

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PEEK POLİMER KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK  
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harun GÜLER**

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

**Kasım 2019**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PEEK POLİMER KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK  
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

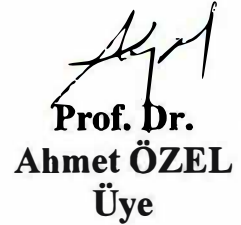
Harun GÜLER

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 06/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile  
kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Hüseyin ÜNAL  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr.  
Fehim FINDIK  
Üye

  
Prof. Dr.  
Ahmet ÖZEL  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Adı Soyadı  
Harun GÜLER  
06/11/2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen ve beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli ağabeyim, dostum Sn. Dr. Ufuk Özdemir'e, teşekkür ederim.

Son olarak yetişmemde ve bugünlere gelmemde haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anneme ve babama, ayrıca hayatımı birleştirdiğim bana sürekli destek olan ilham kaynağım değerli eşim Şeyma Güler'e ve son olarak bana bolluk ve bereket getiren iki gözümün nuru kızlarım Serra' m ve Zehra'ma can-ı gönülden şükranlarımı sunarım.

# İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	
TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
KISALTMALAR .....	v
SİMGELER .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xiii
SUMMARY .....	xiv

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	15
1.1. Tezin Amacı .....	15
1.2. Literatür Araştırması .....	16

## BÖLÜM 2.

AŞINMA .....	30
2.1. Aşınma Tanımı ve Sürtünme Katsayısı Kavramı.....	30
2.2. Aşınma Mekanizmaları .....	31
2.2.1. Adheziv aşınma.....	31
2.2.2. Abrasiv aşınma.....	32
2.2.3. Erozyon aşınması .....	33
2.2.4. Korozif aşınma .....	33
2.2.5. Kavitasyon aşınması .....	34
2.2.6. Püskürtme aşınması.....	34
2.2.7. Kayma aşınması .....	34
2.3. Aşınma Etkileyen Faktörler .....	35
2.3.1. Kayma hızının etkisi .....	35
2.3.2. Basınç ve yük etkisi .....	35
2.3.3. Sıcaklık etkisi .....	35
2.3.4. Aşınma mesafesi etkisi.....	35
2.3.5. Sertlik etkisi .....	36
2.3.6. Yüzeypürüzlülüğü etkisi .....	37
2.3.7. Tane boyutu etkisi .....	37

2.3.8. Çalışma ortamının etkisi .....	37
2.4. Aşınmanın ekonomik açıdan önemi .....	37

### **BÖLÜM 3.**

<b>PEEK POLİMERİ .....</b>	<b>38</b>
3.1.Kimyasal Yapısı .....	38
3.2. Üretimi .....	38
3.3. Çeşitleri .....	39
3.4. Fiziksel Özellikleri .....	39
3.5. Kimyasal Özellikleri .....	40
3.6. Mekanik Özellikleri.....	40
3.7. Elektriksel Özellikleri .....	40
3.8. Termal Özellikleri .....	40
3.9. Optik Özellikleri.....	41
3.10.Kullanım Alanları.....	41
3.11.Katkı Malzemeleri.....	42
3.11.1. Cam fiber(GF).....	42
3.11.2. Karbon fiber (CF).....	42
3.11.3. Politetrafloroetilen (Teflon)- PTFE .....	43

### **BÖLÜM 4.**

<b>DENEY MALZEMELERİ VE YÖNTEM .....</b>	<b>44</b>
4.1. DeneyMalzemeleri .....	44
4.2. Numune Hazırlama ve Yöntem.....	45

### **BÖLÜM 5.**

<b>DENEYSSEL BULGULAR.....</b>	<b>48</b>
5.1. Yapılan Çalışmaların Aşınma ve Sürtünme Analizleri .....	48
5.1.1. PEEK ve PEEK kompozitlerin çelik diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki sürtünme katsayısı-yol ilişkisi .....	48
5.1.2.PEEK ve PEEK kompozitlerin çelik diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki sürtünme katsayısı değişimi.....	57
5.1.3.PEEK ve PEEK kompozitlerinçelik diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki pim ve disk yüzey sıcaklık değişimi.....	61
5.1.4.PEEK ve PEEK kompozitlerin çelik diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki aşınma oranı değişimi .....	67
5.1.5.PEEK ve PEEK kompozitlerin paslanmaz çelik diske karşıaramalı elektron mikroskobu (SEM) mikro yapı incelemeleri.....	71
5.1.6.PEEK ve PEEK kompozitlerin aşınma yüzeylerinin EDS analizi .....	73
5.2. Yapılan Çalışmaların Aşınma ve Sürtünme Analizleri .....	81
5.2.1. PEEK ve PEEK kompozitlerinalüminyum diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki sürtünme katsayısı-yol ilişkisi.....	81
5.2.2.PEEK ve PEEK kompozitlerinalüminyum diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki sürtünme katsayısı değişimi.....	90
5.2.3.PEEK ve PEEK kompozitlerinalüminyumdiske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki pim ve disk yüzey sıcaklık değişimi....	93
5.2.4.PEEK ve PEEK kompozitlerinalüminyum diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki aşınma oranı değişimi .....	98

5.2.5. PEEK ve PEEK kompozitlerin paslanmaz alüminyumdiske karşı taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikro yapı incelemeleri .....	102
5.2.6. PEEK ve PEEK kompozitlerin aşınma yüzeylerinin EDS analizi .....	105
<b>BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>111</b>
6.1. Sonuç .....	111
6.2.Öneriler.....	113
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>115</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>119</b>



## KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan ve Malzeme Testleri Derneği
GF	:Cam Fiber
CF	:Karbon Fiber
DIN	:Alman Kalite Normu
ISO	:Uluslararası Kalite Standartları
Dev/dk	:Devir/dakika
m/s	:Metre/saniye
MPa	:Megapascal
HRC	:Rockwell Sertlik Birimi
Sn	:Saniye
$\mu\text{m}$	:Mikrometre
$W_{SP}$	:Spesifik Aşınma Oranı
$F_N$	:Normal Kuvvet
$F_s$	: Sürtünme Kuvveti
EDS	:Elektron Saçılım Spektroskopisi
SEM	:Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi
PTFE	:Politetrafloroetilen
ÇYMAPE	:Çok Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen
PPA	:Polifitalamid
PAI	:Poliamid-imid
PEEK	:Poli-eter-eter-keton
PEKK	:Poli-eter-keton-keton
PEKEKK	:Poli-eter-keton-eter-keton-keton
PEEKK	:Poli-eter-eter-keton-keton



PEI	:Polieter-imid
PK	:Poliketon
PC	:Polikarbonat
PS	:Polistiren
PBT	:Polibütilen Tereftalat
PUR	:Poliüretan
PP	:Polipropilen
PA	:Poliamid
HDPE	:Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PMMA	:Polimetilmetakrilat
LDPE	:Alçak Yoğunluklu Polietilen



## SİMGELER

h	: Saat
J	:Joule
m	:Metre
N	:Newton
Pa	:Pascal
$\rho$	:Test Numunesinin Yoğunluğu
S	:Kayma Yolu
A	:Kesit Alanı
D	:Numune Genişliği
E	:Elastiklik Modülü
$\sigma_c$	:Çekme mukavemeti
$\sigma$	:Gerilme
A°	:Angström
$\mu$	:Sürtünme katsayısı
gr	: Gram
°C	: Santigrat

## TABLolar LİSTESİ

Tablo3.1 : PEEK' in birim hücre boyutları .....	38
Tablo3.2 : PEEK polimerine rakip olarak üretilen çeşitli PEEK polimerlerinin Camlaşma Noktası (Tg) ve Ergime Noktası (Tm).....	39
Tablo4.1 : Deneylerde kullanılan malzemeler, ticari adı ve üreticileri.....	44
Tablo4.2:Deneylerde kullanılan polimer ve kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri .....	44
Tablo 4.3 : Aşınma deneylerinde kullanılan alüminyum diskin kompozisyonu.....	47
Tablo 4.4 : Aşınma deneylerinde kullanılan çelik diskin kompozisyonu .....	47
Tablo 5.1 : PEEK+%30GF kompozitin ait Şekil 5.35`da belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları.....	74
Tablo 5.2 : PEEK+%30CF kompozitin ait Şekil 5.36`da belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları.....	75
Tablo 5.3 :HPV-PEEK kompozitine ait Şekil 5.37`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (%). .....	76
Tablo 5.4 : PEEK polimerinin Şekil 5.72`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (%). .....	101
Tablo 5.5 : PEEK polimerinin Şekil 5.73`te belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (%). .....	104
Tablo 5.6 : PEEK+%30GF kompozitine ait Şekil 5.74`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları(%). .....	106
Tablo 5.7 : PEEK+%30CF kompozitine ait Şekil 5.75`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (%). .....	108
Tablo 5.8: HPV-PEEK kompozitine ait Şekil 5.76`de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları(%) .....	110

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Aşınmayı oluşturan aşamalar.....	30
Şekil 2.2 : Sürtünme Davranışı. ....	31
Şekil 2.3 : Adhesiv aşınma mekanizması.....	32
Şekil 2.4 :Abrasive aşınma mekanizması .....	33
Şekil 2.5 :Erozyon aşınma mekanizması .....	33
Şekil 2.6 :Korozif aşınma mekanizması.....	34
Şekil 2.7 :Kayma aşınması testlerinde kullanılan konfigürasyonlar .....	35
Şekil 3.1 : Polietereterketon polimerizasyonu ve kimyasal yapısı.....	38
Şekil 4.1 :Şematik Pim-disk aşınma cihazı .....	46
Şekil 4.2 :Aşınma deneyi süresince bilgisayarda excel programı formatında elde edilen sürtünme katsayısı-kayma zamanı ilişkisi grafiği.....	47
Şekil 5.1 :Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 50N) .....	48
Şekil 5.2 :Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 100N) .....	49
Şekil 5.3 :Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 150N) .....	49
Şekil 5.4 :Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 250N) .....	50
Şekil 5.5 :%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 50N) .....	50
Şekil 5.6 :%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 100N) .....	51
Şekil 5.7 :%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 150N) .....	51
Şekil 5.8 :%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 250N) .....	52
Şekil 5.9 :%30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 50N) .....	53
Şekil 5.10:%30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 100N) .....	53
Şekil 5.11:%30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 150N) .....	54
Şekil 5.12 :%30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 250N).....	54
Şekil 5.13 :HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 50N).....	55
Şekil 5.14 :HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 100N).....	56

Şekil 5.15 :HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 150N).....	56
Şekil 5.16 :HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 250N).....	57
Şekil 5.17 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi.(Yük:50N)...	58
Şekil 5.18 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi.(Yük:100N)..	59
Şekil 5.19 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi.(Yük:150N)..	60
Şekil 5.20 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi.(Yük:250N)..	60
Şekil 5.21 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi.(Yük:50N).....	62
Şekil 5.22 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi.(Yük:50N)..	63
Şekil 5.23 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi.(Yük:100N).....	63
Şekil 5.24 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi.(Yük:100N).....	64
Şekil 5.25 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi.(Yük:150N).....	65
Şekil 5.26 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi.(Yük:150N).....	65
Şekil 5.27 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi.(Yük:250N).....	66
Şekil 5.28 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi.(Yük:250N).....	67
Şekil 5.29 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 50N).....	68
Şekil 5.30 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 100N).....	68
Şekil 5.31 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 150N).....	69
Şekil 5.32 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 250N).....	70
Şekil 5.33 :PEEK ve PEEK kompozitlerin farklı hızlardaki spesifik aşınma oranı (Hız:1 m/s, Yük:150N).....	71
Şekil 5.34 :PEEK ve PEEK kompozitlerin farklı hızlardaki spesifik aşınma oranı (Hız:4 m/s, Yük:150N).....	72
Şekil 5.35 :PEEK+%30GF kompozitin EDS analizi (Hız:1 m/s, Yük:150 N).....	74
Şekil 5.36 :PEEK+%30CF kompozitin EDS analizi (Hız:1 m/s, Yük:150 N).....	75
Şekil 5.37 : HPV PEEK kompozitin EDS analizi (Hız:1 m/s, Yük:150 N).....	76
Şekil 5.38 : Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:50N).....	77

Şekil 5.39 : Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:100N).....	78
Şekil 5.40 : Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:150N).....	78
Şekil 5.41 : Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:250N).....	79
Şekil 5.42 :%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 50N) .....	79
Şekil 5.43 :%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 100N) .....	80
Şekil 5.44 :%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 150N) .....	80
Şekil 5.45 :%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 250N) .....	81
Şekil 5.46 :%30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 50N).....	82
Şekil 5.47:%30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 100N) .....	82
Şekil 5.48:%30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 150N) .....	83
Şekil 5.49 :%30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 250N).....	83
Şekil 5.50 :HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 50N).....	84
Şekil 5.51 :HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 100N).....	84
Şekil 5.52 :HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 150N).....	85
Şekil 5.53 :HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 250N).....	85
Şekil 5.54 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi.(Yük:50N)...	86
Şekil 5.55 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi.(Yük:100N)..	87
Şekil 5.56 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi.(Yük:150N)..	88
Şekil 5.57 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi.(Yük:250N)..	88
Şekil 5.58 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi.(Yük:50N).....	90
Şekil 5.59 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi.(Yük:50N).	90
Şekil 5.60 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi.(Yük:100N).....	91
Şekil 5.61 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi.(Yük:100N)	91
Şekil 5.62 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi.(Yük:150N).....	92

Şekil 5.63 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi.(Yük:150N)	93
Şekil 5.64 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi.(Yük:250N).....	93
Şekil 5.65 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi.(Yük:250N)	94
Şekil 5.66 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 50N).....	95
Şekil 5.67 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 100N).....	95
Şekil 5.68 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 150N).....	96
Şekil 5.69 :Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 250N).....	97
Şekil 5.70 :PEEK ve PEEK kompozitlerin farklı hızlardaki spesifik aşınma oranı (Hız:1 m/s, Yük:150N).....	98
Şekil 5.71 :PEEK ve PEEK kompozitlerin farklı hızlardaki spesifik aşınma oranı (Hız:4 m/s, Yük:150N).....	99
Şekil 5.72 :PEEK polimerinin EDS analizi (Hız:1 m/s, Yük: 150N)....	101
Şekil 5.73 :PEEK polimerinin EDS analizi (Hız:4 m/s, Yük: 150N)....	103
Şekil 5.74 :PEEK+%30GF kompozitin EDS analizi (Hız:1 m/s, Yük: 150N).....	106
Şekil 5.75 :PEEK+%30CF kompozitin EDS analizi (Hız:1 m/s, Yük: 150N).....	108
Şekil 5.76 :HPV-PEEK kompozitin EDS analizi (Hız:1 m/s, Yük: 150N).....	110

# PEEK POLİMER KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışma, gıda endüstrisinde kullanılan saf poli-eter-eter-eton polimeri, %30 cam fiber takviyeli poli-eter-eter-eton, %30 karbon fiber takviyeli poli-eter-eter-eton ve yüksek performanslı HPV-PEEK kompozitlerinin alüminyum ve çelik disk malzemelerine karşı aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. Deneyler disk üzerinde pim olan bir aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik testler, kuru ortam şartlarında 0.5, 1, 2, 3, 4, ve 5 m/s gibi farklı kayma hızlarında yapılırken 50, 100, 150 ve 250N'luk yükler altında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik deneylerde saf PEEK ve kompozitlerinin sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranları uygulanan yük ve kullanılan hızlara göre tespit edilmiştir. Saf PEEK ve PEEK kompozitlerinin hem çelik disk hem de alüminyum disk karşı malzemelerine karşı çalışması durumunda kayma hızının artması ile sürtünme katsayılarının azaldığı tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı HPV-PEEK kompozitinde elde edilirken, en yüksek sürtünme katsayısı ise saf PEEK polimerinde elde edilmiştir. Uygulanan yükün artması ile saf PEEK ve kompozitlerinin hem çelik disk hem de alüminyum disk karşı malzemelerine karşı çalışması durumunda uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayılarının arttığı/azaldığı tespit edilmiştir. Uygulanan yüke göre en düşük sürtünme katsayısı HPV-PEEK kompozitinde elde edilirken, en yüksek sürtünme katsayısı ise saf PEEK polimerinde elde edilmiştir. Hem çelik disk hem de alüminyum disk malzemelerine karşı çalışılan saf PEEK ve PEEK kompozitlerinin spesifik aşınma oranları deneylerdeki kayma hızının artırılması ile artarken uygulanan yükün artırılması ile de azalma gözlenmiştir. Çalışma sonucunda en düşük spesifik aşınma oranı HPV-PEEK kompozitinde elde edilirken, en yüksek spesifik aşınma oranı ise saf PEEK polimerinde elde edilmiştir. PEEK ve PEEK kompozitlerinin tribolojik çalışmalarında düşük aşınma değerleri açısından çelik disk malzemenin alüminyum karşı disk malzemeye göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan PEEK polimer ve kompozit malzemelerin aşınma yüzeylerinin incelenmesi için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan malzeme, yük ve hızlara göre hem abrazif hem de adhezif aşınma mekanizmalarının olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: PEEK, kompozit, triboloji, kayma hızı, yük



# **INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF PEEK POLYMER COMPOSITES**

## **SUMMARY**

In this study, pure poly-ether-ether-ketone polymer, 30wt.% glass fiber reinforced poly-ether-ether-ketone, 30wt.% carbon fiber reinforced poly-ether-ether-ketone and high performance HPV-PEEK polymer composites used in food industry were investigated. Tribological performances were studied for PEEK polymer and its composites. The experiments were carried out in a pin-on-disc wear test device. Tribological tests were carried out under dry sliding conditions at the sliding speed of 0.5, 1, 2, 3, 4, and 5 m/s and under the loads of 50, 100, 150 and 250 N. As a result of the tribological studies, it was determined that the friction coefficient values decreased with increasing sliding speed in all test samples used in the experiments against both steel disc and aluminum disc counter materials. The lowest coefficient of friction was obtained in HPV-PEEK composite and the highest coefficient of friction was obtained in pure PEEK polymer. It has been found that friction coefficients increases with the increment of applied load values against both steel disc and aluminum disc counter materials. With the increase in applied load values, the lowest coefficient of friction was obtained in HPV-PEEK composite and the highest coefficient of friction was obtained in pure PEEK polymer. For pure PEEK polymer and its composites against against both steel disc and aluminum disc materials, the specific wear rate values increased with the increment of sliding speed values and decreased with the increase in applied load values. As a result of the study, the lowest specific wear rate was obtained in HPV-PEEK composite while the highest specific wear rate was obtained in pure PEEK polymer. In the tribological studies of PEEK and PEEK composites, it was found that steel disc material is more advantageous than aluminum counter disc material in terms of low wear values. Scanning electron microscope was used to investigate the worn surfaces of the PEEK polymer and its composite materials studied. It was determined that both abrasive and adhesive wear mechanisms were formed according to the materials, loads and speeds used in the study.

Keywords: PEEK, composite, tribology, sliding speed, load

# BÖLÜM 1. GİRİŞ

## 1.1. Tezin Amacı

Polimer ve polimer teknolojisi dünyada ve ülkemizde kullanımı çok fazla artmakla beraber birlikte endüstri sektöründe birçok metal ve metal alaşımlı malzemelerin yerleri almaya ve metal esaslı malzemelerin alternatif bir malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır. Polimer malzemelerin metal ve seramik malzemelerin yerine almasının en önemli nedenleri genel olarak, polimer malzemesinin ucuz ve hafif olması, üretim prosesinin kolay olması, kimyasal dayanımının yüksek olması, ısı ve elektrik yalıtkanlığının iyi olması ve daha birçok özelliklerine sahip olmasından dolayı günümüzde endüstride yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu özelliklerinin yanında polimerlerin en büyük avantajlarından birden çok üretim yöntemine sahip olmasıdır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları ise; Ekstrüzyon, enjeksiyonla kalıplama, ısı ile şekillendirme ve döner kalıplama yöntemleridir.

Polimerler üretim yöntemlerine göre toz veya granül şeklinde üretilirler. Ayrıca polimer malzemelerin özelliklerini değiştirmek için çeşitli katkı ilave edilerek özelliklerinde değişiklik yapılabilir. Saf polimerlere çeşitli katkı ilave edilmesiyle meydana gelen üstün özellikli polimer kompozit malzemeler endüstride contalar, dişliler, silindirler, motorlar, miller ve uzay sanayisi gibi değişik alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle polimer malzemelerin bazıları farklı yüzeylere temas ederek çalışmaktadır. Bu temas sonucunda aşınma ve sürtünmeden dolayı malzeme kaybı veya kırılma meydana gelmektedir. Bu yüzden, aşınma konusu tüm dünyada ve bütün endüstri kollarında en önemli konulardan biridir.

Polimer malzemelerde aşınma ve sürtünmeyi azaltmak ve bu polimer malzemelerin dayanımı arttırmak ve giderlerin azalması için bir dünya çapında birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, polimer malzemeler katkı ilavesiyle

meydana gelen polimer esaslı kompozit malzemeler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda; polimerlerin tribolojik davranışları üzerine kayma hızının, yükün ve sıcaklık gibi önemli parametrelerin yanı sıra mekanik özelliklerinin değişimleri incelenmiştir. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar ise aşağıda verilmiştir.

## 1.2. Literatür Araştırması

Zhang ve arkadaşları [1], saf polietereterketon (PEEK) malzemesinin 0.2-1.4 m/s aralığında (0.2 fark ile artarak) kayma hızı ve 1 N, 5 N, 9 N yüklerde aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Hız ve uygulanan yük arttığında aşınma oranı ve sürtünme katsayısının arttığını gözlemlemişlerdir. PEEK ile çelik yüzeyi temas sıcaklığının PEEK malzemesinin camsı geçiş sıcaklığına yaklaştığını tespit etmişlerdir. Temas sıcaklığı artışı aşınma oranının artmasına sebep olduğunu açıklamışlardır.

Yamamoto ve arkadaşı [2], çalışmalarında saf polietereterketon (PEEK) polimeri ile karbon fiber ve cam fiber takviyeli (CF) PEEK kompozitlerin (PEEK+%5CF, PEEK+%18CF, PEEK+%5GF, PEEK+%18GF) sulu ortam şartlarında çelik disk karşı malzemesine göre aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Deneyler, 0.25 MPa basınç altında ve 0.4 m/s, 1.2 m/s, 3.0 m/s ve 4 m/s kayma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Buna ilaveten 0.5 MPa basınç altında 0.012 m/s hızda, 1 MPa basınç altında 0.1 m/sn hızda, 2 MPa basınç altında 0.4 m/s kayma hızında da gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında saf PEEK ve cam fiber ve karbon fiber takviyeli PEEK kompozit malzemelerin kayma hızının artması ile aşınma oranı ve sürtünme katsayısının arttığını tespit etmişlerdir. Buna ilaveten uygulanan yükün artması ile deneylerde kullanılan PEEK, PEEK+GF ve PEEK+CF malzemelerin sürtünme katsayısı azalırken aşınma oranının arttığını da ifade etmişlerdir.

Greco ve arkadaşları çalışmalarında [3], saf polietereterketon (PEEK), uzun dokuma fiberli PEEK (PEEK LWF) ve kısa rastgele yönlendirilmiş fiber takviyeli PEEK (PEEK-SROF) malzemelerinin, yüksek kayma hızında (65 m/s), 3 adet paslanmaz çelik bilye ile bilya-disk aşınma cihazında aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Uygulanan yükler (0.73 N, 2.5 N, 5 N, 10 N) ve 65 m/s kayma hızında uzun dokuma fiber takviyeli PEEK LWF malzemesinin, yüksek kayma hızında ve uygulanan yük arttığında en düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değeri sergilediğini

gözelemlenmişlerdir. En yüksek aşınma oranı ve sürtünme katsayısı saf PEEK malzemesinde olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında aşınma oranı artarken sürtünme katsayısının azaldığını tespit etmişlerdir. Sürtünme davranışının ısıl etkilerden etkilendiğini, kayma hızının sürtünme ısısını artırdığını ve bu yüzden polimerin yumuşadığından dolayı karşı yüzeyde oluşan transfer film tabakasının sürtünme katsayısını azalttığını belirtmişlerdir.

Lin ve arkadaşları [4], çalışmalarında, saf polietereterketon (PEEK) malzemesinin çelik disk malzemesine karşı 0.1 m/s, 0.5 m/s, 1 m/s, 4 m/s kayma hızı ve 1 ve 4 MPa basınç uygulayarak aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda; sürtünme katsayısının, artan kayma hızı ve yük ile 0.1 m/s ile 1 m/s arasındaki hafifçe azaldığı aşınma oranının ise arttığı, 1 m/s ile 4 m/s arasında aşınma oranı ve sürtünme katsayısının bariz bir artışına yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu artışın, PEEK yüzeyi ve çelik arasındaki temas yüzey sıcaklığına bağlı güçlü yapışmadan kaynaklandığını ortaya koymuşlardır.

Theiler ve Gradt çalışmalarında [5], polietereterketon (PEEK) kompozitlerin (PTFE ve karbon fiber takviyeli) aşınma ve sürtünme davranışlarını vakum ortamında incelemişlerdir. Testlerde 0.01m/s, 0.1m/s ve 1 m/s kayma hızı, 1 ve 7 MPa basınç uygulamışlardır. Testler sırasıyla, -80, -40, -20 ve +20°C sıcaklıklarda yapılmıştır. Testler, PTFE(polytetrafloretilen) ve karbon fiber takviyeliPEEK kompozit malzemeleri ve daha fazla katı yağlayıcı olarak MoS<sub>2</sub> veya grafit yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Polimer numuneleri, sürekli kayan bir çelik disk üzerinde test edilmiştir. Uygulanan yük ve kayma hızı arttıkça aşınma oranı ve sürtünme katsayısının azaldığını, çalışma sıcaklığı arttıkça aşınma oranı ve sürtünme katsayısı arttığını tespit etmişlerdir. Yüzey analizleri, -80°C'de MoS<sub>2</sub> dolgulu kompozitin düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranının, kompozit yüzeyinde daha yüksek MoS<sub>2</sub> konsantrasyonu ile karşı yüzeyde ince bir polimer transfer filmi ile ilişkili olduğunu açıklamışlardır.

Rodriguez ve arkadaşları[6], çalışmalarında saf polietereterketon (PEEK) ve PEEK malzemesine katkı olarak nano boyutlu silika (SiO<sub>2</sub>), kısa karbon fiber (SCF), grafit, titanyumdioksit (TiO<sub>2</sub>) ve çinko sülfür (ZnS) ekleyerek tribolojik özelliklerini

incelemişlerdir. Testler AISI 52100 çelik karşı malzemesi 4, 8 ve 10 MPa basınç altında ve 20 ile 50 mm/s kayma hızlarında gerçekleştirmişlerdir. Çoğu test koşulunda, nano partiküllerin (katkılar) sürtünme katsayısı değerlerini azalttığını tespit etmişlerdir. Saf PEEK polimerinin uygulanan yükün ve kayma hızının artması ile aşınma oranının arttığını, ancak sürtünme katsayısının ise azaldığını tespit etmişlerdir. Takviyeli PEEK (nano boyutlu silika ( $\text{SiO}_2$ ), kısa karbon fiber (SCF), grafit, titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) ve çinko sülfür ( $\text{ZnS}$ )) malzemelerinde ise katkı miktarı arttıkça aşınma oranının Saf PEEK malzemesine göre daha az arttığını, sürtünme katsayısının ise azaldığını, bu duruma karşı yüzeyde oluşan transfer film tabakasının sebep olduğunu ortaya koymuşlardır.

Gao ve arkadaşları [7], çalışmalarında sulu yağlama koşulları altında, bakır nanoteller, saf polietereterketon (PEEK) ve PEEK10SCF8Gr (yani, % 10 hacim kısa karbon fiberler ve % 8 grafit ile doldurulmuş PEEK) içine katmışlardır. Testlerde çelik disk karşı malzemesi kullanmış, 0.2 m/s kayma hız, 100 N ve 400 N yük uygulamışlardır. Saf PEEK malzemesine uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayısı azaldığını aşınma oranının ise arttığını, PEEK10SCF8Gr kompozitinde ise katkılarla birlikte uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayısı arttığını, aşınma oranının azaldığını tespit etmişlerdir. Bu durumu katılan katkıların kayma yönüne dik olması olarak açıklamışlardır.

Lu ve Friedrich çalışmalarında [8], farklı moleküler ağırlıklı saf PEEK (poli-eter-eterketon) ile politetrafloroetilen (PTFE) ve kısa karbon fiberli PEEK takviyeli PEEK kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışları, kuru kayma koşulları altında incelemişlerdir. Çalışmalarında 1 MPa basınç, 1 m/s kayma hızı ve dönen disk olarak çeliği kullanmışlardır. Sıcaklık arttıkça yüksek moleküler ağırlıklı PEEK'un aşınma oranı, düşük moleküler ağırlıklı PEEK'a kıyasla, arttığını gözlemlemişlerdir. Saf PEEK malzemesinde sıcaklık arttıkça sürtünme katsayısının arttığını karbon fiber takviyeli PEEK malzemelerinde ise sürtünme katsayısı  $100^\circ\text{C}$ 'ye kadar azaldığını  $100^\circ\text{C}$ 'den sonra artmaya başladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca 1 MPa basınç ve 1 m/s hız altında karbon fiber oranı arttıkça aşınma oranı ve sürtünme katsayısının azaldığını gözlemlemişlerdir. PTFE oranı arttıkça aşınma oranının arttığını sürtünme katsayısının azaldığını ortaya koymuşlardır. Katkılarının kayma mukavemetinin artan sıcaklık artmasından dolayı oluşan transfer film tabakasının sürtünmeyi azalttığını belirtmişlerdir.

Sukumaran ve arkadaşları [9], çalışmalarında, amorf (PAI, PEI, PC, PPSU) ve yarı kristalin (PA6, PET, PPS, PVDF, UHMWPE) dokuz farklı polimeri, mühendislik ve yüksek performanslı kalitelere seçmişlerdir. Testleri çelik disk karşı malzemesi, 10 kN uygulama yükü ve 0.5 m/s kayma hızı koşulları altında gerçekleştirmişlerdir. Amorf polimerlerde sürtünme katsayısı ve aşınma oranı yarı kristalin polimerlere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Disk ile temas sıcaklığı arttıkça yarı kristalin polimerlerin sürtünme katsayısı arttığını tespit etmişlerdir.

Nunez ve arkadaşları [10], çalışmalarında, iklimlendirme, soğutma ve itme yatakları dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılan dökme polimerler ve kaplamalar üzerinde triboloji araştırması yapmışlardır. Polietereterketon (PEEK), politetrafloroetilen (PTFE) ve aromatik ısıya sertleşen polyester (ATSP) gibi bilinen polimerleri incelemişlerdir. Testler dökme demir disk karşı malzemesi kullanılarak, 2.4 m/s kayma hızı ve 7 MPa basınç altında gerçekleştirmişlerdir. PEEK, dökme formatta kullanıldığında PTFE'den daha iyi performans gösterirken, PTFE kaplamaların üstün performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. ATSP bazlı polimerler oldukça düşük aşınma oranları sergilediğini ortaya koymuşlardır.

Friedrich çalışmasında [11], CF (karbon fiber) ve politetrafloroetilen (PTFE) takviyeli PEEK kompozitlerinin aşınma oranını incelemiştir. Testlerde 1 m/s kayma hızı ve 1 MPa basınç kullanmışlardır. Karşı malzeme olarak çelik disk kullanmışlardır. PTFE ve CF oranı arttıkça aşınma oranının azaldığını tespit etmiştir. Aşınma oranının azalmasını katkı maddelerinin kayma direncini arttırmasına bağlamışlardır.

Friedrich ve arkadaşları [12], çalışmalarında yüksek sıcaklığa dayanıklı polimerlerin, özellikle de polietereterketonun (PEEK) sürtünme ve aşınma özelliklerine, yumuşak çelik disk karşı malzemesi kullanılarak test etmişlerdir. İç yağlayıcıların, özellikle politetrafloroetilen (PTFE) ve kısa fiber takviyelerinin (cam ve karbon) etkileri ana hatlarıyla açıklamışlardır. Testler 20°C oda sıcaklığı, 1 MPa basınç, 1 ve 3 m/s kayma hızları altında gerçekleştirmişlerdir. Cam fiber takviyeli PEEK' un, karbon fiber takviyeli PEEK malzemesine göre aşınma oranı daha yüksek olduğu görülmüştür. PTFE takviyeli PEEK kompozitinde PTFE oranı arttıkça aşınma oranı arttığını, sürtünme katsayısının azaldığını tespit etmişlerdir. PTFE sıcaklık ile hızlı şekilde yumuşaması ve

karşı yüzeyde film tabakası oluşturmasının aşınma ve sürtünmeye etki yaptığını açıklamışlardır.

Saravanan ve arkadaşları [13], çalışmalarında %10 SU-8 takviyeli PTFE(Polytetrafloretilen) kompozitinin aşınma ve sürtünme davranışlarını 0.4 m/s kayma hızı, 3 N yük altında incelemişler ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> disk karşı malzemesi kullanmışlardır. Sürtünme katsayısının arttığını, aşınma oranının azaldığını ortaya koymuşlardır.

Brian ve arkadaşları [14], çalışmalarında karbon fiber (CF) ve cam fiber (GF) ilavesinin PTFE(polytetrafloretilen) ve Naylon 11 polimerlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarına etkisini incelemişlerdir. Testler çelik disk karşı malzemesi kullanılarak 5 N basınç, 0.1 m/s kayma hızı, %30 nemli ortam ile 0.66 MPa basınç, 1 m/s kayma hızı ve N<sub>2</sub> ortamı şartları altında gerçekleştirilmiştir. Nemli ortama kıyasla N<sub>2</sub> ortamında aşınma oranı ve sürtünme katsayısının arttığını tespit etmişlerdir. PTFE ve Naylon 11 polimerlerine katılan cam fiber oranı arttığında sürtünme katsayısı ve aşınma oranının arttığını gözlemlemişlerdir. PTFE polimerine %25 GF(cam fiber) ilavesi ile elde edilen aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerleri %15 CF(karbon fiber) ilavesi ile edilen aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerinden yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Laux ve arkadaşları [15], çalışmalarında kayan disk üzerinde polietereterketonun (PEEK) safir ve çelik karşı yüzeye karşı aşınma davranışını gözlemlemişlerdir. PEEK malzemesinin çelik üzerinde film tabakası oluşturduğunu ancak safir üzerinde oluşmadığını gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında 1 N' dan 50 N' a kadar artan basınç, 0.001 m/s, 0.01 m/s, 0.1 m/s, ve 1 m/s kayma hızı kullanmışlardır. 0.1 m/s kayma hızı ve 1 N' dan 50 N' a kadar artan yük altında sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. 0.001 m/s' den 1 m/s' ye kadar artan kayma hızı ve 10 N yük altında sürtünme katsayısının arttığı gözlemlemişlerdir. Sabit kayma hızı ve artan basınç koşullarında sürtünme katsayısı azalırken, sabit basınç ve artan kayma hızı koşullarında sürtünme katsayısının arttığını tespit etmişlerdir. Çelik karşı malzemesinin sürtünme katsayısının safire oranla yapılan her iki testte de daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Zao ve arkadaşları [16], saf polietereterketon(PEEK) ve karbon fiber(CF) takviyeliPEEK biomalzemesinin tribolojik özelliklerini, bir kobalt-krom-

molibden(Co-Cr-Mo) alaşımı kayan disk karşı malzemesi kullanmışlardır. Testler su, tuzlu su ve serum çözeltileri kullanılarak oda sıcaklığında gerçekteştirmişlerdir. Testleri 0.08 m/s kayma hızı 360 N yük koşullarında yapmışlardır. CF(karbon fiber) miktarı arttıkça sürtünme katsayısı ve aşınma oranının azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca su ortamında en yüksek aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerini, özel serum çözeltilerinde ise en düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerini tespit etmişlerdir.

Tharajak ve arkadaşları [17], çalışmalarında, bor nitrür (h-BN) içeren ve saf polietereterketon (PEEK) kaplamalarının sürtünme ve aşınma özellikleri araştırmışlardır. Testler çelik disk karşı malzemesi kullanılarak 25 N yük, 1000 m kayma mesafesi ve 0.1 m/s kayma hızı altında yapılmıştır. Kaplamaları disk üzerinde sürtünme testi ile farklı sıcaklıklarda (30, 100, 200 ve 300 °C) test etmişlerdir. Çoğu test sıcaklıklarında, h-BN takviyeliPEEK kompozitlerinin sürtünme katsayıları, kaplamaların sıvı halde girdiği 300 °C' lik bir sıcaklık haricinde, saf PEEK' un sürtünme katsayısından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. h-BN / PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayıları, 200 °C ve 300 °C'de arttığını 30 °C'den 100 °C'de azaldığını tespit etmişlerdir.

Sümer ve arkadaşları [18], bu çalışmada, saf polietereterketon (PEEK) polimeri ve ağırlıkça% 30 cam fiber (GF) ile güçlendirilmiş PEEK kompozitlerin tribolojik performansı, kuru kayma ve su ile kayganlaştırma koşullarında çalışmışlardır. Testleri kayan çelik disk üzerinde 1.77m/s, 3.54m/s, 0.80m/s, 1.60 m/s kayma hızı, 5.3 MPa basınç altında ve gerçekteştirmişlerdir. Sonuç olarak, sürtünme katsayısının ve aşınma oranlarının PEEK ve PEEK + ağırlıkça% 30 GF kompozit için uygulanan basınç arttığında artış gösterdiğini, kayma hızı arttığında ise sürtünme katsayısının azaldığını ancak spesifik aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Ağırlıkça %30 oranında cam fiber takviyeliPEEK kompozitinin hem sürtünme katsayısının hem de aşınma oranının; SafPEEK'e göre daha düşük olduğunu vurgulamışlardır.

Zhang ve arkadaşları [19], bu çalışmada, kısa karbon fiber (SCF), PTFE(polytetrafloretilen) ve grafit (her biri için% 10 hacim) ile doldurulmuş polietereterketon (PEEK) kompozitin tribolojik davranışları üzerindeki etkileri, 1 MPa



ila 5 MPa arasında değişen basınç altında incelemişlerdir. Karşı malzeme olarak 60 mm çaplı çelik disk kullanmışlardır. Sonuç olarak, fiber katkısının uygulanan yüke güçlü bir bağımlılık gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Çoğu durumda, düşük sürtünme katsayıları, fiberlerin kayma yönüne göre paralel ve normal yönlerden ziyade anti-paralel olarak yönlendirildiğinde meydana geldiği görmüşlerdir.

Flöck ve arkadaşları [20], çalışmalarında polietereterketon(PEEK) kompozitlerinde, özellikle polikrilonitril ve zift bazlı karbon fiberlerde, çelik disk malzemesine karşı farklı tipte karbon fiberlerin sürtünme ve aşınma performansının araştırmışlardır. Testleri çelik disk karşı malzemesi kullanarak, 1 ve 3 m/s kayma hızı, 1 ve 3 MPa basınç koşulları altında gerçekleştirmişlerdir. Malzemeler oda sıcaklığında (25 °C) ve 150 °C'de incelemişlerdir. Oda sıcaklığında yük ve fiber oranı arttığında sürtünme katsayısı ve aşınma oranı azalmıştır. 150 °C' de yapılan testlerde oda sıcaklığına kıyasla bir miktar daha yüksek aşınma oranı elde etmişlerdir.

Chen ve arkadaşları [21], çalışmalarında karbon fiber (CF) takviyeli polietereterketon (PEEK) kompozitlerinin deniz suyuyla yağlama koşullarındaki tribolojik davranışları karşılaştırılmalı olarak incelemişlerdir. 200 N basınç, 0.5 ve 1 m/s kayma hızı ve karşı malzeme olarak çelik kullanmışlardır. Sonuç olarak, CF oranı yaklaşık % 10 olduğunda, PEEK 'in deniz suyuyla yağlama altında aşınma oranının azaldığını göstermişlerdir. Bunun sebebi olarak da karbon fiberin(CF), temas yüzeyleri arasındaki ana yükü etkin bir şekilde paylaşabildiğini ve dolayısıyla matrisi şiddetli aşınmadan koruyabildiğini ortaya koymuşlardır. Hız arttığında aşınma oranı ve sürtünme katsayısı azaldığını tespit etmişlerdir.

Qiao ve arkadaşları [22], çalışmalarında kuru kayma koşulu altında ortalama kütlece %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 10 politetrafloroetilen (PTFE) içeren ve saf polietereterketon (PEEK) malzemelerinin sürtünme ve aşınma özellikleri incelemişlerdir. Tüm deneylerde sabit bir kayma hızı 0.42 m/s ve 196 N yük altında gerçekleştirmişlerdir. Çelik disk karşı malzemesini kullanmışlardır. PTFE(politetrafloroetilen) ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı arttığa aşınma oranının arttığı, sürtünme katsayısının azaldığını tespit etmişlerdir.

Elliott ve arkadaşları [23], çalışmalarında kuru kayma koşullarında ve saf polietereterketon (PEEK) ve karbon fiber takviyeliPEEK kompozitinin paslanmaz çelik

üzerinde süreye bağlı olarak aşınma davranışı incelenmiştir. Testler 1 MPa basınç ve 0.18 m/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı ve sürtünme katsayısının, saf polietereketona (PEEK) göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin, cilalanmış çelik karşı yüzeyinin daha fazla aşınmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Davim ve Cardoso [24], çalışmalarında saf polietereketon (PEEK), karbon fiber takviyeli PEEK (CF %30) ve cam fiber takviyeli PEEK (GF%30) malzemeleri için çelik disk üzerinde aşınma ve sürtünme üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Testler 8 MPa basınç 0.25 m/s kayma hızı, 2.68 MPa basınç 0.75 m/s kayma hızı ve 15 km kayma mesafesi oda sıcaklığı koşullarında yapılmıştır. PEEK%CF30 malzemesinin en az sürtünme katsayısına ve PEEK%GF30 malzemesinin tüm kayma mesafesi boyunca en yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu tespit etmişlerdir. PEEK%CF30 ve PEEK%GF30 malzemelerinin aşınma oranının PEEK'e göre daha düşük olduğunu, PEEK%CF30 malzemesinin ise en düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Vail ve arkadaşları [25], çalışmalarında saf polietereketon (PEEK) malzemesine katı yağlayıcılar ile birlikte yüksek mukavemetli politetrafloroetileni (PTFE) %6, %9, %13, %16 ve %20 oranlarında katmışlardır. PTFE katkısının kompozitlerin aşınmasına etkisini incelemişlerdir. Testleri paslanmaz çelik disk karşı malzemesi kullanarak 20°C oda sıcaklığında %25 nemli laboratuvar ortamı 250 N yük, 50.8 m/s kayma hızı koşullarında gerçekleştirmişlerdir. PTFE ile doldurulmuş PEEK kompozitlerden elde edilen aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerinin, saf PEEK malzemesine göre daha düşük olduğu tespit etmişlerdir.

