

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİFİTALAMİD KOMPOZİTLERİN  
MEKANİK, TERMAL VE TRİBOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Gizem HATİPOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ  
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL**

**Haziran 2014**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİFİTALAMİD KOMPOZİTLERİN  
MEKANİK, TERMAL VE TRİBOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

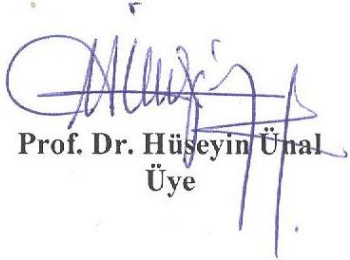
**Gizem HATİPOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 24/06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Abdullah Mimaroglu  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr. Fehim Fındık  
Üye

  
Prof. Dr. Hüseyin Ünal  
Üye

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen, her türlü bilgi ve birikiminden faydalandığım, danışman hocam Sn. Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmamda maddi destek sağlayan Bilimsel Araştırma Projesinden dolayı Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım. Polimer numunelerin üretimi ve mekanik testler için kapılarını açan EMAŞ Plastik A.Ş. adına Sn. Timur Öztürk'e ve Eurotec Mühendislik Plastikleri A.Ş. adına Murat Topsakal'a, DSC analizlerinin yapılmasında katkı sağlayan Sn. Sevinç Mert'e ve mikroyapı incelemelerinde yardımlarını esirgemeyen Sn. Arş. Gör. Murat ÇOLAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Sn. Dr. Salih Hakan Yetgin, Sn. Dr. Azim Gökçe ve Sn. Nuri Ergin'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bu tez Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı (BAPK) tarafından 2013-50-01-006 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Son olarak yetişmemde ve bugünlere gelmemde haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim aileme ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim Öner Hatipoğlu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2014

Gizem HATİPOĞLU

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xviii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

SÜRTÜNME VE AŞINMA .....	27
2.1.Sürtünme Tanımı ve Sürtünme Katsayısı Kavramı .....	27
2.2.Polimerlerin Sürtünmesi .....	28
2.3.Aşınma.....	29
2.3.1. Aşınma tanımı.....	29
2.3.2.Aşınmanın ekonomik açıdan önemi .....	30
2.3.3.Aşınma mekanizmaları .....	31
2.3.3.1.Adhezif aşınma mekanizması .....	31
2.3.3.2.Abrazif aşınma mekanizması .....	32
2.3.3.3.Temas türü açısından aşınma .....	33
2.3.4. Aşınma hacmi kavramı .....	36
2.3.5.Aşınma prosesi .....	38
2.3.6.Aşınmada yüzey hasarının sınıflandırılması.....	39
2.4.Aşınma Deney Yöntemleri .....	40
2.4.1.Abrazif aşınma deney yöntemleri.....	44
2.4.1.1.Erozyon aşınması .....	45
2.4.1.2.Oyucu abrazyon aşınması .....	46
2.4.1.3.Yüksek gerilmeli öğütücü abrazyon.....	46

2.4.1.4. Düşük gerilmeli çizici abrazyon.....	46
2.4.1.5. Korozyon (korozif) aşınması.....	47
2.4.1.6. Tribokimyasal reaksiyonlar .....	47
2.5. Polimer Aşınması.....	47
2.6. Aşınmaya etki eden faktörler .....	51

### BÖLÜM 3.

DENEY MALZEMELERİ ve ÖZELLİKLERİ.....	53
3.1. Polifitalamid (PPA).....	53
3.1.1. Polifitalamid (PPA) tanımı ve üretimi .....	53
3.1.2. Polifitalamid'in özellikleri.....	56
3.1.3. Polifitalamid'in uygulama alanları .....	58
3.2. Karbon Elyaf (CF) .....	58
3.2.1. Karbon elyaf (CF) tanımı ve üretimi .....	58
3.2.2. Karbon elyaf (CF) yapısı ve özellikleri .....	60
3.2.3. Karbon elyaf (CF) uygulama alanları .....	65
3.3. Cam Elyaf (GF) .....	65
3.3.1. Cam elyaf tanımı ve üretimi .....	65
3.3.2. Cam elyaf (GF) yapısı ve özellikleri .....	66
3.3.3. Cam Elyaf (GF) uygulama alanları .....	67
3.4. Politetrafloretillen-Teflon (PTFE) .....	68
3.4.1. Teflon'un tanımı ve üretimi .....	68
3.4.2. Teflon (PTFE) yapısı ve özellikleri .....	70
3.4.3. Teflon (PTFE) uygulama alanları .....	71
3.5. Wax Malzemesi.....	71
3.5.1. Wax malzemesinin tanımı ve üretimi .....	71
3.5.2. Wax yapısı ve özellikleri .....	72
3.5.3. Wax malzemesinin uygulama alanları .....	72

### BÖLÜM 4.

DENEY MALZEMELERİ VE UYGULANAN DENEYLER.....	74
4.1. Deney Malzemeleri.....	74
4.1.1. Polifitalamid (PPA) polimeri .....	76

4.1.2.Katkı malzemeleri.....	77
4.1.2.1.Cam elyaf (GF) .....	77
4.1.2.2.Karbon elyaf (CF) .....	77
4.1.2.3.Politetrafloroetilen (Teflon)- PTFE.....	77
4.1.2.3. Wax.....	77
4.2.Kullanılan Test Cihazları ve Numuneleri .....	78
4.2.1. Yoğunluk ölçümü.....	78
4.2.2. Sertlik deneyi .....	79
4.2.3.Darbe deneyi.....	80
4.2.4. Çekme deneyi.....	81
4.2.5. HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı testleri .....	83
4.2.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) .....	85
4.2.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	88
4.2.8. Aşınma testleri .....	88

## BÖLÜM 5.

DENEYSSEL SONUÇLAR.....	92
5.1.I. Grup Numunelerinin Deney Sonuçları.....	92
5.1.1.I. grup numunelerinin fiziksel özellikleri .....	92
5.1.1.1.I. Grup numunelerinin yoğunluk testi sonuçları .....	92
5.1.1.2.I. Grup numunelerin EDS analiz sonuçları .....	93
5.1.1.3.I. Grup numunelerinin mekanik test sonuçları .....	100
5.1.1.4.I. Grup numunelerinin SEM analizi .....	105
5.1.2.I. Grup numunelerinin tribolojik özellikleri .....	107
5.1.2.1. I. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi.....	107
5.1.2.2. I. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi.....	111
5.1.2.3. I. Grup numunelerinin spesifik aşınma oranı-yük ilişkisi	118
5.1.2.4. I. Grup numunelerinin aşınma numunelerine ait mikroyapı görüntüleri.....	122
5.1.3.I. Grup numunelerinin termal analizleri .....	127
5.1.3.1.I. Grup numunelerinin yük altında eğilme (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları.....	127

5.1.3.2. I. Grup numunelerinin DSC analizi sonuçları .....	129
5.2.II. Grup Numunelerinin Deneysel Sonuçları .....	133
5.2.1. II. Grup numunelerinin fiziksel özellikleri.....	133
5.2.1.1. II. Grup numunelerinin yoğunluk testi sonuçları .....	133
5.2.1.2. II. Grup numunelerinin EDS analiz sonuçları .....	134
5.2.1.3. II. Grup numunelerinin mekanik test sonuçları.....	138
5.2.1.4. II. Grup numunelerinin SEM analizi.....	141
5.2.2. II. Grup numunelerinin tribolojik özellikleri .....	143
5.2.2.1. II. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi .....	143
5.2.2.2. II. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi.....	145
5.2.2.3. II. Grup numunelerinin aşınma oranı-yük ilişkisi .....	150
5.2.2.4. II. Grup numunelerinin aşınma numunelerine ait mikroyapı görüntüleri .....	153
5.2.3. II. Grup numunelerinin termal analizleri .....	156
5.2.3.1. II. Grup numunelerinin sıcaklık altında eğilme (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları .....	156
5.2.3.2. II. Grup numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi sonuçları .....	158
5.3.III. Grup Numunelerinin Deney Sonuçları .....	161
5.3.1. III. Grup numunelerinin fiziksel özellikleri .....	161
5.3.1.1. III. Grup numunelerinin yoğunluk testi sonuçları.....	161
5.3.1.2. III. Grup numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	162
5.3.2. III. Grup numunelerinin mekanik test sonuçları .....	170
5.3.2.1. III. Grup numunelerinin SEM analizi.....	175
5.3.3. III. Grup numunelerinin tribolojik özellikleri .....	179
5.3.3.1. III. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi .....	179
5.3.3.2. III. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi....	181
5.3.3.3. III. Grup numunelerinin spesifik aşınma oranı-yük ilişkisi	188
5.3.3.4. III. Grup aşınma numunelerine ait mikroyapı görüntüleri .	194
5.3.4. III. Grup numunelerinin termal analizleri .....	198

5.3.4.1. III. Grup numunelerinin yük altında eğilme (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları.....	198
5.3.4.2. III. Grup numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi sonuçları .....	200

## BÖLÜM 6.

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	204
6.1.Sonuçlar .....	204
6.2.Öneriler .....	209
KAYNAKLAR.....	210
ÖZGEÇMİŞ .....	219



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: Amerikan ve Malzeme Testleri Derneği
GF	: Cam Elyaf
CF	: Karbon Elyaf
DIN	: Alman Kalite Normu
h	: Saat
ISO	: Uluslararası Kalite Standartları
Dev/dk	: Devir/dakika
m/s	: Metre/saniye
MPa	: Megapascal
J	: Joule
m	: Metre
HRC	: Rockwell Sertlik Birimi
N	: Newton
Pa	: Pascal
Sn	: Saniye
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
Wa	: Spesifik Aşınma Oranı
S	: Kayma Yolu
$\rho$	: Test Numunesinin Yoğunluğu

$F_N$	: Normal Kuvvet
$\sigma_c$	: Çekme mukavemeti
A	: Kesit Alanı
D	: Numune Genişliği
H	: Numune Kalınlığı
E	: Elastiklik Modülü
$\sigma$	: Gerilme
$\varepsilon$	: Birim şekil değiştirme oranı
$\Delta l$	: Numunedeki Uzama Miktarı
$l_o$	: Numunenin İlk Ölçü Boyu
$l_s$	: Numunenin Son Boyu
Cp	: Isı Kapasitesi
$\delta Q$	: Isı Farkı
dT	: Sıcaklık Farkı
mg	: Miligram
$\text{Å}$	: Angström
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
EDS	: Elektron Saçılım Spektroskopisi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
PPA	: Polifitalamid
PTFE	: Politetrafloroetilen
ÇYMAPE	: Çok Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen

PAI	: Poliamid-imid
PEEK	: Poli-eter-eter-keion
PEI	: Polieter-imid
PPS	: Polifenilen-sülfid
PK	: Polikeion
PSU	: Polisülfon
LCP	: Sıvı kristal polimer
PVC	: Poli-vinil-klorür
PC	: Polikarbonat
PS	: Polistiren
PBT	: Polibütülen Tereftalat
PUR	: Poliüretan
PP	: Polipropilen
PA	: Poliamid
ABS	: Akilonitril bütadien stiren
SMA	: Stiren Maleik Anhidrit
PPE	: Polifenilen Eter
POM	: Asetal
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PMMA	: Polimetilmetakrilat
LDPE	: Alçak Yoğunluklu Polietilen

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünya’da plastik tüketiminin sanayi kollarına göre dağılımı .....	2
Şekil 1.2. Türkiye’de plastik tüketimi projeksiyonu .....	3
Şekil 2.1. Sürtünme Davranışı .....	27
Şekil 2.2. Bir Polimerde sürtünme dağılım bölgelerinin şematik gösterimi .....	29
Şekil 2.3. İki boyutlu abrazyon aşınma, üç boyutlu abrazyon aşınma ve erozyon .....	32
Şekil 2.4. İki atom arasındaki kuvvetin davranışı .....	34
Şekil 2.5. Bağlanmadaki muhtemel ayrılma izlerinin küçültülmüş diyagramı .....	34
Şekil 2.6. Genel aşınma mekanizmaları .....	35
Şekil 2.7. Tekrarlayan temaslarda aşınma eğrilerinin üç temsili tipi .....	37
Şekil 2.8. Tipik Aşınma Aşamaları .....	38
Şekil 2.9. Yüzey Hasar şekilleri .....	39
Şekil 2.10. Kayma aşınması testlerinde kullanılan geometrik düzenler .....	41
Şekil 2.11. a) Çizgisel temas b) Noktasal temas geometrileri.....	42
Şekil 2.12. Genellikle iyi bir yağlama sağlamak için kullanılan dört top testi a) Perspektif görünüş b) üstten görünüş.....	42
Şekil 2.13. Malzemenin aşınma miktarını ölçmek için en çok kullanılan dört metodun şematik gösterilmesi, a) abrazyon disk üstü pim, b) abrazyon düzlem üstü pim, c) abrazyon tambur üstü pim, d) lastik tekerlekli abrazyon testi .....	45
Şekil 2.14. Polimerlerin yüksek hızda aşındırılmalarında oluşan mekanizmaların şematik temsili. ....	48
Şekil 2.15. Polimerlerde kayma hızının artışı ile aşınma oranı arasındaki ilişkinin şematik gösterimi .....	49
Şekil 3.1. a) Tereftalik asitin bağ yapısı, b) İzofthalik asitin bağ yapısı.....	55
Şekil 3.2. PAN bazlı karbon fiberin kesitsel dokusu .....	61
Şekil 3.3. (a)1000°C, (b)1500 °C ve (c)2500°C’deki ısı işlemlerde PAN bazlı karbon fiberlerden bir cildin gelişimini şematik gösterimi .....	62
Şekil 3.4. Politetrafloroetilen (PTFE) yapısı.....	68

Şekil 3.5. Parafin wax malzemesinin yapısı ( $C_{31}H_{64}$ ).....	72
Şekil 4.1. Numunelerin yoğunluklarının ölçüldüğü yoğunluk kitleleriyle birlikte 0,1 mg hassasiyetli terazi .....	78
Şekil 4.2. A ve B tipi Durometre için batıcı uç şekilleri .....	79
Şekil 4.3. Sertlik ölçüm cihazı .....	80
Şekil 4.4. Darbe deneyi cihazı.....	81
Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan Zwick marka Z020 model çekme cihazı .....	82
Şekil 4.6. TS ISO 1926 standardına uygun çekme deneyi numune ölçüleri.....	82
Şekil 4.7.Vicat yumuşama sıcaklığı tayini .....	85
Şekil 4.8. DSC hücresinin kesiti(Levy ve arkadaşlarının DSC'si) .....	86
Şekil 4.9.Deneylerde kullanılan diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı.....	87
Şekil 4.10.Taramalı Elektron Mikroskop cihazı .....	88
Şekil 4.11. Aşınma deneyin de excel formatında elde edilen sürtünme katsayısı değerleri ve grafiği .....	90
Şekil 4.12.Aşınma test düzeneği .....	91
Şekil 5.1. PPA matris malzemesinin EDS analizi.....	93
Şekil 5.2. PPA+%30CF malzemesinin EDS analizi .....	94
Şekil 5.3. PPA+%5PTFE malzemesinin EDS analizi.....	95
Şekil 5.4. PPA+%4Wax malzemesinin EDS analizi.....	96
Şekil 5.5. PPA+%30CF+%5PTFE malzemesinin EDS analizi .....	97
Şekil 5.6. PPA+%30CF+%4Wax malzemesinin EDS analizi .....	98
Şekil 5.7. PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax malzemesinin EDS analizi .....	99
Şekil 5.8. I. Grup deney numunelerinin çekme mukavemeti-elastiklik modülü.....	100
Şekil 5.9. I. Grup deney numunelerinin izod darbe dayanımı-kopmadaki %uzama	102
Şekil 5.10. PPA matris malzemesinin kırılma yüzeyi görüntüsü.....	105
Şekil 5.11.a-PPA+%5PTFE, b-PPA+%4Wax, c- PPA+%30CF kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri .....	106
Şekil 5.12.a) PPA+%30CF+%5PTFE, b) PPA+%30CF+%4Wax, c)PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri ...	107
Şekil 5.13. Katkısız PPA, PPA+%5PTFE ve PPA+%30CF+%5PTFE kompozitlerinin 1m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi.....	108

Şekil 5.14. PPA+%30CF ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerinin 1m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	109
Şekil 5.15. PPA+%30CF, PPA+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin 1m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	110
Şekil 5.16. I. Grup deney numunlerinin uygulanan yüke bağlı olarak 0,5 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı değişimleri .....	111
Şekil 5.17. I. Grup deney numunelerinin uygulanan yüke bağlı olarak 1 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı değişimleri .....	112
Şekil 5.18. PPA ile PPA+%5PTFE, PPA+%30CF ve PPA+%4Wax kompozit numunelerinin pimlerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri.....	114
Şekil 5.19. PPA ile PPA+%5PTFE, PPA+%30CF ve PPA+%4Wax kompozit numuneleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri .....	115
Şekil 5.20. Aşınma deneyi sırasında PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin pim numunelerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri.....	116
Şekil 5.21. Aşınma deneyi sırasında PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri .....	117
Şekil 5.22. I. Grup deney numunelerinin 0,5 m/s kayma hızında spesifik aşınma oranı-yük grafiği.....	118
Şekil 5.23. I. Grup deney numunelerinin 1 m/s kayma hızında spesifik aşınma oranı-yük grafiği .....	119
Şekil 5.24. a,b-Katkısız PPA ve disk, c,d-PPA+%5PTFE ve disk, e,f-PPA+%30CF ve diske ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri .....	123
Şekil 5.25. a,b-PPA+%30CF+%5PTFE ve disk, c,d-PPA+%30CF+%4Wax ve disk, e,f-PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax ve disk, g,h- PPA+%4Wax ve diske ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri .....	125
Şekil 5.26. I. Grup deney numunelerinin HDT ve Vicat test sonuç değerleri .....	127
Şekil 5.27. PPA ile PPA+%30CF, PPA+%5PTFE, PPA+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri .....	130
Şekil 5.28. PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri .....	131

Şekil 5.29.PPA+%30CF malzemesinin EDS analizi .....	134
Şekil 5.30. PPA+%10PTFE malzemesinin EDS analizi .....	135
Şekil 5.31. PPA+%30CF+%4Wax malzemesinin EDS analizi .....	136
Şekil 5.32. PPA+%30CF+%10PTFE malzemesinin EDS analizi .....	137
Şekil 5.33. II. Grup deney numunelerinin çekme mukavemeti-elastiklik modülü ..	138
Şekil 5.34. II. Grup deney numunelerin izod darbe dayanımı- kopmadaki % uzama değerleri .....	140
Şekil 5.35.a-PPA ve b-PPA+%10PTFE kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri.....	142
Şekil 5.36.a-PPA+%30CF, b-PPA+%30CF+%4Wax ve c-PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri .....	143
Şekil 5.37. PPA, PPA+%10PTFE ve PPA+%30CF kompozitlerinin 1,0 m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	144
Şekil 5.38. PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerinin 1m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	145
Şekil 5.39. İkinci grup deney numunelerinin 0,5 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	146
Şekil 5.40. İkinci grup deney numunelerinin 1,0 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	146
Şekil 5.41. Aşınma deneyi sırasında katkısız PPA, PPA+%10PTFE, PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerinin pim numunelerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri .....	148
Şekil 5.42. Aşınma deneyi sırasında katkısız PPA, PPA+%10PTFE, PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri.....	148
Şekil 5.43. İkinci grup deney numunelerinin 0,5 m/s hızda, spesifik aşınma oranı-yük grafiği .....	150
Şekil 5.44. İkinci grup deney numunelerinin 1 m/s hızda, spesifik aşınma oranı-yük grafiği .....	151
Şekil 5.45. a,b-Katkısız PPA ve disk, c,d-PPA+%10PTFE ve disk, e,f-PPA+%30CF ve disk, g,h-PPA+%30CF+%4Wax ve disk, i,j- PPA+%30CF+%10PTFE ve diske ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri .....	155

Şekil 5.46. II. Grup deney numunelerinin yük altında eğilme sıcaklığı testi sonuçları.....	157
Şekil 5.47. PPA+%30CF, PPA+%30CF+%10PTFE ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri .....	159
Şekil 5.48. PPA+%30CF, PPA+%30CF+%10PTFE ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri .....	160
Şekil 5.49. PPA+%4Wax malzemesinin EDS analizi.....	162
Şekil 5.50. PPA+%30GF malzemesinin EDS analizi .....	163
Şekil 5.51. PPA+%30GF+%5PTFE malzemesinin EDS analizi .....	164
Şekil 5.52. PPA+%30GF+%10PTFE malzemesinin EDS analizi .....	165
Şekil 5.53. PPA+%30GF+%4Wax malzemesinin EDS analizi .....	167
Şekil 5.54. PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax malzemesinin EDS analizi .....	168
Şekil 5.55. PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax malzemesinin EDS analizi .....	169
Şekil 5.56. III. Grup deney numunelerin çekme mukavemeti-elastiklik modülü ....	170
Şekil 5.57. III. Grup deney numunelerin izod darbe dayanımı- kopmadaki % uzama değerleri.....	172
Şekil 5.58. PPA matris malzemesinin kırılma yüzey görüntüleri .....	175
Şekil 5.59. a-PPA+%30GF, b-PPA+%30GF+%5PTFE, c-PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri .....	176
Şekil 5.60. a-PPA+%4Wax, b-PPA+%30GF+%4Wax kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri.....	177
Şekil 5.61. a-PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax, b-PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri .....	178
Şekil 5.62. PPA, PPA+%30GF ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerinin 1m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	179
Şekil 5.63. PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax kompozitlerinin 1m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	180
Şekil 5.64. PPA+30GF%5PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin 1m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi .....	181
Şekil 5.65. Üçüncü deney grup numunelerinin 0,5 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	182



Şekil 5.66. Üçüncü grup deney numunelerinin 1,0 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	182
Şekil 5.67. Aşınma deneyi sırasında katkısız PPA, PPA+%30GF, PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax kompozitlerine ait pim numunelerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri .....	185
Şekil 5.68. Aşınma deneyi sırasında katkısız PPA, PPA+%30GF, PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax kompozitlerine ait pim numuneleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri .....	185
Şekil 5.69. Aşınma deneyi sırasında PPA+%30GF+%5PTFE, PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerine ait pim numunelerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri.....	186
Şekil 5.70. Aşınma deneyi sırasında PPA+%30GF+%5PTFE, PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerine ait pim numuneleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri.....	187
Şekil 5.71. Üçüncü grup deney numunelerinin 0,5 m/s hızda, spesifik aşınma oranı-yük grafiği .....	189
Şekil 5.72. Üçüncü grup deney numunelerinin 1 m/s hızda, spesifik aşınma oranı-yük grafiği .....	191
Şekil 5.73.a,b- Katkısız PPA, c,d-PPA+%30GF, e,f- PPA+%4Wax, g,h- PPA+%30GF+%5PTFE, i,j- PPA+%30GF+%10PTFE, k,l-PPA+%30GF+%4Wax, m,n-PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax, p,r-PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerin pim ve disk yüzeylerine ait mikroyapı görüntüleri.....	196
Şekil 5.74. III.Grup deney numunelerinin yük altında eğilme testi sonuçları .....	198
Şekil 5.75. PPA ve PPA+%4Wax ile PPA+%30GF kompozitlerine ait DSC grafikleri.....	201
Şekil 5.76. PPA ile PPA+%30GF+%5PTFE ile PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerine ait DSC grafikleri .....	202
Şekil 5.77. PPA+%30GF+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin DSC analizlerinden elde edilen DSC grafikleri .....	203

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Polifitalamid, Termoplastik, Kompozit, Mekanik Özellikler, Termal Özellikler, Aşınma, Sürtünme

Bu deneysel çalışmada, polifitalamid matris malzemesine ağırlıkça %30 cam elyaf ve karbon elyaf dolguları katılarak, kompozitler ekstrüzyon ve enjeksiyon makinelerinde üretilmiştir. Aynı zamanda dolgu malzemesi olarak teflon ve wax da kullanılmıştır. Kompozitlerdeki teflon dolgu oranı ağırlıkça %5 ve %10, wax dolgusu oranı ise ağırlıkça %4'dür.

Katkıların, matris malzemesinin tribolojik, mekanik ve termal özelliklerine olan etkilerini araştırmak için; elde edilen kompozitlere, mekanik testler, termal analizler ve tribolojik deneyler uygulanmıştır. Kompozitlere uygulanan tribolojik deneyler, pim-on-disk cihazında gerçekleştirilen aşınma ve sürtünme deneyleridir. Deneyler kuru ortam şartlarında yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığına (23°C); yük olarak 20N, 30N ve 40N ve 0.5m/s-1.0m/s kayma hızlarında 2000 metre kayma yolunda yapılmıştır. Deneyler sonucunda, polimer ve kompozit malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışlarına uygulanan yükün etkisi, hızın etkisi ve katkıların etkileri incelenmiştir. Deneylerde aşınma oranları ve sürtünme katsayıları, kayma hızının, uygulanan yükün ve sıcaklığın etkisine göre tespit edilmiş ve etkileri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda, katkısız polifitalamid ve kompozitlerinin sürtünme katsayılarının, uygulanan yükle birlikte arttığı, kayma hızının artmasıyla ise azaldığı gözlenmiştir. Bununla beraber, katkısız polifitalamid ve kompozitlerinin spesifik aşınma oranlarının hem uygulanan yükle hem de kayma hızının artmasıyla artış gösterdiği görülmüştür. Mikroyapı incelemeleri için ise optik mikroskop kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen mekanik testler, çekme testi, izod çentikli darbe testi ve shore D sertlik testleridir. Uygulanan termal analizler ise; diferansiyel taramalı kalorimetre, Vicat yumuşama sıcaklığı ve yük altında eğilme sıcaklığıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda; hem teflon hem de cam elyaf içeren kompozitlerinin tribolojik özelliklerinin, katkısız PPA ve hem karbon elyaf hem de teflon içeren kompozitlerin tribolojik özelliklerinden daha iyi olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda cam elyaf ve karbon elyaf içeren kompozitlerin mekanik özelliklerinin, katkısız PPA'nın mekanik özelliklerinden daha iyi olduğu görülmüştür. Termal özellikler açısından ise, cam elyaf ve karbon elyaf katkılarının, katkısız PPA malzemesinin termal özelliklerinde büyük bir değişime sebep olmadığı gözlenmiştir.

Çalışmalar sonucunda, karbon elyaf ve teflon katkılı PPA yerine cam elyaf ve teflon katkılı PPA kullanımının maliyet açısından daha uygun olacağı öngörülmüştür.

# EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL, THERMAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF POLYPHTHALAMIDE COMPOSITES

## SUMMARY

Keywords: Polyphthalamide, Thermoplastic, Composite, Mechanical Properties, Thermal Properties, Wear, Friction,

In this study, 30% glassfiber reinforced polyphthalamide and 30% carbon fiber reinforced polyphthalamide composites were prepared by extrusion and injection moulding machine. At the same time, poly-tetra-fluoro-ethylene and wax were used as filler. The amount of poly-tetra-fluoro-ethylene in composites are 5% and 10% by weight. The amount of wax in composites is 4% by weight.

Tribological, mechanical and thermal tests were performed to composites because of investigating the effect of fillers on the tribological, mechanical and thermal properties of polyphthalamide. In this thesis, dry sliding wear characteristics of polyphthalamide and its composites were investigated using a pin-on-disc wear test machine. Wear tests were carried out at the sliding speeds of 0.5 m/s and 1.0 m/s, applied loads of 20N, 30N and 40N and under atmospheric conditions of temperature and humidity. At the end of the experiments, effects of load, speed and fillers on the friction and wear behaviour of pure polyphthalamide and its composites were analyzed. For all materials, it was observed that, the coefficient of friction increases linearly with the increase in applied load values. Furthermore, their specific wear rate increases with the increase both applied loads and sliding speed values. Wear surface investigations of all polymer composites used were done by using optical microscope. The mechanical tests were tensile test, notch impact test and shore D hardness test. The thermal test were differential scanning calorimetry analysis, vicat softening temperature test and deflection temperature under load test. Moreover, wear surface investigations of all polymer composites used were done by using optical microscope. As a result of studies; it was observed that the tribological properties of the composites which contain both of poly-tetra-fluoro-ethylene and glass fiber are better than pure polyphthalamide and the composites which contain both of poly-tetra-fluoro-ethylene and carbon fiber. At the same time, the mechanical properties of composites which contain glass fiber and carbon fiber are better than pure polyphthalamide. In the sense of thermal properties, it was observed that there is a slightly effect of carbon fiber and glass fiber on the thermal properties of pure polyphthalamide.

As a result of studies; in the way of cost, it was observed that carbon fiber and poly-tetra-fluoro-ethylene filled polyphthalamide is more expensive than glass fiber and poly-tetra-fluoro-ethylene filled polyphthalamide.

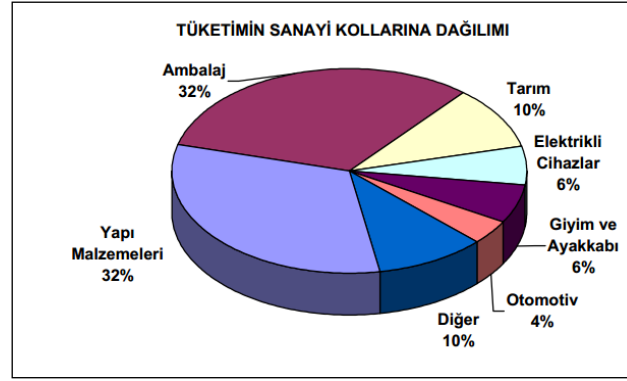
## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Yüzyıllardır insanlar, hayatlarını daha konforlu ve daha kolay hale getirmek için, farklı malzemeler kullanma eğilimi göstermişlerdir. İnsanlık ilk olarak taş, tahta, kemik ve demir gibi doğal malzemeleri kullanmıştır. 1800'lü yıllardan bu yana lastik, kauçuk ve reçine gibi çok yönlü malzemeler bulunmuş ve geliştirilmiştir. İlk plastik malzeme ise; 1862 yılında, Alexander Parkes tarafından icat edilmiş ve yine 1862 yılında Uluslararası Büyük Londra Fuarı'nda sergilenmiş, mükemmellik ödülüne layık görülmüştür. Yaşanan bu sürecin ardından; birçok çeşit plastik geliştirilmiş ve plastiklerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde plastic geniş bir şekilde sağlık, tarım, inşaat, enerji, otomotiv ve ambalaj sektörlerinde kullanılmaktadır [1].

Günümüzde çevrede görülen her üç objeden ikisi plastiktir. Plastik, otomotiv, beyaz eşya ve ambalaj sektörleri başta olmak üzere, birçok sektör tarafından tercih edilen bir malzemedir [2].

Gelişen teknoloji ile birlikte Dünya plastik üretimi 2010 yılında 300 milyon tonu aşmıştır ve üretim kapasitesi yıllık ortalama artış hızı ise %9 civarındadır. Plastik sektörü; tüm Dünya'da 60 milyon kişiye istihdam sağlamaktadır.

Dünya'da plastik tüketiminin sanayi kollarına göre dağılımı, Şekil 1.1'de verilmiştir [3].



Şekil 1.1. Dünya’da plastik tüketiminin sanayi kollarına göre dağılımı (4)

Ülkeler bazında 2003 yılları ve 2010 yıllarında, kişi başına düşen plastik tüketimi Tablo 1.1.’de verilmiştir [3].

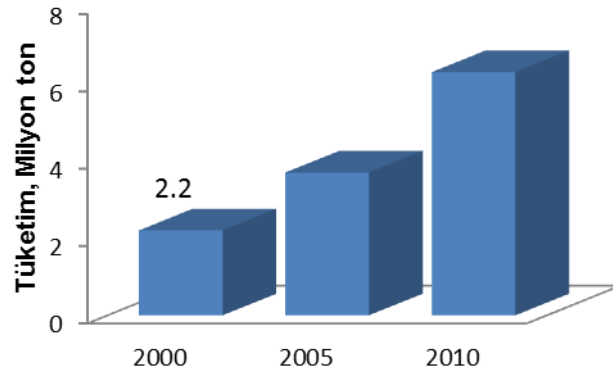
Tablo 1.1. Dünya’da 2003 ve 2010 yıllarında kişi başına plastik tüketimi [3]

Ülke İsmi	2003	2010
Kuzey Amerika	104	133
Batı Avrupa	99	126
Doğu Avrupa	15	24
Japonya	85	105
Latin Amerika	22	28
Orta Doğu	9	11
Güney Amerika	17	25
DÜNYA	28	37

Dünya’da gerçekleştiği gibi; Türkiye’de de plastiğin geleneksel malzemeler olan cam, kağıt, tahta veya demir gibi malzemelere alternatif olarak ortaya çıkması sonucunda plastik tüketimi hızla artmıştır [4].

Türkiye plastik sanayisi, Dünya Plastik sektörü içinde %1,6’lık paya sahiptir. Aynı zamanda Türkiye, plastik işleme kapasitesi ile Avrupa’da 2011 yılında İtalya’dan sonra 3. büyük üretim merkezi olmuştur [5].

Türkiye’de plastik tüketimi projeksiyonu, Şekil 1.2’de verilmiştir [6].



Şekil 1.2. Türkiye’de plastik tüketimi projeksiyonu [6]

Şekil 1.2’de Türkiye’de yıllara bağlı olarak plastik tüketim oranları verilmiştir [6]. Türkiye’de 1995 yılında kişi başına düşen toplam plastik tüketimi 14 kg. civarında iken 2000 yılının başlarında bu değer 30 kg.’a ulaşmıştır [4].

Son yıllarda plastik kullanımının yaygın hale geldiği sektörlerden biri de otomotiv sektörüdür. Plastikler hafif, korozyona dayanıklı ve kolay şekil verilebilir olmaları sebebiyle otomotiv sektörü için vazgeçilmez malzeme grubu halini almıştır [7]. Genel olarak plastik malzemeler; otomobilin yakıt sistemlerinde, iç ve dış aksamalarında, motor parçaları imalinde ve elektrik donanımında kullanılmaktadır [6].

Plasfeld’in 2013 yılında yayınlanan raporuna göre, otomotiv sektöründe başlıca kullanılan malzemelerin 2014 yılı tahmini tüketim miktarları, Tablo 1.2’de verilmiştir. Bu raporda; 2018 yılında taşıt araçlarının %12.2’sinin plastik malzemelerden oluşacağı bildirilmiştir. Raporla göre; plastiklerin taşıt araçlarında kullanımı ile üretimin daha ucuz ve çevreci hale geldiğini belirtilmiştir. Aynı zamanda Türkiye otomotiv sektöründe kullanılan plastik malzemelerin 2018 yılında 312 bin tona çıkacağı açıklanmıştır [8].

Tablo 1.2. Otomotiv sektöründe başlıca kullanılan malzemelerin 2014 yılı tüketim miktarları [8]

<b>2014 Yılında Otomotiv Sektöründe Başlıca Malzemelerin Tahmini Tüketim Miktarı (1000 Ton)</b>	
Malzeme Türü	2014
Çelikler	1.366
Çelik dışındaki metaller	438
Plastikler	291
Kauçuk	162
Diğer malzemeler	308

Otomotiv sektöründe kullanılan başlıca plastik malzemelerin 2013 yılı tüketim miktarı Tablo 1.3'de gösterilmiştir [8].

Tablo 1.3. Otomotiv sektöründe başlıca kullanılan malzemelerin 2013 yılı üretim miktarları [8]

<b>2013 Yılında Türkiye Otomotiv Sektöründe Kullanılan Plastik Parça Üretimi ( Montaj + Yenileme Talebi ) (1000 Ton )</b>	
İç Giydirme	53
Koltuk	35
Tampon	27
Kaput altı	24
Diğerleri	24
Döşeme	21
Ön Konsol	19
Elektrik	19
Yakıt Sistemleri	16
Şasi	16
Aydınlatma	14
Dış Aksam	11
Sıvı Tanklar	3
<b>Toplam Plastik Malzeme</b>	<b>281</b>

Tipik bir otomobil üretiminde kullanılan polimer türleri ve miktarı ise Tablo 1.4'de gösterilmektedir [9].



Tablo 1.4. Tipik bir otomobil üretiminde kullanılan polimer türleri [9]

Parça İsmi	Polimerin Türü	Arabadaki Ağırlığı (kg.)
Çamurluklar-Tampon	PS, ABS, PC/PBT	10
Koltuk	PUR, PP, PVC, ABS, PA	13
Gösterge paneli	PP, ABS, SMA, PPE, PC	7
Yakıt sistemleri	HDPE, POM, PA, PP, PBT	6
Panelleri içeren gövde	PP, PE, PBT	6
Kaput altı parçaları	PA, PP, PBT	9
İç giydirme	PP, ABS, PET, POM, PVC	20
Elektrikli parçalar	PP, PE, PBT, PA, PVC	7
Dış giydirme	ABS, PA, PBT, POM, ASA, PP	4
Aydınlatma	PC, PBT, ABS, PMMA, UP	5
Döşemeler	PVC, PUR, PP, PE	8
Akışkan deposu	PP, PE, PA	1
Toplam		105

Hava giriş manifoldları, yakıt sistemleri, soğutma sistemleri, motor kapakları, radyatör uç depoları, valf kapakları ve yağ karteri modülleri gibi kaporta altı bileşenler; hafif ağırlıkları, sıcaklık ve kimyasal dirençlerinden dolayı PA6 ve PA66 kullanılarak imal edilmektedir [10].

Polifitalamid(PPA); polikarbonat(PC), poliamidlar(PA), polyester(PET, PBT), asetaller(POM) gibi geleneksel mühendislik termoplastikleri ile sıvı kristal polimerler (LCP) , polifenilensülfid (PPS) ve polieterimid (PEI) gibi yüksek fiyata sahip özellikli polimerler arasındaki fiyat-performans boşluğunu dolduran bir yarı-kristal mühendislik polimeridir [11].

PPA'nın çeşitli tedarikçileri vardır. Bunlar; Arkema, DuPont, EMS Grivory, Evonik, Mitsui, Eurotec ve Solvay firmalarıdır [12].

Polifitalamid malzemesinin fiziksel, mekanik, termal ve elektriksel özellikleri Tablo 1.5’de verilmiştir [13].

Tablo 1.5. Polifitalamidin (PPA) genel, mekanik, termal ve elektriksel özellikleri [Eurotec\_PPA]

Özellik	Test Şartları	Değer	Birim	Standart
<b>Genel Özellikler</b>				
Yoğunluk	-	1,20	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Nem oranı	-	<0,2	%	ISO 15512
Nem alma	50%RH, 23°C	2,4	%	ISO 62
<b>Mekanik Özellikler</b>				
Elastiklik Modülü	+23°C	3500	MPa	ISO 527
Akma Mukavemeti	+23°C	90	MPa	ISO 527
İzod darbe dayanımı, çentikli	+23°C	7	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
İzod darbe dayanımı, çentikli	+23°C	4	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
<b>Termal Özellikler</b>				
Erime Sıcaklığı	10K/dk	315	°C	ISO 11357
Yük Altında Deformasyon Sıcaklığı	1.80 MPa	125	°C	ISO 75
Vicat Yumuşama Sıcaklığı	50N	245	°C	ISO 306
<b>Elektriksel Özellikler</b>				
Hacimsel Yalıtkanlık	-	1E+15	Ohm.cm	IEC 60093
Yüzey Yalıtkanlığı	-	1E+13	Ohm	IEC 60093
Karşılaştırmalı Atlama İndeksi	Çözelti A	600	V	IEC 60112

Polifitalamid polimeri yağ, enerji ve otomotiv endüstrisinde motor aşınma halka malzemesi olarak kullanılmaktadır. Geçmiş yıllarda, daha güçlü motor ve azaltılmış boşluk istemi sebebiyle, motor hücrelerinde sıcaklıklar artmıştır. Plastik parçaların sıcaklık direnci daha kritik hale gelmiştir. Aynı zamanda ağırlığı azaltmak ve yakıt tüketimini azaltmaya yardım etmek için çalışılmaya devam edilen bir konudur. Yüksek sıcaklık direncine sahip olması ve aynı zamanda yakıt tüketimini

azaltma isteği; polifitalamidler gibi yüksek sıcaklık performans polimerlerinin kullanımındaki artışın sebeplerini oluşturmaktadır [14].

Polimer malzemelerin özellikleri, farklı katkıları kullanılarak geliştirilebilir. Özellikleri istenilen düzeye getirilen polimer esaslı malzemeler; dişlilerin, contaların, silindirlerin ve millerin yapımında kullanılabilir. Ancak bu polimer esaslı malzemelerin bir kısmı farklı karşı yüzeylere temas ederek çalışmaktadır. Dolayısıyla ortaya sürtünme ve aşınma durumları çıkmaktadır [15].

Literatürde polimerlerin ve polimer kompozitlerin, mekanik, aşınma ve sürtünme ve termal davranışlarını incelemek amacıyla yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Literatürde yer alan çalışmaların bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

Fu ve diğerleri [16], kısa cam elyaf ve kısa karbon elyaf katkılı kompozitler üretip, bu kompozitlerin çekme özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, kompozitlerdeki karbon elyaf ve cam elyaf oranlarının artmasıyla, kompozitlerin mukavemet değerlerinin artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Karbon elyaf eklentisi, cam elyaf eklentisi ile karşılaştırıldığında mukavemeti daha fazla arttırdığı görülmüştür. Fu ve diğerleri bu durumu, karbon elyafların, cam elyaflardan daha yüksek mukavemete sahip olmasına atfetmişlerdir.

Botelho ve diğerleri [17], karbon fiber takviyeli poliamid 6 (PA6) ve poliamid 66 (PA66) kompozitlerinin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. PA6 ve PA66 matris malzemelerine %40,50 ve %60 oranlarında karbon elyaf katarak, karbon elyaf takviyeli kompozitler elde etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, kompozitlerdeki karbon elyaf oranı arttıkça, kompozitlerin hem çekme mukavemetlerinin hem de elastiklik modüllerinin artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Elastiklik modülü ve çekme mukavemeti değerlerinde gerçekleşen artışın sebebini, kompozitlerdeki karbon elyaf oranının artmasıyla, elyaflar ile matris arasındaki adhezyonun artması ve ara yüzey bağlarının daha kuvvetli olması olarak açıklamışlardır.

Zhou ve arkadaşları [18], yapıda dolgu olarak kullanılan karbon elyafın, poliamid6 (PA6)/polifenilen sülfid (PPS) malzemelerinin mekanik ve tribolojik özellikleri

üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Mekanik özellikler açısından, CF takviyeli PA6/PPS kompozitlerinin çekme mukavemeti ve elastiklik modülü değerlerinin, katkısız PA6/PPS blendinin çekme mukavemeti ve elastiklik modülü değerlerinden daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir. Çekme mukavemeti ve elastiklik modülü değerlerinde yaşanan bu artışın sebebini, karbon fiberin, kompozitin yük taşıma kapasitesini arttırması olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte CF takviyeli PA6/PPS kompozitlerinin kopmadaki uzama değeri, katkısız PA6/PPS blendinin kopmadaki uzama değerinden daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir. Bunun sebebini ise, CF'in, kompozitin çekme mukavemetini geliştirirken; polimer karışımının sünekliğini azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca CF takviyeli PA6/PPS kompozitlerinin sertliği, kompozitteki CF içeriği arttıkça artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Sertlikte yaşanan artışın sebebini sıkıştırıcı kuvvetin altında; termoplastik matris fazı ile fiber dolgusunun, birbirine dokunarak ve direnç göstererek birlikte sıkışması ve böylelikle arayüzeyin yükü daha etkili biçimde transfer edebilir duruma gelmesi olarak açıklamışlardır. Dolayısıyla sertlik artmıştır.

Wu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [19], hazırladıkları karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli poliamid 6 ve poliamid 6/kil nanokompozitlerinin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, kompozitlerdeki CF ve GF oranı arttıkça, kompozitlerin çekme mukavemetlerinin, elastiklik modüllerinin artış gösterdiğini, diğer taraftan kompozitlerin %uzamamiktalarında düşüş gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Ek olarak CF katkılı PA6 kompozitinin izod darbe dayanımının katkısız PA6 malzemesinin izod darbe dayanımından daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Thomason ve Vlug'un yaptıkları çalışmada [20], cam elyaf katkılı polipropilen kompozitinde yer alan cam elyaf miktarı arttıkça, kompozitin darbe dayanımının artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Darbe dayanımında gerçekleşen artışın sebebini, fiber ile matris arasındaki etkileşimin artmasına atfetmişlerdir.

Mouhmid ve diğerleri [21], cam elyaf takviyeli PA66 kompozitlerindeki cam elyaf oranı arttırıldığında, kompozitin çekme mukavemeti ve elastiklik modülünde artış gerçekleştiğini gözlemişlerdir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinde gerçekleşen

artışın sebebi olarak, yapıya eklenen cam elyafın, yapıyı daha kırılğan ve tok bir malzeme haline getirmesine atfetmişlerdir.

Güllü ve arkadaşları [22], polipropilen ve poliamid malzemelerine %15 oranında cam elyaf eklediklerinde, malzemelerin çekme mukavemetlerinde artış gerçekleştiğini, aynı zamanda kompozitlerdeki cam elyaf oranı %30'a yükselttiğinde kompozitlerin darbe dayanımlarında da artış gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Mekanik özelliklerde gerçekleşen bu artışın sebebini, plastiklerde yüksek fiber içeriğinin, eğilmeyi elimine ederek malzemede boyutsal kararı sağladığı ve kompozitlerdeki cam elyafın malzemeyi daha tok bir malzeme haline getirmesi olduğunu belirtmişlerdir.

Ünal ve Mimaroglu [23] yaptıkları çalışmada, kısa cam elyaf ve mika dolgusunun, poliamid 6'nın mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kompozitlerde kullanılan cam elyaf ve mika oranı %10,20 ve %30'dur. Yapılan çalışma sonucunda, kompozitlerdeki cam elyaf oranı arttıkça, kompozitlerin çekme mukavemeti ve elastiklik modüllerinin artış gösterdiği gözlenmiştir. Ünal ve Mimaroglu, kompozitlerin elastiklik modüllerindeki artışın sebebini, akma teorisi ile açıklamışlardır. Akma teorisine göre, her bir partikül etrafındaki matris alanı, bir stres konsantrasyonu tarafından etkilenir. Sonuç olarak, partikülleri arası mesafenin azalmasıyla, bu alanlar birlikte katılır ve akma ağı oluştururlar ki bu da elastiklik modülünü yükseltir. Eş zamanlı olarak kompozitlerdeki cam elyaf oranı arttıkça, kompozitlerin %uzama miktarları azalmıştır. Yazarlar bunun sebebini, kompozitlerde artan cam elyaf oranının, makromoleküler zincirlerin hareketini engellemesi ve dolayısıyla polimerin kırılğanlığını arttırması ile açıklamışlardır. Çalışmada kompozitteki cam elyaf oranı %30 olduğunda, kompozitin darbe dayanımının, katkısız PA66'nın darbe dayanımından daha düşük olduğunu gözlemişlerdir. Darbe dayanımında gerçekleşen bu düşüşün sebebini, malzemeye dolgu eklenmesiyle, matrisin enerji absorblama kabiliyetini düşürmesi, dolayısıyla da malzemenin tokluğunu düşürmesine atfetmişlerdir.

Lee ve Jang, yaptıkları çalışmada [24] GF katkısının, polipropilen matrisinin darbe dayanımını geliştirdiğini, bunun sebebini ise cam fiberler sayesinde plastik

deformasyonun limitlenmesi ve fiberlerin enerji absorblamayı geliştirmesinden dolayı olduğunu belirtmişlerdir. Benzer sonuçlar, Palabıyk ve Bahadur'un yaptıkları çalışmada da elde edilmiştir [25]. Aynı zamanda Bijwe ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [26] PEEK malzemesine PTFE ilave edilmesiyle sertlik, çekme mukavemeti ve elastiklik modülünde azalma gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

Chen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [27] PA66/PPS karışımına PTFE eklediklerinde elde edilen kompozitlerin çekme mukavemetlerinde, elastiklik modülünde ve sertlik değerlerinde, PA66/PPS karışımına kıyasla, düşüş gözlemişlerdir. Bu değerlerdeki düşüşün sebebini ise; PTFE'in rijit-çubuk-benzeri molekül yapısı ve düşük yüzey gerilimine sahip bir polar olmayan yarı kristalin polimer olmasından dolayı, karışıma eklendiğinde sistemin arayüzey gerilimini attırması ve uyumluluğu bozmasının mekanik özellikleri zayıflattığını belirtmişlerdir.

Özsoy ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [28] wax katkılı PA6%+10PTFE kompozitlerinin çekme mukavemeti ve elastiklik modülü değerlerinin wax katkısız PA6+%10PTFE kompozitinin çekme mukavemeti ve elastiklik modülü değerinden daha düşük olduğunu bununla birlikte wax katkılı PA6+%10PTFE kompozitlerinin kopmadaki uzama değerinin, wax katkısız PA6+%10PTFE kompozitinin kopma uzamasından daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Değerlerde yaşanan bu değişimin sebebi olarak waxın bir yağlayıcı malzeme olduğu için karışımı yumuşatmasıyla daha yüksek kopma uzamasına yol açtığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda waxın yağlayıcı etkisi sebebiyle çekme mukavemeti ve elastiklik modülünde düşüşe sebep olduğunu vurgulamışlardır. Özsoy ve arkadaşları, wax içeren kompozitlerin darbe dayanımlarının düşük çıkmasının sebebini wax malzemesinin karışım ile karışmaması ve impürite gibi davranması olduğunu belirtmişlerdir.

Gao ve diğerleri [29], bir ring-on-blok cihazı kullanarak, katkısız PTFE, PA6 ve PMMA polimerlerinin östenitik Cr18Ni9Ti çeliğine karşı sürtünme davranışlarını test etmişlerdir. Uygulanan yük ve kayma hızı, tüm testler için sabit tutulmuştur. PA6 malzemesinin sürtünme katsayısının 0,7 olduğunu gözlemlemişlerdir. Yazarlar, PA6 için karşıt parça yüzeyinde bir transfer film bulduklarını, filmin oluşumunun polimer moleküllerinin yapısal karakteristiklerine ve kimyasal etkilere bağlı olduğunu, bunun

çelik ile temasta bulunan polimerlerin sürtünme ve aşınma özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir.

Palabıyık ve Bahadur [30], PA6'nın %20, 40, 60 ve %80 oranlarında HDPE ile oluşturulan karışımlarının tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Sürtünme ve aşınma testleri, pin-on-disk cihazında polimer pime karşı dönen AISI 02 takım çeliğini içeren bir düzenlemede gerçekleştirilmiştir. Testler kuru kayma koşullarında, 0,64 MPa temas basıncı ve 1 m/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Katkısız PA için sürtünme katsayısı 0,81 bulunurken, %40 oranında HDPE eklenen PA6'nın sürtünme katsayısının 0,17 ve %40 HDPE içeren kompozitin spesifik aşınma oranının  $0,18 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{Nm}$  olduğunu gözlemlemişlerdir. Aşınmayı azaltan etkinin, karşıt yüzey üzerinde oluşan transfer film olduğunu vurgulamışlardır.

Unal ve Fındık [31], bazı endüstriyel poliamidlerin, sürtünme ve aşınma testleri kullanarak, kuru kayma koşulları altında farklı polimer karşıt yüzeylere karşı sürtünme ve aşınma davranışları hakkında bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, katkısız PA66 ve PA46+%30GF kompoziti için, yük olarak 40N'a kadar, artan yükte birlikte sürtünme katsayısının azaldığını, bununla birlikte 40N civarında sürtünme katsayısının arttığını belirtmişlerdir. PA46+%30GF ve PA66 için, spesifik aşınma oranı, uygulanan yükün artmasıyla birlikte artmıştır. PA46+%30GF ve PA66 pim numunelerine karşı olarak PPS+%30GF ve PA46+%30GF polimer kompozitleri, karşıt parça olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek aşınma oranı katkısız PA66'ya karşı PPS+%30GF kompozit karşıt parçası kombinasyonunda elde edildiği, en düşük aşınma oranının ise PA46+%30GF polimer kompozitine karşı olarak PA46+%30GF polimer kompozit karşıt parça kombinasyonunda elde edildiğini belirtmişlerdir.

Bolvari ve diğerleri [32] yaptıkları çalışmada, aramid elyaf takviyeli PA66 kompozitleri ile PTFE içeren kompozitlerin, ring-on-blok cihazında, takım çeliğine karşı aşınma davranışlarını ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Tribolojik testler, 30N yük altında ve 1 m/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Aramid elyaflar matrislere %5, 15,20,25 ve %30 oranında eklenmiştir. İkinci test serisinde de ek olarak kompozitlere %10 oranında PTFE eklenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda,

PTFE içermeyen kompozitler için, yapıdaki aramid elyaf oranı arttıkça kompozitlerin çekme mukavemetlerinin arttığını, %10 PTFE ilavesinin %uzama ve darbe dayanımında düşüşe sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. PTFE içermeyen kompozitlerin sürtünme katsayısı 0,6 iken %10 PTFE katkılı kompozitin sürtünme katsayısının 0,3 olduğunu belirtmişlerdir. Tribolojik özelliklerde meydana gelen iyileşmenin sebebinin, düşük sürtünmeye sebep olan transfer filmin oluşması olduğunu ve bu filmin aramid fiberlerin açığa çıkma olasılığını minimize ettiğini belirtmişlerdir.

Unal ve arkadaşlar [33], aşınma testlerini kullanarak polimerik malzemelerin abrazyon aşınma davranışı hakkında bir araştırma yayımlamışlardır. Yapılan çalışmada, alifatik polietilen (APK), polioksimetilen (POM), çok yüksek yoğunluklu polietilen (UHMWPE), poliamid 66 (PA66) ve %30 cam elyaf takviyeli polifenilensülfid (PPS+%30GF) mühendislik polimerleri, oda sıcaklığında çalışılmıştır. Pin-on-disk düzenlemesi kullanılmış ve aşınma testleri 1 m/s kayma hızı ve 10N yük altında gerçekleştirilmiştir. Testler 50, 100, 150 ve 200 m. kayma mesafelerinde yapılmıştır. Zımpara kağıdı taneleri 150'den 1200'e değişen zımparalar, abrazyon disk yüzeyi olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, en yüksek aşınma oranının  $8,5 \times 10^{-4} \text{mm}^3/\text{Nm}$  ile UHMWPE malzemesinin sergilediğini, ayrıca tüm malzemeler için artan aşınma süresi ile aşınma oranlarının arttığını belirtmişlerdir.

Rajesh ve Bijwe [34], PA11 ile dolgu olarak bronz veya bakır tozları ve cam elyaflar kullanarak ürettikleri kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma için PA11+%20GF, PA11+%20GF+%6Bronz ve PA11+%20GF+%6Bakır tozu olmak üzere üç adet kompozit üretilmiştir. Tribolojik testlerde karşıt parça olarak düşük karbonlu çelik kullanılmıştır. Aşınma testleri pin-on-disk cihazında ve 200N'a kadar olan yükler altında gerçekleştirilmiştir. Katkısız PA11'in sürtünme katsayısının 0,41 olduğunu ve tüm yük koşullar altında cam elyaf ve metal dolguların sürtünme katsayısını ve aşınma oranını düşürdüğünü belirtmişlerdir. PA11+%20GF kompozitinin aşınma oranının, katkısız PA11 malzemesinin aşınma oranında 4 kat daha düşük olduğunu ve bakır malzemesinin sürtünme katsayısını azaltmada en iyi dolgu malzemesi olduğunu vurgulamışlardır.



Wang ve diğeri [35], naylon 1010'da farklı dolguları ve kısa karbon elyafları araştırmışlardır. Dolgu olarak MoS<sub>2</sub> partikülleri ve karbon elyaflar kullanılmıştır. Sürtünme ve aşınma testleri, ring-on-blok cihazında 0,42 m/s kayma hızı ve 300N'a kadar olan yüklerde gerçekleştirilmiştir. Karşıt parça olarak ise AISI 1045 çeliği kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, düşük yüklerde sürtünme katsayısını azaltmada MoS<sub>2</sub>'ün etkin olduğunu, karbon elyaflar ile MoS<sub>2</sub> partikülleri arasındaki sinerjik etkinin, farklı yükler altında PA6'nın aşınma ve sürtünmesini azaltmada katkısı olduğunu belirtmişlerdir. PA6 partikülleri ve fiberler tarafından karşıt parça yüzeyinde oluşturulan filmin ince, homojen ve sürekli olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kang ve diğeri [36], grafit katkılı PA6 kompozit malzemelerin tribolojik davranışlarını çalışmışlardır. Tribolojik testlerde yük olarak 2,5 MPa kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, %2-4 oranında grafit ve %2 oranında yağ içeren kompozitlerin sürtünme katsayısının, katkısız PA6'nın sürtünme katsayısından daha düşük olduğunu gözlemişlerdir. Kang ve diğeri, yağ ile yüzey filmi oluştuğunu ve bu film tabakasının PA6'yı aşınmadan koruduğunu belirtmişlerdir.

Zhao ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [37], CF takviyeli poliimid kompozitlerinin spesifik aşınma oranlarının, katkısız poliimid malzemesinin spesifik aşınma oranından daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. CF'in spesifik aşınma oranını düşürmesinin sebebinin; yüksek mukavemetli olan karbon fiberin, yükün çoğunu paylaşması ve böylelikle PI matrisini ciddi aşınmadan koruması olduğunu vurgulamışlardır.

Xian ve Zhang yaptıkları çalışmada [38] PEI ve ağırlıkça %5-20 arasında karbon elyaf katkılı PEI kompozitlerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma testleri, blok-on-ring ve pin-on-disk cihazlarında gerçekleştirilmiştir. Pin-on-disk cihazındaki aşınma testleri, 100Cr6 çeliğine karşı, 1 m/s kayma hızında ve 2 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, %10 oranında karbon elyaf içeren kompozitin hem sürtünme katsayısının hem de spesifik aşınma oranının, katkısız PEI malzemesinin sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranından daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebini ise, karbon elyafların kendinden yağlayıcı kabiliyete sahip olmasına atfetmişlerdir.

Li ve Xia'nın yaptıkları çalışmada [39] PA6 matris malzemesine CF eklendiğinde, kompozitlerin sürtünme katsayılarında düşüş gözlemlenmiştir. CF, kristallerinin hegzagonal düzlemlerinin fiber eksenine dikey doğrultuda hizalanmasıyla grafitleştirilmiş karbon olduğunu ve grafitte dönüştürülmüş karbonun yağlayıcı fonksiyonunun, çelik karşı yüzeye karşı kayan kompozitlerin sürtünme katsayısının düşmesinin sebebi olduğunu belirtmişlerdir.

Lu ve Friedrich'in yaptıkları çalışmada [40]; CF takviyeli PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayılarının, katkısız PEEK'in sürtünme katsayısından daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda bu kompozitlerin sürtünme katsayılarının, yükün artışıyla birlikte, azaldığını da belirtmişlerdir. Bunun sebebinin ise; karbon fiber katkısının, pulluklanmayı azaltma yeteneğinden kaynaklandığını önermişlerdir. Yine aynı çalışmada PTFE katkılı kompozitlerin sürtünme katsayılarının, katkısız PEEK'in sürtünme katsayısından daha düşük olduğunu ve bu kompozitlerin sürtünme katsayılarının yükün artışıyla birlikte, azaldığını belirtmişlerdir. Bunun sebebinin ise PTFE malzemesinin, çelik disk yüzeyinde üç boyutlu transfer film oluşturması olduğunu vurgulamışlardır.

Srinath ve Gnanamoorthy'nin yaptıkları çalışmada [41], GF takviyeli naylon66 kompozitinin sürtünme katsayısının, katkısız naylon66 polimerinin sürtünme katsayısından daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Sürtünme katsayısında yaşanan bu düşüşün sebebinin ise; cam fiber düşük termal iletkenliğe sahip olduğu için, test sırasında çelik disk yüzeyinde gerçekleşen sıcaklık artışını engellemesi olarak açıklamışlardır. Ayrıca elyafın matrisle daha iyi adhezyon sağlamasının, aşınma direncinin geliştirilmesinde bir sebep olabileceğini vurgulamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, katkısız naylon 66 malzemesinin en düşük aşınma direncine sahip olduğunu, cam elyaf takviyeli naylon 66 kompozitinin ise en düşük spesifik aşınma oranını sergilediğini belirtmişlerdir.

Vina ve arkadaşları [42], PEI ve ağırlıkça %33 oranında cam elyaf katkılı PEI kompozitlerinin, pin-on-disk cihazında, farklı sıcaklıklarda, 0.2 m/s kayma hızı ve 10N yük koşulları altındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma testleri, 55

HRC sertliğe sahip çelik diske karşı gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen testlerde; cam elyaf katkılı PEI kompozitinin, katkısız PEI malzemesine kıyasla, daha düşük sürtünme katsayısı ve daha düşük aşınma oranı sergilediğini gözlemişleridir.

Indumathi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise [43] pin-on-disk cihazında gerçekleştirilen testlerde; cam elyaf katkılı PEI kompozitlerinin aşınma davranışını incelemişlerdir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda; ağırlıkça %20 oranında cam elyaf katkılı PEI kompozitinin aşınma hacminin, ağırlıkça %30 oranında cam elyaf katkılı PEI kompozitinin aşınma oranından daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. En düşük aşınma oranının, ağırlıkça %30 oranında cam elyaf katkılı PEI kompozitinin sergilediğini bildirmişleridir.

Pıhtılı ve Tosun'un yaptıkları çalışmada [44], GF takviyeli polysterin aşınma oranının, katkısız polysterin aşınma oranından daha düşük olduğunu gözlemişlerdir. Aşınma oranında yaşanan bu düşüşün sebebini; cam elyafın disk ile numune arasındaki temas yüzeyini alanını düşürmesi ve böylelikle kompozit numunesinin yüzey sıcaklığının düşük seviyelerde kalmasına atfetmişlerdir. Aynı zamanda, aşınma testleri sırasında, artan yüklerle birlikte, kompozitlerin aşınma oranlarının arttığını da gözlemişlerdir. Artan yüklerle birlikte aşınma oranının artış göstermesinin sebebini ise; yükün artışıyla birlikte sıcaklığın artmasıyla; polysterin kırılabilir hale gelmesi ve yüzeyden kalkması, yüzeyden kalkan parçaların, numune ile disk arasında abrazif olarak davranması olduğunu vurgulamışlardır.

Mimaroğlu ve Ünal'ın yaptıkları çalışmada [45] aşınma deneyi sırasında yükün artmasıyla, PEI polimerinin sürtünme katsayısının arttığını, bunun sebebini uygulanan yükün, polimer numunesinin limit değerine ulaştığında sürtünme katsayısının, polimerin kritik yüzey enerjisinden dolayı arttığını vurgulamışlardır.

Li ve arkadaşları [46] PA6 kompozitlerinin sürtünme katsayılarının, kayma hızının artmasıyla, azaldığını belirtmişlerdir. Kayma hızının, malzemelerin sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini, aslında sürtünme ısısının oluşumuna atfetmişlerdir. Sürtünme ısısının birikimi, bir camsı-viskoelastikten viskoz akış haline geçişi teşvik

ettiğini, hızın kritik bir değerin üzerine çıktığında, kompozit viskoz akış halini aldığını ve yüzey malzemesinin kayma mukavemeti ile viskozitesi düştüğünü bildirmişlerdir. Bu sebepten, kayma hızı ile beraber sürtünme katsayısının da azaldığını belirtmişlerdir.

Dangsheng yaptığı çalışmada [47]; katkısız UHMWPE numunesinin aşınma davranışında, bir miktar kaymadan sonra sürtünme katsayısının yüksek bir seviyeye çıktığını, bunun sebebinin ise kayma mesafesinin artmasıyla temas alanının artmasından kaynaklandığını, sürtünme ısısının saf UHMWPE'nin yüzeyini yumuşak hale getirmesi ve böylelikle sürtünme adhezyonu bileşeninin güçlü hale gelmesinden kaynaklandığını belirtmiştir. Aynı zamanda; CF takviyeli UHMWPE kompozitlerinin, katkısız UHMWPE'den daha düşük spesifik aşınma oranına sahip olduğunu ve bu kompozitlerin spesifik aşınma oranlarının, artan yüklerle beraber artış gösterdiğini belirtmiştir. Artan yüklerle beraber spesifik aşınma oranında artış gerçekleşmesinin sebebinin, yüksek yük altındaki sürtünme ısıdan kaynaklanan yüzey yumuşaması olduğunu vurgulamıştır.

Zhou ve arkadaşları [18], yapıda dolgu olarak kullanılan karbon elyafın, poliamid6 (PA6)/polifenilen sülfid (PPS) malzemelerinin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. PA6/PPS karışımının sürtünme katsayısı 0,40 iken PA6/PPS karışımına %5 oranında CF eklendiğinde kompozitin sürtünme katsayısının 0,36 olduğunu, dolayısıyla karışıma CF eklenmesiyle, kompozitin sürtünme katsayısında düşüş gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Sürtünme katsayısında düşüş gerçekleşmesinin sebebi olarak, CF'in yapıda, uygulanan yük altında karşıt yüzey ile olan teması ve pulluklanmayı azaltması olarak açıklamışlardır. 15N yük altında kayma hızı 500 r/dk.'dan 1500 r/dk.'ya yükselttiğinde, kompozitlerin sürtünme katsayılarında düşüş gerçekleştiğini, bunun sebebinin de kayma hızının artmasıyla karbon fiberin yapıdan sıyrılması ve aşınma kalıntısına katkıda bulunması olarak açıklamışlardır. Eş zamanlı olarak, kayma hızı arttırıldığında, kompozitlerin aşınma oranlarının da artış gösterdiğini, bunun sebebi olarak ise kayma hızının artmasıyla daha fazla pulluklanma ve karbon elyaf kırılmasının gerçekleşmesi olarak belirtmişlerdir.

Li ve Xia'nın yaptıkları çalışmada [39], PA6 ve karbon elyaf katkılı PA6 kompozitlerinin tribolojik performanslarını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, kayma hızı 1 Hz'den 12 Hz'e yükseltildiğinde, karbon elyaf katkılı PA6 kompozitinin sürtünme katsayısının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bunun sebebini, kayma hızının artmasıyla, elyaf hasarının boyutunun ve grafit kristallerinin sıkışmasının artması olduğunu belirtmişlerdir.

Asuke ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [48], karbonize edilmiş kemik partikülleri, polipropilen polimer matrisine eklenerek, polimer kompozit elde etmişlerdir. Elde edilen kompozitlerde karbonize edilmiş kemik partiküllerinin oranı arttıkça, kompozitlerin aşınma oranının azaldığını gözlemlemişlerdir. Aşınma oranında meydana gelen azalmanın sebebi olarak, polipropilen malzemesinden daha sert olan karbonize edilmiş kemik partiküllerinin daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu, partikül ile matris arasındaki arayüzey bağının güçlendiğini ve dolayısıyla daha yüksek aşınma ile ortaya çıkan partikül ayrılması olasılığının daha düşük olması olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda, aşınma testleri sırasında uygulanan yük miktarının artmasıyla, aşınma oranının da artış gösterdiğini gözlemişlerdir. Bunun sebebini ise polipropilen matrise karbonize edilmiş kemik partiküllerinin eklenmesinin, sertlik değerlerindeki artışla birlikte süneklikte bir düşüşe sebep olması olarak açıklamışlardır.

Davim ve Cardoso [49] katkısız PEEK polimeri ile ağırlıkça %30 oranında cam elyaf ve karbon elyaf katkılı PEEK kompozitlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma testleri pin-on-disk cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testinde, yük olarak 2.68 MPa ve 8 MPa olmak üzere iki farklı basınç, kayma hızı olarak 0.25 m/s ve 0.75 m/s değerleri kullanılmıştır. Karşıt yüzey olarak 1045 çeliği seçilmiştir. Aşınma testleri, kuru ortamda uygulanmıştır. Çalışmanın sonucu olarak ise; ağırlıkça %30 karbon elyaf katkılı PEEK kompozit malzemenin, katkısız PEEK malzemesi ve ağırlıkça %30 cam elyaf katkılı PEEK kompozit malzemeye göre daha az sürtünme katsayısı ve aşınma oranı gösterdiğini belirtmişlerdir. Eş zamanlı olarak, aşınma testlerinde uygulanan yükün artmasıyla kompozitin sürtünme katsayısında artış gerçekleştiğini, diğer taraftan kayma hızının artmasıyla kompozitlerin aşınma oranlarında artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Sürtünme katsayısında ve aşınma

oranlarında gerçekleşen artışın sebebinin, yükün ve kayma hızının artmasıyla, karşıt yüzeyin sıcaklığının yükselmesi olarak açıklamışlardır.

Demirci ve arkadaşları [50] PA66 polimeri ve ağırlıkça %30 oranında cam elyaf katkılı kompozitin, aşınma davranışını incelemiştir. Aşınma testleri, mil yataklarında gerçekleştirilmiştir. Testlerde, 0.190 MPa ve 0.238 MPa olmak üzere iki farklı basınç ve 1,0 ve 1,5 m/skayma hızı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, %30 cam elyaf katkılı PA66 kompozit malzemenin katkısız PA66 malzemesine göre daha az sürtünme katsayısı ve aşınma oranı gösterdiğini gözlemlemiştir. Bunun sebebinin, cam elyafın iyi termal ısıl iletkenliğe sahip olması, dolayısıyla daha iyi ısı dağılımı sağlayarak yüzey sıcaklığının yükselmesini engellemesi olduğunubelirtmişlerdir.

Chauhan ve arkadaşları [51], GF katkılı vinilester kompozitlerin sürtünme katsayılarının, yükün 5N'dan 50N'a çıkarılmasıyla birlikte artış gösterdiklerini gözlemiştir. Chauhan ve arkadaşları bu durumu, uygulanan yüklerle beraber sürtünme kuvvetinin, çelik yüzeyin sıcaklığını yükselterek; polimer molekül zincirlerinin rahatlamasına yol açmasına ve fiber-matris bağını zayıflatmasına atfetmişlerdir. Eş zamanlı olarak, kompozitteki cam elyaf oranı arttıkça, kompozitin spesifik aşınma oranının azaldığını gözlemlemiştir. Spesifik aşınma oranında gerçekleşen azalmanın sebebinin, elyaf takviyeli vinilesterin yük taşıma kabiliyetinin artması olduğunu belirtmişlerdir.

Koç ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [52] %20 silikon-vaks katkılı poliasetal ile %30 kısa cam elyaf katkılı poliasetal polimer kompozitlerinin, çelik diske karşı aşınma davranışlarını incelemiştir. Aşınma testlerinde; 0.5 m/s ve 1 m/s olmak üzere iki farklı kayma hızı ve 60N, 80N ve 100N olmak üzere üç farklı yük kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda; poliasetal+%20 silikon/vaks kompozitinin en düşük sürtünme katsayısını sergilediğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda katkısız poliasetal ve %20 silikon/vaks katkılı kompozitinin sürtünme katsayısının, uygulanan yüklerle azaldığını, ancak %30 cam elyaf katkılı kompozitin sürtünme katsayısının ise uygulanan yüklerle arttığını bildirmişlerdir. Ağırlıkça %30 oranında cam elyaf katkılı

poliasetal kompozit malzemenin en düşük aşınma oranına sahip olduğunu gözlemişlerdir.

Li ve diğerleri [53], poliamid 6- poliüretan kopolimerine farklı oranlarda cam elyaf ekleyerek elde ettikleri kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, kompozitlerdeki cam elyaf oranı arttıkça, kompozitlerin çekme mukavemet değerlerinin artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Bunun sebebinin cam elyaf ile polimer matris arasındaki adhezyon özelliklerinin çok iyi olması ve kompozitteki cam fiberlerin dağılım derecesinin yüksek olması olduğunu belirtmişlerdir. Kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelerken, 500, 1000 ve 1500 r/dk. kayma hızı ve 78,5N ile 157N olmak üzere iki farklı yük kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, kompozitlerdeki cam elyaf oranı arttıkça, kompozitlerin aşınma oranlarının ve sürtünme katsayılarının azaldığını gözlemlemişlerdir. yüzeyle oluşan temas alanında azalma gerçekleşmesine atfetmişlerdir. Aynı Kompozitte yer alan cam elyaf oranı arttıkça sürtünme katsayısının ve aşınma oranının azalmasının sebebi olarak yapıdaki cam elyafın matristeki yükü paylaşmasına, böylelikle karşıt zamanda yapıdaki cam elyaf oranının artmasıyla, kompozitlerin deformasyonunun azalmasının da aşınma oranının azalmasında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Tribolojik testlerde, hem uygulanan yükün hem de kayma hızının artmasıyla, kompozitlerin hem aşınma oranlarında hem de sürtünme katsayılarında artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Uygulanan yükün artmasıyla birlikte sürtünme katsayısında meydana gelen artışın sebebini, karşıt yüzey ile numune arasında artan temas alanı olarak belirtirlerken, aşınma oranında meydana gelen artışın sebebini ise daha yüksek yüklerde cam elyafların kolayca kırılması ve soyulmasıyla aşınmaya katkıda bulunması olarak açıklamışlardır. Eş zamanlı olarak, uygulanan hızla birlikte sürtünme katsayısının ve aşınma oranının artmasının sebebini, daha yüksek test hızlarında sürtünme ara yüzeyinde sürtünmesel ısı birikiminin daha hızlı gerçekleşmesi ve kısmi yüzey erimesine yol açması olarak açıklamışlardır.

Sümer ve arkadaşları [54] katkısız PEEK polimeri ile ağırlıkça %30 oranında cam elyaf katkılı PEEK kompozitinin; AISI D2 çelik diske karşı, kuru ve sulu ortamda aşınma deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Aşınma deneyi koşulları olarak; 1,77- 3,54

ve 5,30 MPa basınç ve 0,8 ve 1,6 m/s kayma hızını kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda; katkısız PEEK ve %30 cam elyaf katkılı PEEK kompozitlerinin aşınma oranlarının ve sürtünme katsayılarının, uygulanan basıncın artmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. Tüm malzemeler için kayma hızının artmasıyla, sürtünme katsayısının azaldığını ancak spesifik aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Ağırlıkça %30 oranında cam elyaf katkılı PEEK kompozitinin hem sürtünme katsayısının hem de aşınma oranının; katkısız PEEK'e göre daha düşük olduğunu vurgulamışlardır. Kuru kayma koşulu altında, katkısız PEEK ve PEEK+%30GF kompozitinin spesifik aşınma oranları  $10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N civarında olduğunu gözlemlemişlerdir.

