellikler.

## **NATURAL MINERAL AND FIBER REINFORCED POLY(PHENYLENE SULFIDE) MATRIX COMPOSITES' PRODUCTION AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES**

### **ABSTRACT**

In this study, poly(phenylene sulfide) (PPS) matrix composites were produced by extrusion and injection molding methods by using two different kinds of natural mineral particles and two different kinds of fibers. As the reinforcement elements, the fibers were selected as carbon fiber and basalt fiber, and the natural particles were selected as bentonite and zeolite. The fiber loading level was fixed at %10 by weight and particle loading level was changed as %1, %5 and %10 by weight. The fibers and particle were reinforced individually to PPS matrix first and then a kind of fiber and a kind of particle were reinforced together. Tensile test, wear test, thermogravimetric analysis (TGA), differential scanning calorimeter (DSC) analysis, dynamic mechanical analysis (DMA) and scanning electron microscopy (SEM) analysis were used to examine the effect of reinforcement ratio, reinforcement type and synergistic effect on the mechanical, thermal, thermomechanical, tribological and morphological properties of prepared composites. As a result of analyzes, it was observed that the properties of composites were not at the expected level when only particles were reinforced to the PPS matrix. However, when particles reinforced with the fibers simultaneously, a strong increase on the properties of composites was achieved. In addition to this, the greatest improvement over all investigated properties was observed for the hybrid composite which includes carbon fiber and %10 wt. bentonite, simultaneously. Also it was observed that fiber type, particle type, reinforcement type and hybrid effect had significant effects on the properties of composites.

**Keywords:** Hybrid Composites, Mechanical Properties, Mineral Particles, Poly(phenylene sulfide), Thermal Properties.

## **GİRİŞ**

Günümüzde plastik malzemelerin kullanımları, sağladıkları avantajlar sebebiyle hızla yaygınlaşmaktadır ve plastiklerin kullanılmadığı bir sektör bulmak çok zordur. Plastikler özellikle uygun maliyetleri ve hafiflikleri sebepleriyle başta otomotiv, havacılık, uzay ve denizcilik endüstrileri olmak üzere birçok sektörün dikkatini çekmiş ve plastiklerin metallerin yerini almaya başladığı görülmüştür. Plastiklerin, metallere kıyasla hafif ve uygun maliyetli olmalarının yanında dayanım ve servis sıcaklıklarının düşük olması gibi bazı sınırlamaları vardır. Bu sebeple plastikler, istenilen özelliklerin karşılanması adına takviye edilerek kullanılırlar. Takviye edilmiş plastiklerin birim yoğunluk başına taşıyabildikleri dayanım değerlerinin yüksek olması, üretim maliyetlerinin düşük olması ve hafiflikleri, bu malzemelerin kullanımlarının yaygınlaşmasının temel sebebidir.

Polimer matrisli kompozit malzemelerde genellikle kendisinden istenilen özelliklerin karşılanması adına matris malzemesi olarak termosetler ve termoplastikler tercih edilmektedir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla yüksek servis sıcaklığı, yüksek işlenme hızı, esneklik, tekrar üretilebilirlik ve ısıl kararlılık gibi avantajlara sahip olmalarından dolayı sıkça tercih edilmektedirler. Termoplastiklerin sınırlamalarının azaltılması ve avantajlarının daha üstün hale getirilmesi adına fiber veya partiküller ile takviye edilmeleri gerekmektedir. Termoplastiklere fiber ve partiküllerin takviyesi ayrı ayrı yapılabileceği gibi birliktede yapılabilir ve bu sayede takviye elemanları birbirlerinin kusurlarını minimuma indirerek, oluşturulan kompozit malzemenin özelliklerini maksimum seviyeye ulaştırırlar.

Çalışmanın 1. bölümünde, kompozitler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bunun yanı sıra bu bölümde, kompozit malzemelerde kullanılan matris malzemeleri ve fiber türleri, kompozitlerin üretim yöntemleri, kullanım alanları, kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi adına gerçekleştirilen testler ve analizler yer almaktadır. Ayrıca ilk bölümün sonunda çalışmanın özgünlüğü ve amacı bulunmaktadır. Çalışmanın 2. bölümünde ise, literatür taraması yapılmış ve tarama sonucunda elde

edilen bilgilere yer verilmiştir. Çalışmanın 3. bölümü, tez kapsamında üzerinde araştırma yapılan kompozitlerin içerdiği malzemeleri ve bu malzemelerin özelliklerini, kompozitlerin üretim koşullarını, kompozitlere uygulanan testler ve test parametrelerini içermektedir. Çalışmanın 4. bölümünde, üretilen kompozitlerin test sonuçlarından bulgular paylaşılmış ve tartışılmıştır. Bu bölüm, takviye elemanlarının poli(fenilen sülfid) (PPS) polimeri özelliklerinin üzerindeki etkisinin daha detaylı incelenmesi adına, partikül takviyeli, fiber takviyeli ve hibrit kompozitler olmak üzere üç alt başlığa ayrılmıştır. Son bölümde ise tez çalışmasına ait sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

Tez çalışması kapsamında, PPS polimerinin tribolojik, mekanik, termal ve termomekanik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiş ve bu sebeple PPS matrisine iki farklı partikül ve iki farklı fiber takviye edilerek üretilen kompozitlerin karakterizasyonları yapılmıştır. PPS'in özelliklerinin maksimuma ulaştırılması ve sınırlamalarının en aza indirilmesi adına hibrit kompozitler üretilerek, hibrit etki incelenmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemelerin kullanımı çok eskiye dayanmaktadır. Milattan 2000 yıl öncesinde mezopotamya ve Mısır'da kerpiç tuğlaların kullanımı bunun en büyük kanıtıdır [1]. Günümüzde ise kompozit malzemelerin kullanımının yaygınlaşması ve bu alandaki ilerlemeler, malzeme alanındaki teknolojik gelişmeler ile doğrudan ilgilidir [1,2]. Malzeme alanındaki ilerlemeler malzemelerin zayıflıklarının ve sınırlamalarının azalması ve daha yüksek performanslı malzemelerin geliştirilmesi adına önemlidir.

Kompozit malzemeler aslında ilk olarak doğada görülmektedir. Lifli bir kompozite örnek olarak, selüloz liflerinin lignin matrisi içinde bulunduğu odun verilebilir. Hindistan cevizi ağaçlarında bulunan palmye yaprakları da fiber takviyeli yapıya örnek gösterilebilir. Vücudumuzda yer alan ve kısa ve uzun liflerden oluşan kemikler kompozit malzemelere bir başka örnek olarak verilebilirler [2].

Yaygın olarak kullanılan dört farklı malzeme grubu vardır. Bunlar seramikler, metaller, polimerler ve kompozitlerdir. Kompozitler, en az iki farklı malzemenin bir araya gelerek oluşması bakımından diğerlerinden ayrılırlar. Kompozitleri oluşturan bu malzemeler metal, seramik ve polimer olabileceği gibi bunların birleşimi de olabilirler [1].

Bir malzemenin kompozit olarak nitelendirilebilmesi için şu özellikleri sağlaması gerekir [1,2];

1. Birbirinden farklı, en az iki malzemenin birleşmesiyle oluşmalı ve bu malzemeler birbiri içerisinde çözünmemeli,
2. Kompoziti oluşturan malzemeler arasında arayüzey oluşmalı,
3. Oluşan kompozit, kendisini oluşturan malzemelerden farklı özellikte olmalıdır.



Kompozitin tanımına bakıldığında, en az iki farklı malzeme ve bunları birbirine bağlayan bir arayüzey gerekmektedir. O halde kompozit malzemelerin temel bileşenleri şu şekilde sıralanabilir [1];

1. Matris – Takviye elemanlarını bir arada tutan fazdır.
2. Takviye elemanı – Genelde kompozitin yük taşıyan, güçlü ve sert fazıdır.
3. Arayüzey – Takviye elemanları ve matris arasında oluşan ve matris ile takviye elemanı arasında yük iletimini sağlayan fazdır.

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak fiber, partikül ve kılcal kristaller kullanılabilir. Matris malzemesi olarak ise polimerler, seramikler ve metaller kullanılabilir. Bu malzemeler üretilecek olan kompozitten beklenen özelliklere göre belirlenir. Takviye elemanı genel olarak dayanım, modül, sertlik, tokluk gibi değerleri arttırırken, matris ise kompozitin bükülmezliğini arttırır ve takviye elemanlarını bir arada tutar [3].

## **1.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler sınıflandırılırken matris malzemesine göre veya takviye elemanına göre sınıflandırılabilirler. Matris malzemesine göre yapılan sınıflandırma şu şekildedir [2];

1. Polimer matrisli kompozitler
2. Metal matrisli kompozitler
3. Seramik matrisli kompozitler

Kompozitlerin matrisleri, kullanılacakları yer ve kompozitten istenilen özelliğe göre seçilir. Yüksek sıcaklığa dayanım aranan yerlerde seramik matrisli kompozitler tercih edilebilirken, hafiflik ve dayanımın aynı anda arandığı uygulamalarda polimer matrisli kompozitler tercih edilmektedirler.

Metal matrisli kompozitler, metal esaslı matris fazına takviye elemanlarının katılmasıyla elde edilen malzemelerdir. En yaygın kullanılan metal matris malzemeleri bakır, alüminyum, titanyum, magnezyum ve bunların alaşımlarıdır. Metal matrisli kompozitler, takviye fazı içerdikleri için monolitik metallere göre ve polimer matrisli kompozitlere göre bazı üstün özelliklere sahiptirler. Bu üstünlüklerden bazıları yüksek

servis sıcaklığı, düşük nem tutma, yüksek yorulma dayanımı, düşük termal genleşme, boyutsal kararlılık, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik özellikleridir [1,2].

Seramik matrisli kompozitler, seramik malzemelere takviye elemanlarının katılmasıyla elde edilirler. Seramik matrisli kompozitler genellikle yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilirler. Bununla birlikte düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve sertliğe sahiptirler [1]. Ayrıca seramik matrisli kompozitlerde matris ile fiber yapışmasının zayıf olması yani arayüzeyin güçsüz olması, olası bir kırılma durumunda fiberlerin köprü görevi görmesiyle sonuçlanır ve seramik matris kırıldığında bile fiberler yapıyı bir arada tutarlar [2].

Polimer matrisli kompozitler ile ilgili bilgiler, tez kapsamında çalışıldığı için daha geniş bir şekilde bir sonraki alt başlık altında verilmiştir.

Kompozitlerin bir diğer sınıflandırılma şekli ise takviye elemanına göre. Takviye elemanına göre kompozitler [1-3];

1. Fiber takviyeli kompozitler
2. Partikül takviyeli kompozitler
3. Kılcal kristal (whiskers) takviyeli kompozitler
4. Hibrit kompozitler

olarak sınıflandırılabilirler. Fiber takviyeli kompozitler sürekli olarak kompozit boyunca takviye edebileceği gibi, kısa ve rastgele olarak da takviye edilerek kullanılabilirler ve malzemeye yüksek mekanik özellikler kazandırır. Kılcal kristallerin, dayanımı yüksek olmasına karşın matris içerisine homojen dağılımı zordur. Partikül takviyesi ise genellikle diğer takviye elemanlarına kıyasla yapıyı daha az güçlendirmesine karşın maliyetinin daha ucuz olması avantajdır [2-3].

### **1.2.1. Polimer matrisli kompozitler**

Polimer malzemeler, metal ve seramiklere kıyasla daha karmaşık yapıya sahip, ucuz ve üretimi kolay malzemeler olmalarına karşın, dayanım ve modül değerleri düşük malzemelerdir. Aynı zamanda düşük kullanım sıcaklıkları bir diğer dezavantajlarıdır. Polimer matrisli kompozitlerin dayanım, modül, tokluk gibi özellikleri takviye elemanı ile doğrudan ilişkilidir ve polimer matrisi, takviye elemanını bir arada tutmak,

çevresel şartlara karşı korunma ve gelen yükü arayüzey üzerinden takviye elemanlarına iletmekle görevlidir [2]. Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılan polimer malzemeler termosetler, termoplastikler ve elastomerler olarak üçe ayrılırlar [1].

Genellikle bir reçine ve çapraz bağ yapıcı malzemeden oluşan termosetler, yapılarında çapraz bağlar bulundurlar ve bu çapraz bağlar moleküler hareketi kısıtlarlar. Bu bağların varlığı sebebiyle termosetler, sert ve geri dönüştürülemeyen malzemelerdir. Isıya maruz kaldıklarında yanmazlar ve bozunurlar. En yaygın olarak kullanılan termoset malzeme epoksi olup diğer termoset malzemelerden bazıları fenolik, poliester, vinil ester, poliimidir [1-3].

Termoplastikler ise termosetler gibi çapraz bağlı yapıya değil, dallanmış yapıya sahiptirler. Moleküler hareketi yapıdaki dallanmalar kısıtlasalar da bu kısıtlama termosetlerdeki kadar güçlü değildir. Termoplastikler ısıya maruz kaldıklarında yumuşarlar, tekrar tekrar geri dönüştürülerek kullanılabilirler. Her geri dönüştürüldüklerinde mekanik özellikleri düşer. Termoplastiklere örnek olarak naylon, poli(fenilen sülfid), polietilen ve polipropilen verilebilir [1-3].

Termosetler ve termoplastikler kıyaslandığında, bağ yapılarının farklılığından dolayı birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunur [1]:

1. Termosetler ısıtıldıklarında bozunurlar, yumuşamazlar. Termoplastikler ise ısıya maruz kaldıklarında yumuşarlar.
2. Termoplastiklerin raf ömrü sınırsızdır, termosetler ise belirli raf ömrüne sahiptirler.
3. Termosetler yapışkan yapıya sahiptirler. Bu yüzden kullanılabilirliği kısıtlanır. Termoplastikler ise yapışkan değildir.
4. Termoplastikler genellikle termosetlere kıyasla daha yüksek sıcaklıklarda işlenirler.
5. Termoplastikler geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilirler. Termosetler için bu durum söz konusu değildir.
6. Termosetlerin kimyasal direnci yüksektir, termoplastiklerin ise kimyasal direnci termosetlere kıyasla daha iyidir.

Elastomerler, kauçuk olarak da bilinirler ve yüksek kopma uzaması ve düşük modül değerlerine sahiptirler. En önemli özellikleri elastik davranış göstermeleridir. Çapraz bağ yapısına sahiptirler ancak termosetlerden farklı olarak daha düşük yoğunlukta çapraz bağ içerirler [1].

### **1.2.2. Fiber takviyeli kompozitler**

Takviye elemanı, kompozitlerde yük taşımada en etkin rol oynayan fazdır. Bu sebeple takviye elemanının mekanik özellikleri, boyutu, malzeme içerisindeki yönelmesi, homojen dağılımı gibi birçok etken doğrudan kompozitin mekanik özelliklerini belirlemede rol oynar. Fiber olarak kullanılan takviye malzemeleri, alışlagelmiş yapı malzemelerine göre (çelik, alüminyum vb.) daha düşük yoğunluğa sahiptirler ve bu sebeple spesifik dayanım ve spesifik modül değerleri daha yüksektir. Bu da fiber takviyeli polimer kompozitlerin en önemli üstünlüklerindedir [1-2].

Fiber takviyeli polimer kompozitlerde kullanılan bazı fiber türleri şunlardır [1];

1. Cam fiberler (Glass fiber – GF)
2. Boron fiberler
3. Aramid fiberler (Kevlar)
4. Karbon fiberler (Carbon fiber – CF)
5. Bazalt fiberler (Basalt fiber – BF)

Yüksek dayanıma sahip ve göreceli olarak düşük denilebilecek çekme modülüne sahip cam fiberler, polimer matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak en yaygın kullanılan fiber türüdür. Cam fiberlerin E-camı, S-camı, C-camı gibi türleri vardır. E-Camı yani elektriksel cam fiberler en çok kullanılan ve en ucuz fiber türüdür. S-Camı bol miktarda silika içerir ve maliyeti daha yüksektir. C-camı ise korozyon dayanımı aranan uygulamalarda kullanılır [1].

Boron fiberler, çok yüksek çekme dayanımı ve modülüne sahip, yüksek basma özellikleri olan kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen fiber türleridir. Çok kırılğan olmaları ve üretimlerinin pahalı olması sebepleriyle kullanımları sınırlanmaktadır [1-3].

Aramid fiberler, aromatik poliamid fiberler veya Dupont firmasının ürettiği ve ticari adı Kevlar® olan fiberler olarakda bilinirler ve bu fiberler yüksek performanslı, kimyasal ve ısı kararlılığı iyi, yüksek tokluk ve çekme dayanımına sahip, yoğunluğu düşük, ısı emme kapasitesi yüksek fiber türüdür. İşleme zorluğu ve düşük basma dayanımı bu fiberlerin kullanımını sınırlayan özellikleridir [1-3].

Karbon fiberler, modül değerlerine göre yüksek modüllü, yüksek dayanımlı, ultra yüksek modüllü gibi türlere sahiptirler. Geniş modül skalasına sahip bu fiberler hakkında genelleme yapıldığında, düşük modüle sahip karbon fiberlerin yüksek modüllü karbon fiberlere kıyasla daha yüksek çekme ve basma dayanımına, daha düşük yoğunluğa ve daha yüksek kopma uzamasına sahip oldukları söylenebilir. Bu üstün özelliklere sahip fiberler, maliyet kriterinin kısmen daha önemsiz olduğu, performans veya hafiflik kriterlerinin arandığı uygulamalarda bolca tercih edilmektedir [1-4]. Tablo 1.1’de bazı fiberlerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Bazı fiberler ve mekanik özellikleri [1]

	Özgül Ağırlık	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Spesifik Çekme Modülü (GPa/ρ)	Spesifik Çekme Dayanımı (MPa/ρ)
<b>E-Camı</b>	2,58	3450	76	4,8	30	1,3
<b>S-Camı</b>	2,48	4600	88	5,7	36	1,9
<b>C-Camı</b>	2,50	3170	69	4,8	28	1,3
<b>OM Karbon</b>	1,80	3900	260	1,4	110	2,2
<b>YM Karbon</b>	1,90	4500	400	1,2	220	2,5
<b>UYM Karbon</b>	2,00	3000	710	1,0	335	1,7
<b>Kevlar29</b>	1,44	2900	70	4,0	48,6	2,0
<b>Kevlar49</b>	1,45	3000	120	2,8	82,8	2,1

Bazalt fiberler, son zamanlarda cam fiberlere alternatif potansiyel fiber türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazalt kayalarının yüksek sıcaklıklarda eritilmesiyle elde edilen bazalt fiber, insan sağlığına zararsız olması, gürültü azaltma özelliği, yüksek mekanik özellikler, mükemmel ısı direnç ve yüksek kimyasal direnç özelliklerine sahip fiber türleridir. Bununla birlikte düşük maliyeti, bu fiberlerin son zamanlarda

yaygın olarak tercih edilmesinin başlıca sebeplerindendir [5-7]. Tablo 1.2’de bazalt fiber ve E-camı fiberin bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.2. Bazalt fiber ve e-cam fiberin bazı özellikleri [7]

Özellik	Bazalt Fiber	E-camı
Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	2,8	2,54
Çekme Dayanımı (MPa)	4800	3200
Çekme Modülü (GPa)	90	70
Kopma Uzaması (%)	3,15	4

### 1.2.3. Partikül takviyeli kompozitler

Partiküller, hibrit kompozitlerin oluşturulmasında fiberlerle birlikte kullanılabilirdiği gibi tek başlarına da matris malzemesine takviye edilerek de kullanılabilirler. Partikül takviyesi kompozitlerin genelde modül değerini artırır ve aşınma dayanımı, ısı kararlılık, sertlik gibi özelliklerde artış istendiği takdirde tercih edilirler. Bununla birlikte kompozitlerin mekanik özelliklerini fiberler kadar önemli şekilde değiştirmezler ancak maliyet azaltırlar. Partiküllerin boyutları çok önemlidir ve yönlendirilmeleri fiberlere kıyasla çok daha zordur [3,8]. Partiküller yapı içerisinde belirli bölgelerde yoğunlaşarak topaklanabilirler ve partikül boyutu ufaldıkça topaklanma eğilimleri artar. Bu olay kompozitlerin mekanik özelliklerinin düşmesine sebep olur.

Partikül takviyesi, doğal partikül takviyesi ve sentetik partikül takviyesi olarak sınıflandırılabilir. Doğal partiküllere örnek olarak kalsiyum karbonat, talk, kaolin, mineraller ve kaya tozları verilebilirken sentetik partiküllere ise karbon karası, sentetik silikalar ve çöktürülmüş kalsiyum karbonat verilebilir [8].

Doğal mineraller, kompozit malzemelerde partikül fazı olarak kullanılan, yer kabuğunda bulunan ve belirli kimyasal bileşime sahip malzemelerdir. Polimer endüstrisi için çok önemli bir parça olan mineraller, kolay bulunabilme, ucuzluk gibi özellikleriyle maliyet düşürme amacıyla çokça tercih edilmektedirler. Minerali oluşturan atomların yapısı mineralin şekli, sertliği, yoğunluğu, kimyası gibi özellikleri belirler. Yaygın olarak kullanılan mineraller karbonatlar, killer ve talklardır [8].

### 1.2.4. Hibrit kompozitler

Hibrit kompozitler, matris malzemesine en az iki farklı tür takviye elemanının ilave edilmesiyle elde edilirler. Hibritlerin tek takviye elemanı içeren kompozitlere göre bariz üstünlükleri vardır ve bu üstünlükleri yapılarında bulundukları farklı özellikteki takviye elemanlarının matris içerisinde bir bütün olarak görev görerek, birbirlerinin eksikliklerini tamamlamasından gelmektedir. Bu sebeple hibritlerin özellikleri matris, fiber ve partiküllerin birbirlerine uyumlu olmalarıyla doğrudan ilgilidir [9].

Kompozit malzemeler, monolitik malzemelere göre daha üstün özellikler sağlamak için geliştirilmişlerdir ve bu sebeple günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Hibrit kompozitler ise, kompozit malzemelerin eksikliklerini ve sınırlamalarını daha da azaltmak için geliştirilmişlerdir. Hibrit kompozitlerde hibrit etki sayesinde dayanım, modül, ısıl kararlılık, yoğunluk, iletkenlik, kimyasal direnç gibi malzemeden istenen özellikler bir arada ve optimum şekilde karşılanır [9].

### **1.3. Kompozitlerin Özellikleri**

Kompozit malzemelerden istenilen özellikler, gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün daha da artmaktadır. Aynı anda birçok özelliğin tek bir malzeme ile sağlanması günümüzde çok büyük önem arz etmektedir ve bu konuda kompozitler öne çıkmaktadırlar. Kompozitlerden beklenen özellikler temel olarak şunlardır [10];

1. Yüksek modül ve dayanım değerleri,
2. Düşük yoğunluk ve hafiflik,
3. Yüksek korozyon ve aşınma direnci,
4. Yüksek yorulma dayanımı,
5. Yüksek ısıl kararlılık,
6. Düşük maliyet,
7. Yüksek performans.

Tüm bu özellikleri aynı anda karşılamak tabii ki zordur ve bu sebeple kompozit malzemeler kendilerinden istenilen bazı özellikleri çok iyi şekilde karşılarlarken bazı özellikleri ise karşılayamamaktadırlar. En basit örneğiyle açıklamak gerekirse, yüksek çekme modülü ve dayanımına sahip kompozit malzeme elde edilmek istendiğinde, bu özellikler oluşturulacak kompozit tarafından karşılanabilirken, maliyet konusunda

istenilen düşüklüğü karşılayamaz. O halde kompozitlerin genel olarak avantajları ve dezavantajlarından bahsetmek gerekir. Kompozitlerin avantajları genel olarak şunlardır [1,2];

1. Yüksek çekme dayanımı ve rijitliğe sahiptirler.
2. Düşük yoğunluğa sahiptirler dolayısıyla hafiftirler ve spesifik dayanım ve spesifik modül değerleri yüksektir.
3. Tekrarlı yüklemelere maruz kaldıklarında yüksek dayanım gösterirler. Yani yüksek yorulma dayanımına sahiptirler. Aynı zamanda yüksek korozyon direncine sahiptirler.
4. Kullanılacakları ortam ve şartlara göre tasarlanabilirler, kendilerinden istenilen özellikleri doğru takviye ve matris malzemesi seçilerek sağlayabilirler.
5. Maliyetlerine karşı gösterdikleri performans yüksektir.
6. Kolay üretim tekniklerine sahiptirler.

Kompozit malzemelerin başlıca dezavantajları ise [1,10];

1. En önemli dezavantaj olarak maksimum kullanım sıcaklıklarının düşük olması söylenebilir.
2. Takviye elemanlarının yönlenmelerine dik yönde çok zayıf özellik gösterirler.
3. Neme ve radyasyona duyarlıdırlar.
4. Alışlagelmiş malzemelere kıyasla analizleri, mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve hesaplanması daha zordur.
5. Pahalıdırlar ve hasar aldıklarında onarımları daha zordur.

#### **1.4. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri**

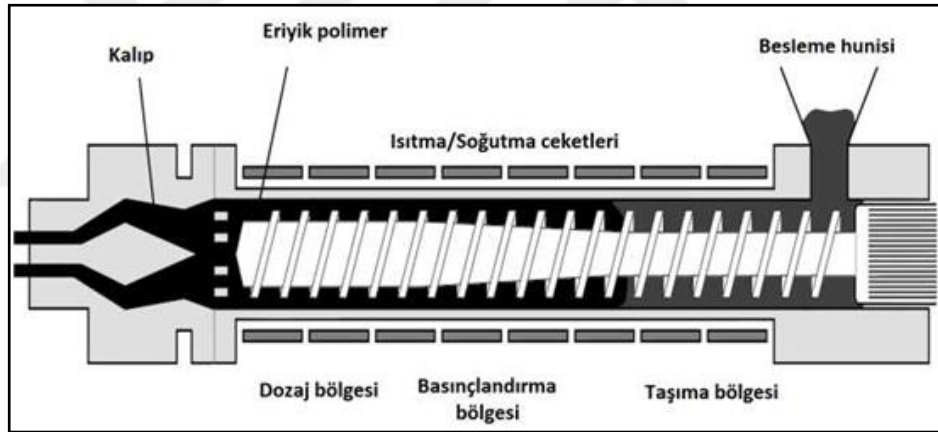
Kompozit malzemeler çeşitli yöntemlerle üretilebilirler. Üretim yöntemleri başta cam fiber takviyeli kompozitler için geliştirilmiş olup daha sonra diğer fiber takviyeli kompozitlere de bu yöntemler uygulanmıştır. Termoset matrisli kompozitler üretilirken ısı, basınç ve/veya kimyasal maddelere ihtiyaç duyulur. Termoplastiklerin üretiminde termosetlere nazaran soğutmaya ihtiyaç duyulmaması, üretimlerinin yalnızca ısı ile gerçekleştirilebilmesi, üretilen kompozitlerin tekrar tekrar eritilerek tekrar üretilme imkanı gibi avantajlar vardır. Buna karşın termosetlere göre proses sıcaklığı daha yüksektir. Bu sebeplerle termosetlerin ve termoplastiklerin üretim



yöntemleri farklılık gösterir. Termoset matrisli kompozitler reçine transfer kalıplama, el yatırma, sprey püskürtme, flaman sarma gibi çeşitli yöntemlerle üretilirken termoplastik matrisli kompozitler enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, ısıyla şekillendirme, film istifleme gibi yöntemlerle üretilirler. Bu çalışmada kullanılan üretim yöntemleri alt başlıklarda anlatılmıştır [2].

#### 1.4.1. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon günümüzde plastik üretim yöntemi olarak en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Granül formda veya toz halde bulunan termoplastik malzemelerin eriyik hale gelmesi, karışması ve şekillenmesi için kullanılan bir tekniktir. Ekstrüzyon işlemi ekstrüder denen cihaz ile gerçekleştirilir. Toz veya granül halde bulunan termoplastik malzeme ekstrüdere beslenir ve burada eriyen malzeme, istenilen ürün şekline uygun olarak tasarlanmış kalıba yollanır ve burada soğuyarak son şeklini alır [11].



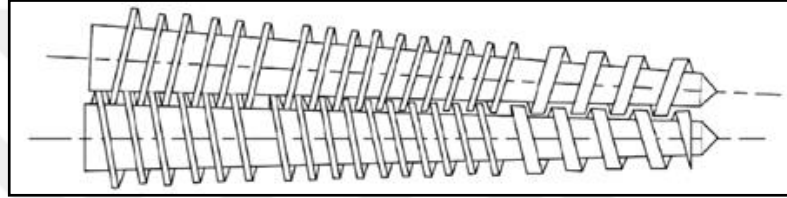
Şekil 1.1. Ekstrüder ve temel kısımları [3]

Ekstrüder temel olarak beş kısımdan oluşur (Şekil 1.1). Bunlar vida, kovan, kalıp, besleyici ve kontrol panelidir [3]. Besleyiciden beslenen malzemeler, dönen vida veya vidalar yardımı ile karıştırılırlar ve eritilirler. Vidaların tek görevi malzemeyi eritmek ve karıştırmak değil aynı zamanda malzemeyi kalıba doğru taşımaktır. Bu sebeple vida tasarımının en uygun şekilde yapılması gereklidir. Aksi takdirde malzeme kalitesinde ve proseste sıkıntı yaşanması kaçınılmazdır. Vidalar kovan denen kısmının içerisinde bu görevlerini görürler [3,11].

Kontrol paneli, prosesin idaresinin ve takibinin yapıldığı kısımdır ve buradan işlem sıcaklıkları, vida hızı, besleme oranı gibi parametreler kontrol edilebilmektedir [3].

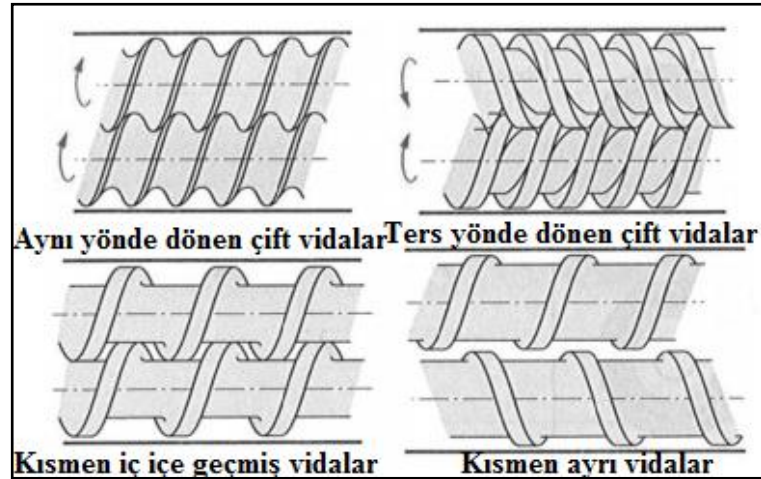
Kalıp, ekstrüderin uç kısmında bulunur. Vidalar yardımı ile taşınan ve erimiş olan malzeme kalıplara itilir ve burada malzeme kalıp şeklini alarak soğur [3]. Kalıp yolluklarının tasarımı burada çok önemlidir. Kalıp içerisine transfer edilen malzemenin üniform soğumaya maruz bırakılması ve herhangi bir kusura sahip olmaması için yollukların tasarımına önem verilmelidir.

Ekstrüderler tek vidalı olabildiği gibi çok vidalı da olabilirler ve buna göre sınıflandırılırlar. Tek vidalı ekstrüderler adından da anlaşılacağı üzere tek bir vidadan oluşurlar. Çok vidalı ekstrüderler ise birden fazla vida içerirler ve en çok kullanılan çeşidi çift vidalı ekstrüderlerdir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Konik çift vida yapısı [3]

Çift vidalı ekstrüderler dönüş yönüne göre aynı yönde dönen çift vidalı ekstrüderler ve ters yönde dönen çift vidalı ekstrüderler olarak ikiye sınıflandırılabilir gibi, kısmen iç içe geçmiş vidalar ve tamamen ayrı vidalar olarakta ikiye sınıflandırılabilirler (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Çift vidalı ekstrüderlerin sınıflandırılması [7]

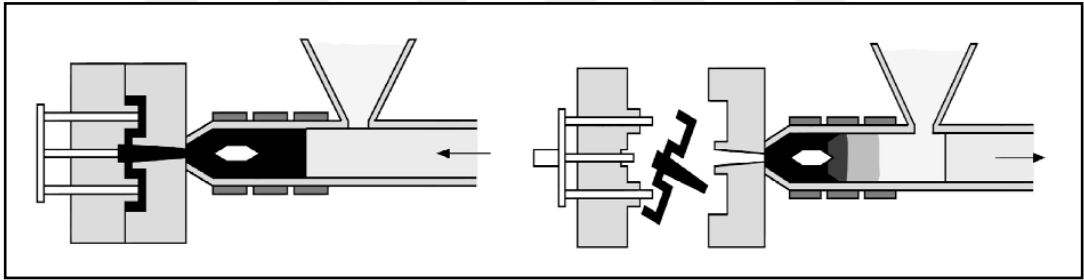
Aynı zamanda çift vidalı ekstrüderler de vidalar birbirlerine paralel olabileceği gibi konikte olabilirler [3,12].

### 1.4.2. Enjeksiyon ile kalıplama

Enjeksiyon ile kalıplama yöntemi, toz veya granül haldeki termoplastik malzemelerin ısı yardımıyla eritilmesi ve daha sonra bu eriyik malzemenin son şeklini alması için kalıba enjekte edilmesi ile gerçekleştirilir. Kalıp içerisindeki eriyik soğuyup katılaştıktan sonra kalıptan alınır. Bir enjeksiyon makinesi şu üç temel işlevi yapmalıdır [3,11];

1. Malzemenin erimesini sağlayarak, belirli bir basınç altında malzemenin akışını sağlamak,
2. Eriyik malzemeyi kalıba enjekte etmek,
3. Eriyiği soğuyup katılaşıncaya kadar kalıp içerisinde tutmak ve katılaştıran malzemeyi kalıptan çıkarmak.

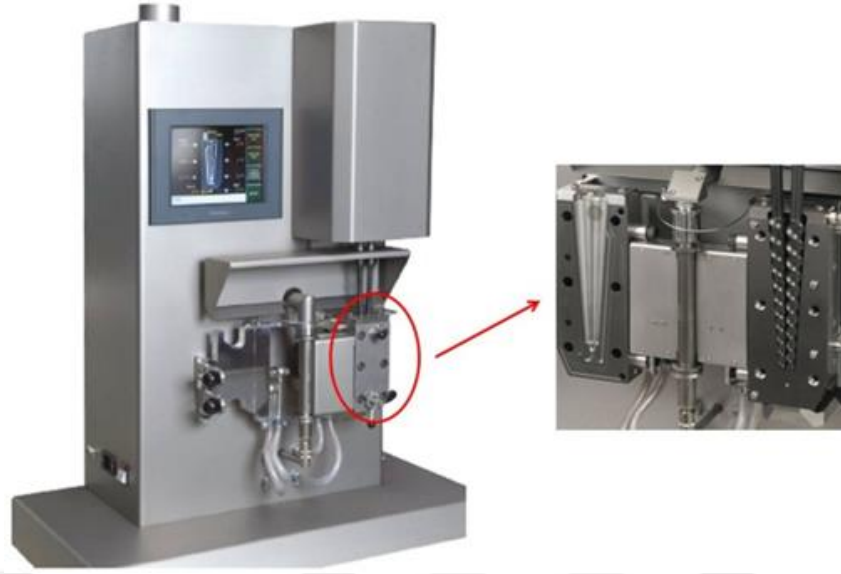
Şekil 1.4'te enjeksiyon kalıplama cihazının çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Enjeksiyon kalıplama cihazı [3]

### 1.4.3. Laboratuvar ölçekli karıştırıcılar

Laboratuvar ölçekli karıştırıcılar, isimlerinden de anlaşılabilceği üzere daha küçük boyutlu ve üretim kapasitesi daha az olan karıştırıcılardır. Maliyet ve zamandan kazanç sağlayan bu cihazlar, deneysel çalışma yapılan Araştırma ve Geliştirme (AR-GE) merkezleri ve üniversitelerin laboratuvarlarında tercih edilirler [3]. Bu çalışmada laboratuvar ölçekli konik çift vidalı mikro harmanlayıcı kullanılmıştır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Laboratuvar ölçekli mini ekstrüder

### 1.5. Polimer Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler üstün mekanik, fiziksel ve termal özellikleri sebepleriyle endüstride bir çok alanda kullanılmaktadırlar. Kullanımı günümüzde birçok sektöre giren kompozitlerin kullanılmadığı bir alan bulmak neredeyse imkansız hale gelmiştir. Kompozitler havacılık, savunma, uzay, otomotiv, denizcilik, mobilya, medikal, elektronik gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar [3-4].

Kompozitlerin en önemli kullanım alanları kuşkusuz savunma sanayi, uzay ve havacılık endüstrileridir. Hafifliğin yüksek hız, yakıt tasarrufu ve yüksek yük taşıma kapasitesi anlamına geldiği bu sektörlerde kompozitlerin tercih edilmelerinin esas sebebi de budur. Yüksek mekanik özelliklerin yanında hafifliğin arandığı ve maliyetin daha önemsiz olduğu uygulamalarda genellikle karbon fiber takviyeli kompozitler bu sektörlerde tercih edilirler [3-4].

Bir diğer önemli sektör olan otomotiv sektörü de kompozit malzemeleri kullanmaktadır ve araçlarda bulunan kompozit malzemelerin oranı sürekli olarak artmaktadır. Bu sektörde maliyetinde önemli olması aynı zamanda gerekli dayanım ve hafifliği sağlaması sebebiyle cam fiberler daha çok tercih edilmektedir. Bununla birlikte son yıllarda doğal fiber takviyeli kompozitlerde araçlarda kullanılmaya başlanmıştır [4].

Denizcilik sektöründe de önemli yeri olan kompozit malzemeler tekne, bot ve yat gibi deniz araçlarının üretiminde bolca kullanılmaktadırlar. Bu tarz uygulamalarda genelde cam fiber takviyeli kompozit yapılar kullanılmakta olup, yarış tekneleri gibi hız aranan deniz araçlarında ise daha hafif olmaları sebebiyle karbon fiber takviyeli kompozitler kullanılmaktadır [4].

Kompozit malzemeler günümüzde ayrıca inşaat sektöründen tarım sektörüne, müzik aletlerinden sağlık sektörüne birçok alanda daha kullanılmaktadırlar [10].

## **1.6. Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi**

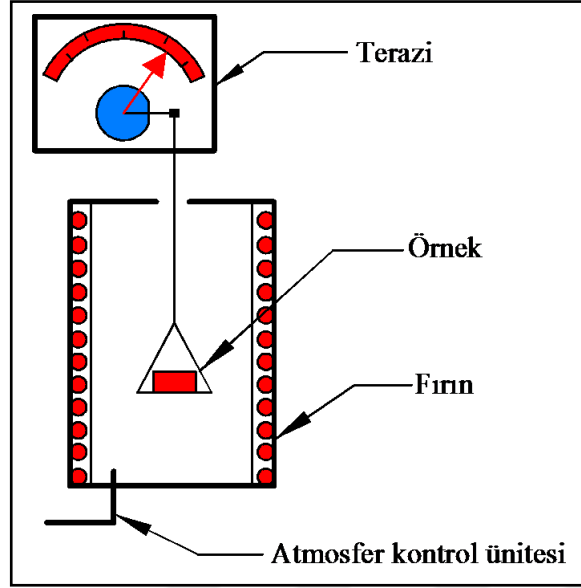
Kompozit malzemelerin mekanik, termal, termomekanik ve tribolojik özelliklerini belirlemek için çeşitli test ve analizler mevcuttur. Bu çalışmada kompozitlerin karakterizasyonu amacıyla yer alan test ve analizler; çekme testi, dinamik mekanik analiz (DMA), termogravimetrik analiz (TGA), aşınma testi, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) olarak belirlenmiştir. Bu bölümde bu test ve analizler hakkında bilgi verilmiştir.

### **1.6.1. Termogravimetrik analiz**

Bu analiz, küçük bir numunenin, sıcaklığın sürekli olarak sabit bir hızla arttığı kontrollü atmosfer altında sürekli olarak tartımıyla gerçekleşmektedir. Yani kabaca, malzemenin artan sıcaklıkla ne kadar ağırlık kaybına uğradığını analiz eden bir yöntemdir [13]. Bu yöntem ile numunede meydana gelen fiziksel değişimler (buharlaşma, süblimleşme, oksidasyon gibi) hakkında bilgi edinilir [14].

TGA ısı testi sonucunda yüzde olarak ağırlığa karşılık sıcaklık grafiği elde edilebilmektedir ve malzemenin ısı kararlılığı hakkında yorum yapmak için kullanılır. Takviye edilmiş polimerler de bu analiz ile birlikte kolayca incelenebilir ve takviye elemanının matris malzemesine takviye edildikten sonra oluşturulan kompozitin ısı kararlılığı hakkında bilgi edinilebilir.

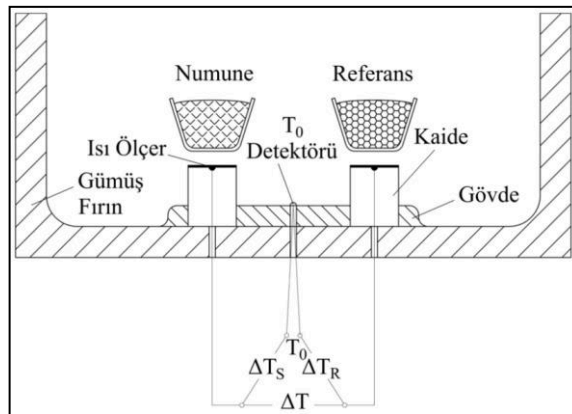
Bir TGA cihazı temel olarak fırın, verilerin alındığı bilgisayar sistemi, atmosfer kontrol ünitesi, mikro hassasiyete sahip teraziden oluşur. Şekil 1.6'da TGA cihazının şematik gösterimi verilmiştir [14].



Şekil 1.6. TGA cihazının şematik gösterimi [14]

### 1.6.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre

DSC analizi için ısıl çift içeren hazneler, sonuçları kaydedecek bir cihaz, programlanabilir fırın ve gaz denetleyicisi gereklidir. Bu deney cihazında iki adet hazne bulunmaktadır ve bu haznelerden birisi referans olarak kullanılır. Bir diğer hazne ise analizi yapılmak istenen malzemenin koyulduğu haznedir. Bu iki hazne daha sonra belirlenen sıcaklığa kadar ısıtılırlar. Sonrasında bir sıcaklık programı başlar ve belirli hızda haznelere ısı verilmeye başlanır. Bu iki hazne arasında oluşan sıcaklık farkı ısıtma veya soğutma işlemi ile dengeye getirilir ve bu işlem için harcanan enerjilerin farkının birim zamana oranlaması yapılır [3,13]. Şekil 1.7’de DSC hücre kesiti verilmiştir.



