

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

**NANO VE MICRO-Mg(OH)<sub>2</sub> KATKILI  
POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Samet VARDAR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL**

**Şubat 2020**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

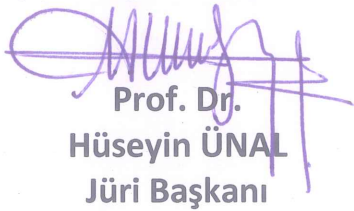
NANO VE MICRO-  $Mg(OH)_2$  KATKILI  
POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

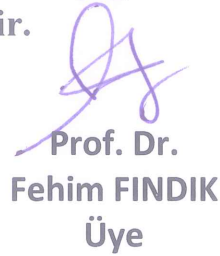
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Samet VARDAR

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 05/02/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/  
oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Hüseyin ÜNAL  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr.  
Fehim FINDIK  
Üye

  
Prof. Dr.  
Ahmet ÖZEL  
Üye

## BEYAN

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

Samet VARDAR

02/05/2020

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her konuda desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar bütün aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, maddi ve manevi her zaman yanımda olan saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımcı olan Sn.Mehmet KURT'a ve altyapı imkanlarını sunan Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne ve teknik personellerine teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve destekleyen aileme içtenlikle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xviii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

SÜRTÜNME VE AŞINMA .....	14
2.1. Tribolojik Özellikler.....	14
2.2. Sürtünme ve Mekanizmaları.....	15
2.2.1. Kuru sürtünme.....	16
2.2.2. Yarı sıvı sürtünme (Sınır).....	16
2.2.3. Sıvı sürtünme (Film).....	16
2.3. Sürtünme Teorileri ve Katsayısı.....	17
2.4. Aşınma.....	19
2.5. Aşınma Mekanizmaları.....	22
2.5.1. Adhezif aşınma.....	23
2.5.2. Abrazif aşınma.....	24
2.5.3. Yorulma aşınması.....	25

2.5.4. Korozif aşınma.....	25
2.6. Aşınma Ölçüm Yöntemleri.....	25
2.6.1. Ağırlık farkı yöntemi.....	25
2.6.2. Kalınlık farkı yöntemi.....	26
2.6.3. İz değişim yöntemi.....	26
2.6.4. Radyoizotop ölçüm yöntemi.....	27
2.6.5. Bilgisayar destekli aşınma ölçüm yöntemi.....	27
2.7. Aşınma Deney Yöntemleri.....	27

### **BÖLÜM 3.**

#### **DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER VE YAPILAN**

<b>DENEYLER.....</b>	<b>30</b>
3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	30
3.2. Aşınma Deneyi.....	32

### **BÖLÜM 4.**

<b>DENEYSEL BULGULAR.....</b>	<b>35</b>
4.1. 50nm Tane Boyutuna Sahip Mg(OH) <sub>2</sub> Katkılı PP Kompozitlerin Deneysel Bulguları.....	35
4.1.1. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi.....	35
4.1.2. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – yük ilişkisi.....	47
4.1.3. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma hızı ilişkisi.....	51
4.1.4. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı - yük ilişkisi...	54
4.1.5. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı – kayma hızı ilişkisi.....	59
4.1.6. 50nm partikül boyutuna sahip Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin mikro yapı görüntüleri.....	62
4.2. 1.5µm Tane Boyutuna Sahip Mg(OH) <sub>2</sub> Katkılı PP Kompozitlerin Deneysel Bulguları.....	65

4.2.1. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi.....	65
4.2.2. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	76
4.2.3. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma hızı ilişkisi.....	80
4.2.4. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı - yük ilişkisi...	83
4.2.5. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı – kayma hızı ilişkisi.....	88
4.2.6. 1.5µm partikül boyutuna sahip Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin mikro yapı görüntüleri.....	92
4.3. 2.6µm Tane Boyutuna Sahip Mg(OH) <sub>2</sub> Katkılı PP Kompozitlerin Deneysel Bulguları.....	95
4.3.1. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi.....	95
4.3.2. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	106
4.3.3. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma hızı ilişkisi .....	110
4.3.4. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı - yük ilişkisi...	113
4.3.5. PP ve PP + Mg(OH) <sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı – kayma hızı ilişkisi.....	118
.	
4.3.6. 2.6µm partikül boyutuna sahip Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin mikro yapı görüntüleri.....	121

## **BÖLÜM 5.**

<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>124</b>
5.1. Sonuçlar.....	124
5.2. Öneriler.....	126
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>127</b>

**ÖZGEÇMİŞ..... 132**





## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AISI	: Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
AlCl <sub>3</sub>	: Alüminyum Klorür
ASLE	: Amerikan Yağlama Mühendisleri Birliği
ASTM	: Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
dev/dak	: Devir/dakika
DIN	: Alman Kalite Normu
F	: Kuvvet
F <sub>s</sub>	: Sürtünme Kuvvet
m/s	: Metre/saniye
Mg(OH) <sub>2</sub>	: Magnezyum Hidroksit
Mpa	: Megapascal
µm	: Mikrometre
nm	: Nanometre
N	: Newton
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PP	: Polipropilen
Sn	: Saniye
TiCl <sub>3</sub>	: Titanyum Klorür
W <sub>a</sub>	: Aşınma Oranı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Türkiye plastik hammadde üretimi .....	2
Şekil 2. 1. Tribolojik sistemlerin kinematikleri.....	15
Şekil 2. 2. Sürtünme olayı ve kuvveti .....	17
Şekil 2. 3. Kinematik ve statik sürtünme katsayısının farklılığı.....	18
Şekil 2. 4. Aşınma sisteminin temel unsurları.....	21
Şekil 2. 5. Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimleri.....	22
Şekil 2. 6. Adhezif aşınmanın şematik gösterilişi .....	23
Şekil 2. 7. Abrazif aşınma a) Yüzey ile birleşmiş abrazif partiküllü aşınma, b) Serbest abrazif partiküllü üç cisimli abrazif aşınma .....	24
Şekil 2. 8. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenler .....	28
Şekil 2. 9. Deney cihazlarında temas şekilleri.....	28
Şekil 3. 1. Ekstrüder makinası.....	31
Şekil 3. 2. Plastik enjeksiyon makinası.....	31
Şekil 3. 3. Aşınma deneyinde elde edilen verilerin excel formatında görünümü .....	33
Şekil 3. 4. Pin-on disk aşınma test cihazının görünümü .....	34
Şekil 4. 1. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 0.5m/s).....	36
Şekil 4. 2. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	36
Şekil 4. 3. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	38

Şekil 4. 4. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	38
Şekil 4. 5. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 0.5m/s) .....	40
Şekil 4. 6. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	40
Şekil 4. 7. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	42
Şekil 4. 8. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	42
Şekil 4. 9. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 0.5m/s) .....	44
Şekil 4. 10. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	44
Şekil 4. 11. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	46
Şekil 4. 12. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	46
Şekil 4. 13. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	48

Şekil 4. 14. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	48
Şekil 4. 15. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	50
Şekil 4. 16. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	50
Şekil 4. 17. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	52
Şekil 4. 18. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	52
Şekil 4. 19. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	54
Şekil 4. 20. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	55
Şekil 4. 21. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	56
Şekil 4. 22. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	57
Şekil 4. 23. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	58
Şekil 4. 24. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	59
Şekil 4. 25. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	60

Şekil 4. 26. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	61
Şekil 4. 27. Katkisız PP ile 50nm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 0.5m/s).....	62
Şekil 4. 28. Katkisız PP ile 50nm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 3.0m/s).....	63
Şekil 4. 29. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 0.5m/s) .....	65
Şekil 4. 30. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	66
Şekil 4. 31. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	67
Şekil 4. 32. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	67
Şekil 4. 33. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 0.5m/s) .....	69
Şekil 4. 34. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	69
Şekil 4. 35. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	71

Şekil 4. 36. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	71
Şekil 4. 37. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 0.5m/s) .....	73
Şekil 4. 38. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	73
Şekil 4. 39. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	75
Şekil 4. 40. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	75
Şekil 4. 41. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	77
Şekil 4. 42. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	77
Şekil 4. 43. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	79
Şekil 4. 44. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	79
Şekil 4. 45. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	81

Şekil 4. 46. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	81
Şekil 4. 47. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	83
Şekil 4. 48. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	84
Şekil 4. 49. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	85
Şekil 4. 50. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	86
Şekil 4. 51. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	88
Şekil 4. 52. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	89
Şekil 4. 53. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	89
Şekil 4. 54. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	91
Şekil 4. 55. Katkısız PP ile 1.5µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 0.5m/s).....	92
Şekil 4. 56. Katkısız PP ile 1.5µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 3.0m/s).....	93
Şekil 4. 57. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 0.5m/s) .....	95

Şekil 4. 58. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	96
Şekil 4. 59. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	97
Şekil 4. 60. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	98
Şekil 4. 61. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 0.5m/s) .....	99
Şekil 4. 62. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	99
Şekil 4. 63. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	101
Şekil 4. 64. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	101
Şekil 4. 65. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 0.5m/s) .....	103
Şekil 4. 66. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 1.0m/s) .....	103
Şekil 4. 67. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 2.0m/s) .....	105



Şekil 4. 68. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 3.0m/s) .....	105
Şekil 4. 69. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	107
Şekil 4. 70. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	107
Şekil 4. 71. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	109
Şekil 4. 72. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	109
Şekil 4. 73. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	111
Şekil 4. 74. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	111
Şekil 4. 75. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	113
Şekil 4. 76. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	114
Şekil 4. 77. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	115
Şekil 4. 78. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	116
Şekil 4. 79. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	117

