

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

**YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN (YYPE) ESASLI KOMPOZİTLERİN
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNE İLAVE EDİLEN FARKLI KATKI
MALZEMELERİN VE PROSES ŞARTLARININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KURT

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL

Eylül 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN (YYPE) ESASLI KOMPOZİTLERİN
TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNE İLAVE EDİLEN FARKLI KATKI
MALZEMELERİN VE PROSES ŞARTLARININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KURT

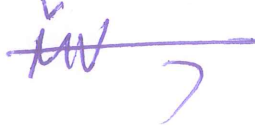
Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 26/09/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

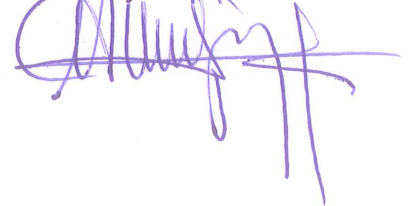
Prof.Dr. Fehim Fındık
Jüri Başkanı



Prof.Dr. Münir Taşdemir
Üye



Prof.Dr. Hüseyin Ünal
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.

Mehmet KURT

16.10.2017

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmasının yşrştşlmesi boyunca maddi ve manevi her zaman yanımda olan, her tşrlş bilgi, birikim ve tecrşbesinden faydalandığım, araştırma ve planlama aşamasında yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Hşseyin ŐNAL'a sonsuz teőekkřr ederim.

Deneysel alıőmalar sırasında yardımını, zamanını ve laboratuvar olanaklarının kullanılması konusunda destek olan Sn. Prof.Dr Mşnir TAŞDEMİR hocama teőekkřrlerimi sunarım. Ayrıca, tez çalıőmalarım boyunca yardımcı olan Metalurji ve Malzeme Mşhendisliği yşksek lisans őđrencisi Sn.Emre SAKA ve İmalat Mşhendisliği yşksek lisans őđrencisi Sn.Abdullah KOŐAR'a tez çalıőmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen bştşn arkadaőlarıma teőekkřr ederim.

Son olarak eğitim hayatım baőtta olmak ũzere her zaman desteklerini esirgemedен yanımda olan sevgili Babama, Anneme ve Ablama çok teőekkřrler eder, sonsuz őřkranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xvii
ÖZET	xviii
SUMMARY	xix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
AŞINMA.....	11
2.1. Aşınmanın Ekonomik Açıdan Önemi.....	12
2.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	12
2.3. Aşınma Çeşitleri.....	13
2.3.1. Adhesiv aşınma	13
2.3.2. Abrasiv aşınma	16
2.3.3. Erozyon aşınması.....	17
2.3.4. Koroziif aşınma.....	17
2.3.5. Püskürtme aşınması.....	18
2.3.6. Kavitasyon aşınması.....	18
2.3.7. Kayma aşınması.....	18

BÖLÜM 3.

DENEY MALZEMELERİ VE YÖNTEM.....	19
3.1. DeneYlerde Kullanılan Malzemeler	19
3.1.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE).....	21
3.1.1.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) özellikleri.....	22
3.1.2. Katkı maddeleri	24
3.1.2.1. Midye kabuğu tozu (MKT).....	25
3.1.2.2. Silisyum dioksit (SiO ₂).....	25
3.1.2.3. Çinko oksit (ZnO).....	26
3.1.2.4. Çinko borat (ZnBr).....	27
3.2. Aşınma Prosesi	28

BÖLÜM 4.

DENEYSSEL BULGULAR	32
4.1. Yapılan Çalışmaların Aşınma ve Sürtünme Analizleri	32
4.1.1. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitinin sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi	32
4.1.1.1. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yük ilişkisi.....	41
4.1.1.2. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi.....	44
4.1.2. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitinin aşınma oranına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi.....	47
4.1.2.1. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün etkisi.....	47
4.1.2.2. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitlerinin aşınma oranına kayma hızının etkisi.....	50
4.1.3. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitlerinin mikro yapı incelemeleri.....	53
4.1.4. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO ₂) kompozitinin sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi.....	54

4.1.4.1. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO_2) katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yük ilişkisi.....	62
4.1.4.2. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO_2) katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi.....	65
4.1.5. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO_2) kompozitinin aşınma oranına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi.....	68
4.1.5.1. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO_2) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün etkisi.....	68
4.1.5.2. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO_2) kompozitlerinin aşınma oranına kayma hızının etkisi.....	71
4.1.6. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO_2) kompozitlerinin mikro yapı incelemeleri.....	75
4.1.7. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) kompozitinin sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi.....	76
4.1.7.1. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yük ilişkisi.....	84
4.1.7.2. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi.....	87
4.1.8. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) kompozitinin aşınma oranına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi.....	90
4.1.8.1. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün etkisi.....	90
4.1.8.2. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) kompozitlerinin aşınma oranına kayma hızının etkisi.....	93
4.1.9. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) kompozitlerinin mikro yapı incelemeleri.....	97
4.1.10. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) kompozitinin sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi.....	98

4.1.10.1. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yük ilişkisi.....	106
4.1.10.2. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi.....	110
4.1.11. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) kompozitinin aşınma oranına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi.....	113
4.1.11.1. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün etkisi.....	114
4.1.11.2. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) kompozitlerinin aşınma oranına kayma hızının etkisi.....	115
4.1.12. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) kompozitlerinin mikro yapı incelemeleri.....	119
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	121
5.1. Sonuçlar.....	121
5.2. Öneriler.....	123
KAYNAKLAR	124
ÖZGEÇMİŞ	130

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: Amerikan ve Malzeme Testleri Derneği
Dev/dk	: Devir/dakika
DIN	: Alman Kalite Normu
h	: Saat
J	: Joule
m	: Metre
MPa	: Megapascal
MKT	: Midye kabuğu tozu
N	: Newton
Pa	: Pascal
SiO ₂	: Silisyum dioksit
Sn	: Saniye
µm	: Mikrometre
Wt	: Aşınma oranı
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
ZnO	: Çinko oksit
ZnBr	: Çinko borat

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Aşınmayı oluşturan aşamalar	11
Şekil 2.2.	Adhesiv aşınma görünümü	14
Şekil 2.3.	Adhesiv aşınmanın görülebileceği tribolojik sistemler	14
Şekil 2.4.	Adrasiv aşınma gösterimi	16
Şekil 3.1.	Plastik enjeksiyon makinası	20
Şekil 3.2.	YYPE polimerinin üretim aşamaları	22
Şekil 3.3.	Silisyum dioksit (SiO ₂) kimyasal yapısı	26
Şekil 3.4.	Çinko oksit (ZnO) kimyasal yapısı	27
Şekil 3.5.	Çinko boratın moleküler görünümü	27
Şekil 3.6.	Aşınma deneyinin excel formatında elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin görünümü	29
Şekil 3.7.	Pin-on disk aşınma test cihazının görünümü	31
Şekil 4.1.	Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:60N)	33
Şekil 4.2.	Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma : 2.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	33
Şekil 4.3.	Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	35
Şekil 4.4.	Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 4.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	35
Şekil 4.5.	Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	36

Şekil 4.6. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N).....	37
Şekil 4.7. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N).....	38
Şekil 4.8. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 140N).....	39
Şekil 4.9. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 40N).....	40
Şekil 4.10. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s)	41
Şekil 4.11. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s)	42
Şekil 4.12. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s)	43
Şekil 4.13. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 60N)	44
Şekil 4.15. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 140N)	46

Şekil 4.16. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s)	47
Şekil 4.17. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0m/s)	48
Şekil 4.18. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0m/s)	49
Şekil 4.19. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 60N)	50
Şekil 4.20. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 100N)	51
Şekil 4.21. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 140N)	52
Şekil 4.22. Saf YYPE ve YYPE+%15 MKT katkılı test numuneleri pimler ile karşı disk malzemelerin kuru kayma şartları altındaki optik mikroskop mikroyapı görüntüleri(Ortam sıcaklığı: 22±2°C, Kayma hızı: 3.0m/s, Uygulanan yük: 100N)	53
Şekil 4.23. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:60N)	54
Şekil 4.24. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	55
Şekil 4.25. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	56

Şekil 4.26. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 4.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	57
Şekil 4.27. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	58
Şekil 4.28. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N).....	59
Şekil 4.29. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	60
Şekil 4.30. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 140N).....	61
Şekil 4.31. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)	62
Şekil 4.32. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s)	63
Şekil 4.33. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s)	64
Şekil 4.34. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s)	65
Şekil 4.35. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 60N)	66

Şekil 4.36. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 100N)	67
Şekil 4.37. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 140N)	68
Şekil 4.38. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s)	69
Şekil 4.39. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0m/s)	70
Şekil 4.40. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0m/s)	71
Şekil 4.41. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 60N)	72
Şekil 4.42. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 100N)	73
Şekil 4.43. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 140N)	74
Şekil 4.44. Saf YYPE ve YYPE+%15SiO ₂ katkılı test test numuneleri pimler ile karşı disk malzemelerin kuru kayma şartları altındaki optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Ortam sıcaklığı: 22±2°C, Kayma hızı: 3.0m/s, Uygulanan yük: 100N)	75
Şekil 4.45. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:60N)	76

Şekil 4.46. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	77
Şekil 4.47. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	78
Şekil 4.48. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 4.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	79
Şekil 4.49. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	80
Şekil 4.50. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	81
Şekil 4.51. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	82
Şekil 4.52. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)	83
Şekil 4.53. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)	84
Şekil 4.55. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s)	86
Şekil 4.56. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s)	87

Şekil 4.57. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 60N)	88
Şekil 4.58. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 100N)	89
Şekil 4.59. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 140N)	90
Şekil 4.60. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s)	91
Şekil 4.61. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0m/s)	92
Şekil 4.62. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0m/s)	92
Şekil 4.63. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 60N)	94
Şekil 4.64. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 100N)	95
Şekil 4.65. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 140N)	96
Şekil 4.66. Saf YYPE ve YYPE+%15ZnO katkılı test test numuneleri pimler ile karşı disk malzemelerin kuru kayma şartları altındaki optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Ortam sıcaklığı: 22±2°C, Kayma hızı: 3.0m/s, Uygulanan yük: 100N)	97

Şekil 4.67. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:60N)	98
Şekil 4.68. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	99
Şekil 4.69. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	100
Şekil 4.70. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 4.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)	101
Şekil 4.71. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	102
Şekil 4.72. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	103
Şekil 4.73. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)	104
Şekil 4.74. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)	105
Şekil 4.75. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)	106
Şekil 4.76. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s)	107

Şekil 4.77. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s)	108
Şekil 4.78. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s)	109
Şekil 4.79. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 60N)	110
Şekil 4.80. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 100N)	111
Şekil 4.81. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 140N)	112
Şekil 4.82. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s)	113
Şekil 4.83. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0m/s)	114
Şekil 4.84. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0m/s)	115
Şekil 4.85. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 60N)	116
Şekil 4.86. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 100N)	117

- Şekil 4.87. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 140N) 118
- Şekil 4.88. Saf YYPE ve YYPE+%15ZnBr katkılı test test numuneleri pimler ile karşı disk malzemelerin kuru kayma şartları altındaki optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Ortam sıcaklığı: 22±2°C, Kayma hızı: 3.0m/s, Uygulanan yük: 100N) 119



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Adhesiv aşınmaya etki eden malzemelerin genel özellikleri	15
Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan YYPE polimeri ve kompozitlerinin bilgileri ...	19
Tablo 3.2. Enjeksiyon makinesinde uygulanan proses değerleri	21
Tablo 3.3. Midye kabuğu tozunun bileşen ve oranları	25
Tablo 3.4. Çinko boratı oluşturan bileşenlerin oranları	28



ÖZET

Anahtar Kelimeler: Aşınma, triboloji, polimer, kompozit, yüksek yoğunluklu polietilen, midye kabuğu tozu, silisyum dioksit, çinko oksit, çinko borat.

Bu deneysel çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ile farklı oranlarda (%5, %10 ve %15) midye kabuğu tozu (MKT), silisyum dioksit (SiO₂), çinko oksit (ZnO) ve çinko borat (ZnBr) katkılı YYPE kompozitlerin tribolojik davranışları incelenmiştir. Aşınma ve sürtünme deneyleri oda sıcaklığında %50 nem şartlarında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik deneylerde pim-disk aşınma cihazı kullanılmıştır. Deneyler farklı yüklerde (60N, 100N ve 140N) ve farklı hızlarda (1, 2 ve 3 m/s gibi) AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı 2000m kayma yolunda yapılmıştır. Aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda kullanılan polimer ve kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları ve spesifik aşınma oranları tespit edilmiştir. Deneylerde katkı oranının etkisi ile birlikte aşınma oranına ve sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi de incelenmiştir. Deneylerde en yüksek aşınma oranı 4.49×10^{-14} m²/N değeri ile YYPE+%15ZnO polimer kompozitinde tespit edilirken, en düşük aşınma oranı ise 3.84×10^{-15} m²/N değeri ile YYPE+%15MKT polimer kompozitinde gözlenmiştir. YYPE polimer ve kompozit malzemelerin aşınma yüzey incelemeleri ise optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

THE INVESTIGATION OF DIFFERENT ADDITIVE MATERIALS AND PROCESS CONDITIONS ON THE TRIBIOLOGICAL PROPERTIES OF THE HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)

SUMMARY

Keywords: Tribology, polymer, composite, high density polyethylene, powder of mussel shell, silicon dioxide, zinc oxide, zinc borate.

In this experimental study, the tribological behaviors of pure high density polyethylene (HDPE) and HDPE composites containing different amount (5%, 10% and 15%) of mussel shell powder (MSP), silicon dioxide (SiO₂), zinc oxide (ZnO) and zinc borate (ZnBr) fillers. Friction and wear tests are performed in dry sliding conditions, at room temperature of 23°C and 50% humidity on a pin-disc wear test apparatus. Experiments are performed at different loads (60N, 100N and 140N) and different speeds (such as 1.0, 2.0 and 3.0 m/s) by using against AISI 316L stainless steel disc on 2000m sliding distance. In a consequence of friction and wear tests, friction coefficient and specific wear rates of pure HDPE polymer and its composite materials used are determined. In addition, the effects of applied loads and sliding speeds to the specific wear rate and coefficient of friction are examined. It is determined in tests that the highest specific wear rate belongs to HDPE+15%ZnO polymer composite with a value of $4.49 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ and the lowest specific wear rate is observed in HDPE+15%MSP composite with a value of $1.59 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$. Wear surface examinations of pure HDPE polymer and filled HDPE composite materials are made by using optical microscope.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

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 katkılar 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. Taşdemir ve ark.; düşük yoğunluklu polietilene ağırlığınca % 5, %10, % 15 oranlarında istiridye ve midye kabuğu ilavesiyle birlikte polietilen kompozit malzemesine mekanik testler yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda midye kabuğu ve istiridye oranlarında artışla birlikte malzemenin yoğunluğunun, elastik modülünün, sertliğinin ve darbe dayanımında artış saptanmıştır. Ayrıca yine yapılan termal testler sonucunda midye ve istiridye tozu oranının artmasıyla birlikte Isıl sapma sıcaklığı (HDT) ve Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri oranlarında artış görülmüştür [1].

Catano ve ark.; Yüksek yoğunluklu polietilen polimerine ağırlığınca %20, %30 ve %40 oranında su yosunu ilave edilerek mekanik deneyler yapmıştır. YYPE ve su yosunu katkılı YYPE kompozit malzemelerin elastiklik modülü ve gerilme deney sonuçlarına bakıldığında su yosunu oranı arttıkça elastiklik modülü değeri artarken, yine su yosunu değeri arttıkça gerilme değerlerinin düştüğü saptamışlardır [2].

Başka bir çalışmada Zaaba ve ark.; geri dönüşümden elde edilmiş polipropilene ağırlığınca %10, %20, %30 ve %40 ağırlığında yerfistiği kabuğu tozu ile yine aynı oranlarda polivilil ile karıştırılmış yerfistiği kabuğu tozu ilave edilen kompozit malzemeye mekanik testler yapılmış olup, bu testler sonucunda,%40 polivinil+yerfistiği kabuğu tozu katkılı polipropilen kompozit malzemenin gerilme uzaması,% uzama ve elastik malzemesi değerinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yerfistiği kabuğu tozu ilavesi arttıkça gerilme ve % uzaması değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir [3].

Melo ve ark.; Yüksek yoğunluklu polietilen polimerine ağırlığınca %5 ve %8 ağırlığında mollusk kabuğu tozu ilave ederek YYPE+MSP kompoziti üretilmiştir. Elde edilen YYPE+MSP kompozit polimerine termal ve mekanik testler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda mollusk kabuğu tozu ilavesiyle birlikte ergime entalpi, mukavemet ve elastiklik modülü değerlerinde artış tespit edilmiştir. En yüksek

değerler %8 mollusk kabuğu tozu YYPE polimer kompozit malzemesinde görülmüştür [4].

Chong ve ark.; düşük yoğunluklu polietilen, geri dönüştürülmüş polietilen ile geri dönüştürülmüş polietilene ağırlığınca %10, %20, %30 ve %40 oranlarında istiridye kabuğu tozu ilave ederek mekanik ve termal deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyler sonucunda istiridye kabuğu oranı arttıkça HDT ve basınç dayanımı artmaktadır. Ayrıca geri dönüştürülmüş polietilene istiridye kabuğu tozu ilavesiyle birlikte sertliği düşse de en yüksek sertlik derecesi PE+%40 istiridye kabuğu tozu ilaveli kompozit malzemede tespit edilmiştir [5].

Hamstera ve ark.; polipropilen polimerine kalsiyum karbonat, midye kabuğu tozu ve istiridye kabuğu tozu ilavesiyle birlikte termal deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu testler sonucunda TG ve DGT testlerinde midye kabuğu katkısı ile istiridye katkılı polipropilen ile kalsiyum karbonat katkılı polipropilenin davranışları benzerlik göstermiş olup, kalsiyum karbonat yerine midye ve istiridye kabuğu kullanabileceği saptanmıştır. Ayrıca ısı ayrışma sıcaklığı ve bozunma sıcaklığı testlerine bakıldığında midye ve istiridye kabuğu katkılı polipropilenin daha yüksek sıcaklıklara dayandığı saptanmıştır [6].

Kocaman ve ark.; NPEK 114 kodlu epoksi reçineyle ağırlığınca %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında kauçuk, poliüretan ve midye kabuğu tozu ilave ederek sertlik ve çekme deneyler gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara bakıldığında sertlik ve elastik modülü değeri hem midye kabuğu tozu hemde poliüretan polimeri ilavesiyle birlikte ilavesiyle birlikte artmıştır [7].

Simonsen ve ark.; ağırlığınca %10 ile %60 oranlarında talaş katkılı yüksek yoğunluk polietilene ağırlığınca %10'dan %60 a kadar çinko borat (ZnBr) ilave edilerek mekanik deneyler yapılmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda çinko borat ilave miktarının artmasıyla birlikte kopma mukavemetinde düşüş saptanırken, elastiklik modülünde ise hafif bir artış saptanmıştır [8].

Başka bir çalışmada Farahani ve ark.; ağırlığınca %60 oranında ahşap tozu katkılı polipropilene/maleik anhidrit asit katkılı polipropilene %1, %2, %3 ve %4 çinko oksit (ZnO) ilave ederek 10x10x10 ebatlarında numuneler hazırlanarak zemin bloğu çürütme test yöntemi ve ASTM D1314 standardında ağırlık kaybı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında çinko oksit ilavesiyle birlikte ağırlık kaybında azalma görülmüştür [9].

Altan ve ark.; Polipropilen polimerine ağırlığınca %1, %3 ve %5 oranında Titanyum dioksit (TiO₂) ve çinko oksit (ZnO) ilave ederek çekme deneyi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek gerilme mukavemeti, elastiklik modülü, % uzama ve kopma mukavemeti değerlerinin en yüksek değerler ağırlığınca %5 TiO₂ katkılı PP polimerinde tespit edilmiştir [10].

Shnawa ve ark.; düşük yoğunluklu polietilene ağırlığınca %10 ve %20 istiridye tozu ilave edilerek kompozit malzeme üretilmiştir. Daha sonra bu malzemeler termal testler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 230-340°C arasında ekzotermik tepeler görülmüştür. Ayrıca istiridye tozu ilavesiyle birlikte oksidasyona dayanımı arttırıldığı söylenebilir [11].

Kwon ve ark.; yapılan başka bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen(YYPE), alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve lineer alçak yoğunluklu polimer (LAYPE) malzemelerine mekanik ve termal testler yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek ısıl sapma sıcaklığı (HDT) değerleri YYPE polimerinde görülürken, ergime akış indeksi sonuçlarında ise en çok akışkan malzeme AYPE polimeri saptanmıştır. Mukavemet sonuçlarına bakıldığında ise en yüksek mukavemet değerleri sırasıyla YYPE ve LAYPE polimer olarak tespit edilmiştir [12].

Found ve ark.; yüksek yoğunluklu polietilene ağırlığınca %2, %4, %6 ve %8 oranında grafit ilavesiyle birlikte çekme testi ve DSC analizi yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında grafit oranının artmasıyla birlikte elastiklik modülü, eğilme dayanımı artarken, kopma mukavemeti değerlerinin düştüğü saptanmıştır. Ayrıca difrensiyel

taramalı kalorimetri (DSC) analiz sonuçlarına bakıldığında YYPE polimerine grafit katkı oranının artmasıyla birlikte enerji miktarında artış tespit edilmiştir [13].

Mohamed ve ark.; yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) %50 oranında ve etilen propilen dien elastomer (EPDM) %50 oranında oluşan kompozit malzemesi ile çeşitli partikül boyutlarında YYPE polimerine CaCO_3 300, CaCO_3 700 ve CaCO_3 2000 kodlu takviye malzemesinin ilavesiyle birlikte mekanik deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde CaCO_3 ilavesiyle birlikte sertlik değerinde artış saptanmıştır. Sertlik değeri en yüksek malzeme CaCO_3 2000 kodlu (82 μm) boyutlu katkılı YYPE/EPDM malzemesinde görülmüştür. Yani mikron boyutunun büyümesiyle birlikte sertliğinin arttığı söylenebilir. Ayrıca CaCO_3 ilavesiyle birlikte elastiklik modülü ve gerilme dayanımlarında artış görülmüştür [14].

Wang ve ark.; fenolik, çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen(UHMWPE), polieter eter keton (PEEK), poliimid (PI), teflon (PTFE), poli-hidrobenzoik asid(PHBA) polimerlerin aşınma ve mekanik deneyleri yapılmıştır. Mekanik sonuçlara bakıldığında en yüksek sertlik fenolik polimerinde en az sertlik ise teflon polimerinde elde edilmiştir. Ayrıca 10N yük altında ve 60 dakika süren aşınma deneyleri yapılmış olup en az aşınan ve sürtünme katsayısı en düşük malzeme poli-hidro benzoik asid (PHBA) polimeri olmuştur. Aşınma deney sonuçlarına tekrar bakıldığında ise en az aşınan ikinci malzeme ise çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) olmuştur [15].

Dhoke ve ark.; Silikon modifiye alkid esaslı olan su bazlı kaplamalarda nano nano ZnO malzemesinin mekanik ve ısı direncine karşı etkisi incelenmiştir. Araştırmalarında % 0.5, %1, %2 ve %3 oranında nano ZnO katılmış ve sonuçlar incelendiğinde malzemede ZnO katkı oranının artmasıyla aşınma oranında artış saptanmıştır [16].

Taşdemir ve ark.; Yüksek yoğunluklu polietilene ağırlığınca ve ayrı ayrı %5, %10, %15 ve %20 oranlarında talk, kalsit, cam fiber ve talk/kalsit katkıları katılmıştır. Bu kompozit malzemelere sertlik, darbe ve aşınma deneyleri yapılmış olup sertlik deneyi

sonucu YYPE katılan bütün katkı malzemeleri ile birlikte sertliğin arttığı en yüksek sertlik oranı ise %20 oranında cam fiber katkılı YYPE kompozitinde (60 shore D), en düşük sertlik ise Kalsit/talk katkılı YYPE kompozitinde saptanmıştır. Ayrıca izod darbe sonuçlarına bakıldığında ise ilave edilen talk, kalsit, cam fiber ve talk/kalsit katkı malzemelerinin ilavesiyle birlikte darbe dayanımında düşüş göstermiştir. Diğer yandan aşınma deney sonuçlarına bakıldığında yine en yüksek aşınma oranı %20 cam fiber katkılı YYPE' görülmüştür [17].

Pashaei ve ark.; poli-vinil-ester polimerine ağırlığınca %3, %6 ve %10 oranlarında ceviz kabuğu tozu ilave ederek 1.5 m/s hızda ve 20N-40N aralığında ve 100m-200 m mesafede pin-on disk aşınma cihazı ile testler gerçekleştirmişlerdir. Bu testler sonucunda en fazla aşınmanın 200m mesafede, 40N yükte saf poli-vinil ester polimerinde görülmüş olup, ceviz kabuğu tozunun ilavesiyle birlikte hem de yükün 20N'dan 40N çıkmasıyla birlikte aşınma ve sürtünme katsayılarında artış tespit edilmiştir [18].

Manjunath ve ark.; hindistan cevizi kabuğu tozu takviyeli ilave can fiber katkılı epoksi reçinenin aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri 3000 metre mesafede 20N-60N arasında yüklerde, 3.0m/s ve 5.0m/s hızlarda yapılan testler sonucunda en fazla aşınma kaybının 3000 metre mesafede 60N yükte yapılan testlerde saptanmıştır. Aynı çalışmada yükün ve hızın artmasıyla birlikte hem aşınma oranında hem de sürtünme katsayısında artış görülmüştür [19].

Raju ve ark.; polietilen polimere ağırlığınca %1, %2, %4 ve %6 oranlarında nano boyutta ZnO ilavesiyle aşındırıcı olarak çelik disk kullanılarak pin-on disk aşınma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Aşınma deneylerinde 5N,10N,15N ve 20N yüklerle yapılmış olup, yapılan bütün deneyler sonucunda nano boyutta ZnO ilavesiyle birlikte aşınma oranında hafif bir artış saptanmıştır. En çok aşınma oranı %6 ZnO katkılı kompozit malzeme de tespit edilmiştir. Aynı zamanda yükün artmasıyla birlikte aşınma oranı arttığı saptanmıştır [20].

Yerleşen ve ark.; ABS polimerine ağırlığınca %5, %10, %15 ve %20 oranında alüminyum, karpit ve cam fiber ilavesiyle birlikte aşınma deneyleri yapılmıştır. Yapılan zımpara aşınma test düzeneği ile gerçekleşen aşınma deneyleri sonucunda ABS ilave edilen alüminyum, karpit ve cam fiber hemde yükün artmasıyla birlikte aşınma oranında düşüş, sürtünme katsayısında ise artış saptanmıştır [21].

Cho ve ark.; Yüksek yoğunluğu polietilen polimerine ve yüzeyine eklenmiş polipropilen polimerine teflon, yüksek yoğunluklu polietilen, poliüretan ve polietilen kaplanarak pin-on disk aşınma cihazında 0.05N-0.5N yüklerinde ve 0.2m/s-1.0m/s hızlar arasında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda yükün ve hızın artmasıyla birlikte Teflon kaplı polipropilen en düşük sürtünme katsayısı sonucuna ulaşılırken, en yüksek sürtünme katsayısı ise yüksek yoğunluklu polietilen kaplı YYPE’de tespit edilmiştir [22].

Kocabaş ve ark.; bakır, fenolik reçine, barit, alümina ve grafitten oluşan kompozit malzemesine ağırlığınca %5, %10, %20 ve %30 oranlarında midye kabuğu tozu katkısının etkisi incelemek için tribolojik ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda midye kabuğu etkisiyle aşınma oranında hafif bir artış saptanmıştır. Aynı zamanda sürtünme katsayısında düşüş saptanmıştır. Ayrıca yapılan sertlik deneyleri sonucuna bakıldığında midye kabuğu ilavesi arttıkça sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir [23].

Başka bir çalışmada Tian ve ark.; Baz yağı kaplı disk, baz yağına ağırlığınca %1 oranında ZnO ile yine ağırlığınca %1 oranında nano boyutta ZnO ilavesiyle oluşan 3 farklı malzemeye pin-on disk aşınma cihazıyla 600 dev/dak hızda 600N yükte ve 30 dakika süre ile aşınma deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda sürtünme katsayılarına bakıldığında en yüksek değer saf baz yağında görünürken, en düşük sürtünme katsayısı nano parça boyutunda ZnO ilaveli baz yağında saptanmıştır [24].

Qu ve ark.; Politetrafloretillen polimerine ağırlığınca %0.1’den %0.6 oranlarında bakır ve silisyum dioksit (SiO₂) ilave edilerek 392N yükte 1450 dev/dak hızda 30 dakika süre ile aşınma deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına

bakıldığında katkı oranı arttıkça aşınma oranı düşerken, sürtünme katsayılarına bakıldığında SiO₂ katkılı politetraflöetilen kompozitinde sürtünme katsayısı hafif düşerken, diğerlerinde hafif bir artış saptanmıştır [25].

Dong ve ark.; Saf baz yağı ve baz yağına %1 oranında 20-50 nm boyutlarında çinko borat (ZnO) ilavesiyle birlikte pin-on disk aşınma cihazıyla önce 245N yük ve 10 dakika süren ve ardından 295N yükte ve 30 dakika süren aşınma testleri yapılmıştır. Bu testler sonucunda 20-50 nm boyutta çinko borat ilavesiyle birlikte sürtünme katsayısında düşüş saptanmıştır [26].

Xiong ve ark.; Bakır/Kurşun/Karbon (91/4/5) kompozit malzemesine %4 oranında silisyum dioksit (SiO₂) ilavesiyle elde edilen Bakır (%87)-Kurşun (%4)-Karbon (%5)-Silisyum dioksit (%4) kompozit malzemesine disk on disk aşınma test cihazıyla 0.5N yük ve 1000-7000 dev/dak aralıklarında aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Test cihazının dönüş hızı artmasıyla birlikte her iki kompozit malzemesinin sürtünme katsayısında düşüş görülmüştür. Ancak aşınma oranlarına bakıldığında dönüş hızı arttıkça silisyum dioksit katkılı kompozit malzemesinin aşınma oranında ciddi bir düşüş, silisyum dioksit katkısız kompozit malzemedede ise tersine aşınma oranında artış saptanmıştır [27].

Hua Su ve ark.; Hibrid cam katkılı teflon malzemesi ile yine aynı kompozite %4 oranında nano boyutta çinko oksit takviyesi birlikte pin on disk aşınma cihazında aşındırıcı disk olarak AISI 1045 çeliği ve 128N-224N yük aralıklarında 0.26 m/s hızda ve 120 dakika süren testler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda her iki kompozit malzemeninde yük arttıkça aşınma oranında artış görülmekle sürtünme katsayısında ise düştüğü saptamışlardır [28].

Sanes ve ark.; Epoksi reçineye iyonik sıvı (%1.5) ve çinko oksit (%0.5) ilave ederek pim-disk aşınma testleri yapmışlardır. Bu testler aşındırıcı olarak 316L çelik disk, 4.9N yük ve 0.5 m/s hız altında 500 m mesafede gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kayma yolu arttıkça bütün kompozit malzemeler sürtünme katsayısında

düşüş görülmüştür. Diğer bir açıdan bakıldığında en düşük sürtünme katsayısı iyonik sıvı katkılı epoksi reçinede saptanmıştır [29].

Sharma ve ark.; saf çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen ve ağırlığınca %5, %10, %15 ve %20 çinko oksit katkılı UHMWPE/ZnO polimer kompozit malzemelerine 9.81N yükte ve 6 Hz hızda dönüş hareketinde aşınma testleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde çok yüksek molekül ağırlıklı polietilene çinko oksit ilavesi artmasıyla birlikte aşınma oranında artış saptanmıştır [30].

Raju ve ark.; polyester malzemesine ağırlığınca %1, %2, %4 ve %6 oranlarında nano boyutta çinko oksit (ZnO) ilave edilerek 5N, 10, 15N ve 20N yükte, 5, 10 ve 15 dakika boyunca pin-on disk aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda çinko oksit oranı arttıkça aşınma oranında artış saptanmıştır. Ayrıca deney süresi 5 dakikadan 15 dakikaya çıkmasıyla da aşınma artmıştır. En fazla aşınan malzeme ise %6 çinko oksit katkılı polyester kompozit malzemesinde saptanmıştır [31].

Yukarıda incelenen literatür araştırması sonuçları incelendiğinde YYPE polimeri de dahil olmak üzere birçok farklı polimer ve polimer kompozit malzemelerin mekanik, termal, elektriksel, fiziksel ve tribolojik çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu tez çalışmasında kullanılan katkı malzemelerine bakıldığında büyük oranda polimer malzemelerde yanmazlık gibi termal özellikler, mekanik, fiziksel ve elektriksel özelliklerin araştırıldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada YYPE polimerine midye kabuğu, silisyum dioksit, çinko oksit ve çinko borat katkı ilavesiyle üretilen kompozit malzemelerin tribolojik çalışmalarının yapılmadığı veya çok az olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında elde edilecek sonuçlar ile midye kabuğu tozu (MKT), silisyum dioksit (SiO₂), çinko oksit (ZnO) ve çinko borat (ZnBr) katkıların YYPE polimer kompozitlerin aşınmaya ve sürtünmeye karşı dayanımları belirlenerek aşınma ile ilgili alanlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, yüksek yoğunluklu polietilen polimeri ile midye kabuğu tozu, silisyum dioksit, çinko oksit ve çinko borat katkılı yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin aşınma çalışmaları pim-disk cihazında yapılmıştır. Deneyler 2000

metre kayma yolunda yapılmış olup 60N-140N yük aralığında ve 1.0m/s-3.0m/s kayma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı disk olarak 120 mm çapında ve 6 mm kalınlığında AISI 316L paslanmaz çelik disk kullanılmıştır. Yapılan tüm çalışmalar oda sıcaklığında (23°C) gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yüke, kayma hızına ve farklı katkı oranına bağlı olarak gerçekleşen aşınma testleri sonucunda disk ve pim aşınma yüzeyleri optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir.



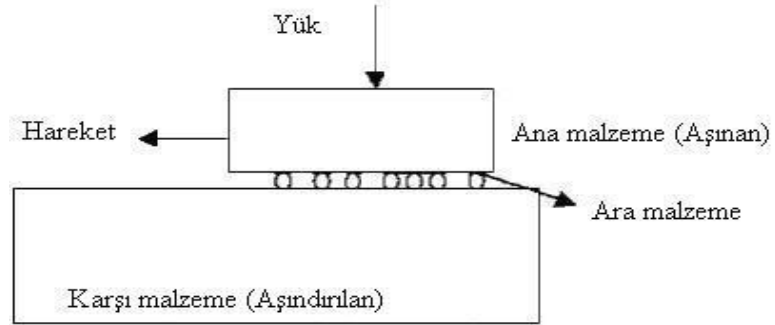
BÖLÜM 2. AŞINMA

Aşınma temel olarak temas eden yüzeyden mekanik, fiziksel ve kimyasal etkiler sonucu temas eden malzeme kalkmasına yani malzeme kaybına aşınma denir. Aşınma sürecinde malzemede ve iş makinelerinin şeklini bozulmasıyla iş kaybına neden olur [32].

Bir aşınma olayını oluşturan dört unsur vardır. Bunlar;

1. Aşınan malzeme,
2. Aşındıran karşı malzeme
3. Ara malzeme
4. Yük ve hareket

Aşınan ve aşındırılan malzemelerin hepsine "aşınma çifti" denilir ve bu iki malzemenin az yada çok yük altında hareket ederek aşınma söz konusu olur. Bu aşınma çiftine ve eğer varsa ara malzemeye de "aşınma kombinasyonu" denir [32,33]. Ara malzeme aşınma çifti arasında bulunur ve sert taneli, gaz, sıvı ve buhar şeklinde olabilir [34].



Şekil 2.1. Aşınmayı oluşturan aşamalar [35].

Aşınmayı oluşturan etki eden parametreler 4 sınıfa ayrılmıştır. Bunlar;

1. Malzeme parametreleri
2. Dizayn parametreleri

3. Çevre parametreleri
4. Yağlayıcı parametreleri [36].

2.1. Aşınmanın Ekonomik Açıdan Önemi

Aşınma; mekanik etkiler neticesinde katı yüzeylerden malzemenin kalkması yani malzeme kaybıdır. Her ne kadar aşınma kararlı ve sürekli olsada çoğunlukla çok yavaş bir şekilde olmaktadır [32]. Sürtünmede dolayı meydana gelen aşınma, bütün endüstri kollarında istenmeyen bir olay olup, zamanında ve sistematik olarak engellenmediği takdirde hem zaman hemde iş kaybı bakımından çok pahalıya mal olabilecek sonuçlar oluşturabilir. Konunun bugüne kadar ihmal edilmiş olmasının en önemli üç sebebi vardır [37].;

1. Eski zamanlarda aşınma olayına bakış bugüne göre, makine, malzeme ve diğer mekanizmaların yararlı ömürlerine etkisini saptanmasında çok fazla önemli bir etken olmamasındandır [34, 35].
2. Genellikle aşınma oranlarının çok fazla olmaması ve bu zamana kadar bu aşınma değerlerini uygun şekilde ölçecek olanağın bulunmaması denilebilir [34, 35].
3. Genel olarak birçok bilim adamı ve mühendisin bu konudaki yaklaşımları söylenebilir. Aşınma o kadar karışık ve hataya götürebilecek bir durumdur ki, bunun üzerine uğraşmak zaman kaybından başka bir şey olmayıp yeni ve farklı bir tasarımda yapılacak en iyi şey ise, daha önceki denemelerden yararlanıp yeni bir ömür deneyine girişmek ve geride kalanları tarihe bırakılabilir [34, 35].

2.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınma sistemindeki birden fazla etki eden çok fazla nedenler vardır. Bunlardan en önemlilerinden biride çevredir. Diğer nedenleri sıralamak gerekirse;

1. Malzeme secimi
2. Sürtünme
3. Uygulanan yük

4. Kayma mesafesi
5. Yüzey sertliği ve kalitesi
6. Yağlama (Ara malzeme)

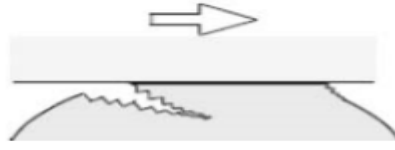
Yukarıda maddeler aşınma oranına direk etki ederek malzemelerin ömürlerini veya kullanım zamanlarına sürelerine belirlenmesinde önemli bir yer etmektedir [38].

2.3. Aşınma Çeşitleri

Endüstride kullanılan makine ve malzemelerin aşınmaya maruz kalması bundan dolayıda olası bir hangi aşınma durumunda ne olacağıın bilinmesi, mühendislik dizaynı, malzeme seçimi, aşınma ömrünü ve hasar analizini tahmin edilebilip yorumlanması ve buna uygun önlemlerin alınması bakımından oldukça önemlidir [39].

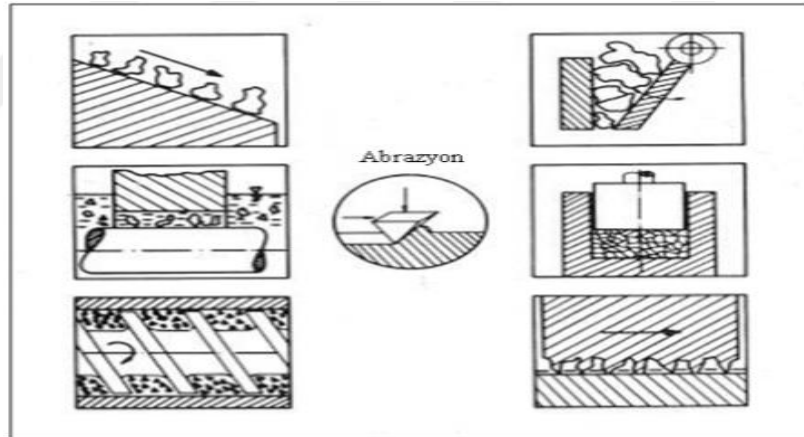
2.3.1. Adhesiv aşınma

Adhesiv aşınma, genel olarak birbirine kayma sürtünmesi yapan metal-metal çiftinde temas ederek meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucu olarak gerçekleşir. Birbiri ile temas eden veya üzerinde kayan yüzeylerin sadece az bir kısmı temas halindedir. Temas eden yüzeyler çok küçük bir alanı kapsamaları nedeniyle temas eden noktaları büyük basınçta maruz kalır. Çok küçük yüklemelerde bile bu basınç akma gerilmesi sınırlarına erişir veya bu sınırı geçerler [40, 41]. Meydana gelen bu oluşumda yüzeylerin karşılıklı olarak kimyasal ve fiziksel etkileşimleri önemli ölçüde rol oynamaktadır. Kayma sırasında yüksek basınçların yanında ek olarak, temas noktalarında çok fazla sıcaklığın artışlarının, kaynak bağlarının meydana gelmesini kolaylaştırır. Malzemede oluşan bağ, malzemenin temas eden yüzeyleri ne kadar temiz ise, kuvveti de o oranda olmaktadır. Ancak rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin olması bağ kuvvetine etki etmesinden dolayı aşınmayıda azaltır [42.43].



Şekil 2.2. Adhesiv aşınma görünümü [38].

Adhesiv aşınmada yüzeyler arasına toz veya talaş girmesi sonucunda yüzeylerde bozulma meydana gelmektedir. Ayrıca bu bozulma ile birlikte yüzeylerinde oksidasyon sonucu meydana gelen seri parçacıkların etki etmesiyle oluşmaktadır. Sert parçacıklar malzemelerde temas eden yüzeyler arasında kazıcı etkisi yaparak taşlamaya benzer bir şekilde malzeme kaybına neden olurlar. Şekil 2.2.'de anlaşılacağı üzere, adhesiv aşınma genel olarak parlatılmış yüzeylerde bir takım çizgiler halinde görülmektedir. Böylelikle şekilde görüldüğü gibi yüzeylerden bir tabaka halinde kaldırılmaktadır.



Şekil 2.3. Adhesiv aşınmanın görülebileceği tribolojik sistemler [44].

Şekil 2.3.'de adhesiv aşınmanın tribolojik sistemleri görülmektedir. Temas eden iki yüzeyde şekilde görünen pürüzler ile temas eder. Ancak temas eden yüzeyin hassaslığı arttıkça malzeme kaybının azalacaktır. Adhesiv aşınma genel olarak kalıplarda, tel çekmede, torna, planya ve vargel gibi iş makinalarında, otomobillerdeki kam millerinde ve çok sık temas halinde bulunan yataklarda ve pompalarda görmek mümkündür. Yapılan deneyler sonucunda adhesiv aşınmasıyla ilgili sonuçları aşağıdaki başlıklar altında toplanabilmektedir;

1. Adhesiv aşınma genellikle birbirlerine benziyen veya birbirine alaşım yapabilecek malzemeler ile görünürler.
2. Adhesiv aşınma genellikle yüksek hızlarda ve fazla yüklerde görülen bir aşınma şeklidir.
3. Adhesiv aşınma, sürtünme aşamasında kaynak noktalarının tamamında görülmektedir.
4. Oksidasyon, adhesiv aşınma üzerinde etkisi çok fazladır [45].

Adhesiv aşınmayı önlemek için gereken bazı tedbirler alabiliriz. Genellikle çelik ile birlikte çalışan yatak malzemeleri birbirine uygun seçebilirsek yani kimyasal özellikleri birbirine yakın olursa adhesiv aşınmayı önleyebilir veya azaltabiliriz. En önemli önleme yöntemlerinden biride aşınan yüzeyler arasına iyi ve uygun yağlayıcı katkıların kullanılmasıdır. Uygulanabilir diğer bir önlem yöntemi ise temas eden yüzeyleri basıncının azaltılması veya yüzey setliği arttırmaktır. Genel olarak malzemelerin özelliklerinin adhesiv aşınmaya etki eden özellikleri ve etki seviyesi Tablo 2.1.' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Adhesiv aşınmaya etki eden malzemelerin genel özellikleri [46]

Malzeme Özellikleri	Adhesiv Aşınma
Kübik kristal yapı	Çok
Yüksek deformasyon sertleşmi	Çok
Yüksek ergime noktası	Çok
Yüksek sertlik	Çok
Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı	Çok
Küçük atom yarıçapı	Çok
Yüksek elastiklik modülü	Çok
Hegzagonal yapı	Az
Oksitli yüzey	Az

Archard eşitliği adhesiv aşınma için temel olarak kabul edilebilir ve genel olarak (Denklem 2.1) etkileri ve formülasyonu açıklamaktadır.

$$W = k \cdot \frac{P}{H} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki Archard eşitliğinde;

W: Aşınma hızı,

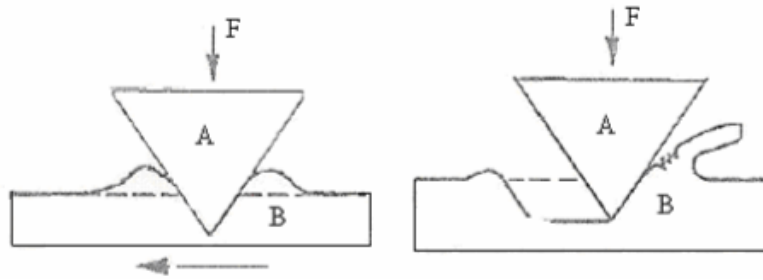
k: Aşınma katsayısı,

H: Malzemenin sertliği (MPa)

P: Temas yüzeyine uygulanan basınç (MPa) dır.

2.3.2. Abrasiv aşınma

Abrasiv aşınma, genel olarak hareketin hızı ve uygulanan yükün etkisiyle temas eden iki malzemenin daha fazla sert olanın, daha yumuşak olan malzemeyi çizerek üzerinden mikron seviyesinde malzeme kaybı olarak söylenebilir. Abrasiv aşınma çok sık rastlanmakla beraber talaşla çizme, çarpma, raybalama ve kesme olayları sonrasında ortaya çıkar [32].



Şekil 2.4. Abrasiv aşınma gösterimi [35]

Abrasif aşınma mekanizmasında etkili olan temel faktörler, sertlik, aşındırıcı, tane veya pürüzün boyutu ve şekli, uygulanan normal yük ve kayma hızı olarak sayılabilir. Şekil 2.4.' de abrasif aşınma mekanizması gösterilmektedir [47].