Bijwe ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada [26], poli-eter-eter-keton malzemesine PTFE eklenmesiyle, kompozitin sürtünme katsayısında düşüş gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Kompozitteki PTFE oranı %30'a yükseltildiğinde, kompozitin spesifik aşınma oranının 20 kez düştüğünü belirtmişlerdir.

Rao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [55], PA66 matrisine PTFE eklenmesiyle, spesifik aşınma oranında düşüş gözlemlendiğini ve bunun sebebinin de, PTFE'in temas yüzeylerinde ince film tabakası oluşturması olduğunu belirtmişlerdir.

Xian ve arkadaşları [56] yaptıkları çalışmada, epoksi+CF kompozitine PTFE eklediklerinde, kompozitin sürtünme katsayısının düştüğünü gözlemlemişlerdir. PTFE'in sürtünme katsayısını düşürmesinin sebebinin, PTFE'in, kayma süresince, karşıt parça yüzeyinde ince film tabakası oluşturması olduğunu belirtmişlerdir.

Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [57], PMMA/CF kompozitine %5 oranında PTFE eklendiklerinde, sürtünme katsayısında düşüş gözlemişlerdir. Elde edilen düşüşün sebebinin, yapıya eklenen PTFE'in, üçüncü yapı morfolojisini etkilemesi ve adhezif sürtünme ortaya çıkarması olduğu belirtmişlerdir.

Li ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [58] PTFE katkılı PA6/GF kompozitlerinin spesifik aşınma oranlarının, PA6/GF kompozitinin spesifik aşınma oranından daha



düşük olduğunu belirtmişlerdir. Spesifik aşınma oranındaki bu düşüşün sebebini ise PTFE'in karşıt yüzey üzerinde transfer film oluşumuna atfetmişlerdir.

Wang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [59], PTFE katkılı polietereterketon kompozitlerinin sürtünme katsayılarının, katkısız PEEK'in sürtünme katsayısından daha düşük değerde olduğunu gözlemlemişleridir. Sürtünme katsayısında elde edilen bu düşüşü; kompozitte yer alan PTFE'in, karşıt yüzey üzerinde transfer film oluşturması olarak açıklamışlardır.

Demirci ve Düzcükoğlu [60] yaptıkları çalışmada, katkısız PA66, PA66+%18PTFE ve PA66+%20GF+%25PTFE kompozitlerinin sürtünme ve aşınma davranışlarında kayma hızının, uygulanan basıncın ve sıcaklığın etkilerini araştırmışlardır. Aşınma deneyleri, oda sıcaklığında, 0,5 m/s ve 1 m/s kayma hızları, 100N ve 200N yük altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda yükün artışıyla birlikte, PTFE tarafından karşıt yüzeyde oluşan transfer film tabakasının sürekli olarak dağılması ve film kalınlığında artış sağlanmadığını vurgulamışlardır. Dolayısıyla yükün artmasıyla birlikte, PTFE içeren kompozitlerin sürtünme katsayılarında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Eş zamanlı olarak, kayma hızının artmasıyla, spesifik aşınma oranlarında artış gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Spesifik aşınma oranlarında meydana gelen artışın sebebini, kayma hızının artışıyla yüzey sıcaklığının artması ve bunun transfer film tabakasını parçalaması olarak açıklamışlardır.

Ünal ve Yetgin [61] çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (ÇYMAPE) ve poliamid-6 (PA-6) polimerlerinin, AISI 4140 çelik yüzeyine karşı aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma deneylerinde 50N, 100N ve 150N olmak üzere üç farklı yük ile 0.5m/s, 1.0m/s, 1.5m/s ve 2.0m/s olmak üzere dört farklı kayma hızı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin sürtünme katsayısının, kayma hızının artması ile azaldığını gözlemişlerdir.

Franke ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [62] PTFE katkılı PA6, PA66 ve PA12 kompozitlerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma testleri, ring-on-blok cihazı kullanılarak, 100Cr6 ve C45 çeliğine karşı; 0.5, 0.65 ve 1 m/s

kayma hızı ve 50 ile 250N arası yüklerde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, kompozitlerdeki PTFE içeriği arttıkça kompozitlerin spesifik aşınma oranlarının düştüğü belirlenmiştir.

Unal ve diğerleri [63], politetrafloretillen (PTFE) ve kompozitlerinin, sürtünme ve aşınma testlerini içeren aşınma performansı ve sürtünme katsayılarını etkileyen test parametrelerinin etkileri hakkında bir araştırma yapmışlardır. Katkısız PTFE ile %30 karbon elyaf katkılı PTFE (PTFE+%35CF) ve %17 cam elyaf takviyeli PTFE (PTFE+%17GF) kompozitlerinin, pin-on-disk cihazı ile çelik diske karşı sürtünme ve aşınma özelliklerini çalışmışlardır. Uygulanan yük ve kayma hızının, polimer-paslanmaz çelik kombinasyonunun özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kayma hızı olarak 0,32-0,64-0,96-1,0-1,5 ve 2,0 m/s; basınç olarak ise 0,17-0,34-0,68-1,02-1,76-3,53-5,30 ve 7,07 MPa kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, aşınma oranındaki en büyük azalma cam elyaf takviyeli PTFE kompozitinde elde ettiklerini belirtmişlerdir. Aşınma mekanizması olarak ise hem adhezif hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini vurgulamışlardır.

Zhang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise [64] katkısız PPESK polimeri ile PTFE ve grafit katkılı PPESK kompozitlerinin, blok-on-ring cihazında, a45 ve Cr6 çelik karşıt yüzeylere karşı, kuru kayma koşulları altındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Test süresince 50N ve 500N yük olmak üzere iki farklı yük ve 0.419 m/s kayma hızı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kompozitlerdeki PTFE oranı arttıkça, kompozitlerinin hem sürtünme katsayılarının hem de aşınma oranlarının, katkısız PPESK malzemesinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranına göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Sürtünme katsayısında gerçekleşen düşüşün sebebini, PTFE malzemesinin transfer film oluşturması olarak açıklamışlardır.

Unal ve Mimaroglu [65], PA6 matrisine eklenen wax malzemesinin, sürtünme katsayısını düşürdüğünü, bu düşüşün sebebini de wax malzemesinin karşıt disk yüzeyinde kararlı ve aktif transfer film oluşturması ve karşıt yüzeyin sıcaklığının yükselmesine engel olması olduğunu belirtmişlerdir.

Ozsoy ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [28], wax katkılı naylon6 kompozitlerinin sürtünme katsayısının ve spesifik aşınma oranının, katkısız naylon6 malzemesinin katsayısından daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Sürtünme katsayısındaki ve spesifik aşınma oranındaki düşüşün sebebinin ise; wax malzemesinin yağlayıcı olarak davranarak polimer numune ile çelik disk arasında film tabakası oluşturarak polimer- polimer yüzeyleri arasında çalışmakta olan ve bunun sonucu olarak aşınan yüzeyde daha az sıcaklık artışına sebep olması olarak açıklamışlardır.

Wu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [19], hazırladıkları karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli poliamid 6 ve poliamid 6/kil nanokompozitlerinin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, CF katkılı poliamid6 kompozitlerinin yük altında eğilme sıcaklıklarının, katkısız poliamid 6 malzemesinin ve cam elyaf takviyeli poliamid6 kompozitinin yük altında eğilme sıcaklıklarından daha olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun sebebinin ise CF'in, matrisin yük altında eğilme sıcaklığını geliştirebilen yüksekçe kristalin bir malzeme olması olarak açıklamışlardır.

Bijwe ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [66], polietersülfon (PPS) matris polimerine %30 oranında karbon elyaf (CF) eklediklerinde, malzemenin camsı geçiş sıcaklığının 207°C'den 223°C'ye arttığını gözlemişlerdir. Kompozitin camsı geçiş sıcaklığında artış meydana gelmesinin sebebinin, karbon elyaf içeren kompozitlerin molekül ağırlıklarının, katkısız PPS malzemesinin molekül ağırlığından daha fazla olması olarak açıklamışlardır.

Pegoretti ve Ricco'nun yaptıkları çalışmada [67], GF takviyeli polipropilen kompozitlerinin, yapıda artan GF oranı ile kompozitlerin ergime sıcaklıklarında büyük bir değişim olmadığını gözlemlemişlerdir.

Barletta [68], yaptığı çalışmada, elektrostatik püskürtme ve sıcak akışkan yatağa daldırma yöntemleriyle üretilen polyester ve polifitalamid toz kaplamalarının, kuru kayma koşulları altında aşınmaya olan cevaplarını incelemişlerdir. Tribolojik testler, kuru kayma koşullarında ve pin-on-disk cihazında gerçekleştirilmiştir. Yapılan

çalışma sonucunda polifitalamid kaplamaların, lokal kesme ve plastik yorulma mekanizmalarıyla daha hızlı aşınmaya eğilim gösterdiği gözlenmiştir.

Lyons [69] yaptığı çalışmada, 23°C, 100°C ve 150°C'de dört ticari termoplastik reçine sisteminin zamana bağlı mekanik tasarım özelliklerini incelemiştir. Test malzemeleri, cam elyaf takviyeli poliamid ve polifitalamidlerdir. Deneyler izotermal yaşlandırmadan sonra sürünmeyi, sürünme kopmasını ve çekme davranışlarını karakterize etmek için gerçekleştirilmiştir. Yazar yapılan çalışma sonucunda, her malzemenin farklı bir özellik avantajı olsa da %33 cam elyaf takviyeli polifitalamidin, mükemmel sürünme direnci, çekme ve süneklik kombinasyonu sergilediğini belirtmiştir.

Reinicke ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [70] cam elyaf takviyeli PA46, PPA, PPS ve PEI kompozitlerinin tribolojik davranışlarını incelemiştir. Çalışmada aşınma testleri blok-on-ring ve pin-on-disk cihazında gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda oda sıcaklığında, 1 MPa basınç altında ve 1,0 m/s kayma hızında katkısız PA46'nın en yüksek aşınma direncini gösteren malzeme olduğunu gözlemlemişlerdir. Aşınma testlerinde uygulanan yükün artmasıyla birlikte malzemelerin aşınma oranlarının da artış gösterdiği belirtmişlerdir. Ek olarak cam elyaf ve PTFE katkılı kompozitler arasından en düşük aşınma oranında PPA+GF+PTFE kompozitinin sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan literatür taramasında, polifitalamid malzemesi ve kompozitlerinin kuru kayma koşulları altında sürtünme ve aşınma, mekanik ve termal davranışlarını detaylı inceleyen çalışma olmadığı gözlenmiştir. Bu sebeple bu çalışmada, bu alanda olan eksikliği gidermek için, polifitalamid ve kompozitlerinin çalışılmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmada kompozit matris malzemesi olarak PPA (polifitalamid), katkı malzemesi olarak ise karbon elyaf, cam elyaf, teflon ve wax malzemeleri kullanılmıştır.

Çalışmada, deney malzemelerinin termal özelliklerini belirlemek amacıyla, ergime sıcaklığı, camsı geçişsıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı, vicat yumuşama sıcaklığı ve yük altında eğilme sıcaklığı testleri uygulanmıştır. Deney numunelerinin mekanik özellikleri belirlemek amacıyla da numunelere çekme testi, Shore D sertlik testi ve İzod darbe testi uygulanmıştır.

Deney numunelerinin tribolojik özelliklerini incelemek amacıyla ise aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri, pim-on-disk aşınma cihazında, 2000 m. kayma mesafesinde; 20N, 30N ve 40N olmak üzere üç farklı yük altında ve 0.5 m/s ile 1m/s olmak üzere iki farklı kayma hızı koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Karşıt yüzey olarak, X40CrMoV5-1 çelik diski seçilmiştir. Deneyler sonucunda ortaya çıkan disk ve pim aşınma yüzeyleri optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir. SEM incelemeleri ise çekme testi sonucu elde edilen kırık yüzeylerden yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda; hem teflon hem de cam elyaf içeren kompozitlerinin tribolojik özelliklerinin, katkısız PPA ve hem karbon elyaf hem de teflon içeren kompozitlerin tribolojik özelliklerinden daha iyi olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda cam elyaf ve karbon elyaf içeren kompozitlerin mekanik özelliklerinin, katkısız PPA'nın mekanik özelliklerinden daha iyi olduğu görülmüştür. Termal özellikler açısından ise, cam elyaf ve karbon elyaf katkılarının, katkısız PPA malzemesinin termal özelliklerinde büyük bir değişime sebep olmadığı gözlenmiştir.

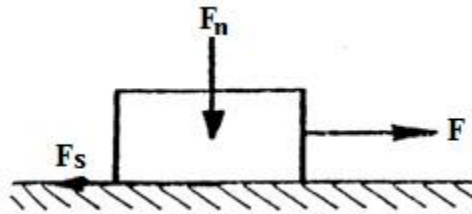
Çalışmalar sonucunda, karbon elyaf ve teflon katkılı PPA yerine cam elyaf ve teflon katkılı PPA kullanımının maliyet açısından daha uygun olacağı öngörülmüştür.

## BÖLÜM 2. SÜRTÜNME VE AŞINMA

### 2.1. Sürtünme Tanımı ve Sürtünme Katsayısı Kavramı

Sürtünme, iki sıvı, katı ya da herhangi iki madde yüzeyi arasında olan ve bu yüzeylerin birbirlerine karşı hareket etmesini engellemeye çalışan karşılıklı direnç kuvvetidir [71].

Birbiri ile temas halinde olan ve yuvarlanma veya kayma hareketi yapan iki yüzey arasında genel olarak sürtünme durumu mevcuttur. Birçok durumda sürtünmenin sayısal değeri çok küçük olsa da pratik olarak daima mevcuttur [72].



Şekil 2.1. Sürtünme Davranışı [72]

Şekil 2.1, sürtünme kuvvetini ve  $N$ , normal kuvveti, sürtünme kuvvetinin boyutsuz oranı olarak sürtünme katsayısını tanımlamaktadır. Normal kuvvet ile sürtünme kuvveti arasındaki orantı, sıklıkla kuru ve sınır sürtünmede verilir, akışkan katman yağlamasında ise verilmez. Sürtünme katsayısı, Yunan harfi  $\mu$  ile sembolize edilir [73].

Birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeylerde meydana gelen sürtünme kuvvetleri, güç kaybına sebep olurken, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine neden olduğu için, aşınma çok önemli bir parametredir [74].

$$F_s = \mu_s \cdot F \quad (1.1)$$

$F_s$  = Sürtünme kuvveti

$\mu_s$  = Statik sürtünme katsayısı ve

$F$  = Normal kuvvettir.

Yüzeyler, sürtünme işleminden önce çok iyi temizlenmiş olsalar da, atmosfer koşulları altında, yüzeyler birbirine sürtünürken, aralarında çok ince de absorpsiyon ve tribomekanik reaksiyon tabakaları meydana gelecektir. Genel olarak, bu tip sürtünme durumu da kuru sürtünme olarak adlandırılır [75].

## 2.2. Polimerlerin Sürtünmesi

Metallar ve seramiklerin aksine, polimerler 0.1 ile 0.5 arasında değişen, düşük sürtünme katsayıları sergilerler. Bu sebeple, polimerler, yağlanmamış (yağsız) tribolojik uygulamalarda kullanılırlar ve genellikle kendilerinde daha sert karşı yüzeye karşı kayarlar [76].

Polimerler arası ya da bir polimer ile bir metal arasındaki kontakt, genellikle baskın olarak elastiktir. Bu sebepten, polimerlerin sürtünmesi, metallerin sürtünmesinden oldukça farklıdır. E'nin elastiklik modülü ve H'nin de malzemenin sertliği olduğu durumda, E/H oranı;

$$\Psi = E/H(\sigma^*/r)^{1/2} \quad (1.2)$$

$\Psi$  = Plastisite indeksi

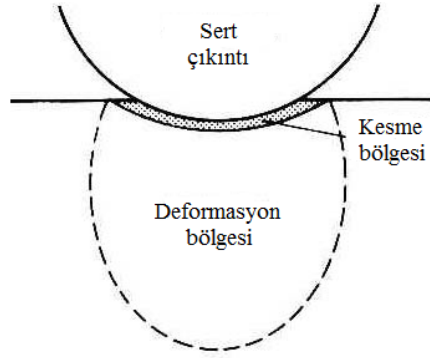
E = Elastiklik modülü, MPa

H = Malzeme sertliği, HRC

denklemleri aracılığıyla, kontakt bölgesinde plastisitenin varlığını kanıtlar. Bununla beraber yüzey topografisi de önemlidir. Metaller için, E/H değeri genellikle 100 veya 100'den daha büyüktür. Oysa birçok yumuşak polimer için bu değer yaklaşık 10'dur. Plastisite indeksi,  $\Psi$ , yumuşak bir polimer için, metal için olan değerlerin 1/10'u kadardır ve dolayısıyla kontakt hemen hemen tamamen elastiktir ve pürüzlü

yüzeyle karşı da aynı davranışı sergilerler. Bu durum, polietilen (yüksek ve düşük yoğunluklu –HDPE ve LDPE), teflon (PTFE), naylonlar, polimetilmetakrilat (PMMA) ve bazı epoksi reçineler için geçerlidir. Bununla beraber, kauçuklar da elastik olarak kontakt kurarlar [76].

Polimerlerin sürtünmesi, metaller gibi, iki kaynağa ayrılabilir: kantağın bölgesel alanı çevresinde, oldukça büyük hacimde enerji dağılımı içeren bir deformasyon terimi ve karşıt yüzey ile kayan parça arasındaki arayüzeyden doğan bir adhezyon terimi. Sürtünmenin bu iki kaynağının bulunduğu durum, şekilde gösterilmiştir [76].



Şekil 2.2. Bir Polimerde sürtünme dağılım bölgelerinin şematik gösterimi [77]

## 2.3. Aşınma

### 2.3.1. Aşınma tanımı

Bir malzemenin yüzeyinde yuvarlanma, darbe, şok yükleme, kayma, tekrarlı şok patlamalar ve dalgalar, düşük veya yüksek sıcaklıkta korozyif ortam saldırıları gibi faktörlerden birkaçının etkisiyle, zamana bağlı olarak gelişen malzeme kaybına aşınma denir [79]. Dolayısıyla aşınma, tekrar geriye kazanılamayan bir madde kaybıdır [75].

Aşınma olgusuna katkıda bulunan bir süreç de plastik deformasyon ve kopmadır. Küçük bölgelikler, plastik deformasyona uğrayıp, koparlar [80].



Bir aşınma sisteminde [74];

Ana malzeme (aşınan),

Karşıt malzeme (aşındıran),

Ara malzeme,

Yük ve

Hareket, aşınmanın temel unsurlarıdır. Bu unsurların oluşturduğu sistem de “tribolojik sistem” olarak isimlendirilir.

### **2.3.2. Aşınmanın ekonomik açıdan önemi**

Aşınma oranı,  $10^{-15}$ 'den  $10^{-1}$   $\text{mm}^3/\text{Nm}$  aralığında, malzeme seçimleri ve proseskoşullarına bağlı olarak, değişiklik gösterir. Dolayısıyla, proses koşullarının tasarımı ve malzeme seçimi, aşınmayı kontrol için anahtar işlemlerdir [81].

Aşınmayı ortadan kaldırmak mümkün olmamakla beraber, bazı önlemler alınarak, aşınmayı azaltmak ve kontrol altına almak mümkündür. Örneğin, parçanın geometrik dizaynı, aşınmayı en aza indirecek şekilde tasarlanması ya da parçanın çalıştığı ortamda bulunan aşınma türü ve şiddeti belirlenerek, aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi yapılması, aşınmayı kontrol altına almaya yardımcı olabilecek önlemlerdendir [80].

Abrazif aşınma sisteminde, sert yüzeylerin düzgün olmaları sağlandığında, ayrıca sistemin içinde abrazif tanelerin bulunması önlenebildiğinde, abrazif aşınma yok edilebilir [82].

Kayan malzemelerin, çalıştıkları mevcut atmosfer ya da yağlayıcılarla kimyasal reaksiyona girmemeleri durumunda, korozif aşınma önlenmiş olur [82].

Yüzey yorulma aşınması, diğer aşınma türlerinin bulunduğu sistemlerde görülmez, çünkü malzeme yorulmaya vakit bulamadan yüzey üzerinden malzeme kalkar [82].

Adhezyon aşınması ise, en az önlenebilen aşınma şeklidir. Birbirleriyle kontakt halinde bulunan iki katı cismin kaydığı tüm mekanik sistemlerde, bu aşınma türü gerçekleşir. Bu sebeple yok edilemez ancak azaltılabilir [82].

### **2.3.3. Aşınma mekanizmaları**

Aşınma, kontakt arayüzeyde, ergime, kimyasal çözünme ya da mikrokırılmadan dolayı malzemenin fiziksel ayrılmayla kaldırılmasının sonucudur. Baskın aşınma biçimi, sürtünmeye ilişkin ısınma, kimyasal film oluşumu ve aşınmadan kaynaklanan, dinamik yüzey yanıtları ve yüzey malzeme özelliklerindeki değişimleri içeren sebeplerden ötürü, birinden diğerine değişebilmektedir [81].

Dominant aşınma mekanizmaları; adhezif aşınma, abrazif aşınma ve yorulma aşınmasıdır [76]. Her aşınma mekanizması, tek başına meydana gelebilmesine rağmen, aşınma hasarları incelemeleri, her zaman çeşitli aşınma mekanizmalarının kombinasyonunun var olduğunu göstermiştir [73].

#### **2.3.3.1. Adhezif aşınma mekanizması**

Bu tip aşınmada, iki düzgün cismin birbirleri üzerinde kayması ve bu kaymanın sonucunda bir yüzeyden parçacıkların kopup, diğer yüzeye yapışması şeklinde gerçekleşir. Bu yüzeyden kopan parçacıklar, üzerlerinde oluştukları yüzeyden ayrılıp, ilk yüzeye geri dönebilirler ya da bağımsız aşınma partikülleri olarak davranabilirler [82].

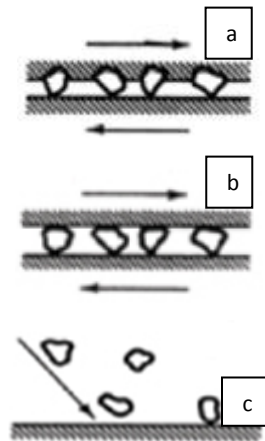
Adhezyon, aşınma çiftinin malzeme etkileşimidir. Yüksek basınç altında iki katı yüzeyin kontağından dolayı, atomik bağlar meydana gelir. Hemen ardından, aşınma elementlerinin yenilenen ayrılmasıyla, malzeme, bir yüzeyden ayrılır ve karşı yüzeye yapışıp kalır. Metalik kontak çiftleri, adhezyon, “soğuk kaynak” olarak da tanımlanır. Reaksiyon için gerekli olan enerji, yüksek basınç ve sürtünme ısıyla elde edilebilir duruma gelir [73, 75].

Temas halinde olan yüzeylerin birbirlerine yapışma eğilimi, her iki malzemenin yüzey atomları arasında var olan çekme kuvvetinden dolayı gerçekleşir. Bununla beraber, yapışkan aşınma durumunda, gerçek temas alanlarında sıcaklık, atomik difüzyon ve rekristalizasyonu sağlayacak kadar yüksek olmayabilir, dolayısıyla yapışma gerçekleşmeyebilir [82].

### 2.3.3.2. Abrazif aşınma mekanizması

Sert partiküllerin yüzey ile yaptığı kayma, darbe gibi temasların etkisiyle yüzeyden malzeme kaldırılması veya iki pürüzlü yüzeyin düşük kontakt basınçlarında birbiri üzerinde yaptığı kayma hareketiyle sadece pürüzlerin aşınması ile ortaya çıkan bir aşınma türüdür [76].

Abrazyon, farklı sertlik değerine sahip aşınma elemanlarının bulunduğu tribo sistemlerde gerçekleşir. Daha sert olan malzeme, aşındırıcı olarak hareket eder. Bağlı hareketin bir sonucu olarak, oyuklanma ve çizikler oluşur. Bununla beraber, daha güçlü saldırı durumlarında, malzeme yüzeyden ayrılır ve büyük miktarda aşınmaya sebep olur [73].



Şekil 2.3. İki boyutlu abrazif aşınma, üç boyutlu abrazif aşınma ve erozyon [74]

Abrazif aşınmada, malzeme, sert partiküller tarafından bir yüzeyden kaldırılır veya yeri değiştirilir, ya da bazen karşıt yüzeydeki çıkıntılar tarafından bu işlem gerçekleştirilir. Abrazyonu anlatmak için, çeşitli niteliyici terimler kullanılabilir.

Sistem iki yüzey içerdiğinde, aşınma durumu genellikle abrazyon olarak adlandırılır [77].

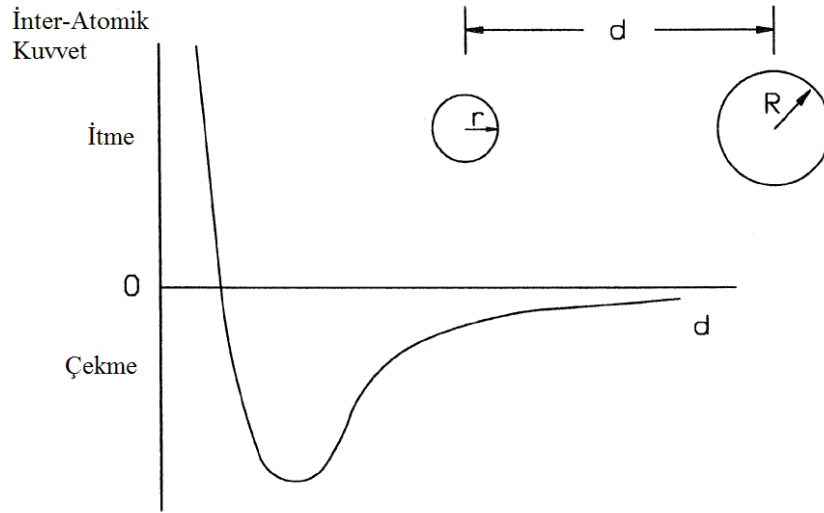
Şekil 2.3.(a)'da gösterilen, “iki boyutlu abrazif aşınma” ile Şekil 2.3.(b)'de gösterilen “üç boyutlu abrazif aşınma” arasında ayırım yapılır [75]. Ayırım yapılmasının sebebi ise iki durumla ilişkili aşınma davranışında önemli farklılıklar bulunmaktadır [76]. İki boyutlu abrazif aşınma, karşıt yüzeydeki sert çıkıntılar sebebiyle oluşurken, üç boyutlu abrazif aşınmada sert partiküller serbestçe yuvarlanırlar ve iki aynı ya da farklı kayma yüzeyi arasında serbestçe kayarlar. Üç boyutlu abrazyondan dolayı olan aşınma oranı genellikle iki boyutlu abrazyondan dolayı gerçekleşen aşınma oranından daha düşüktür [76].

İki boyutlu abrazyon, sabit bir yüzeyde, sert partiküller veya çıkıntılar sebebiyle oluşan aşınmadır. Törpüleme, kumlama ve taşlama, iki boyutlu abrazyonun örnekleridir. Üç boyutlu abrazyonun örnekleri, bir yatakta zımpara taneciği veya kumun neden olduğu aşınmadır ve hareket eden yüzeyler arasında abrazif çamur ve sert aşınma kalıntısı hapis edilir [77].

### **2.3.3.3. Temas türü açısından aşınma**

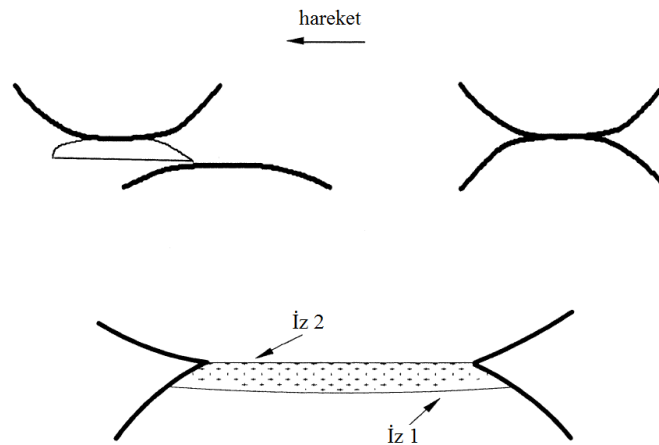
Aşınma bazen, katı yüzeylerin kontakt etkileşimi bakış açısından araştırılır. Pratikte birçok farklı kontakt konfigürasyonu vardır. Bu bakış açısından hareketle normal ya da eğimli basınç ve ayrılma, tek yönlü kayma, tek yönlü yuvarlanma, çift taraflı yuvarlanma, farklı kontakt konfigürasyonlarıdır. Bu kontakt tiplerindeki aşınma; kayma aşınması, yuvarlanma aşınması, darbe aşınması, titreşimli aşındırma ya da çamur aşınması olarak ifade edilir. Aşınmanın bu ifadelerinin hepsi tekniktir ve kontakt tipinin görünüşünü temel alınır [81].

Arayüzeyin doğasını anlamak için, bu bağlanmaların, hem pürüz hem de atomik seviyede meydana gelebileceği bilinmelidir. Pürüz seviyesinde, odak, bu birleşme yerlerinde meydana gelen deformasyonun çeşidi üzerinedir. Atomik seviyedeki arayüzeyi anlamak için, inter-atomik kuvvetlerin doğasını dikkate almak gerekmektedir [77].



Şekil 2.4. İki atom arasındaki kuvvetin davranışı [84]

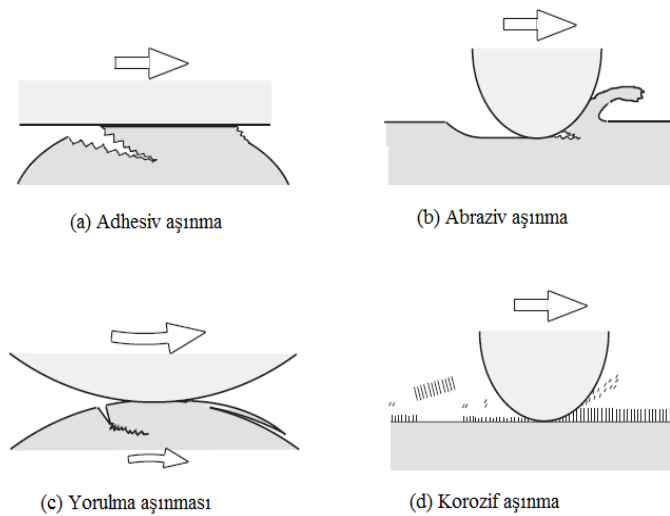
İki atom arasındaki kuvvetin davranışı, Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Bağlanmalar, sıkıştırılan iki yüzeyin sonucu olarak oluştuğu için, inter-atomik kuvvetlerin doğası, bu birleşme yerlerinde meydana gelen bağlanmayı kanıtlamaktadır. Bu aynı zamanda, iki yüzey arasında temas eden atomların belirli bir bölümünün, maksimum bağlanma noktasını geçmiş olmak zorunda olduğu anlamına gelmektedir. Bu, kuvvetlerin dengelenmesi için tek yoldur. Bu aynı zamanda, bazı adhezif kuvvetlerin ya da bağların bu bölgelerde iki yüzeyi bölmeleri için aşılması gerektiğini vurgulamaktadır. Birleşme yerlerinde kontakt durumunun atomik bakış açısı, adhezif aşınmanın konsepti için bir temel (dayanak) sağlamaktadır [77].



Şekil 2.5. Bağlanmadaki muhtemel ayrılma izlerininin küçültülmüş diyagramı [77]

Şekil 2.5'i ele aldığımızda, bu anlatımlar, bağlanmanın meydana geldiği bir birleşme yerinin durumunu anlatmaktadır. İki yüzey birbirine göre hareket ettiği için, birleşme yerinin kopması meydana gelmektedir. Eğer kopma, orijinal arayüzey olan İz 2 boyunca meydana gelirse, bu durumda bir miktar plastik deformasyon ortaya çıkmasına rağmen, herhangi bir yüzeyden malzeme kaybı gerçekleşmez. Diğer taraftan, kopma eğer İz 1 boyunca meydana gelirse, üstteki yüzey malzeme kaybedecektir. Bit yüzeyden malzeme kalkması, bu durumda, adhezif aşınma olarak adlandırılır [77].

Adhezif aşınma ve abrazif aşınma modları, plastik kontakt altında ortaya çıkan aşınma biçimleridir. Benzer malzemeler arasında plastik kontakt olduğu durumda, kontakt arayüzeyi adhezif bağlanma mukavemetine sahiptir. Kırılmanın, kontakt arayüzeyinde, güçlü adhezyonun bir sonucu olarak meydana gelmesi beklendiği durumda, ortaya çıkan aşınma “adhezif aşınma” olarak adlandırılır [81].



Şekil 2.6. Genel aşınma mekanizmaları [85]

Kontakt bölgesindeki geniş plastik deformasyonun bir sonucu olarak, bir çatlak başlatılır ve çekme ile kaymanın kombine edilmiş kırılma modunda ilerler. Çatlak yüzeye ulaştığında, bir aşınma partikülü oluşur ve adhezif transfer tamamlanır. Bu tip aşınma, yani kontakt arayüzeyinde yeterli adhezif bağlanmanın meydana geldiği aşınma, “adhezif aşınma” olarak adlandırılır [81].

Abrazif aşınma, üç farklı şekilde meydana gelir: mikrokesme, takozlama ve kazıma. Aşınma partikülleri, bu üç çeşide bağlı olarak farklı şekillerde oluşurlar [81].

Adhezif ve abrazif aşınmada, aşınma partiküllerinin üretimi için temasın tekrarlı çevrimleri gerekli değildir. Belirli sayıda çevrimden sonra ortaya çıkan aşınmaya, yorulma aşınması denir. Çevrim sayısı yüksek olduğunda, aşınma mekanizması olarak, “yüksek çevrimli yorulma mekanizması” olması beklenir. Çevrim sayısı düşük olduğunda ise düşük çevrimli yorulma mekanizması olması beklenir [81].

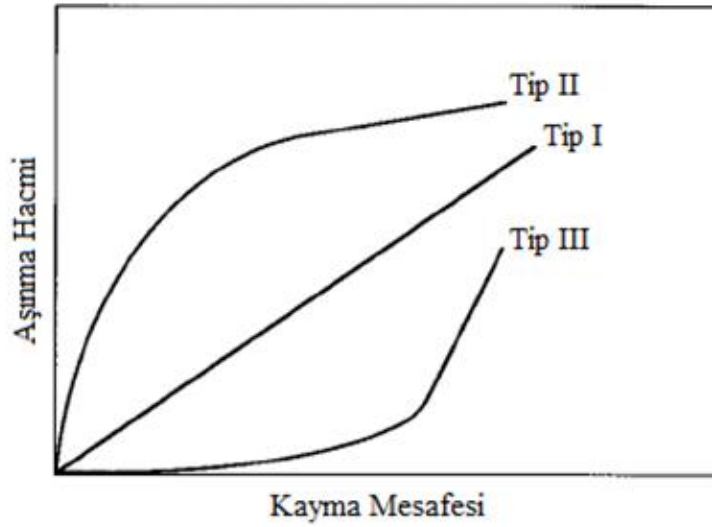
Başlangıç aşamasındaki kontakt, yorulma olması durumunda kırılması, tekrarlı sürtünme çevrimlerinden sonra ortaya çıkar. Yüzey hasarı yorulma ile ortaya çıktığında, sonuçta oluşan aşınma “yorulma aşınması” olarak adlandırılır [81].

Korozif ortamda kontağın olması durumunda, arayüzey kontakt bölgesinde tribokimyasal reaksiyon hızlandırılmış demektir. Korozif ortamdaki tribokimyasal reaksiyon, malzeme kaldırılması sebebiyle olduğu durumda, sonuçta oluşan aşınma “korozif aşınma” olarak adlandırılır. Yorulma aşınması ve korozif aşınma, hem plastik hem elastik hem de plastik kontakta ortaya çıkabilmektedir. Adhezif, abrazif ya da yorulma aşınmasında malzeme kaldırılması, yorulma, kontakt bölgesinde gevrek ya da sünek kırılma veya deformasyonel yönetilir [81].

Korozif aşınmada malzeme kaldırılması, reaksiyon ürünlerinin ardarda kaldırılması, mikrokırılma, sürtünmeye ilişkin ısınmaya veya sürtünmeye ilişkin deformasyon tarafından hızlandırılan ve aktivite edilen kimyasal reaksiyonların yer aldığı aşınma yüzeyinde, kimyasal reaksiyon filminin büyümesi ile yönetilir. Bu tip aşınma genellikle, kimyasal aşınma ya da tribokimyasal aşınma olarak adlandırılır [81].

#### **2.3.4. Aşınma hacmi kavramı**

Aşınma hacmi, aşınma yüzey sertliği ve aşınma partikül şekli, aşınmayı karakterize etmek için kullanılan önemli bilgilerdir [81].



Şekil 2.7. Tekrarlayan temaslarda aşınma eğrilerinin üç temsili tipi [86]

Aşınma hacminin üç tipini temsil eden eğri, Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Tip I, tüm proses boyunca sabit bir aşınma oranını göstermektedir. Tip II, düşük hızda, başlangıçta yüksek aşınma oranından kararlı aşınmaya geçişi göstermektedir. Bu tip aşınma, sıklıkla metallerde gözlemlenir. Tip III, düşük aşınma oranının başlangıç aşamasından, yüksek oranda aşınmaya doğru olan yıkımsal (katastrofik) geçişi göstermektedir. Bu tür aşınma, sıklıkla, seramiklerde gözlenir [81].

Genelde, aşınma, aşınma yüzeyinin durumu ve kaybolan hacim miktarıyla değerlendirilir. Aşınmanın derecesi, aşınma oranı, spesifik aşınma oranı veya aşınma katsayısıyla belirlenir [81].

Aşınmanın belirlenebilmesi için tartma, yüzey görünümlerinin optik muayenesi ve mekanik ölçüm yöntemlerinden biri kullanılır. Tartı ile ölçüm yöntemi, genellikle aşınmayı belirlemenin en kolay yoludur. Bu yöntemde, aşınma miktarı belirlenecek malzeme (parça), cihazdan sökülür ve özenle temizlenir. Daha sonra hassas terazi yardımıyla, malzeme kaybı belirlenir [73].

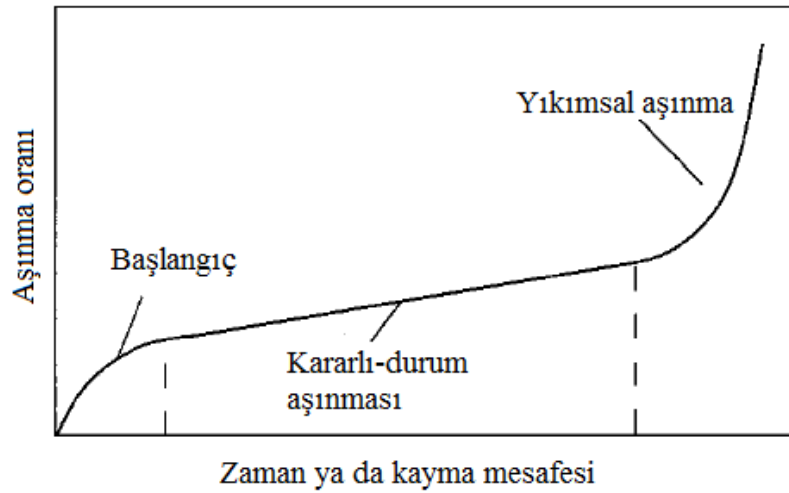
Spesifik aşınma oranı, birim yük ve birim mesafeye düşen aşınma hacmi olarak tanımlanır. Aşınma katsayısı, aşınan malzemenin sertliği ve spesifik aşınma oranının ürünü olarak tanımlanır. Aşınma, dinamik parametreleri, çevresel parametreler ve



malzeme parametrelerinden oluşan bir tribosistemdeki göreceli küçük bir değişimle bile değişebilmektedir [81].

### 2.3.5. Aşınma prosesi

Sıklıkla, aşınma prosesi, kayma aşamaları olarak çeşitli aşamalara uğrar ve genellikle en az üç aşama tanımlanır [81].



Şekil 2.8. Tipik Aşınma Aşamaları [81]

Aşınma, kararlı-hal koşullarının geliştirildiği başlangıç aşamasıyla başlar. Başlangıç aşaması, bazı kayma sistemleri için çok önemli olabilir. Bu aşama süresince, kesişme yüzeyleri birbirine uyum sağlar ve böylelikle yükün yüzeylere daha homojen dağılımı gerçekleşir [81].

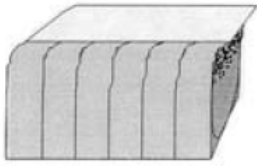
Sadece aşınma oranları ya da sürtünme kuvvetleri stabil olduğu, kararlı-durum koşulları, sistemin uzun dönemli özelliklerini karakterize etmekte kullanışlıdır. Yıkımdan çok kısa süre önce meydana hasarlar, malzemelerin sürekli aşınmalarının karakteristikleri değildir [81].

### 2.3.6. Aşınmada yüzey hasarının sınıflandırılması

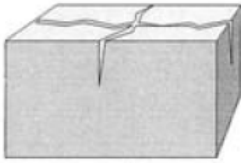
Aşınma sonucunda gerçekleşen yüzey hasarları Şekil 2.9'da verilmiştir.



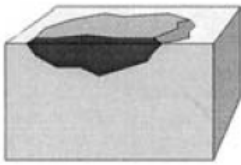
**Yüzeyin yapısal değişimi**  
Bozulmuş mekanik yüzey özelliklerine yol açabilir



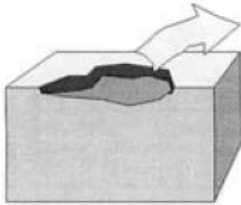
**Plastik deformasyon**  
Yorulma ya da çatlamaı başlatabilir



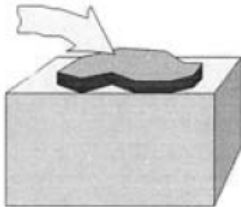
**Yüzey Çatlağı**  
Aşınma yok fakat yıkımsal hasara yol açabilir



**Korozyon**  
Mekanik aşınmayı hızlandırabilir



**Aşınma**  
Yüzeyden sürekli malzeme kaybı



**Malzeme kazanımı**  
Tranferden kaynaklanan

Şekil 2.9. Yüzey Hasar şekilleri [81]

*Yüzeyin yapısal değişikliğe uğraması:* Örneğin; yeniden kristalleşme, difüzyon bölgelerinin formasyonu veya faz transformasyonları. Bazı yüzey değişiklikleri, yüzeyin mekanik deformasyonundan dolayı ya da kimyasal reaksiyonlar veya ısı

üretiminin sebep olduğu difüzyonun bir sonucu olarak tek başına meydana gelebilir. Yapısal yüzey değişimleri, ille de sadece aşınmayı belirtmez, bununla beraber dıştaki yüzeyin mekanik özelliklerinin değişiminin habercisi olabilir ve bunun sonucu olarak aşınmanın başlangıç aşamasını meydana getirebilirler [81].

Yüzeydeki termal gradyant ya da mekanik gerilmelerden oluşan *plastik deformasyon*. Yüzey pürüzlerinin ya da tüm yüzey bölgesinin plastik deformasyonu, yıkıcı hasarlara yol açabilen herhangi bir yüzey hasarının yaratılmasındaki en önemli aşamadır [81].

Yüzey bölgesindeki *çatlak*, aşırı yüzey gerilmelerinden, yorulma çevrim deformasyonlarından ya da tekrarlı termal değişimlerden kaynaklanabilir. Çatlama aynı zamanda, geniş ölçekli hasara yol açabilen başlangıç mekanizması da olabilir. Korozyon ya da diğer kimyasal ataklar, asıl aşınma mekanizmasını temsil edebilir fakat daha sıklıkla mekanik aşınma prosesine yardımcı olurlar. Sıklıkla, kimyasal saldırılar, yüzey kayıplarının sebepleridir ve çatlak ilerlemesini hızlandırırlar [81].

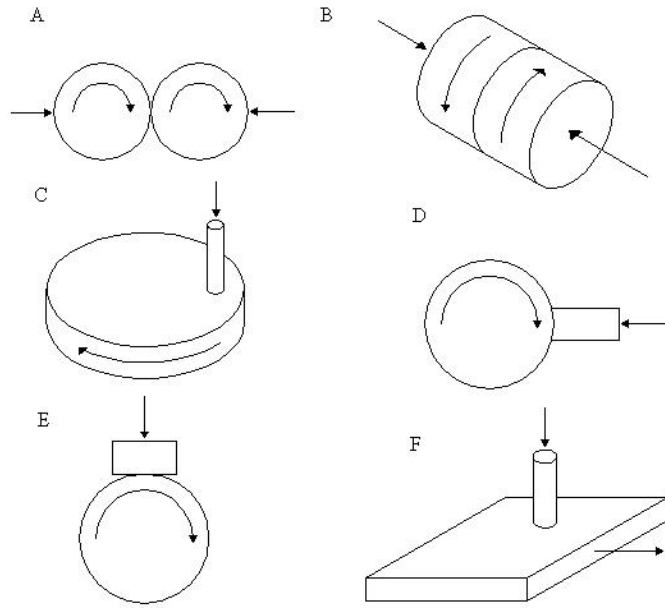
Aşınma ya da mikroskobik malzeme kaldırma mekanizmalarının çeşitli tiplerinden dolayı oluşan sürekli malzeme kaybını içeren yüzey hasarı, malzemenin kalıntı olarak yüzeyden ayrılmasına sebep olur. Sonuç olarak aşınma mekanizmaları, hem mekanik hem de kimyasal olabilir [81].

Malzeme kazanımı, karşıt yüzeyden malzeme transferi gibi yüzeylerin aşırı ısınmasından dolayı oluşan kalıntının topaklanması gibi durumlar üç boyutlu tabakalardır ve konformal kayma kontaktlarının karakteristiğidir [81].

#### **2.4. Aşınma Deney Yöntemleri**

Kayma ve yuvarlanma aşınması değerlendirmeleri için çok sayıda test üretilmiştir [81].

Şekil 2.10 aşınma testi aparatlarının çeşitli tiplerindeki geometrik düzenlemeleri göstermektedir [76].

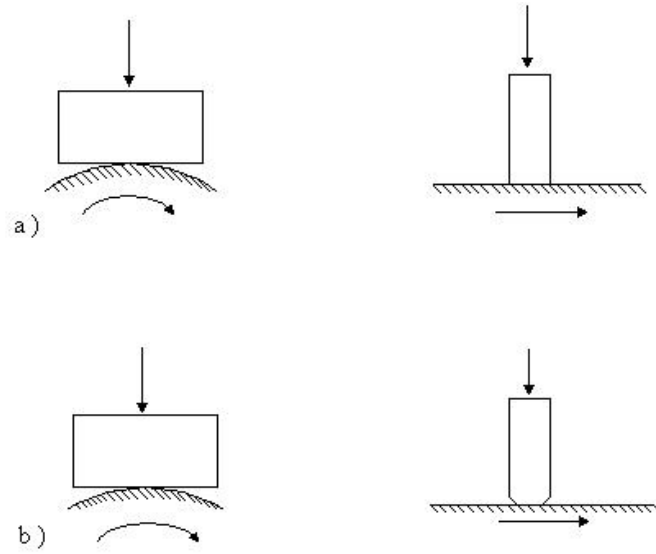


Şekil 2.10. Kayma aşınması testlerinde kullanılan geometrik düzenler [76]

Kayma aşınma testleri, çok çeşitli geometrik konfigürasyonlarda gerçekleştirilebilir. Testler arasında ayırım yapmak için, test parçalarının simetrik ve asimetric düzenlemesi kullanılabilir [81].

Şekil 2.10.'de gösterilen metotlar, iki tipe ayrılabilir: Bunlar, özdeş malzemelerin iki yüzeyinin aşınma oranlarının aynı olduğu, kayma yüzeylerinin simetrik olarak hazırlandığı durum ve iki aşınma parçasının bulunduğu ve sistemin doğal olarak asimetric olduğu daha genel düzenlemeler [76].

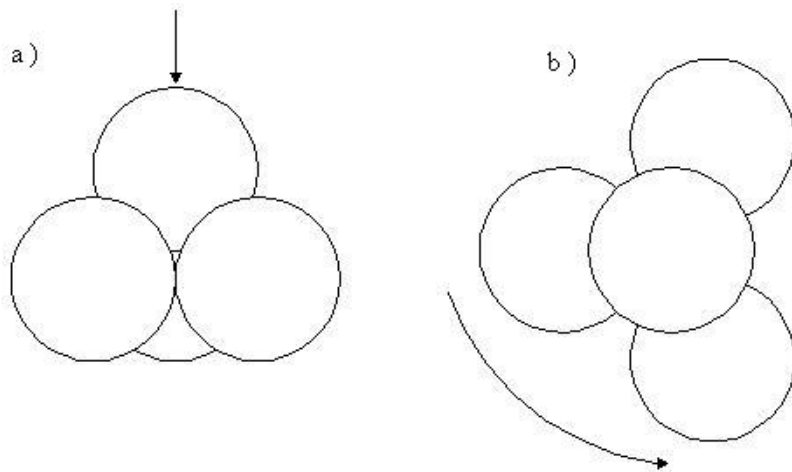
Çok sık kullanılan asimetric test cihazları, bir diske karşı bastırılan bir pin içermektedir. Pin, diskin ya düz yüzeyine (C durumu) ya da diskin kenarına (D durumu) bastırılır. Başka bir yöntem ise, bir bileziğe karşı yüklenen bir blok (E durumu) ya da düz bir yüzeyin üzerine bastırılan bir pin (F durumu) şeklindedir. Bu testlerde kontakın süresizliğinden dolayı, test numunesinin pozisyonuna bağlı olarak farklı sonuçlar üretirler. Kayan bir bloğa karşı yüklenen sabit bir pinin konfigürasyonu, ya da tam tersi, öncelikle tek geçişli testlerde sürtünme ölçümü için kullanılır. Kontakt, başlangıçta nokta veya çizgi halinde olabilir, daha sonra aşınma adımı olarak sürekli büyür ya da şekil 2.11'de gösterildiği gibi test adımları olarak başlangıçtan sabit kalan geniş bir alana uzayabilir [81].



Şekil 2.11. a) Çizgisel temas b) Noktasal temas geometrileri [87]

C, D, E ve F konfigürasyonuna ait testlerde sağlanan temas, genişletilmiş alan teması ya da sadece bir nokta veya çizgi halinde olabilmektedir. Konformal veya yoğunlaştırılmış (counterformal) temaslarının detayları Şekil 2.11’de gösterilmiştir [76].

Diğer test geometrisi ise dört top testidir ve Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Genellikle iyi bir yağlama sağlamak için kullanılan dört top testi. a) Perspektif görünüş b) üstten görünüş [87]

Daha aşağıda bulunan üç top, bir taşıyıcıda dönerler ve üst topa doğru hareket ederler. Üstte bulunan top sabittir ve aşağıya doğru normal bir yük uygular. Toplar

genellikle standart rulman çeliğinden yapılır ve bu test, malzeme davranışından ziyade yağlama performansını değerlendirmek için sıklıkla kullanılır [76].

Laboratuarda yapılan aşınma testlerindeki numunelerin boyutları, genellikle mm ile cm seviyesi arasında değişmektedir. Asimetrik testlerdeki pin ve bloklar, genellikle 25mm'den küçüktür. Bununla beraber karşıt yüzey bileziklerinin ve disklerinin çapları, santimetre seviyesindedir [76].

Yükler, bir N'dan birkaç KN'a kadar, çok geniş bir aralıkta kullanılmaktadır. Kayma hızları, saniyede 1 mm'den saniyede 100 mm'ye kadar farklı fraksiyonlarda yer alır. Aşınma testinde kontrol altında tutulması gereken, aşınmayı ve sürtünmeyi etkileyen değişkenler, yük ve hız gibi belirgin ya da numune boyutu ve oryantasyonu gibi daha az belirgin olabilir [76].

Çeşitli kayma aşınma test metotları, ulusal standartların bir branşıdır. Örnek olarak, "block-on-ring" testi (ASTM G77), "pin-on-disk" testi (ASTM G99) ve disk üzerinde küre testi (DIN 50324) gibidir [76].

Bir aşınma testi süresince, sürekli olarak sürtünme kuvvetini ölçmek uygundur. Bu genellikle, numune üzerindeki teğet kuvvetin ölçülmesiyle ya da dönen karşıt yüzeyin torkunu ölçmek ile gerçekleştirilebilir. Sürekli olarak yapılan sürtünme kaydı, sürtünme katsayısı için ( $\mu$ ) nümerik değerler sağlamanın yanında kayma davranışındaki değişimlerin gözlemlenebilmesini de sağlamaktadır. Bu değişimler, yüzey topoğrafyası veya yüzey doğasındaki ya da aşınma mekanizmasındaki değişimlerin habercisi niteliğindedir. Aşınmanın ilk aşaması bu şekilde belirlenebilir. Bununla beraber, yağlayıcı film veya koruyucu oksit tabakasının bozulması, bu yöntemle belirlenebilir. Bazen buna benzer değişimlerin bilinmesi, kesin aşınma oranının ölçümünden daha değerlidir [76].

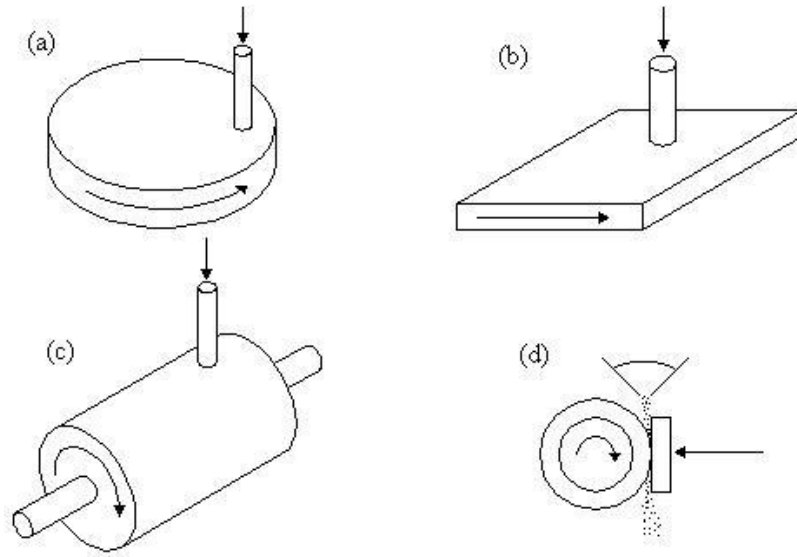
Kayma koşulları altındaki aşınma, kayma mesafesine bağlı olmasının yanında, aynı zamanda kayma hızına ve test süresine de bağlıdır. Kayma hızı, sürtünme enerji dağılım oranını etkiler ve bunun sonucu olarak ara yüzeydeki sıcaklığı yükseltir. Aşınma, aynı zamanda, kayma yüzeyleri arasındaki nominal kontak basıncına da

bağlıdır ve geçişler genellikle kontakt basıncındaki değişikliklerle uyarılır. Bunun yanında, numunenin lineer boyutları da önemlidir. Kontakt basıncından bağımsız olarak, uzun bir numunenin ön kenarı yakınında oluşan aşınma kalıntısı, daha kısa bir numuneye göre, kontakt bölgesi aracılığıyla gerçekleşen geçişi daha fazla etkiler [76].

Aşınma testinde normal yük, kontakt alanı, kayma hızı ve test süresi gibi ana değişkenler dışında, çeşitli diğer faktörler de ele alınmalı ve gözlenmelidir. Test sıcaklığı, malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri sebebiyle önemlidir. Aynı zamanda, yağlı sistemlerde, test sıcaklığı, yağlayıcı viskozitesi üzerindeki etkisinden dolayı önemlidir. Su buharı ve oksijen gibi reaktif bileşenler, tüm malzeme sınıflarında aşınma oranlarını ve mekanizmaları etkiler. Bununla beraber, parçaların oryantasyonu test sonuçlarını sürpriz bir şekilde etkileyebilir [73].

#### **2.4.1. Abrazif aşınma deney yöntemleri**

Abrazif aşınma için en çok kullanılan laboratuvar testleri, ya sabit bir abrezife karşı koyan bir pin şeklinde numune içerir ya da düzlem şeklindeki bir numuneye karşı, dönerek kayan bir tekerlek ve bu sistemin sürekli olarak abrazif partiküllerle beslenmesini içerir [76].



Şekil 2.13. Malzemenin aşınma miktarını ölçmek için en çok kullanılan dört metodun şematik gösterilmesi, a) abrasiv disk üstü pim, b) abrasiv düzlem üstü pim, c) abrasiv tambur üstü pim, d) lastik tekerlekli abrazyon testi [76]

Şekil 2.13, (a)'dan (c)'ye, iki boyutlu aşınmada, sabit abrazyon partiküllerine karşı koyan pin şeklinde numune içeren metodların en genel üç tanesini göstermektedir. Bu metodlarda genellikle, abrazyon bez veya kağıt kullanılır. Bu kağıtların ve bezlerin üzerine dar bir aralıkta abrazyon partiküller dağıtılmış durumdadır ve bu partiküller güçlü bir reçine ile yapıştırılır. Bu abrazyon partiküllerine bağlı aşınma oranı, numunenin bıraktığı iz üzerinden sürekli geçmesiyle azalır [73].

Şekil 2.13(a)'da, "pin-on-disk" geometrisinde, test süresince, pin, radial olarak disk üzerinde hareket eder ve bıraktığı iz radial iz olarak adlandırılır. Şekil 2.13 (c)'de, pin, abrazyon partiküllerle kaplanmış dönen bir silindir üzerinde aksel olarak hareket eder. Şekil 2.13(b) ise alternatif bir geometridir. Burada abrazyon levha üzerinde kayan bir pin bulunur. Bu testlerin hepsinde, pine sabit bir yük uygulanır. Aşınma oranı, test öncesinde ve sonrasında, pinin ağırlığının tartılmasıyla ölçülür [76].

#### 2.4.1.1. Erozyon aşınması

Erozyon terimi, genellikle, sadece bir yüzeyin bulunduğu abrazyon aşınma durumlarına uygulanır. Çamur erozyonu ve katı parçacık erozyonu, böyle durumlar için kullanılan genel terimlerdir. Katı parçacık erozyonu, bir partikül akımının veya partikül içeren



sıvının bir yüzeyi etkileyerek aşınmaya sebebiyet vermesidir. Aşınma, kum veya hava akımındaki kumtaşlarının sebep olduğu örneklerdir [77].

Bazı durumlarda, sert partiküllerin yüzeye çarpmasıyla ya taşıyıcı bir gaz akımıyla ya da akışkan bir sıvı içerisinde, aşınma meydana gelir. Bu tip aşınma, “erozyon” olarak adlandırılır ve sıvı jetleri veya damlaların etkisiyle oluşan hasardan ayırmak için sıklıkla “katı parça erozyonu” ya da “katı vurma erozyonu” olarak nitelendirilir. Erozyon aşınmasında, partikül hızları genellikle 5 ile 500ms-1 arasındadır. Eğer sert partiküller bir sıvı aracılığıyla taşınırsa, aşınma “çamur aşınması” olarak adlandırılır [76].

#### **2.4.1.2. Oyucu abrazyon aşınması**

Metal yüzeyi ile büyük boyutlu aşındırıcı partikül arasında oluşan darbe etkisi sonucu meydana gelen ve partikülün kırılması ile sonuçlanan bir aşınma çeşididir. Bu tür aşınma, metalin, hem darbeye dayanıklı tok hem de aşınmaya dayanıklı bir malzemeden seçilmesi gerekmektedir [79].

#### **2.4.1.3. Yüksek gerilmeli öğütücü abrazyon**

Metal yüzeyi ile aşındırıcı partikül arasında kayma etkisiyle oluşan ve partikülün kırılması ile sonuçlanan aşınmaya, yüksek gerilmeli öğütücü abrazyon aşınması denir. Ancak bu aşınma türünde, aşındırıcı partikül boyutu, oyucu abrazyonda yer alan aşındırıcı partikül boyutundan daha küçüktür [79].

#### **2.4.1.4. Düşük gerilmeli çizici abrazyon**

Aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasında, kayma etkisiyle meydana gelen ve aşındırıcı partikülde kırılmanın olmadığı aşınma türüne, düşük gerilmeli çizici abrazyon denir. Aşındırıcı partikül boyutu, gerilmeli öğütücü abrazyonda yer alan aşındırıcı partikül boyutundan daha küçüktür [79].

#### **2.4.1.5. Korozyon (koroziif) aşınması**

Kayma, koroziif bir ortamda gerçekleşirse, meydana gelen aşınma koroziif aşınmadır [82].

Korozyon aşınması, kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonun çevresel olarak, fazla olması durumunda meydana gelen aşınma türüdür. Koroziif aşınma, yüksek sıcaklıklarda veya nemli ortamda, aşırı bir hal alabilir. Oksijenle kimyasal reaksiyon veya baskın bir oksitleyici ortamın olması durumunda, oksitleyici aşınma meydana gelir ve bu aşınma, bir koroziif aşınma şeklidir [88].

#### **2.4.1.6. Tribokimyasal reaksiyonlar**

Tribokimyasal reaksiyonlar, aşınma parçalarının yüzeyinde malzeme değişimlerine sebep olurlar. Bu, korozyondan farklıdır. Tribokimyasal reaksiyonlar, eş zamanlı bağılı hareket süresince sadece kontakt yüzeyinde gerçekleşir. Tribokimyasal reaksiyonların, reaksiyon ürünleri, aşınma prosesinin gidişatını etkin biçimde etkiler [73].

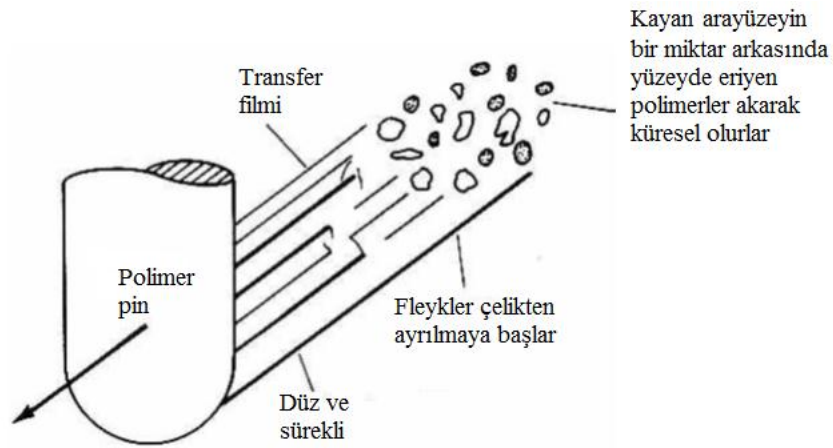
#### **2.5. Polimer Aşınması**

Doğada dört atomik bağlanma sistemi vardır: Metalik bağ, iyonik bağ, kovalent bağ ve van-der waals bağ sistemleri. Bunlar sıklıkla kohezif bağlanma sistemleri olarak adlandırılırlar [89].

Plastiklerin sürtünmesi, PTFE hariç, metallerinkine yakındır fakat plastiklerin uyumluluk direnci, yumuşak metallerinkinden daha üstündür. Polimer aşınması süreci şu şekildedir: Sürtünme yüzeyleri başlangıç aşamasına maruz kalır, bunu izleyen bir kararlı aşınma davranışı ve bundan sıklıkla lineer olarak bahsedilir. Birçok araştırmacının kullanışlı aşınma katsayıları elde ettiği bölge, lineer aşınma bölgesidir [89].

Transfer filmlerin doğası, aşınma prosesinde önemli bir süreçtir. Bazı filmler, saf teflon veya polietilen olanlar,  $0.5\mu\text{m}$  kalınlığındadır ve pürüzsüzdür. Bu filmler gözle görünmezler ve girişim metotlarıyla gözlemlenebilirler. Diğer polimerler kalın, süreksiz ve kabarmış filmler üretirler. Eğer bir polimerin filmi, metal karşıt yüzeyin üzerinde oluşursa, bu film yüzeye sıkıca bağlı durumda olur ve sistemden polimerin kaybı, çoklu geçiş kaymasındaki ilk geçişten sonra en küçük duruma gelir. Bununla beraber, sürtünme de düşer. Kayma boyunca, polimerin bir partikülü polimer gövdesinden koparsa, sistemden bir kayıp olur. Aşınmanın orta dereceli durumu, transfer filmin oluştuğu durumdur fakat muhtemelen yorulma ya da diğer mekanizmalardan dolayı, filmin parçaları sonradan kaybolur. Bu parçalar ya da aşınma partikülleri, çok küçük olabilir. Sistemin davranışı, üç bölgede çok farklılık göstermektedir [89].

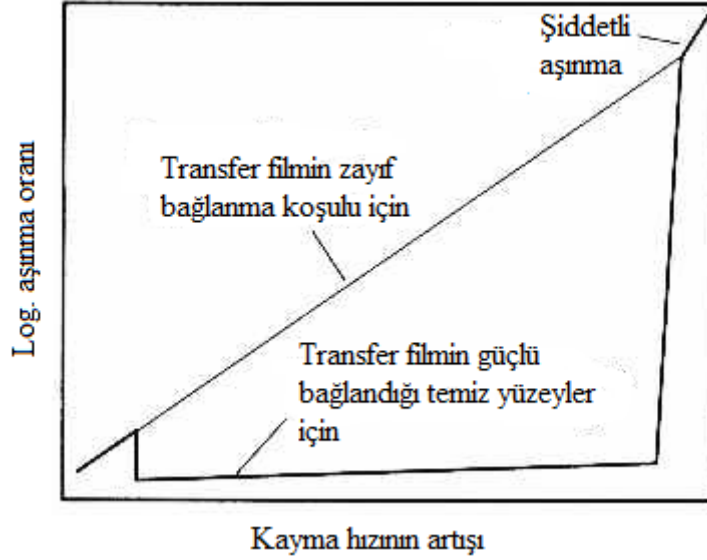
Transfer film oluştuğunda, polimer kayıp oranı yüksektir fakat film oluşuktan sonra, aşınma oranı çok daha düşük olur. Öyle ki bazen başlangıç aşamasının %1'inden daha az olur. Bu nedenle, bir düzeneğin toplam aşınma oranını tahmin etmede, sadece kararlı-hal aşınma oranı temel olarak alınmamalıdır. Bir polimer yatağın kısa süreli kullanımı için, başlangıç aşaması, kararlı-hal aşınması için elde edilen verilerden tahminlere dayanan aşınma miktarından daha fazla aşınma miktarı üretebilir [89].



Şekil 2.14. Polimerlerin yüksek hızda aşındırılmalarında oluşan mekanizmaların şematik temsili [83].

Şiddetli aşınmaya geçiş, bir dizi olayların birbirini takip etmesiyle meydana gelir. Düşük aşınma hızı kayma koşulları boyunca, transfer film, kayan parçanın altında düz bir film olarak kalır ve kayan parçanın sonraki geçişleri için bir yağlayıcı film

sağlar. Transfer filmin sıcaklığı yüksekse, polimer filminin düşük viskoziteye sahip olması gibi, ve düşük viskoziteli polimer metal yüzeyi ıslatmazsa, polimer, sonraki kayan parçanın geçişiyle yüzeyden kaldırılan küreler halinde topaklanır [83]. Bu, Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Polimerlerde kayma hızının artışı ile aşınma oranı arasındaki ilişkinin şematik gösterimi [83]

Malzeme transferi ve kayıp mekanizmalarının aşınma oranı üzerindeki tüm etkileri, Şekil 2.15’de gösterilmiştir.

Aşınma oranı, büyük olasılıkla transfer filmin karşıt yüzeye bağlanmasının bazı kombinasyonlarından ya da transfer filmin yorulma sebebiyle kalkmasından, ya da diğer hasar modlarından dolayı oluşur [86].

Yüzeyler temizse ve bağlanma kuvvetli ise, şiddetli kayma hızlarında, transfer film, yorulmayla çabucak parçalanmaz ve aşınma oranı düşük olur. Yüksek şiddette, transfer film, ne kadar sıkı ya da zayıf bağlı olsa da, topaklanır ve aşınma kalıntısı olarak kayıp halini alır [89].

Metal/polimer çiftleri durumunda, metalin yüzey durumuna bağlı olarak, farklı tipte davranışlar gözlenebilir [76].

Kohezif aşınma, malzeme yüzey ve alt yüzeyinin deformasyonundan kaynaklanır ve polimer yüzeyi üzerinde, karşıt yüzeydeki bir çıkıntının geçişi sebebiyle oluşur. Çıkıntı, sert bir yüzeyin topografisinden kaynaklanan bir pürüz olabilir ya da karşıt yüzeye transfer edilen polimer kalıntısının bir yumrusu olabilir. Polimerde meydana gelen deformasyon kalıcı (plastik) ya da geçici (elastik) olabilir. Deformasyonun plastik olduğu durumdaki aşınma mekanizması “abrazif” olarak adlandırılırken, elastik olduğu durumdaki aşınma mekanizması “yorulma” olarak adlandırılır [74]. Metallerin aksine, polimerlerin abrazif aşınmaya olan direnci, onların sertliklerine bağlı değildir [90].

Başlangıçta, yorulma aşınması, pürüzlerin elastik deformasyonuna sebep olur ve bu daha sonra yüzeyde çatlakların görünümünü takip eder. Çatlakların çevresi genişlediği için, yüzeyden ayrılan ve tribolojik çevrimden atılan aşınma partikülleri ortaya çıkar [90].

Arayüzey aşınma süreci, sadece karşıt yüzey pürüzsüz olduğunda meydana gelir ve polimerin, daha sert olan karşıt yüzeye geçişini ve bu geçişin sonradan aşınma kalıntısı olarak kaldırışını içerir. Kararlı durum koşullarına ulaşmadan önce, başlangıç periyodunda meydana gelir, kararlı durum aşınması süresince, aşınma oranı sıklıkla, oldukça geniş bir aralıkta olmak üzere, normal yüklerle orantılıdır [85]. Adhezif aşınma, aşınmanın sınırlı olduğu ve sürtünme katsayısının stabil kaldığı sabit bir durum tarafından takip edilen, polimerden metale önemli derecede malzeme transferi ile karakterize edilir [90].

Polimer malzemesinin karşıt yüzeye olan adhezyonundan kaynaklanan aşınması, van-der waals kuvvetlerini içeren elektrostatik kuvvetler aracılığıyla gerçekleşir. Polimer ile karşıt yüzey arasındaki bağlanma, polimerin kendisinden daha güçlüdür ve bir transfer parça bırakarak polimerin gövdesinde hasar meydana gelir. Tekrarlanan kayma, karşıt yüzey üzerinde, sonunda bağımsız hale gelen bir transfer tabakasının oluşmasına yol açar. Bu koşullar altında, bazen “normal” olarak bilinen transfer, anlamlı zincir bölünmesi veya kimyasal bozulma olmaksızın, karşıt yüzeye polimer transferi şeklinde olur. Bu transfer tabaka, düzensiz yumrular halinde veya tipik olarak 0.1 ile 10 µm kalınlığında yama yapar. Polimer zincirleri, kayma

yönünde bazı oryantasyonlar gösterebilir. Polimere geri transfer de meydana gelebilir. Eğer transfer film karşıt yüzeye güçlü bir şekilde yapışırsa, bu durumda aşınma oranında düşme gözlenir [76].

Polistiren (PS), polivinilklorid (PVC) ve polimetilmetakrilat (PMMA) gibi amorf polimerlerde, bunların camsı geçiş sıcaklıklarının (Tg) altındaki sıcaklıklarda, polimer ile karşıt yüzey arasındaki arayüzey, yığın polimerden daha zayıftır ve aşınma; yorulma veya abrazyon ile meydana gelir [76].

## 2.6. Aşınmaya etki eden faktörler

Anlamlı bir aşınma testi elde edebilmek için, aşınmayı etkileyen faktörler dikkate alınmalıdır. Aşınmayı etkileyen faktörler [91];

**Malzeme Dökümanları:** Polimerik malzemeler, özellikle üretim metoduna duyarlıdır. Bir enjeksiyonla kalıplanarak üretilen malzeme, farklı bir prosesle üretilen aynı malzemeden farklı davranabilir. Polimerlerin aşınma testiyle ilgili önemli olan diğer unsur ise polimerik malzemenin yüzeyinin temizliğidir. Hemen hemen tüm organik çözücüler, kimyasal reaksiyon ya da absorpsiyon yoluyla bir polimerin yüzeyini etkileyebilir. En iyi yüzey hazırlama, test malzemelerinin tamamen dokunulmamış olduğu ve üretim prosesi kirliliklerinden temizlenmiş olduğu durumdur.

**Yüzey Koşulu:** Test malzemeleri yüzey dokusu, bir aşınma testinin sonuçlarını etkileyebilir. Test yüzeyleri, pratik olarak yüzey doku parametreleri ile kontrol edilmelidir. Minimum yüzey kontrolü, en azından sertlik ortalaması değerini içermelidir. Ek olarak, maksimum pik yüksekliği, en yüksek on pikin ortalaması ve pik sayısı gibi yüzey parametrelerinin görüntülenmesi gerekebilir.

**Mesafe ve Zaman Rolü:** Çoğu aşınma prosesi, oran olarak doğrusal değildir. İdeal test, başlangıç etkilerinin geçildiği ve denge aşınma oranının gözlemlendiğinden emin olmak için yeterli olan bir süre, aşınma ve sürtünmeyi, görüntüleyecektir.

Test Çevresi: Nem, polimerlerin nem absorbe etmek ve değiştirme öelliklerinden dolayı, malzemelerin aşınma oranlarını etkileyebilir. Aşınma testi, oda sıcaklık havasından daha farklı bir koşul altında gerçekleştiriliyorsa, sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için, bu koşullar test boyunca sürekliliğini korumalıdır.