Şekil 4. 80. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	118
Şekil 4. 81. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	119
Şekil 4. 82. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH) <sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH) <sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi .....	120
Şekil 4. 83. Katkısız PP ile 2.6µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH) <sub>2</sub> katkıli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 0.5m/s).....	121
Şekil 4. 84. Katkısız PP ile 2.6µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH) <sub>2</sub> katkıli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 3.0m/s).....	122

## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Mg(OH) <sub>2</sub> katkılı Polipropilen kompozitlerin karışım oranları.....	30
---	----



# NANO VE MICRO-Mg(OH)<sub>2</sub> KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmada, katkısız polipropilen (PP) ile farklı oranlarda (%2, %4, %6 ve %10) ve farklı partikül boyutlu (50nm, 1.5µm, 2.6µm) magnezyum hidroksit (Mg(OH)<sub>2</sub>) katkı polipropilen kompozitlerin aşınma ve sürtünme performansları incelenmiştir. Tribolojik deneyler, kuru ortam şartlarında oda sıcaklığında pim-disk aşınma cihazında yapılmıştır. Deneyler, 5N,10N ve 15N gibi farklı yükler altında ve 0.5, 1.0, 2.0 ve 3.0 m/s gibi farklı kayma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Karşı disk malzeme olarak AISI 316L paslanmaz çelik, kayma yolu olarak ise 2000m seçilmiştir. Deneyler sonucunda PP ve PP+Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranları belirlenmiştir. Deneylerde sürtünme katsayısı ve aşınma oranına Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranının etkisi ile uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi araştırılmıştır. Deneylerde saf PP polimer malzemesine ilave edilen Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile uygulanan tüm hız ve yüklerde saf PP malzemesine göre aşınma oranının azaldığı belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranının %2'den %10'a çıkarılması ile PP+Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin spesifik aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir. Kayma hızının 0.5 m/s'den 3.0m/s'ye artırılmasıyla spesifik aşınma oranı ve sürtünme katsayısının tüm malzeme gruplarında arttığı belirlenirken uygulanan yükün 5N'dan15N'a artırılmasıyla aşınma oranının azaldığı fakat sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada en düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı 50nm partikül boyutuna sahip PP+Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitinde tespit edilmiştir. En yüksek spesifik aşınma oranı ise  $5,31 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile 1.5µm ile 2.6µm partikül boyutuna sahip PP+%10Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitinde elde edilirken en düşük aşınma oranı tüm partikül boyutları için  $5,49 \times 10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile PP+%2Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitinde elde edilmiştir. PP+Mg(OH)<sub>2</sub> kompozit malzemelerin aşınma yüzey görüntüleri ise optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, sürtünme polimer, kompozit, polipropilen, magnezyum hidroksit.

# THE INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF NANO AND MICRO-Mg(OH)<sub>2</sub> FILLED COMPOSITE MATERIALS

## SUMMARY

In this study, the abrasion and friction performances of pure polypropylene (PP) polymer and magnesium hydroxide filled polypropylene composites in different ratios (2wt.%, 4wt.%, 6wt.% and 10wt.%) and with different particle sizes (50nm, 1.5 $\mu$ m, 2.6 $\mu$ m) were investigated. Tribological experiments were carried out in pin-on-disc wear test device at room temperature under dry sliding conditions. The experiments were carried out under different loads such as 5N, 10N and 15N and at different sliding speeds such as 0.5, 1.0, 2.0 and 3.0 m/s. AISI 316L stainless steel was chosen as the counter disc material and 2000 m was chosen as sliding distance. As a result of the experiments, friction coefficient and specific wear rates of PP and PP composites were determined. In the experiments, the effect of Mg(OH)<sub>2</sub> filler addition, applied load and sliding speed on the coefficient of friction and specific wear rate were investigated. When compared with pure PP material in the experiments, it was determined that the specific wear rate of Mg(OH)<sub>2</sub> filled PP composites decreased at all sliding speeds and applied load values. It was determined that the specific wear rate of PP+Mg(OH)<sub>2</sub> composites increased by increasing Mg(OH)<sub>2</sub> filler addition from 2wt.% to 10wt.%. It was determined that by increasing the sliding speed from 0.5 m/s to 3.0 m/s, the specific wear rate and friction coefficient increased in all material groups, while increasing the applied load from 5N to 15N, the wear rate decreased but the friction coefficient increased. The lowest specific wear rate and coefficient of friction in the study were determined in the PP+Mg(OH)<sub>2</sub> composite with a particle size of 50nm. The highest specific wear rate is obtained in PP+10wt.%Mg(OH)<sub>2</sub> composite with a particle size of 1.5  $\mu$ m and 2.6 $\mu$ m with a value of  $5.31 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N, while the lowest wear rate is PP+2wt.%Mg(OH)<sub>2</sub> composite was obtained with the value of  $5.49 \times 10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N. Worn surface images of pure PP and Mg(OH)<sub>2</sub> filled PP composites were examined using an optical microscope.

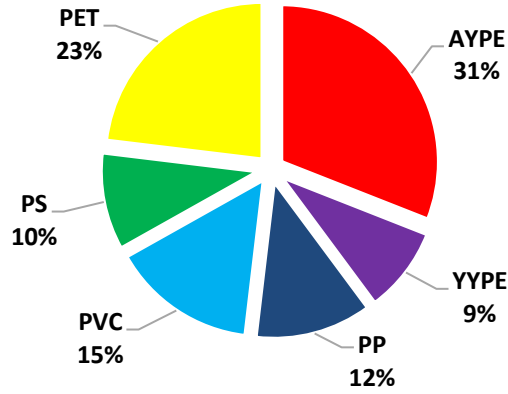
**Keywords:** wear, friction, polymer, composite, polypropylene, magnesium hydroxide.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Polimer biliminin gelişmesiyle günlük yaşantımızda kullanılan birçok üründe plastikleri görmek mümkün hale geldi. Kolay işlenebilir yapıda oluşları, kullanılacakları yerlere göre uygun modifiye edilebilirlikleri ve çok fazla sayıda çeşide sahip olmaları gibi birçok avantajı barındıran plastikler günümüzde en popüler alternatif malzemelerdendir.

Endüstrinin ilerleyen ihtiyaçları doğrultusunda sürekli gelişen polimer bilimi, şu an birçok alanda kendine yer bulmaktadır. Kolay ulaşılabilir oluşları, metal ve seramiklere göre daha hafif oluşları, kimyasallara karşı gösterdikleri dayanım, istenilen özelliklerde üretilibilmeleri ve enjeksiyon, ekstrüzyon kalıplama gibi oldukça uygun maliyetli prosesler ile işlenip şekil alabilirlikleri dolayısıyla otomotiv, havacılık, savunma sanayi, elektrik elektronik gibi daha birçok alanda uygulama alanına sahiptirler.

Türkiye’de 1940’lı yıllarda plastiklerin kullanımına başlanmıştır. 1949 yılında tamamına yakını termoset plastik olan 150 ton/yıl tutarındaki tüketim miktarı günümüzde sadece alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC) gibi termoplastikler için 1 milyon ton/yıl tüketim miktarına ulaşmış gözükmektedir. Termoplastiklerin kişi başına düşen tüketimleri 1970’li senelerde birkaç kilogramdan, 1985’te 9 kilograma, 1993 yılında 14 kilograma, 2010’da 25 kilograma, 2015’de 80,8 kilograma ve 2018’de 90,1 kilograma yükselmiştir (Karakuş, 2017).



Şekil 1.1. Türkiye plastik hammadde üretimi (2019/6) (PAGEV, 2019)

Aşınma genel olarak birbiri üzerinde temas ve hareket eden cisimlerden oluşan, değişik büyüklükte mekanik yüklemeler sonucunda mikroskobik cisimlerin malzeme yüzeyinden kopması sonucunda meydana gelen istenmeyen yüzey değişikliğidir. Aşınma, zamanla yavaş bir şekilde ilerlemesine rağmen uzun zaman diliminde büyük miktarda malzeme kayıplarına yol açmaktadır. Birbiri üzerine temas eden yüzeyler arasında kayma, yuvarlanma, kayma-yuvarlanma oluşmaktadır. Böylece oluşan sürtünme kinematik olarak kayma, yuvarlanma ve kayma-yuvarlanma sürtünme şekli alır (Karaoğlu, 2006).

Birbirine temas eden yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde olması veya bulunmaması durumunda sürtünme kuru, sınır ve sıvı olarak üç şekilde incelenebilir. Genel itibariyle kuru sürtünme birbiri üzerine temas eden yüzey ile arasında yağlayıcı malzeme olmadan yapılan veya her iki yüzeyin temas etmesiyle oluşan sürtünmedir. Temas halinde olan yüzeyler yağlayıcı malzeme ile ayrılmış halde olabilir. Bu zaman zarfında esas sürtünme yağlayıcı malzemenin tabakaları arasında oluşur; bu durum sıvı sürtünme olarak adlandırılır. İkinci durumda ise yani yüzeyler birbirinden ayrılmadığı takdirde, sınır sürtünmesi oluşmaktadır. Aşınma deforme olmuş parçaların dayanım özelliklerini en aza indirmekte, böylece eğilme, kopma, kırılma ve yağın bulunmadığı ortamlarda birbirine yapışma gibi istenmeyen durumlara yol açabilmektedir. Aşınmanın en alt seviyede olması için birbirine uyumlu malzemelerin kullanılmasının yanı sıra deney çalışma şartları oldukça önemlidir. Aşınmayı azaltan diğer bir faktör ise sürtünme halinde olan malzemelerin arasına yağlayıcı sistemlerin kullanılmasıdır. Bazı

durumlarda yağlamanın dezavantaj meydana getirdiği unutulmamalıdır. Özellikle sürtünme halinde çalışan kavramalarda ve fren sistemlerinde, birbiri üzerine temas eden yüzeylere yağın bulaşması ve bu sistemlerin verimli çalışmasını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle birbirleri ile uyumlu şekilde çalışabilecek ve aşınmanın az olacağı malzeme seçiminin yapılması önemli rol oynamaktadır (Kurtuluş, 2010). Bu sebeple polimerlerin içerisine birçok katkı maddesi ilave edilmektedir. Bu katkılar arasında magnezyum hidroksit ilavesi hem yanmayı geciktirici özellik, hem zehirli olmayan ve anti-bakteriyel özelliği hem de mekanik özellikleri geliştirmek için polipropilen polimerlerine katılmakta olup literatürde bununla ilgili az sayıda çalışmaya rastlanmıştır.