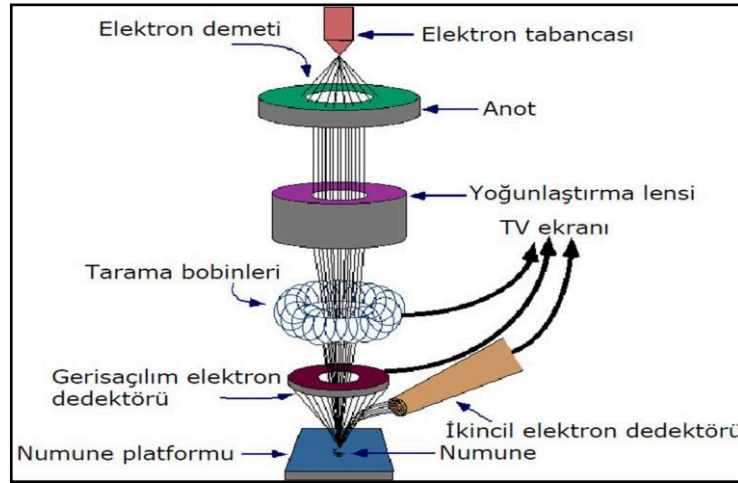
Şekil 1.7. DSC hücre kesiti [15]

DSC, aralarında sıfır sıcaklık farkı bulunan malzemelerin (referans ve analizi yapılan polimer) hazneler ısıtılmaya başlandığı esnadan itibaren aralarındaki bu sıfır sıcaklık farkını korumak için harcanan güç, yani birim zaman başına harcanan ısı enerjisini ölçer. Bu test ile camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), erime sıcaklığı ( $T_m$ ), kristallenme sıcaklığı ( $T_c$ ), yüzde kristallenme miktarı ( $\%X_c$ ) gibi özellikler elde edilir [3,13].

### 1.6.3. Taramalı elektron mikroskobu

Son derece önemli ve yararlı bir araştırma aracı olan taramalı elektron mikroskobu, elektron ışınlarını kullanarak görüntü almaya yarayan mikroskoptur. Elektron ışınları, incelenmek istenen yüzeye yollar ve bu ışınların yansması veya geri saçılması sonucu geri toplanırlar. Taranan yüzey bir monitör yardımıyla görüntülenir [16].

SEM sayesinde 10 ile 50.000 kat büyütme kadar görüntü alınabilir. Bu da numunelerinin yüzeylerinin ve yüzeyde bulunan çok küçük, mikro yapıların dahi incelenmesini mümkün kılar. İncelenen malzeme yalıtkan bir malzeme ise yüzeyin ince iletken bir tabaka ile kaplanması gerekir [3,16]. Şekil 1.8’de SEM cihazının şematik gösterimi verilmiştir.



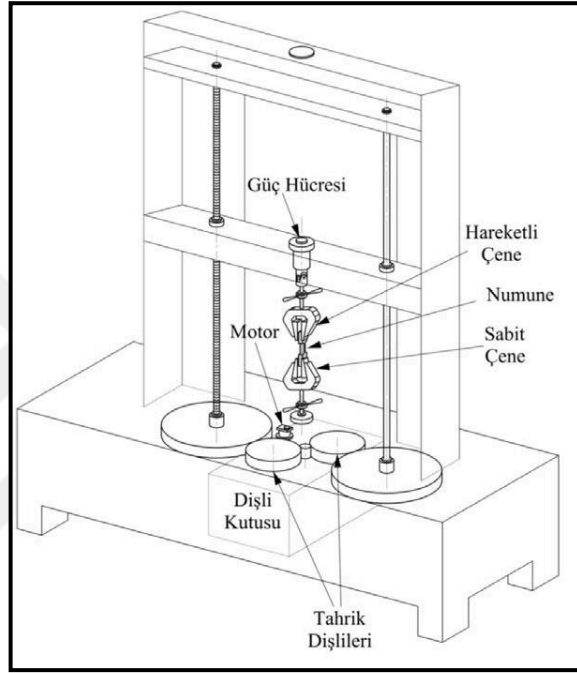
Şekil 1.8. SEM analizi cihazının şematik gösterimi [14]

### 1.6.4. Çekme testi

Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan en önemli testtir. Buradan alınan veriler doğrudan mühendislik hesaplamalarında kullanılabilir. Bu test sonucunda malzemenin elastik ve plastik davranışı hakkında bilgi edinilirken Young

modülü, akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı, kopma uzaması gibi değerler elde edilir.

Çekme cihazında biri sabit biri hareketli olan iki adet çene arasına bağlanan numune, hareketli olan çene tarafından belirli bir hızla çekilerek malzemenin gerilme-gerinim grafikleri elde edilir. Teste bağlanan numunenin boyutu standartlarda bellidir [3,16]. Şekil 1.9’da çekme testi cihazının temel kısımları görülmektedir.



Şekil 1.9. Çekme testi cihazının temel kısımları [15]

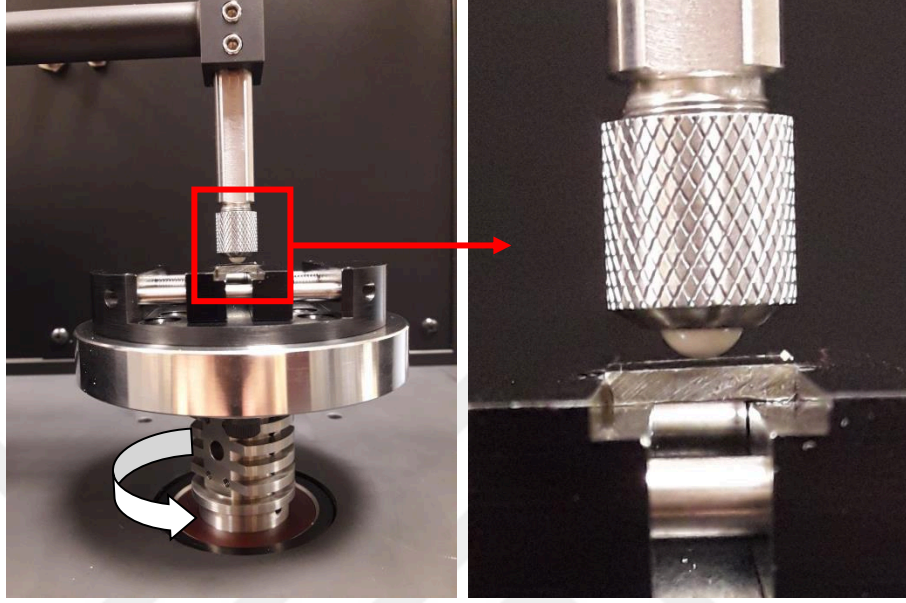
### 1.6.5. Aşınma testi

Aşınma, birbirlerine temas eden parçalar veya parçacıklar arasında mekanik etkiler sonucunda istenmeyen parça ayrılması olayı olarak tanımlanmaktadır. Aşınmanın birçok çeşidi olup bu çalışmada yapılan test pin-on-disk adhezif aşınma testidir. Pin-on-disk testi, malzemelerin adhezif aşınma karakteristiklerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir testtir.

Pin-on-disk adhezif aşınma testinde parametreler kayma hızı, kayma mesafesi, sürtünme yarıçapı ve yüküdür. Belirlenen test parametrelerinden sonra diske numune bağlanır ve yük kolunun ucunda bulunan ve numene yüzeyine temas eden bir uç yardımıyla test gerçekleştirilir. Test sonucunda malzemenin aşınma davranışı



hakkında bilgi edinilir [17]. Şekil 1.10'da pin-on-disk modu aşınma testinin çalışma prensibi gösterilmiştir. Aşındırıcı küre ile dönen disk üzerine yerleştiren kompozit arasındaki sürtünme katsayısı bu test ile ölçülmektedir.



Şekil 1.10. Aşınma test cihazı ve uygulaması

#### 1.6.6. Dinamik mekanik analiz

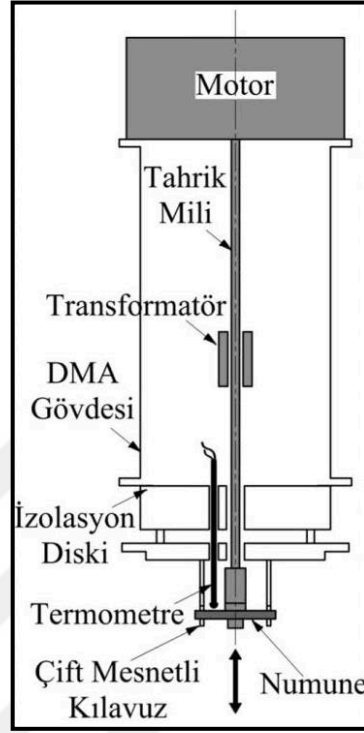
Dinamik mekanik analiz, malzemenin performansını doğrudan etkileyen özelliklerin karakterizasyonunu sağlar. Polimerlerin termal ve reolojik özellikleri hakkında veriler elde etmeyi sağlayan bu analiz, malzemenin mekanik özelliklerini frekans, zaman ve sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçer. Bununla birlikte malzemelerin viskoelastik özellikleri hakkında bilgi verir [18-19].

DMA kısaca numuneye salınım kuvveti uygulayarak malzemenin bu kuvvete karşı verdiği cevabı analiz eden test metodudur. DMA sonucunda iki önemli parametre elde edilir [18];

1. Depo modülü ( $E'$ ) – Malzemenin ne kadar enerji depoladığını gösterir.
2. Kayıp modül ( $E''$ ) – Malzemenin ısı olarak enerji dağıtabilme kabiliyetini gösterir.

Depo modülü malzemenin rijitliği hakkında bilgi verirken kayıp modül malzemenin enerji sönmüleme kabiliyeti hakkında bilgi verir. Bu iki modül arasındaki ilişkiyi tan delta olarak adlandırılan kayıp faktör verir. Tan delta, kayıp enerjinin depolanan

enerjiye oranıdır. Test sonucunda depo modülü – sıcaklık ve tan delta – sıcaklık grafikleri çizilebilir [18,20]. Şekil 1.11’de DMA cihazının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.11. DMA cihazı şematik gösterim [15]

### 1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Günümüzde kullanılan malzemelerden beklenen özellikler hızla gelişen teknoloji ile birlikte sürekli olarak artmaktadır. Kompozitler günümüz ihtiyaçlarına en uygun malzemeler olarak görülseler de henüz tamamen anlaşılammış olmaları ve gelişime açık bir alan olması sebepleriyle araştırmacılar için çok cazip bir konudur.

Kompozitlerin özelliklerini belirleyen en temel öge takviye elemanlarıdır. Bu çalışmada kullanılan polimer malzemenin özelliklerinin geliştirilmesi için iki farklı fiber çeşidi kullanılmış olup, fiberler karbon fiber ve bazalt fiber olarak seçilmişlerdir. Bununla birlikte takviye elemanı olarak doğal mineral partiküllerinin kullanılabileceği önceki başlıklar altında anlatılmıştı. Doğal mineral partikülleri ucuz ve kolay bulunabilir olmalarıyla birlikte takviye edildikleri polimerlerin özelliklerini geliştirebilirler. Bu bakımdan ihtiyaca göre fiberlere alternatif olarak düşünülebilirler.

Bu sebeple çalışmada doğal mineral partiküllerinin polimer malzeme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek adına bentonit ve zeolit partikülleri kullanılmıştır.

Kompozitlerin optimum özelliklere sahip olmaları ve eksikliklerinin giderilmesi adına kompozitlere fiber ve partiküller aynı anda takviye edilerek hibrit etki oluşturulabilir. Tez çalışmasında hibrit etkinin kompozitlerin özellikleri üzerinde yaratması beklenen pozitif etki incelenmek istenmiş ve bu sebeple hibrit kompozitler üretilmiştir. Hibrit kompozitler karbon fiber ve bazalt fiberden birini içerirken aynı zamanda bentonit ve zeolit partiküllerinden de birini içerecek şekilde üretilmişlerdir.

Tez kapsamında poli(fenilen sülfid) malzemesinin termal, mekanik, termomekanik ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmış ve bu sebeple PPS malzemesine fiber takviyesi yapılarak bazalt fiber takviyeli PPS matrisli kompozitler (PPS\_BF) ve karbon fiber takviyeli PPS matrisli kompozitler (PPS\_CF), partikül takviyesi yapılarak bentonit takviyeli PPS matrisli kompozitler (PPS\_B) ve zeolit takviyeli PPS matrisli kompozitler (PPS\_Z) üretilmiştir. Aynı zamanda tez kapsamında hibrit etkinin kompozit malzemelerin özellikleri üzerindeki etkisi incelenmek istenmiş ve bu sebeple PPS\_BF\_B, PPS\_BF\_Z, PPS\_CF\_B ve PPS\_CF\_Z hibritleri üretilmiştir. Üretilen tüm kompozitlerin mekanik, termal, termomekanik, morfolojik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir.

## **2. LİTERATÜR TARAMASI**

Kompozit malzemeler ile ilgili çalışmalar literatürde çokça mevcuttur. Bu durumun temel sebepleri, kompozit malzemelerin kullanım alanlarının her geçen gün daha da yaygınlaşması ve geliştirilmeye açık bir alan olması söylenebilir. Tez kapsamında

üretileen ve üzerinde çalışılan kompozitlerin test sonuçlarının öngörülebilmesi ve literatürdeki eksikliğin anlaşılması adına bu bölümde literatür çalışması yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar, tez kapsamında üzerinde çalışılan malzemelerin ve bu malzemelerden beklenen özelliklerin daha net bir biçimde anlaşılması ve uygulanan testlerden beklenmesi gereken sonuçların daha doğru bir şekilde öngörülmesi adına üç ayrı başlık altında incelenmiştir. Literatürde bulunan ve incelemesi yapılmış olan çalışmalar, tezde yer alan malzemelerin kullanılmış olduğu çalışmalar, doğal mineral partikülleri kullanılmış çalışmalar ve elyaf takviyesi içeren veya hibrit etkinin incelendiği çalışmalar olarak alt başlıklar altında incelenmiştir.

### **2.1. Doğal Mineral Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Özellikleri**

Polimerlerin kullanımlarını sınırlayan en önemli özellikleri düşük kullanım sıcaklıklarıdır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan polimerlerin modül değerleri düşmektedir. Bu sebeple minerallerin polimerlere takviye edilmesini konu alan birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Bu çalışmaların genel olarak temel amacı, polimerlerin daha yüksek sıcaklıklara kadar bozunmamalarını sağlamak ve modül değerlerinde artış kazanmaktır. Literatürde yer alan doğal mineral takviyeli kompozitlerin araştırıldığı bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Larissa N. Carli ve diğerleri [21], kil tipinin, malzemenin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla poli(hidroksibütirat-ko-hidroksivalerat) (PHBV) polimerine montmorillonit ve halloysit killeri takviye etmişlerdir. Çalışmacılar nano boyutta yapılan bu takviyelerin, düşük takviye oranlarında topaklandıklarını, daha yüksek takviye oranlarında ise yapı içerisine partiküllerin daha iyi dağıldıklarını belirtmişlerdir. Yapılan termal ve mekanik testler sonucunda, hem halloysit hem de montmorillonit takviyelerinin kristalinite oranını

ve çekme modülü değerini arttırdıkları gözlenmiş olup, halloysit takviyeli kompozitlerde çekme dayanımı değerinde arttığı çalışmada belirtilmiştir.

Yüksek yoğunluklu polietilene kalsiyum karbonat takviyesini değişik partikül boyutlarında uygulayan Z. Bartczak ve arkadaşları [22], ürettikleri kompozitlerin termal, mekanik ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Partikül boyutunun azalmasıyla birlikte topaklanmanın arttığını gözlemleyen araştırmacılar, partikül takviyesinin kristalinite oranını arttırdığını da belirtmişlerdir. Bununla birlikte artan partikül oranıyla birlikte çekme modülünün arttığı, çekme dayanımının ise azaldığı yine çalışmada belirtilmiştir.

Bir başka çalışmada Pravin Kodgire ve çalışma arkadaşları [23], iki farklı şekilde işlem göerek elde edilmiş montmorillonit killerini polipropilen polimerine takviye etmişler ve ürettikleri kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucunda, kil takviyesinin ısı kararlılık, depo modülü, çekme dayanımı ve çekme modülü değerlerini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

P.R. Rajakumar ve R. Nanthini [24], polibütillen tereftalat (PBT) polimerini polikarbonat (PC) ile karıştırarak elde ettikleri matrise, montmorillonit takviyesi yapmışlar ve malzemenin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan takviyenin, çekme modülünde düşüşe, çekme dayanımı, kristalinite oranı, depo modülü ve ısı kararlılıkta artışa neden olduğu gözlenmiştir.

Y. H. Lai ve diğerleri [25], poli(eter eter keton) (PEEK) polimerine nano boyutlu silika takviyelendirmişler ve bu takviye sonucunda malzemenin termal ve termomekanik özelliklerinin nasıl etkilendiğini incelemek istemişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda, camsı geçiş sıcaklığı değerinin silika takviyesiyle değişmediğini, depo modülünün arttığını, boyutsal stabilitenin iyileştiğini gözlemlemişlerdir.

Literatürde yer alan bir başka çalışmada Haitao Wang ve arkadaşları [26], poli(metil metakrilat) (PMMA) polimerine silika ve titanya partiküllerini takviye etmişlerdir. Yaptıkları yüzey incelemesi sonucunda, titanya partiküllerinin çoğunun silika partiküllerine sarıldıklarını, bu sebeple topaklanmadıklarını ve bu partiküllerin silika partikülleri ile temasta olmayan bölgelerinin PMMA matrisin özelliklerini geliştirmede rol oynadıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca termal özelliklerin incelenmesi için TGA'da yapan araştırmacılar, kil takviyesiyle birlikte malzemenin ısı kararlılığının arttığını belirtmişlerdir.

Jinwoo Jung ve diğeri [27], mikro ve nanoboyutlu boron nitrit takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitleri üreterek, partikül boyutunun ve mineral takviyesinin malzemenin termal özellikleri üzerindeki etkisini incelemek istemişlerdir. Yapılan kil takviyesinin kristallenme oranı ve füzyon entalpisi değerini düşürdüğü, kil boyutunun mikrodan nanoya düşürülmesiyle ve takviye oranının artırılmasıyla bu değerlerin daha da düştüğü çalışmacılar tarafından gözlemlenmiştir. TGA sonucunda partikül takviyesinin ısı kararlılığı arttırdığını belirten araştırmacılar, partiküllerin homojen dağılması için partikül yüzeylerine işlem uygulanmasının olumlu sonuçlar verdiğini yine çalışmada belirtmişlerdir.

H. Krump ve diğeri [28], polipropilen malzemesine montmorillonit takviye ederek, termal ve termomekanik özelliklerin bu takviye ile nasıl değiştiğini gözlemek istemişlerdir. Bu sebeple TGA, DSC ve termomekanik analiz (TMA) yapan çalışmacılar, montmorillonit takviyesinin yapılmasıyla füzyon entalpisi değerlerinin düştüğünü, bunun da nanokompozitin daha amorf bir yapıya sahip olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmacılar buna ek olarak montmorillonitin çekirdeklenme etkisi yarattığını ve ısı kararlılığı arttırdığını belirtmişlerdir.

Ahmad Al-Jabareen [29], çalışmasında polipropilene montmorillonit takviyesi yapmış ve bu takviyenin sonucunda mekanik, termal ve morfolojik özelliklerin nasıl etkilendiğini incelemiştir. Montmorillonit takviyesiyle birlikte çekme dayanımında bir miktar düşüş gözleyen araştırmacı, çekme modülü değerinde ise bir miktar artış gözlemiştir. Isı kararlılığı artan malzemenin, füzyon entalpisi değeri azalmış, yüzde kristalinite oranı artmıştır. Kırılma yüzeylerindeki inceleyen araştırmacılar, montmorillonit partiküllerinin yapıya düzgün dağıldığını ve topaklanmadıklarını belirtmişlerdir.

Mo-lin Chan ve diğeri [30], montmorillonit nanokili takviyeli epoksi kompozitler üreterek, bu kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Nanokilin yapıya ağırlıkça %5 oranında takviye edilmesiyle birlikte çekme dayanımında %24 artış sağlamışlardır. Nanokilin bu orandan fazla takviye edilmesi durumunda dayanım değerlerinde azalma başlamıştır. Ayrıca nanokil takviyesi çekme modülü değerini de arttırmış ve çalışmada en iyi modül değeri, saf epoksinin modül değerini %57 arttıran ağırlıkça %7 nanokil takviyesiyle sağlanmıştır.

## 2.2. Fiber Takviyeli Kompozitlerin ve Hibrit Kompozitlerin Özellikleri

Fiberler, kompozit malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde büyük rol oynarlar ve takviye edildikleri polimerlerin özellikle mekanik özelliklerinin artırılması için kullanılırlar. Fiberlerin yönlendirilmesi, uzunluğu, çapı, türü ve özellikleri gibi parametreler doğrudan kompozitin özelliğine etki etmektedir. Literatürde de fiber takviyesinin polimer malzemeler üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalar çokça mevcuttur.

İki veya daha fazla takviye elemanının birlikte polimerlere takviye edilmesi hibrit etki oluşturmaktadır. Oluşan bu etki ile birlikte takviye elemanlarının birbirlerinin eksiklerini kapaması, eksikleri ve sınırlamaları daha az olan üstün özelliklere sahip kompozitleri oluşturur. Hibrit kompozitlerde de matris, takviye elemanları ve bunlar arasında oluşacak arayüzeyin durumu çok önemlidir. Araştırmacılar da hibrit etkiyi anlamak ve daha üstün malzemeler elde etmek amacıyla hibrit kompozitler üzerine çalışmışlardır. Fiber takviyesinin ve hibrit etkinin önemini gösteren çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Hibrit etkinin, polimerlerin reolojik ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla V.V. Dubrovsky ve arkadaşları [31] kısa cam fiber ve grafit takviyeli poli(etilen tereftalat) kompozitleri üretmişlerdir. Grafit ve cam elyafın ayrı ayrı polimere takviye edilmeleri durumunda, polimerin kristalinite oranında artış gözlenmesine karşın cam fiberin polimere ağırlıkça %45'ten daha fazla takviye edilmesi durumunda ise kristalinite oranının düşüşe geçtiği çalışmada gözlenmiştir. Hibrit etki oluşturulduğunda, yüzde kristalinite oranının daha da arttığı ve en iyi değerlerin cam elyafın yüksek oranda ve grafitin daha düşük oranda takviye edildiği hibritlerde görüldüğü araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Camsı geçiş sıcaklığının cam elyaf takviyesiyle düştüğünü, grafit takviyesi ile arttığını gözleyen araştırmacılar, grafit ve cam fiberin polimere takviye edilmesinin tan delta değerlerinde de düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca depoloma modülü değerlerinin, cam fiber oranının artmasıyla ve grafitin düşük oranlarda takviyesi ile maksimuma ulaştığını, hibritlerde modül değerlerinin ve tan delta değerinin maksimuma ulaştığını gözlemlemişlerdir. Çekme dayanımında en iyi sonucun grafiti az oranda içeren ve cam elyafın ağırlıkça %45 oranında takviye edildiği hibritte görüldüğü, cam elyaf oranının

%45'ten daha fazla takviye edildiği hibritlerde çekme dayanımının düşmeye başladığı yine çalışmada sunulmuştur.

Behzad Kord ve S. M. H. Kiakoouri [32], ağaç talaşlı polipropilen matris malzemesine cam fiber ve montmorillonit nanokili takviyesi yapmışlardır. Ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini inceleyen araştırmacılar, matrise yapılan cam fiber ve nanokil takviyeleri ile, çekme dayanımı ve çekme modülü değerlerinde artış sağlamışlardır. Yaratılan hibrit etki ile birlikte bu değerler daha da artmış ve en iyi sonuçlar ağırlıkça %15 cam fiber ve %4 nanokil içeren hibritlerde görülmüştür. Nanokil oranının %4'ün üzerine çıkmasıyla birlikte dayanım ve modül değerlerinde azalma başlamıştır. Bunun sebebi olarak topaklanma gösterilmiştir.

Sisal fiber takviyeli polipropilen kompozitlere cam fiber takviyesi yaparak hibrit etkinin oluşmasını sağlayan Kasama Jarukumjorn ve Nitinat Suppakarn [33], ürettikleri kompozitlerin termal, mekanik ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Sisal fiber takviyesiyle çekme modülü artan polipropilenin, yaratılan hibrit etki ile birlikte çekme dayanımı ve çekme modülü değerleri maksimuma ulaşmış ve ısıl sapma sıcaklığı derecesi artmıştır. Polipropilen matrisine sisal fiberlerinin takviyesi malzemenin %5 ağırlık kaybına uğradığı sıcaklık değerini önemli derecede düşürmüştür. Sisal fiber takviyeli polipropilen'e cam fiberin takviye edilmesiyle bu değerler artmıştır.

Suhara Panthapulakkal ve Mohini Sain [34], kenevir fiber ve cam fiber takviyeli polipropilen hibrit kompozitlerinin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Kenevir fiber takviyeli polipropilenin çekme dayanımı, çekme modülü, eğilme dayanımı, eğilme modülü, darbe dayanımı, ısıl sapma sıcaklığı ve ısıl kararlılığı cam fiber takviyesi ile birlikte artmıştır. Hibrit etkinin polipropilenin özelliklerini geliştirdiği, çalışmada net şekilde ortaya konulmuştur.

Yapılan bir diğer çalışmada Youngjae Yoo ve diğerleri [35], organokil ve cam fiber takviyesinin birlikte yaratacağı hibrit etkiyi araştırmak için naylon 6 polimerine montmorillonit organokili ve cam fiber takviyesi yapmışlardır. Kompozitlerin mekanik özelliklerini inceleyen araştırmacılar, nanokil ve cam fiber takviyesinin, naylon 6'nın çekme dayanımı ve çekme modülü değerlerinde artış sağladığını ve birlikte takviye edildiklerinde bu değerlerin daha da arttığını gözlemlemişlerdir.



M.A. López-Manchado ve M. Arroyo [36], polietilen tereftalat (PET) ve naylon 66 fiberlerini izotaktik polipropilene takviye ederek ürettikleri kompozitlerin termal ve dinamik mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Polipropilene bu iki fiberinde ayrı ayrı takviye edilmesi sonucunda oluşan iki kompozitinde tan delta değerlerinin düştüğü, depo modülü değerlerinin ise arttığı gözlenmiştir. Ayrıca bu takviyelerin, erime sıcaklığı değerlerinde kayda değer bir değişim yaratmadığı ve kristalinite oranında düşüşe sebep oldukları gözlenmiştir.

Florian Puch ve Christian Hopmann [37], naylon 6 polimerini kısa karbon fiber ve çok duvarlı karbon nanotüp takviyesi ile güçlendirmişler ve daha sonrasında bu iki takviye malzemesini birlikte polimere takviye ederek hibrit etki oluşturmuşlardır. Kompozitlerin çekme ve morfolojik özelliklerini inceleyen araştırmacılar, kısa karbon fiber takviyeli naylon 6 kompozitlerinde matris kırılması ve fiberlerin yerinden çıkması hasarlarının görüldüğünü, karbon nanotüp takviyeli naylon 6 kompozitlerinde ise hasarın matris kırılması olarak gözlendiğini belirtmişlerdir. Karbon nanotüp ve kısa karbon fiber takviyeli kompozitlerin her ikisi içinde çekme modülünün arttığı gözlenmiştir. Karbon nanotüp takviyesinin ağırlıkça %1'e kadar takviye edilmesinin, çekme dayanımında artış sağladığını ve bu orandan fazla takviye edilmesi durumunda dayanım değerlerinde düşüşün başladığı görülmüştür. Hibrit etki oluşturulduğunda çekme dayanımı ve çekme modülü değerlerinde önemli derecede artış gözlenmiştir.

B. Suresha [38] ve diğerleri, karbon epoksi kompozitlerine ağırlıkça %5 ve %10 grafit takviyesi yaparak ürettikleri kompozitlerin aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Grafit takviyesi ile ağırlık kaybı, aşınma hacmi ve spesifik aşınma oranı düşmüş olup çekme modülü ve çekme dayanımı değerleri artmıştır. Aşınma performansının grafit takviyesi ile iyileşmesinin, daha az elyafın aşınma sırasında ayrılmasıyla ilişkilendirilebilir olduğu çalışmada belirtilmiştir.

Oğuzkan Şentürk ve diğerleri [39], çalışmalarında kalsit takviyeli polipropilen ve hibrit etkinin araştırılması adına kısa cam fiber ve kalsit takviyeli polipropilen kompozitleri üretmişlerdir. Yapıdaki kalsit oranının artmasıyla birlikte çekme modülü, çekme dayanımı, eğilme modülü, eğilme dayanımı ve depo modülü değerlerinde artış gözlenmiş olup, hibrit etki yaratıldığında bu değerler maksimuma ulaşmıştır.

Araştırmacıların çalışmalarında yer verdikleri veriler ve sonuçlar hibrit etkinin önemini bariz bir şekilde ortaya koymuştur.

Güralp zko ve diğerleri [40], kısa cam fiberi, akrilonitril btadiyen stiren (ABS) polimerine ve ABS-poliamid 6 matrisine takviye etmişlerdir. Kısa cam fiberin ABS matrise takviye edilmesiyle çekme dayanımı, çekme modülü ve eğilme dayanımı değerlerinde artış sağlanmıştır. ABS'nin poliamid 6 (PA-6) ile belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ABS-PA6 matrisine cam fiber takviyesi sonucunda ise çekme dayanımı, çekme modülü ve eğilme dayanımı değerleri daha fazla artmıştır. ABS-PA6 matrisine yapılan takviyeyle birlikte en yüksek değerlere ulaşılması, fiberler ve matris arasındaki yapışmanın daha iyi olmasıyla ve fiberlerin matris içerisine daha farklı boylarda dağılmasıyla açıklanmıştır.

Jitendra Narayan Panda ve diğerleri [41], kısa cam fiberi ağrılıka %30 ve %40 oranlarında grafit takviyeli poliaril eter keton matrisine takviye ederek ürettikleri kompozitlerin mekanik, termal ve termomekanik özelliklerini incelemişlerdir. Cam fiberin matrise takviye edilmesiyle çekme dayanımı, çekme modülü, eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri artmış, buna karşın kopma uzaması ve darbe dayanımı düşmüştür. Cam fiber oranının artması sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranını arttırmıştır. Bunun sebebi olarak, cam fiber oranının ağrılıka %30'dan fazla olduğu durumlarda daha zayıf matris-fiber arayüzey yapışması görüldüğü ve bu sebeple aşınma sırasında fiberlerin soyularak daha rahat yerlerinden çıktıkları söylenmiştir. Çalışmada her iki ağrılık oranında da camsı geçiş sıcaklığı, termal bozunma sıcaklığı ve erime sıcaklığı değerleri arasında önemli bir fark gözlenmemiş olup, cam fiberin ağrılıka %40 olduğu kompozitin kristallenitesinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Ze-Kun Zhao ve diğerleri [42], kısa cam fiber ve kısa karbon fiber takviyeli polietersülfon (PES) kompozitlerinin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çekme dayanımı ve çekme modülü fiber takviyesiyle birlikte artmış olup, karbon fiber takviyeli kompozitin bu değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Çekilen numunelerin kırılan yüzeylerini de inceleyen araştırmacılar, saf PES matrisinin yüzeyinin daha düz olduğunu, yapısında cam fiberlerin olduğu numunelerin kırılma yüzeylerinin ise daha düzensiz olduklarını, fiberlerin ve yerinden çıkan fiberler sebebiyle görülen deliklerin olduğu görüntüler elde ettiklerini

belirtmişlerdir. Aynı görüntülerin karbon fiber takviyeli PES kompozitlerinde de görüldüğünü belirten araştırmacılar, bu kompozitlerde fiberlerin yerinden çıkması hasarının daha az görüldüğünü belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu, karbon fiber takviyeli kompozitlerde daha güçlü fiber matris yapışmasının olmasıyla açıklamışlardır. Tribolojik özellikler incelendiğinde karbon fiber takviyeli PES kompozitlerinin daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu, karbon fiber oranının artmasıyla da bu değerin daha da düştüğü gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak, karbon fiber takviyesinin aşınma yüzeyinde yağlayıcı özellik gösteren bir film oluşturması gösterilmiştir.

### **2.3. Karbon Fiber, Bazalt Fiber, Bentonit, Zeolit ve PPS İçeren Çalışmalar**

Literatürde yer alan bazalt fiber, karbon fiber, bentonit, zeolit ve poli(fenilen sülfid) malzemeleri içeren kompozit çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmalardan, kompozitlerin mekanik, termal, termomekanik ve tribolojik özelliklerinin incelendiği bazı çalışmalar aşağıda özetlenerek sunulmuştur.

Onur Çoban [20], doktora tezi çalışmasında, partikül takviyesinin kompozitlerin mekanik, tribolojik ve iç yapı özellikleri üzerindeki etkisini, PPS matris malzemesine  $Al_2O_3$  partiküllerini değişik boyutlarda ve tek boyutlu olarak takviye ederek incelemiştir. Araştırmacının çalışması sonucunda, partikül boyutunun aynı olduğu kompozit malzemelerde termal özelliklerin daha olumlu sonuçlar verdiği, bununla birlikte daha büyük boyutlu ve sayıca fazla partikül takviyesine sahip kompozitlerin daha sert oldukları ancak çekme özellikleri bakımından daha zayıf oldukları gözlenmiştir. Alumina takviyeli kompozitlerin termomekanik özellikleri incelendiğinde, alumina takviyesinin depo modülü değerinde artışa,  $Tan\delta$  değerinde ise düşüşe sebep olduğu görülmüştür. Karışık boyutlu alumina takviyesiyle birlikte ise düşük aşınma oranı elde edildiği çalışmada gözlenmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada Talha Kıvanç [43], PPS matris malzemesine Nevşehir ve Kula volkanik kül partiküllerini kütlece değişik oranlarda takviye etmiş ve malzemenin tribolojik, mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Her iki partikül takviyesi sonucunda da çekme modülü, eğilme modülü ve eğilme dayanımı değerlerinde artış gözlenmesine karşın erozif aşınma davranışlarının kötüleştiği ve aşınmaya bağlı kütle kaybının arttığı çalışmada belirtilmiştir. Matris malzemesi ile

daha iyi bir arayüzey oluşturan Nevşehir volkanik kül partiküllerinin matrise takviyesi ile çekme dayanımında artış sağlanmış ancak Kula volkanik kül partiküllerinin takviyesiyle birlikte çekme dayanımında düşüş gözlenmiştir. Dinamik mekanik termal özellikler incelediğinde ise, depo modülü ve kayıp modül değerlerinde artış,  $\tan\delta$  değerinde ise düşüş görülmüştür.

Nevin Gamze Karanlı Yılmaz [3], yüksek lisans tez çalışmasında dört farklı termoplastik malzemeye (Polipropilen (PP), maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (MAH-g-PP), poliamid-6, poli(fenilen sülfid) karbon elyaf takviye etmiş ve bu kompozitlere çekme deneyi, sertlik deneyi ve DSC testi uygulamıştır. Çalışmada PP ve MAH-g-PP malzemelere, karbon elyafı ve değişik uzunluklarda kırılmış ve ön kaplama yapılmış karbon elyafı takviye edilmiştir. PA-6 ve PPS malzemelerine ise hem karbon elyaf hem de ön kaplama yapılmış karbon elyaf değişik uzunluklarda kırılarak ayrı ayrı takviye edilmiş ve tüm kompozitler ağırlıkça %2/4/6/8/20 fiber içerecek şekilde üretilmiştir. Araştırmacı DSC testleri sonucunda uyumlaştırıcının, elyaf boyunun, elyaf oranının ve fiberlerin ön kaplama yapılmış olup olmasının  $T_m$ 'ye önemli derecede etkisinin olmadığını ve elyaf oranının düşük olduğu kompozitlerde kristallenmenin arttığını, elyaf oranının artmasıyla ise kristallenmenin azaldığını gözlemlemiştir. Yapılan sertlik deneyleri sonunda SEM ile inceleme yapan araştırmacı, fiber-matris arasındaki yapışmanın daha iyi olduğu malzemelerde sertlik değerlerinde daha iyi olduğunu ve fiber oranının artmasıyla sertliğin yine arttığını çalışmada belirtmiştir. Araştırmacı ayrıca fiber oranı arttıkça kopma dayanımında artış gözlendiğini ve fiberlere ön kaplama yapmanın kopma dayanımına önemli bir şekilde etki etmediğini sonuçlarıyla birlikte sunmuştur.

Jian Xing ve diğerleri [44], yaptıkları çalışmada PPS matrisli grafit takviyeli nanokompozitler üretmişler ve bu nanokompozitlere çeşitli testler uygulamışlardır. DSC testi sonucunda, grafit takviyesinin PPS'in kristalleşme tepe sıcaklığını ( $T_c$ ) arttırdığı ve takviyenin kristalleşmeyi hızlandırdığı gözlenmiştir. Kompozitlerin çekme özelliklerini de inceleyen araştırmacılar, partiküllerin matris içerisindeki dağılımına dikkat edilerek dayanım değerinin yaklaşık 1,5 ve modül değerinin yaklaşık 2 kata kadar arttırılabileceğini belirtmişlerdir [44].

Karen Stoeffler ve diğeri [45], PPS matris malzemesine geri dönüştürülmüş karbon fiberler takviye ederek ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişler ve elde ettikleri verileri daha önce kullanılmamış karbon fiberlerle takviye edilmiş PPS matrisli kompozitlerin verileri ile kıyaslamışlardır. Kompozitleri ağırlıkça %20 fiber ve %40 fiber içerecek şekilde üreten araştırmacılar, her iki takviye oranında da saf PPS matrisin çekme, eğilme ve darbe özelliklerinin geri dönüştürülmüş karbon fiber takviyesi ile iyileştiğini ve daha önce kullanılmamış karbon fiber takviyesi yapılmış PPS matrisli kompozitlere kıyasla daha iyi dayanım değerlerine ulaşıldığını belirtmişlerdir. Çekme modülü değerleri ağırlıkça %40 fiber içeren kompozitlerde yaklaşık aynı iken, ağırlıkça %20 fiber içeren kompozitler kendi aralarında kıyaslandığında, geri dönüştürülmüş karbon fiber takviyeli kompozitlerin çekme modülü değerlerinin bir miktar daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Bir başka çalışmada Ana M. Díez-Pascual ve Mohammed Naffakh [46], PPS malzemesine ağırlıkça %0,1/0,5/1,0 oranlarında tek duvarlı karbon nanotüp ve amin grup içeren polimer türü olan PPS-NH<sub>2</sub> kaplanmış karbon nanotüp takviyesi yaparak ürettikleri kompozitlerin termal, termomekanik ve mekanik özellikleri üzerinde araştırma yapmışlardır. Çalışmada yapılan bu takviyeler saf PPS'in modül, dayanım, camsı geçiş sıcaklığı, kristalinite oranı ve malzemenin %2 ağırlık kaybına uğradığı sıcaklık değerlerini arttırmış ve en bariz artışı ağırlıkça %1 yüzeyi PPS-NH<sub>2</sub> kaplanmış karbon nanotüp takviyesi içeren PPS kompoziti vermiştir. Araştırmacılar farklı sıcaklıklarda bu deneyleri tekrarlamışlar ve sıcaklığın artmasıyla mekanik, termal ve termomekanik özelliklerin kötüleştiğini gözlemlemişlerdir.

M. H. Cho ve diğeri [47], PPS matris malzemesine inorganik bileşik takviyesi ve mineral partikülleri takviye ederek aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Mineral partikülü olarak bentonitte kullanan araştırmacılar, bentonit takviyesi ile birlikte sürtünme katsayısı ve aşınma hacmi değerlerinde düşüş elde etmişlerdir. Bentonit takviyeli PPS kompozitleri üzerinde yapılan aşınma testinde, bentonit partiküllerinin abrazif aşınmaya sebep olduğu ve bentonit partikül boyutunun küçültülmesi ile birlikte abrazif aşınmanın etkisinin azaldığı gözlenmiştir.

Bir başka çalışmada D. Matykiewicz ve diğeri [6], bazalt fiber ve bazalt tozunu epoksi kompozitlere aynı anda takviye ederek hibrit kompozit üretmişler ve bu hibrit

etkinin malzemenin termomekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, kompozitlerde ağırlıkça sabit olarak %40 bazalt fiber kullanmışlar ve bazalt tozunu ağırlıkça %1,5/3/6 olarak değişik oranlarda takviye etmişlerdir. Ağırlıkça %1,5 bazalt tozu içeren hibritler camsı geçiş sıcaklığını arttırmış olup diğer hibritlerin camsı geçiş sıcaklığı değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Aynı zamanda en iyi çekme dayanımını sağlayan hibrit kompozit, ağırlıkça %1,5 bazalt tozu içeren hibrit olmuştur. Çalışmacılar oluşturulan hibrit etki sayesinde, tokluk, termal dayanıklılık, depo modülü ve elastisite modülü değerlerinde artış sağlamışlardır.

Mustafa Aslan ve diğerleri [5], elyaf oranının kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek istemişler ve bu sebeple bazalt elyaf takviyeli polilaktik asit kompozitleri üretmişlerdir. Bu kompozitlere bazalt elyafını ağırlıkça %20'den %50'ye kadar değişik oranlarda takviye etmişler ve üretilen her kompozit üzerinde deneyler yapmışlardır. Mekanik testler sonucunda, eğilme ve çekme modülü değerlerinin bazalt elyaf oranının artmasıyla sürekli arttığı, en iyi çekme, darbe ve eğilme dayanımının ağırlıkça %45 bazalt fiber içeren kompozitte görüldüğü çalışmada belirtilmiştir. Bunun yanı sıra bazalt elyaf oranının artmasıyla kopma uzamasının azaldığı yine çalışmada belirtilmiştir.

Çağrıalp Arslan ve Mehmet Doğan [48], çalışmalarında polibütilen tereftalat matris malzemesini bazalt fiber ile güçlendirmişler ve üç farklı kaplama ajanı kullanarak kaplama ajanlarının etkisini incelemişlerdir. Saf polibütilen tereftalat matrisine yüzeyi kaplanmış bazalt fiber takviyesi sonucunda çekme modülü, eğilme dayanımı, eğilme modülü ve kayıp modül değerlerinde artış gözlemlendiği, kopma uzaması ve  $Tan\delta$  değerlerinde düşüş gözlemlendiği buna karşın çekme dayanımı değerinde ise kayda değer bir değişimin gözlenmediği çalışmada belirtilmiştir.

Keon-Soo Jang [49], yaptığı çalışmada polikarbonat matris malzemesine değişik oranlarda bazalt fiber takviye etmiş ve oluşan kompozitlerin mekanik ve reolojik özelliklerini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda çekme dayanımı, çekme modülü, eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerlerinde artış gözleyen araştırmacı, bu değerlerin fiber oranının artmasıyla daha da arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca bazalt fiber takviyesinin, camsı geçiş sıcaklığını değiştirmediği, ancak malzemenin ısıl sapma sıcaklığı değerini arttırdığı gözlenmiştir. Bu sıcaklık değerinin artması,

malzemenin performansını daha yüksek sıcaklıklarda da devam ettirmesi anlamına gelmektedir.

Bir başka çalışmada Siwon Yu ve diğerleri [50], ağırlıkça %5, 10, 15, 20 bazalt fiber takviyeli PLA (poli(laktik asit)) kompozitlerini hem 3D yazıcı ile hem de kalıpta üretmişler ve üretilen kompozitlerin verilerini kıyaslamışlardır. Çalışmada PLA matrisine bazalt fiber takviye edilmesiyle çekme dayanımında artış ve kopma uzamasında azalma elde edilmiştir. Kalıp ile üretilen kompozitlerin dayanımları, 3D yazıcı ile üretilenlere göre %15 bazalt fiber içeren kompozitler hariç daha yüksek elde edilmiştir. Spesifik dayanım değerleri ise 3D yazıcı ile üretilen kompozitlerde genelde daha yüksek elde edilmiştir.

Fabrizio Sarasini ve diğerleri [51], yüksek yoğunluklu polietilen matris malzemesine bazalt fiber ve kenevir fiber takviyesi yapmışlardır. Bazalt fiber takviyesi sonucunda çekme modülü ve çekme dayanımı değerlerinde artış elde edilmiş ve yapıdaki fiber oranının artmasıyla bu değerlerin daha da arttığı gözlenmiştir. Kopma uzaması değerini düşüren bazalt fiber takviyesi yüzde kristalinite oranını arttırmıştır.