Laboratuar ortamlarında abrasiv aşınma iki farklı şekilde yapılmaktadır;

1. Dönen bir tekerlek ve ona temas halinde kayan düz bir numune arasına serbest abrasiv partiküllerin sürekli olarak dökülmesidir.
2. Sabitleştirilmiş bir abresiv malzeme üzerinde pim şeklinde hazırlanmış numunenin kayması,

Çoğunlukla bu metotlarda abrasiv malzeme olarak abrasiv bezler veya kağıtlar kullanılır. Bu abrasiv bezler ve kâğıtlar üzerine abrasiv partiküller çok az dar aralıklarda olacak şekilde serpiştirilir [48]. Ayrıca abrasiv malzemelerde aşınma miktarı numunenin aşınma izi üzerinden aynı izde devam etmesiyle birlikte aşınma azalmaktadır. Bu azalmanın sebebi aşınma süresince birçok farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik olaylardır. Bu olayların sonucunda malzemenin çeşidi, yük, kayma hızı ve diğer faktörlerden değişiklik göstermektedir [34].

2.3.3. Erozyon aşınması

Gaz veya akışkan sıvı aracılığıyla taşınan malzemelerin yüzeyine sert partiküllerin çarpması ile meydana gelen malzeme kaybına erozyon aşınması denir. Erozyon aşınması abrasif aşınmaya çok benzemekle beraber erozyon aşınması malzeme yüzeyindeki partikül yoğunluğundan dolayı temas gerilimlerinin artması oldukça değişik yapıya sahip olup bir nevi abrasiv aşınma biçimidir. Erozyon aşınma diğer aşınma çeşitleri gibi aşınma hızı ile doğru orantılıdır [38].

Erozyon aşınması en çok rastlanan yerler dizel motorları, gaz türbinleri, yataklar, madencilikteki kum ve su taşıma mekanizmalarında ve yakıt santralleri gibi bir çok farklı alanlarda görülebilir [38].

2.3.4. Koroziyon aşınma

Kayma olayının meydana geldiği ortam koroziyon bir ortamda meydana geliyorsa buna koroziyon aşınma denir. Kayma olayının meydana gelmediği zaman, korozyon mamulleri, yüzeylerin üstünde bir film tabakası meydana gelir ve bu yüzeyde oluşan film korozyonu azaltır, hatta durmasını sağlar [35, 47].

2.3.5. Püskürtme aşınması

Püskürtme aşınması en önemli kısmı püskürtme açısıdır. Bu açı kayma ve eğik çarpma olarak iki bölüme ayrılabilir. Diğer aşınma çeşitleri gibi püskürtme aşınması da malzemenin özelliklerine bağlıdır. Çünkü yapılan deneylerde gevrek ve sert malzemeler püskürtme açıları büyük ise aşırı aşınma görülürken, daha yumuşak ve tok olan malzemeler ise küçük püskürtme açısında çok fazla aşınmaya maruz kalırlar [34].

2.3.6. Kavitasyon aşınması

Dayanıklı malzemeler sert ancak gevrek değildirler. Bununla birlikte kavitasyon aşınması yüzey yorulma aşınmasına benzemekle beraber, kavitasyona daha çok dayanmak için sıvı ile korozyon atağına da mukavemete ihtiyaç gereklidir. Kavitasyon aşınmasında malzeme yüzeyine yüksek hız ve basınçta gaz kabarcıklarının yüzeye teması ve bunun tekrar etmesiyle birlikte meydana gelen aşınma türüdür. En çok görülme yerleri su borularıdır [37, 38].

2.3.7. Kayma aşınması

Birbirinden farklı deneysel düzenlemeler kullanılarak yapılan aşınma yöntemlerinden biride kayma aşınmasıdır. Aşınma için yapılan laboratuvar araştırmalarına göre sıklıkla meydana gelen aşınma mekanizmalarının araştırılması, pratik uygulamaların yapılması ve sürtünme katsayıları ile aşınma oranları için elverişli dizayn verilerinin kazanılmasını sağlamaktadır. Kayma aşınmasını etki edebilen bütün değişkenlerin ölçümü ve kontrol önemi çok fazladır. Aşınma oranı ve sürtünme katsayısı birçok zaman kayma şartlarına bağlıdır. Bu şartlardaki önemsiz olduğu düşünülen küçük değişiklikler, mekanizmada çok fazla değişikliklere neden olabilir [34, 38, 50].

BÖLÜM 3. DENEY MALZEMELERİ VE YAPILAN DENEYLER

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu yüksek lisans çalışmasında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri boyunca toplam 13 adet YYPE polimeri ve kompozitleri kullanılmıştır. Bunlara ait detaylı bilgiler Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan YYPE polimeri ve kompozitlerinin bilgileri

Sıra No	Numune adı	Kısa Gösterimi	Ticari Adı	Üretici Firma	Üretim Yöntemi	Yoğ. (gr/cm ³)
1	Yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE	Petilen YI666UV	Petkim	Ekstrüzyon	0,938
2	Midye kabuğu tozu katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%5MKT	-	Marmara denizi sahili	Enjeksiyon	0,965
3	Midye kabuğu tozu katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%10MKT	-	Marmara denizi sahili	Enjeksiyon	0,993
4	Midye kabuğu tozu katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%15MKT	-	Marmara denizi sahili	Enjeksiyon	1,023
5	Silisyum dioksit katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%5SiO ₂	Cab-osisl TS-610	Cabot	Enjeksiyon	0,980
6	Silisyum dioksit katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%10SiO ₂	Cab-osisl TS-610	Cabot	Enjeksiyon	1,006
7	Silisyum dioksit katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%15SiO ₂	Cab-osisl TS-610	Cabot	Enjeksiyon	1,045
8	Çinko oksit katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%5ZnO	MKN-Zno-050	MKnano	Enjeksiyon	0,976
9	Çinko oksit katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%10ZnO	MKN-Zno-050	MKnano	Enjeksiyon	1,017
10	Çinko oksit katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%15ZnO	MKN-Zno-050	MKnano	Enjeksiyon	1,056

Tablo 3.1. (Devamı)

Sıra No	Numune adı	Kısa Gösterimi	Ticari Adı	Üretici Firma	Üretim Yöntemi	Yoğ. (gr/cm ³)
11	Çinko borat katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%5ZnBr	SC-467	Jinan ShiChao Chem.Co	Enjeksiyon	0,963
12	Çinko borat katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%10ZnBr	SC-467	Jinan ShiChao Chem.Co	Enjeksiyon	0,985
13	Çinko borat katkılı yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE+%15ZnBr	SC-467	Jinan ShiChao Chem.Co	Enjeksiyon	1,023

Yukarıda verilen YYPE polimer ve kompozitlerinin hazırlanması ve üretimi Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Plastik İşleme Laboratuvarında Şekil 3.1.'de verilen Yonca marka 400 gramajlı ve 15Kw gücündeki plastik enjeksiyon makinasıyla yapılmıştır.



Şekil 3.1. Plastik enjeksiyon makinası

Ayrıca üretim aşamasında plastik enjeksiyon makinasına ait üretim proses değerleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

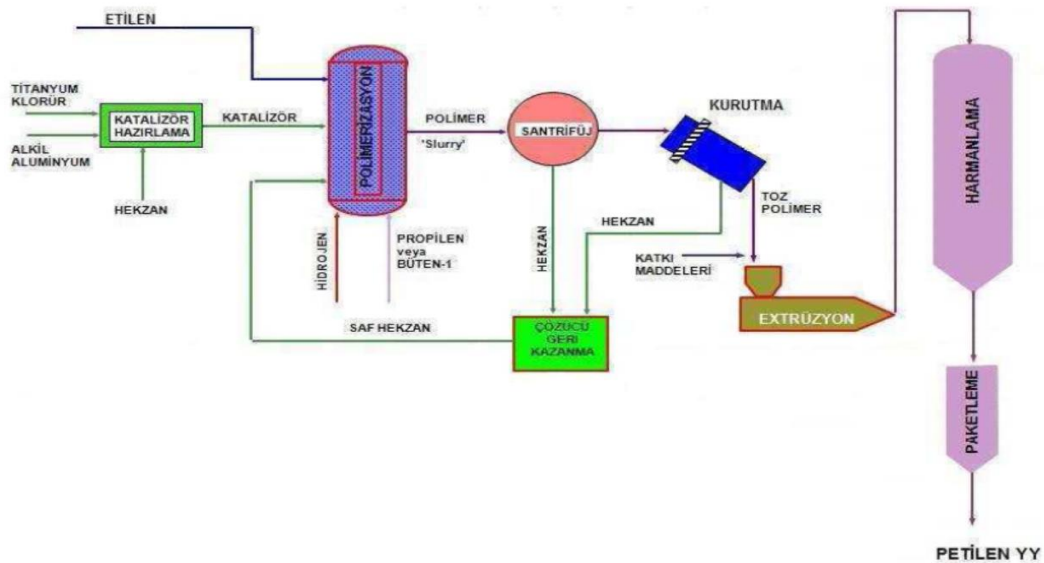
Tablo 3.2. Enjeksiyon makinesinde uygulanan proses değerleri

İşlem	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	190-250
Bekleme süresi (s)	8
Basınç (bar)	120-130
Kalıp sıcaklığı (°C)	40

3.1.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)

Yüksek Yoğunluklu Polietilen, Etilen gazının Ziegler-Natta modülü koordinasyon ve katalistleri eşliğinde, heksan ortamında düşük sıcaklık ve basınçta heksan ortamında polimerizasyon ile Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) meydana gelmektedir. Kimyasal formülasyonu $CH_3 - (CH_2)_n - CH_3$ şeklindedir. Genel olarak piyasada polietilen polimerleri yoğunluklarına, mekanik özelliklerine, kimyasal yapılarına göre birçok çeşidi olmakla beraber YYPE en çok kullanılanlardan biridir. En çok kullanılan polietilenler;

1. UHMWPE (ultra yüksek moleküler ağırlıklı PE)
2. HDPE (yüksek yoğunluklu PE) (high density PE)
3. LDPE (düşük yoğunluklu PE) (low density PE)
4. LLDPE (lineer düşük yoğunluklu PE) (linear low density PE) [51,56].



Şekil 3.2. YYPE polimerinin üretim aşamaları [51]

YYPE polimeri diğer polimerler gibi petrolden imal edilir ve İngilizce karşılığı “High Density Polyethylene” olmakla beraber kısaltmasında HDPE’dir. Endüstri ve imalat sanayinde genellikle bu isim kullanılmaktadır. Termoplastik grubunda yer alan YYPE polimeri yaklaşık 1.75 kg petrolden 1 kg YYPE polimer hammaddesi üretilmektedir [52].

1950 'li yıllarda Ziegler-Natta (ZN) adıyla başka bir katalizörün icat edilmesiyle birlikte etilenin hammaddesinin çok düşük basınçta polimerleştirilmesi yapılarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve alçak yoğunluk polietilen (LDPE) üretimi sağlanmıştır [53]. YYPE üretiminde en çok ekstrüzyon yöntemi kullanılmakla beraber, yaklaşık %25-30 aralığında ise plastik enjeksiyon makinasında kullanılmaktadır. Ayrıca şişirme yöntemiyle film ve levhalarda üretilmektedir [54].

3.1.1.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) özellikleri

YYPE polimerinin kristallik oranı %90'ları bulmaktadır. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmasıyla birlikte, yaklaşık olarak ergime sıcaklığı ise 135°C civarındadır. YYPE polimeri düşük yoğunluklu polietilene (DYPE) göre daha sert, tok ve kimyasal değerleri daha yüksektir. Bunun nedeni molekül ağırlığı ve yoğunluk değerlerinin bağlıdır [55]. YYPE polimerinin özellikle yoğunluğunun artmasıyla

birlikte özellikle düşük sıcaklıklarda darbe mukavemeti, geçirgenlik, uzama ve çatlak direnci artar. Endüstride kullanılan YYPE polimeri 50000 ile 250000 (g/mol) moleküler ağırlığında değişen değerlere sahiptirler [56].

YYPE polimerinin genel olarak özellikleri şunlardır;

1. Neme karşı yüksek direnç
2. Üstün kimyasal direnç
3. Esneklik
4. Gerilme ve çatlak dirençleri iyidir.
5. Darbe ve çekme dayanımları yüksektir.
6. Yüksek tokluk [57].

Ayrıca mekanik özellikleri çok iyi olmakla beraber, özellikle darbe ve çekme dayanımları diğer polimerlere nazaran daha fazladır. Katkı ve dolgu maddelerinin ilavesiyle birlikte mekanik özellikleri artmaktadır. YYPE polimeri saf halde çekme dayanımı yaklaşık 225-350 kgf/cm²'dir. Sıcaklık dayanımı ise 100°C'nin üzerine çıkmaktadır. YYPE polimeri eğer yavaş soğutulursa kristalleşme imkanı hızlı soğutulmasına göre daha fazladır. Bu yüzden soğutma prosesinde en baştaki malzeme özelliklerinde önemli değişikliklere sebep olur. Bu değişiklik mekanik özelliklerinin de çok fazla farklılık olmasını sağlar. Kısaca bu moleküler oryantasyon; mukavemet, katılık, tokluk ve çatlak direncinin artışına sebep olmaktadır [58]. YYPE değişik moleküler ağırlıkların dar olursa eğer; düşük sıcaklığın etkisi, gerilme çatlak direnci, tokluk ve yumuşama sıcaklığı artmaktadır. Geniş moleküler dağılımında ise düşük erime viskozitesi, sünme direnci ve yüksek enjeksiyon direnci ise artmaktadır. Ancak uzama ve çekme mukavemeti özellikleri ise moleküler ağırlık değışse bile etkilenmemektedir [56].

Bu yüksek lisans çalışmasında kullanılan YYPE polimer malzememiz Petilen (YY I 668 UV) isimli ticari ünvanıyla kullanılan ve Petkim A.Ş firması tarafından üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. Katkı maddeleri

Polimer malzemeler kullanım yerleri veya kullanıldığı işletmelerde kullanım sırasında birçok dış etkenlerden etkilenmektedirler. Polimer malzemeler en çok ısı, uv-ışınları, kimyasallar, nem ve ozon gibi fazlada dış etmenlere maruz kalmaktadır. Polimer malzemelerin üstün özelliklerinin yanında dış etkilere en az etkilenmesi için ilave malzemeler eklenmektedir. Kısaca açıklamak gerekirse kullanım yerine göre eksik yönlerinin giderilmesi için ilave edilen malzemelerdir. Örnek olarak polimer malzemelere ısı stabiliyatör veya antioksidantlar ilave edilerek bozunmaya karşı korunmaktadırlar. Diğer yandan dolgu maddesi veya renklendirici gibi ilavelerle katılarak hem fiyatı düşürülebilir hem de estetik bir görünüm sağlanabilir. Katkı maddesinin katıldığı başlıca malzemelerden biride YYPE polimeridir. YYPE polimeri yapısı gereği sert ve kırılabilirliğinin yanında ısı kararlılığı zayıftır. Bunla birlikte bu özelliklerinin en aza indirmek için çeşitli katkı maddeleri katılmaktadır. İlave edilen bu katkı maddelerinden en çok kullanılanları şunlardır;

1. Dolgu maddeleri
2. Alevlenmeyi geciktiriciler
3. Isı stabilizatörleri
4. Antistatik maddeler
5. UV-stabilizatörleri
6. Renklendiricileri
7. Plastikleştiriciler

Bu çalışması boyunca YYPE polimerine farklı oranlarda (%5, %10, %15) ilave edilen katkı maddelerinin aşınma-sürtünme davranışlarına yapmış olduğu etkiler incelenmiştir. Bu katkı maddeleri şunlardır;

1. Midye kabuğu tozu (MKT)
2. Silisyum dioksit (SiO₂)
3. Çinko oksit (ZnO)
4. Çinko borat (ZnBr)

3.1.2.1. Midye kabuğu tozu (MKT)

Polimer malzemelerde son zamanlarda genel katkı maddelerinin yanında farklı malzemelerde ilave edilerek özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Midye kabukları genellikle gıda katkı maddesi olarak veya inşaat sektöründe (sıvacılık) dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak midye kabuğunun ana materyali olarak karbonattır (CaCO_3) içermesi polimerle beraber kullanılmasını için önemli bir kapı açmaktadır. Bu sebeple midye kabuğu tozunun polimerle birlikte kullanımı için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Midye kabuğuna $700\text{ }^\circ\text{C}$ ve üzerindeki sıcaklıklarda ısıl işlem yaparsak CaCO_3 , anti bakteriyel etkisi olan kalsiyum okside (CaO) dönüşmektedir. Midye kabuğu tozunda kalsiyum karbonat haricinde farklı bileşenlerde olup bunlar aşağıdaki Tablo 3.3.'de verilmiştir [59].

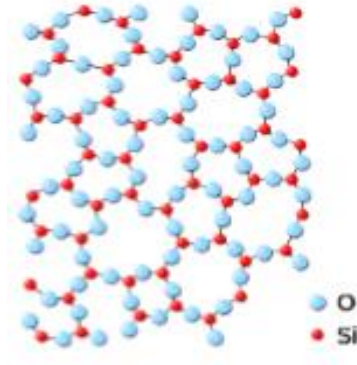
Tablo 3.3 Midye kabuğu tozunun bileşen ve oranları [60]

Bileşen	% Oranı
CaO	95,7
K ₂ O	0,5
SiO ₂	0,9
SrO	0,4
Fe ² O	0,7
SO ₃	0,7
MgO	0,6
Al ₂ O ₃	0,4

Bu yüksek lisans çalışmasında kullanılan midye kabuğu tozu (MKT) Marmara denizinden toplanmış olup, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Plastik işleme laboratuvarında öğütülerek enjeksiyon makinası ile YYPE polimeri ile kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.1.2.2. Silisyum dioksit (SiO₂)

Silisyum ilk olarak 1824 yılında Berzelius tarafından 1824 yılında keşfedilmiştir. Doğada silisyum siliksat asidi veya tuzları şeklinde bulunur. Yerkabuğunda çok fazla bulunmakla beraber yaklaşık %25,7'si bu elementten oluşur ve yarı iletkenidir. Silisyum oksit (SiO₂) ise doğada kuart ve kum halinde bulunur [61].



Şekil 3.3. Silisyum dioksit (SiO_2) kimyasal yapısı [61]

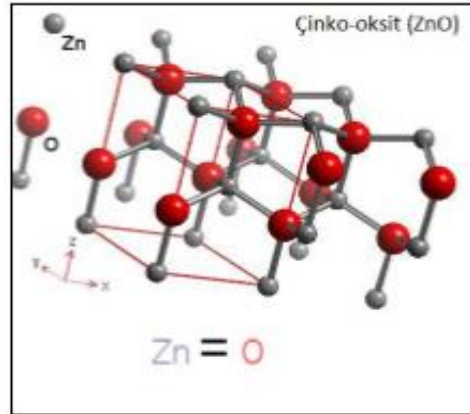
Silisyum dioksit (SiO_2) sanayi ve endüstride birçok alanda kullanılmakla beraber en önemli kullanım yerlerinden biri sağlık sektöründe (cilt, deri, ve kas tedavilerinde) de çok fazla kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları ise; izolasyon, gıda mürekkeplerinde, çeşitli kompozitlerde, elektrik izolasyonunda kaplama film olarak ve ilaç sanayinde kullanılmaktadır [61]. Bu tez çalışmasında Cabot firmasına ait TS-610 marka SiO_2 kullanılmıştır.

3.1.2.3. Çinko oksit (ZnO)

Çinko oksit beyaz toz görünümüne sahip olup, en önemli kullanım yerleri nitril kauçuk ve elastomerler çapraz bağlanabilmesi için kullanılırlar [61].

Çinko oksit (ZnO) 3 farklı ürün haline gelebilmektedir.

1. İndirect üretim
2. Direk Üretim
3. Kimyasal Üretim

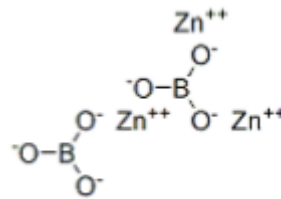


Şekil 3.4. Çinko oksit (ZnO) kimyasal yapısı [61].

Çinko oksitin başlıca uygulama alanlarını; Beton ve kaçuk üretiminde, sigara filtresinde, medikal ve gıda ilavesi olarak, kaplama ve nükleer reaktörlerde korozyon önleyici olarak, piezzo elektrik ürünlerinde çok fazla kullanılmaktadır [61, 62, 63]. Ayrıca Çinko oksit ürünü çevre için zararlıdır. Bu yüzden bu malzemenin atığı ve ambalajı mutlaka yok edilmelidir. Çinko oksit oda sıcaklığında 1 yıl boyunca saklanabilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan çinko oksit malzemesinin partakül boyutu 50 – 150 nm olup, katı toz halde kokusuz ve sarı renktedir.

3.1.2.4. Çinko borat (ZnBr)

Çinko borat beyaz renkli neme karşı dayanıklı ve toz halde bulunan bir maddedir. Çinko borat, yüksek sıcaklıktaki polimer proseslerinde kullanılabilmesinden dolayı polimer endüstrisinde kullanımı gitgide artmaktadır. Özellikle polimer ve kauçuk malzemelerde alev geciktirici olarak çok fazla kullanılır. Endüstrilerde en çok kullanılan çinko borat $2ZnO.3B_2O_3.3,5H_2O$ ' dır [64, 65, 66].



Şekil 3.5 Çinko boratın moleküler görünümü [64].

Çinko borat malzemesinin diğer kullanım alanları; duman bastırıcı, korozyon geciktirici ve seramik sanayinde ergime noktası düşürücü özelliklerinden dolayı

tercih edilirler. Çinko boratı meydana getiren bileşenlerin isimleri ve oranları Tablo 3.4.'de verilmiştir [65].

Tablo 3.4. Çinko boratı oluşturan bileşenlerin oranları [65]

Çinko borat bileşenleri	Bileşen miktarı (%)
Bor Oksit (B ₂ O ₃)	48,05
Çinko Oksit (ZnO)	37,45
Kristal Su (H ₂ O)	14,5

Bu tez çalışmasında kullanılan çinko borat Jinan Shichao firmasından SC-467 kodlu ürün kullanılmış olup YYPE polimerle kompoziti Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Plastik işleme laboratuvarında üretilmiştir.

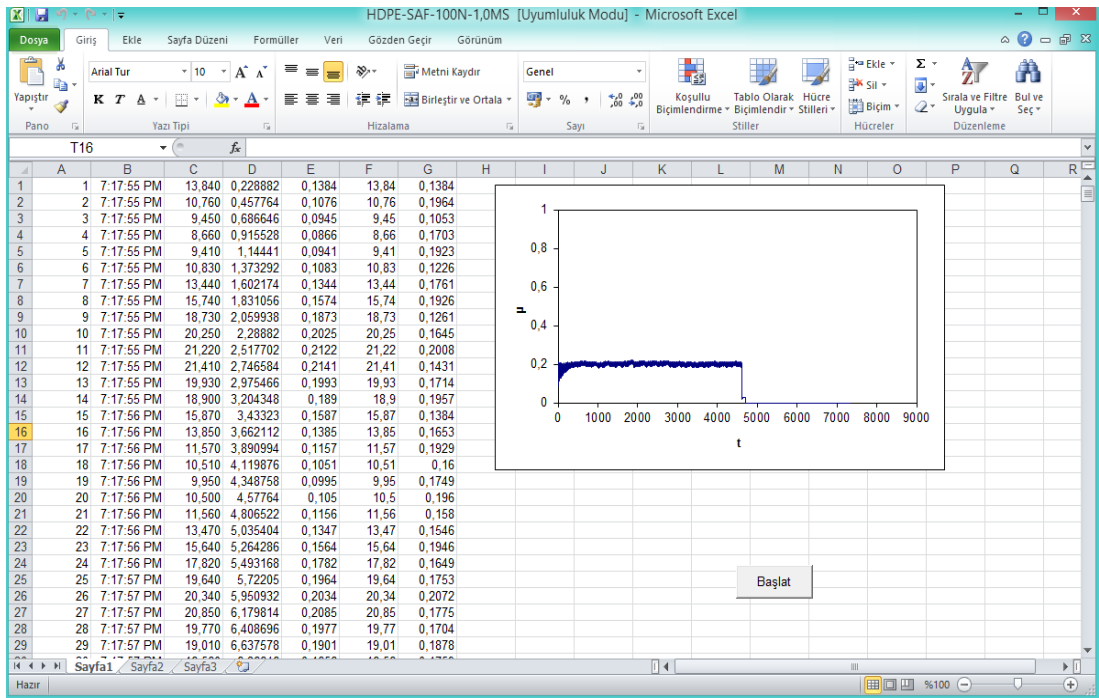
3.2. Aşınma Prosesi

Aşınma deney düzeneği, ana gövde üzerinde monte edilmiş elektrik motoru, bir yük kolu, bir elektronik yük hücresi ve verilerin gönderildiği bilgisayar kısımlardan meydana gelmiştir. Aşınma cihazının ana gövdesinde dönen bir disk vardır. Bu disk aşınma cihazına bağlı olan elektrik motorunun sayesinde dönmektedir. Bu diskin üzerine yapacağımız çalışma için gerekli olan disk malzeme bağlama ekipmanları ve bir vida yardımıyla ana gövdede bulunan diğer diskle beraber sabitlenir. Aşındırılacak pim numunesi 6 mm çapında olup aşınma düzeneğinde olan kola bağlanır. Aşınma deneyine başlamadan önce aşındırıcı olarak kullanılan çelik disk yüzeyi ve pim numuneleri aseton ile temizlenir. Aşınma cihazı çalıştırıldıktan sonra kola bağlanan polimer pim numunesi diskin üzerine yavaşça bırakılır, pim numunesinin hareket halindeki diske temas sonucu oluşan sürtünmeyle birlikte numune ve kol apartı dönüş yönüne göre hareket eder. Bu harekete yanal kuvvet diye adlandırılır. Bu yanal kuvvet aşınma cihazına bağlı olan yük hücresi ile ölçülüp bilgisayara aktarılarak excel programında kaydedilir.

Aşınma cihazı yapılacak olan deneyler için dakikada 1000 veri alınabilecek şekilde ayarlanmıştır. Deney sürelerine göre 7000 ile 65.000 aralığında veriler elde

edilmiştir. Bu yanal yükten gelen veriler Excel programında D sütunundaki değerlerdir. Bu elde edilen veriler Y ekseninde, deney süresinde X ekseninde görülecek şekilde grafikler yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen grafikler sürtünme katsayısı-zaman grafiği olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.6.'da aşınma deneyi sonucunda bilgisayarda elde edilen verilerin Excel programında şeklini göstermektedir.

Bu yüksek lisans çalışması boyunca kullanılan YYPE polimeri ve YYPE+%5MKT, YYPE+%10MKT, YYPE+10MKT, YYPE+%15MKT, YYPE+%5SiO₂, YYPE+%10SiO₂, YYPE+%15SiO₂, YYPE+%5ZnO, YYPE+%10ZnO, YYPE+%15ZnO, YYPE+%5ZnBr, YYPE+%10ZnBr, YYPE+%15ZnBr kompozit malzemeleri, aşınma deneylerinde kullanılmak için 6 mm çapında ve 50 mm boyunda pim şeklindeki numuneler plastik enjeksiyon makinasında üretilmiştir. Ayrıca aşındırıcı olarak kullanılan karşı disk malzeme olarak 100 mm çapında ve 6 mm kalınlığında AISI 316L paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Deneylerden önce disklerin yüzeyleri ilk olarak taşlanmış, yapılan her deney sonucunda 1200 nolu zımpara parlatılmış ve yüzeyleri aseton ile temizlenmiştir. Disklerin yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğundan ölçümleri yapılmış olup, ortalama olarak yüzey pürüzlülüğü Ra=0,36 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.6. Aşınma deneyin de excel formatında elde edilen sürtünme katsayısı değerleri görünümü.

Sürtünme katsayısı normal kuvvete-yanal kuvvetin oranıdır ve aşağıdaki formülle (Denklem 3.1) hesaplanır.

$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad (3.1)$$

Formülde verilen değerlerin açılımı şöyledir;

μ : Sürtünme katsayısını,

F_S : Yanal sürtünme kuvveti (N),

F_N ise Normal kuvveti (N)

Yapılan aşınma deneylerin bitiminde, önce pim numunesinin bağlı olduğu kol kaldırılır ve aşınma programı durdurulur. Ardından hareket halindeki çelik disk döndüren motor durdurulur. Kola bağlı olan pim yerinden sökülerek, eğer üzerindeki yapışan aşınma partikülleri ve çapakları alınır, aşınma kaybı için dijital terazide tartılır. Ölçümlerde kullanılan hassas dijital terazi Radwag marka olup 0.0001g hassasiyetindedir. Bu işlemler sırasında polimer pim malzemelerin rutubeti alındıktan sonra aşağıda verilen formülle aşınma kaybı değeri (Denklem 3.2) hesaplanır.

$$W_a = \frac{\Delta m}{S \times \rho \times F_N} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki verilen sfesifik aşınma oranı formülünün açılımı şöyledir [38];

W_a : Spesifik aşınma oranı,

Δm : Aşınma miktarı (İlk-son ölçüm farkı),

S : Kayma yolunu,

ρ : Pim numunesinin yoğunluğunu,

F_N : Normal kuvveti, ifade etmektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan YYPE polimer ve kompozitlerinin aşınma deneyleri, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik laboratuvarında bulunan ve Şekil 3.7.'de gösterilen pin-on disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Pin-on disk aşınma test cihazının görünümü

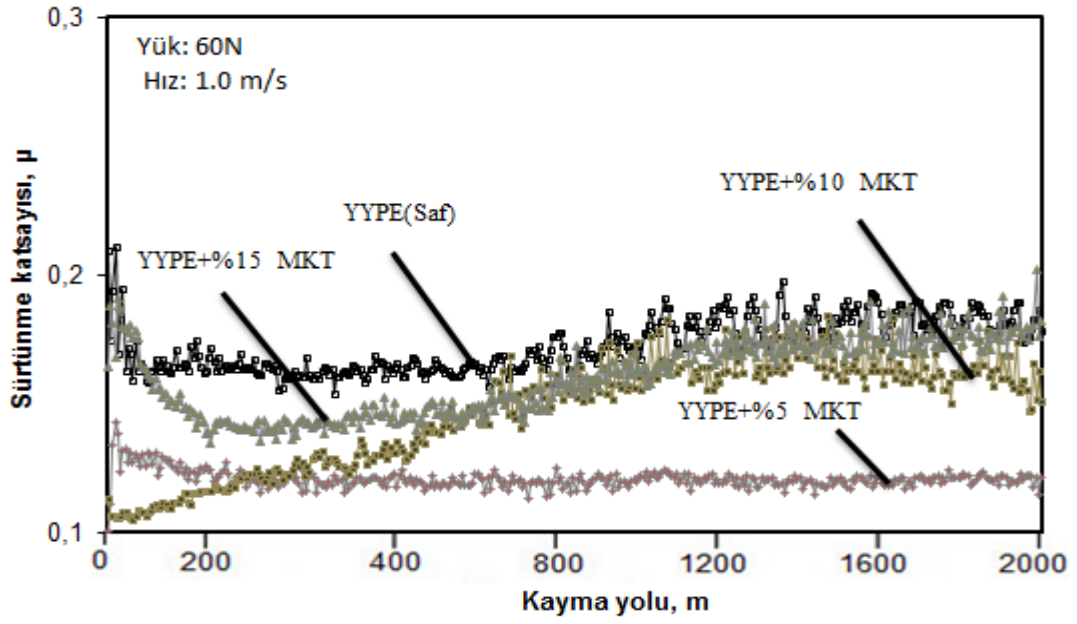
BÖLÜM 4. DENEYSEL BULGULAR

4.1. Yapılan Çalışmaların Aşınma ve Sürtünme Analizleri

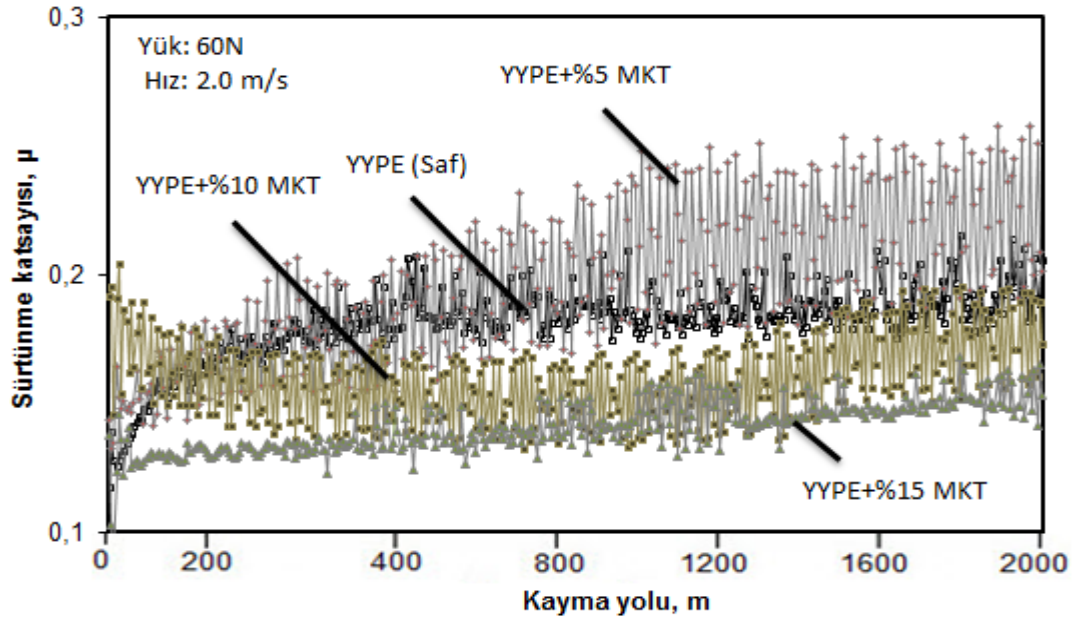
4.1.1. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitinin sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi

Yapılan tribolojik deneylerde kullanılan saf YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı aşınma analizleri;

Şekil 4.1.'de YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 60N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf YYPE polimeri ile %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 1200m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 300m yol katettikten sonra stabilize olmuştur. YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.18, 0.13, 0.15 ve 0.16 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 midye kabuğu tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

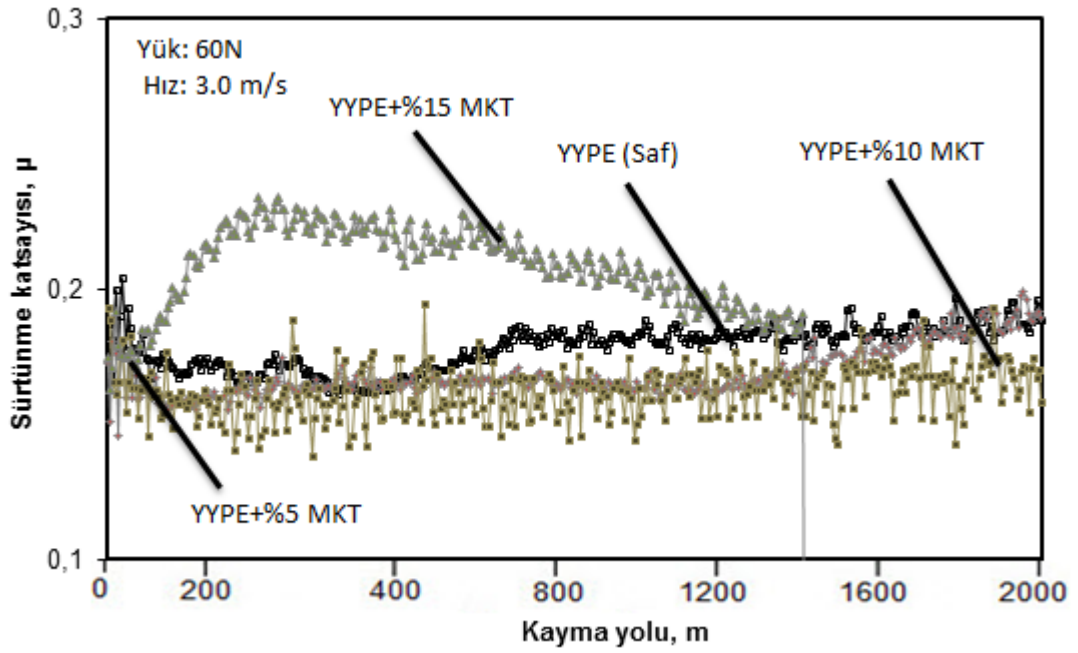


Şekil 4.2. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

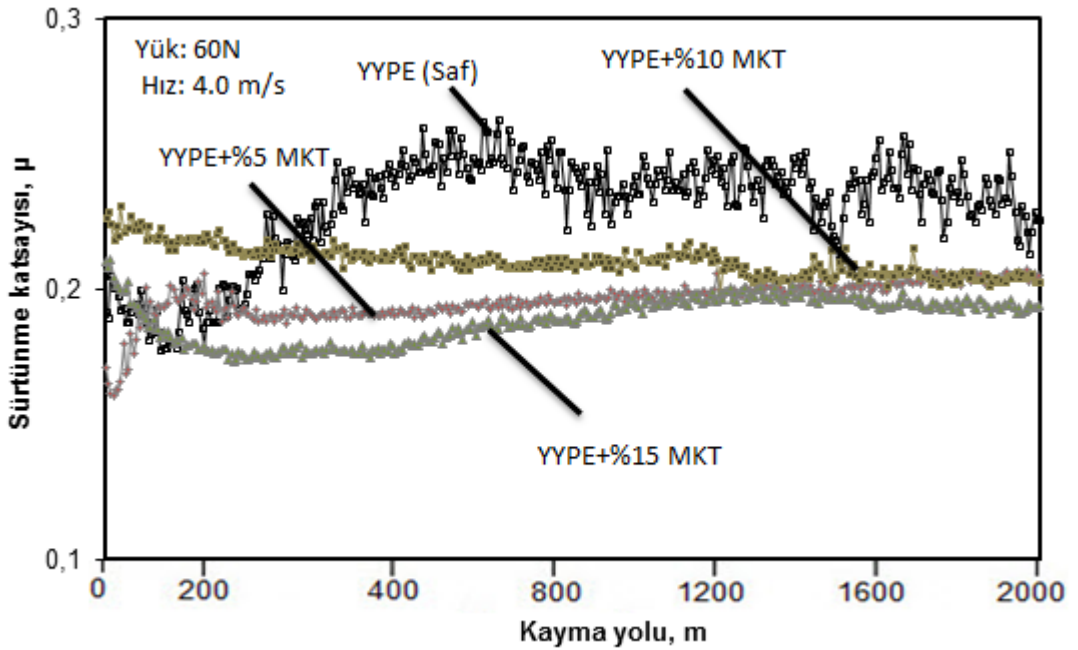
Şekil 4.2.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf YYPE polimeri ile %5 ve %10 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme

katsayıları yaklaşık olarak 400m yol aldıktan sonra stabilize olurken %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 250m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.18, 0.22, 0.16 ve 0.14 olarak tespit edilmiştir.

3.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu katkılı YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.3.'de verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 1500m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 800m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 ve %10 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 250m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 60N yük altında ve 3.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık sırası ile olarak ve 0.18 olarak tespit edilirken %5 ve %10 midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.16 ve 0.16 olarak tespit edilmiştir.



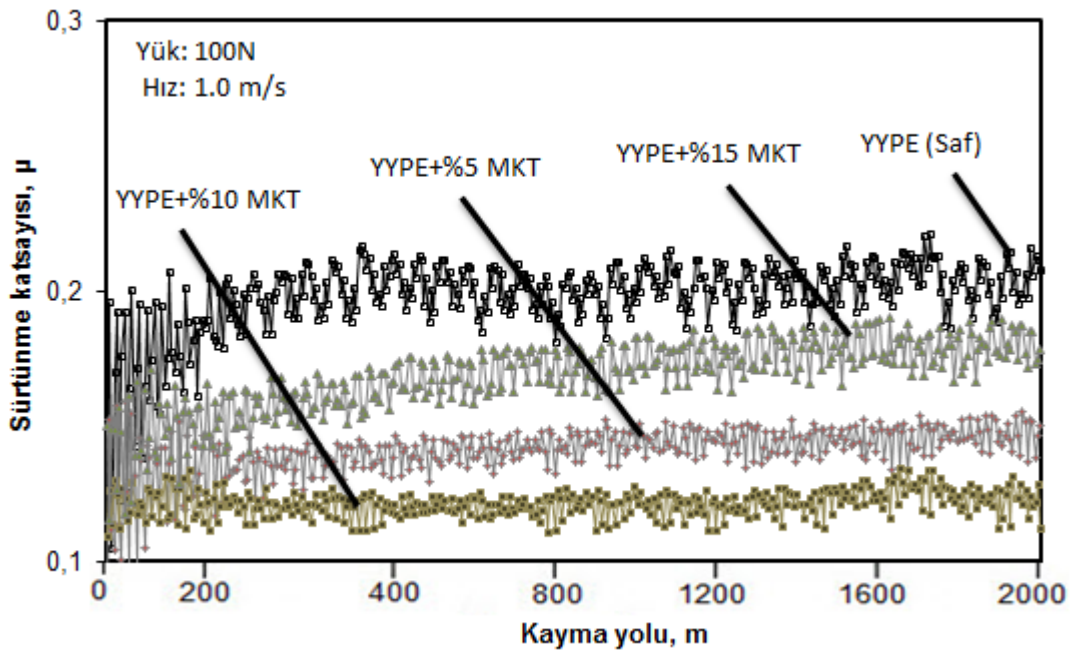
Şekil 4.3. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)



Şekil 4.4. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 4.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

Şekil 4.4.'de 4.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu katkılı YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu

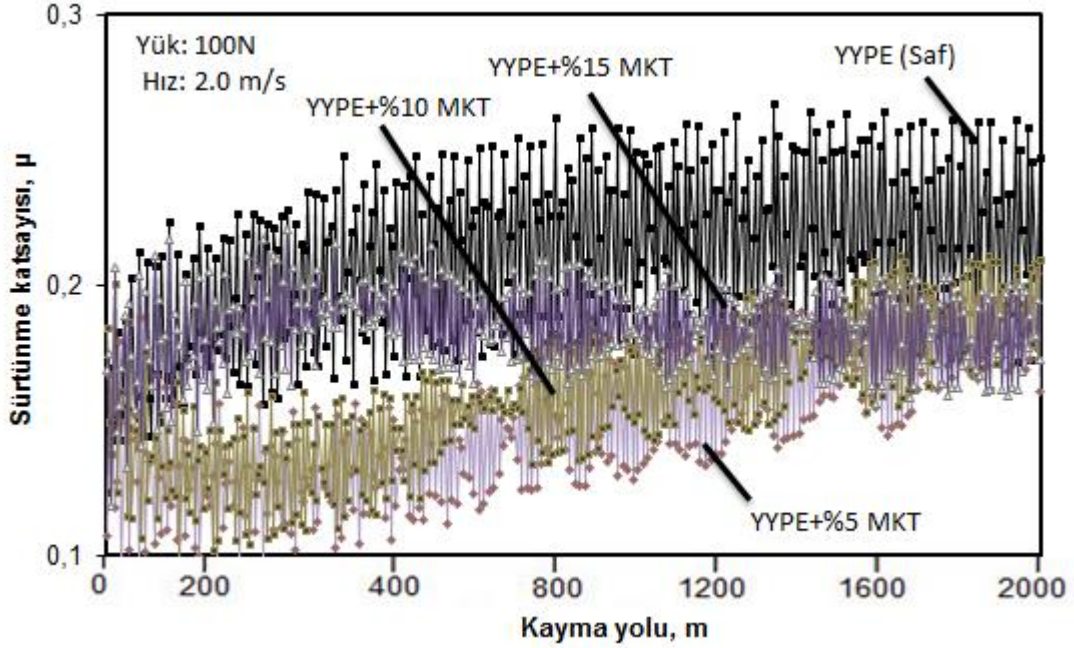
ilişkinini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf YYPE polimeri ile %5 ve %10 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 200m yol aldıktan sonra stabilize olurken %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 800m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 4.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.22, 0.20, 0.19 ve 0.16 olarak tespit edilmiştir



Şekil 4.5. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

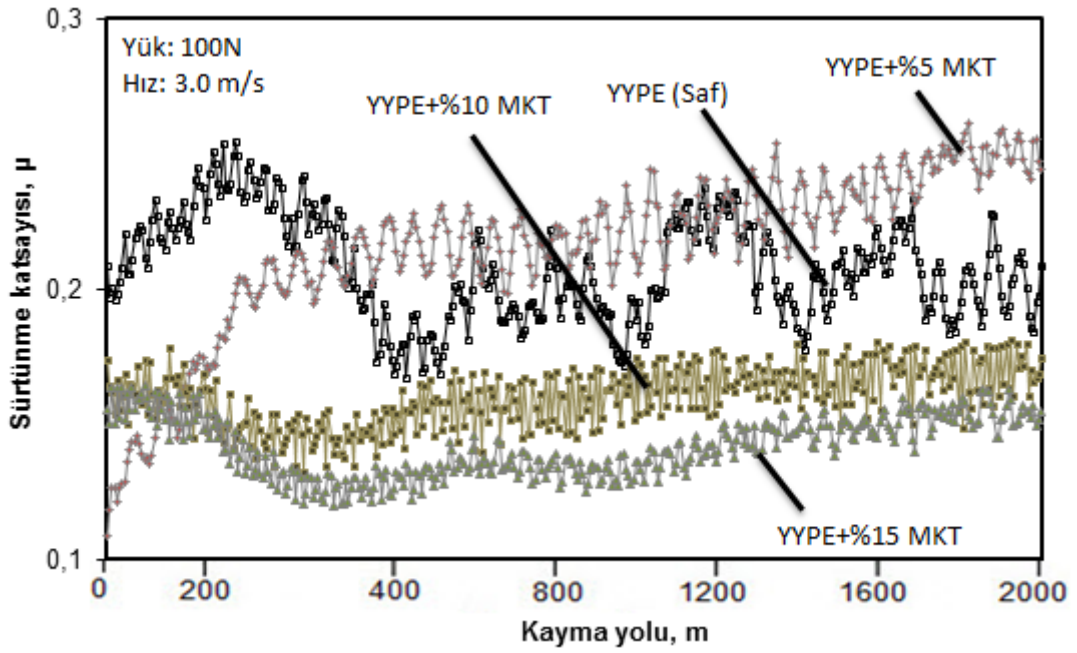
1.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu katkılı YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.5.'de verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 800m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 400m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 ve %10 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 250m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 100N yük altında ve 1.0 m/s kayma hızında yapılan

deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla yaklaşık olarak ve 0.17 olarak tespit edilirken %5 ve %10 midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.13 ve 0.11 olarak tespit edilmiştir.