Literatürde polimerlerin ve polimer kompozitlerin, aşınma ve sürtünme performansı, mekanik özellikleri ve termal davranışlarını araştırmak amacıyla yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Literatürde yer alan bazı çalışmalara aşağıda yer verilmiştir;

Latiff ve arkadaşları; Polipropilen polimeri içerisine %3, %5, %10, %13, %15 oranlarında geri dönüştürülmüş karbon fiber reçineli ve reçinesiz olmak üzere ayrı ayrı ilave edilmiştir. Oluşan kompozitin pin-on disk test düzeneğinde 600 dev/dak hızda, 16N yükte ve 2.261 km kayma yolunda aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Her iki kompozit malzemede yüzde oranı arttıkça sürtünme katsayısının arttığı ve aşınma oranının düştüğü saptanmıştır. Reçineli kompozit daha iyi aşınma ve sürtünme performansı sergilemiştir (Latiff ve diğ, 2015).

Sedlak ve arkadaşları; Polipropilen polimerine üç farklı yağ (bitkisel yağ %16, dişli yağı %8 ve motor yağı %10) emdirerek oluşturulan malzemenin aşınma ve sürtünme performansını incelemişlerdir. Karşı yüzey olarak çelik disk kullanılmıştır. Uygulanan hız 0.13m/s-1.00m/s arasında, kayma mesafesi 1840m ve uygulanan yük 343N'dur. Saf polimere göre özelliklerinde iyileşme görülmüştür. En düşük sürtünme katsayısı özelliğini 0.44m/s hızda motor yağı ilaveli polipropilen malzeme gösterirken en düşük aşınma oranını 0.26m/s hızda yine motor yağı ilaveli PP göstermiştir. En düşük sıcaklık değerini 0.44m/s hızda bitkisel yağ ilaveli polipropilen sağlamıştır (Sedlak ve diğ, 2016).

Hufenbach ve arkadaşları; Polipropilen malzemesine %30 oranında cam fiber ilave ederek oluşturulan kompozitin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Cam



fiber katkısı malzemenin sertliğini yaklaşık üç kat, çekme dayanımını ise yaklaşık dört kat artırmıştır. Aşınma deneyi için block-on-ring test metodu kullanılmıştır. Saf PP malzemeye göre aşınma oranı ve sürtünme katsayısında düşüş gözlenmiştir (Hufenbach ve diğ, 2012).

Behalek ve arkadaşları; Polipropilen malzemesine ağırlığınca %10, %20 ve %30 oranlarında hindistan cevizi, keten, selüloz ve polar lifler ilave ederek tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bitkisel ve hayvansal kökenli liflerin ilavesi ile yüzde oranının artışına bağlı olarak sürtünme statik ve dinamik katsayılarında önemli ölçüde düşüş gözlenmiştir. Doğal liflerin katılması ile mukavemetini artırdığı saptanmıştır (Behalek ve diğ, 2013).

Feyzulloğlu ve Şahin; Polipropilen polimerine ayrı ayrı kalsiyum karbonat (%10, %15, %20) ve susuz boraks (%0.5, %1, %2) ilave ederek pin-on disk aşınma cihazında 5N yük altında, 1.57m/s hızda, 4 saat süresince, 22,6 km kayma mesafesi boyunca tribolojik özellikleri incelemişlerdir. Saf PP malzemesinin aşınma oranı  $27,02 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{m}$  iken %0.5 boraks katkılı PP malzemenin aşınma oranı  $27,50 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{m}$ , %1 boraks katkılıda aşınma oranı  $28,20 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{m}$  ve %2 boraks ilavesindeki aşınma oranı  $30,33 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{m}$  olarak tespit edilmiş olup yüzde boraks oranı arttıkça aşınma oranının arttığı belirlenmiştir. Kalsiyum karbonat ilavesinin aşınma oranını düşürdüğü tespit edilmiştir. Saf PP malzemesinin aşınma oranı  $27,02 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{m}$  iken %10 kalsiyum karbonat ilavesi ile aşınma oranı  $10,08 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{m}$  olarak ölçülmüştür. %15 kalsiyum karbonat ilavesinde aşınma oranı  $18,02 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{m}$  ve %20 kalsiyum karbonat ilavesi ile  $24,06 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{m}$  olduğu belirlenmiştir. Aşınma oranının saf PP malzemesine göre azaldığı görülmüştür. Kalsiyum karbonat ilavesi ile sürtünme katsayısında azalma tespit edilmiş olup saf PP malzemenin sürtünme katsayısı 0.65 iken %10 kalsiyum ilavesinde sürtünme katsayısı 40, %20 kalsiyum karbonat ilavesinde sürtünme katsayısı 42 değerinde olduğu belirlenmiştir. (Feyzulloğlu ve Şahin, 2010).

Liu Zan ve arkadaşları; Polipropilen polimerine modifiye edilmiş halloysit nanotüpler (HNTs) ilave ederek tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Aşınma ve sürtünme testini pin-on disk aşınma cihazında 200 dev/dak hızda, 200N yükte ve 60 dakika süre ile aşınma deneyi yapmışlardır. Aşınma oranının saf PP malzemesine göre %19.4 azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca sürtünme katsayısında düşüş yaşanmıştır.

Çekme ve eğilme mukavemeti, çentik darbe dayanımı saf PP malzemesine göre daha iyi olduğu saptanmıştır (Liu Zan ve diğ, 2017).

Garcia ve arkadaşları; Polipropilen polimerine %2, %6, %10 oranlarında nanoclay (katmanlı silikat) ve %10, %30 oranında cam elyaf takviye ederek pürüzlülüğün sürtünme katsayısına etkisini incelemiştir. Tüm malzemelerde pürüzlülüğün artırılması ile sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Saf PP malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçta 0.32 olup pürüzlülüğün %300 artırılmasıyla sürtünme katsayısının 0.42 seviyesine ulaşarak arttığı tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı PP+%6Nanoclay kompozitinde 0.23 değerinde tespit edilmiş olup pürüzlülüğün %300 artırılmasıyla bu değer 0.34 seviyesinde olduğu belirlenmiştir. PP+%10Cam elyaf+%2Nanoclay ile PP+%10Cam elyaf hemen hemen aynı sürtünme katsayısı değerinde olduğu belirlenmiş ve bu değerler başlangıç olarak 0.25 ve pürüzlülüğün %300 artırılması ile bu değer 0.37 seviyesine çıktığı tespit edilmiştir (Garcia ve diğ, 2011).

Prabhu ve arkadaşları; Polipropilen hammaddesine %20 CaCO<sub>3</sub> (kalsiyum karbonat) ilave ederek mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemiştir. Kalsiyum karbonat ilavesinden sonra rockwell sertlik değeri 55'ten 68'e çıkmış ve çekme dayanımı %6.06 oranında artmıştır. Aşınma testi pin-on disk aşınma cihazıyla 50N yükte, 1.5m/s hızda ve 1500m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma oranı saf PP malzemede  $1,44 \cdot 10^{-15}$  mm<sup>3</sup>/Nm olarak saptanmış olup %20 CaCO<sub>3</sub> ilavesi ile bu değer  $1,20 \cdot 10^{-15}$  mm<sup>3</sup>/Nm seviyesine düşerek %17 azalma meydana gelmiştir. Sürtünme katsayısı saf PP malzeme için 0,49 iken %20 CaCO<sub>3</sub> ilavesi ile 0.58 seviyesine ulaşarak %18 artış saptanmıştır. Zamana bağlı olarak PP+%20 CaCO<sub>3</sub> kompozit malzemesinin sürtünme katsayısında artış gözlemlenmiş olup başlangıç değeri 0.43 olarak belirlenmiş ve 18 dakika sonra 0.58 sürtünme katsayısı değerine ulaşmıştır (Prabhu ve diğ, 2016).

Nasir ve Ghazali; Polipropilen polimeri içerisine cam elyaf+kenaf lifi ve pirinç sapını ayrı ayrı ilave ederek oluşan iki çeşit kompozit malzemenin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Aşınma pin-on disk aşınma cihazıyla paslanmaz çeliğe karşı 1.178m/s, 1.963m/s, 2.749m/s kayma hızında ve 9.84N, 14.73N, 19.64N yükte gerçekleştirilmiştir. Cam elyaf+kenaf lifi ilavesinde uygulanan yükün sabit ve kayma hızının artırıldığı durumda aşınma oranının düştüğü tespit edilmiştir. Uygulanan yükün arttığı ve kayma

hızının sabit olduğu durumda ise rastgele dalgalanma gözlemlenmiştir. Cam elyaflı kenaf kompozit malzemenin en az aşınma oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Pirinç sapı ilaveli kompozit malzemede ise saf PP malzemeye göre aşınma oranının düştüğü saptanmıştır. Cam elyaf+kenaf lifi ilaveli kompozit malzemede uygulanan yük sabit ve kayma hızı artırıldığı durumda sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir (Nasir ve Ghazali, 2014).