Akpan ve arkadaşları [26], yatak uygulamaları için suda çözünür bir akrilik reçine ve kısa ağaç fiberleri kullanılarak biyo-bazlı bir triboloji malzemesi geliştirmişlerdir. Yumuşak ağaç fiber takviyeli ve sert ağaç fiber takviyeli biyo-kompozitleri cilalanmış çelik karşı malzemesi kullanılarak triboloji incelemesine tabi tutmuşlardır. Testlerde, 0.5 MPa basınç ve 15 saat boyunca 1 m/s kayma hızı uygulamışlardır. Yumuşak ağaç fiber takviyeli kompozitlerin sert ağaç fiber takviyeli kompozitlere kıyasla daha yüksek aşınma oranı ve daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Li ve arkadaşları [27], çalışmalarında saf polietereketon (PEEK) ve % 30 oranında cam fiber (GF) ile takviye edilmiş PEEK kompozitlerinin tribolojik davranışlarını, oda sıcaklığında çelik disk üzerinde karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Testleri 0.6 m/s kayma hızı, 100, 200, 300 ve 400 N yük altında gerçekleştirmişlerdir. Yük miktarı arttıkça sürtünme katsayısının cam fiber takviyeli PEEK kompozitinde arttığını saf PEEK malzemesinde ise azaldığını tespit etmişlerdir. Aşınma oranının ise yük arttığında cam fiber PEEK kompozitinde azaldığını saf PEEK malzemesinde arttığını tespit etmişlerdir.

Wang ve arkadaşları [28], çalışmalarında saf polietereketon (PEEK) ve sodyum klorür (%30NaCl) ile titanyum oksit ( $TiO_2$ ) takviyeli PEEK kompozitlerinin sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Testler, 1.40 m/s kayma hızları, 100 N ve 200 N yük ve 120 dk kayma süresi koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan PEEK kompoziti (5%M-TiO<sub>2</sub>-W+30%NaCl+PEEK) karbon fiber takviyeli (%15CF) PEEK kompoziti ve saf PEEK malzemesine kıyasla en düşük aşınma ve sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğunu, saf PEEK malzemesinin ise en yüksek aşınma ve sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Buris ve Sawyer, çalışmalarında [29], saf polietereketon (PEEK) ve politetrafloroetilen (PTFE) malzemelerinin tribolojik performanslarını doğrusal pistonlu, dönen paslanmaz çelik disk ve tribometre üzerinde değerlendirmişlerdir. Testleri, 0.05 m/s kayma hızında ve 6.25 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilmişlerdir. Döner disk ile yapılan testte sürtünme katsayısı en yüksek, tribometrede ise en düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Saf PEEK malzemesinin PTFE malzemesine kıyasla aşınma oranı ve sürtünme katsayısı daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Sharma ve arkadaşları [30], çalışmalarında soğuk nitrojen-oksijen(%0.5) plazma (CRNOP) ile muamele edilmiş karbon fiber takviyeli (%68 CF) polietereketon (PEEK) kompozitlerinin tribolojik davranışlarını incelemişlerdir. Testleri yumuşak çelik disk üzerinde 100, 200, 300, 400, 500 N basınç ve 1 m/s kayma hızı koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Yük miktarı arttığında aşınma oranının arttığını sürtünme katsayısının ise azaldığını tespit etmişlerdir.

Lin ve Schlarb [31], çalışmalarında, saf polietereterketon (PEEK) polimeri ile karbon fiber takviyeli(CF) PEEK kompozitinin sürtünme ve aşınma davranışını incelemişlerdir. Testleri çelik disk üzerinde 1 MPa, 2 MPa, 4 MPa, 8 MPa basınç altında, 0.5 m/s, 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s ve 4 m/s kayma hızlarında gerçekleştirmişlerdir. Kayma hızı ve basınç miktarı arttıkça sürtünme katsayısının azaldığını aşınma oranının arttığını tespit etmişlerdir. Karbon fiber takviyeliPEEK kompozitinin aşınma ve sürtünme katsayısı değerlerinin daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Song ve arkadaşları [32], çalışmalarında, Ti6Al4V malzemesi üzerine kaplama olarak kullanılan zirkonyumdioksit takviyeli polietereterketon (PEEK+ZrO<sub>2</sub>) kompozitinin tribolojik davranışlarını incelemişlerdir. Tribolojik testleri,% 25 yeni doğan buzağı serumu (NCS) ve arıtılmış su ortamları ile yağlanmış durumdaki 6.35 mm çapındaki ZrO<sub>2</sub> disk üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Testleri 12 m/s kayma hızı, 3 N basınç altında ve 37 °C sıcaklıkta gerçekleştirmişlerdir. PEEK/ZrO<sub>2</sub> ile kaplanmışTi<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V'nin sürtünme katsayısının ZrO<sub>2</sub> miktarı arttıkça her iki ortamda azaldığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca % 25 yeni doğan buzağı serumu kullanılan ortamdaki sürtünme katsayısı değerinin arıtılmış su ortamındaki sürtünme katsayısı değerine göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Zalaznik ve arkadaşları [33], çalışmalarında farklı işlem sıcaklıklarının saf polietereterketon (PEEK) özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Testleri çelik disk üzerinde 5 m/s kayma hızı ve 1 MPa basınç altında 20°C sıcaklıkta gerçekleştirmişlerdir. PEEK numuneleri, PEEK' un ergime noktasının altında, üstündeki sıcaklıklarda (300, 400 ve 450 °C) üretilen ve ticari olarak temin edilebilen saf PEEK malzemesi ile karşılaştırmışlardır. Ergime sıcaklığı yükseldikçe aşınma oranının arttığını sürtünme katsayısının azaldığını tespit etmişlerdir. PEEK malzemesinin ise en düşük aşınma oranına sahip olduğunu ve sürtünme katsayısının da yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kurdi ve arkadaşları [34], çalışmalarında farklı miktarlarda (%5,%10,%15) titanyumdioksit (TiO<sub>2</sub>) takviyeli polietereterketonun (PEEK) tribolojik testi ile tribolojik özelliklerini ve bunu takiben ilgili transfer film tabakasının karakterizasyonunu incelenmişlerdir. Testleri 24 saatlik süre, 0.1 m/s kayma hızı ve 5 N basınç altında çelik disk karşı malzeme kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Katkı miktarı

arttikça aşınma oranının ve sürtünme katsayısının az da olsa arttığını gözlemlemişlerdir. %5 TiO<sub>2</sub> takviyeli PEEK malzemesinde en düşük aşınma oranı ve en düşük sürtünme katsayısı değerlerini elde etmişlerdir.

Akagaki ve arkadaşları [35], çalışmalarında karbon fiber takviyeli (GF%30) polietereterketon (PEEK) kompoziti ve dövme çeliğin tribolojik özelliklerini yağlı ortam koşullarında incelemişlerdir. Testlerde çelik kaşı malzemesi kullanmışlardır. Testleri 10.2 ile 19 m/s arasında değişen kayma hızı ve 1 N/s ile artan basınç altında gerçekleştirmişlerdir. Maksimum 1177 N basınç uygulamışlardır. 30 ± 3°C arasında yağ kullanmışlardır. PEEK kompozitinin, dövme çeliğe kıyasla daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Yamaguchi ve Hokkirigawa [36], çalışmalarında su ile yağlanmış halde pirinç kepeği (RB) seramik parçacıkları ile doldurulmuş polietereterketon (PEEK) kompozitinin sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Testleri su ile yağlanmış paslanmaz çelik topu kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. 0.1 m/s ve 2 m/s kayma hızı ve 0.98 N, 4,9 N ve 9,8 N basınç uygulamışlardır. Katkı miktarı (RB), hız ve basınç arttikça sürtünme katsayısı ve aşınma oranının azaldığını gözlemlemişlerdir.

Jean-Fulcrand ve arkadaşları [37], çalışmalarında PBI' nin (polybenzimidazole) tribolojik özelliklerini 280°C sıcaklıkta çelik bilye malzemesi kullanılarak incelenmişlerdir. Testleri 2 ila 12 N arasında değişen basınç altında ve 2 m/s sabit kayma hızında gerçekleştirmişlerdir. Sürtünme katsayısının uygulanan yükün artmasıyla azaldığını aşınma oranının ise arttığını tespit etmişlerdir.

Niemiec ve Sokolska [38], çalışmalarında polietereterketonun (PEEK) karbon fiber (CF), aramid ve cam fiber (GF) takviyeli PEEK kompozitlerinin, aşınma ve sürtünme özelliklerini analiz etmişlerdir. Cam fiber takviyeli PEEK kompozitlerinin en yüksek aşınma oranına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. PEEK karbon fiber takviyeli kompozitin aşınma oranı, özellikle 20-220 °C arasındaki sıcaklık aralığında artmıştır. % 20' den fazla karbon fiber katkısı özellikle çok yüksek test sıcaklıklarında aşınma oranını artırdığını tespit etmişlerdir.

Lind ve arkadaşları [39], çalışmalarında saf polietereterketon (PEEK), karbon fiber takviyeli (CF%30) PEEK ile karbon fiber ve politetrafloroetilen takviyeli (CF

%30+PTFE) PEEK kompozitlerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Testlerde karşı malzeme olarak çelik disk kullanmışlardır. Testleri oda sıcaklığında, 80 °C, 120 °C ve 150 °C'de, 20 m/s kayma hızı, 5 N ve 15 N basınç altında gerçekleştirmişlerdir. Yağlayıcı ile birlikte test edilen PEEK+%30CF kompozitinin en yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğunu saf PEEK malzemesinin ise en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ganesh ve Dhamejani [40], çalışmalarında polietereketon (PEEK) ve %30 cam Fiber (GF) takviyeli PEEK kompozitlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. PEEK kompozitlerini kuru kayma koşullarında 50°C, 100°C ve 150°C sıcaklıklarında incelenmişlerdir. Testleri çelik disk karşı malzemesi kullanarak 1.4 m/s kayma hızı, 2.4 kg ve 8 kg basınç altında gerçekleştirmişlerdir. %30 Cam fiber (GF) takviyeli PEEK kompozitinin saf PEEK' e kıyasla aşınma oranının daha düşük sürtünme katsayısının ise daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Andrade ve arkadaşları [41], çalışmalarında karbon fiber takviyeli(%30 CF) polietereketonun (PEEK) tribolojik özelliklerini yağlı ortam ve çelik disk karşı malzemesi kullanarak incelemişlerdir. Testleri sabit, 2 MPa basınç, 2 m/s kayma hızı, 85 °C'de yağ sıcaklığı ve 120 dakika koşullarında ayrıca 1 MPa ila 7 MPa basınç altında ve 2 ila 12 m/s arasında değişen farklı kayma hızında gerçekleştirmişlerdir. Hidrodinamik yağlama altında aşınma oranı ortalama olarak yaklaşık 5 kat daha düşük olduğunu sürtünme katsayısının ise 3 kat daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca hız ve basınç arttıkça aşınma oranı sürtünme katsayısının azaldığını gözlemlemişlerdir.

Petrica ve arkadaşları [42], çalışmalarında polietereketon(PEEK) ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilenin (PE-UHMW) tribolojik özellikleri, çelik bilyeli plaka kullanılarak incelemişlerdir. Testleri 30 N basınç altında, 0.75 m/s kayma hızı ve 24 °C' de gerçekleştirmişlerdir. PEEK' in yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri düşük olan numuneler için test süresinin artmasıyla aşınma oranı azalmakta, yüksek Ra değerleri için numuneler test süresinin artmasıyla aşınma oranında bir artmakta olduğunu, PE-UHMW' in ise tüm test süresi boyunca sabit bir sürtünme davranışına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zsidai ve Kátai [43], çalışmalarında kısa karbon fiber(SCF) ve kısa cam fiber(SGF) takviyeli polietereketon(PEEK) kompozitlerini aşınma cihazı ile incelemiştir. Testleri, pim düzlemi (bant) model sistemi ve aşınma yüzeyinin zımpara bezi olduğu farklı basınç (11.5 N ve 23 N) altında, oda sıcaklığı, %50 Nem ve 0.05 m/s kayma hızı koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Kısa karbon fiber(SCF) takviyeliPEEK kompozitinin aşınma oranının kısa cam fiber(SGF) katkısına kıyasla daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Kadu ve arkadaşları [44], çalışmalarında kuru sürtünme koşullarında saf polietereketon(PEEK) malzemesiyle politetrafloroetilen ve karbon fiber takviyeli(CF%15+PTFE%15) PEEK, bronz(%15) ve politetrafloroetilen (PTFE%15) takviyeliPEEK kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Testleri, çelik disk üzerinde, 10 N basınç altında, 1.8 m/s ile 3.4 m/s arasında değişen kayma hızında, oda sıcaklığında ve 3 saatlik sürede gerçekleştirmişlerdir. Bronz (%15) takviyeliPEEK kompozitlerinin, karbon fiber takviyeli(CF%15) PEEK kompozitlerine göre aşınma oranının daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Avanzini ve arkadaşları [45], çalışmalarında saf polietereketon(PEEK), karbon fiber takviyeliPEEK (CF %30), cam fiber takviyeliPEEK (GF%30) ve karbon fiber, grafit ve teflon takviyeliPEEK (CF %10 + PTFE + Graphite) malzemelerin çelik disk üzerinde aşınma oranı ile uygulanan basınç ve kayma hızı (pv) arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Testleri 80 ve 160 MPa basınç ile 0.85 m/s ve 1.4 m/s kayma hızları altında gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre “pv” değeri arttığında aşınma oranının arttığını gözlemlemişlerdir. Karbon fiber, grafit ve teflon takviyeliPEEK (CF %10 + PTFE + Graphite) kompozitinin en yüksek aşınma oranına sahip olduğunu, karbon fiber takviyeliPEEK (CF %30) kompozitinin ise en düşük aşınma oranına sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Pei ve Friedrich [46], çalışmalarında saf polietereketon(PEEK), polibenzimidazol (PBI) ve poliparafenilen (PPP) polimerlerinin aşınma özelliklerini çelik disk üzerinde incelemiştir. Testleri 1 m/s ve 2 m/s kayma hızı altında gerçekleştirmişlerdir. 0,4 ila 4,6 MPa m/s arasında basınç ve kayma hızı (pv) etkisini incelemiştir. Pv değeri arttığında aşınma oranının arttığını tespit etmişlerdir. Aşınma oranı en yüksek poliparafenilen (PPP) polimeri olduğunu, polibenzimidazol (PBI) polimerinin ise

yüksek basınç ve kayma hızlarında en düşük aşınma oranına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda “pv” değeri arttıkça karşı malzeme olarak kullanılan çelik diskin, sıcaklığının arttığını gözlemlemişlerdir.

Literatürde SafPEEK, Cam fiber ve karbon fiberli polietereterketon(PEEK) kompozitleri üzerine oldukça fazla çalışmaya rastlanmıştır. Ancak HPV-PEEKmalzeme ile ilgili literatürde yok denecek kadar az çalışmaya rastlanmıştır. Buna ilaveten PEEK malzemelerin tribolojik çalışmalarında düşük yük ve düşük hızlarda yapıldığı gözlenmiştir. Bu deneysel çalışma da ise yüksek yük (250N) ve yüksek hızlarda aşınma ve sürtünme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada saf PEEK(polietereterketon), %30 cam fiber takviyeliPEEK, karbon fiber takviyeliPEEK ve aşınma dirençli HPV-PEEK(teflon, grafit ve karbon fiber takviyeli) malzemeleri kullanılmıştır. Deneyler pim-disk aşınma cihazında oda sıcaklığında ve %50 nem şartlarında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik deneyler, 50, 100, 150, 250N yükler altında 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0m/s kayma hızlarında AISI 52100 paslanmaz çelik disk ve AISI 7075 Alüminyum karşı disk malzemelerine karşı gerçekleştirilmiştir.



## BÖLÜM 2. AŞINMA

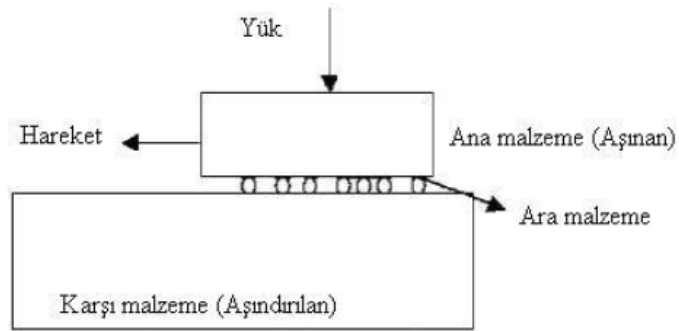
### 2.1. Aşınma Tanımı ve Sürtünme Kavramı

Aşınma; malzemeye mekanik, fiziksel ve kimyasal etkiler neticesinde malzeme yüzeyinden kayıplarının meydana gelmesi olarak açıklanabilir [47].

Bir aşınma durumunun meydana getiren faktörler şunlardır;

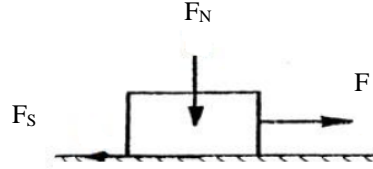
- Hareket durumu
- Yük miktarı
- Ara malzeme
- Karşı malzeme (aşındıran)
- Ana malzeme (aşınmaya maruz kalan )

Bu unsurların oluşturduğu sistem de “tribolojik sistem” olarak isimlendirilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Aşınmayı oluşturan aşamalar [47].

Sürtünme, herhangi iki madde yüzeyi arasındaki ve bu yüzeylerin birbirlerine karşı hareketini engellemeye çalışan karşılıklı direnç kuvvetidir. 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 de olsa mevcuttur [48].



Şekil 2.2: Sürtünme Davranışı [48].

Şekil 2.2' de  $F_s$  sürtünme kuvveti ve  $F_N$  normal kuvveti, sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranı ise sürtünme katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Sürtünme katsayısı, Yunan harfi  $\mu$  ile sembolize edilir.

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.

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 [48].

## 2.2. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma olayı, aşınmanın meydana getirdiği izin görünüşüne göre incelenebilir. İz görüntüleri çukurlanmalı, pullanmalı, çizilmiş, parlamış, oyulmuş, kemirilmiş ve kazınmış şekilde olabilir. Aşınma olayı ayrıca hasarın oluştuğu fiziksel mekanizmalara göre de bölümlendirilebilir[49].

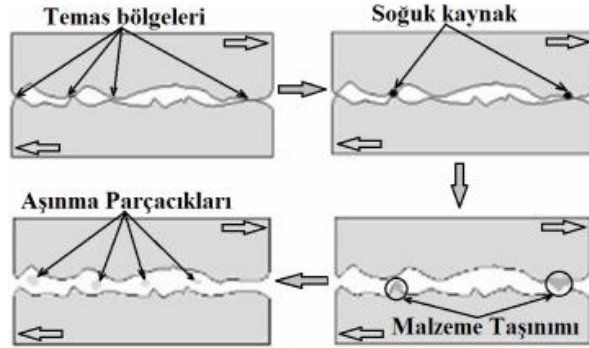
Dominant aşınma mekanizmaları; adhezif aşınma, abrazif aşınma ve yorulma aşınmasıdır. Her aşınma mekanizması, tek başına meydana gelebilmesine rağmen,

aşınma hasarları incelemeleri, her zaman çeşitli aşınma mekanizmalarının kombinasyonunun var olduğunu göstermiştir [48].

### 2.2.1. Adheziv Aşınma

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.

Adhezyon, aşınma çiftinin malzeme etkileşimidir. Yüksek basınç altında iki katı yüzeyin kantağından 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 [48]. Adheziv aşınma mekanizması Şekil 2.3’ te gösterilmiştir.

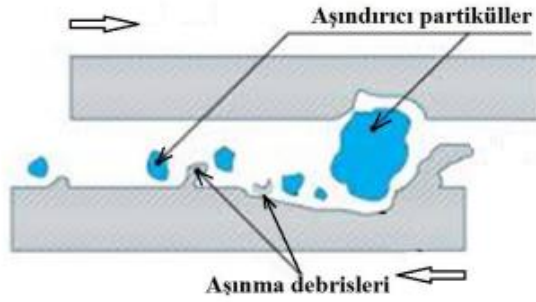


Şekil 2.3: Adheziv aşınma mekanizması [54].

### 2.2.2. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma çizilme ya da yırtılma aşınması olarak da bilinen, birbiri ile eş çalışan malzeme çiftinde hızlı ve büyük oranda hasar oluşturabilecek oldukça önemli bir aşınma türüdür. Bu aşınma türü, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan parçacıklarla basınç altında etkileşmesi ile sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçacık kaldırılması şeklinde tanımlanabilir (Şekil 2.4).

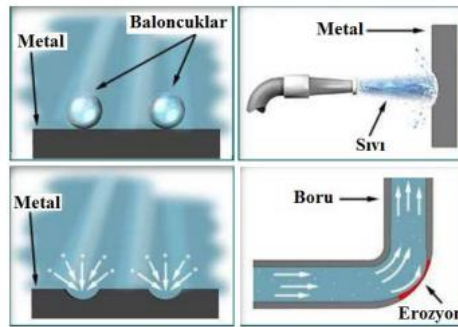
Bu aşınma türüne yatak malzemesi içersine olumsuz çalışma koşulları nedeniyle giren toz parçacıklarının oluşturduğu aşınma örnek gösterilebilir. Eğer aşınma olayı malzeme çifti arasındaki sertlik farkından meydana geliyorsa iki cisimli aşınma, diğer taraftan ilave aşındırıcı partiküller de aşınmayı etkiliyorsa bu aşınma türü de üç cisimli aşınma olarak tanımlanmaktadır [54].



Şekil 2.4: Abrasiv aşınma mekanizması [54].

### 2.2.3. ErozyonAşınması

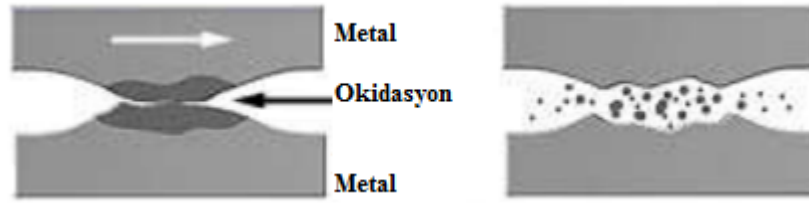
Erozyon aşınması, akışkan içersinde bulunan aşındırıcı partiküller, yüksek hızla hareket eden sıvı damlacıkları ve yüksek hızdaki gaz kabarcıkları tarafından oluşturulan bir aşınma türüdür (Şekil 2.5). Sıvılar ve gazlar akış esnasında temas halinde oldukları parçanın sınır yüzeylerine çarpma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparırlar ve girdaplar etkisiyle dalgalı yüzey meydana getirirler. Böylece aşınma daha da hızlanır. Genellikle pompalarda, pervanelerde, fanlarda, nozullarda ve boru ve tüplerin dirsek kısımlarında görülmektedir[54].



Şekil 2.5: Erozyon aşınma mekanizması [54].

#### 2.2.4. Korozi Aşınma

Korozi aşınma, aşınan yüzeylerin, aynı zamanda korozi etkilere de maruz kalması durumunda oluşmaktadır (Şekil 2.6). Kimyasal korozyon kendi başına oluşabileceği gibi diğer aşınma türleriyle birlikte oluşabilir. Temas eden yüzeylerde görülen yüzey filmi tarafından oluşturulan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını engellemektedir. Fakat oluşan yüzey filmi kırılabilir ve arayüzey bağı zayıfsa ise sürtünme esnasında filmler çatlayarak yüzeyden ayrılır ve aşınma hızı artar[54].



Şekil 2.6: Korozi aşınma mekanizması[54].

#### 2.2.5. Kavite Aşınması

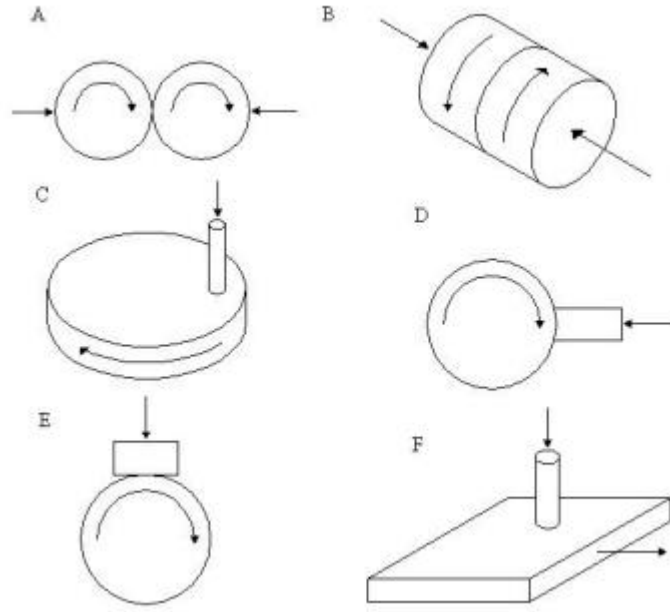
Kavite aşınması, yüzey yorulma aşınmasına benzer özellikte olup yüksek mukavemet gerektiren hidrolik sistemlerde meydana gelmektedir. Korozyon dayanımında kaviteye dayanım açısından önem arz etmektedir [47].

#### 2.2.6. Püskürtme Aşınması

Püskürtme aşınmasında püskürtme açısı ve malzeme özellikleri önemlidir. Küçük püskürtme açısında yumuşak malzemelerde yüksek aşınma olurken, büyük püskürtme açısında sert ve gevrek malzemelerde yüksek oranda aşınma meydana gelmektedir[47].

#### 2.2.7. Kayma Aşınması

Aşınma için yapılan laboratuvar araştırmalarında aşınmayı etkileyen tüm değişkenlerin kontrolü önem arz etmektedir. Aşınma oranı ve sürtünme katsayısının kayma şartlarına bağlıdır. Bu şartlardaki çok küçük değişiklikler aşınma mekanizmasında büyük değişikliklere yol açabilir[47]. Kayma aşınmasını değerlendirmek için çok sayıda test konfigürasyonu türetilmiştir (Şekil 2.7)[48].



Şekil 2.7: Kayma aşınması testlerinde kullanılan konfigürasyonlar [48].

Çok sık kullanılan asimetrik 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 kontak 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[48].

## 2.3. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

### 2.3.1. Kayma Hızı Etkisi

Cam fiber ilaveli PTFE malzeme ile bronz takviyeli PTFE malzemenin aşınması olayında; hız miktarının artması ile aşınma değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Çoğunlukla uygulanan hızın artması ile aşınma miktarı da artmaktadır [49].

### **2.3.2. Basınç ve Yük Etkisi**

Briscoe, Tabor ve Pagasion'un deneysel çalışmalarında kayma hızı değeri ve uygulanan zamana bağıntılı olarak politetrafloretülenin aşınma değerinin, uygulanan yük ile ilk olarak bir değişiklik olmadığını, yük miktarı yükseldikçe aşınma değerinin de artmaya başladığını gözlemlemişlerdir. Dolgulu yapı politetrafloretülide ise aşınma değerinin çok fazla olmadığını şeklinde yorumlanmıştır [49].

### **2.3.3. Sıcaklık Etkisi**

Sıcaklık miktarına bağlı olarak aşınma, polimer malzemenin cinsine göre değişmektedir [49].

### **2.3.4. Aşınma Mesafesi Etkisi**

Tüm malzemelerde ki gibi aşınma hızı, aşınma uzunluğu ile artış göstermesine rağmen çoğunlukla bu artış miktarı polimerin türüne bağlıdır [49].

### **2.3.5. Sertlik Etkisi**

Aşınma etkenine, aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin sertliğinin etkisi araştırmacılarca araştırılmış olup çoğunlukla aşındırıcı malzemesinin sertlik düzeyinin yüksek olması, kendisinden daha az sertlik değerli malzemelere istinaden aşındırma özelliğinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aşınmanın meydana gelmesi için aşınan ve aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin sertlik dereceleri ile alakalı bir çok ilişki mevcuttur. Aşınan ve aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin sertlik dereceleri yakın olduğu hallerde yüzeye batma az oluşacağından sonuçtaki durumda aşınma miktarı da düşük seviyede kalacaktır. Aşınan malzeme ve aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin sertlik derecesi arasında bir, iki ya da daha az bir nispette olduğunda aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin, aşınan malzemeye batması söz konusu olmayacağından aşınma hız değeri de düşer. Fakat oluşan bu durumda, malzeme yüzeyinde hasar meydana gelmeye devam eder. Aşınma durumuna maruz kalacak malzemenin sertlik değeri, aşındırıcı olarak kullanılacak malzemenin sertlik derecesinden daha yüksek olduğu

durumlarda, abrasiv aşınma direnç seviyesi bir hayli fazladır ve aşındırıcı parçacıklar da aşınırlar [49].

### **2.3.6. Yüzey Pürüzlülüğü Etkisi**

Sürtünme kuvvetinin değerini, aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin yüzey pürüzlülük değeri belirlediği için aşınmaya etkisi oldukça büyüktür. Pürüzlülüğün fazla olduğu yerlerde, temas eden alan küçük, ama birim yüzeye tesir eden yük yüksek olacaktır. Yüzeylerin pürüzlülüğü düşük ise temas eden alan büyük, birim yüzeye tesir eden yük ise küçük olacaktır [49].

### **2.3.7. Tane Boyutu Etkisi**

Tane büyüklüğüne ve aşındırıcı şekline göre, aşınmaya maruz kalan malzeme yüzeyinde oluşturduğu hasarda da değişiklik gösterir. Keskin yapılı ve sert kenara sahip yüzeylerde aşındırıcı partiküller, malzeme üzerinde sürekli yonga şeklinde kopan bir kesilme şekli meydana getirirken, yuvarlak ve pürüzsüz yapıya sahip yüzeyli partiküller sünek yüzeyli yapıyı yırtarak hasar meydana getirirler [49].

### **2.3.8. Çalışma Ortamının Etkisi**

Ortam sıcaklığı, ortamdaki nem miktarı, ortamdaki basınç aşınma davranış biçimini etkileyen en önemli etkidir. Aşınma sisteminde her şeyden önce kuru sürtünme ortamı mevcut ise oluşan ısının boyutları epeyce fazla olduğundan, bir takım maddelerin mikroyapı şekilleri de değişikliğe uğrayabilmektedir [49].

## **2.4. Aşınmanın Ekonomik Açıdan Önemi**

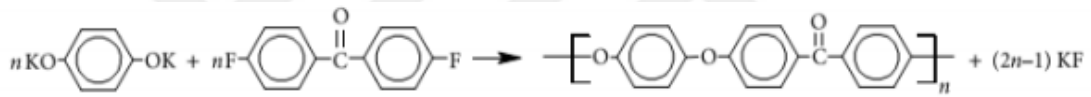
Sanayide aşınma önemli bir tehlike meydana getirmektedir. Aşınmanın neden olduğu maliyetin önemini belirtmek için şu örneği verebiliriz; Almanya'da aşınmanın neden olduğu maliyetin 2 milyar euro metalurji alanında, 500 milyon euro plastik üretim sanayinde, 1 milyar euro da diğer sanayi kolları olmak üzere toplamda 3,5 milyar olduğunu söyleyebiliriz. Hala Türkiye'de aşınmanın maliyet olarak meydana getirdiği olumsuz durumlar, etkili bir biçimde önemle ele alınmamaktadır. [49].



## BÖLÜM 3. PEEK POLİMERİ

### 3.1. Kimyasal Yapısı

Poli eter eter keton (PEEK) polimeri, yarı kristalin termoplastik polimer sınıfının öne çıkan polimerlerinden biridir. Kimyasal olarak tekrar eden bir keton ve iki eter grubundan oluşan polieter eter keton (PEEK) polimeri sadece karbon, hidrojen ve oksijen atomları bulunduran yapısı sayesinde tam aromatik, yüksek karalılıkta, yarı kristalin, termoplastik bir polimer olan PEEK, lineer bir yapıya sahiptir (Şekil 3.1) [51].



Şekil 3.1: Polietereterketon polimerizasyonu ve kimyasal yapısı.

PEEK' in kristal yapısı, iki molekülün her birim hücreye çaprazladığı ortorombik yapıdadır. Tablo 3.1 de Dawson ve Blundel tarafından hesaplanan hücre parametreleri verilmiştir. Bu malzemenin yapı ve özellikleri polimer zinciri üzerindeki yüksek konsantrasyonlu fenil halkaları ve diğer moleküllere güçlü hidrojen bağları ile bağlanmayı sağlayan karbon miktarı tarafından belirlenir. Bu, PEEK' in yüksek rijitlikle ve yüksek cam geçiş sıcaklığında olmasını sağlar[52].

Tablo 3.1: PEEK' in birim hücre boyutları (Å°)[52].

a	b	c
7.75	5.86	10.0

### 3.2. Üretimi

Polieter eter keton polimeri ticari olarak polieterifikasyon reaksiyonu ile üretilmektedir. PEEK polimerinin sentezi sırasında sentezin yöntemi ve

gerçekleştirildiği şartlar büyük önem taşımaktadır. Literatürde PEEK polimerinin polikondenzasyon reaksiyonunda iki farklı yapı taşının kullanımına rastlanmaktadır. Bunlardan biri 4,4'-diklorobenzofenon diğeri ise 4,4'-diflorobenzofenon'dur. Temel olarak 4,4'-diflorobenzofenon'un kullanıldığı PEEK üretiminde, 4,4'-diflorobenzofenon hidrokinon anyonları ile reaksiyona girerek kondenzasyon işlemini gerçekleştirmektedir. 4,4'-diflorobenzofenon, hidrokinonun anyonları ile N-cyclohexyl-2-pyrrolidone gibi yüksek kaynama noktasına sahip organik çözümler içerisinde reaksiyona girmektedir[51].

### 3.3. Çeşitleri

Polieter eter keton (PEEK) polimeri ilk olarak 1970'lerin sonlarında 1980'lerin başında 'ICI Advanced Materials' tarafından üretilmiştir ve yine aynı şirket tarafından 'Vitrex PEEK' adı altında ticarileştirilmiştir. 1980'li yıllarda bu polimerin yüksek potansiyelinin fark edilmesi ile birlikte, diğer üreticiler de bu polimere rakip özelliklere sahip polimer geliştirme çalışmaları başlatmıştır (Tablo 3.2) [51].

Tablo 3.2: PEEK polimerine rakip olarak üretilen çeşitli PEK polimerlerinin Camlaşma Noktası (Tg) ve Ergime Noktası (Tm).

Polimer	Üretici Firma	Tg (C°)	Tm (C°)
PEEK	Vitrex LTD	143-145	334-343
PEEKK	Hoechst	150	365
PEKEKK	BASF	170	381
PEKK	DuPont	165	391
PEEK	QUADRANT	143-145	340

### 3.4. Fiziksel Özellikleri

Solgun amber renkte organik bir polimer olan PEEK, mükemmel fiziksel özellikleri ile yarı kristalin, termoplastik bir polimer olarak bilinmektedir. Bu polimerden üretilen film yapılarda film ne kadar ince ise o kadar transparan renktedir. Filmin kalınlığı arttıkça renk matlaşmakta ve amber renk fark edilmektedir. Bu polimerden üretilen film yapılarda film ne kadar ince ise o kadar transparan renktedir. Filmin kalınlığı arttıkça

renk matlaşmakta ve amber renk fark edilmektedir. İyi sürtünme ve aşınma dayanımına sahiptir [51].

### **3.5. Kimyasal Özellikleri**

Kimyasal olarak tekrar eden bir keton ve iki eter grubundan oluşan polieter eter keton (PEEK) polimeri sadece karbon, hidrojen ve oksijen atomları bulunduran yapısı sayesinde tam aromatik, yüksek karalılıkta, lineer bir yapıya sahiptir. Termoplastik bir polimerdir. Isıya ve kimyasallara karşı oldukça iyi bir dayanıma sahip bu polimerdir. Yanma sırasında alev ve duman üretimi düşüktür, aynı zamanda zehirli gaz üretimi de oldukça az seviyededir. Ayrıca mükemmel bir biyouyumluluğa sahiptir[51]. PEEK polimerini çözen tek kimyasal konsantre (derişik) sülfürik asittir[52].

### **3.6. Mekanik Özellikleri**

PEEK polimeri aynı zamanda rijit, tok bir malzemedir. Yüksek sürtünme ve aşınma dayanımına sahiptir. Sürtünme katsayısı düşüktür. Bu sayede sterilizasyon ve radyasyona karşı da direnç gösterebilmektedir. Mükemmel dinamik geri dönüş (toparlanma) özelliği ve esnek yorulma performansına sahip PEEK polimeri özellikle kendi camlaşma sıcaklığı ( $T_g$  143°C) altındaki sıcaklıklarda düşük sünme ve düşük büzülme özellikleri sergilemektedir[51].

### **3.7. Elektriksel Özellikleri**

PEEK polimeri elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde elektrik elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. Sadece kablolarda değil aynı zamanda, elektrik iletkenliğinin istendiği kompozit yapılarda ve yakıt hücrelerinde iletkenlik sağlayan membran yapılarda da elektriksel özellikleri sayesinde kullanılabilirler[51].

### **3.8. Termal Özellikleri**

Termal Özellikleri oldukça iyi olan PEEK polimeri -60°C ile 260°C sıcaklıkları arasında özelliklerinde herhangi bir kayıp gözlenmeden kullanılabilir. Hem yüksek sıcaklıklarda hem de düşük sıcaklıklarda rahatlıkla kullanılabilen PEEK ergime

sıcaklığı 334-345°C iken camlaşma sıcaklığı 143-145°C olarak bilinmektedir. PEEK polimerinin ısı bozunma sıcaklığı bazı kaynaklarda 350°C'den yüksek olarak genellenirken, bazı kaynaklarda 500°C olarak belirtilmektedir[51].

### **3.9. Optik Özellikleri**

Yüksek performanslı polimer için ışınlara dayanım büyük önem taşımaktadır. Bir polimerin performans özellikleri ne kadar yüksek olursa olsun ışınlara karşı dayanımı düşük olduğunda bu yüksek performans özelliklerinde kayıplar yaşanacak ve ürünün ömrünü olumsuz etkileyecektir. PEEK polimeri UV, alfa, beta ve gama ışınlarına karşı dayanıklıdır. Bu sayede bu ışınlara maruz kalınan alanlarda rahatlıkla kullanılabilirler. Özellikle medikal ürünlerin sterilizasyonunda bu ışınlar sık kullanıldığından polimerin dayanıklılığı ve biyouyumluluğu önemlidir [51].

### **3.10. Kullanım Alanları**

PEEK, yarı kristalli ve yüksek ergiyik sıcaklık derecesi ile mükemmel bir plastik olup geniş kullanım alanına sahiptir. PEEK kimyasal çevrelere karşı mükemmel direnç gösterir, hatta yüksek sıcaklıklarda dahi bu özelliği devam ettirmektedir. PEEK' in en önemli özelliği yüksek sıcaklıklarda sürtünme, aşınma, bükülme ve gerilmelere karşı dayanıklı olmasıdır. Kullanım alanları olarak daha çok uçak sanayinde ve elektrik endüstrisinde tercih edilmektedir. Takım aletleri, giysi parçası, ölçme pistonlarında, sürtünmeli yataklarda, yuvarlak valf contalarında, petrol kuyularında, plaka destekleri, kablo endüstrisi gibi birçok üründe kullanılmaktadır [52].

PEEK polimeri birçok uygulamada termoplastik reçine olarak da kullanılabilir. Genellikle kimyasal dayanım, yüksek ısı dayanımı, düşük duman çıkışı, yanmaya dayanım gibi özelliklerin arandığı uygulamalarda tercih edilen termoplastik reçine formu yaygın bir kullanıma sahip olduğundan, bu yapının kullanılabilir sıcaklığı büyük önem taşımaktadır. Ergime sıcaklığı 350-390 °C arasında değişen PEEK termoplastik reçine formunun maksimum işlem sıcaklığı yaklaşık 250 °C civarındadır. PEEK reçine yapılar rüzgâr türbinlerinin kanatlarında, batarya (pil) kılıflarında, güç tutuşur tekstillerde, robotik ve otonom sistemlerde bulunan kompozit yapılarda

kullanılmaktadır. Ayrıca bu yapıların mühimmat (cephane) koruyucu kılıflarında ve depolama konteynirlerinde kullanımlarına da rastlamak mümkündür.

### **3.11. Katkı Malzemeleri**

#### **3.11.1. Cam Fiber(GF)**

Cam fiberler, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir. Doğada genellikle oksijenle birlikte silis ( $\text{SiO}_2$ ) şeklinde bulunur. Camın elde edilmesi için silis kumu, katkı malzemelerle birlikte kuru halde iken  $1260\text{ }^\circ\text{C}$  civarına kadar ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir. Cam fiberlerin bazı özellikleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Birim ağırlık başına düşen çekme mukavemeti çelikten yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşük olduğu için yanmazlar ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur. Ancak cam fiberli kompozitlerde matris ile cam fiber arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel fiber kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
5. Elektriksel yalıtımın önemli olduğu uygulamalarda güvenle kullanılmaktadır [53].

#### **3.11.2. Karbon Fiber(CF)**

Karbon fiberler cam fiberlerden daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir fiber grubudur. Karbon fiberlerin en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Bu fiberler, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon fiberler çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi

reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca alüminyum ve magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılır [53].

### **3.11.3. Politetrafloroetilen (PTFE-Teflon)**

Politetrafloroetilen, 1938’ de keşfedildiğinden beri, araştırmacılar tarafından çalışılan etkileyici ve özgün bir malzemedir. PTFE, vakum uyumludur, yüksek sıcaklıklarda kararlıdır ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Teflon, çok düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Düşük sürtünme katsayısı teflonu, yapışmayan yemek pişirme için ideal malzeme durumuna getirmiştir[48].

PTFE’inen çok kullanıldığı yerler; yüksek ısıya dayanıklı conta, keçe ve bant, vana seti, kimyevî maddelere dayanıklı boru, laboratuvar cihazları, filtre, diyafram, elektrik gerilimlerine dayanıklı kablo yalıtkanı, izalotör ve makina sanayisinde sürtünmeye dayanıklı yağsız yataklar ve burçlar, köprü ve binalar için kayar yataklar, pnömatik ve hidrolik parçalar yapımı sayılabilir[48].

## BÖLÜM 4. DENEY HAZIRLAMA ve YÖNTEM

### 4.1. Deney Malzemeleri

Bu deneysel çalışmada kullanılan saf polietereterketon polimeri, PEEK+%30GF(cam fibertakviyeli polietereterketon), PEEK+%30CF(karbon fibertakviyeli polietereterketon) ve HPV-PEEK(karbon fiber ve teflon takviyeli polietereterketon) yüksek performanslı mühendislik polimer kompozitleri ile çelik ve alüminyum karşı disk malzemesi ile ilgili detaylar aşağıdaki Tablo 4.1’de, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.1:Deneylerde kullanılan malzemeler, ticari adı ve üreticileri.