## **BÖLÜM 3. DENEY MALZEMELERİ ve ÖZELLİKLERİ**

### **3.1. Polifitalamid (PPA)**

#### **3.1.1. Polifitalamid (PPA) tanımı ve üretimi**

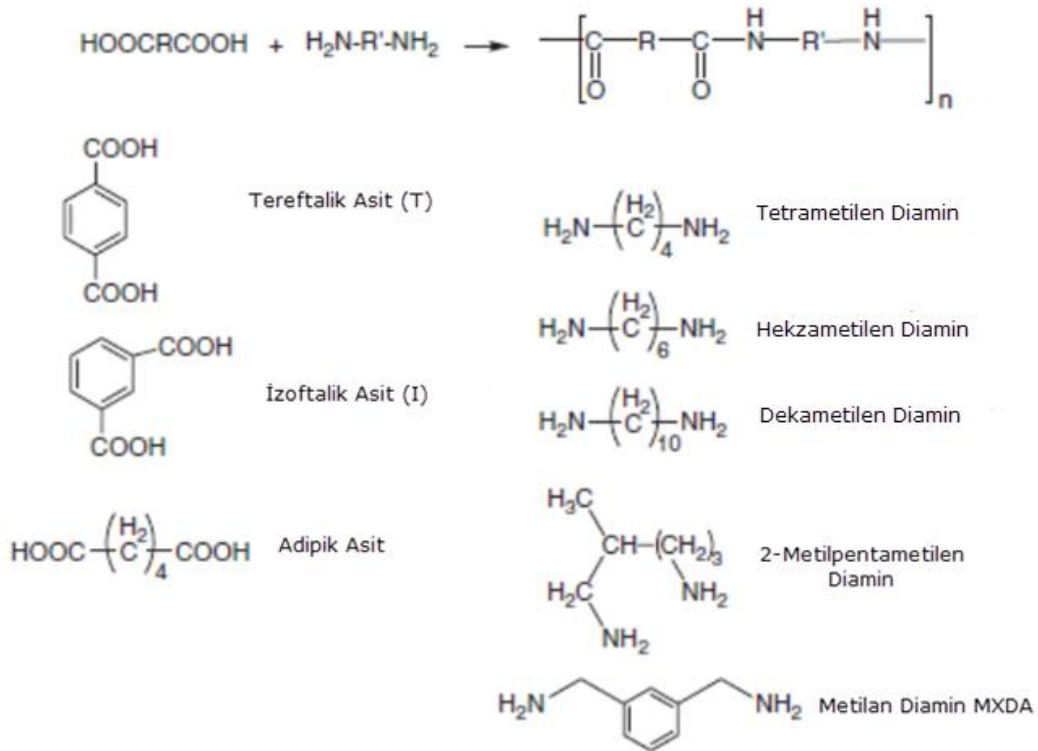
Polifitalamid (PPA), polikarbonat (PC), poliamidler (PA), polyester (PET, PBT), asetaller (POM) gibi geleneksel mühendislik termoplastikleri ile sıvı kristal polimerler (LCP), polifenilensülfid (PPS) ve polieterimid (PEI) gibi yüksek fiyatlı özellikli polimerler arasındaki fiyat-performans boşluğunu dolduran, bir yarı-kristal mühendislik polimeridir [11].

Polifitalamidler (PPA) olarak da bilinen yarı aromatik poliamidler, aromatik ve alifatik fonksiyonelliklerin kombinasyonlarıdır. Yarı-aromatik poliamidler genellikle, aromatiklerin ve alifatik fonksiyonelliklerin kombinasyonlarıdır. Bunlar devamlı olarak 1,4 ve bazen 1,3 fitalik asit içerirler, bu sebeple PPA olarak bilinirler. PPA ile genel olarak, PA6.6 ve PA6 gibi alifatik naylonlar ile poliarileterketon (PAEK) gibi yüksek fiyatlı polimerler arasındaki performans boşluğunu doldurmak amaçlanmıştır [12].

Bir poliamid, polimer ana zincirinde amid bağı içeren bir polimerdir. Bu tanım bir çok ürün çeşidini kapsamaktadır. En çok da bugünün dünyasında üretilen naylonların çoğunu temsil eden Nylon 66 ya da PA66 ve Nylon6 veya PA6 polimerlerini kapsamaktadır. Genellikle “aramidler” olarak bilinen aromatik diasetikler ve aromatik diaminlerden oluşan polimerler, mükemmel özelliklere sahiptirler ve Kevlar gibi yüksek performans ürünlerinin temelini oluştururlar. Bununla beraber, bunlar ergiyişişlenebilirlikten yoksundurlar [12].



Polifitalamide ait polimerizasyon reaksiyonu, çok genel olarak kullanılan diasit (tereftalik asit(T), izoftalik asit (I) ve adipik asit) yapılarıyla çeşitli diaminlerin biraraya gelmesiyle meydana gelmektedir. Standart adlandırmada, ‘T’ ve ‘I’, alifatik monomerlerin uzunluğunu içeren bir numara ile kombinlenmiştir. Dolayısıyla naylon 6T, hegzametilen diamin ve tereftalik asitten üretilmişolacağı varsayılabilmektedir [12].



Şekil 3.1. Poliamidlerin sentezi [12]

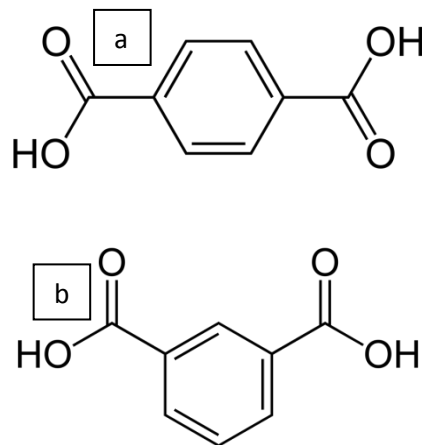
Aromatik diasitlerin kombinasyonu, bazen ürün isminde temsil edilmektedir. Örneğin PA6T, hegzametilen diaminler ve tereftalik asitten üretilmişken, PA6T/6I ise hegzametilen diaminlerle her iki asitin kopolimeri olabilir. Çok geniş bir kopolimer aralığı vardır ve bunlar belirli ürünlerin var olan termal karakteristiklerini ayarlamak için kullanılırlar [12].

Polifitalamidin ergime ve camsı geçiş sıcaklığı, yapısındaki izoftalik asit ve adipik asit miktarlarına bağlı olarak değişmektedir [12].

PA66, heksametildiamin (HMD) ile adipik asit (AA)'in polimerizasyonu ile üretilir. "66" tasarımı, heksametildiamin ve adipik asitte altı tane karbon atomu olduğunu göstermektedir. Bu naylonlar alifatik olarak düşünülür çünkü polimer zincirinin omurgasında aromatik halka yapıları yoktur. Daha az genel olan PA46, diaminbütan ve adipik asitin bir polimeridir. PA46, PA ve PA66'dan daha yüksek ergime sıcaklığına sahiptir [12].

Bu yapıya, aromatik halkanın eklenmesiyle, bir poliamid polimerine bir çok avantaj kazanmış olur. Bu avantajlar, yüksek camsı geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>), yüksek ergime sıcaklığı (T<sub>m</sub>) ve nem ile solventlerin azaltılmış absorpsiyonunu içermektedir. Bu özellik avantajları, boyutsal kararlılığı geliştiriciler, solvent direnci geliştiriciler ve daha iyi yüksek sıcaklık mekanik özellik sağlayanlar olarak ortaya konulmuştur [12].

Tüm ticari açıdan önemli yarı-aromatik poliamidler için aromatik içerik, tereftalik asit (TPA) ya da izoftalik asit (IPA) yapılarında sağlanmaktadır [12].



Şekil 3.2. a) Tereftalik asitin bağ yapısı, b) İzofthalik asitin bağ yapısı [12]

ASTM D5336, polifitalamid'i (PPA); "Polimer zincirindeki tekrarlayan yapısal bölümlerinde, dikarbolik asitin en az %55 molarında, tereftalik asit veya izofthalik asit ya da her ikisinin bir kombinasyonu bulunan bir poliamid" olarak tanımlamaktadır [12].

Genel olarak polifitalamidler, PA66 ve PA46'ya göre, daha yüksek camsı geçiş sıcaklıklarına, daha yüksek ergime sıcaklıklarına ve daha yüksek yumuşama sıcaklıklarına sahiptirler [12].

PPA reçinesi, geniş bir sıcaklık aralığında mükemmel mekanik özelliklere (mukavemet, rijitlik, kırılma, sürünme direnci gibi) sahiptir. Aynı zamanda polifitalamidler; yükseltilmiş sıcaklıklarda kristalindir ve yüksek mukavemet ile rijitlik sağlarlar [12].

PPA'nın çeşitli tedarikçileri vardır. Bunlar; Arkema, DuPont, EMS Grivory, Evonik, Mitsui ve Solvay firmalarıdır [12].

### **3.1.2. Polifitalamid'in özellikleri**

Kristalleşebilen yapıların kombinasyonu ve amid grupları arasındaki hidrojen bağları, ergime sıcaklığının ( $T_m$ ) tipik olarak 300°C'ye yakın veya 300°C'den yüksek olması anlamına gelmektedir. Yapılarında yer alan alifatik C-H gruplarının varlığı, ana zayıflıktır ve göreceli termal indeks (RTI) genellikle ~115-140°C civarındadır [12].

Nem absorpsiyonu, su ile amid grupları arasındaki hidrojen bağlarının kaçınılmaz bir sonucudur. Nem absorpsiyonu, birçok poliamid için bir problemdir. Bu, boyutsal kararsızlığa sebep olmaktadır ve camsı geçiş sıcaklığını ( $T_g$ ) düşürürken, mekanik özellikleri de zayıflatmaktadır. Yarı-aromatik naylonlar, alifatik olanlara göre daha düşük nem absorpsiyonuna sahiptir. Benzer bir şekilde, 10T'nin 6T'ye göre daha düşük nem absorpsiyonuna sahip olması beklenir. Daha yüksek sıcaklık alifatik naylonları (mesela PA4.6), geniş oranda hidrojen bağları gruplarına sahiptir ve göreceli olarak daha yüksek miktarda su absorbe edebilirler [12].

Aromatik içerik, alifatik poliamidlerle karşılaştırıldığında, genellikle kimyasal direnci geliştirir. Bununla beraber, amid grubu hidroliz işlemine duyarlı olduğu için, güçlü asitler ve alkaliler tarafından zarar görebilir [12].

Polifitalamidler (PPA'lar), kırılmada uzamaları düşük olduğu için tipik olarak toklukları düşüktür ve çekme testinde önemli bir uzama kabiliyeti eksikliği göstermektedirler [92].

Ek olarak, polifitalamid, iyi bir kimyasal direnç gösterir. Özellikle, amidsülfonik gibi kireçsizlendirici ajanlara ve sıcak yağlara, batarya asidine ve fren hidroliğine karşı dirençlidir [92].

Geçmiş yıllarda, daha güçlü motorlar ve azaltılmış boşluk sebebiyle motor hücrelerinde sıcaklıklar artmıştır. Plastik parçaların sıcaklık direnci daha kritik hale gelmiştir. Ağırlık azaltma ise, yakıt tüketimini azaltmaya yardım etmeye devam eden bir konudur. Bu faktörler, PPA'lar gibi yüksek sıcaklık performans polimerlerinin kullanımındaki artışın sebeplerini oluşturmaktadır [93].

PA66 ile 6T karşılaştırıldığında, 6T, ısı direnci, boyutsal kararlılık, kimyasallara ve hidrolize karşı direnç, rijitlik ve çekme mukavemeti konularında daha iyi değerlere sahiptir. Bu aynı zamanda, daha düşük nem absorpsiyonu sunmaktadır. Darbe mukavemeti ve işlenebilirlik ise, göreceli olarak PA66'dan daha düşüktür [12].

6T ile 10T karşılaştırıldığında, 10T, hidrolize karşı direnç, nem tutulumu, kimyasal direnç, işlenebilirlik, darbe mukavemeti ve kırılmadaki uzama daha iyi değerlere sahiptir. Bununla beraber, yük altında eğilme, çekme mukavemeti ve rijitlik konusunda göreceli olarak 6T'den daha düşük değerlere sahiptir [12].

Polifitalamidi, diğer polimerle karşılaştırdığımızda, sahip olduğu avantajlar [12];

- Sıvı kristalin polyesterle karşılaştırıldığında, daha iyi kaynak hattı mukavemeti ve dinamik gerilme performansı sunması,
- Polietersülfon (PES)/Polifenilensülfon (PPSU) ile karşılaştırıldığında, kimyasallara ve çevresel gerilme çatlağına karşı daha yüksek dirence sahip olması,
- Polifenilensülfid (PPS) ile karşılaştırıldığında, polifitalamid (PPA), daha iyi tokluk ve kırılmada uzama sunabilmesi,

- PA46 ile karşılaştırıldığında, polifitalamid, daha düşük nem absorpsiyonu, daha iyi boyutsal kararlılık ve daha az nem absorpsiyonundan dolayı daha iyi mekanik özellikler sunabilmektedir.

### 3.1.3. Polifitalamid'in uygulama alanları

Polifitalamidleri için genel olarak, PA6.6 ya da PA66 gibi alifatik naylonlar ile PAEK gibi yüksek fiyatlı polimerle arasındaki performans boşluğunu doldurması amaçlanmıştır. Cam takviyeli, darbe modifiyeli, alev geciktiricili gibi bir çok ürün çeşidi vardır [12].

Polifitalamid, kaporta altı otomotiv uygulamalarının geniş bir aralığı için bulunmuştur. Avantajları; otomotiv ömürleri için yeterli ısıl yaşlanma direncinin yanında iyi yüzey görüntüsü ile kolay işleme, yükseltilmiş sıcaklıklarda yüksek direnç ve mukavemet, hidroliz direnci, boyutsal kararlılık, yüzey görünüşü, boya tutulumu ve kaynak yapılabilirliğidir. Örnek olarak, tank kanatları, elektrikli su pompası ve termostat yuvası, dijital su valfleri, yakıt filtresi yuvası, egzoz dolaşım komponentleri, hava giriş düzenekleri, yağ soğutucuları, motor kaplamaları, kontrol sistem kutuları [12].

Kompleks elektronik komponentler, yüksek akış aşamalarından üretilebilir. Polifitalamid, sıcağa ve nem çevrelerine karşı direnç ve kurşunsuz lehimleme teknolojileriyle uyumluluğu içerdiği için, ayrıca, notebook hafıza arka planlarında ve hafıza kartlarında kullanılmaktadır [12].

## 3.2. Karbon Elyaf (CF)

### 3.2.1. Karbon elyaf (CF) tanımı ve üretimi

Karbon elyaf, 1985'ten sonra geliştirilen, öncelikle uçak ve uzay sanayiinde geniş uygulama alanına sahip olan karbon elyaf; kompozit malzeme teknolojisinde büyük öneme sahiptir. Üretiminin ilk yıllarında kılcal kristal olarak (whisker) elde

edilebilen bu malzeme; geliştirilen teknikler sayesinde artık lifler olarak üretilebilmektedir [94].

Karbon fiberler, başlatıcı fiber malzemesi tabanı ve final ısıl işlem sıcaklıklarına göre sınıflandırılırlar. Başlatıcı fiber malzemesi tabanlı karbon fiberlerin sınıflandırılması [95];

1. PAN-bazlı karbon fiberler,
2. Pitch bazlı karbon fiberler,
3. Ortaevre Pitch bazlı karbon fiberler,
4. İzotropikbazlı karbon fiberler,
5. Rayonbazlı karbon fiberler,
6. Gaz-faz-büyüyen karbon fiberler şeklindedir.

Final ısıl işlem sıcaklıklarına göre karbon fiber sınıflandırması [95];

1. Tip I: Yüksek ısıl işlem sıcaklıklarına sahip karbon fiberler (HTT); final ısıl işlem sıcaklığının  $2000^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde olduğu karbon fiberler ve yüksek modülüse sahip fiberler olarak bilinirler.
2. Tip II: Orta ısıl işlem sıcaklıklarına sahip karbon fiberler (IHT); final işlem sıcaklığı  $1500^{\circ}\text{C}$  veya üzerindedir. Yüksek mukavemetli fiberler olarak bilinirler.
3. Tip III: Düşük ısıl işlem sıcaklıklarına sahip karbon fiberler; final ısıl işlem sıcaklıkları  $1000^{\circ}\text{C}$ 'den düşüktür. Bunlar, düşük modülüs ve düşük mukavemetli malzemelerdir.

Karbon fiber literatüründe anlatıldığı gibi, karbon fiberlerin mekanik özellikleri, fiberdeki kusurların azaltılmasıyla, oryantasyon ve kristalinitenin arttırılmasıyla geliştirilir. Bunu başarmanın en iyi yolu; yüksek oryantasyona sahip bir başlatıcı ile başlamak ve sonra gerilim aracılığıyla karbonizasyon ve stabilizasyonun prosesi süresince başlangıçtaki yüksek oryantasyonu sürdürmektedir [95].

PAN bazlı fiberlerin ham malzemesi poliakrilonitrildir. Bu malzeme genellikle sohioprosesi kullanımıyla üretilir. Sohioprosesi, StandardOilCompany tarafından

bulunmuştur ve propen ile amonyak arasında amonoxidation reaksiyonunu içerir [96].

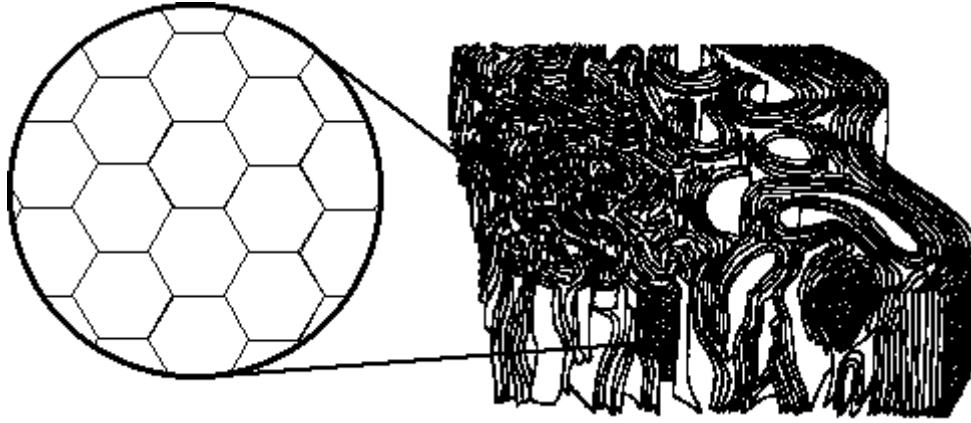
PAN başlatıcının yüksek performanslı karbon fiberlere dönüştürülmesinde 3 aşama vardır [95]:

1. Oksidatif kararlılık: Poliakrilonitril (PAN), ilk olarak gerdirilir ve eş zamanlı olarak 200-300°C sıcaklık aralığında oksitlenir. Bu işlem, termoplastik PAN'i, plastik olmayan halka (cyclic) ya da merdiven (ladder) bileşiğine dönüştürür.
2. Karbonizasyon: Oksidayondan sonra, fiberler, yaklaşık 1000°C sıcaklıkta, inert atmosferde, gerilmemiş, birkaç saat için karbonize edilirler. Bu proses boyunca, karbon olmayan elementler, orijinal PAN'in kütlesinin yaklaşık %50'sini karbon fiberlere vermek için, uçucu olarak kaldırılırlar.
3. Grafitlendirme: İhtiyaç olan fiberin tipine bağlı olarak, fiberler 1500-3000°C sıcaklık aralığında işlenir. Bu işlem, fiber eksenine doğrultusunda kristallerin oryantasyonu ve düzenlenmesini sağlar.

Karbon fiberler, yüksek mukavemet malzemelerinin yeni bir türüdür. Karbon fiber, uygun fiberlerin kontrollü pirolizi ile elde edilen, en azından %90 karbon içeren fiber olarak tanımlanmaktadır [95].

### **3.2.2. Karbon elyaf (CF) yapısı ve özellikleri**

Karbon fiberlerin özellikleri, yapılarıyla bağlantılıdır. Şekil 3.2'de PAN bazlı karbon fiberin kesitsel yapısı gösterilmektedir [97].



Şekil 3.3. PAN bazlı karbon fiberin kesitsel dokusu [97]

Şekil 3.3’de verilmiş olan bir karbon fiberin kesitsel dokusu, çekirdek ile fiberin cildi arasında farklılık gösterebilir. PAN bazlı karbon fiberler için, cilt, karbon tabakaların fiberin çevresine paralel dizilmesine sahip olma eğilimindedir. Bununla beraber çekirdek; karbon tabakalarının rasgele kesitsel dokuda (turbostratik doku) sergilenmeleri eğilimindedir [97].

Yapı; fiberlerin üretim prosesinden, özellikle ısı işlem sıcaklığı ve karbon fiber proses başlatıcısının grafitizasyonunun kolaylığından etkilenir. PAN bazlı karbon fiberler, 2000°C’nin üzerindeki ısı işlem sıcaklıklarında bile turbostratikliğini (karbon tabakalarının grafitik ABAB şeklinde dizilmemesi durumu) sürdürür [96].

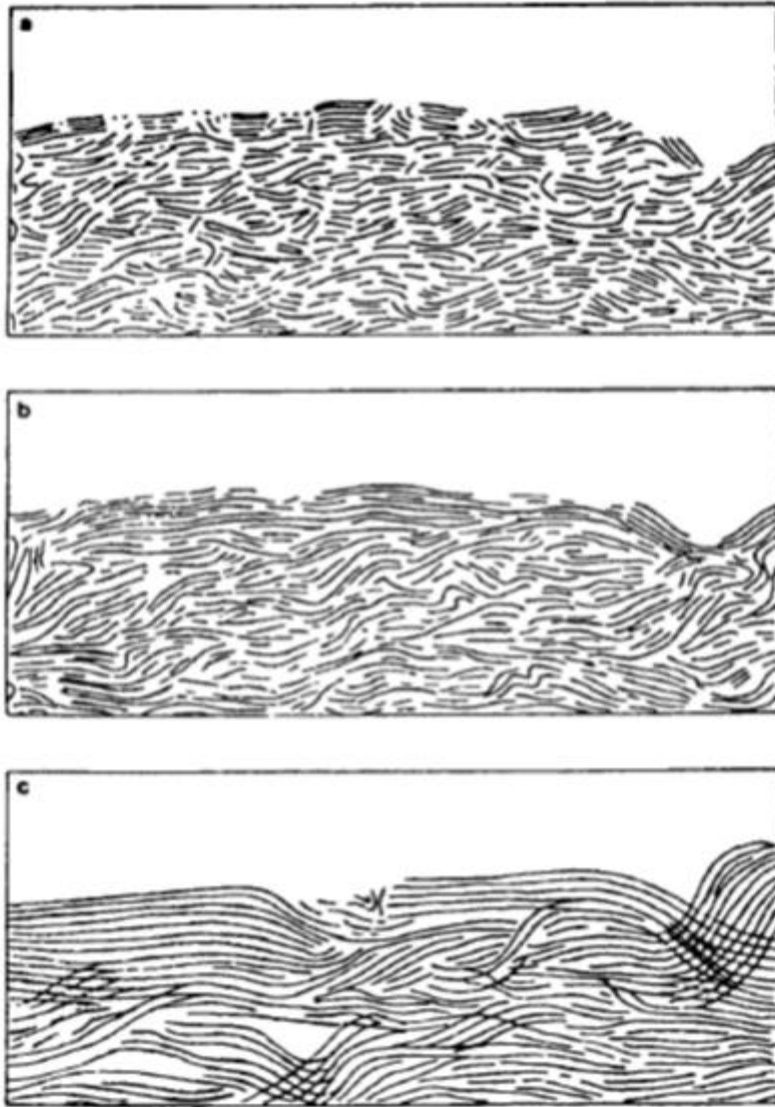
Yapıda var olan çift katlı yapı (cilt-çekirdek heterojenliği), Tip I-PAN bazlı karbon fiberlerin karakteristiğidir. Ayrıca bu yapı heterojenliği, 1.9GPa çekme mukavemeti ve 517 GPa çekme modülüne sahip olmanın da sebebidir [97].

Elyafın özellikleri, son işlemin sıcaklığına bağlı olarak gelişmektedir. Düşük sıcaklıklarda elyaf, amorf bir yapıya sahipken; yüksek sıcaklıklarda ise grafit sdh kristal yapıya sahip olur. Bu işlem sıcaklığı değiştirilerek, farklı özelliklere sahip elyaf üretilir [94].

Cilt yapısının gelişimi, Şekil 3.4’de, 1000°C, 1500 °C ve 2500 °C ısı işlem sıcaklıkları için, şematik olarak gösterilmiştir [97].



## Fiber Yönü



Şekil 3.4. (a)1000°C, (b)1500 °C ve (c)2500°C'deki ısıtma süreçlerinde PAN bazlı karbon fiberlerden bir cildin gelişimini şematik gösterimi [97]

Cilt tabakaları, ısıtma prosesinden dolayı daha düzenli ve sürekli hale gelirler. Cilt, 2500°C'ye ısıtmadan sonra, sürekli hale gelir. 2500°C'deki ısıtmadan sonra, cilt; 1.5µm kalınlığında ve çekirdek 3µm çapında olur. Cilt-çekirdek heterojenliği, karbonizasyon süresince ciltteki sıcaklığın, çekirdekteki sıcaklıktan daha yüksek olmasından ve cildin çekirdekten daha fazla gerilme kuvvetiyle karşılaşmasından dolayı ortaya çıkabilmektedir [97].

Tip-II PAN bazlı fiberlerde 3.7 GPa çekme mukavemeti ve 240 GPa çekme modülüsüne sahip olanlar) cilt yoktur ve kristalitler, Tip I'dekinden daha küçüktür.

Tip II'nin daha küçük kristalitleri; (300x200x1000°A yüzeyde), Tip II'nin mukavemetinin Tip I'inkinden daha yüksek olmasının sebebidir. Tip II'de; karbon tabakalarının yüksek bir oranı; fiberin silindirik yüzeyine paralel değildir, bunun yerine dışa doğru çıkıntı yapmışlardır. Bu kenar, bir kompozitte fiber kullanıldığında, matrisin fibere bağlanmasını arttıran etkiyi açığa çıkarır. Fiber eksenine boyunca daha güçlü olan doku, Tip I'e, Tip II'den daha yüksek modülüs sağlar. PAN-bazlı fiberlerin rasgele kesitsel dokusu, Pitch-bazlı karbon fiberlerin tabakaya benzer yapısıyla zıtlık gösterir. Bu rasgele yapı, Tip II-PAN bazlı karbon fiberlerin, Pitch bazlı karbon fiberlerden daha yüksek mukavemet sergilemesinin sebebidir [97].

Karbon fiber yapısının karakterizasyonu; x-ışını saçılım ve elektron mikroskobu teknikleri ile yapılır. Grafite zıt olarak, karbon fiberlerin yapısı, üç boyutlu dizilim yapısından yoksundur. PAN bazlı fiberlerde, lineer zincir yapısı; oksidatif kararlılık ve sonra gelen karbonizasyon süresince bir düzlemsel yapıya dönüşür. Fiber eksenine boyunca oryante olan baz (taban) düzlemler, karbonizasyon aşaması süresince oluşurlar [95].

Yüksek derecede kristalinite, tabakalar arası düşük mesafe, geniş kristalit boyutları, fiber eksenine paralel dokuma ve düşük hata yoğunluğu, genellikle yüksek çekme modülü, düşük elektrik direnci ve yüksek termal iletkenlikle sonuçlanır [97].

Genel olarak karbon fiberlerin avantajları, aşağıdaki gibidir [97]:

- Düşük yoğunluk,
- Yüksek çekme modülüsü ve mukavemet,
- Düşük termal uzama katsayısı,
- Oksijen yokluğunda, 3000°C'nin üzerinde bile termal kararlılık,
- Mükemmel sürünme direnci,
- Kimyasal kararlılık, özellikle asitlerde,
- Yüksek termal iletkenlik,
- Düşük elektrik direnci.

Karbon fiberlerin dezavantajları ise şu şekildedir [97]:

- Anizotropi,
- Düşük hasar gerinimi,
- Çekme mukavemetiyle karşılaştırıldığında, düşük basma mukavemeti,
- Karbon fiberlerin oksidasyonu.

Karbon fiberler çok kırılğıandır. Fiberlerdeki tabakalar, yüksek kovalent bağlarla oluşur. Kapsamlı olarak, karbon fiberlerin mukavemeti, başlatıcının tipine, proses koşullarına, ısı işlem sıcaklığına ve kusurlar ile çatlakların varlığına bağlıdır [95].

Elastiklik modülü, fiber eksenini boyunca karbon tabakalarının oryantasyonu ile etkilenir, dolayısıyla tabakalar arası mesafenin azalmasıyla artar [97].

Çekme mukavemeti; kusurlardan büyük oranda etkilenir. Yüzey kusurları ve iç kusurlar olmak üzere iki tür kusur vardır. Yüzey kusurları; 1000-2000°C'nin üzerinde ısı işlenmeyen karbon fiberlerin mukavemetini kontrol ederken, iç kusurlar ise 1000-1200°C'nin ısı işlenen karbon fiberlerin mukavemetini kontrol ederler [97].

Her fiber türü için, direnç, sıcaklığın artmasıyla düşer. Bu, tıpkı genellikle karbonlar ve grafitler için olduğu gibi; taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklıkla artmasından dolayı gerçekleşir. Verilen bir test sıcaklığında, direnç; elastiklik modülünün artışıyla azalır. Bu, elastiklik modülündeki artış, kusurların konsantrasyonundaki azalma ile birlikte olur ve kusurlar, taşıyıcı saçılımına sebep olur [97].

Düşük iletkenliğe sahip, yüksek kopma ve esneme dayanımlı bir ürün olan karbon elyaf; kimyasal bakımdan inerttir. Karbon elyafının, korozyon ve çevre koşullarına karşı direnci çok iyidir [98].

Genel olarak, karbon fiberlerin termal uzama katsayısı; elastiklik modülünün artışıyla azalır. Karbon fiberlerin oksidasyon direnci ise, grafitizasyon derecesi ile artar [97].

Karbon, altın ve platinden daha biyouyumludur. Dolayısıyla karbon fiberler, implant, tendonlardakolajen için iskele olarak kullanılabilirler [97].

Karbon fiber, kompozit malzemeler alanındaki en yeni gelişmelerden biridir. Karbon fiber ilk olarak, uzay teknolojisi için geliştirilmiştir. Fakat şu anda diğer endüstri alanlarında da kullanılmaktadır [98].

### **3.2.3. Karbon elyaf (CF) uygulama alanları**

Karbon fiberlerin iki ana uygulaması; nükleer mühendisliği ve uzay çalışmalarını içeren uzmanlaşmış teknoloji ve yataklar, dişliler, fan bıçakları ve otomobil parçalarını içeren genel mühendislik alanlarıdır [95]

Geçmiş yıllarda, karbon fiberler, ticari ve sivil havacılık, endüstriyel ve taşımacılık pazarlarında geniş bir uygulama alanına sahiptir. Karbon fiberler; hafif bir matris içeren kompozitlerde kullanılır. Karbon fiber kompozitlerinin, mukavemet, rijitlik, düşük ağırlık ve iyi yorulma direncinin karakteristik ihtiyaç olduğu uygulamalarda kullanımı uygundur [95].

## **3.3. Cam Elyaf (GF)**

### **3.3.1. Cam elyaf tanımı ve üretimi**

Cam elyaf; erimiş camın çekilmesiyle elde edilen bağımsız filamentlerdir [99].

Cam elyaf, sürekli ve süreksiz olarak üretilmektedir. 1300°C sıcaklıktaki sıvı cam; bir platin kovanın tabanında bulunan çok sayıda delikten aşağıya demet halinde çekilir. Bir soğutma işleminden sonra, koruyucu (sizing) yüzey kaplaması uygulanır. Bu kaplama işlemi ile; sürtünmeyi azaltarak hem aşınmayı önleme hem de üretim esnasında liflerin birbirine göre hareketini kolaylaştırmak amaçlanır. Aynı zamanda bu tabaka, matris ve arayüzeyi oluşturur [94].

Lifler daha sonra fitil olarak adlandırılan demetler halinde toplanır. Bu üretim sırasında hız; 3 km/dk.'ya kadar ulaşabilir. Bobinlere sarılan elyaf, kondisyonlanır ve kurutulur. Bu sırada sizing içindeki solvent ve su giderilmiş olur [94].

Camın viskozitesi, sıcaklığı ve çekme hızı değiştirilerek farklı çaplarda (ticari olarak 2.5-20 $\mu$ m) elyaf elde edilebilir [94].

Cam elyafın piyasa sunuluş şekilleri şöyledir [94]:

- ✓ Fitol(bükümsüz),
- ✓ Fitol (yarı bükülmüş),
- ✓ Bükülmüş iplik,
- ✓ Keçe,
- ✓ Dokuma.

Çeşitli bileşimlerdeki camlardan hazırlanan cam elyafı türleri; kimyasal yapılarına göre, E, C ve S camları olmak üzere üç bölümde sınıflandırılırlar [98]:

**E Sınıfı:** Yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Aynı zamanda dielektrik ve ısı yalıtımı çok iyidir,

**C Sınıfı:** Kimyasal direnci yüksektir. Birçok uygulamada E camı ile birlikte kullanılır,

**S Sınıfı:** Üstün mekanik özelliklere sahiptir. Çoğunlukla uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılır.

### 3.3.2. Cam elyaf (GF) yapısı ve özellikleri

Cam fiber, aynı zamanda fiberglass olarak da adlandırılır. Bu, camın çok ince fiberlerinden yapılan bir malzemedir [100].

Cam fiber, çok hafif, oldukça güçlü ve dayanıklı bir malzemedir. Mukavemet özellikleri karbon fiberden daha düşük ve daha az direngen olmasına rağmen, malzeme çok daha az kırılındır ve hammaddeleri ucuzdur. Malzemenin bulk(kütle) mukavemet ve ağırlık özellikleri, metallere karşılaştırıldığında çok avantajlıdır ve kalıplama prosesleri kullanımıyla kolaylıkla şekillendirilebilirler. Fiberler, 1930'lardan beri camdan üretilmektedir [100].

Cam fiberler, ağırlığa, yüzey alanının yüksek oranından dolayı kullanışlıdır. Bununla beraber, artan yüzey alanı, cam fiberleri kimyasal saldırılara daha duyarlı hale getirmektedir. En yeni ve en ince fiberler, en mukavemetli olanlardır çünkü daha ince fiberler, daha sünekler. Daha fazla alan sıyrılır, daha azı sağlam kalır. Çünkü cam, amorf bir yapıya sahiptir ve özellikleri fiber boyunca ve fibere karşı aynıdır [100].

Nem, çekme mukavemetini etkileyen önemli bir faktördür. Cam fiber, nemi kolaylıkla absorbe eder ve nem, mikroskobik çatlaklar ve yüzey hatalarını daha kötü bir hale getirdiği için, sağlamlığı azaltır [100].

Karbon fiberin davranışına zıt olarak, cam kırılmadan önce daha fazla uzamaya maruz kalabilir [100].

Genel olarak cam elyafın üstünlükleri [94];

- Ucuz,
- Yüksek çekme mukavemeti ve darbe dayanımı,
- Yüksek kimyasal dayanımdır.

Cam elyafın zayıf yönleri ise [94];

- Düşük elastiklik modülüne sahip olması,
- Isıl dirençlerinin düşük olması,
- Elektriksel iletkenliklerinin düşük olması,
- Düşük yorulma dayanımına sahip olması,
- Matrise tutunmasının zayıf olmasıdır.

### **3.3.3. Cam Elyaf (GF) uygulama alanları**

Reçine matrisli kompozit malzemelerde; cam elyafı; en çok kullanılan ve en ucuz takviye türüdür. Farklı özellikler elde etmek için (elektriksel, kimyasal, korozyon dayanımı ve elastiklik modülü), farklı kimyasal bileşimde cam elyaf türleri bulunmaktadır [94].

7200°C'ye kadar ısı dayanımı olan ve saatte 15000 mil hıza sahip kuvvetlere dayanabilen belirli cam elyaflar vardır. Elyaflarınbu tipleri [100];

- Roket kasaları etrafındaki filament sarmalları,
- Havacılıkta kullanılan burun konikleri,
- Egsoz başlıkları,
- Havacılık ekipmanları için ısı koruyucularında kullanılırlar.

Bununla beraber cam elyaf; otomotiv, inşaat, havacılık, gıda, elektronik ve birçok sektörde değişik kullanım alanına sahiptir [99].

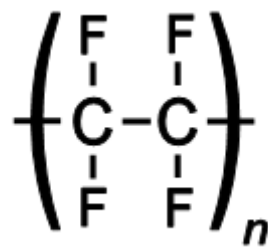
### 3.4. Politetrafloretilen-Teflon (PTFE)

#### 3.4.1. Teflon'un tanımı ve üretimi

Teflon, florlanmış etilen polimeri olan bir politetrafloroetilendir. 1938'de DuPont firmasından Roy J. Plunkett tarafından bulunmuştur.1946'da ise ticari olarak piyasaya sürülmüştür [101].

Politetrafloroetilen, PTFE, endüstride geniş olarak kullanılan bir yüksek performans plastiğidir [102].

PTFE, tamamen florlu, tek bağlanmış karbon omurgasını içerir. Şekil 1'de PTFE yapısı gösterilmektedir [103].



Şekil 3.5. Politetrafloretilen (PTFE) yapısı [101]

C-F bağları çok güçlüdür ve polimeri kimyasal saldırılardan koruyabilir. PTFE'in moleküler ağırlığı; 3000000'den daha fazla olabilir [103]. PTFE'in bağlanma yapısı oldukça kararlıdır [104].

Yüksek moleküler ağırlık, polimer olmanın bir fonksiyonudur. PTFE'dekimerlerin sayısı, aslında sonsuzdur [104].

PTFE, tetrafloroetilen (TFE) kimyasal bileşiğinden polimerize edilir. TFE, floropat, hidroflorik asit ve kloroformdan sentezlenir. Bu bileşenler, yüksek ısı altında birleştirilir. Bu işlem piroliz olarak bilinir [105].

PTFE son ürün için karar verilen belirli özelliklere bağlı olarak birçok yöntemde üretilebilir. Prosesin belirli detayları üreticilerin patentli sırlarıdır [105].

PTFE polimer/reçinenin üretimi, temel olarak 2 aşamada gerçekleştirilir. İlk olarak, TFE monomeri, genellikle, kalsiyum florid, sülfirik asit ve kloroformun sentezi yöntemiyle üretilir [106]:

1. Monomerin Hazırlanması- TFE Monomer:Kalsiyumflorür ve sülfirikasitin reaksiyonu, hidroflorik asit ürününü verir.



2. Monoklorodiflüorometan ve Tetrafloroetilenin'in (TFE) Hazırlanması: Hidroflorik asit ile kloroformun reaksiyonu, monoklorodiflorometan ürününü verir.



Monoklorodiflorometan'ın kaynama noktası  $-40,8^\circ\text{C}$ 'dir. Ve aynı zamanda dondurucu olarak da kullanılır. Monoklorodiflüorometanmonomeri,  $700^\circ\text{C}$  de bir platin tüp içinden geçirilerek piroliz edilir.





Üretilen bileşikler, piroliz süresince bazı yüksek toksik halka yapıları içerirler. Bunu önlemek için, üretilen PTFE’i saflaştırma işlemi uygulanır [106].

Politetrafluoroetileni imal eden iki firmadan DuPont bu maddeye "teflon"; AlliedChemical ise "halon" ticari isimlerini vermişlerdir [101].

### 3.4.2. Teflon (PTFE) yapısı ve özellikleri

Politetrafluoroetilen, 1938’de keşfedildiğinden beri, araştırmacılar tarafından çalışılan etkileyici ve özgün bir malzemedir. PTFE, vakum uyumludur, yüksek sıcaklıklarda kararlıdır ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir [103].

PTFE, karbonun flor atomları ile arasındaki güçlü bağlardan dolayı, kolaylıkla polimer orbitalinden elektron yaymaz. Bu teflonun iyi dielektrik özelliklerine sahip olmasına ve ideal bir izolatör olmasına sebep olur. PTFE’in bağlanma yapısı, PTFE polimerinin moleküler orbital aracılığıyla elektronlarının saçılmasına engel olur [105].

PTFE, hidrofobiktir. Su, alkoller ve diğer yüksekçe polar oksijen ve hidroksil içeren bileşenler, PTFE’e yapışmaz. Çünkü flor atomlarının yüksek elektronegativitesi, şekillenen polimer orbitalinin boyutu ve polimer orbitalindeki elektronların sayısı sebebi ile PTFE; su, alkol, vs. tutmaz. Bu özellik, polimer yapısının yüksek elektronegativitesinin sonucudur [105].

Teflon, çok düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Düşük sürtünme katsayısı Teflon’u, yapışmayan yemek pişirme için ideal malzeme durumuna getirmiştir [105].

Termoplastiklik, polimer ısıtıldığında veya soğutulduğunda, değişen polimer özellikleri anlamına gelmektedir. PTFE, bağlanma yapısından ve karbonun klor bağlarına olan mukavemetinden dolayı, göreceli olarak termoplastiktir. Polimer orbital yapısının bütün olarak kararlılığı, termoplastisite için bir sebeptir. Bu da Teflonun, eriyebilen ve farklı şekillere sokulabilen bir malzeme olduğunu göstermektedir [105].

Teflon, florların karbon atomlarıyla yaptığı bağların kararlılığından dolayı kimyasal ajanlara karşı reaktif değildir [105].

PTFE'in kendine has özelliklerini, polimer birimlerinin yapısının ve polimerde karbonun flor bağlarına olan kararlılığı ve gücünün bir sonucudur [105].

### 3.4.3. Teflon (PTFE) uygulama alanları

Dolgu malzemesi olarak PTFE'in birincil amacı; aşınmayı azaltmaya bir etkisi olmamasına rağmen; sürtünmeyi azaltmaktır. Zıt olarak, PTFE'e dolgu eklendiğinde, aşınmayı azaltır fakat sıklıkla sürtünme katsayısında bir artış gerçekleşir [104].

PTFE'inen çok kullanıldığı yerler [101];

- Yüksek ısıya dayanıklı conta,
- Keçe ve bant,
- Vana seti,
- Kimyevî maddelere dayanıklı boru,
- Laboratuar cihazları,
- Filtre, diyafram,
- Elektrik gerilimlerine dayanıklı kablo yalıtkanı,
- İzalotör ve
- Makina sanayisinde sürtünmeye dayanıklı yağsız yataklar ve burçlar,
- Köprü ve binalar için kayar yataklar,
- Pnömatik ve hidrolik parçalar yapımı sayılabilir.

## 3.5. Wax Malzemesi

### 3.5.1. Wax malzemesinin tanımı ve üretimi

**Paraffin wax**, petrol, kömür ya da killi şistten elde edilen; yirmi ile kırk arasında karbon atomu bulunan hidro karbon moleküllerinin karışımını içeren, beyaz ya da renksiz bir yumuşak katıdır. Wax, oda sıcaklığında katıdır ve yaklaşık olarak 37°C'de

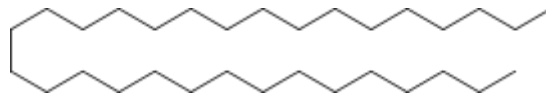
erimeye başlar. Kaynama noktası 370°C'nin üzerindedir. Wax, parafinden farklı bir malzemedir [101].

Parafinin hammaddesi; yağ ve waxın karışımı olan yağlı mumdur. Yağlı mum; makine yağının arındırılmasıyla elde edilen yan üründür [101].

Parafin wax elde etmedeki ilk aşama; yağlı mumdaki yağın kaldırılması işlemidir. Yağ, kristalizasyon aracılığıyla ayrılır. Yaygın olarak kullanılan metot, yağlı mumun keton gibi solventlerle ısıtılması ve ardından soğutulmasıdır. Soğutulduğu için, balmumu kristalleşerek; çözelti içinde bir yağ bırakarak çıkmaktadır. Bu karışım iki akış halinde süzülür: katı (wax+ bazı solventler) ve sıvı (yağ ve solvent). Çözücü damıtma ile geri kazanıldıktan sonra, ortaya çıkan ürün "wax" olarak adlandırılır. Wax, daha fazla renklenmesi ve kokuları uzaklaştırmak için işlenebilir. Parafin mum, sıvıya da katı formda satılır [101].

### 3.5.2. Wax yapısı ve özellikleri

Parafin wax çoğunlukla beyaz, kokusuz, tatsız ve katıdır. Wax'ın ergime sıcaklığı 46°C ile 68°C arasında olup, yoğunluğu 0,9 g/cm<sup>3</sup>'dür. Wax, suda çözünmez fakat eter, benzen ve belirli esterlerde çözünebilmektedir. Parafin wax, yaygın olarak kimyasallardan etkilenmez, ancak kolaylıkla yanarlar. Wax malzemesinin yanma ısısı 42 kJ/g'dır [101].



Şekil 3.6. Parafin wax malzemesinin yapısı (C<sub>31</sub>H<sub>64</sub>) [101]

Wax malzemesi 1013 ohm.metre ve 1017 ohm.metre arasında yer alırken, mükemmel elektriksel yalıtkanlık sergiler. Ek olarak Parafin wax, 2.14–2.9 J/g.K spesifik ısı değerine ve 200–220 J/g füzyon ısısı değerine sahiptir. Dolayısıyla ısıyı depolamak için mükemmel bir malzemedir [101].

### 3.5.3. Wax malzemesinin uygulama alanları

Wax malzemesi, mum yapımında, mumlu kağıt için kaplamalarda, hassas dökümde, topaklanmayı engelleyici ve nem tutmayan ajan olarak kullanılmaktadır. Buna ilaveten kurşun yağlayıcı olarak da kullanılmaktadır [103].

## BÖLÜM 4. DENEY MALZEMELERİ VE UYGULANAN DENEYLER

### 4.1. Deney Malzemeleri

Deneylerde matris malzemesi olarak PPA polimeri, takviye elemanı olarak GF, CF, katı yağlayıcı olarak ise PTFE ve Wax kullanılmıştır. Kullanılan ürünlerin ticari adı, kısa gösterimi, üretici firma bilgileri ve yoğunlukları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Deney hammaddelerinin ticari adı, üretici firma bilgileri ve yoğunlukları

Sıra No	Numune adı	Kısa Gösterimi	Ticari Adı	Temin Edilen Firma	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
1	Polifitalamid	PPA	Tecomid HT	Eurotec Mühendislik Plastikleri	1,20
2	Teflon	PTFE	Teflon®	Mikro-Technik Plastics Gmbh	2,2
3	Cam Elyaf	GF	PA2	Cam Elyaf Sanayii A.Ş.	2,54
4	Karbon Elyaf	CF	AC 4101	DOWAKSA Ltd. Şti.	2,26
5	Wax	Wax	Lube 723	Clariant Co.	0,9

Tablo 4.1’de yer alan PPA matris ile birlikte takviye edici cam elyaf ve karbon elyaf, teflon ve wax gibi katı yağlayıcılar kullanılarak; Werner Pfleiderer marka NR11-75 model çift vidalı ekstruderde 15 çeşit kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Tüm deney numune karışımları ağırlıkça hazırlanmıştır. Tablo 4.2’de ekstrüzyonda karıştırılan numunelere ait kısa gösterimler ve yoğunluk değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Deney numunelerinin kompozisyonları

Sıra No	Numune adı	Kısa Gösterimi	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
1	Polifitalamid	PPA	1,18
2	%30 Cam elyafı Polifitalamid	PPA+% 30GF	1,409
3	%30 Karbon elyafı Polifitalamid	PPA+% 30CF	1.304
4	%5 Teflon katkı Polifitalamid	PPA+% 5PTFE	1,205
5	%10 Teflon katkı Polifitalamid	PPA+% 10PTFE	1,225
6	%4Waxlı Polifitalamid	PPA+% 4Wax	1.491
7	%30Karbon elyaf ve %5Teflon katkı Polifitalamid	PPA+% 30CF+% 5PTFE	1,326
8	%30Karbon elyaf ve %10Teflon katkı Polifitalamid	PPA+% 30CF+% 10PTFE	1,357
9	%30Karbon elyaf ve %4Wax katkı Polifitalamid	PPA+% 30CF+% 4Wax	1,291
10	%30Karbon elyaf, %5Teflon ve %4Wax katkı Polifitalamid	PPA+% 30CF+% 5PTFE+% 4Wax	1,312
11	%30Cam elyaf ve %5Teflon katkı Polifitalamid	PPA+% 30GF+% 5PTFE	1,439
12	%30Cam elyaf ve %10Teflon katkı Polifitalamid	PPA+% 30GF+% 10PTFE	1,477
13	%30Cam elyaf ve %4Wax katkı Polifitalamid	PPA+% 30GF+% 4Wax	1,396
14	%30Cam elyaf, %5Teflon ve %4Wax katkı Polifitalamid	PPA+% 30GF+% 5PTFE+% 4Wax	1,427
15	%30Cam elyaf, %10Teflon ve %4Wax katkı Polifitalamid	PPA+% 30GF+% 10PTFE+% 4Wax	1,468

Tablo 4.2’de kompozisyonları verilen üretimler gerçekleştirildikten sonra, malzemelerin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerini kıyaslamak amacıyla malzemeler; Tablo 4.3’de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır.

Tablo 4.3. Deney malzemelerinin sınıflandırılması

Grup No	Numune Adı (Kısaltma)
1	PPA
	PPA+%4W <sub>ax</sub>
	PPA+%5PTFE
	PPA+%30CF
	PPA+%30CF+%5PTFE
	PPA+%30CF+%5PTFE+%4W <sub>ax</sub>
2	PPA
	PPA+%30CF
	PPA+%30CF+%10PTFE
	PPA+%30CF+%4W <sub>ax</sub>
	PPA+%10PTFE
3	PPA
	PPA+%4W <sub>ax</sub>
	PPA+%30GF
	PPA+%30GF+%4W <sub>ax</sub>
	PPA+%30GF+%5PTFE
	PPA+%30GF+%10PTFE
	PPA+%30GF+%5PTFE+%4W <sub>ax</sub>
	PPA+%30GF+%10PTFE+%4W <sub>ax</sub>

Ekstrude malzemelerin çekme, darbe, eğme, sertlik, aşınma, test numuneleri standartlara uygun olarak, ERAT marka geleneksel enjeksiyon makinasında, 310°C ile 340°C arasındaki enjeksiyon sıcaklıklarında ve 80MPa enjeksiyon basıncında kalıplanmıştır.

#### 4.1.1. Polifitalamid (PPA) polimeri

Matris malzemesi olarak, Eurotec Mühendislik Plastikleri firmasına ait 1,18 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değeri, 310°C ergime sıcaklığı ve maksimum nem oranı ağırlıkça %2,4 olan Tecomid HT ticari isimli hammaddesi kullanılmıştır [13].

## 4.1.2. Katkı malzemeleri

### 4.1.2.1. Cam elyaf (GF)

Takviye malzemesi olarak kullanılan cam elyaf E tipi cam elyaf, 10,5 µm çapında ve 4,5 mm uzunluğunda, %0,6 oranında aminosilan bağlayıcı ile yüzeyi kaplanmış olan, PA 2 tip kısa cam elyaf özelliklerindedir ve Cam Elyaf San. Ve Tic. A.Ş.-Gebze/Kocaeli'den temin edilmiştir [107].

### 4.1.2.2. Karbon elyaf (CF)

Çalışmada kullanılan karbon elyaf, AC 4101 ismi le DOWAKSA İleri Kompozit Malzemeler Sanayi Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Kullanılan karbon elyaf, 6 mm uzunluğunda ve poliamidile uyumludur. Temin edilen karbon elyafın mekanik özellikleri Tablo 4.4'de verilmiştir [108].

Tablo 4.4. Karbon elyafın özellikleri [108]

Mekanik Özellikler	
Çekme Mukavemeti (MPa)	4200
Çekme Modülüsü (GPa)	240
Uzama (%)	1,8

### 4.1.2.3. Politetrafloroetilen (Teflon)- PTFE

Kompozitlerde, Mikro-Technik Plastics Gmbh firmasından temin edilen, Reproflon ticari isimli politetrafloroetilen-teflon kullanılmıştır. Kullanılan teflon malzemesini kullanım sıcaklığı -200°C ile 250°C arasındadır [109].

### 4.1.3. Wax

Kompozitlerde kullanılan wax, Clariant Co. firmasından temin edilen, Licowax C Micropowder ticari isme sahip wax malzemesidir. Kullanılan waxın partikül boyutu 10-14 µm aralığındadır ve amid bazlıdır [110].



## 4.2. Kullanılan Test Cihazları ve Numuneleri

### 4.2.1. Yoğunluk ölçümü

Test numunelerinin yoğunluk ölçümleri, ISO 1183 (ASTM D 792) standardı kullanılarak Arşimet prensibine göre yapılmıştır. Numunelerin yoğunluk ölçümleri, aşınma numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yoğunluk ölçümü için, Şekil 4.1’de gösterilen 0,1 mg hassasiyetli ve 220g kapasiteli PRECIA XB 220A marka dijital bir terazi kullanılmıştır. Kullanılan numunelerin yoğunlukları, suyun yoğunluğu olan  $1.0 \text{ g/cm}^3$ ’den daha düşük olduğu için ölçümler %99.7 saflığa ve  $0.79 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahip metil alkol ( $\text{C}_3\text{OH}$ ) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ilk önce havadaki ağırlıkları ve ardından metil alkol içerisindeki ağırlıkları belirlenerek Eşitlik 1.3’de verilen formül yardımıyla numunelerin yoğunlukları bulunmuştur.

$$\rho = \rho_{alkol} \times [A \div (A - B)] \quad (1.3)$$

$\rho$ : Yoğunluk,  $\text{g/cm}^3$

$\rho_{alkol}$  : Metilalkolün yoğunluğu,  $\text{g/cm}^3$

A : Numunenin havadaki ağırlığı, gr

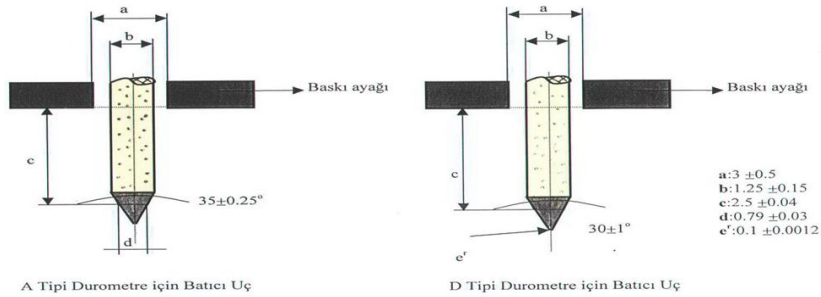
B : Numunenin sudaki ağırlığı, gr



Şekil 4.1. Numunelerin yoğunluklarının ölçüldüğü yoğunluk kitleriyle birlikte 0,1 mg hassasiyetli terazi

#### 4.2.2. Sertlik deneyi

Polimer malzemelerin sertlik değerleri A ve D tipi olmak üzere iki farklı shoremetre kullanılarak belirlenebilmektedir. A tipi shoremetre (Shore A) yumuşak plastikler için kullanılırken, D tipi shoremetre (Shore D) ise sert plastikler için kullanılmaktadır. Shore A sertliği için 1 kg yük uygulanır. Shore D sertliği için ise 5 kg yük uygulanmaktadır. Shore A ve D sertlik ölçme cihazı için batıcı uç şekilleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Shore A tipi shoremetre ile sertlikdeğerlerinin belirlenebilmesi için numunenin en az 5 mm kalınlıkta, Shore D tipi shoremetre için ise numune kalınlığının en az 3mm olması gerekmektedir [111].



Şekil 4.2. A ve B tipi durometre için batıcı uç şekilleri [111]

Enjeksiyon yöntemiyle kalıplanan tüm numunelerin sertlik testleri Tronic LX-SS ve Tronic LX-SD cihazlarla yapılmıştır. Sertlik testleri; ISO 868 (ASTM D 2240) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümlerini gerçekleştirmek için çekme numuneleri kullanılmış ve her iki sertlik ölçme yöntemi de uygulanmıştır. Numuneler üzerinde en az 5 adet sertlik ölçümü yapılmış ve aritmetik ortalamaları alınmıştır. Deneylerde kullanılan sertlik ölçüm cihazı ise Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3.Sertlik ölçüm cihazı [112]

Sertlik ölçümleri; Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2.3.Darbe deneyi

Numunelerin birim kesit alanında absorbe ettikleri kırılma enerjilerinin belirlenmesi için ISO 180/1A standardına uygun olarak Charpy çentikli darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir. Charpy çentikli darbe deneyleri, enjeksiyon kalıplama ile üretilen 4x10x80mm ebatlarındaki numunelere uygulanmıştır. Çentikli darbe deneyleri, Şekil 4.4'de resmi verilen dijital göstergeli Zwick Z020 marka darbe test cihazı kullanılarak Emaş Plastik Sanayi ve Ticaret A.Ş. laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında (23°C) gerçekleştirilmiştir. Numunelerin boyutu cihaza girilerek deney sonucunda ortaya çıkan darbe enerjisi cihazdan direkt olarak  $\text{kJ/m}^2$  cinsinden alınmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında toplam 45 adet numuneye darbe testi uygulanmıştır. Her bir kompozisyon çeşidinden 3'er adet numuneye, darbe testi yapılmış ve sonuçların ortalamaları alınmıştır.



Şekil 4.4.Darbe deneyi cihazı

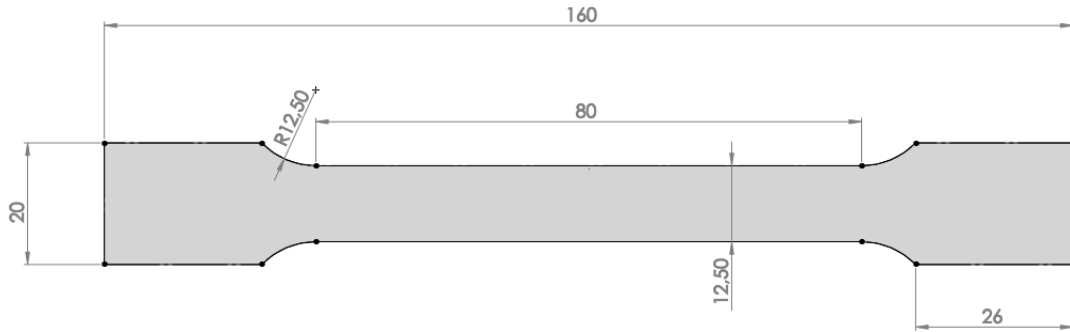
#### 4.2.4. Çekme deneyi

Deney numunelerinin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla Şekil 4.5’de gösterilen 5 ton kapasiteli Zwick Z020 cihazı kullanılmıştır. Deneyler Emaş Plastik Sanayi ve Ticaret A.Ş. laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde TS ISO 527-1/-2 standardına uygun olarak hazırlanmış ve Şekil 4.6’da ölçüleri verilen numuneler kullanılmıştır [113].

Çekme deneyleri, toplam 75 adet numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm kompozisyonlardan 5’er adet kullanılarak çekme testleri yapılmış ve sonuçların ortalamaları alınmıştır. Tüm numunelerin çekme testlerinde çekme hızı 5mm/dak. olarak sabitlenmiş ve deneyleroda sıcaklığında (23°C) gerçekleştirilmiştir. Çekme deneylerinin sonucunda elde edilen çekme mukavemeti, kopmadaki % uzama miktarı ve elastiklik modülü değerleri, çekme cihazına bağlı bir bilgisayar aracılığı ile elde edilmiştir. Cihaza bağlı olan bilgisayarda, deney esnasında elde edilen verileri değerlendiren ve gerekli hesaplamaları yapan yazılım programı yer almaktadır. Çekme deneyi ile eş zamanlı olarak cihaza entegre edilmiş ekstansometre cihazı ile elastiklik modülü değerleri de tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan Zwick marka Z020 model çekme cihazı [115]



Şekil 4.6. TS ISO 1926 standardına uygun çekme deneyi numune ölçüleri (ölçüler mm) [28]

Çekme mukavemetlerinin hesaplanmasında Eşitlik 1.4 [113] kullanılmıştır.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F}{A_o} , A_o = D \times H \quad (1.4)$$

$\sigma_{\zeta}$ : Çekme mukavemeti, MPa,

$F$ : Maksimum yük, N,

$A_o$ : Numune kesit alanı, mm<sup>2</sup>,

$D$ : Numune genişliği, mm,

$H$ : Numune kalınlığı, mm olarak ifade edilmektedir.

Elastiklik modülü, malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç veya rijitlik anlamına gelmektedir. Elastiklik modülün hesaplanmasında ise Eşitlik 1.5 kullanılmıştır.

$$E = \tan \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1.5)$$

Burada;

$E$ : Elastiklik modülü, N/mm<sup>2</sup>,

$\sigma$ : Gerilme, N/mm<sup>2</sup>

$\varepsilon$ : Birim şekil değiştirme oranı, olarak ifade edilmektedir.

Süneklik (% uzama) değerinin hesaplanmasında ise Eşitlik 1.6 kullanılmıştır.

$$\%uzama = \frac{\Delta l}{l_o} \times 100 \quad (1.6)$$

Burada;

$\Delta l$ : numunedeki uzama miktarı, ( $l_s - l_o$ ) mm,

$l_o$ : numunenin ilk ölçü boyu, mm,

$l_s$ : numunenin son boyu, mm, olarak ifade edilmektedir.

#### 4.2.5. Yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklığı testleri

Yük altında eğilme sıcaklığı, yüksek sıcaklıklarda, bir polimerin verilen bir yük altındaki bozunma sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. 0,46 MPa ve 1,8 MPa olmak üzere, genellikle iki yük kullanılmaktadır [117]. Numunelere uygulanan HDT testi, ISO 75A, 1,8 MPa standardına uygun olarak yapılmıştır ve sonuçlar °C cinsinden verilmiştir.

Yük altında eğilme sıcaklığı test düzeneğinde, üzerinde 1 kg lık bir ağırlık bulunan 1 mm<sup>2</sup> kesitli bir iğne (vicat iğnesi), polimer numune yüzeyine temas ettirilir. Daha sonra polimer sabit bir hızla ısıtılır ve iğnenin hareketi uygun bir aletle izlenir. İğnenin polimer numune yüzeyine 1 mm kadar girdiği andaki sıcaklık polimerin vicat yumuşama sıcaklığıdır. Bu yöntem camı geçiş sıcaklığı değerine eşit değildir, fakat polimerin yumuşama noktası ile ilgili ön bilgi vermektedir [116].

Vicat yumuşama sıcaklığı deneylerinde genellikle; 3 mm uzunluğunda, yuvarlak kesitli, tercihen sertleştirilmiş çelikten yapılmışular kullanılmaktadır. Batma ucunun alt yzeyinin düz, pürüzsüz ve numune yzeyine paralel olması önemli etkenlerdendir [101].

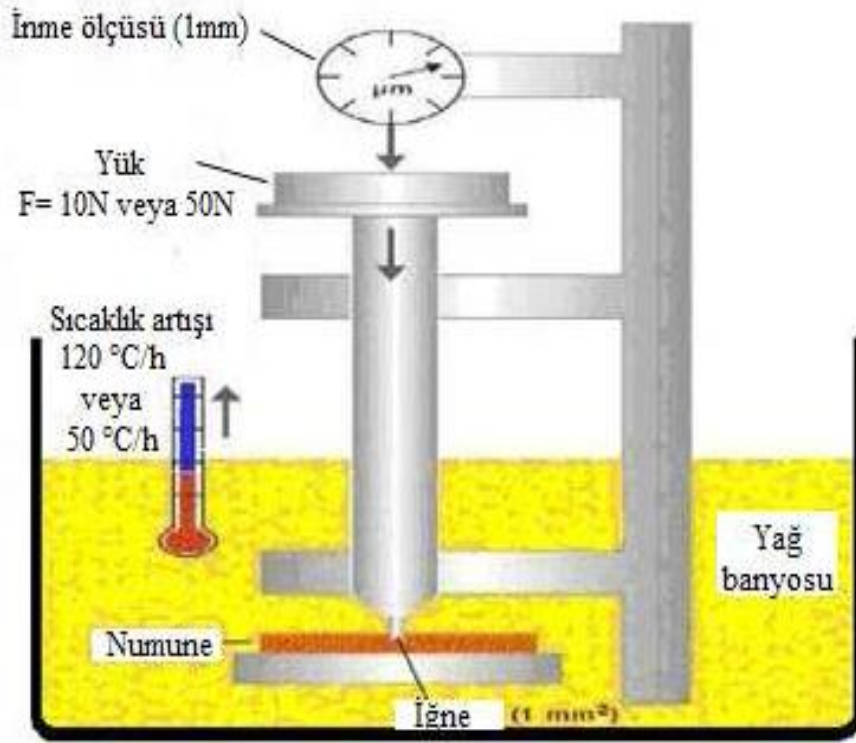
Vicat yumuşama sıcaklığı testi, malzemelerin yumuşama sıcaklıklarını belirler ve termoplastik malzemelere uygulanan bir analizdir. Vicat A metodu için 10N'luk bir yük uygulanırken, Vicat B50 metodu için 50N yük uygulanır [101].

Vicat yumuşama sıcaklığı için, 4 farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler Tablo 4.5'de verilmiştir [101].

Tablo 4.5. Vicat yumuşama Sıcaklığı test yöntemleri [101]

Metot İsmi	Yük (N)	Isıtma Hızı (°C/h)
A50	10	50
B50	50	50
A120	10	120
B120	50	120

Numunelere uygulanan Vicat yumuşama sıcaklığı testi, Metot B 120 test standardına göre gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan 80X10X4 mm ölçülerindeki numuneler yağ banyosuna daldırılarak, oda sıcaklığından itibaren kademeli olarak 120 °C/h sıcaklık artışı ile 50N yük altında, batma ucunun 1mm battığı andaki sıcaklık değeri, numunenin Vicat yumuşama sıcaklığı olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.7. Vicat yumuşama sıcaklığı tayini [117]

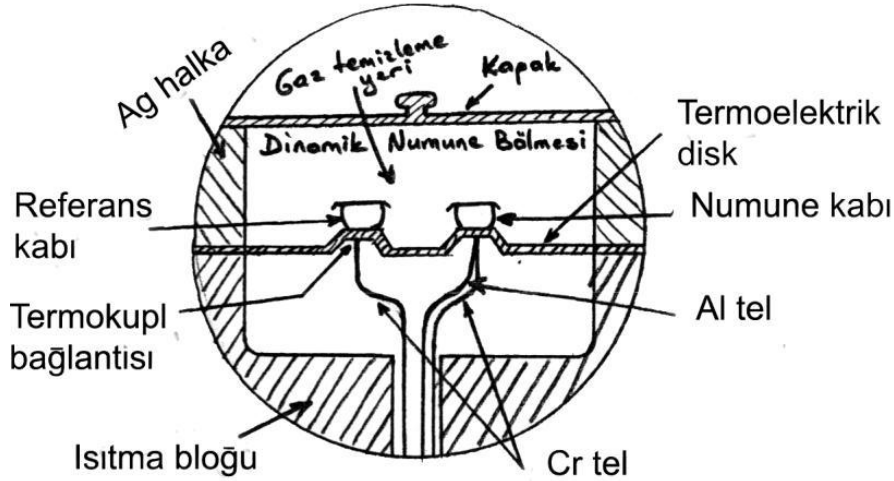
Numunelere uygulanan Vicat yumuşama sıcaklık ve yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) testleri, EUROTEC Mühendislik Plastikleri Sanayi ve Tic. A.Ş.'de bulunan Ceast marka 6911.000 model test cihazında gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetrede, örnek ve referansın sıcaklıkları düzenli bir hızla artırılır, ancak her ikisinin sıcaklığının aynı olması için örnek ve referansa dışardan gereken miktarda ısı ilavesi yapılır. İlave edilen ısı (kaydedilir), örnekte oluşan endotermik veya ekzotermik reaksiyonlar sonucu kaybedilen veya kazanılan ısıyı karşılar. Diferansiyel taramalı kalorimetrede ısıtıcılar örnek ve referans kaplarının çok yakınına yerleştirilmiştir. Termokuplar bir sıcaklık farkı algıladığında, örnek ve referansdan soğuk olanın sıcaklığı diğeri ile aynı seviyeye gelecek miktarda ısı verilir. Isıtma hızı örnek sıcaklığının fonksiyonu olarak kaydedilir [118].



DSC analizinde ortaya çıkan eğrinin altındaki bütün alan, numunenin dışına veya içine doğru olan enerji (q) transferinin toplam miktarı ile doğrudan orantılıdır. Bu ordinat, herhangi bir zamandaki ısı transfer hızı (dq/dt) ile orantılıdır. Şekil 4.8’de böyle kantitatif kalorimetrik ölçümleri yapmak için dizayn edilmiş bir hücre gösterilmektedir [120].



Şekil 4.8.DSC hücresinin kesiti (Levy ve arkadaşlarının DSC’si) [119]

Genellikle inert atmosfer sağlamak ve numunenin oksitlenmesini engellemek için azot gazı seçilir. Deneylede kullanılan Şekil 4.9 ’da ki DSC cihazının ortam sıcaklığı genellikle 30°C civarındadır. Sabit basınç ve sabit yoğunluktaki ısı kapasitesi DSC için önemli bir fonksiyondur. Önemli olmasının nedeni ise, kimyasal reaksiyonlar ya da faz dönüşümlerinin yokluğunda DSC eğrilerinin büyüklüğü sabit basınç altındaki numunenin ısı kapasitesiyle orantılı olmasıdır. DSC analizi sonucunda Eşitlik 1.7’de verilen formül yardımıyla ısı kapasitesi ( $C_p$ ) belirlenir [117].

$$C_p = (\delta Q \div dT) \quad (1.7)$$

$C_p$ : ısı kapasitesi, joule/kelvin

$\delta Q$ : ısı farkı, joule

$dT$ : sıcaklık farkı, kelvin’ dir



Şekil 4.9.Deneylerde kullanılan diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı [120]

Numunede hal değişimi gözlemlendiğinde referans ile numune arasında sıcaklık farkı oluşur. Numune ile referans arasındaki sıcaklık farkı sonlanana kadar numune ısıtılır. Sıcaklık farkı ya da ( $dT$ ) sinyali ısı akış denkliğine dönüştürülür ve sıcaklık ( $^{\circ}C$ ) - Isı akış ( $dT$ ) grafiği oluşturulur. DSC analizi ile malzemelerin termal genişleme, oksitlenme, ısı kapasiteleri, faz değişimi, camsı geçiş sıcaklıkları ( $T_g$ ), termal kararlılık, ergime piki ( $T_m$ ), kristalizasyon piki ( $T_c$ ) gibi özellikleri belirlenebilir [120].

Numunelere uygulanan DSC testinde, TSE EN ISO 11357-1 standardında belirtilen tek ısıtıcı ve sıcaklık sensörü ile numune ve referans tavalalarının aynı ocak içerisinde oda sıcaklığından kademeli olarak  $10^{\circ}C/dk$  sıcaklık artışı ile  $350^{\circ}C$  'ye kadar ısıtma ile gerçekleştirilmiştir.

Numune ağırlığı yaklaşık 15 mg olarak seçilmiştir. Atmosfer ortamı olarak azot gazı  $50ml/dk$  transferle yapılmıştır. DSC testleri Arçelik A.Ş.- Malzeme Teknolojileri Ar-Ge Departmanı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Cam elyaf, karbon elyaf ve teflonun yapı içerisindeki dağılımını incelemek amacıyla çekmetesti sonucu elde edilen kırık yüzeylere Şekil 4.10'da gösterilen Taramalı elektron mikroskop cihazı kullanılarak analizler yapılmıştır. Kırık yüzey görüntüleri incelenmeden önce numune yüzeyleri 40A° kalınlığında altın ile kaplanmıştır.



Şekil 4.10. Taramalı Elektron Mikroskop cihazı

#### 4.2.8. Aşınma testleri

Aşınma cihazı, ana gövde üzerinde bir elektrik motoru, bir yük kolu, bir yük hücresi ve bilgisayar gibi kısımlardan oluşmaktadır.

Bu makinada bir elektrik motorunun tahriği ile dönen bir disk bulunmaktadır. Cihazda var olan diskin üzerine deneylerde kullanılacak olan disk malzemesi, bir vida yardımıyla üzerine sabitlenir. Kol üzerinde bulunan bir mekanizma ile 6 mm çapındaki polimer pim malzemeler kola bağlanır. Çelik disk yüzeyi ve pim

numuneleri aşınma deneyine başlamadan önce alkol ile temizlenir ve 30 dk. süre ile kurutulur. Numune bağlanma bölgesine bağlanan pim numunesi, diskin üzerine yavaşça bırakılır ve pim numunesinin diske sürtünmesiyle pim numunesinin bağlı olduğu kol aparatı da diskin dönme yönüne hareket etmek istemektedir. Bu istek sonucunda kolda ileriye doğru bir hareket doğar. Bu ileriye doğru olan hareket, yanal kuvveti verir ve bu yanal kuvvet ise Load cell (yük hücresi) ile ölçülüp elektronik göstergede değerleri göstermektedir. Aynı zamanda bu veriler direk bilgisayarda Excel programına depolanmaktadır [15].