Yuan ve arkadaşları; Polipropilen / EPDM / CaCO<sub>3</sub> kompozitine farklı oranlarda HDPE ilave ederek 200N yükte, 120 dakika ve 200 dev/dak hızda tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Sürtünme katsayısı HDPE ilavesinin kademeli olarak artırılmasıyla azaldığı ve aşınma oranının belli bir noktaya kadar azalıp daha sonra arttığı saptanmıştır (Yuan ve diğ., 2018).

Mysiukiewicz ve arkadaşları; Polipropilen hammaddesine ağırlığınca %10, %20 ve %30 oranlarında ağaç tozu ilave ederek oluşan kompozitin sürtünme katsayısı ve sertlik özelliklerini incelemişlerdir. Yatay düzlem yöntemi uygulanarak sürtünme özellikleri incelenmiş olup ağaç tozu ilavesinin artmasıyla sürtünme katsayısının düştüğü ve ağaç tozu oranının %10 olduğu kompozit malzemede sertliğin en yüksek olduğu tespit edilmiştir (Mysiukiewicz ve Sterzynski, 2017).

Gordienko ve arkadaşları; Polipropilen polimeri içerisine %0.3, %3 ve %10 oranlarında MoS<sub>2</sub> (molibden disülfür) ilave ederek oluşan yeni malzemenin tribolojik ve sertlik özelliklerini incelemişlerdir. Çelik bir diske karşı yapılan aşınma deneyinde MoS<sub>2</sub> ilavesinin artırılmasıyla aşınma direncinin önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. %3–10% arasında sertlik değerinde artış tespit edilmiştir (Gordienko ve diğ., 2009).

Taşdemir ve arkadaşları; Polipropilen malzemesine %10, %20 ve %30 oranlarında sentetik ve biyolojik hidroksiapatit (HA) ilave ederek oluşan kompozitlerin su emme davranışı ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Su emme değerleri HA malzemesinin katılmasıyla önemli ölçüde artmıştır. 40 dev/dak hızda 10N yükte ve 40m mesafede aşınma ve sürtünme testi gerçekleştirilmiş olup yük ve HA oranı arttıkça sürtünme katsayısında artış olduğu tespit edilmiştir. HA ilavesinin artırılmasıyla aşınma oranının arttığı saptanmıştır (Taşdemir ve Gülsoy, 2017).

Dike ve arkadaşları; Polipropilen polimerine %1, %2 ve %4 oranında Bor karbür (B<sub>4</sub>C) ilave ederek mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bor karbür ilavesi

sertlik ve akma dayanımını sırasıyla %37 ve %18 oranında artırmıştır. Pistonlu aşınma test cihazında 2N yükte 0,0128-0.0567m/s arasında değişen hızlarda ve 200m kayma mesafesi boyunca aşınma ve sürtünme testi yapılmış olup kayma hızı ve bor karbür miktarı arttıkça aşınma oranında artış tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısının artan bor karbür miktarı ile az bir oranda arttığı saptanmıştır. En yüksek sürtünme katsayısı en düşük kayma hızında meydana gelmiştir (Dike ve diğ, 2013).

Yallem ve arkadaşları; Polipropilen malzemesine %40 oranında jüt kumaş takviye ederek elde ettikleri kompozitin pin-on disk aşınma cihazında çelik diske karşı 1-3 m/s hızda, 10N-20N-30N yükte ve 1000m-3000m kayma yolunda tribolojik özelliklerini incelemiştir. Uygulanan yükün artırılmasıyla sürtünme katsayısının azaldığı ve saf polipropilene göre çok az miktarda düşme olduğu tespit edilmiştir. Aşınma oranının kayma hızından bağımsız olarak yükün artırılması ile arttığı saptanmıştır (Yallem ve diğ, 2014).

Gandhi ve arkadaşları; Polipropilen içerisine %1, %3, %5, %7 oranlarında karbon nanotüp (CNT) ilave ederek oluşturdukları kompozit malzeninin pin-on disk aşınma cihazında çelik diske karşı 1m/s-5m/s hızda, 10N-50N yükte tribolojik özellikleri incelenmiştir. CNT oranı arttıkça aşınma oranı ve sürtünme katsayısı azalmaktadır. Yükün ve hızın artırılması ile aşınma oranında artış gözlemlenmiştir. 50N yükte PP+CNT kompoziti katkısız polipropilene göre %44 daha az aşınma oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Kayma süresinin artırılmasıyla sürtünme katsayısında azalma olduğu saptanmıştır (Gandhi ve diğ, 2013).

Asuke ve arkadaşları; Polipropilen polimerine %5, %10 ve %15 oranlarında karbonize edilmiş kemik (inek bacağı) tozu ilave ederek üç gövdeli aşınma test cihazında 250 dev/dak hızda, 5N, 10N, 15N yükte ve aşındırıcı yüzey olarak silis kumu kullanılmış olup malzemenin aşınma özelliklerini incelemiştir. Artan yük ile aşınma oranında artış meydana gelmiş ve karbonize edilmiş kemik tozu ilavesinin artmasıyla aşınma oranında azalma olduğu saptanmıştır (Asuke ve diğ, 2014).

Aurrekoetxea ve arkadaşları; Polipropilen polimerine %40 oranında çam ağacı tozu ilave ederek blok-on-ring test metoduyla çelik diske karşı 1m/s hızda, 100N yükte, 75, 150, 300, 450 ve 600m kayma hızında tribolojik özelliklerini incelemiştir. Çam ağacı

tozu katkısı ile aşınma oranı ve sürtünme katsayısında azalma saptanmıştır (Aurrekoetxea ve diğ, 2008).

Sivaraos ve arkadaşları; Polipropilen hammaddesi içerisine %10, %20, %30 ve %40 oranlarında atık lastik kauçuk tozu ilave ederek pin-on disk test cihazında 300 saniyede, 500 dev/dak ve 20N yükte sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. En düşük sürtünme katsayısı %20 ilaveli kompozit malzemede görülmüştür. Atık lastik kauçuk tozu oranı arttıkça sürtünme katsayısında artış saptanmıştır (Sivaraos ve diğ, 2013).

Korpela ve arkadaşları; Polipropilen hammaddesi içerisine ağırlığınca %10, %20, %30 ve %40 oranlarında viskoz fiber takviye ederek yüzeyi mikro desenli kompozit malzeme oluşturup mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Artan fiber miktarı ile çekme dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Sürtünme özelliklerini pin-on disk test cihazında 2 cm/s radyal hızda, 200m kayma yolu ve 2N yükte pürüzlü ve pürüzsüz çelik diske karşı incelemişlerdir. Sürtünme eğrisinin kararlılığı incelenmiş olup desenli numunelerin sürtünme katsayısı desensiz numunelere göre daha kararlı olduğu tespit edilmiştir (Korpela ve diğ, 2014).

Li ve arkadaşları; Polipropilen polimeri içerisine %10 ve %20 oranlarında kayganlaştırıcı yağ içeren polisülfon (PSU)+SiO<sub>2</sub> çift duvarlı mikrokapsüller ilave ederek mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Mikrokapsül içeriği %10'dan fazla olduğunda belirgin olarak çekme dayanımında düşüş gözlemlenmiştir. Aşınma ve sürtünme testini 0.5Mpa, 1.0MPa ve 1.5Mpa basınçta, 0.5m/s, 0.75m/s ve 1.0m/s hızda ve 30 dakikada gerçekleştirmişlerdir. %10 mikrokapsül ilavesi ile sürtünme katsayısında %54.9 azalma gerçekleşmiş ve bu ilave oranı arttıkça sürtünme katsayısının arttığı saptanmıştır. Hız 0.75m/s'ye ve basınç 1.0MPa'a arttırıldığı zaman aşınma oranı ve sürtünme katsayısında azalma tespit edilmiştir (Li ve diğ, 2017).

Taşdemir; Polipropilen polimerine %10, %20, %30 ve %40 oranlarında zeytin çekirdeği ve badem kabuğu tozunu ayrı ayrı ilave ederek polimer kompozitin mekanik, aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Vicat yumuşama sıcaklığı her iki ilavenin yüzde oranının artırılmasıyla yükseldiği gözlemlenmiştir. Aşınma ve sürtünme özellikleri 40 dev/dak hızda, 5N, 10N, 15N, 20N yükte ve 20m, 40m, 60, 80m kayma mesafesinde incelenmiştir. Uygulanan yük, mesafe ve yüzde oranlarının artırılmasıyla aşınma oranında ve sürtünme katsayısında artış tespit edilmiştir (Taşdemir, 2017).

Dike ve arkadaşları; Polipropilen malzemesine %0.4, %0.8 ve %1.6 oranlarında karbon nanotüp (CNT) ve saflaştırılmış karbon nanotüp (SCNT) ilave ederek mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemiştir. SCNT ilaveli kompozit CNT'ye göre karşılaştırıldığında daha yüksek sertlik, elastisite modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti sağladığı tespit edilmiştir. Pistonlu aşınma test cihazında çelik yüzeye karşı 0.0128m/s hızda, 2N yükte ve 200m kayma mesafesinde aşınma ve sürtünme testi yapılmış olup her iki kompozit malzemede de %0.8 ilaveli karbon nanotüp kompozit en düşük aşınma ve sürtünme değerlerini göstermiş olup SCNT ilaveli kompozit malzemesinin daha iyi tribolojik özellik sağladığı saptanmıştır (Dike ve diğ, 2014).