Numune adı	Kısa Gösterimi	Ticari Adı	Üretici Firma	Üretim Yöntemi	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Polietereterketon	PEEK	Ketron PEEK 1000	Quadrant Engineering Polymers	Ekstrüzyon	1,32
Cam fiber takviyeliPEEK	PEEK+ %30GF	Ketron GF30 PEEK	Quadrant Engineering Polymers	Ekstrüzyon	1,51
Karbon fiber takviyeliPEEK	PEEK+ %30CF	Ketron CA30 PEEK	Quadrant Engineering Polymers	Ekstrüzyon	1,41
HPV-PEEK	HPV-PEEK	Ketron PEEK HPV	Quadrant Engineering Polymers	Ekstrüzyon	1,44
Çelik		AISI 4140		Döküm	7,83
Alüminyum	Al	7075 Al	KrasnoyarsMetallurgy	Döküm	2,7

Tablo 4.2: Deneylerde kullanılan polimer ve kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özellikler	Test metodu	PEEK	PEEK+%30GF	PEEK+%30CF	HPV-PEEK
Sertlik(HR)M	ASTM D785	100	103	102	85
Çekme Mukavemeti	ASTM D638	110	96,5	131	78

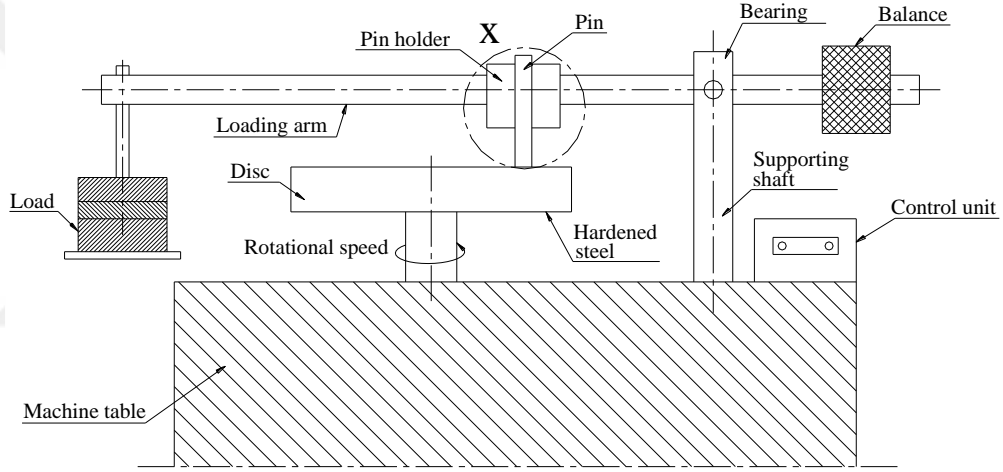
(MPa)					
Tablo 4.2 (devam): Deneyleerde kullanılan polimer ve kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.					
Kopmadaki uzama(%)	ASTM D638	40	2	5	2
Eğmedeki elastiklik modülü(GPa)	ASTM D790	4,14	6,89	8,62	4,83
İzod darbe mukavemeti (j/cm)	ASTM D256 Type A	0,534	0,427	0,55	0,374

#### 4.2. Numune hazırlama ve Yöntem

Deneyleerde kullanılan saf PEEK(polietereeterketon) polimeri, PEEK+%30GF(cam fiberli polietereeterketon), PEEK+%30CF(karbon fiberli polietereeterketon) ve HPV-PEEK(karbon fiberli, grafit ve teflon takviyeli polietereeterketon) kompoziti numuneleri 1000 mm uzunluğunda ve 10 mm çapında ekstrüzyonla üretilmiş olup Quadrant Mühendislik Polimerleri firmasından temin edilmiştir. Numuneler deneyleerde kullanmak amacıyla bir revolver tornada 6 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda pim haline getirmek için işlenmiştir. Pim-disk aşınma cihazı, ana gövde, elektrik motoru, bir yük kolu, bir yük hücresi ve bilgisayar gibi kısımlardan oluşmaktadır. Cihaz üzerinde elektrik motorunun tahriği ile dönen bir disk bulunmaktadır. Deneyleerde kullanılacak olan disk malzemesi dönen disk üzerine, bir vida yardımıyla sabitlenmektedir. Deneyleerde kullanılan tüm numuler 6 mm çapında ve 50 mm uzunluğundadır. Disk malzeme olarak ise 100 mm çapında ve 5 mm et kalınlığında yüksek mukavemetli, iyi korozyon dirençli, kolay işlenebilen ve iyi aşınma direnç özelliklerine sahip 4140 çelik alaşımı ve 7075 alüminyum disk malzeme kullanılmıştır. Tablo 4.3 ve Tablo 4.4' te deneyleerde kullanılan çelik ve alüminyum malzemelerin kompozisyonu verilmiştir. Alüminyum ve çelik disk malzemeler CNC tornada hassas bir şekilde işlenmiştir. Kompozit pim malzemeler kol üzerinde bulunan bir mekanizma ile yük koluna bağlanmaktadır. Aşınma deneyinden önce disk yüzeyi önce alkol veya aseton ile temizlenir. Aşınma ve sürtünme deneyinde yük koluna bağlanan pim numunesi, diskin üzerine yavaşça bırakılmakta ve pim numunesinin diske temas etmesiyle birlikte pim numunesinin bağlı olduğu yük kolu diskin dönme yönüne doğru yavaşça hareket



etmektedir. Bu hareket yük kolunda hafif bir kuvvet oluşturmaktadır. Bu kuvvet, yanal kuvveti vermekte olup bu yanal kuvvet bir yük hücresi ile ölçülmektedir. Aşınma deneylerinde dakikada 1000 yanal yük verisi alınacak şekilde cihaz üzerinde program ayarlanmıştır. Elde edilen yanal yük değerleri Excel programında, deneyde kullanılan 50, 100, 150 ve 250N olan yük değerine bölünerek, Excel programında D sütununda görülen değerler elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak sürtünme katsayısı-kayma zamanı ilişkisini gösteren bir grafik haline getirilmiştir. Bu grafik Şekil 2’de verilmiştir. Disklerin yüzeyleri her deney sonucunda 1000 numara zımpara ile parlatılmış ve yüzeyler alkol ile temizlenmiştir.



Şekil 4.1: Şematik Pim-disk aşınma cihazı.

Aşınma deneyi öncesi alüminyum disk malzemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.24  $\mu\text{m}$  ve çelik disk malzemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.60  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Sürtünme ve aşınma deneylerinde, yüksek performanslı saf PEEK polimer malzemesinin alüminyum diske karşı hem sürtünme katsayısı hem de aşınma oranları tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısı, ölçülen yanal kuvvetin, numuneye uygulanan normal kuvvete oranı olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik (4.1) ile hesaplanır.

$$\mu = FS/FN \quad (4.1)$$

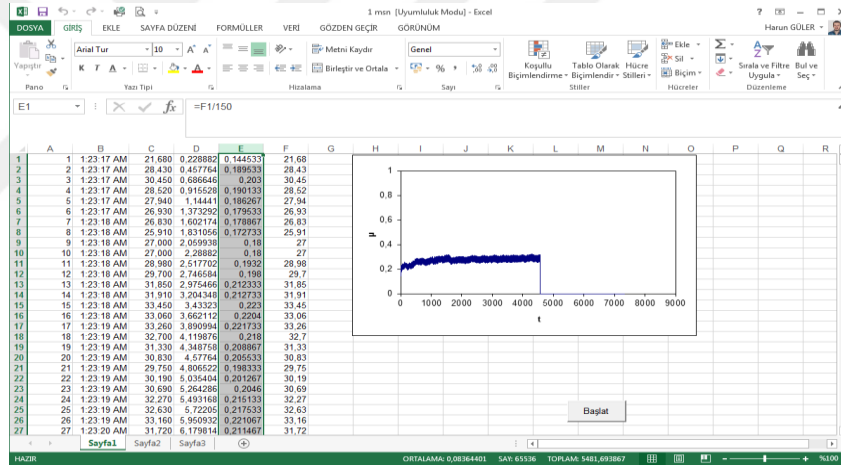
Yukarıdaki eşitlikte;  $\mu$ : sürtünme katsayısını,  $F_S$ : yanal sürtünme kuvveti (N),  $F_N$  ise malzemeye uygulanan normal kuvveti ifade eder.

Tablo 4.3: Aşınma deneylerinde kullanılan alüminyum diskin kompozisyonu.

%Cr	%Cu	%Fe	%Mg	%Mn	%Si	%Ti	%Zn	%Al
0.28	2.0	0.50	2.9	0.30	0.40	0.20	6.1	Kalan

Tablo 4.4: Aşınma deneylerinde kullanılan çelik diskin kompozisyonu.

%Cr	%Cu	%C	%Al	%Mn	%Si	%Ti	%Ni	%Fe
0.022	0.0519	0.96	0.027	0.476	0.14	0.0021	0.044	Kalan



Şekil 4.2. Aşınma deneyi süresince bilgisayarda excel programı formatında elde edilen sürtünme katsayısı-kayma zamanı ilişkisi grafiği.

Aşınma oranını tespit etmek için PEEK polimerinin aşınma öncesi ve sonrası ağırlıkları ölçülmüştür. Ağırlık ölçümleri,  $1 \times 10^{-4}$  gr hassasiyetindeki Precisa marka dijital terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonra deney numunelerinin ilk ağırlık ( $m_1$ ) ile son ağırlık ( $m_2$ ) arasındaki ağırlık kaybı ( $\Delta m = m_1 - m_2$ ) belirlenerek numunenin spesifik aşınma oranı hesaplanır. Spesifik aşınma oranı aşağıdaki formül (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{sp} = \Delta m / (S \times \rho \times FN) \quad (4.2)$$

Yukarıdaki formülde;  $W_{sp}$ : Spesifik aşınma oranı ( $m^2/N$ ),  $\Delta m$ : Ağırlık kaybı (gr),  
 $S$ : kayma yolu (m),  $\rho$ : Test numunesinin yoğunluğu( $gr/cm^3$ ),  $F_N$ : normal kuvvet (N)  
olarak ifade edilmektedir.

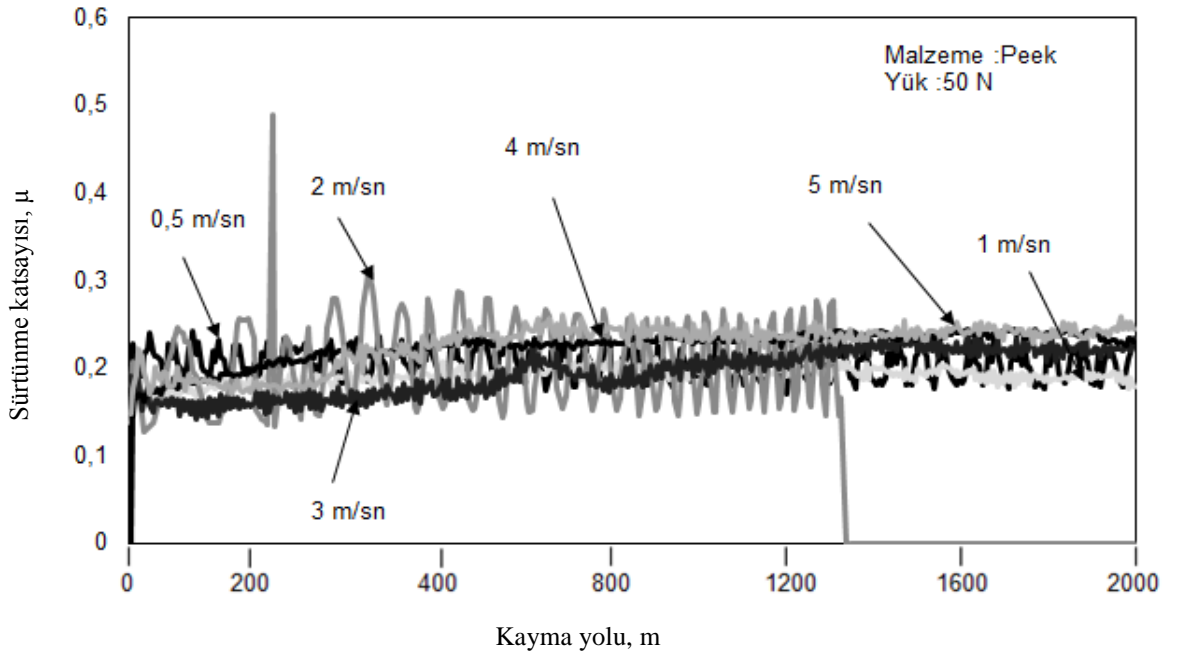


## BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR

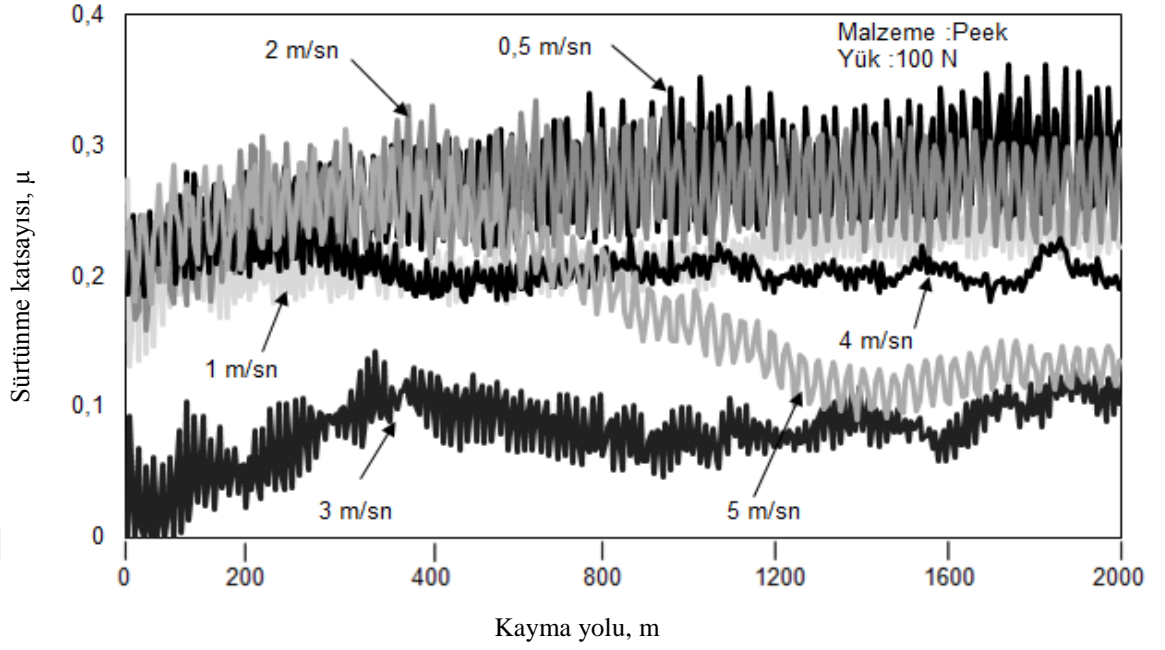
### 5.1. Yapılan Çalışmaların Aşınma ve Sürtünme Analizleri(Çelik Disk)

#### 5.1.1. PEEK ve PEEK kompozitlerin çelik diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki sürtünme katsayısı-yol ilişkisi

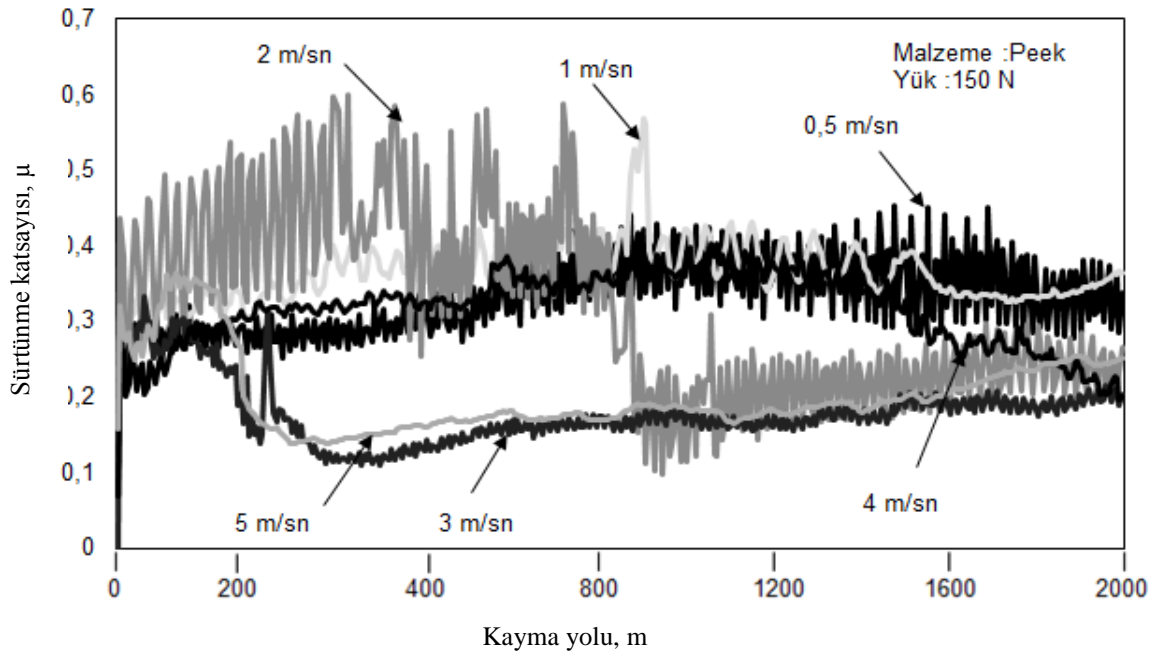
Şekil 5.1 ile Şekil 5.4 arasında, saf PEEK polimerinin farklı kayma hızlarında ve 50 N ile 250 N arasında değişen yüklerde, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Saf PEEK polimerinin sürtünme katsayısı, kayma hızının ve uygulanan yükün artmasıyla birlikte azalmaktadır.



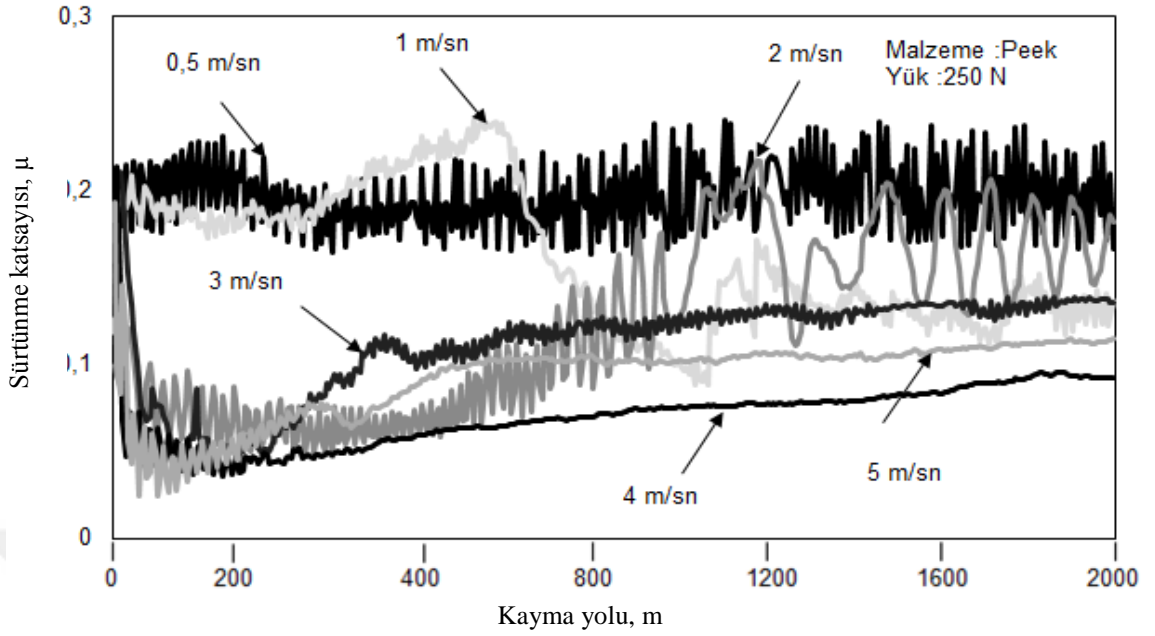
Şekil 5.1: Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 50N).



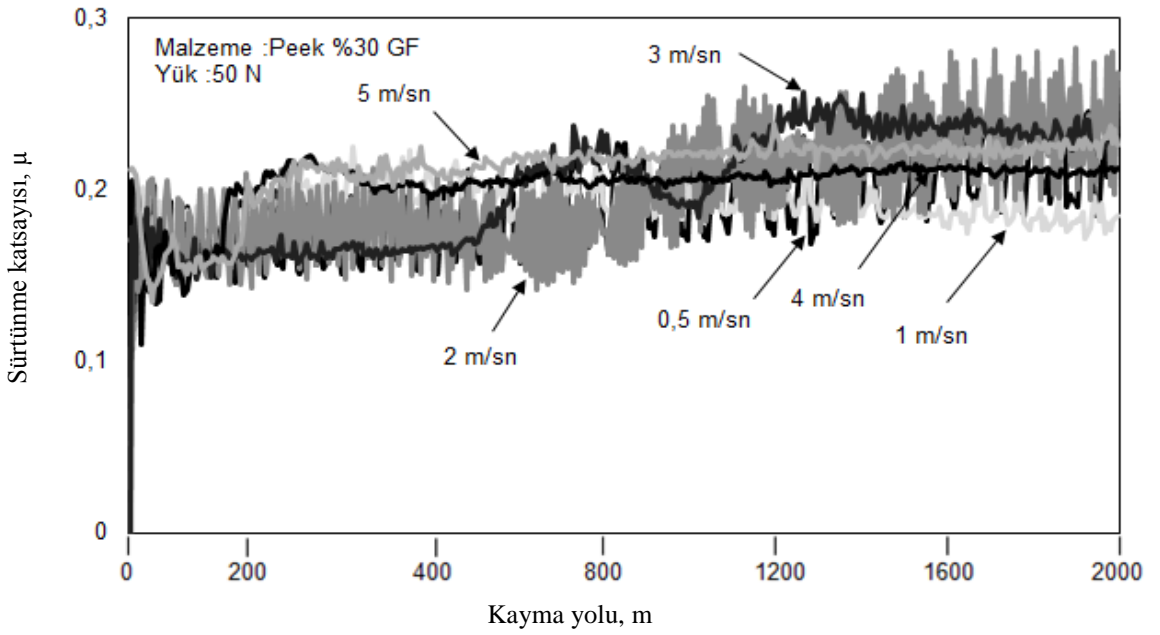
Şekil 5.2: Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 100N).



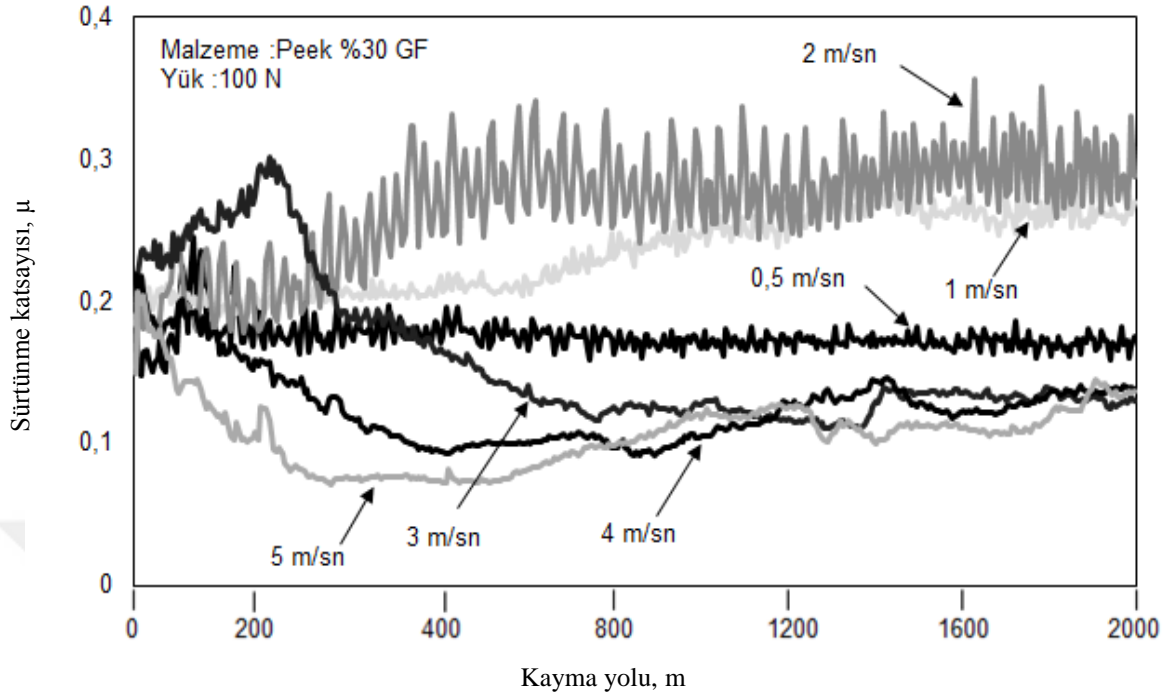
Şekil 5.3: Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 150N).



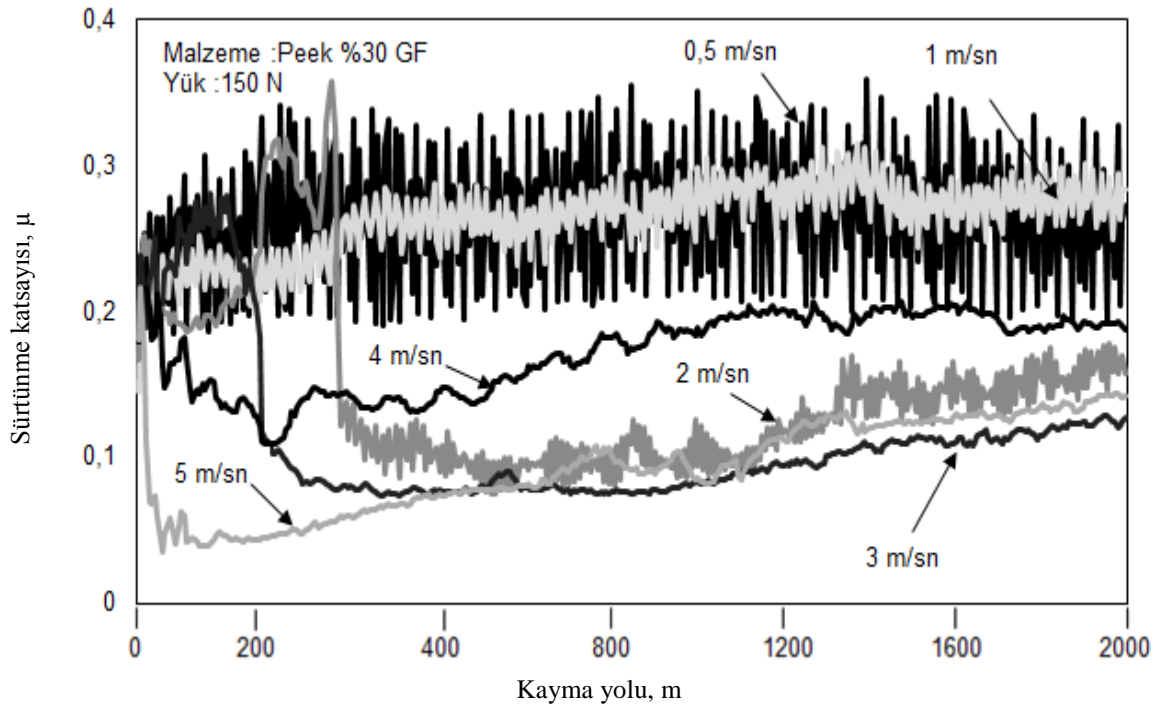
Şekil 5.4: Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 250N).



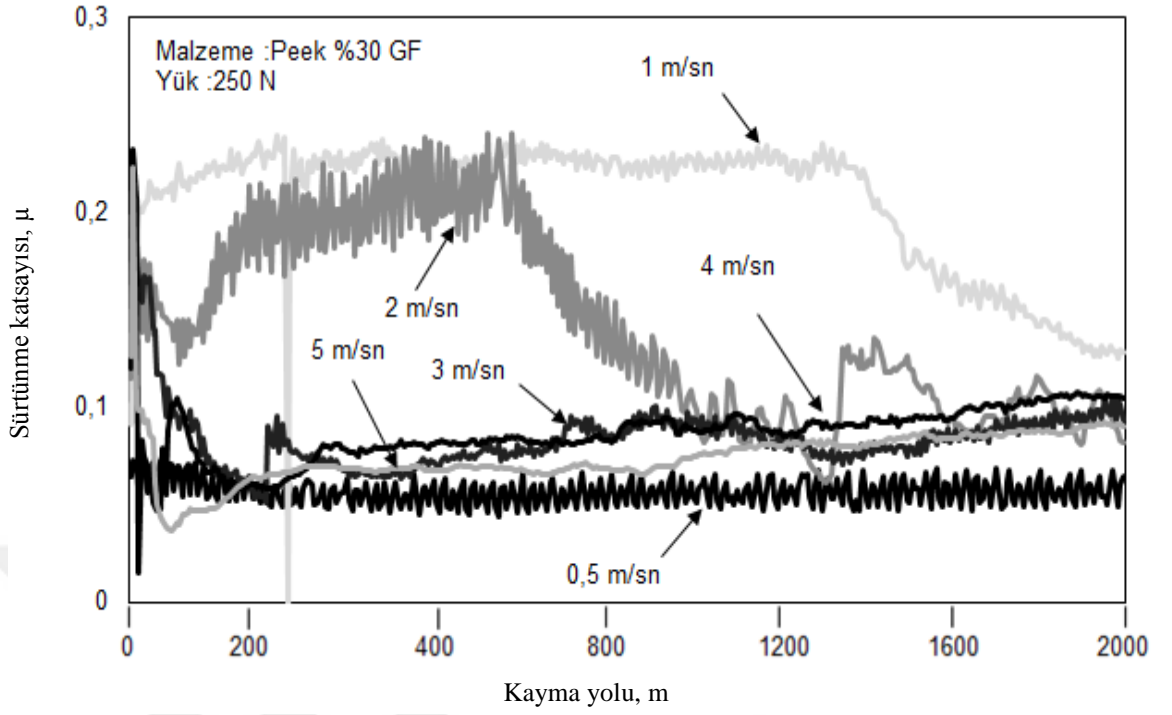
Şekil 5.5: %30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 50N).



Şekil 5.6: %30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 100N).



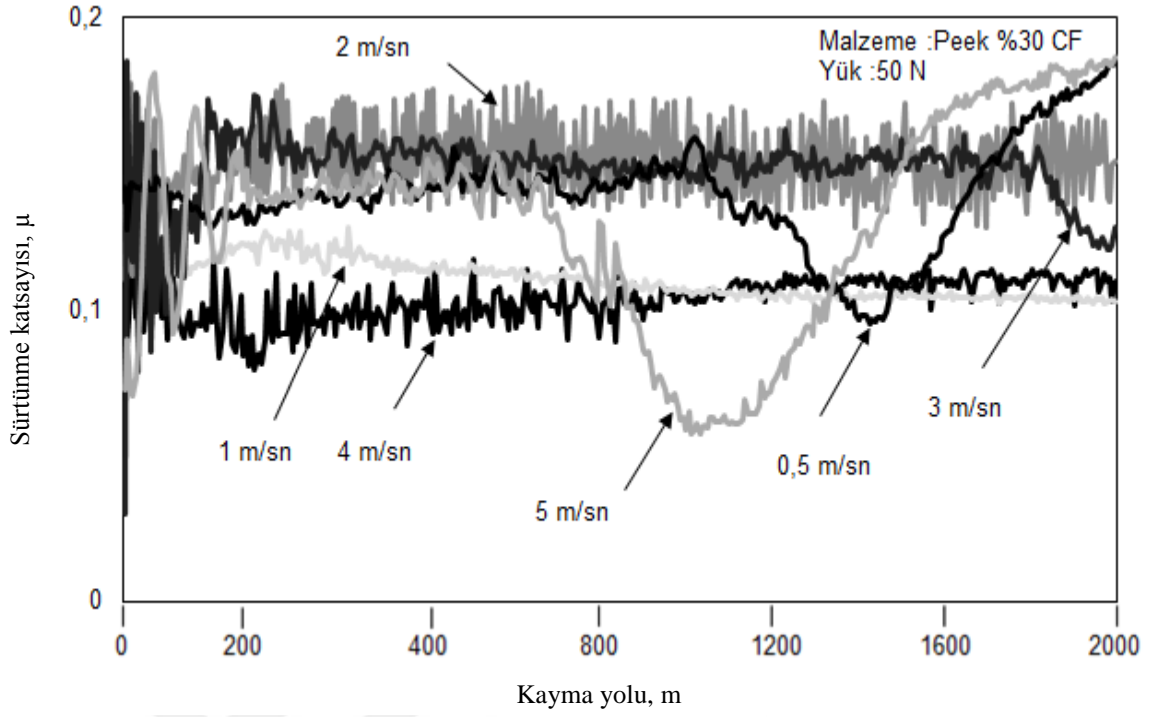
Şekil 5.7: %30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 150N).



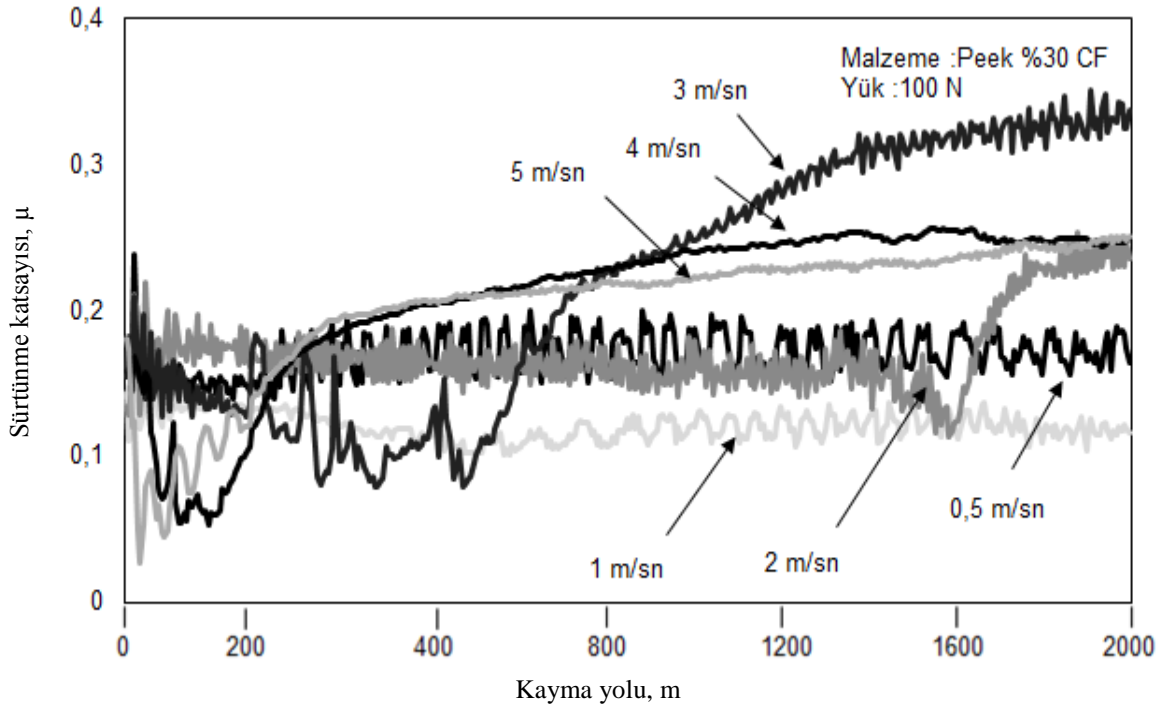
Şekil 5.8: %30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 250N).

%30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitinin 50 ile 250 N arasında uygulanan yük altında ve 0.5 ile 5 m/s kayma hızı aralığındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 5.5 ile Şekil 5.8 aralığında verilmiştir. Yük ve kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı genel itibariyle azaldığı görülmektedir.

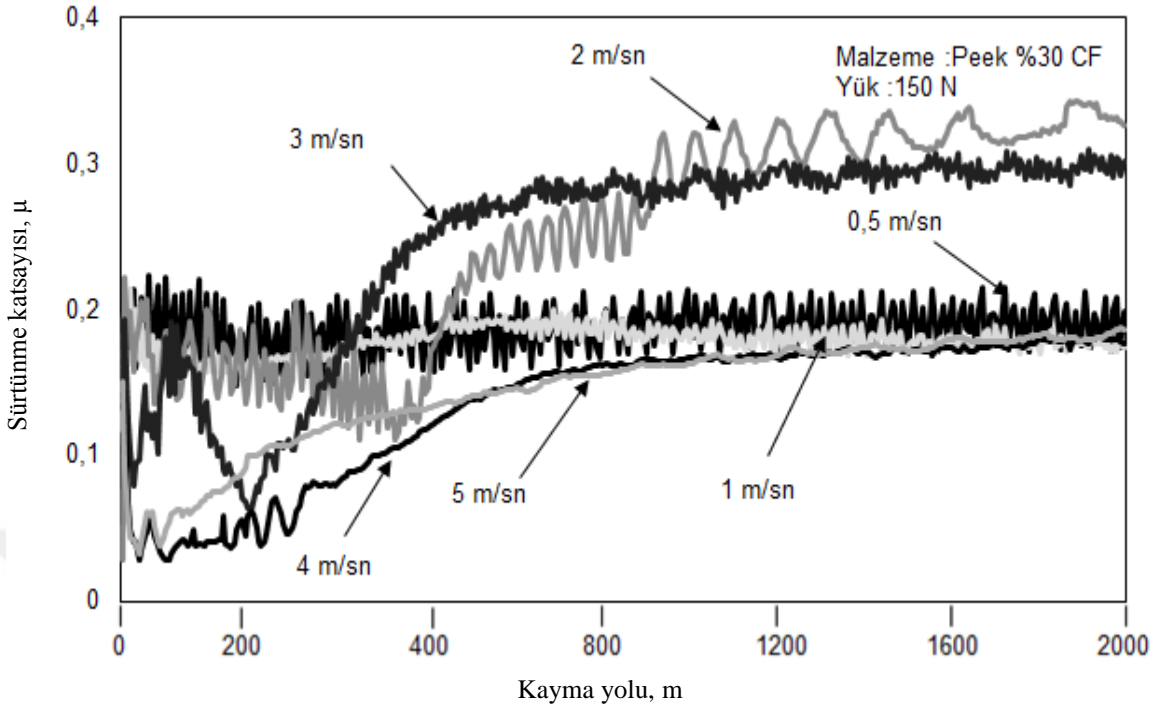




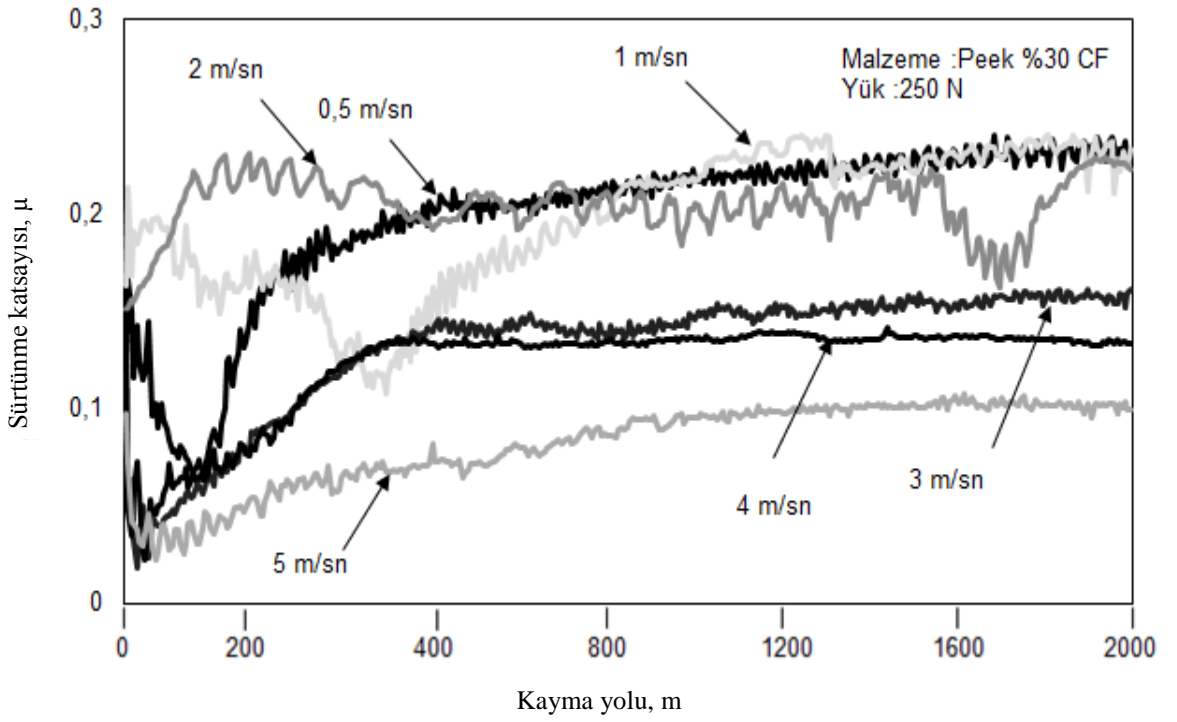
Şekil 5.9: %30 karbon fibertakviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 50N).



Şekil 5.10: %30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 100N).

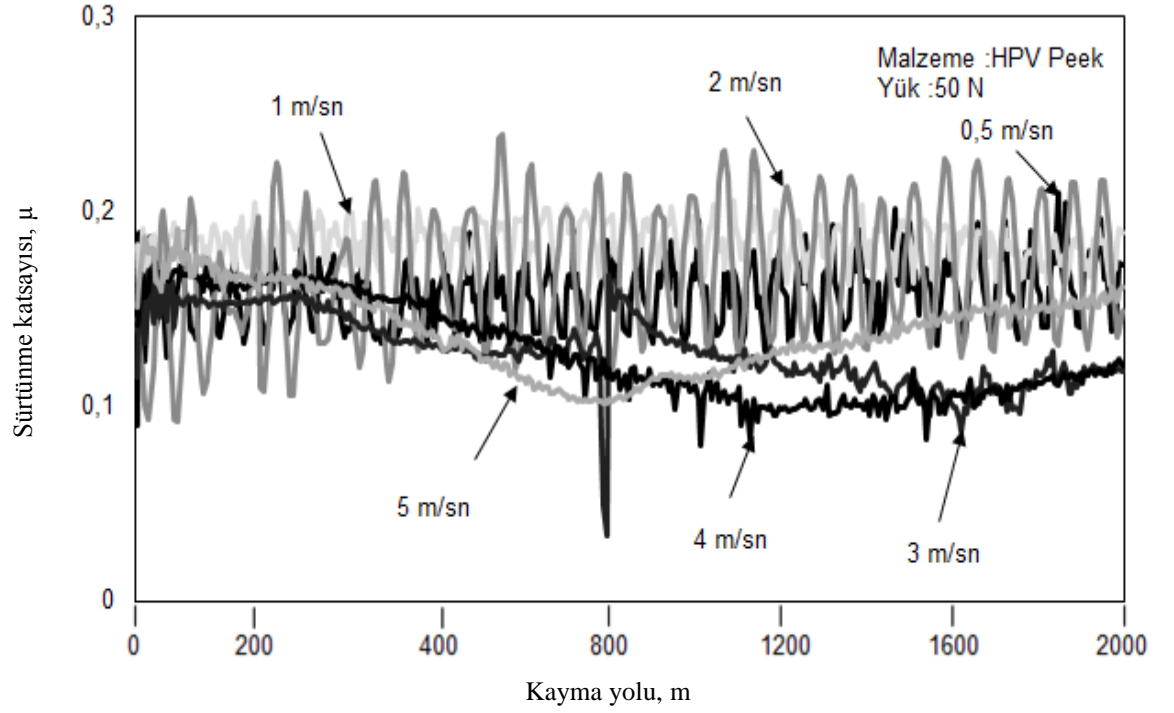


Şekil 5.11: %30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 150 N).