Guangyong Sun ve diğerleri [52], vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM) yöntemi ile 8 katlı karbon fiber kompozitleri, bazalt fiber kompozitleri ve bunların değişik oryantasyonlarını üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini inceleyen araştırmacılar, 8 katlı karbon fiber ([C]<sub>8</sub>) kompozitin çekme dayanımı, çekme modülü, eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerlerinin 8 katlı bazalt fiber kompozite ([B]<sub>8</sub>) göre daha yüksek olduğunu ancak [B]<sub>8</sub>'in kopma uzamasının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Mehmet Emin Demir ve diğerleri [53], kompozitlerin aşınma davranışlarını incelemek istemişler ve bu sebeple cam elyaf ve karbon elyaf içeren kompozitler üzerinde abrazyon aşınma testi uygulamışlardır. Deney parametrelerinden kayma hızı, kayma mesafesi ve yükü değiştirerek, bu parametrelerinde kompozitlerin aşınma davranışlarına olan etkilerini görmek isteyen araştırmacılar, yaptıkları deneyler sonucunda, cam elyaf takviyeli kompozitlerin daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduklarını, sürtünme katsayısının ve kütle kaybının kayma mesafesi, yük ve hız arttıkça arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca kütle kaybının karbon elyaf takviyeli kompozitlerde daha fazla olduğu çalışmada belirtilmiştir.

Nevin Gamze Karslı ve Ayşe Aytaç [54], fiber oranı ve uzunluğunun malzemenin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek istemişler ve bu amaçla karbon fiber takviyeli polyamid 6 kompozitleri üretmişlerdir. Araştırmacılar, 0,6/1,2/1,9 cm boylarında karbon fiberleri matris malzemesine ağırlıkça %2/4/6/8/20 oranlarında takviye ederek testlerini gerçekleştirmişlerdir. Artan fiber oranı çekme modülü, çekme dayanımı ve sertlik değerlerinde artış sağlamasına karşın kopma uzamasında düşüşe sebep olmuştur. Bununla birlikte artan fiber uzunluğu çekme modülü, çekme dayanımı ve sertlik değerlerinde önemli değişikliğe sebep olmamakla birlikte kopma uzaması değerlerinde artış sağlamıştır. Yapılan termal testler sonucunda artan karbon fiber oranının  $T_g$  ve  $T_m$  değerlerinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığı, depo modülü ve kayıp modül değerlerinde ise artışa sebep olduğu çalışmada gözlenmiştir.

Ecem Karataş ve diğerleri [55], karbon fiber, grafen nanoplatelet (GNP) ve 1,4-fenilen-bis-oksazolin (PBO) takviyeli poliamid 6,6 kompozitleri üretmişler ve üretilen kompozitlerin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Saf poliamid 6,6 matris malzemesine GNP takviyesinin sürtünme katsayısı değerinde iyileşme sağladığı ve en iyi sonucun ağırlıkça en düşük GNP takviyeli kompozitten alındığı belirtilmiştir. Bunun sebebi olarak artan takviye oranının topaklanmaya sebep olduğu gösterilmiştir. Aynı sonuç karbon fiber ve GNP takviyesinin birlikte yapıldığı hibrit kompozitlerde de gözlenmiştir. Arayüzeyi güçlendirmek için PBO takviyesi yapıldığında ise en iyi değerlere ulaşılmıştır. Poliamid 6,6 matris malzemesine karbon fiber ve GNP takviyesinin aynı anda veya ayrı ayrı yapıldığı her durumda çekme dayanımında artış sağlanmıştır. En iyi çekme dayanımı değerine ise karbon fiber, GNP ve PBO eş zamanlı takviye edildiğinde ulaşılmıştır. Aynı zamanda artan PBO takviyesi tan delta eğrisinin daha yüksek sıcaklıklara kaymasına ve pik noktasının genişliğinin artmasına neden olmuştur. Camsı geçiş sıcaklığının saf poliamid 6,6 malzemesine takviye edilen her malzeme ile arttığı ve hibrit etkinin oluşturulmasıyla en iyi değerlerin karbon fiber, GNP ve PBO içeren poliamid 6,6 hibrit kompozitinde görüldüğü çalışmada vurgulanmıştır.

Dounia Bendahou ve diğerleri [56], PLA matrisine mikro ve nano boyutlu zeolit takviyesi yapmışlar ve bu kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Zeolit takviyesinin çekme modülü ve çekme dayanımı değerlerinde bir miktar artış sağladığı



gözlenmiştir. Nanozeolitin, polietilen glikol stabilizatörü ile yapı içerisindeki dağılımını iyileştiren araştırmacılar, nanozeolit takviyeli PLA kompozitlerinde çekme modülü ve çekme dayanımı değerlerinde kayda değer artışlar gözlemlemişlerdir.

Hyun Kim ve diğerleri [57], sterik asit kaplanmış zeolit ve kaplanmamış zeolit takviyeli düşük yoğunluklu polietilen, lineer düşük yoğunluklu polietilen ve yüksek yoğunluklu polietilen kompozit filmleri üretmişlerdir. Zeolit takviyesi ile birlikte her kompozitin çekme modülü değerlerinde artış gözlenmiştir. Akma dayanımı değerlerinde de artışa neden olan zeolit takviyesi yalnızca yüksek yoğunluklu polietilen malzemesinin akma dayanım değerinde düşüşe sebep olmuştur. Kopma uzamasının da azalmasına sebep olan zeolitin, termal erime sıcaklığında önemli bir değişikliğe sebep olmadığı çalışmada gözlenmiştir.

Boon Peng Chang ve diğerleri [58], ağırlıkça %10 ve %20 zeolit takviyeli ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) kompozitlerinin tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Zeolit takviyesi sonucunda kompozitlerde çekme dayanımında düşüş gözlenmiş ve bu düşüş zayıf arayüzey bağlantısı ile ilişkilendirilmiştir. Buna karşın çekme modülü değeri zeolit takviyesi ile artmış ve kopma uzaması değeri düşmüştür. Yapılan aşınma testleri sonucunda, zeolit takviyesinin ortalama sürtünme katsayısı değerini düşürdüğü ve en düşük değer %20 zeolit takviyeli kompozite ait olduğu gözlenmiştir. Ayrıca aşınma testi sonucunda aşınan yüzeylerde SEM incelemesi yapan araştırmacılar, saf UHMWPE malzemesinin yüzeyinin daha pürüzlü olduğunu ve zeolit takviyesi ile birlikte daha pürüzsüz bir yüzeyin oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Zeolit çalışılan bir başka çalışmada ise Dóra Andrea Kajtár ve diğerleri [59], on farklı polimer malzemeye değişik oranlarda zeolit takviyesi yapmışlar ve oluşturdukları kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan matris malzemeleri; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen, polistiren (PS), iki adet yüksek darbe dayanımlı polistiren (HIPS1, HIPS2), stiren akrilonitril kopolimer (SAN), polikarbonat, polimetil metakrilat ve polivinil klorür (PVC)'dir. Kompozitlerin mekanik özellikleri incelendiğinde zeolit takviyesinin istisnasız olarak tüm kompozitlerin çekme modülü değerlerini arttırdığı ve bu modül değerlerinin zeolit oranının artmasıyla daha da arttığı

gözlenmiştir. Aynı şekilde tüm kompozitlerde ortak olarak gözlenmiş bir başka özellik ise zeolit takviyesi ile birlikte kopma uzamasının düşmesi olmuştur. Zeolit oranı arttıkça bu değerler daha da düşmüştür. Kompozitlerin çekme dayanımları incelendiğinde ise polistiren, polikarbonat, stiren akrilonitril kopolimer ve polivinil klorür matris malzemelerine zeolit takviyesiyle birlikte dayanım değerlerinin azaldığı ve artan zeolit oranıyla dayanım değerlerinin daha da azaldığı gözlenmiştir. Polipropilen'in de zeolit takviyesiyle birlikte dayanımı azalmış, yüksek ve düşük yoğunluklu polietilen ve polimetil metakrilat malzemelerinde ise zeolit takviyesinin belli bir orandan sonra dayanımda pozitif sonuç verdiği gözlenmiştir. Zeolit takviyesinin her oranında çekme dayanımında artış gözlenen yalnızca iki adet polimer malzeme çalışmada gözlenmiştir. Bu malzemeler yüksek darbe dayanımlı polistiren malzemelerdir.

Ayşe Z. Aroğuz ve diğerleri [60], bentonit takviyeli polivinilklorür kompozitlerinin morfolojik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda araştırmacılar, saf polivinilklorür'ün camsı geçiş sıcaklığının ve ısıl kararlılığının yapıya bentonit nanopartiküllerinin takviye edilmesiyle birlikte arttığını, kil takviye oranının artmasıyla ısıl kararlılığın daha da arttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte nanokompozitlerin hazırlama sıcaklığındaki değişimle birlikte morfolojik özelliklerin değiştiği ve hazırlama sıcaklığının artmasıyla polivinilklorür malzemesinin plastik özelliğinin ortaya çıktığı çalışmada belirtilmiştir.

Arief Ramadhan ve diğerleri [61], doğal kauçuk malzemeye bentonit ve kimyasal işlemlerden geçirerek elde ettikleri organobentonit takviyesi yaparak oluşturdukları kompozitlerin mekanik özelliklerini karbon siyahı içeren doğal kauçuk kompozitinin mekanik özellikleriyle kıyaslamışlardır. Organobentonit takviyeli doğal kauçuk kompozitinin, her türlü mekanik özellik yönünden takviye edilmemiş doğal kauçuk malzemeye göre üstün olduğu, %100 uzama esnasındaki modülün değişiminin karbon siyahına göre önemli ölçüde arttığı çalışmada gözlenmiştir. Organobentonitin, doğal kauçuk malzemenin elastikiyetini karbon siyahına kıyasla daha iyi önleyebildiği ve bu sebeple kopma uzaması değerinin organobentonit takviyeli kauçuk malzemelerde daha yüksek olduğu çalışmada belirtilmiştir.

Kareem A. Jassim ve diğeri [62], bentonit takviyeli epoksi kompozitlerin dielektrik, mekanik ve termal karakterini incelemek istemişler ve bunun için epoksi matrise ağırlıkça %5/10/15/20 oranlarında bentonit ilavesi yaparak çalışmada kullanılacak olan kompozit malzemeleri üretmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, ağırlıkça %20 bentonit takviyesi içeren kompozit sertlik ve çekme dayanımı açısından en iyi sonucu vermesine karşın, akma dayanımında herhangi bir oran için önemli bir değişimin olmadığı çalışmada gözlenmiştir.

Olga V. Alekseeva ve diğeri [63], hidroksietil selüloz matrise ağırlıkça %0,5/1/3/5 bentonit takviyesi yapmışlar ve ürettikleri kompozit filmler üzerinde granülometrik analiz, morfolojik analiz, FTIR analizi ve çekme deneyi yapmışlardır. En iyi çekme dayanımı ve kopma uzaması ağırlıkça %3 bentonit takviyesi sonucu elde edilmiş olup, çekme dayanımı saf matris malzemesine göre %20 oranında, kopma uzaması ise %30 oranında arttırılmıştır.

Mahadeva Raju G. K. ve diğeri [64], bentonit kili takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde çalışmışlar ve bu çalışmalarını için bentonit nanopartiküllerini ağırlıkça %2,5-10 olacak şekilde takviye etmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda ağırlıkça artan kil takviye oranıyla birlikte hem basma hem çekme modülü değerlerinde sürekli artış gözlemişlerdir. Bununla birlikte kompozitlerin çekme ve basma dayanımları incelendiğinde ağırlıkça %7,5'a kadar bentonit takviyesi dayanımları arttırırken, bu oranın üzerine çıkıldığında dayanımlarda düşüş gözlenmiş ve bu düşüşün topaklanma sebebiyle olabileceği belirtilmiştir. Yine yapılan testler sonucunda, termal bozunma sıcaklığının bentonit takviyesiyle birlikte arttığı gözlenmiştir.

M. Sarkar ve diğeri [65], ağırlıkça %5, %7,5 ve %10 bentonit içeren polipropilen kompozitlerinin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çekme dayanımı, darbe dayanımı ve tokluk değerlerini %5 bentonit içeren kompozitlerin arttırdığı gözlenirken, daha yüksek bentonit oranlarına sahip kompozitlerin özelliklerinin saf polipropilen ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Çalışmada çekme modülü değerinin ise hiçbir takviye oranında kayda değer bir değişim göstermediği görülmüştür. Artan takviye oranıyla birlikte özelliklerde herhangi bir değişimin olmaması topaklanmaya ve zayıf arayüzey etkileşimine bağlanmıştır.



### **3. MALZEMELER VE YÖNTEM**

#### **3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri**

##### **3.1.1. Karbon fiber**

Karbon fiberler düşük yoğunluğa, yüksek performans ve mekanik özelliklere sahip, maliyetli fiberler olarak bilinirler. Karbon fiberlerin birçok türü vardır ve bu fiberler genellikle sahip oldukları dayanım ve modül değerlerine göre sınıflandırılırlar. Karbon fiberler çok geniş çekme dayanımı ve Young modülü skalasına sahiptirler. Ultra yüksek modüllü, yüksek modüllü, yüksek dayanımlı, orta modüllü gibi çeşitleri vardır. Üstün mekanik özelliklere ve yüksek performansa sahip bu fiberlerin bazı avantajları şunlardır [1];

1. Yüksek modül ve dayanım değerlerine sahiptirler.
2. Düşük yoğunluğa sahiptirler.
3. Korozyona ve yorulmaya karşı dayanımlıdırlar.
4. Spesifik modül ve dayanım değerleri yüksektir.

Karbon fiberler temel olarak üç malzemeden üretilir ve bunlar poliakrilonitril (PAN), zift ve rayondur. Bu sebeple karbon fiberler PAN bazlı, zift bazlı ve rayon bazlı olarakda sınıflandırılabilirler. PAN bazlı karbon fiberler diğer fiberlere göre daha yüksek dayanım ve modül değerlerine sahiptirler ve bu sebeple daha çok tercih edilmektedirler. Zift bazlı karbon elyaflar ise PAN bazlı elyaflara göre daha kırılgandırlar ve daha pahalıdırlar [1,3].

Karbon fiberler üstün özelliklerinden dolayı yaygın kullanım alanlarına sahiptirler. Maliyetin öncelikli olmadığı, yüksek performans ve hafifliğin bir arada arandığı uygulamalarda akla ilk gelen malzemelerdir ve sağladıkları bu üstün özelliklerden dolayı uzay, havacılık, savunma, otomotiv, denizcilik, spor gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar [1].

Tablo 3.1’de karbon fiberlerin türlerine göre mekanik özelliklerinin değer aralıkları verilmiştir.

Tablo 3.1. Karbon fiberlerin mekanik özelliklerinin değer aralıkları [1]

	PAN bazlı			Zift bazlı			
	OM	YM	UYM	DM	OM	YM	UYM
<b>Yoğunluk</b> g/cm <sup>3</sup>	1,73	1,76	1,77	1,65	1,70	2,00	2,00
	1,93	1,80	1,78		1,85		2,19
<b>Çekme Modülü</b> GPa	221	303	540	54	110	380	500
	296	475	588		155	490	920
<b>Çekme Dayanımı</b> MPa	3530	2740	3920	1100	1400	2000	2000
	6370	6964	4020		2400	2100	3830
<b>Kopma Uzunluğu</b> %	0,7	1,8	0,91	2,0	1,0	0,4	0,3
	2,2	2,1	1,75		1,6	0,6	0,7
<b>Spesifik Çekme Modülü</b> GPa/ρ	124,4	170,2	305,1	32,7	54,7	245,0	247,6
	166,3	265,4	330,3		83,8		420,1
<b>Spesifik Çekme Dayanımı</b> GPa/ρ	1,5	2,4	1,8	0,7	1,0	1,0	1,0
	3,5	3,9	2,4		1,3		1,8

### 3.1.2. Bazalt fiber

Günümüzde uygun maliyetli, yüksek performanslı ve çevreye zararı olmayan malzemelerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bazalt fiberlerde bu sebeplerden dolayı hem akademik çalışmalar hem de endüstriyel alanlarda büyük ilgi görmektedir. Bazalt fiberler, yeryüzünde rahatlıkla bulunabilen bazalt kayasından elde edilirler. Yüksek mekanik özelliklere, yüksek sıcaklık dayanımına ve yüksek kimyasal dirence sahip bazalt fiberler aynı zamanda çevre dostudur [7,66].

Üretimleri cam fiberlere benzeyen bazalt fiberler, bazalt kayalarının yıkandıktan sonra 1450°C’de eritilmesi sonucu elde edilirler. Erimiş olan bazalt, yüzlerce deliği olan bir elekten geçirilir ve bir merdane üzerine çekilirler. Bazalt fiberlerin üretiminde daha az enerji harcanır ve üretim esnasında herhangi bir kimyasala ihtiyaç duyulmaz. Bu sebeple cam fiberlere göre maliyetleri daha uygundur [66,67].

Bazalt fiberler silisyum, alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum oksitleri içeren sodyum aluminosilikat malzemelerdir. Bu sebeple bazalt fiberlerin üretildiği bazalt kayalarının kimyasal bileşimi ve kalitesi, doğrudan fiberlerin kalitesini, mekanik ve termal özelliklerini etkilemektedir [66,67].

### **3.1.3. Bentonit**

Bentonit bir kil minerali olan montmorillonit esaslı kaya olarak kısaca tanımlanabilir. Yapısında montmorillonit dışında feldispat, biotit, kaolinit, kristobalit, piroksen ve kristalin kuvars içerebilir. Kil minerallerinin karışımı olan bentonitin moleküler formülü verilememektedir [68].

Bentonite dokunulduğunda kaygan bir yapı hissedilir. Yüksek kapasitede su emebilirler, yeryüzünde kolayca bulunabilirler ve düşük maliyetlidirler. Bu sebeplerinden dolayı endüstride kullanımları yaygınlaşmaktadır ve sızdırmazlık amacıyla kullanılabilirler. Bentonit, takviye edildiği kompozitin gevrekliğini arttırarak, süneklik kaybına sebep olabilir. Ayrıca su emme kabiliyetinden dolayı mekanik özelliklerde düşüşe sebep olabilmektedir [68,69].

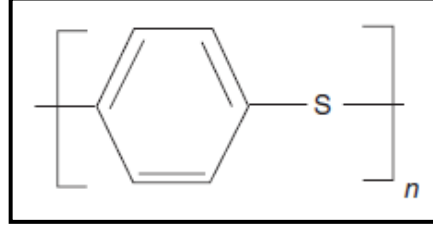
### **3.1.4. Zeolit**

Zeolitler alüminyum ve silis içeren minerallerin reaksiyonları sonucu oluşmuş, nanogözenekli kristal malzemelerdir. Isıtıldıklarında patlayarak dağılırlar. Deterjanlarda, katalizör üretiminde, nem çekici üretiminde sıkça kullanılırlar. Buradan da anlaşılacağı üzere adsorbsiyon yapabilme ve iyon değiştirebilme özellikleri vardır. Ayrıca küçük gözenek yapıları ve hafiflikleri sebebiyle kullanımları günümüzde yaygınlaşmaktadır. Kullanım alanları genel olarak şu şekilde sayılabilir; Madencilik, enerji, tarım, kirlilik kontrolü, sağlık, inşaat, deterjan vb. [70,71].

Zeolitler dünyada ve ülkemizde büyük rezerve sahiptirler. Dolayısıyla kolay bulunabilirler ve ucuzdurlar. Bu da kompozit malzemelerde partikül takviyesi olarak alternatif olabilirler mi sorusunu akla getirmektedir. Polimer matrislere zeolit takviyesinin yapılmasının, polimerin kristallenme davranışını, aşınma davranışını ve mekanik özelliklerini pozitif yönde etkilediği literatürde yer alan çalışmalarla kanıtlanmıştır [58,70,71].

### 3.1.5. Poli(fenilen sülfid)

Poli(fenilen sülfid), Şekil 3.1’de belirtilen birimin tekrarıyla oluşan yarıkristalin ve aromatik fenil halkalarından oluşan bir polimerdir [3,4,20].



Şekil 3.1. PPS’nin tekrarlanan birimi [4]

Yüksek performanslı yarı kristalin yapıya sahip PPS’nin başlıca özellikleri [3,4,20];

1. Düşük nem emme özelliğine sahiptir,
2. Yüksek sıcaklıklarda dahi özelliklerini korur,
3. Yoğunluğu 1,35-1,4 g/cm<sup>3</sup> arasındadır,
4. Erime prosesi için gerekli sıcaklığı 300°C ile 345°C arasında değişmektedir,
5. Camsı geçiş sıcaklığı 85°C civarındadır,
6. Mükemmel kimyasal dirence sahiptir.

Ticona (Fortron®) ve Chevron Philips (Ryton®) en bilinen PPS üretici firmalarıdır. PPS polimeri üretimi yapılırken kalıplanabilmesi, ekstrüde edilebilmesi ve yüksek toleranslarda işlenebilmesi açısından avantajlıdır. PPS, elektrik, elektronik, otomotiv, bilgisayar gibi alanlarda ve mekanik güç, kimyasal direnç, ısıl kararlılık gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir [3,20].

### 3.1.6. Çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri

Tez kapsamında kullanılan malzemelerin adları, üretici firmaları ve temel özelliklerinin yer aldığı bilgiler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri

MALZEME	ÜRETİCİ FİRMA (TİCARİ ADI)	ÜRÜN ÖZELLİKLERİ
---------	-------------------------------	------------------



Zeolit	Rota Madencilik A.Ş.	Yoğunluk 2,3 g/cm <sup>3</sup> Erime sıcaklığı 1300°C Sertlik 2-3 Mohs
Bazalt Fiber	Tila Kompozit	Kırılmış, Ortalama uzunluk 3 mm Çekme modülü 89 GPa Yoğunluk 2,8 g/cm <sup>3</sup>
Bentonit	Samaş Sanayi Madenleri A.Ş.	Yüksek şişme kapasitesi, Suyla karıştırıldığında dağılır, topaklanma yapmaz
Karbon Fiber	Dow Akxa (AKSACA™)	Yoğunluk 1,76 g/cm <sup>3</sup> Çekme modülü 240 GPa Çekme dayanımı 4200 MPa Kırılmış, Ortalama uzunluk 6 mm
Poli(fenilen sülfid) (PPS)	Ticona (FORTRON® 1200L1)	Yoğunluk 1340 kg/m <sup>3</sup> Çekme modülü 4 GPa Çekme dayanımı 88 MPa Camsı geçiş sıcaklığı 90°C Erime sıcaklığı 275°C

### 3.2. Kompozitlerin Üretilmesi

Çalışmada yer alan kompozitlerin üretimi “DSM Xplore” marka aynı yönde dönen konik çift vidalı mini ekstrüder ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. “DSM Xplore”  
marka mini ekstrüder

Kalıplama işlemi için “DSM Xplore” marka enjeksiyonla kalıplama cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. “DSM Xplore” marka enjeksiyonla kalıplama cihazı

Kompozitler üretilmeden önce malzemeler istenilen ağırlıklarda beslemeye hazır olacak şekilde hazırlanmış ve birbirlerine karıştırılmışlardır. Hazırlanan karışımlar ekstrüdere besleme hunisi yardımı ile beslenmiş ve ekstrüder içerisinde iyice karışarak eriyik hale getirilmiştir. Bu harmanlama işlemi sırasında besleme süresi 1 dakika ve karıştırma süresi 3 dakika olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu işlemde kovan sıcaklığı 310°C ve vida hızı 100 rpm'dir. Ekstrüderde iyice karışan ve erimiş olan malzeme, enjeksiyon cihazı ile kalıba basılmış ve kalıptan numuneler alınmıştır. Bu işlem sırasında enjeksiyon cihazının hazne sıcaklığı 310°C, kalıp sıcaklığı 25°C ve enjeksiyon basıncı 10 bar olarak ayarlanmıştır. Tez kapsamında yer alan her numune için bu üretim şartları geçerlidir.

### 3.2.1. Kompozitlerin karışım oranları

Tez kapsamında üzerinde çalışılmış olan kompozitlerin karışım oranları ve kodları Tablo 3.3'te verilmiştir. 12 adeti hibrit olmak üzere toplamda 20 adet kompozit üzerinde çalışılmıştır.

Numunelerin kodlamaları basit bir mantığa dayanmaktadır ve açıklamak gerekirse, “BF” bazalt fiberi, “CF” karbon fiberi, “B” bentoniti ve “Z” zeoliti ifade etmektedir. Fiberlerin ağırlıkça oranı her kompozitte aynı olduğu için başlarında takviye oranları yer almazken, partiküllerin başlarındaki rakamlar takviye oranını ifade etmektedir.

Tablo 3.3. Çalışmada yer alan kompozitlerin karışım oranları ve kodları

Numune Kodu	Ağırlıkça Oran (%)				
	PPS	Karbon F.	Bazalt F.	Bentonit	Zeolit
PPS	100	0	0	0	0
PPS_1B	99	0	0	1	0
PPS_5B	95	0	0	5	0
PPS_10B	90	0	0	10	0
PPS_1Z	99	0	0	0	1
PPS_5Z	95	0	0	0	5
PPS_10Z	90	0	0	0	10
PPS_BF	90	0	10	0	0
PPS_CF	90	10	0	0	0
PPS_BF_1B	89	0	10	1	0
PPS_BF_5B	85	0	10	5	0
PPS_BF_10B	80	0	10	10	0
PPS_CF_1B	89	10	0	1	0
PPS_CF_5B	85	10	0	5	0
PPS_CF_10B	80	10	0	10	0
PPS_BF_1Z	89	0	10	0	1
PPS_BF_5Z	85	0	10	0	5
PPS_BF_10Z	80	0	10	0	10
PPS_CF_1Z	89	10	0	0	1
PPS_CF_5Z	85	10	0	0	5
PPS_CF_10Z	80	10	0	0	10

### 3.3. Kompozitlerin Karakterizasyonu

Tez kapsamında çalışılan kompozitlerin tümünün matris malzemesi PPS'dir. Matris malzemesi ortak olduğu için, kompozitlerin karakterizasyonun belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler ve deney şartları tüm kompozitler için aynıdır. Bu bölümde kompozitlere uygulanan testler ve test koşulları anlatılmıştır.

#### 3.3.1. Çekme testi

ISO 527-2/5A standardına uygun olarak üretilen numunelerin çekme özelliklerini belirlemek için "Instron 4411" marka çekme cihazı kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında, 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiş ve her oryantasyon için deney 5 kez tekrar edilmiştir. Veriler "Instron Bluehill" programı kullanılarak değerlendirilmiş ve tez kapsamında kullanılmak üzere her oryantasyonun çekme dayanım değerleri hesaplanmıştır. Çekme deneyi için kullanılan cihaz Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. “Instron 4411”  
marka çekme cihazı

### 3.3.2. Adhezif aşınma deneyi ve aşınma oranının hesaplanması

Kompozit numunelerinin aşınma deneyleri pin-on-disk test cihazı (Nanovea Tribometer) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yük koluna 3 mm yarıçaplı seramik küre sabitlenip, dönen disk üzerine kompozit numuneleri bağlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm aşınma testlerinde deney parametreleri sabit tutulmuştur ve bu parametreler kayma mesafesi 100 m, yük 30 N, sürtünme yarıçapı 4 mm ve disk dönme hızı 150 rpm olarak belirlenmiştir. Seramik küre ile numuneler arasındaki ortalama sürtünme katsayısı test süresince ölçülmüş ve “Nanovea Tribometer Software” programı ile kayıt altına alınmıştır. Şekil 3.5’te deneylerde kullanılan aşınma test cihazı gösterilmiştir.

Aşınma oranının hesaplanması için aşındırılan numuneler “Nikon SMZ 745T” mikroskobu yardımıyla incelenerek aşınma izinin dış çapı ve iç çapı belirlenmiştir. Aşınma izinin dış ve iç çapları belirlendikten sonra aşınma oranı formüller yardımı ile hesaplanmıştır. Aşınma oranı formülleri (Denklem (3.1) ve (3.2)), “Nikon SMZ 745T” cihazı (Şekil 3.6) ve aşınma izi ölçülen bir numune (Şekil 3.7) örneği bir sonraki sayfada verilmiştir.



Şekil 3.5. Pin-on-disk test cihazı (Nanovea Tribometer)

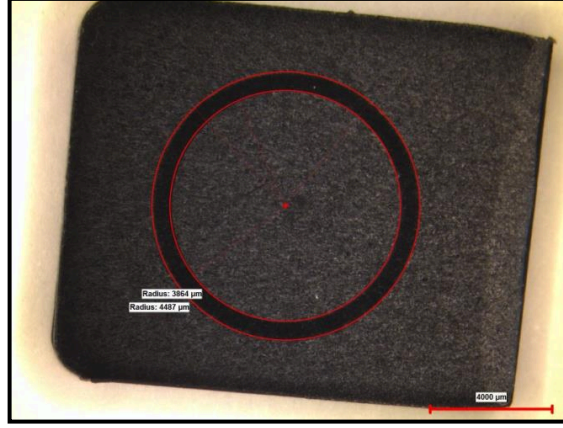
$$V = (\pi \cdot R \cdot D^3) / (6 \cdot r) \quad (3.1)$$

$$k = V / (L \cdot X) \quad (3.2)$$

Buradaki formüllerde  $V$  aşınma hacmi ( $\text{mm}^3$ ),  $R$  sürtünme yarıçapı ( $\text{mm}$ ),  $D$  aşınma izi genişliği ( $\text{mm}$ ),  $r$  aşındırıcı küre yarıçapı ( $\text{mm}$ ),  $L$  yük ( $\text{N}$ ),  $X$  kayma mesafesi ( $\text{m}$ ),  $k$  aşınma oranı ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ )'dir.



Şekil 3.6. "Nikon SMZ 745T" optik mikroskobu



Şekil 3.7. Aşınma izi ölçülmüş örnek bir numune

### 3.3.3. Dinamik mekanik analiz

Dinamik mekanik analiz, “TA Instruments Q800” model test cihazı (Şekil 3.8) ile üç nokta eğme modunda gerçekleştirilmiştir. Deney, kompozit numunenin tutucular arasına yerleştirildikten sonra fırına kapatılmasıyla gerçekleştirilir. Deney parametreleri şunlardır; genlik 35 µm, frekans 1 Hz, sıcaklık aralığı 25°C’den 145°C’ye, ısıtma oranı 2°C/dk.

Deney verileri test süresince kayıt altına alınmış olup test bittikten sonra sıcaklığa bağlı olarak depo modülü ve tan delta grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 3.8. “TA Instruments Q800” model DMA cihazı

### 3.3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre

“TA Instruments-Q200” model DSC test cihazı (Şekil 3.9), üretilen kompozit numunelerinin sıcaklığa bağlı yapısal özelliklerinin analizleri için kullanılmıştır. Ölçümler 25°C ve 340°C aralığında, dakikada 5°C artış sağlanarak yapılmıştır. Deney süresince veriler, bilgisayar yardımı ile izlenmiş ve kaydedilmiştir. Test sonucunda camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), erime sıcaklığı ( $T_m$ ), soğuk kristalleşme derecesi ( $T_c$ ), soğuk kristalleşme entalpisi ( $\Delta H_c$ ), füzyon ısısı ( $\Delta H_m$ ) ve yüzde kristalinite ( $\%X_c$ ) değerleri hesaplanmıştır. Yüzde kristalinite hesabında kullanılan formül Denklem 3.3'te verilmiştir.

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_m - \Delta H_c}{(1 - \omega_{f/p}) \cdot \Delta H_m^0} \times 100 \quad (3.3)$$

Formülde  $\Delta H_m^0$  saf PPS'in füzyon ısısı değerini,  $\omega_{f/p}$  ise numunede yer alan toplam fiber ve partikülün ağırlık oranını simgeler.



Şekil 3.9. “TA Instruments-Q200” model DSC test cihazı

### 3.3.5. Termogravimetrik analiz

Numunelerin ısıl kararlılık özelliklerinin belirlenmesi için TGA, “TA Instruments-Q50” model test cihazı (Şekil 3.10) ile yapılmıştır. Numunelerin testleri, nitrojen atmosferinde dakikada 20°C sıcaklık artışı sağlanarak ortam sıcaklığından 700°C'ye kadar ısıtılarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığa bağlı ağırlık kaybı grafikleri test

sonucunda çizilerek, numunenin %5 ve %10 ağırlık kaybı yaşadığı sıcaklıklar tez kapsamında karşılaştırılmak üzere kaydedilmiştir.



Şekil 3.10. “TA Instruments-Q50” model TGA test cihazı

### 3.3.6. Taramalı elektron mikroskobu

Çekme ve aşınma testi gerçekleşen numunelerin yüzeylerinin ve hasar mekanizmalarının incelenmesi adına “JEOL JCM-6000” modeli masa üstü taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. SEM analizi yapılacak numunelerin yüzeyleri, inceleme yapılmadan önce altın kaplanmıştır.



Şekil 3.11. “JEOL JCM-6000” model SEM cihazı



## 4. BULGULAR

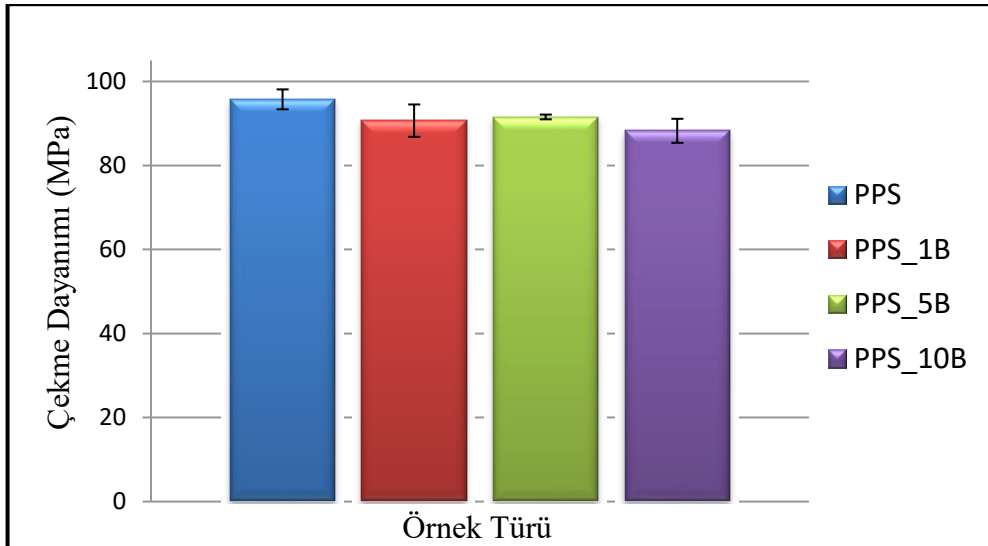
Tez çalışması kapsamında yapılan analizlerin sonuçlarının yer aldığı bu bölümde ayrıca analiz sonuçlarının yorumları da yer almaktadır. Doğal mineral takviyeli kompozitlerin, fiber takviyeli kompozitlerin ve hibrit kompozitlerin deney sonuçları olmak üzere üç alt başlıkta analiz sonuçları ve sonuçların yorumları paylaşılmıştır. Bununla birlikte her bir bölümde sırasıyla çekme testi, TGA, DMA, DSC ve aşınma testi sonuçları sunulmuştur.

### 4.1. Doğal Mineral Takviyeli Kompozitlerin Deney Sonuçları

#### 4.1.1. Çekme testi sonuçları

##### 4.1.1.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

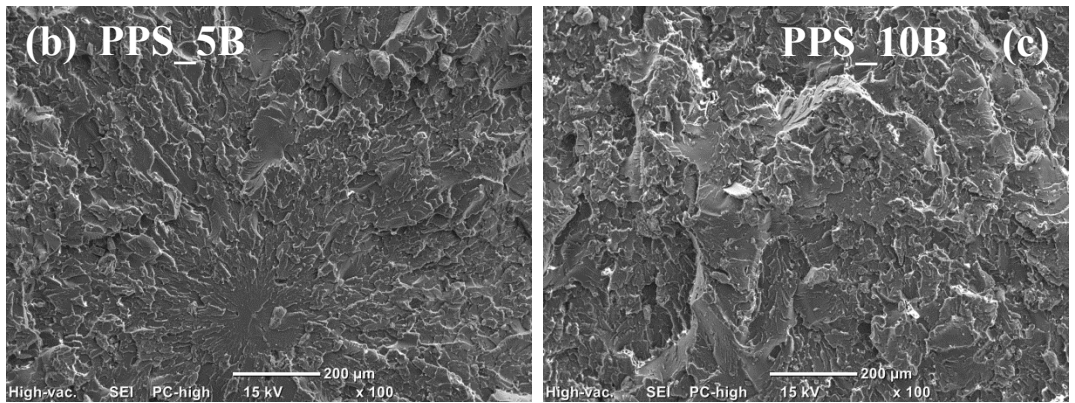
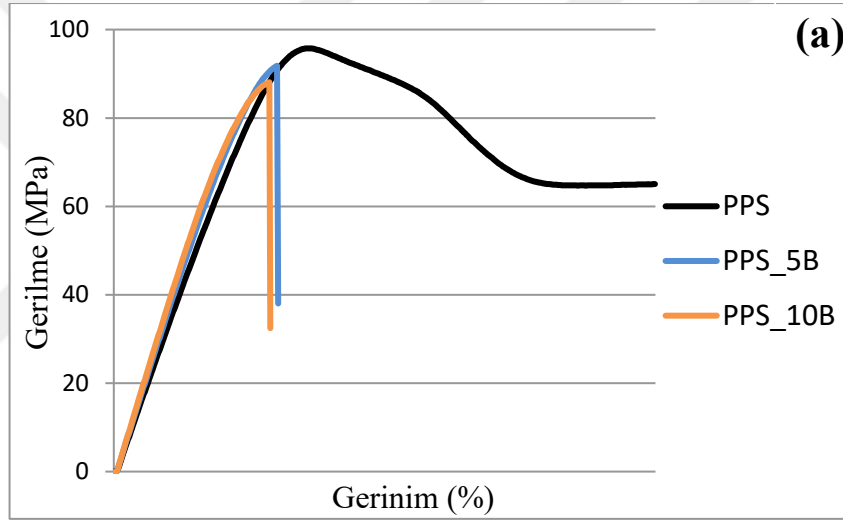
Ağırlıkça değişen oranlarda bentonit partikülleri ile takviye edilen PPS kompozitlerinin çekme deneyi ile mekanik özellikleri araştırılmış ve çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanım değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin çekme dayanım değerleri

Şekil 4.1 incelendiğinde, yüksek mekanik özelliklere sahip PPS matrisine bentonit ilavesinin, çekme dayanım değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Ağırlıkça %1 ve

%5 bentonit takviyesi içeren PPS kompozitlerinin dayanım değerleri arasında önemli bir fark gözlenmemesine karşın, saf PPS polimerine göre dayanım değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Takviye oranının %10'a çıkarılmasıyla dayanım değerinde saf PPS'in dayanımına göre daha net bir düşüş gözlenmiştir. Çekme dayanımındaki düşüşün temel olarak iki sebebi olabilir; birinci sebep partiküllerin matris içerisine dağılımının homojen olmaması ve bir bölgede kümelenerek topaklanmaları [21,72,73,74], ikinci sebep ise partiküller ile matris arasında oluşan arayüzeyin güçsüz olması söylenebilir [21,74]. Ağırlıkça %10 bentonit takviyesindeki keskin düşüşün sebebi olarak partiküllerin artan takviye oranıyla birlikte topaklanma eğilimlerinin artması söylenebilir.



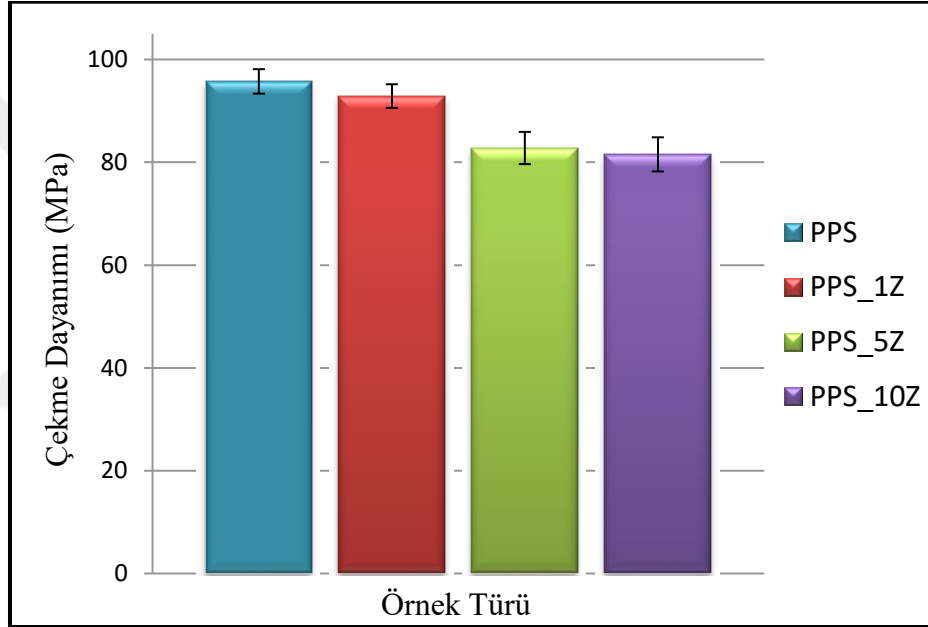
Şekil 4.2. Bentonit takviyeli kompozitlerin (a)gerilme-gerinim grafiği ve (b-c) kırılma yüzeyleri

Şekil 4.2(a)'da, bentonit takviyeli kompozitlerin gerilme-gerinim grafiği verilmiştir ve grafikte bentonit takviyesi sonucunda PPS'in sünek davranışının azalarak gevrek

kırıldığı görülmektedir. Bununla birlikte bentonit oranının artması, gerinim değerinde de azalmaya sebep olmuştur. Çekme deneyi sonucunda kırılan yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 4.2(b-c)), bentonit takviyeli kompozit malzemelerin gevrek kırılma yüzeyleri görülmektedir.