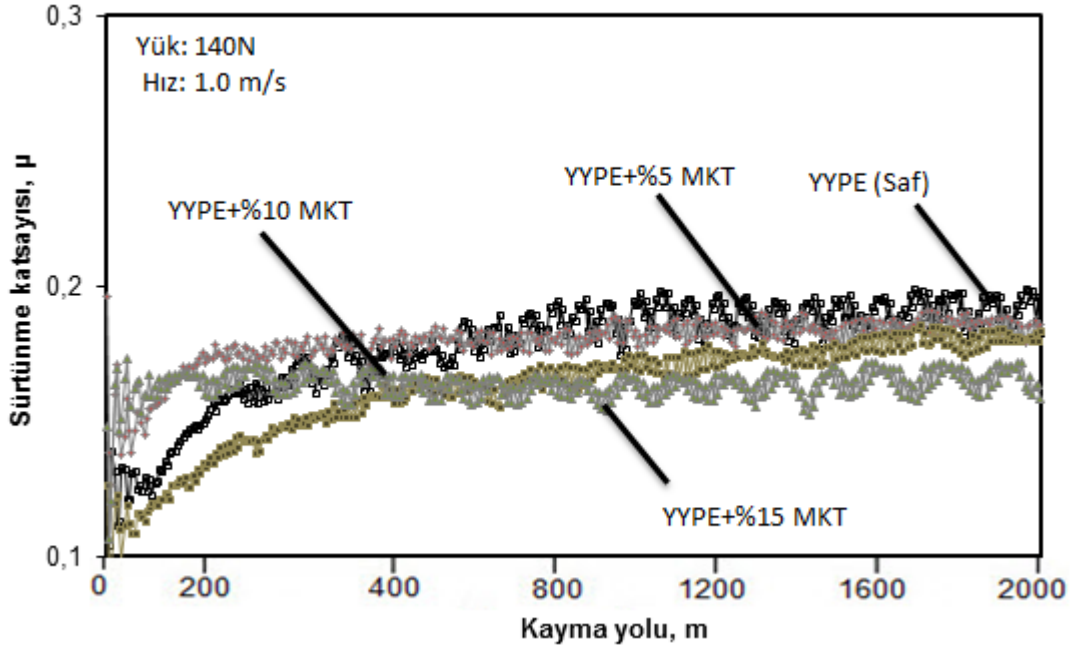
Şekil 4.6. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

Şekil 4.6.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu katkılı YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini verilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere saf YYPE polimeri ile %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 400m yol aldıktan sonra stabilize olurken %5 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1200m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.18, 0.13, 0.14 ve 0.17 olarak saptanmıştır.



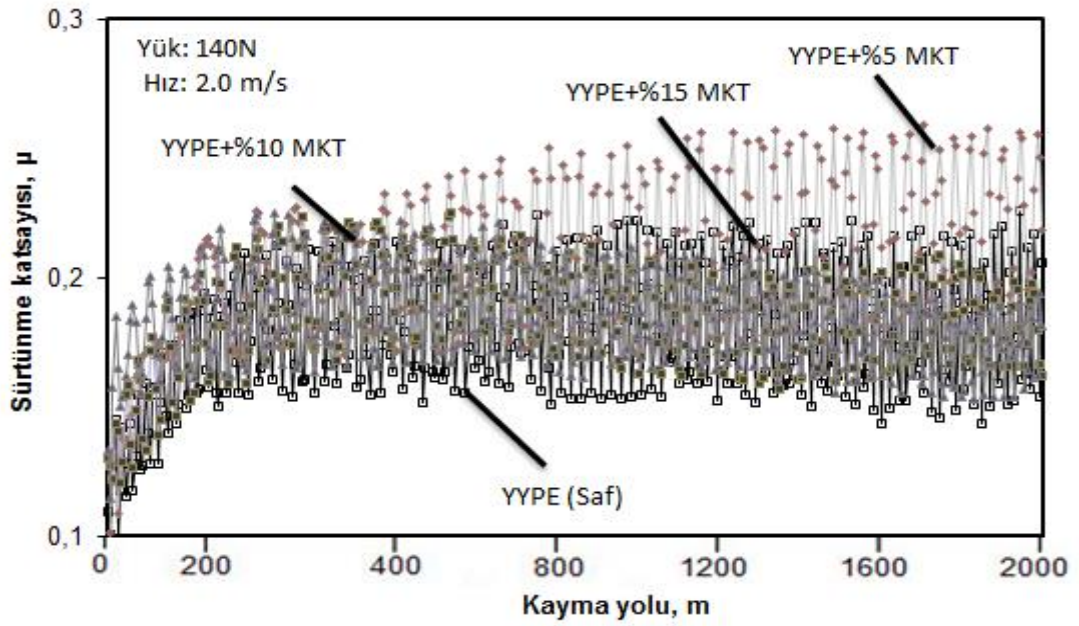
Şekil 4.7. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

3.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.7.'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere %10 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 1000m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 500m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 ve %10 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 500m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 100N yük altında ve 3.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla yaklaşık olarak ve 0.20 olarak tespit edilirken %5 ve %10 midye kabuğu tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.24 ve 0.15 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)

Şekil 4.8.'de YYPE polimeri ile midye kabuğu katkıli YYPE kompozit malzemelerin 140N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere saf YYPE polimeri ile %5 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 300m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %10 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 400m yol kat ettikten sonra dengeye ulaşmıştır. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.17, 0.16, 0.14 ve 0.13 olarak tespit edilmiştir.

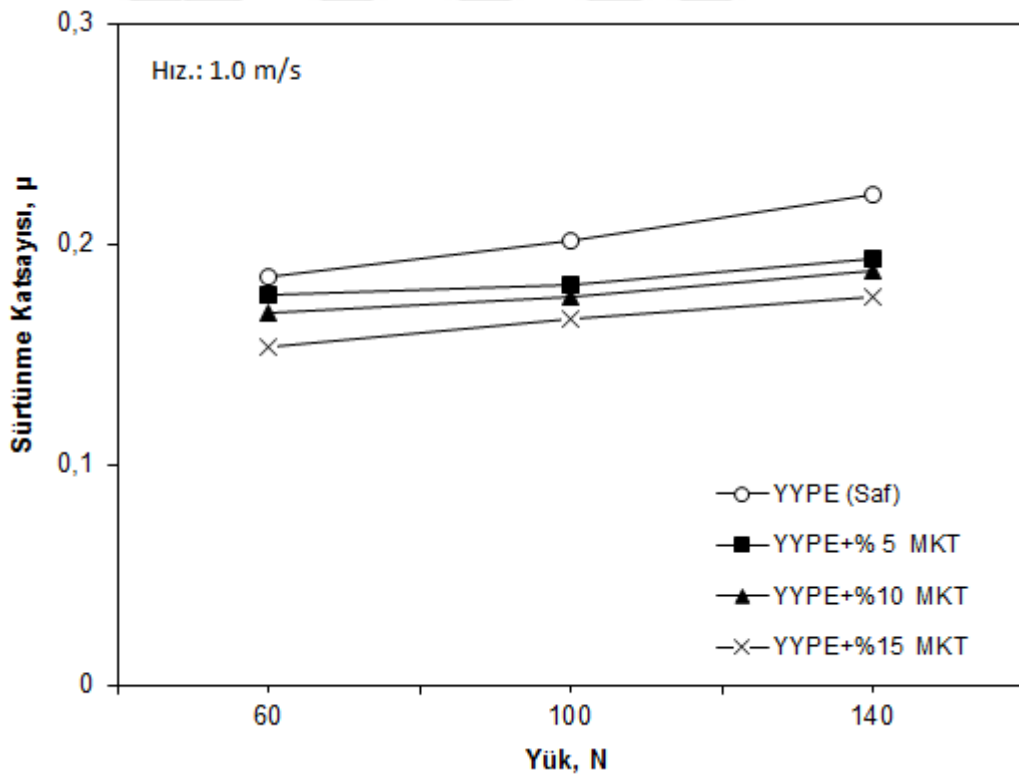


Şekil 4.9. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)

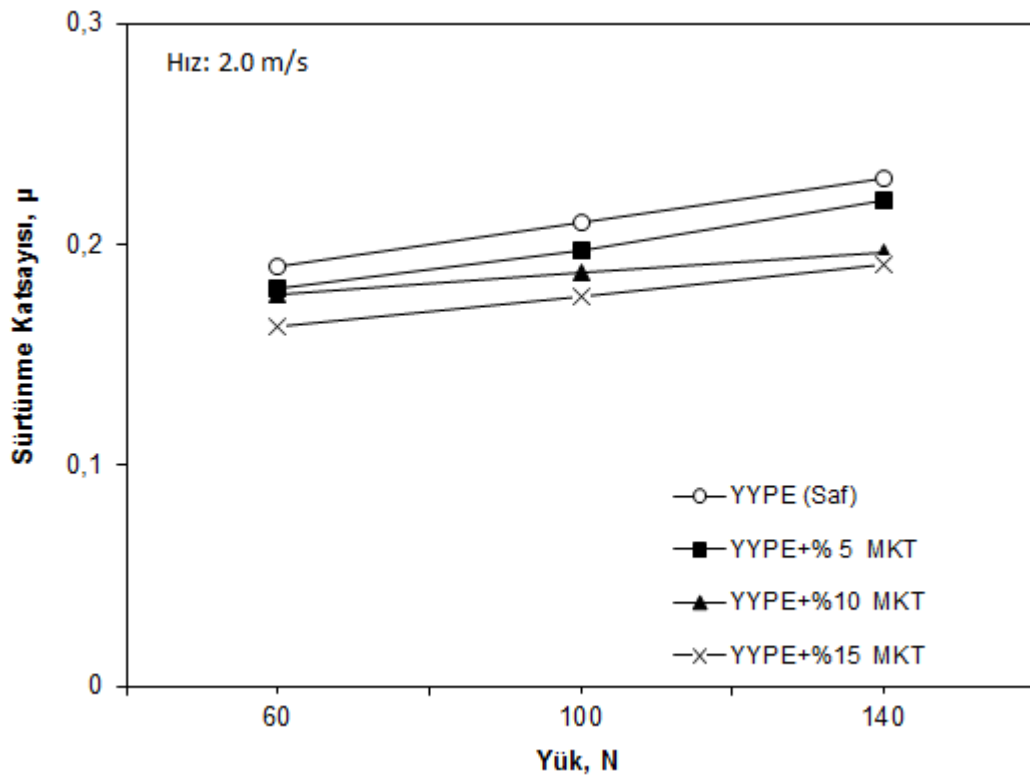
Şekil 4.9.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere saf YYPE polimeri ile %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 300m yol aldıktan sonra stabilize olurken %5 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 800m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.16, 0.22, 0.17 ve 0.18 olarak saptanmıştır. Bu çalışmada kullanılan saf YYPE polimeri ve kompozitlerinin sürtünme katsayısı değişimleri iki kademeli olarak gerçekleşmiştir. Birinci kademede olarak başlangıç aşamasında, sürtünme katsayıları hızlı bir artış görülmüştür. İkinci kademede ise kararlı bir şekilde sürtünme katsayısı sabit kalmıştır. Bunun nedeni ise; polimer malzemenin başlangıçta yüzeyindeki pürüzlü tepelerin düzleşmesi ve ikinci aşamada ise bu pürüzlü tepelerin aşınmasıyla polimer partiküllerinin çelik yüzeyindeki boşlukları yüzeyi doldurmuş ve stabil hale gelmiştir.

4.1.1.1. YYPE/Midye kabuğu tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yük ilişkisi

Şekil 4.10.'de saf YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu katkıli YYPE kompozit malzemelerin 1.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisini göstermektedir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 midye kabuğu tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile hafif artış göstermektedir. Uygulanan yükün 60N 'dan 140N'a %133 oranında artırıldığında saf YYPE polimeri, %5, %10 ve %15 MKT katkıli YYPE kompozitin sürtünme katsayıları sırasıyla %22, %20, %19 ve %18 oranında artmıştır. En yüksek sürtünme katsayısı sırasıyla 0.22 değeri ile saf YYPE polimerinde elde edilirken, 0.20 değeri ile %5MKT katkıli YYPE kompoziti, 0.19 değeri ile %10MKT katkıli YYPE kompoziti ve 0.18 değeri ile %15MKT katkıli YYPE kompozitinde elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s)

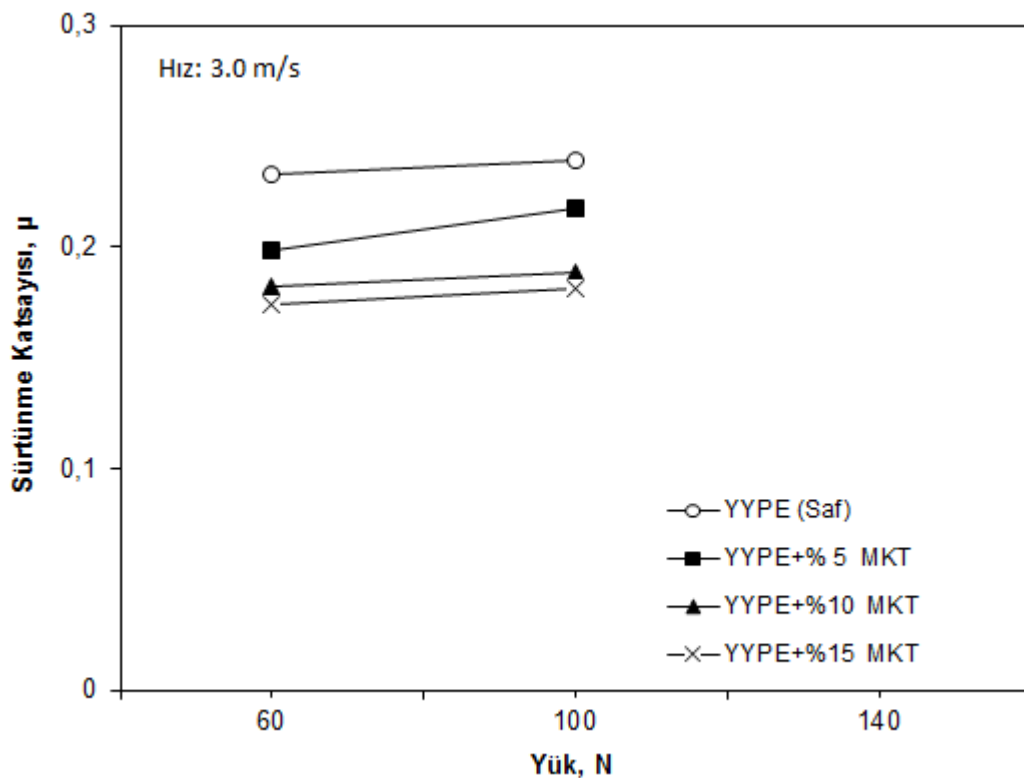


Şekil 4.11. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s)

YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 2.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.11.'de verilmiştir. 2.0m/s hızda yapılan deneylerde kullanılan saf YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları Şekil 4.10'a benzer davranış göstermektedir. Yani uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm malzemelerin sürtünme katsayıları artmaktadır. Uygulanan yükün 60N'dan 140N'a %133 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla %21, %22, %10 ve %17 oranında artış göstermiştir.

Şekil 4.12.'de ise saf YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi göstermektedir. Kayma hızı 3.0m/s' ye çıkarılması ile 60N ve 100N yüklerde tribolojik deneyler gerçekleştirilmiştir. 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı gibi proses şartları saf YYPE ve midye kabuğu tozu katkılı kompozit malzemelerin tribolojik

deneyleri için yüksek bulunmuş ve bu şartlarda numuneler deney süresince dayanamayıp çabuk aşınmıştır. Bu sebeple 140N ve 3.0m/s kayma hızında deneyler tamamlanamamıştır. Şekilde görüldüğü gibi uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm malzemelerin sürtünme katsayıları artmaktadır. Uygulanan yükün 60N'dan 100N'a yaklaşık %66 oranında artırılması ile saf YYPE polimerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak %7.1 oranında artış göstermiş, %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları ise sırasıyla %9.5, %3.3 ve %4 oranında artış gözlenmiştir.

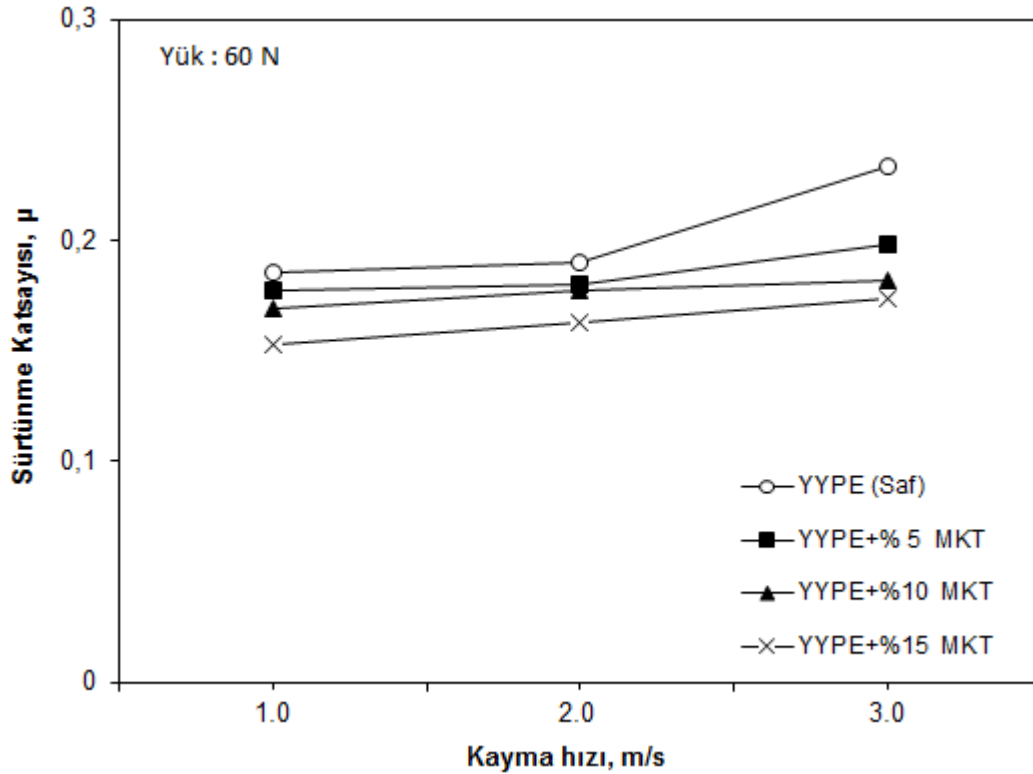


Şekil 4.12. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s)

Sürtünme deneylerinde uygulanan yükün artması ile birlikte sürtünme katsayısındaki artması polimerlerin viskoelastik özelliğinden ve sıcaklığın artmasıyla birlikte bağ yapılarındaki kopmalarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Aşındırıcı ve aşınan iki malzemenin teması sonucunda, temas yüzeyindeki ısının artmasıyla birlikte malzemenin viskoelastik özelliklerini, yapışma ve transfer davranışlarını etkiler.

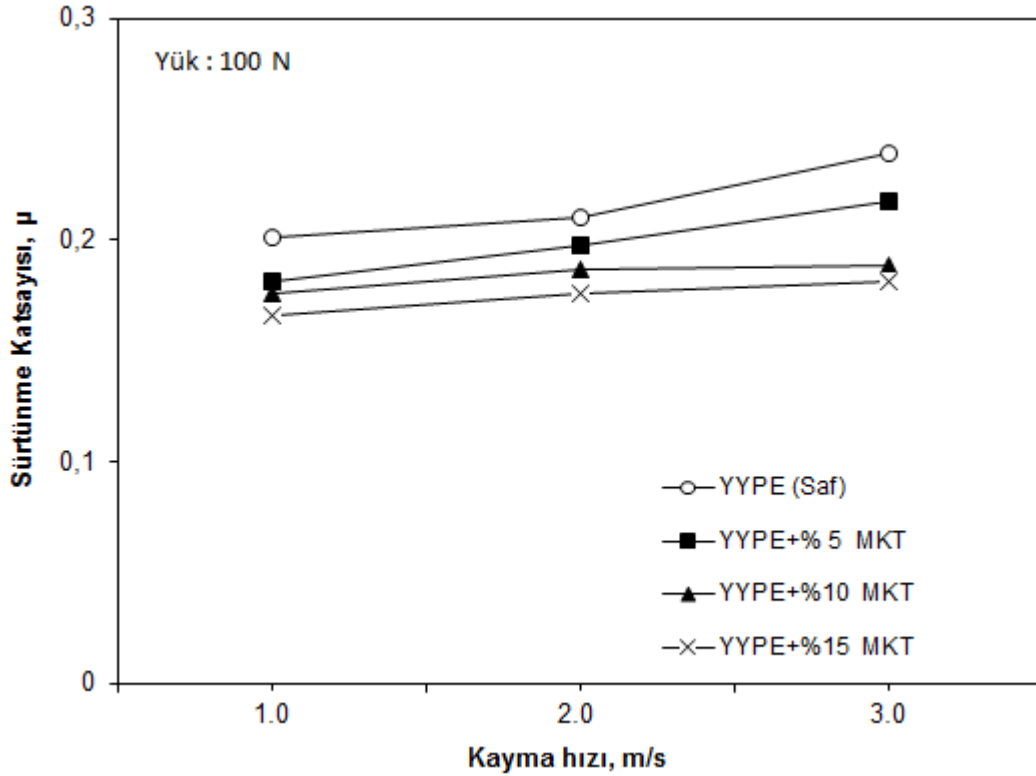
4.1.1.2. YYPE/Midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi

Saf YYPE polimeri ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin 60N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı arasındaki ilişkisi Şekil 4.13.'de verilmiştir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi en yüksek sürtünme katsayısı sırasıyla saf YYPE polimerinde elde edilirken sonra bunu sırasıyla %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerde elde edilmiştir. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde kayma hızının (1.0m/s'den 3.0m/s'ye) artırılması ile hem saf YYPE polimerinin hem de %5, %10 ve %15 midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerinin sürtünme katsayısında artış olduğu gözlenmektedir. Sürtünme katsayısındaki artış oranı saf YYPE polimeri için yaklaşık olarak %25.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise %11, %7 ve %13 oranında tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 60N)

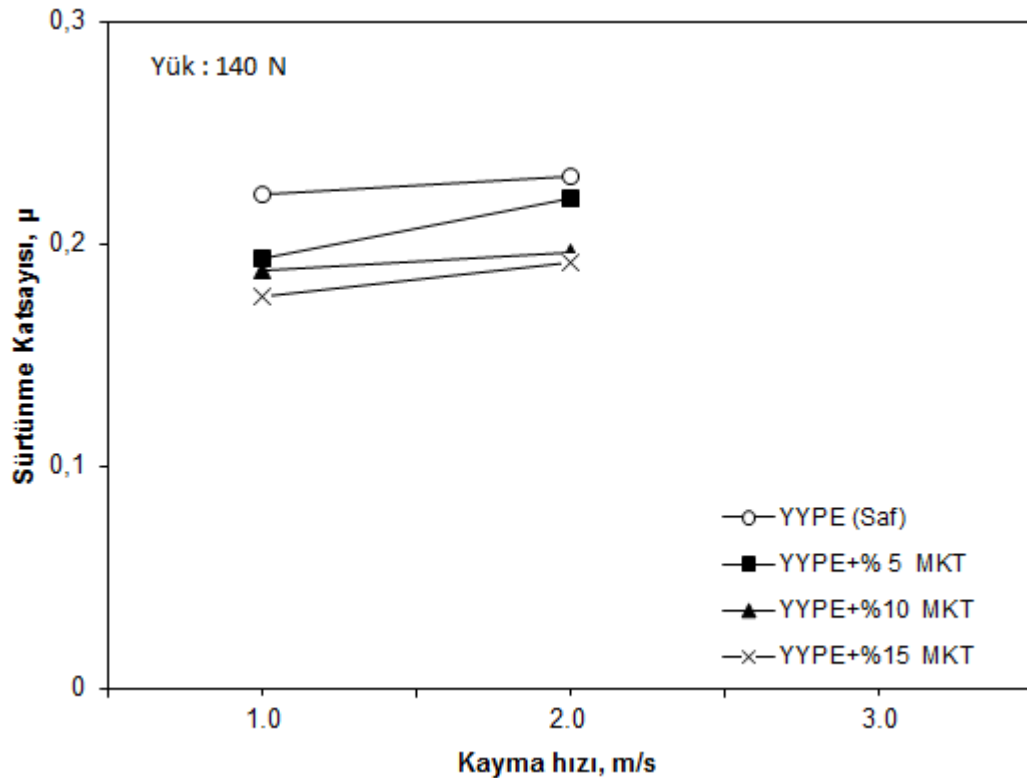
Şekil 4.14.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin 100N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek sürtünme katsayısı sırasıyla saf YYPE polimeri, YYPE-%5MKT, YYPE-%10MKT ve YYPE-%15MKT kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde kayma hızının (1.0m/s'den 3.0m/s'ye) %300 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları hafif artmıştır. Sürtünme katsayısındaki artış oranı saf YYPE polimeri için yaklaşık % 18.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise %19.8, %6.8 ve %9 oranında tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 100N)

Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin 140N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.15.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızı olarak 1.0m/s ve 2.0 m/s kullanılmıştır. 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı hem YYPE polimeri hem de YYPE kompozitleri için proses şartları yüksek gelmiş, deney süresine dayanamamış ve

çabuk aşınarak deneyler tamamlanamamıştır. Buna ilaveten 140N yük ve 3.0 m/s hızda yapılan deneylerde pim malzemelerde yüksek sıcaklıklar oluşmuş ve bu sıcaklıklardan dolayı polimer matris malzemesinin bağ yapıları zayıflamış, viskoelastiklik davranış göstermiş ve bundan dolayı zincirler arasında kopmalar meydana gelmiş ve aşınma direnci zayıflamıştır. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızının 1.0 m/s'den 2.0 m/s'ye %100 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayılarında hafif artış tespit edilmiştir. Bu artış YYPE polimeri için ortalama %2.6 civarında iken %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemeler için ise bu artış oranları sırasıyla %14.8, %3.3 ve %4 civarında olmuştur. Literatür incelemesinde Munir ve arkadaşları [1] benzer bir çalışmada YYPE polimerine istiridye kabuğu tozu ve midye kabuğu tozu ilave edilerek mekanik deneyler yapılmış olup, deney sonuçları incelendiğinde sertlik değerlerinin ve darbe dayanımının arttığı saptanmıştır.

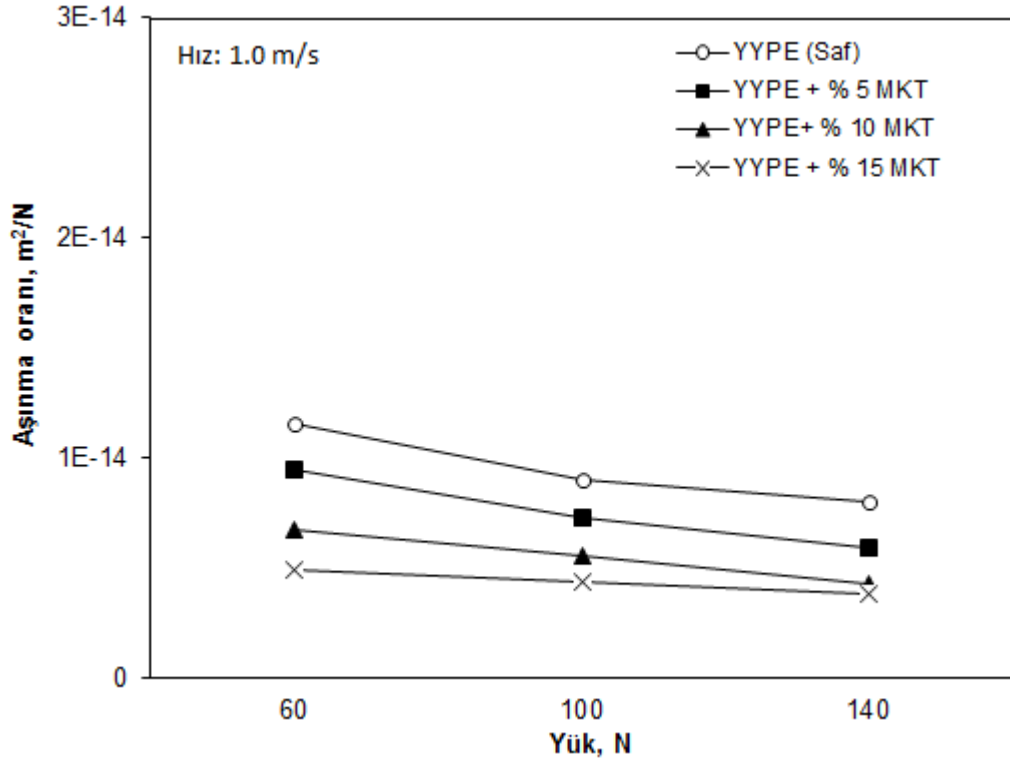


Şekil 4.15. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 140N)

4.1.2. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitinin aşınma oranına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi

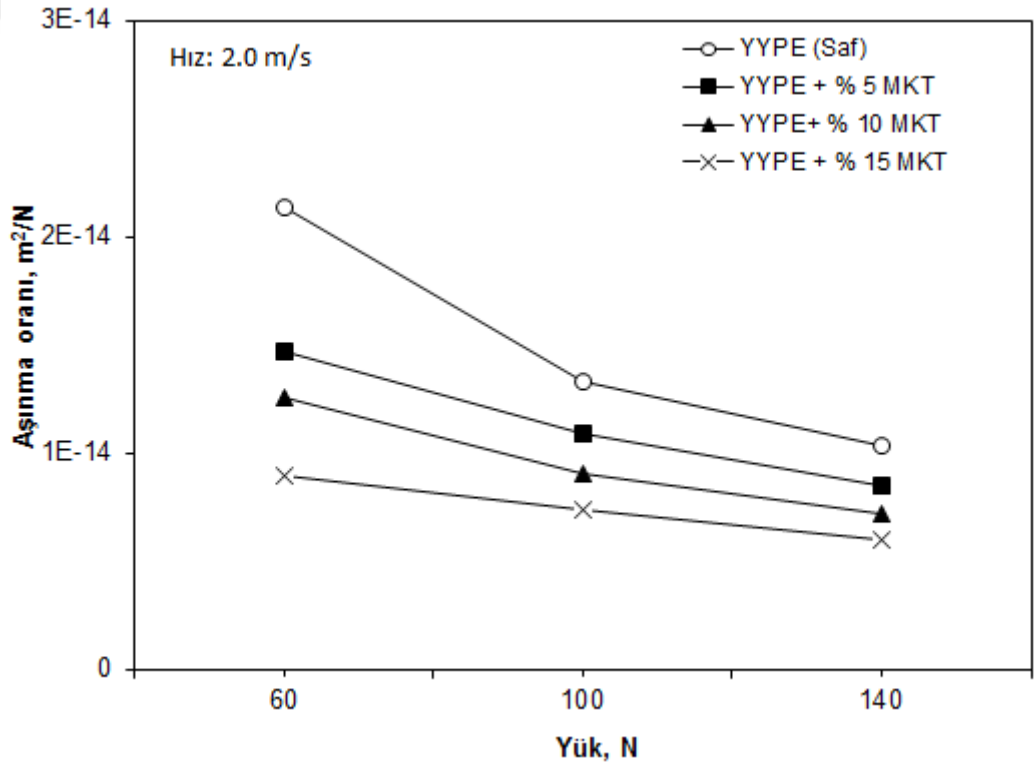
4.1.2.1. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün etkisi

Şekil 4.16.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin 1.0 m/s hız altındaki aşınma oranı-yük ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek aşınma oranı saf YYPE polimerinde elde edilirken bunu sırasıyla YYPE-%5MKT, YYPE-%10MKT ve YYPE-%15MKT kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil dikkatli olarak tekrar incelendiğinde uygulanan yükün (60 N'den 140N'a) %133 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranı azalmıştır. Aşınma oranındaki azalma saf YYPE polimeri için yaklaşık %37.6 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise %35.6, %30.4 ve % 21.4 oranında tespit edilmiştir.

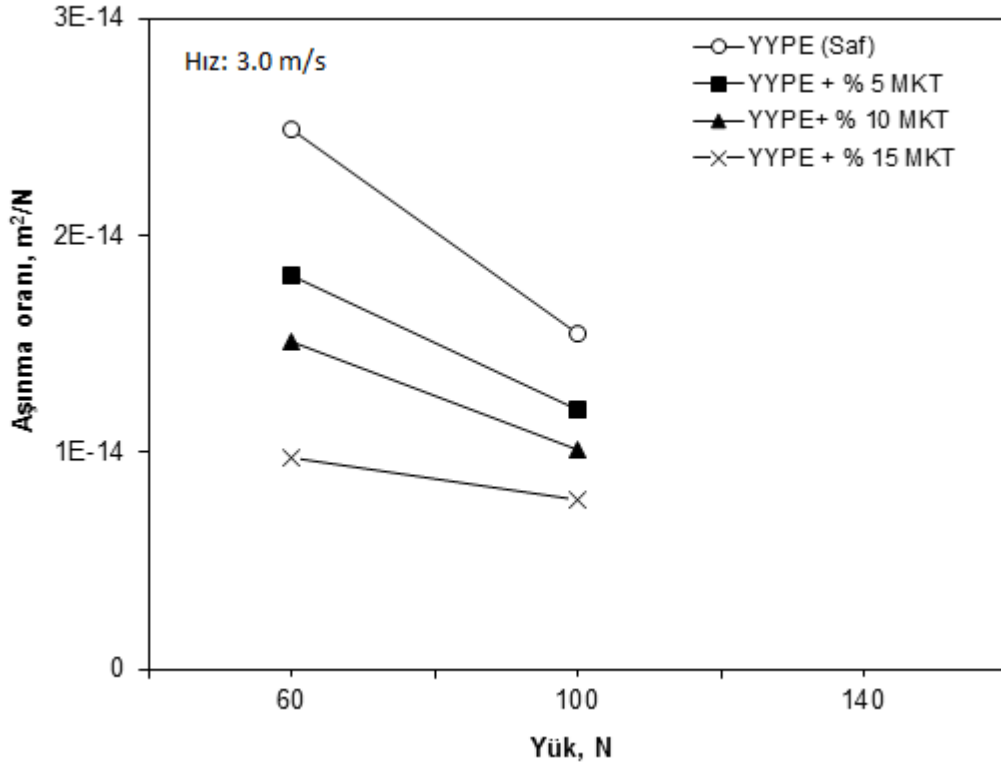


Şekil 4.16. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s)

YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 2.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.17.'de verilmiştir. Hızın 2.0m/s olarak artırılmasıyla deneylerde kullanılan YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları Şekil 4.16.'da benzer davranış göstermektedir. Yani uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm malzemelerin sürtünme katsayıları azalmaktadır. Uygulanan yükün %133 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla %51.7, % 42, % 42.8 ve %33.7 oranında azalma göstermiştir.



Şekil 4.17. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0m/s)



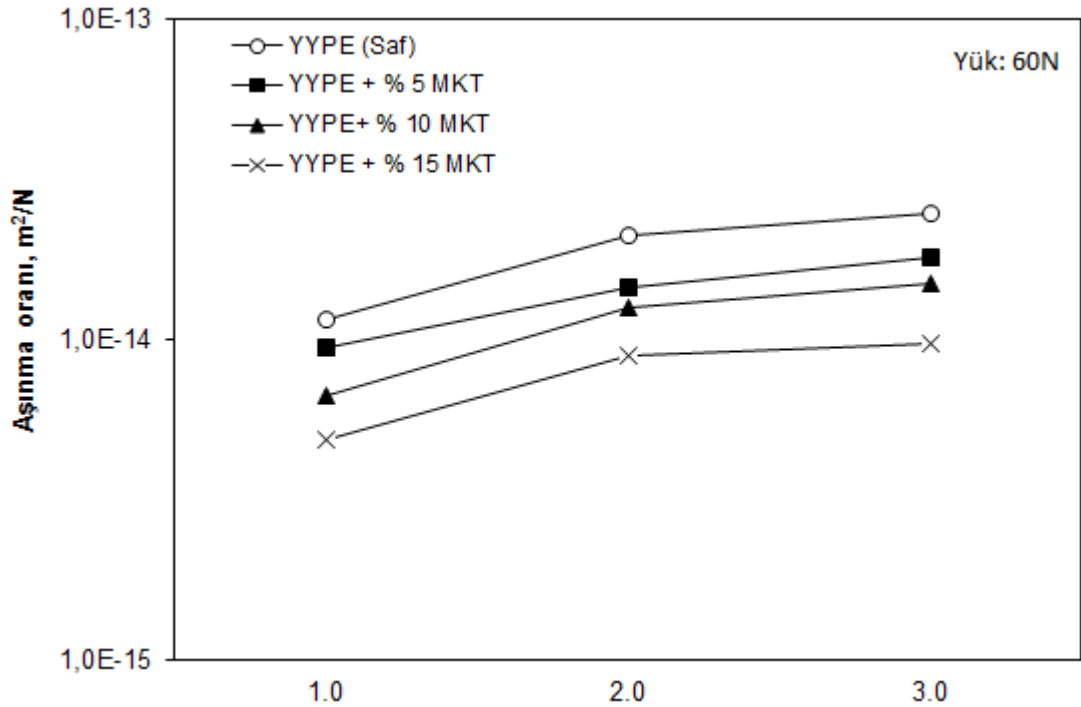
Şekil 4.18. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0m/s)

YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.18.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere saf YYPE polimer malzemesinde en yüksek aşınma oranı gözlenmiştir. Uygulanan yük 60N'dan 100N'a artırılması ile birlikte bu aşınma oranı saf YYPE polimeri için %37.8 olarak saptanmıştır. En düşük aşınma oranı ise YYPE+% 15 midye kabuğu tozu katkılı YYPE polimerinde gözlenmiş olup, bu oran ise yaklaşık % 19.9 olmuştur. Ayrıca 3.0 m/s hızda ve 140N yükte yüksek sıcaklıktan ve yüksek aşınmadan dolayı çalışma imkanı bulunamamıştır.

Benzer bir çalışmada Shnawa ve arkadaşları [11] DYPE polimerine %10 ve %20 istiridye kabuğu tozu ilave ederek oksidasyon direnci testleri yapmış ve sonuçlar incelendiğinde istiridye kabuğu tozu ilavesi arttıkça oksidasyon direncinin arttı saptanmıştır.

4.1.2.2. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitlerinin aşınma oranına kayma hızının etkisi

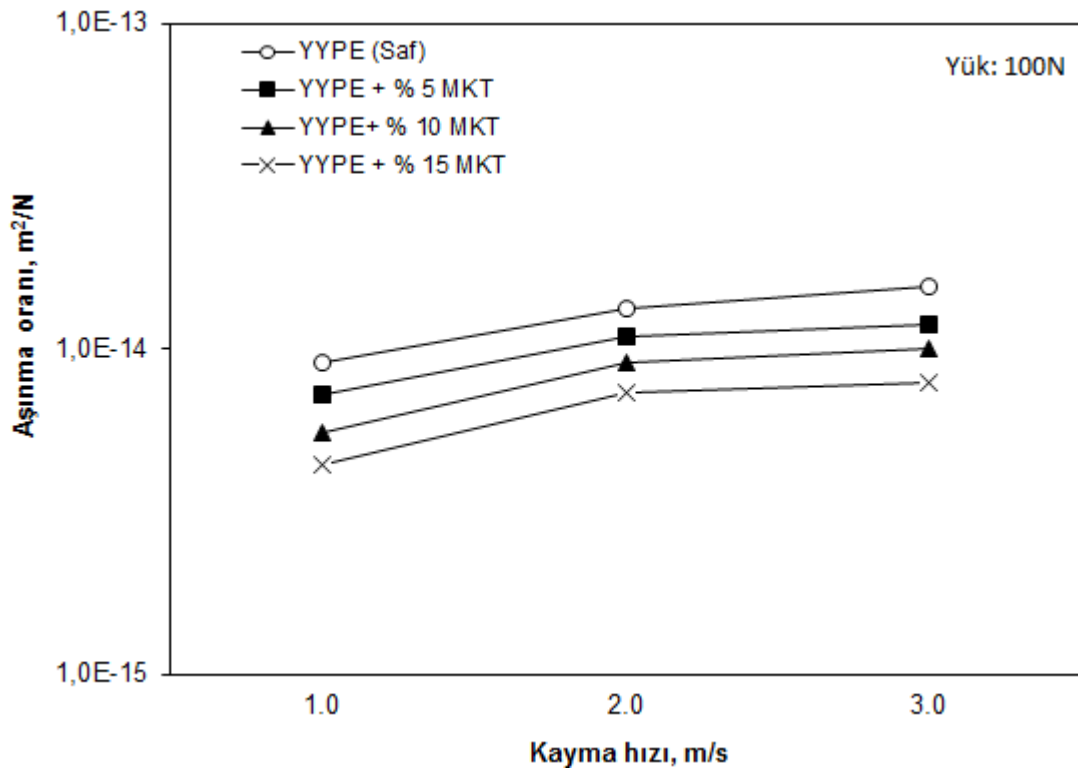
Şekil 4.19.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin 60N yük altındaki aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek aşınma oranı saf YYPE polimerinden gözlenirken, sırasıyla bunu YYPE-%5MKT, YYPE-%10MKT ve YYPE-%15MKT kompozitleri takip etmiştir. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde uygulanan hızın (1.0 m/s'den 3.0 m/s'a) %200 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranı artmıştır. Aşınma oranındaki artış saf YYPE polimeri için yaklaşık olarak ortalama % 116 civarında olurken, %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise sırasıyla % 90.8, % 125 ve % 99 oranında tespit edilmiştir



Şekil 4.19. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 60N)

YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 100N yük altında aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.20.'de verilmiştir. Hızın 1.0m/s den başlayarak 3.0 m/s artırılmasıyla deneylerde kullanılan saf YYPE ve YYPE

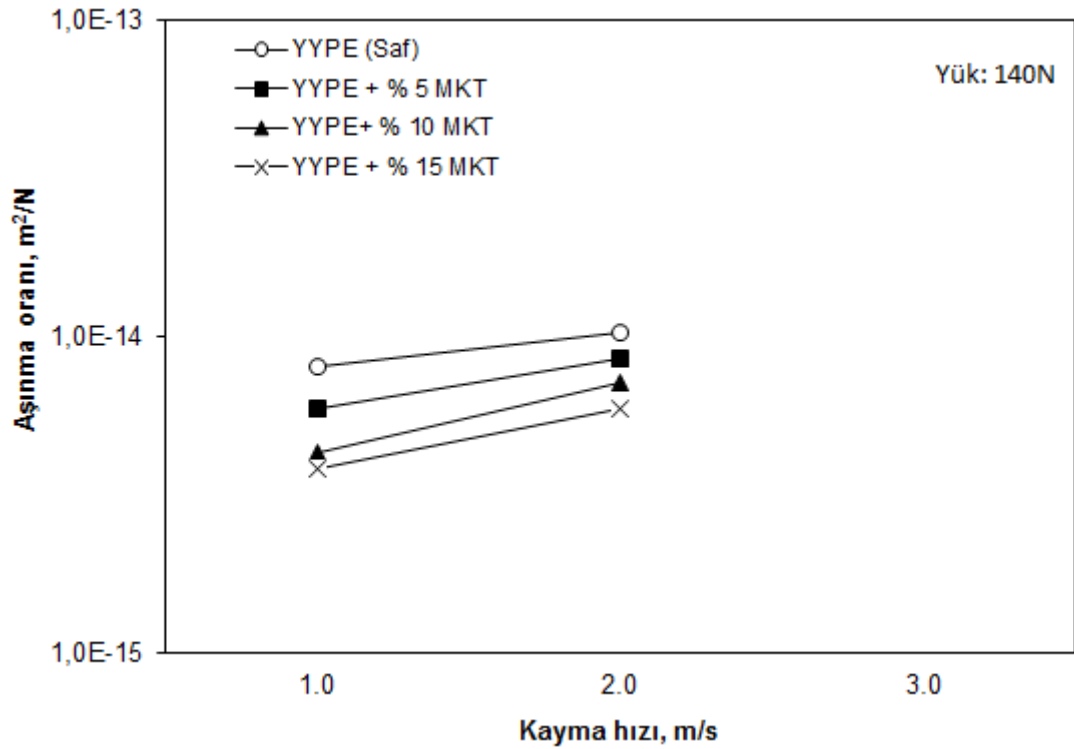
kompozit malzemelerin aşınma oranlarında Şekil 4.19.'a benzer davranışlar gözlenmiştir. Yani uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm malzemelerin aşınma oranları da artmaktadır. Uygulanan hızın %300 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla %70.6, %60.8, %55 ve %50 oranında artış göstermiştir



Şekil 4.20. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 100N)

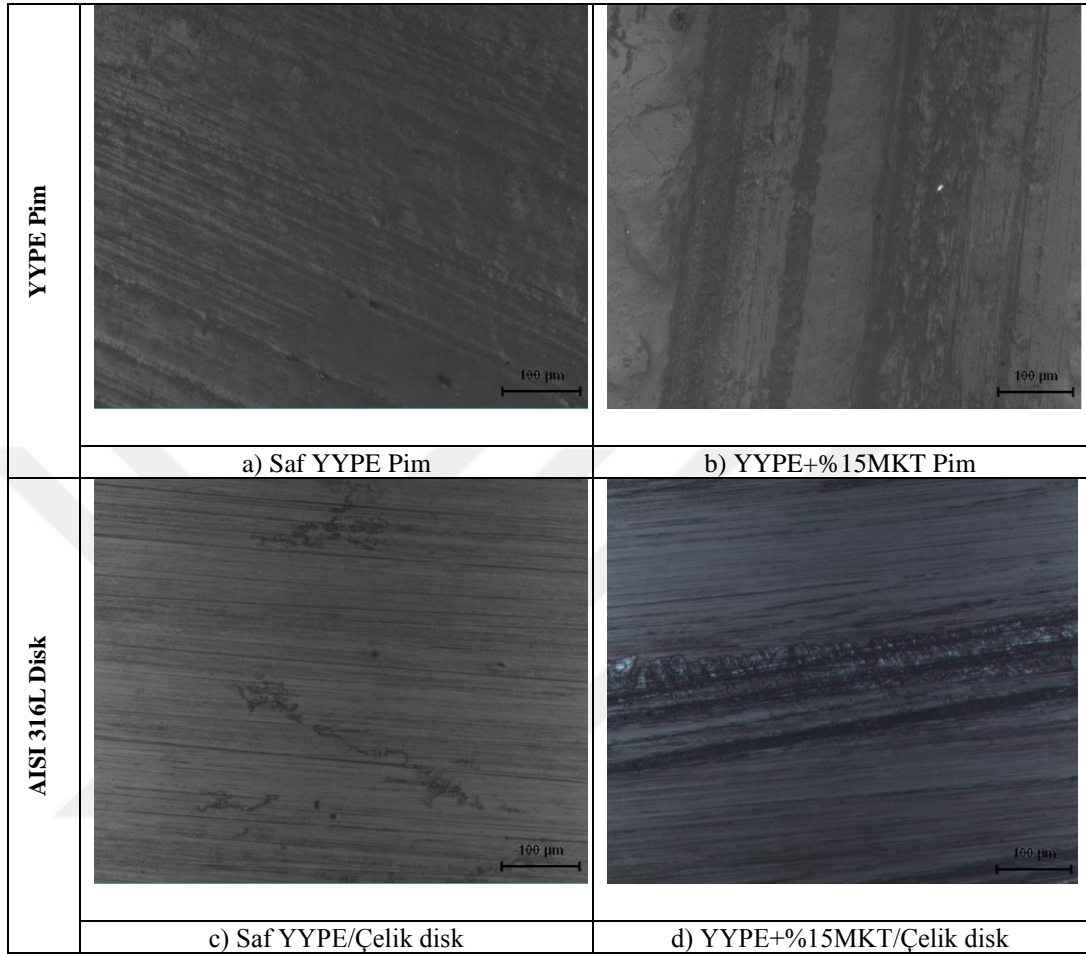
Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu tozu katkılı kompozitlerin 140N yük altındaki aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.21.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızı olarak 1.0m/s ve 2.0 m/s kullanılmıştır. 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı hem YYPE polimeri hem de YYPE kompozitleri için şartlar yüksek gelmiş, deney süresine dayanamamış ve çabuk aşınarak deneyler tamamlanamamıştır. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızının 1.0 m/s'den 2.0 m/s'ye %100 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu artış saf YYPE polimeri için ortalama %28.5 civarında iken

%5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozit malzemeler için ise bu artış oranları sırasıyla %43.7, %66.5 ve %54.5 civarında olmuştur. Cho ve arkadaşları [8] pin-on disk cihazıyla gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada YYPE polimerine ve Polipropilen polimerine ayrı ayrı teflon, poliüretan ve yüksek yoğunluklu polietilen kaplanarak 0.05N ile 0.5N aralıklarındaki yüklerde, 0.2m/s ve 0.1m/s hızında aşınma testleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde teflon katkılı polipropilen kompozitinin en düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca en yüksek sürtünme katsayısı değerleri ise saf YYPE polimerinde görülmüştür.