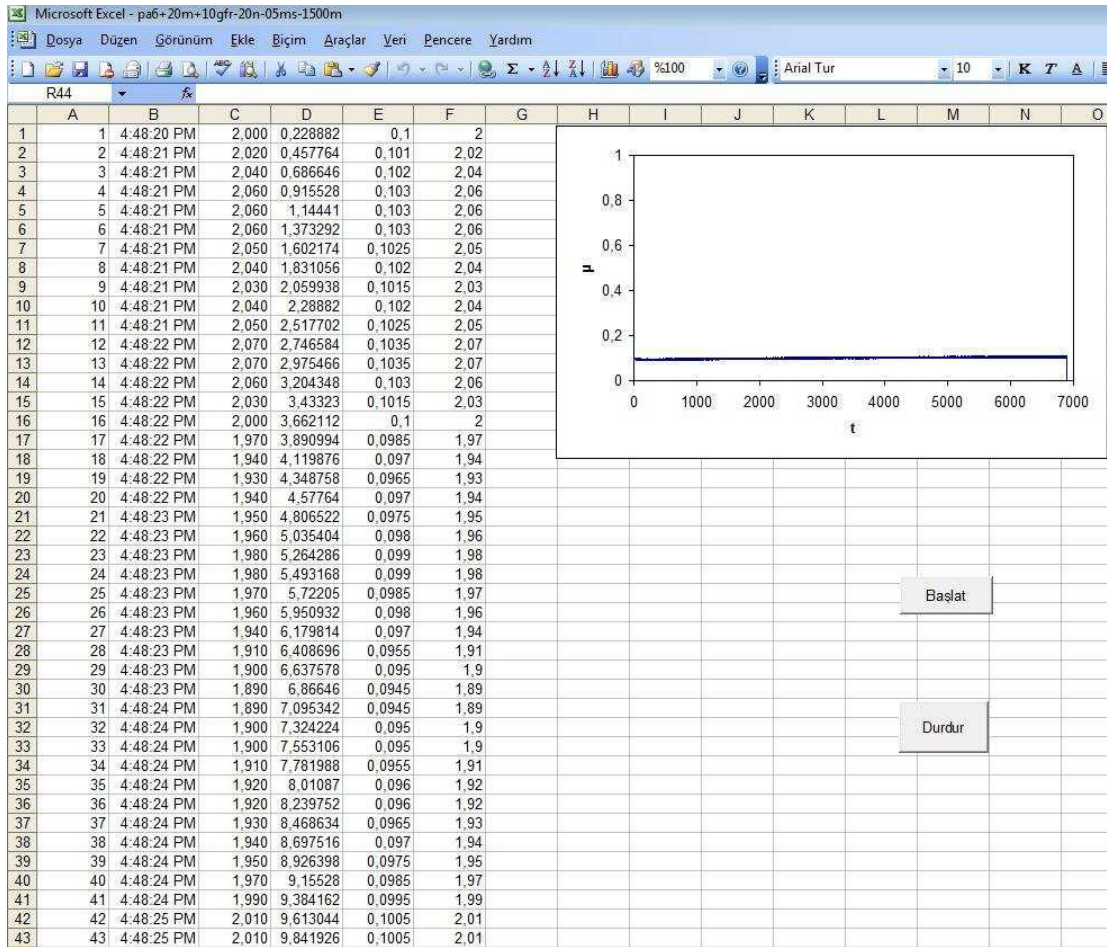
Numunelere uygulanan deneylerde, cihaz dakikada 1000 veri alacak şekilde ayarlanmıştır. Deney süresince yaklaşık olarak ortalama 65.000 veri değeri elde edilmiştir. Elde edilen yanal yük değerleri Excel programında, deneylerde kullanılan yük değerine bölünerek, Excel programında D sütununda görülen değerler elde edilmektedir. Bu veriler Y ekseninde olacak şekilde, X ekseninde de kayma mesafesi olacak şekil 4.11’de verilen grafik haline getirilmiştir. Deney süresince kayma mesafesi artışı ile sürtünme katsayısı grafiği elde edilir. Aşınma deneyinde kullanılacak olan pim numuneleri için özel olarak plastikenjeksiyon kalıbı tasarlanmış ve kullanılmıştır.

Katkısız PPA, CF, GF, PTFE ve Wax katkılı malzemelerin aşınma numuneleri 6 mm çapında ve 50 mm boyunda olacak şekilde kalıplanmıştır. Ayrıca karşı disk olarak 100 mm çapında ve 5 mm kalınlığında X40CrMoV5-1 kompozisyonlu çelik disk malzemesi kullanılmıştır. X40CrMoV5-1 kompozisyonlu çeliğin kompozisyonu Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. Aşınma deneylerinde kullanılan çelik diskin kompozisyonu

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V	%Fe
0.42	1.20	0.50	0.025	0.005	4.50	1.50	1.15	Kalan

Disklerin yüzeyleri her deney sonucunda 1200 ve ardından 1500 nolu zımpara ile parlatılmış ve yüzeyler alkol ile temizlenmiştir. Deneyde kullanılan disklerin deney öncesi yüzey profilometresi, yüzey pürüzlülüğünün bilinmesi amacıyla alınmıştır ve çelik disk malzemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü 0,25 µm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.11. Aşınma deneyin de excel formatında elde edilen sürtünme katsayısı değerleri ve grafiği [13]

Tribolojik deneylerde, PPA ve kompozitlerinin tek bir disk türüne karşı sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranları tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısı yanal kuvvetin, normal uygulanan kuvvete oranı olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik 1.8 ile hesaplanır.

$$\mu = F_S / F_N \quad (1.8)$$

Burada;

$\mu$ : Sürtünme katsayısı

$F_S$  : Yanal sürtünme kuvveti  $N$ ;

$F_N$  : Normal kuvvet,  $N$  ifade eder.

Aşınma deney süresinin sonuna gelindiğinde, önce kol kaldırılarak aşınma programı, daha sonra diski döndüren motorun stop düğmesine basılarak disk durdurulur. Pim,

bağlı olduğu bölgeden çıkarılır, varsa üzerindeki aşınma partikülleri ve çapakları temizlenir ve son ağırlık ölçümü için dijital terazide tartımı yapılır. Deneylede süresince kullanılan hassas terazi, Precisa marka olup 0.0001g hassasiyetindedir.

Deney numunelerinin rutubeti alındıktan sonra ilk ağırlık ile son ağırlık arasındaki farkı hesaplanarak belirlenen şartlar için numunenin aşınma miktarı değeri bulunur. Numunelerin spesifik aşınma oranlarının hesaplanmasında Eşitlik 1.9 kullanılır[13].

$$W_a = \Delta m \div (S \times \rho \times F_N) \quad (1.9)$$

$W_a$ : Spesifik aşınma oranı,  $m^2/N$

$\Delta m$ : Aşınma miktarı, gr.

$S$ : Kayma yolu, m.

$\rho$  : Test numunesinin yoğunluğu,  $gr/cm^3$

$F_N$ : Normal kuvvet, N.

PPA ve kompozitlerinin aşınma deneyleri, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan ve Şekil 4.12'de şekli verilen pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.12.Aşınma test düzeneği

## BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

### 5.1. I. Grup Numunelerinin Deney Sonuçları

#### 5.1.1. I. grup numunelerinin fiziksel özellikleri

##### 5.1.1.1. I. Grup numunelerinin yoğunluk testi sonuçları

Birinci grup numunelerinin yoğunluk testi sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. I. Grup deney numunelerinin yoğunlukları

Numune İsmi	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
PPA	1,18
PPA+%30CF	1,304
PPA+%5PTFE	1,205
PPA+%4Wax	1,191
PPA+%30CF+%5PTFE	1,326
PPA+%30CF+%4Wax	1,291
PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax	1,312

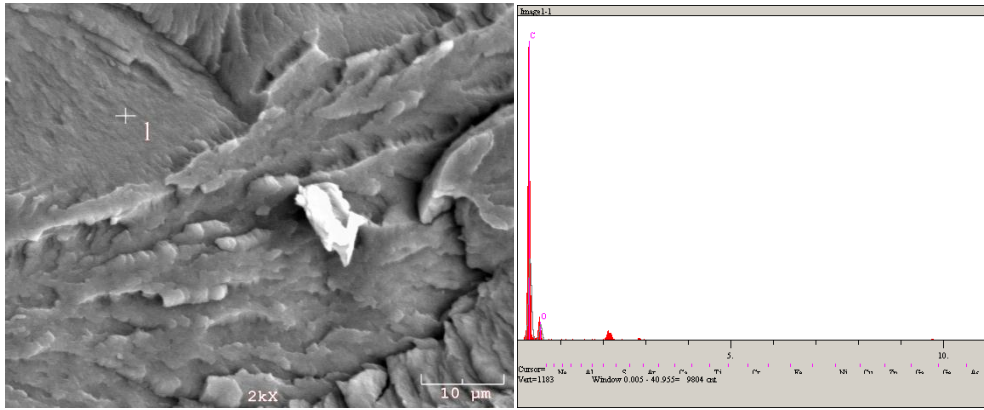
Genel olarak, PPA matris malzemesinin yoğunluğu 1,18 g/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine 2,26 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip CF malzemesinden %30 oranında eklenmesiyle, elde edilen kompozitin yoğunluğu 1,304 g/cm<sup>3</sup> değerini almıştır. Aynı zamanda PPA matris malzemesine sırasıyla; 2,2 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip PTFE malzemesinden %5 oranında ve 0,9 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip wax malzemesinden %4 oranında ilave edildiğinde, elde edilen malzemelerin yoğunluklarının 1,205 g/cm<sup>3</sup> ve 1,191 g/cm<sup>3</sup> olduğu görülmüştür.

PPA+%30CF malzemesine, 2,2 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip PTFE malzemesinden %5 oranında eklendiğinde, malzemenin yoğunluğu PPA+%30CF

malzemesine göre %1,68 artmıştır. PTFE malzemesinin yoğunluğu, PPA+%30CF malzemesinden daha yüksek bir yoğunluk değerine sahip olduğu için, PTFE içeren malzemelerin yoğunlukları daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatür ile uyumludur [121]. PPA+%30CF ve PPA+%30CF+%5PTFE malzemelerine %4 oranında 0,9 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip wax malzemesi eklendiğinde, elde edilen malzemelerin yoğunlukları sırasıyla; %9,4 ve %1 oranında azalmıştır.

### 5.1.1.2. I. Grup numunelerin EDS analiz sonuçları

Numunelerin elementel kompozisyonlarını tanımlamak için, EDS analizi gerçekleştirilmiştir.



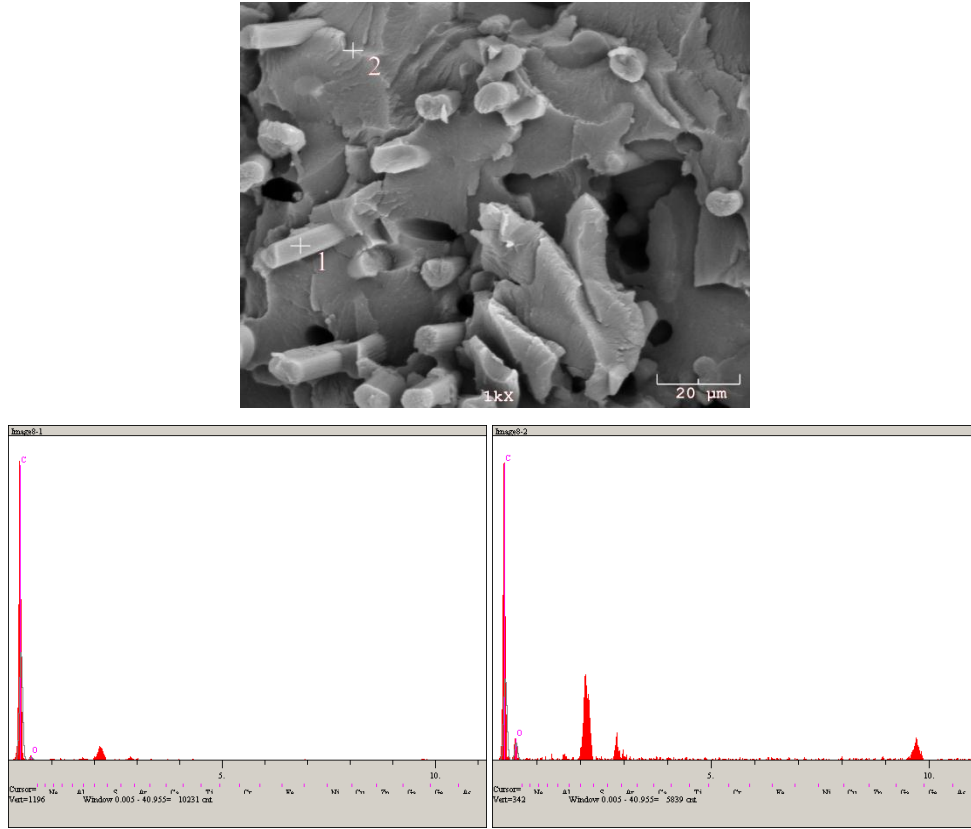
Şekil 5.1 PPA matris malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.2 PPA matris malzemesine ait Şekil 5.1’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağırlık)

Nokta	C	O
1	61,188	38,812

PPA matris malzemesinin EDS görüntüsü ve EDS analizi sonucunun yer aldığı Şekil 5.1 ve Tablo 5.2’ye göre, polimer yapısında karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. Yapıda bulunan karbon ve oksijen oranları sırasıyla %61,18 ve %38,80’dir.



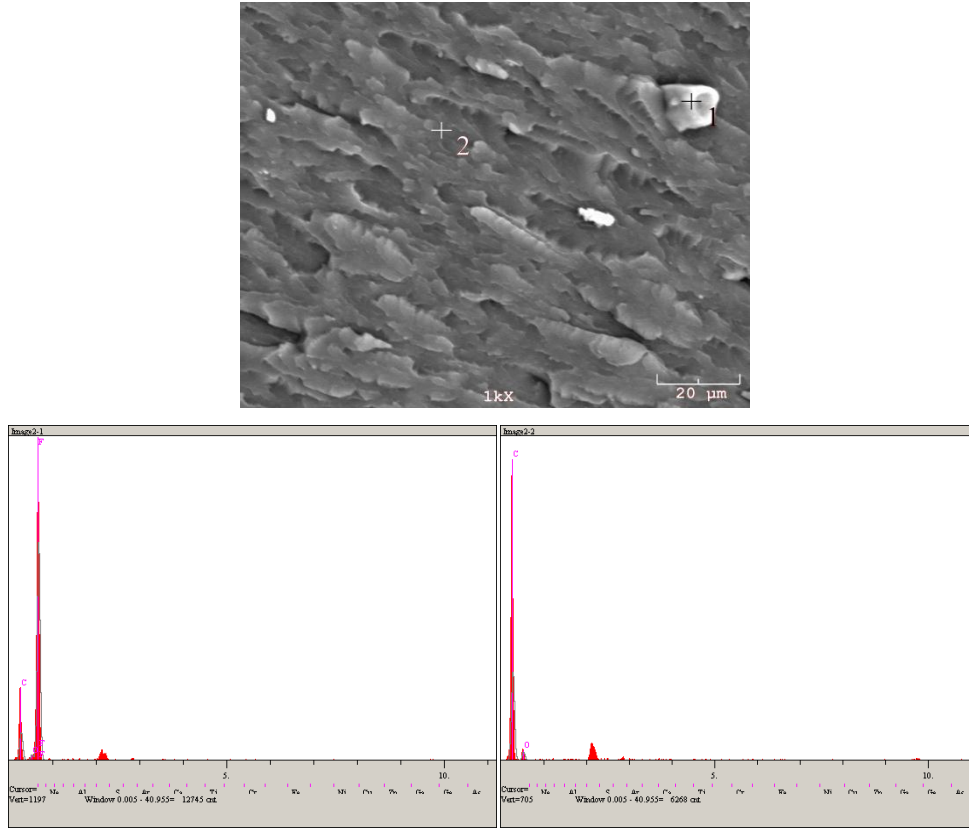


Şekil 5.2 PPA+%30CF malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.3. PPA+%30CF malzemesine ait Şekil 5.2’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağırlık)

Nokta	C	O
1	88,254	11,746
2	66,041	33,959

Şekil 5.2 ve Tablo 5.3’de yer alan PPA+%30CF malzemesine yapılan EDS analizi sonuçları verilmiştir. Yapılan EDS analizi sonucunda yapıda karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. 1 numaralı nokta, CF bölgesini gösterirken; 2 numaralı bölge ise PPA matris malzemesini göstermektedir.

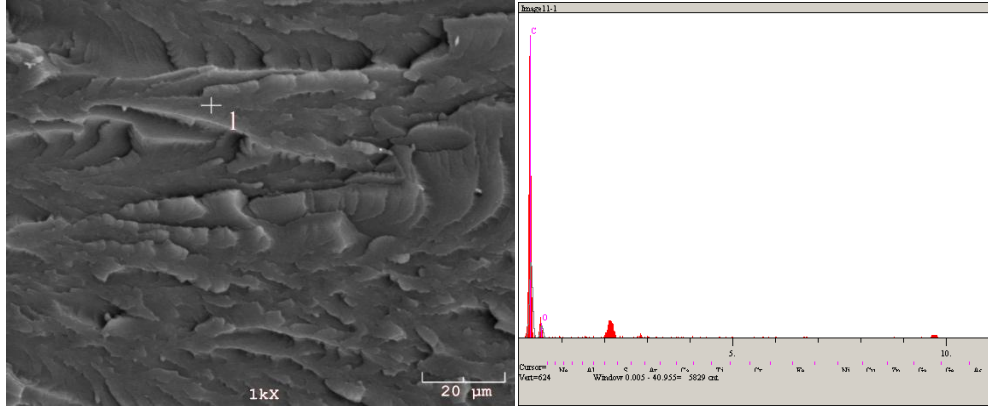


Şekil 5.3. PPA+%5PTFE malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.4. PPA+%5PTFE malzemesine ait Şekil 5.3’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	F
1	30,461	3,276	66,263
2	76,153	23,847	--

PPA+%5PTFE malzemesine yapılan EDS analizi ve ağırlıkça sonuçları Şekil 5.3 ve Tablo 5.4’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapıda flor, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. 1 numaralı nokta, PTFE bölgesini gösterirken 2 numaralı bölge ise PPA matris malzemesini göstermektedir. 1 numaralı noktada %30,46 oranında karbon, %3,27 oranında oksijen ve %66,26 oranında flor bulunurken, 2 numaralı noktada sadece %76,15 oranında karbon ve %23,84 oranında oksijen bulunduğu görülmektedir.

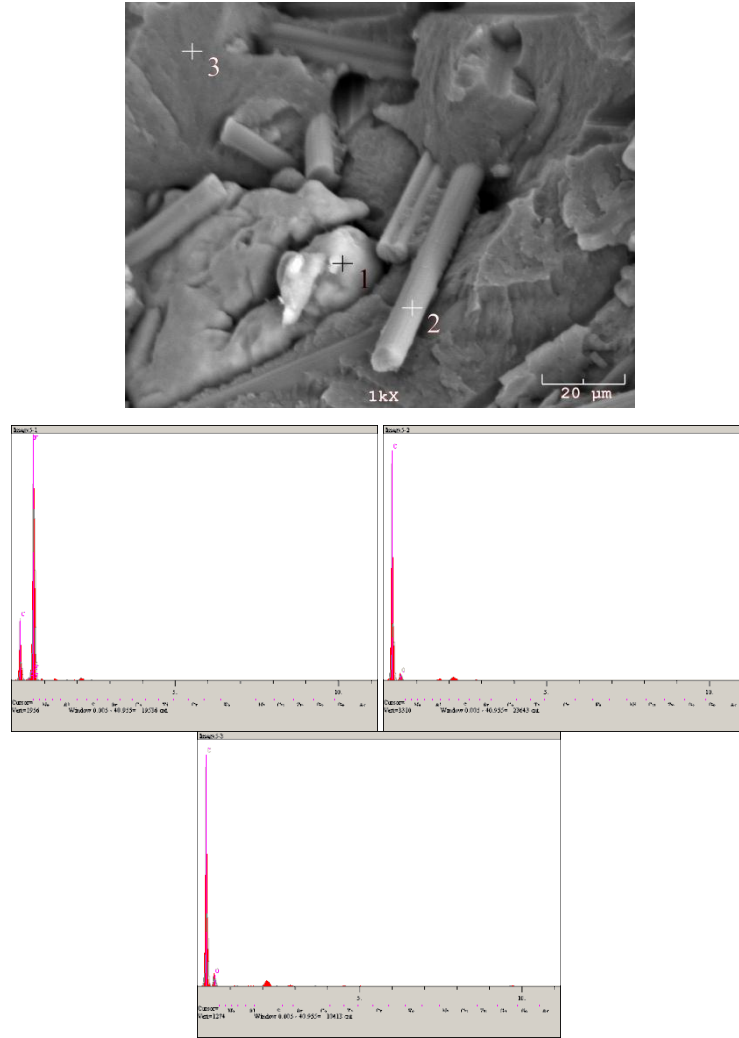


Şekil 5.4. PPA+%4Wax malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.5. PPA+%4waxmalzemesine ait Şekil 5.4’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O
1	69,650	30,350

Şekil 5.4’de verilen PPA+%4Wax malzemesine ait EDS analizi ve Tablo 5.5’de bu analiz sonucunda elde edilen değerler verilmiştir. Elde edilen verilere göre yapıda %69,65 oranında karbon ve %30,35 oranında oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir.



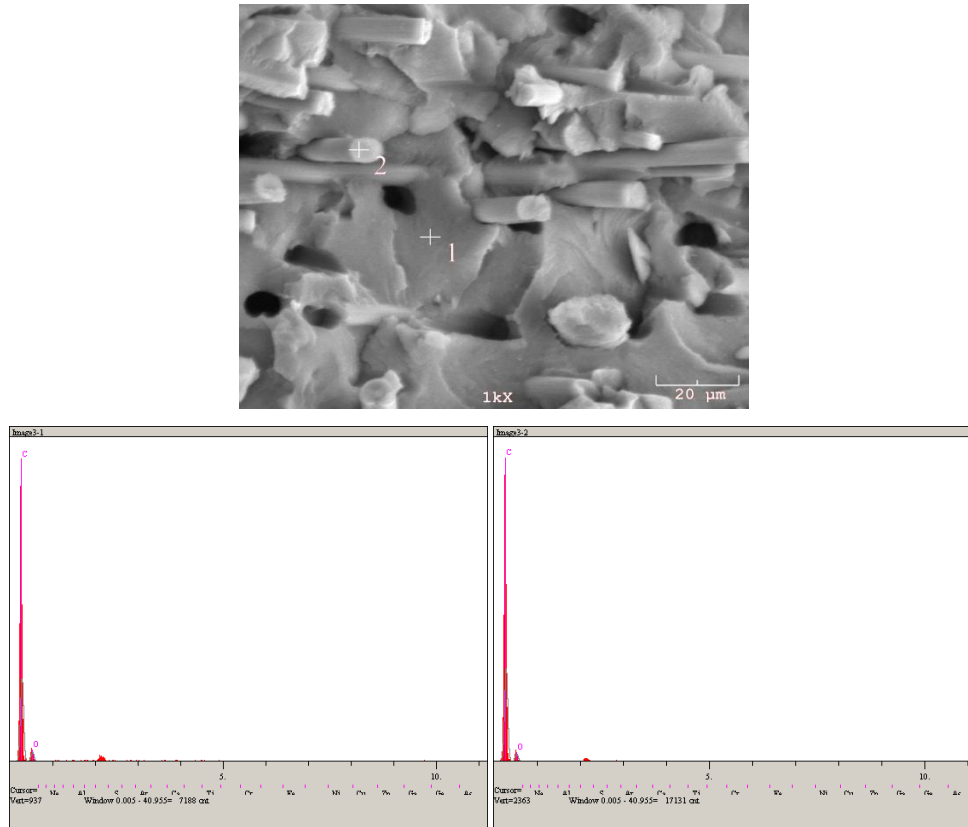
Şekil 5.5. PPA+%30CF+%5PTFE malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.6. PPA+%30CF+%5PTFE malzemesine ait Şekil 5.5’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	F
1	20,213	2,300	77,487
2	70,330	29,670	--
3	68,367	31,633	--

%30 karbon fiber takviyeli ve PTFE ilaveli PPA kompozit malzemenin EDS analizini ve ağırlıkça sonuçları Şekil 5.5 ile Tablo 5.6’da verilmiştir. Elde edilen verilere göre PPA+%30CF+%5PTFE kompozit malzemesine yapılan EDS analizi sonucunda, yapıda flor, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. Şekil 5.5’deki SEM fotoğrafında görülen 1 numaralı nokta PTFE bölgesini; 2

numaralı nokta CF malzemesini ve 3 numaralı nokta ise PPA polimer matris malzemesini göstermektedir. 1 numaralı noktada %20,21 oranında karbon, %2,3 oranında oksijen ve %77,48 oranında flor bulunduğu görülmüştür. Diğer taraftan 2 noktasında sadece %70,33 oranında karbon ve %29,67 oranında oksijen bulunduğu gözlenmiştir.



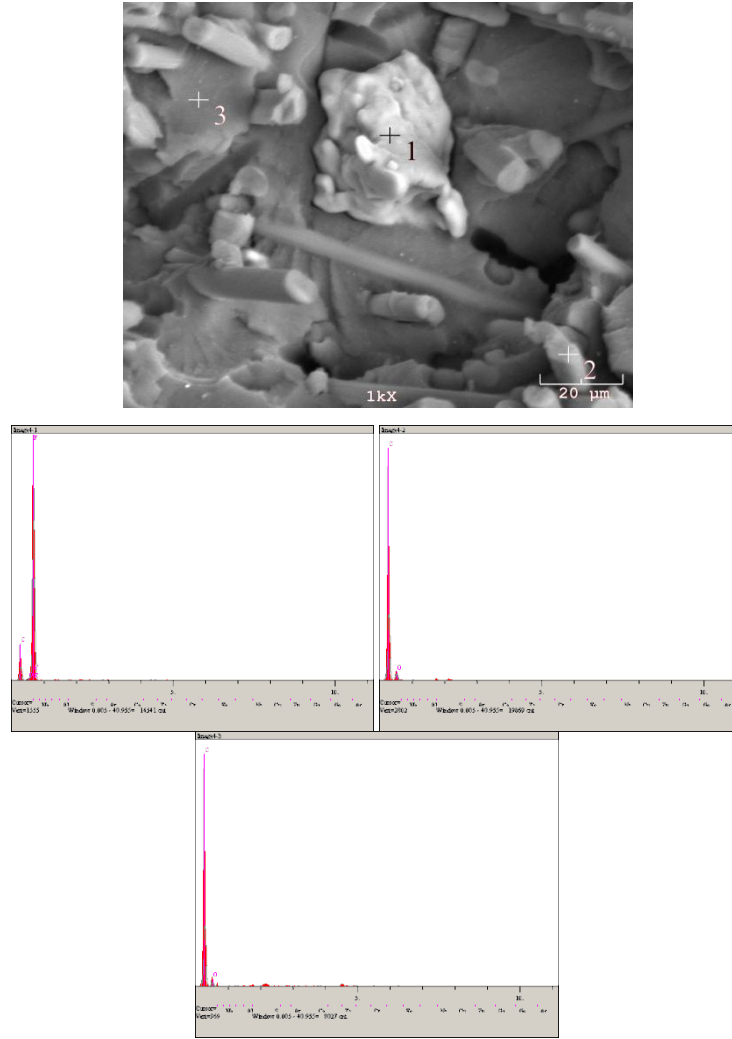
Şekil 5.6. PPA+%30CF+%4Wax malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.7. PPA+%30CF+%4Wax malzemesine ait Şekil 5.6'da belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O
1	69,190	30,810
2	72,723	27,277

Şekil 5.6'da PPA+%30CF+%4Wax kompozitine ait EDS analizi ve Tablo 5.7'de EDS analizinin ağırlıkça sonucu verilmiştir. Buna göre PPA+%30PCF+%4Wax malzemesinin yapısında karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. 1 numaralı nokta, PPA matris bölgesini; 2 numaralı nokta CF malzemesini

göstermektedir. PPA matris malzemesini gösteren noktada %69,19 oranında karbon ve %30,81 oranında oksijen bulunurken, CF malzemesini temsil eden 2 numaralı noktada ise %72,72 oranında karbon ve %27,27 oranında oksijen bulunduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.7. PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax malzemesinin EDS analizi

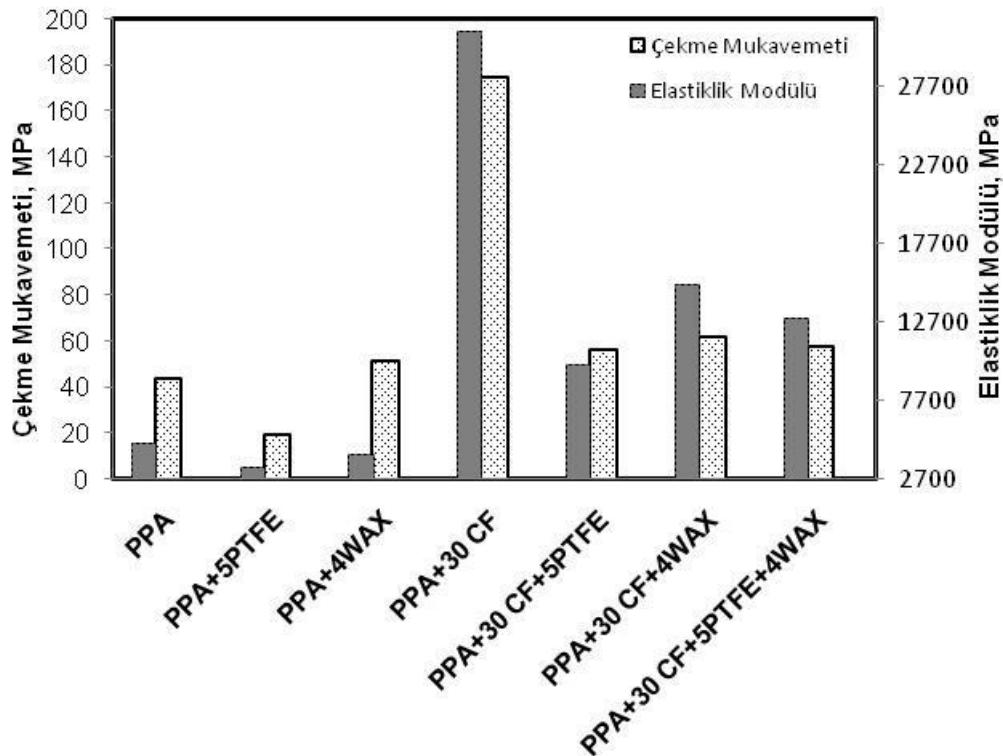
Tablo 5.8. PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax malzemesine ait Şekil 5.7’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	F
1	17,813	1,994	80,192
2	69,573	30,427	--
3	76,222	23,278	--

PPA+%30PCF+%5PTFE+4Wax malzemesine yapılan EDS analizi ve ağırlıkça sonuçları Şekil 5.7 ile Tablo 5.8’de verilmiştir. EDS analizi sonucunda yapıda flor, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. 1 numaralı nokta PTFE bölgesini; 2 numaralı nokta CF malzemesini ve 3 numaralı nokta ise PPA matris malzemesini göstermektedir. PTFE malzemesini temsil eden 1 numaralı noktada %17, 81 oranında karbon, %1,99 oranında oksijen ve %80,19 oranında flor bulunduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan CF malzemesini temsil eden noktada ise %69,57 oranında karbon ve %30,42 oranında oksijen bulunduğu görülmüştür.

### 5.1.1.3. I. Grup numunelerinin mekanik test sonuçları

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla numunelere çekme testleri uygulanmıştır. I. Grup deney numunelerinin çekme testi sonucunda elde edilen değerler Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8. I. Grup deney numunelerinin çekme mukavemeti-elastiklik modülü değerleri

Genel olarak PPA matris numunesinin çekme mukavemeti değeri 44,16 MPa iken, PPA matris malzemesine %5 oranında PTFE ilave edilmesiyle elde edilen kompozitin çekme mukavemeti 19,68 MPa değerini almıştır. Çekme mukavemetinde gerçekleşen bu düşüş yaklaşık olarak %55,4'dür. Aynı zamanda; PPA'ya sırasıyla %4 oranında Wax malzemesi ve %30 oranında CF eklendiğinde ise, kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri 51,24 MPa ve 175 MPa değerlerine yükselmiştir. Gerçekleşen bu artış sırasıyla yaklaşık olarak %16 ve %296,2'dir.

PPA+%30CF kompozitinin çekme mukavemeti 175 MPa iken, bu kompozite sırasıyla %5 PTFE ve %4 Wax eklendiğinde, çekme mukavemeti değerleri 56,23 MPa ve 61,64MPa olmuştur. Çekme mukavemet değerlerinde gerçekleşen bu düşüşler yaklaşık olarak %68 ve %65'dir. Ek olarak, PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine, %4 wax eklendiğinde ise, elde edilen kompozitin çekme mukavemeti değeri 58,1 MPa değerini almış ve bu çekme mukavemeti değeri PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine göre yaklaşık olarak %3,32 daha yüksektir.

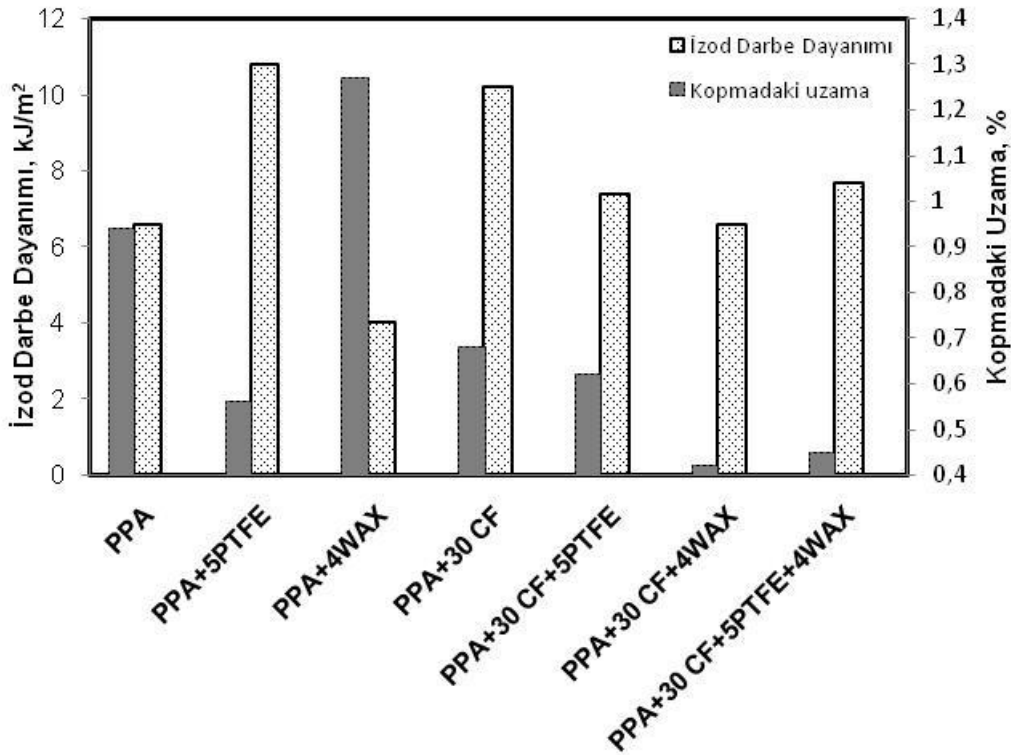
Elastiklik modülü değerleri incelendiğinde, PPA matris malzemesinin elastiklik modülüsü 4971 MPa iken, PPA'ya %5 oranında PTFE eklendiğinde, çekme modülüsü değeri 3494 Mpa elde edilmiştir. Katkısız PPA matrisine % 5 oranında PTFE eklenmesi, elastiklik modülünde yaklaşık %30 düşüğe sebep olmuştur. Aynı zamanda PPA'ya %4 oranında wax ilave edildiğinde, elastiklik modülü 4260 MPa'a düşmüştür. Gerçekleşen bu düşüş %30 civarındadır. Diğer taraftan katkısız PPA'ya %30 oranında CF eklendiğinde ise, kompozitin elastiklik modülü değeri 31235 MPa'a ulaşmıştır. Gerçekleşen bu artış yaklaşık olarak %528'dir.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %5 oranında PTFE ve %4 oranında Wax eklendiğinde, kompozitlerin elastiklik modülleri 10032,25 Mpa ve 15047,95 MPa değerlerine ulaşmıştır. Bu azalmalar sırasıyla %101 ve %202'dir. Aynı zamanda PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine, %4 oranında wax ilave edildiğinde ise; elde edilen kompozitin elastiklik modülü, 12905,25 MPa' ulaşmıştır ve bu artış yaklaşık %160'dır.



I. Grup numuneleri arasında en yüksek çekme mukavemeti ve en yüksek elastiklik modülünü; 175MPa çekme mukavemeti değeri ve 31235MPa elastiklik modülü değerleri ile PPA+%30CF kompoziti sergilemiştir. Bununla beraber en düşük çekme mukavemeti ve en düşük elastiklik modülünü ise 19,68MPa çekme mukavemeti değeri ve 3494MPa elastiklik modülü değeri ile PPA+%5PTFE kompozitnumunesinde elde edilmiştir.

Numunelerin darbe dayanımlarını gözlemlemek amacıyla, numunelere çentikli izod darbe testi uygulanmıştır. Kopmadaki uzama ile darbe dayanımı sonuçları, Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. I. Grup deney numunelerinin izod darbe dayanımı- kopmadaki % uzama değerleri

PPA matris malzemesinin çentikli izod darbe dayanımı 6,6 kJ/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. PPA'ya %4 oranında wax eklenmesiyle elde edilen PPA+%4Wax kompozitinin izod darbe dayanımı 4 kJ/m<sup>2</sup> değerindedir. Aynı zamanda PPA matris malzemesine %5 oranında PTFE ve %30 oranında CF eklendiğinde ise, elde edilen kompozitlerin izod darbe dayanımlarının 10,8 kJ/m<sup>2</sup> ve 10,2 kJ/m<sup>2</sup> elde edilmiştir.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %5 oranında PTFE ve %4 oranında Wax eklendiğinde ise, kompozitlerin izod darbe dayanımları  $7,4 \text{ kJ/m}^2$  ve  $6,6 \text{ kJ/m}^2$  olarak elde edilmiştir. Bununla beraber, PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine, %4 oranında wax eklendiğinde ise, elde edilen kompozitin darbe dayanımının  $7,7 \text{ kJ/m}^2$  değerinde olduğu gözlenmiştir.

Kopmadaki %uzama değerleri ele alındığında ise PPA matris malzemesinin kopmadaki % uzama değerinin 0,94 olduğu görülmüştür. PPA'ya %5 oranında PTFE ve %30 oranında CF eklenmesiyle elde edilen PPA+%5PTFE ve PPA+%30CF kompozitlerinin kopmadaki %uzamaları 0,56 ve 0,68'e düşmüştür. Aynı zamanda PPA matris malzemesine %4 oranında Wax eklendiğinde ise, elde edilen kompozitin kopmadaki %uzama değeri 1,27'e ulaştığı gözlenmiştir.

PPA+%30CF kompozitine %5 PTFE ve %4 Wax eklendiğinde kompozitlerin kopmadaki %uzama değerleri 0,62 ve 0,42 değerlerini sergilemiştir. Ek olarak; PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine, %4 oranında wax eklendiğinde elde edilen kompozitin kopmadaki %uzaması 0,45'e düştüğü gözlenmiştir.

Birinci grup numuneleri arasında en yüksek izod darbe dayanımını  $10,8 \text{ kJ/m}^2$  değeri ile PPA+%5PTFE kompoziti sergilerken; en yüksek kopmadaki %uzamayı ise %1,27 değeri ile PPA+%4Wax kompoziti sergilemiştir. Bununla beraber, grup numuneleri içinde, en yüksek shore D sertliğini, 88 Shore D sertlik değeri ile PPA+%30CF kompozit elde etmiştir.

PPA ve PPA kompozitlere ait Shore D sertlik testi sonuçları Tablo 5.9'da verilmektedir.

Tablo 5.9. I. Grup deney numunelerinin Shore D Sertlik değerleri

Numune İsmi	Sertlik (Shore D)
PPA	82
PPA+%5PTFE	81
PPA+%4Wax	82
PPA+%30CF	88
PPA+%30CF+%5PTFE	83
PPA+%30CF+%4Wax	86
PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax	84

PPA matris numunesi için 82 shore D sertlik değeri elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %5 PTFE eklendiğinde shore D sertlik değerinin 81'e düştüğü gözlenmiştir. Aynı zamanda; PPA polimerine %4 Wax malzemesi eklenmesiyle ise, malzemenin shore D sertlik değerinin değişmediği görülmüştür. PPA polimerine %30 CF eklendiğinde ise, kompozitin shore D sertlik değerinin 88 Shore D'ye ulaşmıştır.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %5 PTFE ve %4 Wax eklendiğinde, 83 shore D sertlik ve 86 shore D sertlik değerlerine düştüğü gözlenmiştir. Bununla beraber, PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine, %4 oranında wax eklendiğinde ise, elde edilen kompozitin shore D sertlik değerinin 84 Shore D'ye düştüğü görülmüştür.

Daha önce yapılan çalışmalarda da [26,27] poli-eter-eter-eton malzemesine ve PA66/PPS karışımına ilave edilen PTFE katkısının, kompozitlerin çekme mukavemetlerinde, elastiklik modüllerinde ve sertlik değerlerinde düşürücü etki yaptığı tespit edilmiştir. Bunun yanında daha önce yapılan [32] çalışmasında, PA66/aramid elyaf kompozitine eklenen PTFE katkısının ise kompozitin darbe dayanımı değerinde düşürücü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla literatürde bu çalışmada bulunan sonuçlar ile benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Yani bulunan sonuçların literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Eğer yarı kristalin polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı, izod darbe testinin yapıldığı sıcaklıktan yüksek ise yarıkristalin polimerler yüksek izod darbe dayanımı sergilerler [122]. PTFE içeren kompozitlerin izod darbe dayanımı, PTFE içermeyen kompozit

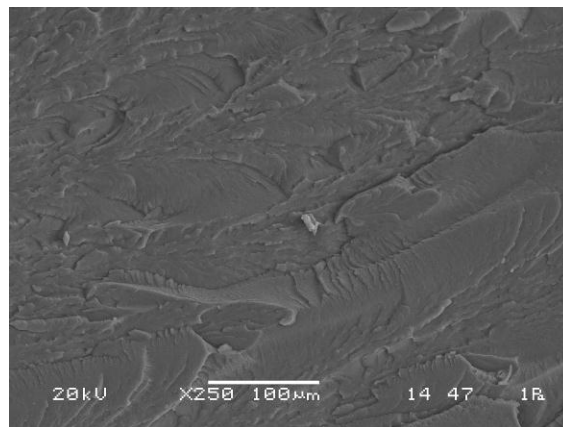
numunelerin izod darbe dayanımından daha yüksek çıkmıştır. Yani bulunan sonuçların literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda da [17,18,19] PA6 ve PA66'ya, PA66/PPS karışımına ve PA6 ile PA6/kil kompozitlerine ilave edilen karbon elyaf katkısının, kompozitlerin çekme mukavemetlerinde ve elastiklik modüllerinde arttırıcı etkiyaptığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda PA6/PPS karışımına eklenen karbon elyafın, kompozitin sertlik değerlerinde artışa sebep olduğu da gözlenmiştir. Ek olarak PA6 ve PA6/kil nanokompozitine eklenen karbon elyafın kompozitin darbe dayanımında arttırıcı etkiye sahip olduğu gözlenmiştir [19]. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan sonuçlar ile benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Bulunan sonuçların literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Wax katkısı ile yapılan daha önceki çalışmada [28], PA6%+10PTFE kompozitine eklenen wax malzemesinin, kompozitin çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve darbe dayanım değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla Wax içeren kompozitler için bulunan mekanik test sonuçları, literatürde yer alan bazı çalışmalar ile uyumludur.

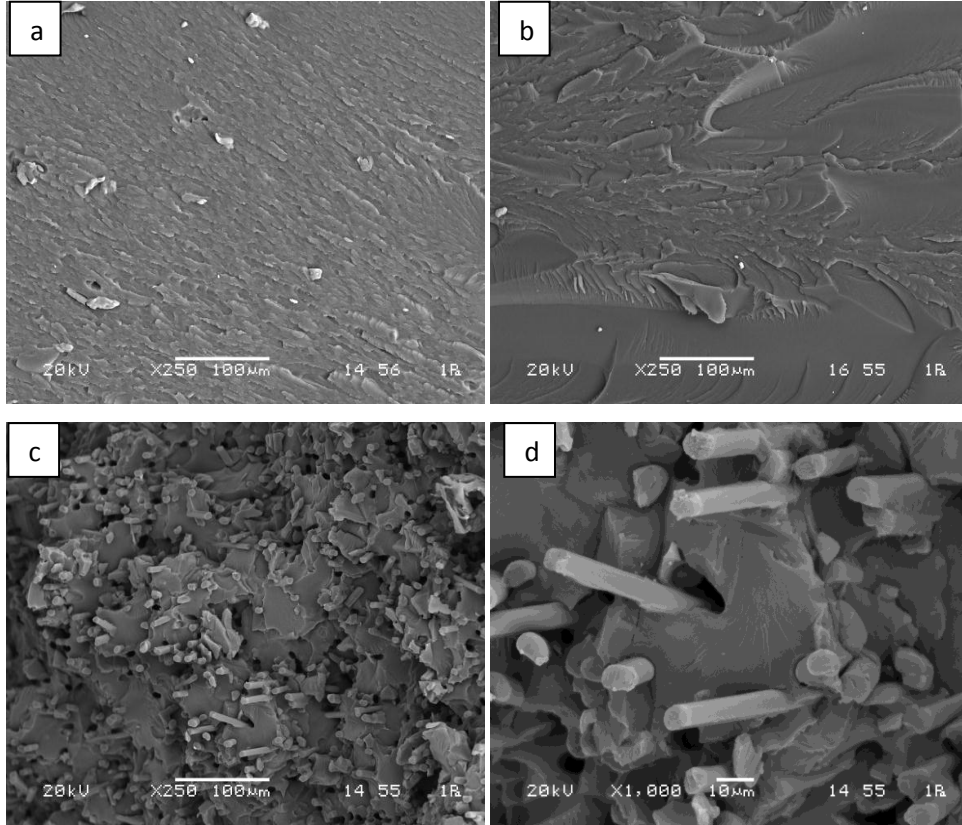
#### 5.1.1.4. I. Grup numunelerinin SEM analizi

PPA matris malzemesinin çekme testi sonrasında kırılma yüzeyinden alınan SEM görüntüsü Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. PPA matris malzemesinin kırılma yüzeyi görüntüsü

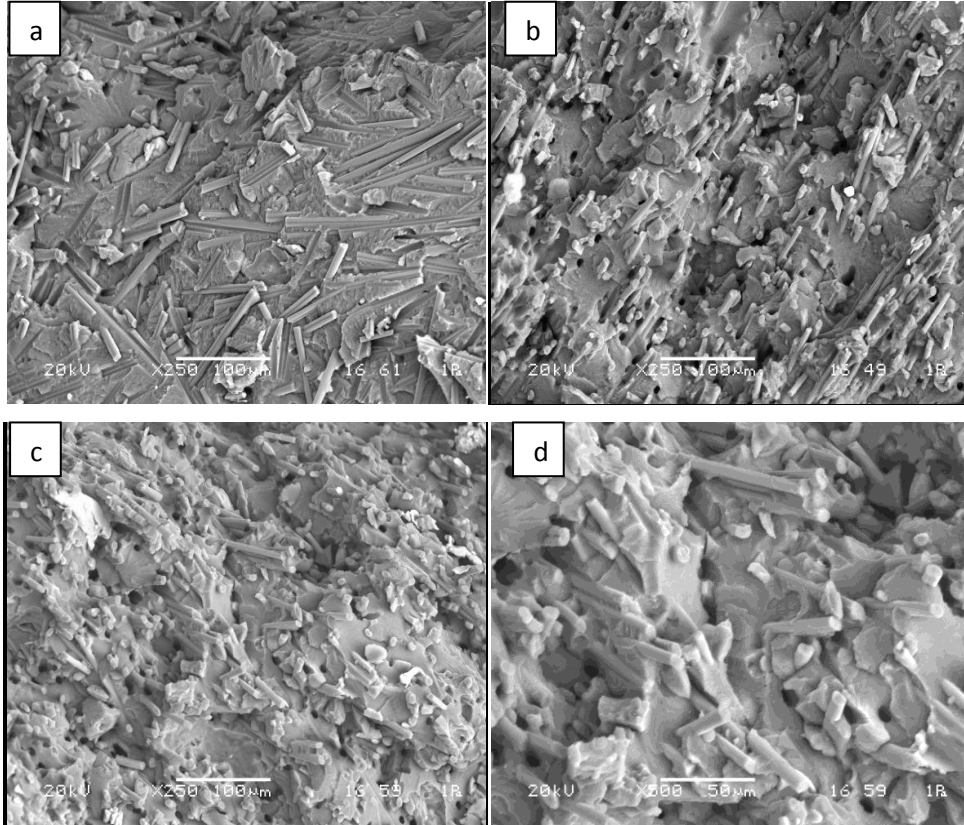
Şekil 5.11’de PPA+%5PTFE, PPA+%4Wax ve PPA+%30CF kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.11.a-PPA+%5PTFE, b-PPA+%4Wax, c,d- PPA+%30CF kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri

Şekil 5.11.a, b ile c,d’de yer alan PPA+%5PTFE, PPA+%4Wax ve PPA+%30CF kompozitlerinin kırılma yüzey görüntülerinden, PTFE ve wax’ın yapıda homojen olarak dağıldığı gözlenmektedir. Bununla beraber Şekil 5.11.c,d’de yer alan PPA+%30CF kompozitine ait kırılma yüzeyi görüntüsünde, kompozitte yer alan karbon fiberler açıkça görülmektedir. Aynı zamanda karbon fiberlerin, matris tarafından iyi ıslatıldığı gözlenebilmektedir. PPA+%30CF kompozitinin diğer kompozitlere oranla, daha yüksek elastiklik modülü ve çekme mukavemetine sahip olması, karbon fiberler ile matris arasındaki ıslatmanın iyi olmasına bağlanabilir. Bununla beraber, matristen ayrılan liflerin etrafında siyah halkalar oluştuğu göze çarpmaktadır. Bu siyah halkalar elyaf matristen ayrılırken elyafın çevresini saran matrisin lokal deformasyona uğramasından dolayı oluşmaktadır.

Şekil 5.12’de, PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax polimer kompozit numunelerine ait SEM resimleri verilmiştir.



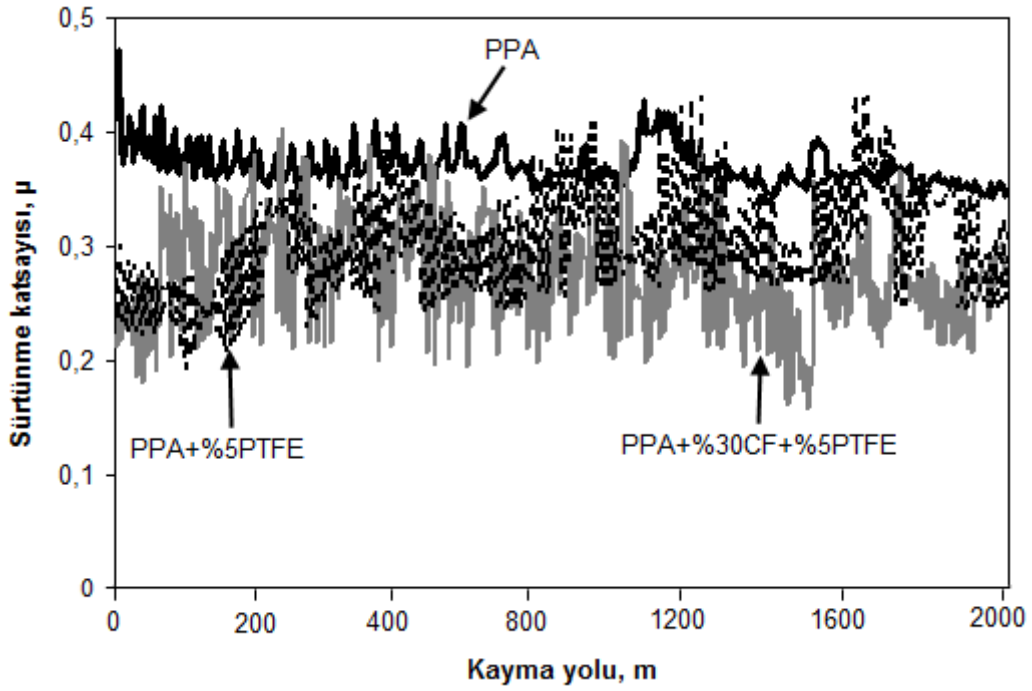
Şekil 5.12.a) PPA+%30CF+%5PTFE, b) PPA+%30CF+%4Wax, c,d)PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri

Her üç kompozitte de, çekme deneyi sırasında meydana gelen fiber sıyrılmaları göze çarpmaktadır. Bunun sebebi, matris ile fiber arasındaki ıslatmanın iyi olmaması olduğu düşünülmektedir.

### 5.1.2.I. Grup numunelerinin tribolojik özellikleri

#### 5.1.2.1. I. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi

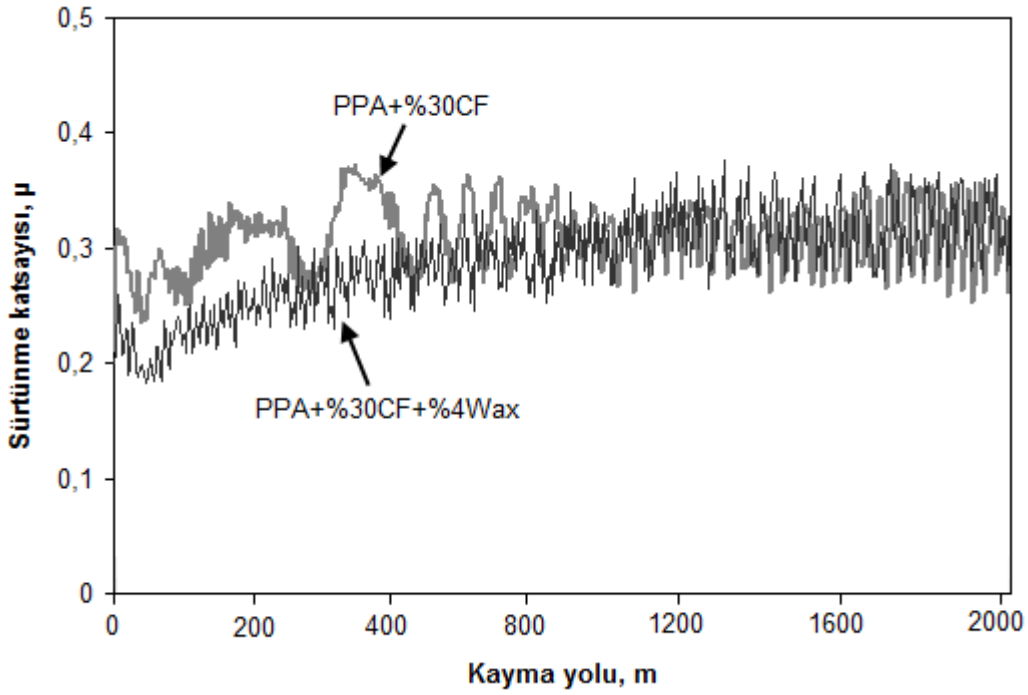
Şekil5.13’de, katkısız PPA ile 5PTFE ve %30CF+%5PTFE katkılı kompozit malzemelerin, 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir.



Şekil 5.13. Katkısız PPA, PPA+%5PTFE ve PPA+%30CF+%5PTFE kompozitlerinin 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 5.13'den de görüldüğü gibi katkısız PPA'nın sürtünme katsayısı 0,35 ile 0,39 arasında elde edilmiştir. Bununla beraber PPA+%5PTFE kompozitinin sürtünme katsayısı 0,23 ile 0,29 arasında, PPA+%30CF+%5PTFE kompozitinin sürtünme katsayısı ise 0,28 ile 0,34 arasında elde edilmiştir.

Şekil 5.14'de, PPA+%30CF kompoziti ile PPA+%30CF+%4Wax kompozitinin, 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir.

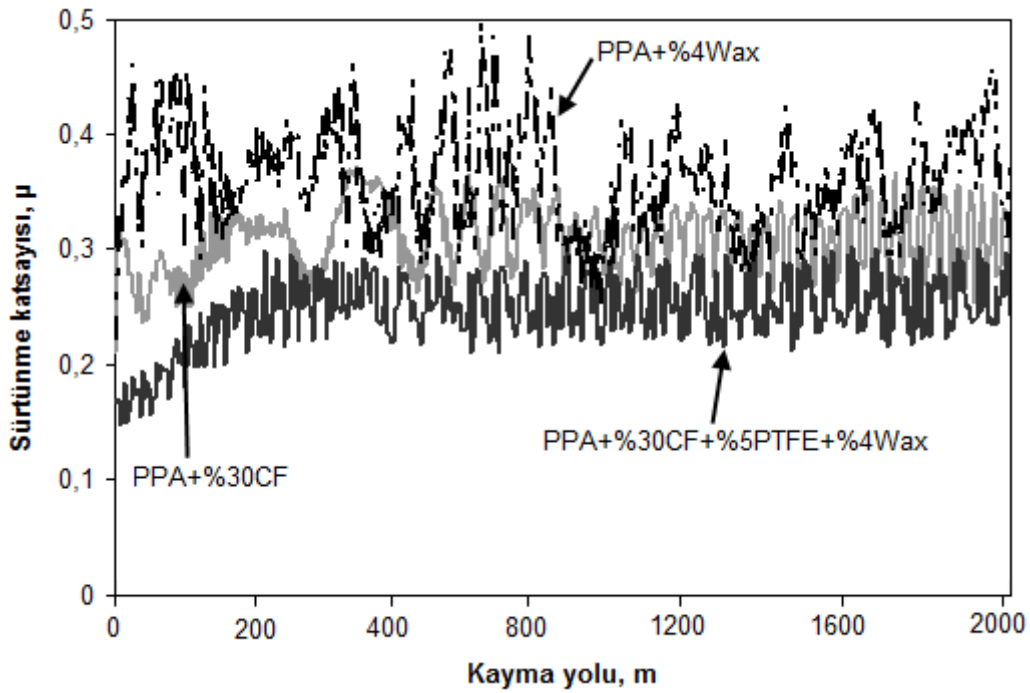


Şekil 5.14. PPA+%30CF ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerinin 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 5.14'den, PPA+%30CF kompoziti ile PPA+%30CF+%4Wax kompozitinin sürtünme katsayısı değerlerinin yaklaşık olarak 0,29 ile 0,35 seviyeleri arasında değiştiği ve yaklaşık 250 m. kayma mesafesinden sonra kararlı hal aşınmasına ulaşmıştır.

Şekil 5.15'de, PPA+%30CF, PPA+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin, 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir.





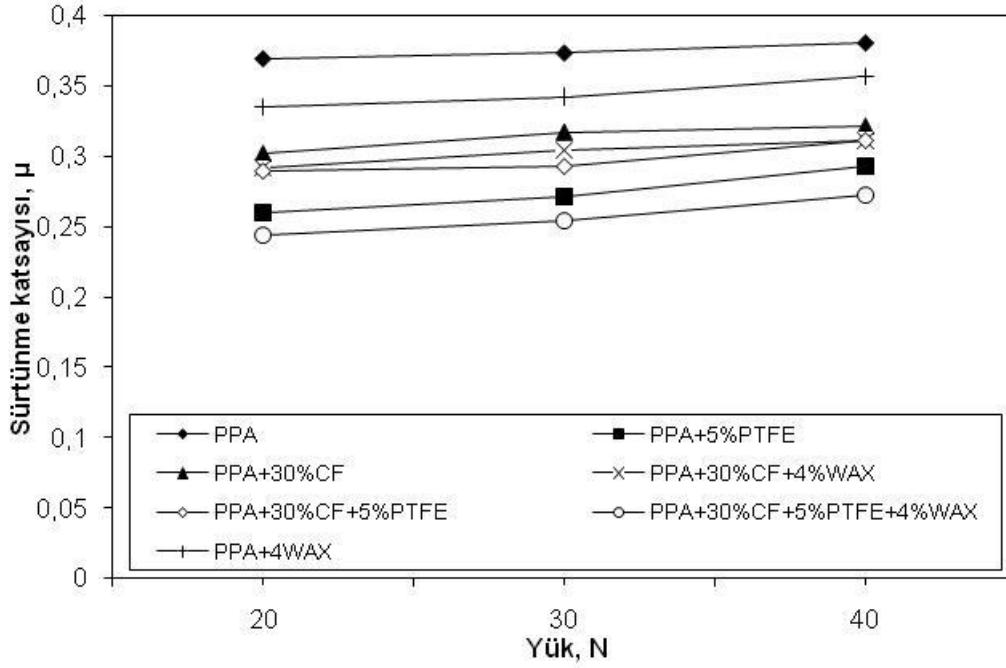
Şekil 5.15. PPA+%30CF, PPA+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 5.15'den, PPA+%30CF kompoziti sürtünme katsayısı 0,29 ile 0,31 arasında elde edilirken, PPA+%4Wax kompozitinin sürtünme katsayısı değerlerinin yaklaşık olarak 0,31 ile 0,38 arasında ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitinin sürtünme katsayısının ise 0,22 ile 0,28 arasında elde edilmiştir.

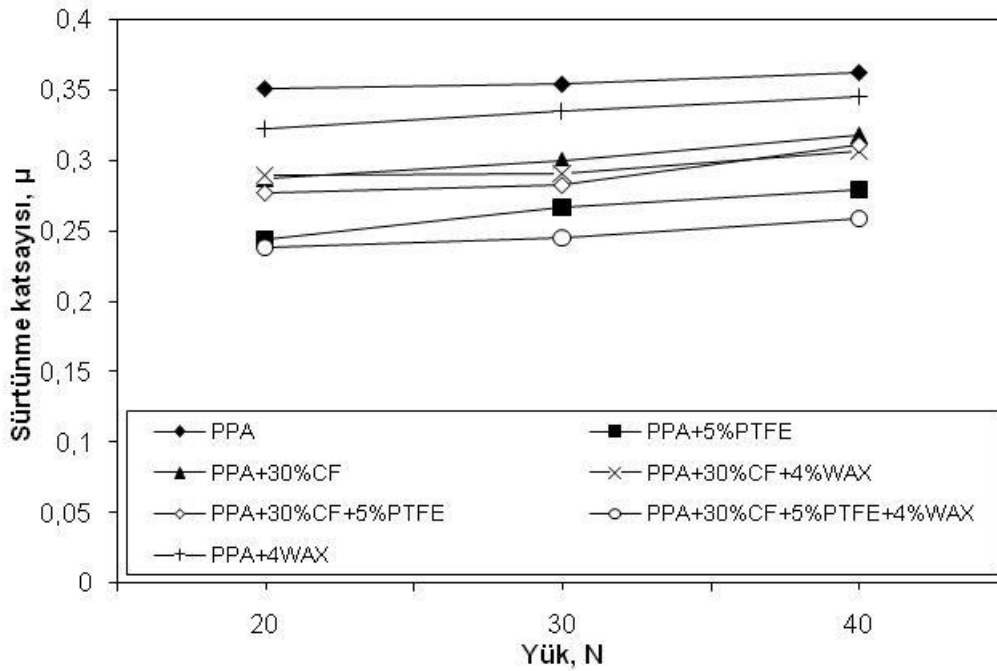
Çalışmada kullanılan polimer ve polimer kompozitlerinin sürtünme katsayısı, iki aşamalı olarak gerçekleşmiştir. Birinci aşamada, sürtünme katsayıları hızlı bir şekilde artmıştır. Kararlı hal aşınması olarak adlandırılan ikinci aşamada ise polimer ve kompozitlerin sürtünme katsayısı sabit bir değer almıştır. Bunun sebebi, başlangıç aşamasında, polimer malzemenin yüzeyindeki pürüzlü tepelerin şekillenmesi ve ikinci aşamada ise bu pürüzlü tepelerin kaybolması ve aşınma partiküllerinin yüzeyi örtmüş olmasıdır [65].

### 5.1.2.2. I. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi

Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de, katkısız PPA ile %30CF, 5PTFE, %4Wax, %30CF+%5PTFE, %30CF+%4Wax, %30CF+%5PTFE+%4Wax katkıli kompozit malzemelerin, 0,5 m/s ve 1m/s hızda, uygulanan yüke karşı sürtünme katsayılarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 5.16. I. Grup deney numunelerinin uygulanan yüke bağlı olarak 0,5 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı değişimleri



Şekil 5.17.I. Grup deney numunelerinin uygulanan yüke bağlı olarak 1 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı değişimleri

Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 incelendiğinde, uygulanan yükün artmasıyla, sürtünme katsayısının arttığı gözlenmiştir.

0,5 m/s hız ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın sürtünme katsayısı 0,3805 iken katkısız PPA'ya %30 oranında CF eklenmesiyle sürtünme katsayısı 0,3217'ye düşmüştür. Sürtünme katsayısındaki azalma, yaklaşık olarak %15,45 oranındadır. Aynı zamanda katkısız PPA polimerine %5 PTFE eklendiğinde, elde edilen kompozitin sürtünme katsayısı %23,2 azalmıştır. Katkısız PPA matris malzemesine %4 Wax eklendiğinde ise, elde edilen kompozit malzemenin sürtünme katsayısı %6,36 oranında azalmıştır.

PPA+%30CF kompozitine %5 PTFE ve %4 Wax eklendiğinde, malzemelerin sürtünme katsayılarında %3,26 ve %3,23 oranında azalmıştır. Bununla beraber PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine %4 Wax eklendiğinde ise sürtünme katsayısı %12,56 oranında azalmıştır.

Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, 0,5m/s kayma hızında en düşük sürtünme katsayısı 0,2722 değeri ile PPA+%30CF+%5PTFE+4Wax kompozitinde elde edilmiştir.

1 m/s kayma hızı ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın sürtünme katsayısı 0,3622 iken katkısız PPA'ya %30 oranında CF eklenmesiyle sürtünme katsayısının 0,3173'ye düşmüştür. Sürtünme katsayısındaki bu azalma, yaklaşık olarak %12,39 oranındadır. Aynı zamanda katkısız PPA'ya sırasıyla %5 PTFE ve %4 Wax eklendiğinde, elde edilen kompozitlerin sürtünme katsayılarının 0,2787 ve 0,3445 değerlerine azaldığı görülmüştür.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %5 oranında PTFE ve %4 oranında Wax eklendiğinde, malzemelerin sürtünme katsayıları 0,3105 ve 0,3060 değerlerine gerilediği gözlenmiştir. Aynı zamanda PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine %4 oranında wax eklendiğinde ise, sürtünme katsayısı 0,2585 değerini göstermiştir.

Şekil 5.17'de görüldüğü gibi, 1m/s hızda en düşük sürtünme katsayısını 0,2585 değeri ile PPA+%30CF+%5PTFE+4Wax kompoziti sergilemiştir.

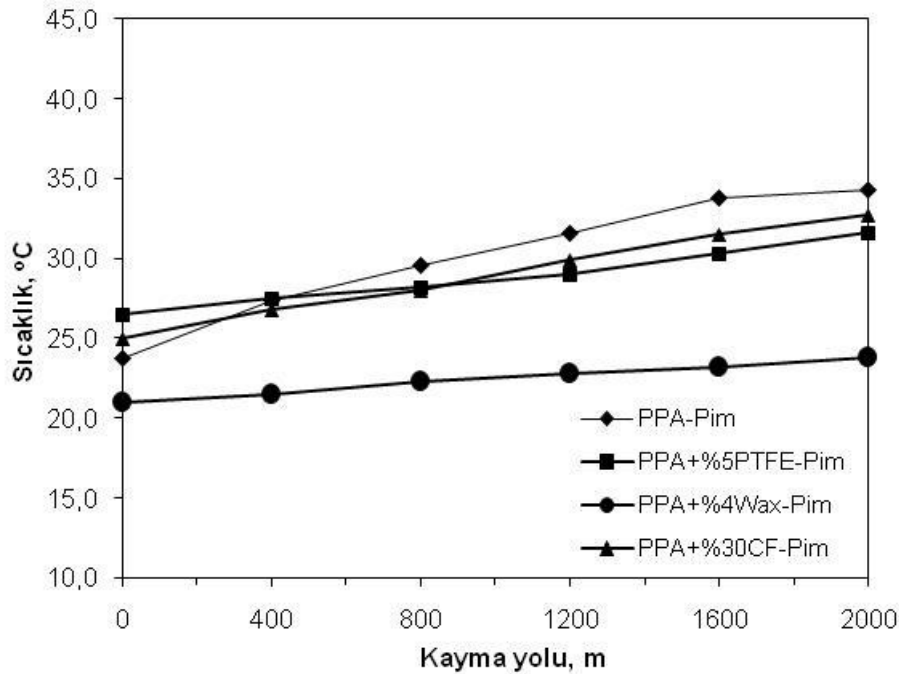
Daha önce yapılan çalışmalarda [35,38,39,40] naylon 1010, PEI, PA6 ve PEEK malzemelerine ilave edilen CF katkısının, kompozitlerin sürtünme katsayılarında düşürücü etkiye sahip olduğu, ek olarak literatürde yer alan bazı çalışmalarda da [45,51,52,53,54,49] aşınma testlerinde uygulanan yükün artışıyla birlikte malzemelerin sürtünme katsayılarının da artış gösterdiğitespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan sonuçlar ile benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Yani bulunan sonuçların literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Literatürde yer alan PTFE içeren kompozitlerle yapılan çalışmalarda [26,32,56,57,64] PEEK malzemesine, PA66/aramid elyaf kompozitine, epoksi+CF kompozitine, PMMA/CF kompozitine PPEK'e ilave edilen PTFE katkısının, kompozitlerin sürtünme katsayılarında düşürücü etki yaptığı tespit edilmiştir. Yani bulunan sonuçların literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

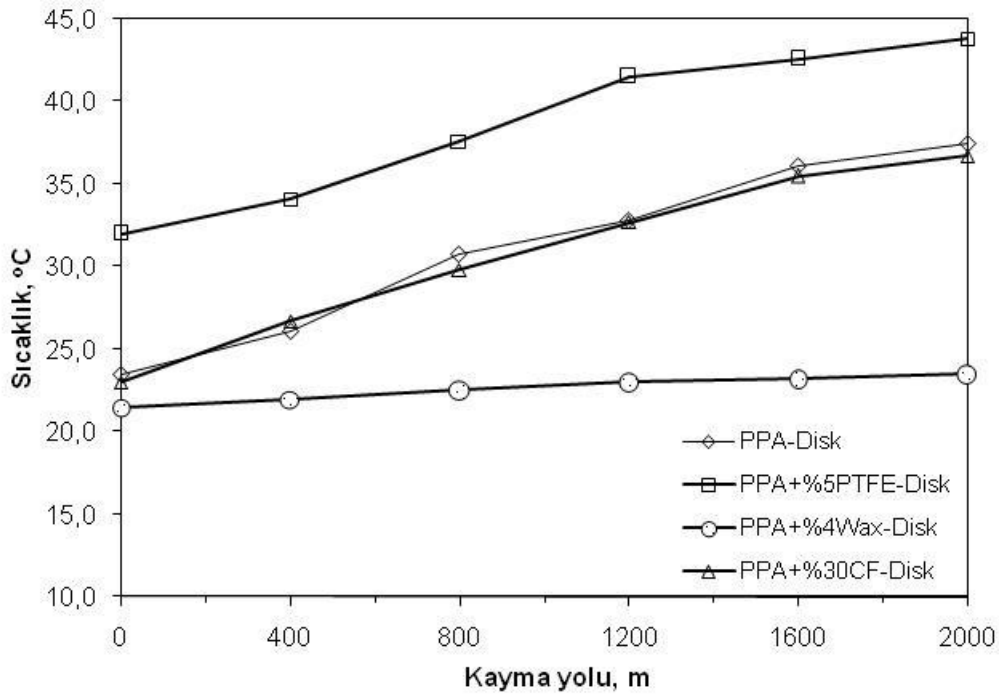
Literatürde yer alan Wax malzemesi içeren kompozitlerle yapılan çalışmada [52,28] wax katkılı poliasetal ve naylon6 kompozitlerinin sürtünme katsayısının, katkısız poliasetal ve naylon6 malzemesinin katsayısından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla wax içeren kompozitlere ait sürtünme katsayısı sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumludur.

Kayma hızı 0.5m/s'den 1m/s'yearttırıldığında, hem katkısız PPA'nın hem de PPA kompozit numunelerinin sürtünme katsayısı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Çalışmada PPA ve kompozitlerinin kayma hızı ile sürtünme katsayısının azalması literatürde daha önce yapılan [18,39,46,54,61] çalışmaları ile uyumludur.

1m/s kayma hızı ve 40N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sırasında katkısız PPA ile PPA+%5PTFE, PPA+%30CF ve PPA+%4Wax kompozit numunelerinin pimlerinde ve çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.18. PPA ile PPA+%5PTFE, PPA+%30CF ve PPA+%4Wax kompozit numunelerinin pimlerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük: 40N, Hız: 1m/s]

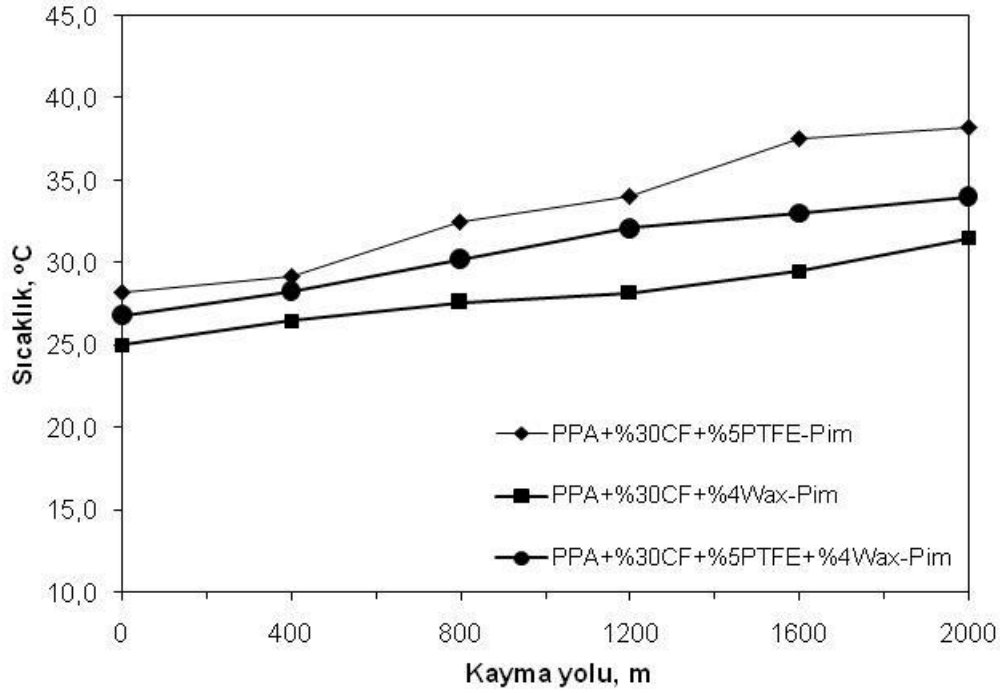


Şekil 5.19. PPA ile PPA+%5PTFE, PPA+%30CF ve PPA+%4Wax kompozit numuneleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük: 40N, Hız: 1m/s]

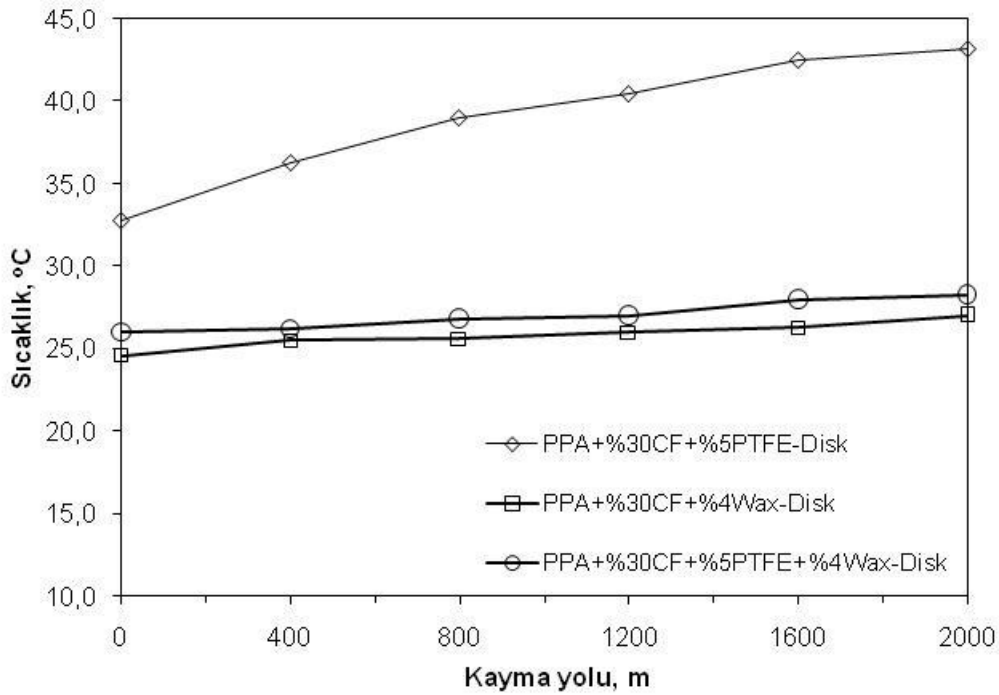
Şekil 5.18’de PPA ve %5 PTFE, %4 Wax katkı ve %30 CF takviyeli pim numunelerinin kayma yolu-sıcaklık değişimi görülmektedir. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde %4 Wax katkı PPA karışımının yüzey sıcaklığının 21°C’den 23,8°C arasında çok az arttığı, %5 PTFE ve %30 CF katkı PPA’nın pim yüzey sıcaklıklarının sırasıyla 26°C ve 25°C’den 31,6°C ve 31,8°C’ye yükseldiği gözlenmiştir.