Mohamad ve arkadaşları; Polipropilen ile epoksi edilmiş doğal kauçuğu (EDK) sırasıyla 70/30 ve 40/60 oranında karıştırarak mekanik özelliklerini incelemiştir. EDK içeriğinin artmasıyla sertliğin ve elastisite modülünün azaldığı görülmüştür. Kopmadaki uzama EDK artışı ile arttığı tespit edilmiştir. Sertlik oranı saf PP ile karşılaştırıldığında, ENR oranının %60 olduğu kompozit malzemede %44'lük bir azalma olduğu saptanmıştır (Mohamad ve diğ, 2013).

Ammar ve arkadaşları; Polipropilen içerisine %30 oranında talk mineralini karıştırarak mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemiştir. Elastisite modülü saf PP malzemesi için 1321MPa iken talk ilavesi ile saf PP polimer malzemesine göre yaklaşık iki kat arttığı tespit edilmiş ve 2736MPa değerine ulaşmıştır. Charpy darbe dayanımı düşmüş olup saf PP için bu değer 119kJ/m<sup>2</sup> iken talk ilavesi ile bu değer 20kJ/m<sup>2</sup> seviyesine azalmıştır. Aşınma testi pin-on disk test cihazında 50-100 dev/dak hızda, 5N yükte, 10dak boyunca çelik diske karşı uygulanmıştır. Aşınma deneyi için saflık oranına göre 3 tür talk malzemesi oluşturulmuş olup bu malzemeler 98/2 talk/kalsit+dolomit, 80/20 talk/kalsit+dolomit ve 70/30talk/kalsit+dolomit olarak hazırlanmıştır. Aşınma oranı 10 dakika sonunda saf PP malzemede %15 olurken saflık oranı en düşük olan 98/2 talk/kalsit+dolomit malzemesinde %5 seviyesine düşmüştür. En yüksek aşınma oranı 70/30 talk/kalsit+dolomit malzemesinde 10 dakika sonunda %24 olarak belirlenmiştir. Aşınma davranışının iyi veya kötü olması ilave edilen talkin saflığı ile ilgili olduğu tespit edilmiştir (Ammar ve diğ, 2017).

Abenojar ve arkadaşları; Polipropilen malzemesine silisyum karbür(%50) ve cam elyaf(%1) ilave ederek iki farklı kompozit malzeme (PP+SiC, PP+SiC+GF) oluşturup aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Deneş şartları 15N yükte, 120 dev/dak hızda ve 1000m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Saf PP malzemenin aşınma oranı  $2,34.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak tespit edilmiş olup PP+SiC ve PP+SiC+GF malzemelerin aşınma oranı sırasıyla  $3,52.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N ve  $1,97.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olduğu belirlenmiştir. %1 GF eklendiğinde aşınma oranının saf PP malzemesine göre %16 azaldığı ve eklenmediğinde aşınma oranının %50 arttığı görülmüştür. Sürtünme katsayısının SiC ve GF katkılarının ilave edilmesiyle saf PP malzemesine göre arttığı tespit edilmiş olup sürtünme katsayısı değerleri saf PP için 0.44, PP+SiC malzemesi ve PP+SiC+GF malzemesi için 0,54 olduğu saptanmıştır (Abenojar ve diğ, 2017).

Nasir; Polipropilen polimerine çeltik samanı ve deniz kabuğı tozunu %5 oranında ilave ederek mekanik ve tribolojik özelliklerini 200-400-600-800 dev/dak hızda, 10N ile 30N yükte incelemişlerdir. Deniz kabuğı tozu ilavesinin çekme dayanımını yükselttiğı görülmüş olup sertliğın en yüksek olduğu seviye çeltik samanı ilavesi ile olduğu saptanmıştır. Aşınma oranı zamanla ve artan kayma hızı ile artmaktadır. Aşınma oranının çeltik samanı ilavesiyle arttığı saptanmıştır. Sürtünme katsayısının deniz kabuğı tozu ilavesiyle düştüğü görülmüştür (Nasir, 2013).

Sole ve Ball; Polipropilen polimerine %10-%60 oranında talk, CaCO<sub>3</sub>, BaSO<sub>4</sub> ve uçucu kül ilave ederek aşınma performansı özelliklerini incelemişlerdir. Aşınma zımpara makinesinde kaba(260µm) ve ince zımpara(30µm) yüzeyine karşı 150mm/s hızda, 3.66m mesafede ve 4.9N yükte yapılmış olup genel olarak artan dolgu miktarı ile aşınma oranında artış saptanmış ve uçucu kül dolgusu diğerlerine göre daha kötü performans sergilemiştir. Kaba zımpara yüzeyinde uygulanan aşınma deneyinde saf PP malzemenin aşınma oranı 0,38 mm<sup>3</sup>/Nm olarak saptanmış ve uçucu külün saf PP malzemesine %10 ilave edilmesiyle aşınma oranı 0.50 mm<sup>3</sup>/Nm değerine ve %60 ilavesi ile bu değerın 1,19 mm<sup>3</sup>/Nm değerine yükseldiğı tespit edilmiştir. İnce zımpara yüzeyinde uygulanan aşınma deneyinde saf PP malzemenin aşınma oranı 0,18 mm<sup>3</sup>/Nm olarak saptanmış ve uçucu külün saf PP malzemesine %10 ilave edilmesiyle aşınma oranı 0,19 mm<sup>3</sup>/Nm değerine ve %60 ilavesi ile bu değerın 0,38 mm<sup>3</sup>/Nm değerine yükseldiğı tespit edilmiştir. İnce zımpara yüzeyinde aşınma oranının çok daha düşük çıktığı saptanmıştır (Sole ve Ball, 1996).

Aslan ve arkadaşları; Polipropilen malzeme içerisine 25/75, 50/50, 75/25 oranlarında sisal lif+cam fiber ve sisal lif+karbon fiber katarak tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Aşınma ve sürtünme testi ball-on disk test cihazında 2N yükte, 60mm/s hızda ve 72m kayma mesafesinde yapılmıştır. Sisal+karbon ilaveli kompozitin sürtünme katsayı sisal+cam ilaveli kompozite göre biraz daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak karbonun yağlama etkisinin olduğu düşünülmektedir. Sisal+cam ilaveli kompozit daha iyi aşınma oranı sergilediği saptanmıştır. Sisal+cam kompozitin eğilme dayanımı ve sertliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Aslan ve diğ, 2018).

Mertens ve Senthilvelan; Polipropilen hammaddesine %0.5, %1, %3 ve %5 oranlarında karbon nanotüp (CNT) ilave ederek mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. CNT oranı arttıkça çekme mukavemeti artış göstermiş olup en iyi mukavemeti %5 CNT ilaveli kompozitin sağladığı tespit edilmiştir. CNT'lerin PP malzemesine eklenmesiyle kompozitin ısıl iletkenliği ve yüzey sıcaklığında artış görülmüştür. Tribolojik özellikleri pin-on disk test cihazında çelik diske karşı 50N yükte ve 56.54m/dak hızda incelenmiş olup CNT'lerin PP polimer malzemesine eklenmesinin aşınma direncini önemli derecede artırdığı saptanmıştır. Ağırlık olarak %1 CNT-PP kompoziti en düşük sürtünme katsayısını gösterdiği görülmüştür (Mertens ve Senthilvelan, 2018).

Ünal ve arkadaşları; Poli-Fital-Amid (PPA) polimerine ağırlığınca %30 oranında karbon fiber takviye ederek oluşturdukları kompozitin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Aşınma ve sürtünme testi pim-disk test cihazında paslanmaz çelik yüzeye karşı 1m/s, 2m/s, 3m/s ve 4m/s hızda, 40N yükte ve 2000m kayma mesafesinde incelenmiştir. Sürtünme katsayısının kayma hızının artması ile azaldığı tespit edilmiş olup %30 karbon fiber ilavesi sürtünme katsayısının yaklaşık %20 oranında azalmasını sağlamıştır. Karbon fiber, katkısız PPA polimerinin çalışma hızını 2m/s hızdan daha yüksek hızlara çıkardığı tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı %30 ilaveli kompozit malzemede 4m/s kayma hızında elde edilmiştir. Kayma hızının artmasıyla her iki malzemede aşınma oranında artış tespit edilmiş olup karbon fiber ilaveli kompozit malzemede saf PPA'ya göre yaklaşık 15 kat olarak oldukça düşük aşınma oranı saptanmıştır (Ünal ve diğ, 2016).



Pilarska ve arkadaşları; Polipropilen içerisine ağırlığınca %10 ve %30 oranında magnezyum hidroksit ilave ederek alev geciktirici, mekanik ve antibakteriyel özelliklerini incelemişlerdir.  $Mg(OH)_2$  oranı arttıkça kopma uzamasında büyük oranda azalma gözlenmiş olup elastisite modülünün arttığı saptanmıştır. %30  $Mg(OH)_2$  ilaveli polipropilen kompozit malzeme saf polipropilene göre %28 oranında malzemenin yanma oranını düşürmüştür. Antibakteriyel olarak iyi bir etkiye sahip olan  $Mg(OH)_2$  hem ağırlıkça %10 hem de ağırlıkça %30 içerikli numuneler neredeyse tamamen bakteri yokluğu sağladığı tespit edilmiştir (Pilarska ve diğ, 2015).