Şekil 4.21. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 140N)

4.1.3. YYPE/Midye kabuğu tozu (MKT) kompozitlerinin mikro yapı incelemeleri



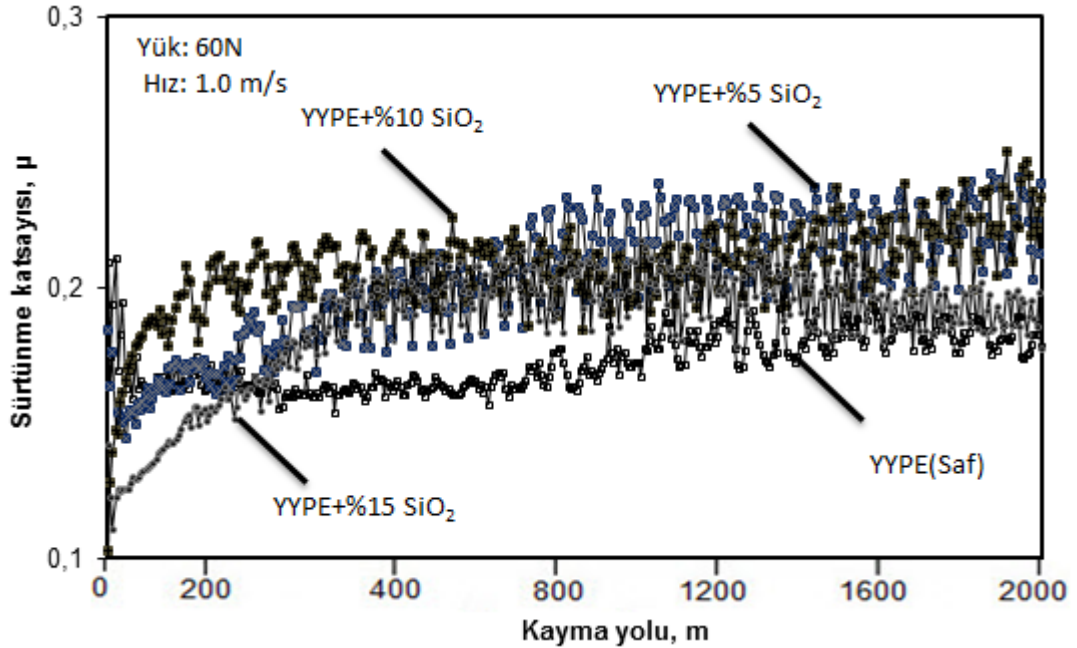
Şekil 4.22. Saf YYPE ve YYPE+%15 MKT katkılı test numunelerinin kuru kayma şartları altındaki a)polimer pim numuneleri b)çelik disklerin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Ortam sıcaklığı: 22±2°C, kayma hızı: 3.0m/s, uygulanan yük: 100N)

Şekil 4.22.' (a) da kuru kayma ve oda sıcaklığında gerçekleşen, 100N yük ve 3.0m/s kayma hızında AISI 316L çelik disk malzemesine karşı yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen saf YYPE ve %15MKT katkılı YYPE kompozitlerin aşınma pim numuneleri optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Optik görüntüler dikkatli bir şekilde incelendiğinde saf YYPE polimerinin aşınma yüzeylerinin düzgün olduğu yani abrasiv aşınmanın az olduğu görülmektedir. YYPE+%15MKT polimer kompozitinin optik mikroskop görüntülerine bakıldığında polimer pim yüzeyinde derin ve geniş aşınma izleri görülmüş olup sıcaklık artışıyla beraber yüzeyden midye kabuğu partiküllerinin koptuğu görülmektedir. Hem saf YYPE polimerini hem de YYPE+%15MKT kompozitini aşındırıcı disklerin yüzey optik resimleri incelendiğinde

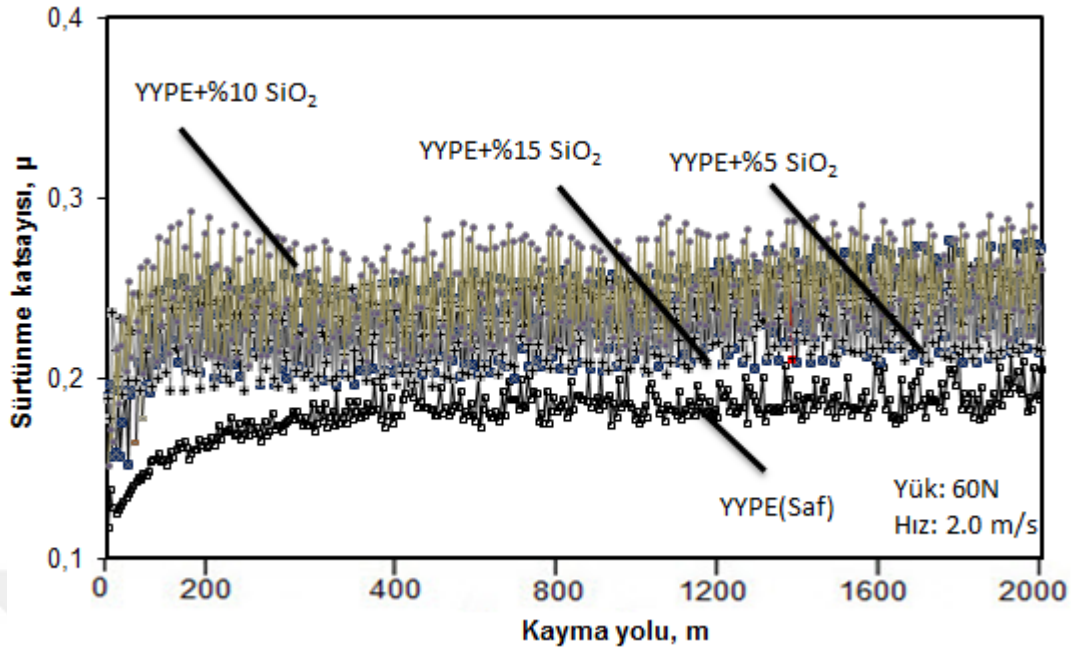
(bkz Şekil 4.22 (b)), disk yüzeylerinde yapışmalar görülmektedir. Bunun sebebinin yüksek hız ve yüke bağlı olarak meydana gelen sıcaklıktan dolayı polimer zincirlerinin zayıflması kopması ve disk yüzeyine yapışması olarak açıklanabilir.

4.1.4. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO_2) kompozitinin sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi

Bu bölümde yapılan tribolojik deneylerde kullanılan saf YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkılı YYPE polimer kompozit malzemelerin AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı aşınma analizleri incelenmiştir. Şekil 4.23.'de saf YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin 60N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere saf YYPE polimeri ile %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 600m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 400m yol kat ettikten sonra stabilize olmuştur. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.18, 0.23, 0.21 ve 0.20 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.23. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s, Uygulanan yük:60N)

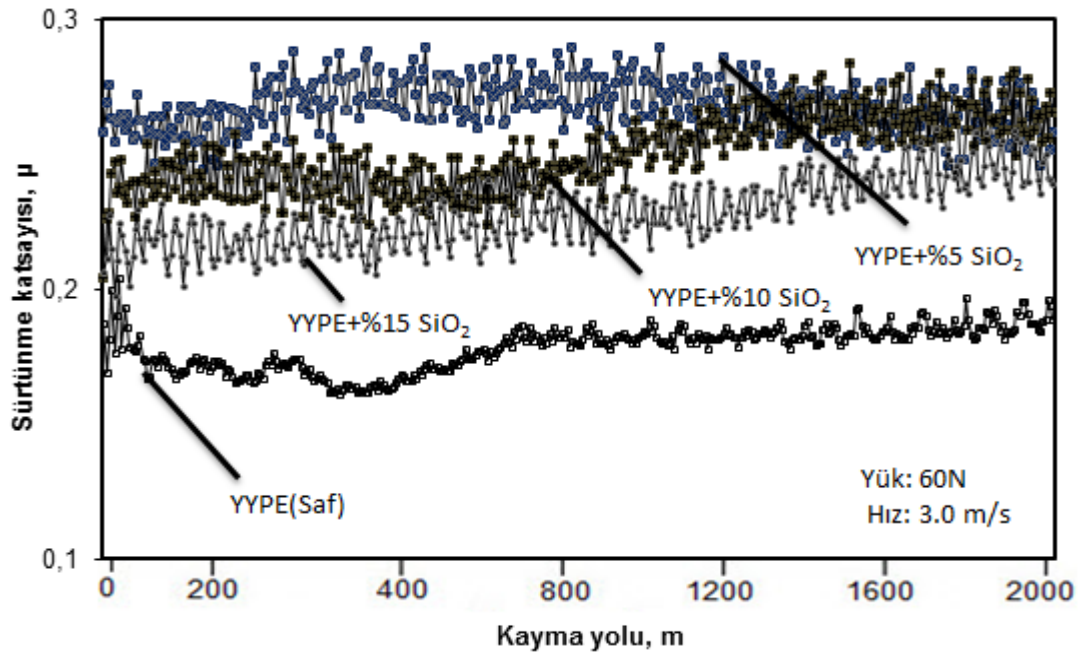


Şekil 4.24. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

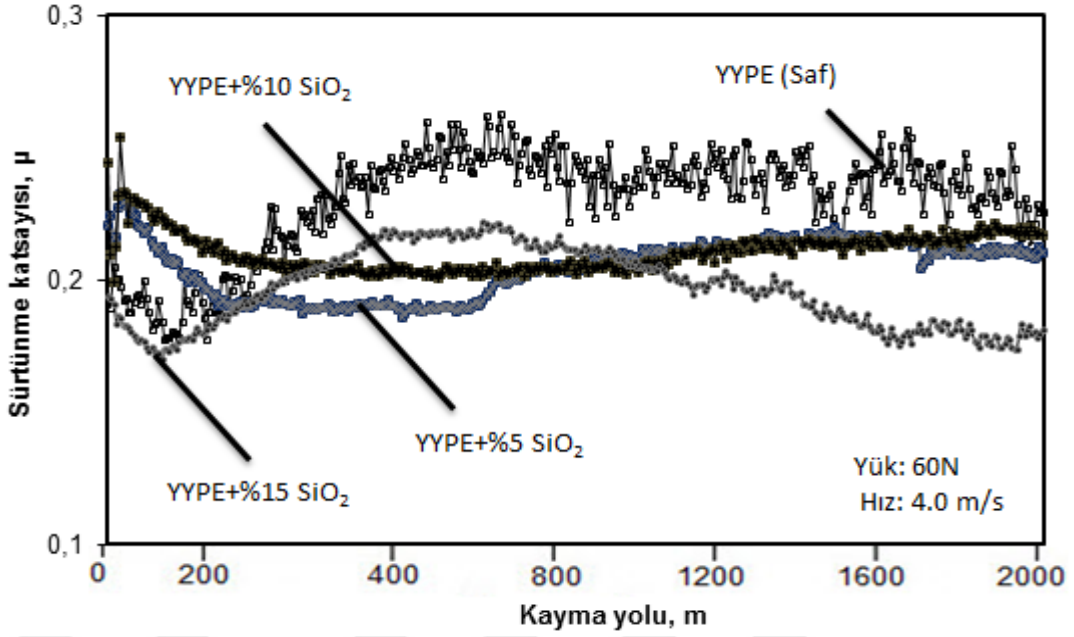
Şekil 4.24.'de 60N yük altında ve 2.0 m/s kayma hızında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 150m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 450m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.18, 0.19, 0.21 ve 0.23 olarak tespit edilmiştir.

3.0m/s kayma hızında ve 60N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.25.'de verilmiştir. Şekilden de açıkça anlaşılacağı üzere %5 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 250m yol aldıktan sonra stabilize olurken katkısız YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 700m yol

aldıktan sonra stabilize olmuştur. %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 200m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 60N yük altında ve 3.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda YYPE polimeri ile %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.18 olarak tespit edilirken %5 ve %10 silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.21, 0.23, 0.25 olarak tespit edilmiştir.

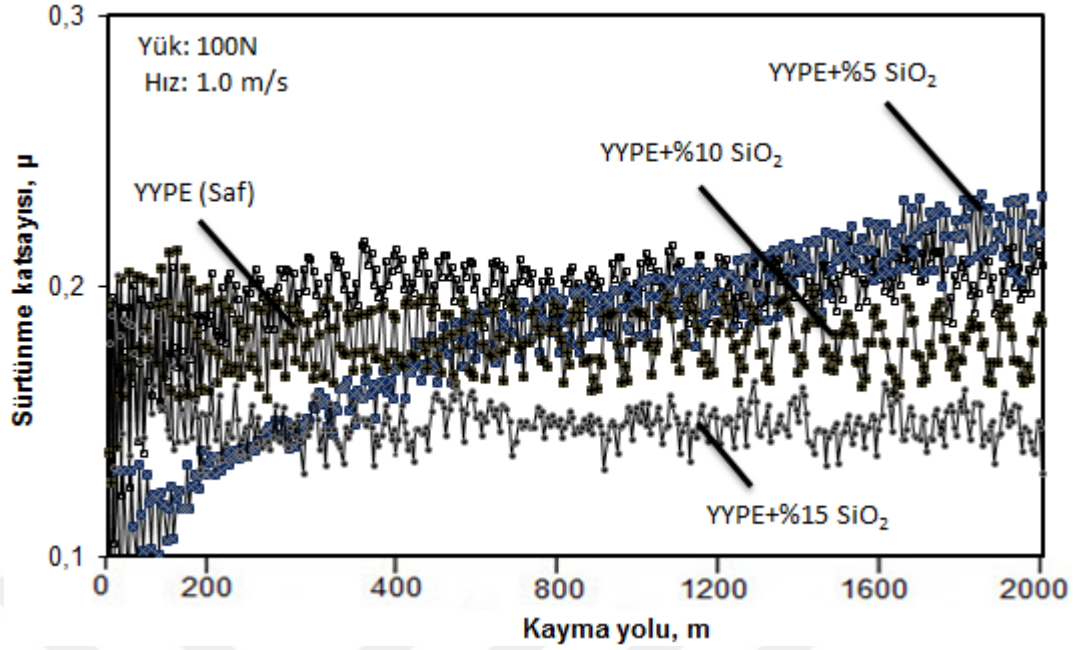


Şekil 4.25. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)



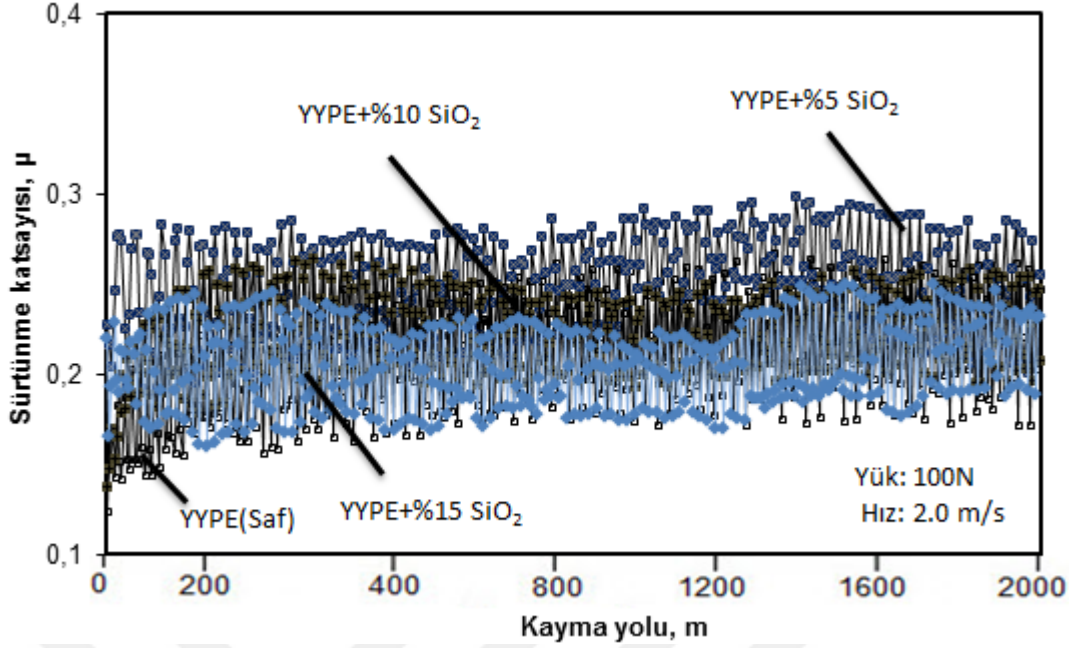
Şekil 4.26. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 4.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

Şekil 4.26.'de 4.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında yapılan tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkı YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf YYPE polimeri ile %5 ve %10 oranında silisyum dioksit katkı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 600m yol aldıktan sonra stabilize olurken %15 oranında silisyum dioksit katkı YYPE kompozitinin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1600m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 4.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.20, 0.19, 0.18 ve 0.17 olarak saptanmıştır.



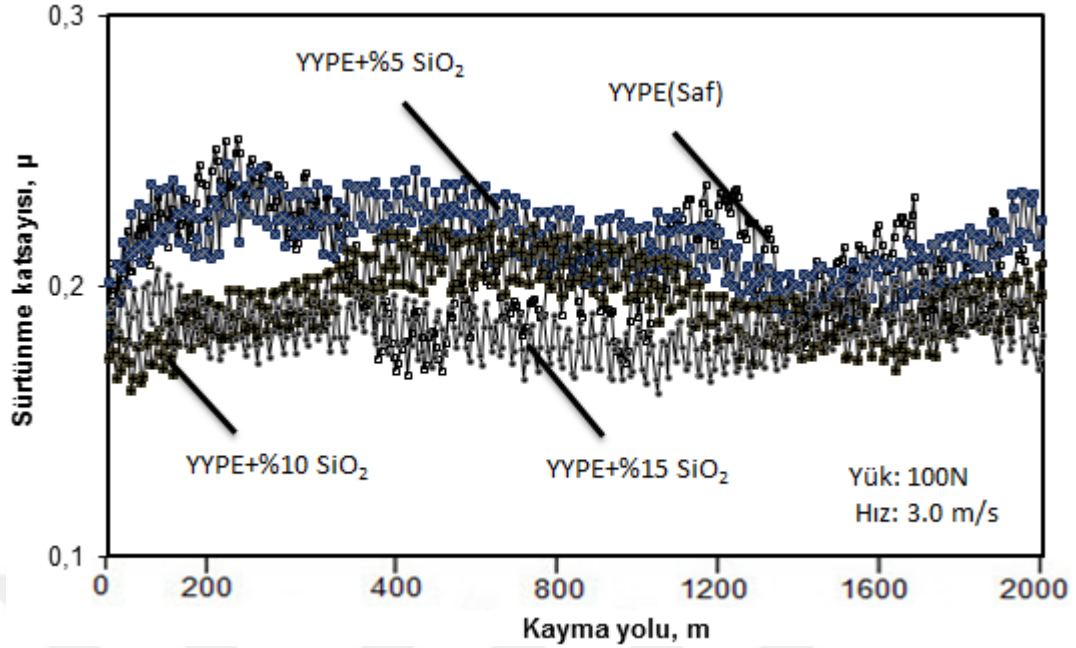
Şekil 4.27. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

100N yük altında ve 1.0 m/s kayma hızında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.27.'de verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi %15 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı 200m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 300m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 ve %10 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 1600m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 100N yük altında ve 1.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda YYPE polimeri ile %15 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.14 olarak tespit edilirken %5 ve %10 silisyum dioksit katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.17 ve 0.18 olarak tespit edilmiştir.



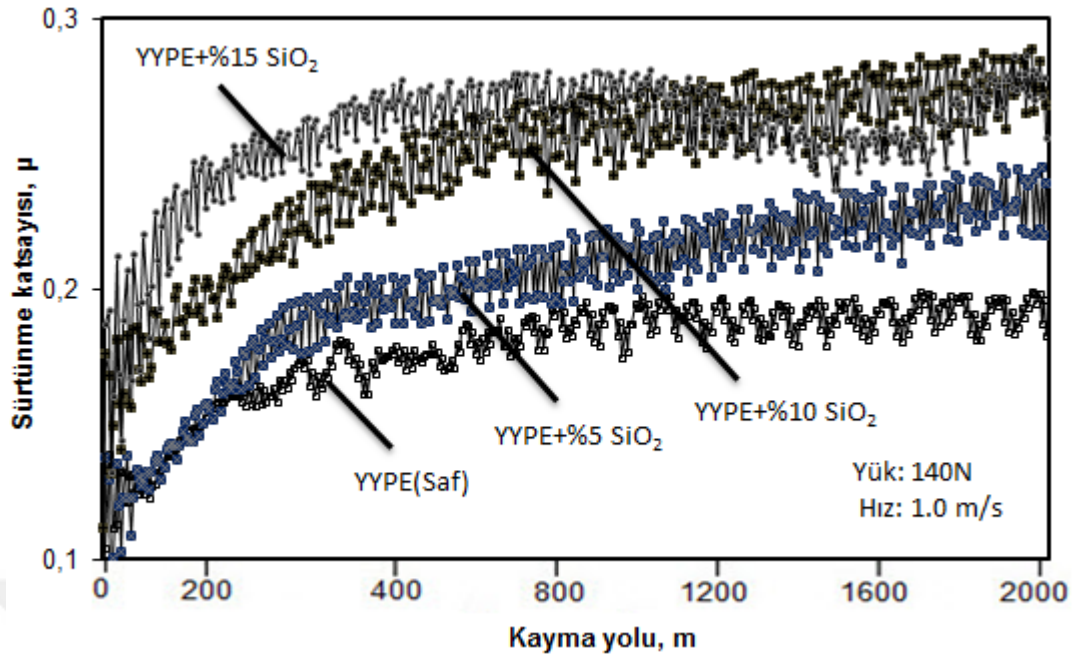
Şekil 4.28. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

Şekil 4.28.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkılı YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere saf YYPE polimeri ile %5 ve %10 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 800m yol aldıktan sonra stabilize olurken %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1500m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.19, 0.24, 0.22 ve 0.21 olarak saptanmıştır.



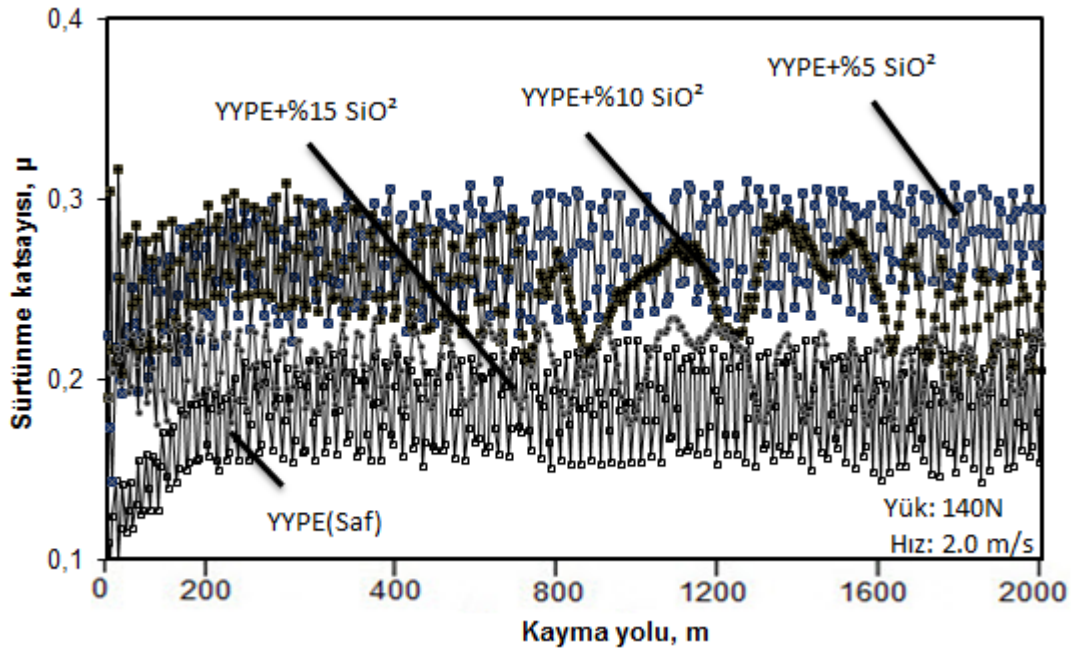
Şekil 4.29. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

3.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkı YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.29.'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere %15 oranında silisyum dioksit katkı YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 1300m yol aldıktan sonra stabilize olurken katkısız YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 1000m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 ve %10 oranında silisyum dioksit katkı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 1600m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 100N yük altında ve 3.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda YYPE polimeri ile %15 oranında silisyum dioksit katkı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.17 olarak tespit edilirken %5 ve %10 silisyum dioksit katkı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.21 ve 0.19 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.30. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)

Şekil 4.30.'de saf YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkıli YYPE kompozit malzemelerin 140N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere YYPE polimeri ile %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 800m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1500m yol kat ettikten sonra stabilize olmuştur. YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.17, 0.20, 0.25 ve 0.26 olarak tespit edilmiştir.



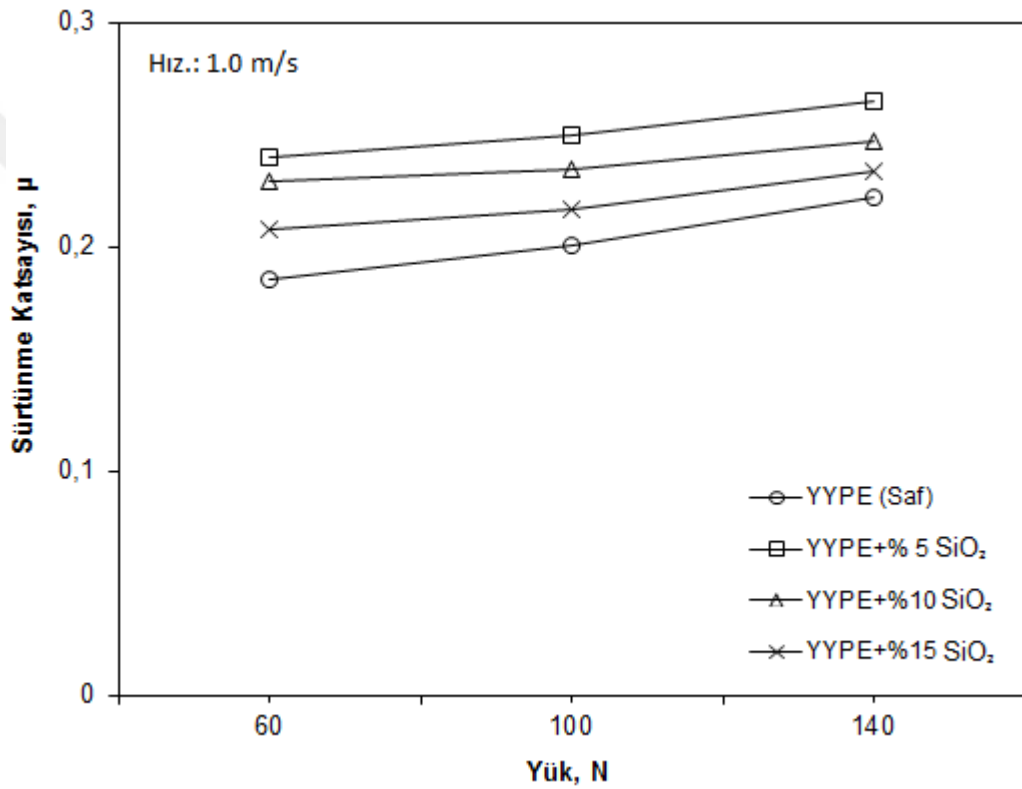
Şekil 4.31. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)

Şekil 4.31.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere saf YYPE polimeri ile %5 ve %10 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 250m yol aldıktan sonra stabilize olurken %15 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 400m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.16, 0.25, 0.23 ve 0.21 olarak saptanmıştır.

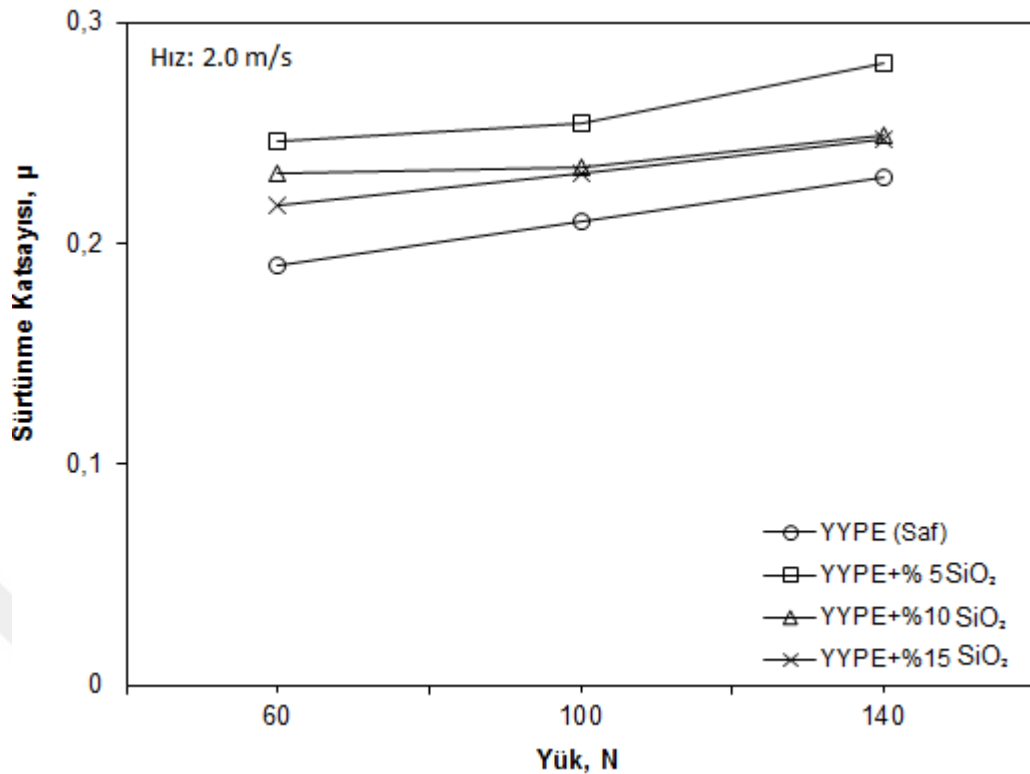
4.1.4.1. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO_2) tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yük ilişkisi

Şekil 4.32.'de saf YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkıli YYPE kompozit malzemelerin 1.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisini

göstermektedir. Şekilde açıkça anlaşıldığı üzere YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 silisyum dioksit katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yükün 60N 'dan 140N'a yani %133 oranında artırıldığında saf YYPE polimeri, %5, %10 ve %15 SiO₂ katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla %20, %10.4, %7.8 ve %12.5 oranında artmıştır. En yüksek sürtünme katsayısı %5SiO₂ katkılı YYPE polimer kompozitinde elde edilirken, en düşük sürtünme katsayısı ise saf YYPE polimerinde elde edilmiştir.



Şekil 4.32. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s)

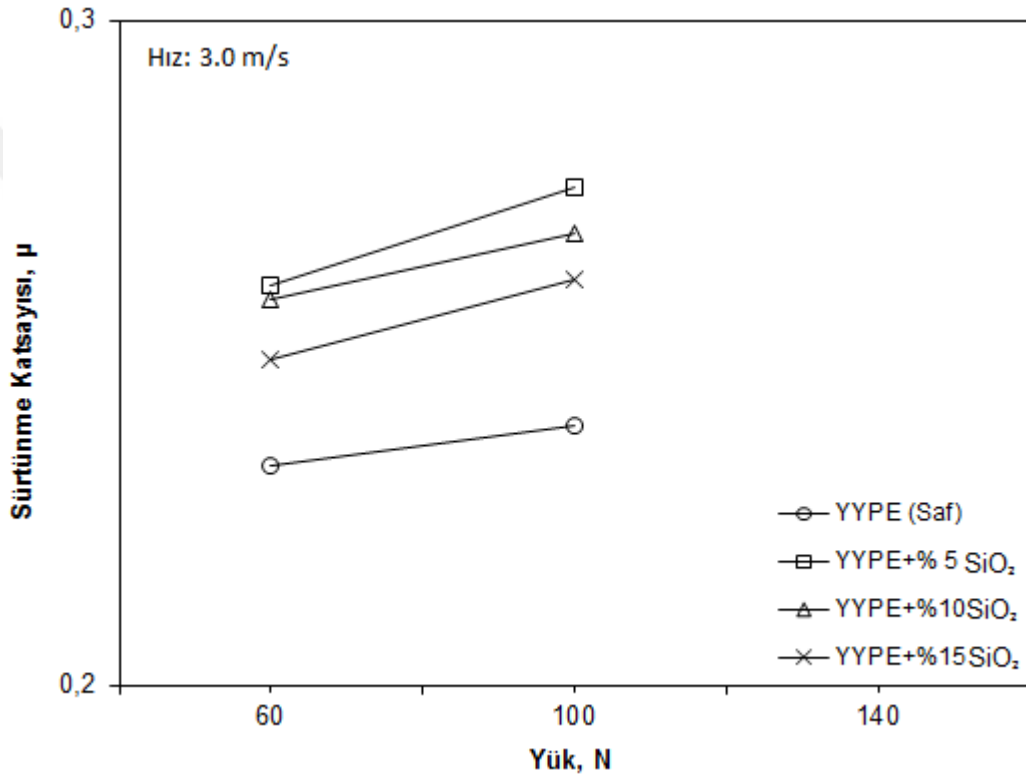


Şekil 4.33. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s)

YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin 2.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.33.'de verilmiştir. Deneilerde kullanılan YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin hızın 2.0 m/s arttırılmasıyla sürtünme katsayıları Şekil 4.32'a benzer davranış göstermektedir. Sonuç olarak uygulanan yük arttıkça deneilerde kullanılan tüm malzemelerin sürtünme katsayıları artmaktadır. Uygulanan yükün %133 oranında arttırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla %21, %14.2, %7.3 ve %13.8 oranında artış göstermiştir.

Şekil 4.34.'de ise saf YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi verilmiştir. Kayma hızı 3.0m/s' ye çıkarılması ile sadece 60N ve 100N yüklerde tribolojik deneyler gerçekleştirilmiştir. Çünkü 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı gibi proses şartları saf YYPE ve silisyum dioksit katkılı kompozit malzemelerin tribolojik

deneyleri için yüksek bulunmuş ve bu şartlarda yapılan deney süresince numuneler dayanamayıp çabuk aşınmıştır. Bu yüzden 140N ve 3.0m/s kayma hızında deneyler gerçekleştirilememiştir. Şekilde görüldüğü gibi uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm malzemelerin sürtünme katsayıları artmaktadır. Uygulanan yükün 60N'dan 100N'a %66 oranında artırılması ile saf YYPE polimerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak %7.1 oranında artış göstermiş, %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları ise sırasıyla %5.7, %3.8 ve %4.8 oranında artış gözlenmiştir.

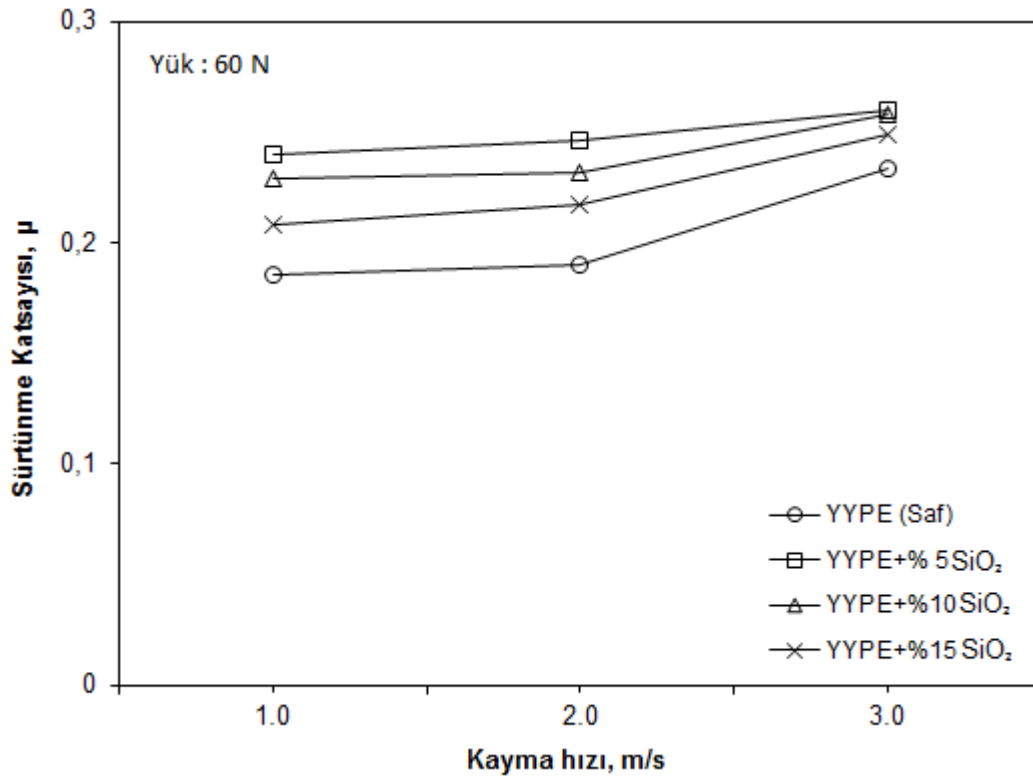


Şekil 4.34. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s)

4.1.4.2. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO₂) tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi

Saf YYPE polimeri ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin 60N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı arasındaki ilişkisi Şekil 4.35.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi en düşük sürtünme katsayısı saf YYPE polimerinde elde edilirken sırasıyla %15, %10 ve %5 oranında silisyum

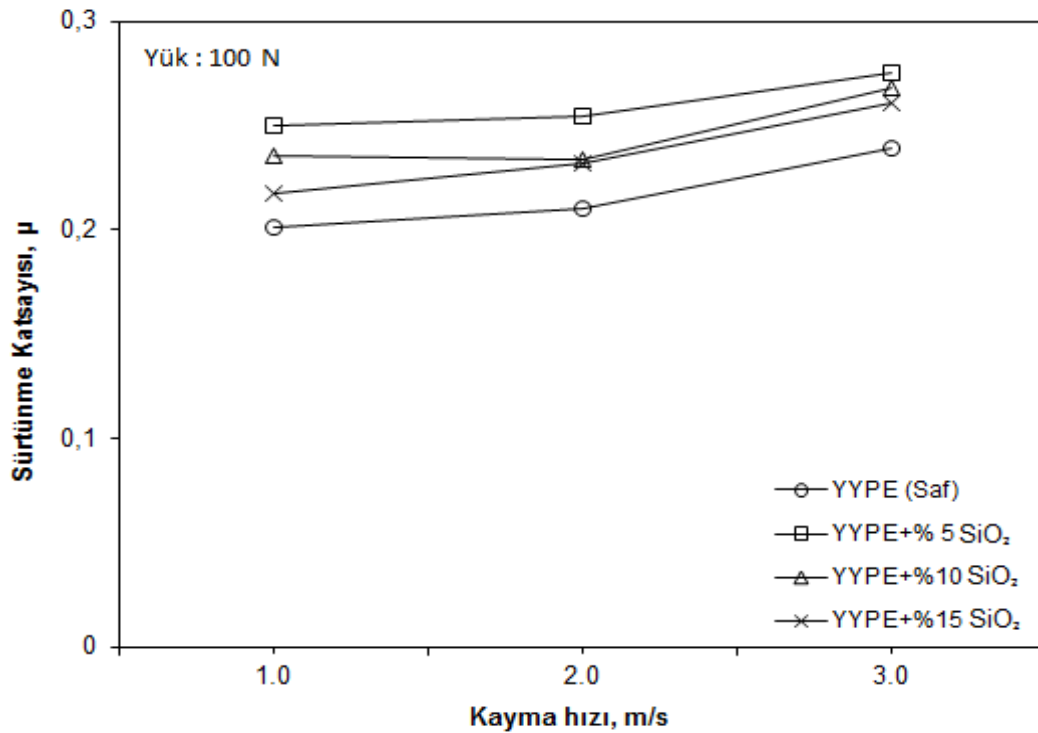
dioksit katkılı YYPE kompozitlerde elde edilmiştir. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde kayma hızının (1.0m/s'den 3.0m/s'ye) artırılması ile hem saf YYPE polimerinin hem de %5, %10 ve %15 silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerinin sürtünme katsayısında artış olduğu gözlenmektedir. Sürtünme katsayısındaki artış oranı saf YYPE polimeri için yaklaşık olarak %25.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerde ise %8.3, %12.6 ve %19.7 oranında tespit edilmiştir.



Şekil 4.35. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 60N)

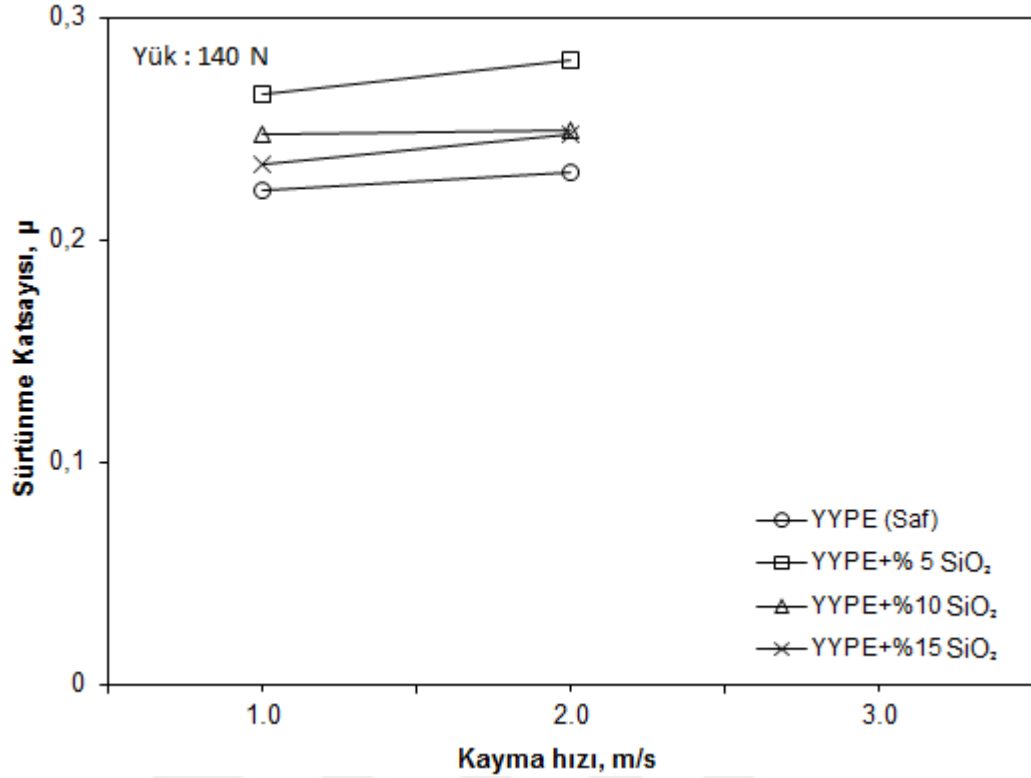
Şekil 4.36.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin 100N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi sürtünme katsayısı en düşükten yükseğe doğru saf YYPE polimeri, YYPE-%15SiO₂, YYPE-%10SiO₂ ve YYPE-%5SiO₂ kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil dikkatçe incelendiğinde kayma hızının (1.0m/s'den 3.0m/s'ye) %300 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları artmıştır. Sürtünme katsayısındaki artış oranı saf YYPE polimeri için

yaklaşık % 18.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerde ise %10, %14 ve %20 oranında tespit edilmiştir.