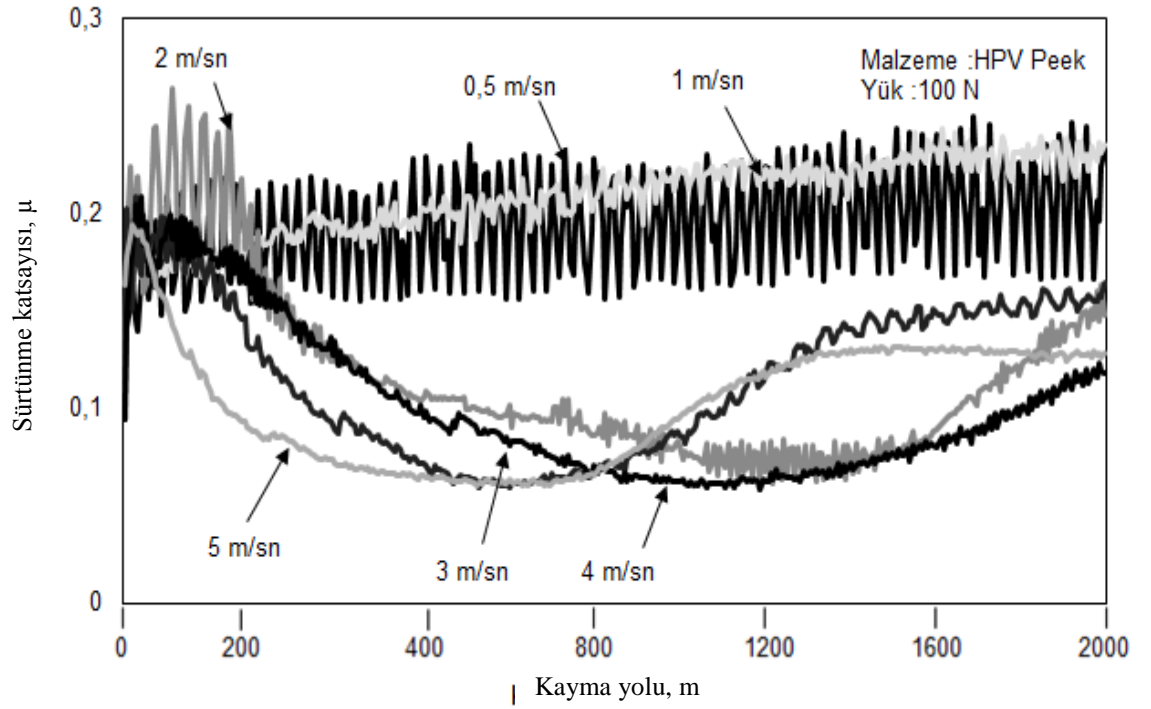


Şekil 5.12: %30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 250 N).

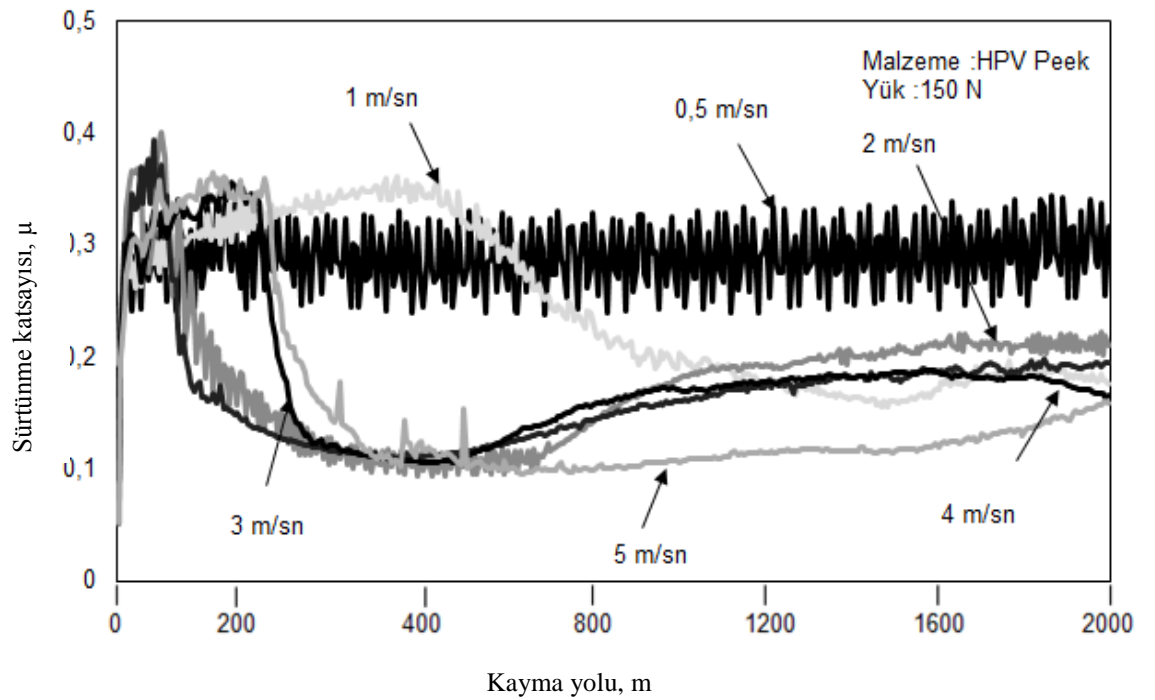
Şekil 5.9 ve Şekil 5.12 arasında %30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi, 50 ile 250 N yük ve 0.5 ile 5 m/s kayma hızı aralığında verilmiştir. Artan kayma hızı ve artan yük koşullarında sürtünme katsayısının genellikle azaldığı gözlenmektedir.



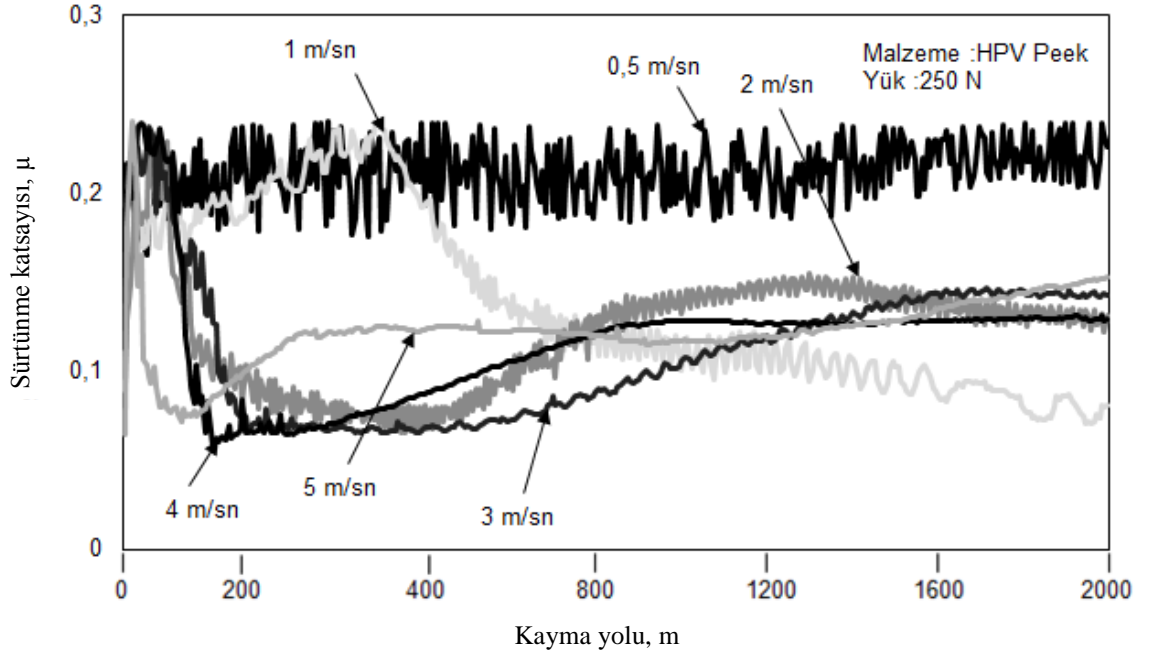
Şekil 5.13: HPV- PEEK kompozitinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 50N).



Şekil 5.14: HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 100N).



Şekil 5.15: HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük: 150N).



Şekil 5.16: HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük: 250N).

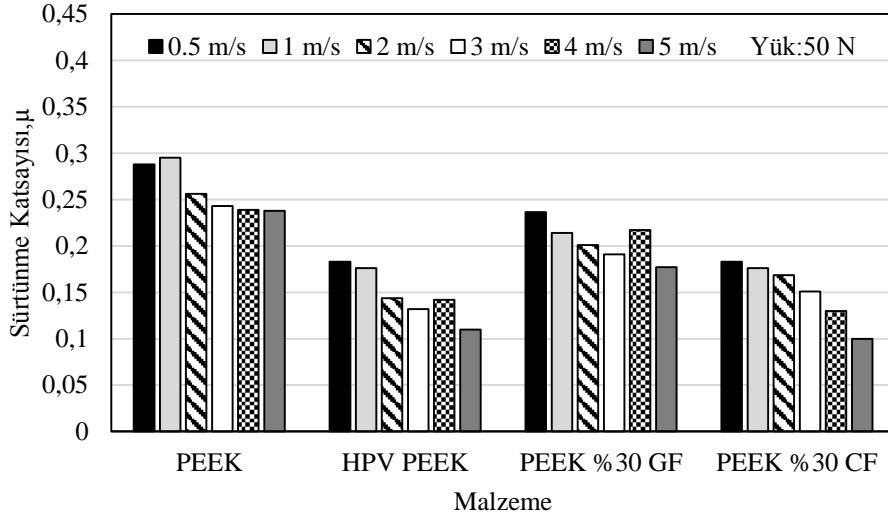
Şekil 5.13 ile Şekil 5.16 arasında, HPV-PEEK kompozitinin farklı kayma hızlarında ve 50 N ile 250 N arasında değişen yüklerde, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. HPV-PEEK kompozitinin sürtünme katsayısı, kayma hızının ve uygulanan yükün artmasıyla birlikte azalmaktadır.

### 5.1.2. PEEK ve PEEK kompozitlerin çelik diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlardaki sürtünme katsayısı değişimi

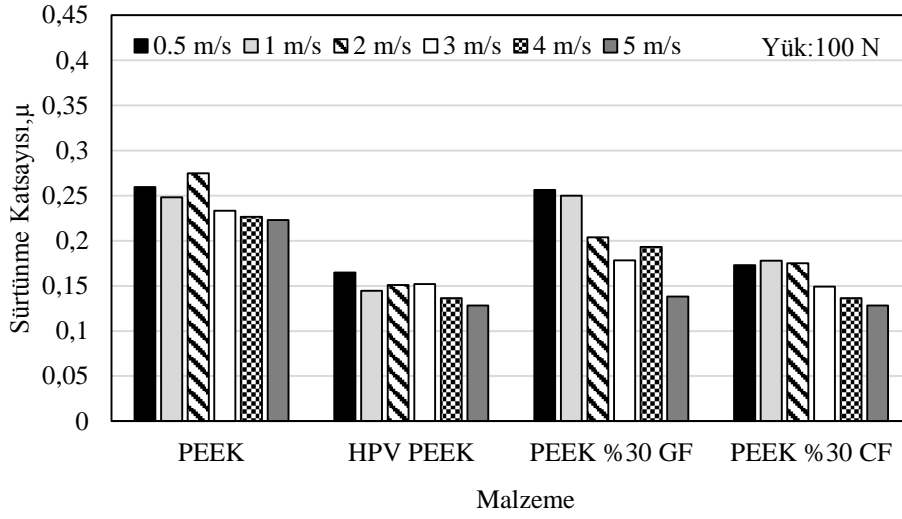
Deneylerde kullanılan saf PEEK (polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF (cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF (karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK (karbon fiber+teflontakviyeli) kompozitlerinin AISI 52100 çelik diske karşı aşınma analizleri;

Şekil 5.17' de 50 N yük altındaki saf PEEK polimeri, PEEK+%30 GF, PEEK+%30 CF ve HPV-PEEK kompozitlerinin farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı değişimini göstermektedir. Saf PEEK polimerinin sürtünme katsayısı, kayma hızının 0.5m/s'den 5m/s'ye kadar artması sonucunda yaklaşık olarak %19 oranında azaldığı, PEEK+%30 CF kompozitinin sürtünme katsayısı ise yine aynı hız aralığında %45 oranında azaldığı tespit edilmiştir. HPV-PEEK kompoziti ile PEEK+%30 GF

kompozitlerinin sürtünme katsayısı ise aynı hız aralığında yaklaşık olarak sırasıyla %39.8 ve %25 oranında azalma gözlenmiştir.Şekilde görüldüğü gibi en yüksek sürtünme katsayısı 1.0 m/s de kayma hızında 0.295değeri ile saf PEEK polimerinde elde edilirken, en düşük sürtünme katsayısı ise 5 m/s kayma hızında 0.1 değeri ile PEEK+%30 CF kompozitinde elde edilmiştir.Şekil 5.17’de görüldüğü gibi deneylerde kullanılan tüm PEEK polimer malzemeler arasında HPV-PEEK polimer kompozitinin ortalama sürtünme katsayısı 0.13 değeri ile en düşük olduğu gözlenmiştir. Bu sürtünme katsayısını PEEK+%30CF kompoziti 0.15 ortalama değeri ile takip ederken, PEEK+%30GF kompoziti 0.19 değeri ile, PEEK polimeri ise ortalama sürtünme katsayısı 0.26 değeri ile takip ettiği gözlenmiştir.



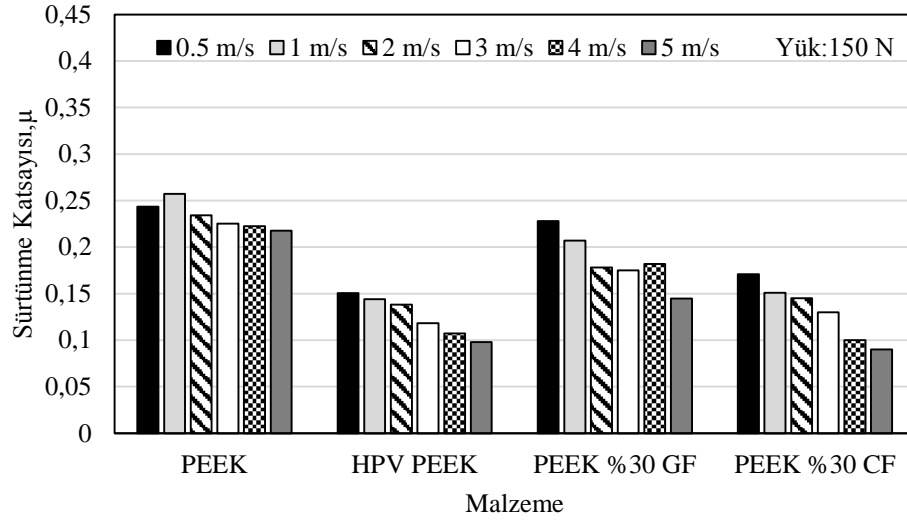
Şekil 5.17: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi(Yük:50N).



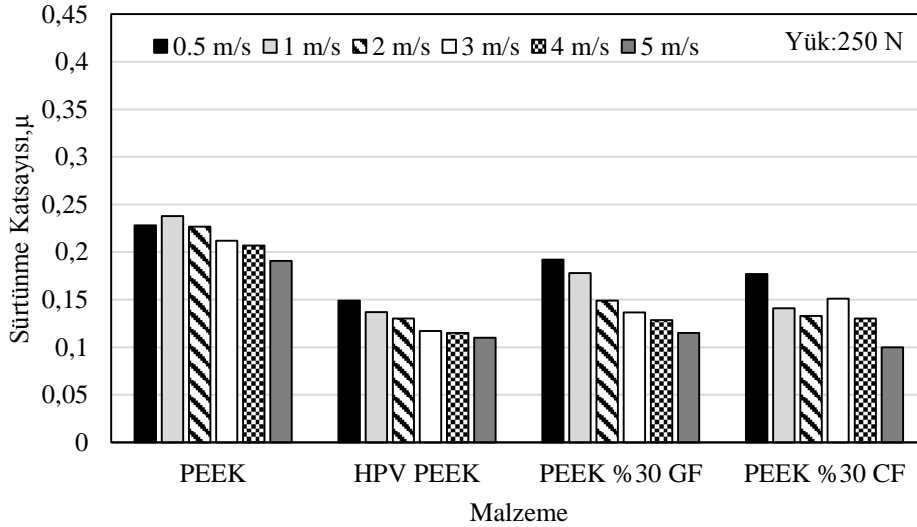
Şekil 5.18: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi(Yük:100N).

Saf PEEK polimeri, PEEK+%30 GF, PEEK+%30 CF ve HPV-PEEK kompozitlerinin farklı kayma hızlarında ve 100 N yük altındaki sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.18’ de verilmiştir. Kayma hızının 0.5m/s’den 5m/s’ye kadar artmasıyla PEEK+%30 GF kompoziti sürtünme katsayısının %46 oranında azalırken, PEEK%30 CF kompozitinde %28, HPV-PEEK kompozitinde %22.4ve saf PEEK polimerinde %18 oranında sürtünme katsayısında azalma gözlenmiştir.Kayma hızının 0.5m/s’den 5m/s’ye kadar artmasıylasürtünme katsayısı, 2 m/s kayma hızında saf PEEK polimeri 0.274 ile en yüksek, 5 m/s kayma hızında HPV-PEEK kompozitinin 0.128 ile en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmüştür.

150 N yük altında saf PEEK polimeri, PEEK+%30 GF, PEEK+%30 CF ve HPV-PEEK kompozitlerinin0.5m/s’den 5m/s’ye kadar artankayma hızlarındaki sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.19’ da verilmiştir. Şekil 5.19’da, kayma hızının 0.5m/s’den 5m/s’yeartmasıyla, PEEK+%30 CF kompoziti sürtünme katsayısı %47.3 azalırken, saf PEEK polimerinin sürtünme katsayısının %15.5 oranındaazaldığıgözlenmiştir. Saf PEEK polimerinde 0.5 m/s kayma hızında 0.284 ile en yüksek sürtünme katsayısı değeri görülürken, PEEK+%30 CF kompozitinde ise 5 m/s kayma hızında 0.09 ile en düşük sürtünme katsayısı değeri tespit edilmiştir.



Şekil 5.19: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi(Yük:150N).



Şekil 5.20: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi(Yük:250N).

Şekil 5.20' de saf PEEK polimeri, PEEK+%30 GF, PEEK+%30 CF ve HPV-PEEK kompozitlerinin 250 N yük altında farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı değişimini göstermektedir. Kayma hızının 0.5m/s'den 5m/s'ye kadar artmasıyla, saf PEEK polimerinin ortalama sürtünme katsayısı değeri 0.21 ile en yüksek olduğu tespit edilirken, deneyde kullanılan diğer polimer kompozitlerin ortalama sürtünme



katsayı değerleri sırasıyla PEEK+%30 GF kompozitinde 0.15 , PEEK+%30 GF kompozitinde 0.13 ve HPV-PEEK kompozitinde 0.12 olduğu gözlenmiştir. PEEK+%30 CF kompozitinde sürtünme katsayısı %43.5 oranında azalırken PEEK+%30 GF kompozitinde %40 oranında, HPV-PEEK kompozitinde %26.2 ve saf PEEK polimerinde %20 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Saf PEEK polimerinde 1 m/s kayma hızında 0.238 ile en yüksek sürtünme katsayısı değeri, PEEK+%30 CF kompozitinde ise 5 m/s kayma hızında 0.1 ile en düşük sürtünme katsayısı değeri gözlenmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda [3,5,6,7,8,15] PEEK malzemesine ilave edilen CF, GF katkısının, kompozitlerin sürtünme katsayılarında azaltıcı etkiye sahip olduğu, ek olarak literatürde yer alan bazı çalışmalarda da [30,31,36] aşınma testlerinde uygulanan yükün ve kayma hızının artışıyla birlikte malzemelerin sürtünme katsayılarının da azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 5.17 ile 5.20 arasındaki şekillerde elde edilen sürtünme katsayısı değerleri deneylerde kullanılan tüm PEEK polimer ve kompozit malzemeler için azalma göstermiştir. Dolayısıyla bu çalışmada belirlenen sürtünme katsayısı sonuçları ile literatürde [3,5,6,7,8,15,30,31,36] elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinde benzerlik ve uyumluluk tespit edilmiştir.

Uygulanan yükün artmasıyla birlikte sürtünme katsayısının azalması deney numuneleri ile karşı disk malzemesinin teması sonucunda, yüzeylerde oluşan ısı ve artan sıcaklık ile disk yüzeyinde oluşan transfer film tabakasına bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

### **5.1.3. PEEK ve PEEK kompozitlerinin çelik diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N**

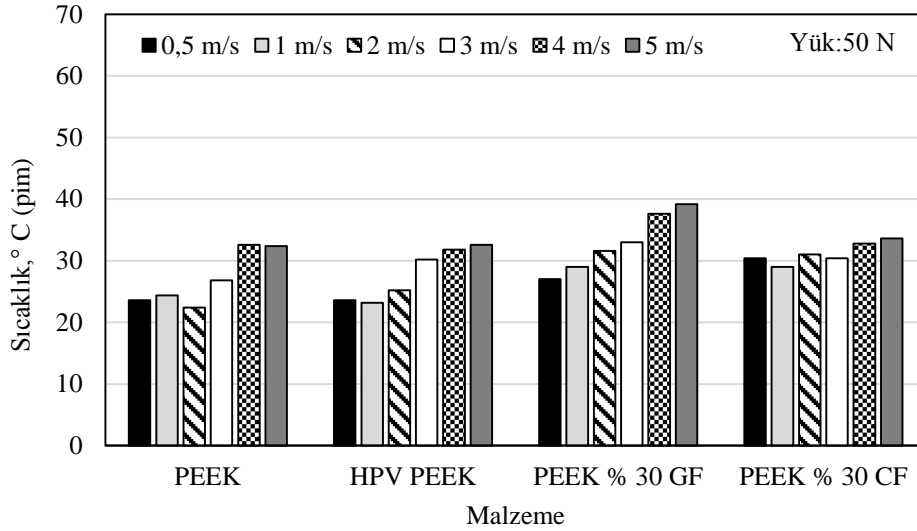
#### **yüklerdeki farklı hızlarındaki pim ve disk yüzey sıcaklık değişimi**

Saf PEEK (polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF (cam fiber katkılı), PEEK+%30 CF (karbon fiber katkılı) ve HPV PEEK ( karbon fiber+teflon+grafit katkılı) kompozitlerinin AISI 52100 çelik diske karşı yapılan deneylerdeki pim ve disk yüzey sıcaklığı analizleri;

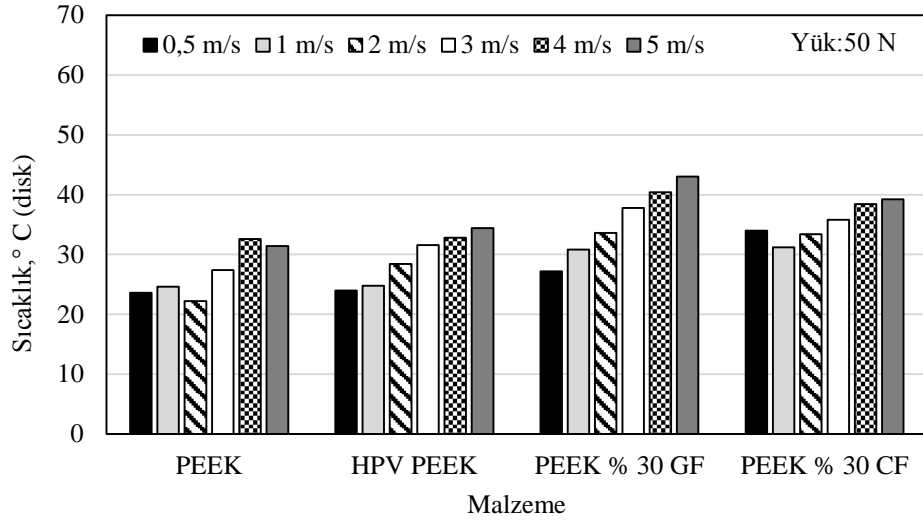
Saf PEEK (polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF (cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF (karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK (karbon fiber+teflon takviyeli)

kompozitlerinin AISI 52100 çelik diske karşı yapılan deneylerdeki pim ve disk yüzey sıcaklığı analizleri;

Saf PEEK(polietereterketon) polimeri, PEEK+%30GF(cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK(karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitlerinin Şekil 5.21' de 50 N yük altında 0.5 m/s, 1m/s, 2m/s, 3m/s, 4 m/s ve 5 m/s kayma hızlarındaki pim sıcaklık değişimini verilmiştir. Kayma hızı 0.5 m/s'den 5 m/s' ye arttıkçadenedenlerde kullanılan malzemelerin pim sıcaklığının arttığı görülmüştür. PEEK+%30 GF kompozitinin 5 m/s kayma hızında en yüksek sıcaklığa(39.2°C) ulaştığı gözlenmiştir.

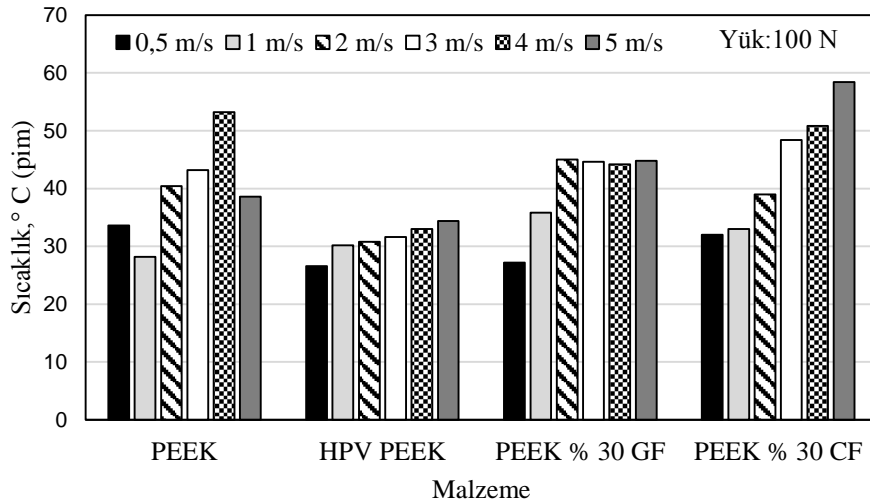


Şekil 5.21: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi(Yük:50N).



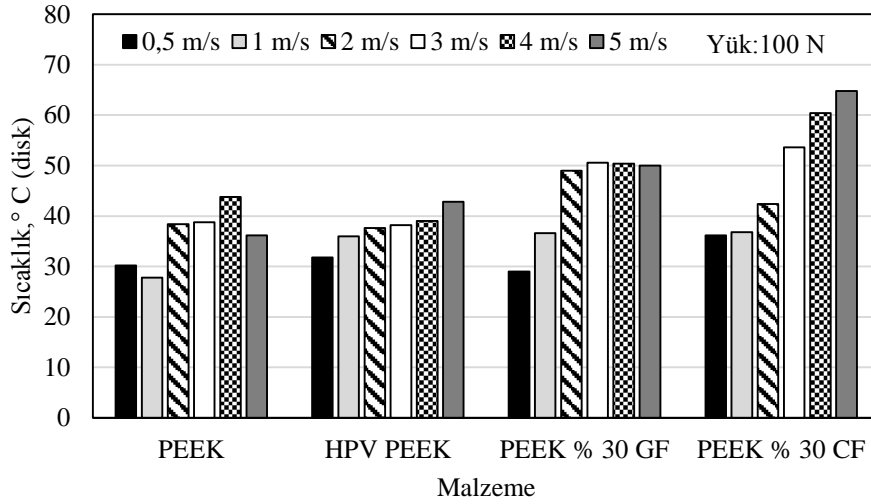
Şekil 5.22: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi(Yük:50N).

50 N yük altında farklı kayma hızlarındaki disk yüzey sıcaklık değişimi Şekil 5.22’ da verilmiştir. Kayma hızı 0.5 m/s’den 5 m/s’ ye arttığında disk sıcaklığının arttığı ve en yüksek sıcaklığa(43°C) 5 m/s kayma hızında, pim sıcaklığı en yüksek olan(39.2°C) PEEK+%30 GF kompozitinde ulaşıldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.23: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi(Yük:100N).

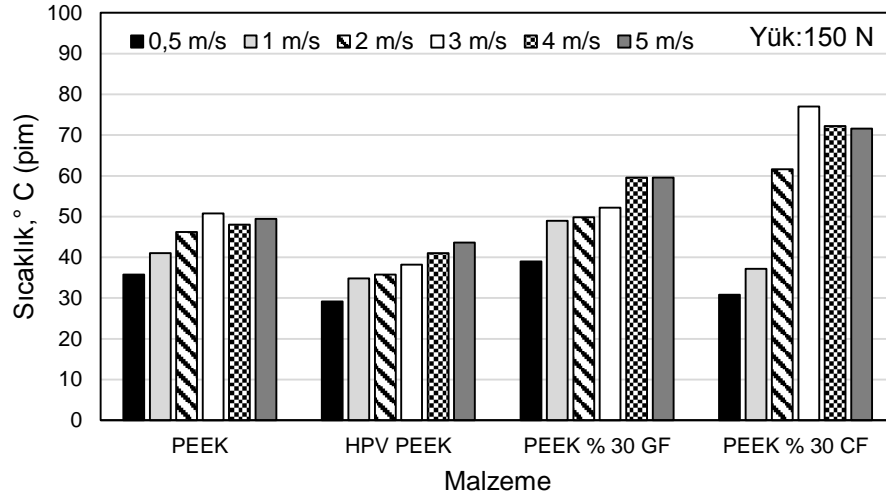
Şekil 5.23’ de 100 N yük altında 0.5 m/s’den 5 m/s’ ye artan kayma hızında deneylerde kullanılan malzemelerin pim sıcaklığının arttığı tespit edilirken, en yüksek sıcaklığa(58.4°C) 5 m/s kayma hızında PEEK+%30 CF kompozitinin ulaştığı görülmüştür.



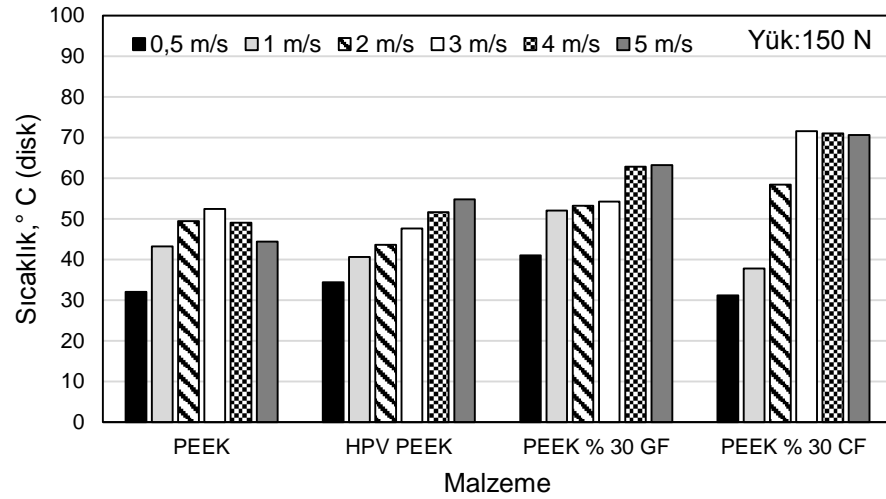
Şekil 5.24: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi(Yük:100N).

Şekil 5.24’ de 100 N yük altında farklı kayma hızlarındaki disk yüzey sıcaklık değişimi verilmiştir. Kayma hızı 0.5 m/s’den 5 m/s’ ye arttığında disk sıcaklığının arttığı ve en yüksek sıcaklığa(64.8°C), en yüksek pim sıcaklığına sahip(58.4°C) PEEK+%30 CF kompozitinde 5 m/s kayma hızında ulaşıldığı gözlenmiştir.

Saf PEEK(polietereeterketon) polimeri, PEEK+%30 GF(cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK(karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitlerinin 150 N yük altında farklı kayma hızlarındaki pim sıcaklık değişimi Şekil 5.25’ te verilmiştir. Kayma hızı 0.5 m/s’den 5 m/s’ ye arttığında, en yüksek sıcaklığa(77°C) PEEK+%30 CF kompozitinin 3 m/s kayma hızında ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.25: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi(Yük:150N).



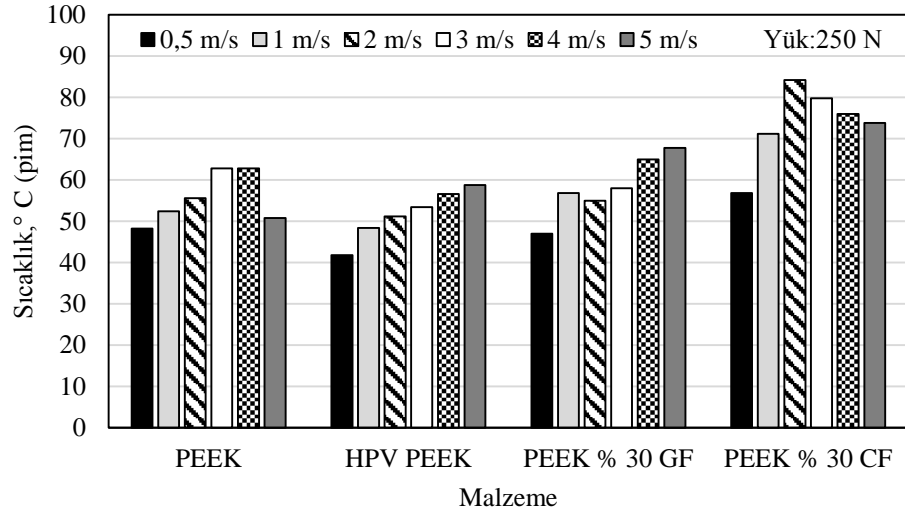
Şekil 5.26: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi(Yük:150N).

150 N yük altında farklı kayma hızlarındaki disk yüzey sıcaklık değişimi Şekil 5.26' da verilmiştir. Yapılan deneyde kayma hızı 0.5 m/s'den 5 m/s' ye arttığında 3 m/s' de en

yüksek disk sıcaklığına(71.6°C), en yüksek pim sıcaklığına sahip (77°C) PEEK+%30 CF kompozitinde ulaşıldığı gözlenmiştir.

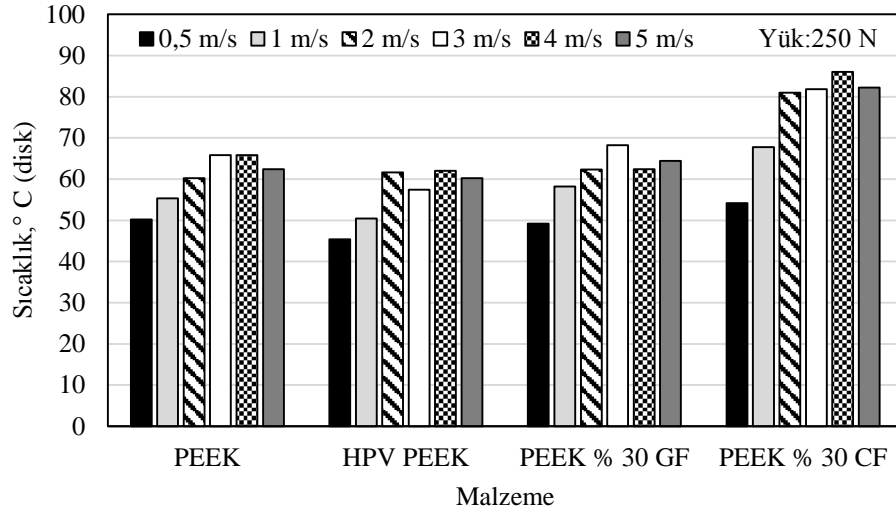
Şekil 5.27’de 250 N yük altında kayma hızı 0.5 m/s’den 5 m/s’ ye arttığında PEEK+%30 CF kompozitinde 3 m/s kayma hızında en yüksek sıcaklığa(84.2°C) ulaşılmıştır.

Disk yüzeyi ve pim sıcaklığının önce artıp sonra azalmasına etken olarak disk yüzeyinde oluşan film tabakası gösterilebilir.



Şekil 5.27: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi(Yük:250N).

Şekil 5.28’ de saf PEEK ve PEEK polimer kompozitlerinin 250 N yük altında farklı kayma hızlarındaki disk yüzey sıcaklık değişimi verilmiştir. Yapılan deneylerde 0.5 m/s’den 5 m/s’ ye artan kayma hızıyla,en yüksek sıcaklığa(84.2°C)PEEK+%30 CF kompoziti ile3 m/s kayma hızındadisk yüzey sıcaklığının 86°C’ ye ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.28: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi(Yük: 250N).

Deneylerde kullanılan yük miktarı arttıkça disk yüzey sıcaklığı ve pim sıcaklığının da arttığı görülmektedir. Yapılan deneylerde en düşük ortalama sıcaklık değerine(37,5°C) sahip malzeme olarak HPV-PEEK polimer kompozitinin olduğu tespit edilmiştir.

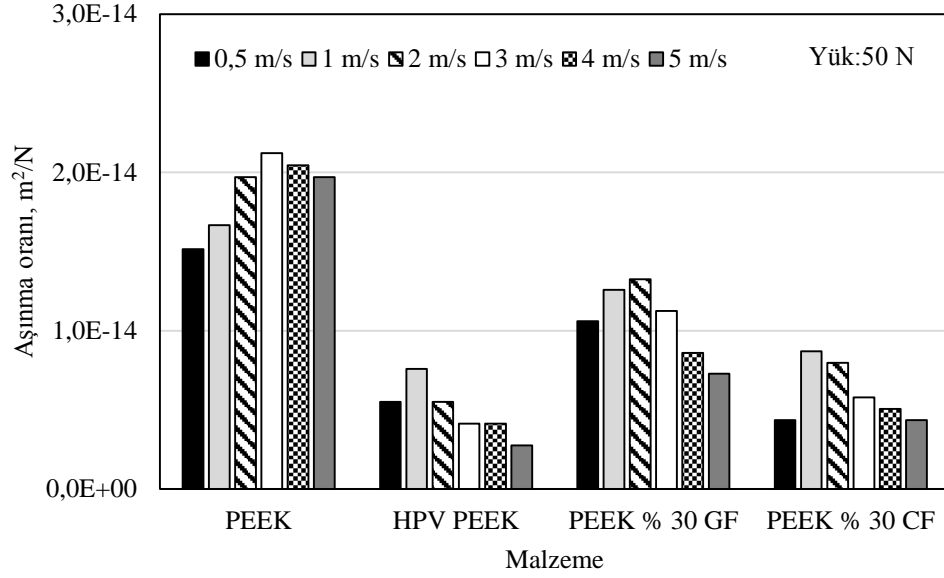
#### 5.1.4. PEEK ve PEEK kompozitlerinçelik diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlarındaki aşınma oranı değişimi

Deneylerde kullanılan saf PEEK (polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF (cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK (karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitlerinin AISI 52100 çelik diske karşı aşınma analizleri;

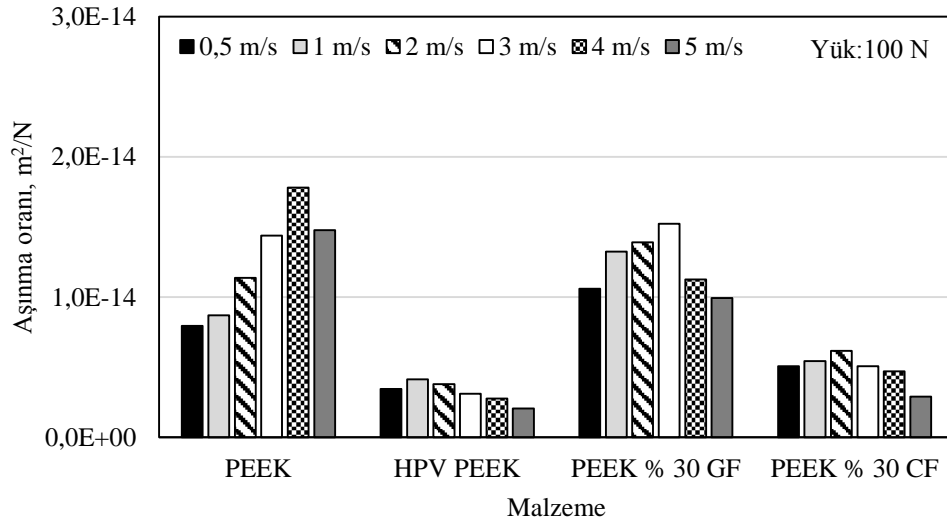
Yapılan deneylerde kayma hızının ve uygulanan yükün artmasına bağlı olarak aşınma oranının azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.29'da görüldüğü gibi, 50 N yük altında farklı kayma hızlarında saf PEEK(polietereterketon) polimerinin aşınma oranı ortalama  $1.88 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en fazla aşınan malzeme olduğu tespit edilmiştir. PEEK+%30 GF(cam fiber takviyeli) kompozitininin aşınma oranı saf PEEK polimerine oranla, %53 azalarak ortalama  $0.88 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) kompozitininin aşınma oranı %68 azalarak ortalama  $0.6 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuştur. HPV-PEEK( karbon fiber+teflon

takviyeli) kompozitinin aşınma oranı ortalama  $0.49 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak hesaplanmış ve aşınma oranı saf PEEK polimerine oranla %74 düşmüştür.



Şekil 5.29: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi(Yük: 50N).

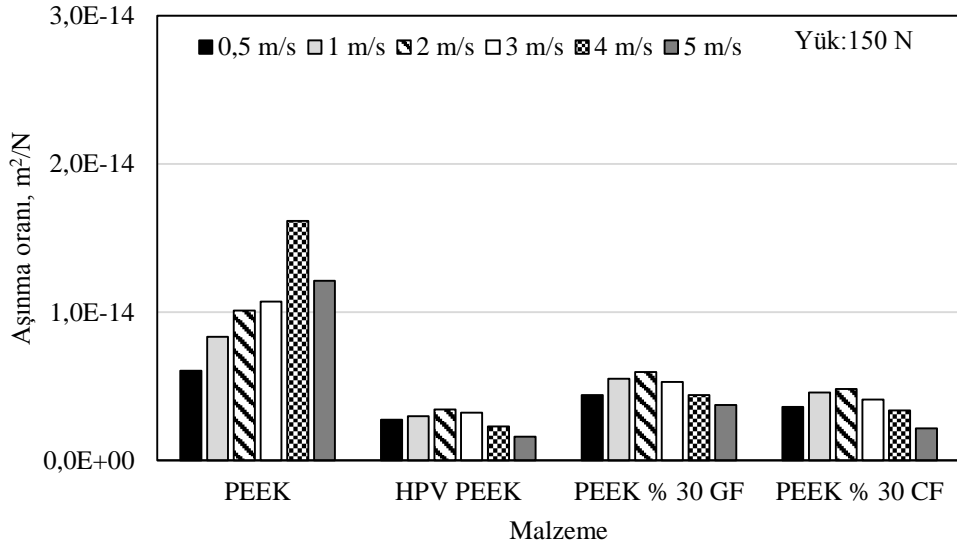


Şekil 5.30: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi(Yük: 100N).