Sain ve arkadaşları; Polipropilen+ağaç tozu+pirinç kabuğu kompozit malzemesine alev geciktirici olarak magnezyum hidroksit, borik asit ve çinko borat ilave ederek yanma ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan yatay yanma testi sonucunda %25 magnezyum hidroksit ilaveli kompozit malzeme en düşük yatay yanma oranını göstererek borik asit ve çinko borata göre daha iyi performans sergilemiştir. Oksijen indeksi testinde de yüksek alev geciktiricili bir numunenin yanması için daha yüksek oksijen konsantrasyonuna ihtiyaç olduğu için %25  $Mg(OH)_2$  ilaveli kompozitin en yüksek oksijen konsantrasyonuna ihtiyaç duyduğu saptanmıştır. Çekme ve eğilme mukavemeti değeri en yüksek polipropilen+ağaç tozu kompozitinde saptanmış olup alev geciktiricileri ilaveleriyle bu değer düşüğü saptanmıştır (Sain ve diğ, 2004)

Wu ve arkadaşları; Ahşap+polimer kompoziti olan kavak tozu+yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompozitine %20-%60 oranları arasında ultra ince magnezyum hidroksit ve normal magnezyum hidroksit ilave ederek mekanik ve alev geciktirici özelliklerini incelemişlerdir. Ultra ince magnezyum hidroksit ilavesi %30 oranına kadar en yüksek çekme dayanımı ve % kopma uzama göstermiş olup sırasıyla 23.08MPa ve %7.6 değerleri saptanmıştır. %30'dan sonra bu değerler düşmektedir. Normal magnezyum hidroksit ise %20 ilaveden sonra çekme dayanımı ve % kopma uzama değerlerini düşürdüğü tespit edilmiş olup %30 ilavesindeki değerleri sırasıyla 15.38MPa ve %4,35 olduğu görülmüştür. Ultra magnezyum hidroksit normale göre %30 ilave edildiğinde oksijen indeksi %20 daha fazla olduğu saptanmıştır (Wu ve diğ, 2014).

Ersoy ve Taşdemir; Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) polimerine ağırlığınca %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ayrı ayrı magnezyum hidroksit ( $Mg(OH)_2$ ), Çinko oksit ( $ZnO$ ) ve kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) ilave ederek mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Dolgu maddeleri oranlarının artmasıyla elastiklik modülünün azaldığı tespit edilmiş olup %20 ilaveli  $CaCO_3$  saf HDPE'ye göre %31 azaldığı saptanmıştır. Çekme dayanımı dolgu maddelerinin %5 ilavesinde bir değişiklik göstermeyip %10 ve %20 ilavelerinde azalma gösterdiği tespit edilmiş olup %20 ilaveli ( $Mg(OH)_2$ ) saf HDPE'ye göre %12 azaldığı görülmüştür. % kopma uzama %20 ilaveli ( $Mg(OH)_2$ ) saf HDPE'ye göre %79 azalmıştır. Kompozitin sertliği dolgu ilavesi arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Minimum sertlik değeri %20 ilaveli ( $Mg(OH)_2$ ) konsantrasyonunda görülmüş olup saf HDPE'ye göre %9 azalmıştır. Izod darbe dayanımı dolgu ilavesi arttıkça azaldığı saptanmıştır. En düşük darbe dayanımı %20 ilaveli ( $Mg(OH)_2$ ) kompozitinde saptanmış olup %75 azalmıştır. Erime akış indeksi, dolgu ilavesi arttıkça azalmıştır. %20 ( $Mg(OH)_2$ ) ilavesinde %52 azalma tespit edilmiştir. Bu olumsuz azalmaların sebebi olarak HDPE ile dolgu malzemeleri arasındaki zayıf yapışma ve topaklanma problemi gösterilmiştir (Ersoy ve Taşdemir, 2012).

Tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırmaları incelendiğinde PP polimeri ile diğer polimer malzemelerin mekanik, termal ve tribolojik çalışmalarına fazlasıyla rastlanıldığı görülmektedir. Yalnız polimerlere katılan katkı malzemeleri ile bunların mekanik, termal ve tribolojik etkilerinin uygulandığı çalışmalara bakıldığında çalışmamızda kullanılan katkı malzemesi olan  $Mg(OH)_2$  katkı ilavesiyle yapılan çok fazla çalışmanın bulunmadığı görülmüştür. Bu tez çalışması ile birlikte  $Mg(OH)_2$  katkısının PP polimerine ilave edilmesiyle aşınma ve sürtünme performanslarına etkileri hakkında bilgi edinmemize yardımcı olacaktır.

Tez çalışması kapsamında uygulamış olduğumuz tribolojik deney şartları aşınma cihazında 2000 metre kayma yolunda uygulanmış olup 5N-10N-15N yük aralığında ve 0.5m/s-1.0m/s-2.0m/s-3.0m/s kayma hızlarında yapılmıştır. Aşındırıcı disk olarak 100mm çapında 8mm kalınlığında AISI 316L paslanmaz çelik disk kullanılmıştır. Deney normal oda sıcaklığında (23°C) yapılmıştır. Deney sonucunda uygulanan kayma hızı ve yüke göre tribolojik değerler elde edilmiştir.

## **BÖLÜM 2. SÜRTÜNME VE AŞINMA**

### **2.1. Tribolojik Özellikler**

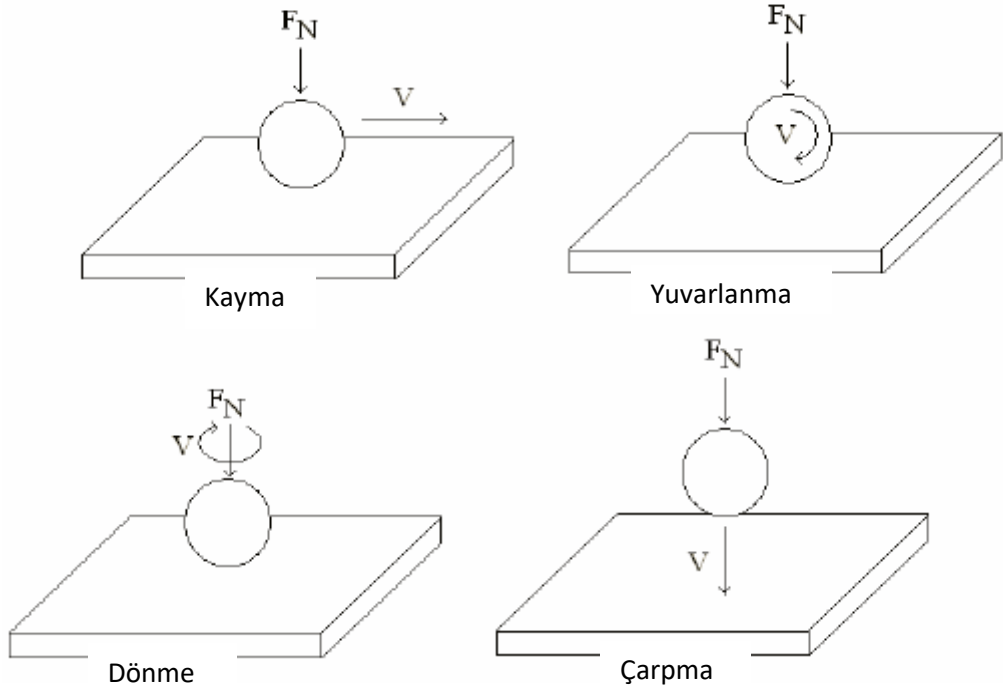
Birbirleri ile temas halinde çalışan ve izafi olarak hareket eden en az iki parça arasında bir etkileşim oluşur. Etkileşim sonucunda bir parça ya kendisi aşınmakta ya da karşı taraftaki malzemeyi aşındırmaktadır. Aşınma endüstride genel olarak karşılaşılan bir problemdir. Makine parçalarının kullanım süresine etki etmektedir. Aşınan parçalar çoğu zaman kullanılmadığı için hurdaya ayrılmaktadır ve bu durum maliyetleri artırmaktadır. Aşınma, malzemelerin birbirlerinin hareketlerine karşı direnç sağlamaları sonucu yüzeylerinden parça kopması şeklinde tanımlanır. Bu durumu ortadan kaldırmak için ya iki malzeme arasında direnci en aza indirmek ya da malzemelerin yüzeylerinden parça kopmamasını sağlamak için dayanımlarını artırmak gerekir.

Aşınmaya sebep olan davranışın en aza indirilmesi için yağlama, yüzeyden parça kopmamasını sağlamak için sertleştirme yöntemleri kullanılsa da aşınmayı tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu durum üretim maliyeti, montaj-demontajı, temin etme kolaylığı gibi faktörler göz önünde bulundurularak farklı yöntemlerle temasta olan malzemelerden birinin daha az aşınması ve diğerinin daha kolay aşınması sağlanabilir. Bu sayede maliyetler düşürülebilir. Bunu yapabilmek için malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir.

Aşınma sadece metalik malzemelerde değil hayatın her tarafında karşımıza çıkabilmektedir. Plastikler, ahşaplar, kumaşlar vb. birçok malzeme de aşınma sonucu kütle kaybı oluşmakta, sonucunda da işe yaramaz hale gelmektedir. Hayatımızın birçok alanında karşımıza çıkan aşınma probleminin mekanik sistemlerde oluşturduğu zararın en aza indirilmesi için önlemlerin iyi alınması gerekmektedir. Bu önlemleri alabilmek için aşınma olayının gerçekleşme şekli ve gerçekleşme mekanizmasını iyi bilmek gerekir (Özkader, 2015).

## 2.2. Sürtünme ve Mekanizmaları

Sürtünme, birbirine temas olan ve bağıl hareket eden elemanlar arasında harekete karşı göstermiş oldukları direnç olarak ifade edilir. Sürtünmenin sayısal değeri çok az miktarda olsa da sürtünme pratik olarak mevcuttur. Sürtünme direncini oluşturan parametreler epeyce fazladır ve bunların etkileri farklılıklar göstermektedir. Bağıl hareketin türü, aralarında üçüncü maddenin olup olmadığı, ortam şartları ve elemanların fiziksel durumları gibi parametreler olayı daha karmaşık duruma getirmektedir. Sürtünme hareketin çeşidine göre, yuvarlanma, kayma, kaymalı yuvarlanma, çarpma veya dönme şeklinde olmaktadır.