Şekil 5.19’da verilen çelik disklerin sıcaklık değişimleri incelendiğinde; ulaşılan en yüksek sıcaklık değeri 43,8°C ile PPA+%5PTFE kompoziti ile çalışan çelik disk yüzeyinde elde edilmiştir. Katkısız PPA matrisi ile çalışan çelik disk ile PPA+%30CF kompoziti ile çalışan çelik disk, deney sonunda hemen hemen aynı sıcaklık değerlerini yani 23°C’den 35°C’ye yükseldiği görülmektedir. Deney sonunda ulaşılan en düşük disk sıcaklığını; 23,8°C değeri ile PPA+4Wax kompoziti ile çalışan çelik disk yüzeyinde elde edilmiştir. Şekil 4.18 ve 4.19’da görüldüğü gibi PPA+%4Wax karışımında PPA’ya Wax ilave edilmesiyle pim ve disk yüzey sıcaklıklarında yaklaşık 3°C sıcaklık artışı gözlenmiştir.

1m/s kayma hızı ve 40N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sırasında PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin pim numunlerinde ve birlikte çalıştıkları çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de verilmiştir.



Şekil 5.20. Aşınma deneyi sırasında PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin pim numunelerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük: 40N, Hız: 1m/s]



Şekil 5.21. Aşınma deneyi sırasında PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük: 40N, Hız: 1m/s]

Şekil 5.20'den, deney sonunda erişilen en yüksek pim sıcaklığını  $38,2^{\circ}\text{C}$  değeri ile PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine ait pim numunesinin sergilediği görülmektedir. Bununla beraber PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitinin pim numunesi  $27^{\circ}\text{C}$ 'den deney sonunda  $34^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşırken, PPA+%30CF+%4Wax kompozitinin pim numunesi ise  $25^{\circ}\text{C}$ 'den deney sonunda  $31,5^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır.

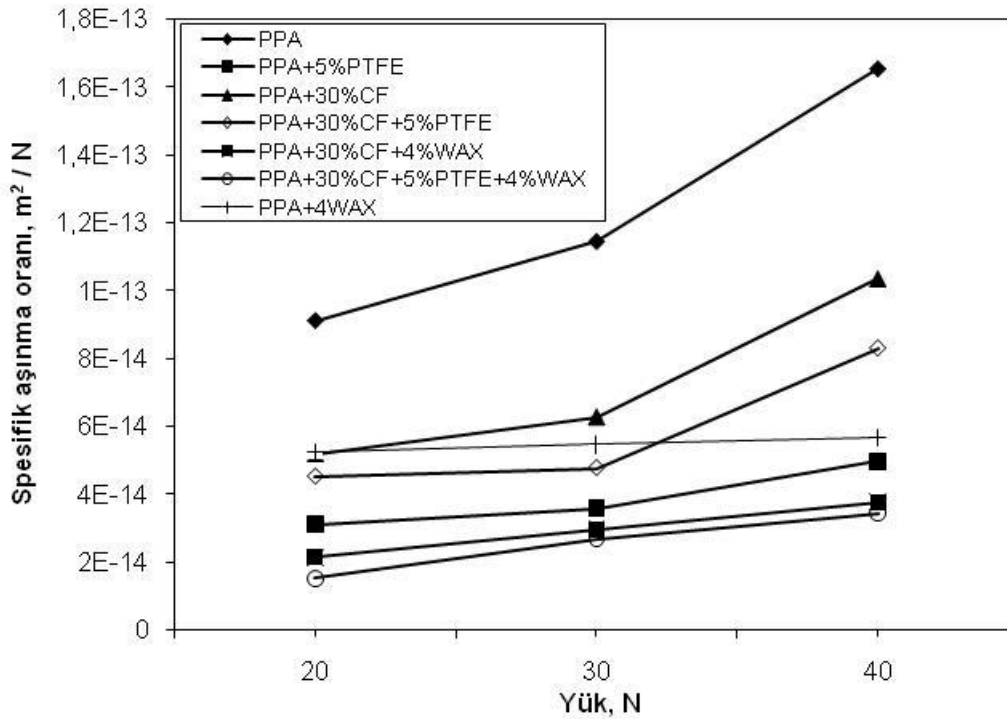
Şekil 5.21'de ise 2000 m kayma mesafesinin sonunda en yüksek sıcaklık değerine ulaşan çelik diskin  $43,2^{\circ}\text{C}$  değeri ile PPA+%30CF+%5PTFE kompoziti ile çalışan çelik disk olduğu görülmektedir. Bu malzeme ile çalışılırken hem pim hem de çelik disk yüzey sıcaklıkları diğer numanelere göre çok artmıştır. Deney sonunda ulaşılan en düşük sıcaklığı PPA+%30CF+%4Wax kompoziti ile çalışan çelik disk sergilemiştir. Bununla beraber, PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompoziti ile çalışan çelik disk de; PPA+%30CF+%4Wax kompoziti ile çalışan çelik diske yakın sıcaklık değerlerine ulaşmıştır. Wax ilaveli malzemeler, hem polimerin hem de çelik disklerin yüzey sıcaklıklarının artışına engel olmaktadır.



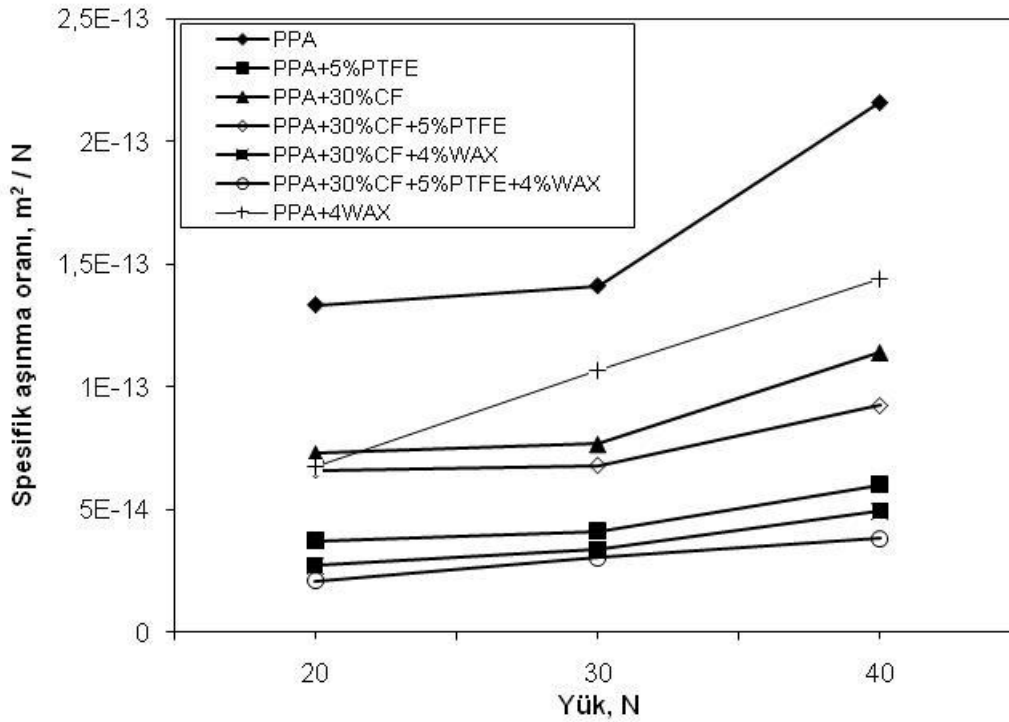
Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekli 5.20 ve Şekil 5.21'den görüldüğü gibi, hem pim hem de pim numuneleri ile çalışan çelik diskler açısından tüm deney numunelerinin sıcaklıklarında artış gözlenmiştir. Gerçekleşen sıcaklık artışının, sürtünmeden kaynaklanan ısı birikiminden meydana geldiği düşünülmektedir [44].

### 5.1.2.3. I. Grup numunelerinin spesifik aşınma oranı-yük ilişkisi

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de katkısız PPA ile %30CF, 5PTFE, %4Wax, %30CF+%5PTFE, %30CF+%4Wax, %30CF+%5PTFE+%4Wax katkılı kompozit malzemelerin, 0,5 m/s ve 1m/s kayma hızında, uygulanan yüke karşı spesifik aşınma oranlarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 5.22. I. Grup deney numunelerinin 0,5 m/s kayma hızında spesifik aşınma oranı-yük grafiği



Şekil 5.23. I. Grup deney numunelerinin 1 m/s kayma hızında spesifik aşınma oranı-yük grafiği

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’de de görüldüğü gibi, tüm malzemelerde uygulanan yükün artmasıyla spesifik aşınma oranının arttığı gözlenmiştir.

Şekil 5.22 ve 5.23’de görüldüğü gibi, katkısız PPA, 20 ile 40N yük aralığında en fazla aşınan malzeme olarak tespit edilmiştir. Bu aralıktaki PPA polimerinin spesifik aşınma oranı ortalama  $1,7 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak bulunmuştur. PPA’ya %30 oranında CF eklenmesiyle spesifik aşınma oranının  $1,03 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  değerine düşmüştür. Spesifik aşınma oranındaki bu düşüş, yaklaşık olarak %37,57’dir. Aynı zamanda katkısız PPA’ya sırasıyla %5 oranında PTFE ve %4 oranında Wax eklendiğinde, elde edilen kompozitlerin spesifik aşınma oranlarının  $4,9 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $5,66 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değerlerine düştüğü, gerçekleşen bu düşüşlerin ise sırasıyla %69,91 ve %65,73 civarında olduğu gözlenmiştir.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %5 oranında PTFE ve %4 oranında Wax eklendiğinde, malzemelerin spesifik aşınma oranlarının  $8,29 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,77 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ’e düştüğü ve gerçekleşen bu düşüşlerin yaklaşık olarak %19,9 ve %63,57 civarında olduğu görülmüştür. Buna ilave olarak, PPA+%30CF+%5PTFE

kompozitine %4 oranında wax ilave edildiğinde ise spesifik aşınma oranının  $3,42 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değerine düştüğü gözlenmiştir. Bu düşüş yaklaşık olarak %9,28'dir.

Şekil 5.22'de görüldüğü gibi, 0,5m/s kayma hızı ve 40N yük altında, en yüksek spesifik aşınma oranını  $1,65 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile katkısız PPA sergilerken; en düşük spesifik aşınma oranını ise  $3,42 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile PPA+%30CF+%5PTFE+4Wax kompoziti sergilemiştir.

1 m/s kayma hızı ile 40N yük altında, katkısız PPA'nın spesifik aşınma oranı  $2,16 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$ 'dir. Katkısız PPA'ya %30 oranında CF eklendiğinde ise spesifik aşınma oranının  $1,14 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  değerine düştüğü görülmüştür. Gerçekleşen bu düşüş yaklaşık %95'dir. Aynı zamanda PPA+%5PTFE ve PPA+%4Wax kompozitleri için sırasıyla  $6,01 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,43 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  değerleri elde edilmiştir. Katkısız PPA'nın spesifik aşınmasına göre gerçekleşen düşüş oranları %72 ve %93,3 civarındadır.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %5 oranında PTFE ve %4 oranında Wax eklendiğinde, malzemelerin spesifik aşınma oranlarının  $9,23 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $4,93 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değerlerine düştüğü gözlenmiştir. Değerlerde gerçekleşen azalmalar sırasıyla %10 ve %52 civarındadır. Buna ilaveten PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine wax eklendiğinde ise spesifik aşınma oranının %58,7 düşerek  $3,81 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değerini aldığı gözlenmiştir.

Şekil 5.23'de görüldüğü gibi, 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında, en yüksek spesifik aşınma oranını  $2,16 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile katkısız PPA sergilerken; en düşük spesifik aşınma oranını ise  $3,81 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile PPA+%30CF+%5PTFE+4Wax kompoziti sergilemiştir. Bunun sebebi ise CF, PTFE ve wax katkılarının yağlayıcı özellikleri dolayısıyla çelik disk üzerinde film oluşmakta, bu da aşınma oranının azalmasına sebep olmaktadır.

PPA'ya sadece yağlayıcı olarak wax ve PTFE ilave edilmesi aşınma oranının düşmesine etki etmiştir. Bunun yanında PPA+%30CF+%4Wax kompoziti ile PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitleri daha iyi aşınma direnci göstermiştir.

Literatürde yer alan daha önce yapılan çalışmalarda [35,37,38,47] CF takviyeli naylon 1010, poliimid, PEI ve UHMWPE kompozitlerinin, katkısız naylon 1010, poliimid, PEI ve UHMWPE'den daha düşük spesifik aşınma oranına sahip olduğutespit edilmiştir. Diğer taraftan literatürde yer alan bazı çalışmalarda [44,47,70] cam elyaf takviyeli polyester, karbon elyaf takviyeli UHMWPE ve cam elyaf ile PTFE katkılı polifitalamid kompozitlerinin spesifik aşınma oranlarının, artan yüklerle beraber artış gösterdiğini tespit edilmiştir. Dolayısıyla literatürde, bulunan sonuçlarla uyumlu çalışmalar bulunmaktadır. PPA+%30CF, PPA+%30CF+%5PTFE ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin, aşınma yüzeyi mikroyapı görüntülerinde, karbon fiberler açıkça görülmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda [55,58,62] PA66 malzemesine, PA6/GF kompozitine, PA6 ve PA12 malzemelerine PTFE eklenmesiyle, kompozitlerin spesifik aşınma oranında düşüş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Şekil 5.24.d ve Şekil 5.25.f'de verilen PPA+%30CF+%5PTFE ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin aşınma sırasında birlikte çalıştıkları çelik disk yüzeylerinde, PTFE film tabakası görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan sonuçlar ile benzer sonuçlar belirlenmiştir, yani literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

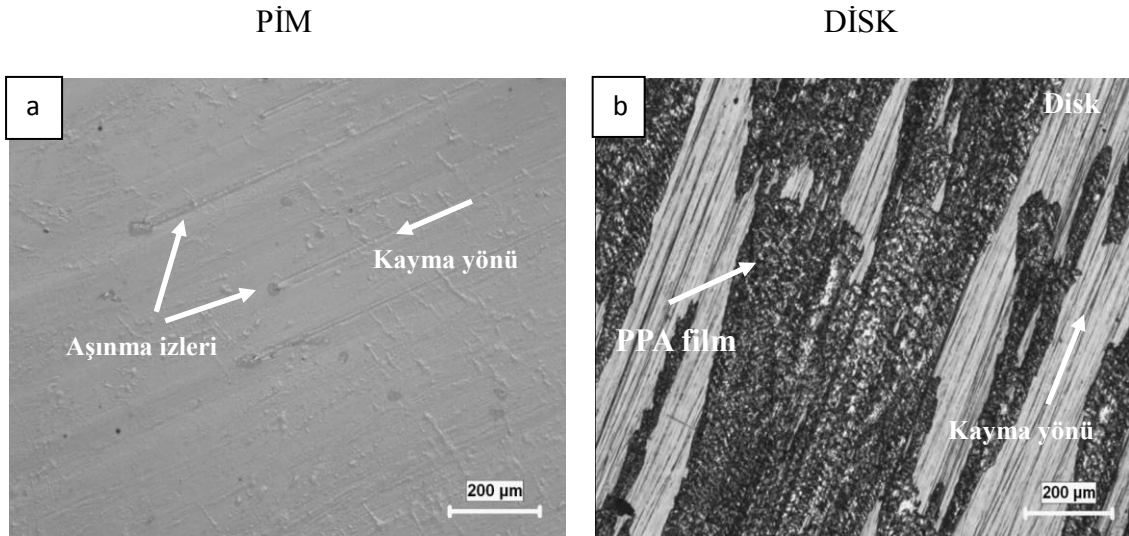
Literatürde yer alan ve wax malzemesi ile yapılan bir çalışmada [28] PA6+%10PTFE kompozitlerine eklenen wax malzemesinin, kompozitlerin spesifik aşınma oranlarında düşürücü etkiye sahip olduğu, ek olarak spesifik aşınma oranının artan yüklerle beraber artış gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 5.18 ve Şekil 5.20'den PPA+%4wax, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin, aşınma deneyleri sırasında sıcaklıklarında meydana gelen artış, diğer deney numunelerine oranla daha düşüktür. Dolayısıyla bulduğumuz sonuçlar, literatür ile uyumludur.

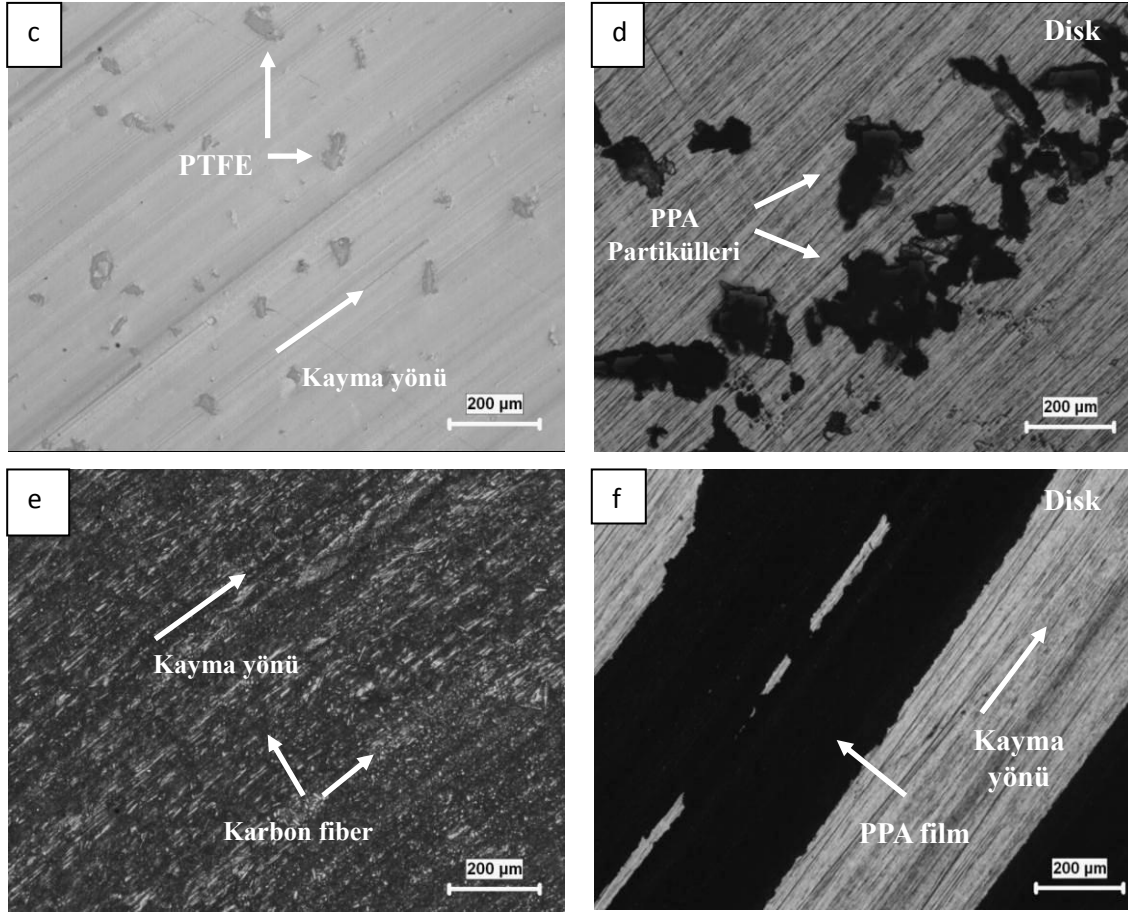
Genel olarak, kayma hızı 0,5 m/s'den 1,0 m/s'ye yükseltildiğinde yani %100 arttırıldığında, birinci grup numunelerinin sürtünme katsayısı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda [18,39,46,54,61] kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmiştir.

Genel olarak kayma hızı 0,5 m/s'den 1,0 m/s'ye yükseltildiğinde yani %100 arttırıldığında, tüm deney numunelerinin spesifik aşınma oranlarında artış olduğu gözlenmiştir. Yani hem 0,5 m/s hem de 1 m/s kayma hızında, en düşük spesifik aşınma oranını PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitinde gözlenmiştir. Literatürde yer alan ve daha önce yapılan çalışmalarda da [18,49,53,54,60] kayma hızının arttırılmasıyla, kompozitlerin spesifik aşınma oranlarında artış gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan sonuçlar ile benzer sonuçlar gözlenmiştir.

#### 5.1.2.4. I. Grup numunelerinin aşınma numunelerine ait mikroyapı görüntüleri

1 m/s kayma hızı ve 40N yük koşulları altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri numunelerinden, mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Katkısız PPA, PPA+%5PTFE ve PPA+%30CF kompozitleri pim ve disk yüzeylerine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri Şekil 5.24.a-f'de verilmiştir.





Şekil 5.24. a,b-Katkısız PPA ve disk, c,d-PPA+%5PTFE ve disk, e,f-PPA+%30CF ve diske ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri[Yük: 40N, Hız: 1,0 m/s]

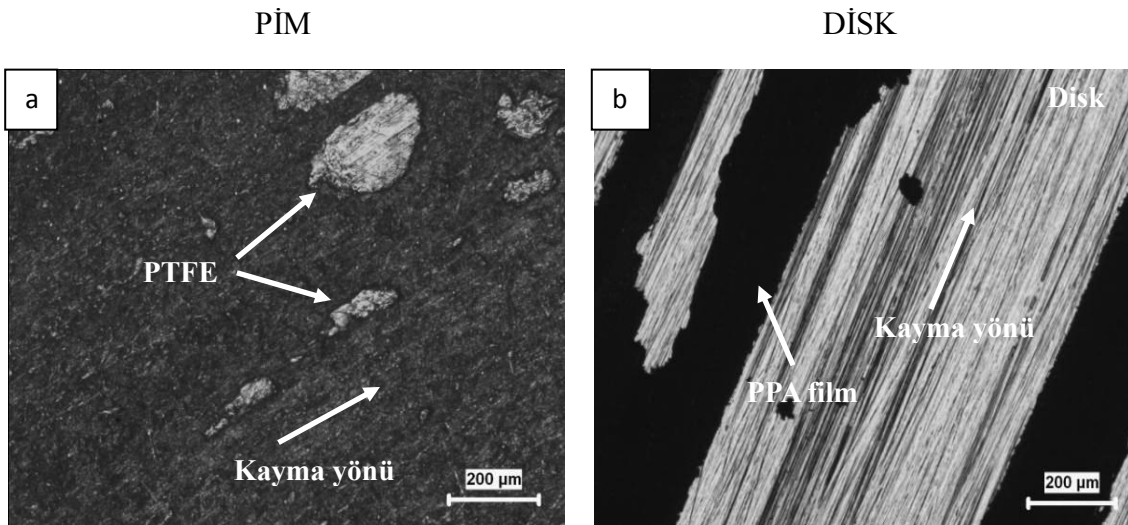
Şekil 5.24-a'da yer alan katkısız PPA aşınma numunesine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüsünden, pim numunesi üzerinde aşınma izlerinin olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 5.24.b'de yer alan çelik disk mikroyapı görüntüsünden de çelik disk üzerinde yapışmalar olduğu görülebilmektedir. PPA polimeri yumuşak malzeme olduğu için aşınma sırasında bu yapışmaların gerçekleştiği düşünülmektedir. Çok az miktarda abrazyif ama yüksek miktarda adhezif aşınmanın gerçekleştiği düşünülmektedir.

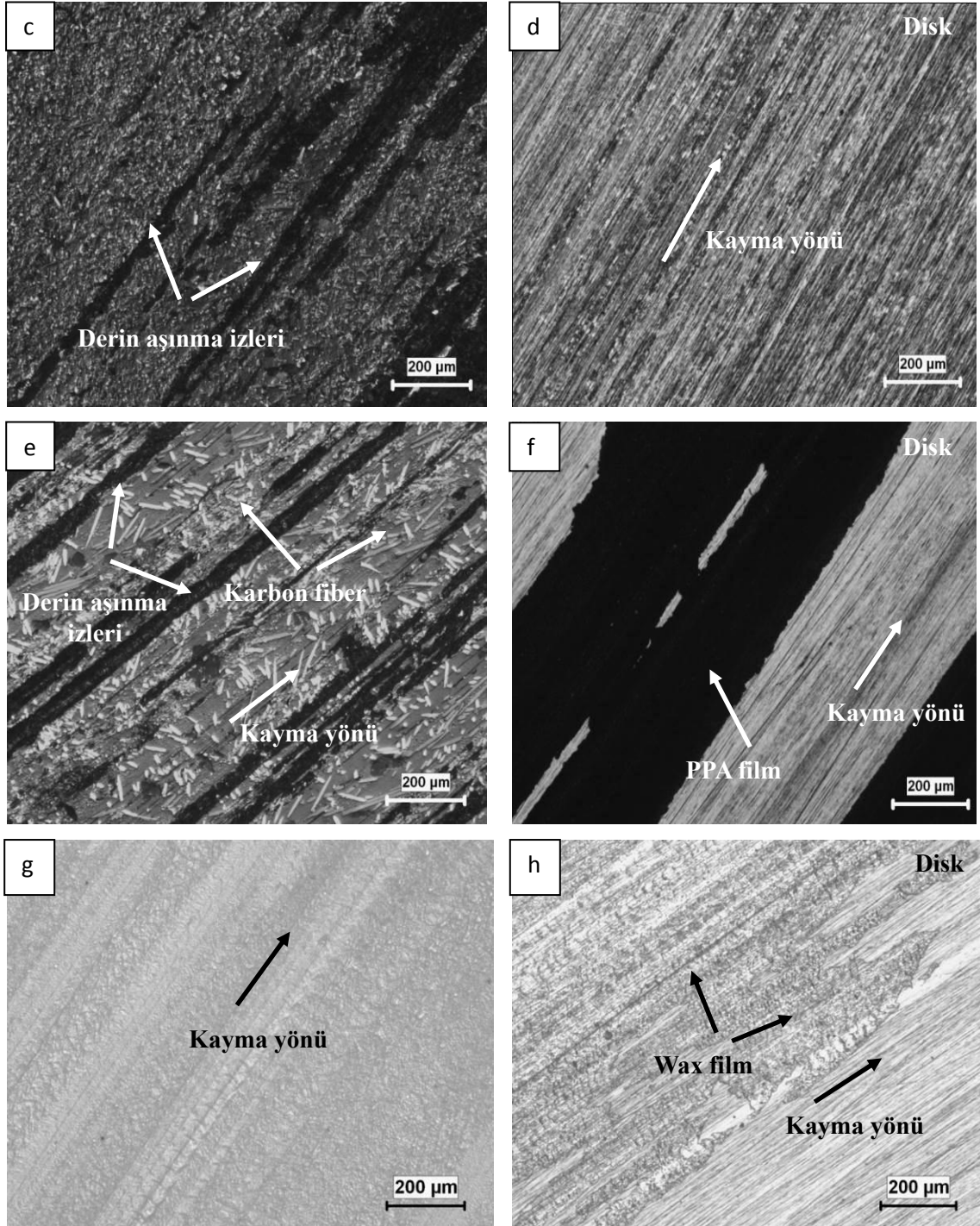
Şekil 5.24-c'de yer alan mikroyapı görüntüsünden; PPA+%5PTFE kompozitine ait numunenin yüzeyinde aşınma kanalları görülmektedir. Bununla beraber Şekil 5.24-d'de yer alan çelik disk yüzeyine ait mikroyapı görüntüsü de, çelik disk üzerinde yapışmanın çok az olduğu gözlenmektedir. PPA+%5PTFE kompozitinin abrazyif aşınma gerçekleştirdiği düşünülmektedir.

Şekil 5.24-e'deki pim numuneye ait mikroyapı görüntüsünde numunede yer alan karbon fiberler gözlenebilmektedir. Bununla beraber, pim yüzeyinde aşınma kanalları görülmektedir. PPA+%30CF yapısında yer alan fiberlerin, aşınma sırasında kırılıp, abrazif olarak davranmalarından dolayı abrazif aşınma sergilediği düşünülmektedir.

Şekil 5.24-f'deki çelik disk yüzeyi görüntüsünden çelik disk yüzeyinde yapışmaların olduğu görülmektedir. Bu sebeplerden PPA+%30CF kompozitinin hem adhezif hem de abrazif aşınma gerçekleştirdiği düşünülmektedir.

I. Grup numunelerinden PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax, PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%4Wax kompozitlerine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri Şekil 5.25'de yer almaktadır.





Şekil 5.25. a,b-PPA+%30CF+%5PTFE ve disk, c,d-PPA+%30CF+%4Wax ve disk, e,f-PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax ve disk, g,h- PPA+%4Wax ve diske ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri [Yük:40N, Hız: 1,0 m/s]

Şekil 5.25-a'da yer alan PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine ait pim numunesinin mikroyapı görüntüsünde, yapıda yer alan teflon malzemesi görülebilmektedir. Aynı zamanda yüzeyde abrazyon aşınma kanallarının varlığı görülebilmektedir. Şekil 5.25-b'de yer alan çelik disk yüzeyine ait mikroyapı görüntüsünde ise; çelik disk



yüzeyindeki yapışmalar açıkça görülebilmektedir. PPA+%30CF+%5PTFE kompozitinin, hem adhezif hem de abrazif aşınma gerçekleştirdiği düşünülmektedir.

Şekil 5.25-c'de PPA+%30CF+%4Wax kompozitine ait aşınma numunesine ait mikroyapı görüntüsünde, aşınma numunesinin yüzeyinde yer alan aşınma kanalları açıkça görülebilmektedir. Aynı zamanda Şekil 5.25-d'de yer alan çelik disk yüzeyine ait mikroyapı görüntüsünden, çelik disk üzerindeki yapışma olmadığı göze çarpmaktadır. Ancak çelik disk yüzeyinde, kırılmış karbon fiberler görülmektedir. Dolayısıyla PPA+%30CF+%4Wax kompozitinin abrazif aşınma sergilediği düşünülmektedir.

Şekil 5.25-e'deki mikroyapı görüntüsünde, PPA+%30CF+5PTFE+%4Wax kompoziti yapısında yer alan karbon fiberler, aşınma numunesi yüzeyinde açıkça görülebilmektedir. Bununla beraber abrazif aşınmayı kanıtlayan, aşınma kanalları da aşınma numunesi yüzeyinde görülmektedir. Şekil 5.25-f'deki mikroyapı görüntüsünde ise, çelik disk yüzeyindeki yapışmalar dikkati çekmektedir. Dolayısıyla PPA+%30CF+5PTFE+%4Wax kompozitinin hem adhezif hem de abrazif aşınma gerçekleştirdiği düşünülmektedir.

PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerinin abrazif aşınma sergilemelerinin sebebi olarak; yapıda yer alan karbon fiberlerin, aşınma deneyi sırasında kırılarak, abrazif parçacıklar olarak davranmaları olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber, bu kompozitlerin aynı zamanda adhezif aşınma sergiledikleri düşüncesinin sebebi ise; kompozit yapılarında yer alan ve yağlayıcı olarak davranan PTFE ve wax malzemelerinin, çelik disk üzerinde üç boyutlu film tabakası oluşturdukları düşüncesidir.

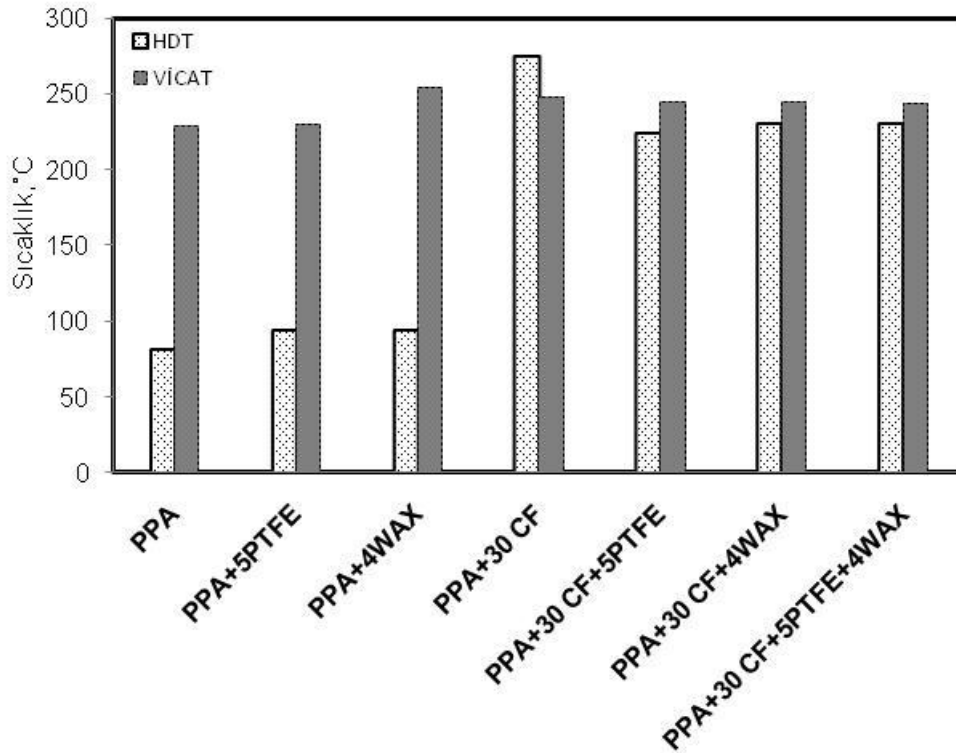
Şekil 5.25-g'deki mikroyapı görüntüsünden; PPA+%4Wax kompozitine ait aşınma numunesi yüzeyinde yer alan aşınma kanalları göze çarpmaktadır. Aynı zamanda yüzeyin, PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerine ait aşınma numunesi yüzeylerinden daha düzgün bir yüzeye sahip olduğu söylenebilir. Bununla beraber Şekil 5.25-h'deki

mikroyapı görüntüsünden de; çelik disk yüzeyindeki yapışmalar dikkati çekmektedir. Çelik disk yüzeyindeki yapışmaların, PPA+%4wax kompozitinde yer alan ve kendinden yağlayıcı olan wax malzemesinin, çelik disk üzerinde transfer film oluşturmasından dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. Çelik disk yüzeyindeki pürüzlülükler ve kalıntılar, PPA matrisinden daha sert olduğu için, aynı zamanda abrazif aşınmanın da gerçekleştiği düşünülmektedir.

### 5.1.3.I. Grup numunelerinin termal analizleri

#### 5.1.3.1. I. Grup numunelerinin yük altında eğilme (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları

I. Grupta yer alan polimer numunelere uygulanan sıcaklık altında eğilme (HDT) testi ve Vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları, Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.26. I. Grup deney numunelerinin HDT ve Vicat test sonuç değerleri

Şekil 5.26'den görüldüğü gibi birinci grup numunelerine yapılan HDT testi sonucunda, PPA matris malzemesinin yük altında eğilme sıcaklığı 80,8°C olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %5 oranında PTFE ve %4 oranında wax eklendiğinde, elde edilen malzemenin yük altında eğilme sıcaklığının 94°C elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %30 oranında CF eklendiğinde, elde edilen malzemenin yük altında eğilme sıcaklığının 274,3°C'ye ulaşmıştır. Eurotec firmasının PPA+%30CF kompozisyonlu malzemesinin yük altında eğilme sıcaklığı yaklaşık olarak 290°C olduğu belirtilmiştir [13].

PPA+%30CF malzemesine sırasıyla %5 oranında PTFE ve %4 oranında wax eklendiğinde, elde edilen malzemelerin yük altında eğilme sıcaklıkları 223°C ve 230,1°C olarak elde edilmiştir. Eurotec firmasının PPA+%30CF+%5PTFE kompozisyonlu bir malzemesi olmadığı için, RTP firmasının 285 TFE5, PA66+%30CF+%5PTFE kompozisyonlu malzemesi incelenmiştir. Bu malzemenin yük altında eğilme sıcaklığının 249°C olduğu belirtilmiştir [123]. Dolayısıyla, PTFE ilavesi, kompozitin yük altında eğilme sıcaklığını azaltmaktadır. Bulduğumuz sonuçlar, literatür [123] ile uyum göstermektedir.

Birinci grup numunelerine uygulanan vicat yumuşama sıcaklığı testi sonuçları, Şekil 5.26'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre PPA matris malzemesinin vicat yumuşama sıcaklığının 229,1°C olduğu görülmektedir. Eurotec firmasının NT40 NL kodlu PPA malzemesinin, vicat yumuşama sıcaklığı 245°C'dir [13]. PPA matris malzemesine sırasıyla, %5 PTFE ve %4 Wax eklendiğinde ise elde edilen malzemelerin vicat yumuşama sıcaklıklarının 230,3°C ve 254°C'ye yükseldiği gözlenmiştir. Eurotec firmasının PPA+%5PTFE kompozisyonlu malzemesi bulunmadığı için, Lehmann & Voss & Co.KG 1-8379 kodlu PA66+%5PTFE kompozisyona sahip malzemesi incelenmiştir. Bu malzemenin vicat yumuşama sıcaklığı 240°C olduğu belirtilmiştir [123]. Dolayısıyla elde ettiğimiz sonuçlar, literatür ile yakın değerlerdedir.

PPA matris malzemesine %30 oranında CF eklendiğinde, elde edilen malzemenin vicat yumuşama sıcaklığının 248°C'ye artmıştır. Eurotec firması PPA+%30CF kompozisyonlu malzemesinin vicat yumuşama sıcaklığını buldurmadığı için,

Plastcom firmasının SLOVAMID kodlu malzemesinin incelenmiştir. Bu malzemenin vicat sıcaklığının yaklaşık olarak 240°C'dir [124]. Bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyumludur.

PPA+%30CF malzemesine sırasıyla %5 PTFE ve %4 Wax ilave edildiğinde, elde edilen malzemelerin vicat yumuşama sıcaklıklarının 244,6°C ve 244,4°C olduğu gözlenmiştir. Eurotec firmasının PPA+%30CF+%5PTFE kompozisyonlu bir malzemesi bulunmadığı için, Lehmann & Voss &Co.KG firmasının, PA66+%30CF+%5PTFE kompozisyonlu malzemesi incelenmiştir. Bu malzemenin vicat yumuşama sıcaklığının 250°C olduğu belirtilmiştir [124]. Bulunan sonuçlar literatür ile uyumludur.

PPA+%30CF+%5PTFE malzemesine %4 oranında wax eklendiğinde, malzemenin vicat yumuşama sıcaklığının 243,7°C olduğu gözlenmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda [19,66] PA6 ile PA6/kil kompozitine ve PPS malzemesine eklenen CF malzemesinin, kompozitlerin camsı geçiş sıcaklığında ve yük altında eğilme sıcaklıklarında düşüşe sebep olduğu tespit edilmiştir. Test numuneleri arasında CF içeren kompozitlerin yük altında eğilme sıcaklıkları, katkısız PPA ve PPA+%5PTFE kompozitinin yük altında eğilme sıcaklıklarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, bulduğumuz sonuçlar literatür [19,66] ile uyumludur.

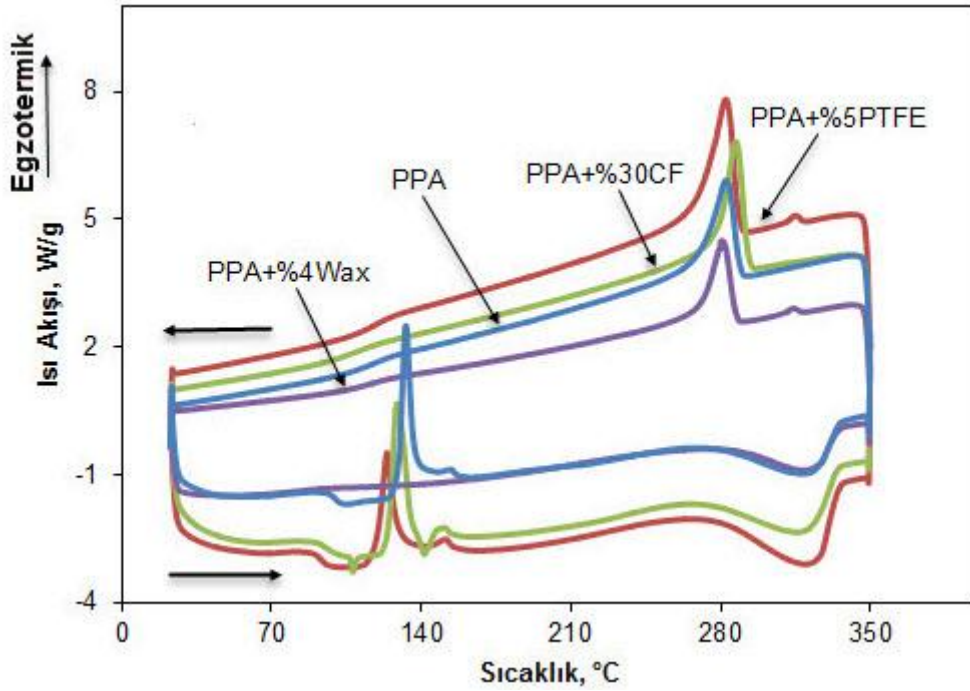
### **5.1.3.2. I. Grup numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi sonuçları**

Deney numunelerinin camsı geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı ve erime sıcaklıklarını belirlemek amacıyla DSC analizi uygulanmıştır. Katkısız PPA, PPA+%30CF, PPA+%5PTFE ve PPA+%4Wax kompozitlerine ait DSC analizi sonuçları Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10. I. Grup deney numunelerinin DSC analizi sonuçları

Numune İsmi	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH (J/g)- T <sub>c</sub>	ΔH (W/g)- T <sub>m</sub>
PPA	101,41	282,16	322,44	36,46	31,91
PPA+%5PTFE	96,15	282,37	324	32,04	36,38
PPA+%30CF	108,18	287,01	320,29	32,62	36,08
PPA+%30CF+%5PTFE	68,38	280,36	318,63	23,27	33,20
PPA+%30CF+%4Wax	69,11	286,79	319,98	22,84	30,80
PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax	88,63	278,99	327,21	21,09	23,05
PPA+%4Wax	81,25	280,43	322,51	19,36	19,32

Katkısız PPA ile PPA+%30CF, PPA+%5PTFE, PPA+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri Şekil 5.27’de verilmiştir.



Şekil 5.27. PPA ile PPA+%30CF, PPA+%5PTFE, PPA+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri

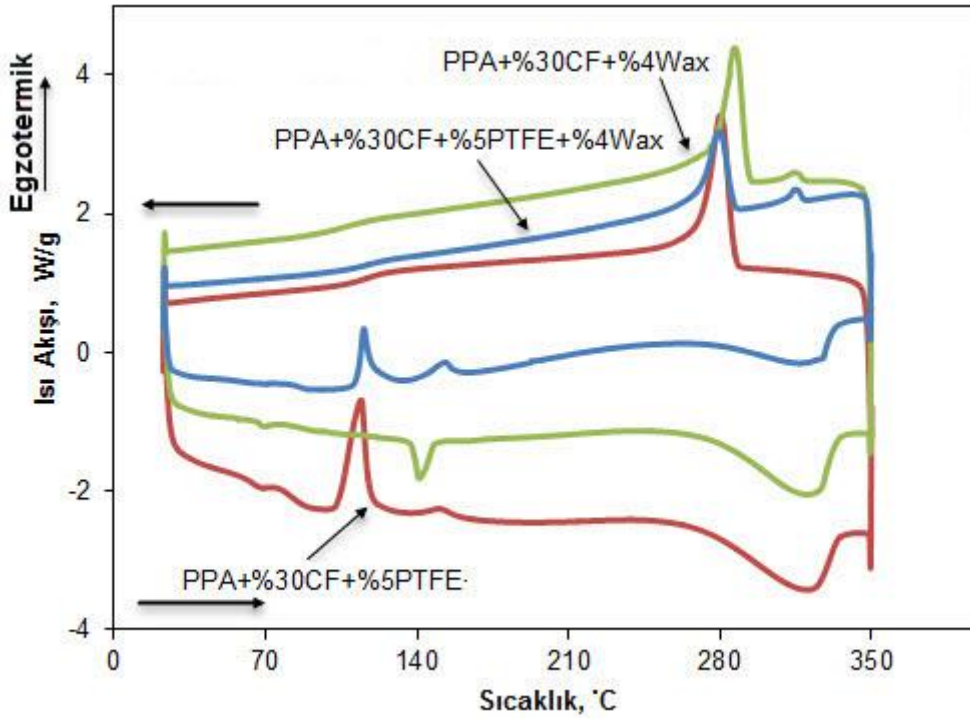
Katkısız PPA'nın camısı geçiş sıcaklığının (T<sub>g</sub>) 101,41°C, kristalleşme sıcaklığının (T<sub>c</sub>) 282,16°C ve ergime sıcaklığının (T<sub>m</sub>) 322,44°C olduğu gözlenmiştir. PPA'ya %30 oranında CF ilave edildiğinde camısı geçiş sıcaklığı 108,18°C, kristalleşme sıcaklığı 287,01°C'ye ve ergime sıcaklığı olarak 320,29°C elde edilmiştir. Camısı

geçiş sıcaklığında %6,6 ve kristalleşme sıcaklığında %1,1 artış gerçekleşirken, ergime sıcaklığında %0,6 oranında düşüş gerçekleşmiştir.

PPA matris malzemesine %5 oranında PTFE eklendiğinde camsı geçiş sıcaklığı  $96,15^{\circ}\text{C}$ , kristalleşme sıcaklığı  $282,37^{\circ}\text{C}$  ve ergime sıcaklığı  $324^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmüştür. Katkısız PPA'ya göre camsı geçiş sıcaklığında %5,1 azalma gerçekleşmiştir. Bununla beraber kristalleşme sıcaklığında önemli bir değişim gözlenmezken, ergime sıcaklığında çok küçük bir artış olduğu görülmektedir.

PPA'ya %4 oranında wax malzemesi ilave edildiğinde, elde edilen kompozitin camsı geçiş sıcaklığının  $81,25^{\circ}\text{C}$ , kristalleşme sıcaklığının  $280,43^{\circ}\text{C}$  ve ergime sıcaklığının  $322,51^{\circ}\text{C}$  olarak elde edilmiştir. Katkısız PPA'ya göre elde edilen kompozitin camsı geçiş sıcaklığını %20 daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Katkısız PPA ile PPA+%30CF, PPA+%5PTFE, PPA+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri Şekil 5.28'de verilmiştir.



Şekil 5.28. PPA+%30CF+%5PTFE, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri

PPA+%30CF kompozitinin camsının geçiş sıcaklığı 108,18°C, kristalleşme sıcaklığının 287,01°C ve ergime sıcaklığının 320,29°C olduğu görülmüştür. PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %5 oranında PTFE ve %4 oranında wax eklendiğinde PPA+%30CF kompozitine kıyasla; camsı geçiş sıcaklığında %36,7 ve %36,1 oranında azalma gerçekleşmiştir. PPA+%30CF+%5PTFE ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerinin kristalleşme sıcaklıkları 280,36°C ve 286,79°C değerlerini alırken, ergime sıcaklıkları ise sırasıyla 318,69°C ve 319,98°C elde edilmiştir.

PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine %4 oranında wax eklendiğinde PPA+%30CF+%5PTFE kompozitine oranla, camsı geçiş sıcaklığında %30 artış gözlenmiştir. Bununla beraber elde edilen kompozit 278,99°C kristalleşme sıcaklığı ve 327,21°C ergime sıcaklığı elde edilmiştir.

Daha önce yapılan bir çalışmada [18] PA6/PPS karışımına eklenen CF malzemesinin kompozitin ergime sıcaklığını düşürücü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla CF içeren kompozitler için elde edilen DSC sonuçları ile uyumlu benzer sonuçlar içeren bir çalışma literatürde [18] yer almaktadır.

## 5.2. II. Grup Numunelerinin Deneysel Sonuçları

### 5.2.1. II. Grup numunelerinin fiziksel özellikleri

#### 5.2.1.1. II. Grup numunelerinin yoğunluk testi sonuçları

İkinci grup deney numunelerinin yoğunluk testi sonuçları, Tablo 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.11. İkinci grup deney numunelerinin yoğunlukları

Numune İsmi	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
PPA	1,18
PPA+%30CF	1,304
PPA+%10PTFE	1,225
PPA+%30CF+%10PTFE	1,357
PPA+%30CF+%4Wax	1,291

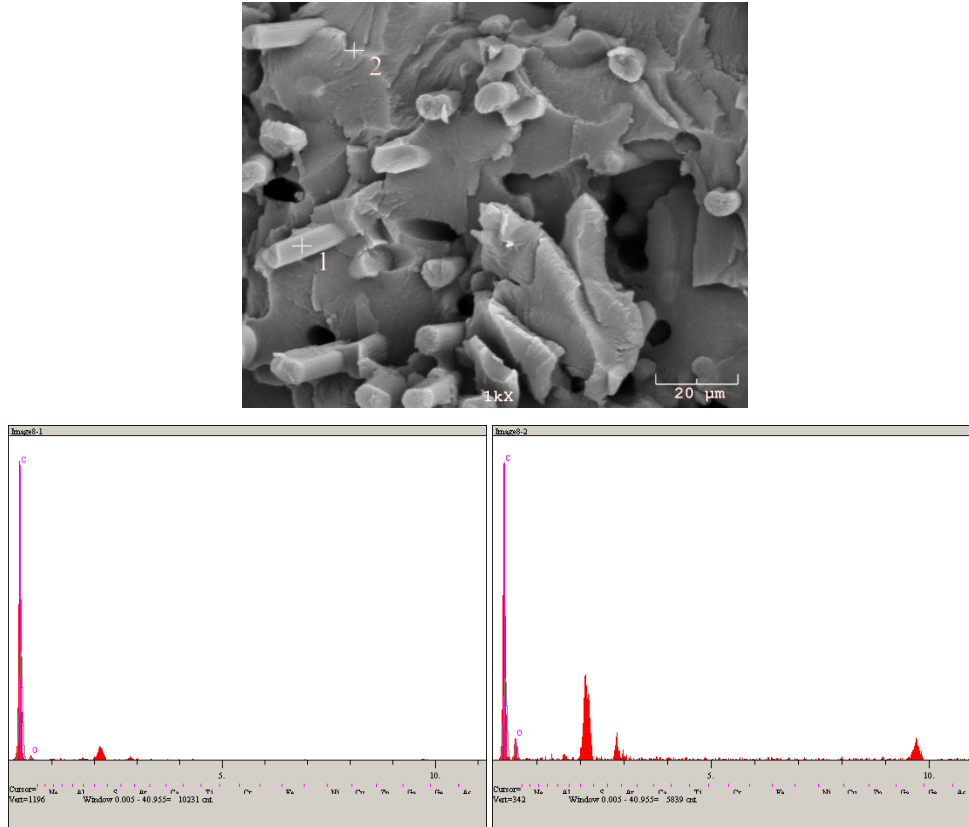
Genel olarak, PPA matris malzemesinin yoğunluğu 1,18 g/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine 2,26 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip CF malzemesinden %30 oranında eklenmesiyle, elde edilen kompozitin yoğunluğu %10,5 oranında artmıştır. Aynı zamanda PPA matris malzemesine sırasıyla; 2,2 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip PTFE malzemesinden %5 oranında ve 0,9 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip wax malzemesinden %4 oranında eklendiğinde ise, elde edilen malzemelerin yoğunlukları, PPA matris malzemesinin yoğunluğuna göre %2,1 ve %0,9 oranında artmıştır.

PTFE malzemesinin yoğunluğu, PPA matris malzemesinin yoğunluğundan daha yüksek bir yoğunluk değerine sahip olduğu için, PTFE içeren malzemelerin yoğunlukları daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatür ile uyumludur [124]. PPA+%30CF kompozitine %4 oranında 0,9 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip wax malzemesi ilave edildiğinde, elde edilen malzemelerin yoğunluğu %0,9 oranında azalmıştır. Wax malzemesinin yoğunluğu, karşılaştırılan malzemenin yoğunluğundan daha düşük bir değere sahip olduğu için, yoğunluk değerinde azalma gerçekleşmiştir.



### 5.2.1.2. II. Grup numunelerinin EDS analiz sonuçları

Numunelerin elementel kompozisyonlarını tanımlamak için, EDS analizi gerçekleştirilmiştir.

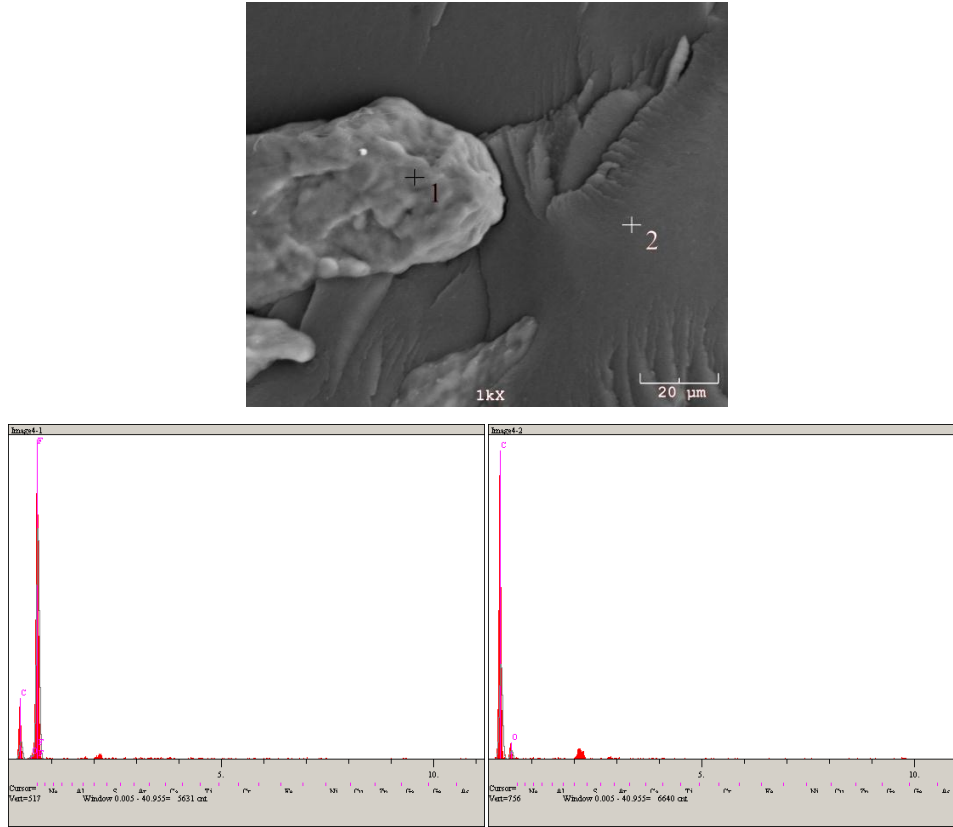


Şekil 5.29.PPA+%30CF malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.12. PPA+%30CF malzemesine ait Şekil 5.29’da belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O
1	88,254	11,746
2	66,041	33,959

Şekil 5.29’da PPA+%30CF kompozitine ait EDS analizi ve Tablo 5.12’de ağırlıkça sonuç verilmiştir. PPA+%30CF malzemesine yapılan EDS analizi sonucunda, yapıda karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. 1 numaralı nokta, CF bölgesini gösterirken; 2 numaralı bölge ise PPA matris malzemesini göstermektedir. 1 numaralı noktada %88,25 karbon ve %11,74 oksijen bulunurken, 2 numaralı noktada ise %66,04 karbon ve %33,95 oksijen bulunduğu gözlenmiştir.

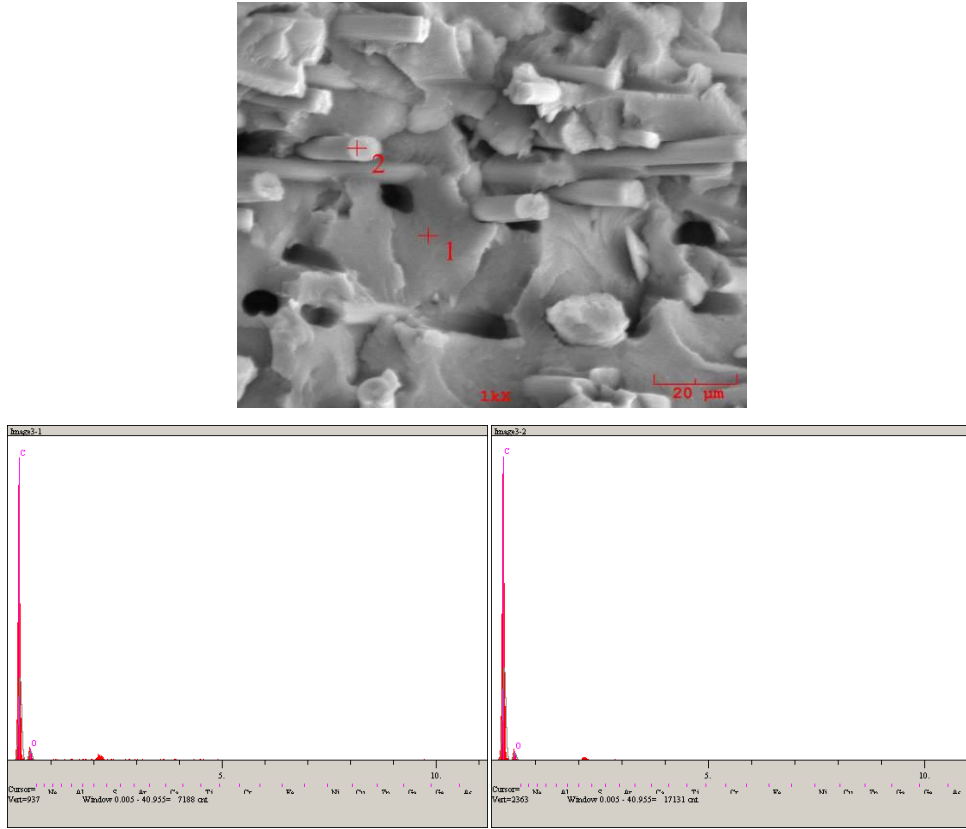


Şekil 5.30. PPA+%10PTFE malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.13 PPA+%10PTFE malzemesine ait Şekil 5.30'da belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	F
1	24,175	2,434	73,391
2	76,495	23,505	--

PPA+%10PTFE malzemesine yapılan EDS analizi Şekil 5.30 ve ağırlıkça sonucu Tablo 5.13'de verilmiştir. Buna göre yapıda flor, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. 1 numaralı nokta, PTFE bölgesini gösterirken; 2 numaralı bölge ise PPA matris malzemesini göstermektedir. PTFE bölgesini temsil eden noktada %24,17 karbon, %2,34 oksijen ve %73,39 flor bulunduğu görülmektedir.

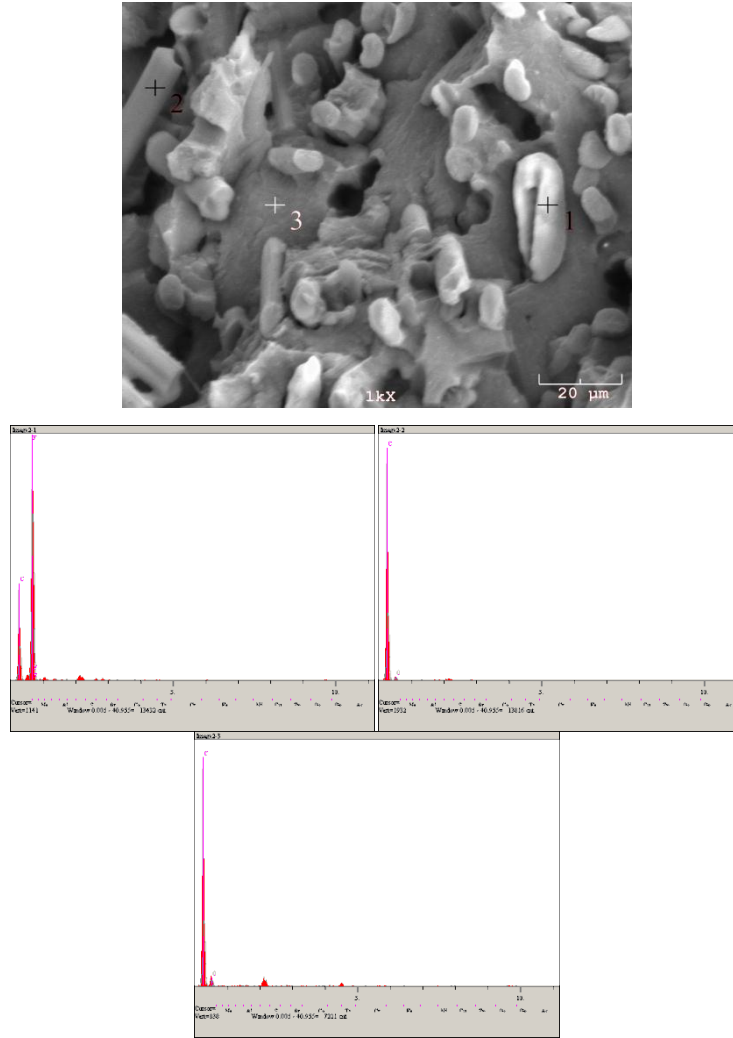


Şekil 5.31. PPA+%30CF+%4Wax malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.14. PPA+%30CF+%4Wax malzemesine ait Şekil 5.31`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O
1	69,190	30,810
2	72,723	27,277

Şekil 5.31`de PPA+%30CF+%4Wax malzemesine yapılan EDS analizi ve Tablo 5.14`de ağırlıkça sonucu verilmiştir. 1 numaralı nokta, PPA matris bölgesini gösterirken; 2 numaralı bölge ise CF malzemesini göstermektedir. EDS analizinin sonucuna göre yapıda karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. PPA matris malzemesini temsil eden 1 noktasında %69,19 karbon ve %30,81 oksijen olduğu görülürken, CF malzemesini temsil eden 2 numaralı noktada ise %72,72 karbon ve %27,27 oksijen olduğu görülmektedir.



Şekil 5.32. PPA+%30CF+%10PTFE malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.15. PPA+%30CF+%10PTFE malzemesine ait Şekil 5.32’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağırlık)

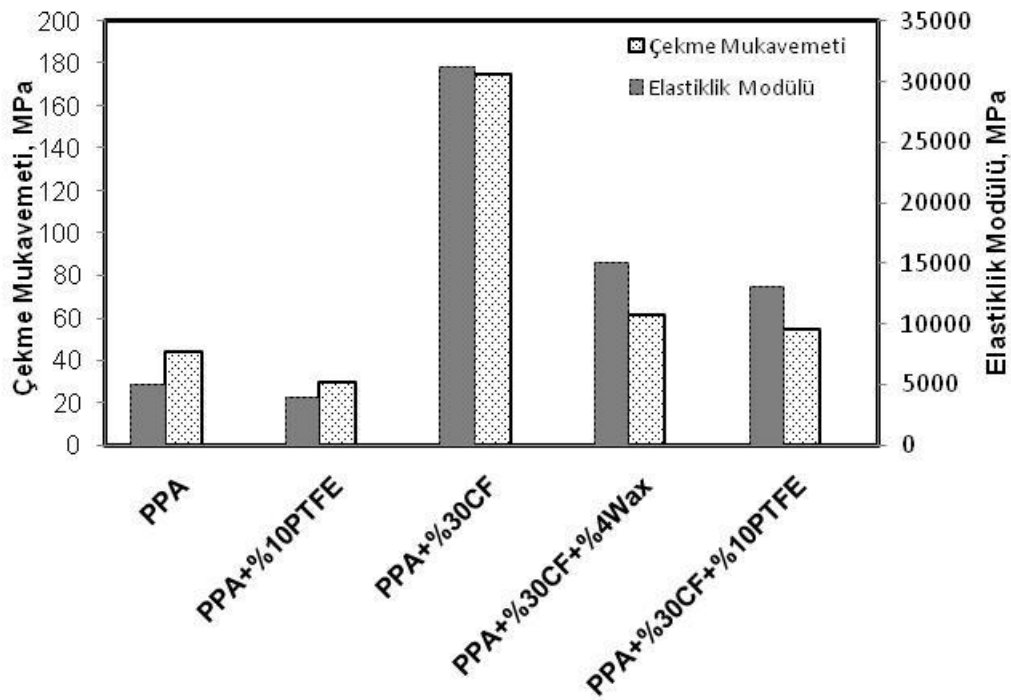
Nokta	C	O	F
1	29,492	--	70,508
2	79,354	20,646	--
3	70,422	29,578	--

PPA+%30PCF+%10PTFE malzemesine uygulanan EDS analizi Şekil 5.32’de ve ağırlıkça sonucu Tablo 5.15’de verilmiştir. Uygulanan EDS analizinin sonucunda yapıda flor, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu göstermektedir. 1 numaralı nokta, PTFE bölgesini; 2 numaralı nokta CF malzemesini ve 3 numaralı nokta ise PPA matris bölgesini göstermektedir. PTFE malzemesini temsil eden 1 numaralı

noktada %29,49 karbon ve %70,508 flor bulunurken, CF malzemesini temsil eden 2 numaralı noktada ise %79,35 karbon ve %20,64 oksijen bulunduğu görülmektedir.

### 5.2.1.3. II. Grup numunelerinin mekanik test sonuçları

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla numunelere çekme testleri uygulanmıştır. Numunelere uygulanan çekme testi sonucunda elde edilen veriler Şekil 5.33’de verilmiştir.



Şekil 5.33. II. Grup deney numunelerinin çekme mukavemeti-elastiklik modülü değerleri

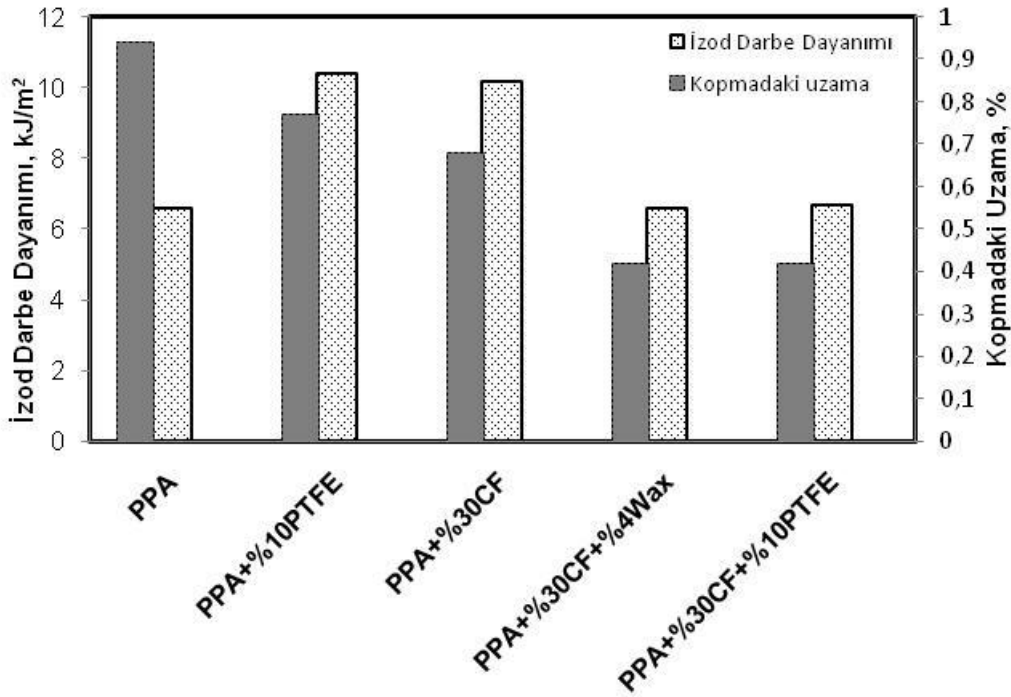
Genel olarak PPA matris malzemesinin çekme mukavemeti 44,16MPa olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %10 oranında PTFE eklendiğinde ise, elde edilen kompozitin çekme mukavemeti değeri, PPA matris malzemesine göre %32,6 oranında azalarak 29,76 MPa olarak elde edilmiştir. PPA’ya %30 oranında CF eklendiğinde ise, elde edilen kompozitin çekme mukavemeti 175 MPa’a ulaşmıştır. Bu artış yaklaşık %296,2’dir.

PPA+%30CF kompozitine %4 oranında Wax ilave edildiğinde, kompozitin çekme mukavemeti %64,77 oranında azalarak 61,64 MPa olarak elde edilmiştir. PPA+%30CF kompozitine %10 oranında PTFE ilave edildiğinde ise, elde edilen kompozitin çekme mukavemeti 55,02 MPa'a düşmüştür. Bu düşüş yaklaşık olarak %68,56'dır.

Elastiklik modülü değerleri ele alındığında, PPA matris malzemesinin elastiklik modülünün 4971 MPa olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %10 oranında PTFE ilave edildiğinde ise elde edilen kompozitin elastiklik modülü değeri, PPA matris malzemesine göre azalarak 4016 MPa'a düşmüştür. Elastiklik modülünde gerçekleşen bu azalma %19,2 civarındadır. PPA'ya %30 oranında CF ilave edildiğinde ise, elde edilen kompozitin elastiklik modülü değeri, PPA matris malzemesine göre artarak 31235 MPa'a ulaşmıştır. Bu artış yaklaşık olarak %528'dir.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %4 oranında Wax ve %10 oranında PTFE ilave edildiğinde, elde edilen kompozitlerin elastiklik modülü değerleri, PPA+%30CF kompozitine göre azalarak, 15047,95 MPa ve 13118,39 MPa olarak elde edilmiştir.

Numunelerin darbe dayanımlarını gözlemek amacıyla, numunelere çentikli izod darbe testi uygulanmıştır. Kopmadaki uzama ile darbe dayanımı sonuçları, Şekil 5.34'de verilmiştir.



Şekil 5.34. II. Grup deney numunelerin izod darbe dayanımı- kopmadaki %uzama değerleri

Katkısız PPA'nın izod darbe dayanımı ve kopmadaki % uzama değerleri sırasıyla 6,6 kJ/m<sup>2</sup> ve %0,94 olarak tespit edilmiştir. PPA polimer matris malzemesine sırasıyla %10 oranında PTFE ve %30 oranında CF ilave edildiğinde elde edilen kompozitlerin izod darbe dayanımları 10,4 kJ/m<sup>2</sup> ve 10,2 kJ/m<sup>2</sup>'ye ulaşmıştır. Yani %10 PTFE ve %30 CF ilavesiyle kompozitlerin darbe mukavemetleri sırasıyla %57 ve %54 oranında artmıştır.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %4 oranında Wax ve %10 oranında PTFE ilave edildiği durumda, elde edilen kompozitlerin izod darbe dayanımları 6,6 kJ/m<sup>2</sup> ve 6,7 kJ/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Katkısız PPA'nın darbe mukavemeti ile yaklaşık aynı değerlerdedir.

Kopmadaki % uzama değerleri ele alındığında ise katkısız PPA matris malzemesinin kopmadaki % uzamasının %0,94 olduğu gözlenmiştir. PPA matris malzemesine %10 oranında PTFE eklendiğinde ise kopmadaki % uzama değeri %0,77'ye düşmüştür. Bununla beraber PPA'ya %30 oranında CF eklendiğinde ise, elde edilen kompozitin kopmadaki % uzama değeri, PPA matris malzemesine kıyasla azalarak %0,68 olarak

elde edilmiştir. Yani PPA polimerine %30CF ilave edildiğinde % uzama değeri %0,68'e düşmüş, sertlik değeri ise 88 Shore D'ye yükselmiştir. Sonuç olarak PPA'ya %30 CF ilave edilmesi, kompozitin gevrekleşmesine sebep olmuştur.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %4 oranında Wax ve %10 oranında PTFE ilave edildiğinde, elde edilen kompozitlerin kopmadaki % uzama oranları, PPA+%30CF kompozitine göreazalarak, %0,42 olmuştur.