#### 4.1.1.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

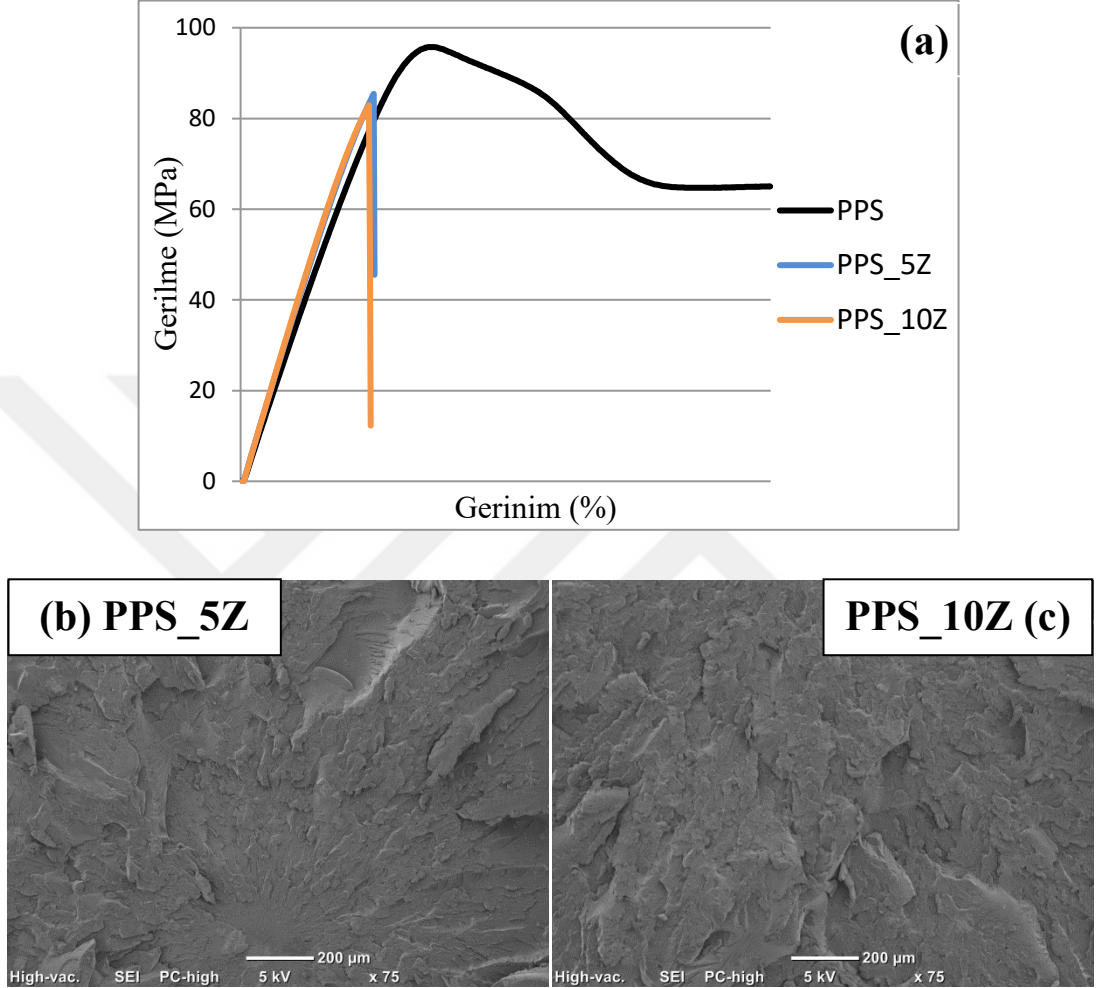
Ağırlıkça değişen oranlarda zeolit partikülleri ile takviye edilen PPS kompozitlerinin çekme deneyi ile mekanik özellikleri araştırılmış ve çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Zeolit takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.3 incelendiğinde, zeolit takviyesinin PPS'in çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Bu düşüş bariz bir şekilde, özellikle ağırlıkça %5 ve %10 zeolit içeren kompozitlerde görülmektedir. Bu sonuç, zeolit ile PPS arasında zayıf bir etkileşimin olduğunu gösterir [58,59]. Ayrıca zeolit takviyesinin artan takviye oranıyla birlikte çekme dayanımında gerçekleşen keskin düşüş, topaklanma sebebi ile gerçekleşmiş olabilir. Bununla birlikte partikül takviyesinin rijit polimerleri, daha yumuşak polimere göre daha az desteklediği bilinmektedir [59]. Yüksek performansa ve yüksek mekanik özelliklere sahip olan PPS'in, zeolit takviyesiyle dayanımının düşmesinin bir diğer sebebi de bu gösterilebilir.

Şekil 4.4(a)'da ağırlıkça %5 ve %10 zeolit içeren PPS matrisli kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri ve çekme testi sonucunda kırılan yüzeylerin SEM görüntüleri Şekil 4.4(b-c)'de görülmektedir.

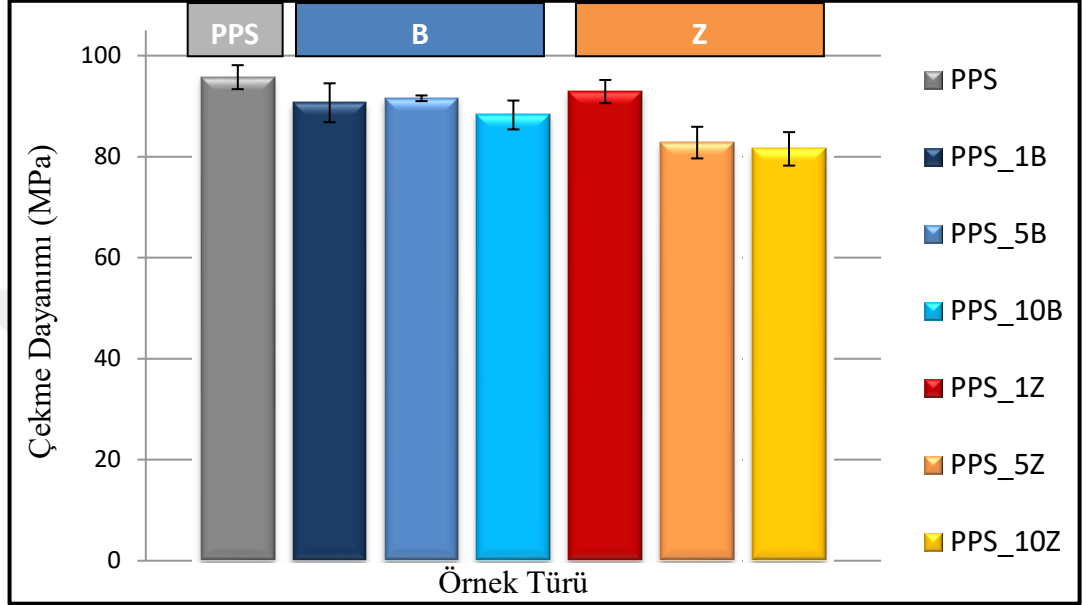


Şekil 4.4. Zeolit takviyeli kompozitlerin (a)gerilme-gerinim grafiği ve kırılma yüzeyleri (b)PPS\_5Z ve (c)PPS\_10Z

Şekil 4.4(b-c) incelendiğinde, zeolit takviyeli kompozitlerin çekme deneyi sonucunda kırılan yüzeylerinin SEM görüntüleri görülmektedir. Görüntülere bakıldığında malzemelerin gevrek kırıldıkları görülmektedir. Bu durum, gerilme-gerinim grafiklerinde görülen kopma uzamasının ani düşmesi yani ani kırılma sebebiyle beklenen bir durumdur. Bentonit takviyeli kompozitlerle benzer kırılma davranışı gösteren zeolit takviyeli kompozitlerin SEM görüntülerinde, bentonit takviyeli kompozitlere nazaran daha düzgün ve pürüzsüz kırılma yüzeylerinin oluştuğu görülmüştür.

#### 4.1.1.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarının karşılaştırılması

Tez kapsamında üzerinde çalışılan bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları bir arada Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin çekme sonuçlarının karşılaştırılması

Bentonit ve zeolit takviyelerinin, saf PPS'in dayanım değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Partikül takviyesi sonucunda çekme dayanımının düşmesi, akla ilk olarak zayıf matris partikül yapışmasını getirir. Yapışmanın etkili olmadığı durumda, matris içerisindeki partiküller yük taşıma görevini yerine getiremezler ve malzeme içerisinde boşluk gibi davranırlar. Bu da yapı içerisinde kusur bulunması, gerilme yığılmalarının olması ve kesit alanının azalması anlamına gelir. Çatlak başlaması ve çatlağın ilerlemesi, böylece daha kolay hale gelir ve malzeme dayanım değerleri düşer [20,75,76]. Ayrıca önceki başlıklar altında değinilen, topaklanma ve partiküllerin yapı içerisine homojen olarak dağılmaması, partikül takviyesinin çekme dayanımı değerini düşürmesinin diğer sebepleridir.

Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin dayanım değerlerinin, saf PPS'in dayanım değerine göre gösterdikleri düşüşlerin oranları Tablo 4.1'de verilmiştir. Bentonit ve zeolitin takviyesiyle elde edilen kompozitlerin dayanım değerleride birbirinden farklıdır. Örneğin %5 bentonit içeren PPS kompozitinin dayanım değeri, %5 zeolit

içeren PPS kompozitinin dayanım değerinden daha fazladır. Buradaki farkın sebebi olarak, bentonit partiküllerinin PPS matrisi ile zeolite nazaran daha iyi yapışma göstermesi söylenebilir [74]. Ayrıca bentonit ve zeolit partiküllerinin içerdikleri bileşiklerin oranlarının farklılığı, dolayısıyla yapısal özelliklerinin farklı olması bunun en temel sebebidir.

Tablo 4.1. Partikül takviyeli kompozitlerin dayanım değerlerinin azalma oranları

	% Azalma
<b>PPS_1B</b>	-5,3
<b>PPS_5B</b>	-4,37
<b>PPS_10B</b>	-7,82
<b>PPS_1Z</b>	-2,98
<b>PPS_5Z</b>	-13,53
<b>PPS_10Z</b>	-14,83

#### 4.1.2. TGA sonuçları

##### 4.1.2.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları

Bentonit takviyeli kompozitlerin, ısıl kararlılık özelliklerinin incelenmesi için yapılan TGA sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Bentonit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları

	T <sub>5%</sub> (°C)	T <sub>10%</sub> (°C)
<b>PPS</b>	496,71	510,16
<b>PPS_1B</b>	502,54	514,87
<b>PPS_5B</b>	503,31	514,78
<b>PPS_10B</b>	503,15	515,86

Tablo 4.2’den de görülebileceği üzere, bentonit ilavesinin saf PPS’in ısıl kararlılık özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Bentonit ilavesinden sonra, malzemenin %5 ve %10 ağırlık kaybına uğradığı sıcaklık değerleri artışa geçmiştir. Aynı zamanda bentonitin ağırlıkça %1 veya %10 olarak takviye edilmesinin, kompozitlerin %5 ve %10 ağırlık kaybına uğradığı sıcaklık değerleri arasında önemli bir değişime neden olmadığı gözlenmiştir. Bozunma sıcaklıklarının bentonit takviyesiyle birlikte artması, PPS’in segmental hareketinin bentonit takviyesiyle

kısıtlanmasıyla ve bentonitin gaz atmosferinde analizi yapılan malzeme yapısından molekül veya parçacıkların taşınmasını engelleyici bariyer görevi görerek gaz geçirgenliğini azaltmasıyla açıklanabilir. Kil takviyesi sonucunda genellikle ısı kararlılık özelliklerinin artması beklenen bir durumdur ve bunun sebebi kil partiküllerinin gaz atmosferine karşı bariyer etkisi görmesinden kaynaklanmaktadır. Böylelikle kompozitin bozunmasına sebep olacak olan gazlar, kil partiküllerini aşmak zorunda kalmaktadırlar ve gazın alması gereken ortalama yol uzunluğu artmaktadır [20,23,28,77]. Kompozitlere takviye edilen kil partikülleri, uçucu olan parçalanma ürünlerine karşı bariyer etkisi gösterir. Yapı içerisinde gaz geçirgenliğinin azalması bu sebeple ısı kararlılığı artırır [23,28]. Bentonit takviyesinin bozunma sıcaklıklarını artırması bu sebeplerle açıklanabilirken, bentonit oranının artmasına karşın bozunma sıcaklıklarının bariz bir değişim göstermemesi ise, bentonit oranının artmasına karşın bentonit-matris arayüzey etkileşiminin aynı düzeyde artmaması ve topaklanma ile açıklanabilir [64]. Bu sonuçlar literatürde yer alan birçok çalışma ile uyum göstermektedir [23,29,60,64].

#### 4.1.2.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları

Zeolit takviyeli kompozitlerin, ısı kararlılık özelliklerinin incelenmesi için yapılan TGA sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları

	T <sub>5%</sub> (°C)	T <sub>10%</sub> (°C)
<b>PPS</b>	496,71	510,16
<b>PPS_1Z</b>	503,84	516,77
<b>PPS_5Z</b>	502,55	516,18
<b>PPS_10Z</b>	497,2	512,26

Tablo 4.3 incelendiğinde, zeolit takviyesinin, malzemenin %5 ve %10 ağırlık kaybına uğradığı sıcaklık değerlerini arttırdığı görülmektedir. Bu veriler, zeolit takviyesiyle birlikte malzemenin ısı kararlılık özelliklerinin iyileştiği sonucunu göstermektedir. Bununla birlikte zeolit takviyesinin ağırlıkça %10 olduğu kompozitlerde, bozunma sıcaklığı derecesi saf PPS'ye göre artmış olmasına karşın, %1 ve %5 takviye içeren kompozitlere göre düşmüştür. Zeolit takviyesinin, bozunma sıcaklık derecelerinde artışa sebep olması, kil takviyelerinin geneli için söylenen, gaz geçirgenliğinin

azalmasıyla açıklanabilir [24,26,28]. Zeolit takviye oranının artmasıyla bozunma sıcaklığının aynı oranda artmaması, aksine düşük takviye oranlarına göre azalması, zeolit partiküllerinin homojen dağılamaması ve topaklanmaya bağlanabilir [27].

#### 4.1.2.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 4.4. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları

	T <sub>5%</sub> (°C)	T <sub>10%</sub> (°C)
<b>PPS</b>	496,71	510,16
<b>PPS_1B</b>	502,54	514,87
<b>PPS_5B</b>	503,31	514,78
<b>PPS_10B</b>	503,15	515,86
<b>PPS_1Z</b>	503,84	516,77
<b>PPS_5Z</b>	502,55	516,18
<b>PPS_10Z</b>	497,2	512,26

Tablo 4.4'te bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları bir arada verilmiştir. Bentonit ve zeolit takviyesinin ısı kararlılık özellikleri üzerindeki etkisi daha önceki başlıklar altında yorumlanmıştı. Burada ise mineral takviyesi olarak kullanılan bu iki partikülün, PPS malzemesine etkilerinin farkı tartışılmıştır. Ağırlıkça %1 ve %5 takviye oranına sahip kompozitler kıyaslandığında, zeolit takviyesinin bentonit takviyesine kıyasla bir miktar daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Doğal mineral partiküllerinin termal özellikler üzerinde yarattıkları farkların temel sebepleri olarak partikül boyutunun farklılığı, yapı içerisine dağılımın daha iyi olması ve içerdikleri organik ve inorganik bileşik miktarları gösterilmektedir [23,27,78]. Ağırlıkça %10 partikül içeren kompozitlere bakıldığında ise, bentonit takviyesinin zeolite nazaran daha iyi matris-partikül yapışması gösterdiği veya zeolitin topaklanarak istenilen özellikleri sağlayamadığı söylenebilir [27].

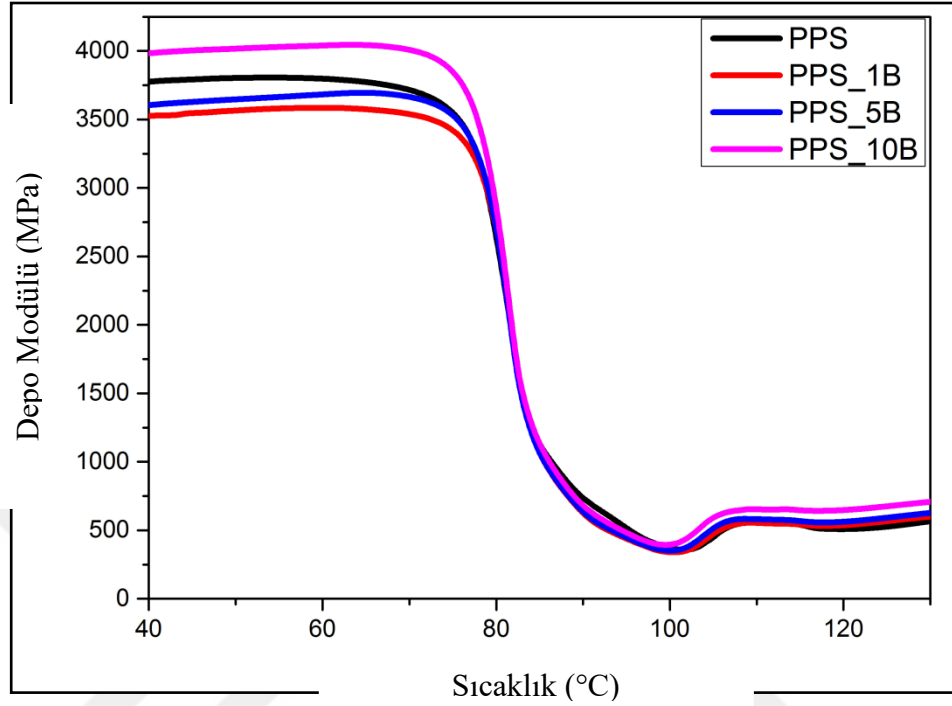
#### 4.1.3. DMA sonuçları

##### 4.1.3.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin DMA sonuçları

DMA, sıcaklık ve gerilme altında malzemelerin davranışlarının belirlenmesi için yapılan bir analizdir ve analiz sonucunda depo modülü, tan delta gibi önemli parametreleri sıcaklığa bağlı olarak verir. Depo modülü malzemenin yük altında daha

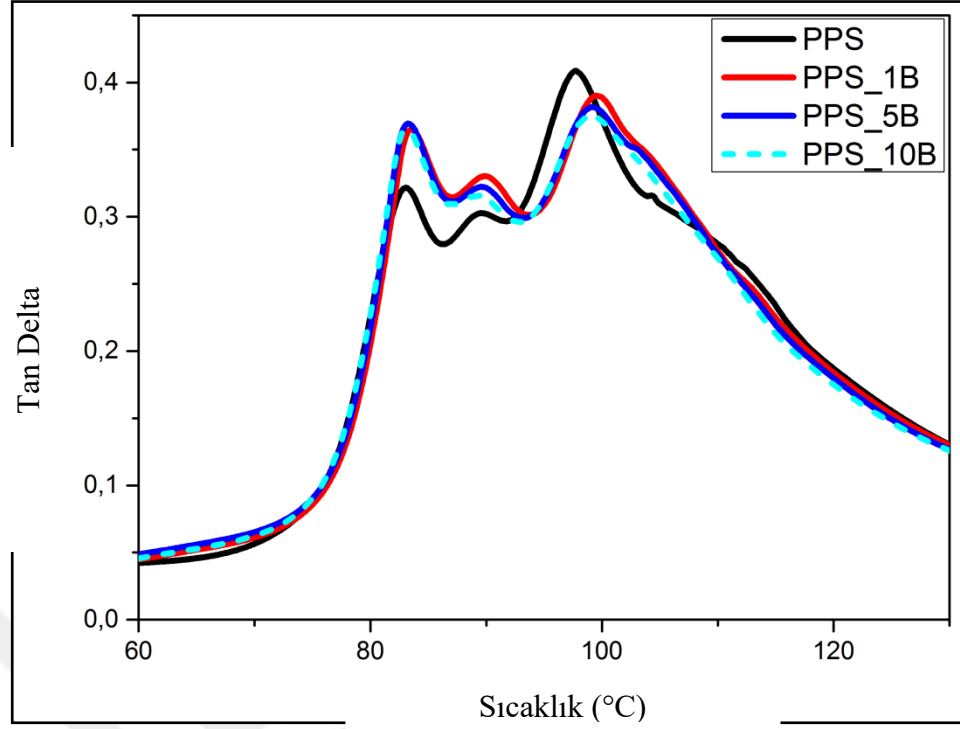


kolay veya daha zor deforme olabileceğini simgeler. Bentonit takviyeli kompozitlerin depo modülünün sıcaklığa bağlı olarak çizilen grafikleri Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları

Şekil 4.6 incelendiğinde, depo modülü değerinin yalnızca ağırlıkça %10 bentonit içeren kompozitte saf PPS'e kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte saf PPS'in analiz sonucu yok sayıldığında, bentonit takviye oranının artmasıyla depo modülü değerlerinin arttığı görülmektedir. Buna karşın malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı altındaki depo modülü değerleri kıyaslandığında, ağırlıkça %1 ve %5 bentonit takviyeli kompozitlerin depo modülü değerlerinin, saf PPS'e göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, bentonit partiküllerinin düşük oranlarda yapı içerisinde plastikleştirici olarak görev görmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu da, bentonit takviyesinin bu oranlarda yapılmasının, malzeme rijitliğini düşürdüğü, malzemenin daha kolay deforme olabileceği anlamına gelmektedir [24]. Buna ilave olarak, camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda depo modülü değerleri arasında bariz bir farkın olmadığı görülmüştür. Ağırlıkça %10 bentonit takviyesiyle birlikte depo modülü değerleri, dolayısıyla malzeme rijitliği artmıştır. Bu sonuç, partikül-matris arayüzeyinde daha fazla gerilme transferinin gerçekleşebildiği anlamına gelmektedir [24,25,54].

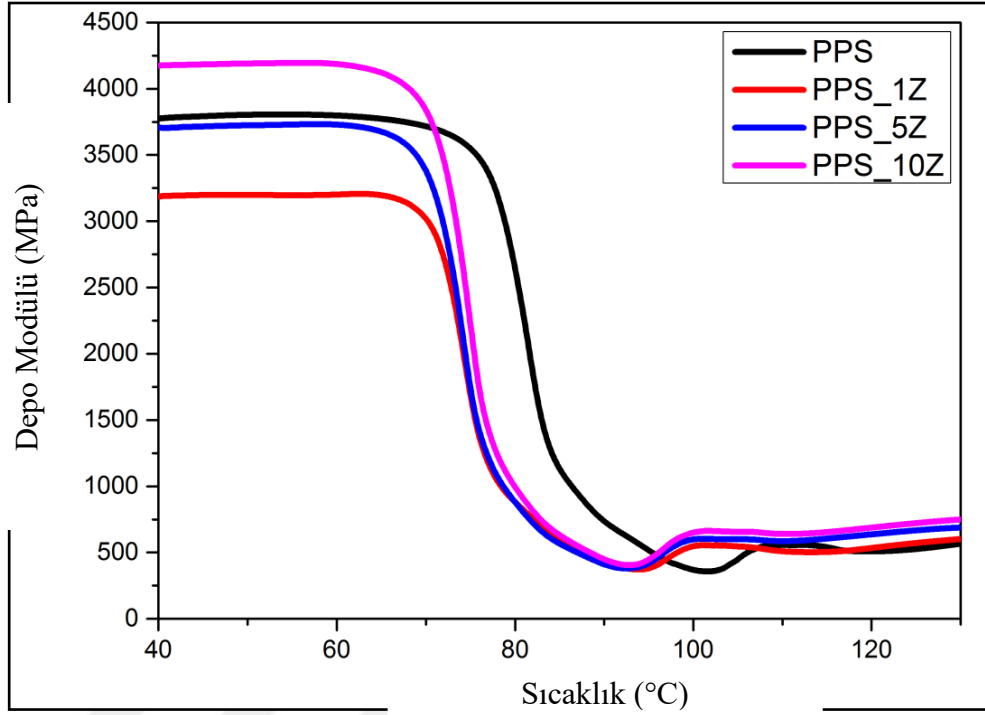


Şekil 4.7. Bentonit takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafiği

Şekil 4.7’de bentonit takviyeli kompozitlerin tan delta-sıcaklık grafikleri verilmiştir. Tan delta ilk pikinin büyüklüğü, malzemelerin deformasyon sırasındaki mekanik enerji kaybının bir göstergesidir ve partikül-matris etkileşimi hakkında bilgiler verir. Tan delta değerinin düşmesi, moleküler hareketin azalması, yüzey özelliklerinin ve partikül-matris etkileşiminin artması sebepleriyle gerçekleşir [79]. Bentonit ilavesiyle tan delta ilk pik büyüklüğünün arttığı görülmektedir. Bu sebeple, saf PPS’in moleküler hareketi üzerinde kısıtlanmanın olmadığı ve mekanik kaybın arttığı yorumları yapılabilir. Ayrıca tan delta ilk pikinin, bentonit takviyesiyle birlikte bariz bir şekilde genişlediği söylenememektedir. Genişlemiş olan pik, matris-partikül arayüzeyinin durumunu ifade eder ve geniş olan pik daha iyi arayüzeyi belirtir [54,55]. Bentonit takviyeli kompozitlerin eğrilerinin genişliği saf PPS ile kıyaslandığında aralarında bariz bir fark olmadığı görülmektedir ve bu sebeple PPS ile bentonit arasındaki arayüzey durumunun iyi olduğu söylenememektedir. Bununla birlikte ikinci pik incelendiğinde, kristalleşme sıcaklığının az bir miktar arttığı ve pik değerinin düştüğü görülmektedir.

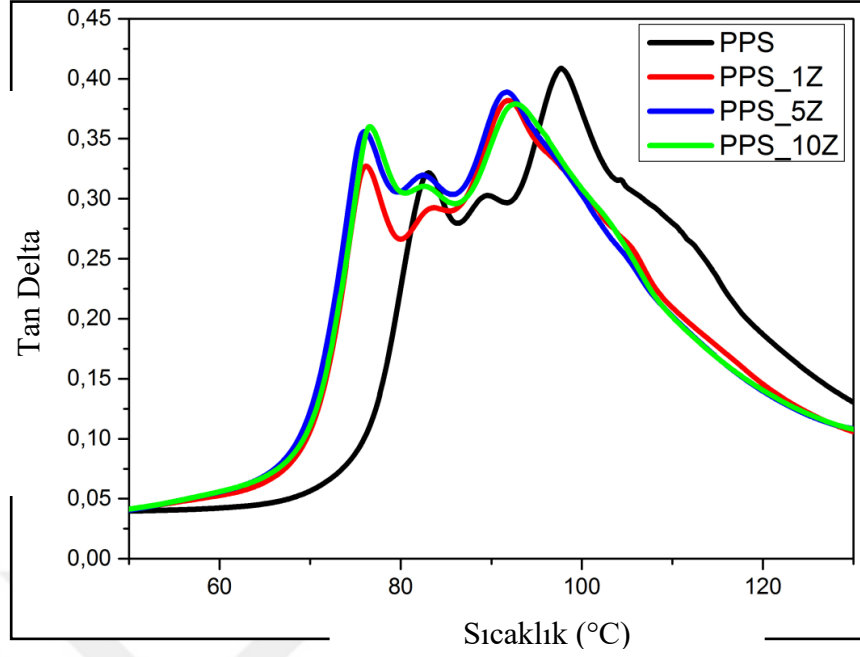
#### 4.1.3.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin DMA sonuçları

Zeolit takviyeli kompozitlerin DMA sonucunda elde edilen depo modülü ve tan delta değerlerinin sıcaklığa bağlı grafikleri sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8. Zeolit takviyeli kompozitlerin depo modülü-sıcaklık grafiği

Zeolit takviyeli kompozitlerin depo modülü değerleri incelendiğinde, yalnızca %10 zeolit takviyesinin depo modülü değerini arttırdığı görülmektedir. Bu da malzemenin daha rijit bir yapıya sahip olduğunun göstergesi olmakla birlikte, malzemenin matris-partikül arayüzeyi üzerinden daha fazla gerilme transferi gerçekleştiğinin belirtisidir [54]. Ayrıca zeolit takviyeli kompozitler kendi aralarında kıyaslandığında, zeolit oranının artmasıyla birlikte depo modülünde de artış gözlenmektedir. Takviye oranındaki artış, oluşan topakların boyutunu büyütürken modül değerlerinde iyileşmeye dolayısıyla rijitliğin artmasına yardımcı olabilir. Buna karşın ağırlıkça %1 ve %5 zeolit içeren kompozitlerin depo modülü değerleri saf PPS ile kıyaslandığında daha düşüktür. Bunun sebebi zeolit takviyesinin plastikleştirici gibi davranmasından kaynaklanmaktadır. Zeolit takviyesiyle birlikte depo modülünde görülen keskin düşüş, saf PPS’e göre daha düşük sıcaklıklarda başlar. Bu da malzeme rijitliğinin daha düşük sıcaklıklarda kaybolması anlamına gelir.

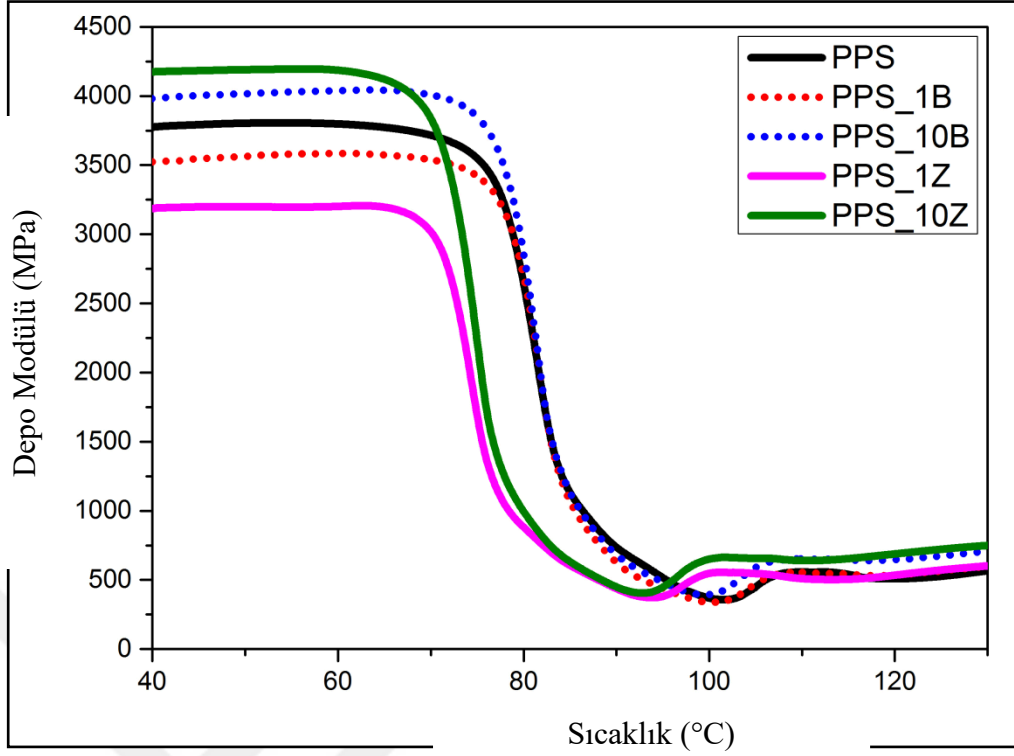


Şekil 4.9. Zeolit takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafiği

Şekil 4.9 incelendiğinde, ilk pik camı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) hakkında bilgi verirken, ikinci pik soğuk kristalleşme sıcaklığı ( $T_c$ ) hakkında bilgi vermektedir. Zeolit takviyesiyle birlikte bu sıcaklıkların düştüğü yani zeolit takviyesinin plastikleştirici gibi davrandığı net bir şekilde görülmesine karşın, tan delta ilk pik büyüklüğü zeolit takviyesiyle birlikte saf PPS'e nazaran artmıştır. Bu da zeolit ile PPS arasındaki yapışmanın istenilen seviyede olmadığı ve mekanik kaybın arttığının bir göstergesidir. Ayrıca zeolit takviyeli kompozitler kendi aralarında kıyaslandığında soğuk kristalleşme pikinin büyüklüğünde, zeolit oranının artmasıyla birlikte bir miktar düşüş gerçekleştiği, genişliğinde ise hafif bir artış gerçekleştiği görülmektedir [54,55,79].

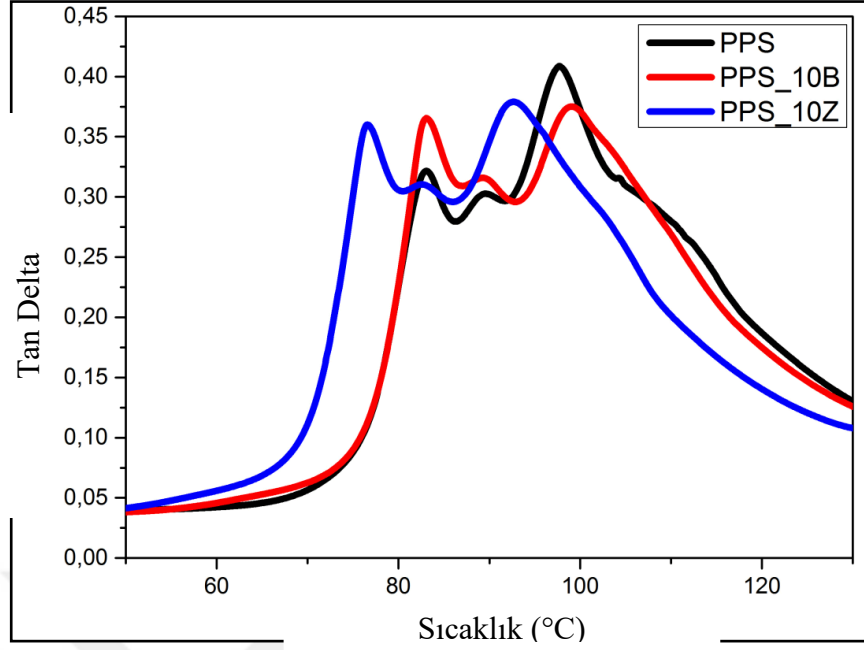
#### 4.1.3.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin DMA sonuçlarının karşılaştırılması

Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin DMA sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılması adına, ağırlıkça %1 ve %10 takviye içeren kompozitlerin depo modülü-sıcaklık grafikleri (Şekil 4.10) ve %10 takviye içeren kompozitlerin tan delta-sıcaklık grafikleri (Şekil 4.11) çizilmiştir.



Şekil 4.10. Partikül takviyeli kompozitlerin depo modülü – sıcaklık grafiği

Şekil 4.10 incelendiğinde görüleceği üzere, ağırlıkça %1 oranında bu iki partikülü içeren kompozitlerin depo modülü değerleri saf PPS'ye nazaran daha düşüktür. Bununla birlikte zeolitin, depo modülü değerini çok daha fazla düşürdüğü görülmektedir. Ağırlıkça %10 partikül içeren kompozitler incelendiğinde ise tam tersi durum söz konusudur. Depo modülü değerleri bu takviye oranında artmış olup, zeolit takviyesi bu değeri daha da arttırmıştır. Buradan yola çıkarak, zeolitin depo modülü üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir. Dolayısıyla zeolit, malzeme rijitliğine daha fazla etki etmektedir. Aynı zamanda zeolit takviyeli kompozitlerde depo modülündeki keskin düşüş, bentonit takviyeli kompozitlere ve saf PPS'ye göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Bu da zeolit takviyeli kompozitlerin rijitliklerini, bentonit takviyeli kompozitlere kıyasla daha düşük sıcaklıklarda kaybettiği anlamına gelmektedir. Camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda ise %10 partikül içeren kompozitler arasında bariz bir farktan bahsedilemez. Aynı durum %1 partikül içeren kompozitler içinde geçerlidir.



Şekil 4.11. Partikül takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafikleri

Tan delta ilk pikinin yüksekliğinin büyüklüğü, malzemelerin deformasyon sırasında enerji yayma kabiliyetinin bir göstergesidir ve partikül-matris etkileşimi hakkında bilgiler verir. Tan deltanın pik yüksekliğinin düşmesi, moleküler hareketin azalması, yüzey özelliklerinin ve partikül-matris etkileşiminin artması sebepleriyle gerçekleşir [54].

Şekil 4.11 incelendiğinde, %10 partikül takviyeli kompozitlerin tan delta pik tepe büyüklüğünü bir miktar arttırdığı görülmektedir. Her iki partikül takviyesi için, mekanik kaybın arttığı ve takviye sebebiyle moleküler hareketin kısıtlanmadığı söylenebilir. Ayrıca partikül-matris etkileşiminin bu partiküllerde istenilen seviyede olmadığı, tan delta değerinin artışından anlaşılmaktadır. Tan delta pik büyüklüğünün artışı ve genişliği, her iki partikül takviyesinde de hemen hemen benzer seviyelerdedir. Bu da iki partikül arasında “PPS ile daha iyi yapışma gösterir” gibi bir ifadenin kullanılamamasına sebep olmaktadır. Şekil 4.11 incelendiğinde göze çarpan bir diğer detay, zeolit takviyesinin camsı geçiş sıcaklığını ve kristalleşme sıcaklığını düşürdüğüdür. DMA sonuçlarına bakarak, benzer özellikler gösteren bu iki partikül için, camsı geçiş sıcaklığını düşüren zeolit bu anlamda farklı özellik göstermektedir ve plastikleştirici gibi davranmaktadır [54,55].

#### 4.1.4. DSC analizi sonuçları

##### 4.1.4.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları

Bentonit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonucu elde edilen verileri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Bentonit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları

	$T_g$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_m$ (°C)	$\Delta H_c$ (J/g)	$\Delta H_m$ (J/g)	$X_c$ (%) <sub>rel</sub>
<b>PPS</b>	87,74	111,13	287,62	8,34	40,42	100
<b>PPS_1B</b>	87,31	108,61	287,24	6,72	40,14	105,23
<b>PPS_5B</b>	86,98	108,16	285,89	5,05	38,89	111,04
<b>PPS_10B</b>	86,3	108,32	287,42	6,62	36,9	104,88

Kompozit malzemelerde, takviye elemanı ile matris arasındaki yapışmanın güçlü olması yapıdaki kovalent bağların sayısını artırır. Bağ sayısının artması kristaliniteyi, kristalinite ise erime sıcaklığının artmasına sebep olur. PPS'e bentonit takviyesinin yapılmasının, erime sıcaklığı değerini değiştirmedeği söylenebilir. Buradan PPS ile bentonit arasında kovalent bağ oluşmadığı görülmektedir [3]. Bununla birlikte polimer yapısındaki lamel kalınlığı erime sıcaklığını doğrudan etkilemektedir. Erime sıcaklığı, bentonit takviyesiyle birlikte değişim göstermediği için, bentonitlerin lamel kalınlığına etkisinin olmadığı yorumu yapılabilir [20,22]. Camsı geçiş sıcaklıklarına bakıldığında ise, bentonit ilavesiyle birlikte bu değerlerin düştüğü görülmektedir.

Kompozit malzemelerde takviye elemanı, kristal büyümesi ve çekirdek şeklinde kristallenme derecesini etkiler. Bu sebeple takviye elemanları, kompozit malzemelerde heterojen çekirdekler gibi davranarak kristalleşme esnasındaki çekirdek miktarını artırır. Dolayısıyla düşük takviye oranlarında kristalleşme oranı artmış olur. Takviye oranının artmasıyla birlikte, takviye elemanları polimer zincirlerinin hareketini kısıtlar ve bu da artan takviye oranlarında kristalleşme oranının düşmesine sebep olur [3,80,81,82]. Bentonit ilavesiyle birlikte, kristalinite oranının arttığı görülmektedir ve en yüksek kristalinite oranına ağırlıkça %5 bentonit takviyesi ile ulaşılmıştır. Bu orandan sonra kristalinite oranının düşmesi, partiküllerin matris içerisinde sınırlayıcı alan olarak görev göreyerek, kristallenmeyi engellemesiyle ilgilidir [3,82].

#### 4.1.4.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları

Zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonucunda elde edilen verileri Tablo 4.6'da verilmiştir. Tablo 4.6 incelendiğinde, erime sıcaklığı ve camsı geçiş sıcaklığı değerlerinin değişmediği, erime entalpisinde bir miktar düşüş görülmesine karşın kristalinite oranının zeolit takviyesiyle birlikte arttığı görülmektedir.

Tablo 4.6. Zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları

	$T_g$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_m$ (°C)	$\Delta H_c$ (J/g)	$\Delta H_m$ (J/g)	$X_c$ (%) <sub>rel</sub>
<b>PPS</b>	87,74	111,13	287,62	8,34	40,42	100
<b>PPS_1Z</b>	86,95	108,31	286,36	6,46	40,93	108,54
<b>PPS_5Z</b>	87,01	107,88	287,53	6,57	39,42	107,79
<b>PPS_10Z</b>	87,12	108,46	287,16	6,76	36,67	103,60

Zincir hareketlerinin kısıtlanması, zincirlerin daha sık olması ve zincirlerin birbirlerine bağlanması sonucunda camsı geçiş sıcaklığının arttığı bilinmektedir. Camsı geçiş sıcaklığı değerlerinin düştüğü göz önüne alındığında, zeolit takviyesinin zincir hareketini kısıtlayan bir etki yaratmadığı, zincir hareketlerinin zeolitlere rağmen benzer davranış sergilediği söylenebilir [80].

Erime sıcaklığı değerinde değişimin olmadığı göz önüne alındığında, zeolit takviyesinin PPS ile arasında kovalent bağların oluşmadığı, dolayısıyla matris ve partikül arasında çok güçlü olmayan bir yapışma olduğu söylenebilir. Bununla birlikte lamel kalınlığının artmasıyla erime sıcaklığı değerlerinin de arttığı göz önünde bulundurulursa, lamel kalınlığının da zeolit takviyesi ile değişmediği yorumu yapılabilir [3,20,22].

Kristalleşme oranları incelendiğinde, bentonit ile kısmen benzer sonuçlar elde edilmiştir. Zeolit takviyesinin kristallinite oranını arttırdığı fakat artan zeolit oranıyla birlikte kristalinite oranının düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi, düşük takviye oranlarında partiküllerin heterojen çekirdekler olarak görev görerek kristalleşme esnasındaki çekirdek sayısını arttırmaları ve dolayısıyla kristalleşme oranında artış gözlenmesidir. Artan takviye oranıyla birlikte, partiküllerin sınırlayıcı bir alan oluşturdukları varsayılabilir. Bu sınırlayıcı alan zincir hareketlerini kısıtlar ve kristalleşmenin düşmesine veya daha düşük miktarlarda gerçekleşmesine olanak



sağlar. Bu sebeple artan zeolit oranının, kristalinite oranında daha az artışa sebep olduğu söylenebilir [3,81,82].

#### 4.1.4.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçlarının karşılaştırılması

Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonucunda elde edilen verileri karşılaştırma yapmak amacıyla bir arada Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 incelendiğinde, bentonit ve zeolit takviyesinin birbirlerine benzer özellikler gösterdiği, erime sıcaklığı değerinin net bir değişim göstermediği, camsı geçiş sıcaklığının bir miktar düştüğü, kristalinite oranının bu takviyeler sonucunda arttığı ve takviye oranının artmasıyla kristalinite oranında ki artışın azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.7. Partikül takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçlarının karşılaştırılması

	$T_g$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_m$ (°C)	$\Delta H_c$ (J/g)	$\Delta H_m$ (J/g)	$X_c$ (%) <sub>rel</sub>
<b>PPS</b>	87,74	111,13	287,62	8,34	40,42	100
<b>PPS_1B</b>	87,31	108,61	287,24	6,72	40,14	105,23
<b>PPS_5B</b>	86,98	108,16	285,89	5,05	38,89	111,04
<b>PPS_10B</b>	86,3	108,32	287,42	6,62	36,9	104,88
<b>PPS_1Z</b>	86,95	108,31	286,36	6,46	40,93	108,54
<b>PPS_5Z</b>	87,01	107,88	287,53	6,57	39,42	107,79
<b>PPS_10Z</b>	87,12	108,46	287,16	6,76	36,67	103,60

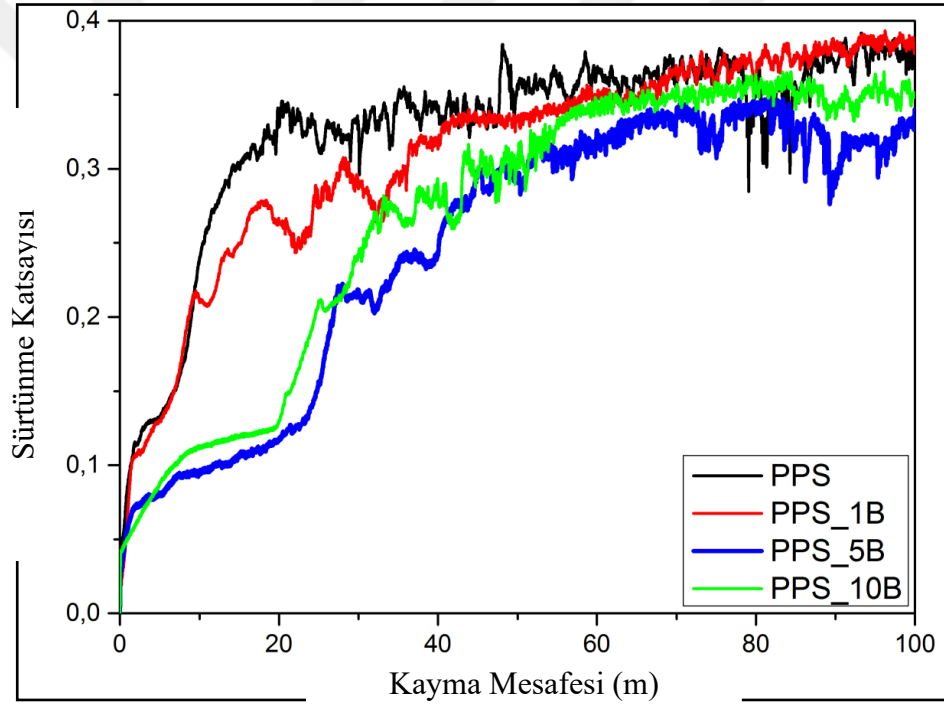
Tablo 4.7 incelendiğinde ortak olarak görülen diğer bir özellik, partiküllerin takviye edildiklerinde kristalinite oranını arttırdıkları, ancak en düşük kristallenme oranının %10 partikül takviye oranında elde edilmesidir. Bunun sebebi bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları yorumlanırken daha detaylıca anlatılan ve partiküllerin heterojen çekirdek görevi görerek düşük takviye oranlarında kristalleşme oranını arttırması ve artan partikül oranlarında sınırlayıcı alan olarak davranmalarından gelmektedir [3,31,81,82]. Ayrıca %10 partikül oranı içeren kompozitlerin kristalinite oranlarının düşmesinin sebebi topaklanma olabilir. Topaklanan partiküller, arayüzey alanındaki azalmaya bağlı olarak, çekirdeklenme ajanı olarak görevlerini verimli bir şekilde yerine getiremezler [83].