Şekil 4.36. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 100N)

Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin 140N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.37.'da verilmiştir. Şekilde anlaşılacağı üzere kayma hızı olarak 1.0m/s ve 2.0 m/s kullanılmıştır. 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı hem YYPE polimeri hem de YYPE kompozitleri bu şartlar altında deney süresine dayanamamış ve çabuk aşınarak deneyler tamamlanamamıştır. Bunun nedeni pim malzemelerde yüksek sıcaklıklar meydana gelerek, bu sıcaklıklardan dolayı polimer matris malzemesinin bağ yapıları zayıflamış ve bundan dolayı zincirler arasında kopmalar meydana gelerek direnci zayıflamıştır. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızının 1.0 m/s'den 2.0 m/s'ye %100 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayılarında azda olsa artış tespit edilmiştir. Bu artış saf YYPE polimeri için ortalama %2.6 civarında iken %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemeler için ise bu artış oranları sırasıyla %5.7, %3.8 ve %4.8 civarında olmuştur.



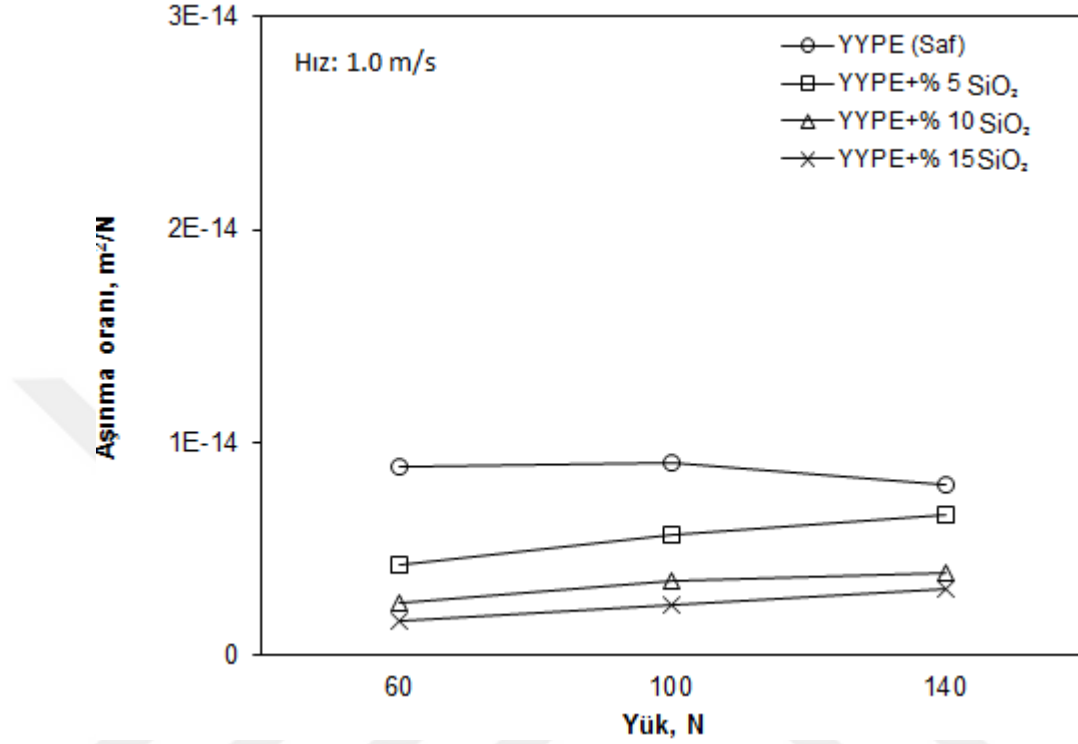
Şekil 4.37. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 140N)

4.1.5. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO₂) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi

4.1.5.1. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO₂) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün etkisi

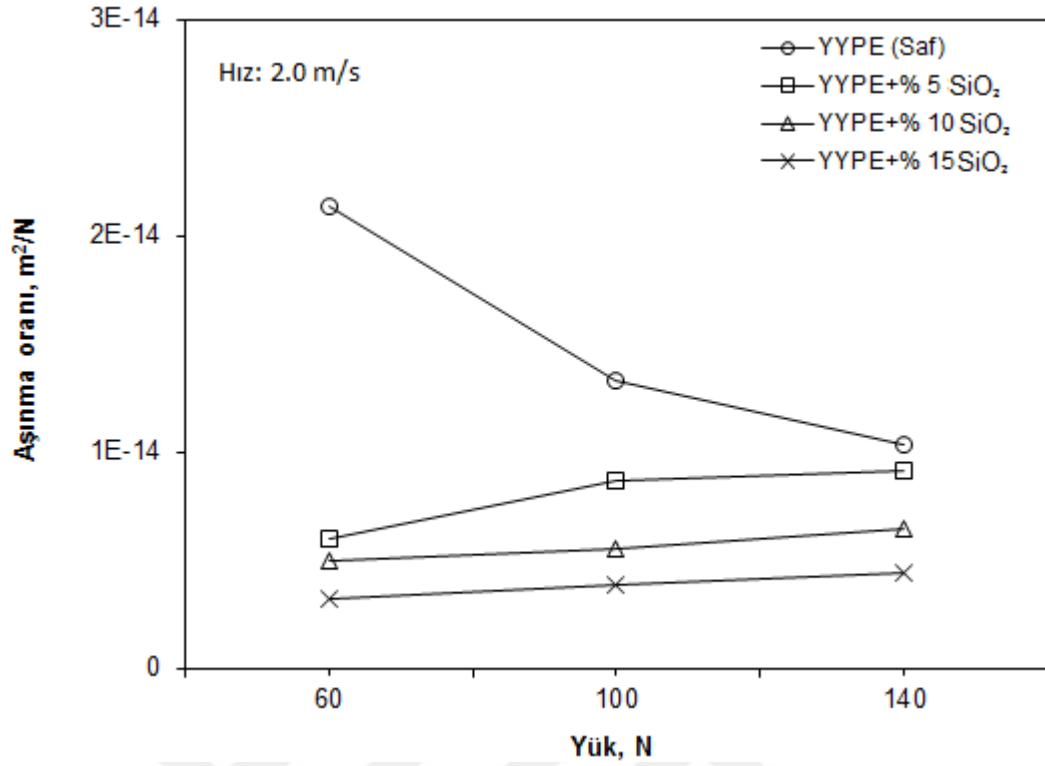
Şekil 4.38.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin 1.0 m/s hız altındaki aşınma oranı-yük ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi aşınma oranı saf YYPE polimerinde aşınma oranında hafif düşüş gözlenirken katkılı YYPE-%5SiO₂, YYPE-%10SiO₂ ve YYPE-%15SiO₂ kompozitinde ise aşınma oranlarında artış saptanmıştır. Şekil dikkatli olarak tekrar incelendiğinde uygulanan yükün 60 N'den 140N'a (%133) oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranları, saf YYPE polimeri için yaklaşık % 9.9

oranında azalma tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerde ise %54.3, %57 ve % 93.7 oranında tespit edilmiştir.

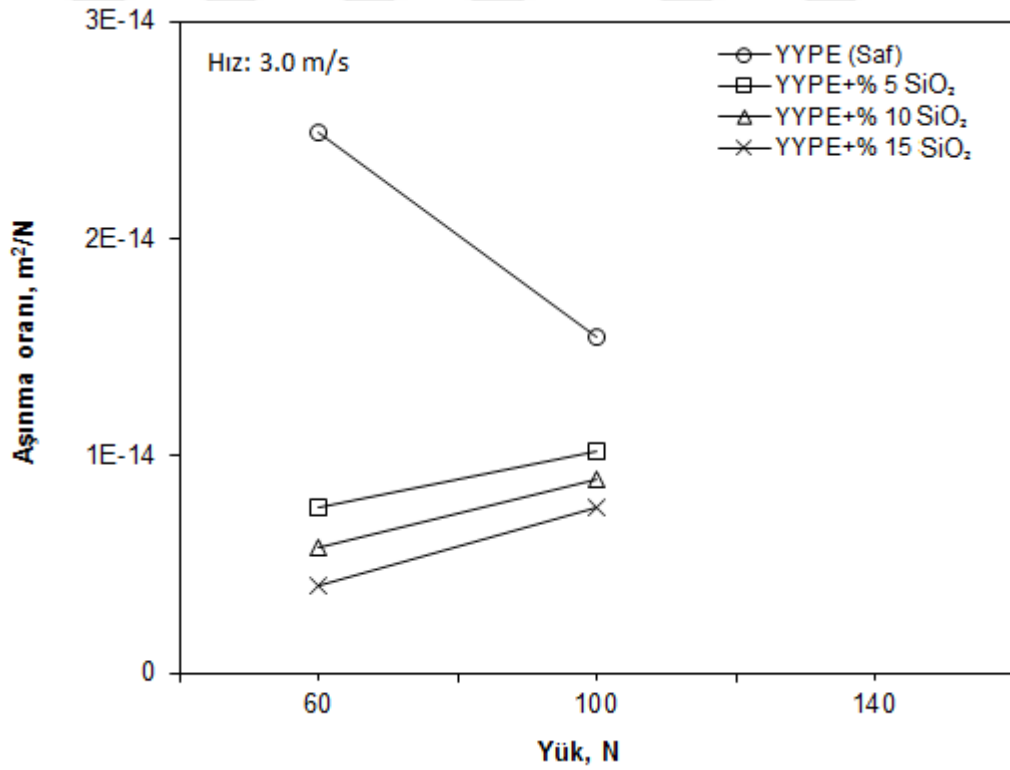


Şekil 4.38. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s)

YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin 2.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.38.'de verilmiştir. Hızın 2.0m/s olarak ve uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan saf YYPE polimeri sürtünme katsayısı % 51.7 oranında düşerken, %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları artmaktadır. Uygulanan yükün %133 oranında artırılması ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla % 47, % 53 ve %39 oranında artış göstermiştir.



Şekil 4.39. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0m/s)

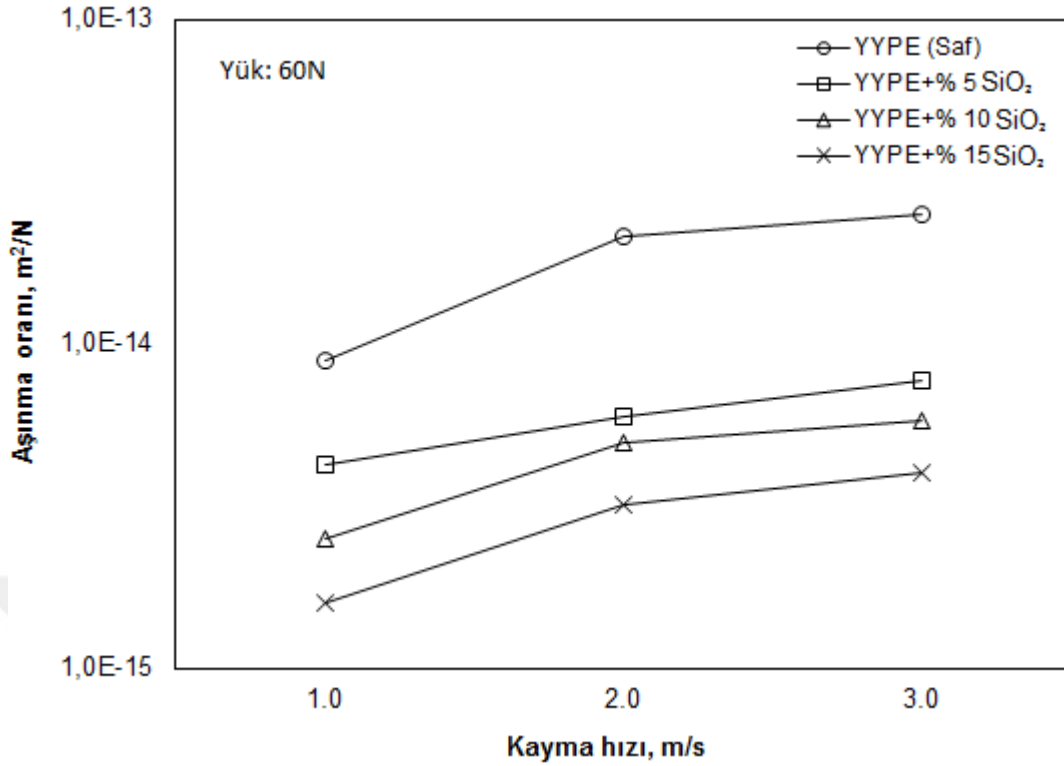


Şekil 4.40. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0m/s)

YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.40.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere katkısız YYPE polimer malzemesinde aşınma oranında azalma görülmüştür. Uygulanan yük 60N'dan 100N'a artırılması ile birlikte bu azalma oranı %37.8 olarak saptanmıştır. Ancak %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları ise artmaktadır. Bu artış oranları ise sırasıyla %33, %54.4 ve %92.2 olarak tespit edilmiştir.

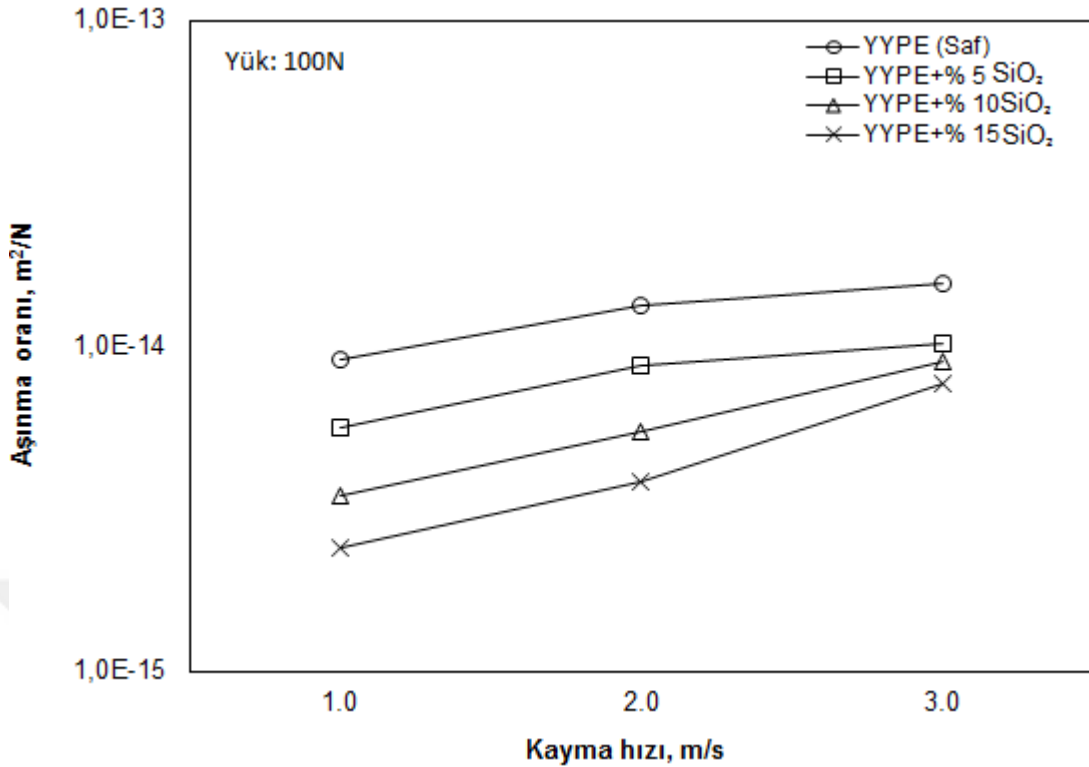
4.1.5.2. YYPE/Silisyum Dioksit tozu (SiO₂) tozu (MKT) kompozitlerinin aşınma oranına kayma hızının etkisi

Şekil 4.41.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin 60N yük altındaki aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi aşınma oranı en yüksekten düşüğe doğru saf YYPE polimeri, YYPE-%5SiO₂, YYPE-%10SiO₂ ve YYPE-%15SiO₂ kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil dikkatlice bir şekilde incelendiğinde uygulanan hızın (1.0 m/s'den 3.0 m/s'a) %200 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranı artmıştır. Saf YYPE polimeri için aşınma oranı ortalama % 180 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerde ise % 80, % 132 ve % 150 oranında saptanmıştır.



Şekil 4.41. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 60N)

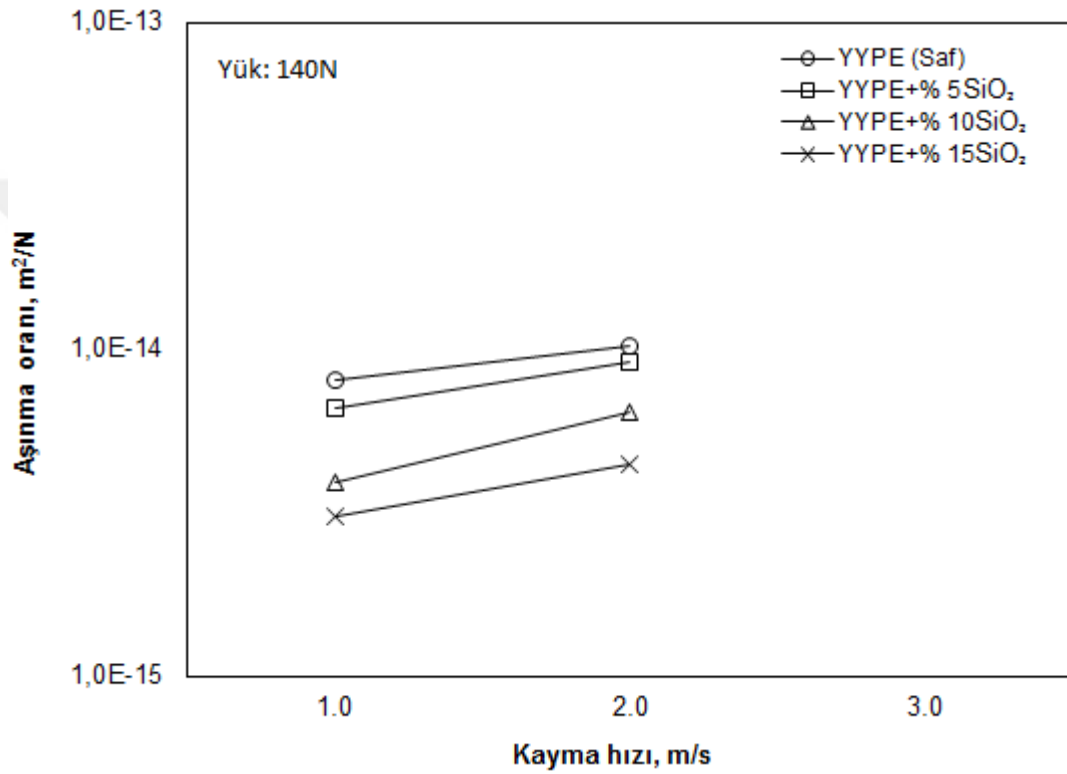
YYPE polimeri ile silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin 100N yük altında aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.42.'de verilmiştir. Hızın 1.0m/s den başlayarak 3.0 m/s artırılmasıyla deneylerde kullanılan saf YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin aşınma deney sonuçları Şekil 4.41'deki sonuçlara benzerlik göstermektedir. Kısaca uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm SiO₂ katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranları da artmaktadır. Uygulanan hızın %300 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla %70.6, %81.8, %157 ve %220 oranında artış göstermiştir



Şekil 4.42. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 100N)

Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkılı kompozitlerin 140N yük altındaki aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.43.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızı olarak 1.0m/s ve 2.0 m/s kullanılmıştır. 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı hem YYPE polimeri hem de YYPE kompozitleri için şartlar yüksek gelmiş, deney süresine dayanamamış ve çabuk aşınarak deneyler tamamlanamamıştır. 140N yük ve 3.0 m/s hızda yapılan deneylerde pim malzemelerde yüksek sıcaklıklardan dolayı polimer matris malzemesinin bağ yapıları zayıflamış ve bu yüzden zincirler arasında kopmalar meydana gelerek direnci azalmıştır. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızınının 1.0 m/s'den 2.0 m/s'ye %100 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranlarında artış saptanmıştır. Bu artış saf YYPE polimeri için ortalama %28.5 civarında iken %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozit malzemeler için ise bu artış oranları sırasıyla %38.8, %63.4 ve %44.2 civarında olmuştur.

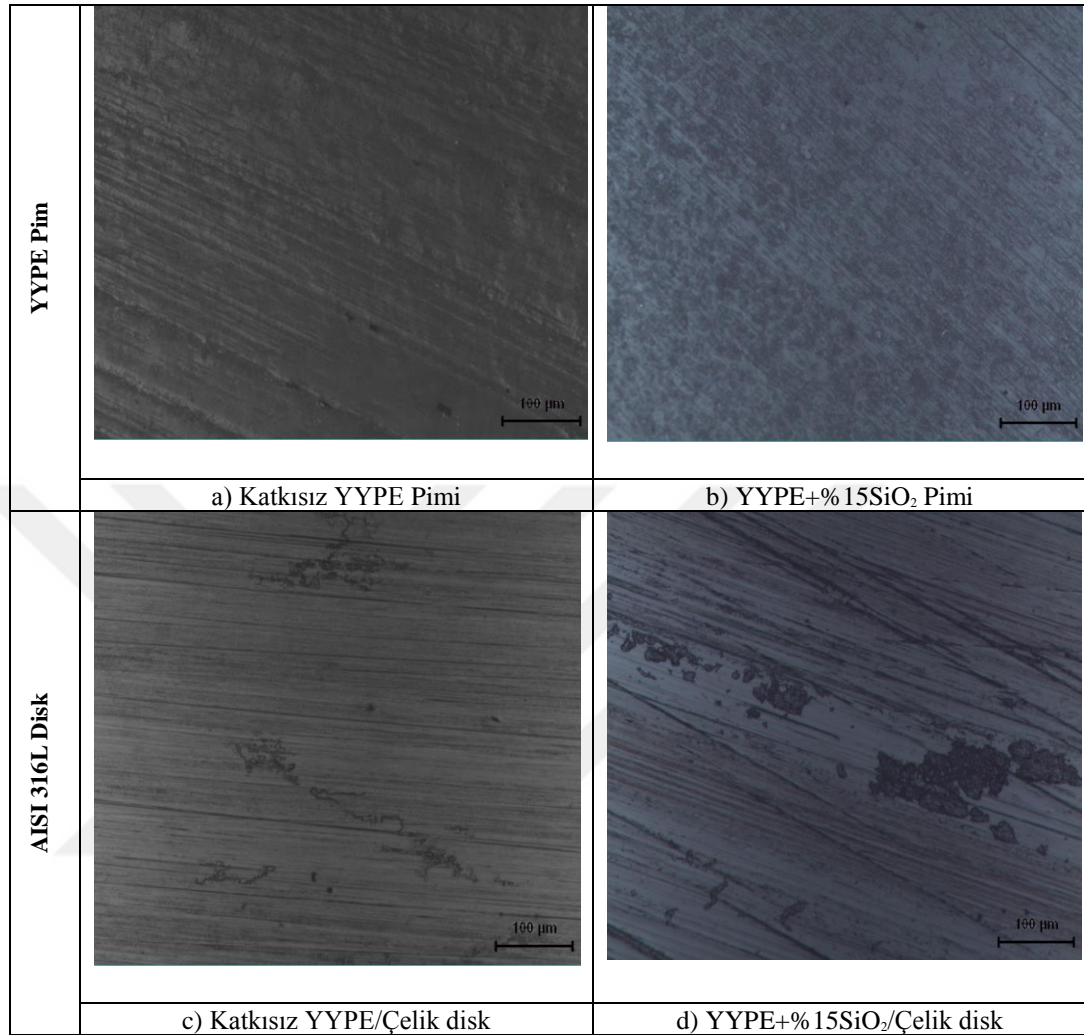
Yine başka bir çalışmada ise Xiong ve arkadaşları [27] Bakır/Kurşun/Karbon (91/4/5) kompozit malzemesine %4 oranında silisyum dioksit (SiO_2) ilavesiyle elde edilen Bakır(%87)-Kurşun(%4)-Karbon(%5)-Silisyum dioksit(%4) ilave ederek 0.5N yükte disk on disk test cihazıyla 1000-7000 dev/dak hızda deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda sonuçlara bakıldığında devir hızı arttıkça SiO_2 ilavesiyle birlikte aşınma oranında bir düşüş görülmüştür.



Şekil 4.43. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında silisyum dioksit katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 140N)

Benzer çalışmalar incelendiğinde Qu ve arkadaşları [25] Politetrafloretillen (PTFE) polimerine ağırlığınca %0.1 ve %0.6 oranlarında bakır ve SiO_2 katkısı ilave edilerek 392N yükte ve 30 dakika süren aşınma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara incelendiğinde SiO_2 katkılı PTFE kompozit malzemesinin sürtünme sonuçlarında hafif bir düşüş saptanmıştır.

4.1.6. YYPE/Silisyum dioksit tozu (SiO_2) kompozitlerinin mikro yapı incelemeleri



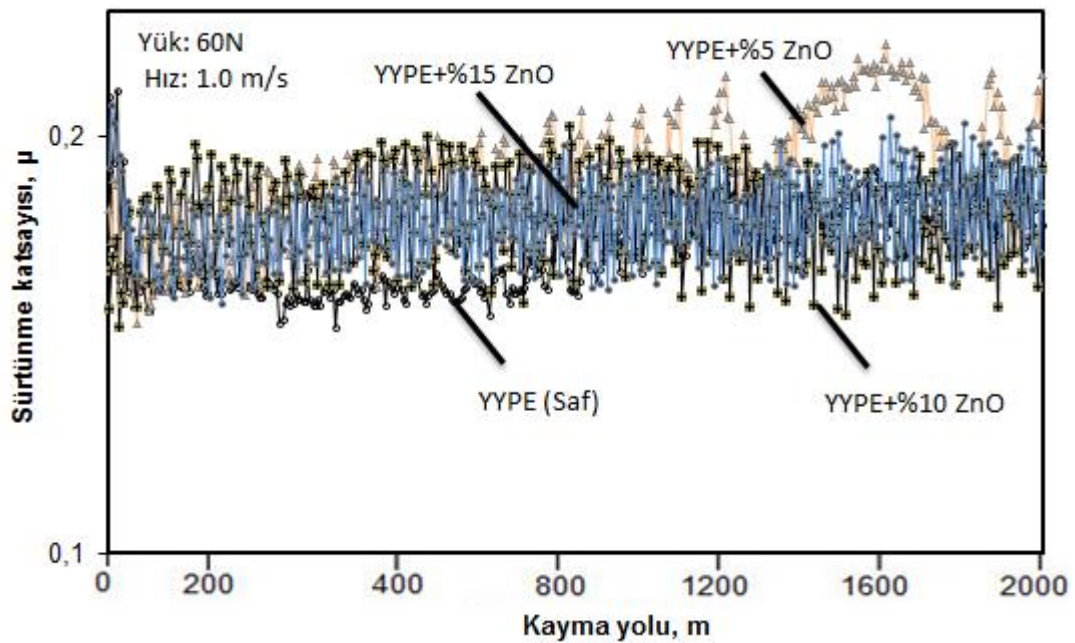
Şekil 4.44. Saf YYPE ve YYPE+% 15SiO₂ katkıli test numuneleri pimlerle karşı disk malzemelerin kuru kayma şartları altındaki optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Ortam sıcaklığı: 22±2°C, Kayma hızı: 3.0m/s, Uygulanan yük: 100N)

Şekil 4.44.'de deneylerde kullanılan saf YYPE polimeri ile YYPE+% 15SiO₂ polimer kompozitinin pim ve disklerin optik resimleri tekrar incelendiğinde Her iki malzemede de abrasiv aşınma görülmektedir. Aşınma yüzeylerine tekrar bakıldığında malzemede aşınma çizgileri saf YYPE polimerinde daha fazla olduğu söylenebilir. Çünkü SiO₂ ilave edilmesiyle birlikte aşınma direncinin arttığı söylenebilir. Yine disk yüzeylerine ait optik resimlere bakıldığında test sırasında sıcaklık ve hızdan dolayı pim malzemelerden kopmalar sonucu disklerde yapışmalar görülmüştür. Disk

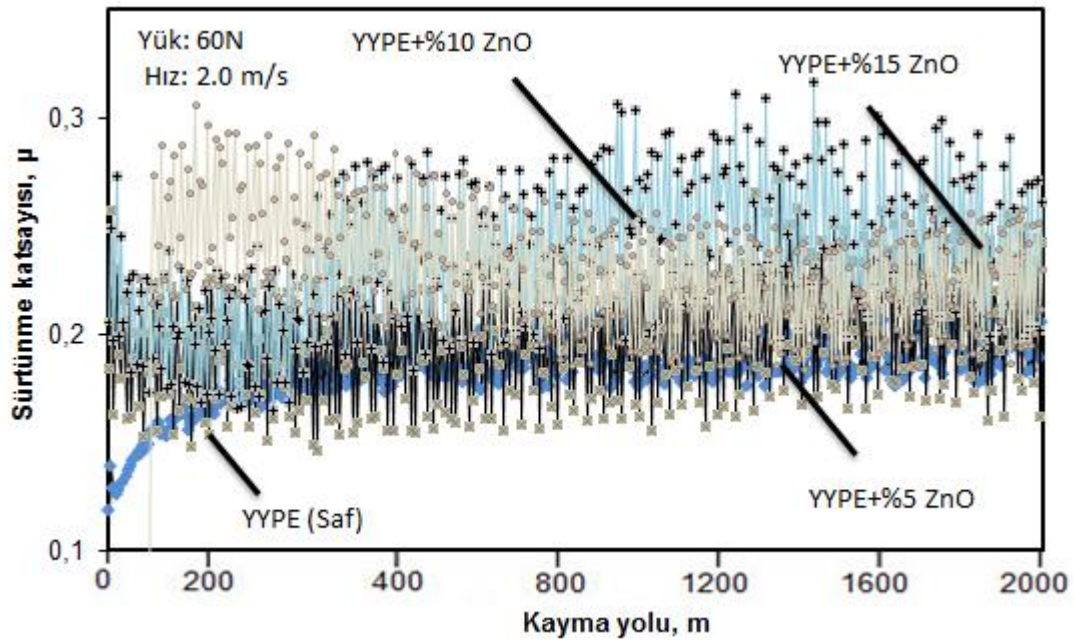
yüzeylerinde bu yapışma miktarlarının incelendiğinde en fazla yapışmanın saf YYPE polimer malzemede tespit edilmiştir.

4.1.7. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) kompozitinin sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi

Yapılan tribolojik deneylerde kullanılan saf YYPE polimeri ve YYPE esaslı çinko oksit katkılı kompozit malzemelerin AISI 316L paslanmaz çelik diske karşı aşınma analizleri; Şekil 4.45.'de saf YYPE polimeri ile çinko oksit katkılı YYPE kompozit malzemelerin 1.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimeri ile %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 300m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1400m yol kat ettikten sonra stabilize olmuştur. YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.18, 0.21, 0.19 ve 0.18 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.45. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:60N)

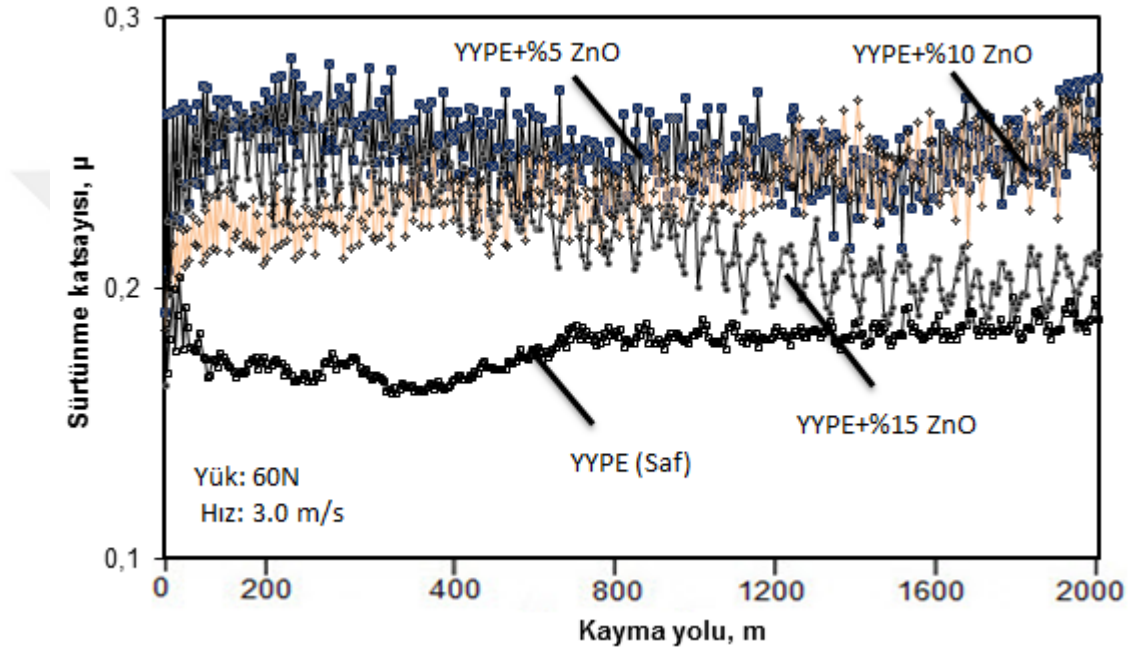


Şekil 4.46. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

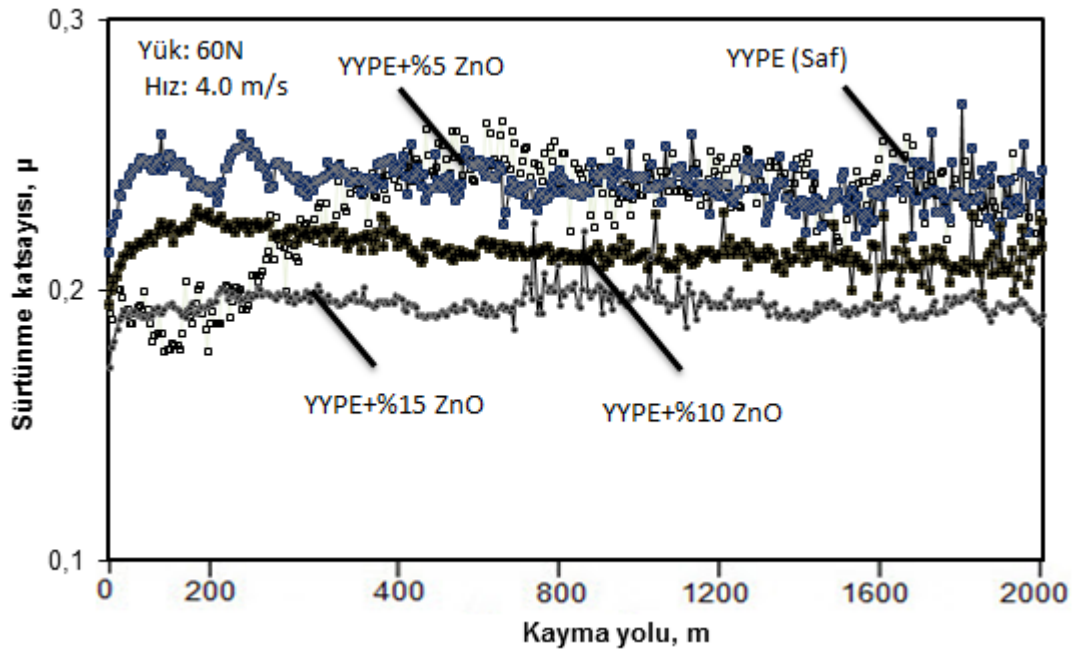
Şekil 4.46.'da 2.0m/s kayma hızında ve 60N yük altında yapılan tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi %5 ve %10 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 600m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 600m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.19, 0.21, 0.23 ve 0.25 olarak saptanmıştır.

3.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.47.'de verilmiştir. Şekilden de açıkça anlaşılacağı üzere %5 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 800m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 700m yol aldıktan sonra

stabilize olmuştur. %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 150m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 60N yük altında ve 3.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda YYPE polimeri ile %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.26 olarak tespit edilirken %5 ve %10 çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.22, 0.24 olarak tespit edilmiştir.

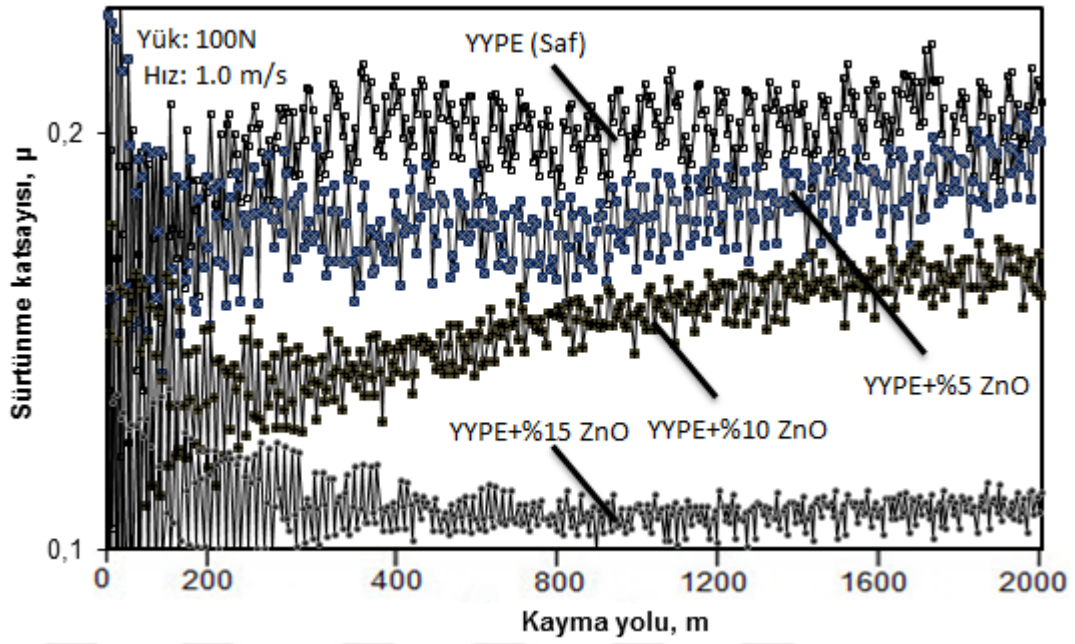


Şekil 4.47. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)



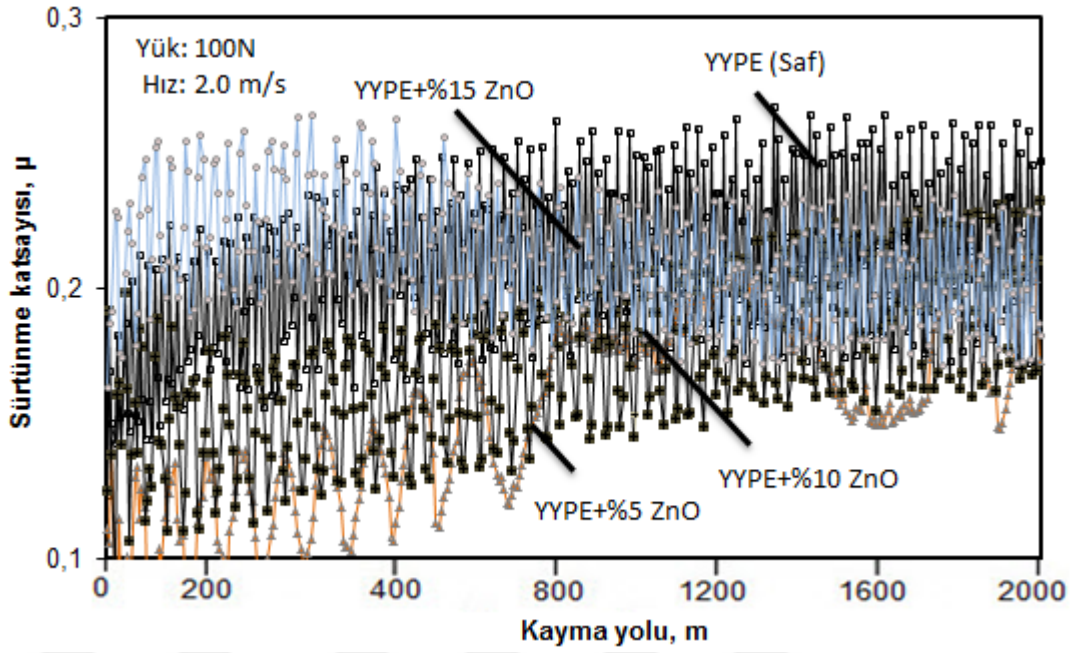
Şekil 4.48. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 4.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

Şekil 4.48.'de 60N yük altında ve 4.0 m/s kayma hızında yapılan tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 250m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 150m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 4.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.24, 0.22, 0.21 ve 0.20 olarak tespit edilmiştir



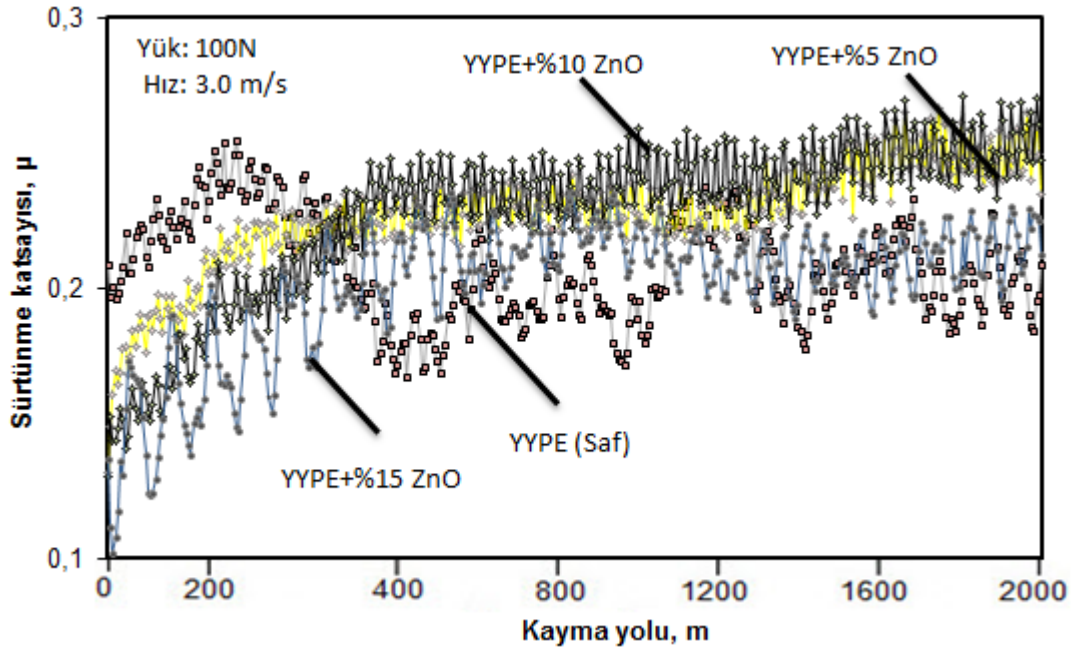
Şekil 4.49. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

1.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.49.'de verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı 300m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 1100m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 ve %10 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 1600m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 100N yük altında ve 1.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.19 olarak tespit edilirken %5 ve %10 çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.12 ve 0.15 olarak tespit edilmiştir.



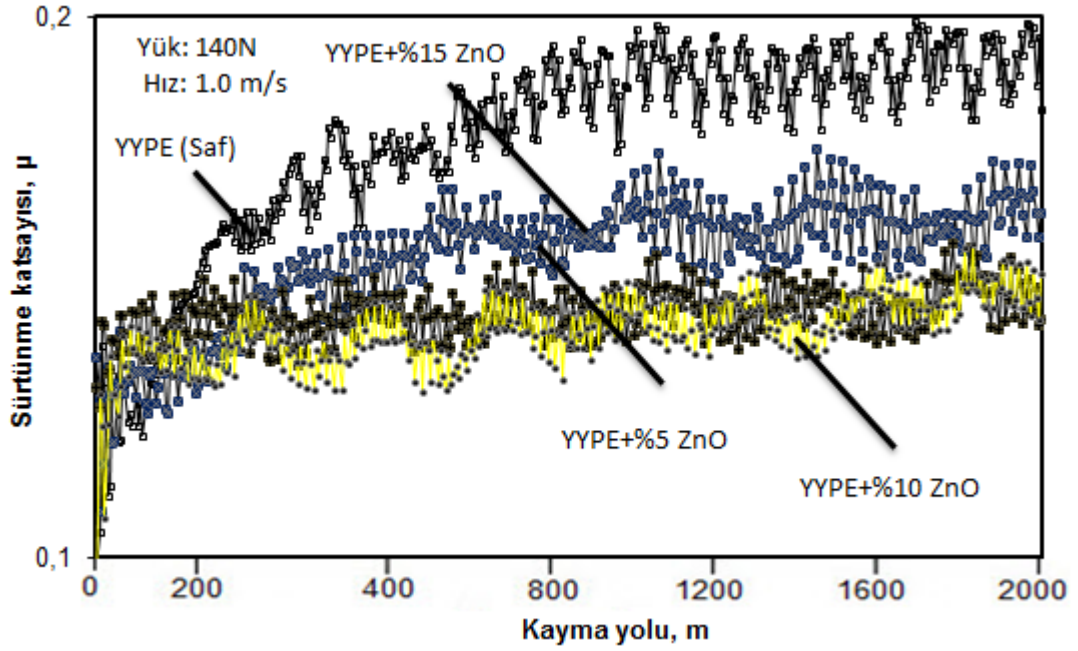
Şekil 4.50. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

Şekil 4.50.'de 100N yük altında ve 2.0 m/s kayma hızında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini verilmektedir. Şekilde açıkça görüldüğü üzere saf YYPE polimeri ile %5 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 500m yol aldıktan sonra stabilize olurken %10 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitinin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1000m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.22, 0.18, 0.19 ve 0.20 olarak saptanmıştır.