II. grup numunelerinin Shore D sertlik testi sonuçları, Tablo 5.16'da yer almaktadır.

Tablo 5.16. II. Grup deney numunelerinin Shore D sertlik değerleri

Numune İsmi	Sertlik (Shore D)
PPA	82
PPA+% 10PTFE	82
PPA+% 30CF	88
PPA+% 30CF+% 4Wax	86
PPA+% 30CF+% 10PTFE	85

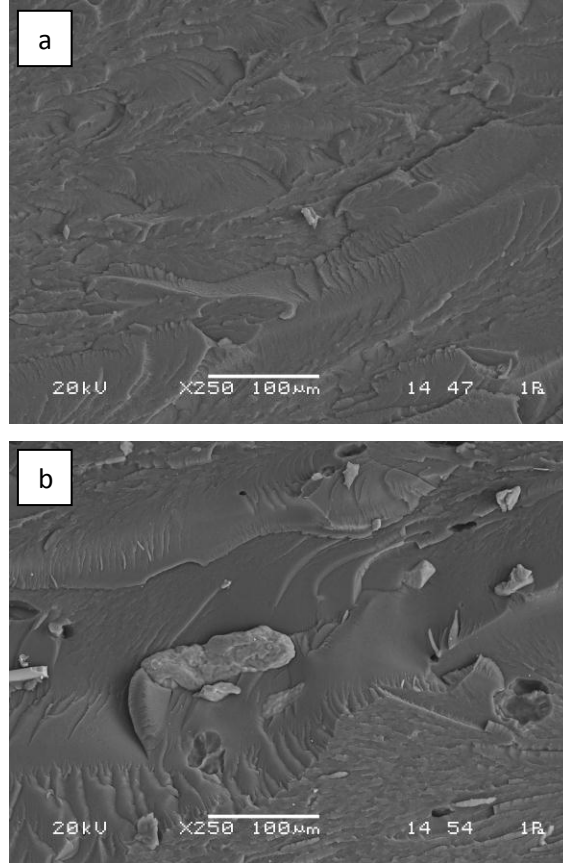
PPA matris numunesi için 82 shore D sertlik değeri elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %10 oranında PTFE ilave edildiğinde shore D sertlik değerinde, PPA matris malzemesine göre bir değişim gözlenmemiştir. Bununla beraber; PPA'ya %30 oranında CF eklenmesiyle, malzeme 88 shore D'ye yükselmiştir.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %4 oranında Wax ve %10 oranında PTFE ilave edildiği durumda, kompozitlerin shore D sertlik değerlerinin sırasıyla 86 ve 85 shore D olduğu gözlenmiştir.

#### 5.2.1.4. II. Grup numunelerinin SEM analizi

Numunelerin kırılma türünü belirlemek amacıyla çekme testi sonrasında kırılan yüzeylerden SEM görüntüleri alınmıştır. PPA matris malzemesi ve PPA+%10PTFE kompozitinin kırılma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5.35'de verilmiştir.

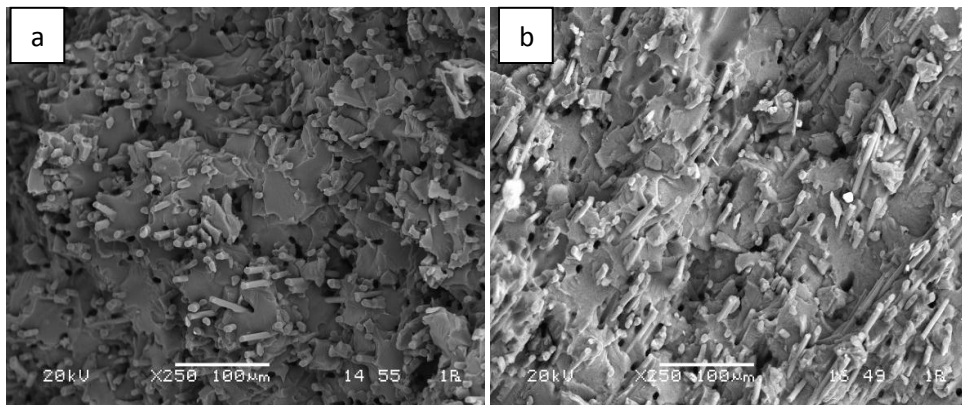


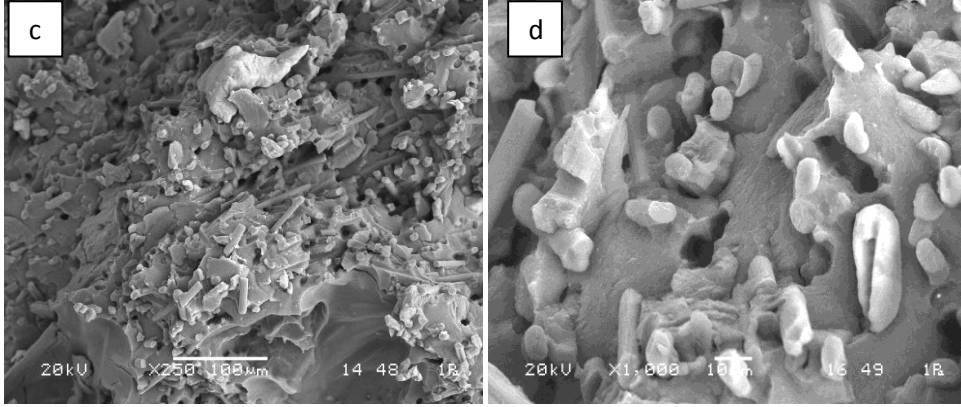


Şekil 5.35.a-PPA ve b-PPA+%10PTFE kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri

Şekil 5.35-a'dan, PPA matris malzemesinin taramalı elektron mikroskopundan alınan mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Şekil 5.35-b'den ise, PPA+%10PTFE kompozitinde teflon malzemesinin yapıda homojen dağılmadığı görülmektedir.

PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerinin, çekme testi sonucunda kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5.36'da görülmektedir.





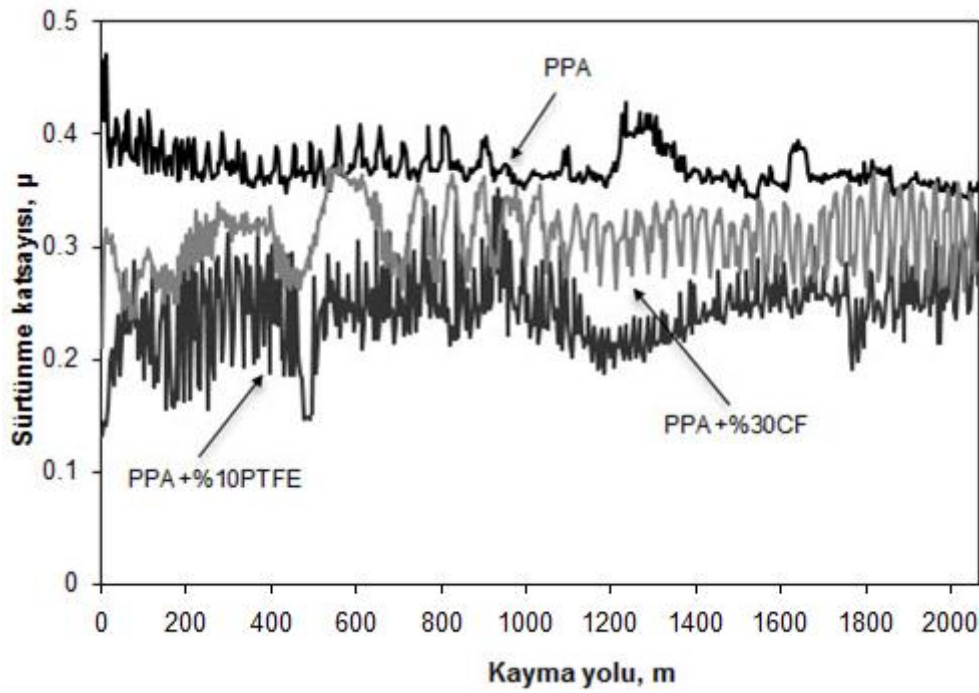
Şekil 5.36.a-PPA+%30CF, b-PPA+%30CF+%4Wax ve c,d-PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri

Şekil 5.36-a,b ve c,d'den her üç kompozitin mikroyapı fotoğraflarından fiberlerin homojen olarak dağıldığı söylenebilir. Mikroyapılarda topaklanma görülmemektedir. Mukavemet değerlerinin ise makul değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple üç kompozitte de matris ile fiberler arasında ıslatmanın düzeyinin iyi olduğu söylenebilir.

## 5.2.2. II. Grup numunelerinin tribolojik özellikleri

### 5.2.2.1. II. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi

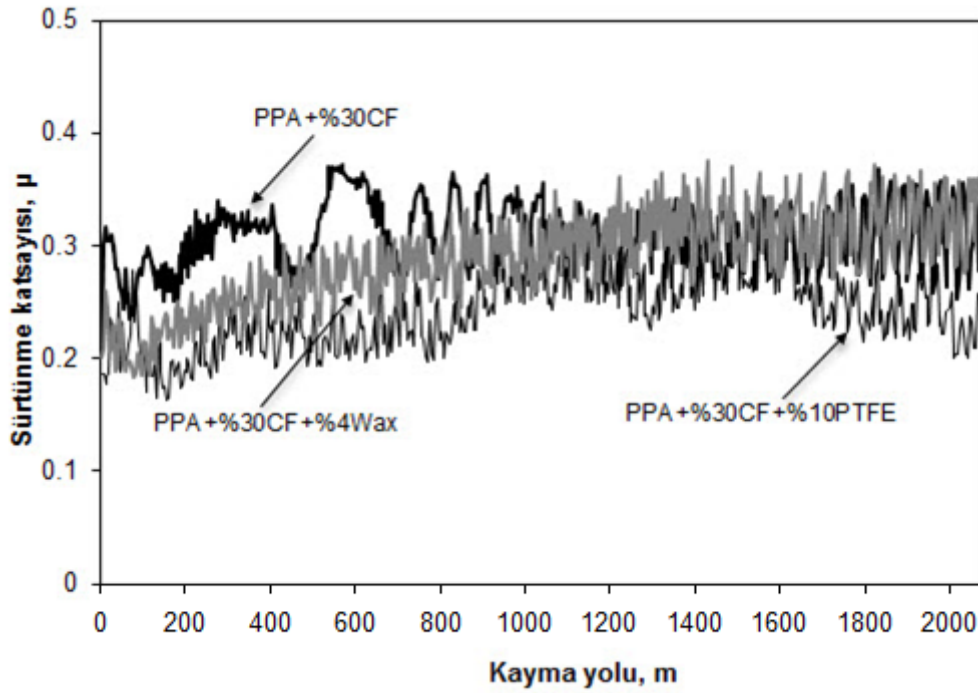
Şekil 5.37'de, katkısız PPA ile %10 oranında PTFE ve %30 oranında CFkatkılı kompozit malzemelerin, 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir.



Şekil 5.37. PPA, PPA+%10PTFE ve PPA+%30CF kompozitlerinin 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 5.37'den de görüldüğü gibi katkısız PPA'nın sürtünme katsayısı 0,4 civarında seyretmektedir. Bununla beraber PPA+%10PTFE kompozitinin sürtünme katsayısı değerleri 0,20 ile 0,25 arasında elde edilirken, PPA+%30CF kompozitinin sürtünme katsayısı değerleri ise 0,28 ile 0,32 arasında elde edilmiştir.

Şekil 5.38'de, PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozit malzemelerinin, 1m/s kayma hızı-40N yük altında, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir.

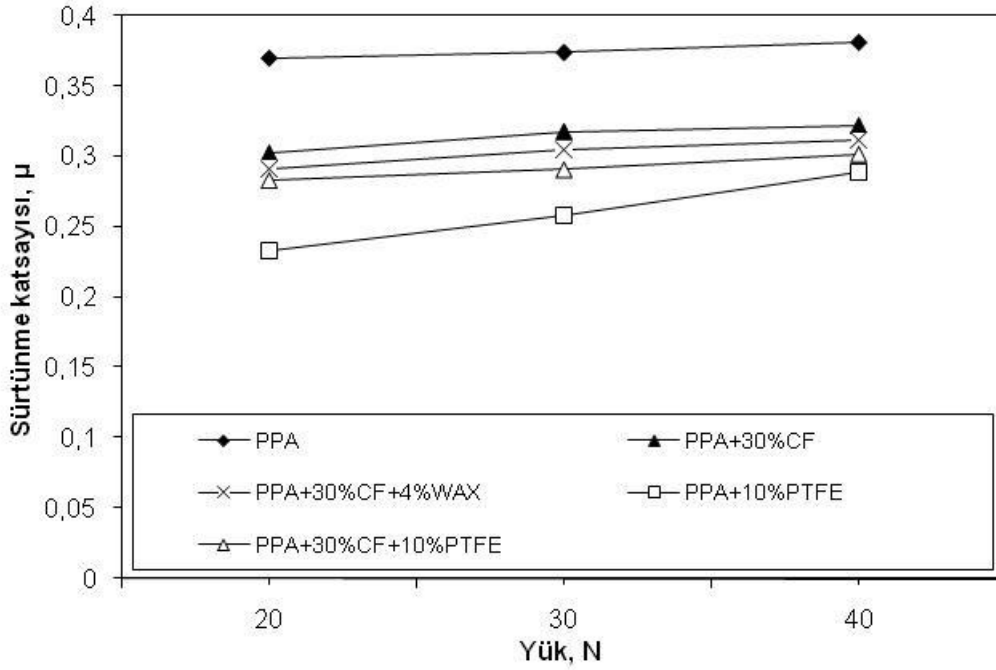


Şekil 5.38. PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerinin 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

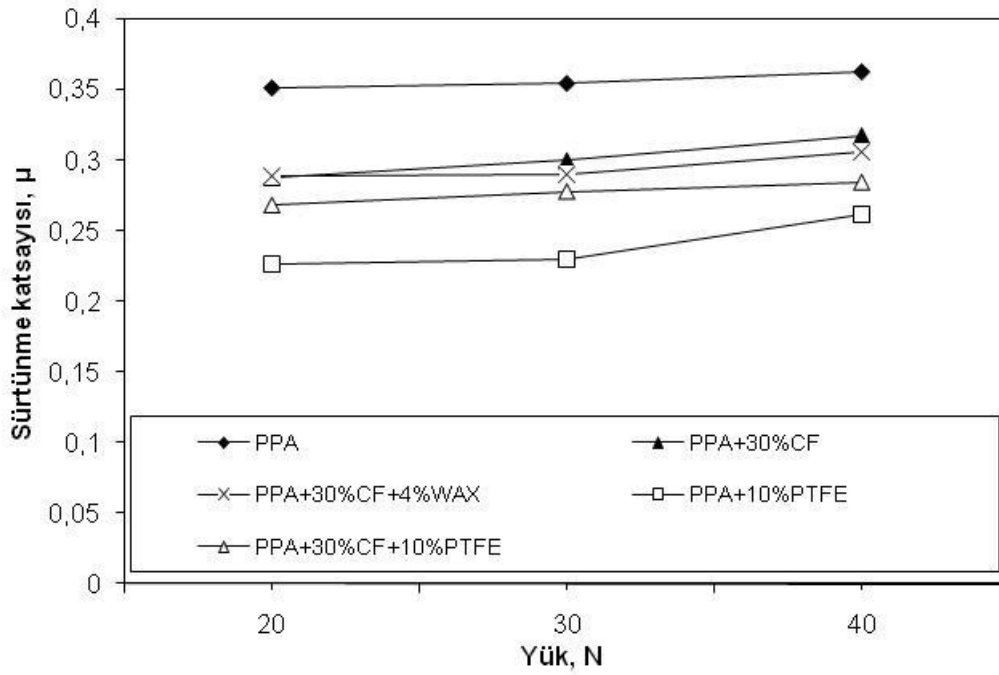
Şekil 5.38’de görüldüğü gibi PPA+%30CF’nın sürtünme katsayısı değerleri 0,28 ile 0,32 arasında elde edilmiştir. Bununla beraber PPA+%30CF+%4Wax kompozitinin sürtünme katsayısı değerleri 0,29 ile 0,33 arasında elde edilirken, PPA+%30CF+%10PTFE kompozitinin sürtünme katsayısı değerleri ise 0,20 ile 0,28 arasında elde edilmiştir.

#### 5.2.2.2. II. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi

Şekil 5.39 ve Şekil 5.40’da, katkısız PPA ile %30CF, %10PTFE, %30CF+%10PTFE ve %30CF+%4Wax katkılı kompozit malzemelerin, 0,5 m/s ve 1m/s kayma hızında uygulanan yüke karşı sürtünme katsayılarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 5.39. II. Grup deney numunelerinin 0,5 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı-yol grafiği



Şekil 5.40. II. Grup deney numunelerinin 1,0 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı-yol grafiği

Şekil 5.39 ve Şekil 5.40 incelendiğinde kayma süresince, tüm malzemelerde uygulanan yükün artmasıyla, sürtünme katsayısının arttığı gözlenmiştir.

0,5 m/s kayma hızı ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın sürtünme katsayısı 0,3805 olarak elde edilmiştir. Katkısız PPA'ya %30 oranında CF ilave edilmesiyle sürtünme katsayısının 0,3217'e; katkısız PPA'ya %10 oranında PTFE ilave edilmesiyle elde edilen kompozitin sürtünme katsayısının 0,2884'e düştüğü görülmüştür.

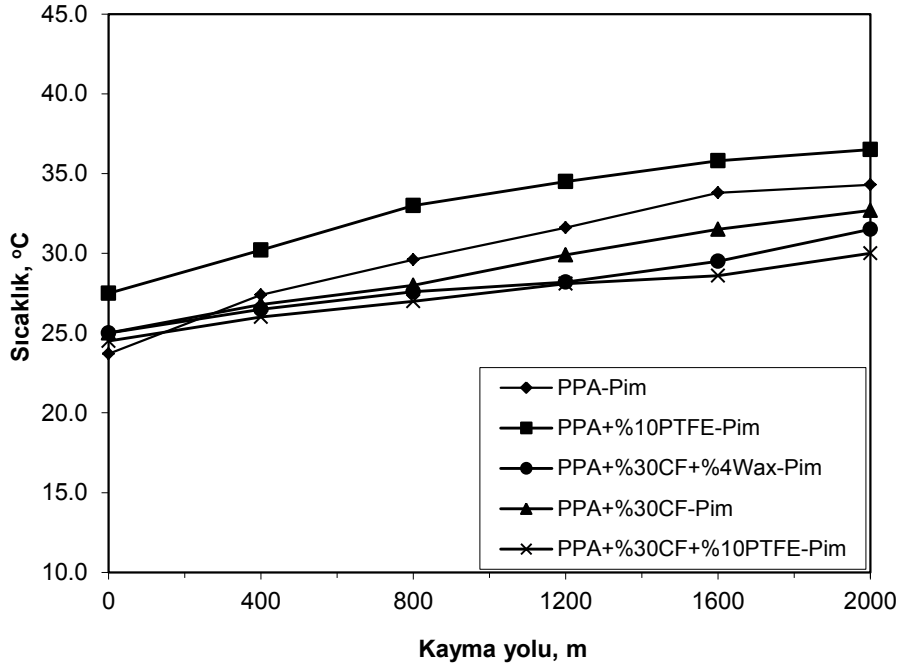
PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %4 oranında Wax ve %10 oranında PTFE ilave edildiğinde ise, malzemelerin sürtünme katsayıları 0,3113 ve 0,3015'e düşmüştür.

Şekil 5.39'da görüldüğü gibi, 0,5 m/s kayma hızı ve 40N yük altında, en düşük sürtünme katsayısını 0,2884 değeri ile PPA+%10PTFE kompoziti sergilemiştir.

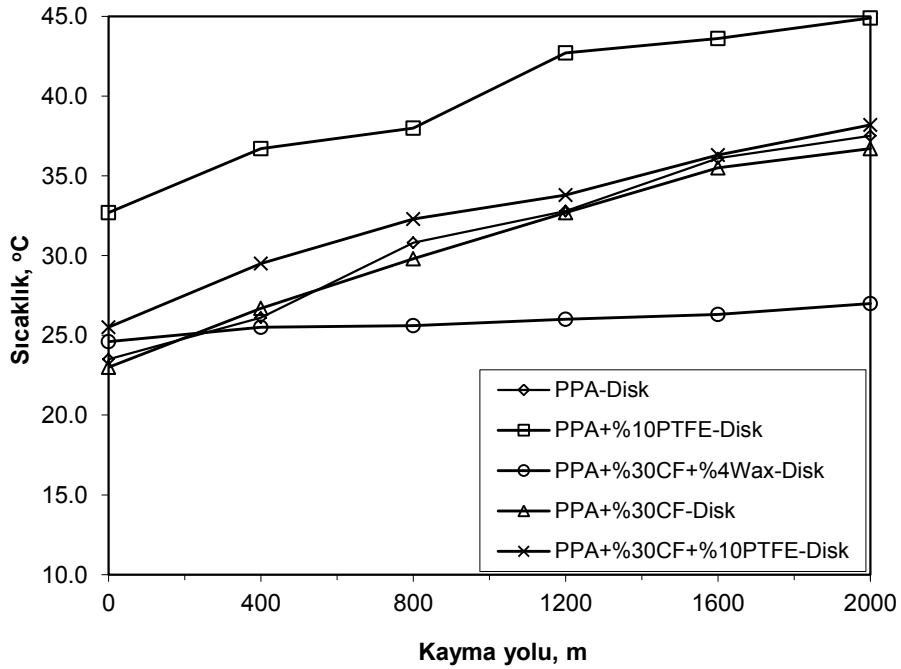
1 m/s hız ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın sürtünme katsayısı 0,3508 olarak elde edilmiştir. Katkısız PPA'ya %30 oranında CF ilave edilmesiyle sürtünme katsayısının 0,3173'e düştüğü görülmüştür. Katkısız PPA'ya %10 oranında PTFE ilave edildiğinde ise, elde edilen kompozitin sürtünme katsayısı azalarak 0,2615 olarak elde edilmiştir. PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %4 oranında Wax ve %10 oranında PTFE ilave edildiğinde ise, malzemelerin sürtünme katsayıları 0,3060 ve 0,2848 olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.40'da görüldüğü gibi, 1 m/s ve 40N yük altında, en düşük sürtünme katsayısını 0,2615 değeri ile PPA+%10PTFE kompoziti sergilemiştir.

1m/s kayma hızı ve 40N yük koşulları altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sırasında katkısız PPA ile PPA+%10PTFE, PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozit numunelerinin pimlerinde ve çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri Şekil 5.41 ve Şekil 5.42'de verilmiştir.



Şekil 5.41. Aşınma deneyi sırasında katkısız PPA, PPA+%10PTFE, PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerinin pim numunelerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük:40N, Hız: 1,0 m/s]



Şekil 5.42. Aşınma deneyi sırasında katkısız PPA, PPA+%10PTFE, PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük:40N, Hız: 1,0 m/s]

Şekil 5.41 incelendiğinde 2000m kayma mesafesi sonunda en yüksek sıcaklık değerine ulaşan pim numunesi, 36,5°C değeri ile PPA+%10PTFE kompozitine aittir. Deney sonunda, katkısız PPA numunesinin pim sıcaklığının 34,3°C'ye ulaştığı görülmektedir. Katkısız PPA numunesinin pim sıcaklığını 32,7°C ile PPA+%30CF kompozitine ait numune takip etmiştir. 2000m. kayma mesafesi sonunda PPA+%30CF+%4Wax kompozitinin pim numunesi 31,5°C'ye ulaşırken, PPA+%30CF+%10PTFE kompozitinin pim numunesinin sıcaklığının da 30°C'ye ulaştığı gözlenmiştir.

Şekil 5.42'den, deney sonunda ulaşılan çelik disk sıcaklıkları ele alındığında, ulaşılan en yüksek sıcaklığı 44,9°C ile PPA+%10PTFE kompozitinin pim numunesi ile çalışan çelik diskde elde edilmiştir. 2000 m. kayma mesafesi sonunda, katkısız PPA ile çalışan çelik diskle, PPA+%30CF+%10PTFE ve PPA+%30CF kompozitlerinin numuneleri ile çalışan çelik disklerin ulaştığı sıcaklıkların hemen hemen aynı değerlerde olduğu görülmektedir. Bununla beraber PPA+%30CF+%4Wax kompoziti ile çalışan çelik disk, II. grup numuneleri ile çalışan çelik diskler arasında; 27°C ile en düşük sıcaklığı elde etmiştir.

Literatürde yer alan PTFE içeren kompozitlerle yapılan çalışmalarda [26,32,56,57,64] PEEK malzemesine, PA66/aramid elyaf kompozitine, epoksi+CF kompozitine, PMMA/CF kompozitine PPESK'e ilave edilen PTFE katkısının, kompozitlerin sürtünme katsayılarında düşürücü etki yaptığı tespit edilmiştir. Yani bulunan sonuçların literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda [35,38,39,40] naylon 1010, PEI, PA6 ve PEEK malzemelerine ilave edilen CF katkısının, kompozitlerin sürtünme katsayılarında düşürücü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde yer alan Wax malzemesi içeren kompozitlerle yapılan çalışmada [28,52] wax katkılı poliasetal ve naylon6 kompozitlerinin sürtünme katsayısının, katkısız poliasetal ve naylon6 malzemesinin katsayısından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla wax içeren kompozitlere ait sürtünme katsayısı sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumludur.

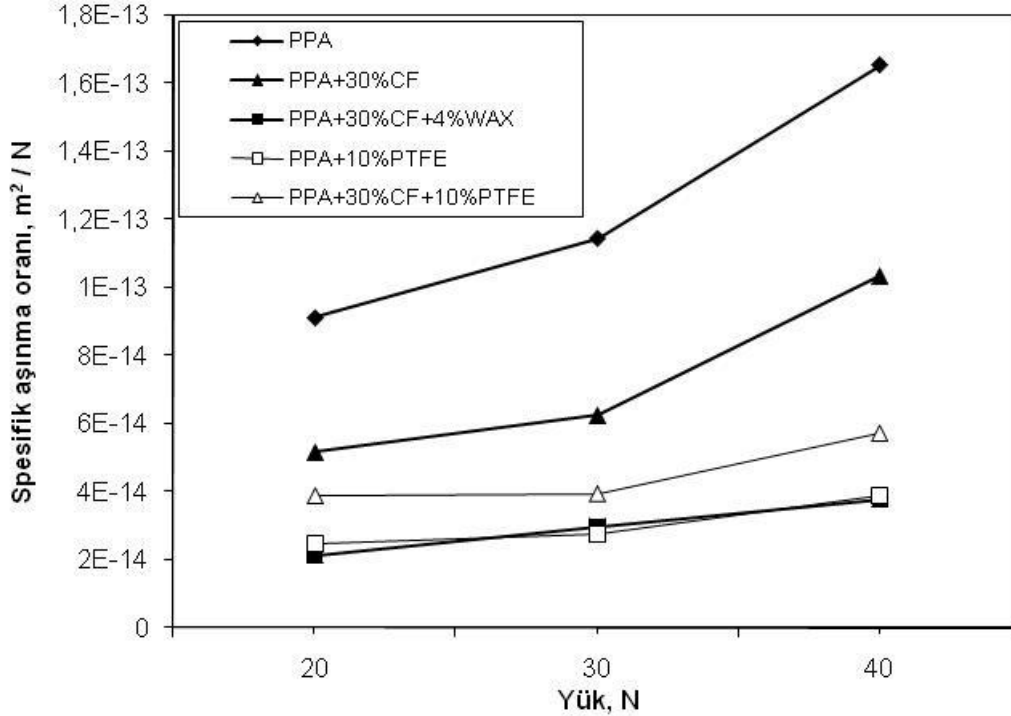


Kayma hızı 0.5m/s'den 1m/s'ye yükseltildiğinde yani %100 arttırıldığında hem katkısız PPA'nın hem de PPA kompozit numunelerinin sürtünme katsayısı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Çalışmada PPA ve kompozitlerinin kayma hızı ile sürtünme katsayısının azalması literatürde daha önce yapılan [18,39,46,54,61] çalışmaları ile uyumludur.

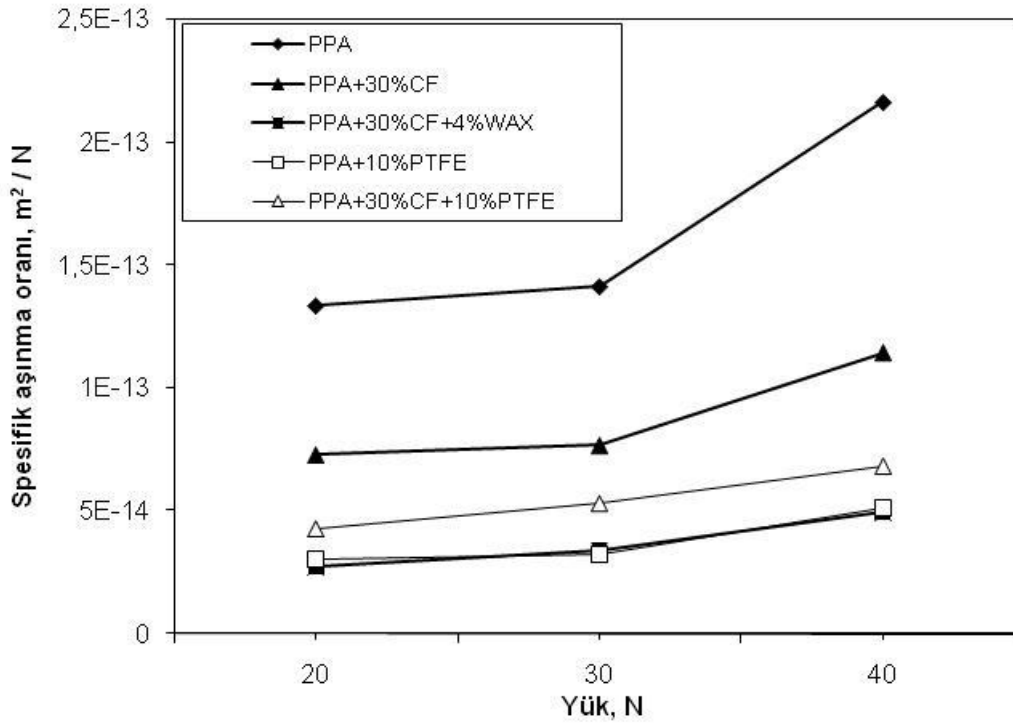
Aşınma deneyleri sırasında, pim numunelerde ve çelik disk yüzeylerinde meydana gelen sıcaklık değişim grafikleri de literatür [28,35,38] ile uyumludur.

### 5.2.2.3. II. Grup numunelerinin aşınma oranı-yük ilişkisi

Şekil 5.43 ve Şekil 5.44'de, katkısız PPA ile %30CF, %10PTFE, %30CF+%10PTFE ve %30CF+%4Wax katkıli kompozit malzemelerin, 0,5 m/s ve 1m/s kayma hızında, uygulanan yüke karşı spesifik aşınma oranlarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 5.43. İkinci grup deney numunelerinin 0,5 m/s hızda, spesifik aşınma oranı-yük grafiği



Şekil 5.44. İkinci grup deney numunelerinin 1 m/s hızda, spesifik aşınma oranı-yük grafiği

Şekil 5.43 ve Şekil 5.44 incelendiğinde kayma süresince, uygulanan yükün artışına bağlı olarak; tüm kompozitlerin spesifik aşınma oranlarının arttığı gözlenmiştir.

0,5 m/s kayma hızı ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın spesifik aşınma oranı  $1,65 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak elde edilmiştir. Katkısız PPA'ya %30 oranında CF ilave edilmesiyle elde edilen kompozitin spesifik aşınma oranı  $1,03 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$ 'dir. Spesifik aşınma oranındaki bu azalma %37,57'dir.

Katkısız PPA'ya %10 oranında PTFE ilave edildiğinde ise, elde edilen kompozitin spesifik aşınma oranının %76,57 oranında azalarak;  $3,87 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 'a ulaşmıştır.

PPA+%30CF kompozitine sırasıyla %4 oranında Wax ve %10 oranında PTFE ilave edildiğinde ise, elde edilen kompozitlerin spesifik aşınma oranları  $3,77 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $5,71 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 'a düşmüştür. Gerçekleşen bu azalmalar sırasıyla %63,6 ve %44,9 civarındadır.

Şekil 5.43’de görüldüğü gibi, 0,5 m/s kayma hızı ve 40N yük altında, en yüksek spesifik aşınma oranı  $1,65 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile katkısız PPA matrisinde elde edilirken, en düşük spesifik aşınma oranı  $3,77 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile PPA+%30CF+%4Wax kompozitinde elde edilmiştir.

1 m/s hız ve 40N yük altında, katkısız PPA’nın spesifik aşınma oranı  $2,16 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N olarak elde edilmiştir. Katkısız PPA’ya %30 oranında CF ilave edilmesiyle elde edilen kompozitin spesifik aşınma oranında  $1,14 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N’dir. İlave edilen CF, spesifik aşınma oranında %47,22’lik bir düşüş gerçekleştirmiştir.

Katkısız PPA’ya %10 oranında PTFE eklendiğinde ise, kompozitin spesifik aşınma oranı  $5,10 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N’e düşmüştür. Bu düşüş yaklaşık olarak %76’dır.

PPA+%30CF kompozitine %4 oranında Wax eklendiğinde; elde edilen kompozitin spesifik aşınma oranının  $4,93 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N’ye düşmüştür. Bu düşüş yaklaşık %57’dir. PPA+%30CF kompozitine %10 oranında PTFE ilave edildiğinde isespesifik aşınma oranı  $1,14 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N’den  $6,81 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değerine düştüğü görülmüştür. Spesifik aşınma oranında yaklaşık %40 oranında düşüş gerçekleşmiştir.

Şekil 5.44’de görüldüğü gibi, 1 m/s kayma hızı ve 40N yük altında, en yüksek spesifik aşınma oranı  $2,16 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile katkısız PPA matrisinde elde edilirken, en düşük spesifik aşınma oranı  $4,93 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile PPA+%30CF+%4Wax kompozitinde elde edilmiştir.

Şekil 5.43 ve Şekil 5.44’de görüldüğü gibi katkısız PPA polimeri 20 ile 40N yük aralığında en fazla aşınan malzeme olarak tespit edilmiştir. Bu aralıktaki PPA polimerinin spesifik aşınma oranı ortalama  $1,7 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N olarak tespit edilmiştir. PPA+%30CF kompozitine eklenen %4Wax, kompozitin spesifik aşınma oranını, %10PTFE eklentisine göre daha fazla düşürmüştür. Dolayısıyla II. grup numuneleri arasında PPA+%30CF+%4Wax kompoziti en iyi aşınma direncini göstermiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda [26,55,58,62,64] PEEK malzemesine, PA66 malzemesine, PA6/GF kompozitine, PA6 ile PA12 malzemelerine ve PPESK

malzemelerine PTFE eklenmesiyle, kompozitlerin spesifik aşınma oranında düşüş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan sonuçlar ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürde yer alan daha önce yapılan çalışmalarda [35,37,38,47] CF takviyeli naylon 1010, poliimid, PEI ve UHMWPE kompozitlerinin, katkısız naylon 1010, poliimid, PEI ve UHMWPE'den daha düşük spesifik aşınma oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan literatürde yer alan bazı çalışmalarda [44,47] cam elyaf takviyeli polyester ve karbon elyaf takviyeli UHMWPE kompozitlerinin spesifik aşınma oranlarının, artan yüklerle beraber artış gösterdiğini tespit edilmiştir. Dolayısıyla literatürde, bulunan sonuçlarla uyumlu çalışmalar bulunmaktadır.

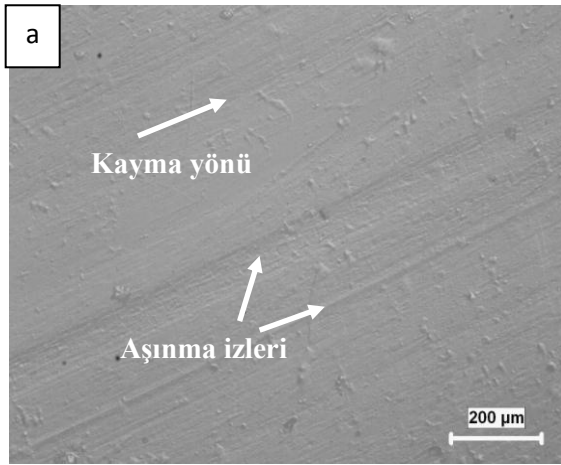
Literatürde yer alan ve wax malzemesi ile yapılan bir çalışmada [28] PA6+%10PTFE kompozitlerine eklenen wax malzemesinin, kompozitlerin spesifik aşınma oranlarında düşürücü etkiye sahip olduğu, ek olarak spesifik aşınma oranının artan yüklerle beraber artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Genel olarak, kayma hızı 0,5 m/s'den 1,0 m/s'ye yükseltildiğinde yani %100 arttırıldığında, ikinci grup numunelerinin spesifik aşınma oranlarında artış gözlenmiştir. Literatürde yer alan ve daha önce yapılan çalışmalarda da [18,49,53,54,60] kayma hızının arttırılmasıyla, kompozitlerin spesifik aşınma oranlarında artış gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan sonuçlar ile benzer sonuçlar gözlenmiştir. Bununla beraber, hem 0,5 m/s hem de 1 m/s kayma hızında, en düşük spesifik aşınma oranı PPA+%30CF+%4Wax kompozitinde elde edilmiştir.

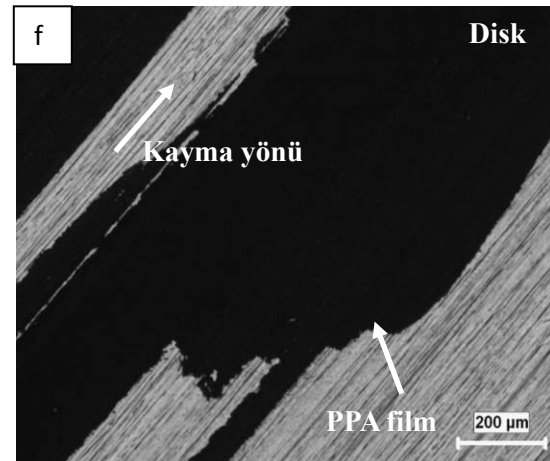
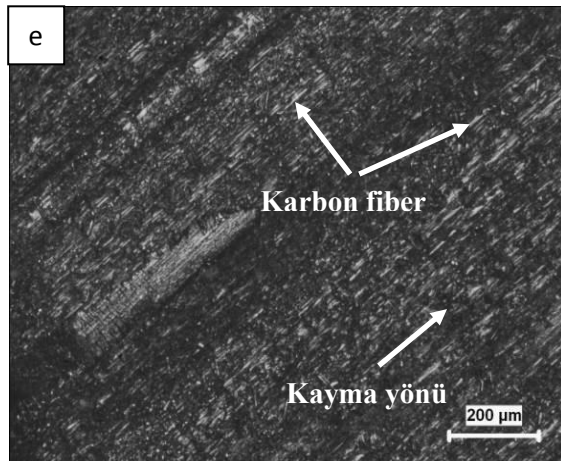
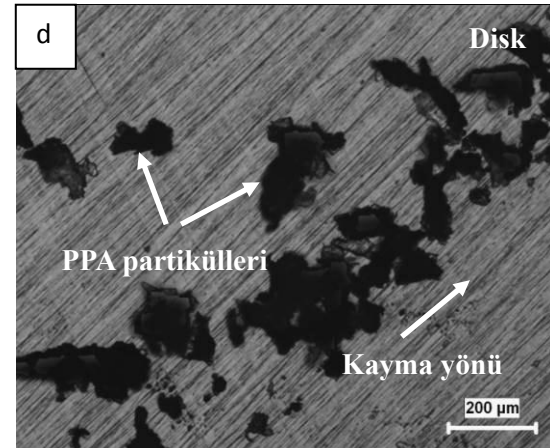
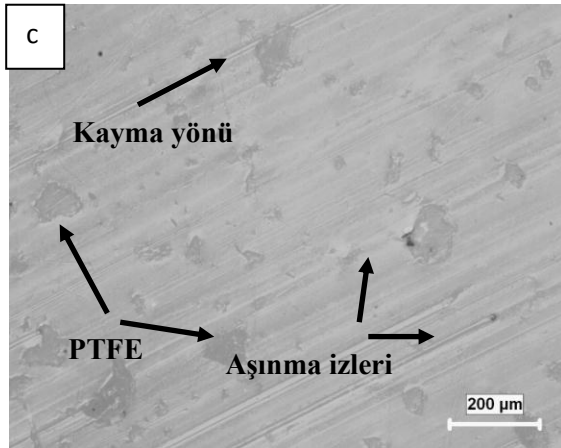
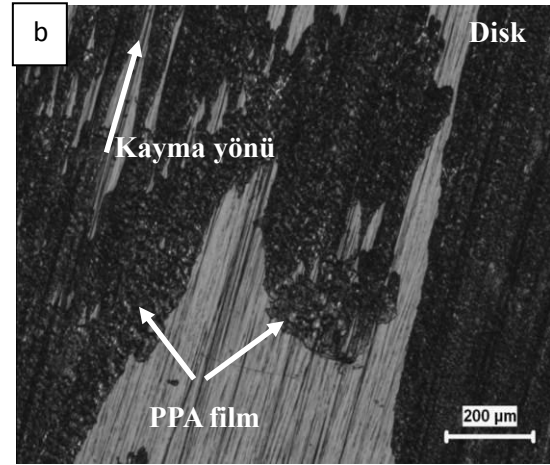
#### **5.2.2.4. II. Grup numunelerinin aşınma numunelerine ait mikroyapı görüntüleri**

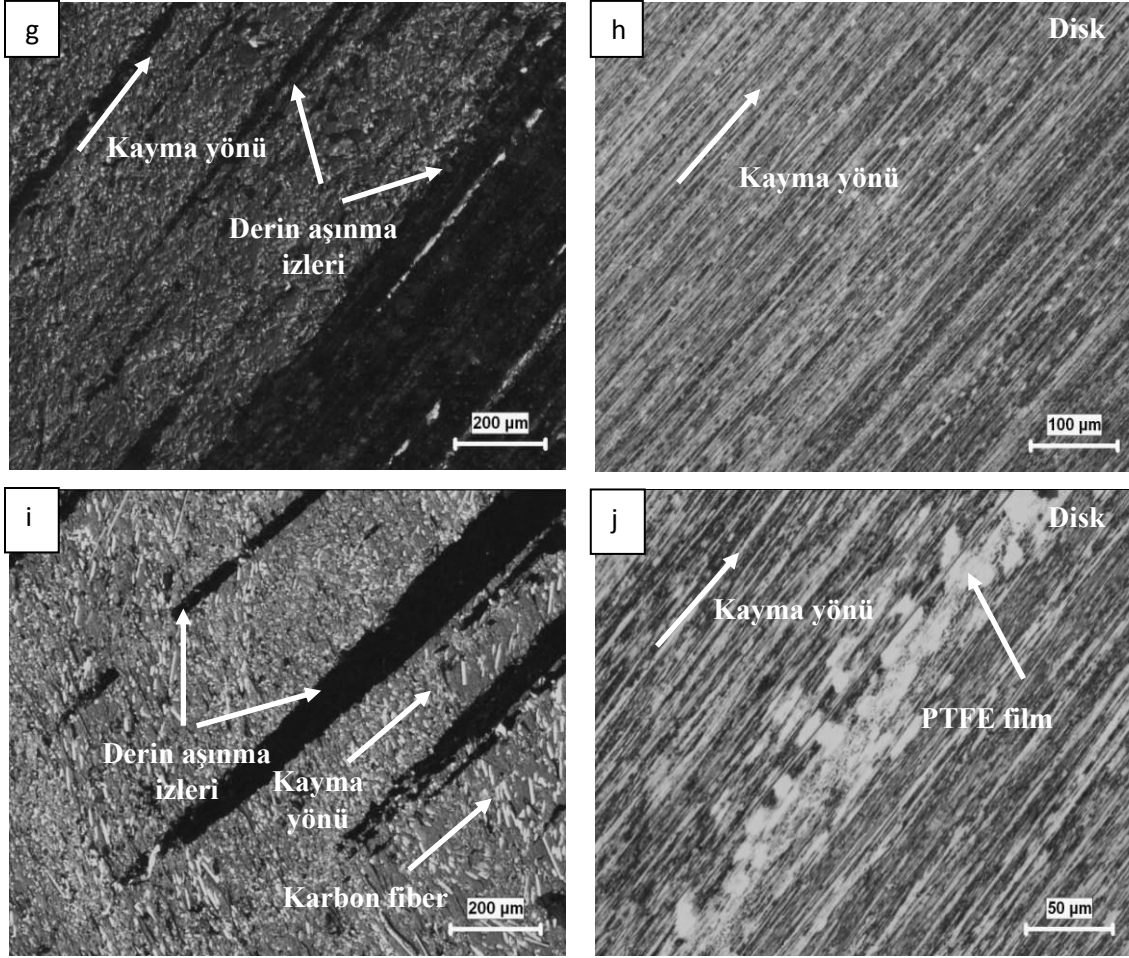
1 m/s kayma hızı ve 40N yük koşulları altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri numunelerinden, mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Katkısız PPA, PPA+%10PTFE, PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerin pim ve disk yüzeylerine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri Şekil 5.17.a-j'de verilmiştir.

PİM



DİSK





Şekil 5.45. a,b-Katkısız PPA ve disk, c,d-PPA+%10PTFE ve disk, e,f-PPA+%30CF ve disk, g,h-PPA+%30CF+%4Wax ve disk, i,j- PPA+%30CF+%10PTFE ve diske ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri [Yük:40N, Hız: 1,0 m/s]

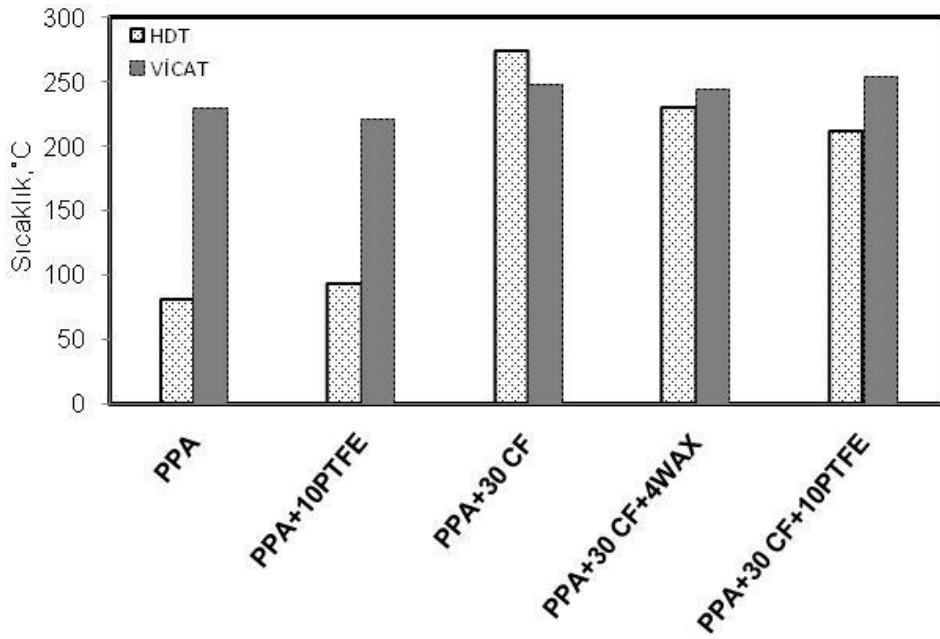
Şekil 5.45'e göre; katkısız PPA için; aşınma numunesi yüzeyinde çok fazla aşınma kanalının yer almadığı görülebilmektedir. Aynı zamanda çelik diske ait mikroyapı görüntüsünden de; çelik disk yüzeyinde yapışmalar olduğu göze çarpmaktadır. PPA polimerinin yumuşak malzeme olmasından dolayı, aşınma deneyi sırasında çelik disk üzerinde yapışmalar gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı zamanda yukarıda sayılan sebeplerden dolayı; katkısız PPA'nın düşük oranda abrazif aşınma, daha yüksek oranda adhezif aşınma gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Bununla beraber; PPA+%10PTFE kompozitine ait mikroyapı görüntülerinden; aşınma numunesi yüzeyinde, katkısız PPA'ya göre, daha fazla aşınma kanalının yer aldığı ve çelik disk yüzeyinde yapışmaların yer almadığı görülmektedir.

Şekil 5.45.e, Şekil 5.45.g ve Şekil 5.45.i'de yer alan PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitine ait aşınma yüzeyi numunelerinde, aşınma kanallarının yer aldığı görülebilmektedir. Bununla beraber, PPA+%30CF ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerine ait pimlerle çalışan çelik disk yüzeylerindeki yapışma miktarının, PPA+%30CF+%4Wax kompozitine ait pimle çalışan çelik disk yüzeyindeki yapışmadan daha fazla olduğu gözlenmektedir. PPA+%30CF+%4Wax ve PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerine ait pimlerle çalışan diskler yüzeyinde meydana gelen yapışmaların, kompozitlerin yapılarında yer alan, yağlayıcı etkiye sahip wax ve PTFE'den kaynaklandığı düşünülmektedir. Her üç kompozitte de hem adhezif hem de abrazif aşınma gözlenmiştir. Karbon elyaf içeren kompozitlerin abrazif aşınma göstermesinin sebebi olarak, karbon fiberlerin aşınma sırasında kırılması ve sert abrazif olarak davranmaları olduğu düşünülmektedir.

### **5.2.3.II. Grup numunelerinin termal analizleri**

#### **5.2.3.1. II. Grup numunelerinin sıcaklık altında eğilme (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları**

II. grup deney numunelerine uygulanan sıcaklık altında eğilme (HDT) testi ve Vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları Şekil 5.46'da verilmiştir.



Şekil 5.46. II. Grup deney numunelerinin yük altında eğilme sıcaklığı testi sonuçları

Yapılan HDT testi sonucunda, PPA matris malzemesinin yük altında eğilme sıcaklığının 80,8°C olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine sırasıyla %10 oranında PTFE ve %30 oranında CF ilave edildiğinde yük altında eğilme sıcaklıkları %15,09 ve %239,48 oranında artmıştır. PPA+%30CF malzemesine %4 oranında wax ilave edildiğinde yük altında eğilme sıcaklığı %16,11 oranında azalmıştır. Diğer taraftan PPA+%30CF kompozitine %10 oranında PTFE ilave edildiğinde yük altında eğilme sıcaklığı %22,89 oranında azalmıştır. Eurotec firmasının PPA+%30CF+%10PTFE kompozisyonlu malzemesi olmadığı için, RTP firmasının 4085 TFE10, PPA+%30CF+%10PTFE kompozisyonlu malzemesi incelenmiştir. Bu malzemenin yük altında eğilme sıcaklığının 260°C'den yüksek olduğu görülmüştür [125].

İkinci grup numunelerine uygulanan vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları Şekil 4.46'da verilmiştir. Uygulanan vicat yumuşama sıcaklığı testi sonucunda, PPA matris malzemesinin vicat yumuşama sıcaklığı 229,1°C olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %10 oranında PTFE ilave edildiğinde vicat yumuşama sıcaklığı %3,57 oranında azalmıştır. Eurotec firmasının PPA+%10PTFE kompozisyonlu malzemesi bulunmadığı için, Lehmann & Voss firmasının PA66+%10PTFE



kompozisyona sahip malzemesi incelenmiştir. Bu malzemenin vicat yumuşama sıcaklığı 200-250°C arasında olduğu gözlenmiştir [124]. Elde edilen sonuçlar, literatür [124] ile uyumludur. Bununla beraber PPA matris malzemesine %30 oranında CF ilave edildiğinde vicat yumuşama sıcaklığı %8,24 oranında artmıştır. PPA+%30CF malzemesine %4 oranında wax ilave edildiğinde, elde edilen kompozitin vicat yumuşama sıcaklığı 244,4°C olarak elde edilmiştir.

PPA+%30CF kompozitine %10 oranında PTFE ilave edildiğinde malzemenin yük altında eğilme sıcaklığı %2,09 oranında artmıştır. Daha önce yapılan bir çalışmada [19] PA6 ve PA6/kil kompozitlerine ilave edilen CF malzemesinin, kompozitin yük altında eğilme sıcaklığını yükseltici etki yaptığı tespit edilmiştir. Yük altında eğilme sıcaklığında gerçekleşen artışın sebebinin, yapıya karbon elyaf eklenmesiyle, yapının kristalinitesinin artması olduğu düşünülmektedir. Eurotec firmasının PPA+%30CF+%10PTFE kompozisyonlu malzemesi bulunmadığı için, Techmer Lehvoss Compounds firmasının, PA66+%30CF+%10PTFE kompozisyonlu malzemesi incelenmiştir. Bu malzemenin vicat yumuşama sıcaklığının 246°C olduğu görülmüştür [124]. Elde edilen sonuçlar literatür [19,124] ile uyumludur.

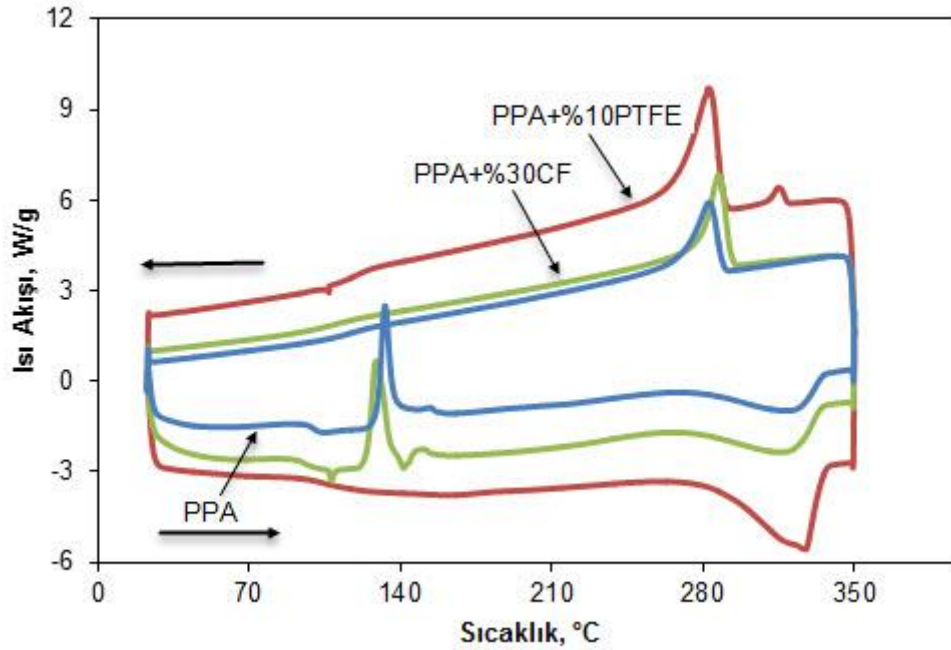
### **5.2.3.2. II. Grup numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi sonuçları**

Deney numunelerinin camsı geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı ve erime sıcaklıklarını belirlemek amacıyla deney numunelerine DSC analizi uygulanmıştır. Katkısız PPA ile PPA+%30CF, PPA+%30CF+%4Wax, PPA+%10PTFE, PPA+%30CF+%10PTFE kompozitlerine ait DSC analizi sonuçları Tablo5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.17. II. Grup deney numunelerinin DSC analizi sonuçları

Numune İsmi	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH (J/g)-T <sub>c</sub>	ΔH (W/g)-T <sub>m</sub>
PPA	101,41	282,16	322,44	36,46	31,91
PPA+%30CF	108,18	287,01	320,29	32,62	36,08
PPA+%30CF+%4Wax	69,11	286,79	319,98	22,84	30,80
PPA+%10PTFE	109,95	282,67	327,61	27,80	35,59
PPA+%30CF+%10PTFE	68,38	286,77	320,75	30,28	35,83

Katkısız PPA ile PPA+%30CF ve PPA+%10PTFE kompozitlerine ait DSC grafikleri Şekil 5.47’de verilmiştir.

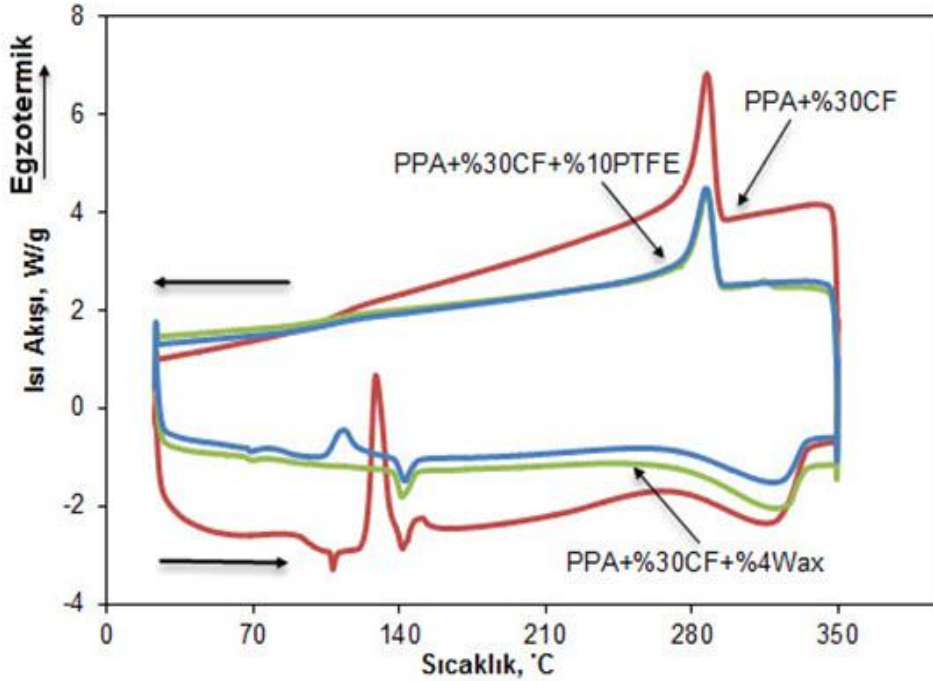


Şekil 5.47. PPA+%30CF, PPA+%30CF+%10PTFE ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri

Genel olarak PPA matris malzemesine %30 oranında CF ilave edilmesiyle PPA matris malzemesine göre camsı geçiş sıcaklığı %6,6 artmıştır; kristalleşme sıcaklığı 287,01°C’ye ulaşmış, ergime sıcaklığı ise 320,29°C’ye düşmüştür.

Katkısız PPA matrisine %10 oranında PTFE ilave edilmesiyle PPA matris malzemesine göre, camsı geçiş sıcaklığı %8,4 ve ergime sıcaklığı %16 oranında artmıştır. Kristalleşme sıcaklığı ise 282,67°C olarak elde edilmiştir.

PPA+%30CF, PPA+%30CF+%10PTFE ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri Şekil 5.48'de verilmiştir.



Şekil 5.48. PPA+%30CF, PPA+%30CF+%10PTFE ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerine ait DSC grafikleri

PPA+%30CF kompozitine, sırasıyla %10 oranında PTFE ve %4 oranında Wax ilave edildiğinde PPA+%30CF kompozitine göre camı geçiş sıcaklıkları %36,7 ve %36,1 oranında atmıştır. PPA+%30CF+%10PTFE ve PPA+%30CF+%4Wax kompozitlerinin kristalleşme sıcaklıkları sırasıyla 286,77°C ve 286,79°C olarak elde edilirken ergime sıcaklıkları ise 320,75°C ve 319,98°C olarak elde edilmiştir.

Daha önce yapılan bir çalışmada [18] PA6/PPS karışımına eklenen CF malzemesinin kompozitin ergime sıcaklığını düşürücü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla CF içeren kompozitler için elde edilen DSC sonuçları ile uyumlu benzer sonuçlar içeren bir çalışma literatürde [18] yer almaktadır.

### 5.3. III. Grup Numunelerinin Deney Sonuçları

#### 5.3.1. III. Grup numunelerinin fiziksel özellikleri

##### 5.3.1.1. III. Grup numunelerinin yoğunluk testi sonuçları

III. gruba ait deney numunelerinin yoğunluk testi sonuçları, Tablo 5.18’de verilmiştir.

Tablo 5.18. III. Grup deney numunelerinin yoğunluk değerleri

Numune İsmi	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
PPA	1,18
PPA+%30GF	1,409
PPA+%4Wax	1,191
PPA+%30GF+%5PTFE	1,439
PPA+%30GF+%10PTFE	1,477
PPA+%30GF+%4Wax	1,396
PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax	1,427
PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax	1,468

Genel olarak katkısız PPA matris malzemesinin yoğunluğunun 1,18g/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine 0,9 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip Wax malzemesinden %4 oranında ilave edilmesiyle malzemenin yoğunluğu %0,9 artmıştır. Aynı zamanda PPA polimerine 2,54 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip GF malzemesinden %30 oranında ilave edildiğinde ise malzemenin yoğunluğu %19,4 oranında artmıştır.

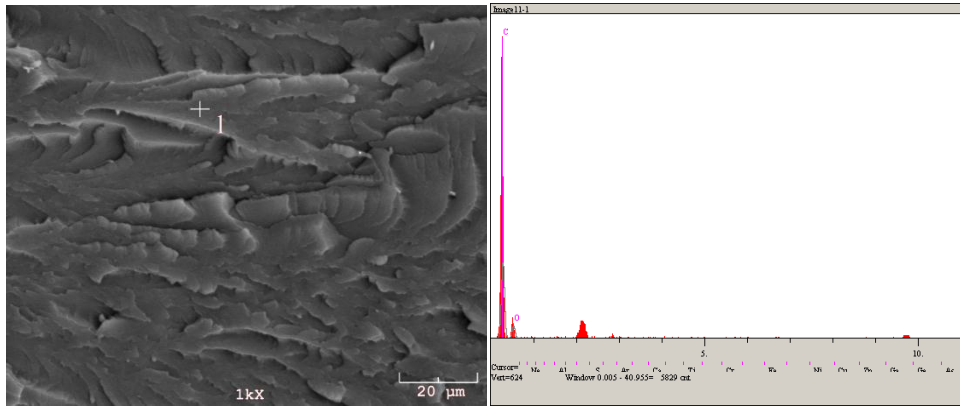
PPA+%30GF malzemesine, 2,2 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip PTFE malzemesinden sırasıyla %5 ve %10 oranında ilave edildiğinde, malzemenin yoğunluğu; PPA+%30GF malzemesine göre ise sırasıyla %2,12 ve %4,82 oranında artmıştır. PTFE malzemesinin yoğunluğu, PPA+%30GF malzemesinden daha yüksek bir yoğunluk değerine sahip olduğu için, PTFE içeren malzemelerin yoğunlukları daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatür ile uyumludur [124]. Aynı zamanda PPA+%30GF kompozitine 0,9 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerine sahip

Wax malzemesinde %4 oranında eklenmesiyle de malzemenin yoğunluğu %0,9 oranında azalmıştır.

PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE malzemelerine %4 oranında  $0,9 \text{ g/cm}^3$  yoğunluk değerine sahip Wax malzemesi eklendiğinde, elde edilen malzemelerin yoğunluğu sırasıyla %0,8 ve %0,6 oranında azalmıştır.

### 5.3.1.2. III. Grup numunelerinin EDS analiz sonuçları

Numunelerin elementel kompozisyonlarını tanımlamak için, EDS analizi gerçekleştirilmiştir.

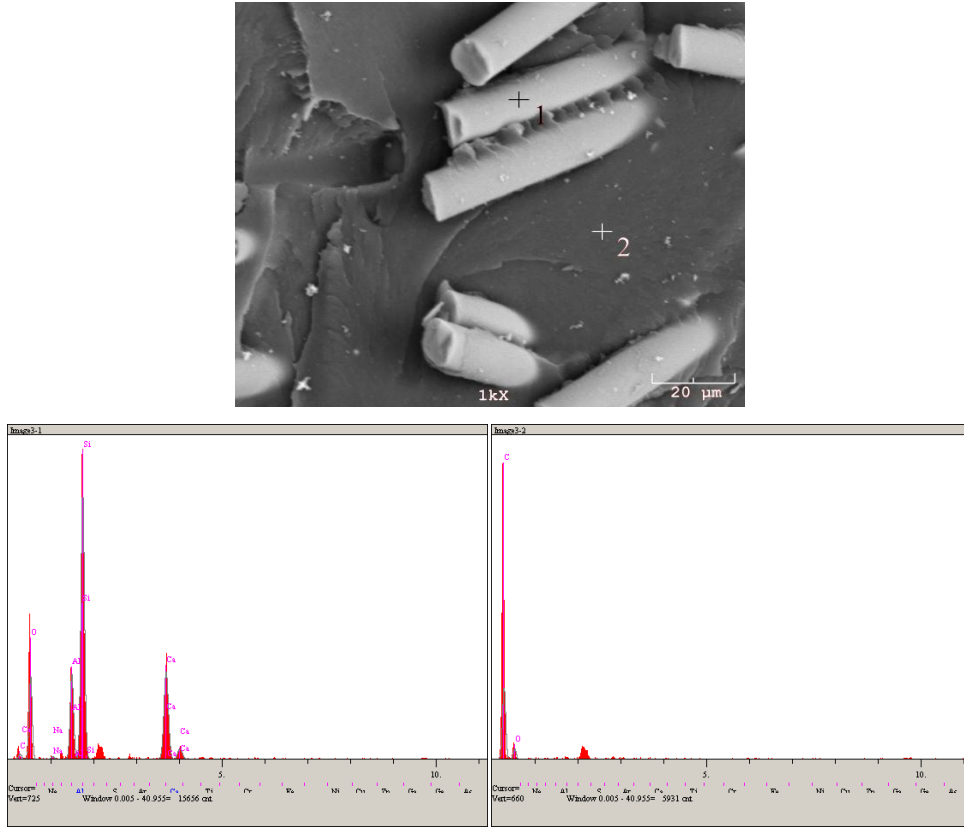


Şekil 5.49. PPA+%4Wax malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.19. PPA+%4Wax malzemesine ait Şekil 5.49’da belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağırlıkça)

Nokta	C	O
1	69,650	30,350

Şekil 5.49’da PPA+%4Wax malzemesine yapılan EDS analizi ve Tablo 5.19’da ağırlıkça sonucu verilmiştir. Uygulanan EDS analizi sonucunda yapıda karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu görülmektedir. Bu oranlar %69,65 ve %30,35’dir.

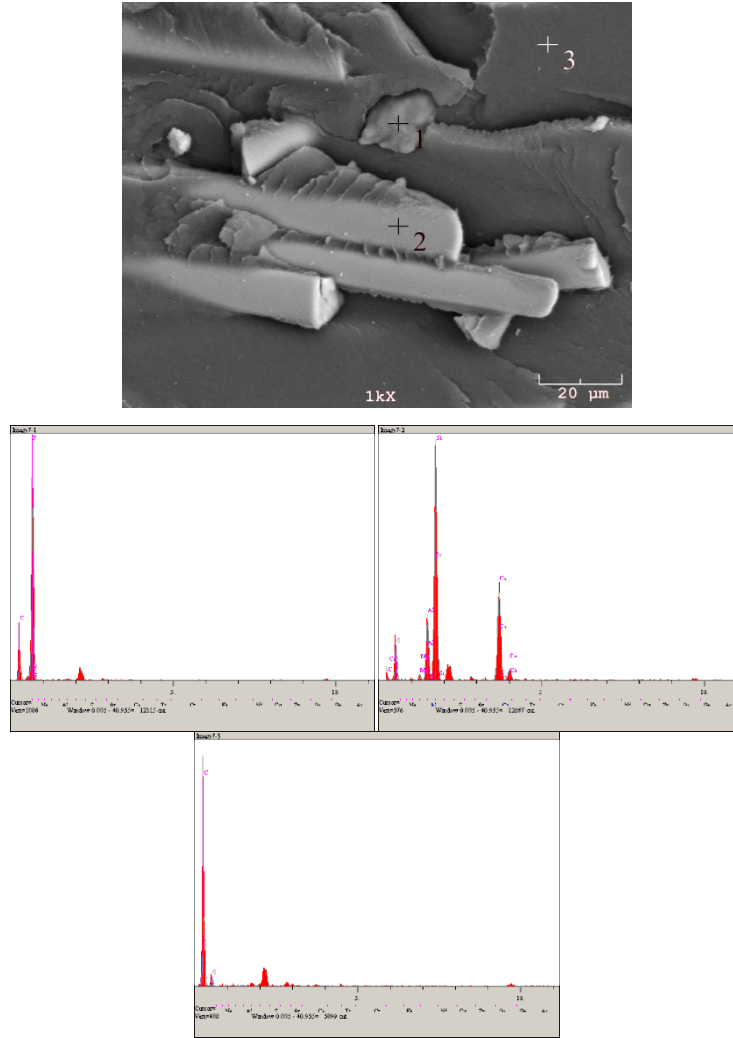


Şekil 5.50. PPA+%30GF malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.20. PPA+%30GF malzemesine ait Şekil 5.50`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	Na	Al	Si	Ca
1	10,933	54,060	0,466	6,641	21,110	6,791
2	70,792	29,208	--	--	--	--

Şekil 5.50`deki EDS analizi görüntüsünde, 1 numaralı nokta GF malzemesini gösterirken, 2 numaralı nokta ise PPA matris malzemesini göstermektedir. Tablo 5.20`de verilen EDS analizinin ağırlıkça sonucuna göre PPA+%30GF malzemesinin yapısında cam fiber malzemesinin elementleri olan sodyum, kalsiyum, silisyum ve alüminyum elementleri gözlenmiştir. Bununla beraber yapıda, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu da görülmektedir. Cam fiberi temsil eden 1 noktasında %10,93 karbon, %54,06 oksijen, %0,46 sodyum, %6,64 alüminyum, %21,11 silisyum ve %6,79 kalsiyum bulunduğu görülmektedir.



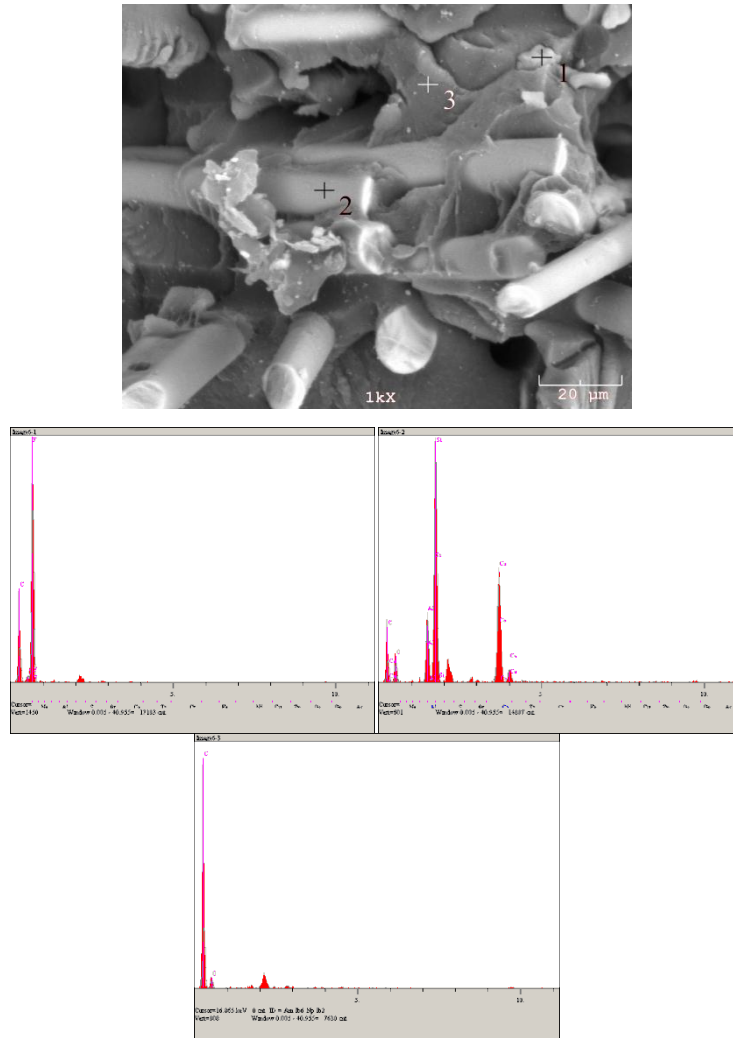
Şekil 5.51. PPA+%30GF+%5PTFE malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.21. PPA+%30GF+%5PTFE malzemesine ait Şekil 5.51`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	Mg	Al	Si	Ca	F
1	28,320	3,376	--	--	--	--	68,304
2	12,127	41,858	0,746	7,304	27,048	10,908	--
3	74,128	25,872	--	--	--	--	--

Şekil 5.51`deki EDS analizi görüntüsü ve Tablo 5.21`de EDS analizinin ağırlıkça sonucu verilmiştir. Buna göre Şekil 5.51 incelendiğinde, 1 numaralı nokta PTFE malzemesini, 2 numaralı nokta GF malzemesini ve 3 numaralı nokta PPA matris malzemesini göstermektedir. PPA+%30GF+%5PTFE malzemesine yapılan EDS analizi sonucunda yapıda cam fiber malzemesinin elementleri olan kalsiyum,

silisyum ve alüminyum elementleri ile PTFE malzemesine ait flor elementi gözlenmiştir. Bununla beraber yapıda, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu da görülmektedir. GF malzemesini temsil eden 2 numaralı noktada %12,12 karbon, %41,84 oksijen, %0,74 magnezyum, %7,3 alüminyum, %27,04 silisyum ve %10,9 kalsiyum bulunurken; PTFE malzemesini temsil eden 1 numaralı noktada ise %28,32 karbon, %3,37 oksijen ve %68,3 flor bulunduğu görülmektedir.