Kristalleşme sıcaklığı, soğuk kristalleşme entalpisi değerlerindeki düşüş ve kristalinite oranındaki artışa bakıldığında, ağırlıkça %5 bentonit takviyesinin, bentonit ve zeolit takviyeli kompozitler arasında en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Buradan yola çıkarak %5 bentonit takviyesinin, çekirdeklenme ajanı olarak daha aktif görev gördüğü ve kristal büyümesinin engellenmesini en aza indirdiği söylenebilir [31].

#### 4.1.5. Aşınma testi sonuçları

##### 4.1.5.1. Bentonit takviyeli kompozitlerin aşınma testi sonuçları

Bentonit takviyeli kompozitlerin pin-on-disk modu adhezif aşınma test sonuçları, sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği şeklinde Şekil 4.12’de verilmiştir.



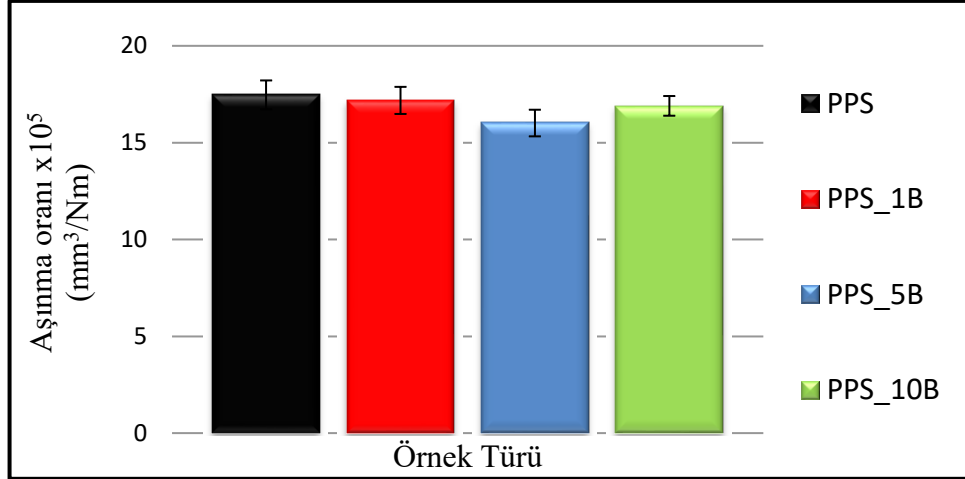
Şekil 4.12. Bentonit takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği

Şekil 4.12 incelendiğinde, PPS’ye bentonit takviyesinin yapılmasının, sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe sebep olduğu görülmektedir. Bentonit takviyeli kompozitlerin aşınma davranışlarının, bentonit oranıyla doğrudan ilgili olduğu açıkça görülmektedir. Zamanla değişen sürtünme katsayısı eğilimi, bentonit takviyesiyle birlikte her oran için benzer özelliktedir. Sürtünme katsayısı başlangıçta hızla artmaktadır ve 50 metrelik kayma mesafesinden sonra daha lineer bir hal almaktadır.

Başlangıçtaki bu keskin artışın sebebi, aşındırıcı kürenin yüzeyinde çok ufak boyutlu pürüzlerin, aşınan numune yüzeyinden çok ufak boyutlu parçalar koparmasından kaynaklanır [84]. Mesafe arttıkça ve zaman geçtikçe, sürtünme katsayısı grafiğindeki bu sıçramanın kısmen lineer hale geldiği, bunun sebebinin de aşındırıcı kürenin yüzeyi ile, kendisine kıyasla daha yumuşak olan polimer malzemeden ayrılan parçacıkların arasında ince bir film tabakası oluşmasından kaynaklandığı söylenebilir [85,86]. Bununla birlikte kayma mesafesinin artmasıyla birlikte, sürtünme katsayısında arttığı şekil 4.12'den görülmektedir.

PPS'in sürtünme katsayısı, ağırlıkça %1 bentonit takviyesi sonucunda önemli bir değişiklik göstermemiş, hemen hemen aynı kalmıştır. Artan bentonit oranıyla birlikte bu değer düşüşe geçmiştir ve en iyi sürtünme katsayısı değeri %5 bentonit takviyesi sonucunda alınmıştır. Bu verilerden yola çıkarak, %5 bentonit takviyesinin yapı içerisinde daha homojen dağılıma sahip olduğu, bu dağılımın da aşınma üzerinde olumlu etki yarattığı söylenebilir. Partiküllerin, aşındırıcı taneciğe karşı polimerin içerisinde rijit noktalar olarak normal yük ve kayma gerilmelerine karşı iş yapması, sürtünme katsayısında düşüşe neden olur. %10 bentonit takviyesi, sürtünme katsayısını azaltsa da, %5 bentonit takviyesine kıyasla daha yüksek değerdedir. Bunun sebebi topaklanma ve deney esnasında aşındırıcı küre ve numune arasında, sürtünmeden kaynaklı partiküllerin yüzeyden çıkarak, abrazif aşınmaya neden olmaları olabilir. Aynı zamanda bu durum, %1 bentonit takviyesinin sürtünme katsayısını neden düşürmediğini de açıklamaktadır [55,87,88].

Polimerlerin adhezif aşınma esnasında, kendisine göre daha sert bir yüzeye karşı kayması sonucu transfer filmi oluşur. Polimerlerin adhezif aşınma davranışları, bu film tabakasını oluşturma kabiliyeti ile doğrudan etkilidir. Polimer yüzeyinden ayrılan polimer taneciklerinin transferi, bu tip aşınmalar için en önemli özelliktir. Bu sebeple adhezif aşınma ayrıca içerisinde abrazif ve yorulma aşınmasını da bulundurur. Polimer ile aşındırıcı kürecik arasındaki yüzeyin mekanik ve kimyasal özellikleri direkt olarak aşınma oranını ve aşınma direncini etkilemektedir [86,89]. Şekil 4.13'te bentonit takviyeli kompozitlerin aşınma oranları verilmiştir.

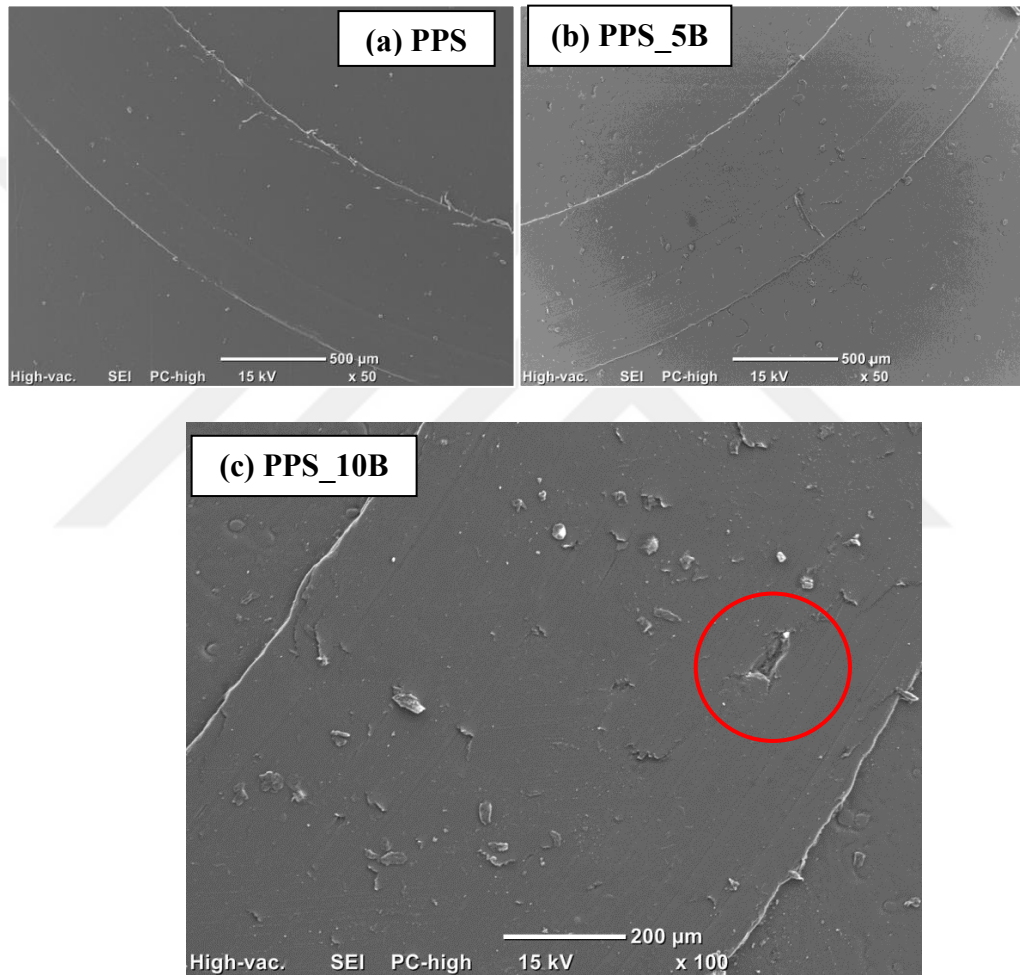


Şekil 4.13. Bentonit takviyeli kompozitlerin aşınma oranı grafiği

Şekil 4.13 incelendiğinde bentonit takviyesinin aşınma oranı üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu görülmektedir. Bentonit takviyesiyle birlikte aşınma oranı bir miktar düşmüş olup, en belirgin düşüş %5 bentonit takviyesiyle gerçekleşmiştir. Bunun temel sebebi, bentonitin takviye elemanı olarak görev yapmasından kaynaklanan yük taşıma özelliğidir. Yükün taşınmasına yardımcı olan partiküller, aşınma oranında düşüş sağlar [84,87,88]. Aynı zamanda partiküller, polimerin yüksek oranda parçalanmasının önüne geçer. Bununla birlikte bentonit takviyesinin %10'a çıkarılmasıyla birlikte aşınma oranında, %5 bentonit takviyesine göre bir miktar artış gözlenmiştir. Bunun sebebi topaklanmaya bağlıdır. Yüksek oranda yapılan partikül takviyesinde, topaklanma eğilimi daha fazladır ve bu durum polimer matrisinden malzemelerin daha rahat ayrılmasına olanak sağlar. Aynı zamanda, artan partikül oranıyla birlikte, aşınma esnasında matristen ayrılan partikül sayısında da artış olabilir. Bu da matrisin korunmasını azaltır ve ayrılan partiküllerin abrazif aşınma mekanizmasına yardımcı olmasıyla birlikte daha yüksek aşınma oranlarının görülmesine neden olmaktadır [84,87].

Şekil 4.14'te aşınma testi yapılmış bentonit takviyeli kompozit numunelerinin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Görüntüler, aşınma oranları ve sürtünme katsayılarının sonuçlarının sebeplerini daha net bir biçimde ortaya koymaktadır. PPS malzemesinin aşınan yüzeyi incelendiğinde, pürüzsüz düz bir yüzey görülmektedir. Burada takviye elemanı olmadığı için, matrisin aşınması daha kolaydır. En iyi aşınma oranı ve sürtünme katsayısına sahip %5 bentonit takviyeli kompozitin SEM görüntüsü incelendiğinde, yüzeydeki partiküllerin normal yük ve kayma gerilmelerine karşı etkin

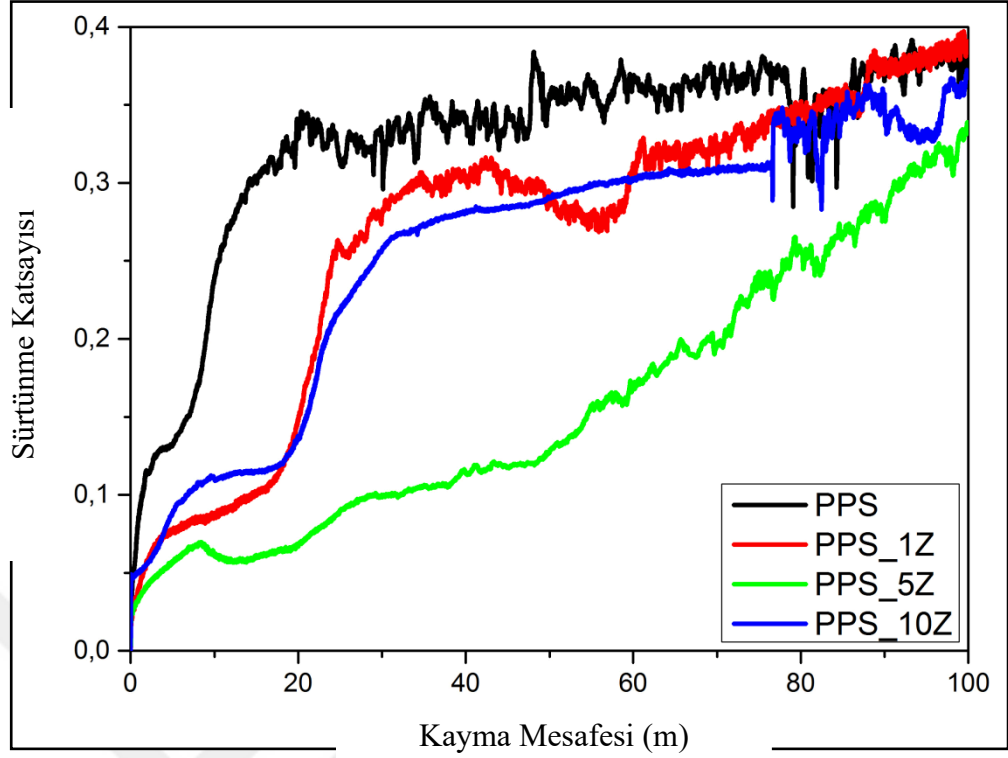
rol oynadıkları ve matris fazında sert parçacıklar olarak bulunarak matrisin parçalanmasını minimuma indirdiği kanıtlanmıştır. Partikül oranı %10 olan kompozitte ise, kırmızı halka ile işaretlenmiş bölgede bir yarık görülmektedir. Burada gerçekleşen olay, partikülün yüzeyden ayrılırken matrisi deforme etmesinden kaynaklanmaktadır. Partikül ayrılması ayrıca abrazyif aşınmaya da yol açabilir. Bu sebeple aşınma oranı bu kompozit için, %5 bentonit içeren kompozite nazaran artmıştır.



Şekil 4.14. Bentonit takviyeli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri

#### 4.1.5.2. Zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma testi sonuçları

Zeolit takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafikleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Zeolit takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği

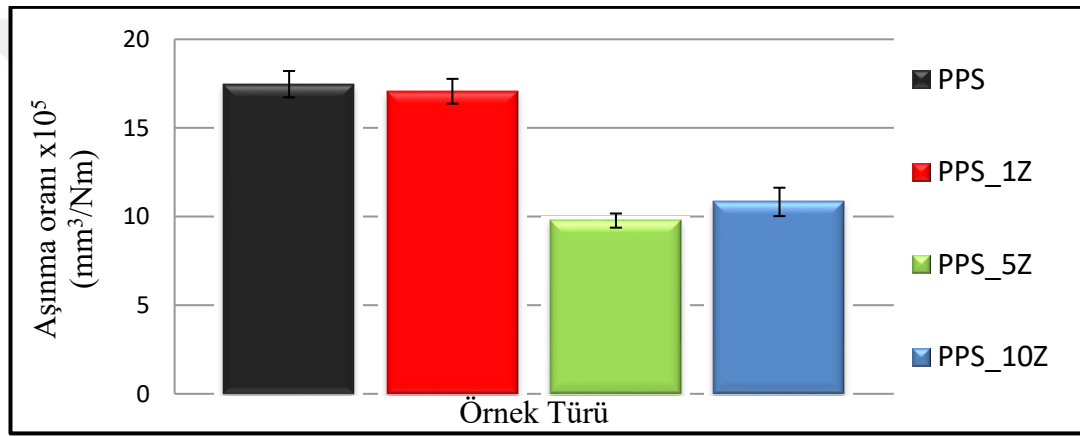
PPS matrisine zeolit partiküllerinin takviyesi, sürtünme katsayısı değerinde %1 partikül takviyesi hariç düşüş sağlamıştır. Adhezif aşınma testi sırasında malzeme, mikrokesmeye mağruz kalır ve bu ana gövde üzerinden parça kopmasına neden olur. Zeolit takviyesiyle birlikte sürtünme katsayısındaki bu azalış, matris içerisine takviye edilen zeolitlerin sert faz olarak bulunarak, matris yüzeyinden malzeme kopmasını engellemesi ve aşındırıcı kürenin uyguladığı gerilim ve kuvveti azaltmasından kaynaklanmaktadır [58].

Şekil 4.15 incelendiğinde, sürtünme katsayısı değerlerinde, %5 zeolit takviyesi içeren kompozit dışında, başlangıçta ani bir yükseliş söz konusudur. Bunun sebebi, aşındırıcı kürenin, malzeme yüzeyinden parça koparmasıdır. Bu durum %5 zeolit takviyesi içeren kompozit için geçerli olmamıştır. Bunun sebebi ise, daha erken safhalarda oluşan film tabakasıdır.

%5 zeolit içeren kompozit, sürtünme katsayısının en düşük bulunduğu kompozit olmuştur. Partiküllerin homojen olarak yapıya dağılımı, dolayısıyla aşınma esnasında aşındırıcı küreye karşı gösterilen homojen direnç bunun temel sebebidir. Ayrıca önceki paragrafta anlatıldığı gibi, partiküllerin sert faz olarak matris içerisinde malzeme

kopmasını engellemeye yardımcı olması da sürtünme katsayısını düşürücü bir etkidir. Partikül takviye oranının %10'a artırılmasıyla birlikte, %5 zeolit içeren kompozitlere nazaran daha yüksek bir sürtünme katsayısı değeri elde edilmiştir. Bunun sebebi aşındırıcı küre sebebi ile matris yüzeyindeki partiküllerin yerlerinden çıkmasıyla birlikte abrazif aşınmaya neden olmaları ve partiküllerin yüzeyden ayrılması sebebiyle sert fazın yüzeyde nispeten daha az kalarak, yük ve gerilme taşınmasına yardımcı olamamalarından kaynaklanır [55,87,88].

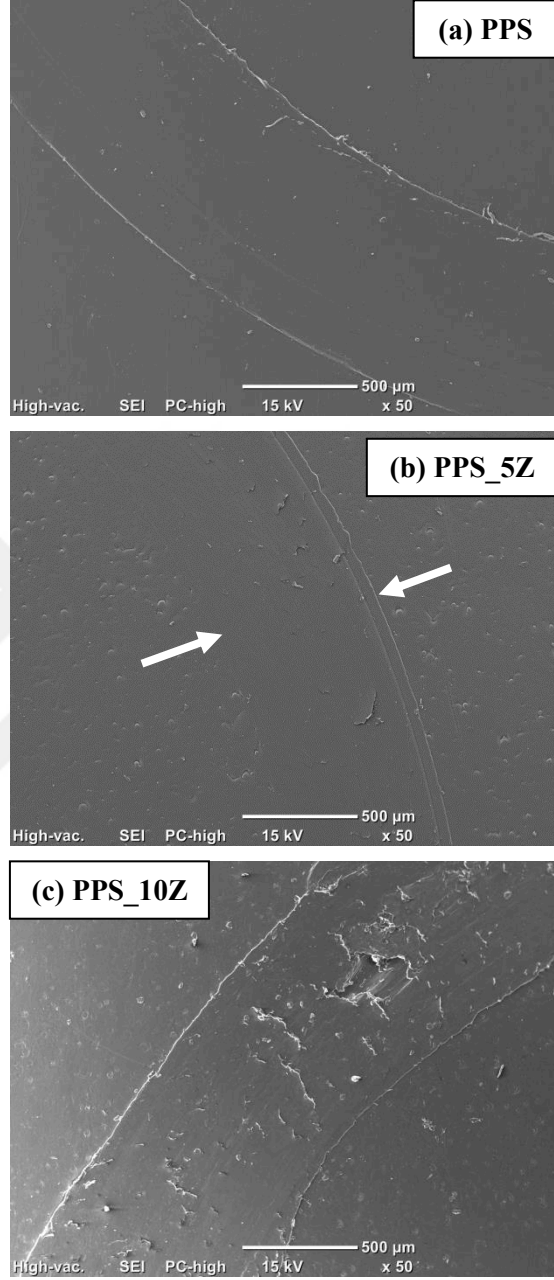
Şekil 4.16'da zeolit takviyeli kompozitlerin ve saf PPS malzemenin aşınma oranlarının grafiği verilmiştir.



Şekil 4.16. Zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma oranı grafiği

Sürtünme katsayılarına benzer olarak, en iyi sonuç %5 zeolit içeren kompozitte görülmüştür. Bununla birlikte %1 zeolit takviyesinin etkisi etkin bir şekilde görülememektedir. %5 bentonit takviyesiyle birlikte görülen aşınma oranındaki azalma, temel olarak zeolit partiküllerinin yük taşıma kapasitesini artırması ve yüzeyden malzeme ayrılmasını engellemesi sebebiyle gerçekleşmektedir. Bununla birlikte yüzeyde transfer filmi oluşumu da aşınma oranının daha da düşmesine neden olmaktadır. Oluşan transfer filmi, aşındırıcı küre ile numune yüzeyinin doğrudan temasını engeller ve bu sebeple sürtünme katsayısının düşmesine ve aşınma oranının azalmasına sebep olur [58]. Zeolit takviye oranının %10'a çıkarılmasıyla birlikte aşınma oranında %5 zeolit takviyeli kompozite kıyasla bir miktar artış gözlenmiştir. Bunun sebebi, artan partikül takviyesiyle birlikte, daha fazla partikülün aşınma esnasında yüzeyden ayrılarak abrazif aşınmaya neden olmasıdır. Partiküllerin kolay ayrılmasına sebep olan olaylara, partikül-matris arasındaki zayıf yapışma ve

topaklanma gösterilebilir. Dolayısıyla bu durumların varlığı da aşınma oranının artmasının bir sebebidir [84,86,87].



Şekil 4.17. Zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri

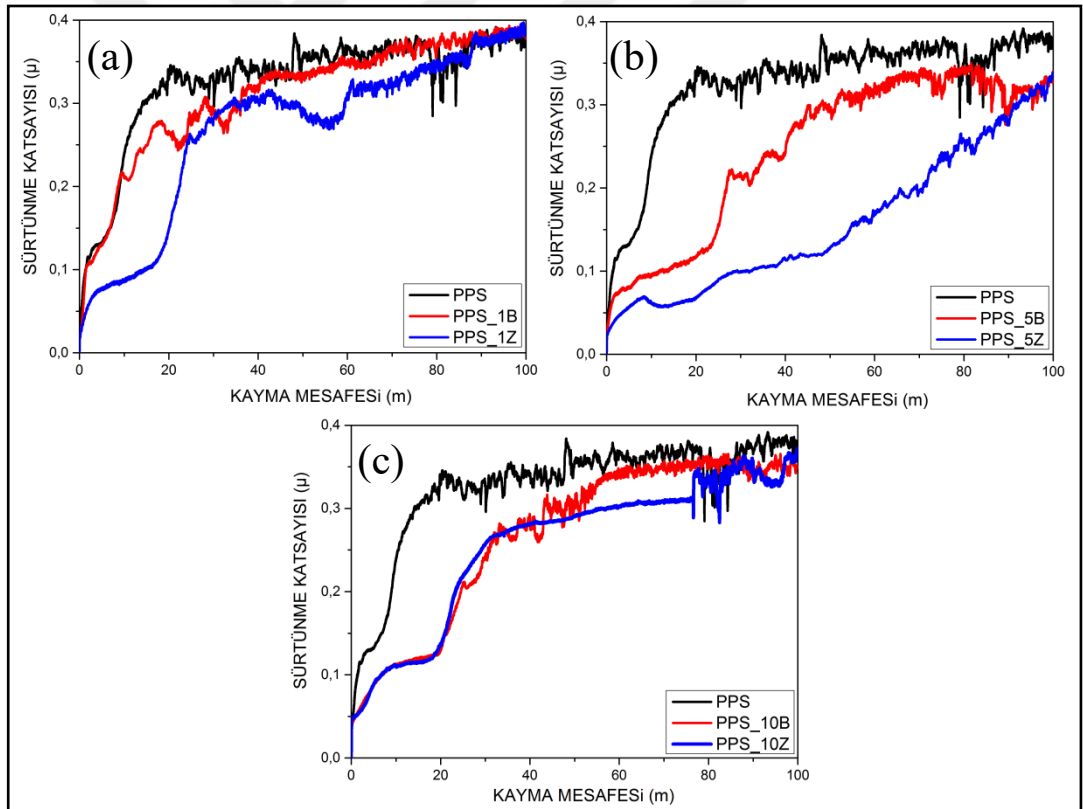
Şekil 4.17’de zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM analiziyle elde edilen görüntüleri verilmiştir. Saf PPS’nin SEM görüntüsüne bakıldığında, aşınma yolu belirgin, düzgün bir yüzey görülmektedir. Zeolitin ağırlıkça %5 takviyesiyle birlikte, aşınma yolundaki belirginlik azalmıştır. Buradan yola çıkarak aşınma esnasında zeolitlerin etkin bir rol oynadığı ve yüzey ile aşındırıcı küre arasında bir



transfer filmi oluşmasına yardımcı olduğu dolayısıyla aşınmanın azaldığı görülmektedir. Partikül oranı %10'a çıkarıldığında aşınma yolunun %5 partikül oranı içeren kompozite nazaran daha görünür olduğu, buradan yola çıkarak abrazif aşınmanın rol oynadığı görülmektedir. Yüzeyde mikro düzeyde bir hasarın oluşması da buna kanıttır. Görüntülerden yola çıkarak %5 zeolit takviyesinin, en düşük aşınma oranı ve en düşük sürtünme katsayısına sahip olmasının sebebi olarak, adhezif aşınma özellikleri üzerinde önemli etki yaratan transfer filmini oluşturması gösterilebilir.

#### 4.1.5.3. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma testi sonuçlarının karşılaştırılması

Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin tribolojik özelliklerinin karşılaştırılması adına sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafikleri Şekil 4.18'de verilmiştir.

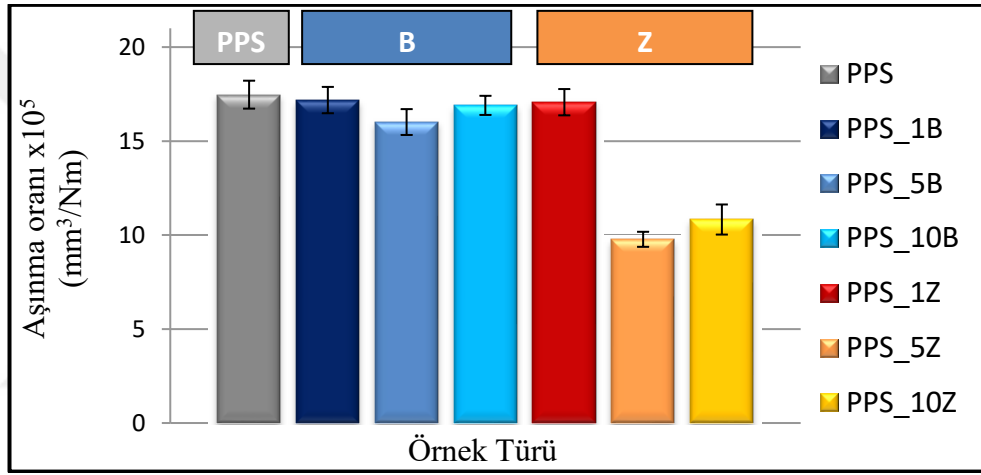


Şekil 4.18. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 4.18 incelendiğinde, bentonit ve zeolit takviyesinin aynı oranda yapılmasının, benzer davranışların görülmesiyle sonuçlandığı görülmektedir. Her iki partikül takviyesinde de takviye oranı aynı olmak koşuluyla benzer sürtünme katsayısı

değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.18’de görülen grafikler incelendiğinde, bentonit takviyesinin sürtünme katsayısında daha erken bir artışa neden olduğu ve sürtünme katsayısı değerlerinin, bentonit takviyeli kompozitlerde ilk 85 metreye kadar zeolit takviyeli kompozitlerin üzerinde seyrettiği görülmektedir. Bunun sonucu olarak zeolit takviyeli kompozitlerin aşınmaya karşı daha fazla dirençli olduğu dolayısıyla daha az aşındığı söylenebilir.

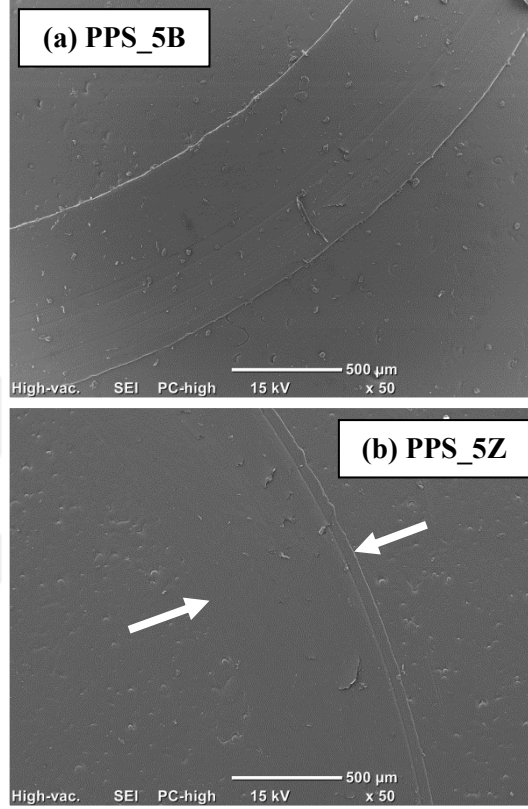
Kompozitlerin aşınma oranları Şekil 4.19’da görülmektedir ve bu şekil, açıklaması yapılan durumun kanıtı niteliğindedir. Ayrıca bu durum, SEM görüntüleri ile desteklenmektedir.



Şekil 4.19. Bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin aşınma oranı grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 4.18 – (b)’de, her iki takviye için en iyi sonuçların alındığı %5 partikül takviyeli kompozitler kıyaslanmıştır. Burada ilk 85 metreye kadar zeolit takviyeli kompozitin daha iyi aşınma davranışı sergilediği bariz bir şekilde görülmektedir. Zeolit takviyesiyle birlikte yüzeyin daha az aşındığı ve aşındırıcı küre ile numune yüzeyi arasında transfer filmi oluştuğu SEM görüntüleri ile desteklenmiştir. Bu durum bentonit takviyeli kompozitte net bir şekilde ortaya koyulamamaktadır (Şekil 4.20). %5 bentonit takviyeli kompozitin aşınma yüzeyi incelendiğinde, zeolit takviyeli kompozite nazaran daha pürüzlü olduğu ve aşınma yolunun daha belirgin olduğu görülmektedir. Aşınma oranı grafiğindeki (Şekil 4.19) bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlerin arasında görülen temel farkın sebebi budur. Ağırılıkça %10 partikül takviyesi içeren kompozitlerin aşınma oranları kıyaslandığında, zeolit takviyesinin yine aşınmaya karşı daha iyi direnç sağladığı görülmektedir. Sürtünme katsayısı

grafiği incelendiğinde, bentonit takviyeli kompozitin eğrisinin 30 metreden sonra, zeolit takviyeli kompozitin ise 75 metreden sonra dalgalanmaya başladığı görülmektedir. Bu dalgalanmalar, yüzeyden partikül kopması sonucu gerçekleşen abrazyif aşınmanın sebebidir. Daha erken abrazyif aşınmaya geçen bentonit takviyeli kompozitin daha fazla aşındığı aşınma oranı grafiğinden de görülmektedir.

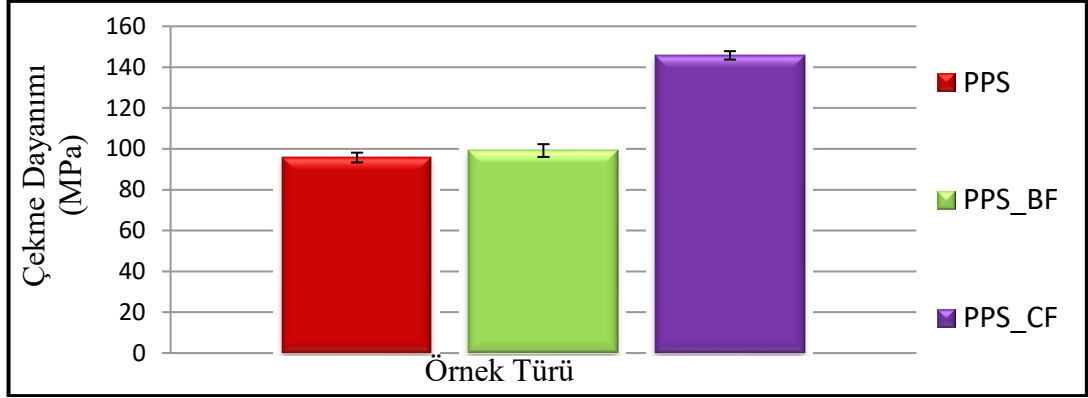


şekil 4.20. Ağırlıkça %5 partikül takviyesi içeren kompozitlerin aşınma yüzeyleri

## 4.2. Fiber Takviyeli Kompozitlerin Deney Sonuçları

### 4.2.1. Çekme testi sonuçları

Fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi adına gerçekleştirilen çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanım değerlerinin yer aldığı grafik şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Fiber takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

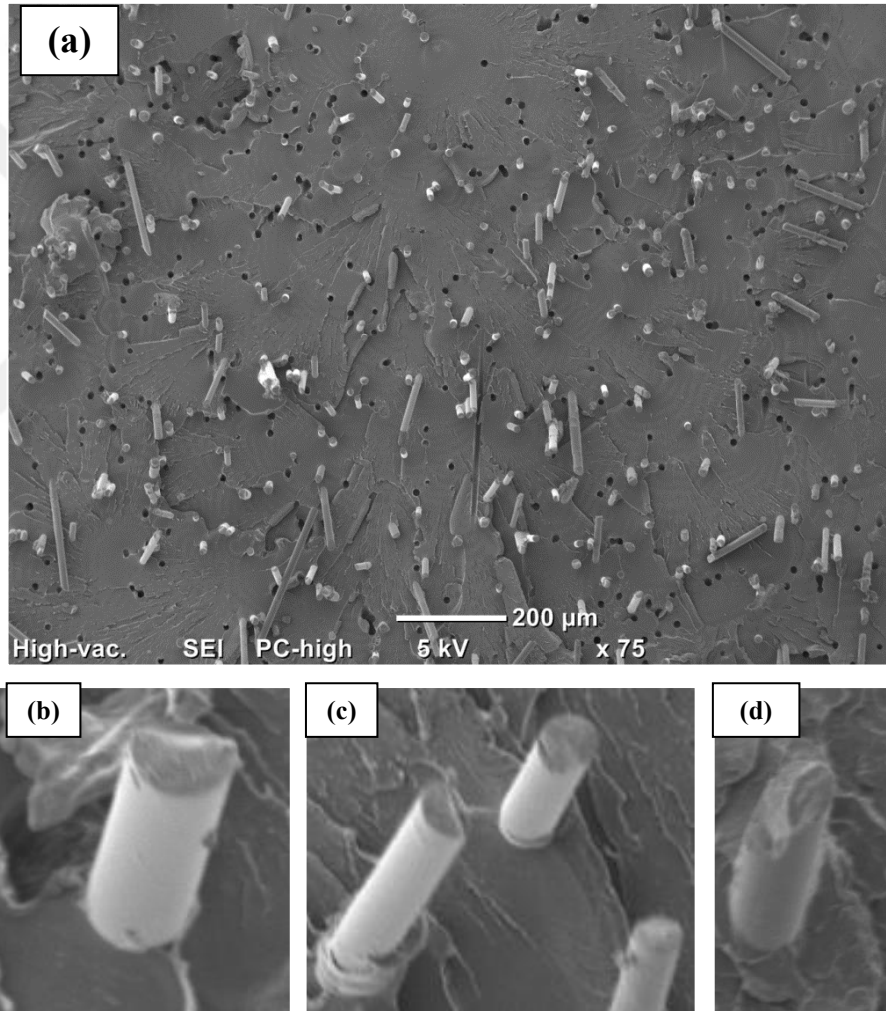
Fiberler, kompozit malzemelerde yük taşıma amacıyla tercih edilmektedirler. Polimerlere göre daha sert ve rijit olan fiberlerin, matrise takviye edilmesiyle birlikte çekme dayanımı değerlerinin arttırması genellikle beklenen durumdur. Fiber takviyesinin çekme dayanımı üzerindeki etkisi öncelikle fiber ile matris arasındaki yapışmanın durumuna bağlıdır [90]. Kompozitlerin dayanım değerleri Denklem 4.1’de gösterilen karışımlar kuralı ile hesaplanabilir;

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot (1 - V_f) \quad (4.1)$$

Burada  $\sigma_c$  kompozitin dayanımını,  $\sigma_f$  ve  $\sigma_m$  fiber ve matrisin dayanımını,  $V_f$  ise fiber hacim oranını belirtmektedir. Bu denklemden yola çıkarak daha dayanımlı ve rijit fiber takviyesiyle birlikte kompozitin dayanımının artacağı beklenen bir sonuçtur. Buna karşın buradaki formülde, fiber ve matris arasındaki arayüzey durumunun güçlü olduğu varsayılır. Arayüzey özelliklerinin kötüleşmesi durumunda fiberlere yük aktarımı azalır. Bu azalış formüldeki  $\sigma_f \cdot V_f$  değerinin azalmasına karşılık gelir ve kompozitin dayanımı beklenen dayanım değerinden düşük çıkar.

PPS matrisine bazalt fiber takviye edildiğinde, çekme dayanım değeri %3,57 artmıştır. Buradaki artış fiber takviyesinden beklenen artışa göre düşük kabul edilebilir. Bazalt fiberler ve PPS matris arasındaki yapışmanın güçlü olmaması, PPS matrisinin, yükü fiberlere istenilen oranda aktaramaması dolayısıyla çekme dayanımı değerlerinde istenilen artışın gerçekleşmemesine sebep olmaktadır. Yapışmanın olmadığı veya çok zayıf olduğu durumlarda, fiber takviyesinin çekme dayanımını düşürdüğü de görülmektedir. Dolayısıyla çekme dayanımındaki bu küçük artış, yapışmanın istenilen seviyede olmamasından kaynaklanmaktadır [48,90].

Bazalt fiber ve karbon fiberin PPS üzerindeki etkisi kıyaslandığında, karbon fiberin etkisinin çok daha fazla olduğu açık bir şekilde görünmektedir. Saf PPS'in çekme dayanımı değerini bazalt fiber %3,57 arttırırken, karbon fiber ise %52,25 arttırmıştır. Karbon fiberler yüksek performans ve mekanik özellikleriyle bilinirler. Bu sebeple kullanıldıkları kompozitlerin mekanik özelliklerinde bariz artış sağlamaktadırlar. Bazalt fibere kıyasla karbon fiberin rijitliği yaklaşık 2,7 kat daha yüksektir (Tablo 3.2). Karbon fiberin mekanik özelliklerinin çok yüksek olması, bazalt fiber takviyeli kompozit ile karbon fiber takviyeli kompozitin çekme dayanımları arasındaki büyük farkın temel nedenidir [91].



Şekil 4.22. Bazalt fiber takviyeli kompozitin (a) kırılma yüzeyinin SEM mikrografı, (b-c) fiberlerin yüzeyleri ve (d) fiber kırılması

Bazalt fiber takviyeli kompozitlerin kırılma yüzeylerinin SEM mikrografları incelendiğinde (Şekil 4.22) gevrek olarak kırılmış yüzey görülmektedir. Fiberlerin

yerinden çıkma olayının çokça gözlenmiş olması, fiberler ile matris arasındaki yapışmanın da istenilen seviyede olmadığına işaretler. Çekme dayanımının az miktarda artmasının sebebinin yapışmanın iyi derecede gerçekleşmemesi olduğu burada açıkça görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 4.22 – (b), (c) ve (d) incelendiğinde fiber yüzeylerinin temiz olduğu, arayüzey zayıflığının bir başka delilidir.

#### 4.2.2. TGA sonuçları

Tablo 4.8’de bazalt fiber ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin %5 ve %10 ağırlık kaybına uğradığı sıcaklık değerleri verilmiştir.

Tablo 4.8. Fiber takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları

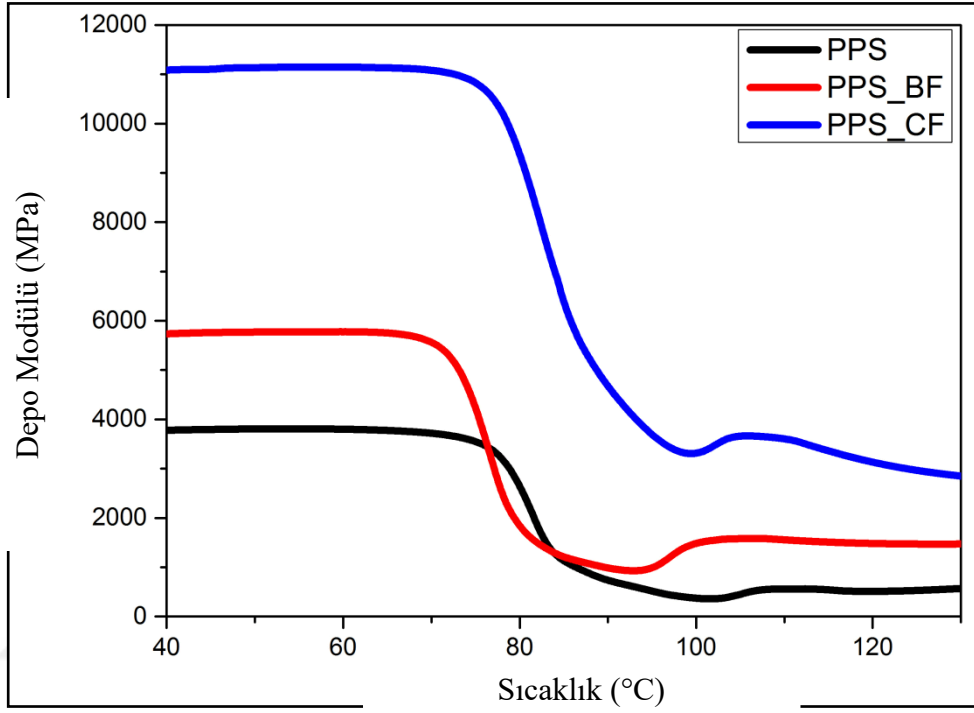
	T <sub>5%</sub> (°C)	T <sub>10%</sub> (°C)
<b>PPS</b>	496,71	510,16
<b>PPS_BF</b>	506,53	519,41
<b>PPS_CF</b>	502,08	518,05

Malzemelerin ısı kararlılık ve bozunma karakteristiklerini belirlemek amacıyla yapılan TGA sonucunda bazalt ve karbon fiber içeren kompozitlerin yüzde ağırlık kaybı değerleri sıcaklığın fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Tablo 4.8 incelendiğinde, fiberin matrise sert ve daha rijit faz olarak takviye edilmesiyle birlikte oluşturulan kompozit malzemenin, polimer malzemeye göre daha yüksek sıcaklıklarda aynı kaybı yaşadığı görülmektedir. Bu da fiber takviyesiyle birlikte ısı kararlılık özelliklerinin arttığını göstermektedir.