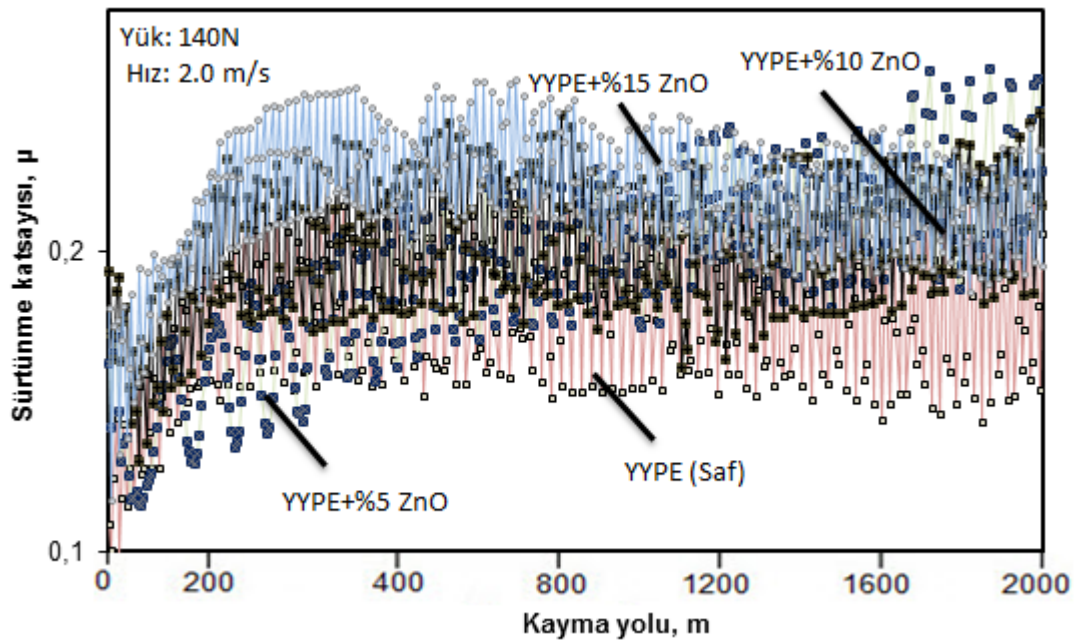
Şekil 4.51. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

3.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda katkısız YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.51.'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi %5 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 300m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 600m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 400m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 100N yük altında ve 3.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.26 olarak tespit edilirken %10 ve %15 çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.23 ve 0.21 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.52. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)

Şekil 4.52.'de katkısız YYPE polimeri ile çinko oksit katkıli YYPE kompozit malzemelerin 140N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 400m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. Saf YYPE polimeri sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1000m yol kat ettikten sonra dengeye olmuştur. YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.20, 0.15, 0.16 ve 0.17 olarak tespit edilmiştir.



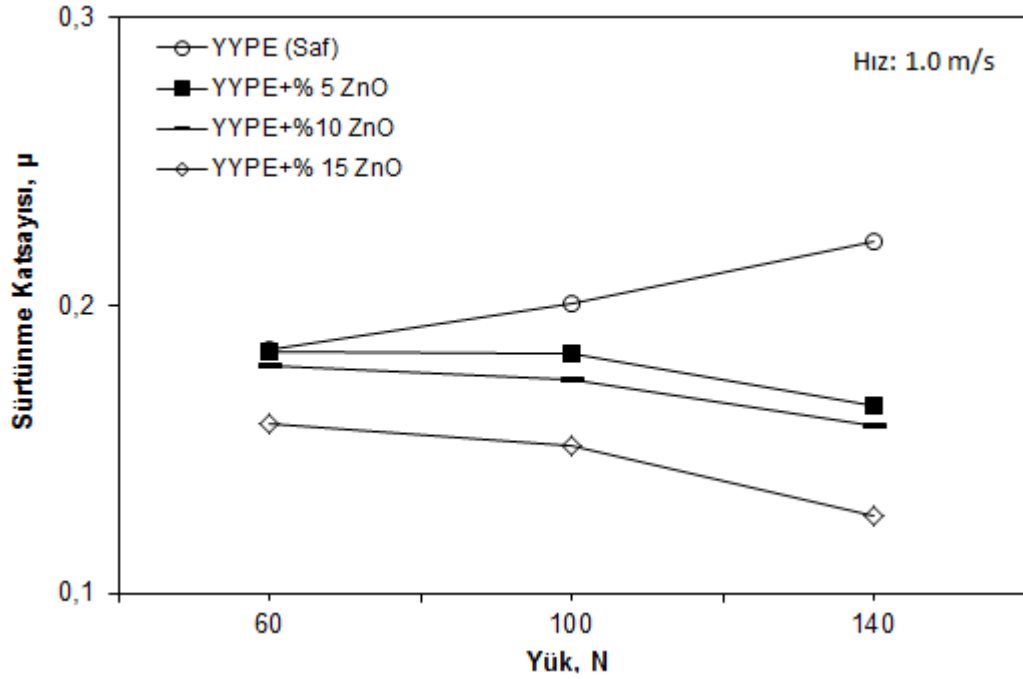
Şekil 4.53. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)

Şekil 4.53.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit katkıli YYPE esashlı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere saf YYPE polimeri ile %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 500m yol aldıktan sonra stabilize olurken %5 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 200m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 140N yük altında ve 2.0 m/s kayma hızında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.17, 0.19, 0.21 ve 0.22 olarak saptanmıştır.

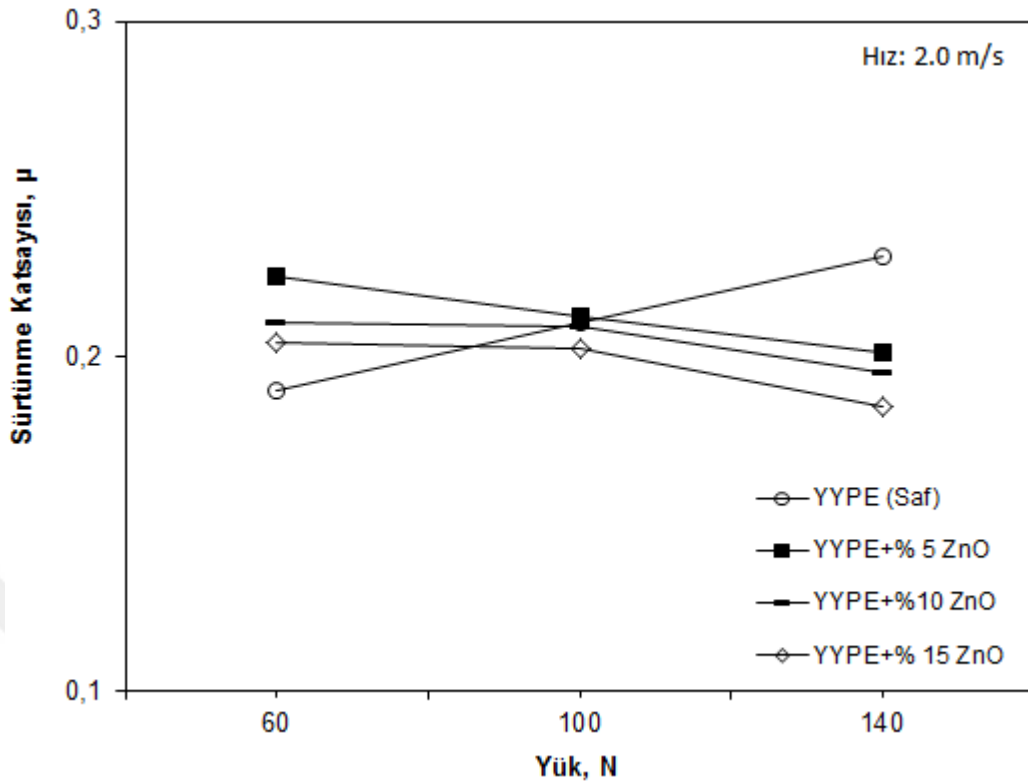
4.1.7.1. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yük ilişkisi

Şekil 4.54.'de saf YYPE polimeri ile çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozit malzemelerin 1.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisini göstermektedir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi YYPE polimeri malzemesine uygulanan yükün artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı artarken, %5, %10 ve %15 çinko oksit tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerinde ise sürtünme katsayıları

düşüş görülmektedir. Uygulanan yükün 60N 'dan 140N'a %133 oranında artırıldığında saf YYPE polimerinde %20 artış saptanmış olup, %5, %10 ve %15 ZnO katkıli YYPE kompozitin sürtünme katsayılarında sırasıyla %10.3, %11.7 ve %20.1 oranında azalmıştır. Sürtünme katsayısı en büyük artış saf YYPE polimerinde elde edilirken, en büyük düşüş ise %15 çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerde elde edilmiştir.



Şekil 4.54. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s)

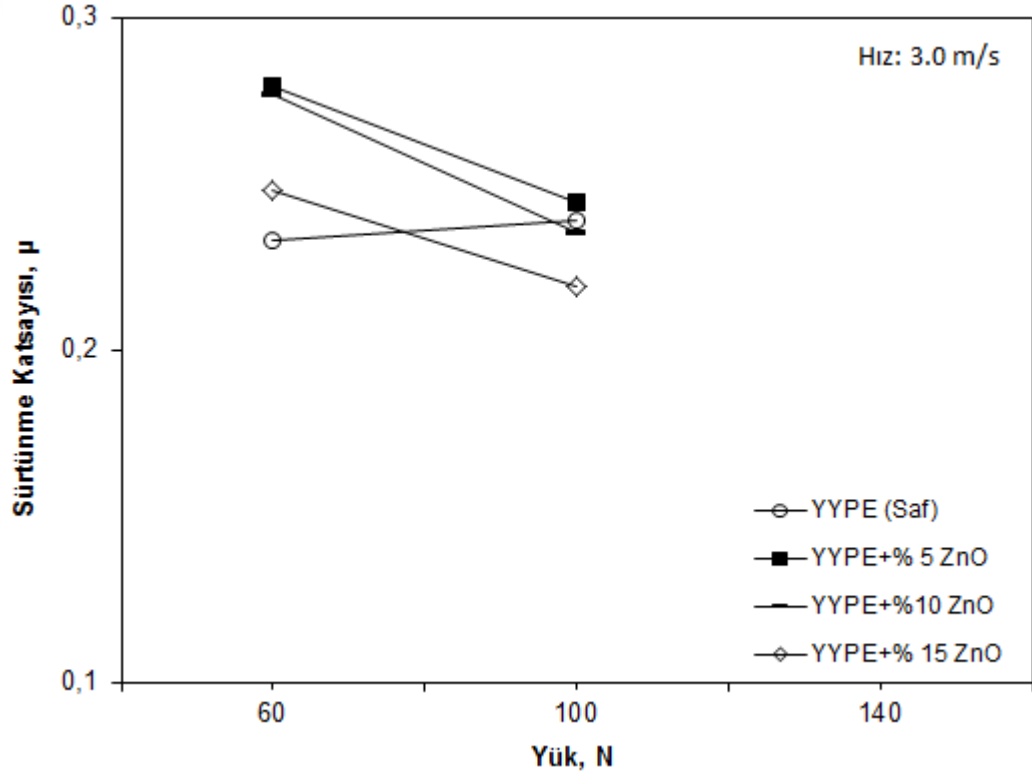


Şekil 4.55. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s)

YYPE polimeri ile çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 2.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.55.'de verilmiştir. Hızın 2.0m/s olarak artırılmasıyla deneylerde kullanılan YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları Şekil 4.54'a benzer davranış göstermektedir. Yani uygulanan yük arttıkça katkısız YYPE sürtünme katsayısı artarken, ağırlığınca çinko oksit tozu ilavesiyle birlikte sürtünme katsayılarında düşüş saptanmıştır. Uygulanan yükün %133 oranında artırılması ile saf YYPE polimerinde %21 oranında artış gözlenmiş olup, %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerinde ise sürtünme katsayıları sırasıyla %22, %10 ve %17 oranında düşüş gözlenmiştir.

Şekil 4.56.'de ise saf YYPE polimeri ile çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi göstermektedir. Kayma hızı 3.0m/s' ye çıkarılması ile 60N ve 100N yüklerde tribolojik deneyler gerçekleştirilmiştir. 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı gibi proses

şartları saf YYPE ve çinko oksit tozu katkılı kompozit malzemelerin tribolojik deneyleri için yüksek gelmiş ve bu test şartlarında numuneler deney boyunca dayanamayıp çabuk bir şekilde aşınmıştır. Bu nedenle 140N ve 3.0m/s kayma hızında deneyler gerçekleştirilememiştir. Şekilde görüldüğü gibi uygulanan yük arttıkça Şekil 4.54 ve Şekil 4.55.'de benzerlik göstermiştir. Yani yük arttıkça katkısız YYPE sürtünme katsayısı artarken, ağırlığınca çinko oksit tozu ilavesiyle birlikte sürtünme katsayılarında düşüş saptanmıştır. Uygulanan yükün 60N'dan 100N'a %66 oranında artırılması ile saf YYPE polimerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak %7.1 oranında artış göstermiş, %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları ise sırasıyla %12.5, %15.1 ve %11.6 oranında azalma saptanmıştır.

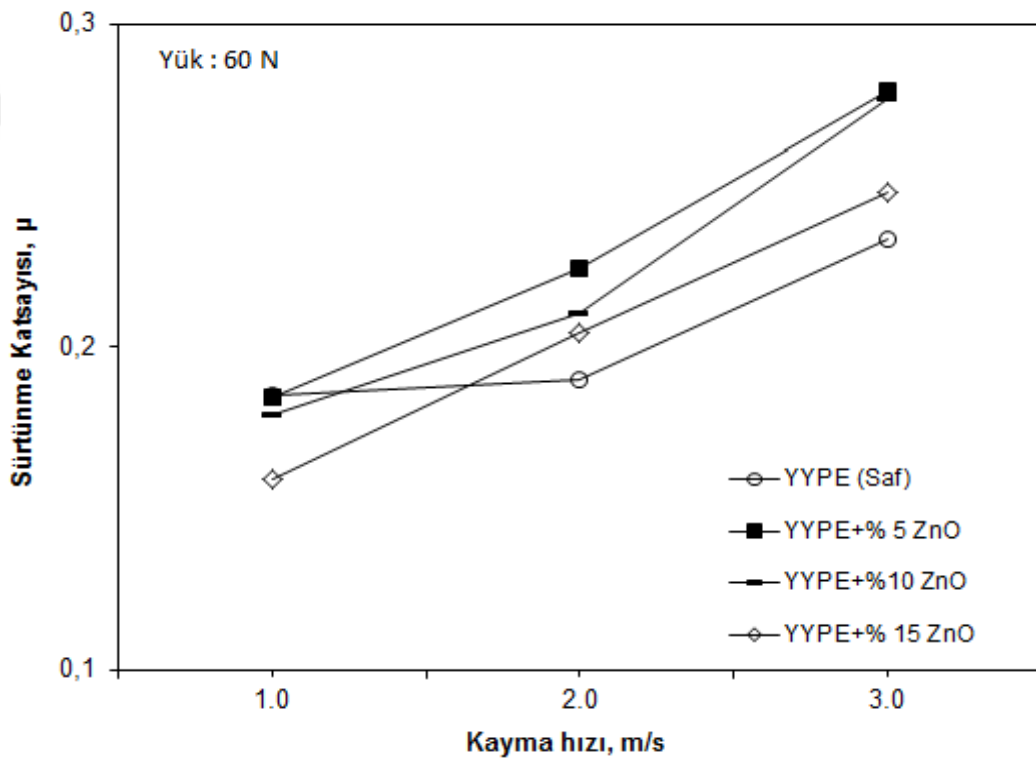


Şekil 4.56. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s)

4.1.7.2. YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi

Saf YYPE polimeri ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin 60N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı arasındaki

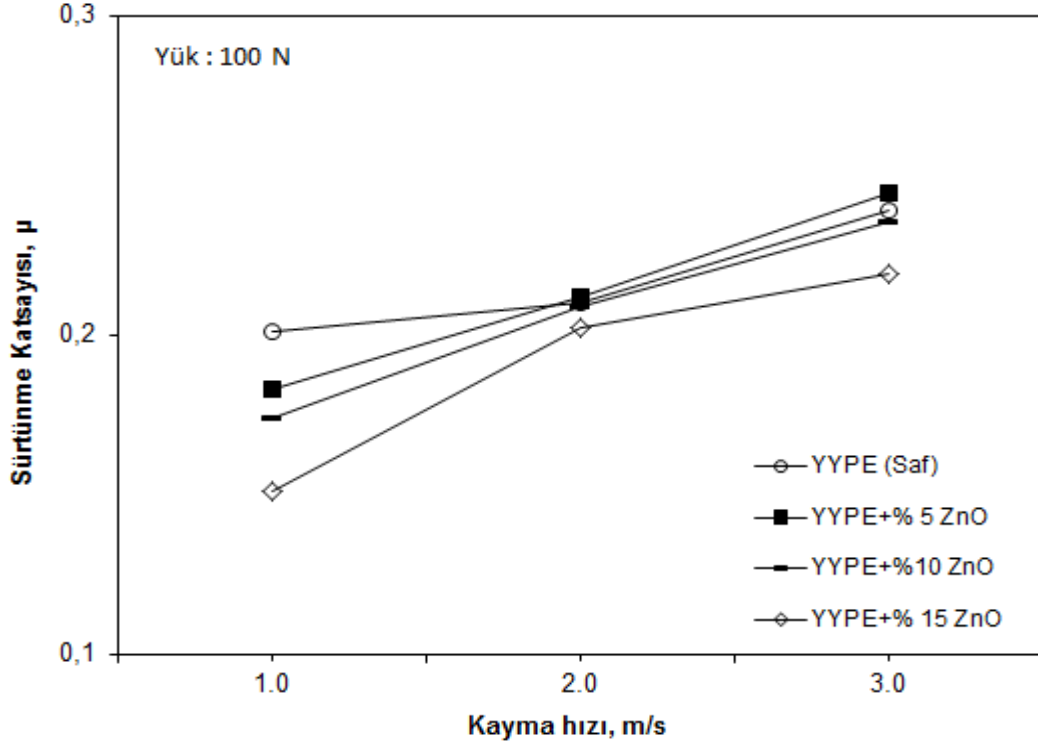
ilişkisi Şekil 4.57.'de verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı üzere kayma hızının (1.0m/s'den 3.0m/s'ye) artırılması ile hem saf YYPE polimerinin hem de %5, %10 ve %15 çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozit malzemelerinin sürtünme katsayısında artış olduğu gözlenmektedir. Yani çinko oksit tozu ilavesiyle birlikte saf YYPE polimerinin 60N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının arttığı söylenebilir. Sürtünme katsayısındaki artış oranı saf YYPE polimeri için yaklaşık olarak %25.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerde ise %49, %54 ve %55 oranında tespit edilmiştir.



Şekil 4.57. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 60N)

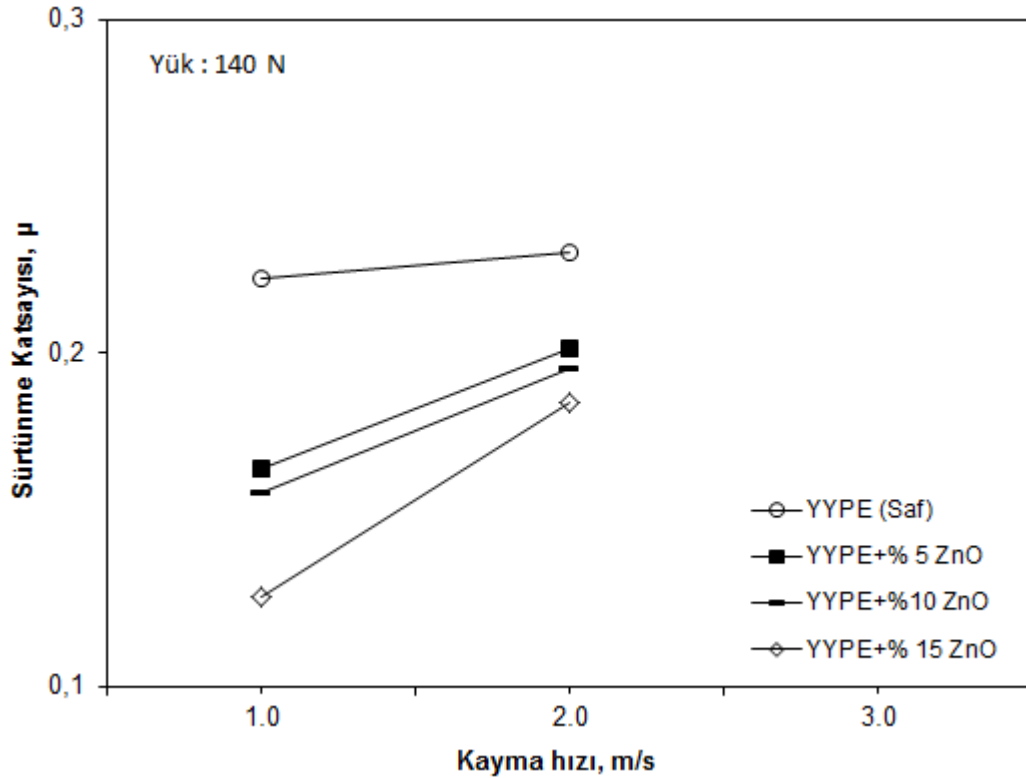
Şekil 4.58.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkıli YYPE kompozitlerin 100N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi sürtünme katsayısı sonuçlarına bakıldığında genel olarak saf YYPE polimeri ile YYPE-%5ZnO polimer kompozit değerleri birbirlerine yakın değerler göstermiştir. Ancak çinko oksit tozu katkısı arttıkça (YYPE-%10ZnO ve YYPE-%15ZnO) sürtünme katsayısı değerlerinde düşüş saptanmıştır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde kayma hızının (1.0m/s'den 3.0m/s'ye) %300 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15

Çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları artmıştır. Sürtünme katsayısındaki artış oranı saf YYPE polimeri için yaklaşık % 18.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise %33, %35 ve %45 oranında tespit edilmiştir.



şekil 4.58. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 100N)

Katksız YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin 140N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi şekil 4.59.'da verilmiştir. şekilde görüldüğü gibi kayma hızı olarak 1.0m/s ve 2.0 m/s kullanılmıştır. Bunun nedeni 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı hem YYPE polimeri hem de YYPE+ZnO polimer kompozitleri için şartlar yüksek gelmiş, deney süresine dayanamamış ve çabuk aşınarak deneyler tamamlanamamıştır. şekilde görüldüğü gibi kayma hızınının 1.0 m/s'den 2.0 m/s'ye %100 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayılarında artış saptanmıştır. Bu artış saf YYPE polimeri için ortalama %2.6 civarında iken %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemeler için ise bu artış oranları sırasıyla %21.8, %23.4 ve %45 civarında olmuştur.



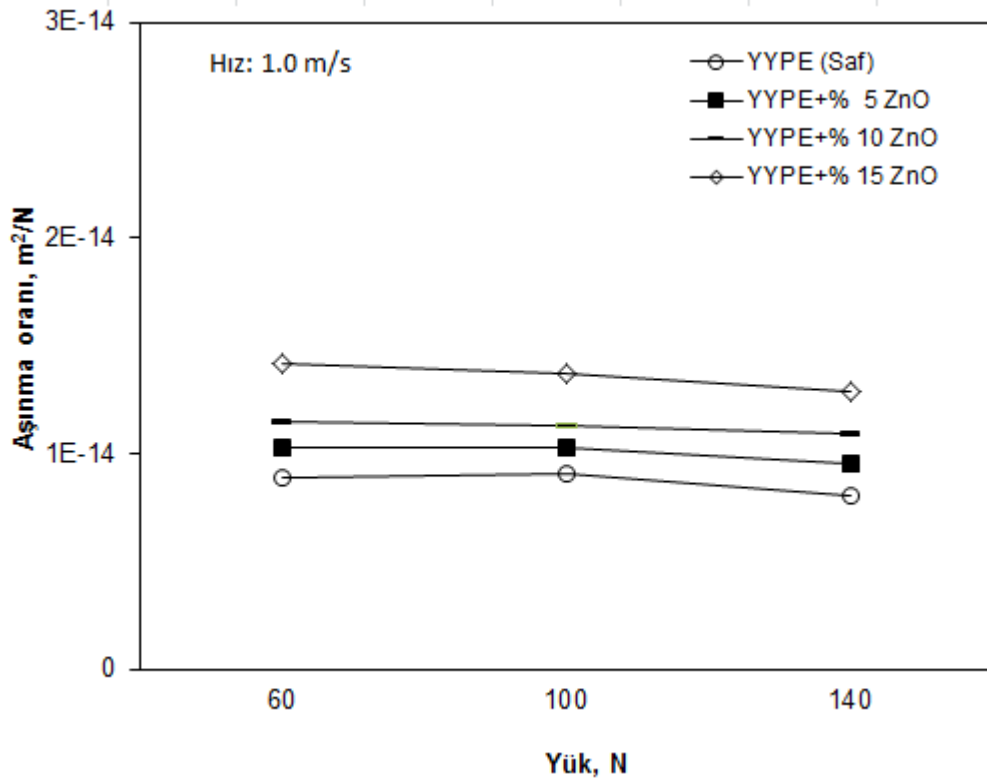
Şekil 4.59. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 140N)

4.1.8.YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) kompozitinin aşınma oranına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi

4.1.8.1.YYPE/Çinko oksit tozu (ZnO) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün etkisi

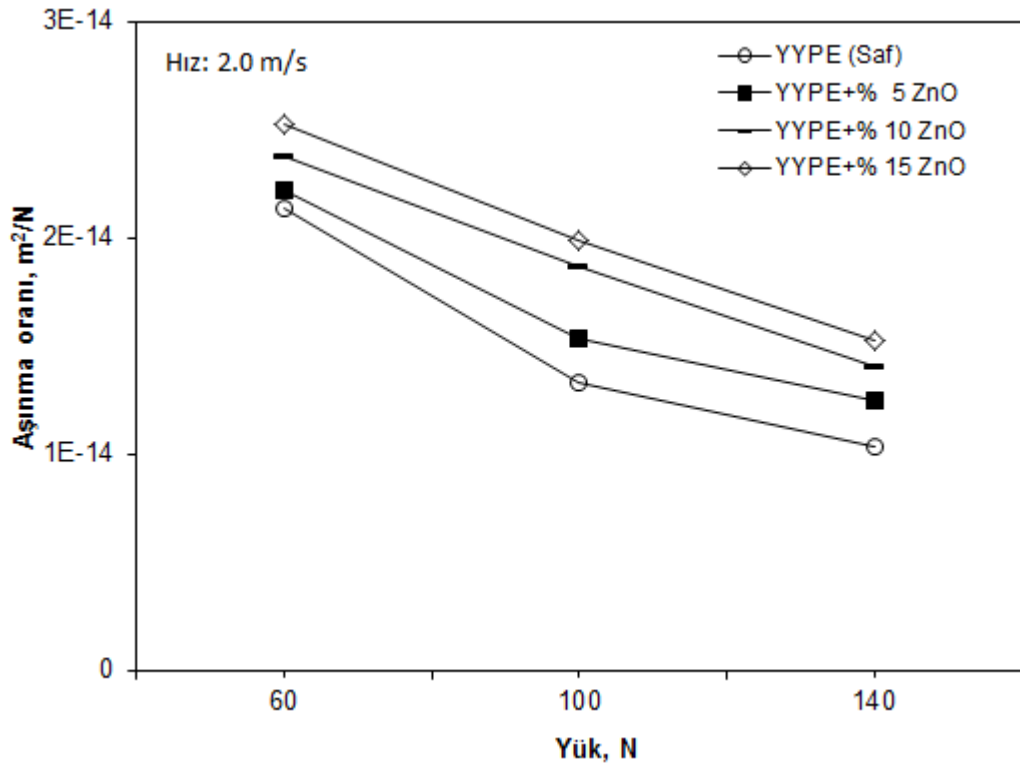
Şekil 4.60.'da saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin 1.0 m/s hız altındaki aşınma oranı-yük ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi aşınma oranı en yüksekte doğru saf YYPE polimeri, YYPE-%10ZnO, YYPE-%5ZnO ve YYPE-%15ZnO kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil dikkatli olarak tekrar incelendiğinde uygulanan yükün (60 N'den 140N'a) %133 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranı hafif düşmüştür. Aşınma oranındaki bu düşüş saf YYPE polimeri için yaklaşık % 9.9

oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise %6.7, %5.2 ve % 9.1 oranında tespit edilmiştir.

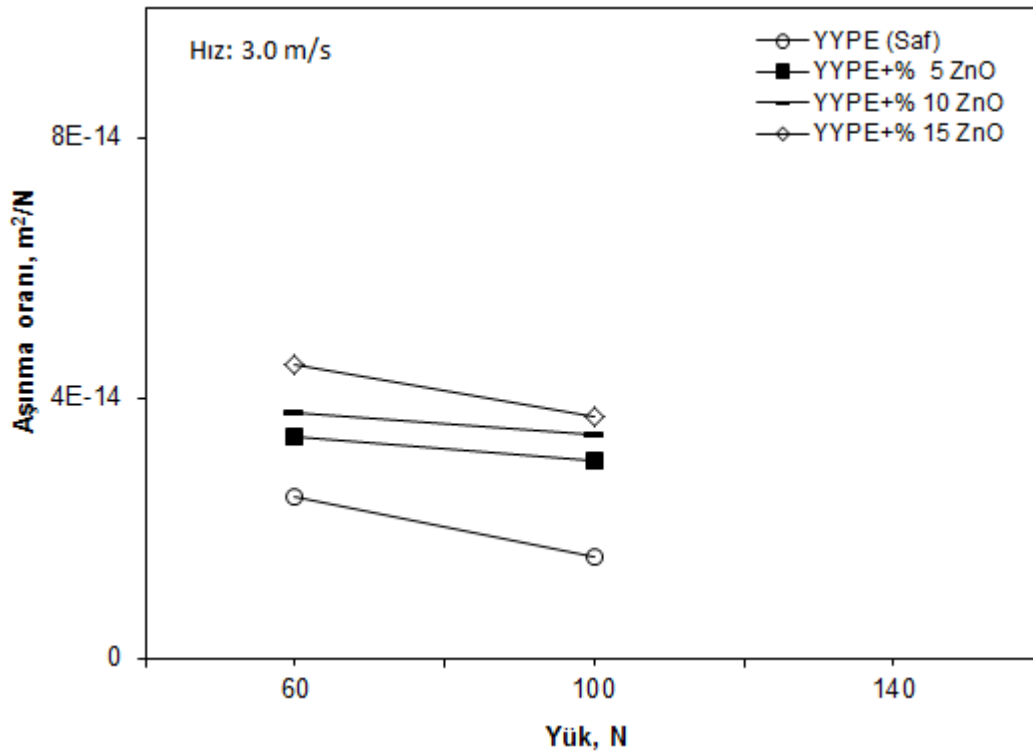


Şekil 4.60. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s)

YYPE polimeri ile çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 2.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.61’de verilmiştir. Hızın 2.0m/s olarak artırılmasıyla deneylerde kullanılan saf YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları Şekil 4.61.’da benzer davranış göstermektedir. Yani uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm malzemelerin aşınma oranları azalmıştır. Uygulanan yükün %133 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla %51.7, % 43, % 40.8 ve %39.7 oranında azalma gözlenmiştir.



Şekil 4.61. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0m/s)

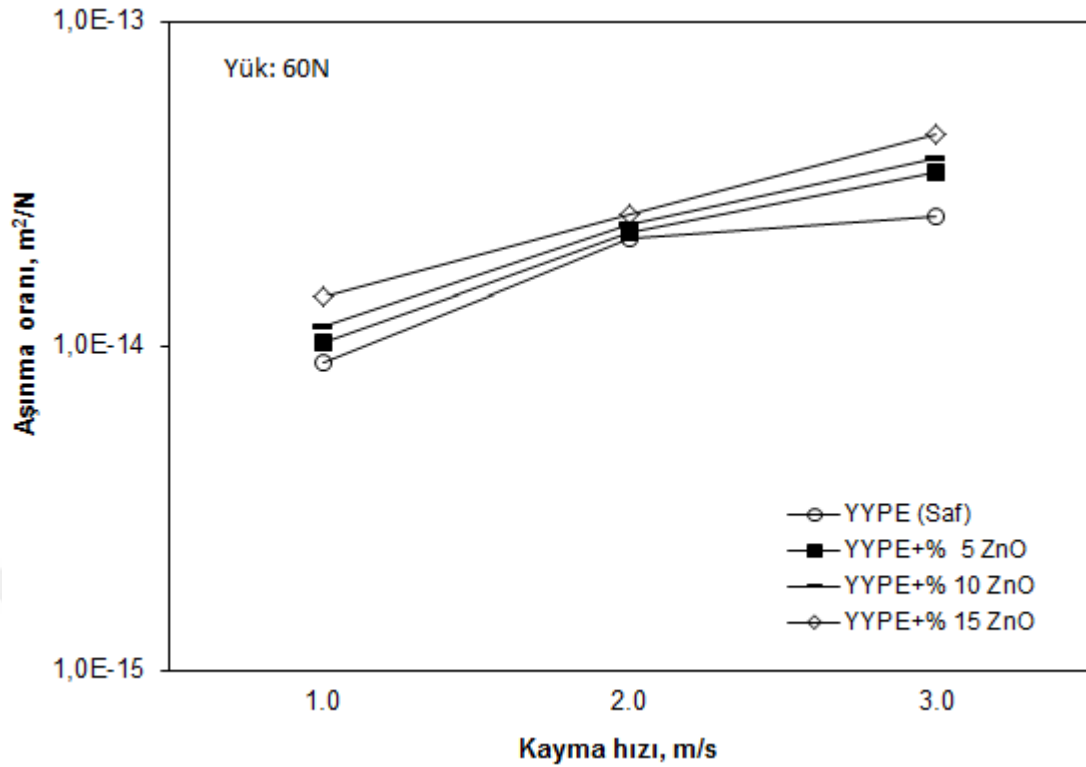


Şekil 4.62. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0m/s)

YYPE polimeri ile çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.62.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere saf YYPE polimer malzemesinde en fazla aşınma oranı görülmüştür. Uygulanan yük 60N'dan 100N'a artırılması ile birlikte bu aşınma oranı %37.85 saptanmıştır. En düşük aşınma oranı ise YYPE+% 15 çinko oksit tozu katkılı kompozit malzemede görülmüş olup, bu oran ise % 17.8 olmuştur. Ayrıca 3.0 m/s hızda ve 140N yükte aşınma deneyleri yüksek sıcaklıktan dolayı pim numuneleri eridiğinden dolayı deneyler gerçekleştirilememiştir.

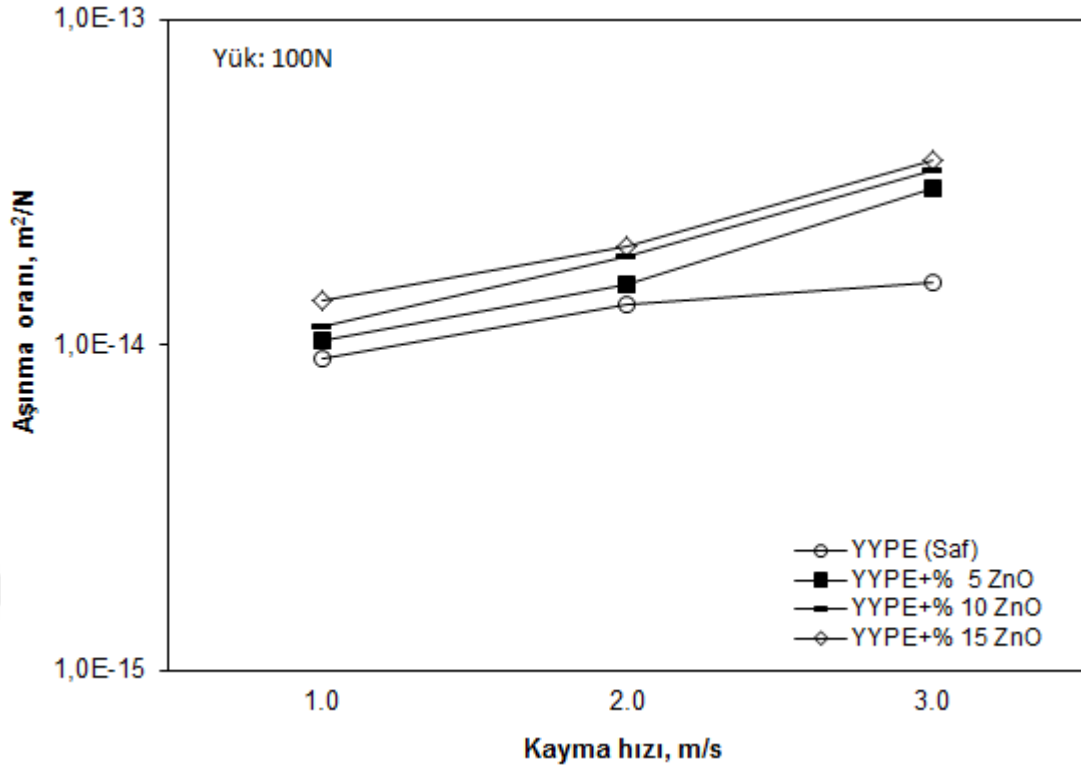
4.1.8.2. YYPE/ Çinko oksit tozu (ZnO) tozu kompozitlerinin aşınma oranına kayma hızının etkisi

Şekil 4.63.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin 60N yük altındaki aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi aşınma oranı en yüksekten düşüğe doğru saf YYPE polimeri, YYPE-%5ZnO, YYPE-%10ZnO ve YYPE-%15ZnO kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil tekrar dikkatli olarak incelendiğinde uygulanan hızın (1.0 m/s'den 3.0 m/s'a) %200 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranı artmıştır. Aşınma oranındaki artış saf YYPE polimeri için ortalama %180 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise % 116.6, % 227 ve % 216 oranında tespit edilmiştir



Şekil 4.63. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 60N)

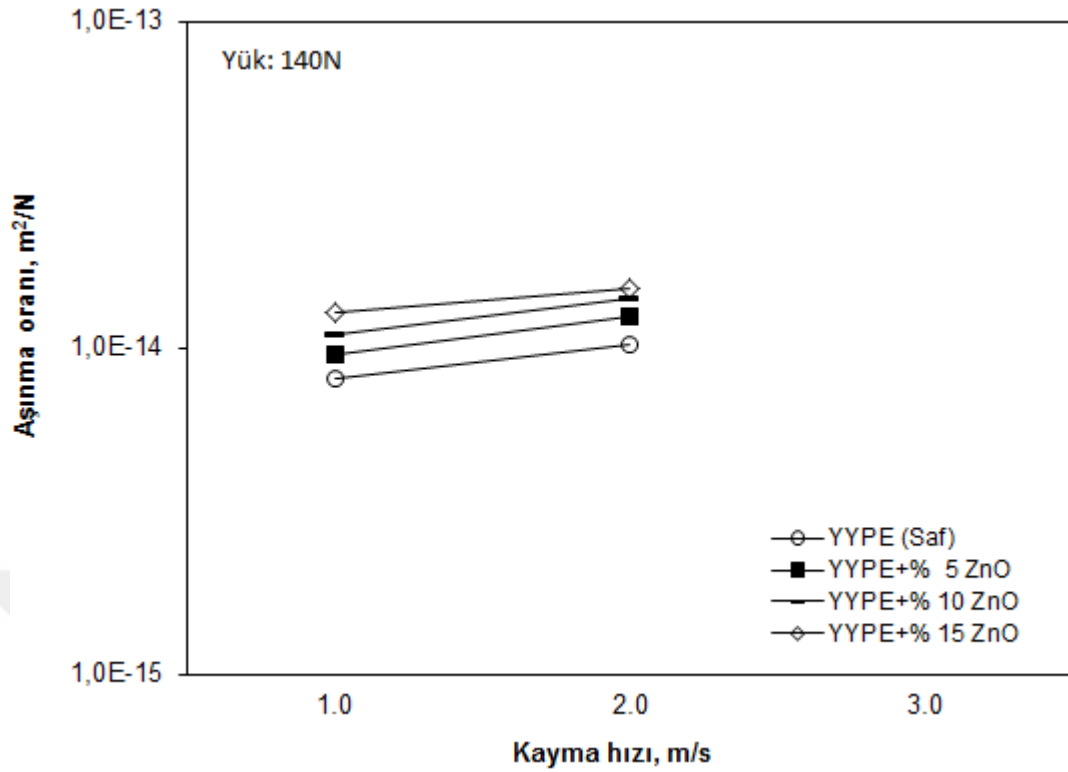
Saf YYPE polimeri ile çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 100N yük altında aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.64.'de verilmiştir. Hızın 1.0m/s den başlayarak 3.0m/s artırılmasıyla deneylerde kullanılan saf YYPE ve YYPE+%ZnO katkılı kompozit malzemelerin aşınma oranlarında Şekil 4.63.'da benzer davranış göstermektedir. Yani uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan ZnO tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranlarında artmaktadır. Uygulanan hızın %300 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla %70.6, %196, %204 ve %169 oranında artış göstermiştir. En düşük aşınma oranı $9,06 \cdot 10^{-15}$ ile saf YYPE polimerinde 100N ve 1.0m/s hızda elde edilirken, en yüksek aşınma oranı ise 100N ve 3.0m/s hızda $3,69 \cdot 10^{-14}$ değeri ile %15 ZnO katkılı YYPE kompozitinde elde edilmiştir.



Şekil 4.64. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 100N)

Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit tozu katkılı kompozitlerin 140N yük altındaki aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.65.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızı olarak 1.0m/s ve 2.0 m/s çalışma imkanı olmuştur. Çünkü 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı hem YYPE polimeri hem de YYPE+ZnO kompozitleri için şartlar yüksek gelmesiyle, deney boyunca dayanamamış ve hızlı şekilde aşınarak deneyler tamamlanamamıştır.

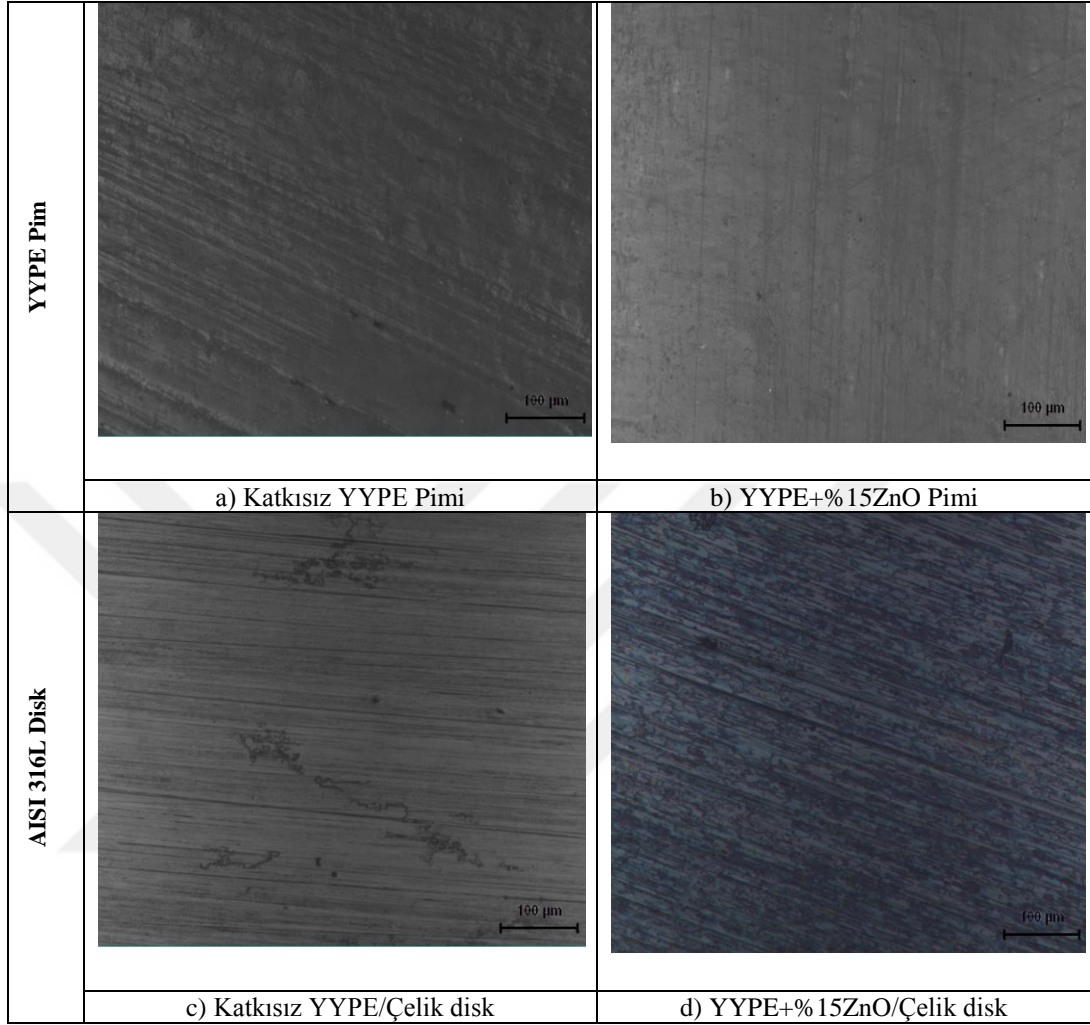
Şekilde görüldüğü gibi kayma hızının 1.0 m/s'den 2.0 m/s'ye %100 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranlarında artış saptanmıştır. Bu artış YYPE polimeri için ortalama %28 civarında iken %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozit malzemeler için ise bu artış oranları sırasıyla %30.8, %28.8 ve %17.9 civarında olmuştur.