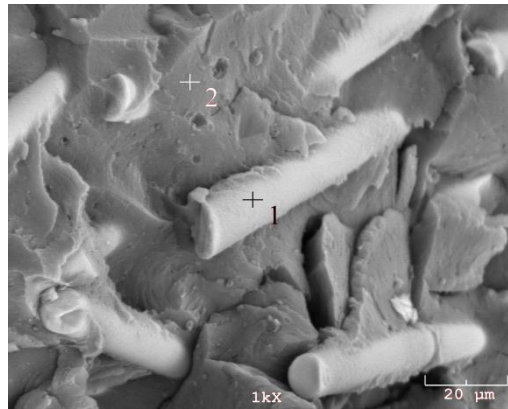
Şekil 5.52. PPA+%30GF+%10PTFE malzemesinin EDS analizi

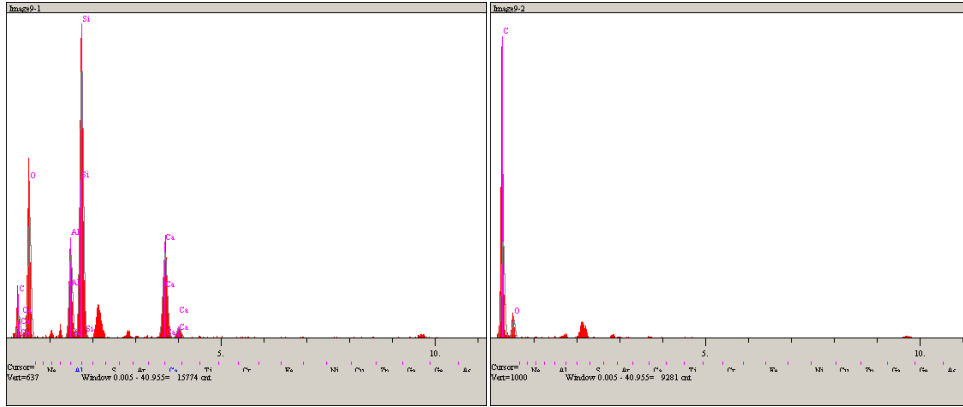


Tablo 5.22. PPA+%30GF+%10PTFE malzemesine ait Şekil 5.52’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	Al	Si	Ca	F
1	35,956	4,516	--	--	--	59,528
2	44,559	22,614	5,120	18,738	8,970	--
3	71,962	28,038	--	--	--	--

Şekil 5.52’de yer alan EDS analizi görüntüsünde, 1 numaralı nokta PTFE malzemesini, 2 numaralı nokta GF malzemesini ve 3 numaralı nokta PPA matris malzemesini göstermektedir. Tablo 5.22’de PPA+%30GF+%10PTFE malzemesine yapılan EDS analizinin ağırlıkça sonuculanmıştır. Tablo 5.22’ye göre yapıda cam fiber malzemesinin elementleri olan kalsiyum, silisyum ve alüminyum elementleri ile PTFE malzemesine ait flor elementi gözlenmiştir. Aynı zamanda yapıda, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu da görülmektedir. GF malzemesini temsil eden 2 numaralı noktada %44,55 karbon, %22,61 oksijen, %5,12 alüminyum, %18,73 silisyum ve %8,97 kalsiyum bulunurken; PTFE malzemesini temsil eden 1 numaralı noktada ise %35,95 karbon, %4,51 oksijen ve %59,52 flor bulunduğu görülmektedir.



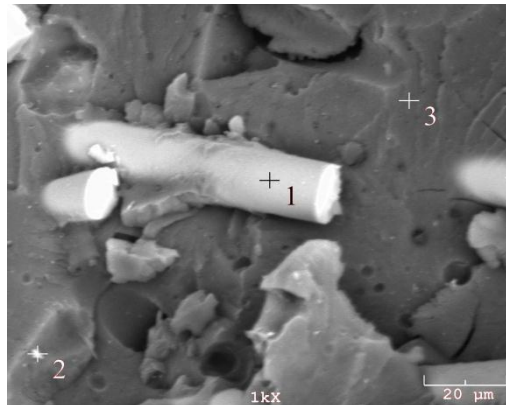


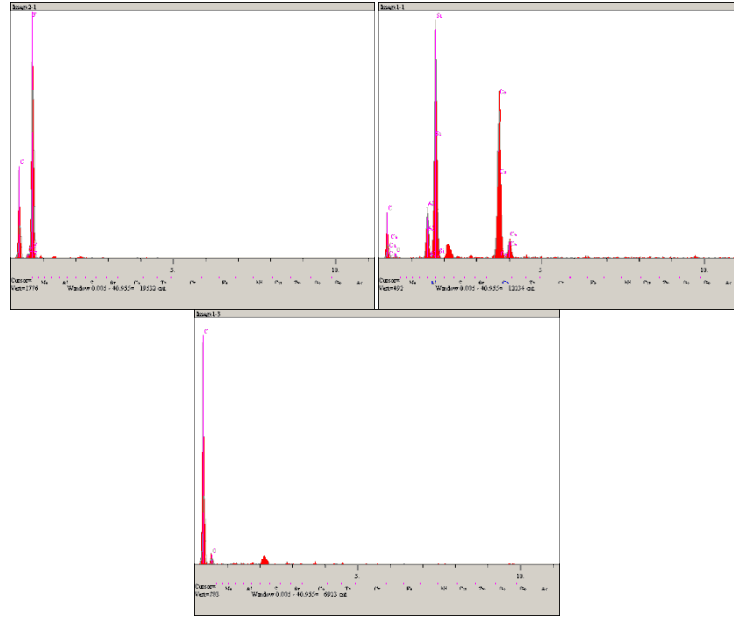
Şekil 5.53. PPA+%30GF+%4Wax malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.23. PPA+%30GF+%4Waxmalzemesine ait Şekil 5.53`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	Al	Si	Ca
1	28,848	52,186	4,478	14,182	4,307
2	67,922	32,078	--	--	--

Şekil 5.53`de PPA+%30GF+%4Wax malzemesine uygulanan EDS analizi görüntüsü ve Tablo 5.23`de ağırlıkça sonucu verilmiştir. Şekil 5.53`de görülen numaralı nokta GF malzemesini gösterirken, 2 numaralı nokta ise PTFE malzemesini göstermektedir. Tablo 5.23 incelendiğinde yapıda cam fiber malzemesinin elementleri olan kalsiyum, silisyum ve alüminyum elementleri ile PTFE malzemesine ait flor elementi görülmektedir. Aynı zamanda yapıda, karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu da görülmektedir. PPA matris malzemesini temsil eden 2 numaralı noktada %67,92 karbon ve %32,07 oksijen bulunurken, GF malzemesini temsil eden 1 numaralı noktada ise %28,84 karbon, %52,18 oksijen, %4,47 alüminyum, %14,18 silisyum ve %4,3 kalsiyum bulunduğu görülmektedir.



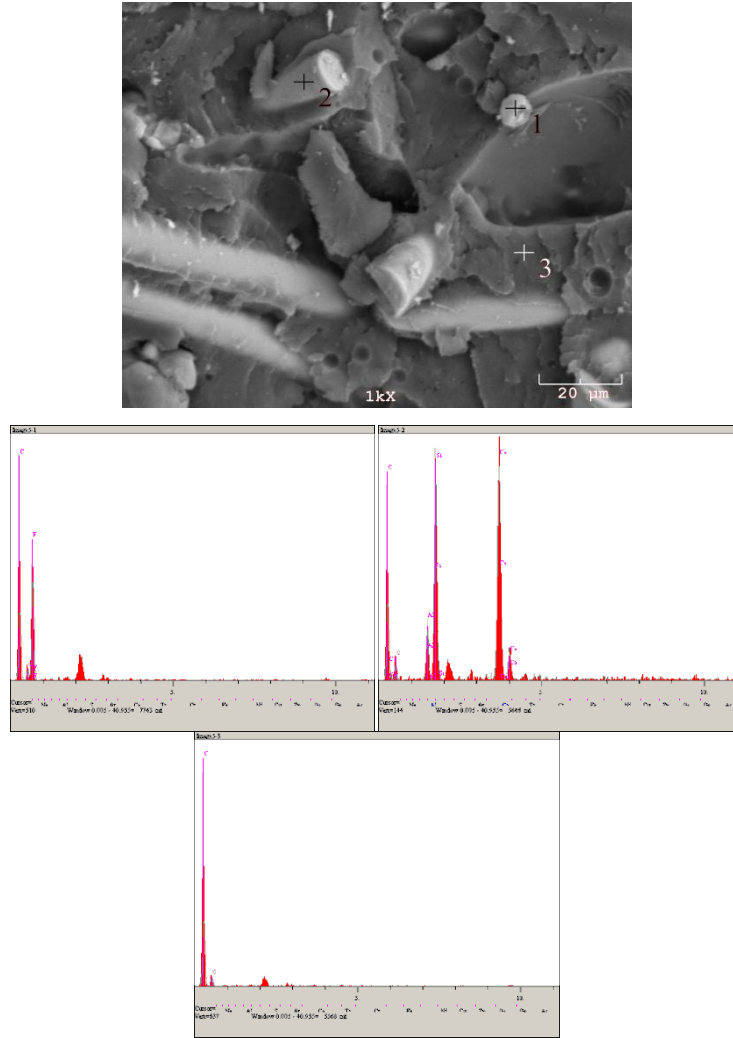


Şekil 5.54. PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.24. PPA+%30GF+%5PTFE+%4Waxmalzemesine ait Şekil 5.54’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

Nokta	C	O	Al	Si	Ca	F
1	26,681	3,110	--	--	--	70,209
2	63,318	33,788	0,540	1,737	0,617	--
3	77,423	23,577	--	--	--	--

Şekil 5.54’de PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax kompozitine uygulanan EDS analizi görüntüsü Tablo 5.24’de EDS analizinin ağırlıkça sonucu verilmiştir. Şekil 5.54’de 1 numaralı nokta GF malzemesini gösterirken, 2 numaralı PTFE malzemesini ve 3 numaralı nokta da PPA matris malzemesini göstermektedir. Kompozit yapısında cam fiber malzemesinin elementleri olan kalsiyum, silisyum ve alüminyum elementleri PTFE malzemesinin ana elemneti olan flor elementi, ayrıca karbon ve oksijen elementlerinin bulunduğu da görülmektedir. PPA matris malzemesini temsil eden 3 numaralı noktada %77,42 karbon ve %23,57 oksijen bulunurken, PTFE malzemesini temsil eden 1 numaralı noktada ise %26,68 karbon, %3,11 oksijen ve %70,2 flor bulunduğu görülmektedir.



Şekil 5.55.PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax malzemesinin EDS analizi

Tablo 5.25. PPA+%30GF+%10PTFE+%4Waxmalzemesine ait Şekil 5.55’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (% ağı.)

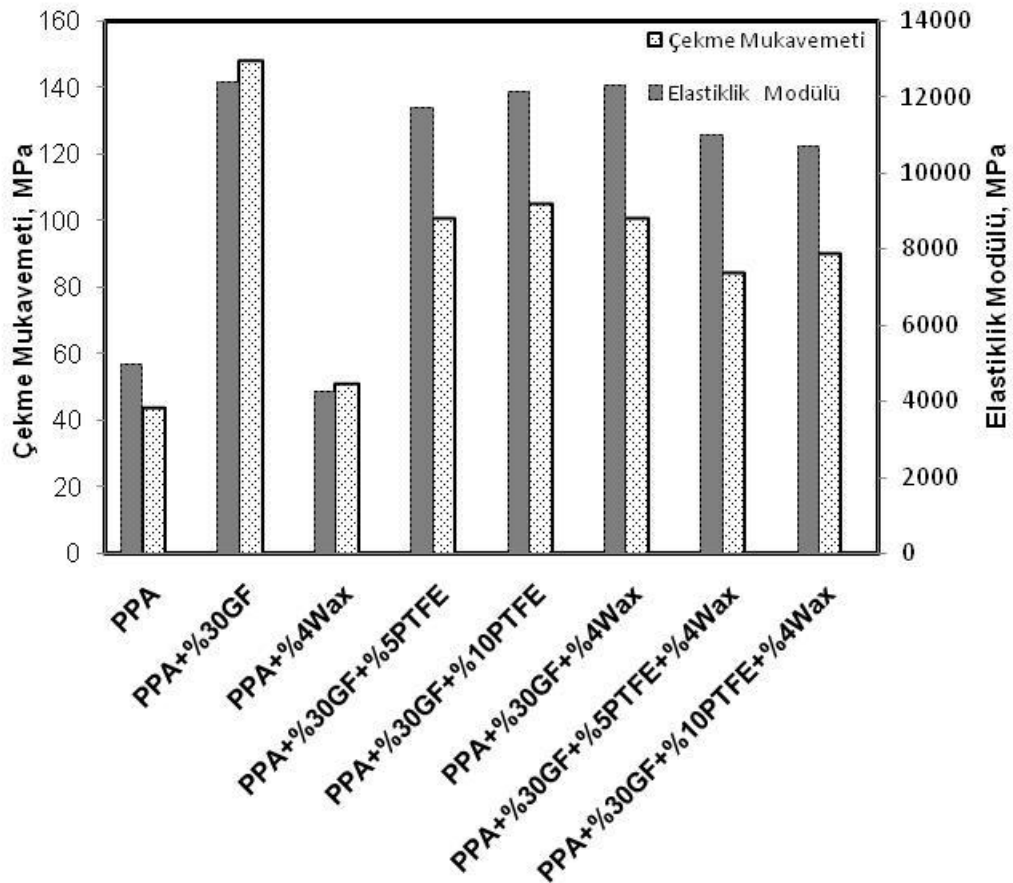
Nokta	C	O	Al	Si	Ca	F
1	50,920	7,804	--	--	--	41,277
2	60,877	15,067	2,697	10,274	11,185	--
3	72,655	27,345	--	--	--	--

PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitine uygulanan EDSanalizi Şekil 5.55’de ve ağırlıkça sonucu Tablo 5.25’de verilmiştir. Şekil 5.55’de yer alan EDS analizi görüntüsünde, 1 numaralı nokta PTFE malzemesini, 2 numaralı GF malzemesini ve 3 numara ise PPA matris malzemesini göstermektedir. Kompozit yapısında cam fiber malzemesinin elementleri olan kalsiyum, silisyum ve alüminyum elementleri ile

PTFE malzemesinin elementi olan flor elementinin bulunduğu da görülmektedir. Bununla beraber yapıda karbon ve oksijen bulunmaktadır. Tablo 5.25 incelendiğinde PTFE malzemesini temsil eden 1 numaralı nokta karbon ve oksijen dışında %41,27 oranında flor elementi bulunurken, GF malzemesini temsil eden 2 numaralı noktada karbon ve oksijen elementleri haricince %2,26 alüminyum, %10,27 silisyum ve %11,85 oranında kalsiyum bulunduğu görülmektedir.

### 5.3.2.III. Grup numunelerinin mekanik test sonuçları

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla numunelere çekme testleri uygulanmıştır. Numunelere uygulanan çekme testi sonucunda elde edilen veriler Şekil 5.56'da görülmektedir.



Şekil 5.56. III. Grup deney numunelerinin çekme mukavemeti-elastiklik modülü değerleri

Genel olarak PPA polimer matris malzemesinin çekme mukavemeti 44,16MPa olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine sırayla %30 oranında GF ilave edildiğinde çekme mukavemeti 148 MPa'a ulaşmıştır. Bu artış %235 civarındadır. Diğer taraftan PPA'ya %4 oranında Wax ilave edildiğinde ise çekme mukavemeti 51,24 MPa'a ulaşmıştır. Gerçekleşen bu artış yaklaşık olarak %16'dır.

PPA+%30GF kompoziti sırasıyla PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitleri ile kıyaslandığında çekme mukavemetleri sırasıyla 101 MPa ve 105 MPa olarak elde edilmiştir. Çekme mukavemetlerinde gerçekleşen azalma oranları yaklaşık olarak %31,75 ve %29'dur. Aynı zamanda PPA+%30GF kompozitine %4 oranında Wax ilave edildiğinde elde edilen kompozitin çekme mukavemeti değeri, PPA+%30GF kompozitine göre yaklaşık olarak %65,4 oranında azalarak 101 MPa olarak elde edilmiştir.

PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerine %4 Wax ilave edildiğinde, çekme mukavemetleri sırasıyla %16,46 ve %14,31 oranlarında azalarak 84,37 MPa ve 89,97 Mpa olarak elde edilmiştir.

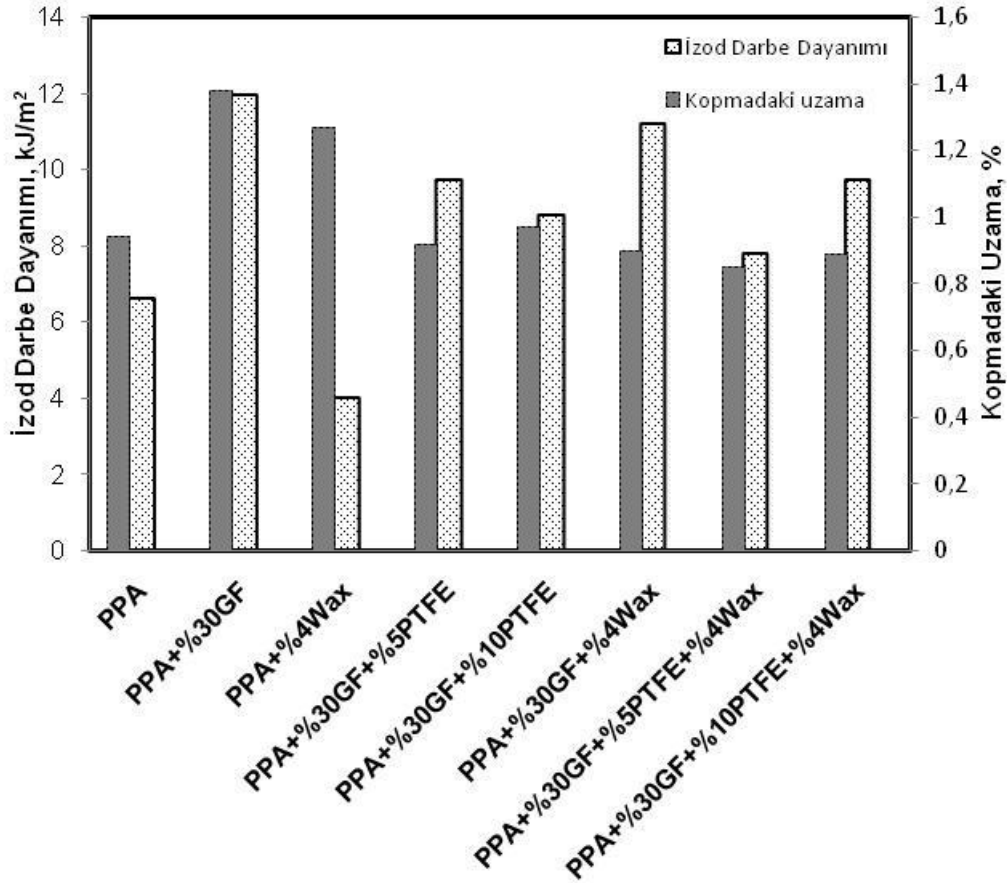
Elastiklik modülü değerleri incelendiğinde PPA matris malzemesinin elastiklik modülü 4971 MPa olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %30 GF ilave edildiğinde elastiklik modülü 12393 MPa'a ulaşmıştır. Elastiklik modülünde gerçekleşen bu artış yaklaşık %150 civarındadır. Ek olarak PPA'ya %4 Wax ilave edildiğinde elastiklik modülü azalarak 4260 MPa olarak elde edilmiştir. Gerçekleşen bu azalma yaklaşık olarak %14,3'dür.

PPA+%30GF kompoziti sırasıyla %5 ve %10 PTFE ilave edildiğinde elastiklik modülü, PPA+%30GF kompozitine göre azalarak 11741 MPa ve 12128 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda PPA+%30GF kompozitine %4 Wax ilave edildiğinde elastiklik modülü PPA+%30GF kompozitine göre azalarak 12310 MPa olarak elde edilmiştir.

PPA+%30GF+%5PTFE kompozitine %5 Wax ilave edildiğinde, elastiklik modülü 11014 MPa'a düşmüştür. Bu azalma yaklaşık %10,5 civarındadır. Ek olarak

PPA+%30GF+%10PTFE kompozitine %4 Wax ilave edildiğinde ise elastiklik modülü 10712 MPa'adüşmüştür. Gerçekleşen bu azalma yaklaşık olarak %13'dür.

III. grup numunelerinin kırılmadaki uzama ile darbe dayanımı sonuçları, Şekil 5.57'de yer almaktadır.



Şekil 5.57. III. Grup deney numunelerin izod darbe dayanımı- kopmadaki % uzama değerleri

PPA polimer matris malzemesinin çentikli izod darbe dayanımı ile PPA+%4Wax malzemesinin izod darbe dayanımları karşılaştırıldığında; PPA polimerinin izod darbe dayanımı 6,6 kJ/m<sup>2</sup> olarak elde edilirken, PPA+%4Wax malzemesinin izod darbe dayanımı 4 kJ/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Ek olarak PPA matris malzemesine %30 GF ilave edilmesiyle elde edilen PPA+%30GF kompozitinin izod darbe dayanım değeri, PPA'ya göre %81 oranında artış göstererek 11,95 kJ/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. PPA+%30GF kompozitine sırasıyla %5 ve %10 PTFE ilave edildiğinde kompozitlerin izod darbe dayanımları, PPA+%30GF kompozitine kıyasla artarak 9,7

$\text{kJ/m}^2$  ve  $8,8 \text{ kJ/m}^2$  olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda PPA+%30GF+%4Wax kompozitinin darbe dayanımı ise  $11,2 \text{ kJ/m}^2$  olarak elde edilmiştir.

PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerine %4 Wax ilave edildiğinde elde edilen yeni kompozitlerin izod darbe dayanımları  $7,8 \text{ kJ/m}^2$  ve  $9,7 \text{ kJ/m}^2$  olarak elde edilmiştir.

Kopmadaki %uzama değerleri incelendiğinde PPA matris malzemesinin kopmadaki % uzama değeri 0,94 olarak elde edilirken, PPA+%30GF ve PPA+%4Wax kompozitlerinin kopmadaki %uzamaları ise PPA matris malzemesine göre yaklaşık olarak sırasıyla %47 ve %35 oranında artış göstererek 1,38 ve 1,27 olarak elde edilmiştir.

PPA+%30GF kompozitine sırasıyla %5 ve %10 PTFE ilave edildiğinde, kompozitlerin kopmadaki %uzama değerlerinin 0,92 ve 0,97 olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda PPA+%30GF kompozitine %4 Wax ilave edildiğinde elde edilen kompozitin kopmadaki %uzama değeri 0,90 olarak elde edilmiştir. PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin kopmadaki %uzamaları 0,85 ve 0,90 olarak elde edilmiştir.

III. grup numunelerinin shore D sertlik testi sonuçları Tablo 5.26'da verilmiştir.

Tablo 5.26. III. Grup deney numunelerinin Shore D sertlik değerleri

Numune İsmi	Sertlik (Shore D)
PPA	82
PPA+%4Wax	82
PPA+%30GF	88
PPA+%30GF+%5PTFE	86
PPA+%30GF+%10PTFE	87
PPA+%30GF+%4Wax	85
PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax	84
PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax	82



Genel olarak PPA matris numunesi için 82 shore D sertlik değeri elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %30 GF ilave edildiğinde, elde edilen kompozitin sertliği 88 shore D olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda PPA'ya %4 Wax malzemesi ilave edilmesiyle malzemenin shore D sertlik değerinde bir değişim gözlenmemiştir.

PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerinin shore D sertlik değerleri 86 shore D ve 87 shore D olarak elde edilirken, diğer taraftan PPA+%30GF kompozitine %4 Wax ilave edildiğinde, elde edilen kompozitin shore D sertlik değeri 85 olarak elde edilmiştir.

PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerine, %4 oranında Wax ilave edildiğinde, elde edilen kompozitler sırasıyla 84 shore D ve 82 shore D değerlerini sergilemiştir.

Numuneler arasında hem en yüksek izod darbe dayanımını hem de en yüksek kopmadaki %uzamayı; 11,95 kJ/m<sup>2</sup> ve %1,38 değerleri ile PPA+%30GF kompozitinde elde edilmiştir. Aynı zamanda en yüksek sertlik değeri de 88 shore D sertlik değeri ile PPA+%30GF kompozitinde gözlenmiştir.

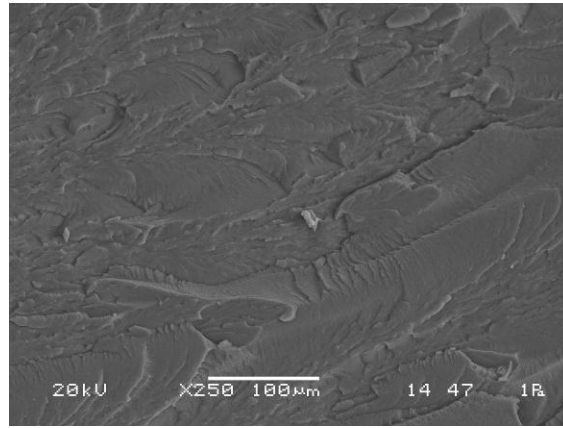
Daha önce yapılan çalışmalarda da [19,21,23] PA6 ve PA6/kil kompozitine ve PA66 malzemesine GF ilave edilmesinin, kompozitlerin çekme mukavemetleri ve elastiklik modüllerinde artırıcı etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten literatürde yer alan bazı çalışmalarda [20,22,24,25] ise PP ve PA malzemelerine GF eklenmesiyle kompozitlerin darbe dayanımlarında artış gerçekleştiği, bir çalışmada [25] da PP'e GF eklenmesiyle kompozitin sertlik değerinde artış gerçekleştiği belirlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada bulduğumuz sonuçlar ile uyumlu çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda [26,27,32] PEEK malzemesine, PA6/PPS karışımına ve PA66/aramid elyaf kompozitine PTFE ilave edilmesinin kompozitlerin çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve sertlik değerlerinde düşürücü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yani PTFE içeren kompozitlerle ilgili yapılan çalışmalarda bulunan sonuçlarla uyumlu çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Daha önce wax malzemesi ile yapılan bir çalışmada [28] PA6%+10PTFE kompozitlerine wax malzemesi eklenmesinin, kompozitlerin çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve % uzama değerlerinde düşürücü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yani bulduğumuz sonuçla uyumlu bir çalışma literatürde yer almaktadır.

### 5.3.2.1. III. Grup numunelerinin SEM analizi

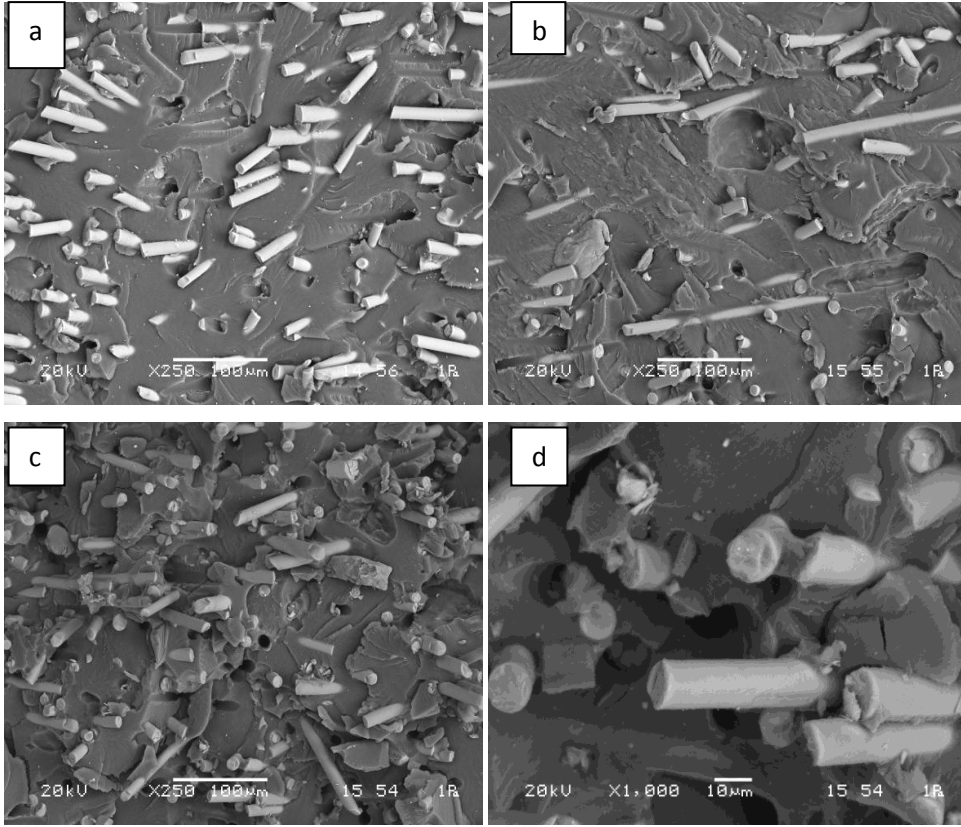
Numunelerin kırılma türünü belirlemek amacıyla çekme testi sonrasında kırılan yüzeylerden SEM görüntüleri alınmıştır. PPA matris malzemesinin kırılma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5.58’de verilmiştir.



Şekil 5.58. PPA matris malzemesinin kırılma yüzey görüntüleri

Şekil 5.58’den, PPA polimer matris malzemesinin taramalı elektron mikroskobundan alınan mikroyapı fotoğrafı görülmektedir.

PPA+%30GF, PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerinin kırılma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5.59’de görülmektedir.

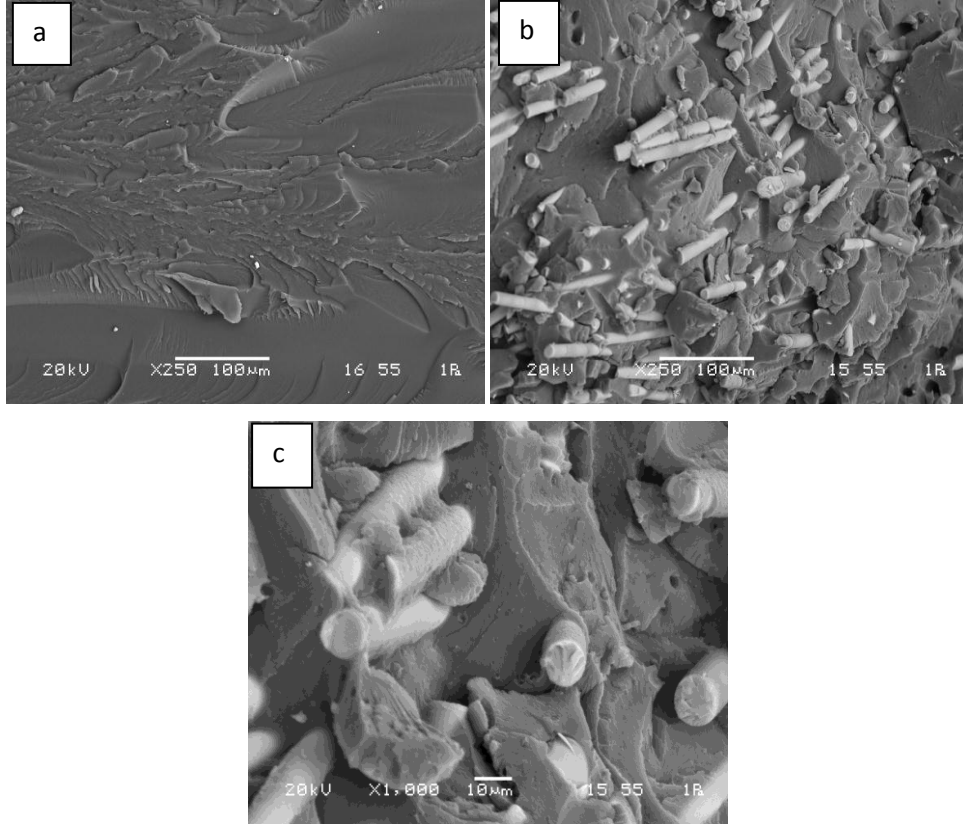


Şekil 5.59. a-PPA+%30GF, b-PPA+%30GF+%5PTFE, c,d-PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri

Şekil 5.59-a'da yer alan PPA+%30GF kompozitinin kırık yüzey görüntüsünden, matris içinde cam elyafların homojen dağılımı göze çarpmaktadır. Bununla beraber, çekme testi sırasında matristen sıyrılan fiberlerin boşlukları ve yoğun derecede kırık fiber uçları da yapıda görülebilmektedir.

Şekil 5.59-b ile c,d'de bulunan PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerinin kırık yüzey görüntüleri, fiberlerin matris tarafından iyi derecede ıslatıldığını göstermektedir. Aynı zamanda, fiberler ve matris açısından, yapının oldukça homojen olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca yapıda çok sayıda kırık fiber ucu ve çekme testi sırasında matristen sıyrılan fiberlerin boşlukları da görülebilmektedir.

PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax malzemelerinin kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5.60'da verilmiştir.

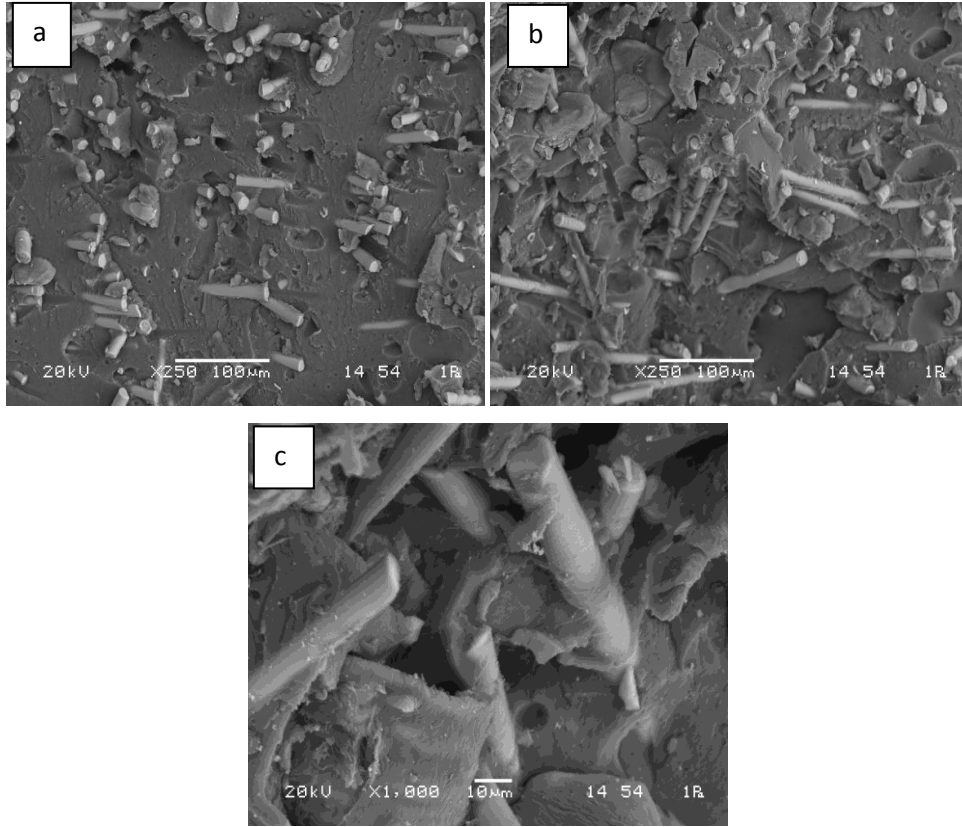


Şekil 5.60. a- PPA+%4Wax ve b,c- PPA+%30GF+%4Wax kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri

Şekil 5.60.a'da yer alan PPA+%4Wax kompozitinin kırılma yüzey görüntüsünden; yapının homojen ve boşluksuz olduğu görülmektedir.

Şekil 5.60.b,c'de yer alan PPA+%30GF+%4Wax'ın kırılma yüzey görüntüsü, cam fiberlerin matris tarafından iyi bir şekilde ıslatıldığını göstermektedir. Aynı zamanda çekme testi sırasında matristen sıyrılan fiberlerin ortaya çıkardığı boşluklar ve çok sayıda kırık fiber ucunun olduğu gözlenmektedir.

PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax malzemelerinin kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5.61'de verilmiştir.



Şekil 5.61. a- PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax, b,c- PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin kırılma yüzey görüntüleri

Şekil 5.61-a'da yer alan PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax kompozitinin kırılma yüzey görüntüsünden; cam fiberlerin yapıda homojen dağıldığı görülmektedir. Yapıda çok sayıda kırık fiber ucu görülmektedir. Ayrıca yapıda çekme testi sırasında matristen sıyrılan fiberlerin oluşturduğu boşluklar da yer almaktadır.

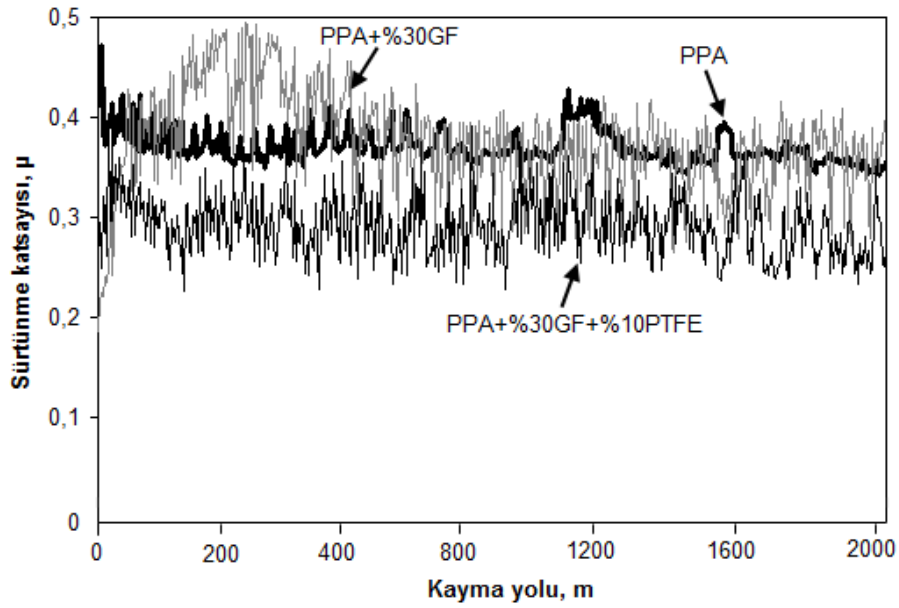
Şekil 5.61-b,c'de yer alan PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kırılma yüzey görüntüsü, cam fiberlerin matris tarafından iyi bir şekilde ıslatıldığını göstermektedir. Aynı zamanda çekme testi sırasında matristen sıyrılan fiberlerin ortaya çıkardığı boşluklar ve çok sayıda kırık fiber ucunun olduğu gözlenmektedir.

III. gruba ait tüm numunelerin taramalı elektron mikroskobundan alınan mikroyapı fotoğraflarında topaklanma görülmemektedir. Mukavemet değerlerinin ise makul değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple tüm deney numunelerinde matris ile fiberler arası ıslatma düzeyinin çok iyi olduğu söylenebilir.

### 5.3.3.III. Grup numunelerinin tribolojik özellikleri

#### 5.3.3.1. III. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi

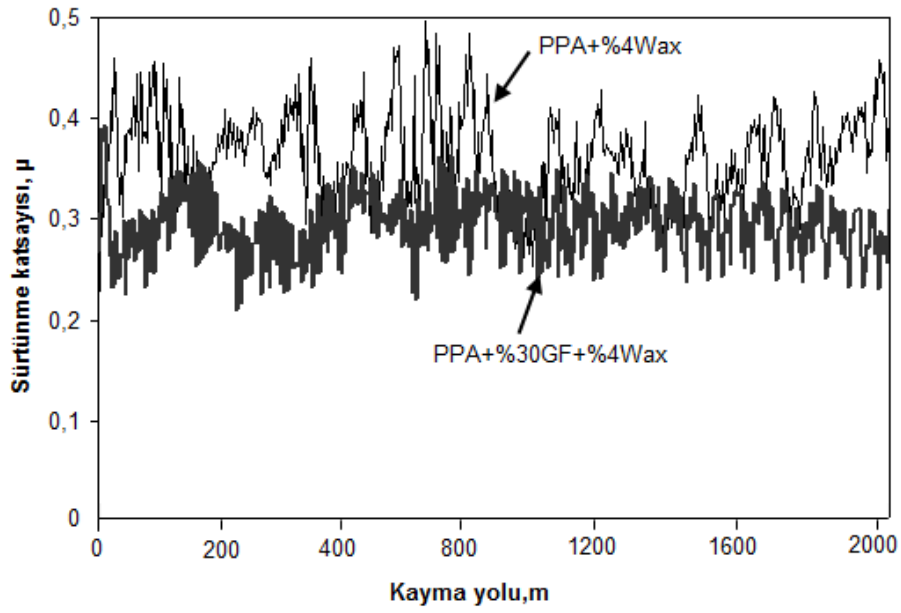
Şekil 5.62’de, katkısız PPA ile PPA+%30GF ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozit malzemelerin, 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir.



Şekil 5.62. PPA, PPA+%30GF ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerinin 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 5.14 incelendiğinde katkısız PPA’nın sürtünme katsayısı 0,38 ile 0,42 arasında elde edilmiştir. PPA+%30GF kompozitinin sürtünme katsayısı 0,35 ile 0,40 arasında elde edilirken PPA+%30GF+%10PTFE kompozitinin sürtünme katsayısı değerleri ise 0,27 ile 0,32 arasında elde edilmiştir.

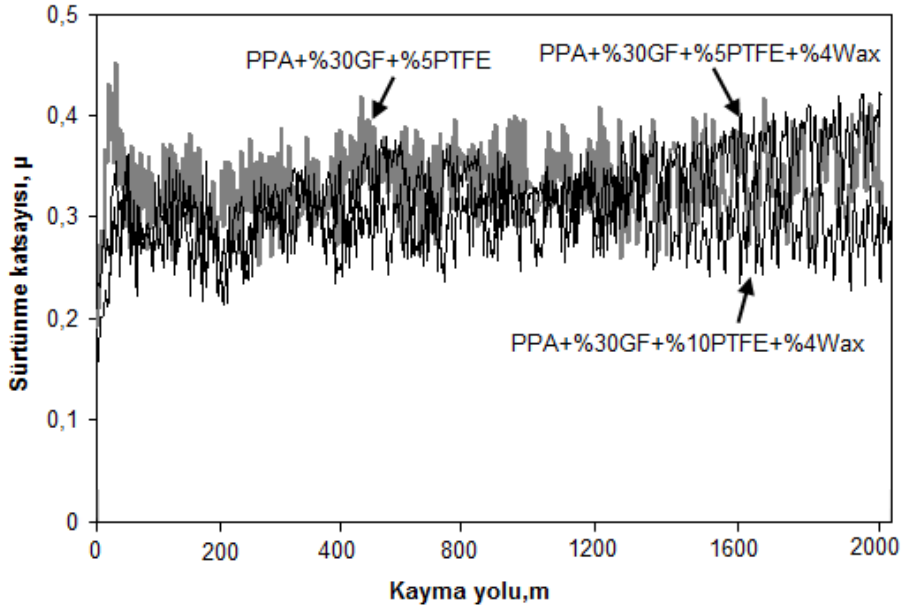
Şekil 5.63’de, PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax kompozit malzemelerinin, 1m/s kayma hızı-40N yük altında, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir.



Şekil 5.63. PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax kompozitlerinin 1m/s kayma hızı ve 40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 5.63’de görüldüğü gibi PPA+%4Wax’ın sürtünme katsayısı değerleri 0,31 ile 0,41 arasında elde edilirken, PPA+%30GF+%4Wax kompozitinin sürtünme katsayısı ise 0,25 ile 0,32 arasında elde edilmiştir.

Şekil 5.64’de, PPA+%30GF+%5PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozit malzemelerinin, 1m/s kayma hızı-40N yük altında, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir.



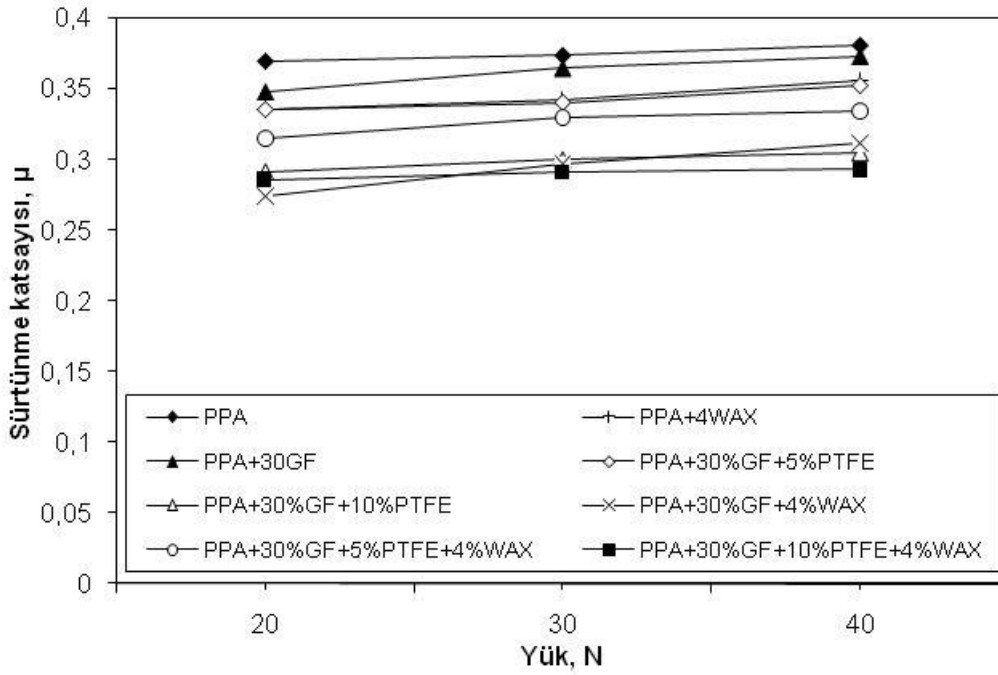
Şekil 5.64. PPA+30GF%5PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin 1m/s kayma hızı-40N yük altında sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 5.64 incelendiğinde PPA+%30GF+%5PTFE kompozitinin sürtünme katsayısı 0,31 ile 0,36 arasında elde edilmiştir. Diğer taraftan PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax kompozitinin sürtünme katsayısı 0,26 ile 0,36 arasında, PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitinin sürtünme katsayısı değerleri ise 0,25 ile 0,31 arasında elde edilmiştir.

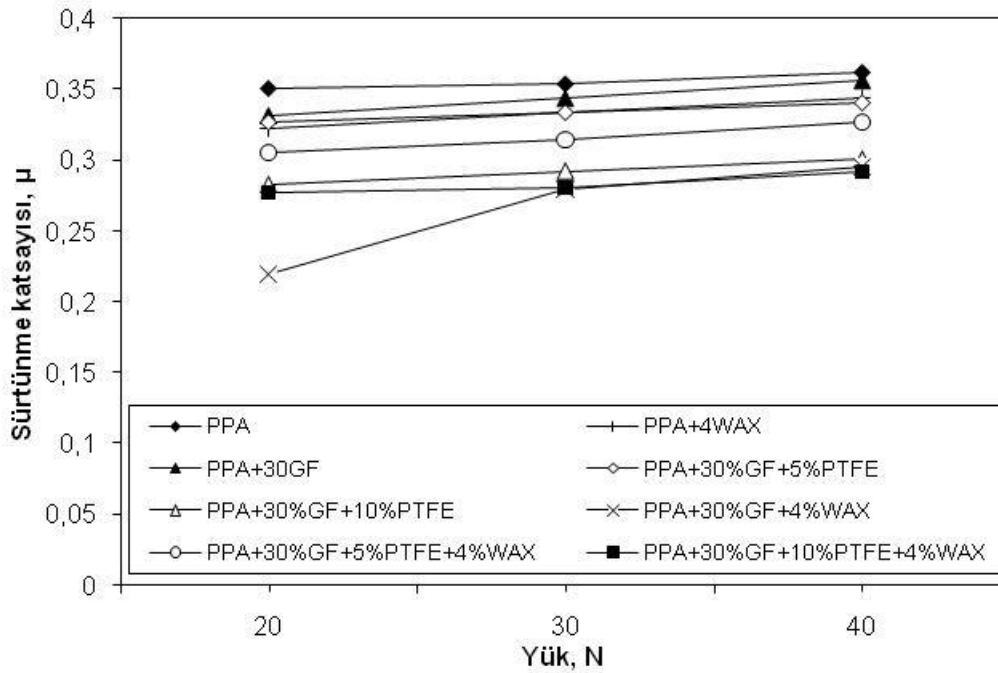
### 5.3.3.2. III. Grup numunelerinin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi

Şekil 5.65 ve Şekil 5.66'da katkısız PPA ile %30GF, %4Wax, %30GF+%4Wax, %30GF+%5PTFE, %30GF+%10PTFE, %30GF+%5PTFE+%4Wax ve %30GF+%10PTFE+%4Wax katkılı kompozit malzemelerin, 0,5 m/s ve 1m/s kayma hızında, uygulanan yüke bağlı olarak sürtünme katsayılarındaki değişim verilmiştir.





Şekil 5.65. III. grup deney numunelerinin 0,5 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı-yol grafiği



Şekil 5.66. III. grup deney numunelerinin 1,0 m/s kayma hızında sürtünme katsayısı-yol grafiği

Şekil 5.65 ve Şekil 5.66 incelendiğinde kayma süresince, tüm malzemelerde; uygulanan yükün artmasıyla, sürtünme katsayısının arttığı gözlenmiştir.

0,5 m/s kayma hızı ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın sürtünme katsayısı 0,3805 olarak elde edilmiştir. Katkısız PPA polimer matris malzemesine sırasıyla %4 Wax ve %30 GF ilave edildiğinde, elde edilen kompozitlerin sürtünme katsayıları 0,3563 ve 0,3729 arasında elde edilmiştir.

PPA+%30GF+%4Wax kompozitine %4 Wax ilave edildiğinde, sürtünme katsayısı değeri azalarak 0,3112 olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda PPA+%30GF kompozitine sırasıyla %5 ve %10 PTFE ilave edildiğinde ise, sürtünme katsayıları 0,3524 ve 0,3044 olarak elde edilmiştir.

PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin sürtünme katsayıları azalarak 0,3345 ve 0,293 olarak elde edilmiştir.

1 m/s kayma hızında ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın sürtünme katsayısı 0,3622 olarak elde edilirken, PPA polimerine sırasıyla %4 Wax ve %30 GF ilave edilmesiyle ise, elde edilen kompozitlerin sürtünme katsayıları %4,88 ve %1,54 oranında azalmıştır.

PPA+%30GF kompozitine %4 Wax ilave edildiğinde sürtünme katsayısı %17,07 oranında azalmıştır. Aynı zamanda PPA+%30GF kompozitine sırasıyla %5 ve %10 PTFE ilave edildiğinde ise, sürtünme katsayıları %4,37 ve %15,73 oranında azalmıştır.

PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerine %4 oranında wax malzemesi ilave edildiği durumda sürtünme katsayıları %4,1 ve %2,92 oranında azalmıştır.

Şekil 5.65'de görüldüğü gibi 0,5 m/s kayma hızında ve 40N yük altında, en yüksek sürtünme katsayısı 0,3805 değeri ile PPA polimerinde elde edilirken, en düşük sürtünme katsayısı ise 0,2930 değeri ile PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitinde elde edilmiştir.

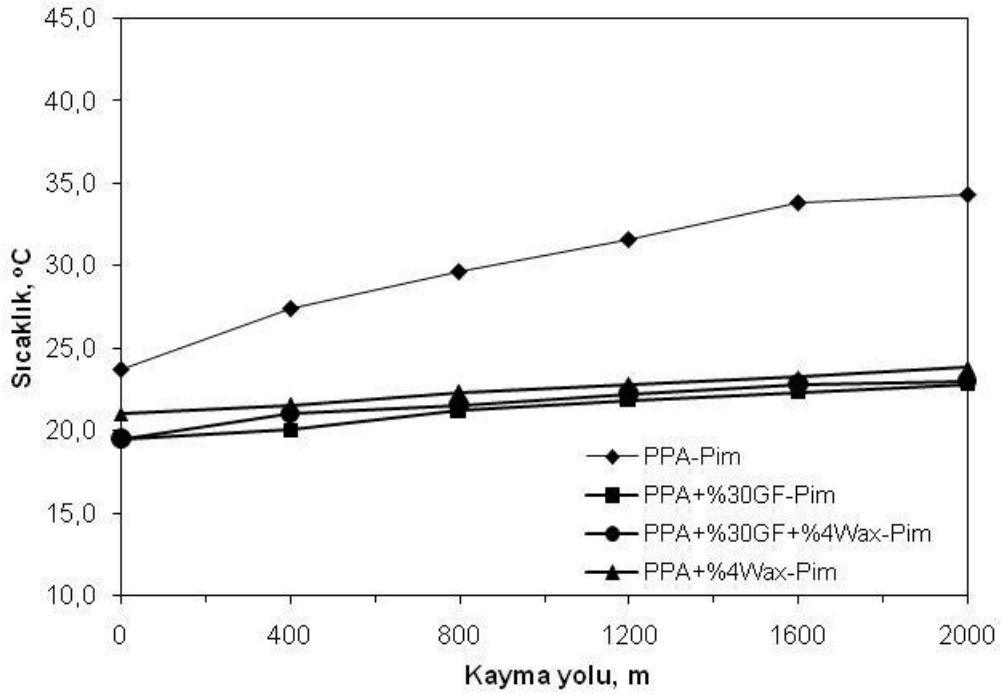
Şekil 5.66'da görüldüğü gibi, 1 m/s kayma hızında ve 40N yük altında, en yüksek sürtünme katsayısı 0,3622 değeri ile PPA polimerinde elde edilmiştir. Diğer taraftan en düşük sürtünme katsayısı ise 0,2917 değeri ile PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitinde elde edilmiştir.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda [41,42,50,53] naylon 66 malzemesine, PEI malzemesine, PA66 malzemesine ve PA6-poliüretan kopolimerine eklenen GF malzemesinin, kompozitlerine sürtünme katsayılarında düşüşe sebep olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak daha önce yapılan çalışmalarda [45,49,51,52,53,54] aşınma testlerinde uygulanan yükün artırılmasıyla birlikte kompozitlerin sürtünme katsayılarında artış gerçekleştiği belirlenmiştir. Dolayısıyla GF içeren kompozit numuneler için elde edilen sonuçlarla benzer olan çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Yani bu çalışmada bulduğumuz sonuçlar, literatür ile uyumludur.

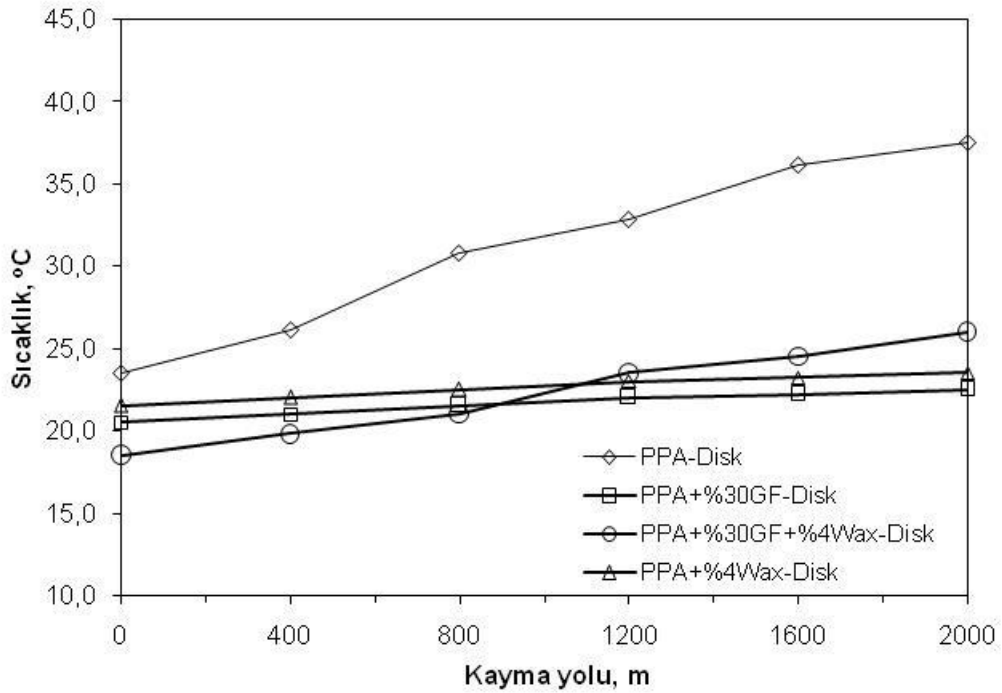
Disklerde gerçekleşen sıcaklık artışı, Şekil 5.67, Şekil 5.68, Şekil 5.69 ve Şekil 5.70'den görülebilmektedir.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda [26,32,56,57,64] PEEK malzemesine, PA66/aramid elyaf kompozitine, epoksi+CF kompozitine, PMMA/CF kompozitine PPESK'e ilave edilen PTFE katkısının, kompozitlerin sürtünme katsayılarında düşürücü etki yaptığı tespit edilmiştir. Yani bulunan sonuçların literatürdeki bazı çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Daha önce wax malzemesi ile yapılan bir çalışmada [28] wax katkılı naylon6 kompozitlerinin sürtünme katsayısının, katkısız naylon6 malzemesinin katsayısından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda yer alan wax içeren kompozitlerin pim ve çelik disk sıcaklıklarının, wax içermeyen kompozitlerin sıcaklıklarından daha düşük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bulduğumuz sonuçlar literatür [28] ile uyumludur.



Şekil 5.67. Aşınma deneyi sırasında katkısız PPA, PPA+%30GF, PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax kompozitlerine ait pim numunelerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük: 40N, Hız: 1,0 m/s]

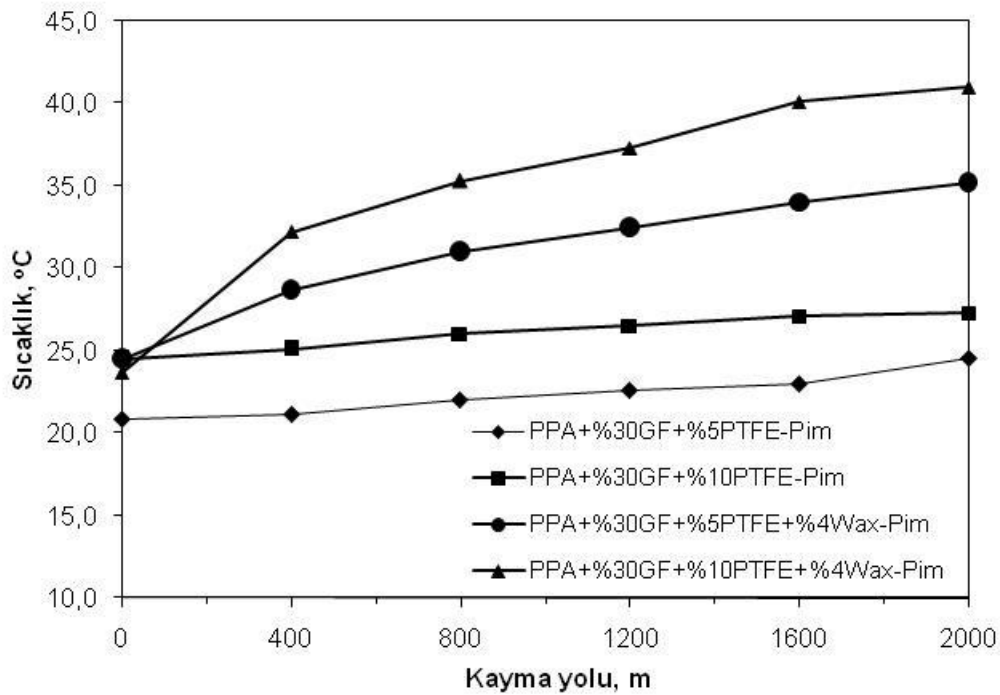


Şekil 5.68. Aşınma deneyi sırasında katkısız PPA, PPA+%30GF, PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax kompozitlerine ait pim numuneleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük: 40N, Hız: 1,0 m/s]

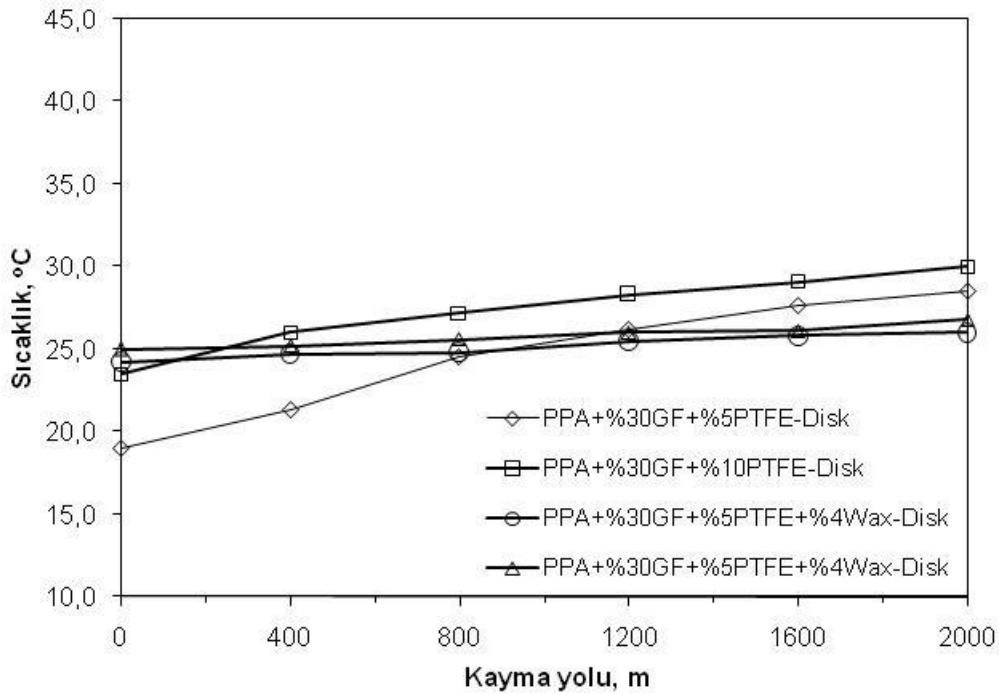
Şekil 5.67 ve 5.68 incelendiğinde, en yüksek pim ve disk sıcaklıklarını; 34,3°C pim sıcaklığı ve 37,5°C disk sıcaklığı ile katkısız PPA'ya ait pim numunesinde ve

katkısız PPA pim numunesi ile çalışan çelik diskde elde edilmiştir. Bununla beraber; PPA+%30GF, PPA+%4Wax ve PPA+%30GF+%4Wax kompozitine ait pim numunelerinde ve bu pim numuneleri ile çalışan çelik disklerde, hemen hemen aynı sıcaklıklar elde edilmiştir.

1m/s kayma hızında ve 40N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sırasında katkısız PPA ile PPA+%4Wax, PPA+%30GF, PPA+%30GF+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE, PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozit numunelerinin pimlerinde ve çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri Şekil5.69 ve Şekil 5.70’de verilmiştir.



Şekil 5.69. Aşınma deneyi sırasında PPA+%30GF+%5PTFE PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerine ait pim numunelerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük: 40N, Hız: 1,0 m/s]



Şekil 5.70. Aşınma deneyi sırasında PPA+%30GF+%5PTFE PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerine ait pim numuneleri ile çalışan çelik disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri [Yük: 40N, Hız: 1,0 m/s]

Şekil 5.69'dan görüldüğü üzere, test edilen numuneler arasında, aşınma deneyi sonunda ulaşılan en yüksek sıcaklık, 41°C ile PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitine ait pim numunesinde elde edilmiştir. PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax kompozitine ait pim numunesinde, 2000m. kayma mesafesi sonunda sıcaklığın 35,2°C'ye ulaştığı görülmektedir. Aynı zamanda aşınma deneyi sonunda; PPA+%30GF+%10PTFE kompozitine ait pim numunesinin sıcaklığı 27,3°C'ye ulaşırken, PPA+%30GF+%5PTFE kompozitine ait pim numunesinin sıcaklığı ise 24°C'ye ulaşmıştır.

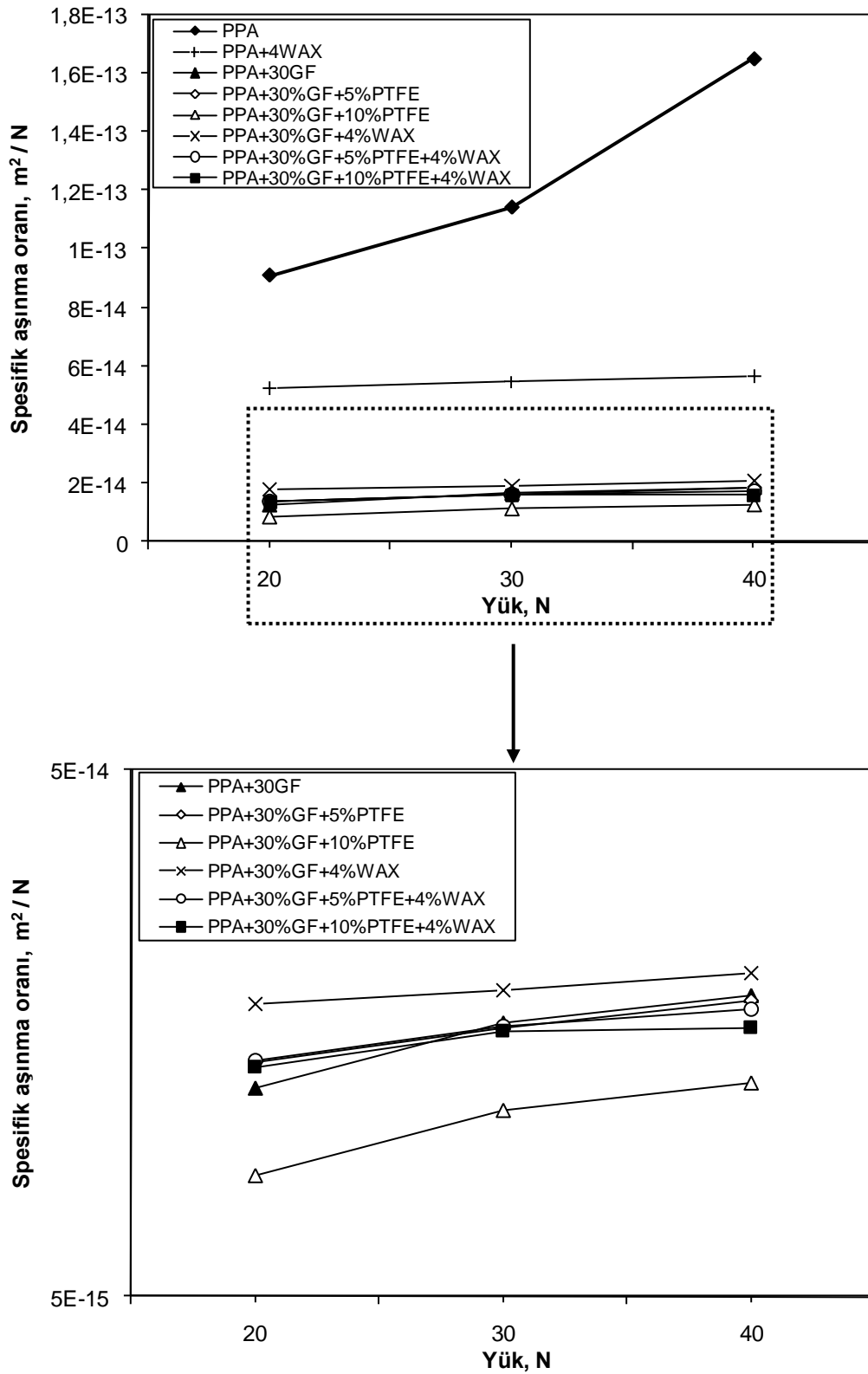
Şekil 5.70'de yer alan çelik disk sıcaklıkları incelendiğinde, PPA+%30GF+%5PTFE PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitleri ile çalışan çelik disklerde 2000m. kayma mesafesi sonunda yaklaşık olarak aynı sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

Genel olarak kayma hızı 0,5 m/s'den 1m/s'ye yükselttiğinde, yani %100 arttırıldığında, III. grup numunelerinin sürtünme katsayılarında düşüş gerçekleştiği gözlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda [18,39,46,54,61] aşınma testlerinde

kayma hızının artırılmasıyla birlikte malzemelerin sürtünme katsayılarında düşüş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yani bu çalışmada bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyumludur.

### **5.3.3.3. III. Grup numunelerinin spesifik aşınma oranı-yük ilişkisi**

Şekil 5.71'de, katkısız PPA ile %30GF, %4Wax, %30GF+%4Wax, %30GF+%5PTFE, %30GF+%10PTFE, %30GF+%5PTFE+%4Wax ve %30GF+%10PTFE+%4Wax katkılı kompozit malzemelerin 0,5 m/s kayma hızında, uygulanan yüke bağlı spesifik aşınma oranlarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 5.71. III. Grup deney numunelerinin 0,5 m/s hızda, spesifik aşınma oranı-yük grafiği ve detayı



Şekil 5.71 incelendiğinde kayma süresince, tüm malzemelerde; uygulanan yükün artmasıyla, spesifik aşınma oranlarının arttığı gözlenmiştir.

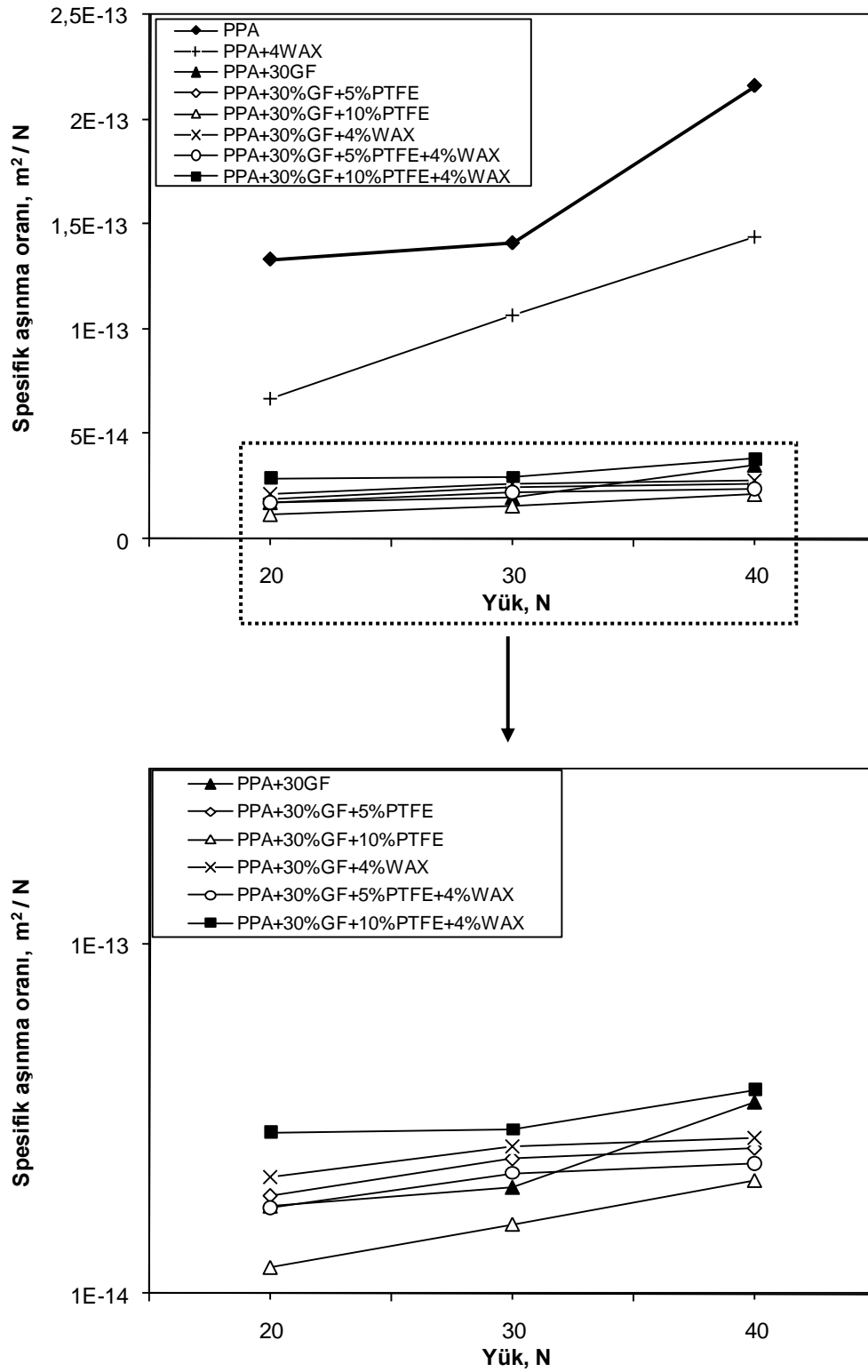
0,5 m/s kayma hızında ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın spesifik aşınma oranı  $1,65 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine sırasıyla %4 Wax ve %30 GF ilave edildiğinde, elde edilen kompozitlerin spesifik aşınma oranları  $5,66 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,86 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak elde edilmiştir. Spesifik aşınma oranlarında gerçekleşen bu artışlar sırasıyla %65,6 ve %88,7 civarındadır.

PPA+%30GF kompozitine %4 Wax ilave edildiğinde, spesifik aşınma oranının  $2,05 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 'e düştüğü görülmüştür. Bu düşüş yaklaşık olarak %87,5'dir. Aynı zamanda PPA+%30GF kompozitine sırasıyla %5 ve %10 PTFE ilave edildiğinde, spesifik aşınma oranları azalarak  $1,82 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,26 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak elde edilmiştir. Spesifik aşınma oranlarında gerçekleşen bu azalmalar sırasıyla %2,15 ve %32,2 civarındadır.

PPA+%30GF+%5PTFE kompozitine %4 Wax malzemesi ilave edildiğinde, spesifik aşınma oranının  $1,75 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 'a düştüğü gözlenmiştir. Gerçekleşen bu azalma %3,84 civarındadır. PPA+%30GF+%10PTFE kompozitine %4 Wax malzemesi ilave edilmesiyle spesifik aşınma oranının  $1,61 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 'e düştüğü ve bu düşüşün yaklaşık olarak %11,5 olduğu görülmüştür.

Şekil 5.71'de görüldüğü gibi, 0.5m/s kayma hızı ve 40N yük altında, en yüksek spesifik aşınma oranı  $1,65 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile katkısız PPA polimeinde elde edilirken, en düşük spesifik aşınma oranı ise  $1,26 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile PPA+%30GF+%10PTFE kompozitinde elde edilmiştir.

Şekil 5.72'de katkısız PPA ile %30GF, %4Wax, %30GF+%4Wax, %30GF+%5PTFE, %30GF+%10PTFE, %30GF+%5PTFE+%4Wax ve %30GF+%10PTFE+%4Wax katkılı kompozit malzemelerin, 1 m/s kayma hızında, uygulanan yüke karşı spesifik aşınma oranlarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 5.72. III. Grup deney numunelerinin 1 m/s hızda, spesifik aşınma oranı-yük grafiği ve detayı

Şekil 5.72'den kayma süresince, uygulanan yükün artışına bağlı olarak; tüm kompozitlerin spesifik aşınma oranlarının arttığı gözlenmiştir.

1 m/s kayma hızında ve 40N yük altında, katkısız PPA'nın spesifik aşınma oranı  $2,16 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak elde edilmiştir. Katkısız PPA matris polimerine sırasıyla %4 Wax ve %30 GF ilave edildiğinde ise, spesifik aşınma oranları, katkısız PPA matris malzemesine göre %33,8 ve %83,6 oranında azalarak  $1,43 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,54 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak elde edilmiştir.