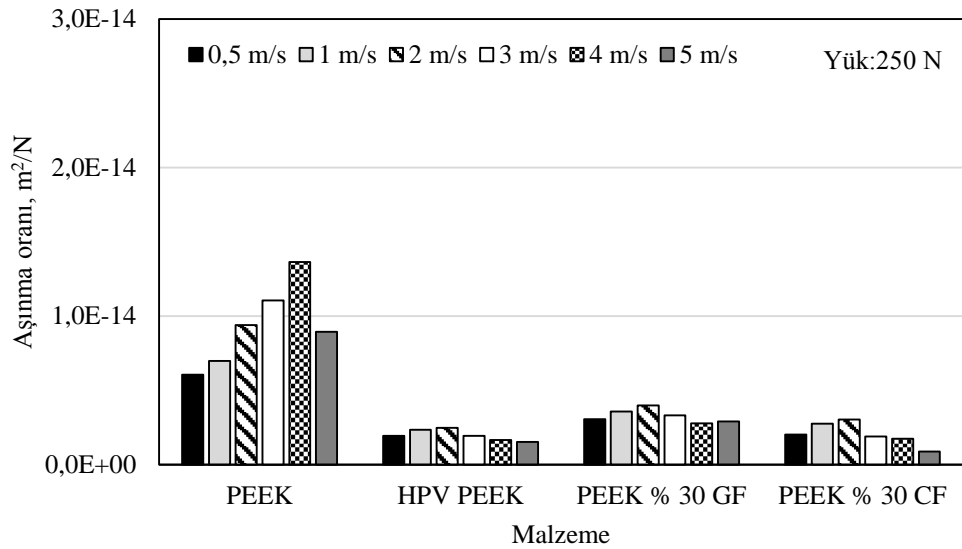
100 N yük altında farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisini gösteren Şekil 5.30' da en yüksek aşınma oranı PEEK polimerinde ortalama  $1.25 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak bulunmuştur. Deneyde kullanılan %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı ise %1.6 azalarak ortalama  $1.23 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  hesaplanmıştır. %30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı ortalama  $0.49 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuş ve aşınma oranı %60 düşmüştür. HPV-PEEK ( karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitinin aşınma oranı ise %74.4 azalarak  $0.32 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en az aşınan malzeme olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.31' de 150 N yük altında farklı kayma hızlarında HPV-PEEK (karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitinin aşınma oranı ortalama  $0.27 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en az aşınan malzeme, saf PEEK (polietereterketon) polimerinin aşınma oranı ortalama  $1.05 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en fazla aşınan malzeme olduğu tespit edilmiştir. Katkılar ile birlikte aşınma oranı saf PEEK polimerine göre %74.2 düşmüştür. PEEK+%30 GF (cam fiber takviyeli) kompozitininin aşınma oranı %53 azalarak ortalama  $0.49 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuştur. PEEK+%30 CF (karbon fiber takviyeli) kompozitininin aşınma oranı saf PEEK polimerine göre %64 azalarak ortalama  $0.38 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  hesaplanmıştır.



Şekil 5.31. Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi (Yük: 150N).

Farklı kayma hızlarında ve 250 N yük altındaki aşınma oranı ilişkisini gösteren Şekil 5.32' de saf PEEK polimerinin aşınma oranı ortalama  $0.94 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuştur. %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı %65 azalarak ortalama  $0.33 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  hesaplanmıştır. %30 karbon takviyeli PEEK kompozitinde aşınma oranı ortalama  $0.21 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuştur. Aşınma oranı %78 düşmüştür. En az aşınan malzeme olan HPV-PEEK( karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitinin aşınma oranı ortalama  $0.19 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak hesaplanmış olup aşınma oranı saf PEEK polimerine kıyasla %80 azalmıştır.

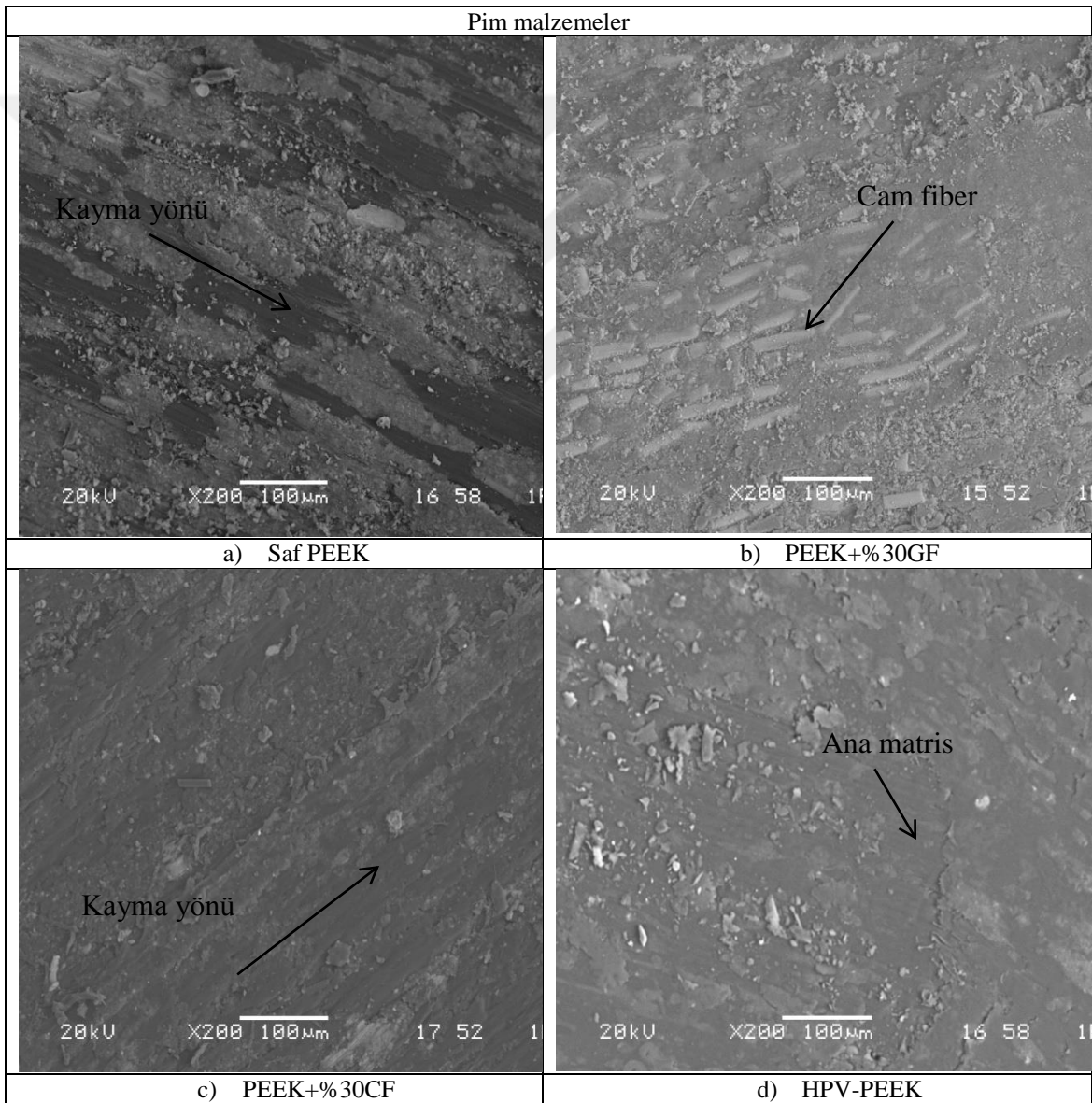


Şekil 5.32: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi(Yük: 250N).

Literatürde yer alan daha önce yapılan çalışmalarda [23,24,25,29] PEEK malzemesine ilave edilen CF, GF takviyeli kompozitlerin, katkısız PEEK polimerine kıyasla daha düşük spesifik aşınma oranına sahip olduğutespit edilmiştir. Diğer taraftan literatürde yer alan bazı çalışmalarda [4,27] spesifik aşınma oranlarının, artan yükte beraber azaldığını tespit edilmiştir. Dolayısıyla literatürde, deneylerde elde edilen sonuçlarla uyumlu çalışmalar bulunmaktadır.

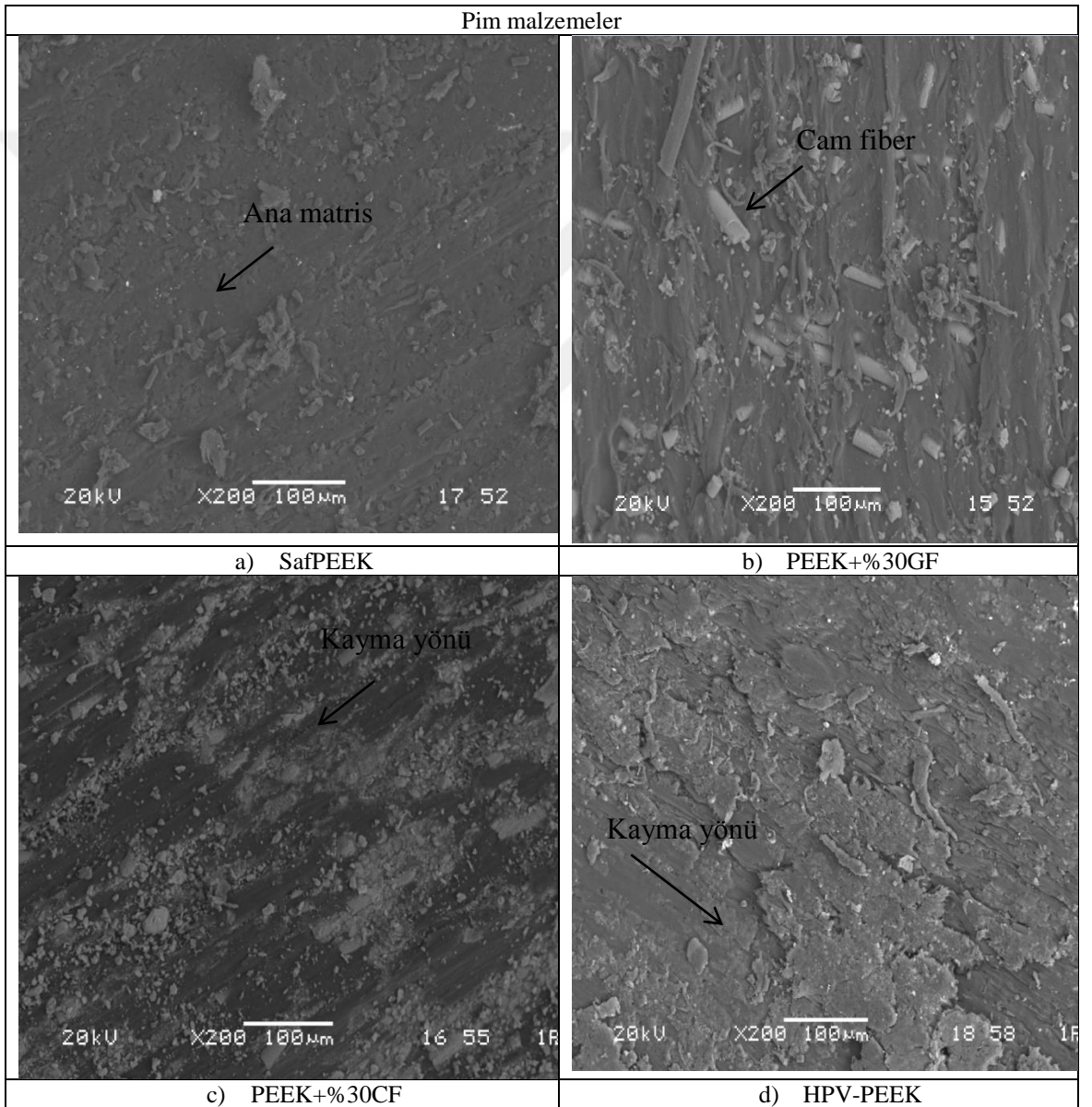
Uygulanan yüke bağlı olarak spesifik aşınma oranındaki azalma karşı disk üzerinde oluşan transfer film tabakasının yağlayıcı görevi görmesi ve film kalınlığının artması ile ilişkilendirilebilir.

### 5.1.5. PEEK ve PEEK kompozitlerin aşınma yüzeylerinin çelik diske karşı taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikro yapı incelemeleri



Şekil 5.33: PEEK ve PEEK kompozitlerin farklı hızlardaki spesifik aşınma oranı(Hız:1 m/s, Yük:150N).

Şekil 5.33 incelendiğinde saf PEEK ve %30 karbon fiber takviyeli PEEK malzemelerinde adheziv aşınma gözlenirken, %30 cam fiber takviyeli PEEK ve HPV-PEEK malzemelerinde abrazyv aşınma meydana geldiği görülmektedir. Şekilde saf PEEK polimeri ve karbon fiber takviyeli PEEK kompoziti aşınma yüzeylerinde daha fazla plastik deformasyon ve derin aşınma izleri gözlenirken, %30 cam fiber takviyeli PEEK ve HPV-PEEK kompozit malzemeleri aşınma yüzeylerinde daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir.

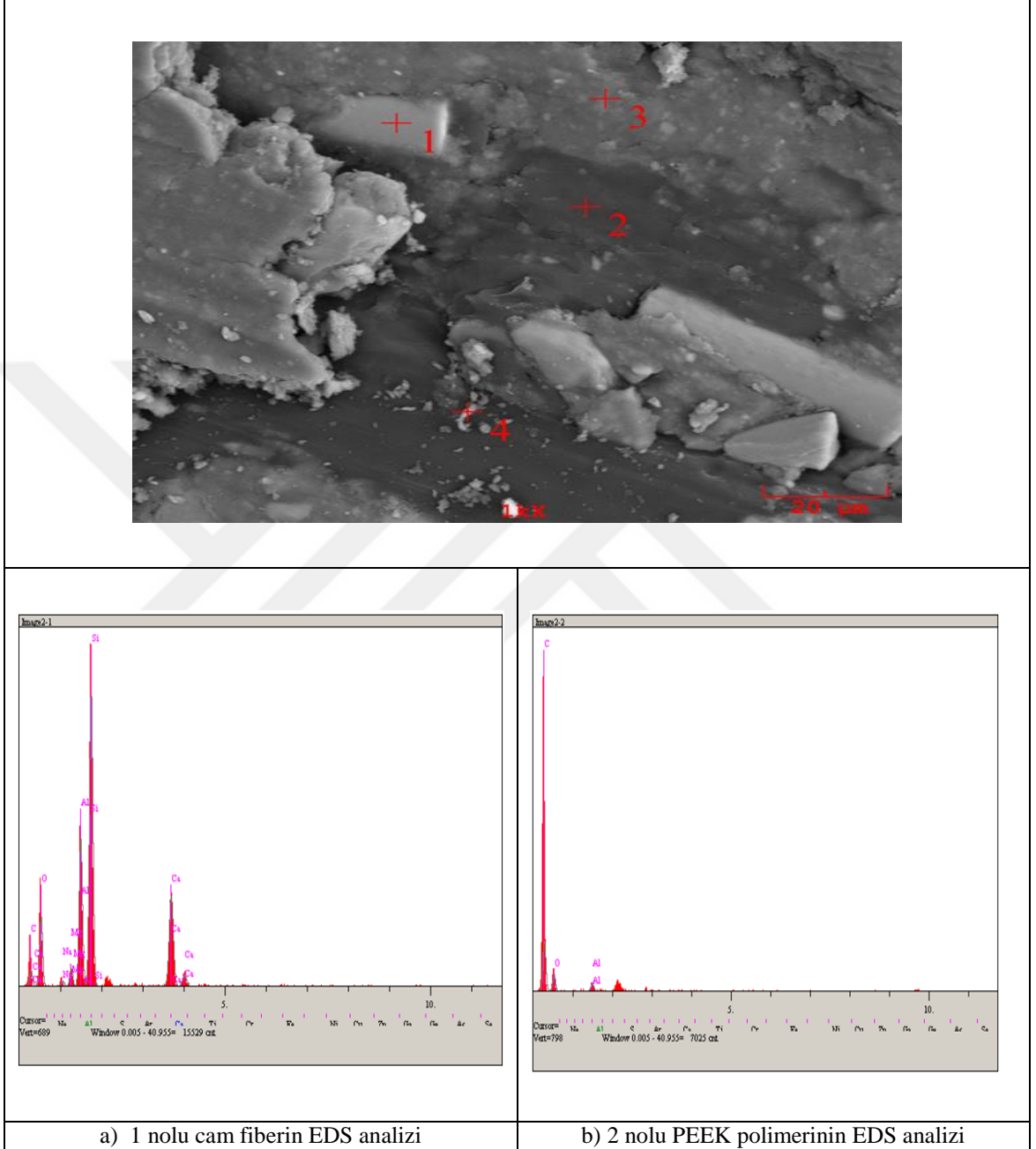


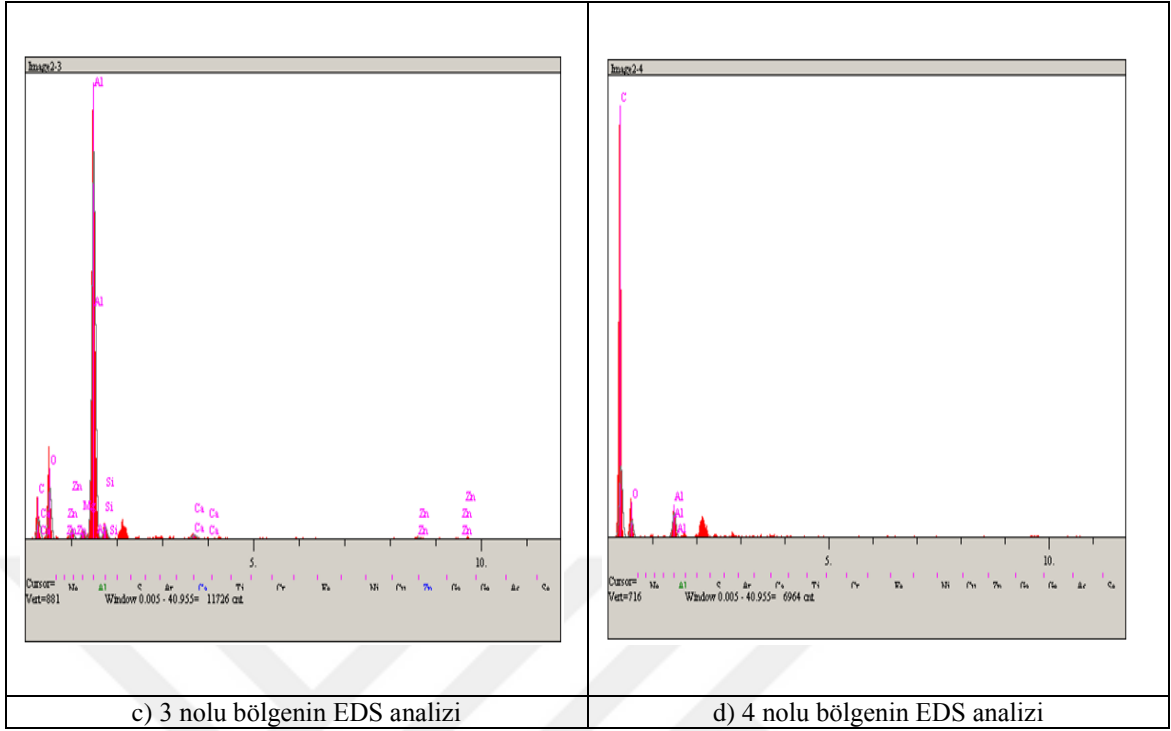
Şekil 5.34: PEEK ve PEEK kompozitlerin farklı hızlardaki spesifik aşınma oranı (Hız: 4 m/s, Yük: 150N).

Şekil 5.34' te deney numunelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile alınan görüntülerinde saf PEEK ve HPV-PEEK kompoziti aşınma yüzeyinde adheziv aşınma, %30 cam fiber takviyeli PEEK ve %30 karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerinde abraziv aşınma meydana geldiği gözlenmektedir. Saf PEEK polimeri ve HPV-PEEK kompozitinde karşı yüzey ile yapışmadan kaynaklı partiküller görülürken, %30 cam fiber takviyeli PEEK ve %30 karbon fiber takviyeli PEEK malzemelerinde ise plastik deformasyondan dolayı derin aşınma izlerinin olduğu gözlenmiştir.



**5.1.6. PEEK ve PEEK kompozitlerin aşınma yüzeylerinin EDS analizi**  
(Karşı malzeme:Çelik disk)



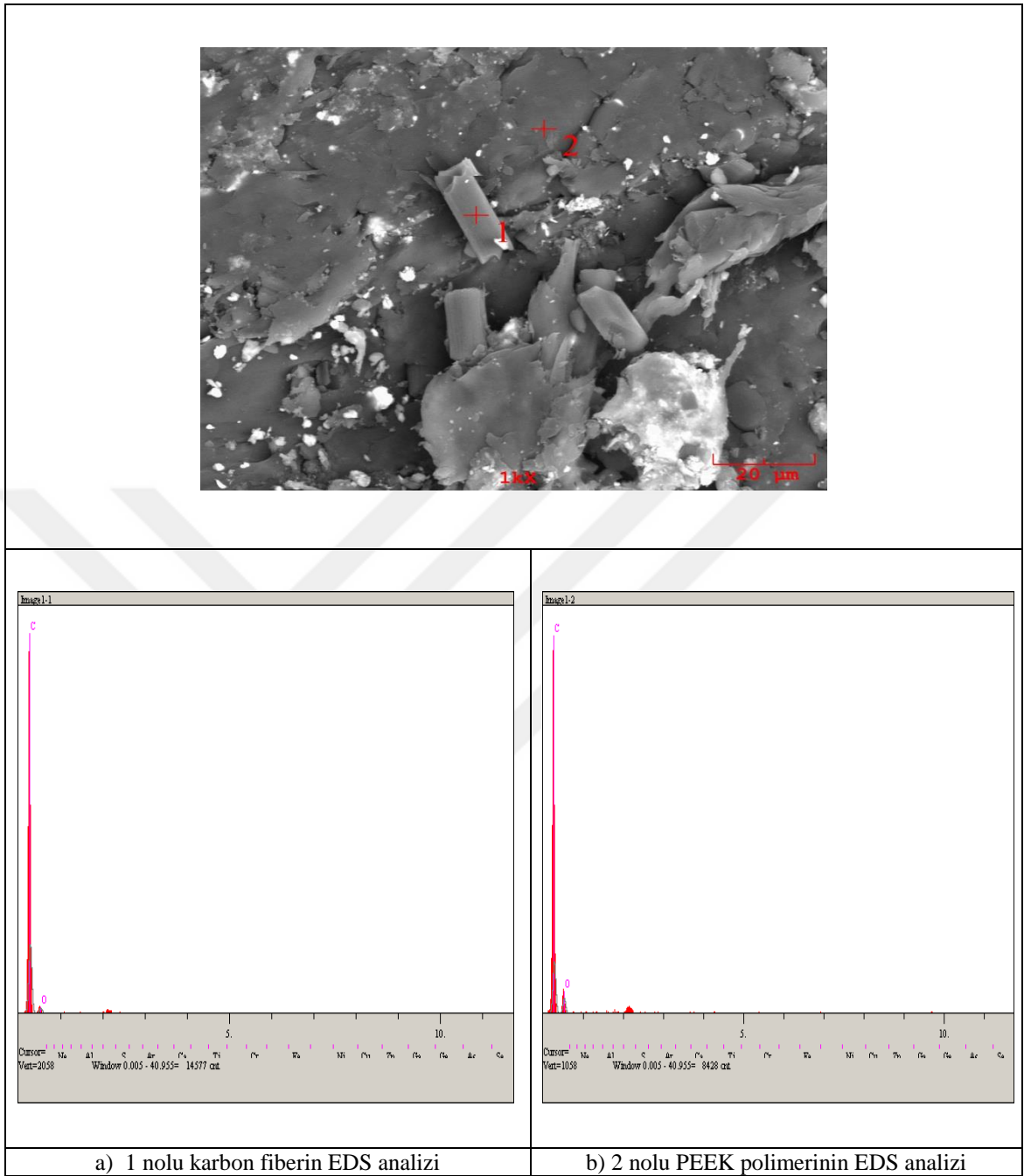


Şekil 5.35 a,b,c,d: Cam fiber takviyeli PEEK kompozitinin yüzeyi SEM görüntüsü ve EDS analizi (Çelik disk,Hız:1 m/s, Yük:150 N).

Tablo 5.1 : PEEK+%30GF kompozitin ait Şekil 5.35’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları(%).

Nokta	C	O	Si	Al
1	27.656	40.571	13.900	11.734
2	68.460	29.742	0.037	1.080
3	19.572	32.119	0.641	44.542
4	63.262	34.631	0.094	1.764

Şekil 5.35 a’da 1 numara ile gösterilen katkıının EDS analizinde silisyum elementinin etkin olduğu görülmektedir. Bu da katkıının cam fiber olduğunu göstermektedir. Şekil 5.35 b’ de 2 numaralı EDS analizi sonucunda görülen karbon elementinden ötürü bölgenin ana matris PEEK polimer olduğu anlaşılmaktadır. 5.35 c’ de 3 numaralı ise tespit edilen alüminyum elementinin karşı malzeme AISI 52100 çeliğin alaşımında yer alan alüminyum olduğu düşünülmektedir. 5.35 d’ de 4 numaralı bölgenin EDS analizinde tespit edilen karbon elementi olması 4 numaralı bölgenin ana matris olduğunu kanıtlamaktadır.



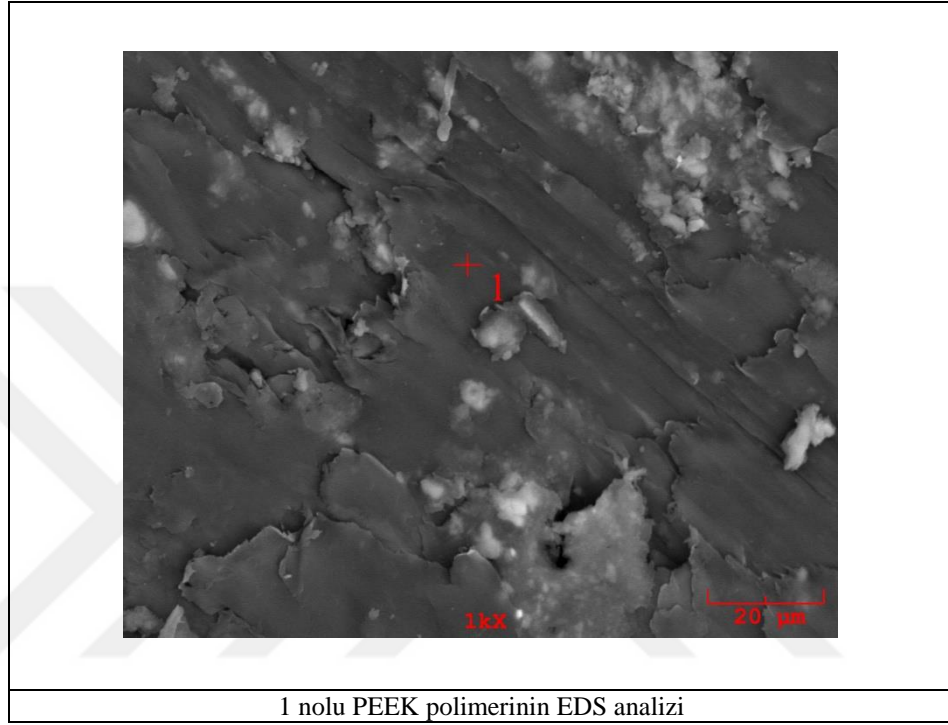
Şekil 5.36 a, b: Karbon fiber takviyeli PEEK kompozitin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü ve EDS analizi (Çelik disk, Hız:1 m/s, Yük:150 N).

Tablo 5.2 : PEEK+%30CF kompozitin ait Şekil 5.36`da belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları(%).

Nokta	C	O	Si	Al
1	72.63	27.37	-	-
2	55.03	44.97	-	-



Şekil 5.36 a' da karbon fiber takviyeli PEEK kompozitin 1 numaralı katkının EDS analizi sonucunda karbon elementinin etkin olduğundan dolayı katkıının karbon fiber olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.36 b' de 2 numaralı bölgenin EDS analizi sonucunda tespit edilen karbon elementinin ana matris malzeme PEEK polimerini kanıtlamaktadır.



Şekil 5.37: HPV-PEEK kompozitin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü ve EDS analizi (Çelik disk, Hız:1 m/s,Yük:150 N).

Şekil 5.37 'de HPV-PEEK polimer kompozitin taramalı elektron mikroskobundan alınan aşınma yüzey görüntüsü verilmiştir. 1 numaralı bölgenin EDS analizinde karbon elementinin etkin olduğu görülmüştür. Bu bölgenin PEEK ana matrisi olduğu anlaşılmaktadır.

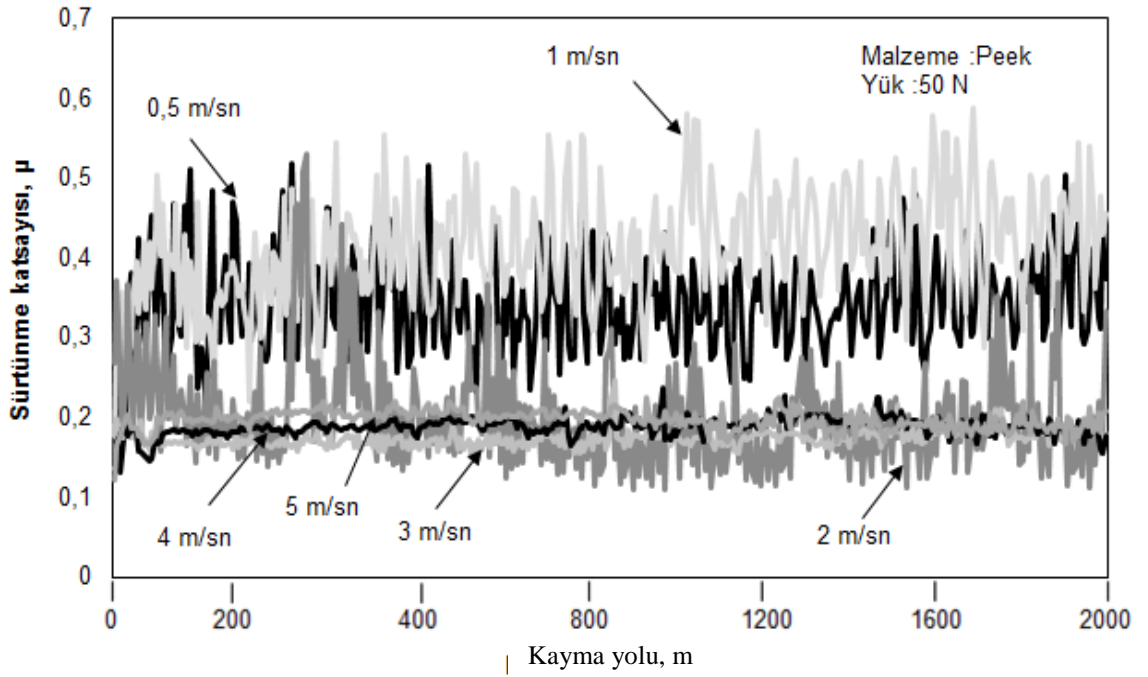
Tablo 5.3 : HPV-PEEK kompozitin ait Şekil 5.37' de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları(%).

Nokta	C	O	Si	Al
1	58.173	40.605	-	1.223

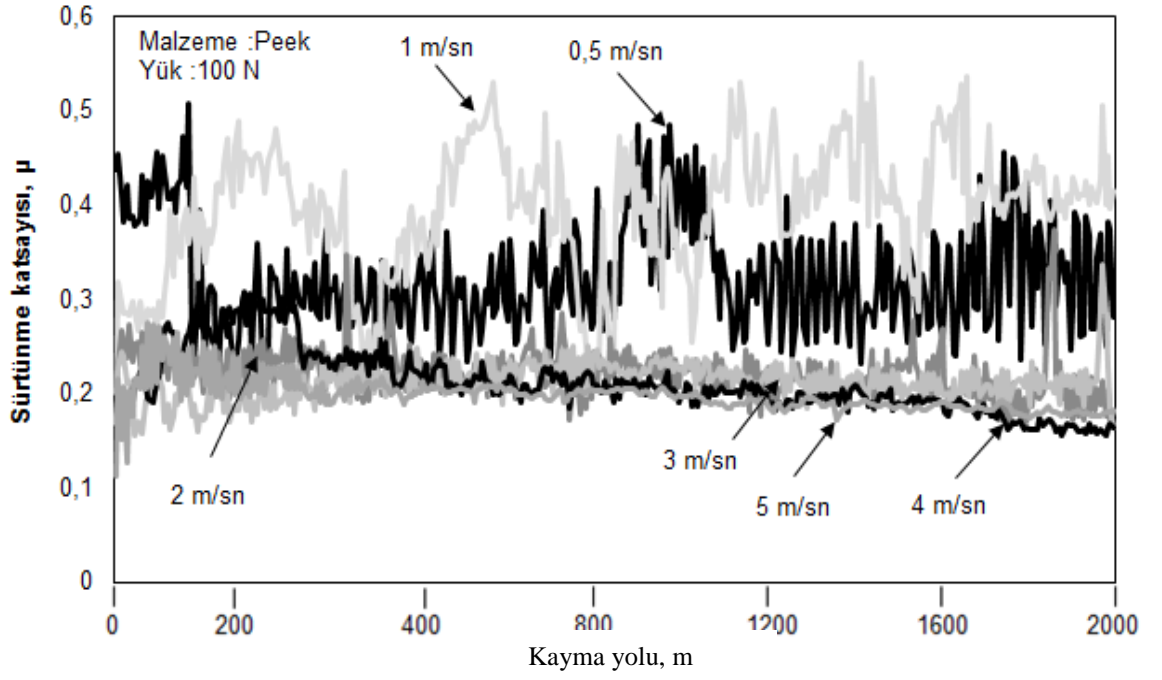
## 5.2. Yapılan Çalışmaların Aşınma ve Sürtünme Analizleri (Alüminyum Disk)

### 5.2.1. PEEK ve PEEK kompozitlerin alüminyum diske karşı 50, 100, 150 ve 250 N yüklerdeki farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-yol ilişkisi

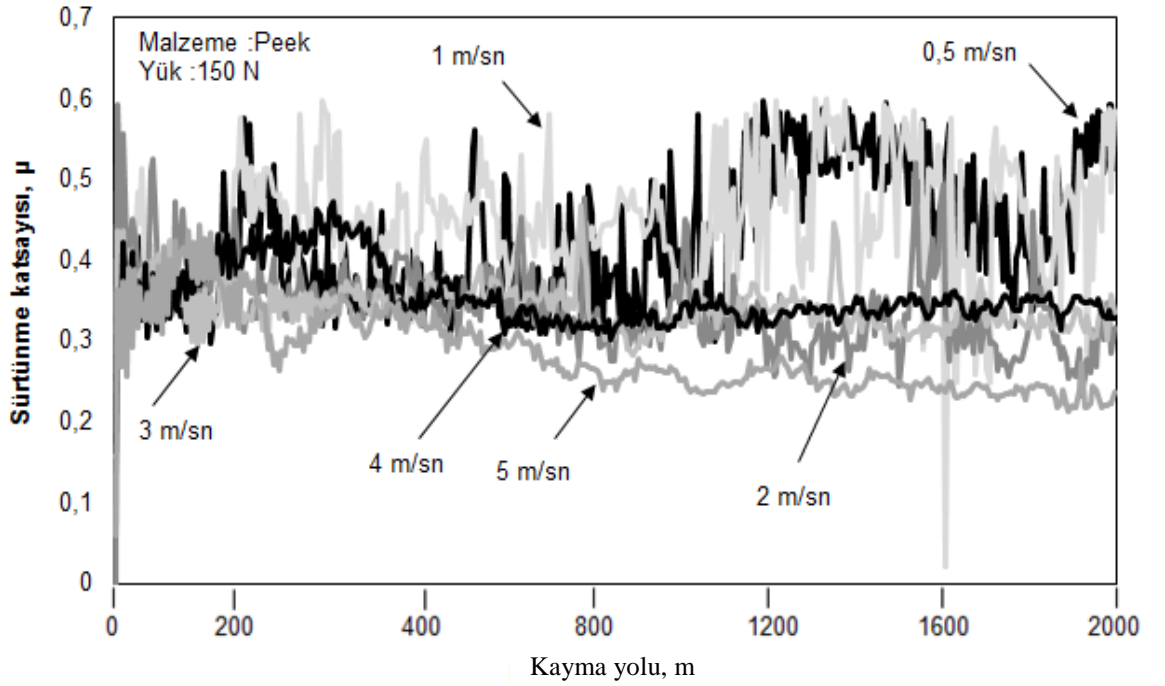
Saf PEEK polimerinin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 5.38 ile Şekil 5.41 arasında 50 ile 250 N yük aralığında ve farklı kayma hızlarında verilmiştir. Kayma hızının ve yükün artmasıyla sürtünme katsayısı genel itibariyle azaldığı görülmektedir.



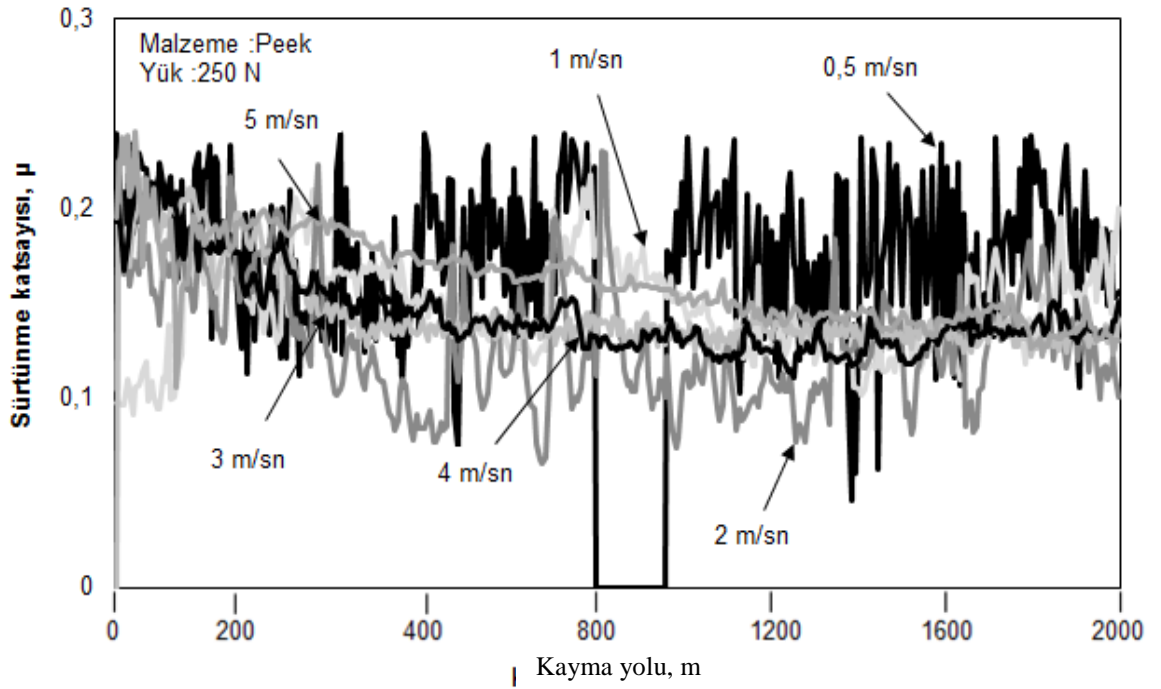
Şekil 5.38: Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük:50N).



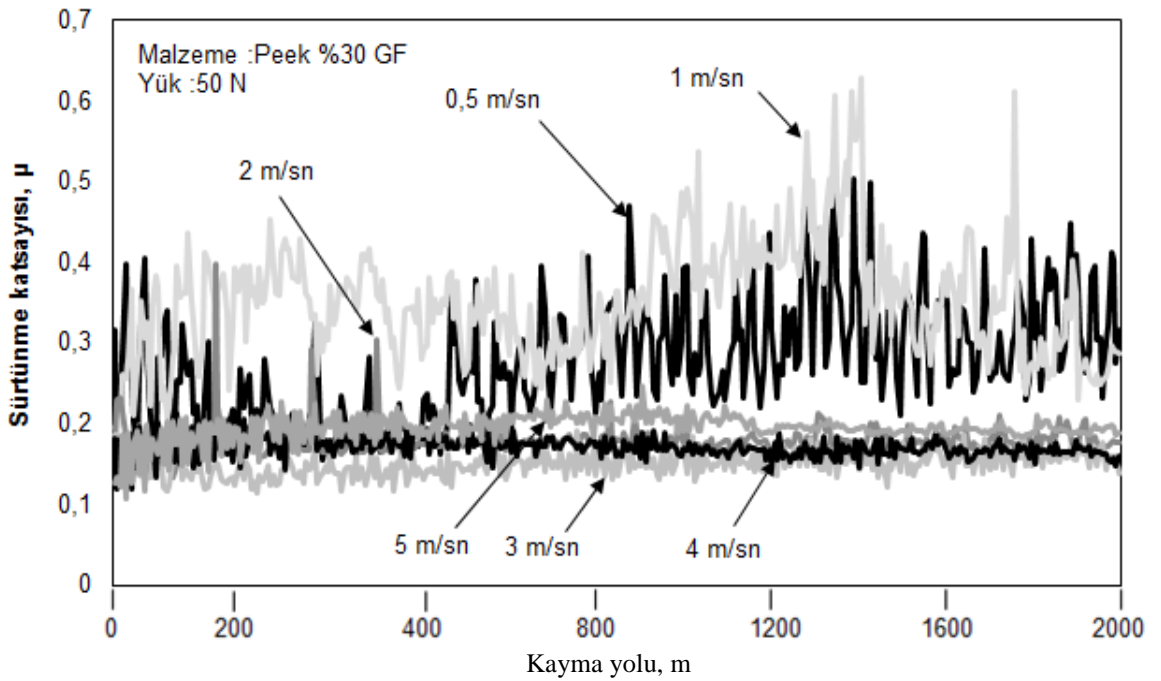
Şekil 5.39: Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:100N).



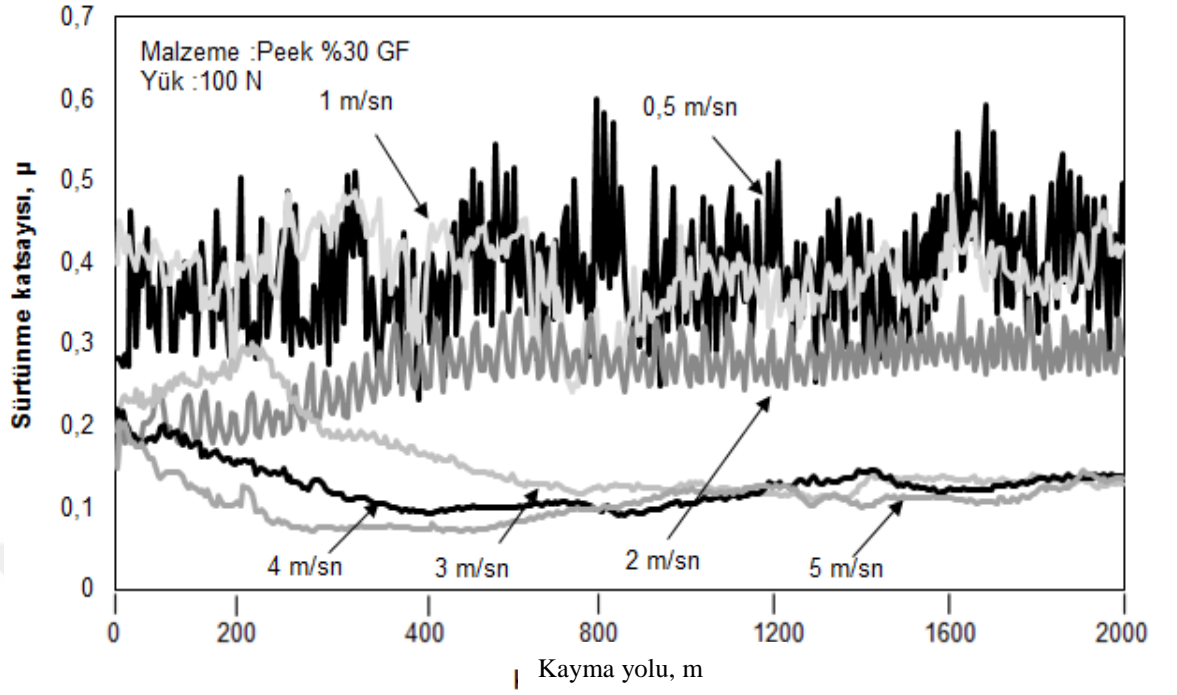
Şekil 5.40: Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:150N).