Şekil 2.1. Tribolojik sistemlerin kinematikleri

Sürtünme, birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasında yağlayıcı malzeme olup olmaması bakımından temas yüzeylerinin durumuna göre, kuru sürtünme, yarı sıvı sürtünme (sınır sürtünmesi) ve sıvı sürtünmesi olarak üç halde incelenebilir.

### **2.2.1. Kuru sürtünme**

Yabancı maddelerden arındırılmış yüzeylerin atmosfer ortamındaki sürtünme hali kuru sürtünme olarak adlandırılır. Gerçek anlamda kuru sürtünme, her çeşit yabancı maddeden arındırılmış yüzeylerin mutlak basınçta izafi olarak hareket ettirilmeleri durumunda kuru sürtünme oluşmaktadır. Mevcut sistemlerin neredeyse hepsi normal atmosfer şartlarında çalışmaktadır. Sürtünen yüzeyler çok iyi temizlenmiş olsalar dahi sürtünme sonucunda sıcaklığın yükselmesi ile çok ince oksit tabakaları oluşmaktadır. Oksit tabakaları aşınma ve sürtünme davranışlarını büyük ölçüde etkilemektedir.

### **2.2.2. Yarı sıvı sürtünme (Sınır)**

Sürtünen yüzeylerin arasına yağlayıcı olarak adlandırılan maddelerin girmesi veya gönderilmesi sonucunda yüzeyler artık kuru olmayacaktır. Bu sebeple sürtünme artık yağlanmış yüzeyler arasında meydana gelecektir. Sınır sürtünmesi ve film sürtünmesi şeklinde isimlendirilen sürtünme mekanizmaları yağlanmış yüzeyler arasında oluşmaktadır. Teorik olarak kuru ve film sürtünmesi arasındaki sürtünme ilişkisi sınır sürtünmesi olarak adlandırılır.

Yüzeylerin iyi işlenmesi ile kayma hızının artırılması, deformasyon direnci ve yağlayıcı maddelere farklı türlerde katkı maddelerinin ilavesi ile de adhezyon direnci büyük ölçüde azalma gösterecektir. Böylece hem aşınma miktarı hem de sürtünme direnci azalır. Kuru ve sınır sürtünme durumlarında, sürtünme katsayısının kayma hızı ve değişimi tutma-bırakma denilen durumu meydana getirirler. Aşınmış fren balatalarında, özellikle küçük kayma hızı alanlarında bu olay sonucunda meydana gelen ses ve sarsıntı, ıslak parmak ucunun cam bardağın kenarına sürtünmesi sonucunda oluşan yüksek frekanslı ses titreşimleri tutma-bırakma olayının bir sonucudur. Bu olayı engellemek için elemanların yaylanma rijitliğini artırmak ya da sürtünme katsayısının, kayma hızıyla değişim eğilimini azaltmak en iyi çözümlerdir.

### **2.2.3. Sıvı sürtünme (Film)**

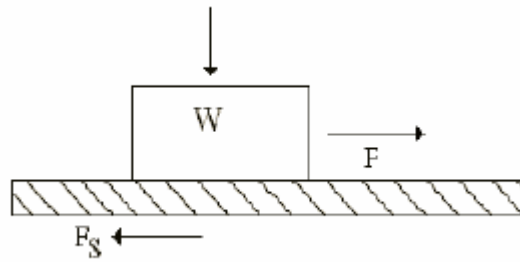
Yağlayıcının yüzeyler arasında bulunması halinde sürtünme direncinin azaldığı bilimsel (deneysel) olarak bilinmektedir. En iyi tribolojik ortam, iç sürtünme direncinin çok düşük olduğu kesintisiz bir ara tabakanın oluşumuyla meydana gelir. Bu durumda bağlı

harekete sahip olan yüzeyler arasında oluşabilecek deformasyon dirençleri ve adhezif ortadan kalkar. Uygun yağlayıcının seçimiyle kontrol altında tutulabilecek aşınma ve sürtünme durumu elde edilir.

### 2.3. Sürtünme Teorileri ve Katsayısı

Sürtünme olayı kolay gibi gözüksede, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Sürtünme olayını açıklamak için çok fazla teori ortaya sürülmüştür. Yapılan araştırmaların sonuçlarında, elde edilen enerjinin faydalı işe dönüşmesi sırasında, sürtünmeden dolayı enerjinin büyük bir kısmı meydana gelen kayıpları yenmek amacıyla harcanmaktadır. Sürtünme davranışının faydalı iş enerjisinin önemli bir kısmını yok etmesine karşın, günlük yaşantımızda sürtünmenin gerekli olduğu bir gerçektir. Bir taşıtın hareket ettirilmesi, taşıtın yavaşlatılması ve durdurulmasında sürtünme prensiplerinden yararlanılmaktadır.

Sürtünmenin tarihsel gelişimine bakıldığında, ortaya iki temel teori atılmıştır. Birincisi Fransız bilim adamı Amontons tarafından öne sürülmüştür. Amontons'a göre sürtünme kuvveti, maddeler arasındaki normal yük ile doğru orantılıdır. Buna göre bir cisim diğeri üzerinde kayarken uygulanan yük iki katına çıkarılır ise sürtünme kuvveti de iki katına çıkmış olur. Coulomb tarafından ortaya atılan diğeri teori ise sürtünme kuvveti kayma hızına bağlı değildir. Coulomb'a göre cismi harekete geçirmek için uygulanan kuvvet, hareketi devam ettirmek amacıyla uygulanan kuvvetten daha büyüktür ve bu durumu statik ve kinetik sürtünme katsayısı ile ifade etmiştir.



Şekil 2.2. Sürtünme olayı ve kuvveti

Şekil 2.2'de  $W$  ağırlığındaki bir cismin yatay ve düz bir düzlem üzerinde hareketsiz durduğu varsayılabilir. Küçük bir  $F$  kuvveti bu cisme uygulandığında kayma olmadığı görülür, yani cisim hareketsiz kalır. Bu durum Newton'un etki-tepki kavramına göre

temas alanında oluşan statik sürtünmenin, cisme etki eden F kuvvetine eşit ve ters tarafta olduğunu açıklar.

$$F = F_s \quad (2.1)$$

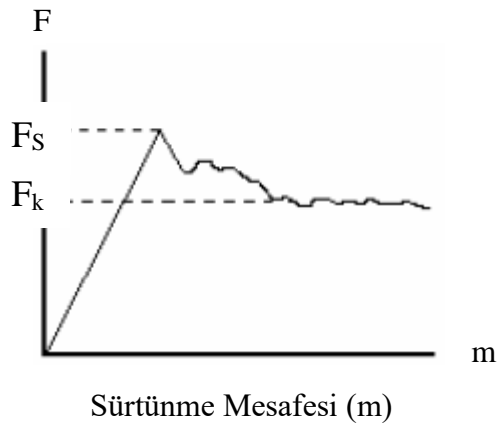
Bağıl hareket eden ve normal kuvvetin etkisi altında olan iki cismin temas yüzeyleri arasında harekete karşı  $F_s$  sürtünme kuvveti meydana gelir.

$$F_s = \mu \times W \quad (2.2)$$

Formülde verilen ( $\mu$ ) simgesi malzemelerin yüzeylerine bağlı olarak değişen sürtünme katsayısını ifade eder. Sürtünme esasına bağlı olarak çalışan fren ve kavrama gibi makine sistemlerinin hesabında “  $F_s = \mu \times W$  ” denklemi kullanılır.

Şekil 2.2’de verilen sürtünme modeli ele alındığında Coulomb’un teorisine göre çıkan sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1. Sürtünme kuvveti uygulanan yükle (normal yük) orantılıdır.  $\mu = F_s / W$  olur.
2. Sürtünme kuvveti, kayma hızına bağlı değildir.
3. Sürtünme kuvveti geometrik alana bağlı değildir.
4. Cismi harekete geçirmek için uygulanan kuvvet (statik sürtünme katsayısı), hareketi sürdürmek için uygulanacak olan kuvvetten (kinematik sürtünme katsayısı) daha fazladır.



Şekil 2.3. Kinematik ve statik sürtünme katsayısının farklılığı

## 2.4. Aşınma

Birbirine temas eden katı yüzeylerde üç şekilde malzeme kaybı gerçekleşebilir. Bunlar bölgesel erimeler, yüzeyden fiziksel ayrılmalar ve kimyasal çözünme şeklindedir. Uygulamada aşınma olarak daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan maddelerin neden olduğu hasarlar dahil edilmektedir.

Aşınmanın birçok tanımı vardır. ASLE (American Society of Lubrication Engineers)'nin tanımına göre, mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak ifade edilir. OECD (Organization for Economic Cooperation and Development)'ye göre, yüzeyde relatif hareketin sonucunda cisimden sürekli malzeme kaybı olarak ifade edilmektedir. Alman DIN 50320 normuna göre, kullanılan malzemelerin bir başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması sonucunda mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçaların kopması sonucu meydana gelen ve yüzeyin istenilmeyen şekilde bozulması olarak tanımlanmaktadır.

Aşınma sürtünerek çalışan bütün yüzeylerde mevcuttur ve bir malzeme problemi olmayıp birçok değişkene bağlı bir sistem problemidir. Kullanılan sistemin özelliğine göre çeşitli mekanizmalarda zamanla ortaya çıkar. Genellikle bu mekanizmalar kullanılan sistemin aşınma davranışını belirlemede temel etken olmasına rağmen aynı anda meydana gelen aşınma mekanizmalarının birbirini etkilemesi sonucu konu çok karmaşık bir hal gösterir.