Şekil 4.65. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko oksit tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 140N)

Çinko borat (ZnO) katkılı polimerler ile ilgili literatür incelemesi yapıldığında raju ve arkadaşları [20] polietilen polimerine ağırlığınca %1 ile %6 aralıklarında ZnO ilave ederek 5N-20N aralıklarında yüklerle pin-on disk aşınma cihazı ile aşınma testleri gerçekleştirilmişlerdir. Sonuçlara bakıldığında yükün artmasıyla birlikte aşınma oranında artış saptanmıştır. En çok sfesifik aşınma oranı ise %6 ZnO katkılı polietien kompozit malzemesinde tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise Sharma ve arkadaşları [30] çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen polimerine ağırlığınca %5, %10, %15 ve %20 oranlarına ZnO ilave ederek 9.81N yük ve 6 hz hızda aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara bakıldığında ZnO ilavesi arttığında aşınma oranında artış tespit edilmiştir. Yukarıda incelenen çalışmalara ile bizim gerçekleştirmiş olduğumuz ZnO katkılı YYPE polimerine ait aşınma deneyleri sonuçları benzerlik göstermiş olup ZnO katkı miktarı artması ve yükün artmasıyla birlikte sfesifik aşınma oranlarında artış saptanmıştır.

4.1.9. YYPE/Çinko Oksit tozu (ZnO) kompozitlerinin mikro yapı incelemeleri



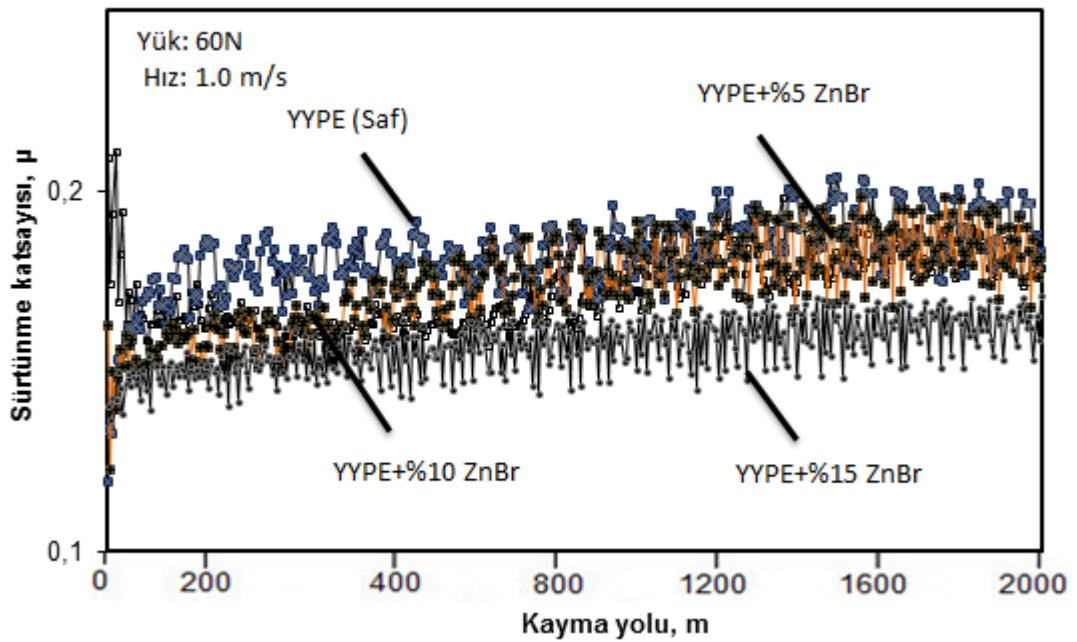
Şekil 4.66 Saf YYPE ve YYPE+%15ZnO katkılı test numuneleri pimler ile karşı disk malzemelerin kuru kayma şartları altındaki optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Ortam sıcaklığı: 22±2°C, Kayma hızı: 3.0m/s, Uygulanan yük: 100N)

Şekil 4.66.'da saf YYPE polimeri ile YYPE+%15ZnO polimer kompozitinin pim ve disklerin optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. Optik fotoğraflardan anlaşılacağı üzere 3.0m/s kayma hızında ve 100N yük hızda gerçekleşen deneyler sonucunda YYPE+%15ZnO polimer kompozit pim numunesinde fazla aşınmadan dolayı aşınma izlerinin fazla olduğu saptanmıştır. Pim numunelere ait optik resimler tekrar incelendiğinde çinko oksit ilavesinin artmasıyla birlikte izlerin arttığı tespit edilmiştir. Hem saf YYPE polimeri ile YYPE+%15ZnO pim numunesini aşındırma deneyinde kullanılan disk malzemesinin yüzeyleri optik resimleri incelendiğinde ise yük ve hızın artmasıyla dolayı yüzeyin sıcaklığın artarak disk yüzeyinde ince bir film

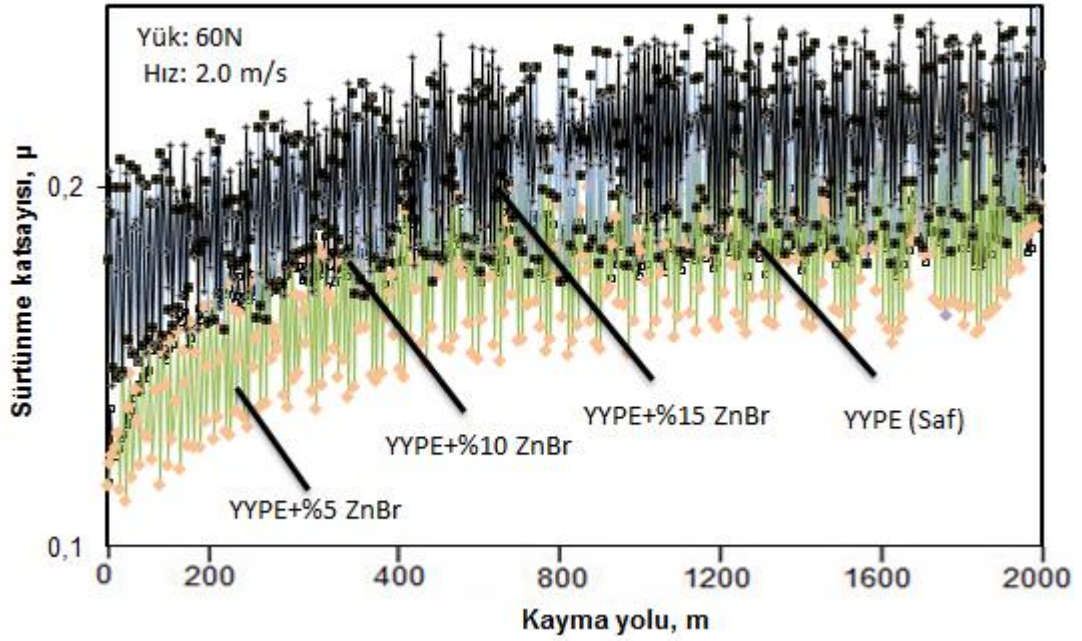
tabakası oluşmuştur. Deney süresi ilerledikçe bu film tabakası genişlediği gözlenmiştir. Karşı disk malzemelerine ait optik resimler incelendiğinde en fazla yapışmanın YYPE+%15ZnO polimer kompozit malzemeye ait disklerde olduğu tespit edilmiştir.

4.1.10. YYPE/Çinko Borat (ZnBr) kompozitinin sürtünme katsayısına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi

Şekil 4.67.'de YYPE polimeri ile çinko borat katkılı YYPE kompozit malzemelerin 60N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere saf YYPE polimeri ile %5 ve %10 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 1000m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1500m yol katettikten sonra stabilize olmuştur. YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.19, 0.18, 0.17 ve 0.16 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.67. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:60N)

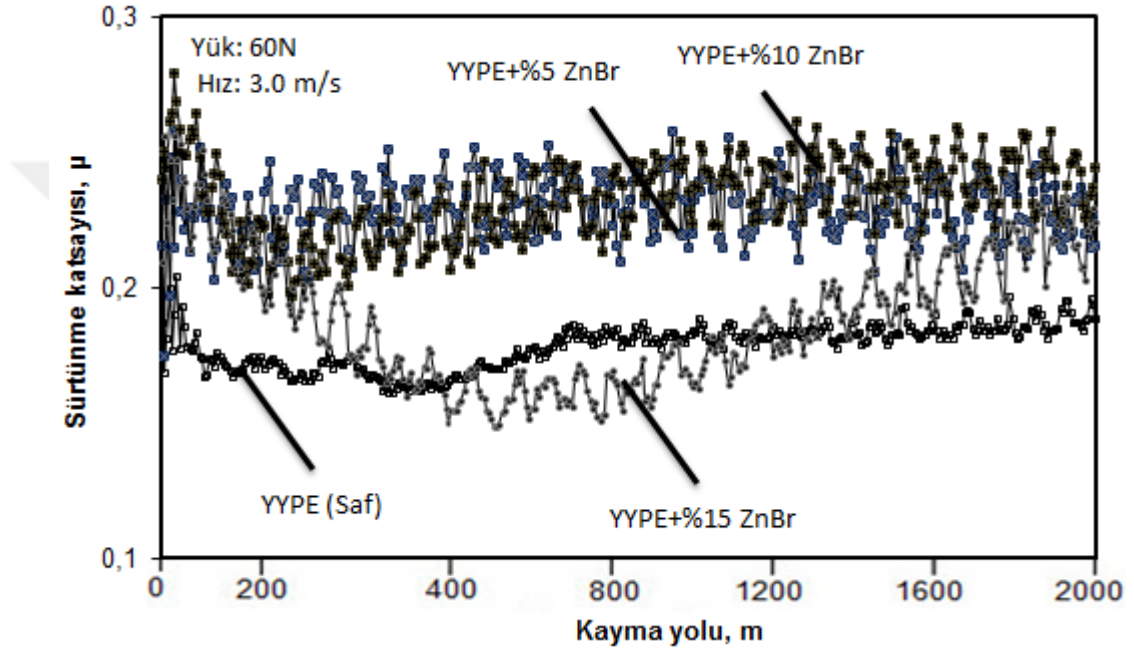


Şekil 4.68. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıları ile YYPE esaslı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

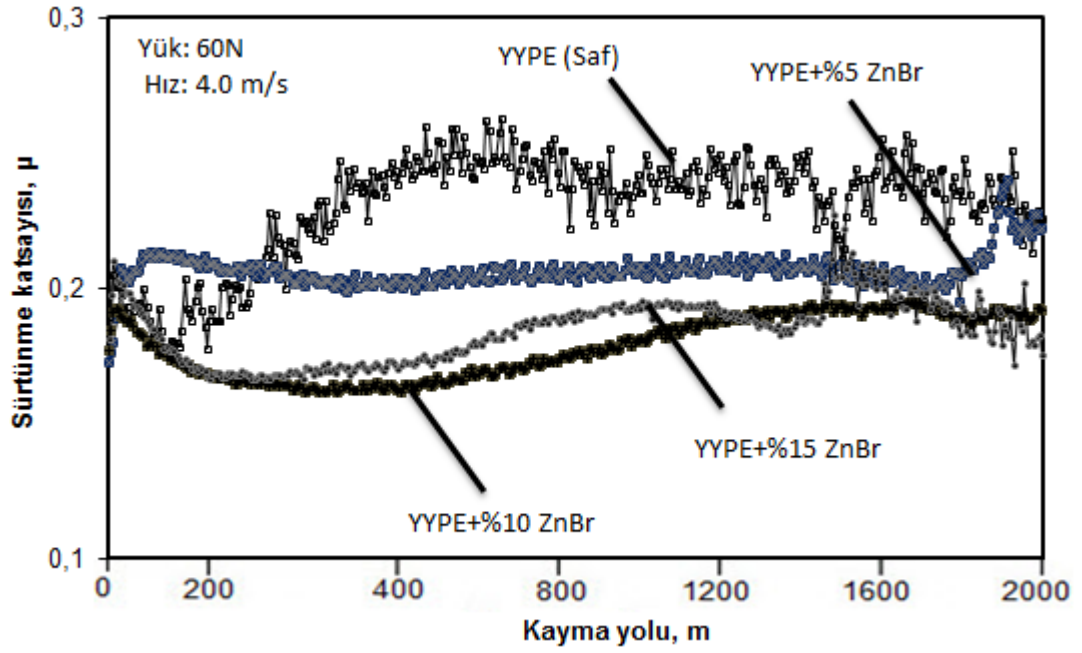
Şekil 4.68.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat katkıları YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi saf YYPE polimeri ile %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıları YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 500m yol aldıktan sonra stabilize olurken %5 oranında çinko borat tozu katkıları YYPE kompozitinin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 800m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıları YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.19, 0.19, 0.20 ve 0.21 olarak tespit edilmiştir.

3.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat katkıları YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.69.'de verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi %5 ve %10 oranında çinko borat tozu katkıları YYPE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı 400m yol aldıktan

sonra stabilize olurken saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 700m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 1600m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 60N yük altında ve 3.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda YYPE polimeri ile %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.20, %5 ve %10 çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin ortalama sırasıyla 0.22, 0.23 olarak tespit edilmiştir.

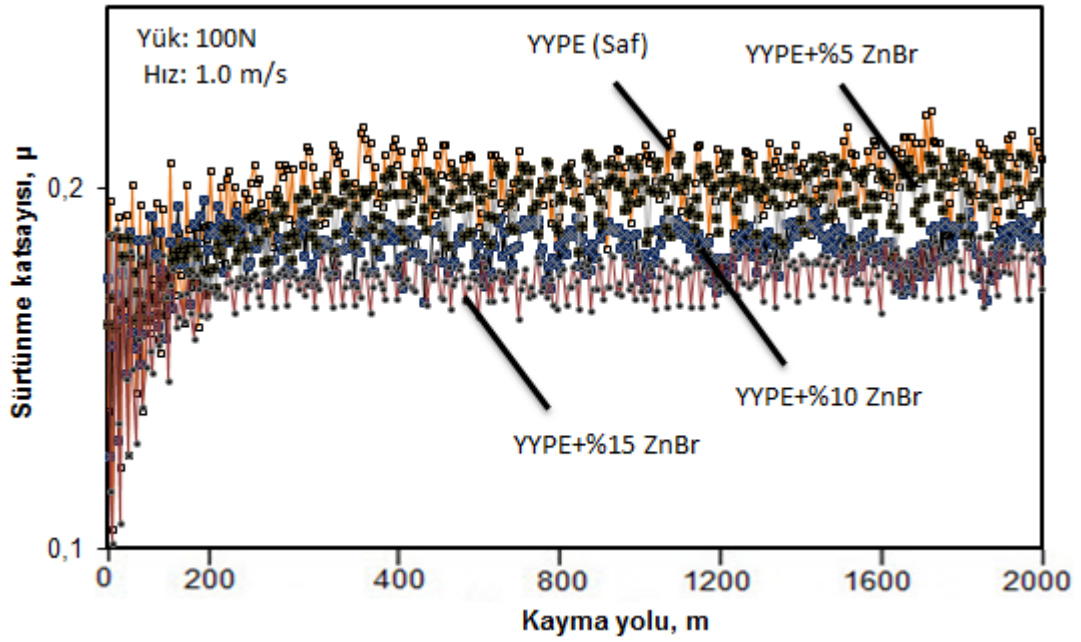


Şekil 4.69. Saf YYPE polimeri ve %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)



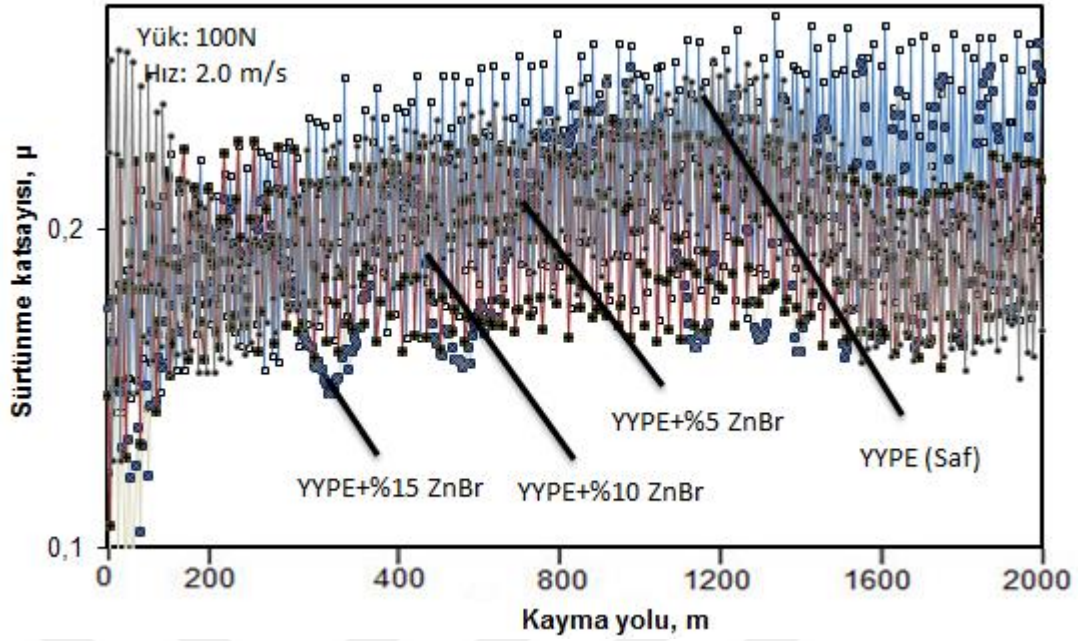
Şekil 4.70. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 4.0 m/s, Uygulanan yük: 60N)

Şekil 4.70.'de 4.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf YYPE polimeri ile %5 ve %10 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 700m yol aldıktan sonra stabilize olurken %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1300m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 4.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.22, 0.21, 0.19 ve 0.18 olarak tespit edilmiştir.



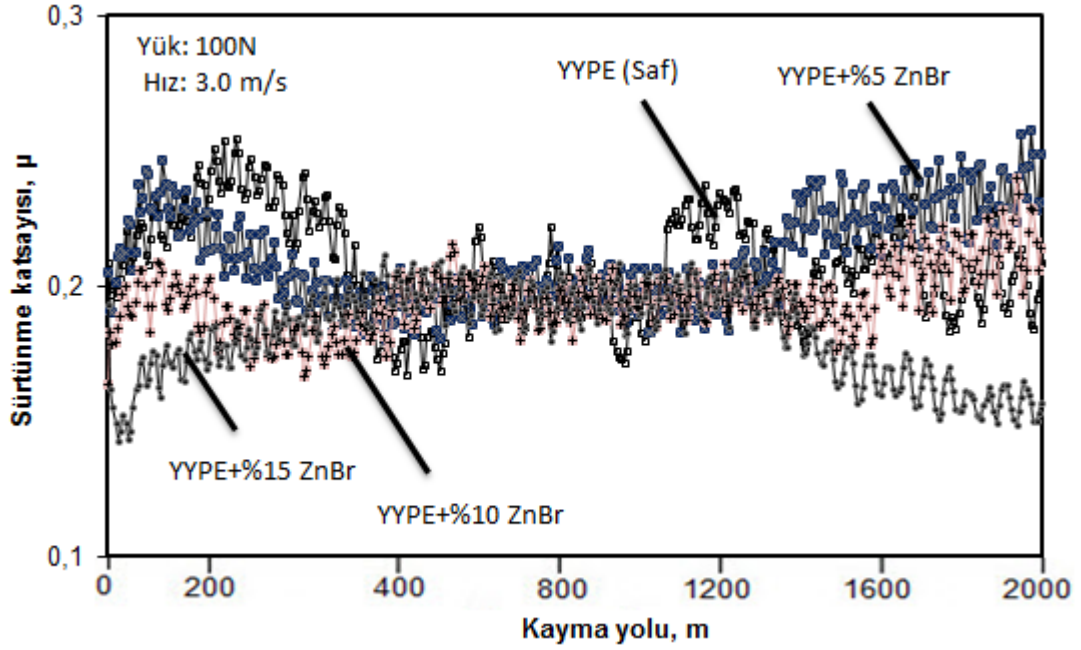
Şekil 4.71. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

1.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.71.'de verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi saf YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 800m yol aldıktan sonra stabilize %5,%10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise yaklaşık olarak 250m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 100N yük altında ve 1.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda YYPE polimeri ile %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.17 olarak tespit edilirken %5 ve %10 çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.18 ve 0.19 olarak tespit edilmiştir.



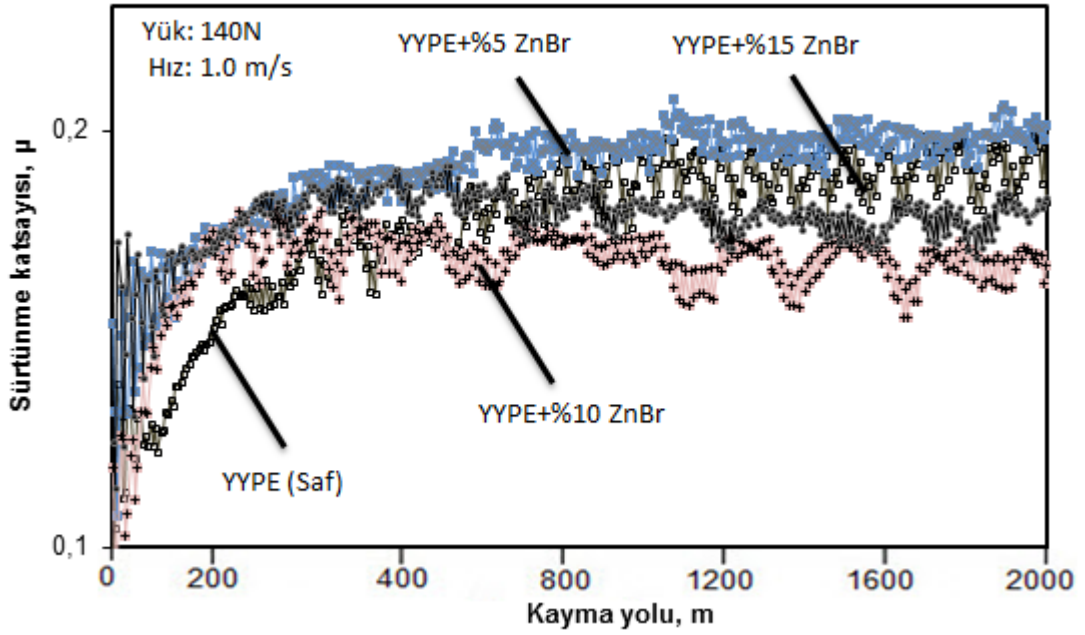
Şekil 4.72. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

Şekil 4.72.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini verilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 300m yol aldıktan sonra stabilize olurken saf YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1000m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 60N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.22, 0.21, 0.20 ve 0.19 olarak saptanmıştır.



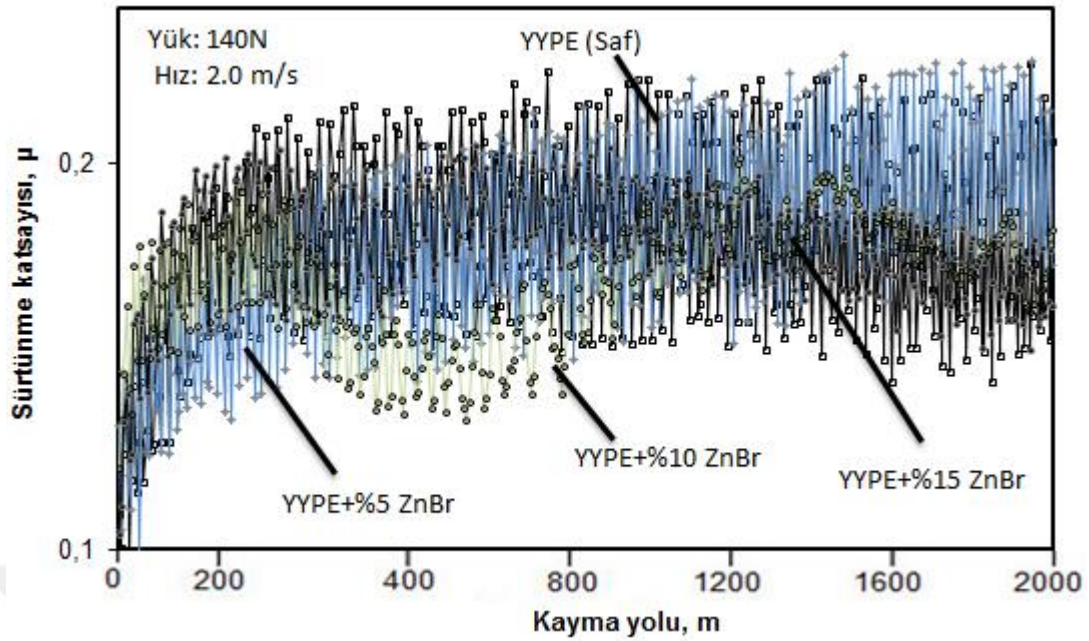
Şekil 4.73. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s, Uygulanan yük: 100N)

3.0 m/s kayma hızında ve 100N yük altında yapılan aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.73.'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere %10 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı 400m yol aldıktan sonra stabilize olurken 1200 m sonrasında ise artan sıcaklıkla beraber sürtünme katsayısında tekrar artış görülmüştür. Saf YYPE polimeri ise yaklaşık olarak 500m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %5 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları ise %10 oranında çinko boratla kompozitle benzer davranış göstermekle beraber, yaklaşık olarak 500m yol aldıktan sonra dengeli duruma ulaşmıştır. 100N yük altında ve 3.0 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda YYPE polimeri ile %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.18 olarak tespit edilirken %5 ve %10 çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0.22 ve 0.20 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.74. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)

Şekil 4.74.'de YYPE polimeri ile çinko borat katkıli YYPE kompozit malzemelerin 140N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere YYPE polimeri ile %5 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 600m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. %10 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE polimer kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 300m yol kat ettikten sonra stabilize olmuştur. YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.16, 0.17, 0.18 ve 0.19 olarak tespit edilmiştir.



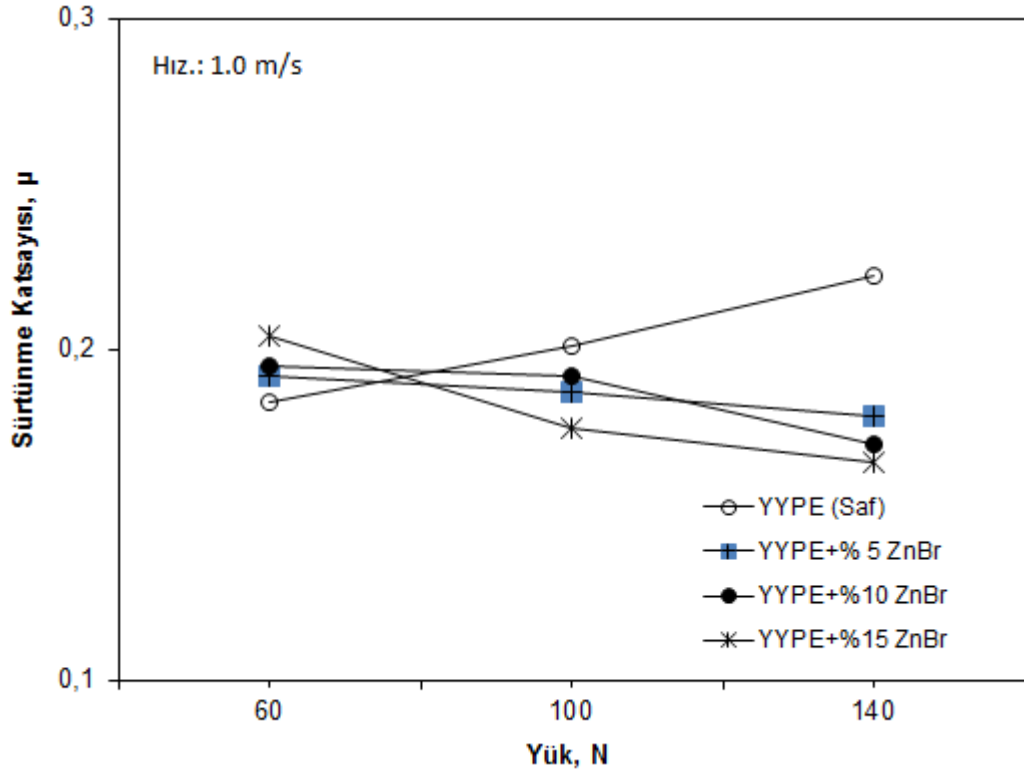
Şekil 4.75. Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s, Uygulanan yük: 140N)

Şekil 4.75.'de 2.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat katkıli YYPE esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere saf YYPE polimeri ile %5 ve %10 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 1200m yol aldıktan sonra stabilize olurken %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitin sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 1000m yol aldıktan sonra stabilize olmuştur. 2.0 m/s kayma hızında ve 140N yük altında YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.22, 0.20, 0.18 ve 0.17 olarak saptanmıştır.

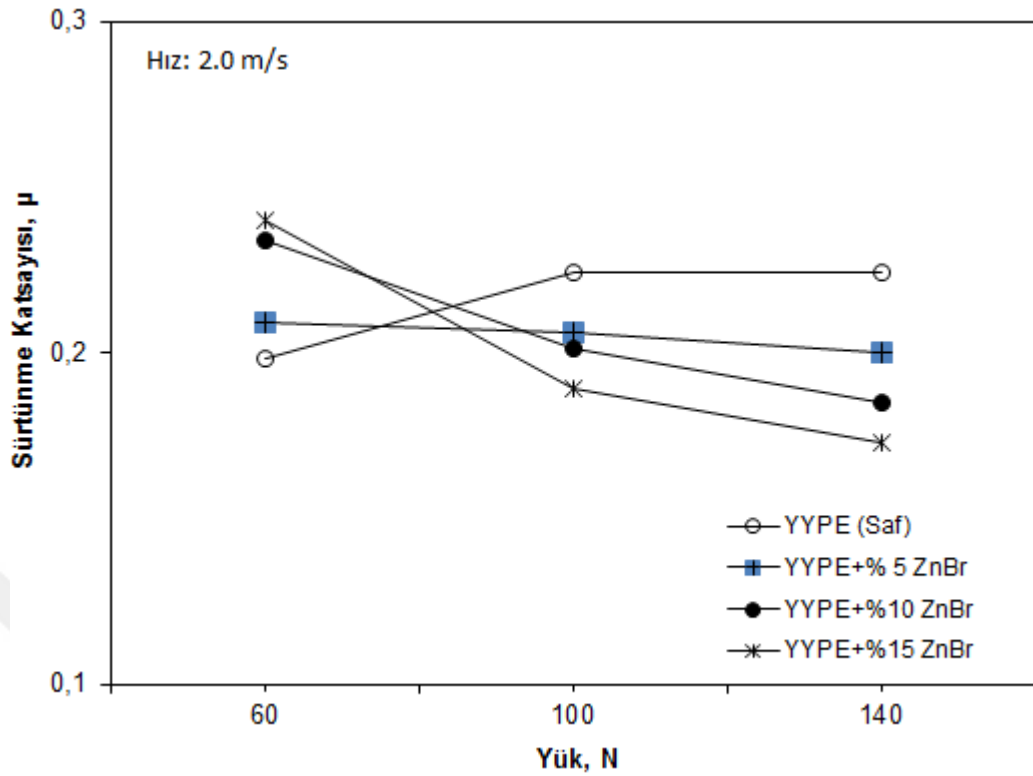
4.1.10.1. YYPE/Çinko Borat tozu (ZnBr) katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yük ilişkisi

Şekil 4.76.'de YYPE polimeri ile çinko borat tozu katkıli YYPE kompozit malzemelerin 1.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisini göstermektedir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi saf YYPE polimerine uygulanan yükle

beraber sürtünme katsayısı artış gösterirken, %5, %10 ve %15 çinko borat tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile düşmektedir. Uygulanan yükün 60N 'dan 140N'a %133 oranında artırıldığında saf YYPE polimerinin sürtünme katsayısı %20 artarken, %5, %10 ve %15 ZnBr katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları ortalama sırasıyla %9, %11 ve %15 oranında azalmıştır. En yüksek sürtünme katsayısı sırasıyla saf YYPE polimerinde 140N yükte 1.0m/s hızda elde edilirken, en düşük sürtünme katsayısı ise %15 çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerde 140N yükte 1.0m/s hızda elde edilmiştir.



Şekil 4.76. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0 m/s)

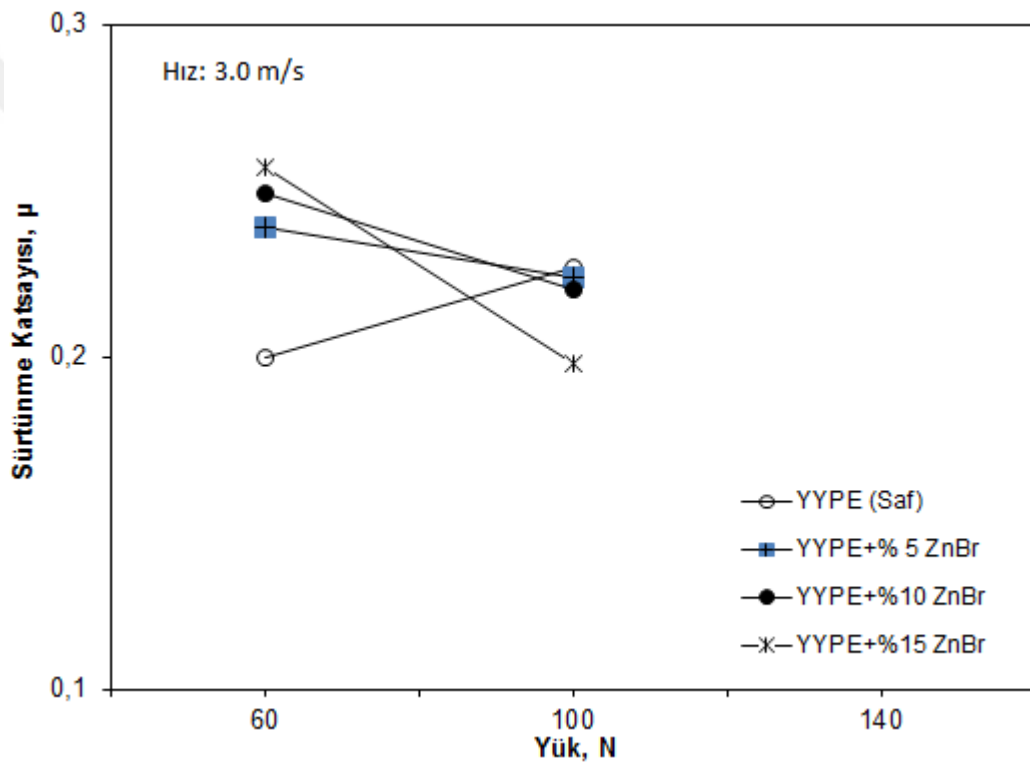


Şekil 4.77. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0 m/s)

YYPE polimeri ile çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 2.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.77.'de verilmiştir. Hızın 2.0m/s olarak artırılmasıyla deneylerde kullanılan YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları Şekil 4.76'a benzer davranış göstermektedir. Yani uygulanan yük arttıkça saf YYPE polimerinin sürtünme katsayısı artarken, %5, %10 ve %15 çinko borat tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile azalmaktadır. Uygulanan yükün %133 oranında artırılması saf YYPE polimerinin sürtünme katsayısı %20 artarken, %5, %10 ve %15 ZnBr katkılı YYPE kompozitin sürtünme katsayıları sırasıyla %9, %11 ve %15 oranında azalmıştır.

Şekil 4.78.'de ise saf YYPE polimeri ile çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi göstermektedir. Kayma hızı 3.0m/s' ye çıkarılması ile 60N ve 100N yüklerde tribolojik deneyler gerçekleştirilmiştir. 140N yük ve 3.0m/s kayma hızı gibi proses

şartları saf YYPE ve çinko borat tozu katkıli kompozit malzemelerin tribolojik deneyleri için yüksek bulunmuş ve bu şartlarda numuneler deney süresince dayanamayip çabuk aşınmıştır. Bu yüzden 140N ve 3.0m/s kayma hızında deneyler gerçekleştirilememiştir. Şekilde görüldüğü gibi Şekil 4.76 ve Şekil 4.77.'de benzer davranışlar göstermiştir. Uygulanan yükün 60N'dan 100N'a %66 oranında artırılması ile saf YYPE polimerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak %7.1 oranında artış göstermiş, %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları ise sırasıyla %6, %11.6 ve %22 oranında düşüş gözlenmiştir.



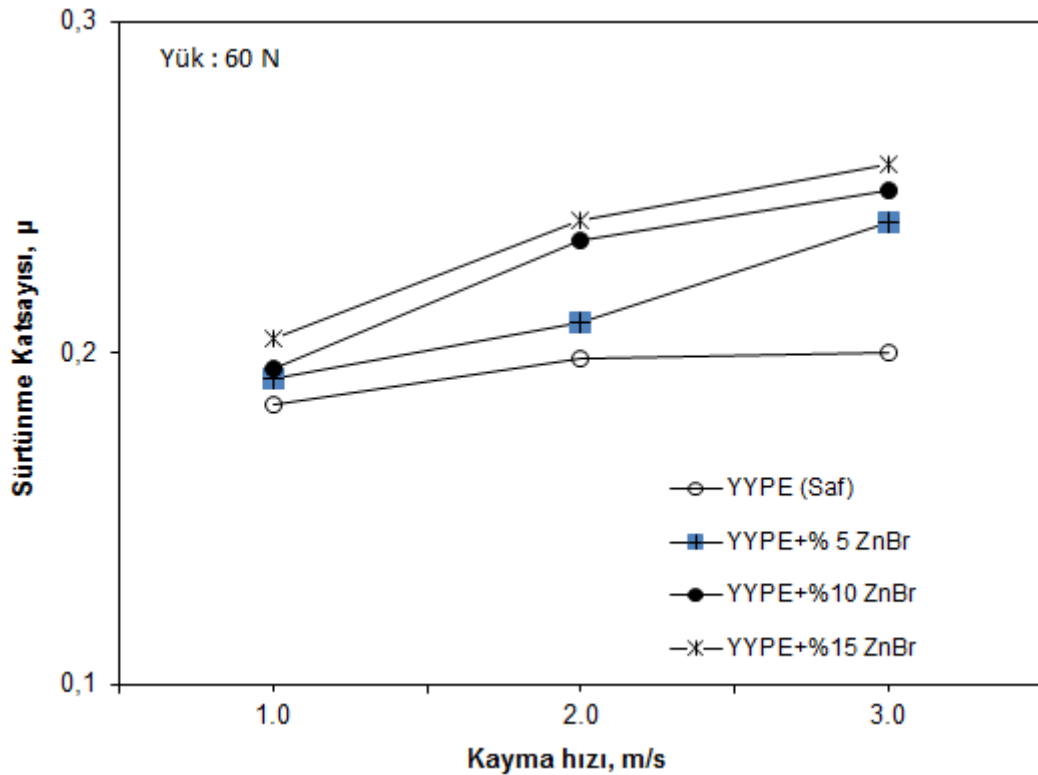
Şekil 4.78. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0 m/s)

Sürtünme deneylerinde uygulanan yükün artması ile birlikte sürtünme katsayısındaki artması polimerlerin viskoelastik özelliğinden ve sıcaklığın artmasıyla birlikte bağ yapılarındaki kopmalarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Özellikle ağırlığınca %5,%10 ve %15 çinko borat ilavesiyle birlikte sürtünme katsayısından düşüş görülmüştür. Bunun sebebinin çinko boratın yükün artmasıyla birlikte zayıflayan

bağlarla ve artan sıcaklıkla beraber disk yüzeyine yapışmasından dolayı söylenebilir. Bu yapışmadan dolayı kompozit malzemenin davranışlarını etkileyebilir.

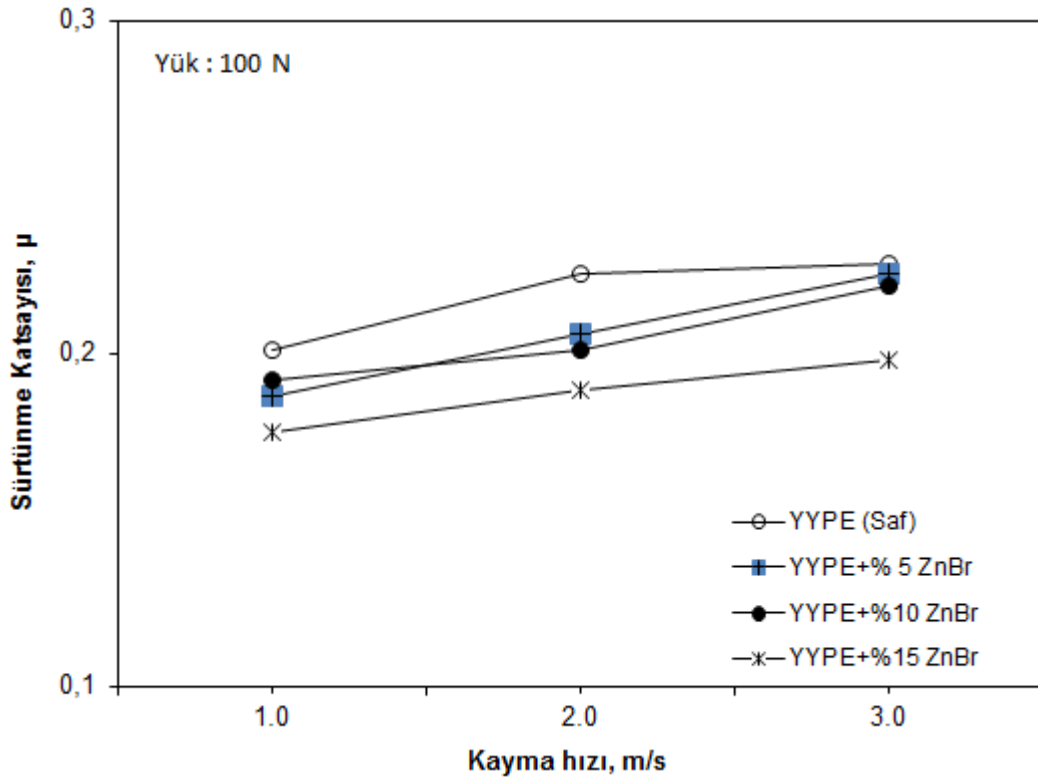
4.1.10.2. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) katkıli kompozitlerin sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi

Saf YYPE polimeri ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin 60N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı arasındaki ilişkisi Şekil 4.79.'de verilmiştir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi en düşük sürtünme katsayısı saf YYPE polimerinde elde edilirken sırasıyla %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerde elde edilmiştir. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde kayma hızının (1.0m/s'den 3.0m/s'ye) artırılması ile hem saf YYPE polimerinin hem de %5, %10 ve %15 çinko borat tozu katkıli YYPE kompozit malzemelerinin sürtünme katsayısında artış olduğu gözlenmektedir. Şekil incelendiğinde sürtünme katsayısındaki artış oranı saf YYPE polimeri için yaklaşık olarak %25.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerde ise %24.4, %27.6 ve %25.9 oranında tespit edilmiştir.



Şekil 4.79. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 60N)

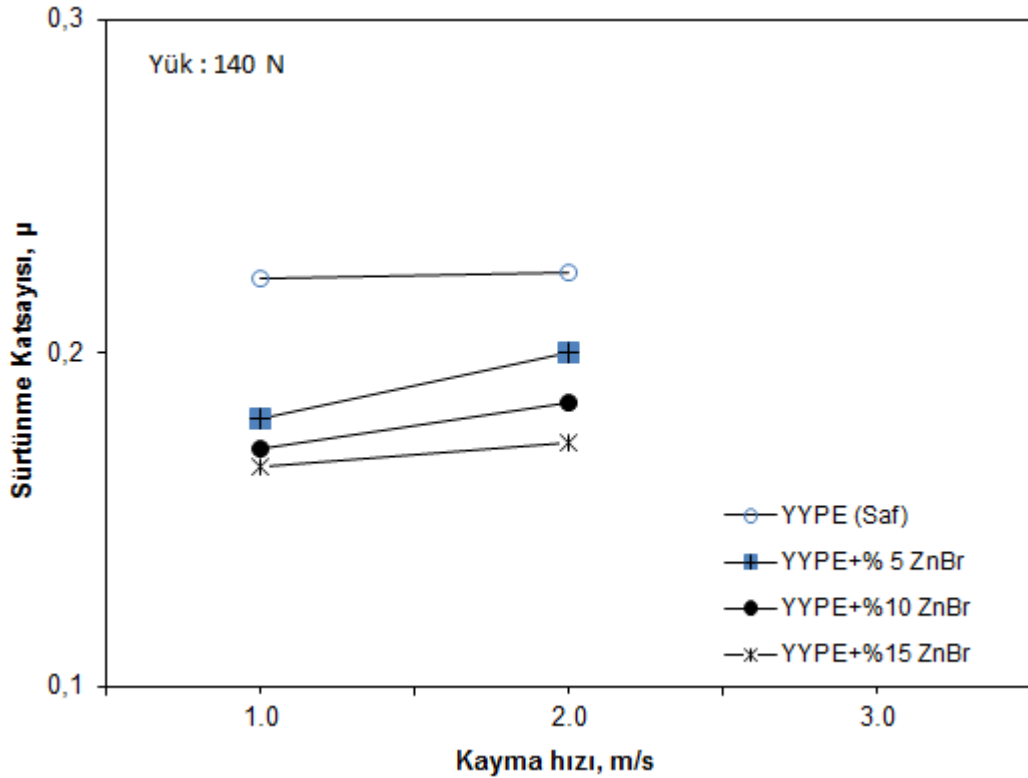
Şekil 4.80.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin 100N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi sürtünme katsayısı en yüksek düşüğe doğru saf YYPE polimeri, YYPE-%5ZnBr, YYPE-%10ZnBr ve YYPE-%15ZnBr kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde kayma hızının (1.0m/s'den 3.0m/s'ye) %300 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları artmıştır. Sürtünme katsayısındaki artış oranı saf YYPE polimeri için yaklaşık % 18.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise %19.8, %14.5 ve %12.5 oranında tespit edilmiştir. %15 ZnBr katkılı YYPE kompozit saf YYPE polimerine göre yaklaşık olarak % 12.7 oranında sürtünme katsayısı azalmıştır.