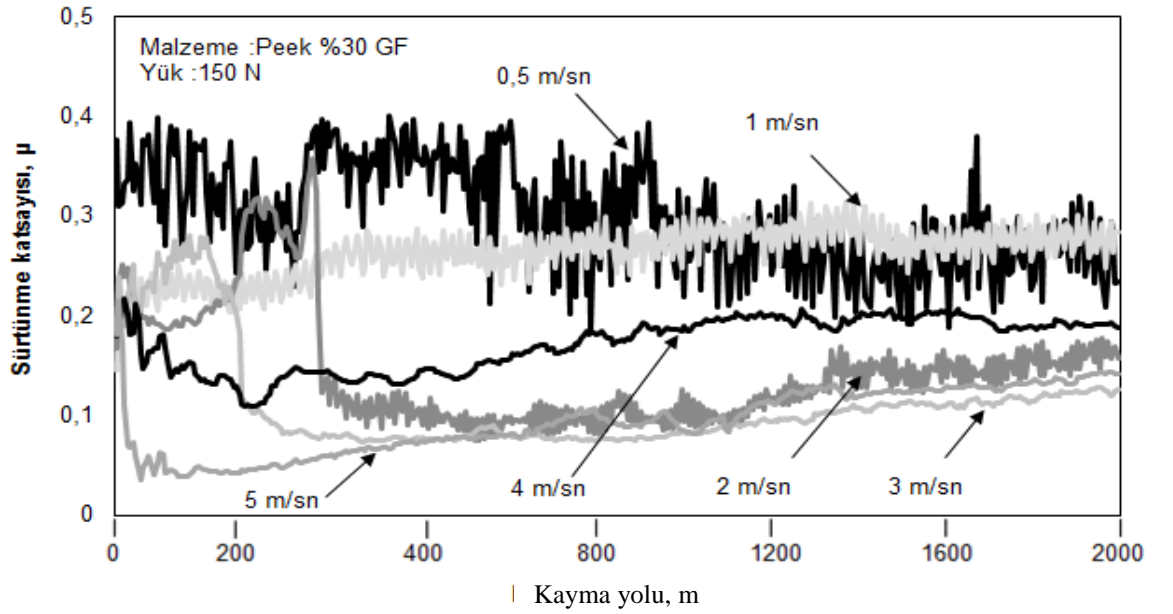
Şekil 5.41: Saf PEEK polimerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:250N).



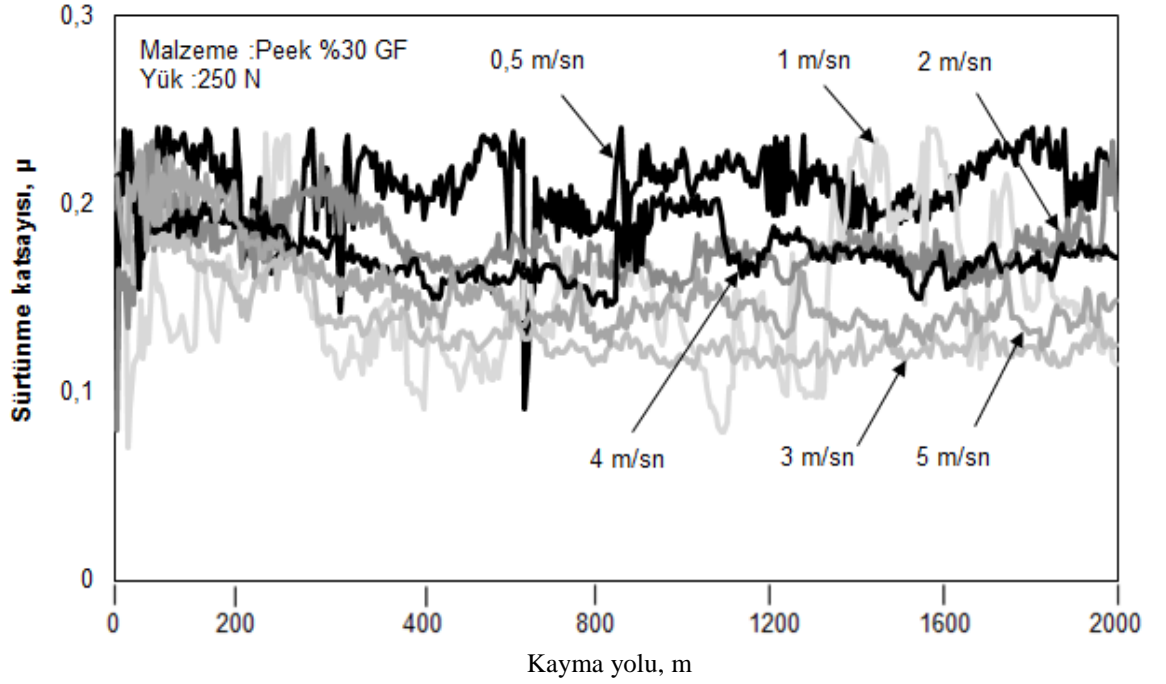
Şekil 5.42: %30 cam fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi(Yük:50N).



Şekil 5.43 : %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Yük: 100N).



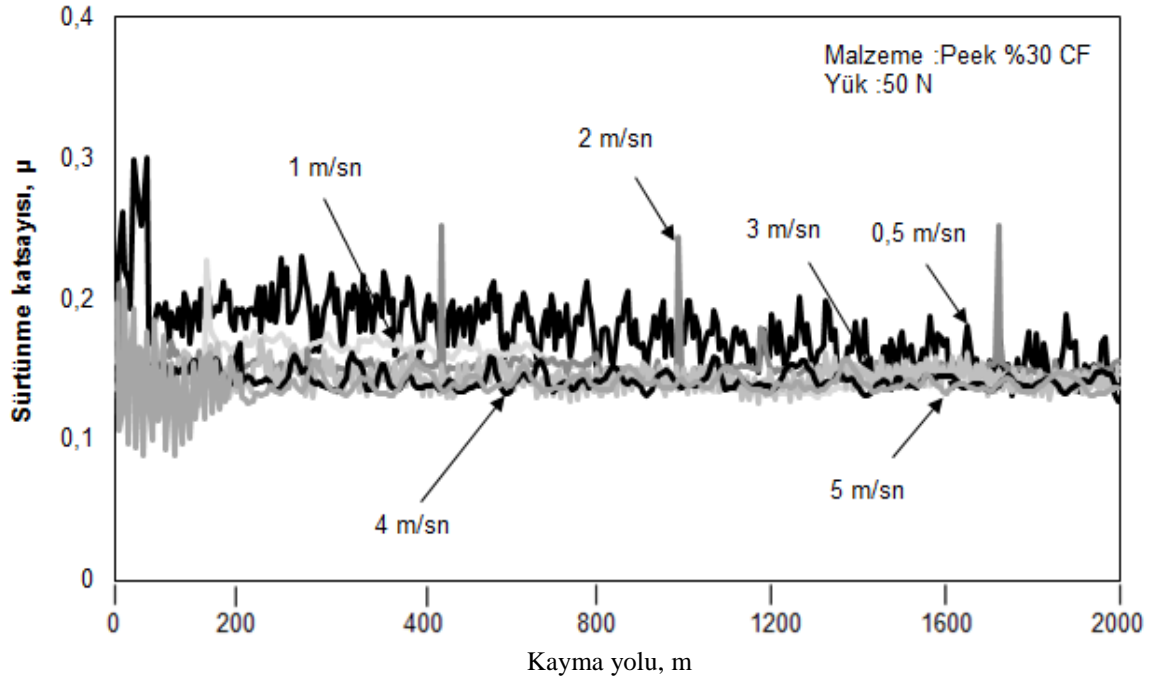
Şekil 5.44: %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Yük: 150N).



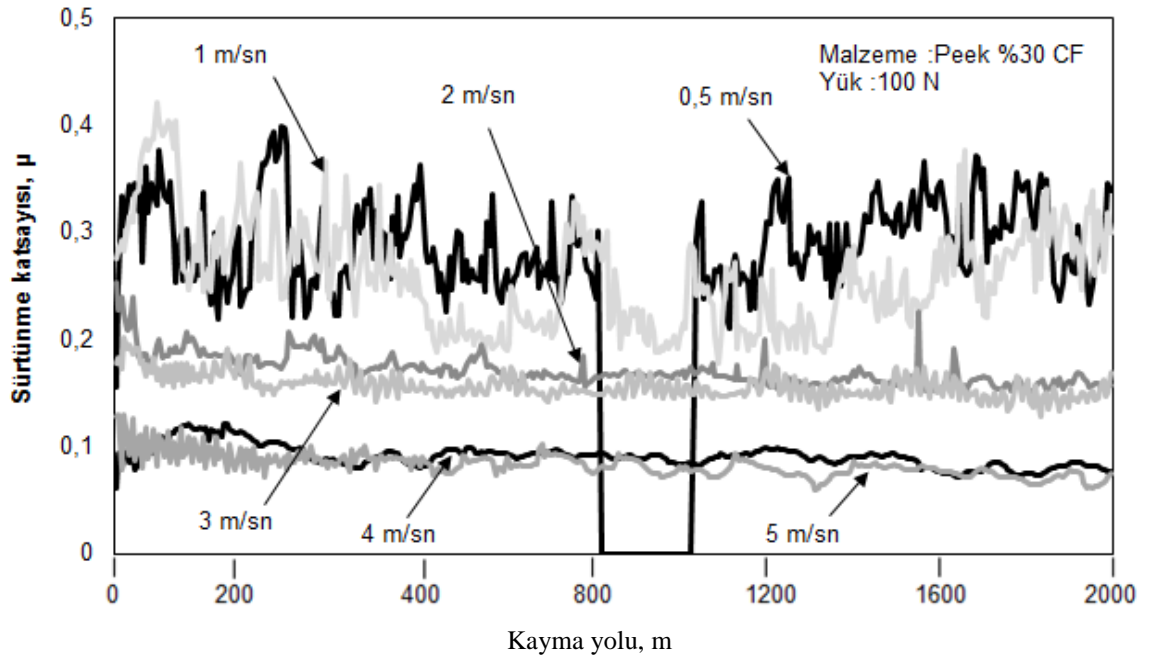
Şekil 5.45 : %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Yük:250N).

%30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitinin 50 ile 250 N arasında uygulanan yük altında ve 0.5 ile 5 m/s kayma hızı aralığındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi aralığında verilmiştir. Yük ve kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı genellikle azalmaktadır. Şekil 5.42 ile Şekil 5.45 arasındaki şekiller incelendiğinde 0.5 ve 1 m/s gibi düşük hızlarda sürtünme katsayısında belirgin bir dalgalanma gözlenirken 2 m/s' den 5 m/s' ye kadar olan daha yüksek hızlarda daha stabil sürtünme katsayısı eğrisi gözlenmektedir.

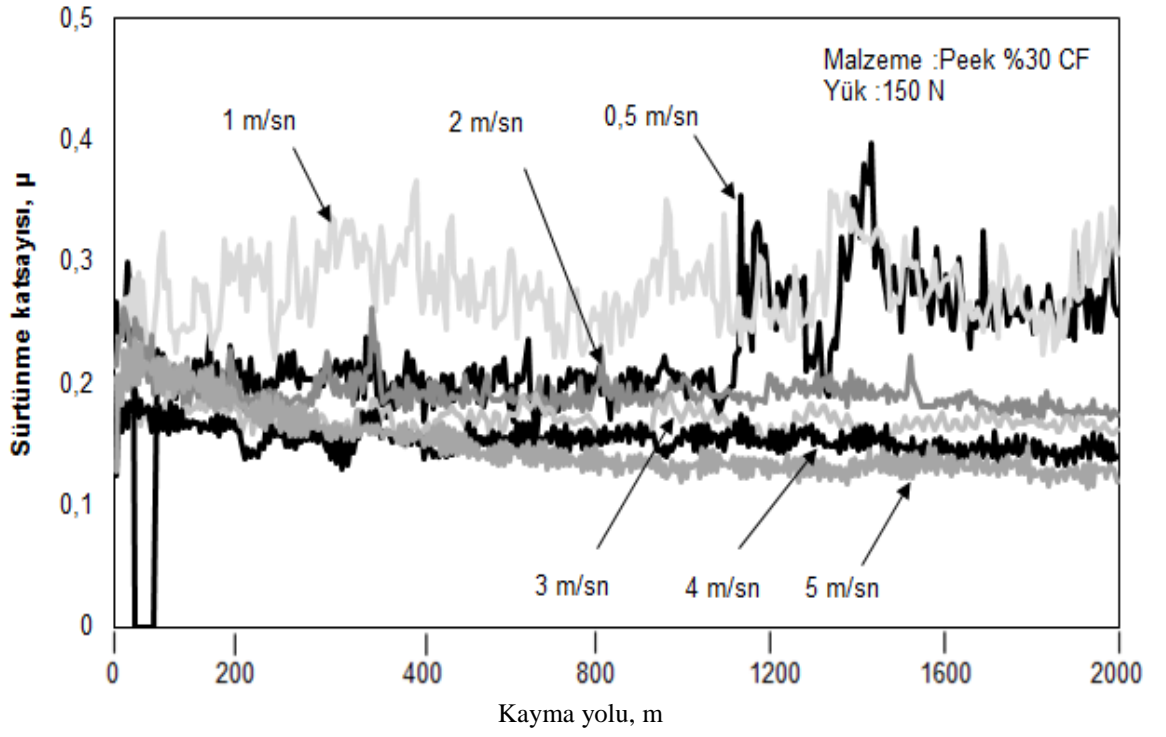
Şekil 5.46 ve Şekil 5.49 arasında %30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi, 50 ile 250 N yük ve 0.5 ile 5 m/s kayma hızı aralığında verilmiştir. Artan kayma hızı ve artan yük koşullarında sürtünme katsayısının genellikle azaldığı gözlenmektedir. Düşük hızlarda (0.5-1 m/s) alüminyum disk ve PEEK polimer arasındaki sürtünme katsayıları genel olarak daha geniş aralıkta görünüm sergilerken, 2 ve 5 m/s aralığında sürtünme katsayısında dalgalanmanın olmadığı daha kararlı bir eğri görülmektedir.



Şekil 5.46: %30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi(Yük: 50N).

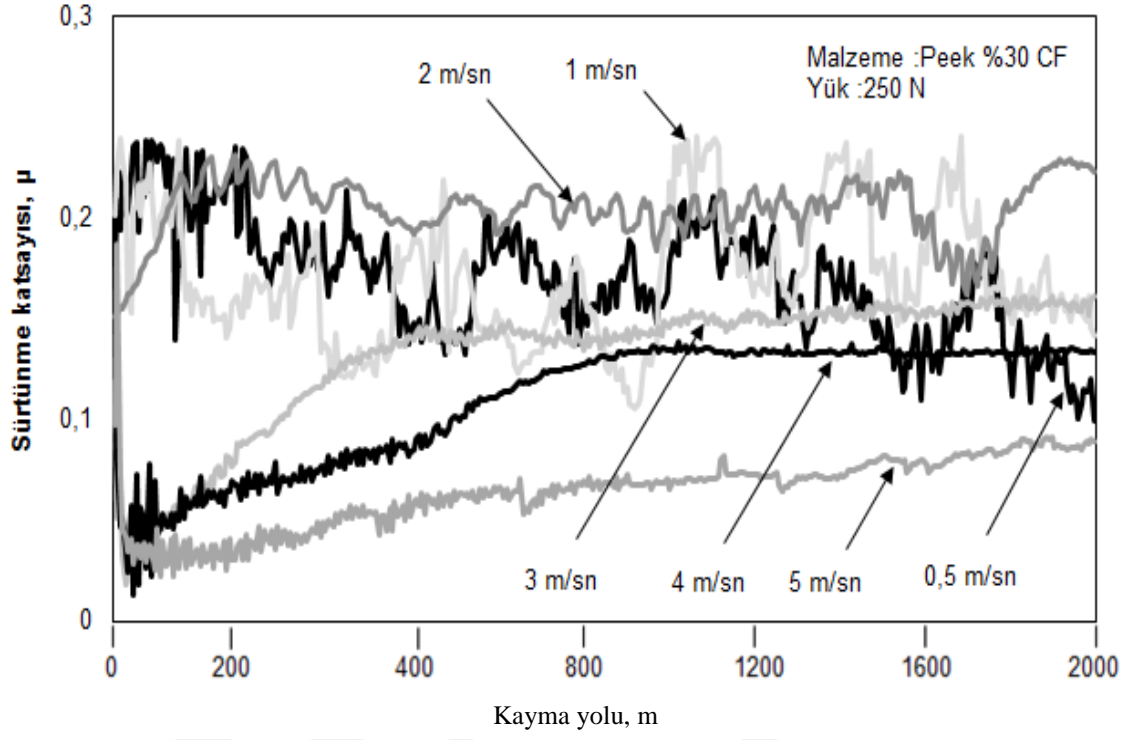


Şekil 5.47: %30 karbon fiber takviyeliPEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi(Yük: 100N).

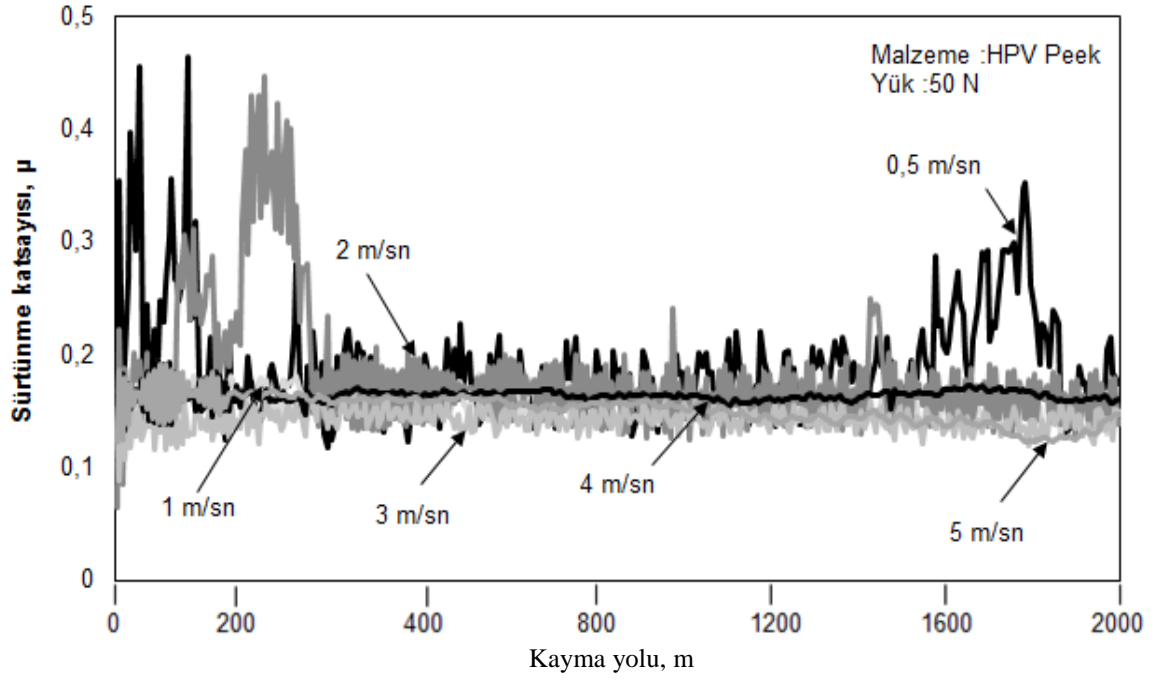


Şekil 5.48: %30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Yük: 150 N).

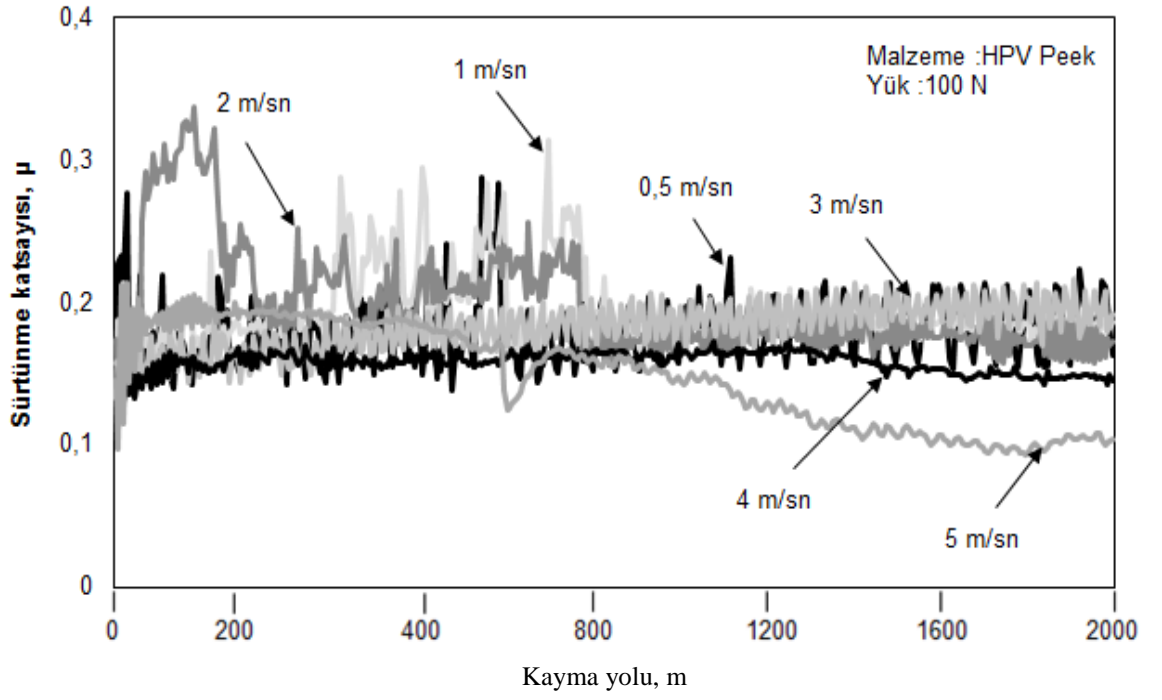




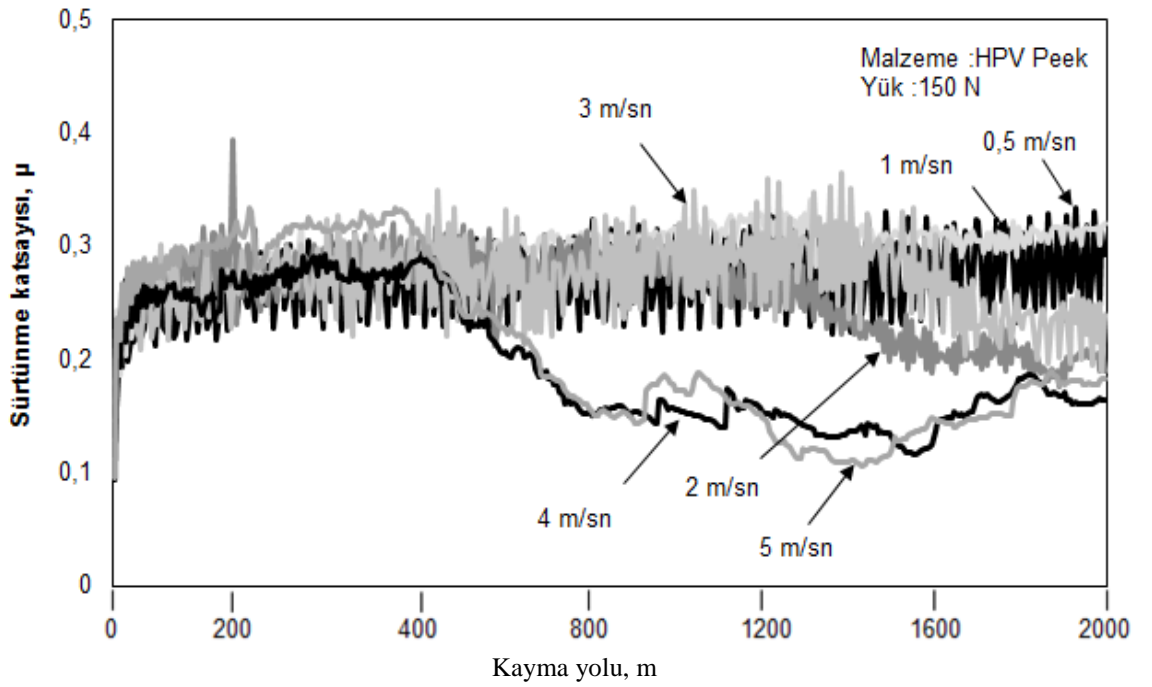
Şekil 5.49: %30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük:250N).



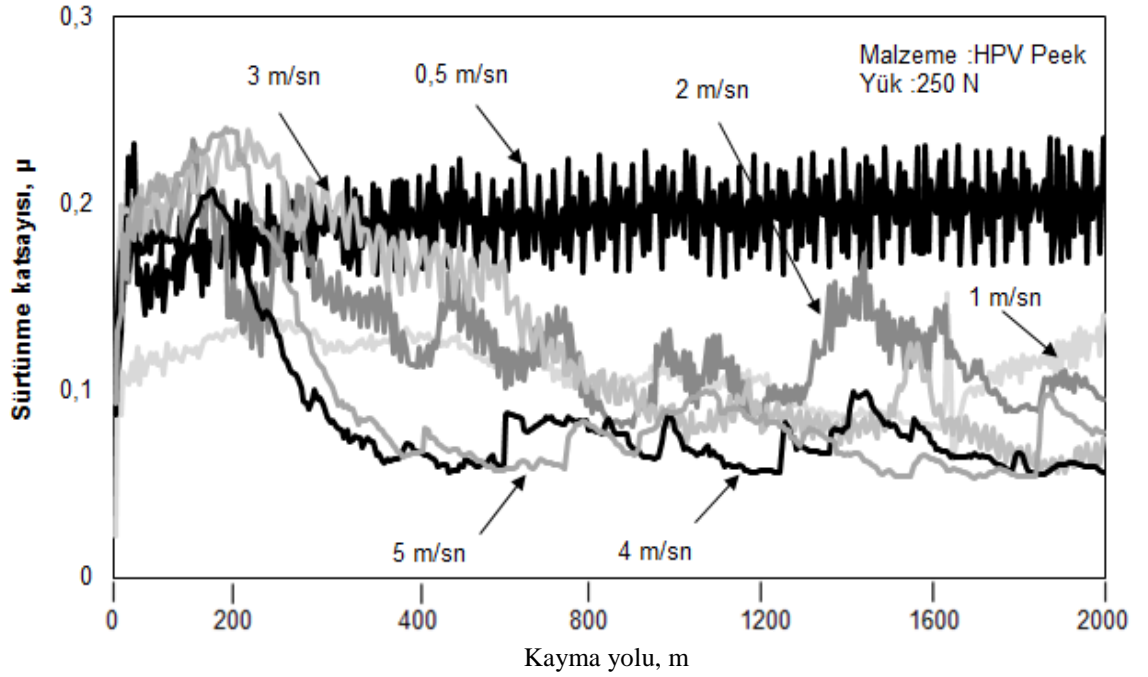
Şekil 5.50: HPV- PEEK kompozitinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük:50N).



Şekil 5.51: HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:100N).



Şekil 5.52: HPV- PEEK kompozitin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi(Yük:150N).

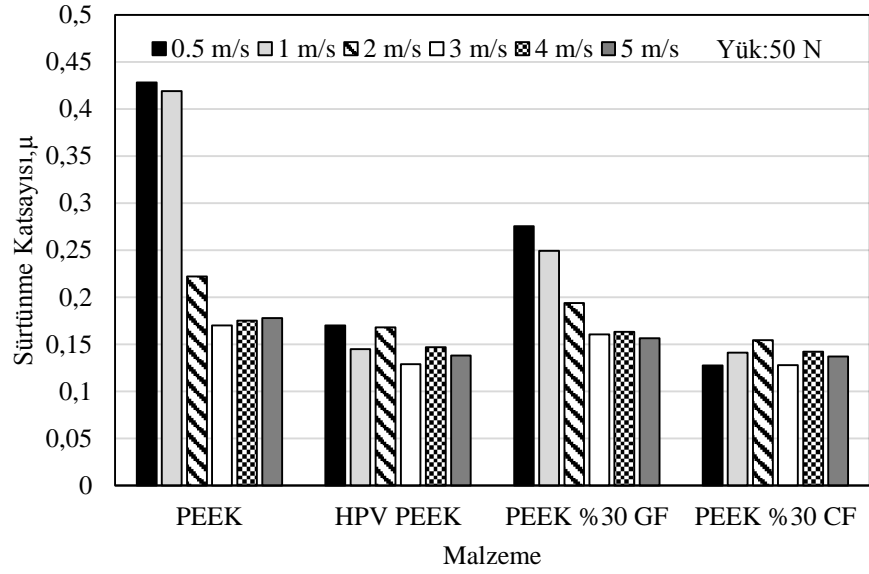


Şekil 5.53: HPV- PEEK kompozitinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Yük:250N).

Şekil 5.50 ile Şekil 5.53 arasında, HPV-PEEK kompozitinin farklı kayma hızlarında ve 50 N ile 250 N arasında değişen yüklerde, sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. HPV-PEEK kompozitinin sürtünme katsayısı, kayma hızının ve uygulanan yükün artmasıyla belirgin bir şekilde her bir yük ve hız altında HPV-PEEK kompozitinin sürtünme katsayısı diğer deneylerde kullanılan polimer malzemelere göre daha stabil olduğu görülmektedir.

### 5.2.2. PEEK ve PEEK kompozitlerinin alüminyum diske karşı 50, 100, 150 ve 250N yüklerdeki farklı hızlardaki sürtünme katsayısı değişimi

Deneylerde kullanılan saf PEEK (polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF (cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF (karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK (karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitlerinin 7075 alüminyum diske karşı aşınma analizleri;



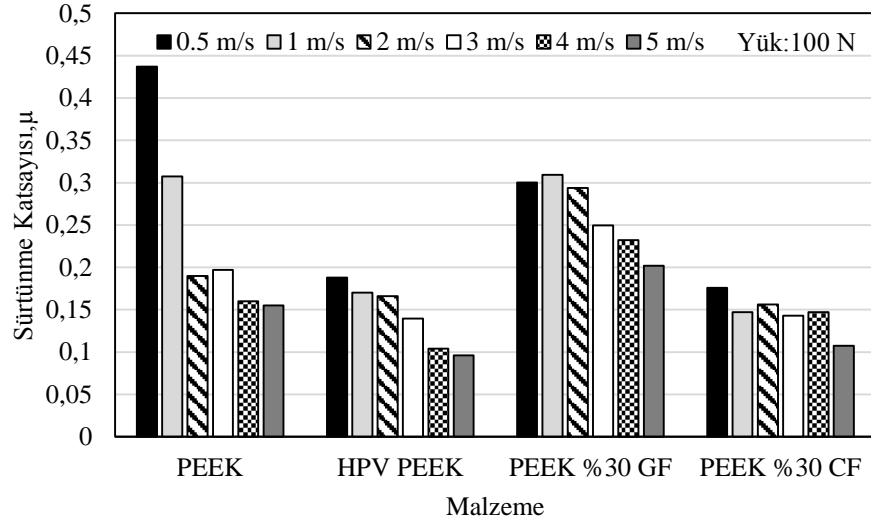
Şekil 5.54: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi(Yük:50N).

Şekil 5.54 incelendiğinde, kayma hızının artmasıyla, sürtünme katsayısının azaldığı gözlenmiştir.

Saf PEEK polimeri, PEEK+%30 GF, PEEK+%30 CF ve HPV-PEEK kompozitlerinin 50 N yük altında 0.5 m/s' den 5 m/s' ye artan kayma hızında sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.17' de verilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı değeri 0.428 ile 0.5 m/s kayma hızında saf PEEK polimerinde elde edilmiştir. Saf PEEK polimerinde kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı %52.3 azalarak 0.17' ye kadar düşmüştür. PEEK+%30 CF kompozitinde belirgin bir değişim olmamakla birlikte 0.128 ile en düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu gözlenmiştir. PEEK+%30 GF kompozitinde sürtünme katsayısı %43.2 azalırken HPV-PEEK kompozitinde ise %23.5 azalmıştır.

100 N yük altında kayma hızının 0.5 m/s' den 5 m/s' ye artmasıyla sürtünme katsayısının, saf PEEK polimerinde %64.5 azalırken, PEEK+%30 GF kompozitinde %35, PEEK+%30 CF kompozitinde %39 ve HPV-PEEK kompozitinde %49 azaldığı Şekil 5.55'de gözlenmiştir. Saf PEEK polimerinin 0.437 ile en yüksek sürtünme

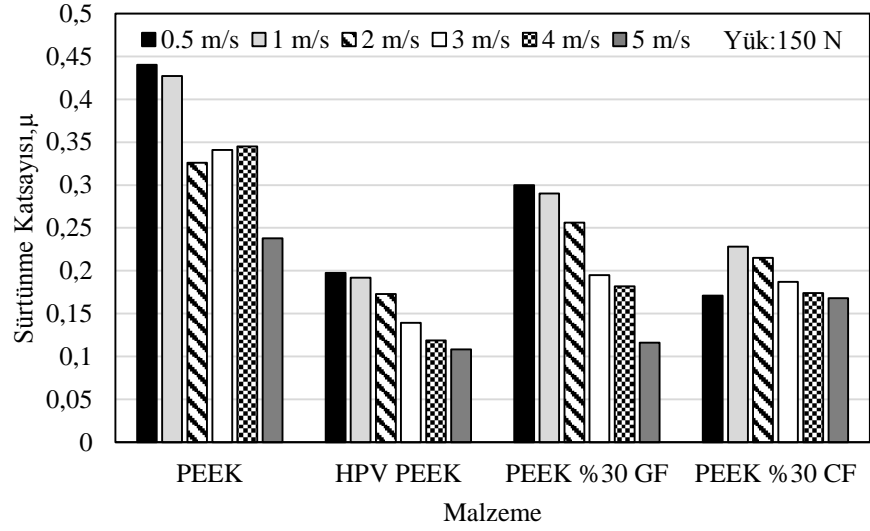
katsayısı değerine 0.5 m/s kayma hızında, HPV-PEEK kompoziti ise 5 m/s kayma hızında 0.096 ile en düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu gözlenmiştir.



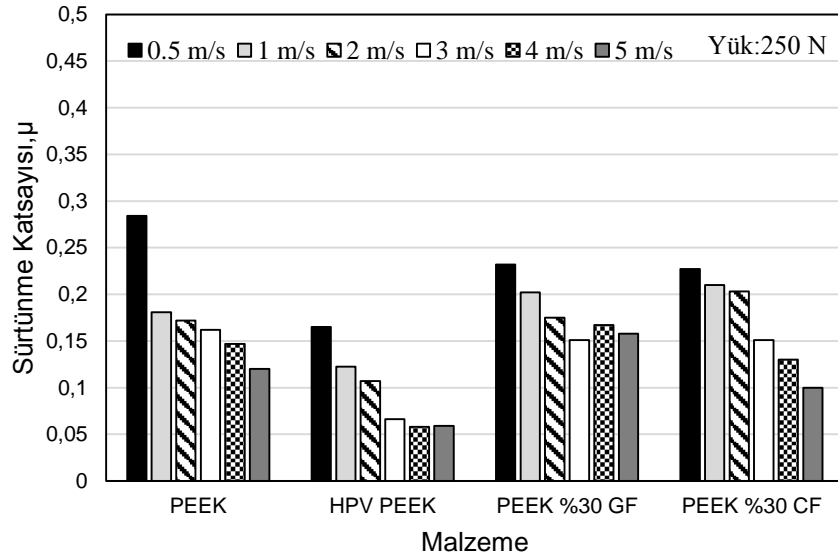
Şekil 5.55: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi(Yük:100N).

Şekil 5.56' da 150 N yük altında kayma hızının artmasıyla, sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür.

Saf PEEK polimeri, PEEK+%30 GF, PEEK+%30 CF ve HPV-PEEK kompozitlerinin 150 N yük altında farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.19' da verilmiştir. Yapılan deneylerde 0.5 m/s' den 5 m/s' yeartan kayma hızında PEEK+%30 GF kompoziti sürtünme katsayısının %61.3 azaldığı gözlenmiştir. Saf PEEK polimerinde %46, HPV-PEEK kompozitinde %45 ve PEEK%30 CF kompozitinde %26.3 oranında sürtünme katsayısında azalma tespit edilmiştir. 0.5 m/s kayma hızında saf PEEK polimeri 0.44 ile en yüksek, 5 m/s kayma hızında HPV-PEEK kompozitinin 0.108 ile en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.56: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi(Yük:150N).



Şekil 5.57: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı ilişkisi(Yük:250N).

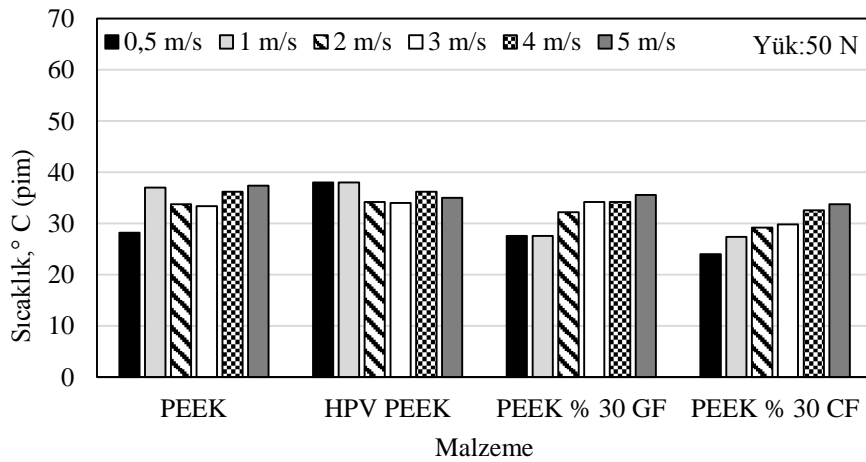
Şekil 57 'de 250 N yük altında kayma hızının 0.5 m/s' den 5 m/s' yeartmasıyla PEEK+%30 GF kompoziti sürtünme katsayısının %32 azaldığı gözlenmiştir. HPV-PEEK kompozitinde sürtünme katsayısının%64.2, saf PEEK polimerinde %57.7 ve PEEK+%30 CF kompozitinde %56 azaldığıtespit edilmiştir. Saf PEEK polimerinde 0.5

m/s kayma hızında 0.284 ile en yüksek sürtünme katsayısı değeri, HPV-PEEK kompozitinde ise 5 m/s kayma hızında 0.1 ile en düşük sürtünme katsayısı değeri tespit edilmiştir.

Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda karşı disk malzemesi olarak alüminyum kullanılmadığından bir kıyaslama yapmak mümkün değildir. Fakat daha önce yapılan çalışmalarda yük ve hızın artmasıyla [5,6,7,12,30,31,36] sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda [3,8,11,12,18] saf PEEK polimerine CF ve GF katkısı ile sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. HPV-PEEK polimer kompoziti ortalama sürtünme katsayısının en az olduğu gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar kullanılan karşı disk malzemesi farklı olmasına rağmen literatürde yer alan bazı çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile benzer olduğu tespit edilmiştir.

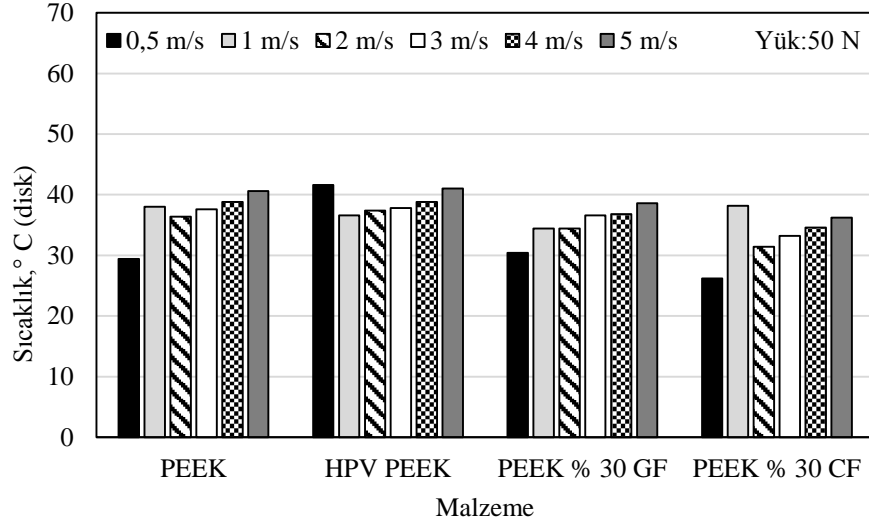
### 5.2.3. PEEK ve PEEK kompozitlerin alüminyum diske karşı 50, 100, 150 ve 250N yüklerdeki farklı hızlarındaki pim ve disk yüzey sıcaklık değişimi

Saf PEEK(polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF(cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK( karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitlerinin 7075 alüminyum diske karşı yapılan deneylerdeki pim ve disk yüzey sıcaklığı analizleri;



Şekil 5.58: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi(Yük:50N).

Şekil 5.58’ de 50 N yük altında kayma hızı 0.5 m/s’ den 5 m/s’ ye artığında deneylerde kullanılan safPEEK(polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF(cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK( karbon fiber+teflon takviyeli) polimer kompozitlerinin malzemelerin pim sıcaklığının arttığı görülmüştür. En yüksek sıcaklığa 1 m/s kayma hızında(38°C) HPV-PEEK kompozitinin ulaştığı gözlenmiştir.

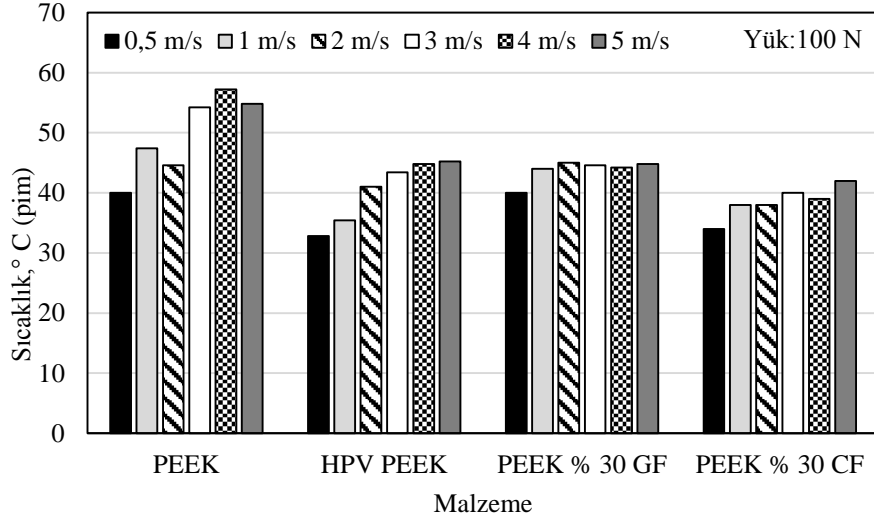


Şekil 5.59: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi(Yük:50N).