Isı kararlılığın fiber takviyesiyle birlikte artması, polimere kıyasla daha fazla ısı emme kapasitesine sahip fiberlerin yapıya dahil olmasından kaynaklanmaktadır. Isı emme kapasitesi böylelikle kompozit yapılarda artırılmış olur ve termal bozunma için gerekli ısı miktarı ve dolayısıyla sıcaklık yükselmektedir. Daha yüksek sıcaklıkta %5 ve %10 ağırlık kaybı yaşayan kompozitin bazalt fiber takviyesiyle elde edildiği tablodan görülmektedir. Dolayısıyla ağırlıkça %10 fiber takviyesine sahip olan kompozitler arasında, bazalt fiber içeren kompozitin daha yüksek ısı kararlılık özelliklerine sahip olduğu görülmektedir [92].

### 4.2.3. DMA sonuçları

Fiber takviyeli kompozitlerin DMA sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılması için, bazalt fiber ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin depo modülü-sıcaklık grafikleri (Şekil 4.23) ve tan delta-sıcaklık grafikleri (Şekil 4.24) çizilmiştir.



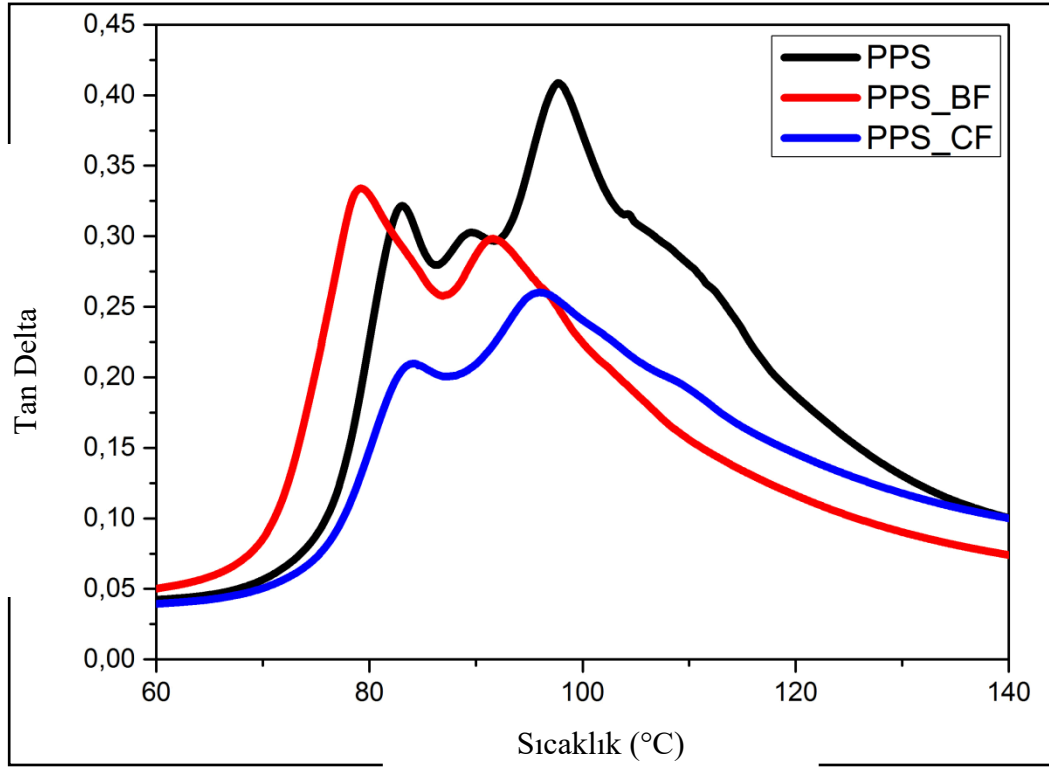
Şekil 4.23. Fiber takviyeli kompozitlerin depo modülü – sıcaklık grafiği

Şekil 4.23 incelendiğinde, fiber takviyesiyle birlikte depo modülü değerlerinin arttığı görülmektedir. Rijitliğinde bir göstergesi olan depo modülünün artışı beklenen bir durumdur. Yumuşak matris malzemesine, rijit ve sert faz olarak eklenen fiberlerle birlikte, oluşturulan kompozitin rijitliğinin artması sebebiyle bu durum gerçekleşmektedir. Aynı zamanda karbon fiberin depo modülü değeri üzerindeki etkisinin çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Tablo 3.2 incelendiğinde görülebileceği gibi karbon fiberin rijitliğinin bazalt fibere kıyasla yaklaşık 2,7 kat fazla olmasıdır. Camsı geçiş sıcaklığının üzerine çıkıldığında depo modülü değerleri düşmektedir. Bu bölgedeki depo modülü değerleri karşılaştırıldığında yine karbon fiber takviyeli kompozitin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Matris ve fiber arasındaki yük transferinin de bir göstergesi olan depo modülü – sıcaklık grafiği, çekme deneyi sonucunda karbon fiberlerin daha fazla yük taşıdığı göz önünde bulundurulduğunda çekme testi sonucu ile de uyumlu sonuç vermiştir.

Ayrıca depo modülü değeri, polimer zincirlerinin hareketi kısıtlandığında da artmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla depo modülünün düşmesi bunun kanıtıdır [54].

Şekil 4.24 incelendiğinde, fiber takviyesiyle birlikte tan delta değerlerinin düştüğü görülmektedir. İlk pik camsı geçiş sıcaklığı hakkında bilgi verir ve malzemelerin ilk piklerine bakıldığında bazalt fiberin camsı geçiş sıcaklığını düşürdüğü görülmektedir. İkinci pik ise soğuk kristalleşme sıcaklığı hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 4.24. Fiber takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafikleri

Eğrilere bakıldığında, karbon fiber takviyesinin tan delta şiddetini önemli derecede düşürdüğü görülmektedir. Bu da fiber ve matris arasındaki yapışmanın derecesi hakkında bilgi vermektedir ve pikin düşmesi yapışmanın daha iyi olduğunu söylemektedir. Karbon fiber takviyeli kompozitin pik büyüklüğü daha düşüktür. Bu sebeple karbon fiber ve PPS arasında daha iyi bir yapışma olduğu söylenebilir. Aynı zamanda karbon fiber takviyesiyle birlikte kristalleşme için gerekli enerji miktarı ve sıcaklığın düştüğü yine piklerden görülmektedir. Bazalt fiberin soğuk kristalleşme piki için aynı yorumlar yapılabilir, dolayısıyla kristalleşme için gerekli enerji miktarı azalmış ve kristalleşme için gerekli sıcaklık düşmüştür fakat karbon fiber takviyeli kompozite nazaran biraz daha fazladır. Ayrıca ilk pikin bazalt fiber takviyesiyle bir



miktar arttığı görülmektedir. Bu sebeple bazalt fiber ve PPS arasındaki yapışmanın iyi düzeyde olmadığı ve bazalt fiber takviyesiyle birlikte mekanik enerji kaybının arttığı söylenebilir [54,55].

DMA ile elde edilen değerler ile bir sonraki başlık altında DSC analizi sonucunda elde edilen değerler arasında ufak farklar görülmektedir. Bunun sebebi iki analiz koşulları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.

#### 4.2.4. DSC analizi sonuçları

Fiber takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonucu elde edilen verileri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. Fiber takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları

	$T_g$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_m$ (°C)	$\Delta H_c$ (J/g)	$\Delta H_m$ (J/g)	$X_c$ (%) <sub>rel</sub>
<b>PPS</b>	87,74	111,13	287,62	8,34	40,42	100
<b>PPS_BF</b>	85,47	108,97	285,35	6,83	36,57	103,01
<b>PPS_CF</b>	86,76	107,99	285,62	3,75	35,88	111,28

Tablo 4.9 incelendiğinde, bazalt fiber takviyesinin kristalleşme oranını arttırdığı, camsı geçiş sıcaklığını ve kristalleşme sıcaklığını bir miktar düşürdüğü görülmektedir. Bu durumun benzeri karbon fiber takviyeli kompozitte de görülmektedir.

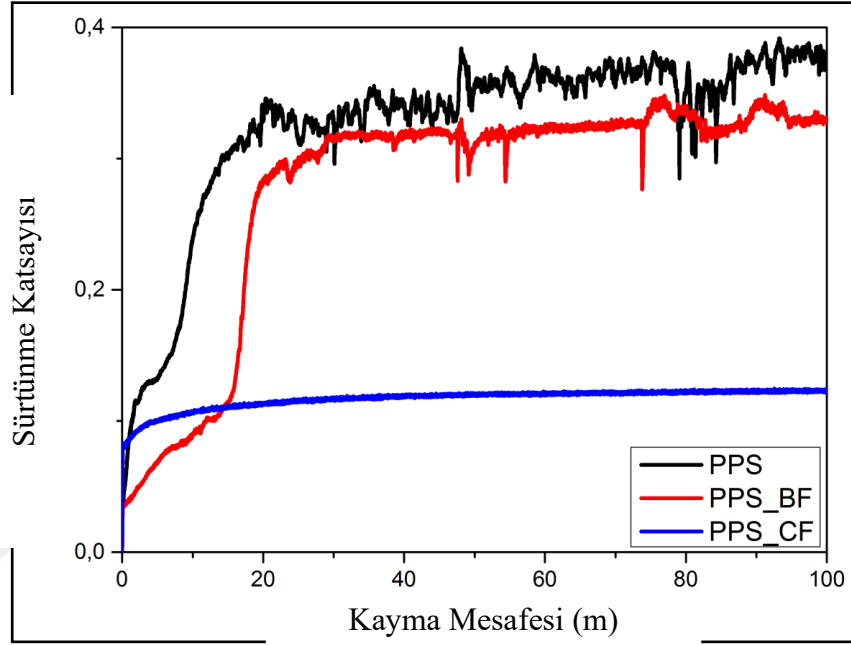
Camsı geçiş sıcaklığı değeri, polimer zincirlerinin durumuna bağlıdır. Zincirlerin gevşemesi, sıkılaşması veya birbirleri arasında bağlar oluşturmaları camsı geçiş sıcaklığını etkilemektedir. Camsı geçiş sıcaklığında bir miktar düşüş gözlemlendiği göz önüne alındığında, fiber takviyesiyle birlikte polimer zincirlerinin hareketlerinin kısıtlamadığı aksine bir miktar zincirlerin gevşediği söylenebilir [80].

Fiber takviyesiyle birlikte kristalleşme sıcaklığı ve kristalleşme entalpisi değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Karbon fiber ve bazalt fiberin çekirdeklenme ajanı olarak görev gördükleri bu değerlerin düşmesi sebebiyle açıklanmaktadır. Kristalleşme sıcaklığındaki ve kristalleşme entalpisi değerlerindeki düşüş karbon fiber takviyesinde daha fazla gözlenmiştir. Buradan çıkan sonuç, her iki fiberinde kristalleşme oranını çekirdek ajanı olarak görev görebilecekler ancak karbon fiberlerin çekirdeklenme

ajanı olarak daha iyi görev yaptıklarıdır [93]. Bu sebeplerden dolayı kristallenme oranı karbon fiber takviyesinde daha fazladır.

#### 4.2.5. Aşınma testi sonuçları

Fiber takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafikleri Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25. Fiber takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafikleri

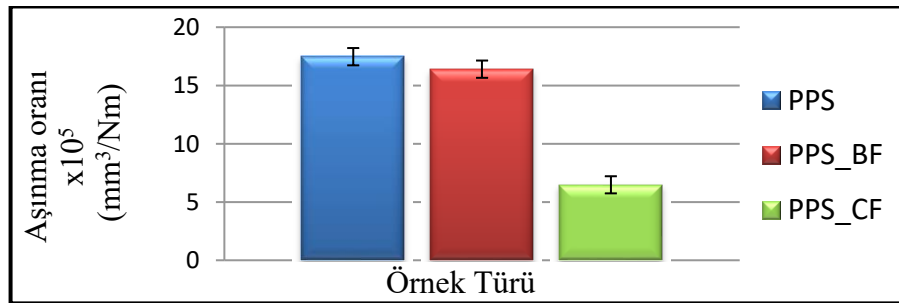
Şekil 4.25 incelendiğinde fiber takviyesiyle birlikte PPS'in sürtünme katsayısında azalma görülmektedir. Bazalt fiber ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin başlangıçta sürtünme katsayısı değerleri yükselmiş ve daha sonra lineer hale gelmiştir. Bu yükseliş karbon fiberde az ancak bazalt fiberde fazla görülmektedir. Bununla birlikte bazalt fiber takviyeli kompozitin grafiğinin 20 metreden sonra lineer olduğu varsayılabilir ancak bu kompozitte mesafe ilerledikçe yüksek dalgalanmalar görülmektedir. Bu durumun aksine karbon fiber takviyeli kompozitte sürtünme katsayısı değeri lineerlik hiç bozulmadan, düz bir şekilde devam etmektedir.

Fiber takviyeli kompozitlerde sürtünme katsayısı değerinin azalması beklenen bir sonuçtur. Yumuşak matris malzemesine, daha rijit ve sert fazın takviye edilmesi durumunda aşınma davranışında iyileşme görülmektedir. Buradaki iyileşme fiberin

mekanik özelliklerine ve matris ile arasındaki yapışmaya bağlıdır. Matris ile fiber arasında yapışmanın olmadığı durumda, matris üzerine gelen yükü fiberlere transfer edemeyeceği için fiberin mekanik özelliklerinin hiçbir önemi kalmaz. Yük taşıması beklenen fiberlerin, aksine yapı içerisinde zayıflıklara neden olması söz konusu olur.

Fiberler ile matris arasındaki yapışma ne kadar güçlü ise matris o kadar az aşınır. Aynı zamanda fiberler, aşındırıcı küre ile polimer matris arasındaki temas alanını azaltır ve doğal olarak sürtünme katsayısının düşmesini sağlar [55]. Bazalt fiber takviyesiyle birlikte sürtünme katsayısında azalma görülmektedir. Bu azalma sert fiber fazın matrise takviyesi sebebiyle beklenen bir sonuçtur. Grafik incelendiğinde başlangıçta keskin bir artış gözlenmektedir. Bu keskin artışın gözlenmesinin nedeni, aşındırıcı kürenin numune yüzeyinden parça koparmasından kaynaklanır. Daha sonra kısmen lineer bir hal alan eğri, küre ile numune arasında oluşan transfer filminden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte yüzeyden ayrılan fiberler ve polimer parçacıklarının abrazif aşınmayı tetiklemesi sonucu grafikte ani dalgalanmalar meydana gelmektedir [87,88].

Karbon fiber takviyesiyle birlikte sürtünme katsayısı değerleri başlangıçta yükselmiş ve hızlıca lineer hale geçmiştir. Yüksek rijitliğe sahip karbon fiberlerin takviyesi sonucunda sürtünme katsayısı bariz şekilde iyileşmiştir. Ayrıca karbon fiber takviyesi, aşındırıcı küre ile numune arasında transfer filmini çok hızlı bir şekilde oluşturmuştur. Sürtünme katsayısı değerlerinin lineer hale gelmesi ve değişmemesi, transfer filminin erken safhada oluşmasından kaynaklanır [55,84].

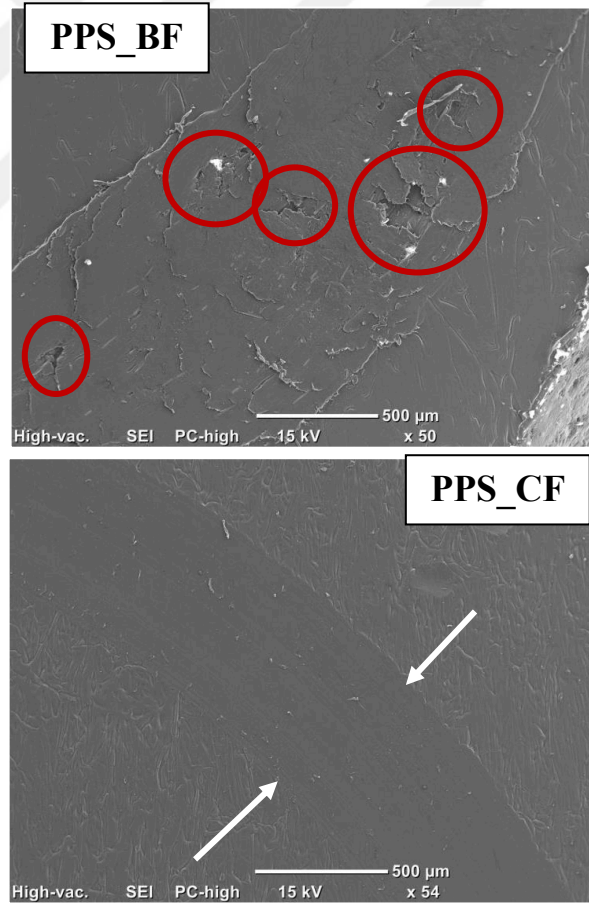


Şekil 4.26. Fiber takviyeli kompozitlerin aşınma oranı grafikleri

Şekil 4.26 incelendiğinde fiber takviyesinin aşınma oranında azalmaya sebep olduğu görülmektedir. Bu azalma, fiberlerin takviye elemanı olarak polimerlerin yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini artırarak, matris yüzeyinde parça kopmasını minimuma

indirmesiyle gerçekleşir. Aşınma oranını etkileyen önemli bir diğer parametre ise film tabakasının oluşumudur. Oluşan transfer filmi, aşındırıcı küre ile numune yüzeyinin doğrudan temasını engeller ve bu sebeple sürtünme katsayısının düşmesine ve aşınma oranının azalmasına sebep olur [58]. Karbon fiber takviyesi, transfer filmini erken safhada oluşturur ve bu sebeple aşınma oranı çok düşük olur. PPS matrise bazalt takviye edilmesiyle birlikte, karbon fiber takviyeli kompozite nazaran aşınma oranında belirgin bir artış gözlenmiştir. Bunun sebebi yüzeyden ayrılarak abrazif aşınmaya neden olan bazalt fiberlerdir. Bazalt fiber ve PPS arasındaki arayüzey yapışmasının çok güçlü olmadığı daha önceki deney sonuçlarında görülmüştü. Bu sebeple kolayca yüzeyden çıkan fiberler abrazif aşınmaya neden olarak aşınma oranını arttırmıştır [84,86,87].

Şekil 4.27’de fiber takviyeli kompozitlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.27. Fiber takviyesi içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri

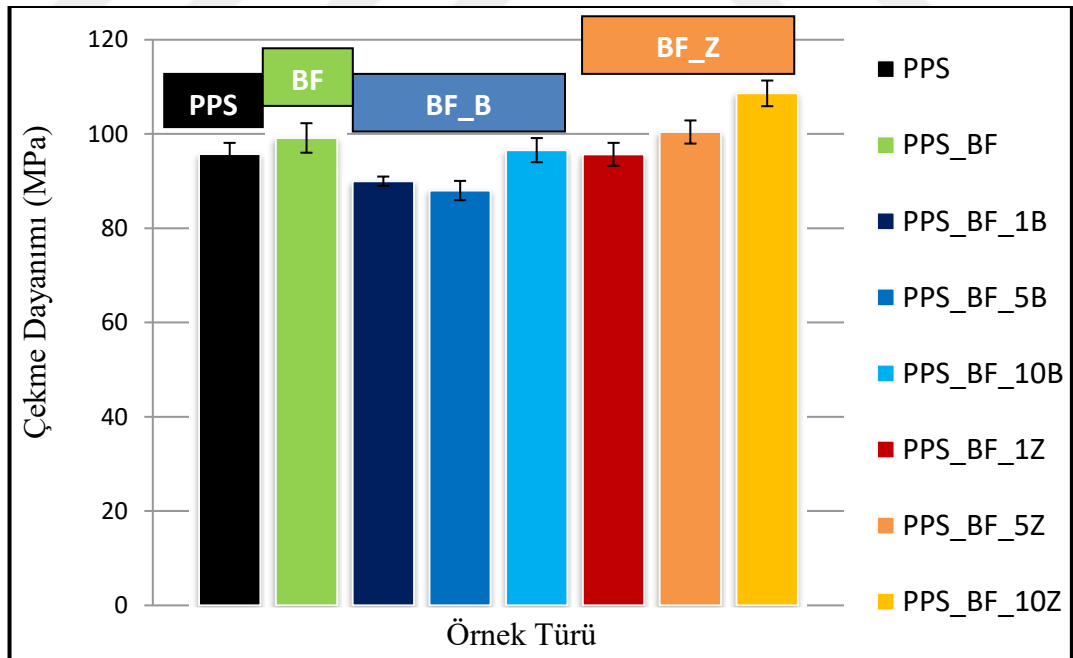
Görüntüler incelendiğinde aşınma oranı arasındaki farkın sebebi görülebilmektedir. Karbon fiber takviyeli kompozitin yüzeyinin pürüzsüz olduğu ve hiçbir hasarın gözlenmediği görülmektedir. Ayrıca aşındırıcı küre ile yüzey arasında film oluşması, yüzeyin bu durumunun bir sebebidir. Sürtünme katsayısının lineerliğinin ve düşük olmasının sebebi bu görüntü ile kanıtlanmaktadır. Bazalt fiber takviyeli kompozitin SEM görüntüsü incelendiğinde, bazalt fiberlerin yerlerinden çıktığı ve malzeme yüzeyinin hasarlandığı görülmektedir. Bu da fiberlerin matris ile arasındaki yapışmanın zayıflığını gösterir ve aşınma oranının artmasına sebep olur.

### 4.3. Hibrit Takviyeli Kompozitlerin Deney Sonuçları

#### 4.3.1. Doğal mineral partikülleri ve bazalt fiber içeren hibrit kompozitlerin deney sonuçları

##### 4.3.1.1. Çekme testi sonuçları

Şekil 4.28’de doğal mineral partikülü ve bazalt fiber takviyeli hibritlerin çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanım değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Doğal mineral ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Bentonit ve bazalt fiber takviyeli hibritlerin (PPS\_BF\_B) çekme deneyi sonuçları incelendiğinde, bentonit ve bazalt fiberin aynı anda takviye edilmesinin çekme

dayanımı değerlerinde iyileşme sağladığını göstermiştir. Daha önceki başlıklar altında bentonit partikülünün ve bazalt fiberin PPS'e ayrı ayrı takviye edildiği durumlar incelenmişti ve bu iki takviyede de PPS matrisi ile aralarındaki yapışmanın iyi olmadığı gözlenmişti. Takviye fazlarının matris ile yapışmasının güçlü olmaması, yük taşıma işleminin takviye elemanlarına efektif bir şekilde aktarılamamasına sebep olur. Bu sebeple dayanım değerlerinde azalma görülebilir. Bentonit ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerde görülen düşüşün temel sebebi budur ve bu durum diğer testler ve SEM görüntüleri ile diğer başlıklar altında desteklenmiştir [94,95,96].

Bentonit ve bazalt fiberi aynı anda içeren hibrit kompozitler kendi aralarında kıyaslandığında, %10 bentonit içeren hibrit kompozitin dayanımının, diğerlerine nazaran daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bunun sebebi, bazalt fiber takviyesiyle birlikte partiküllerin homojen dağılımının desteklenmesidir [95]. Homojen dağılım, arayüzey alanının artması ve dolayısıyla daha fazla yük taşınması anlamına gelmektedir. Bu sebeple çekme dayanım değerlerinde artış gözlenir. Yinede bu kompozit saf PPS ile kıyaslandığında, çekme dayanımı değerini önemli derecede geliştirememiştir. Buna karşın bu hibrit kompozitin dayanım değeri, yalnızca bazalt fiber takviyesi içeren PPS kompozitinin dayanım değerinden daha düşüktür.

Tablo 4.10. Bazalt fiber takviyeli hibritlerin dayanım değerlerindeki değişim

<b>Numune Kodu</b>	<b>% Değişim</b>
<b>PPS BF</b>	Referans
<b>PPS BF 1B</b>	- 9,25 %
<b>PPS BF 5B</b>	- 11,25 %
<b>PPS BF 10B</b>	- 2,60 %
<b>PPS BF 1Z</b>	- 3,49 %
<b>PPS BF 5Z</b>	+ 1,27 %
<b>PPS BF 10Z</b>	+ 9,54 %

Tablo 4.10 incelendiğinde rahatça görülebileceği üzere, bazalt fiber takviyesinin tek başına yapıldığı durumda, bentonit takviyeli hibrit kompozitlere nazaran daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir yani yalnızca bazalt fiber takviyesi içeren PPS matrisli kompozitin dayanım değeri bentonit ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin dayanım değerlerinden daha yüksektir. Bunun sebebi, bentonit partiküllerinin matris ile yapışmasının güçsüz olması ve dolayısıyla kompozitlerin

içerisinde destek elemanı olarak değil sanki kusur gibi görev görerek çekme testi esnasında yük altında malzemenin daha kolay hasarlanmasına sebep olmasıdır. Ayrıca bentonitlerin topaklanarak yapı içerisinde topluca bir arada durmaları da buna sebep olabilmektedir [55]. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda da, hibrit kompozitlerin çekme dayanımı değerlerinin düştüğü ve bu durumun olağan bir durum olduğu görülmektedir [6,95,96].

Zeolit ve bazalt fiberin birlikte takviye edilmesiyle oluşturulan hibrit kompozitlerin çekme dayanımları incelendiğinde, %1 zeolit takviyeli hibritin PPS\_BF'ye kıyasla dayanım değerini düşürdüğü ancak %5 ve %10 zeolit takviyesi içeren hibritlerin dayanım değerlerini arttırdıkları görülmektedir. Buradan yola çıkarak, partikül ve fiber takviyesinin eş zamanlı yapılmasıyla birlikte hibrit etkinin pozitif sonuç verdiği, fiberlerin, partiküllerin yük taşıma kabiliyetini arttırdığı söylenebilir. Aynı zamanda fiber ve partiküllerin eş zamanlı takviyesi, homojen dağılımı da arttırmıştır. Böylelikle topaklanma eğilimi azalan partikül ve fiberler, matrise yük taşımak için daha fazla yardımcı olmaktadır [37,97,98].

Bentonit ve zeolitin tek takviye elemanı olarak PPS matrisine takviye edildiği PPS\_B ve PPS\_Z kompozitleri daha önceki başlıklar altında kıyaslanmış ve zeolit partiküllerinin PPS'e takviyesiyle çekme dayanımında daha yüksek düşüşler görülmüştü. Bu partiküllerin bazalt fiber ile hibrit etki yaratılarak takviye edilmeleri sonucunda ise durum değişmiş, hatta zeolit partiküllerinin yer aldığı kompozitlerin çekme dayanımlarının arttığı görülmüştür. Buradan bazalt fiber ile zeolit arasındaki uyumun ve sinerjinin bentonite nazaran daha yüksek olduğu ve matrisin desteklenmesi adına birbirlerine daha fazla destek oldukları söylenebilir.

#### **4.3.1.2. TGA sonuçları**

Partikül ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin ısı kararlılık özelliklerinin araştırılması için yapılan TGA sonuçları Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11 incelendiğinde hibrit kompozitlerin %5 ve %10 ağırlık kaybına uğradığı sıcaklıkların saf PPS'e göre daha yüksek olduğu dolayısıyla ısı kararlılığın arttığı görülmektedir. Tablo 4.11 incelendiğinde %1 partikül takviyeli hibritlerin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Partikül oranı arttıkça ısı kararlılık düşmektedir.

Tablo 4.11. Bazalt fiber takviyeli hibritlerin TGA sonuçları

Numune Kodu	T <sub>5%</sub> (°C)	T <sub>10%</sub> (°C)
PPS	496,71	510,16
PPS_BF	506,53	519,41
PPS_BF_1B	503,88	519,1
PPS_BF_5B	502,68	516,13
PPS_BF_10B	503,27	518,19
PPS_BF_1Z	506,09	519,65
PPS_BF_5Z	503,04	517,99
PPS_BF_10Z	497,7	512,76

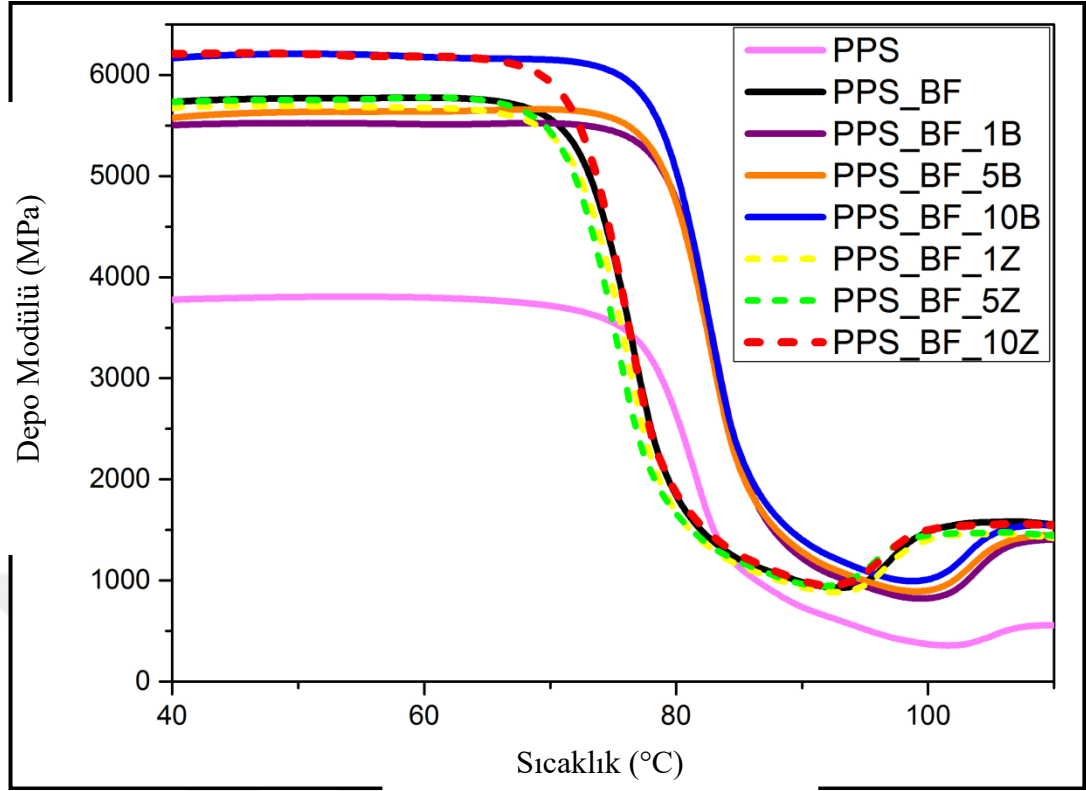
Bentonit ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitler incelendiğinde, en iyi artışın %1 bentonit takviyesinde gerçekleştiği ve en düşük artışın %5 bentonit takviyeli hibritte gerçekleştiği görülmektedir. Bentonit takviyeli hibrit kompozitlerin ısıl kararlılığı arttırmaları, bazalt fiber ve bentonitlerin gaz geçirgenliğini azaltması ve matris içerisindeki termal enerjiyi depolayarak daha yüksek sıcaklıklara malzemenin dayanımını arttırmasından kaynaklanır. %5 bentonit takviyesinde düşüşün görülme sebebi ise topaklanma olabilir [98,99]. Topaklanan partiküller, matris parçalanmasını homojen dağılan partiküller gibi engelleyemezler. Homojen partikül dağılımına sahip kompozitlerin, matrisi her bölgede aynı seviyede koruyan partiküller içermelerinden dolayı matrisin deforme olması daha zordur.

Zeolit partikül takviyeli hibritler incelendiğinde ısıl kararlılık özelliklerinin iyileştiği görülmektedir. Hibrit kompozitlerin içerdiği zeolit oranı arttıkça bu iyileşme azalmaktadır. Zeolit partikülü içeren hibrit kompozitlerin ısıl kararlılık özelliklerinde gözlenen bu iyileşme, bentonit partikülü içeren hibritlerle aynı sebeptendir; partikül ve fiberlerin kompozitin gaz geçirgenliğini azaltması ve ısı yalıtımını arttırmasındandır [77]. Polimer malzemeye termal özellikleri kendi termal özelliklerinden daha iyi olan fiber ve partikül takviye edilmesi, doğal olarak termal özelliklerde iyileşme sağlamıştır.

#### 4.3.1.3. DMA sonuçları

Şekil 4.29'da doğal mineral ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin DMA sonuçları depo modülü – sıcaklık grafiği olarak, Şekil 4.30'da ise tan delta – sıcaklık grafiği olarak verilmiştir.



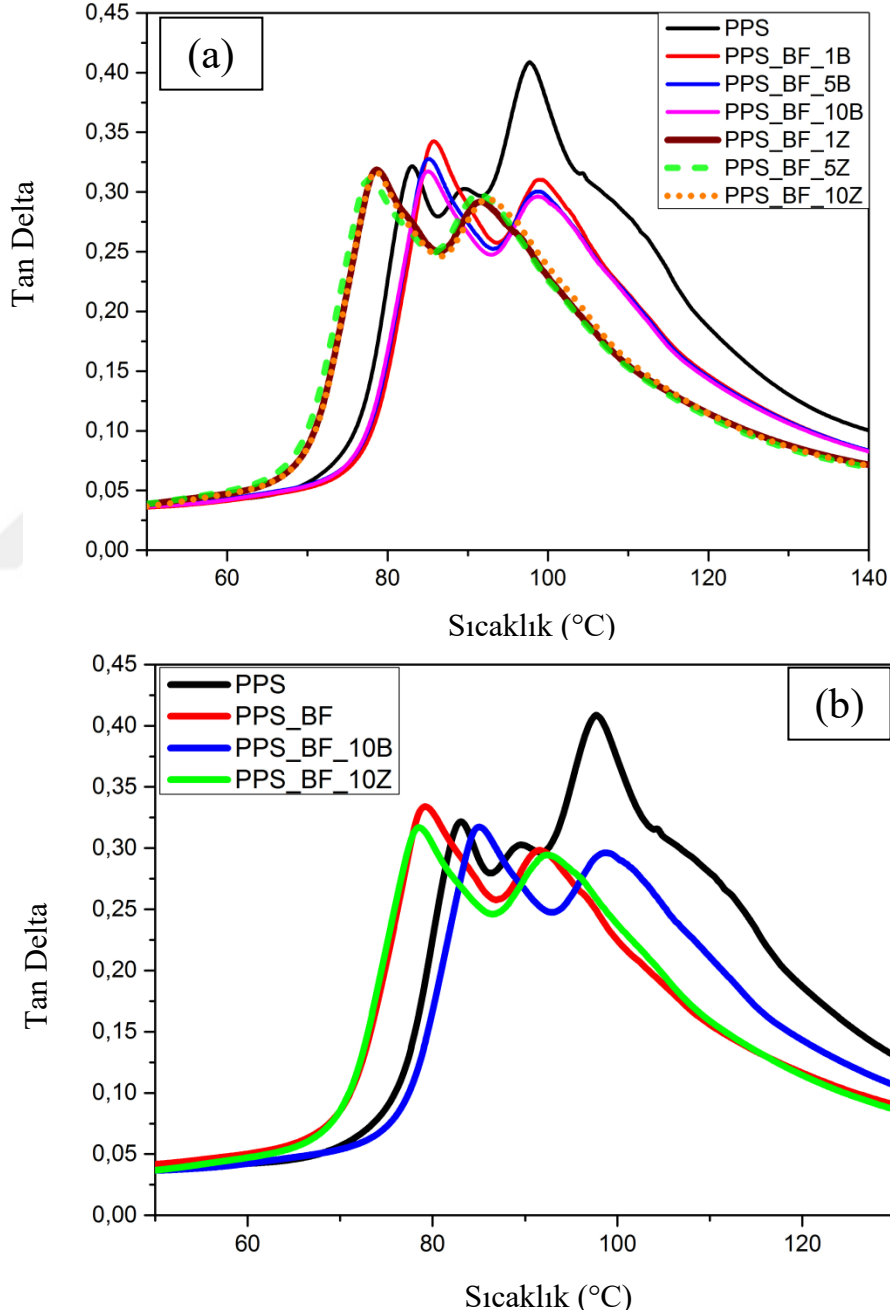


Şekil 4.29. Bazalt fiber takviyeli kompozitlerin depo modülü – sıcaklık grafikleri

Şekil 4.29 incelendiğinde, partikül ve fiberin birlikte takviye edilmesiyle oluşturulan hibrit etkinin önemi net bir biçimde ortaya koyulmuştur. Depo modülü değeri düşük sıcaklıklarda hibrit kompozitlerin hepsinde istisnasız olarak net bir şekilde artmıştır. Bentonit ve zeolit içeren iki kompozitte de artan partikül oranıyla birlikte depo modülü değerlerinde de artış gözlenmiştir. Hem bentonit hem de zeolit takviyesi içeren hibrit kompozitlerin depo modülü değerlerindeki artış, polimer matrise hem partikül hem de fiber takviyesi sebebiyle arayüzey etkileşiminin artması ve PPS moleküllerinin hareketliliğinin kısıtlanması sebebiyle gerçekleşmiştir [24,98].

%10 partikül takviyesi içeren hibrit kompozitler en yüksek depo modülü değerlerine sahiptirler. Depo modülü değerlerinin, arayüzey üzerinden fiber ve partiküllere yük taşıma amacıyla aktarılan gerilme ve kuvvetlerin taşınma etkinliğinin de bir göstergesi olduğu düşünüldüğünde, %10 partikül takviyeli hibritlerin yük taşıma konusunda en iyi sonucu vermesi beklenmektedir [54]. Ayrıca zeolit takviyeli hibrit kompozitler ve bentonit takviyeli kompozitler kıyaslandığında aralarında davranış olarak fark gözlenmemesine karşın, zeolit partikülleri içeren hibritlerin camsı geçiş sıcaklığı değerlerinde düşüş gözlenmektedir.

Camsı geçiş sıcaklığının üzerine çıktığında depo modülü değerleri takviye malzemesi ve takviye oranından bağımsız bir şekilde ani bir düşüş yaşamıştır ve bu sıcaklığın üzerinde depo modülü değerleri saf PPS'e göre artmış olmasına rağmen, hibritlerin depo modülü değerleri arasındaki fark düşüktür. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde bu değerlerde görülen düşüş PPS'in artan moleküler hareketliliğinden dolayı gerçekleşir [97].



Şekil 4.30. (a) Doğal mineral ve bazalt fiber takviyeli hibritlerin ve (b) %10 partikül içeren hibritlerin tan delta – sıcaklık grafikleri

Şekil 4.30 incelendiğinde göze çarpan ilk detay, zeolit takviyeli hibritlerin camsı geçiş sıcaklığı değerlerinin daha düşük olduğudur. Bununla birlikte görülen diğer bir durum ilk pikin, bentonit takviyeli hibritlerde %10 partikül takviyesi içeren hibrit hariç, saf PPS'e nazaran daha yukarıda olduğu ve her hibrit için ikinci pikin daha aşağıda çıkmasıdır. İlk pikin büyüklüğünün azalması moleküler hareketin ve mekanik enerji kaybının azaldığının, takviye elemanları ve matris arasındaki etkileşimin arttığına işaretler. Bu durum Şekil 4.30 – (b)'de daha rahat görüleceği üzere yalnızca %10 partikül takviyesi içeren hibritler için geçerlidir. Diğer zeolit takviyeli hibritler için yaklaşık olarak pik büyüklükleri eşittir, dolayısıyla böyle bir iyileşmeden bahsedilememektedir. Buna ilave olarak %1 ve %5 bentonit takviyeli hibritlerin pikleri daha yukarıda görülmektedir. Bu durum vurgulanan özelliklerin kötüleştiğinin belirtisidir. Ayrıca %10 partikül içeren kompozitlerin piklerinin PPS'e nazaran daha geniş olduğu görülmektedir. Bu durum takviye elemanları ve matris arasındaki yapışmanın iyi olduğunun göstergesidir. İkinci pikler incelendiğinde ise, her hibrit için piklerin saf PPS'in pikine göre daha aşağıda olduğu ve zeolit takviyeli kompozitlerin soğuk kristalleşme derecesinin daha düşük olduğu görülmektedir. Buradan sonuçla zeolit takviyeli kompozitlerin daha erken kristalleşmeye başlayacağı yorumu yapılabilir [54,55,79].

#### 4.3.1.4. DSC analizi sonuçları

Tablo 4.12'de partikül ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin DSC analizi ile elde edilen verileri yer almaktadır.