PPA+%30GF kompozitine %4 Wax ilave edildiğinde, spesifik aşınma oranı  $2,77 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 'e düşmüştür. Bu azalma yaklaşık olarak %21,75'dir. Aynı zamanda PPA+%30GF kompozitine %5 PTFE ilave edilmesiyle isespesifik aşınma oranı  $2,60 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 'a düşmüştür. Spesifik aşınma oranında gerçekleşen bu azalma %26,55 civarındadır. PPA+%30GF kompozitine %10 PTFE ilave edilmesiyle spesifik aşınma oranı  $2,11 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 'a düşmüştür. Gerçekleşen bu azalma ise yaklaşık %40,3 civarındadır.

PPA+%30GF+%5PTFE kompozitine %4 oranında wax malzemesi ilave edildiği durumda, spesifik aşınma oranını %9,2 oranında azalarak  $2,36 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda PPA+%30GF+%10PTFE kompozitine %4 Wax ilave edilmesiyle spesifik aşınma oranı %81,5 artışla  $3,83 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.72'de görüldüğü gibi, 1m/s kayma hızında ve 40N yük altında, en yüksek spesifik aşınma oranı  $2,16 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile katkısız PPA polimerinde elde edilirken, en düşük spesifik aşınma oranı ise  $2,11 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile PPA+%30GF+%10PTFE kompozitinde elde edilmiştir.

Şekil 5.71 ve Şekil 5.72'de görüldüğü gibi katkısız PPA polimeri 20 ile 40N yük aralığında en fazla aşınan malzeme olarak tespit edilmiştir. Bu aralıktaki PPA'nın spesifik aşınma oranı ortalama  $1,7 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak bulunmuştur.

PPA polimerine sadece yağlayıcı olarak wax ilave edilmesi spesifik aşınma oranının düşmesine pek etki etmemiştir. Ancak %10PTFE ile %30GF takviyeli kompozit, wax ile kompozite göre daha iyi aşınma direnci göstermektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda [41,42,43,44,50,51,52,53] PEI malzemesine, polyester malzemesine, PA66 malzemesine, poliasetal ve PA6-PU kopolimerine GF malzemesinin eklenmesinin, kompozitlerin spesifik aşınma oranlarında düşürücü etki yaptığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten literatürde yer alan bazı çalışmalarda [44,47,52,70] aşınma testlerinde uygulanan yükün arttırılmasının, kompozitlerin spesifik aşınma oranlarında arttırıcı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla elde ettiğimiz sonuçlarla benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Yani bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyumludur.

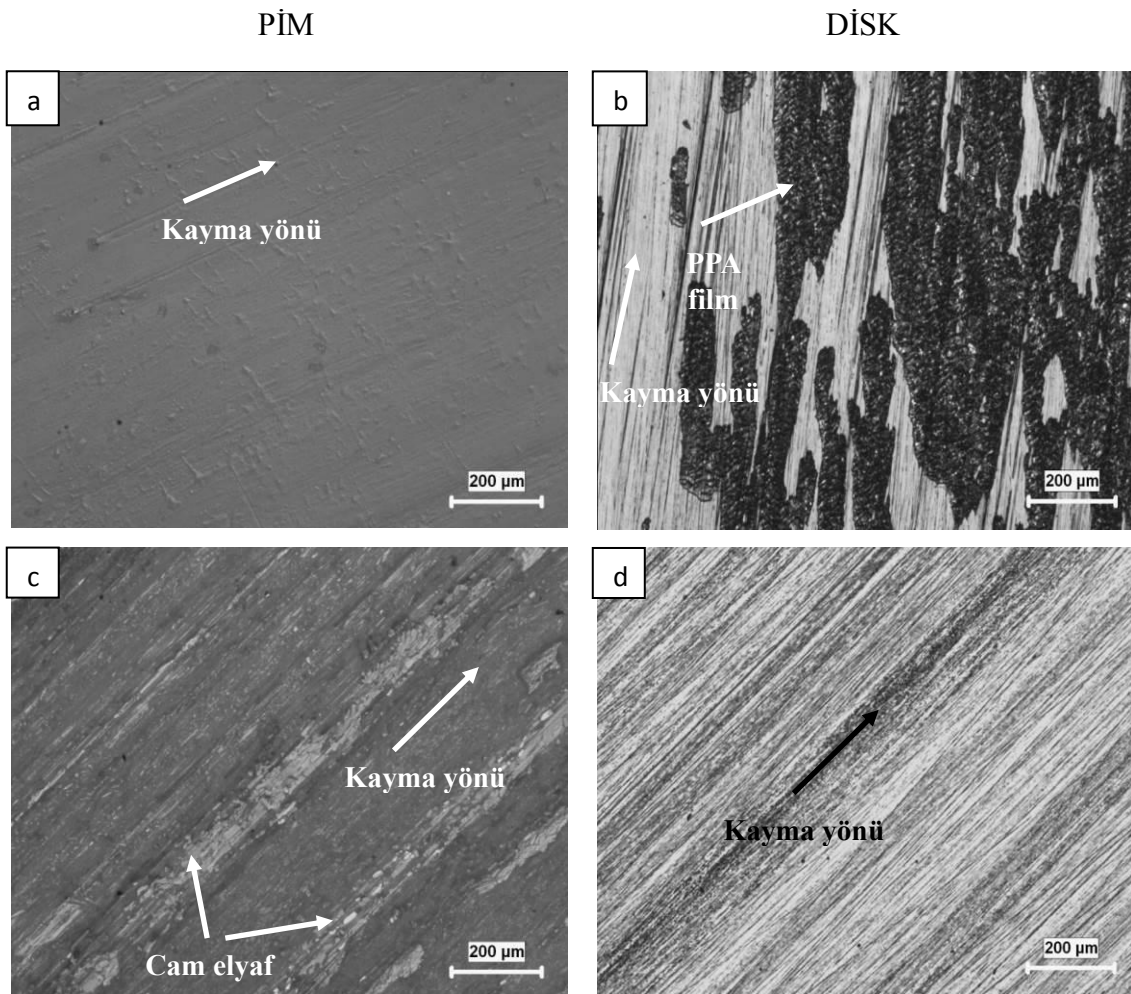
Daha önce yapılan çalışmalarda [26,55,58,62,64] PEEK malzemesine, PA66 malzemesine, PA6/GF kompozitine, PA6 ile PA12 malzemelerine ve PPESK malzemelerine PTFE eklenmesiyle, kompozitlerin spesifik aşınma oranında düşüş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan sonuçlar ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

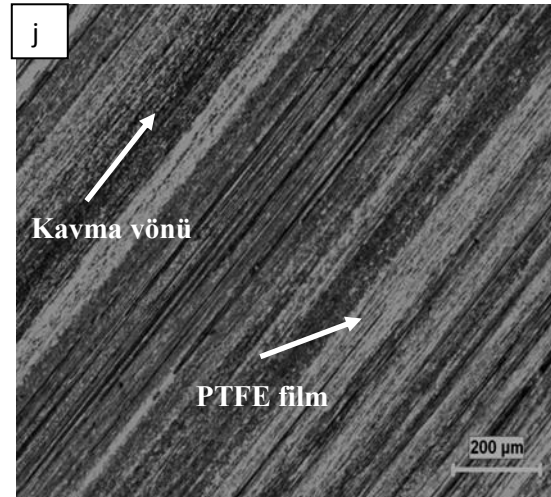
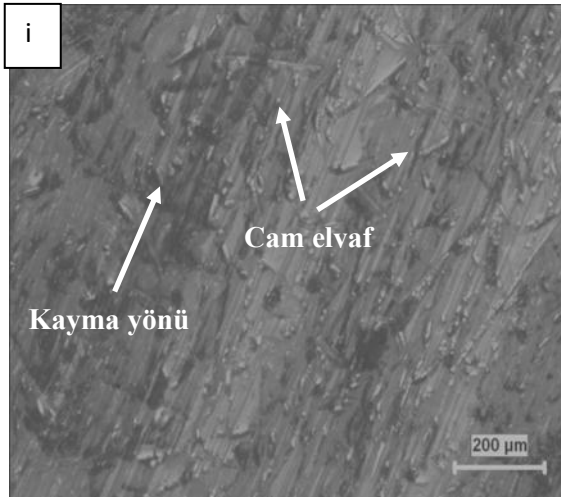
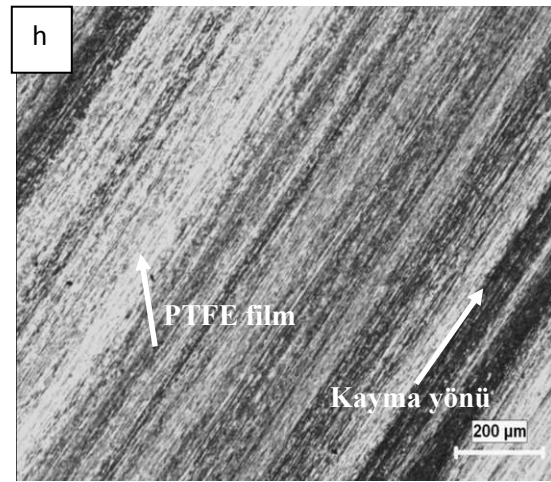
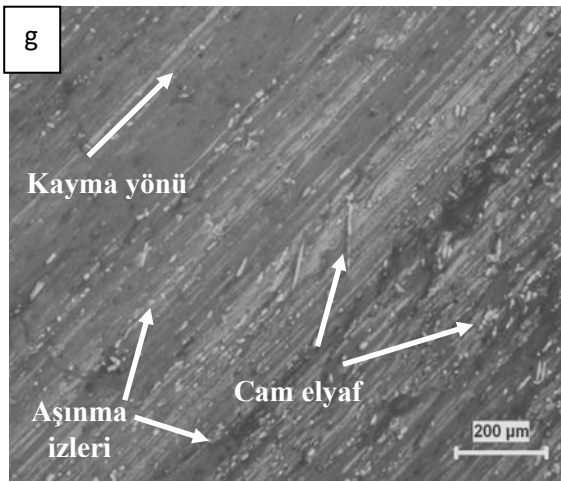
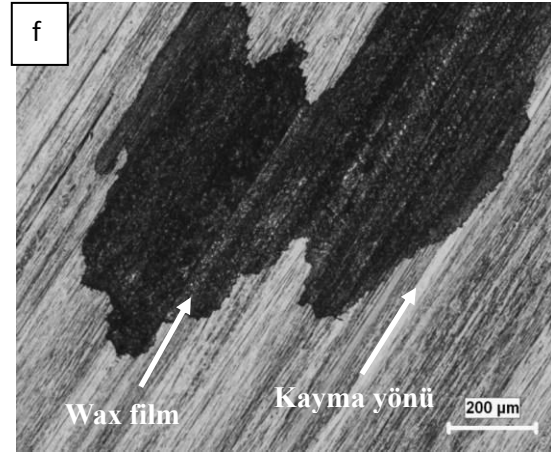
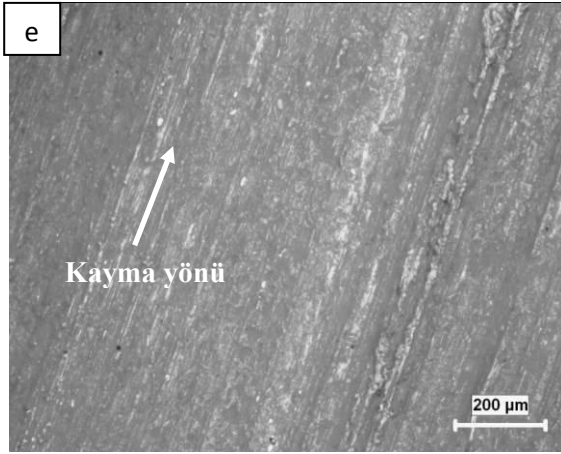
Literatürde yer alan ve wax malzemesi ile yapılan bir çalışmada [28] PA6+% 10PTFE kompozitlerine eklenen wax malzemesinin, kompozitlerin spesifik aşınma oranlarında düşürücü etkiye sahip olduğu, ek olarak spesifik aşınma oranının artan yüklerle beraber artış gösterdiği tespit edilmiştir.

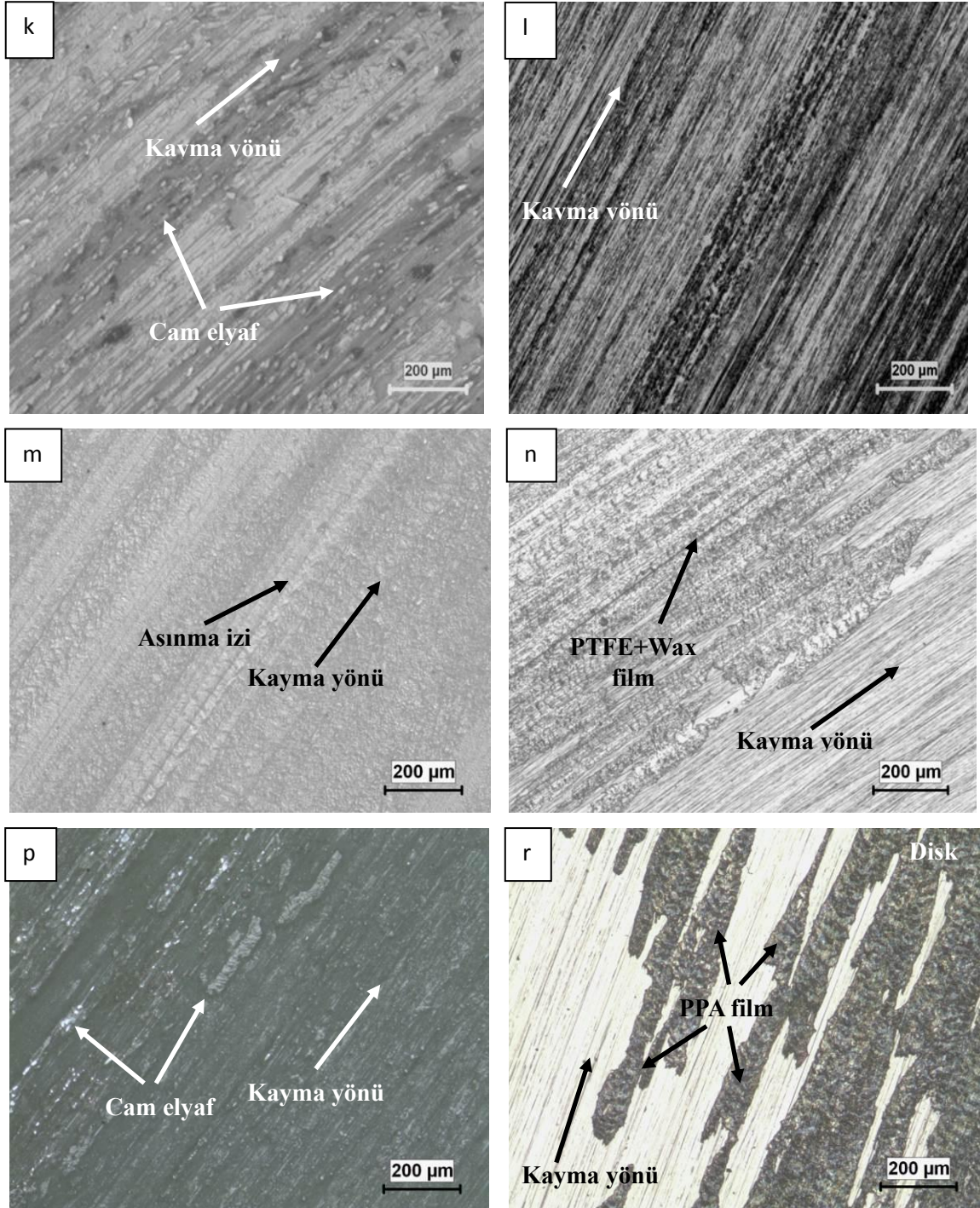
Genel olarak kayma hızının 0,5 m/s'den 1m/s'ye yükseltilmesiyle, yani %100 arttırılmasıyla III. grup numunelerinin spesifik aşınma oranlarında artış gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da [18,49,53,54,60] aşınma testlerinde kayma hızının arttırılmasıyla, malzemelerin spesifik aşınma oranlarında artış gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bulunan sonuçlarla benzer çalışmalar literatürde yer almaktadır. Yani bu çalışmada bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyumludur.

### 5.3.3.4. III. Grup aşınma numunelerine ait mikroyapı görüntüleri

1 m/s kayma hızında ve 40N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri numunelerinden, mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Katkısız PPA, PPA+%30GF, PPA+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE, PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerin pim ve disk yüzeylerine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri Şekil 5.75.a-r'de yer almaktadır.







Şekil 5.73.a,b-Katkısız PPA, c,d-PPA+%30GF, e,f- PPA+%4Wax, g,h-PPA+%30GF+%5PTFE, i,j- PPA+%30GF+%10PTFE, k,l-PPA%30GF+%4Wax, m,n- PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax, p,r- PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerin pim ve disk yüzeylerine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüleri [Yük:40N, Hız: 1,0 m/s]

Şekil 5.73'e göre; katkısız PPA polimeri için; aşınma numunesi yüzeyinde çok fazla aşınma kanalı yer almamasına rağmen; çelik diske ait mikroyapı görüntüsünden; çelik disk yüzeyinde yoğun olarak yapışma olduğu gözlenmektedir. PPA polimerinin

yumuşak malzeme olmasından dolayı, aşınma deneyi sırasında çelik disk üzerinde yapışmalar gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı zamanda yukarıda sayılan sebeplerden dolayı; katkısız PPA'nın düşük oranda abrazif aşınma, daha yüksek oranda adhezif aşınma gerçekleştirdiği düşünülmektedir. PPA+%30GF+%5PTFE kompozitine ait mikroyapı görüntülerinden, kompozite ait pim numunesi yüzeyinde, yapıda yer alan cam fiberler görülebilmektedir. Aynı zamanda pim yüzeyinde, aşınma kanalları da görülmektedir. Bununla beraber, bu numune ile çalışan çelik disk yüzeyinde yapışma görülmemektedir. Çelik disk yüzeyindeki yapışmaların, kompozit yapısında yer alan PTFE'in, çelik disk yüzeyinde oluşturduğu üç boyutlu film tabakası olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber yapıda var olan cam elyafların kırılması ve abrazif olarak davranmalarından dolayı; PPA+%30GF+%5PTFE kompozitinin, abrazif aşınma sergilediği düşünülmektedir. PPA+%4Wax kompozitine ait mikroyapı görüntülerinden; aşınma numunesi yüzeyinde aşınma kanallarının varlığı görülmektedir. Aynı zamanda PPA+%4Wax kompozitine ait aşınma numunesi ile çalışan çelik disk yüzeyinde yapışma olduğu gözlenmektedir. Çelik disk yüzeyindeki bu yapışmanın, yapıda var olan ve yağlayıcı etkiye sahip olan wax malzemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. PPA+%4Wax kompozitinin, hem abrazif hem de adhezif aşınma sergilediği düşünülmektedir.

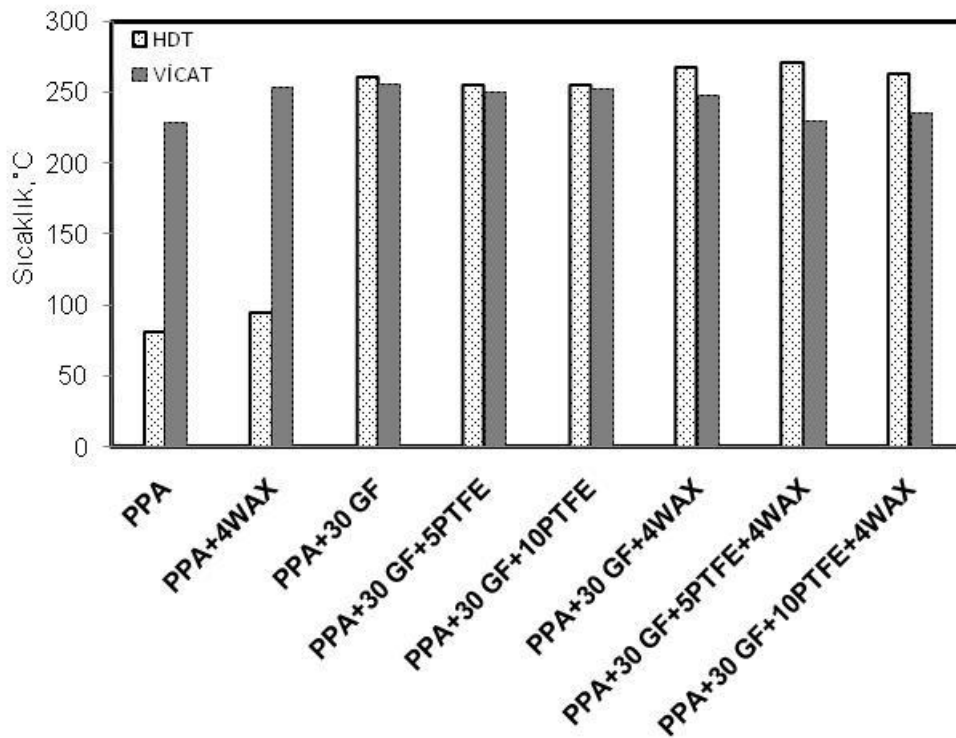
Şekil 5.73'de yer alan PPA+%30GF, PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerine ait pim numuneleri yüzeylerine ait mikroyapı görüntülerinden; aşınma numuneleri yüzeylerinde; kompozit yapılarında yer alan cam fiberler açıkça görülebilmektedir. Bu kompozitlere ait pim numunelerinin yüzeyinde aşınma izleri de gözlenmektedir. Bununla beraber, bu kompozit numunelerine ait pimlerle çalışan çelik disk yüzeylerinde yapışmalar olduğu göze çarpmaktadır. Bu yapışmaların; kompozitlerinde yapılarında yer alan PTFE ve wax malzemelerinin çelik diskler üzerinde oluşturdukları transfer tabakaları olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber, bu kompozitlerin hem abrazif hemde adhezif aşınma sergiledikleri düşünülmektedir. Abrazif aşınma sergilediklerinin düşünülmemesinin sebebi olarak ise; cam fiberlerin aşınma sırasında kırılması ve sert abrazif olarak davranmaları olduğu düşünülmektedir.



### 5.3.4.III. Grup numunelerinin termal analizleri

#### 5.3.4.1. III. Grup numunelerinin yük altında eğilme (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları

III. grup deney numunelerinin sıcaklık altında eğilme (HDT) testi ve Vicat yumuşama sıcaklık testi sonuçları Şekil 5.74’de verilmiştir.



Şekil 5.74. III.Grup deney numunelerinin yük altında eğilme testi sonuçları

Yapılan yük altında eğilme testi sonucunda, PPA matris malzemesinin yük altında eğilme sıcaklığının 80,8°C olarak elde edilirken, PPA matris malzemesine %4 Wax ilave edildiğinde, elde edilen malzemenin yük altında eğilme sıcaklığı 94°C olarak elde edilmiştir. PPA polimerine %30 GF ilave edildiğinde ise yük altında eğilme sıcaklığı %222,15 oranında artmıştır. Eurotec firmasının PPA+%30GF kompozisyonlu malzemesinin, yük altında eğilme sıcaklığının 280°C olduğu gözlenmiştir. Ek olarak Literatürde yer alan çalışmada [19] PA6 malzemesine ve PA6/kil kompozitlerine GF malzemesi eklenmesinin, kompozitin yük altında eğilme sıcaklığını artırıcı etki yaptığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur [13,19].

PPA+%30GF malzemesine %4 Wax ilave edildiğinde,yük altında eğilme sıcaklığı 2,61 oranında artmıştır. PPA+%30GF malzemesine sırasıyla %5 ve %10 oranında PTFE ilave edildiğinde, yük altında eğilme sıcaklıkları %2,26 oranında azalmıştır. Eurotec firmasının PPA+%30GF+5PTFE ve PPA+%30GF+10PTFE kompozisyonlu malzemesi bulunmadığından, RTP firmasının 4005 TFE5 ve 4005 TFE10 kodlu malzemeleri incelenmiştir. Bu malzemelerin yük altında eğilme sıcaklıklarının 288°C ve 274°C'den yüksek olduğu belirtilmiştir [126,127]. PPA+%30GF+5PTFE ve PPA+%30GF+10PTFE kompozitleri için bulunan yük altında eğilme sıcaklıkları, literatür ile uyumludur.

PPA+%30GF+5PTFE ve PPA+%30GF+10PTFE kompozisyonlu malzemelere, %4 Wax ilave edilmesiyle yük altında eğilme sıcaklıkları %6,21 ve %3,45 oranında artmıştır.

Üçüncü grubun numunelerine uygulanan vicat yumuşama sıcaklığı testi sonucunda, PPA matris malzemesinin vicat yumuşama sıcaklığı 229,1°C olarak elde edilmiştir. PPA matris malzemesine %4 Wax ilave edilmesiyle elde edilen malzemenin vicat yumuşama sıcaklığı artarak 254°C'ye ulaşmıştır. Bununla beraber PPA matris malzemesine %30 oranında GF ilave edildiğinde, vicat yumuşama sıcaklığının %11,56 oranında arttığı görülmüştür. Eurotec firmasının PPA+%30GF kompozisyonlu malzemesinin, vicat yumuşama sıcaklığının 290°C olduğu belirtilmiştir. %30GF katkısıyla Eurotec firmasının malzemesinin de sıcaklığının yükseldiği gözlenmiştir [128]. Elde edilen sonuçlar, literatür ile uyumludur.

PPA+%30GF malzemesine %4 Wax ilave edilmesiyle elde edilen malzemenin vicat yumuşama sıcaklığı %3,18 oranında azalmıştır. PPA+%30GF malzemesine sırasıyla %5 ve %10 oranında PTFE ilave edilmesiyle vicat yumuşama sıcaklıkları %1,95 ve 1,38 oranında azalmıştır. Eurotec firmasının PPA+%30GF+5PTFE ve PPA+%30GF+10PTFE kompozisyonlu malzemesi bulunmadığından, Lehmann & Voss & Co.K firmasının PA66 bazlı numuneleri incelenmiştir. Lehmann & Voss & Co.K firmasının PA66+PTFE kompozisyona sahip 1-8379 ve PA66+GF+PTFE kompozisyonlu 1-7805 kodlu malzemeleri incelenmiştir. 1-8379 kodlu malzemenin vicat yumuşama sıcaklığı 240°C iken; 1-7805 vicat yumuşama sıcaklığının 250°C

olduğu belirtilmiştir [124]. Sonuç olarak; PTFE içeren PA66+GF kompozitinin vicat yumuşama sıcaklığı, PA66+GF kompozitinin vicat yumuşama sıcaklığından daha yüksektir. Dolayısıyla GF ve PTFE içeren kompozitler için elde edilen sonuçlar literatürde yer alan değerlere yakındır.

PPA+%30GF+5PTFE ve PPA+%30GF+10PTFE kompozisyonlu malzemelere, %4 oranında Wax eklendiğinde, vicat yumuşama sıcaklıkları %8,9 ve %6,4 oranında azalmıştır.

### 5.3.4.2. III. Grup numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi sonuçları

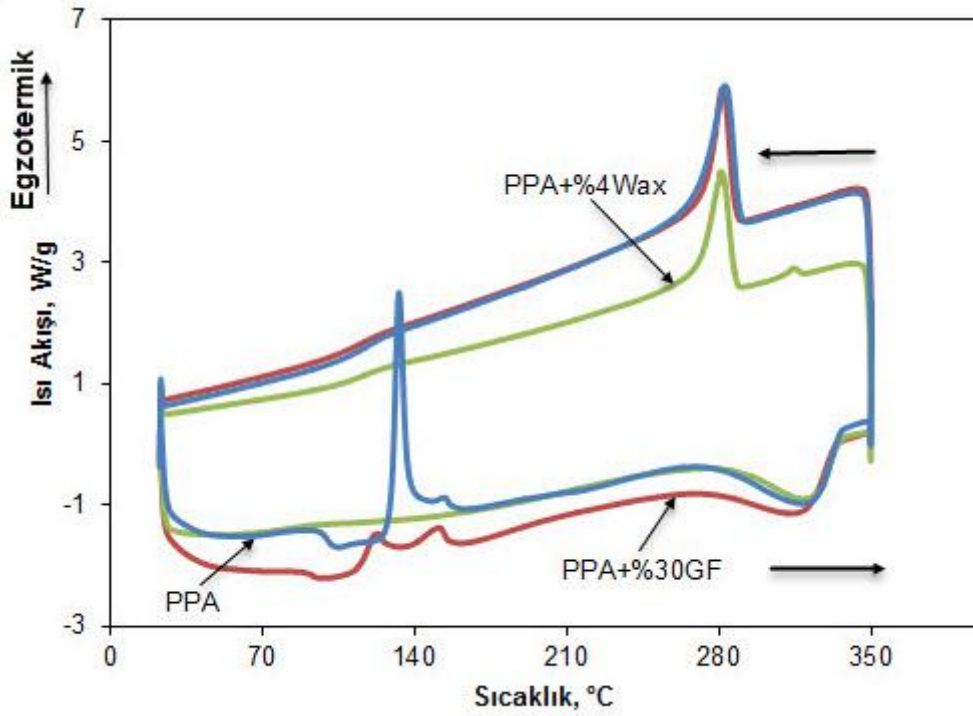
III. grup numunelerinin camısı geçiş, kristalleşme ve ergime sıcaklıklarını belirlemek için, deney numunelerine DSC analizi yapılmıştır.

Katkısız PPA ile PPA+%30GF, PPA+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE, PPA+%30GF+%10PTFE, PPA+%30GF+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerine ait DSC analizi sonuçları Tablo 5.27’de verilmiştir.

Tablo 5.27. III. grup deney numunelerine ait DSC analizi sonuçları

Numune İsmi	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH (J/g)-T <sub>c</sub>	ΔH (W/g)-T <sub>m</sub>
PPA	101,41	282,16	322,44	36,46	31,91
PPA+%4Wax	81,25	280,43	322,51	19,36	19,32
PPA+%30GF	94,74	281,24	319,77	24,34	20,94
PPA+%30GF+%5PTFE	67,64	286,35	319,92	19,88	24,01
PPA+%30GF+%10PTFE	68,38	285,82	319,39	19,35	26,80
PPA+%30GF+%4Wax	87,52	286,07	317,64	21,06	28,48
PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax	117,40	277,55	310,17	19,38	20,46
PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax	105,6	255,56	319,75	28,02	22,16

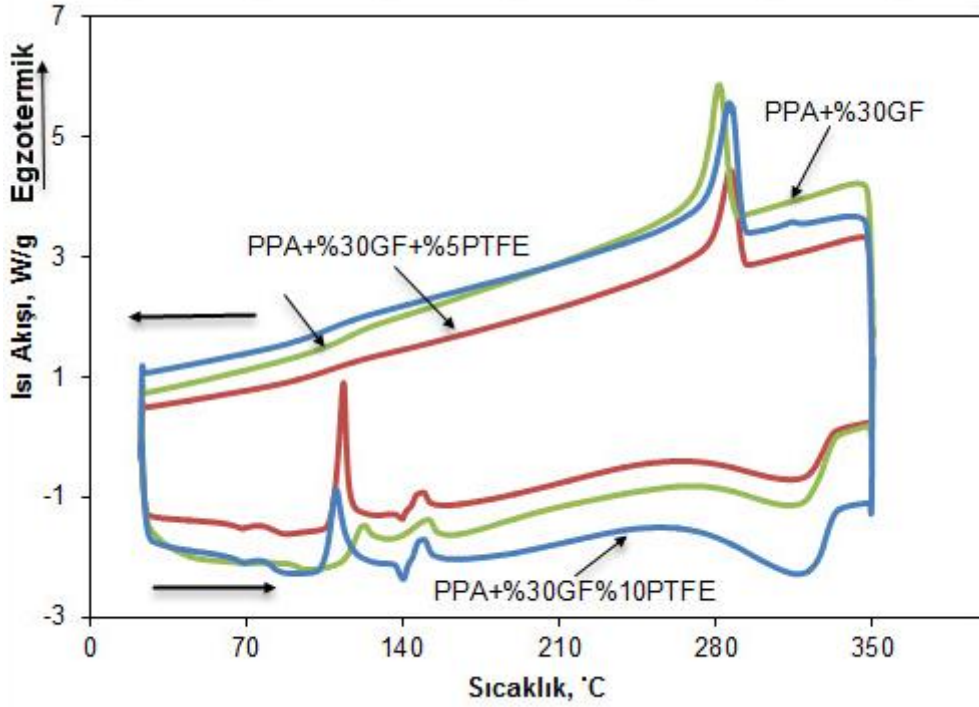
Katkısız PPA ile PPA+%4Wax ile PPA+%30GF kompozitlerine ait elde edilen DSC grafikleri şekil 5.75’de verilmiştir.



Şekil 5.75. PPA ile PPA+%4Wax ile PPA+%30GF kompozitlerine ait DSC grafikleri

Katkısız PPA matrisine %30 oranında GF ve %4 oranında Wax malzemesi eklenmesiyle, camsı geçiş sıcaklıkları 94,74°C ve 81,25°C olarak elde edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin kristalleşme sıcaklıklarının 281,24°C ve 280,43°C; ergime sıcaklıklarının ise 319,77°C ve 322,51°C'ye ulaştıkları gözlenmiştir. Eurotec firmasının PPA+%30GF kompozisyonlu malzemesinin erime sıcaklığı 315°C olarak gözlenmiştir [128]. Dolayısıyla PPA+%30GF kompoziti için bulunan sonuçlar, literatür [128] ile yakın değerlere sahiptir.

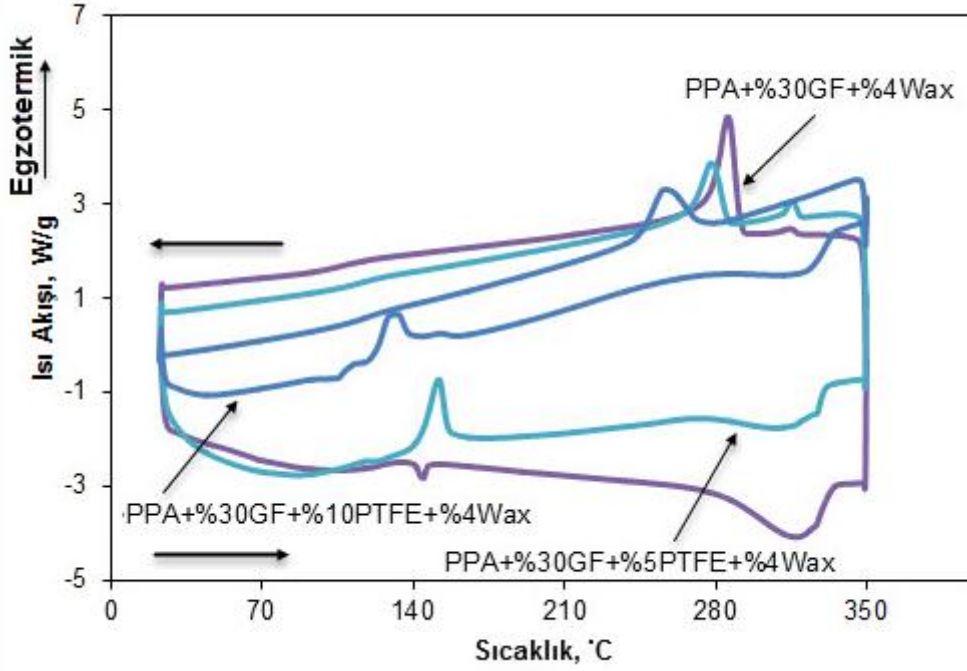
PPA+%30GF, PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerine ait DSC analizi grafikleri Şekil 5.76'de verilmiştir.



Şekil 5.76.PPA+%30GF ile PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerine ait DSC grafikleri

PPA+%30GF kompozitine sırasıyla %5 ve %10 oranında PTFE ilave edildiğinde; PPA+%30GF kompozitine kıyasla camsı geçiş sıcaklıkları azalarak 67,64°C ve 68,38°C; kristalleşme sıcaklıkları ise artış göstererek 286,35°C ve 285,82°C olarak elde edilmiştir. Ergime sıcaklıkları açısından; PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerinin ergime sıcaklıkları, PPA+%30GF kompozitine göre büyük bir değişim göstermemiştir.

PPA+%30GF+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin DSC analizlerinden elde edilen DSC grafikleri, Şekil 5.77'da verilmiştir.



Şekil 5.77. PPA+%30GF+%4Wax, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax ve PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax kompozitlerinin DSC analizlerinden elde edilen DSC grafikleri

PPA+%30GF kompozitine %4 oranında Wax ilave edildiğinde; camsı geçiş sıcaklığı PPA+%30GF kompozitine kıyasla azalarak  $87,52^{\circ}\text{C}$ , kristalleşme sıcaklığı da artarak  $286,07^{\circ}\text{C}$  olarak elde edilmiştir. Ergime sıcaklığı açısından bakıldığında, PPA+%30GF+%4Wax kompozitinin ergime sıcaklığı, PPA+%30GF kompozitinin ergime sıcaklığına göre azalarak  $317,64^{\circ}\text{C}$  olarak elde edilmiştir.

PPA+%30GF+%5PTFE ve PPA+%30GF+%10PTFE kompozitlerine %4 oranında Wax malzemesinden ilave edilmesiyle camsı geçiş sıcaklıklarında artış gözlenmiştir. Bununla beraber kristalleşme ve ergime sıcaklıklarında düşüş gözlenmiştir. Hem camsı geçiş sıcaklıklarındaki artışın, hem de kristalleşme ile ergime sıcaklıklarındaki düşüşün sebebi olarak; yapıya eklenen amorf yapıdaki wax malzemesinin, yapıyı daha amorf hale getirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Literatürde yer alan çalışmada [67] polipropilen malzemesine GF malzemesi eklemenin, kompozitin ergime sıcaklığında bir değişime sebep olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla GF içeren kompozitler için elde ettiğimiz sonuçlarla benzer çalışmalar belirlenmiştir. Yani bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyumludur.

## **BÖLÜM 6. SONUÇ ve ÖNERİLER**

### **6.1. Sonuçlar**

Yapılan bu çalışmada, katkısız PPA ve kompozitlerinin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Termal özellikler olarak, Vicat yumuşama sıcaklığı testi, yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi, mekanik özellik olarak çekme testi, Shore D sertlik ve İzod darbe dayanımı testleri, tribolojik özellik olarak da aşınma ve sürtünme deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Deney malzemelerinin tribolojik özellikleri

Numune İsmi	Tribolojik Özellikler											
	Sürtünme Katsayısı						Spesifik Aşınma Oranı (m <sup>2</sup> /N)					
	0.5 m/s			1 m/s			0.5 m/s			1 m/s		
	20N	30N	40N	20N	30N	40N	20N	30N	40N	20N	30N	40N
PPA	0.3695	0.3735	0.3805	0.3508	0.354	0.3622	9.11x10 <sup>-14</sup>	1.14x10 <sup>-13</sup>	1.65x10 <sup>-13</sup>	1.33x10 <sup>-13</sup>	1.41x10 <sup>-13</sup>	1.16x10 <sup>-13</sup>
PPA+%30GF	0.3476	0.3644	0.3729	0.3319	0.344	0.3566	1.24x10 <sup>-14</sup>	1.65x10 <sup>-14</sup>	1.86x10 <sup>-14</sup>	1.77x10 <sup>-14</sup>	2.01x10 <sup>-14</sup>	3.54x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30CF	0.3022	0.3175	0.3217	0.2875	0.2996	0.3173	5.17x10 <sup>-14</sup>	6.26x10 <sup>-14</sup>	1.03x10 <sup>-13</sup>	7.28x10 <sup>-14</sup>	7.66x10 <sup>-14</sup>	1.14x10 <sup>-13</sup>
PPA+%5PTFE	0.2595	0.2709	0.2922	0.2442	0.2663	0.2787	3.11x10 <sup>-14</sup>	3.59x10 <sup>-14</sup>	4.97x10 <sup>-14</sup>	3.73x10 <sup>-14</sup>	4.14x10 <sup>-14</sup>	6x10 <sup>-14</sup>
PPA+%10PTFE	0.2331	0.2584	0.2884	0.2264	0.2301	0.2615	2.44x10 <sup>-14</sup>	2.72x10 <sup>-14</sup>	3.87x10 <sup>-14</sup>	3.06x10 <sup>-14</sup>	3.26x10 <sup>-14</sup>	5.10x10 <sup>-14</sup>
PPA+%4Wax	0.3351	0.3423	0.3563	0.3221	0.3344	0.3445	5.24x10 <sup>-14</sup>	5.45x10 <sup>-14</sup>	5.66x10 <sup>-14</sup>	6.71x10 <sup>-14</sup>	1.06x10 <sup>-13</sup>	1.43x10 <sup>-13</sup>
PPA+%30CF+%5PTFE	0.2892	0.2926	0.3112	0.2768	0.2821	0.3105	4.52x10 <sup>-14</sup>	4.77x10 <sup>-14</sup>	8.29x10 <sup>-14</sup>	6.59x10 <sup>-14</sup>	6.78x10 <sup>-14</sup>	9.23x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30CF+%10PTFE	0.2825	0.2903	0.3015	0.2682	0.2781	0.2848	3.86x10 <sup>-14</sup>	3.93x10 <sup>-14</sup>	5.71x10 <sup>-14</sup>	4.23x10 <sup>-14</sup>	5.28x10 <sup>-14</sup>	6.81x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30CF+%4Wax	0.2913	0.3046	0.3113	0.2887	0.2901	0.306	2.13x10 <sup>-14</sup>	2.96x10 <sup>-14</sup>	3.77x10 <sup>-14</sup>	2.71x10 <sup>-14</sup>	3.35x10 <sup>-14</sup>	4.93x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax	0.2432	0.2532	0.2722	0.2375	0.2445	0.2585	1.52x10 <sup>-14</sup>	2.66x10 <sup>-14</sup>	3.42x10 <sup>-14</sup>	2.09x10 <sup>-14</sup>	3.04x10 <sup>-14</sup>	3.81x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30GF+%5PTFE	0.3355	0.3405	0.3524	0.327	0.334	0.341	1.38x10 <sup>-14</sup>	1.62x10 <sup>-14</sup>	1.82x10 <sup>-14</sup>	1.91x10 <sup>-14</sup>	2.43x10 <sup>-14</sup>	2.60x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30GF+%10PTFE	0.291	0.2996	0.3044	0.2826	0.2921	0.3005	8.46x10 <sup>-15</sup>	1.12x10 <sup>-14</sup>	1.26x10 <sup>-14</sup>	1.18x10 <sup>-14</sup>	1.57x10 <sup>-14</sup>	2.11x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30GF+%4Wax	0.2745	0.2966	0.3112	0.22	0.2801	0.2957	1.79x10 <sup>-14</sup>	1.91x10 <sup>-14</sup>	2.05x10 <sup>-14</sup>	2.14x10 <sup>-14</sup>	2.62x10 <sup>-14</sup>	2.77x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax	0.3152	0.3296	0.3345	0.306	0.3145	0.327	1.40x10 <sup>-14</sup>	1.63x10 <sup>-14</sup>	1.75x10 <sup>-14</sup>	1.75x10 <sup>-14</sup>	2.21x10 <sup>-14</sup>	2.36x10 <sup>-14</sup>
PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax	0.2859	0.2911	0.293	0.2771	0.2803	0.2917	1.36x10 <sup>-14</sup>	1.58x10 <sup>-14</sup>	1.61x10 <sup>-14</sup>	2.89x10 <sup>-14</sup>	2.95x10 <sup>-14</sup>	3.83x10 <sup>-14</sup>



Tablo 6.2. Deney malzemelerinin mekanik ve termal özellikleri

Numune İsmi	Mekanik Özellikler					Termal Özellikler					
	Elastiklik Modülü (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopmadaki Uzama (%)	İzod Darbe Dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )	Shore D Sertlik	Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (°C)	Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)- T <sub>g</sub>	Kristalleşme Sıcaklığı (°C)- T <sub>c</sub>	Ergime Sıcaklığı (°C)- T <sub>m</sub>	ΔH (W/g)- T <sub>m</sub>
PPA	4971	44.16	0.94	6.6	82	80.8	229.1	101.41	282.16	322.44	31.91
PPA+%30GF	12393	148	1.38	11.95	88	260.3	255.6	94.74	281.24	319.77	20.94
PPA+%30CF	31235	175	0.68	10.2	88	274.3	248	108.18	287.01	320.29	36.08
PPA+%5PTFE	3494	19.68	0.56	10.8	81	94	230.3	96.15	282.37	324	36.38
PPA+%10PTFE	4016	29.76	0.77	10.4	82	93	221.2	109.95	282.67	327.61	35.59
PPA+%4Wax	4260	51.24	1.27	4	82	94	254	81,25	280.43	322.51	19.32
PPA+%30CF+%5PTFE	10032.25	56.23	0.62	7.4	83	223.8	244.6	68.38	280.36	318.63	33.20
PPA+%30CF+%10PTFE	13118.39	55.02	0.42	6.7	85	211.5	253.2	68.38	286.77	320.75	35.83
PPA+%30CF+%4Wax	15047.95	61.64	0.42	6.6	86	230.1	244.4	69.11	286.79	319.98	30.80
PPA+%30CF+%5PTFE+%4Wax	12905.25	58.1	0.45	7.7	84	230	243.7	88.63	278.99	327.21	23.05
PPA+%30GF+%5PTFE	11741	101	0.92	9.7	86	254.4	250.7	67.64	285.35	319.92	24.01
PPA+%30GF+%10PTFE	12128	105	0.97	8.8	87	254.4	252.1	68.38	285.82	319.39	26.80
PPA+%30GF+%4Wax	12310	101	0.90	11.2	85	267.1	247.7	87,52	286.07	317.64	28.48
PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax	11014	84.37	0.85	7.8	84	270.2	230.2	117.40	277.55	310.17	20.46
PPA+%30GF+%10PTFE+%4Wax	10712	89.97	0.89	9.7	82	263.2	235.6	105.6	255.56	319.75	22.16

Yapılan çalışmada, PPA ve kompozitlerinin sürtünme katsayılarına bakıldığında, malzemelere ilave edilen karbon elyaf (CF), cam elyaf (GF), poli-tetra-flor-etilen (PTFE) ve Wax katkılarının, polimer karışımları ve kompozitlerin sürtünme katsayılarında düşüşe sebep olduğu gözlenmiştir. Deney numuneleri arasında PPA+%30CF+%5PTFE+%4wax kompoziti 0.2585 değeri ile en düşük sürtünme katsayısı sergilemiştir. Bu kompozite en yakın olan kompozit malzeme ise PPA+%10PTFE olup sürtünme katsayısı ise 0.2615 olarak tespit edilmiştir. PPA+%30CF+%5PTFE+%4wax kompozitinin sürtünme katsayısı, katkısız PPA'ya göre yaklaşık %29 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Buna ilaveten, deney malzemelerinin sürtünme katsayıları; uygulanan yükün artışıyla beraber artarken, kayma hızının artmasıyla ise azalma göstermiştir.

Deneylerde kullanılan malzemelerin spesifik aşınma oranları ele alındığında, PPA kompozitlerin spesifik aşınma oranları katkısız PPA'ya göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Deney numuneleri içinde en düşük spesifik aşınma oranı,  $2.11 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{N}$  değeri ile PPA+%30GF+%10PTFE kompozitine aittir. Bu kompozite en yakın spesifik aşınma oranını ise  $2.36 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{N}$  değeri ile PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax kompoziti sergilemiştir. Katkısız PPA ile karşılaştırıldığında; spesifik aşınma oranı açısından PPA+%30GF+%10PTFE kompoziti, katkısız PPA'dan %90 oranında daha düşük spesifik aşınma oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada PPA polimerine karbon elyaf ve cam elyaf ilave edilmesinin, malzemelerin hem sürtünme katsayılarında hem de spesifik aşınma oranlarında düşürücü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca katı yağlayıcı olarak PTFE'in PPA polimerine eklenmesinin kompozitlerin sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranlarında düşürücü etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber katı yağlayıcı olarak Wax malzemesinin eklenmesinin, katkısız PPA polimerinin ve karbon elyaf içeren kompozitlerin sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranlarında düşürücü etkiye sahip olduğu, ancak cam elyaf içeren kompozitlerde sürtünme katsayısında düşürücü etkiye sahip olduğu, cam elyaf içeren kompozitlerin spesifik aşınma oranlarında ise pek bir etkisi olmadığı gözlenmiştir.

PPA ve PPA kompozitlerinin spesifik aşınma oranları hem uygulanan yükün artması hem de kayma hızının artmasıyla artmaktadır.

Genel olarak, PPA'ya değişik oranlarda ilave edilen katı yağlayıcıların (%5PTFE, %10PTFE ve %4wax) deney malzemelerinin çekme mukavemetini, elastiklik modülünü ve % uzama değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak cam elyaf ve karbon elyaf gibi mukavemet artırıcı katkıların, kompozitlerin çekme mukavemeti, elastiklik modülü, darbe dayanımı ve sertlik değerlerini arttırdığı belirlenmiştir. En düşük aşınma oranına sahip PPA+%30GF+%10PTFE kompozitinin elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopmadaki uzama, izod darbe dayanımı ve shore D sertliği gibi mekanik özelliklerine bakıldığında sırasıyla; 12128 MPa, 105 MPa, %0.97, 8,8 kJ/m<sup>2</sup> ve 87 shore D değerleri elde edilmiştir. PPA+%30GF+%10PTFE kompozitine en yakın mekanik özellikleri ise; 12310MPa elastiklik modülü, 101MPa çekme mukavemeti, %0.90 kopmadaki uzama, 11,2 kJ/m<sup>2</sup> darbe dayanımı ve 85 Shore D sertlik değeri ile PPA+%30GF+%4wax kompoziti sergilemiştir. Katkısız PPA ile kıyaslandığında, PPA+%30GF+%10PTFE kompozitinin sırasıyla çekme mukavemetinde yaklaşık %137, elastiklik modülünde yaklaşık %143, kopmadaki % uzama değerinde yaklaşık %3, darbe dayanımında yaklaşık %33,3 ve sertlik değerinde yaklaşık %6 oranında artış gözlenmiştir.

PPA'ya değişik oranlarda ilave edilen katkıların PPA kompozitlerin yük altında eğilme sıcaklığı ve vicat yumuşama sıcaklığı gibi termal özelliklerini iyileştirdiği gözlenmiştir. Bununla beraber, PPA'ya ağırlıkça %10 oranında PTFE ilave edilmesiyle PTFE katkının vicat yumuşama sıcaklığını düşürdüğü ancak diğer kompozitler için ise artışa sebep olduğu görülmüştür. En düşük aşınma oranına sahip PPA+%30GF+%10PTFE kompozitinin yük altında eğilme sıcaklığı ve vicat yumuşama sıcaklıkları sırasıyla 254,4°C ve 252,1°C olarak tespit edilmiştir. Katkısız PPA'nın yük altında eğilme sıcaklığı ve vicat yumuşama sıcaklıkları ise sırasıyla 80,8°C ve 229,1°C' olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla katkısız PPA'ya %30 oranında cam elyaf ve %10 oranında PTFE ilave edildiğinde, yük altında eğilme sıcaklığı ve vicat yumuşama sıcaklıklarında sırasıyla %214 ve %10 oranında artış gerçekleştiği görülmüştür.

DSC analizinden elde edilen sonuçlara göre PPA+%30GF+%10PTFE kompozitinin camsı geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı, ergime sıcaklığı ve ergime için gerekli olan entalpi ( $\Delta H$ ) değerleri sırasıyla 68,38°C, 285,82°C, 319,39°C ve 26,80 W/g'dır.

Spesifik aşınma oranı açısından; deneylerde kullanılan malzemeler içinde en düşük aşınma oranını PPA+%30GF+%10PTFE kompoziti sergilemiştir. Bununla beraber PPA+%30GF+%10PTFE kompozitine en yakın spesifik aşınma oranını ise  $2.36 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{N}$  değeri ile PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax kompoziti sergilemiştir. PTFE'in kg. fiyatı 15\$ iken wax malzemesinin kg. fiyatı ise 1.7\$'dir (Mikro-Technik Plastics GmbH ve Clariant Co.) Dolayısıyla maliyet açısından bakıldığında, PPA+%30GF+%5PTFE+%4Wax kompozitinin fiyat olarak daha uygun olduğu görülmektedir.

Elde edilen bu sonuçlar, katkısız PPA malzemesinin değerleri ile karşılaştırıldığında; ergime sıcaklığında çok düşük bir düşüş gözlenirken, camsı geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı ve ergime için gereken entalpi değerinde artış olduğu gözlenmiştir.

## 6.2. Öneriler

Yapılan aşınma ve sürtünme deneylerinde disk olarak X40Cr MoV5-1 çelik diski kullanılmıştır. Farklı disk malzemeleri kullanılarak (çelik/polimer/seramik, kaplama) PPA kompozitlerinin aşınma ve sürtünme deneyleri gerçekleştirilebilir.

Deneylerde kullanılan CF, GF, PTFE ve Wax katkılı PPA kompozitlerinin aşınma ve sürtünme deneyleri farklı ortam şartlarında, düşük veya yüksek sıcaklıklarda, aynı zamanda farklı nem ortamlarında da gerçekleştirilebilir.

Deneylerde 0,5 m/s ve 1 m/s kayma hızları kullanılmıştır. Bu hız değerleri artırılarak, daha yüksek hızlarda aşınma ve sürtünme testleri uygulanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] <http://blog.milliyet.com.tr/>, Erişim Tarihi: 15.05.2014.
- [2] <http://plastikyasamlarbyolut.blogspot.com.tr/>, Erişim Tarihi: 15.05.2014.
- [3] <http://www.pagev.org.tr/>, Erişim Tarihi: 15.05.2014.
- [4] <http://www.tubitak.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 15.05.2014.
- [5] <http://www.iaosb.org.tr/>, Erişim Tarihi: 15.05.2014.
- [6] <http://www.ito.org.tr/>, Erişim Tarihi: 16.05.2014.
- [7] <http://www.tspmakina.com/>, Erişim Tarihi: 16.05.2014.
- [8] <http://www.pagder.org/>, Erişim Tarihi: 15.05.2014.
- [9] <http://www.mtf.stuba.sk/>, Erişim Tarihi: 14.05.2014.
- [10] <http://www.otoguncel.com/>, Erişim Tarihi: 15.05.2014
- [11] PLATT, D.K., Engineering and high performance plastics market report. Shawbury: Rapra Technology Limited, 2003.
- [12] GLASSCOCK, D., ATOLİNO, W., KOZİELSKİ, G., MARTENS, M., High performance polyamides fulfill demanding requirements for automotive thermal management components. Dupont Engineering Polymers. S:1-9., 2011.
- [13] KURT, M., Yüksek performanslı endüstriyel termoplastiklerin yüksek sıcaklıklardaki tribolojik davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniv., 2011.
- [14] FU, S.-Y., LAUKE, B., MADER, E., YUE, C.-Y., HU, X., Tensile properties of short-glass-fiber- and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites. Composites Part A: Applied Science And Manufacturing, 31: 1117-1125, 2000.
- [15] BOTELHO, E.C., FIGIELA, Ł, REZENDEB, M.C., LAUKEA, B., Mechanical behavior of carbon fiber reinforced polyamide composites. Composites Science and Technology, 63: 1843-1855, 2003.

- [16] ZHOU, S., ZHANG, Q., WU, C., HUANG, J., Effect of carbon fiber reinforcement on the mechanical and tribological properties of polyamide 6/polyphenylene sulfide composites. *Materials and Design*, 44: 493-499, 2013.
- [17] WU, S., WANG, F., MA, C., CHANG, W., KUO, C., KUAN, H., CHEN, W., Mechanical, thermal and morphological properties of glass fiber and carbon fiber reinforced polyamide-6 and polyamide -6/clay composites. *Materials Letters*, 49: 327-333, 2001.
- [18] THOMASON, J.L., VLUG, M.A., Influence of fibre length and concentration on the properties of glass-reinforced polypropylene: 4. Impact properties. *Composites Part A.*, 28A: 277-288, 1997.
- [19] MOUHMIÐ, B., IMAD, A., BENSEDDÍQ, N., BENMEDAKHENE, S., MAAZOUZ, A., A study of the mechanical behaviour of a glass fibre reinforced polyamide 6,6: Experimental investigation, *Polymer Testing*. 25: 544-552, 2006.
- [20] GÜLLÜ A., ÖZDEMİR A., ÖZDEMİR E., Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics. *Materials and Design*, 27: 316-323, 2006.
- [21] ÜNAL, H., MİMAROĞLU, A., Mechanical and morphological properties of mica and short glass fiber reinforced polyamide 6 composites. *International Journal of Polymeric Materials*, 61: 834-846, 2012.
- [22] LEE, N., JAMG, J., The effect of fibre on the mechanical properties of glass fibre mat/polypropylene composites. *Composites Part A*, 30: 815-822, 1999.
- [23] PALABIYIK, M., BAHADUR, S., Tribological studies of polyamide 6 and high-density-polyethylene blends filled with PTFE and copper oxide and reinforced with short glass fibers. *Wear*, 253: 369-376, 2002.
- [24] BIJWE, J., SEN, S., GHOSH, A., Influence of PTFE content in PEEK-PTFE blends on mechanical properties and tribo-performance in various wear modes. *Wear*, 258: 1536-1542, 2005.
- [25] CHEN, Z., LIU, X., LI, T., LU, R., Mechanical and tribological properties of PA66/PPS blend. II. filled with PTFE. *Journal of Applied Science*, 101: 969-977, 2006.
- [26] ÖZSOY, I., ÖZSOY, N., ÜNAL, H., MİMAROĞLU, A., Evaluation of the influences of wax content on the tribological and mechanical performance of polytetrafluoroethylene-blended polyamide. *Journal of Engineering Tribology*, 227: 1399-1405, 2013.
- [27] GAO, J., MAO, S., LIU, J., FENG, D., Tribochemical effects of some

- polymers/stainless steel. *Wear*, 212: 238–243, 1997.
- [28] PALABIYİK, M., BAHADUR, S., Mechanical and tribological properties of polyamide 6 and high density polyethylene polyblends with and without compatibilizer. *Wear*, 246 (2000) 149–158.
- [29] ÜNAL, H, FINDIK, F., Friction and wear behaviors of some industrial polyamides against different polymer counterparts under dry conditions. *Ind. Lubr. Tribol.*, 60(4):195–200, 2008.
- [30] BOLVARI, A., GLENN, S., JANSSEN, R., ELLIS, C., Wear and friction of aramide fiber and polytetrafluoroethylene filled composites. *Wear*, 203–204: 697–702, 1997.
- [31] ÜNAL, H., MİMAROĞLU, A., Abrasive wear behaviour of polymeric materials. *Wear*, 26.8: 705-710, 2005.
- [32] RAJESH, J.J., BİJWE, J., Influence of fillers on the low amplitude oscillating wear behaviour of polyamide 11. *Wear* 256: 1–8, 2008.
- [33] WANG, J., GU, M., SONGHAO, B., GE, S., Investigation of the influence of MoS<sub>2</sub> filler on the tribological properties of carbon fiber reinforced nylon 1010 composites. *Wear*, 255: 774–779, 2003.
- [34] KANG, S.-C., CHUNG, D.-W., Improvement of frictional properties and abrasive wear resistance of nylon/graphite composite by oil impregnation. *Wear* 254: 103–110, 2003.
- [35] ZHAO, G., HUSSAINOVA, I., ANTONOV, M., WANG, Q., WANG, T., Friction and wear of fiber reinforced polyimide composites. *Wear*, 301: 122-129, 2013.
- [36] XIAN, G., ZHANG, Z., Sliding wear of polyetherimide matrix composites I. influence of short carbon fiber reinforcement. *Wear*, 258: 776-782, 2005.
- [37] LI, J., XZIA, Y., The friction and wear properties of thermoplastic PA6 composites filled with carbon fiber. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 23: 337-349, 2010.
- [38] LU, Z.P., FRIEDRICH, K., On the sliding friction and wear of PEEK and its composites. *Wear*, 181-183: 624-631, 1995.
- [39] SRINATH, G., GNANAMOORTHY, R., Effect of short fibre reinforcement on the friction and wear behaviour of nylon 66. *Applied Composite Materials*, 12: 369-383, 2005.
- [40] VINA, J., GARCÍA, M., CASTRILLO, M., VINA, I., ARGÜLLES, A., Wear behavior of a glass fiber-reinforced PEI composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21: 279-286, 2008.

- [41] INDUMATHI, J., BIJWE, J., GHOSH, A., FAHIM, M., KRISHNARAJ, N., Wear of cryo-treated engineering polymers and composites. *Wear*, 225-229: 343-353, 1999.
- [42] PIHTILI, H., TOSUN, N., Investigation of the wear behaviour of a glass-fibre-reinforced composite and plain polyester resin. *Composites Science and Technology*, 62: 367-370, 2002.
- [43] ÜNAL, H., MİMAROĞLU, A., Influence of test conditions on the tribological properties of polymers. *Industrial Lubrication and Tribology*, 55.4: 178-183, 2003.
- [44] Lİ, D., YOU, Y., DENG, X., Lİ, J., XIE, Y., Tribological properties of solid lubricants filled glass fiber reinforced polyamide 6 composites. *Materials and Design*, 46: 809-815, 2013.
- [45] DANGSHENG, X., Friction and wear properties of UHMWPE composites reinforced with carbon fiber. *Materials Letters*, 59: 175-179, 2005.
- [46] ASUKE, F., ABDULWAHAB, M., AİGBODİON, V.S., FAYOMİ, O.S.I., APONBİEDE, O., Effect of load on the wear behaviour of polypropylene/carbonized bone ash particulate composite. *Egyptian Journal of Basic And Applied Sciences I*, 67-70, 2014.
- [47] DAVIM, J.P., CARDOSO, R., Effect of the reinforcement (carbon or glass fibres) on friction and wear behavior of the PEEK against steel surface at long dry sliding. *Wear*, 266: 795-799, 2009.
- [48] DEMİRCİ, M.T., DÜZCÜKOĞLU, H., EKİNCİ, Ş., The effects of temperature on the wear behavior of glass fiber reinforced PA 6.6 journal bearings. In *Proc 6th Int. Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Springer: Elazığ, pp. 457-460, 2011.
- [49] CHAUHAN, S.R., GAUR, B., DASS, K., Effect of fiber loading on mechanical properties, friction and wear behaviour of vinylester composites under dry and water lubricated conditions. *International Journal of Material Science*, 1.1: 1-8, 2011.
- [50] KOÇ, R., ÜNAL H., ELDOĞAN, O., Poli-Oksi-Metilen ve Kompozitlerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. *Teknoloji dergisi*, Cilt 10, Sayı 3, Sayfa 143–152, 2007.
- [51] Lİ, D.-X., DENG, X., WANG, J., YANG, J., Lİ, X., Mechanical and tribological properties of polyamide6-polyurethane block copolymer reinforced with short glass fibers. *Wear*, 269: 262-268, 2010.
- [52] SUMER, M, ÜNAL, H, MİMAROĞLU, A., Evaluation of Tribological Behaviour of PEEK and Glass Fibre Reinforced PEEK Composite Under Dry Sliding and Water Lubricated Conditions. *Wear*, 265: 1061-1065, 2008.



- [53] RAO, M., HOOKE, C.J., KUKUREKA, S.N., LIAO, P., CHEN, Y.K., The effect of PTFE on the friction and wear behavior of polymers in rolling-sliding contact. *Polymer Engineering and Science*, 38.12: 1946-1958, 1998.
- [54] XIAN, G., WALTER, R., HAUPERT, F., Friction and wear of epoxy/TiO<sub>2</sub> nanocomposites: influence of additional short carbon fibers, aramid and PTFE particles. *Composites Science and Technology*, 66: 3199-3209, 2006.
- [55] WANG, X., CHI, Y., CAO, Y., The effect of PTFE on the mechanical, friction, and wear properties of CF/PMMA composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 10: 1-7, 2013.
- [56] LI, D., XIE, Y., LI, W., YOU, Y., DENG, X., Tribological and mechanical behaviors of polyamide 6/glass fiber composite filled with various solid lubricants. *The Scientific World Journal*. 2013: 1-9, 2013.
- [57] WANG, Q., XUE, Q., LIU, W., CHEN, J., The friction and wear characteristics of nanometer SiC and polytetrafluoroethylene filled polyetheretherketone. *Wear*, 243: 140-146, 2000.
- [58] DEMİRCİ, M.T., DÜZCÜKOĞLU, H., Wear behaviours of PTFE reinforced PA66 journal bearings. In *Int. Scientific Conference. Gabrovo*, pp. 249-253, 2010.
- [59] ÜNAL, H., YETGİN, S. H., Çymape ve PA-6 mühendislik polimerlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarının incelenmesi. *Tübav Bilim Dergisi*, 3.2: 145-152, 2010.
- [60] FRANKE, R., LEHMANN, D., KUNZE, K., Tribological behavior of new chemically bonded PTFE polyamide compounds. *Wear*, 262: 242-252, 2007.
- [61] ÜNAL, H., YETGİN, S.H., MİMAROĞLU, A., SUMER M. The effect of test parameters on friction and wear performance of PTFE and PTFE composites. *J Reinf Plast Compos* 29(13):1978–86, 2010.
- [62] ZHANG, X., LIAO, G., JIN, Q., FENG, X., JIAN, X., On dry sliding friction and wear behavior of PPESK filled with PTFE and graphite. *Tribology International*, 41: 195-201, 2008.
- [63] ÜNAL, H., MİMAROĞLU, A., Friction and wear performance of polyamide 6 and graphite and wax polyamide 6 composites under dry sliding conditions. *Wear*, 289: 132-137, 2012.
- [64] BİJWE, J., RAJESH, J.J., JEYAKUMAR, A., GHOSH, A., TEWARİ, U.S., Influence of solid lubricants and fibre reinforcement on wear behaviour of polyethersulphone, *Tribology International*, 33: 697-706, 2000.
- [65] PEGORETTI, A., RİCCO, T., Fatigue crack propagation in polypropylene reinforced with short glass fibres. *Composite Science and Technology*, 59.7:

1055-1062, 1999.

- [66] BARLETTA, M., Dry sliding wear response of some industrial powder coatings. *Tribology International*, 44: 1236-1250, 2011.
- [67] LYONS, J.S., Time and temperature effects on the mechanical properties of glass filled amide-based thermoplastics. *Polymer Testing*, 17: 237-245, 1998.
- [68] REİNİCKE, R., HAUPERT, F., FRIEDRİCH, K., On the tribological behaviour selected, injection moulded thermoplastic composites. *Composites Part A*, 29A: 763-771, 1998.
- [69] <http://www.fizikmakaleleri.com/>, Erişim Tarihi: 05.03.2014
- [70] [web.itu.edu.tr/temiz/VTDN/Triboloji.pdf](http://web.itu.edu.tr/temiz/VTDN/Triboloji.pdf), Erişim Tarihi: 05.03.2014
- [71] MANG T., BOBZİN K., THORSTEN B., *Industrial Tribology: Tribosystems, Friction, Wear and Surface Engineering*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2011.
- [72] <http://w3.balikesir.edu.tr/>, Erişim Tarihi: 15.04.2014.
- [73] <http://web.itu.edu.tr/>, Erişim Tarihi: 15.04.2014
- [74] HUTCHINGS, I.M., *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*, University of Cambridge, Sayfa 76-82, 1992.
- [75] BAYER, R.G., *Mechanical Wear Fundamentals and Testing*, CRC Press, Newyork, 2004.
- [76] <http://web.sakarya.edu.tr/~akbulut/WEAR1>, Erişim Tarihi: 03.04.2014
- [77] SARIKAYA, Ö., *Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri*, Sakarya Üniversitesi Yayınları, Sayfa 322, 2007.
- [78] TEKİN, E., *Mühendisler için Çelik Seçimi*, Makine Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 1986.
- [79] BHUSHAN, B., *Modern Tribology Handbook/Volume one –Principles of Tribology*, CRC Press, Sayfa: 529, 2000.
- [80] OĞUZ, B., *Aşınma sorunları ve Dolgu Kaynakları-Teori-Uygulama*, Oerlikon Yayınları, İstanbul, 1993.
- [81] <http://web.sakarya.edu.tr/~akbulut/WEAR4>, Erişim Tarihi: 03.04.2014
- [82] <http://muhendishane.org/>, Erişim Tarihi: 04.02.2014
- [83] OWSALOU, R.G., *Aşınmaya maruz kalan parçaların aşınma dayanımlarının araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniv., 2012.

- [84] <http://web.sakarya.edu.tr/~akbulut/wear3>, Erişim Tarihi: 02.03.2014
- [85] ÖZSARAÇ, U., DURMAN, M., Aşınma Deney Yöntemleri. Makine Magazin, sayfa: 40-46, 2000.
- [86] [www.muhsak.ktu.edu.tr/](http://www.muhsak.ktu.edu.tr/), Erişim Tarihi: 04.02.2014
- [87] LUDEMA, K. C., Friction, Wear, Lubrication/ A Textbook in Tribology. CRC press, Florida, 2000.
- [88] TAKADOUM J., Materials and Surface Engineering in Tribology. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2007.
- [89] TAKADOUM J., Guide to Friction, Wear and Erosion Testing. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2007.
- [90] KEMMİSH, D.J., Practical guide to high performance engineering plastics. Ismithers, UK, 2011.
- [91] FİNK, J.K., High performance polymers. William Andrew, New York, 2008.
- [92] GLASSCOCK, D., ATOLİNO, W., KOZIELSKI, G. VE M. MARTENS, High performance polyamides fulfill demanding requirements for automotive thermal management components. Dupont Engineering Polymers. S:1-9., 2011.
- [93] [http://www2.isikun.edu.tr/Ahmet\\_Aran\\_Ders\\_Notları](http://www2.isikun.edu.tr/Ahmet_Aran_Ders_Notları), Erişim Tarihi: 18.03.2014
- [94] <http://www.engr.utk.edu>, Erişim Tarihi: 18.03.2014
- [95] <http://www.chm.bris.ac.uk>, Erişim Tarihi: 18.03.2014
- [96] CHUNG, D. D. L., Carbon Fiber Composites. Butterworth-Heinemann, Washington, 1994.
- [97] <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/0000059B.pdf>, Erişim Tarihi: 18.02.2014
- [98] <http://www.camelyaf.com.tr/>, Erişim Tarihi: 05.10.2013
- [99] <http://textilelearner.blogspot.com.tr>, Erişim Tarihi: 05.03.2014
- [100] <http://en.wikipedia.org/>, Erişim Tarihi: 05.03.2014
- [101] Berghof Products + Instruments GmbH, Fluoroplastic technology / fluoropolymer plastic, PTFE- the engineering material with potential. Eningen, 2008.
- [102] <http://www.lehigh.edu/~intribos/polymers.html>, Erişim Tarihi: 15.03.2014

- [103] <http://www.polymer-search.com/teflon.html>, Erişim Tarihi: 15.03.2014
- [104] <http://www.madehow.com/Volume-7/Teflon.html>, Erişim Tarihi: 18.03.2014
- [105] <http://www.standard-ptfe.com/production-process-of-ptfe.php>, Erişim Tarihi: 18.03.2014
- [106] [http://www.eurotec-ep.com/s/1404/i/NT40\\_NL.pdf](http://www.eurotec-ep.com/s/1404/i/NT40_NL.pdf), Erişim Tarihi: 05.10.2014
- [107] <http://www.camelyaf.com.tr/>, Erişim Tarihi: 05.10.2013
- [108] <http://www.dowaksa.com>, Erişim Tarihi: 05.10.2014
- [109] <http://www.mikro-technik.eu/>, Erişim Tarihi: 04.04.2014
- [110] <http://www.clariant.com/>, Erişim Tarihi: 04.04.2014
- [111] YETGİN S.H., Otomotiv sektörü için polimer köpük malzeme üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Sakarya Üniv., 2012.
- [112] <http://labomaronline.com/>, Erişim Tarihi: 05.04.2014
- [113] <http://www.ides.com/>, Erişim Tarihi: 02.03.2014
- [114] <http://www.hzg.de/>, Erişim Tarihi: 03.03.2014
- [115] <http://www.matweb.com/>, Erişim Tarihi: 20.03.2014
- [116] <http://hbogm.meb.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 20.03.2014
- [117] SAYLAN T., PA 6 Kompozitlerinin termal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniv., 2010.
- [118] <http://www.bayar.edu.tr/>, Erişim Tarihi: 22.03.2014
- [119] ALP A., Termal Analiz Yöntemleri Dersi Notları, Sakarya Üniversitesi, 2012.
- [120] <http://www.clemson.edu/>, Erişim Tarihi: 22.03.2014
- [121] [http://eurotec-ep.com/s/1404/i/NT40\\_CR30\\_BK111\\_HS.pdf](http://eurotec-ep.com/s/1404/i/NT40_CR30_BK111_HS.pdf), Erişim Tarihi: 05.03.2014
- [122] <http://www.thefreelibrary.com/>, Erişim Tarihi: 22.03.2014
- [123] <http://web.rtpcompany.com/info/data/0200/RTP285TFE5.htm>, Erişim Tarihi: 05.03.2014

- [124] <http://matweb.com/search/DataSheet.aspx/>, Erişim Tarihi: 04.04.2014
- [125] <http://web.rtpcompany.com/info/data/4000/RTP4085TFE10.htm>, Erişim Tarihi: 05.03.2014
- [126] <http://web.rtpcompany.com/info/data/4000/RTP4005TFE5.htm>, Erişim Tarihi: 05.03.2014
- [127] <http://web.rtpcompany.com/info/data/4000/RTP4005TFE10.htm>, Erişim Tarihi: 05.03.2014
- [128] [http://eurotec-ep.com/s/1404/i/NT40\\_GR30\\_NL\\_HS.pdf](http://eurotec-ep.com/s/1404/i/NT40_GR30_NL_HS.pdf), Erişim Tarihi: 05.03.2014

## ÖZGEÇMİŞ

Gizem HATIPOĞLU, 25.03.1987'de İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. Fatin Rüştü Zorlu Anadolu Lisesi'nden 2005 yılında mezun oldu. 2006 yılında girdiği Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu.

2010 yılında başladığı Marmara Üniversitesi- Üretim Yönetim ve Pazarlama Yüksek Lisans eğitimini 2014 yılında tamamladı. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2012 yılından beri Sakarya Üniversitesi/ Teknoloji Fakültesi- Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.