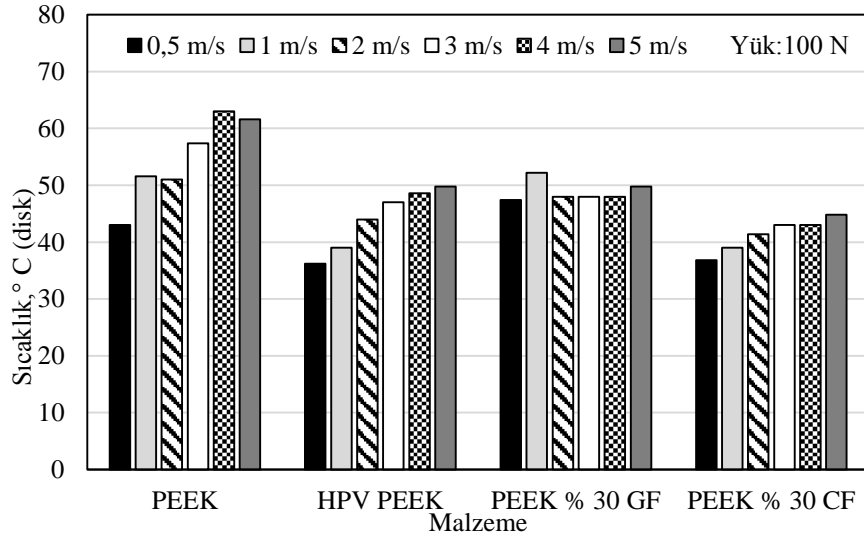
50 N yük altında farklı kayma hızlarındaki disk yüzey sıcaklık değişimi Şekil 5.59’ da verilmiştir. 0.5 m/s’ den 5 m/s’ ye artankayma hızı ile disk sıcaklığının arttığı ve en yüksek sıcaklığa(41.6°C),0.5 m/s kayma hızında HPV-PEEK kompozitinde ulaşıldığı gözlenmiştir.

Şekil 5.60’ da 100 N yük altında kayma hızı 0.5 m/s’ den 5 m/s’ ye artığında deneylerde numunelerinin pim sıcaklığının arttığı, en yüksek sıcaklığa(57.2°C) saf PEEK polimerinin 4 m/s kayma hızında ulaştığı tespit edilmiştir.



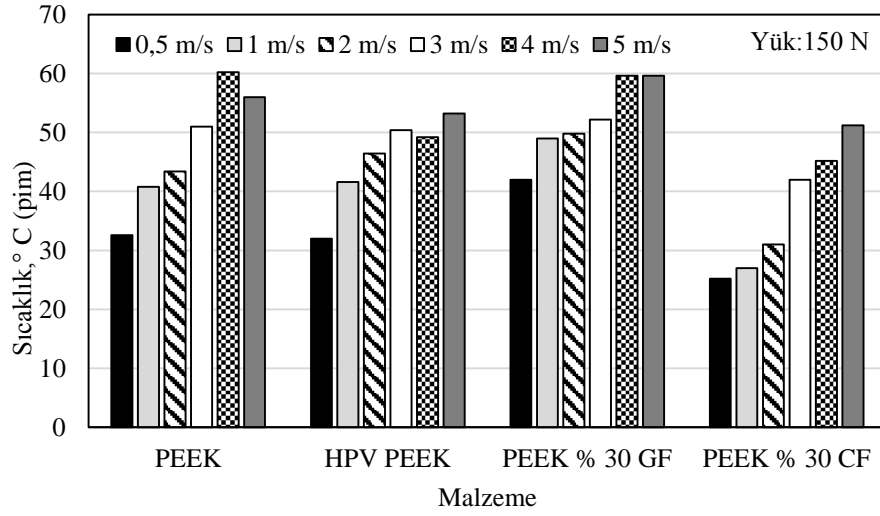


Şekil 5.60: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi (Yük:100N).



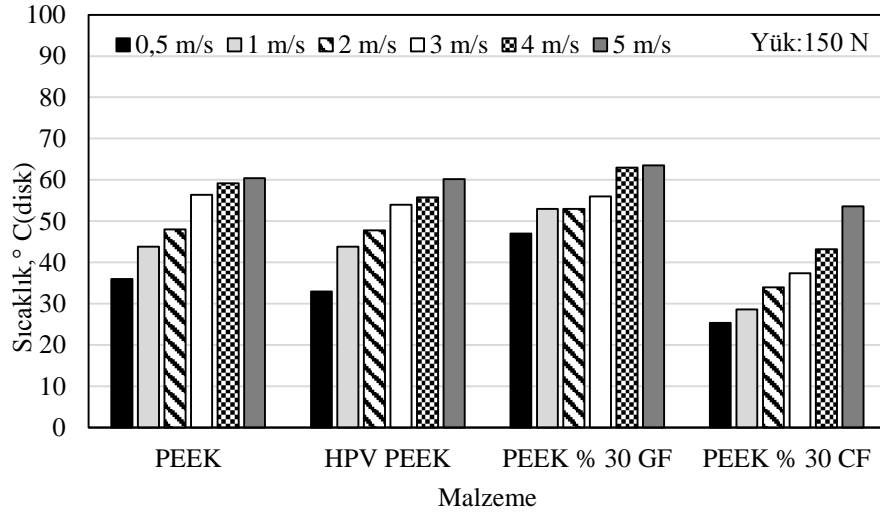
Şekil 5.61 : Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi(Yük:100N).

Şekil 5.61' de 100 N yük altında 0.5 m/s' den 5 m/s' ye artan kayma hızında disk yüzey sıcaklığının arttığı ve en yüksek sıcaklığa (63°C) 4 m/s kayma hızında, en yüksek pim sıcaklığına sahip (57.2°C) PEEK polimerinde ulaşıldığı tespit edilmiştir.



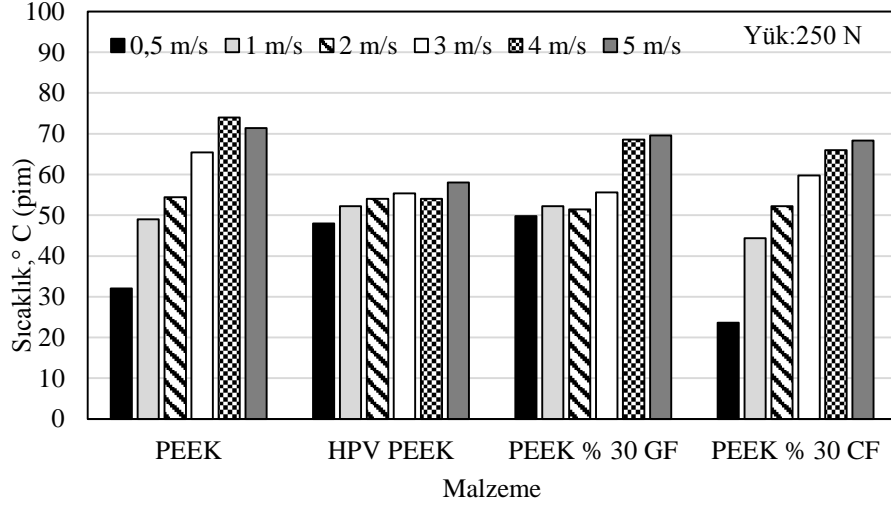
Şekil 5.62: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi(Yük:150N).

150 N yük altında kayma hızı 0.5 m/s' den 5 m/s' yearttığında deneylerde kullanılan malzemelerin pim sıcaklığının arttığı, en yüksek sıcaklığa(60.2°C) saf PEEK polimerinin 4 m/s kayma hızında ulaştığı Şekil 5.62' de gözlemlenmiştir.



Şekil 5.63. Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi(Yük:150N).

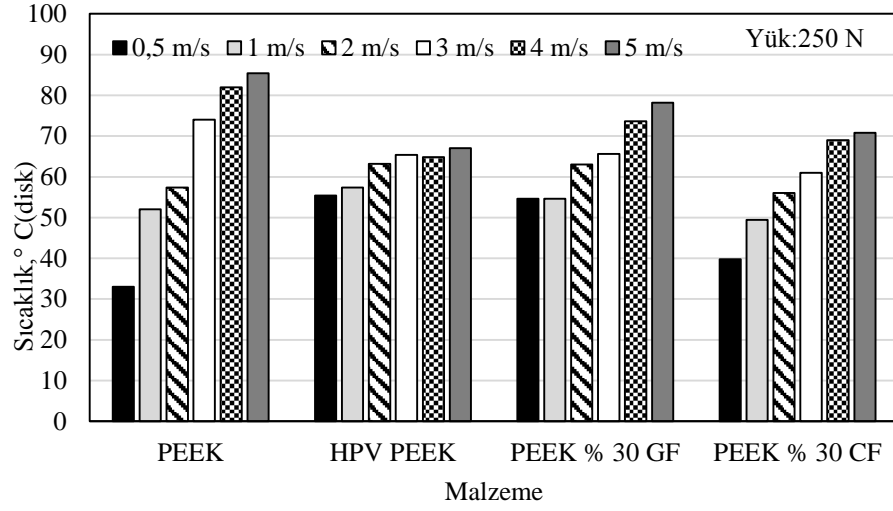
Şekil 5.63 ' te 150 N yük altında 0.5 m/s' den 5 m/s' ye artan kayma hızı ile disk sıcaklığının arttığı gözlenmiştir. PEEK+%30 GF kompozitinde 5 m/s kayma hızında en yüksek sıcaklığa (63.5°C), ulaşıldığı görülmüştür.



Şekil 5.64: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki pim sıcaklığı ilişkisi(Yük:250N).

Şekil 5.64'te 250 N yük altında saf PEEK(polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF(cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK ( karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitlerinin 0.5 m/s' den 5 m/s' ye artan kayma hızındaki pim sıcaklık değişimi verilmiştir. PEEK polimerinde 4 m/s kayma hızında en yüksek sıcaklık (74 °C) değeri tespit edilmiştir.

0.5 m/s' den 5 m/s' ye artan kayma hızında 250 N yük altında Şekil 5.65' de disk yüzey sıcaklığının arttığı gözlenmiştir. En yüksek disk sıcaklık değeri(85.4°C) 5 m/s kayma hızında, en yüksek pim sıcaklığına sahip(74°C) PEEK polimerinde görülmüştür.



Şekil 5.65: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki disk yüzey sıcaklığı ilişkisi(Yük:250N).

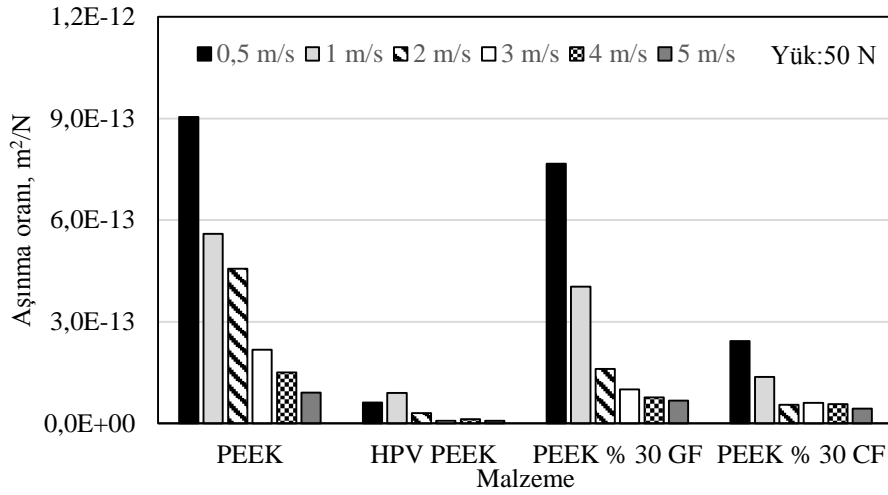
Yapılan deneylerde disk ve deneylerde kullanılan PEEK polimer kompozitlerindeki yükün 50 N' dan 250 N' a ve kayma hızının 0.5 m/s' den 5 m/s' ye artmasıyla yüzey sıcaklıklarında artış meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi ise yüzey pürüzlülüğü ile birlikte sürtünmeye bağlı olarak oluşan ısı ve deney numunelerinin camsı geçiş sıcaklığına yaklaşması olduğu söylenebilir. Ortalama sıcaklığı en düşük olan polimer malzemenin 43.75°C ile HPV-PEEK polimer kompoziti olduğu tespit edilmiştir.

#### 5.2.4. PEEK ve PEEK kompozitlerin/ alüminyum diske karşı 50, 100, 150 ve 250N yüklerdeki farklı hızlardaki aşınma oranı değişimi

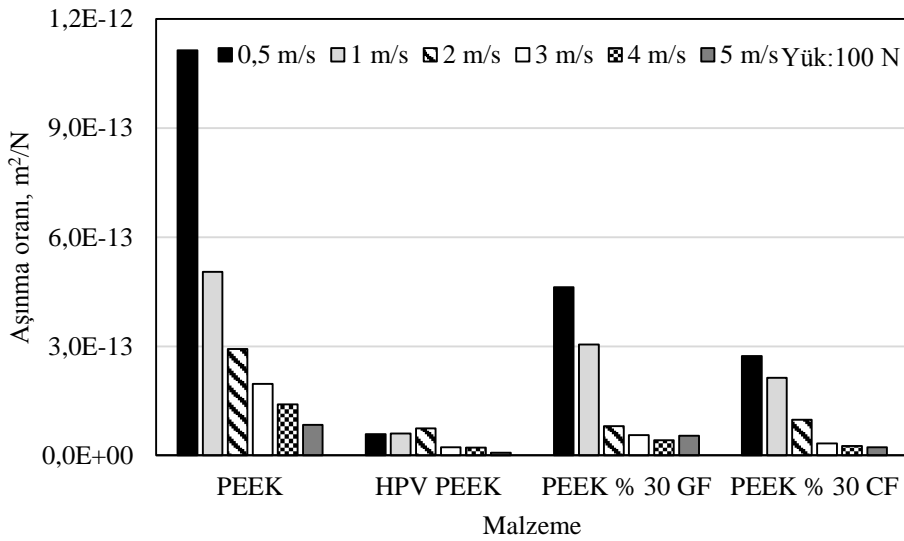
Deneylerde kullanılan saf PEEK (polietereterketon) polimeri, PEEK+%30 GF (cam fiber takviyeli), PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) ve HPV-PEEK (karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitlerinin 7075 alüminyum diske karşı aşınma analizleri;

Şekil 5.66'da görüldüğü üzere, 50 N yük altında farklı kayma hızlarında kayma hızı 0.5 m/s' den 5 m/s' ye arttığındasaf PEEK(polieteterketon) polimerinin ortalama  $3.9 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en fazla aşınan malzeme olduğu tespit edilmiştir. PEEK+%30 GF(cam fiber takviyeli) kompozitininin aşınma oranı saf PEEK polimerine oranla, %21.5 azalarak ortalama  $3.06 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  ve PEEK+%30 CF(karbon fiber takviyeli) kompozitinin

aşınma oranı %75.8 azalarak ortalama  $0.94 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuştur. HPV-PEEK(karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitinin aşınma oranı ortalama  $0.28 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak hesaplanmış ve aşınma oranı saf PEEK polimerine oranla %92.8 düşmüştür.



Şekil 5.66: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi(Yük: 50N).

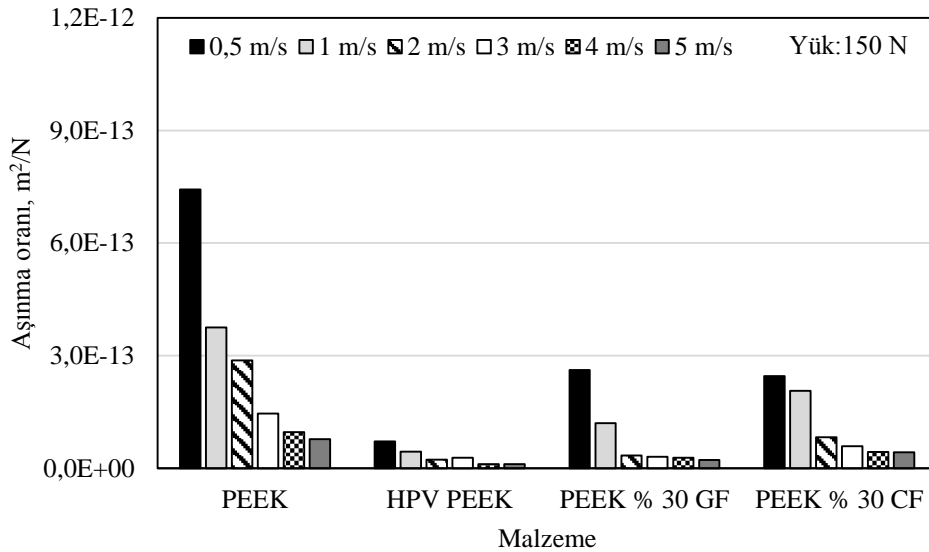


Şekil 5.67: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi(Yük: 100N).

100 N yük altında farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisini gösteren Şekil 5.67' de kayma hızı 0.5 m/s' den 5 m/s' yearttığıında aşınma oranının azaldığı gözlenmiştir. PEEK polimerinde ortalama  $3.85 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en fazla aşınan malzeme olduğu görülmüştür. Deneyde kullanılan %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı ise

PEEK polimerine kıyasla %57.1 azalarak ortalama  $1.65 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  hesaplanmıştır. %30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı ortalama  $1.1 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuş ve aşınma oranı %71.4 düşmüştür. HPV-PEEK( karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitinin aşınma oranı ise %89.6 azalarak  $0.4 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en az aşınan malzeme olduğu tespit edilmiştir.

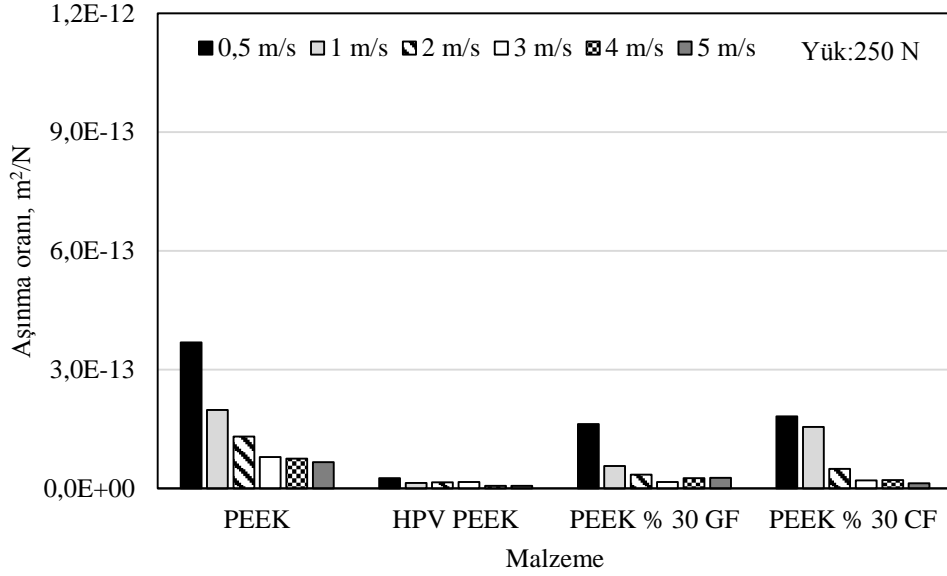
Şekil 5.68’de 150 N yük altında 0.5 m/s’ den 5 m/s’ ye artan kayma hızında HPV-PEEK( karbon fiber+teflon takviyeli) kompozitinin aşınma oranı ortalama  $0.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en az aşınan malzeme, PEEK polimerinin, aşınma oranı ortalama  $2.88 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  ile en fazla aşınan malzeme olduğu tespit edilmiştir. HPV-PEEK kompozitinin aşınma oranı PEEK polimerine göre %89.5 azaldığı gözlenmiştir. %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı %72 azalarak ortalama  $0.81 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  hesaplanmıştır. %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı ise en yüksek aşınma oranına kıyasla %60.4 azaldığı ve  $1.14 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.68: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi(Yük: 150N).

Şekil 5.69’ da 250 N yük altındakayma hızı 0.5 m/s’ den 5 m/s’ ye arttığında saf PEEK polimerinin aşınma oranı ortalama  $1.53 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  elde edilmiştir. %30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitinin aşınma oranı %64 azalarak ortalama  $0.55 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  hesaplanmıştır. %30 karbon takviyeli PEEK kompozitinde aşınma oranı ortalama  $0.72 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuştur. Aşınma oranı %53 düşmüştür. En az aşınan malzeme olan

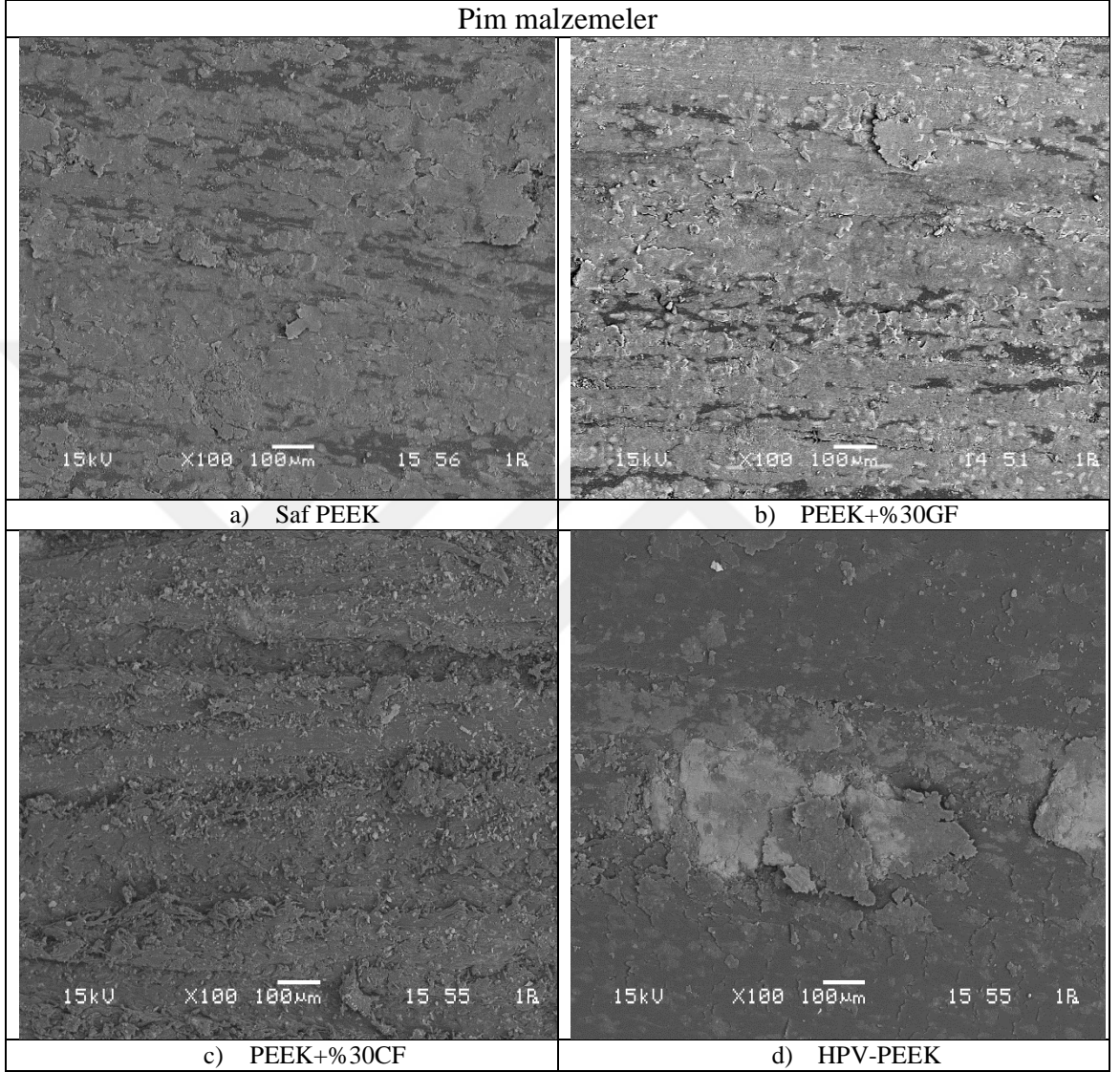
HPV-PEEK(karbon fiber + teflon takviyeli) kompozitinin aşınma oranı ortalama  $0.14 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak hesaplanmış olup aşınma oranı saf PEEK polimerine kıyasla %90.8 azalmıştır.



Şekil 5.69: Saf PEEK, PEEK+%30GF, PEEK+%30CF ve HPV-PEEK malzemelerinin farklı hızlardaki aşınma oranı ilişkisi(Yük: 250N).

Literatürde yer alan daha önce yapılan çalışmalarda karşı disk malzemesi olarak alüminyumun kullanılmadığı tespit edilmiştir. Bu sebepten ötürü herhangi bir kıyaslama yapılamamıştır. Kayma hızının 0.5 m/s' den 5 m/s' ye ve uygulanan yükün 50 N' dan 250 N'a artmasıyla deneyde kullanılan PEEK polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranında azalma görülmektedir. HPV-PEEK polimer kompozitinin ortalama aşınma oranı en az olan malzeme olduğu tespit edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile yapılan bu çalışmadaki sonuçlar benzerlik göstermemiştir.

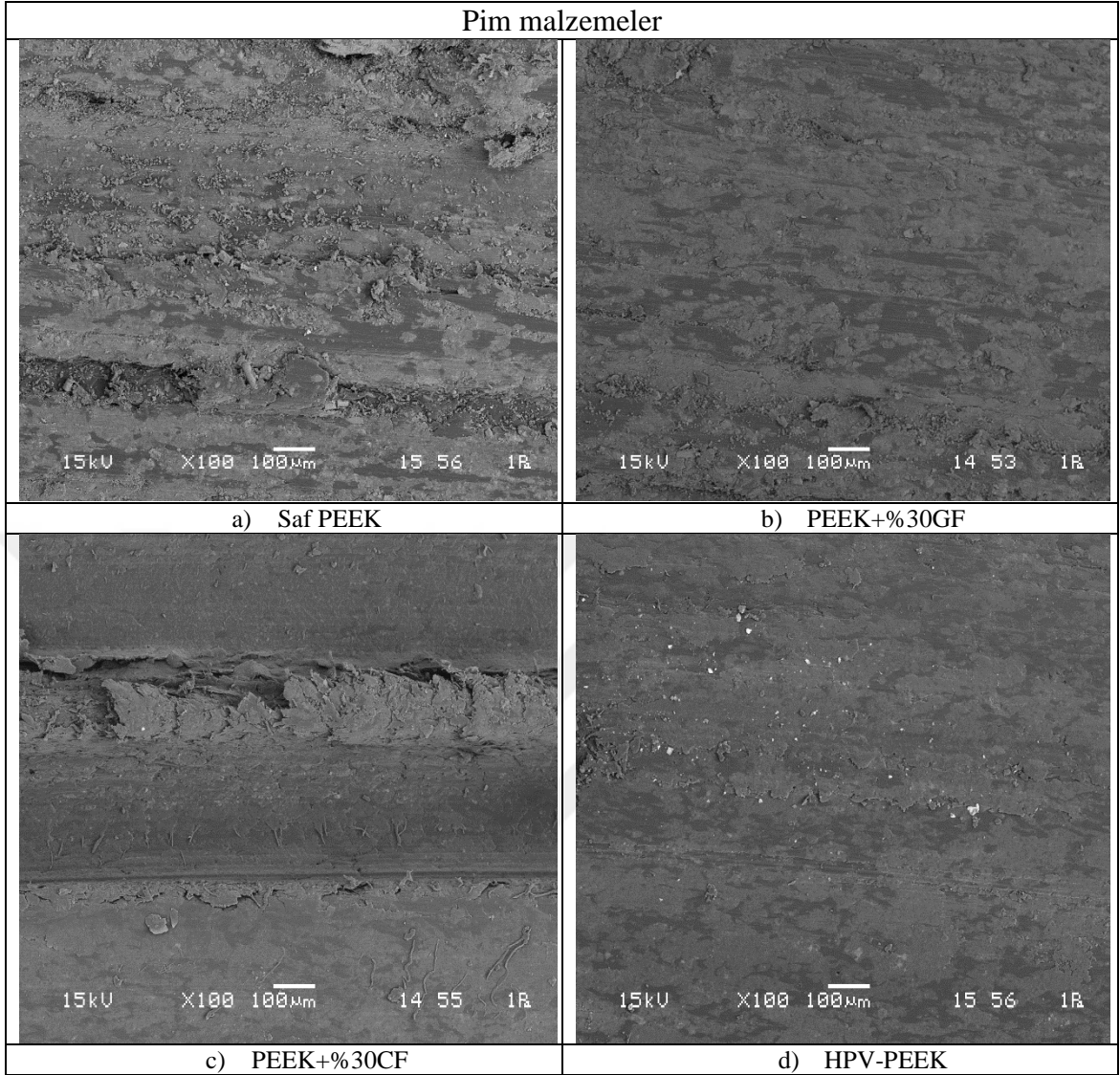
**5.2.5. PEEK ve PEEK kompozitlerin aşınma yüzeylerinin alüminyum malzemeye karşı taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikro yapı incelemeleri**



Şekil 5.70: PEEK ve PEEK kompozitlerin farklı hızlardaki spesifik aşınma oranı(Hız:1m/s, Yük:150N).

Taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri Şekil 5.70' de verilen malzemelerden saf PEEK, %30 cam fiber takviyeliPEEKve%30 karbon fiber takviyeliPEEKmalzemelerinde abrazif aşınma gözlenirken, HPV-PEEK malzemelerinde adhezif aşınma meydana geldiği görülmektedir.

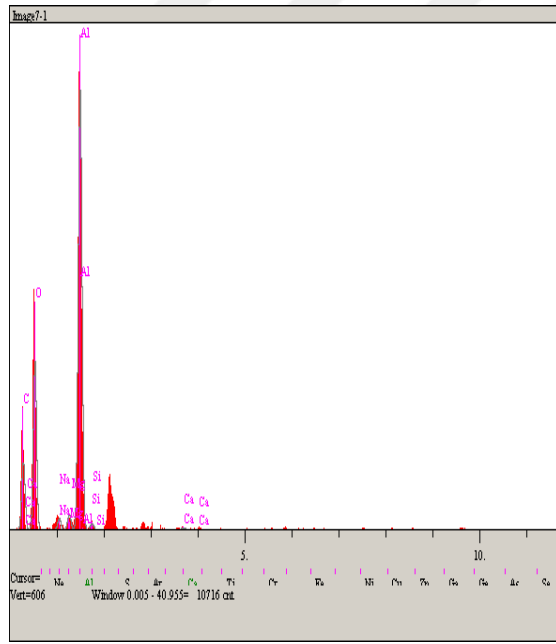
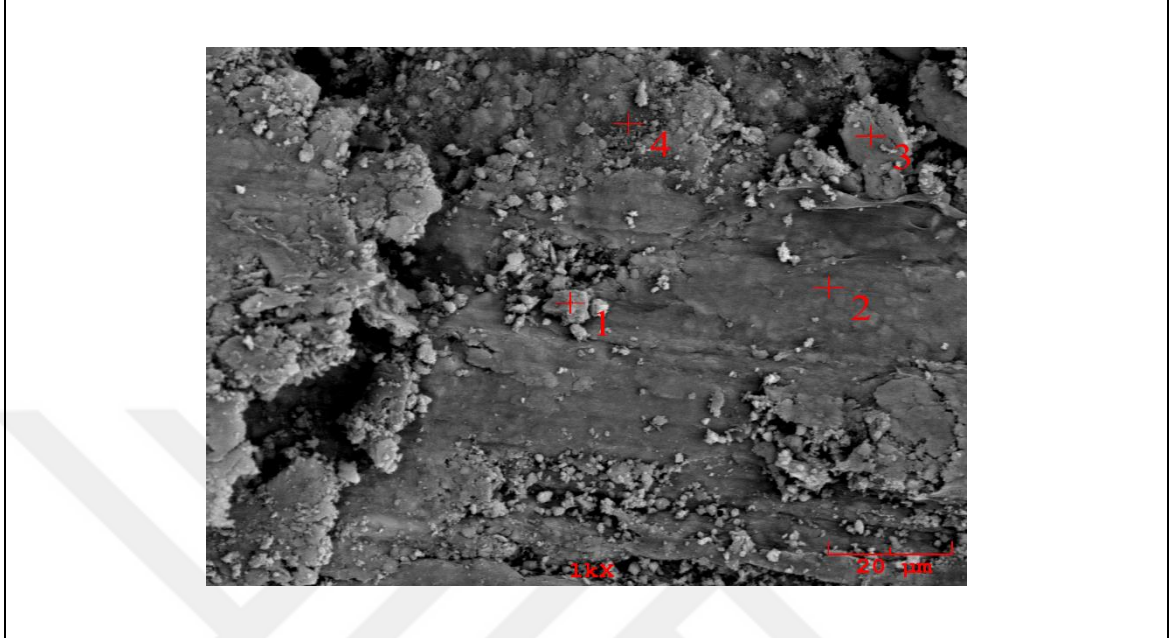




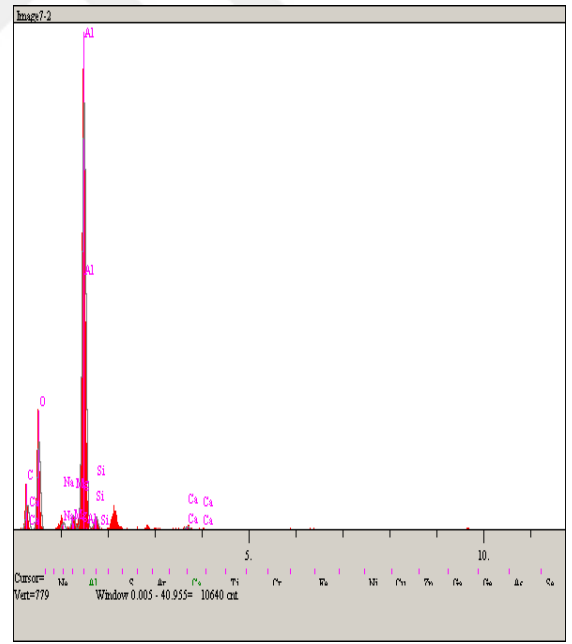
Şekil 5.71: PEEK ve PEEK kompozitlerin farklı hızlardaki spesifik aşınma oranı (Hız:4m/s, Yük:150N).

Şekil 5.71 incelendiğinde saf PEEK ve, %30 karbon fiber takviyeli PEEKmalzemelerinde abraziv aşınma meydana geldiği görülürken, %30 cam fiber takviyeliPEEKve HPV-PEEKmalzemelerinde adheziv aşınma görülmektedir. Yani saf PEEK ve karbon fiber takviyeli PEEK kompoziti aşınma yüzeylerinde daha fazla plastik deformasyon ve derin aşınma izleri görülürken, cam fiber takviyeli PEEK ile HPV-PEEK malzemelerinde daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir.

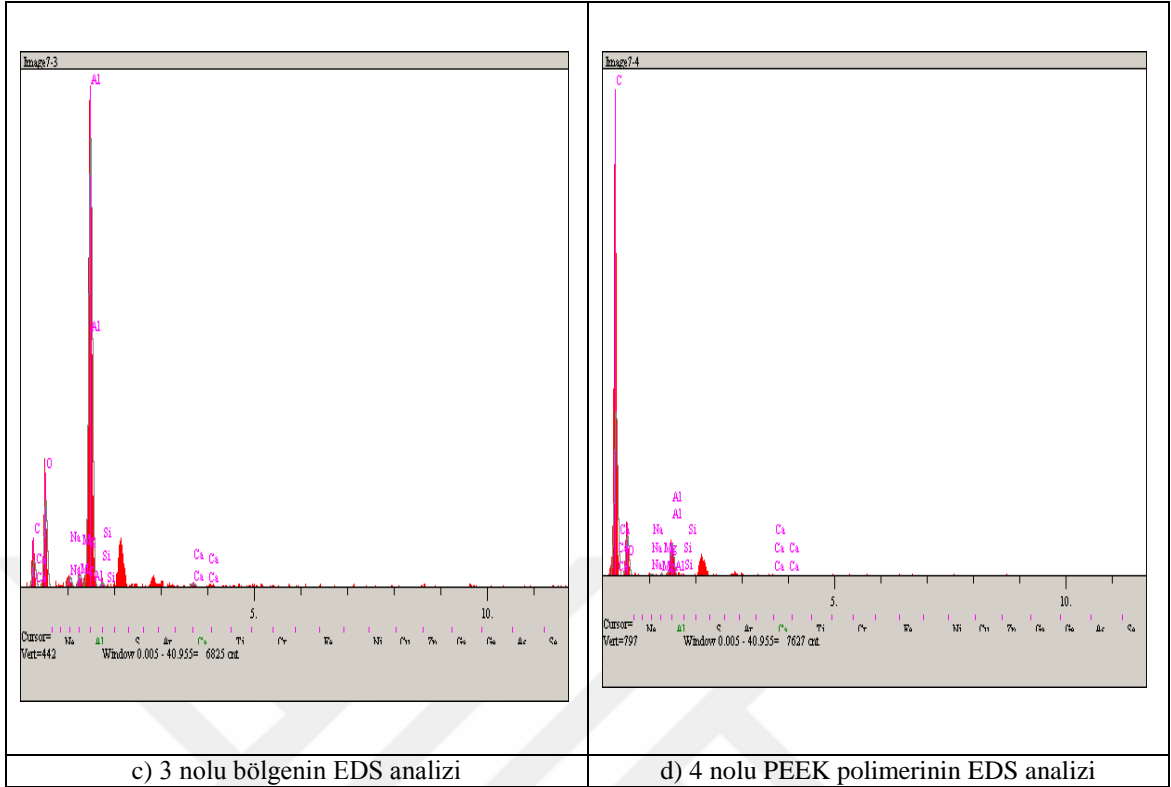
**5.2.6. PEEK ve PEEK kompozitlerin aşınma yüzeylerinin EDS analizi**  
**(Karşı malzeme: Alüminyum disk)**



a) 1 nolu bölgenin EDS analizi



b) 2 nolu PEEK polimerinin EDS analizi

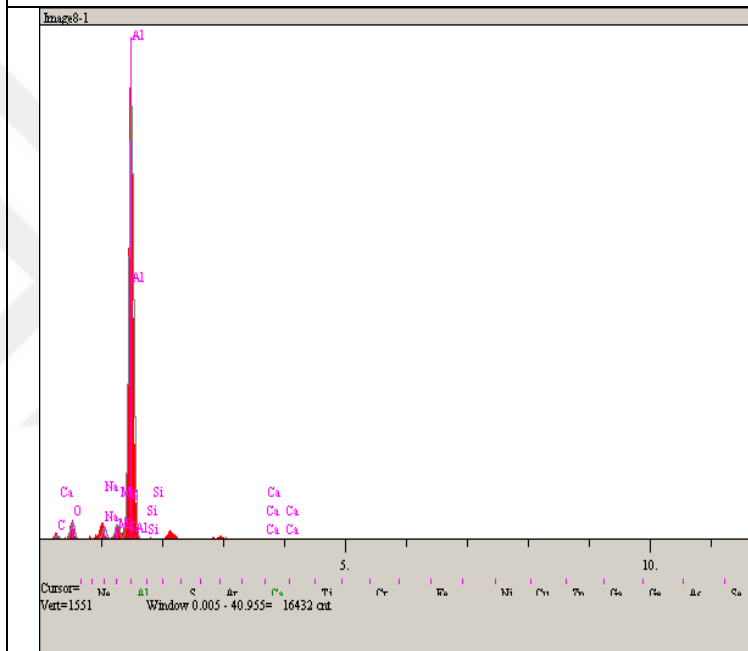
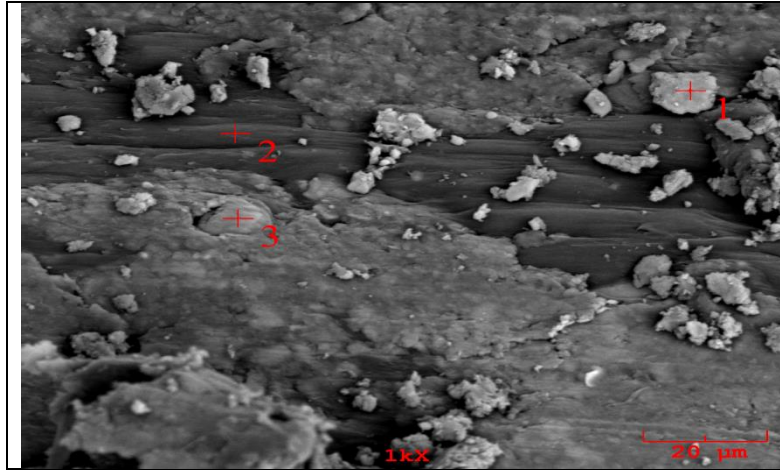


Şekil 5.72 a, b, c, d : PEEK polimerinin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü EDS analizi (Alüminyum disk, Hız:1 m/s, Yük: 150N).

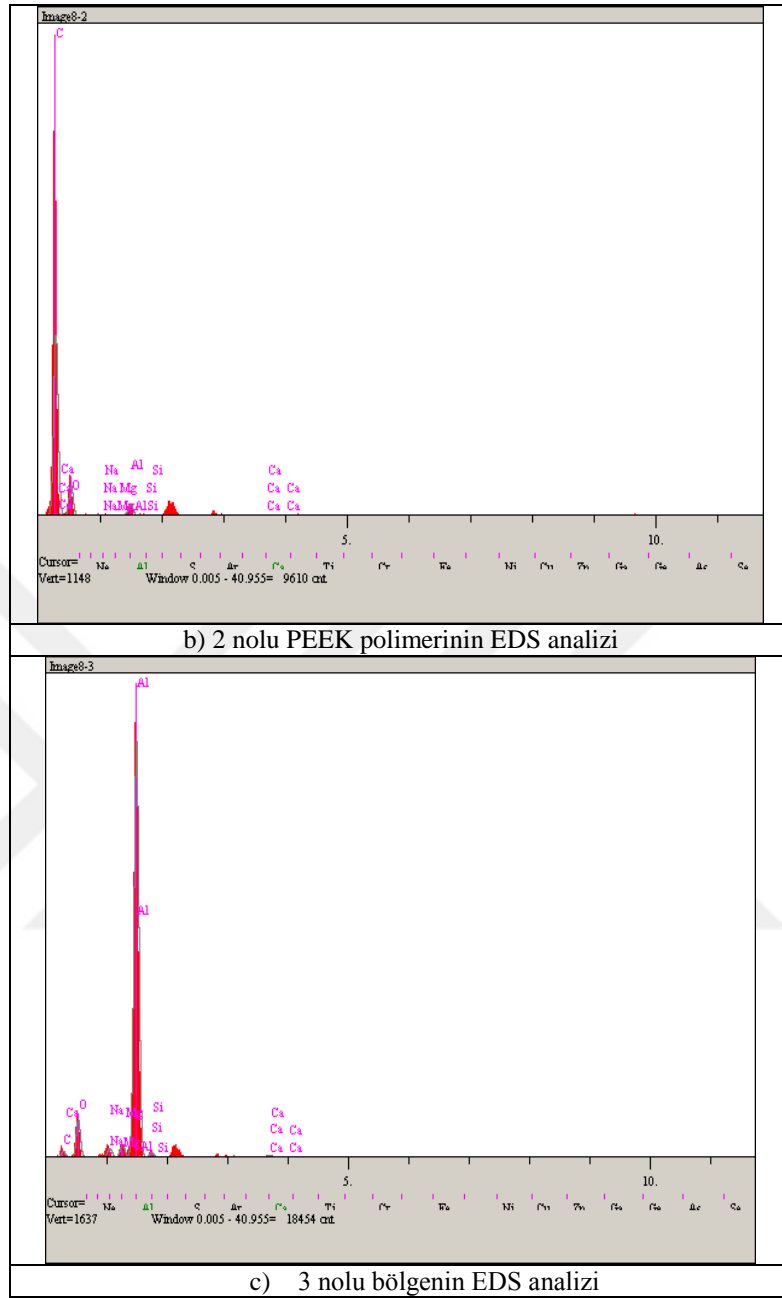
Tablo 5.4: PEEK polimerinin Şekil 5.72'de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları(%).