Tablo 4.12. Bazalt fiber takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları

	$T_g$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_m$ (°C)	$\Delta H_c$ (J/g)	$\Delta H_m$ (J/g)	$X_c$ (%) <sub>rel</sub>
<b>PPS</b>	87,74	111,13	287,62	8,34	40,42	100
<b>PPS_BF</b>	85,47	108,97	285,35	6,83	36,57	103,00
<b>PPS_BF_1B</b>	86,81	108,91	286,55	6,96	36,75	104,34
<b>PPS_BF_5B</b>	86,64	108,07	285,54	7,28	35,12	102,10
<b>PPS_BF_10B</b>	86,61	107,59	285,51	6,49	32,91	102,95
<b>PPS_BF_1Z</b>	87,39	109,16	287,1	6,19	35,33	102,06
<b>PPS_BF_5Z</b>	86,84	106,8	285,49	6,41	34,05	101,36
<b>PPS_BF_10Z</b>	87,2	107,05	285,7	5,29	32,55	106,22

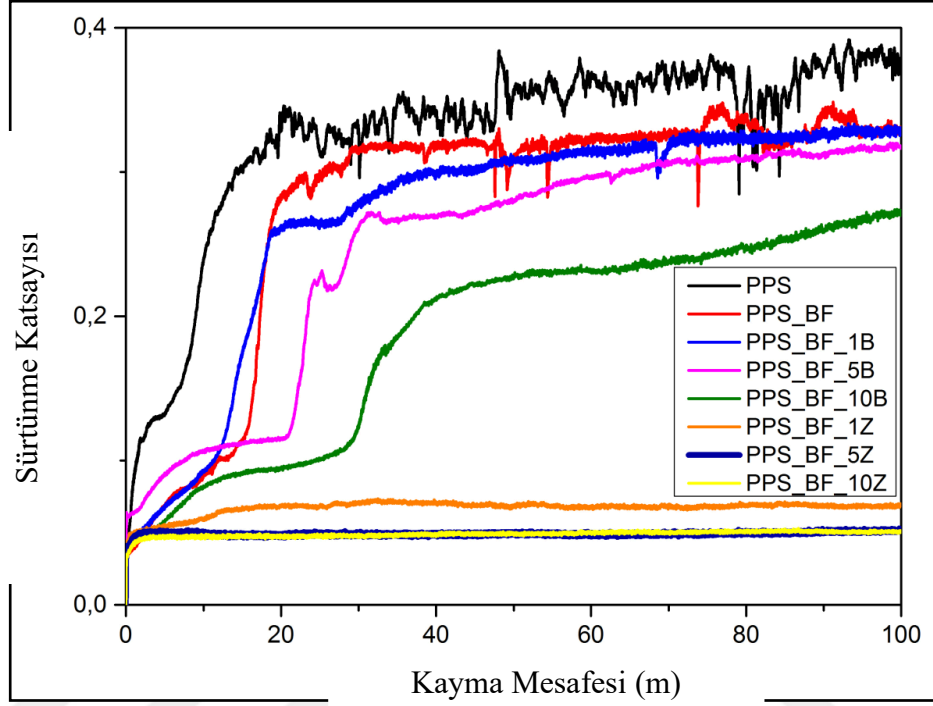
Camsı geçiş sıcaklığı değerlerinin, partikül türünden bağımsız olarak hibrit kompozitlerde düştüğü söylenebilir. Bununla birlikte tüm bazalt fiber takviyesi içeren hibrit kompozitlerde kristalleşme sıcaklığı, kristalleşme entalpisi ve erime entalpisi değerlerinin düştüğü görülmektedir. Kristalleşme sıcaklığındaki düşüş, çekirdeklenme kabiliyetinin bir göstergesidir ve hibritlerdeki takviyelerin çekirdeklenme ajanı olarak görev gördükleri düşünüldüğünde, kristalleşme oranını arttırmaları öngörülmektedir [93]. Erime sıcaklıklarına bakıldığında önemli derecede bir değişim hiçbir kompozit için görülememektedir. Lamel kalınlığı veya fiber ve matris arasında oluşan bağ erime sıcaklığını artırır. Buradan sonuçla, lamel kalınlığının fiberlerde önemli derecede değişmediği ve matris ve takviye elemanları arasında kovalent bağların oluşmadığı söylenebilir [3,20].

PPS matrisine bazalt fiber ve partikül takviyesinin eş zamanlı yapılmasıyla kristalinite oranında artış gözlenmiştir. Kompozit malzemelerde, takviye elemanları genellikle çekirdeklenme ajanı olarak görev görürler ve çekirdeklenmeyi kolaylaştırarak sferülitlerin büyümelerini sağlarlar [82]. Bu sebeple kristalinite oranı artış gösterir. Hibrit kompozitlerde kristalinite oranındaki ufak artışın sebebi budur. Bununla birlikte artan takviye oranıyla birlikte, partiküllerin sınırlayıcı bir alan oluşturdukları varsayılabilir. Bu sınırlayıcı alan zincir hareketlerini kısıtlar ve kristalleşmenin düşmesine veya daha düşük miktarlarda gerçekleşmesine olanak sağlar. Bu sebeple artan takviye oranının, kristalinite oranında daha az artışa sebep olduğu söylenebilir [3,81,82]. Bentonit takviyesi içeren hibritlerde %10 partikül oranı içeren hibritin daha az kristalleşme sebebi bu şekilde açıklanabilmektedir. Bu durumun tam tersi zeolit partikülü takviyeli hibritlerde gözlenmiştir ve en iyi kristalinite oranı %10 zeolit içeren hibritte görülmüştür. Bunun sebebi, kristalleşme sıcaklığı ve kristalleşme entalpisi değerlerindeki düşüş ile açıklanabilir. Bu değerlerdeki düşüş, takviye elemanlarının çekirdeklenme ajanı olarak etkinlik derecelerinin artışını göstermektedir [93].

DSC analizi sonuçlarından kısaca, mineral partikülleri ve bazalt fiberin eş zamanlı takviyesinin, yeni kristalin bölgelerin oluşmasına sebep olduğu ancak eski kristalin bölgelerin kalınlaşmasına etki etmediği sonucu çıkarılır.

#### **4.3.1.5. Aşınma testi sonuçları**

Doğal mineral partikülü ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin pin-on-disk modu aşınma testi sonuçları Şekil 4.31’de sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği olarak ve Şekil 4.32’de aşınma oranı grafiği olarak verilmiştir.



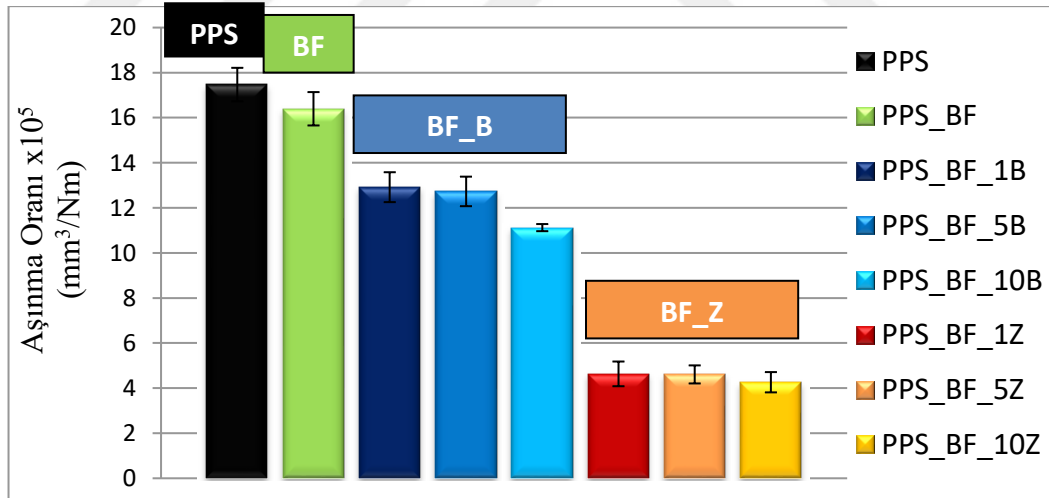
Şekil 4.31. Doğal mineral partikülü ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafikleri

Hibrit kompozitlerin genel davranışları, matris, fiber ve partiküllerin birbirleriyle olan uyumlarına göre şekillenmektedir. Sürtünme davranışı da doğal olarak bu malzemelerin birbirleriyle olan uyumlarına göre hibrit etki oluşturarak iyileşebilir veya herhangi bir etki göstermeksizin kötüleşebilir. Genel olarak polimer malzemelere fiber ve partikül takviye edilmesiyle sürtünme katsayısı değerleri düşmektedir. Bunun sebebi, yumuşak olan matrise kendisine nazaran daha sert ve rijit fazların ilave edilerek, bu fazların matrisi desteklemelerinden gelmektedir [55,84].

Şekil 4.31 incelendiğinde, zeolit partikülü içeren hibrit kompozitlerin bentonit içeren hibritlere kıyasla çok daha iyi sürtünme özelliklerine sahip oldukları görülmektedir. Sürtünme katsayısı zeolit takviyesi içeren hibritlerde en iyi sonuçları verirken, zeolit takviyeli hibritler kendi aralarında kıyaslandığında partikül oranının artmasıyla sürtünme katsayısı değerleri düşmüş, %5 ve %10 partikül takviyeli hibritler arasında fark görülmemiştir. Bazalt fiber ve zeolit arasındaki uyum hibrit etkinin güçlü bir şekilde ortaya çıkmasını sağlamış ve bu durum sonuçlara yansımıştır. Bununla birlikte

%1 zeolit partikülü içeren hibritin 10. metreden sonra, %5 ve %10 zeolit içeren hibritlerin 2. metreden sonra transfer filmi oluşturduğu görülmüştür ve oluşan bu transfer filmi sayesinde kayma mesafesinin artmasına rağmen sürtünme katsayısı değerlerinde artış gerçekleşmemiştir.

Bentonit ve bazalt fiber takviyeli hibritlerin sürtünme özellikleri zeolit içeren hibritlere kıyasla daha kötü olduğu ancak saf PPS'e kıyasla daha iyi oldukları görülmektedir. Bentonit ve bazalt fiber arasında oluşturulan hibrit etki, zeolit ile bazaltın oluşturduğu hibrit etkiye kıyasla daha düşüktür. Bentonit takviyeli hibritler incelendiğinde, partikül oranının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinde azalma görülmektedir. Bunun sebebi artan partikül oranıyla birlikte, matrisin içerisindeki rijit ve sert fazların sayısının artması ve dolayısıyla kompozitin yük taşıma kabiliyetinin artmasıyla ilgilidir. Bentonit takviyeli hibritlerin, zeolit takviyeli hibritlere nazaran daha kötü aşınma davranışı göstermelerinin sebebi, bentonit ve bazalt fiber arasında yaratılan sinerjik efektin, zeolit ve bazaltın sinerjik efektine kıyasla daha kötü olmasıdır. Bu durum diğer test ve analizlerde de görülmüştür.

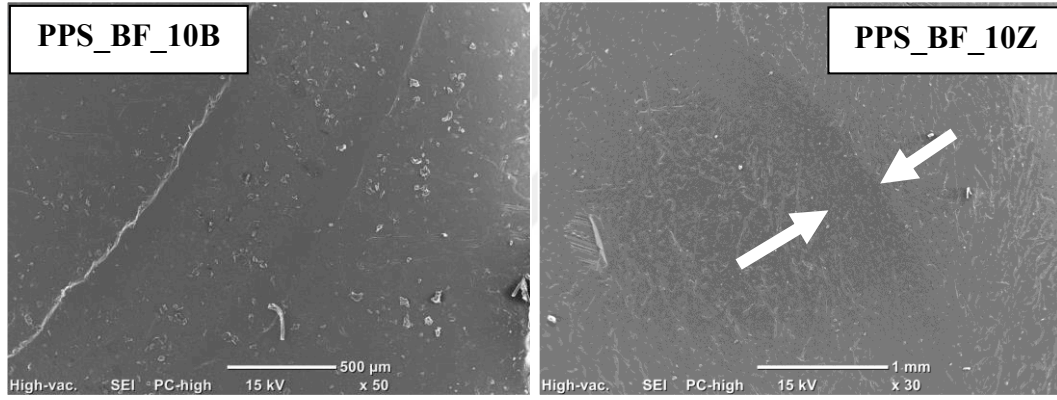


Şekil 4.32. Doğal mineral partikülü ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma oranı grafikleri

Şekil 4.32 incelendiğinde, sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiğiyle doğru orantılı olarak aşınma oranı grafiğinin elde edildiği görülmektedir. Bazalt fiber ile sinerjik efekti yüksek olan zeolit partiküllerinin PPS'e takviyesiyle elde edilen hibritlerin aşınma oranlarının saf PPS'e nazaran çok daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi, erken safhada polimer yüzeyi ve aşındırıcı küre arasında oluşan

transfer filmidir. Ayrıca bu transfer filminin çok erken oluşması, yüzeyden partikül, fiber veya polimer parçalarının ayrılmasını engelleyerek aşınma oranının minimuma inmesine sebep olmuştur.

Bentonit takviyesi içeren hibritler incelendiğinde, artan partikül oranıyla doğru orantılı olarak aşınma oranında saf PPS'e kıyasla iyileşme gözlenmiştir. Bu iyileşme, zeolit partikülü içeren hibritlere kıyasla daha düşüktür. Bunun sebebi sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiğinde de açıkça görülmektedir ve transfer filmi oluşana kadar geçen sürede aşındırıcı küreciğin polimer malzeme yüzeyinden bentonit takviyesi içeren hibritlerde daha çok parça koparmasıyla açıklanmaktadır. Hibritlerin aşınma oranları arasında görülen fark Şekil 4.33'te verilen SEM görüntüleri ile de net bir şekilde ortaya konmuştur.



Şekil 4.33. Doğal mineral partikülü ve bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri

SEM görüntüleri incelendiğinde, PPS\_BF\_10B hibritinin aşınma yolunun PPS\_BF\_10Z hibritine kıyasla çok net gözüktüğü ve daha pürüzlü olduğu görülmektedir. Bu pürüzlü görünüm, bentonit partiküllerinin ve bazalt fiberin, aşındırıcı küre ile temasıyla birlikte oluşan aşınma mekanizmasının sonucudur ve aşındırıcı kürenin partikül ve fiberlerle temasının kanıtıdır. Bu sebeple saf PPS'e nazaran sürtünme katsayısı ve aşınma oranı azalmaktadır.

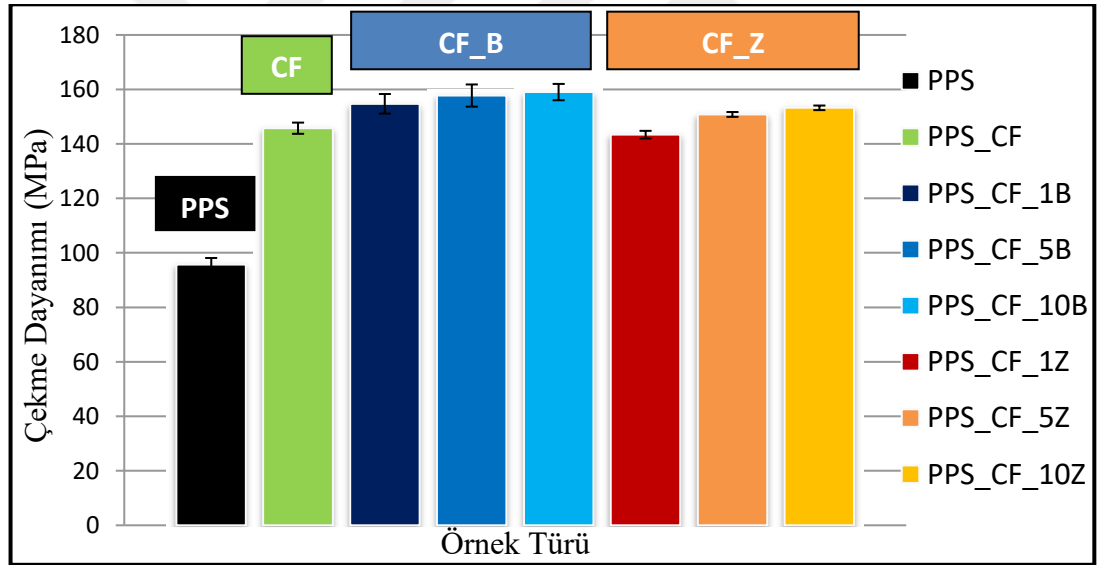
PPS\_BF\_10Z hibritinin aşınma izinin zor görülmesi, zeolit ve bazaltın sinerjik etkisinin bir sonucu olarak aşınma özelliklerinin iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. Aşındırıcı küre, sinerjik etki ile desteklenen polimer yüzeyinden malzeme koparamaz. Ayrıca bu hibritin yüzeyinde fiber ve partikül ayrılması görülmemektedir. Ayrıca

erken safhada oluşturulan transfer filmi sayesinde aşınma oranı ve sürtünme katsayısı büyük oranda azalır. Tüm bu sebepler, aşınma oranının düşük olmasının ve sürtünme özelliklerinin iyileşmesinin sebebidir. SEM görüntüleriyle birlikte aşınma özellikleri iyileşen hibritler ve hibritler arasında görülen aşınma davranışlarının farkı net bir şekilde ortaya konmuştur.

### 4.3.2. Doğal mineral partikülleri ve karbon fiber içeren hibrit kompozitlerin deney sonuçları

#### 4.3.2.1. Çekme testi sonuçları

Şekil 4.34'te doğal mineral partiküllerinin, karbon fiber ile birlikte eş zamanlı olarak PPS'e takviye edilmesiyle oluşturulan hibrit kompozitlerin çekme dayanımı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.34. Doğal mineral ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Şekil 4.34 incelendiğinde, karbon fiber ve doğal mineral partikülü içeren hibrit kompozitlerin saf PPS'in çekme dayanım değerlerini önemli derecede geliştirdiği görülmektedir. Bununla birlikte PPS\_CF\_B ve PPS\_CF\_Z hibritleri ayrı ayrı incelendiğinde, her iki hibrit içinde içerdikleri partikül oranının artmasıyla dayanım değerlerinin de arttığı görülmektedir. Buradan dayanım değerlerinin karbon fiber oranı sabit tutulduğu için, partikül oranıyla ilişkili olarak değiştiği görülmektedir. Buna



karşın karbon fiberin bentonit ile daha iyi bir uyum gösterdiği ve dayanım değerlerini daha fazla arttırdığı görülmüştür.

Hibrit kompozitlerin dayanım değerlerinin saf PPS'in dayanımına kıyasla artış oranları Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin dayanım değerlerindeki değişim

Numune Kodu	% Değişim
PPS CF	+ 52,25 %
PPS CF 1B	+ 61,61 %
PPS CF 5B	+ 64,77 %
PPS CF 10B	+ 66,10 %
PPS CF 1Z	+ 49,77 %
PPS CF 5Z	+ 57,52 %
PPS CF 10Z	+ 60,06 %

Hibrit kompozitlerde görülen bu artışın sebebi, polimer malzemenin kendisine kıyasla çok daha rijit ve daha dayanımlı takviye elemanları tarafından desteklenmesidir. Bentonit ve zeolit içeren iki hibrit kompozitte de artan partikül oranıyla birlikte dayanım değerlerinde artması, fiberlerin partiküllerin homojen dağılımına yardımcı olmasından kaynaklanmaktadır. Homojen dağılım, topaklanmanın minimuma inmesi ve yüzey alanının artmasına destek olur ve bu sebeple daha fazla yük, takviye elemanları tarafından taşınır. Artan partikül oranıyla birlikte dayanımın artması, homojen olarak yapı içerisine fiberlerin desteğiyle dağılan partiküllerin varlığının kanıtıdır [32,55].

Partikül ve fiber takviyesinin eş zamanlı olarak yapılmasıyla oluşturulan sinerjik efekt, polimer içerisine takviye edilen partiküllerin arayüzey yapışma kuvvetini arttırmasıyla da kendini belli eder. Fiberlerin yüzeyinde veya fiberlere komşu olarak yapıda yer alan partiküller, polimere uygulanan yükün fiberlere aktarılmasında önemli rol oynarlar ve arayüzey yapışmasının kuvveti artar. Bu da daha yüksek kuvvetlerin taşınması anlamına gelir [39,55].

PPS\_CF\_B ve PPS\_CF\_Z hibritleri kıyaslandığında, bentonit takviyesi içeren hibritlerin daha yüksek dayanım değerlerine ulaştığı görülmektedir. Buradan, bentonit ile karbon fiberin daha sinerjik bir uyum oluşturdukları görülmektedir. Bu sinerjik

uyum, önceki iki paragrafta anlatılan durumların, bu hibritlerde daha güçlü şekilde gerçekleşmesini sağlar. Dolayısıyla bentonit partikülü içeren hibritlerin, zeolit içeren hibritlere kıyasla daha yüksek dayanımlara ulaştığı gözlenir.

#### 4.3.2.2. TGA sonuçları

Tablo 4.14'te doğal mineral partikülleri ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlerin %5 ve %10 ağırlık kaybına uğradığı sıcaklık değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde, saf PPS'e yapılan takviyelerin, ısıl kararlılık üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir. Hibrit kompozitlerin %5 ve %10 ağırlık kaybı yaşadığı sıcaklıklar, saf PPS'e nazaran daha yüksektir. Bu da partikül ve fiberlerin eş zamanlı takviyesinin, ısıl kararlılığı arttırdığının göstergesidir. Ayrıca partikül oranının artmasıyla birlikte ısıl kararlılığın azaldığı, diğer kompozitlerin TGA sonuçları incelendiğinde görüldüğü gibi burada da görülmüştür.

Tablo 4.14. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin TGA sonuçları

	T <sub>5%</sub> (°C)	T <sub>10%</sub> (°C)
<b>PPS</b>	496,71	510,16
<b>PPS_CF</b>	502,08	518,05
<b>PPS_CF_1B</b>	506,08	520,87
<b>PPS_CF_5B</b>	503,53	518,88
<b>PPS_CF_10B</b>	503,11	518,26
<b>PPS_CF_1Z</b>	500,23	518,92
<b>PPS_CF_5Z</b>	502,26	517,78
<b>PPS_CF_10Z</b>	498,94	514,49

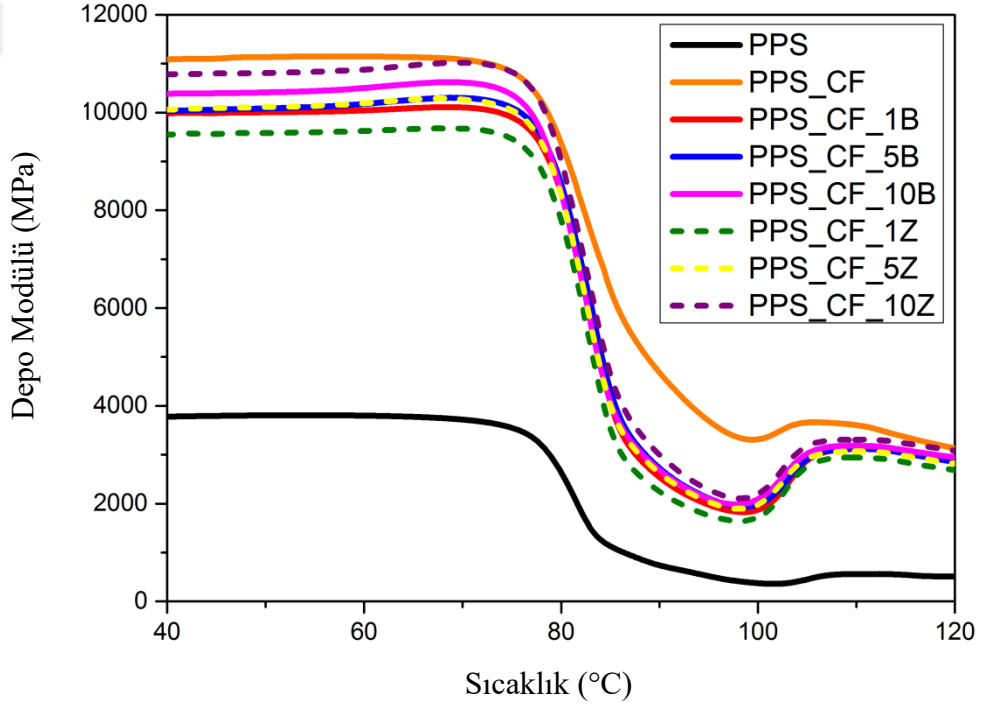
Tablo 4.14 incelendiğinde göze çarpan sonuçlardan biri de, karbon fiber ve bentonit içeren hibrit kompozitlerin, zeolit ve karbon fiber içeren hibritlere kıyasla daha yüksek ısıl kararlılığa sahip olduklarıdır. Bir önceki başlık altında da vurgulanan bentonit ve karbon fiber arasındaki sinerjik uyumun daha yüksek olduğu burada da gözükmemektedir.

Hibrit kompozitlerin ısıl kararlılık özelliklerinde görülen bu iyileşme, PPS matrisine takviye edilen fiber ve partiküllerin, analiz esnasında ortamda meydana gelen kimyasal reaksiyonlara karşı tepkilerinden ve kompozitin gaz geçirgenliğini azaltmalarından kaynaklanır. Ayrıca polimere kıyasla daha yüksek ısı emme kapasitesine sahip takviye

elemanlarının polimere takviyesi, polimere kıyasla daha yüksek ısı emme kapasitesine sahip kompozitlerin oluşması demektir. Bu sebeple kompozitlerin ısıl kararlılıkları artmaktadır [39,92,98].

#### 4.3.2.3. DMA sonuçları

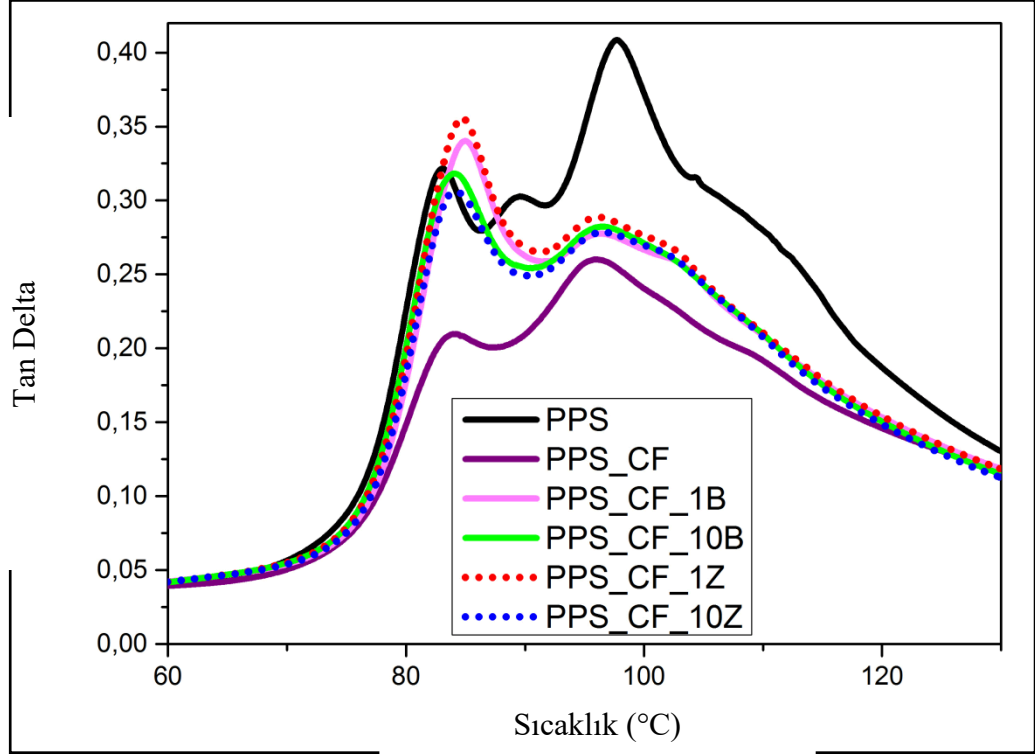
Doğal mineral partikülleri ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlerin DMA sonuçları depo modülü ve tan delta değerlerinin sıcaklığa bağlı grafiği türünden Şekil 4.35 ve 4.36’da verilmiştir. Bu bölümde bazalt fiber ve doğal mineral partikülleri içeren hibritlerin sonuçlarına benzer sonuçlar elde edildiği için sadece grafiklerin temel yorumlamaları yapılmıştır.



Şekil 4.35. Karbon fiber içeren kompozitlerin depo modülü-sıcaklık grafiği

Şekil 4.35 incelendiğinde hibritlerin, depo modülü değerlerinin saf PPS’e kıyasla arttığı görülmektedir. Depo modülü değerleri artan partikül oranıyla birlikte de artmaktadır. Depo modülü rijitliğin bir göstergesidir ve en rijit malzemenin ağırlıkça %10 zeolit içeren hibrit olduğu görülmektedir. Bununla birlikte depo modülünün yüksek olması takviye elemanları ile matris arasındaki etkileşimin de bir göstergesidir. Kompozit malzemelerde matris ile takviye elemanları arasındaki yapışmanın güçlü olması ve dolayısıyla arayüzeyin güçlü olması, kompozite gelen yükün etkin bir

biçimde takviye elemanlarına aktarılmasını sağlar ve böylece kompozit daha fazla yükü etkin bir biçimde taşır. Dolayısıyla %10 partikül içeren hibritlerin, takviye elemanları ve matris arasındaki etkileşimin daha yüksek olduğu bu test sonucuyla desteklenmiştir [14].



Şekil 4.36. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin tan delta – sıcaklık grafiği

Şekil 4.36’da hibritlerin tan delta – sıcaklık grafikleri görülmektedir. Tan delta eğrisi altında kalan alan, malzemenin analiz sırasında kaybettiği enerjinin göstergesidir. Buradan yola çıkarak, partikül oranının artmasıyla birlikte hibritlerin kaybettiği enerjinin azaldığı görülmektedir ve hibrit kompozitler arasında en iyi değere %10 zeolit partikülü içeren hibritte rastlanmıştır. Matris üzerinden takviye elemanlarına aktarılabilen yükün büyüklüğü dolayısıyla arayüzey etkileşiminin etkinliği ne kadar yüksek ise, pikin büyüklüğü daha düşüktür [14]. Bununla birlikte camsı geçiş sıcaklığı değerlerinde bir miktar artış görülürken, kristalleşme sıcaklığının birkaç derece azaldığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.36’da, bariz şekilde en iyi sonucu yalnızca karbon fiber takviyeli kompozitin verdiği görülmektedir.

#### 4.3.2.4. DSC analizi sonuçları

Tablo 4.15'te bentonit ve zeolit içeren karbon fiber takviyeli PPS hibritlerinin DSC analizi sonuçları yer almaktadır. Tablo 4.15 incelendiğinde, camsı geçiş sıcaklıkları ve erime sıcaklığı değerlerinin önemli bir değişikliğe uğramadığı, kristalleşme sıcaklığı, füzyon entalpisi ve kristalleşme entalpisi değerlerinde düşüş görülmektedir. Bu sonuçlar bazalt fiber içeren hibritler için de bu şekilde gözlenmiştir ve fiber ve partikül takviyesiyle birlikte bu değerlerin azalması veya değişmemesindeki nedenler bölüm 4.3.1.4'te incelenmiştir. Bu sebeple burada incelenecek olan durum kristalinite oranlarıdır.

Tablo 4.15. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin DSC analizi sonuçları

	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH <sub>c</sub> (J/g)	ΔH <sub>m</sub> (J/g)	X <sub>c</sub> (%) <sub>rel</sub>
<b>PPS</b>	87,74	111,13	287,62	8,34	40,42	100
<b>PPS_CF</b>	86,76	107,99	285,62	3,75	35,88	111,28
<b>PPS_CF_1B</b>	86,95	108,44	286,48	3,53	37,41	118,66
<b>PPS_CF_5B</b>	86,41	107,1	285,36	6,70	37,1	111,49
<b>PPS_CF_10B</b>	86,39	107,01	285,65	6,12	36,71	119,19
<b>PPS_CF_1Z</b>	85,31	107,93	285,4	7,49	36,54	101,75
<b>PPS_CF_5Z</b>	85,96	106,25	285,1	7,36	35,27	102,35
<b>PPS_CF_10Z</b>	86,32	106,68	285,02	7,23	32,64	99,01

Kristalinite oranının Tablo 4.15 incelendiğinde bentonit takviyesi içeren hibritlerde yüksek olduğu, buna karşın zeolit takviyesi içeren hibritlerde önemli derecede değişmediği ve hatta %10 zeolit içeren hibritte %1'lik azalma olduğu görülmektedir.

Bentonit takviyeli hibritlerin kristallinite oranında görülen artış, takviye elemanlarının heterojen çekirdek olarak görev görerek, yapıdaki çekirdeklenme bölgelerini arttırmalarından kaynaklanır ve karbon fiber bu anlamda çok iyi bir çekirdeklenme ajanıdır. Karbon fiberler ile birlikte takviye edilen partiküller, fiberler tarafından yapı içerisine homojen olarak dağıtırlar ve bu sayede partiküller daha çok noktada heterojen çekirdek olarak bulunarak kristalinite oranını arttırlar [93]. %5 bentonit partikülünün kristallenme oranı, diğer bentonit oranlarına kıyasla daha düşüktür. Bunun sebebi yerel olarak toplanan partiküllerden kaynaklı olabilir.

Zeolit takviyeli hibritler incelendiğinde ise kristallenme oranının bentonit içeren hibritlere kıyasla çok düşük olduğu hatta %10 zeolit içeren hibritin saf PPS'e nazaran kristalinite oranının daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, takviye elemanlarının takviye oranları belirli bir değeri aştığında polimer zincirlerinin

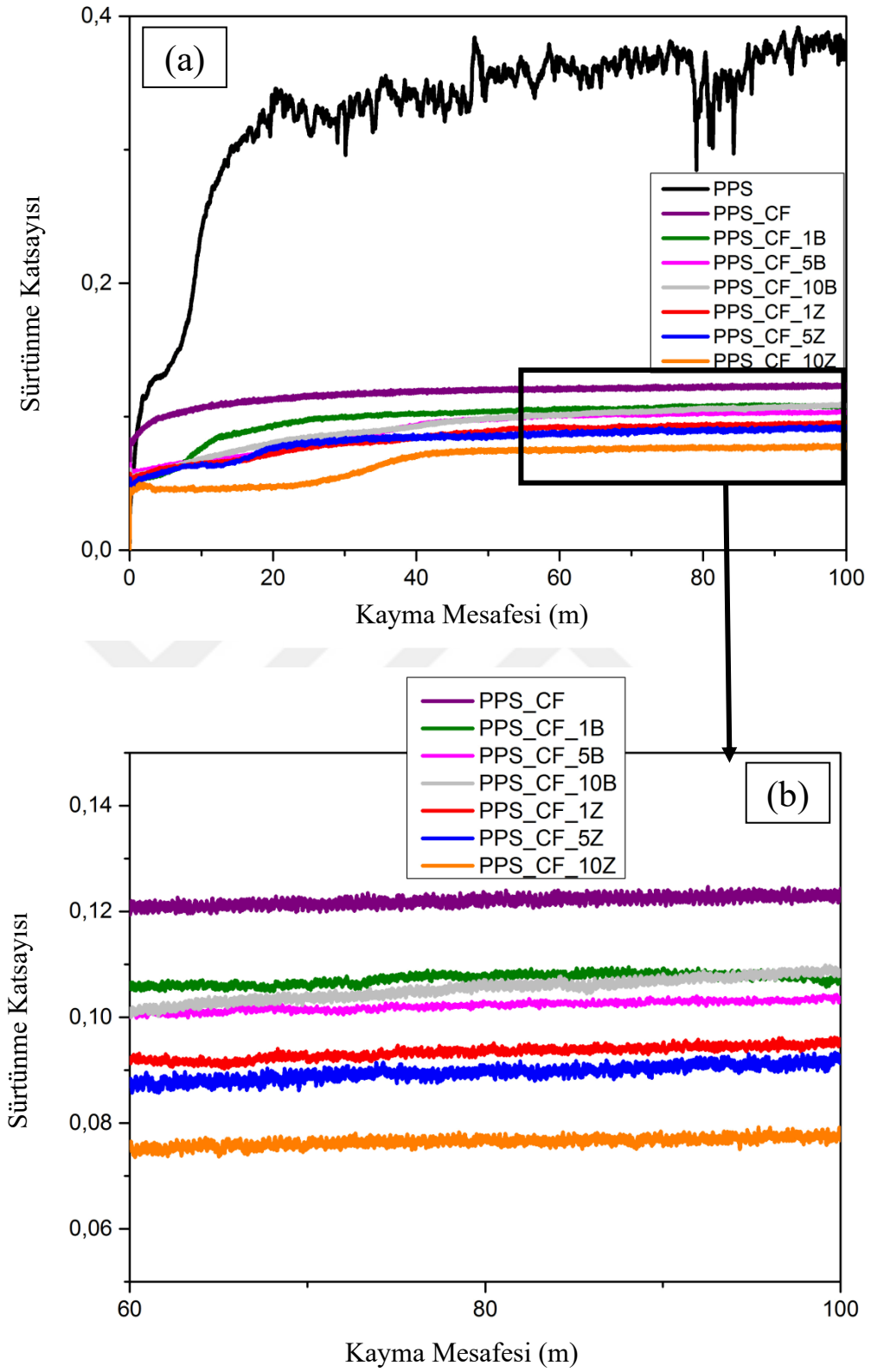
hareketliliğini kısıtlamasıdır [3]. Bunun sonucunda kristal oluşumu engellenmektedir. Takviye oranı bu tez kapsamında “ağırlıkça” aynı seçilmiştir ve matris içerisindeki hacim oranları farklıdır. Bazalt fiberin yoğunluğu, karbon fibere nazaran yüksektir ve ağırlıkça aynı oranda takviye edildiklerinde, yoğunluğu yüksek olan fiberin polimer içerisinde hacimce daha az yer kaplayacağı bilinmektedir. Bu sebeple karbon fiberler yapı içerisinde bazalt fiberlere kıyasla daha fazla hacim kaplamaktadır. Ayrıca bentonit ve zeolit partikülleri arasında da fark vardır ve ikisi de mineral olmasına karşın farklı özellikler taşımaktadırlar. Bu sebeple karbon fiber ve zeolitin bir arada matrise takviye edilmesi bu sonucu doğurabilir.

#### 4.3.2.5. Aşınma testi sonuçları

Doğal mineral partikülü ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi için pin-on-disk adhezif aşınma testleri gerçekleştirilmiş ve test sonuçları sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği olarak Şekil 4.37’de verilmiştir.

Şekil 4.37 – (a)’da tüm hibritlerin sürtünme katsayısı değerleri saf PPS ile birlikte verilmiş olup, (b)’de ise hibritlerin sürtünme katsayısı eğrilerinin daha net incelenmesi adına sürtünme katsayısı eğrilerinin son 40 metredeki davranışları gösterilmiştir.

Şekil 4.37 – (a) incelendiğinde, hibrit kompozitlerin oluşturulan sinerjik efekt ile birlikte sürtünme katsayısı değerlerinde çok büyük iyileşme görülmektedir. Bununla birlikte saf PPS’te görülen dalgalanmalar yani abrazif aşınma mekanizması hibritlerde görülmemektedir. Aksine sürtünme katsayısı değerleri lineer olarak test boyunca devam etmiştir.

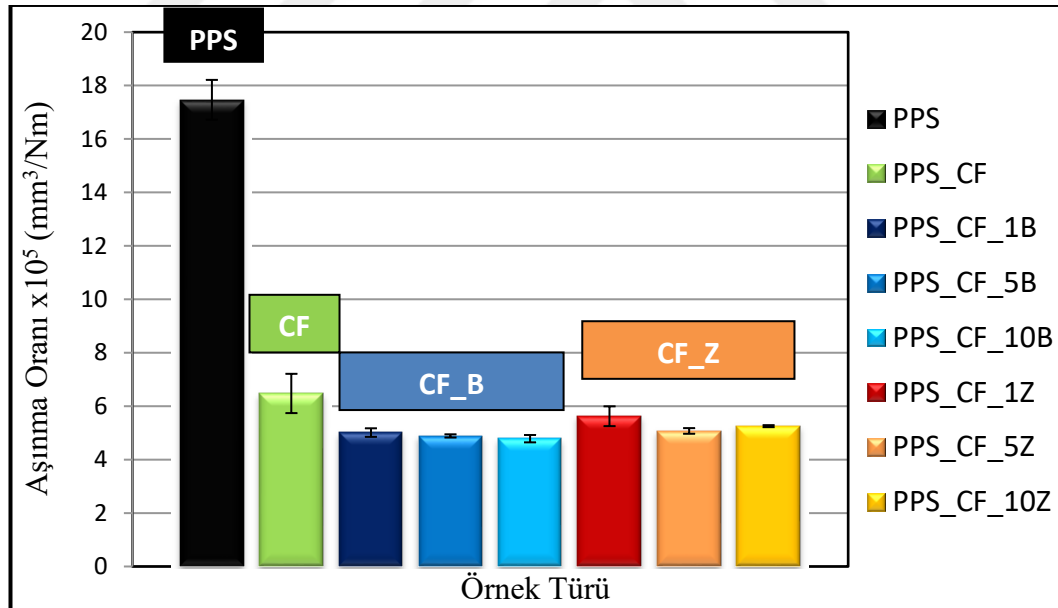


Şekil 4.37. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı–kayma mesafesi grafikleri

Şekil 4.37 – (b) incelendiğinde, bentonit takviyeli hibritlerin, partikül oranı fark etmeksizin hemen hemen aynı davranış ve sürtünme katsayısı değerini gösterdiği

söylenbilir. Bununla birlikte zeolit takviyeli hibritlerde %10 zeolit takviyesi içeren hibritin bir miktar daha iyi sürtünme katsayısına sahip olduğu gözlenmiştir. Sürtünme katsayısında gözlenen bu düşüş, aşındırıcı kürenin polimer yüzeyinde fiberler ve partiküllerle temas ederek, polimer yüzeyiyle temas alanının azalmasından kaynaklanır [57]. Bununla birlikte karbon fiberin yüksek mekanik özellikleri göz önüne alındığında bu durum öngörülmektedir. Test sırasında aşındırıcı kürenin polimer yüzeyiyle temasından kaynaklanan gerilme ve yüklerin, yüksek mekanik özelliklere sahip olan karbon fiberler tarafından rahatlıkla karşılandığı ve bu sebeple partikül oranının bu hibritler için aşınma davranışlarını geliştirme de çok etkin rol oynamadığı söylenbilir. Zeolit takviyeli hibritlerde, %10 partikül takviyesi içeren hibritin bir tık daha iyi sonuç vermesi ise, homojen dağılım ve fiber matris etkileşiminin diğer hibritlere nazaran ufak bir miktar da olsa daha iyi olmasından kaynaklandığı söylenbilir.

Şekil 4.38’de karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma oranları verilmiştir.



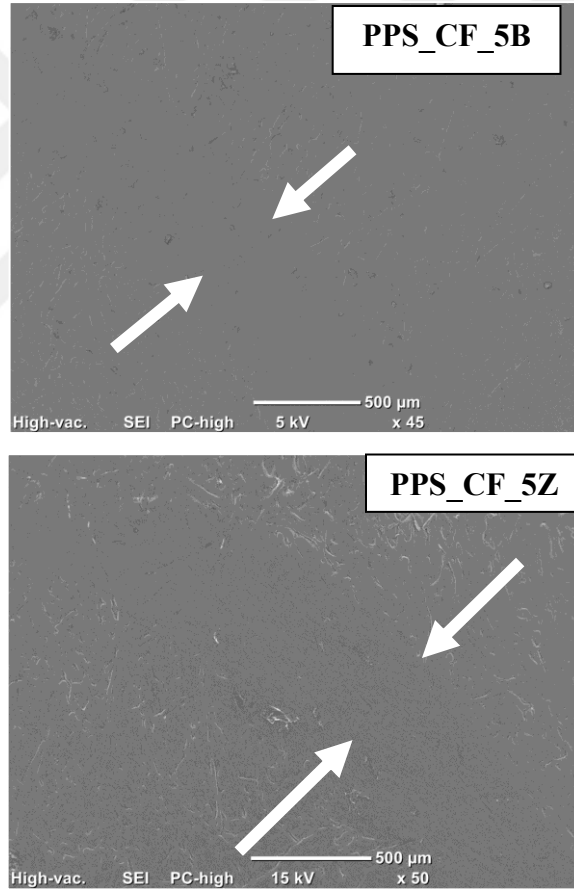
Şekil 4.38. Doğal mineral partikülü ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma oranları

Şekil 4.38 incelendiğinde, sürtünme katsayısındaki üstün iyileşme gibi, aşınma oranında da üstün bir iyileşme görülmektedir. Bununla birlikte hibritlerin aşınma oranları arasında önemli derecede bir fark gözükmemesine karşın, bentonit partikülü içeren hibritlerin ufak bir miktarda olsa daha az aşındığı görülmektedir. Daha önce



çekme testi sonuçlarında bentonit ve karbon fiberin, zeolite kıyasla daha sinerjik bir uyum gösterdikleri ve birlikte takviye edildiklerinde daha iyi yapışma ve dolayısıyla daha yüksek dayanım değerleri gösterdikleri görülmüştü. Bentonit partikülü içeren hibritlerin aşınma oranlarının zeolit partikülü içeren hibritlere kıyasla bir miktar daha iyi olması bu sebeple açıklanabilmektedir. Takviye elemanları ve matris arasındaki yapışmanın artması ile birlikte, aşındırıcı kürenin uyguladığı yük ve gerilmeler daha rahat bir şekilde takviye elemanları tarafından karşılanır ve matris desteklenir. Bunun sonucu olarak aşınma oranlarında çok düşük değerler görülür.