Şekil 4.80. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 100N)

Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin 140N yük altındaki sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.81.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızı olarak 1.0m/s ve 2.0 m/s

kullanılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızının 1.0 m/s'den 2.0 m/s'ye %100 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayılarında hafif artış tespit edilmiştir. Bu artış YYPE polimeri için ortalama %2.6 civarında iken %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemeler için ise bu artış oranları sırasıyla %11, %8.1 ve %4.2 civarında olmuştur.



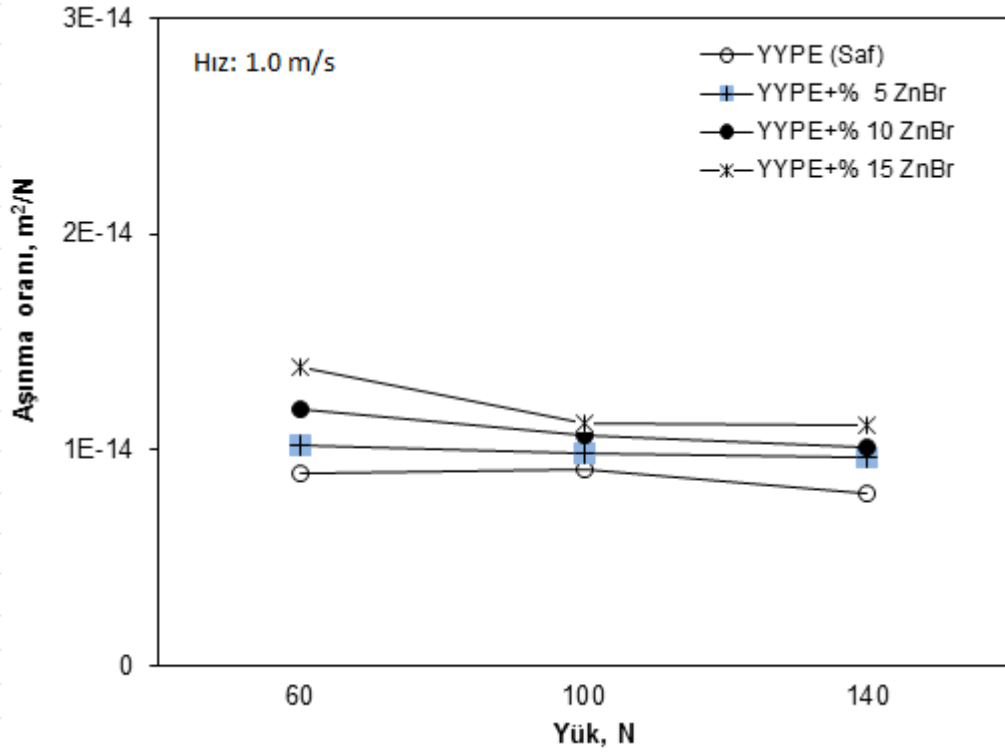
Şekil 4.81. Saf YYPE ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma hızı ilişkisi (Uygulana yük: 140N)

3.0m/s hızda ve 140N yükte çinko borat katkılı YYPE polimer kompoziti ile çalışma imkânı olamamıştır. Çünkü genel olarak sürtünme katsayısının-yük ilişkileri incelendiğinde %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat ilavesiyle birlikte hızın artmasıyla birlikte sürtünme katsayısında artış gözlenmiştir. Bunun nedeni hız arttıkça çinko borat tozlarının aşınmaya dayanamamış ve bağların kopmasını söylenebilir.

4.1.11. YYPE/ Çinko borat tozu (ZnBr) kompozitinin aşınma oranına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi

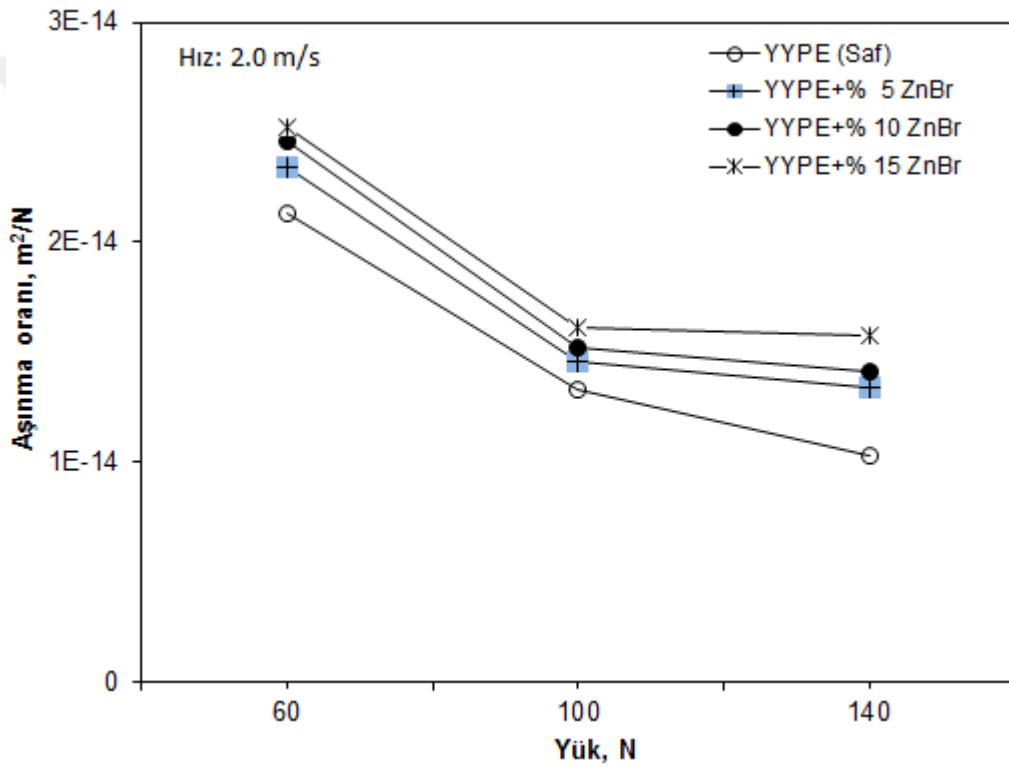
4.1.11.1. YYPE/Çinko borat tozu (ZnBr) kompozitlerinin aşınma oranına uygulanan yükün etkisi

Şekil 4.82.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin 1.0 m/s hız altındaki aşınma oranı-yük ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi aşınma oranı en düşükten yükseğe doğru saf YYPE polimeri, YYPE-%5ZnBr, YYPE-%10ZnBr ve YYPE-%15ZnBr kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil dikkatli olarak tekrar incelendiğinde uygulanan yükün (60 N'den 140N'a) %133 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranı düşmüştür. Aşınma oranındaki azalma saf YYPE polimeri için yaklaşık % 9.9 oranında tespit edilirken, %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerde ise %5.4, %13.5 ve % 18.8 oranında tespit edilmiştir.

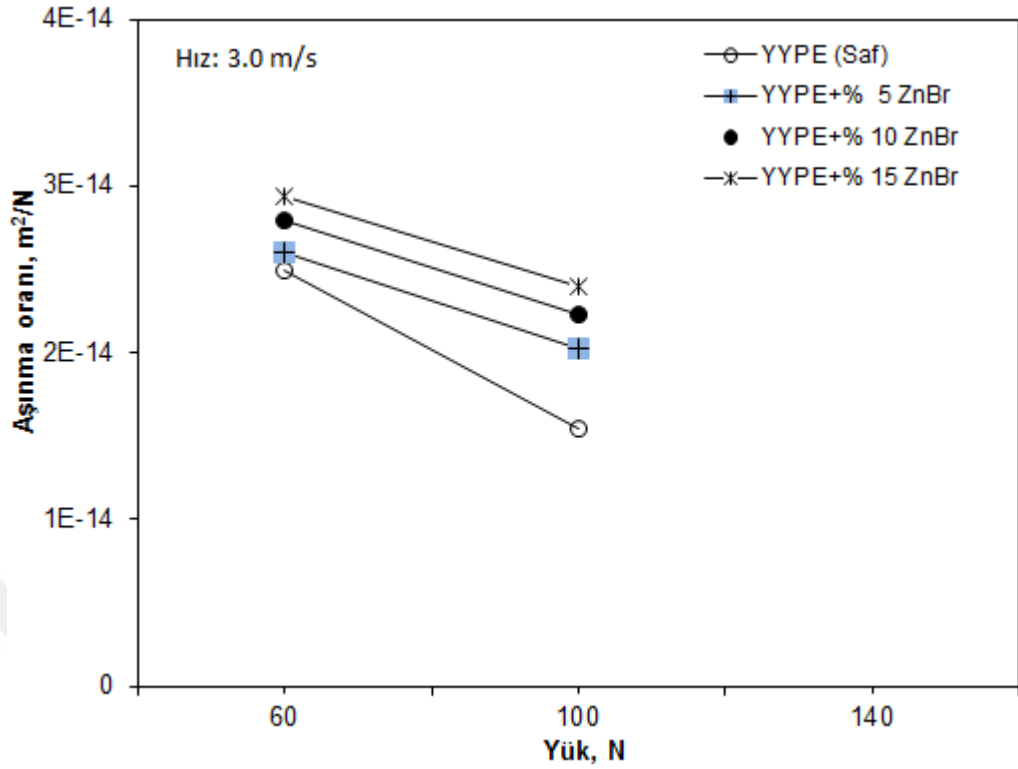


Şekil 4.82. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s)

YYPE polimeri ile çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 2.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.83.'de verilmiştir. Hızın 2.0m/s olarak artırılmasıyla deneylerde kullanılan YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları Şekil 4.82.'de benzer davranış göstermektedir. Yani uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm malzemelerin sürtünme katsayıları azalmaktadır. Uygulanan yükün %133 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla %51.7, %42.8, %42.3 ve %37.7 oranında artış göstermiştir.



Şekil 4.83. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 2.0m/s)



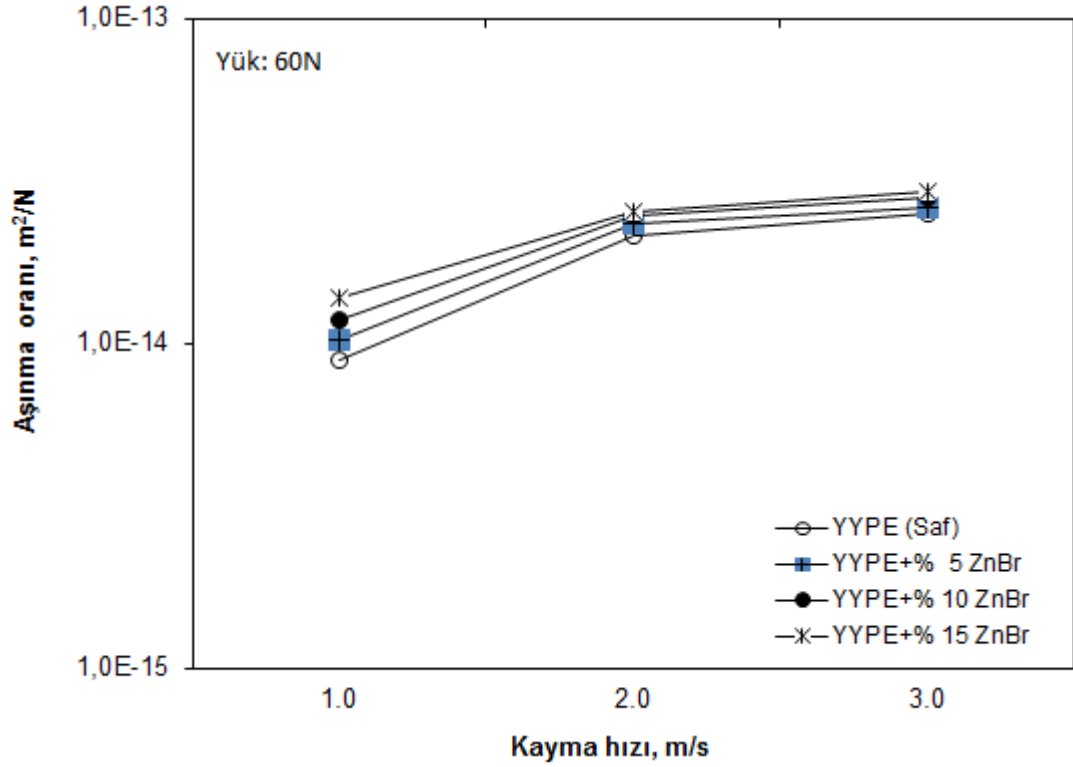
Şekil 4.84. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi (Kayma hızı: 3.0m/s)

YYPE polimeri ile çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 4.84.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere %15 çinko borat katkılı polimer kompozit malzemesinde en fazla aşınma oranı görülmüştür. Uygulanan yük 60N'dan 100N'a artırılması ile birlikte bu aşınma oranı %18.3 saptanmıştır. En az aşınma oranı ise şekilden de anlaşılacağı üzere saf YYPE polimerinde görülmüştür. YYPE polimerine %15 oranında ZnBr ilavesi ile aşınma direnci azalmıştır. Saf YYPE polimerine göre aşınma oranı %55.2 artmıştır.

4.1.11.2. YYPE/ Çinko borat tozu (ZnBr) tozu kompozitlerinin aşınma oranına kayma hızının etkisi

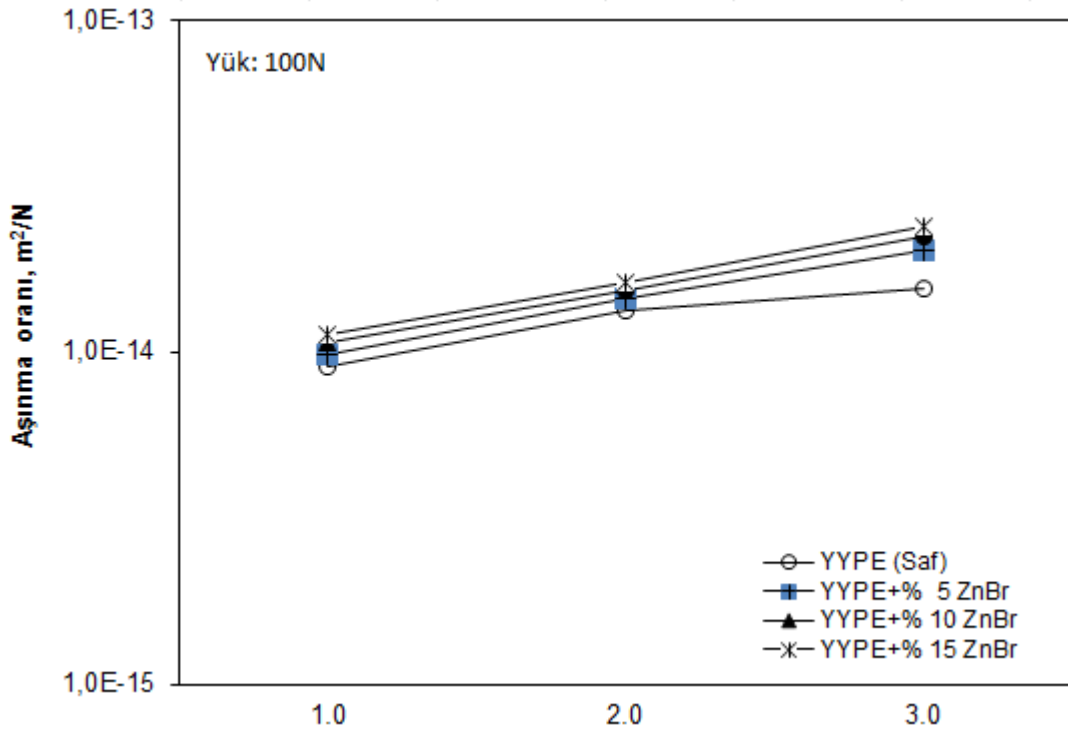
Şekil 4.85.'de saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin 60N yük altındaki aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi aşınma oranı en düşükten yükseğe doğru saf

YYPE polimeri, YYPE-%5ZnBr, YYPE-%10ZnBr ve YYPE-%15ZnBr kompoziti olarak sıralanmıştır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde uygulanan hızın (1.0 m/s'den 3.0 m/s'a) %200 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranı artmıştır. Aşınma oranındaki artış saf YYPE polimeri için ortalama % 180 oranında iken, %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitleri için ise %154, % 136.6 ve %112 oranında tespit edilmiştir



Şekil 4.85. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 60N)

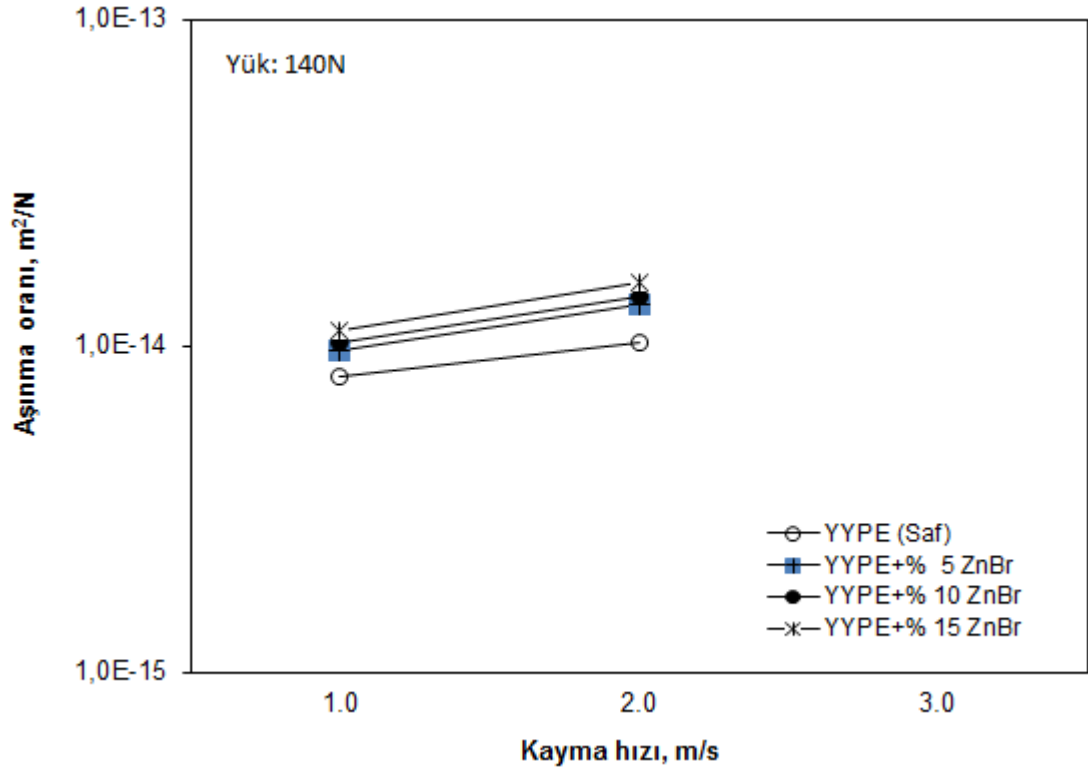
YYPE polimeri ile çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemelerin 100N yük altında aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.86.'de verilmiştir. Hızın 1.0m/s den başlayarak 3.0 m/s artırılmasıyla deneylerde kullanılan YYPE ve YYPE kompozit malzemelerin aşınma oranlarında Şekil 4.85'de benzer davranış göstermektedir. Yani uygulanan yük arttıkça deneylerde kullanılan tüm malzemelerin aşınma oranlarında artmaktadır. Uygulanan hızın %300 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla %70.6, %105, %108 ve %113 oranında artış göstermiştir



Şekil 4.86. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 100N)

Saf YYPE polimeri ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat tozu katkılı kompozitlerin 140N yük altındaki aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi Şekil 4.87.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızı olarak 1.0m/s ve 2.0 m/s kullanılmıştır. 140N yük ve 3.0m/s kayma hızında disk ve malzemede yüksek sıcaklık meydana gelmiş ve yüksek aşınma meydana gelerek deneyler devam edilememiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma hızının 1.0 m/s'den 2.0 m/s'ye %100 oranında artırılması ile saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranlarında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin aşınma oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu artış YYPE polimeri için ortalama %37.8 civarında iken %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkılı YYPE kompozit malzemeler için ise bu artış oranları sırasıyla %22, %20 ve %18 civarında olmuştur. YYPE polimerine ZnBr ilavesi ile kompozit malzemelerin aşınma oranı artmıştır.%15 oranında ZnBr katkılı YYPE kompozit malzemeleri saf YYPE malzemeye göre 1.5 kat daha fazla aşınma göstermiştir. Bunun sebebi ise ZnBr tozu ile YYPE polimeri arasında arayüzey bağı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Simonsen ve arkadaşları [8] polietilen polimerine ağırlığınca %10 ile %60 aralıklarında ZnBr katkısı ilave ederek

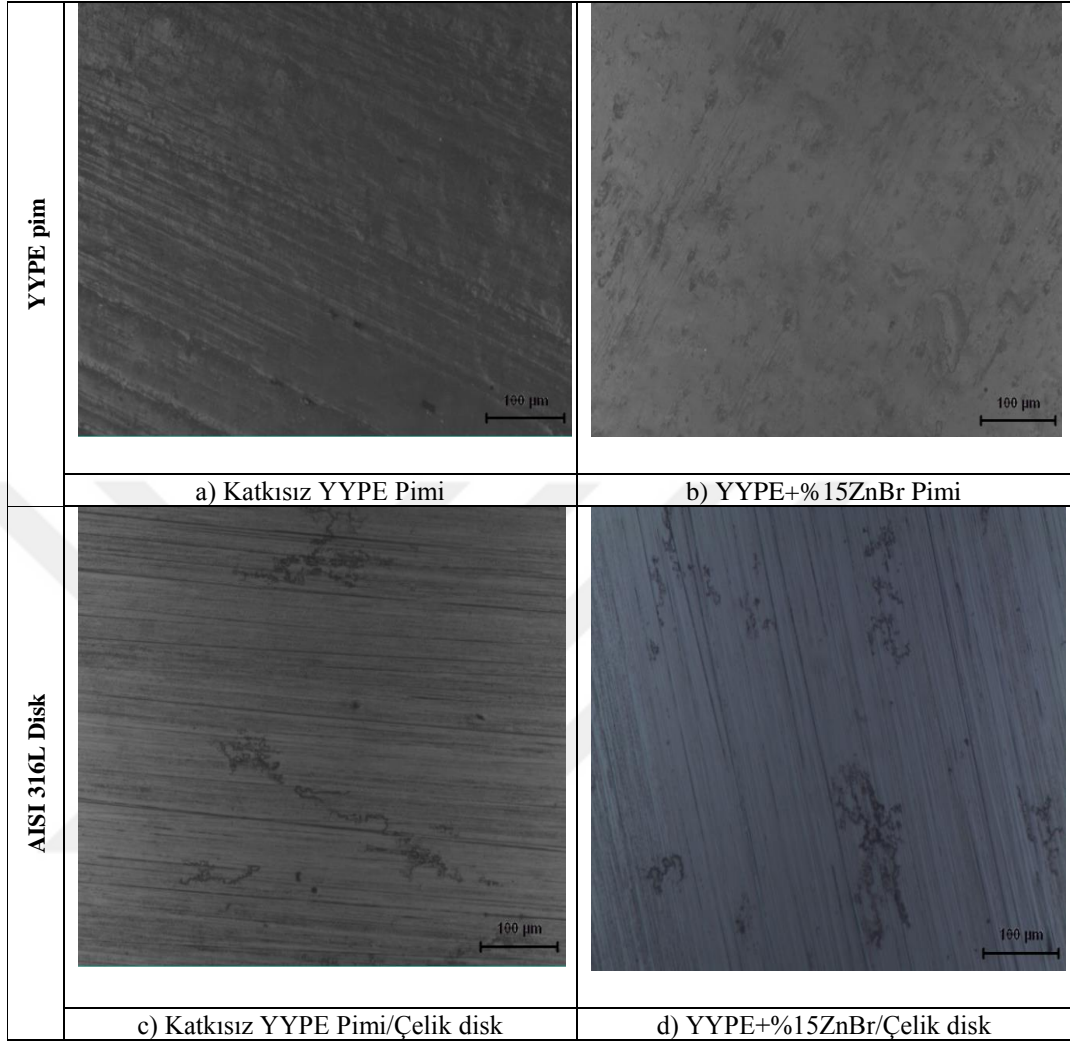
çekme testi yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde kopma mukavemetinde artış görülürken, elastiklik modülünde ise artış saptanmıştır.



Şekil 4.87. Saf YYPE polimeri ile %5, %10 ve %15 oranında çinko borat tozu katkıli YYPE kompozitlerin aşınma oranı-kayma hızı ilişkisi (Uygulanan Yük: 140N)

Başka bir çalışmada Unal ve arkadaşlarının [67] PA6 ve PA6 polimerine ağırlığınca %6 wax katkısı ile mekanik ve aşınma testleri gerçekleştirmişlerdir. Aşınma deneyleri ASTM G99 standardına göre ve 10N, 20N, 30N, 50N, 75N, 100N, 200N ve 250N yüklerde ve 0,5 m/s kayma hızında pin-on disk aşınma cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Mekanik test sonuçlarına bakıldığında saf PA6 polimerinin çekme mukavemeti (69 MPa) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak % uzama sonuçlarına göre en yüksek % uzama oranı %30 ile %6 wax katkıli PA6 kompozitinde saptanmıştır. Aşınma deney sonuçları incelendiğinde yükün artmasıyla birlikte %6 wax katkıli PA6 kompozitinin aşınma oranı düşerken, saf PA6 polimerinin ise spesifik aşınma oranı artmaktadır.

4.1.12. YYPE/Çinko Borat tozu (ZnBr) kompozitlerinin mikroyapı incelemeleri



Şekil 4.88. Saf YYPE ve YYPE+%15ZnBr katkılı test numunelerinin kuru kayma şartları altındaki optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Ortam sıcaklığı: $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, Kayma hızı: 3.0m/s, Uygulanan yük: 100N)

Şekil 4.88.'de deneylerde kullanılan saf YYPE polimeri ile YYPE+%15ZnBr polimer kompozitinin pim ve disklerin optik resimlerine bakıldığında, aşınma deneyleri sonucunda YYPE+%15ZnBr polimer kompozit malzemesinde aşınma izlerinin daha fazla olduğu söylenebilir. Çinko borat ilavesinin artmasıyla birlikte aşınmanın artmasına bağlı olarak izlerin arttığı söylenebilir. Her iki pim numunesini aşındıran disk malzemesinin optik resimleri incelendiğinde deneyler esnasında yük ve hızın artmasıyla birlikte sıcaklığın artması sonucunda disk yüzeyinde yapışmaların arttığı görülmüştür. Disk yüzeylerinin optik resimlerine tekrar

bakıldığında en fazla yapışmanın YYPE+%15ZnBr polimer kompozit malzemede olduğu söylenebilir.



BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Farklı kayma hızları ve yükleri kullanılarak YYPE polimeri ile midye kabuğu tozu, silisyum dioksit, çinko oksit ve çinko borat tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin aşınma ve sürtünme davranışlarının incelendiği çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Uygulanan kayma hızının artması ile birlikte katkısız YYPE polimeri ile farklı oranlarda midye kabuğu tozu, silisyum dioksit, çinko oksit ve çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin hepsinde spesifik aşınma oranı artmıştır.
2. Farklı oranlarda (ağırlıkça %5-15) silisyum dioksit katkılı YYPE polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranı uygulanan yükün artırılması ile artarken midye kabuğu tozu, çinko oksit ve çinko borat tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranları uygulanan yükün artırılması ile birlikte azalma göstermiştir. spesifik aşınma oranı azalmıştır.
3. Deneyleerde kullanılan tüm YYPE kompozitler arasında en düşük spesifik aşınma oranı $1.59 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile 60N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında %15 SiO_2 katkılı YYPE polimer kompozitinde elde edilmiştir. Bu kompoziti %15 midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompoziti 140N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında $3.84 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile takip etmektedir. Bundan sonra spesifik aşınma oranı $9.51 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile 140N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında %5 ZnO katkılı YYPE polimer kompozitinde tespit edilmiştir. Son olarak ise en düşük spesifik aşınma oranının $9.87 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile %5 ZnBr tozu katkılı YYPE kompozitinde 100N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında olduğu gözlenmiştir.

4. Deneylelerde kullanılan tüm YYPE kompozitler arasında en yüksek spesifik aşınma oranı $4.49 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile 60N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında %15 ZnO katkılı YYPE polimer kompozitinde tespit edilmiştir. Bu kompozit malzemesini %15 ZnBr (çinko borat) tozu katkılı YYPE kompoziti 60N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında $2.93 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile takip ederken, bunlardan sonra spesifik aşınma oranı $1.81 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile 60N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında %5MKT katkılı YYPE polimer kompozitinde elde edilmiştir. Ardından son olarak ise en yüksek spesifik aşınma oranının $1.02 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile %5 SiO₂ tozu katkılı YYPE kompozitinde 100N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında olduğu tespit edilmiştir.
5. Farklı oranlarda midye kabuğu tozu ve silisyum dioksit, çinko oksit ve çinko borat tozu katkılı YYPE kompozitlerin hepsinde sürtünme katsayısı uygulanan kayma hızının artması ile birlikte artma göstermiştir.
6. Farklı oranlarda midye kabuğu tozu ve silisyum dioksit tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artması ile artma gösterirken çinko oksit ve çinko borat tozu katkılı YYPE polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artması ile birlikte azalma göstermiştir.
7. Deneylelerde kullanılan tüm YYPE kompozitler arasında en düşük sürtünme katsayısı 0.127 değeri ile 140N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen tribolojik deneylelerde %15 ZnO katkılı YYPE polimer kompozitinde tespit edilmiştir. Bu kompoziti sonra %15 midye kabuğu tozu katkılı YYPE kompoziti 60N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında 0.153 değeri ile takip etmektedir. Daha sonra bunu 0.166 değeri ile 140N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında %15 ZnBr katkılı YYPE polimer kompozitinde tespit edilmiştir. En son olarak ise en düşük sürtünme katsayısı 0.208 değeri ile %15 SiO₂ tozu katkılı YYPE kompozitinde 60N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında olduğu gözlenmiştir.
8. Deneylelerde kullanılan tüm YYPE kompozitler arasında en yüksek sürtünme katsayısı 0.281 değeri ile 140N yük altında ve 2.0m/s kayma hızında

gerçekleştirilen tribolojik deneylerde %5 SiO₂ katkılı YYPE polimer kompozitinde elde edilmiştir. Ardından bu kompoziti %5 çinko oksit (ZnO) tozu katkılı YYPE kompoziti 60N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında 0.279 değeri ile gelmektedir. Daha sonra bunu 0.257 değeri ile 60N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında %15 ZnBr katkılı YYPE polimer kompozitinde takip etmektedir. En son olarak ise en yüksek sürtünme katsayısı 0.220 değeri ile %5 MKT tozu katkılı YYPE kompozitinde 140N yük altında ve 2.0m/s kayma hızında olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

1. Deneylerde kullanılan YYPE ve kompozit malzemeler için uygulanan maksimum hız 3.0 m/s olmuştur. Deneyler, yükün düşürülmesi şartıyla hızın daha da artırılarak aşınma ve sürtünme deneyleri yapılabilir.
2. Bu yüksek lisans çalışmasında aşınma deneyleri oda sıcaklığında (23°C) yapılmış olup, farklı ortam sıcaklıklarında (0°C altındaki ve üstündeki) aynı deneyler gerçekleştirilerek sıcaklığın triboloji üzerine davranışları araştırılabilir.
3. Deneylerde uygulanan yükler 60N-140N arasında kullanılmıştır. Ancak deneyler daha düşük veya daha yüksek yüklerde yapılarak aşınma direnci üzerine polimerlerin aşınma dayanım haritası çıkarılabilir.
4. Tez çalışmasında gerçekleşen aşınma testlerinde aşındırıcı disk olarak 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır. Farklı disk malzemeler kullanılarak (çelik/polimer) YYPE polimeri ve kompozitlerin aşınma oranları ve sürtünme deneyleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tasdemir, M., Yerleşen, U., Studies on the Properties of Low Density Polyethylene Composites Filled Seafood Waste Shell Powder, Romanian journal of materials., 46 (1), 43-48, 2016.
- [2] Catano, L., Albano, C., Karam, A., Dominguez, N., Sanchez, Y., Gonzalez, J., Effect on Gamma Irradiation on Mechanical, Thermal and Rheological Behavior of HDPE Filled With Seaweed Residues, Nimb., B, (235), 348-353, 2005.
- [3] Zaaba, N.F., Ismail, H., Mariatti, M., Utilization of Polyvinyl Alcohol on Properties of Recycled Polypropylene/Peanut Shell Powder Composites, MAMIP., 19, 763 – 769, 2016.
- [4] Alves de Melo, P.M., Silva, L.B., Santos, A.S.F., Passos, T.A., Lim, J. G., Evaluation of Thermal and Mechanical Behavior of HDPE/Mollusk Shell Composites Prepared in Single Screw Extruder, COBEM., Brazil, 2176-5480, 2013.
- [5] Chong, M.H., Chun, B.C., Chung, Y.C., Cho, B.G., Fire-Retardant Plastic Material from Oyster-Shell Powder and Recycled Polyethylene, InterScience., DOI 10.1002, 2005.
- [6] Regina, M., Hamestera, R., Balzera, P.S., Becker, D., Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene, Materials Research., 15(, 2), 204-208, 2012.
- [7] Kocaman, S., Ahmetli, G., Cerit, A., Yucel, A., Gozukucuk, M., Characterization of Biocomposites Based on Mussel Shell Wastes, International Journal of Chemical., 10, (4), 391-394, 2016.
- [8] Simonsen, J., Camille, M., Silva, A., Morrell, J.J., Wood/plastic Ratio: Effect on Performance of Borate Biocides Against a Brown Rot Fungus, Holzforschung., 58, 205–208, 2004.

- [9] Reza, M., Farahani, M., Banikarim, F., Effect of Nano-Zinc Oxide on Decay Resistance of Wood-plastics Composites, *Bioresources.*, 8, (4), 5715-5720, 2013.
- [10] Altan, M., Yildirim, H., Uysal, A., Tensile Properties of Polypropylene /Metal Oxide Nano Composites, *The Online Journal of Science and Technology.*, 1, (1), 25-30, 2011.
- [11] Shnawa, H.A., Nadum, A., Faise, J.M., Thermal Properties of Low Density Polyethylene with Oyster Shell Composite: DSC Study, *World Applied Sciences Journal.*, 14, (11), 1730-1733, 2011.
- [12] Kwona, S., Kima, K., Kima, H., Kundua, P.P., Kimb, T.J., Leeb, Y., Leeb, B.H., Choea, S., Tensile property and interfacial dewetting in the calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE composites, *Polymer.*, 43, 6901–6909, 2002.
- [13] Fouad, H., Elleithy, R., High Density Polyethylene/graphite nano-composites For Total Hip Joint Replacements: Processing and in Vitro Characterization, *Journal of Mechanical Behaviour of Biomedical Materials.*, 4, (7), 1376-83, 2011.
- [14] Maysa, A., Mohamed, N.A., Shaltout, A.A., El, M., The effect of gamma irradiation and particle size of CaCO₃ on the properties of HDPE/EPDM blends, *Arabian Journal of Chemistry.*, 4, 71–77, 2011.
- [15] Wang, Q., Wang, Y., Wang, H., Fan, N., Yan, F., Experimental Investigation on Tribological Behavior of Several Polymer Materials Under Reciprocating Sliding and Fretting Wear Conditions, *Tribology International.*, 104, 73-82, 2016.
- [16] Elansezhian, R., Saravanan, L., Effect of Nano Silica Fillers on Mechanical and Abrasive Wear Behaviour of Vinyl Ester Resin, *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering.*, 1, 105-108, 2011.
- [17] Taşdemir, M., Relation Between Microstructure and Tribological Properties of High Density Polyethylene Hybrid Composites Filled with Untreated Glass Spheres, Talc and Calcium Carbonate, *Key Engineering Materials.*, 592-593, 655-659, 2014.
- [18] Pashaei, S., Hosseinzadeh, S., Sliding wear behaviour of walnut shell powder filled vinyl ester/ WSP green composites, *Iranian Chemical Communicatio.*, 5 (3), 138-146, 2016.
- [19] Manjunath, B.H., Prahlad, R.K., Dry Sliding Wear of Coconut Shell Powder Filled Glass Fiber Reinforced Polymer Composites, *IRJET.*, 3 (6), 2395-0072, 2016.

- [20] Naga, R.B., Ramji, K., Prasad, V. S. R. K., Studies on Tribological Properties Of ZnO Filled Polymer Nanocomposites, *Journal of Engineering and Applied Sciences.*, 6, (6), 2011.
- [21] Taşdemir, M., Yerleşen, U., Babat, V., Effect on Friction and Wear Parameters on Acrylonitrile Butadiene Styrene/Alumium-boron Carbide-Glass Spheres Polymer Composites, *Mechanika.*, 20(4), 407–413, 2011.
- [22] Dae-Hyun, C., Bhushan, B., Friction and Wear of Various Polymer Pairs Used for Label and Wiper in Labeling Machine, *Tribology International.*, 98, 10-19, 2016.
- [23] Kocabaş, I., Pıhtılı, H., An Experimental Investigation on Usability of Mussel Shells as a Candidate of Filler Material in Semi-organic Brake Linings, *ICNES.*,2015.
- [24] Tian, Y.M., Guo, Y.P., Jiang, M., Hari, B., Zhu, Y., Wang, Z., Jiang, Z., Synthesis of Hydrophobic Zinc Borate Nanodiscs for Lubrication, *Materials Letters*, 60, (20), 2511–2515, 2006.
- [25] Qu, M., Yao, Y., He, J., Ma, X., Feng, J., Liu, S., Hou, L., Li, L., Tribological Study of Polytetrafluoroethylene Lubricant Additives Filled with Cu Microparticles or SiO₂ Nanoparticles, *Tribology International.*, 110, 57–65, 2017.
- [26] Dong, J. X., Hu, Z. S., A Study of the Anti-wear and Friction-reducing Properties of the Lubricant Additive, Nanometer Zinc borate, *Tribology International.*, 31, (5), 219–223, 1998.
- [27] Xiong, X., Chen, J., Yao, P., Huang, B., Friction and Wear Behaviors and Mechanisms of Fe and SiO₂ in Cu-based P/M Friction Materials, *Wear.*, 262, (9–10), 1182-1186, 2007.
- [28] Su, F., Zhu, Z., Liu, Z., Friction and Wear Behavior of Hybrid glass/PTFE Fabric Composite Reinforced With Surface Modified Nano meters ZnO, *Wear.*, 265, (3-4), 311-31, 2008.
- [29] Sanes, J., Carrión, F.C., Bermúdez, B.D., Effect of the Addition Room Tempeture Ionic Liquid and ZnO Nanoparticles on the Wear and Scrath Resistance of Epoxy Resin, *Wear.*, 268, (11-12), 1295-1302, 2010.
- [30] Sharma, R.K., Nisar, A., Balani, K., Mechanics of ZnO Morphological Dependence on Wear Resistance of Ultra High Molecular Weigh Polyethylene, *European Journal of Mechanics.*, 65, 149-158, 2017.

- [31] Maysa, A., Mohamed, N.A., Shaltout, A.A., El, M., The effect of gamma Naga R.B, Ramji K., Prasad, V. S. R. K., Studies on Tribological Properties of ZnO Filled Polymer Nanocomposites, Journal of Engineering and Applied Sciences.,6, (6), 1819-6608, 2011.
- [32] Karagöz, Y.,Metallerde Aşınma Yorulması, İzmir, Mart, 2004.
- [33] Şişman, L., Bir aşınma deney cihazının tasarım ve imalatı, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 1999.
- [34] Aran, A., Takviyeli Karma Malzemeler, İTÜ Makine Fakültesi, Sayfa 13, 1990.
- [35] Karaoğlu, Y., Bir aşınma test cihazının tasarımı ve imalatı, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [36] Fındık, F., Malzeme Seçimi Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Basımevi, 1998.
- [37] Odabaş, D., Ötektoidal çeliklerin kayma sürtünmesi aşınmasında adhesiv aşınma katsayısının araştırılması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 1987.
- [38] Karabaşoğlu, M., Aşınma deney cihazı tasarımı ve imalatı, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [39] Çınar, S., Parçacık takviyeli alüminyum-silisyum esaslı metal matriks kompozit malzemelerin aşınma özellikleri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 1995.
- [40] Uzuner, H., Polimerlerin sürtünme ve aşınma davranışları, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2001.
- [41] Demirci, H., Ötektoid altı alımsız çeliklerin yeni imal edilen bir sürtünme aşınma deney standında ısı işlemlere bağlı olarak aşınma davranışlarının incelenmesi ve optimizasyonu, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 1982.
- [42] Soydan, Y., Ulukan, L., Triboloji: sürtünme, aşınma, yağlama bilimi ve teknolojisi, Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi Teknolojik Yayınlar Serisi., No: 1, (63-64), Sakarya, 2003.

- [43] Mutlu, İ., Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel olarak incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2002.
- [44] Kosa, E., Çeliklerin erozif-abrazif aşınmasında aşındırıcı tane büyüklüğünün aşınma direncine etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2016.
- [45] Bhushan, B., Modern Tribology Handbook, CRC Yayınevi, 787–825, 2000.
- [46] Owsalou, R., Aşınmaya maruz parçaların aşınma dayanımlarının araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [47] Yılmaz, F., Sürtünme ve Aşınma, 9th International Metallurgy and Materials Congress., İstanbul, 229-256, 1997.
- [48] Karamış, M. B., Toprak işleme aletlerinde iş organının aşınmasının etüdü, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 1985.
- [49] Demirkesen, E., Kompozit Malzemeler, İTÜ Kimya–Metalurji Fakültesi Yayını, İstanbul, 3, 1991.
- [50] Gündoğdu, S., POM Polimerinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Bitirme Tezi, 2004. Erişim Tarihi: 04.03.2017.
- [51] <http://www.petkim.com.tr/>, Erişim Tarihi: 04.04.2017.
- [52] <https://www.google.com.tr/search?q=plastik.>, Erişim Tarihi: 06.03.2017.
- [53] Chanda M., Roy S.K., Plastics Tecnology Handbook, CRC Press., 4, (3-28), 2007.
- [54] Xanthos, M., Functional Fillers for Plastics, Wiley, 1, 20-30, 2010.
- [55] <http://www.polimernedir.com/> Erişim Tarihi: 14.02.2017.
- [56] Bartczak, Z., Effect of Chain Entanglements on Plastic Deformation Behavior of Linear Polyethylene, Macromolecules., 38, (7702-7713), 2005.

- [57] Zeren , F., Değişik oranlarda nano ve mikro boyutlardaki CaCO₃'ün yüksek yoğunluklu polietilenin özelliklerine etkilerinin incelenmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, İstanbul, 2013.
- [58] Düşünceli, N., Çolak, Ö.Ü., İmalat Yöntemlerinin Yüksek Yoğunluklu Polietilen'in (YYPE) Tek Eksenli Çekme Davranışı Üzerindeki Etkisi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konf. Bildiriler Kitabı, İstanbul, 290-301, 2007.
- [59] Sawai, J., Shiga, H., Kojima, H., Kinetic analysis of the bactericida action of heated scallop-shell powder, International Journal of Food Microbiology, 71, (211-218), 2001.
- [60] Regina, M., Hamester, R., Balzer, P.S., Becker, D., Characterization of calcium carbonate obtained from oyster and mussel shells and incorporation in polypropylene, Materials Research., 15, (2), 204-208, 2012.
- [61] Ersoy, S., HDPE / ZnO - SiO₂ - CaCO₃ – Mg(OH)² Nano-polimerinin mekanik, ısı ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Doktora Tezi, 2012.
- [62] Saçak, M., Polimer Kimyasına Giriş, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, 15-23, 1998.
- [63] Taşdemir, M., Polimer Bilimi Ders Notları, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul, 2010. Erişim Tarihi: 16.05.2017.
- [64] <http://www.lookchem.com/cas-133/1332-076.html>, Erişim Tarihi: 02.12.2016.
- [65] <http://docplayer.biz.tr/6145162-Cinko-borat-uretimi-on-fizibiliteetudu.html>, Erişim Tarihi: 25.05.2017
- [66] Cahill R., Green Chemistry and The Producer: Flame Retardants, MRes in Clean Chemical Technology., 1-91, 2005.
- [67] Unal, H., Yetkin, S. H., Poliamid 6 polimeri ile poliamid 6/vaks karışımının kendi üzerinde çalışması durumundaki tribolojik davranışlarının incelenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University., 31, (2), 457-463, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

01.02.1980 yılında Kütahya'da doğan Mehmet Kurt ilk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. Ardından Üniversite hayatına Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Makine bölümünde önlisans eğitimini 2005 yılında tamamlayarak Makine teknikeri olarak mezun oldu. Ardından dikey geçiş sınavıyla Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Öğretmenliği bölümünü kazandı ve 2009 yılında Lisans öğrenimini tamamladı. Ardından Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde 2. Lisans eğitimini tamamladı. Yüksek Lisans derecelerini sırasıyla Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi (Tezli) Bölümünde 2011 yılında, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (Tezli) bölümünden 2016 yılında mezun olarak almıştır. 2015 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği yüksek lisans programına devam etmektedir. Özel sektörlerde çeşitli alanlarda yaklaşık 10 yıllık çalışma geçmişi bulunmaktadır.