Nokta	C	O	Si	Al
1	29.794	41.679	0.518	25.821
2	24.402	34.096	1.808	37.023
3	24.923	33.231	0.616	38.233
4	59.387	35.187	4.463	0.183

Şekil 5.72 a, b, c, d' de 1, 2, ve 3 numaralı bölgelerin EDS analizinde alüminyum elementinin etkin olduğu görülmektedir. Bu da alüminyum disk ve PEEK polimeri arasındaki sürtünmeden dolayı alüminyum disk üzerinden kopan alüminyum partiküllerinin polimer malzeme yüzeyine yapışması olarak açıklanabilir. Şekil 5.72 d' de ise 4 numaralı PEEK polimerinin EDS analizinde görülen karbon elementinin polimerin ana matrisi olduğunu göstermektedir.



a) 1 nolu bölgenin EDS analizi

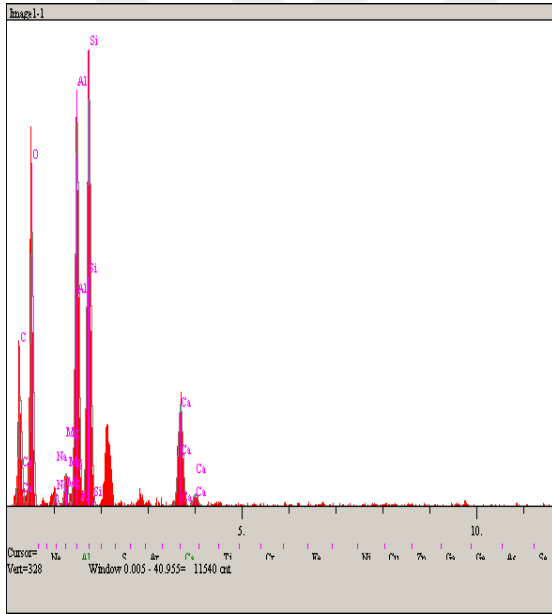
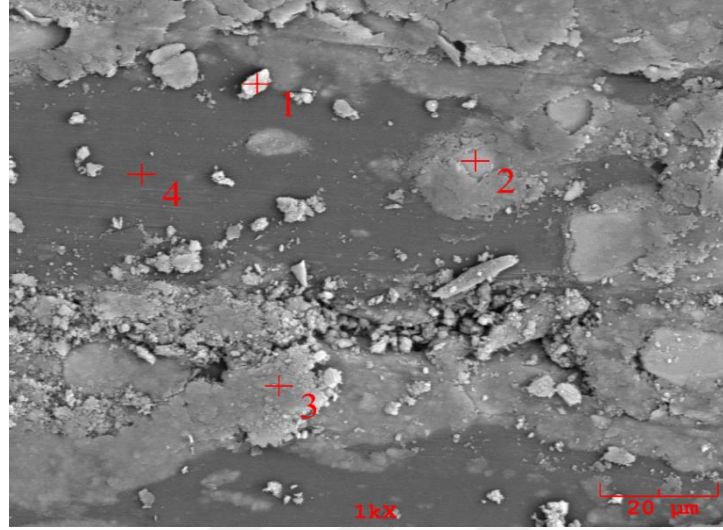


Şekil 5.73 a, b, c: PEEK polimerinin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü EDS analizi(Alüminyum disk, Hız:4 m/s, Yük: 150N).

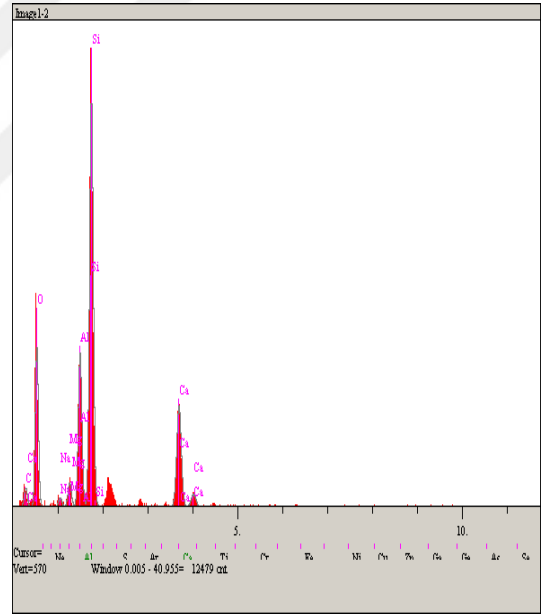
Şekil 5.73 a, c' de 1ve 3 numaralı bölgelerin EDS analizinde alüminyum elementinin etkin olduğu görülmektedir. Bu da alüminyum disk ve PEEK polimeri arasındaki sürtünmeden dolayı alüminyum disk üzerinden kopan alüminyum partiküllerinin polimer malzeme yüzeyine yapışması olarak açıklanabilir. Şekil 5.72 b' de 2 numaralı PEEK polimerinin EDS analizinde görülen karbon elementinin polimerin ana matrisi olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.5: PEEK polimerinin Şekil 5.73'te belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları (%).

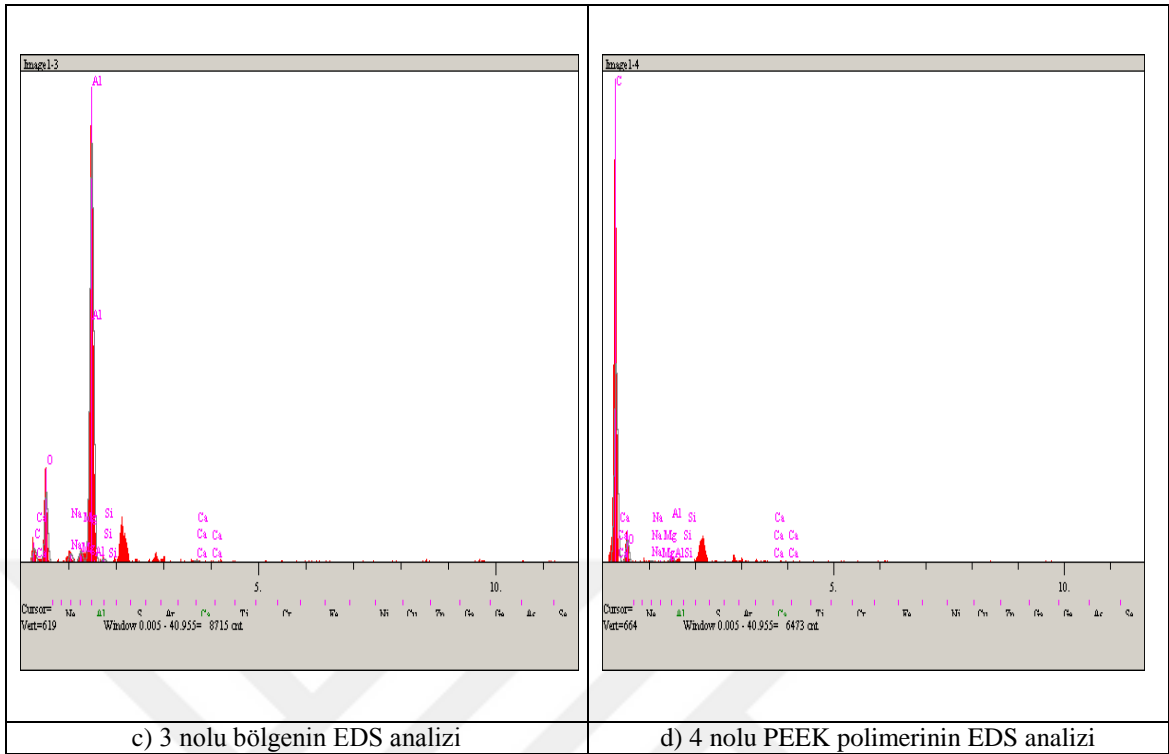
Nokta	C	O	Si	Al
1	13.446	13.447	0.168	68.502
2	64.275	33.569	-	1.814
3	14.424	23.144	1.372	57.174



a) 1 nolu bölgenin EDS analizi



b) 2 nolu cam fiberin EDS analizi



Şekil 5.74: PEEK+%30GF kompozitin aşınma yüzeyinin SEM ve EDS analizi (Alüminyum disk Hız:1 m/s, Yük: 150N).

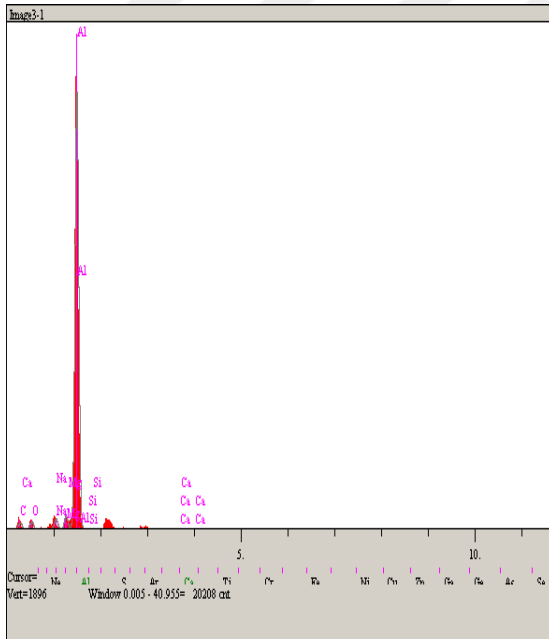
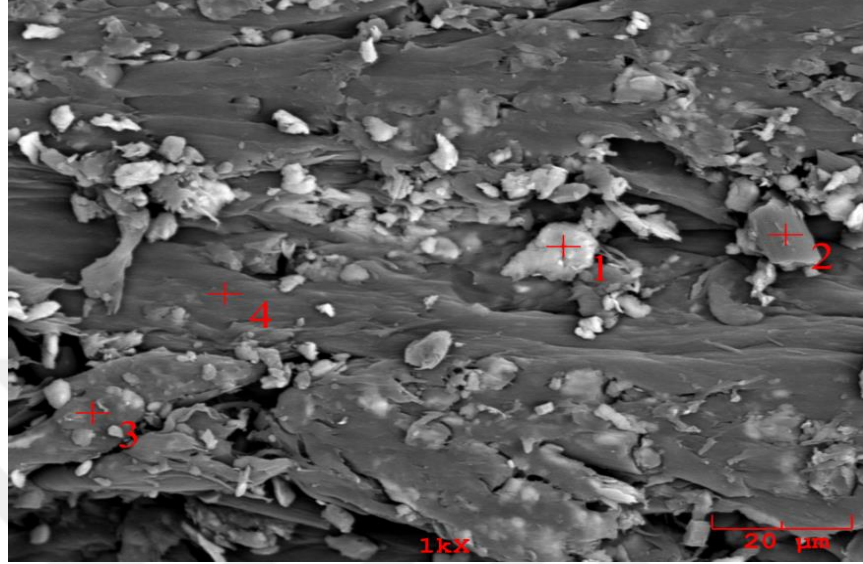
Tablo 5.6: PEEK+%30GF kompozitine ait Şekil 5.74’de belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları(%).

Nokta	C	O	Si	Al
1	27.656	40.571	13.900	11.734
2	12.134	42.478	25.474	9.038
3	19.572	32.119	0.641	44.542
4	68.460	29.742	0.037	1.080

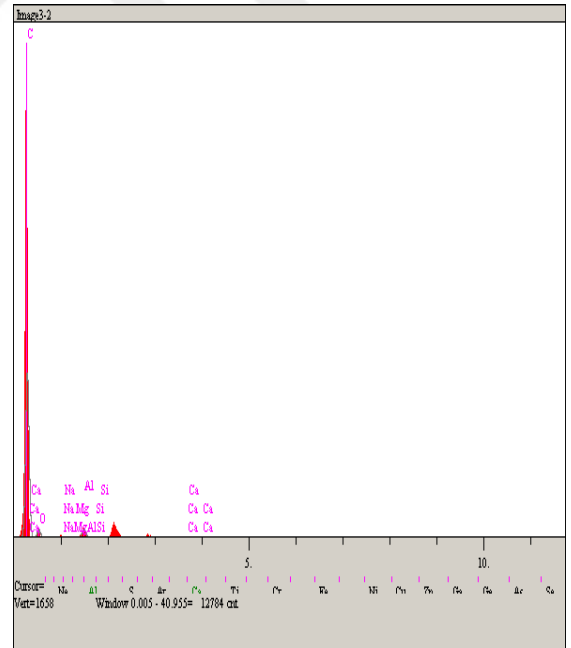
Şekil 5.74 a, b, c, d’ de cam fiber takviyeli PEEK kompozitin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve EDS analizi verilmiştir. Şekil 5.74 a’ da 1 numaralı bölgenin EDS analizinde görülen silisyum elementinin cam fiber katkısının olduğunu alüminyum elementinin ise cam fiber üzerine alüminyum disk yüzeyinden yapışan partikül olduğu düşünülmektedir.Şekil 5.74 b’ de 2 numaralı katkının EDS analizinde tespit edilen silisyum elementinincam fiber katkısını açıklamaktadır.Şekil 5.74 c’ de 3 numaralı bölgenin EDS analizinde görülen alüminyum elementinin alüminyum disk yüzeyinden polimer malzeme yüzeyine yapıştığını göstermektedir. Şekil 5.74 d’ de 4 numaralı



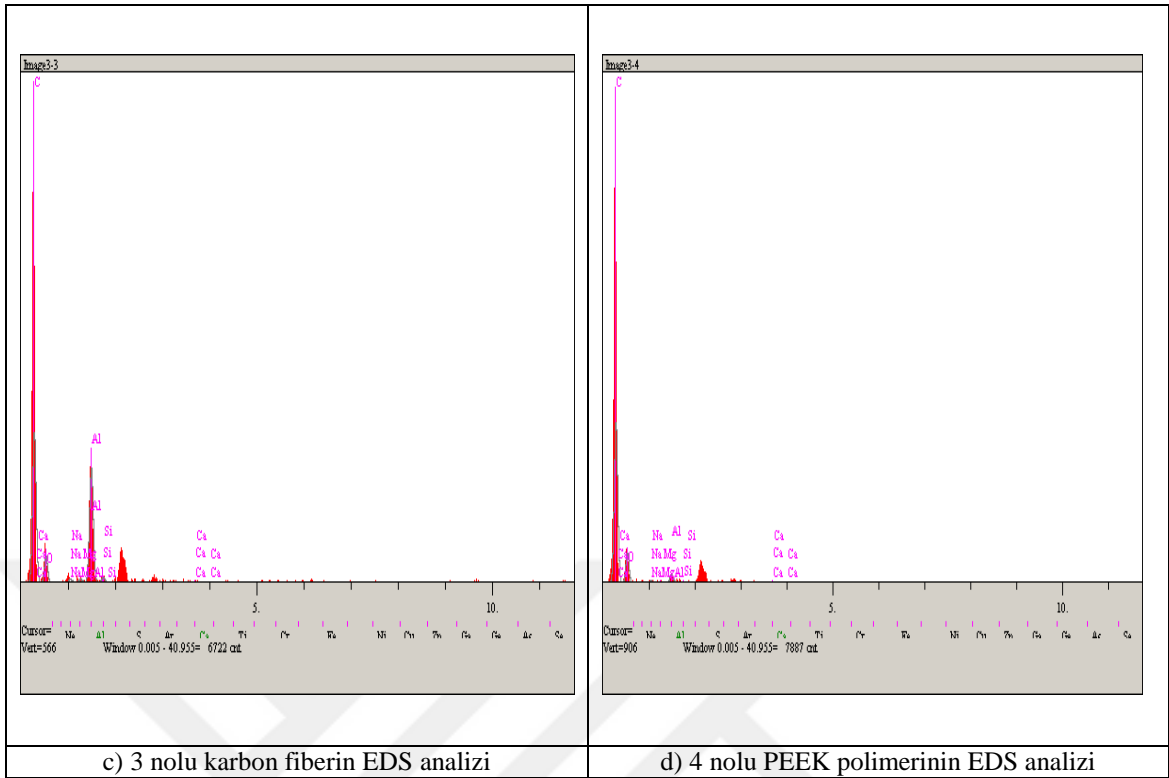
PEEK polimeri EDS analizinde gözlenen karbon elementinin polimer ana matrisi olduğu belirlenmiştir.



a) 1 nolu bölgenin EDS analizi



b) 2 nolu karbon fiberin EDS analizi

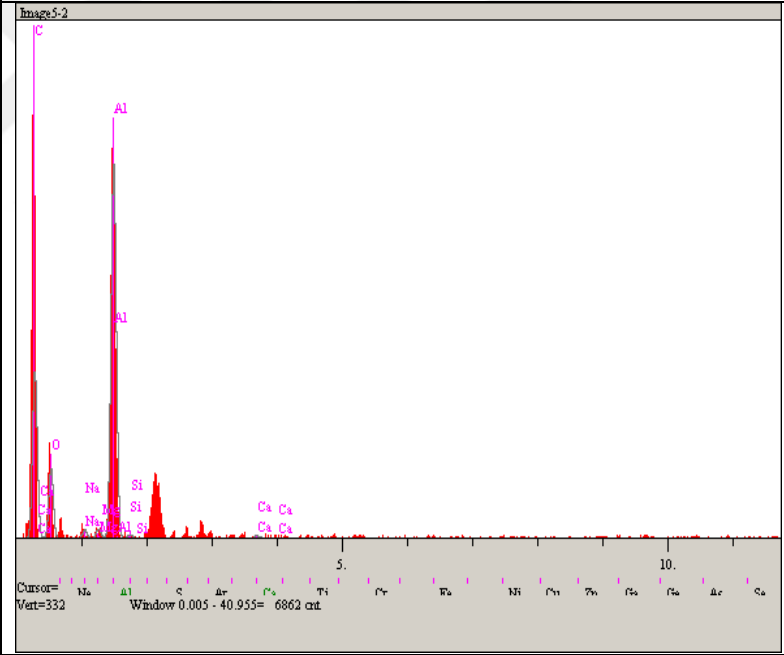
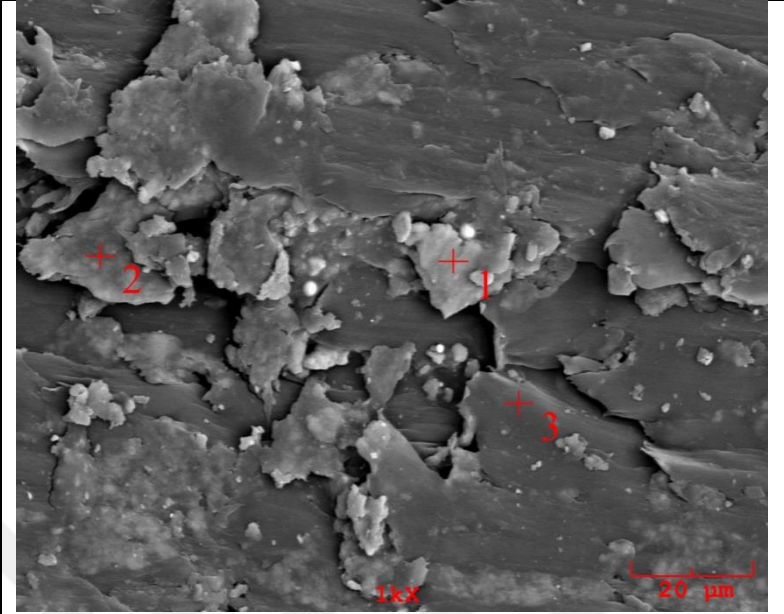


Şekil 5.75: PEEK+%30CF kompozitin aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü ve EDS analizi (Alüminyum disk, Hız: 1 m/s, Yük: 150N).

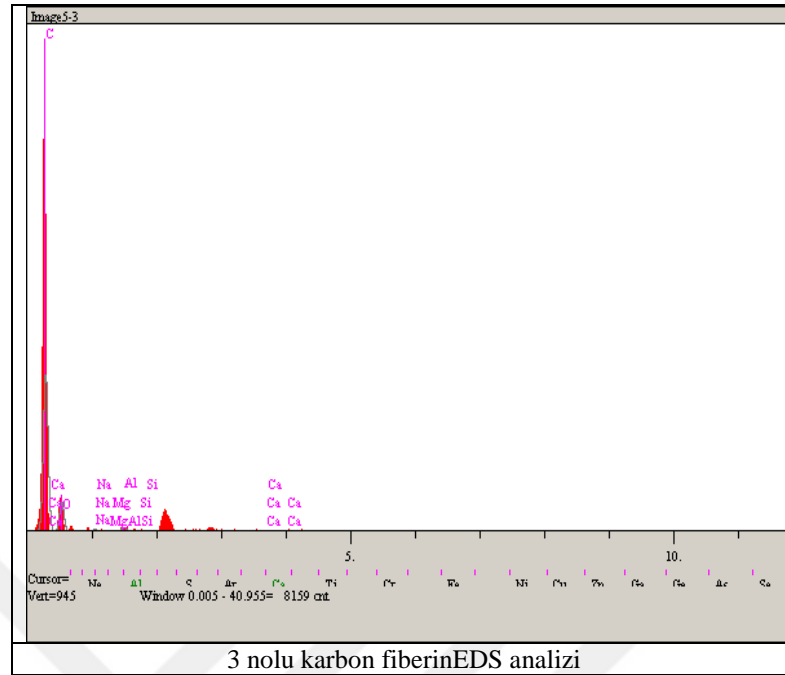
Şekil 5.75 a, b, c, d' de karbon fiber takviyeli PEEK kompozitin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve EDS analizi verilmiştir. Şekil 5.75 a' da 1 numaralı bölgenin EDS analizinde görülen alüminyum elementinin alüminyum disk yüzeyinden yapışan partikül olduğunu göstermektedir. Şekil 5.75 b, c' de 2 ve 3 numaralı katkıların EDS analizinde tespit edilen karbon elementinin karbon fiber katkısı olduğunu göstermektedir. Şekil 5.75 d' de 4 numaralı PEEK polimeri EDS analizinde gözlenen karbon elementinin polimer ana matrisi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.7: PEEK+%30CF kompozitine ait Şekil 5.76' da belirtilen noktalardan yapılan EDS analiz sonuçları(%).

Nokta	C	O	Si	Al
1	22.705	6.977	0.202	66.304
2	80.273	17.071	0.240	1.887
3	64.760	21.711	0.602	11.897
4	62.217	35.678	0.108	1.331



2 noluPEEK polimerinin EDS analizi



Şekil 5.76 a, b: HPV-PEEK kompozitin aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü ve EDS analizi (Alüminyum disk, Hız: 1 m/s, Yük: 150N).

Tablo 5.8 : HPV-PEEK kompozitine ait Şekil 5.78'de belirtilen noktalardan yapılan analiz sonuçları(%).

EDS

Nokta	C	O	Si	Al
2	52.697	25.596	0.232	20.021
3	62.017	36.618	0.124	0.735

Şekil 5.76 a, b' de HPV-PEEK kompozitin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve EDS analizi verilmiştir. Şekil 5.75 a' da 2 numaralı bölgenin EDS analizinde görülen karbon elementinin PEEK polimeri ana matrisi ve alüminyum elementinin alüminyum disk yüzeyinden yapışan partikül olduğunu göstermektedir. Şekil 5.75 b' de 3 numaralı katkının EDS analizinde tespit edilen karbon elementinin karbon fiber katkısı olduğunu kanıtlamaktadır.

## **BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER**

### **6.1. Sonuçlar**

Yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Yapılan deneylerde ortalama en az aşınma oranı elde edilen malzeme HPV-PEEK kompoziti olmuştur. En fazla aşınan malzeme ise PEEK polimeridir. Aynı zamanda HPV-PEEK kompoziti(karbon fiber ve teflon takviyeli) saf PEEK polimerine kıyasla aşınma oranı ortalama yaklaşık %50 oranında azalırken, % 30 karbon fiber takviyeli PEEK kompozitinde %40 ve % 30 cam fiber takviyeli PEEK kompozitinde ise yaklaşık %20-30 oranında azalma tespit edilmiştir.

Çelik diske karşı yapılan deneylerde en yüksek sürtünme katsayısı değeri saf PEEK polimerine ait olduğu tespit edilirken düşük sürtünme katsayısı ise HPV-PEEK kompozitine ait olduğu tespit edilmiştir. Saf PEEK polimerine göre sürtünme katsayısı HPV-PEEK kompozitinde yaklaşık %60 oranında azaldığı tespit edilmiştir. % 30 karbon fiber takviyeli PEEK polimer kompoziti sürtünme katsayısı saf PEEK polimerine kıyasla yaklaşık %50 oranında azalırken, 30 cam fiber takviyeli PEEK polimer kompozitinde yaklaşık %30 oranında azaldığı görülmüştür.

Çalışmada kayma hızının 0.5 m/s' den 5 m/s' ye artmasıyla birlikte karşı malzeme çelik disk olduğunda deneyde kullanılan polimer kompozitlerin sıcaklıkları artış göstermiştir. Aynı zamanda disk sıcaklığı da artmıştır. Bu durumun malzemelerin daha hızlı yumuşamasına ve karşı disk yüzeyinde bir transfer film tabakası oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Oluşan bu film tabakasının, sürtünmeyi azaltmasından dolayı sürtünme katsayısı da azalmış aynı zamanda aşınma oranının da azalmasına sebep olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada 50, 100, 150 ve 250 N uygulama yükleri kullanılmıştır. Karşı malzeme olarak çelik disk kullanıldığında, yük artmasıyla disk ve polimer kompozitlerin sıcaklıkları artmıştır. Yaşanan bu sıcaklık artışının aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerinin azalmasına sebep olduğu tespit edilmiştir.

Saf PEEK polimerinde katkı olarak kullanılan karbon fiber, cam fiber ve teflon malzemeleri PEEK polimerinin mukavemetini artmıştır. Özellikle karbon fiber sağladığı kayganlık ve dayanım sayesinde içerisinde bulunduğu HPV-PEEK ve %30 karbon fiber katkılı PEEK polimer kompozitlerinin aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerini azalttığı karşı malzeme çelik disk ve alüminyum diskin ikisinde de tespit edilmiştir.

Aşındırıcı malzeme açısından bakıldığında deneyde kullanılan malzemeler çelik disk malzemesine karşı daha düşük aşınma oranı değerlerini kaydetmişlerdir. Alüminyum disk malzemesi ise çelik malzemesine kıyasla daha fazla aşındırıcı etki göstermiştir.

Sürtünme katsayısı açısından bakıldığında alüminyum malzemesine karşı kullanılan deney numuneleri çelik malzemeye kıyasla daha yüksek sürtünme katsayısı değerlerine ulaşmışlardır.

Yapılan deneylerde alüminyum diske karşı en az aşınma oranı elde edilen malzeme HPV-PEEK polimer kompoziti olmuştur. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri en yüksek malzeme ise saf PEEK polimeri olduğu tespit edilmiştir. HPV-PEEK kompoziti aşınma oranı saf PEEK polimerine kıyasla ortalama yaklaşık %90 oranında azalma göstermiştir. %30 karbon fiber takviyeli PEEK polimer kompozitinde ortalama aşınma oranı saf PEEK polimerine kıyasla yaklaşık %70 oranında azalırken, %30 cam fiber takviyeli PEEK polimer kompozitinde bu oran yaklaşık olarak %60 seviyelerinde gerçekleşmiştir.

Alüminyum disk karşı malzemesi ile sürtünme katsayısı değeri en yüksek malzeme saf PEEK polimeri olduğu tespit edilirken, en düşük sürtünme katsayısı değerine HPV-PEEK polimer kompozitine ait olduğu gözlenmiştir. HPV-PEEK polimer kompoziti ortalama sürtünme katsayısı saf PEEK polimerine kıyasla yaklaşık olarak %40 oranında azaldığı tespit edilmiştir. %30 karbon fiber takviyeli PEEK polimer kompoziti ortalama

sürtünme katsayısı yaklaşık olarak %30 oranında azalırken %30 cam fiber takviyeli PEEK polimer kompozitinde ortalama sürtünme katsayısı yaklaşık %10 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Kayma hızı 0.5 m/s'den 5 m/s' ye arttığında alüminyum disk karşı malzemesi kullanıldığında polimer kompozitlerin sıcaklıkları artış göstermiştir. Aynı zamanda alüminyum disk sıcaklığı da artmıştır. Alüminyum malzemesinin termal iletkenliğinin çeliğe kıyasla daha yüksek olması, karşı disk yüzeyinde daha hızlı şekilde bir transfer film tabakası oluşmasına neden olmuştur. Transfer film tabakasının, sürtünmeyi azaltmasından dolayı sürtünme katsayısı da azalmış aynı zamanda aşınma oranının da azalmasına sebep olduğu gözlenmiştir.

Karşı malzeme alüminyum disk olduğunda yükün 50 N' dan 250 N' a artmasıyla birlikte deney numunelerinin ve alüminyum diskin sıcaklığı da artmıştır. Bu sıcaklık artışının aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerinin azalmasına etken olduğu söylenebilir.

Yapılan tüm deneylerde karşı malzeme olarak kullanılan çelik disk ve alüminyum diske en yüksek aşınma direnci gösteren malzeme HPV-PEEK kompoziti olmuştur. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri kullanılan diğer malzemelere oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. HPV-PEEK kompoziti saf PEEK polimerine kıyasla yaklaşık olarak %50 daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu gözlenmiştir.

Maliyet olarak bakıldığında HPV-PEEK kompoziti saf PEEK polimerine kıyasla kg birim fiyatı üzerinden 3 kat daha pahalıdır. % 30 karbon fiber takviyeli PEEK kompoziti kg başına yaklaşık 2 kat pahalı iken % 30 cam fiber takviyeli PEEK kompoziti kg başına yaklaşık olarak 1.5 kat pahalıdır.

## **6.2. Öneriler**

Yapılan aşınma ve sürtünme deneylerinde disk olarak 52100 çelik ve 7075 alüminyum disk kullanılmıştır. Farklı disk malzemeleri kullanılarak (çelik/polimer/seramik, kaplama) aşınma ve sürtünme deneyleri gerçekleştirilebilir.

Deneyleerde kullanılan saf PEEK, karbon fiber takviyeli PEEK, cam fiber takviyeli PEEK ve HPV-PEEK kompozitlerinin aşınma ve sürtünme deneyleeri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Farklı ortam şartlarında, düşük veya yüksek sıcaklıklarda, aynı zamanda farklı nem ortamlarında da gerçekleştirilebilir.

Deneyleerde 0.5, 1, 2, 3, 4 ve 5 m/s kayma hızları kullanılmıştır. Bu hız değerleri arttırılarak, daha yüksek hızlarda aşınma ve sürtünme testleri uygulanabilir.





## KAYNAKLAR

- [1] Zhang G., Liao H., Lia H., Mateus C., Bordes J.-M., Coddet C. (2006). On dry sliding friction and wear behaviour of PEEK and PEEK/SiC-composite coatings. *Wear*, 260, 594–600.
- [2] Yamamoto Y. and Hashimoto M. (2004). Friction and wear of water lubricated PEEK and PPS sliding contacts Part 2. Composites with carbon or glass fibre. *Wear*, 257, 181–189.
- [3] Greco A.C., Erck R., Ajayi O., Fenske G. (2011). Effect of reinforcement morphology on high-speed sliding friction and wear of PEEK polymers. *Wear*, 271, 2222–2229.
- [4] Lin L., Pei X.-Q., Bennewitz R., Schlarb A. K. (2018). Friction and wear of PEEK in continuous sliding and unidirectional scratch tests. *Tribology International*, 122, 108–113.
- [5] Theiler G. And Gradt T. (2010). Friction and wear of PEEK composites in vacuum environment. *Wear*, 269, 278–284.
- [6] Rodriguez V., Sukumaran J., Schlarb A.K., DeBaets P.(2016). Reciprocating sliding wear behaviour of PEEK-based hybrid composites. *Wear*, 362-363, 161–169.
- [7] Gao C., Fan S., Zhang S., Zhang P., Wang Q.(2018). Enhancement of tribofilm formation from water lubricated PEEK composites by copper nanowires. *Applied Surface Science*, 444, 364–376.
- [8] Lu Z.P., Friedrich K.(1995). On sliding friction and wear of PEEK. *Wear*, 181-183, 624-631.
- [9] Sukumaran J., DePauw J., Neis P.D., Tóth L.F., DeBaets P.(2017). Revisiting polymer tribology for heavy duty application. *Wear*, 376-377, 1321–1332.
- [10] Nunez E. E., Gheisari R., Polycarpou A.A.(2019). Tribology review of blended bulk polymers and their coatings for high-load bearing applications. *Tribology International*, 129, 92–111.
- [11] Friedrich K.(2018). Polymer composites for tribological applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 1, 3-39.
- [12] Friedrich K., Lu Z., Hager A.M. (1995). Recent advances in polymer composites tribology. *Wear*, 190, 139-144.
- [13] Saravanan P., Satyanarayana N., Siong P.C., Duong H. M. and Sinha S.K. (2013). Tribology of self-lubricating SU-8+PFPE composite based Lub-tape. *Procedia Engineering*, 68, 497 – 504.

- [14] Briscoe B.J., Sinha S.K.(2013). Tribological applications of polymers and their composites past, present and future prospects, *Tribology of Polymeric Nanocomposites*, 1, 1-20.
- [15] Laux K.A., Jean-Fulcrand A., Sue H.J., Bremner T., Wong J.S.S.(2016). The influence of surface properties on sliding contact temperature and friction for polyetheretherketone (PEEK).*Polymer*, 103, 397-404.
- [16] Zhao X., Xiong D., Wu X.(2017). Effects of Surface Oxidation Treatment of Carbon Fibers on Biotribological Properties of CF/PEEK Materials.*Journal of Bionic Engineering*, 14, 640–647.
- [17] Tharajak J., Palathai T., Sombatsompop N.(2017). Recommendations for h-BN loading and service temperature to achieve low friction coefficient and wear rate for thermal-sprayed PEEK coatings.*Surface & Coatings Technology*, 321, 477–483.
- [18] Sumer M., Unal H., Mimaroglu A.(2008). Evaluation of tribological behaviour of PEEK and glass fibre reinforced PEEK composite under dry sliding and water lubricated conditions.*Wear*, 265, 1061–1065.
- [19] Zhang G., Rasheva Z., Schlarb A.K.(2010). Friction and wear variations of short carbon fiber (SCF)/PTFE/graphite (10 vol.%) filled PEEK: Effects of fiber orientation and nominal contact pressure.*Wear*, 268, 893–899.
- [20] Flöck J., Friedrich K., Yuan Q. (1999). On the friction and wear behaviour of PAN- and pitch-carbon fiber reinforced PEEK composites. *Wear*, 225–229, 304–311.
- [21] Chen B., Wang J., Yan F. (2012). Comparative investigation on the tribological behaviors of CF/PEEK composites under sea water lubrication.*Tribology International*, 52, 170–177.
- [22] Qiao H.B., Guo Q., Tian A.G., Pan G.L., Xu L.B.(2007). A study on friction and wear characteristics of nanometer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> /PEEK composites under the dry sliding condition.*Tribology International*, 40, 105–110.
- [23] Elliott D.M., Fisher J., Clark D.T.(1998). Effect of counterface roughness and its evolution on the wear and friction of PEEK and PEEK-bonded carbon fiber composites on stainless steel.*Wear*, 217, 288-296.
- [24] Davim J.P. and Cardoso R.(2009). Effect of the reinforcement (carbon or glass fibres) on friction and wear behaviour of the PEEK against steel surface at long dry sliding.*Wear*, 266, 795–799.
- [25] Vail J.R., Krick B.A., Marchman K.R., Sawyer W.G. (2011). Polytetrafluoroethylene (PTFE) fiber reinforced polyetheretherketone (PEEK) composites.*Wear*, 270, 737–741.
- [26] Akpan E.I., Wetzal B., Friedrich K.(2018). A fully biobased tribology material based on acrylic resin and short wood fibres.*Tribology International*, 120, 381–390.
- [27] Li E.Z., Guo W.L., Wang H.D., Xu B.S., Liu X.T.(2013). Research on Tribological Behavior of PEEK and Glass Fiber Reinforced PEEK Composite, *Physics Procedia*, 50, 453–460.

- [28] Wang H., Zhang S., Wang G., Yang S., Zhu Y.(2013). Tribological behaviors of hierarchical porous PEEK composites with mesoporous titanium oxide whisker.*Wear*, 297, 736–741.
- [29] Burris D.L. and Sawyer W.G.(2007). Tribological behavior of PEEK components with compositionally graded PEEK/PTFE surfaces.*Wear*, 262, 220–224.
- [30] Sharma M., Bijwe J., Mitschang P.(2011). Wear performance of PEEK–carbon fabric composites with strengthened fiber–matrix interface.*Wear*, 271, 2261–2268.
- [31] Lin L. and Schlarb A.K.(2016). Effect of the varied load conditions on the tribological performance and the thermal characteristics of PEEK-based hybrid composites.*Tribology International*, 101, 218–225.
- [32] Song J., Liu Y., Liao Z., Wang S., Tyagi R., Liu W.(2016). Wear studies on ZrO<sub>2</sub>-filled PEEK as coating bearing materials for artificial cervical discs of Ti6Al4V.*Materials Science and Engineering*, 69, 985–994.
- [33] Zalaznik M., Kalin M., Novak S.(2016). Influence of the processing temperature on the tribological and mechanical properties of poly-ether-ether-ketone (PEEK) polymer.*Tribology International*, 94, 92–97.
- [34] Kurdi A., Wang H., Chang L.(2018). Effect of nano-sized TiO<sub>2</sub> addition on tribological behaviour of poly ether ether ketone composite.*Tribology International*, 117, 225–235.
- [35] Akagaki T, Nakamura T, Hashimoto Y. and Kawabata M. (2017). Effects of Material Combinations on Friction and Wear of PEEK/Steel Pairs under Oil-Lubricated Sliding Contacts.*Journal of Physics: Conf. Series*, 843, 01-2071.
- [36] Yamaguchi T. and Hokkirigawa K.(2016). Friction and Wear Properties of PEEK Resin Filled with RB Ceramics Particles under Water Lubricated Condition.*Tribology Online*, 11, 6, 653-660.
- [37] Jean-Fulcrand A., Masen M.A., Bremner T., Wong J.S.S.(2017). High temperature tribological properties of polybenzimidazole (PBI).*Polymer*, 128, 159-168.
- [38] Niemiec A. and Sokolska J.(2018). Study of PEEK as a friction lining concerning abrasion wear of parts of mining machines.*International Conference Engineering Machines*, 354, 601–604.
- [39] Lind J., Lindholm P., J. Qin and Rudolphi Å.K.(2015). Friction and wear studies of some PEEK materials.*Finnish Journal of Tribology*, 33, 20-28.
- [40] Karpe G.G., Dhamejani C.L.2016. Investigation of Tribological Behavior of PEEK Composite with Glass Fiber Filled under Harsh Operating Condition.*Ijariie*, 2(1), 271-279.
- [41] Fontoura de Andrade T., Wiebeck H. and Sinatora A.(2016). Effect of surface finishing on friction and wear of Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) under oil lubrication.*Polímeros*, 26(4), 336-342,
- [42] Petrica M., Duscher B., Koch T., Archodoulaki V.M.(2016). Studies on Tribological Behavior of PEEK and PE-UHMW.*American Institute of Physics Proceedings*, 1779, 70001(1-5).

- [43] Zsidai L. and Káta L.(2016), Abrasive Wear and Abrasion Testing of PA 6 and PEEK Composites in Small-Scale Model System.*Acta Polytechnica Hungarica*, 13(6), 193-214.
- [44] Kadu R.L., Karandikar P.M., Mankar N.A., Kharde R.R. (2016). Comparative study for Tribological Properties of PEEK with Filler Materials.*International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 33(2), 96-102.
- [45] Avanzini A., Donzella G., Mazzu A., Petrogalli C.(2013). Wear and rolling contact fatigue of PEEK and PEEK composites.*Tribology International*, 57, 22–30.
- [46] Pei X.and Friedrich K.(2012). Sliding wear properties of PEEK, PBI and PPP.*Wear*,274–275, 452–455.
- [47] Kurt, M.(2011).*Yüksek Performanslı Endüstriyel Termoplastiklerin Yüksek Sıcaklıklardaki Tribolojik Davranışları*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [48] Hatipoğlu, G.(2014). *Polifitalamid Kompozitlerin, Mekanik, Termal ve Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [49] Öztürk M.(2018). *Bor Minerali Atığı Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [50] Kalaycı, E. , Avinç O., Yavaş A.(2017). Polieter Eter Keton (PEEK) Lifleri. *Fen Bilimleri Dergisi*, 38(2), 168-186.
- [51] Safak, D.(2001).*Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarım Bakımından İncelenmesi ve Uygulamalı Tasarım Örneği*.(Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [52] YILMAZ, T.(2002). *PEEK (Poliethereterketon) ve Kompozitlerinde Kısa Fiber Takviyesi ve Mikro Yapının Tribolojik Özelliklere Etkisi*.(Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [53] Bağcı, M.(2010). *Cam Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi*. (Doktora Tezi).SelçukÜniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [54] Url-1 <<http://www.ktu.edu.tr> >, erişim tarihi 06.04.2019

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Harun GÜLER  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : Sakarya, 12.02.1987  
**E-posta** :harung021@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Öğretmenliği Bölümü
- **Lisans** :2016, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

## MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015 yılında C Sınıfı İş Güvenliği Sertifikası aldı.
- 2016-2018 yılları arasında İş Güvenliği Uzmanlığı yaptı.
- 2018 yılından itibaren Merkez Çelik A.Ş. firmasında Makine Mühendisi Olarak çalışmaktadır.

## YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Güler H., ve Unal H.**, 2019. Yüksek Performanslı Poli-Eter-Eter-Keton (PEEK) Polimerinin Farklı Kayma Hızlarındaki Aşınma ve Sürtünme Davranışlarının İncelenmesi.*Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, 26 – 28 Nisan 2019 Kocaeli, Türkiye.
- **Güler H., ve Unal H.**, 2019. Yüksek Performanslı Poli-Eter-Eter-Keton (PEEK) Polimerinin Farklı Kayma Hızlarındaki Aşınma ve Sürtünme Davranışlarının İncelenmesi.*Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar) 2019 Bildiriler Kitabı*, Cilt 2, 1147-1154.
- **Güler H., ve Unal H.**, 2019. Cam Elyaf Takviyeli Yüksek Performanslı Poli-Eter-Eter-Keton (CE/PEEK) Kompozitin Tribolojik Özelliklerine Kayma Hızının Etkisinin Belirlenmesi.*Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar) 2019 Bildiriler Kitabı*, Cilt 2, 1155-1161.