Şekil 4.39’da doğal mineral partikülü ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.39. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri

SEM görüntüleri incelendiğinde, her iki hibritin aşınma izlerinin zor gözüktüğü hatta kısmen görünmez olduğu görülmektedir. Yaratılan sinerjik etkinin sonucu olarak

aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerindeki iyileşmenin görsel kanıtı niteliğindeki bu görüntüler, ayrıca oluşturulan transfer filminin etkinliğinin de bir göstergesidir. Ayrıca aşınan yüzeyler incelendiğinde, aşınma yüzeyinden ayrılan fiber sayısının zeolit partikülü içeren hibritlerde az bir miktar daha fazla olduğu ve hibritlerin arasında görülen aşınma oranları arasındaki temel farkın bu yüzden kaynaklandığı, SEM görüntüleri ile desteklenmektedir.

Daha önceki aşınma testlerinin sonuçları da göz önüne alındığında, kompozitlerin aşınma davranışlarının gelişmesinde zeolit partiküllerinin bentonite kıyasla daha ön plana çıktığı görülmektedir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, PPS matrisli kompozitler hazırlanmıştır. PPS matrisin güçlendirilmesi için iki farklı partikül malzemesi ve iki farklı fiber malzemesi çalışma kapsamında kullanılmıştır. Partiküller bentonit ve zeolit mineralleri olarak, fiberler ise karbon ve bazalt fiber olarak seçilmiştir. Başlangıçta partiküller ve fiberler tek tek PPS'e takviye edilerek tek takviye elemanlı kompozitler üretilmiştir. Daha sonra bir fiber bir partikül olacak şekilde PPS'e hem partikül hem de fiber eş zamanlı olarak takviye edilerek hibrit kompozitler oluşturulmuştur. Kompozitlerde partikül oranı ağırlıkça %1, %5 ve %10 olarak ve fiberler ağırlıkça %10 sabit olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak seçilen partikül ve fiberlerin, takviye edildikleri PPS malzemesinin mekanik, termal, tribolojik ve termomekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kompozitlerin testlerinden elde edilen sonuçlar, hasarlanan yüzeylerin SEM görüntüleri ile desteklenmiştir.

Partiküllerin PPS matrisinin mekanik özellikleri üzerinde yaratacağı etkinin incelenmesi adına bentonit ve zeolit takviyeli kompozitlere uygulanan çekme testi sonucunda, çekme dayanımı değerlerinin her iki partikül takviyesiyle de düştüğü gözlenmiştir. Ağırlıkça %1 partikülleri içeren kompozitler hariç, zeolit partikülleri içeren PPS kompozitlerinin çekme dayanımındaki azalmanın, bentonit partikülleri içeren PPS kompozitlerinin çekme dayanımındaki azalmadan daha fazla olduğu, dolayısıyla zeolit partikülleri içeren PPS kompozitlerinin dayanım değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

Yalnızca fiber takviyesi yapılmış PPS'lere uygulanan çekme testi sonuçları değerlendirildiğinde, fiber takviyelerinin PPS'in dayanım değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. Bununla birlikte karbon elyafın PPS'in dayanım değerinde %52'lik bir artış sağlamasına karşın bazalt fiberin yalnızca %4'lük bir artış sağladığı belirlenmiştir.

Partikül ve fiberlerin bir arada takviye edilmesiyle oluşturulan hibrit kompozitlerdeki sinerjik efektin, PPS'in çekme dayanımı değeri üzerindeki etkisinin araştırılması

adına yapılan çekme testi sonuçları incelendiğinde, ağırlıkça %10 bentonit partikül içeren bazalt elyaf takviyeli PPS hibriti haricinde, bentonit ve bazalt fiber takviyeli PPS kompozitlerinin dayanım değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Buna karşılık ağırlıkça %1 zeolit ve bazalt fiber içeren hibritin dayanım değeri saf PPS ile hemen hemen aynı görülürken, diğer tüm hibritlerin dayanım değerlerinin saf PPS'e kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Hibrit kompozitlerde en iyi dayanım değerleri, ağırlıkça %10 partikül içeren kompozitlerde elde edilmiştir. Karbon fiber ve partikül takviyesi içeren hibritlerin dayanım değerleri saf PPS'e kıyasla çok büyük artış göstermiştir ve tüm kompozitler arasında en yüksek dayanım değeri ağırlıkça %10 bentonit ve karbon fiber takviye edilmiş hibritte saptanmıştır. Çekme dayanımı değerleri sonucunda, bentonit ile karbon fiber arasındaki uyumun, zeolit ile karbon fiber arasındaki uyumdan daha iyi olduğu, bazalt fiber ile zeolit arasındaki uyumun, bazalt fiber ile bentonit arasındaki uyumdan daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Tribolojik özelliklerin incelenmesi adına gerçekleştirilen adhezif aşınma testleri sonucunda, bentonit ve zeolit partikülü takviyeli kompozitlerin her ikisinde benzer davranışlar sergilediği, ağırlıkça %1 partikül içeren kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinde önemli bir değişim olmadığı ancak partikül oranının artmasıyla birlikte bu değerlerin iyileştiği gözlenmiştir. En iyi sürtünme katsayısı değeri her iki partikül takviyeli kompozit içinde ağırlıkça %5 partikül içeren kompozitlerde elde edilmiştir. PPS matrisine elyaf takviye edilmesi sonucunda sürtünme katsayısı değerlerindeki değişim incelendiğinde ise, karbon fiberin takviyesi ile sürtünme katsayısı değerinde önemli derecede iyileşme sağlanmıştır. Buna karşılık bazalt fiber takviyeli kompozitin sürtünme katsayısı değeri ise bir miktar iyileşme göstermiştir.

Hibrit kompozitlere uygulanan adhezif aşınma testi sonuçlarına bakıldığında, istisnasız olarak her hibrit kompozit için sürtünme katsayısı değerlerinin saf PPS'e kıyasla azaldığı görülmüştür. Bazalt fiber ve partikül içeren hibritlere bakıldığında, zeolit partikülü içeren bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlerinin aşınma davranışlarının, bentonit partikülü içeren bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlere kıyasla çok daha iyi olduğu görülmüştür. Karbon fiber ve partikül içeren hibritlerde ise sürtünme katsayısı değerleri tüm hibritler için önemli derecede azalmış ve zeolit partikülü ve karbon fiber takviyeli hibritlerin, bentonit partikülü ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlere kıyasla bir miktar daha iyi olduğu görülmüştür. Bununla

birlikte zeolit ve bazalt fiber içeren hibritlerin en düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip oldukları ve en düşük sürtünme katsayısı değerine tüm hibritler içerisinde ağırlıkça %10 zeolit ve bazalt fiber takviyesi içeren hibritin sahip olduğu görülmüştür. Buradaki sonuçlardan, zeolit partiküllerinin kompozitlerin aşınma davranışları üzerindeki etkisinin bentonite kıyasla çok daha efektif olduğu tespit edilmiştir.

SEM incelemesi ile çekme testi sonucunda kırılan ve aşınma testi sonucunda aşınan yüzeylerin analizleri yapıldığında, kompozitlerin çekme testi sonucunda gevrek kırılma gösterdikleri, fiber takviyeli kompozitlerde kırılan yüzeylerde fiberlerin yerlerinden çıktığı bununla birlikte bazalt fiber takviyeli kompozitlerde ekstradan fiberlerde kırılma hasarının meydana geldiği gözlenmiştir. Karbon fiber ve bentonit takviyeli hibritlerde fiberler ile matris arasındaki yapışmanın iyi seviyede olduğu görülmüştür. Bununla birlikte hibrit kompozitlerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde, karbon fiber takviyesi içeren hibrit kompozitlerin aşınma yollarının, bazalt fiber takviyeli hibrit kompozitlere kıyasla çok daha zor görüldüğü ve yalnızca partikül takviyesi içeren kompozitlerde partiküllerin yerlerinden çıkarak abrazif aşınmaya sebep oldukları, bu nedenle polimer yüzeyinin hasarlanmasına sebep oldukları görülmüştür. SEM görüntüleri kompozitlerin çekme dayanımı değerlerinin ve aşınma davranışlarının desteklenmesi adına önemli bulgular ortaya koymuş ve test sonuçlarını desteklemiştir.

Kompozitlere uygulanan aşınma testlerinden sonra hesaplanan aşınma hacimleri incelendiğinde, en iyi sonucun sürtünme katsayısı değerleriyle doğru orantılı olarak ağırlıkça %10 zeolit ve bazalt fiber içeren hibrit kompozitte olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte aşınma hacminde görülen önemli azalma miktarlarının, sürtünme katsayısı değerlerinde de önemli miktarda iyileşme sağlayan karbon fiber ve zeolit takviyeleriyle birlikte gerçekleştiği görülmektedir. Buradan yola çıkarak karbon fiber ve zeolit kompozitlerin aşınma davranışlarını geliştirmede önemli birer takviye elemanı oldukları tespit edilmiştir.

Partikül takviyeli, fiber takviyeli ve hibrit kompozitlerin DMA sonuçlarına göre, partikül içeren kompozitlerden ağırlıkça %1 ve %5 partikül takviyesi içeren kompozitlerin depo modülü değerlerinin düştüğü, ağırlıkça %10 partikül takviyeli, fiber takviyeli ve hibrit kompozitlerin depo modülü değerlerinin ise arttığı

gözlenmiştir. Depo modülü değerlerindeki artışın partikül oranına bağlı olduğu ve partikül oranının artmasıyla depo modülü değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Partiküllerin tek başlarına takviye edildikleri kompozitlerde depo modülü değerlerinin saf PPS'e yakın olduğu, bazalt fiber takviyesi içeren kompozitlerde bu değer bariz artış gösterdiği, karbon fiber içeren kompozitlerde ise depo modülü değerlerinin önemli derecede gelişim gösterdiği görülmüştür. Buradan yola çıkarak, depo modülü değerlerinde yüksek artışlar sağlamak için gerekli en iyi takviye elemanının karbon fiber olduğu saptanmıştır. DMA sonucunda elde edilen tan deltanın sıcaklığa bağlı grafiği incelendiğinde ise tez kapsamında çalışılan her kompozitin iki adet pik verdiği görülmüştür. İlk pik değeri partikül takviyesi içeren kompozitlerde artış göstermiştir ve bu değer partikül oranının artmasıyla düşmüştür. İlk pik değerinin kayda değer şekilde düştüğü tek kompozitin karbon fiber takviyeli kompozit olduğu ve diğer kompozitlerin hiçbirinin bu pik şiddetini kayda değer şekilde değiştirmedikleri saptanmıştır. İkinci pik değeri incelendiğinde ise pik şiddetini en fazla düşüren kompozitin yine karbon fiber takviyeli kompozit olduğu görülmüştür. Partikül takviyeli kompozitlerde pikin şiddetinde kayda değer bir değişim gözlenmezken, bazalt fiber takviyeli ve hibrit kompozitlerde önemli derecede düşüş gözlenmiştir. Bununla birlikte partikül oranının artmasıyla pik şiddetindeki azalmanın önemli derecede değişmediği gözlenmiştir. Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak, karbon fiberin depo modülü ve tan delta değerleri için en iyi sonucu veren takviye elemanı olduğu tespit edilmiştir.

Tez kapsamında üzerinde araştırma yapılan kompozitlerin ısıl kararlılıklarının incelenmesi için yapılan TGA sonuçları, tüm kompozitlerin ısıl kararlılık özelliklerinin yapılan takviyelerle arttığını göstermiştir. Bununla birlikte kompozitlerde ağırlıkça %10 zeolit partikülünün bulunması, ısıl kararlılığın çok az iyileşmesine sebep olmuştur. Zeolit partikülünün takviye oranının arttırılmasının kompozitlerin ısıl kararlılık özelliklerindeki artışın azalmasına neden olduğu görülmüştür. Ayrıca partiküllerin ağırlıkça %1 olarak kompozitlere takviye edilmesi sonucunda ısıl kararlılık özelliklerinde genel olarak en iyi sonuçların alındığı gözlenmiştir. Yalnızca fiber takviyeli kompozitlerin ısıl kararlılık özellikleri incelendiğinde ise bazalt fiber takviyeli kompozitin bir miktar daha iyi olduğu, hibrit kompozitler incelendiğinde ise bentonit partikülü içeren hibritlerin ısıl kararlılıklarının

diğerlerine kıyasla daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak, ısıl kararlılığın arandığı uygulamalarda, bentonit ve zeolit partikülleri için ağırlıkça %1 olarak yapıya takviye edilmelerinin veya partikül takviyesinin ağırlıkça oranının fazla olacağı kompozitlerde zeolit yerine bentonitin tercih edilmesinin daha uygun olacağı tespit edilmiştir.

Kompozitlerin DSC analizi sonuçlarına göre, camsı geçiş sıcaklığının, kristalleşme sıcaklığının ve erime sıcaklığının tüm kompozitler için kayda değer bir değişim göstermediği ve dolayısıyla takviye malzemelerinin türü, oranı, birlikte veya tek tek takviye edilmeleri gibi parametrelerin bu sıcaklık değerleri üzerinde önemli bir etki yaratmadığı gözlenmiştir. Kristalinite oranlarındaki artış incelendiğinde, PPS\_5B, PPS\_CF, PPS\_CF\_B kompozitlerinin saf PPS'e kıyasla %10 artış gösterdikleri görülmüştür. Füzyon entalpisi değerlerinin incelenmesi yapıldığında, artan partikül oranıyla birlikte bu değerlerdeki azalmanın da arttığı gözlenmiştir. Yalnızca partikül içeren kompozitlerin ve hibrit kompozitlerin füzyon entalpisi değerleri incelendiğinde ise, kompozitin içerdiği takviyenin toplam ağırlıkça oranının fazla olması, bu entalpi değerindeki azalışı da arttırdığı görülmüştür. Dolayısıyla füzyon entalpisi değerlerindeki düşüşün toplam takviye oranı ile bağlantılı olduğu gözlenmiştir. Kristalleşme entalpisi değerlerine bakıldığında, en büyük düşüşün karbon fiber takviyeli kompozitte ve ağırlıkça %1 bentonit ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitte olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlar, bentonit ve karbon fiberin çekirdeklenmeyi arttırıcı etkileri bakımından, zeolit ve bazalt fibere kıyasla daha iyi olduklarını göstermiştir.

Tez kapsamında üzerinde araştırma yapılan kompozitler ve tüm test sonuçları bir araya getirildiğinde, termal, termomekanik, mekanik ve tribolojik özelliklerin optimum olarak bulunduğu kompozitin PPS\_CF\_10B hibrit kompozitinin olduğu görülmüştür. Bentonit ve karbon fiberin PPS'e eş zamanlı takviyesiyle, saf PPS'in incelenen tüm özelliklerinin önemli derecede geliştiği gözlenmiştir.

Tez kapsamında dört farklı takviye elemanı ve PPS ile çalışma gerçekleştirilmiştir ve çalışma boyunca kazanılan bilgi birikiminden yola çıkarak ileride bu malzemeleri kullanarak çalışma yapacak olan araştırmacılara şu öneriler yapılmaktadır:

- 1- Ultrasonik karıştırma işlemi uygulanarak partiküllerin boyutlarının küçültülmesi (topaklanan partiküllerin ayrıştırılması) sağlanabilir ve böylelikle bentonit ve zeolit partiküllerinin etkinlikleri arttırılabilir. Bu sayede ultrasonik karıştırmanın etkisi ve verimi incelenebilir.
- 2- Bazalt fiberin ve doğal mineral partikülleri olan bentonit ve zeolitin PPS ile etkileşiminin arttırılması adına, takviye elemanlarına yüzey modifikasyonu yapılabilir. Böylelikle yüzey modifikasyonunun zeolit, bentonit veya bazalt fiber takviyesi içeren PPS matrisli kompozitler üzerindeki etkisi araştırılabilir.
- 3- Bentonit veya zeolit takviyeli PPS kompozitlerin özelliklerine partikül boyutunun etkisi araştırılmak üzere, partikül boyutu değiştirilerek testler gerçekleştirilebilir. Ayrıca fiber uzunluğunun etkisinin incelenmesi adına farklı uzunlukta fiberler PPS matrisine takviye edilerek malzeme özellikleri araştırılabilir.
- 4- Aynı takviye elemanlarını içeren PPS matrisli kompozitlerin vida dönme hızı, enjeksiyon basıncı, karıştırma süresi gibi üretim parametreleri değiştirilerek, üretim parametrelerinin etkisi incelenebilir.
- 5- Bazalt ve karbon fiber takviyesinin ağırlıkça PPS'e takviye oranı değiştirilerek, fiber takviye oranının bu kompozitler üzerindeki etkisi araştırılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Buragohain M. K., *Composite Structures: Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing and Testing*, 1st ed., CRC Press, 2017.
- [2] Chawla K. K., *Composite Materials: Science and Engineering*, 3rd ed., Springer-Verlag, New York, 2012.
- [3] Karslı Yılmaz N. G., Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Karmaların Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 283046.
- [4] Mallick P. K., *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, 3rd ed., CRC Press, 2007.
- [5] Aslan M., Kaya M., Güler O., Alver Ü., Effect of Fibre Content on The Mechanical Properties of Basalt Fibre Reinforced Polylactic Acid (PLA) Composites, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2018, **28**(1), 66-71.
- [6] Matykiewicz D., Barczewski M., Knapski D., Skórczewska K., Hybrid Effects of Basalt Fibers and Basalt Powder on Thermomechanical Properties of Epoxy Composites, *Composites: Part B*, DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.05.060.
- [7] Lopresto V., Leone C., De Iorio I., Mechanical Characterisation of Basalt Fibre Reinforced Plastic, *Composites: Part B*, 2011, **42**, 717-723.
- [8] Rotheron R. N., *Particulate-Filled Polymer Composites*, 2nd ed., Rapra, 2003.
- [9] Thakur V. K., Thakur M. K., Pappu A., *Hybrid Polymer Composite Materials: Properties and Characterisation*, 1st Ed., Woodhead Publishing, 2017.
- [10] Şam N., Mineral Katkının Polimerik Malzemenin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2017, 456195.
- [11] Ebewele R. O., *Polymer Science and Technology*, 1st ed., CRC Press, 2000.
- [12] Lafleur P. G., Vergnes B., *Polymer Extrusion*, 1st ed., Wiley-Iste, 2014.
- [13] Cheremisinoff N. P., *Polymer Characterization: Laboratory Techniques and Analysis*, 1st ed., Noyes Publications, 1996.

- [14] Karslı Yılmaz N. G., Farklı Kaplama Malzemeleri ile Kaplanmış Karbon Elyaf Takviyeli Poliamit 6,6 ve Poli(Bütülen Tereftalat) Karmaların Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 360885.
- [15] Yılmaz S., Poliamit Kompozitlerin Kırılma Tokluğu ve Kırılma Davranışının Esas Kırılma İşi ve J-İntegral Metotları ile Analizi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2015, 390434.
- [16] Callister W. D., *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 7nd ed., John Wiley and Sons, 2006.
- [17] Bayer R. G., *Mechanical Wear Fundamentals and Testing, Revised and Expanded*, 2nd ed., CRC Press, 2004.
- [18] Menard K. P., *Dynamic Mechanical Analysis: A Practical Introduction*, 1st Ed., CRC Press, 1999.
- [19] Yılmaz K., Dynamic Mechanical Characterizations of Carbon Fiber-Polyurethane and Epoxy Composites, Master of Science Thesis, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 2008, 223194.
- [20] Çoban O., Polimer Matrisli Kompozitlerde Partikül Takviyesinin Malzeme İç Yapısına, Mekanik ve Tribolojik Özelliklere Etkisi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 301643.
- [21] Carli L. N., Crespo J. S., Mauler R. S., PHBV Nanocomposites Based on Organomodified Montmorillonite and Halloysite: The Effect of Clay Type on The Morphology and Thermal and Mechanical Properties, *Composites: Part A*, 2011, **42**, 1601-1608.
- [22] Bartczak Z., Argon A. S., Cohen R. E., Weinberg M., Toughness Mechanism in Semi-Crystalline Polymer Blends: II. High-Density Polyethylene Toughened With Calcium Carbonate Filler Particles, *Polymer*, 1999, **40**, 2347-2365.
- [23] Kodgire P., Kalgaonkar R., Hambir S., Bulakh N., Jog J. P., PP/Clay Nanocomposites: Effect of Clay Treatment on Morphology and Dynamic Mechanical Properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 2001, **81**, 1786-1792.
- [24] Rajakumar P. R., Nanthini R., Mechanical, Thermal and Morphological, Behaviours of Polybutylene Terephthalate/Polycarbonate blend nanocomposites, *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 2013, **9**, 15-36.
- [25] Lai Y. H., Kuo M. C., Huang J. C., Chen M., Thermomechanical Properties of Nanosilica Reinforced PEEK Composites, *Key Engineering Materials*, 2007, **351**, 15-20.

- [26] Wang H., Meng S., Xu P., Zhong W., Du Q., Effect of Traces of Inorganic Content on Thermal Stability of Poly(methyl methacrylate) Nanocomposites, *Polymer Engineering and Science*, DOI: 10.1002/pen.20708.
- [27] Jung J., Kim J., Uhm Y. R., Jeon J. K., Lee S., Lee H. M., Rhee C. K., Preparations and Thermal Properties of Micro- and Nano-BN Dispersed HDPE Composites, *Thermochimica Acta*, 2010, **499**, 8-14.
- [28] Krump H., Luyt A. S., Hudec I., Effect of Different Modified Clays on The Thermal and Physical Properties of Polypropylene-Montmorillonite Nanocomposites, *Materials Letters*, 2006, **60**, 2877-2880.
- [29] Al-Jabareen A., Properties of Antimony Oxide-Coated Clay/Polypropylene Composites, *Materials Science & Engineering B*, 2018, **236-237**, 18-23.
- [30] Chan M. L., Lau K. T., Wong T. T., Ho M. P., Hui D., Mechanism of Reinforcement in a Nanoclay/Polymer Composite, *Composites: Part B*, 2011, **42**, 1708-1712.
- [31] Dubrovsky V. V., Shapovalov V. A., Aderikha V. N., Pesetskii S. S., Effect of Hybrid Filling with Short Glass Fibers and Expanded Graphite on Structure, Rheological and Mechanical Properties of Poly(Ethylene Terephthalate), *Materials Today Communications*, 2018, **17**, 15-23.
- [32] Kord B., Kiakojoury S. M. H., Effect of Nanoclay Dispersion on Physical and Mechanical Properties of Wood Flour/Polypropylene/Glass Fiber Hybrid Composites, *BioResources*, 2011, **6**(2), 1741-1751.
- [33] Jarukumjorn K., Suppakarn N., Effect of Glass Fiber Hybridization on Properties of Sisal Fiber-Polypropylene Composites, *Composites: Part B*, 2009, **40**, 623-627.
- [34] Panthapulakkal S., Sain M., Injection-Molded Short Hemp Fiber/Glass Fiber-Reinforced Polypropylene Hybrid Composites-Mechanical, Water Absorption and Thermal Properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, **103**, 2432-2441.
- [35] Yoo Y., Spencer M. W., Paul D. R., Morphology and Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Nylon 6 Nanocomposites, *Polymer*, 2011, **52**, 180-190.
- [36] López-Manchado M. A., Arroyo M., Thermal and Dynamic Mechanical Properties of Polypropylene and Short Organic Fiber Composites, *Polymer*, 2000, **41**, 7761-7767.
- [37] Puch F., Hopmann C., Morphology and Tensile Properties of Unreinforced and Short Carbon Fibre Reinforced Nylon 6/Multiwalled Carbon Nanotube-Composites, *Polymer*, DOI: 10.1016/j.polymer.2014.04.052.

- [38] Suresha B., Siddaramaiah, Kishore, Seetharamu S., Kumaran P. S., Investigations on The Influence of Graphite Filler on Dry Sliding Wear and Abrasive Wear Behaviour of Carbon Fabric Reinforced Epoxy Composites, *Wear*, 2009, **267**, 1405-1414.
- [39] Senturk O., Senturk A. E., Palabiyik M., Evaluation of Hybrid Effect on The Thermomechanical and Mechanical Properties of Calcite/SGF/PP Hybrid Composites, *Composites Part B*, 2018, **140**, 68-77.
- [40] Ozkoc G., Bayram G., Bayramli E., Short Glass Fiber Reinforced ABS and ABS/PA6 Composites: Processing and Characterization, *Polymer Composites*, 2005, **26**, 745-755.
- [41] Panda J. N., Bijwe J., Pandey R. K., Optimization of The Amount of Short Glass Fibers for Superior Wear Performance of PAEK Composites, *Composites: Part A*, DOI: 10.1016/j.compositesa.2018.10.034.
- [42] Zhao Z. K., Du S. S., Li F., Xiao H. M., Li Y. Q., Zhang W. G., Hu N., Fu S. Y., Mechanical and Tribological Properties of Short Glass Fiber and Short Carbon Fiber Reinforced Polyethersulfone Composites: A Comparative Study, *Composites Communications*, 2018, **8**, 1-6.
- [43] Kıvanç T., Volkanik Küllerin Havacılık Polimer Kompozitleri İçin Alternatif Takviye Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2017, 474071.
- [44] Xing J., Xu Z., Ruan F., Deng B., Nonisothermal Crystallization Kinetics, Morphology, and Tensile Properties of Polyphenylene Sulfide/Functionalized Graphite Nanoplatelets Composites, *High Performance Polymers*, DOI: 10.1177/0954008318764584.
- [45] Stoeffler K., Andjelic S., Legros N., Roberge J., Schougaard S. B., Polyphenylene Sulfide (PPS) Composites Reinforced with Recycled Carbon Fiber, *Composites Science and Technology*, 2013, **84**, 65-71.
- [46] Díez-Pascual A. M., Naffakh M., Enhancing The Thermomechanical Behaviour of Poly(Phenylene Sulphide) Based Composites via Incorporation of Covalently Grafted Carbon Nanotubes, *Composites: Part A*, 2013, **54**, 10-19.
- [47] Cho M. H., Bahadur S., Pogosian A. K., Observations on The Effectiveness of Some Surface Treatments of Mineral Particles and Inorganic Compounds from Armenia as The Fillers in Polyphenylene Sulfide for Tribological Performance, *Tribology International*, 2006, **39**, 249-260.
- [48] Arslan C., Dogan M., The Effects of Silane Coupling Agents on The Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Poly(Butylene Terephthalate) Composites, *Composites Part B*, 2018, **146**, 145-154.
- [49] Jang K. S., Mechanics and Rheology of Basalt Fiber-Reinforced Polycarbonate Composites, *Polymer*, DOI: 10.1016/j.polymer.2018.06.004.

- [50] Yu S., Hwang Y. H., Hwang J. Y., Hong S. H., Analytical Study on The 3D-Printed Structure and Mechanical Properties of Basalt Fiber-Reinforced PLA Composites Using X-Ray Microscopy, *Composites Science and Technology*, DOI: 10.1016/j.compscitech.2019.03.005.
- [51] Sarasini F., Tirillò J., Sergi C., Seghini M. C., Cozzarini L., Graupner N., Effect of Basalt Fibre Hybridisation and Sizing Removal on Mechanical and Thermal Properties of Hemp Fibre Reinforced HDPE Composites, *Composite Structures*, DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.01.046.
- [52] Sun G., Tong S., Chen D., Gong Z., Li Q., Mechanical Properties of Hybrid Composites Reinforced by Carbon and Basalt Fibers, *International Journal of Mechanical Sciences*, DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2018.08.007.
- [53] Demir M. E., Çelik Y. H., Kılıçkap E., Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin, Yükün, Kayma Hızı ve Mesafesinin Abrasiv Aşınmaya Etkisi, *Politeknik Dergisi*, DOI: 10.2339/politeknik.429642.
- [54] Karsli N. G., Aytac A., Tensile and Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites, *Composites: Part B*, 2013, **51**, 270-275.
- [55] Karatas E., Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T., Synergetic Effect of Graphene Nanoplatelet, Carbon Fiber and Coupling Agent Addition on The Tribological, Mechanical and Thermal Properties of Polyamide 6,6 Composites, *Composites Part B*, DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.01.014.
- [56] Bendahou D., Bendahou A., Grohens Yves, Kaddami H., New Nanocomposite Design from Zeolite and Poly(Lactic Acid), *Industrial Crops and Products*, DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.12.055.
- [57] Kim H., Biswas J., Choe S., Effects of Stearic Acid Coating on Zeolite in LDPE, LLDPE, and HDPE Composites, *Polymer*, 2006, **47**, 3981-3992.
- [58] Chang B. P., Akil H., Nasir R., Mechanical and Tribological Properties of Zeolite-Reinforced UHMWPE Composite for Implant Application, *Procedia Engineering*, 2013, **68**, 88-94.
- [59] Kajtár D. A., Kenyó C., Renner K., Móczó J., Fekete E., Kröhnke C., Pukánszky B., Interfacial Interactions and Reinforcement in Thermoplastics/Zeolite Composites, *Composites Part B*, DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.12.015.
- [60] Aroguz A. Z., Karakus S., Kismir Y., Eriyik Araya Katılma Yöntemi ile Pvc / Bentonit Nanokompozitin Hazırlanması Isısal ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi, *I. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi*, İzmir, Türkiye, 17-19 Kasım 2006.
- [61] Ramadhan A., Fathurrohman M. I., Soegijono B., Chemical Modification of Upgraded Bentonite as Filler of Natural Rubber/Organobentonite Composite, *Procedia Chemistry*, 2015, **16**, 85-90.

- [62] Jassim K. A., Thejeel M. A. N., Salman E. M. T., Mahdi S. H., Study Characteristics of (Epoxy-Bentonite Doped) Composite Materials, *Energy Procedia*, 2017, **119**, 670-679.
- [63] Alekseeva O. V., Rodionova A. N., Bagrovskaya N. A., Agafonov A. V., Noskov A. V., Effect of The Bentonite Filler on Structure and Properties of Composites Based on Hydroxyethyl Cellulose, *Arabian Journal of Chemistry*, DOI: 10.1016/j.arabjc.2015.07.011.
- [64] Mahadeva R. G. K., Dakshayini B. S., Madhu G. M., Khan A. M., Reddy P. D. S., Characterizing and Modeling of Mechanical Properties of Epoxy Polymer Composites Reinforced with Bentonite Clay, *Materials Today: Proceedings*, 2018, **5**, 28098-28107.
- [65] Sarkar M., Dana K., Ghatak S., Banarjee A., Polypropylene-Clay Composite Prepared from Indian Bentonite, *Bulletin of Materials Science*, 2008, **31**(1), 23-28.
- [66] Xing D., Xi X. Y., Ma P. C., Factors Governing The Tensile Strength of Basalt Fibre, *Composites Part A*, 2019, **119**, 127-133.
- [67] Fiore V., Scalici T., Di Bella G., Valenza A., A Review on Basalt Fibre and Its Composites, *Composites Part B*, DOI:10.1016/j.compositesb.2014.12.034.
- [68] Adamis Z., Williams R. B., Bentonite, Kaolin, and Selected Clay Minerals, *World Health Organization*, ISBN 92 4 157231 0, 2005.
- [69] Pusch R., *Bentonite Clay: Environmental Properties and Applications*, 1st ed., CRC Press, 2015.
- [70] Gülen J., Zorbay F., Arslan S., Zeolitler ve Kullanım Alanları, *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 2012, **2**(1), 63-68.
- [71] Kustov L. M., Sels B. F., *Zeolites and Zeolite-like Materials*, 1st ed., Elsevier, 2016.
- [72] Low C. Y., Lee T. S., Bee S. T., Tee T. T., Ng C. M., Tensile Properties of Nano-Bentonite Added Polyvinyl Alcohol Composites, *24th Annual International Conference on Composites or Nano Engineering (ICCE-24)*, Hainan, Çin, 17-23 Temmuz 2016.
- [73] Alsagayar Z. S., Rahmat A. R., Arsad A., Mustaph S. N. H. B., Tensile and Flexural Properties of Montmorillonite Nanoclay Reinforced Epoxy Resin Composites, *Advanced Materials Research*, 2015, **1112**, 373-376.
- [74] Jiang L., Zhang J., Wolcott M. P., Comparison of Polylactide/Nano-Sized Calcium Carbonate and Polylactide/Montmorillonite Composites: Reinforcing Effects and Toughening Mechanisms, *Polymer*, 2007, **48**, 7632-7644.
- [75] Bayram A., Yazıcı M., Partikül Takviyeli Polyester Kompozitlerin Eğilme ve Basma Özellikleri, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1995, **1**(2-3), 153-159.

- [76] Bleach N. C., Nazhat S. N., Tanner K. E., Kellomäki M., Törmälä P., Effect of Filler Content on Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Particulate Biphasic Calcium Phosphate Polylactide Composites, *Biomaterials*, 2002, **23**, 1579-1585.
- [77] Jose T., George S. C., Maya M. G., Maria H. J., Wilson R., Thomas S., Effect of Bentonite Clay on the Mechanical, Thermal, and Pervaporation Performance of the Poly(vinyl alcohol) Nanocomposite Membranes, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, DOI: 10.1021/ie502632p.
- [78] Laachachi A., Cochez M., Ferriol M., Lopez-Cuesta J. M., Leroy E., Influence of TiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fillers on The Thermal Properties of Poly(Methyl Methacrylate) (PMMA), *Materials Letters*, 2005, **59**, 36-39.
- [79] Ünal H. Y., Öner G., Pekbey Y., Comparison of the Experimental Mechanical Properties and DMA Measurement of Nanoclay Hybrid Composites, *European Mechanical Science*, 2018, **2**(1), 31-36.
- [80] Das K., Ray D., Banerjee I., Bandyopadhyay N. R., Sengupta S., Mohanty A. K., Misra M., Crystalline Morphology of PLA/Clay Nanocomposite Films and Its Correlation with Other Properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, **118**, 143-151.
- [81] Velasco J. I., De Saja J. A., Martínez A. B., Crystallization Behavior of Polypropylene Filled with Surface-Modified Talc, *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, **61**, 125-132.
- [82] Essabir H., Boujmal R., Bensalah M. O., Rodrigue D., Bouhfid R., Qaiss A. E. K., *Mechanics of Materials*, DOI: 10.1016/j.mechmat.2016.04.008.
- [83] Shelesh-Nezhad K., Orang H., Motallebi M., Crystallization, Shrinkage and Mechanical Characteristics of Polypropylene/CaCO<sub>3</sub> Nanocomposites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2012, **26**(4), 544-554.
- [84] Zhou S., Zhang Q., Wu C., Huang J., Effect of Carbon Fiber Reinforcement on The Mechanical and Tribological Properties of Polyamide6/Polyphenylene Sulfide Composites, *Materials and Design*, 2013, **44**, 493-499.
- [85] Kaştan A., Salman S., Ünal H., Grafit Katkılı Poliamid 6'nın Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2016, **4**(2), 50-55.
- [86] Karsli N. G., Demirkol S., Yilmaz T., Thermal Aging and Reinforcement Type Effects on The Tribological, Thermal, Thermomechanical, Physical and Morphological Properties of Poly(Ether Ether Ketone) Composites, *Composites Part B*, 2016, **88**, 253-263.
- [87] Jawahar P., Gnanamoorthy R., Balasubramanian M., Tribological Behaviour of Clay – Thermoset Polyester Nanocomposites, *Wear*, 2006, **261**, 835-840.

- [88] Macuvele D. L. P., Colla G., Cesca K., Riberio F. B. L., da Costa C. E., Nones J., Breitenbach E. R., Porto L. M., Soares C., Fiori M. A., Riella H. G., UHMWPE/HA Biocomposite Compatibilized by Organophilic Montmorillonite: An Evaluation of The Mechanical-Tribological Properties and Its Hemocompatibility and Performance in Simulated Blood Fluid, *Materials Science & Engineering C*, DOI: 10.1016/j.msec.2019.02.102.
- [89] Myshkin N. K., Petrokovets M. I., Kovalev A. V., Tribology of Polymers: Adhesion, Friction, Wear, and Mass-Transfer, *Tribology International*, 2005, **38**, 910-921.
- [90] Botev M., Betchev H., Bikiaris D., Panayiotou C., Mechanical Properties and Viscoelastic Behavior of Basalt Fiber-Reinforced Polypropylene, *Journal of Applied Polymer Science*, 1999, **74**, 523-531.
- [91] Sujaritjun W., Uawongsuwan P., Pivsa-Art W., Hamada H., Mechanical property of surface modified natural fiber reinforced PLA biocomposites, *Energy Procedia*, 2013, **34**, 664-672.
- [92] Rezaei F., Yunus R., Ibrahim N. A., Effect of Fiber Length on Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Materials and Design*, 2009, **30**, 260-263.
- [93] Sang L., Han S., Li Z., Yang X., Hou W., Development of Short Basalt Fiber Reinforced Polylactide Composites and Their Feasible Evaluation for 3D Printing Applications, *Composites Part B*, DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.01.085.
- [94] Karsli N. G., Ozkan C., Aytac A., Deniz V., Characterization of Poly(Butylene Terephthalate) Composites Prepared by Using Various Types of Sized Carbon Fibers, *Materials and Design*, 2015, **87**, 318-323.
- [95] Sosiati H., Shofie Y. A., Nugroho A. W., Tensile Properties of Kenaf/E-glass Reinforced Hybrid Polypropylene (PP) Composites with Different Fiber Loading, *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, 2018, **5(2)**, 1-5.
- [96] Hemanth R., Sekar M., Suresha B., Effects of Fibers and Fillers on Mechanical Properties of Thermoplastic Composites, *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 2014, **2**, 28-35.
- [97] Karsli N. G., Yesil S., Aytac A., Effect of Hybrid Carbon Nanotube/Short Glass Fiber Reinforcement on The Properties of Polypropylene Composites, *Composites: Part B*, 2014, **63**, 154-160.
- [98] Zeng S., Shen M., Yang L., Xue Y., Lu F., Chen S., Self-Assembled Montmorillonite–Carbon Nanotube for Epoxy Composites with Superior Mechanical and Thermal Properties, *Composites Science and Technology*, 2018, **162**, 131-139.



- [99] Melo P. M. A., Macêdo O. B., Barbosa G. P., Ueki M. M., Silva L. B., High-Density Polyethylene/Mollusk Shell-Waste Composites: Effects of Particle Size and Coupling Agent on Morphology, Mechanical and Thermal Properties, *Journal of Materials Research and Technology*, DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.01.008.



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Kizil A.**, Dincer U., Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation the tribological and thermomechanical properties of bentonite and basalt fiber reinforced PPS matrix composites, *2nd International Conference On Tribology (TURKEYTRIB'18)*, İstanbul, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.
- [2] Dincer U., **Kizil A.**, Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T., Zeolite and carbon fiber reinforced PPS matrix hybrid composites: tribological and thermomechanical properties, *2nd International Conference On Tribology (TURKEYTRIB'18)*, İstanbul, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.
- [3] Dincer U., **Kizil A.**, Gul O., Karsli O., Yilmaz T., Zeolite addition to basalt fiber reinforced PPS matrix composites: investigation the tribological and thermomechanical properties, *V. International Multidisciplinary Congress of Eurasia (IMCOFE 2018)*, Barselona, İspanya, 24-26 Temmuz 2018.
- [4] **Kizil A.**, Dincer U., Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T., Effect of bentonite addition on the mechanical and thermal properties of carbon fiber reinforced PPS matrix composites, *V. International Multidisciplinary Congress of Eurasia (IMCOFE 2018)*, Barselona, İspanya, 24-26 Temmuz 2018.
- [5] Dincer U., **Kizil A.**, Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T., Effect of zeolite addition on the mechanical and thermal properties of basalt fiber reinforced PPS matrix composites, *4th International Symposium on Composite Materials (KOMPEGE 2018)*, İzmir, Türkiye, 6-8 Eylül 2018.
- [6] **Kizil A.**, Dincer U., Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T., Tribological and thermomechanical properties of bentonite and carbon fiber reinforced PPS matrix composites, *4th International Symposium on Composite Materials (KOMPEGE 2018)*, İzmir, Türkiye, 6-8 Eylül 2018.
- [7] Gul O., **Kizil A.**, Dincer U., Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation the tribological and thermomechanical properties of wood-flour and basalt fiber reinforced poly(lactic acid) matrix hybrid composites, *4th International Symposium on Composite Materials (KOMPEGE 2018)*, İzmir, Türkiye, 6-8 Eylül 2018.

## ÖZGEÇMİŞ

Aytunç KIZIL, 1994 yılında Çorlu'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Çorlu'da tamamladı. 2012 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimine halen devam etmektedir.



88) Makine Mühendisliği Anabilim Dalı 175109025 nolu yüksek lisans öğrencisi **Aytunç KIZIL**'ın 19/09/2022 tarihli dilekçesi görüşüldü. **Aytunç KIZIL**'ın Enstitümüze teslim ettiği ve Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezinde bulunan tezinin teşekkür kısmındaki değişikliğin ilgilinin onayı ile değiştirilmesine, ilgili değişiklik yapılmış tezin verdiği dilekçeye istinaden talebinin uygun olduğuna ve T.C. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezine bildirilmek üzere Öğrenci İşleri Daire Başkanlığına gönderilmesine oy birliği ile karar verildi.



T.C.  
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

Ek-4

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**

Enstitünüzün Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2017 senesinde girdiğim yüksek lisans eğitimini 2019'da tamamladım. 175109025 numaralı öğrenciniz olarak vermiş olduğum "DOĞAL MİNERAL VE ELYAF TAKVİYELİ POLİ(FENİLEN SÜLFİD) MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı, YÖKTEZ'de 576692 numaralı tezimde yer alan bir paragrafın kaldırılması talebim üzerine dilekçemi teslim etmiş bulunmaktayım.

İlgili yüksek lisans tezimde "ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR" bölümü (sayfa i) içerisinde son paragrafta teşekkür ettiğim kişinin isminin tezimde geçmesinden duyulan rahatsızlığın ismi yazılan kişi tarafından tarafıma bildirilmesi, bu teşekkür paragrafının ilgili kişinin özel hayatının olumsuz şekilde etkilemesi ve dolayısıyla kişinin özel hayatının gizliliğinin ihlaline giren bu teşekkür paragrafının tezimden kaldırılması talebimi resmî olarak tarafınıza bildiririm. Yalnızca bahsi geçen paragrafın kaldırıldığı tezimin son hali tarafınıza bir usb bellek ve cd ile iletilmiş olup, tez içerisinde en ufak bir noktalama işareti değişikliği dahil başka herhangi bir değişikliğin olmadığını tarafınıza beyan ederim.

Gerekli kontrollerin ardından tezimin tarafınıza iletildiği şekilde güncellenmesi ve YÖKTEZ'e bildirilmesi konusunu tarafınıza arz ederim.

<b>Anabilim Dalı</b>	<b>Makine Mühendisliği Anabilim Dalı</b>	<b>Öğrenim Durumu</b>	<b>Mezun</b>
<b>Öğrenci No</b>	<b>175109025</b>	<b>Eğitim Yılı</b>	<b>2017 - 2019</b>
<b>Adı Soyadı</b>	<b>Aytunç KIZIL</b>	<b>Tarih</b>	<b>19.09.2022</b>
<b>E-Posta</b>	<a href="mailto:kizil_aytunc@hotmail.com">kizil_aytunc@hotmail.com</a>	<b>İmza</b>	
<b>Tel</b>	<b>(535) 897 85 86</b>		
<b>Adres</b>	<b>Şeyhsinan Mahallesi. Arpalık 1. Sokak. B.Z.Kardeşler Apartmanı. No:10 Daire:17 Çorlu/Tekirdağ</b>		
	<b>İl</b> <b>Tekirdağ</b>	<b>İlçe</b> <b>Çorlu</b>	<b>Posta Kodu</b> <b>59850</b>

*Bu form bilgisayar ortamında doldurulmalıdır.*