Aşınma dış etmenler altında temas yüzeylerinde oluşan fiziki ve kimyevi değişmelerin sonucunda ortaya çıkar. Mühendislik malzemelerinde görülen bozulmanın aşınma sayılabilmesi için şu şartları sağlaması gerekir:

- Mekanik bir etken olması
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi
- Sürtünmenin bağlı olması
- İsteğimiz dışında meydana gelmesi
- Yavaş ve devamlı olmasıdır.

Aşınma, parçanın boyutsal değişikliğini ya da yüzey hasarını sonuçlandırarak eksen kaçıklığı veya titreşim gibi ikincil problemlere neden olur. Yüzeylerin gerilimli olması

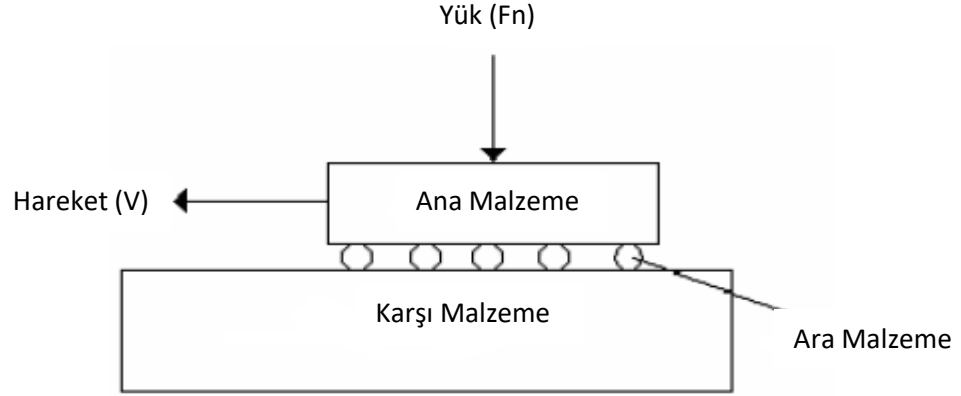


durumunda yüzeye yakın bölgede meydana gelen çatlakların ilerlemesi bazen parçaların kırılmasına sebep olabilir.

Makinelerde ortaya çıkan arızaların ve makine elemanlarının kullanım dışı kalmalarının en büyük sebeplerinden birisi, hatta en önemlisi aşınmadır. Çoğu zaman aşınma makine veya sistemin teknik ömrünü belirler. Sürtünme enerji kaybı ise aşınma da geri kazanılamayan madde kaybıdır. Bu sebeple, dünyada her yıl önemli ölçüde ekonomik zararlar meydana gelmekte, buna paralel olarak bu kayıpların önlenmesi için çeşitli tedbirler alınmaya çalışılmaktadır. Aşınmanın meydana geldiği tüm sistemlerde aşınmaya karşı tasarım açısından tüm önlemler alındıktan sonra kullanılan konstrüksiyon parçalarının ve takım malzemelerinin aşınmaya karşı korunması hem sistemin sağlıklı çalışabilmesi hem de işletme ekonomisi açısından son derece önemlidir. Aşınma bir yüzey problemi olduğundan aşınmanın önlenmesine veya yavaşlatılmasına yönelik önlemler parça yüzeyinde yoğunlaştırılmıştır. Son yıllarda yapılan gelişmelerde, aşınma dayanımını artırmaya yönelik malzeme yüzeyi kaplama teknikleri, mühendislik malzemelerinin seçiminde ve tasarımında önemli değişikliklere sebep olmuştur. Aşınma için alınan tedbirler aşınmayı bütünüyle ortadan kaldırmayıp, aşınmanın türüne ve tribolojik özelliklerine bağlı olarak aşınma hızını yavaşlatmak suretiyle kullanılan malzemelerin çalışma ömrünü artırır (Özcan, 2014).

Aşınma sisteminin temel unsurları şunlardır:

- Ana malzeme (Aşınan)
- Karşı malzeme (Aşındıran)
- Ara malzeme
- Yük
- Hareket



Şekil 2.4. Aşınma sisteminin temel unsurları (Özcan, 2014)

Aşınma sisteminde önemli faktörlerden biri de çevre şartlarıdır. Malzemeler, korozif ve nem ortamına maruz kalırsa aşınmaları hızlanır. Birbirine temas eden malzeme yüzeyleri, yağlayıcılar, sert kaplamalar ve oksit filmleri ile korunsalar dahi mekanik yüklemeler altında tabakaların ya da yağlamanın bozulması iki yüzeyin doğrudan birbirine temas etmesine sebep olabilir. Bunun sonucunda meydana gelen sürtünme, malzemenin çalışma koşullarındaki performansını ve ömrünü sınırlayan aşınmaya neden olur. Aşınmayı etkileyen faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- a) Ana malzemeye bağlı nedenler: Malzemenin kristal yapısı, elastisite modülü, malzemenin sertliği, yüzey pürüzlülüğü, malzemenin boyutu ve deformasyon davranışı.
- b) Karşı malzemeye bağlı faktörler ile aşındırıcının etkisi.
- c) Ortamın etkisi: atmosfer, nem, sıcaklık.
- d) Servis şartları: Kayma mesafesi, hız, basınç.

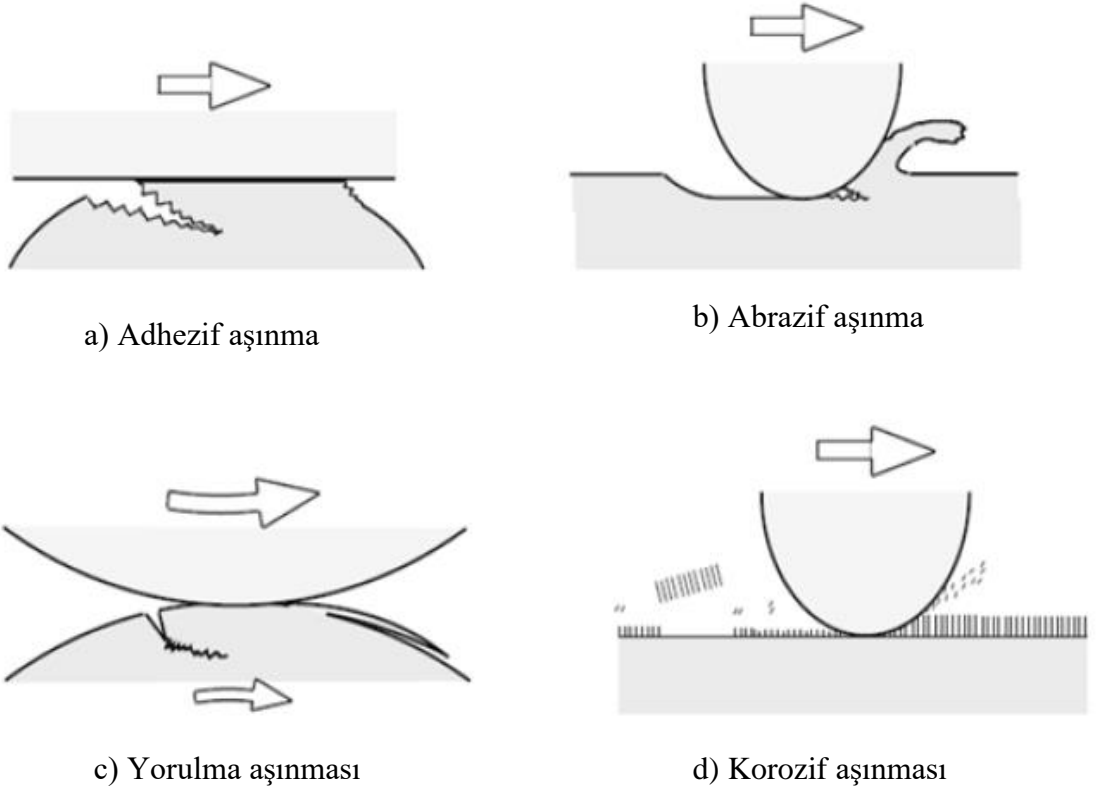
Sürtünerek çalışan makine elemanlarında kaçınılmaz bir son olan aşınma, sanayide birçok tribolojik sistemlerde yorulmanın ve korozyonun yanı sıra üçüncü büyük problemdir.

Bu nedenle günümüz teknik sistemlerindeki araştırmalar aşınma ve sürtünmeyi azaltma ve kontrol etme çalışmaları olarak yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla madde kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken diğer bir yandan enerji israfı da önlenmiş olur (Ünlüoğlu, 2012).

## 2.5. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma mekanik etkiler, temas yüzeylerinde ergimeyle oluşan mikro çatlaklar veya kimyasal çözünmenin sebep olduğu fiziksel malzeme kaybıdır. Aşınmanın temel mekanizmaları adhezif, abrazif, yorulma ile korozif aşınmadır. Tribolojik sistemlerde aşınma tek bir aşınma mekanizmasına bağlı olarak oluşmaz. Bunun için diğer aşınma mekanizmalarının bilinmesi gerekmektedir.

Aşınma mekanizmalarının bir makine elemanında birden fazlası aynı anda etkili olabilir. Oluşan aşınma belirli bir aşınma mekanizmasıyla meydana gelebilir ancak diğer mekanizmaları ile gelişebilir. Bu olay oluşan aşınmanın tespitini zorlaştırır. Aşınmaya uğrayan makine elemanları, genelde son aşınma mekanizmasının oluşturduğu kayıpları belirlemek için incelenirler. Hasar analizlerinde çeşitli yüzey analiz yöntemleri ve mikroskop kullanılır (Tomris, 2018).



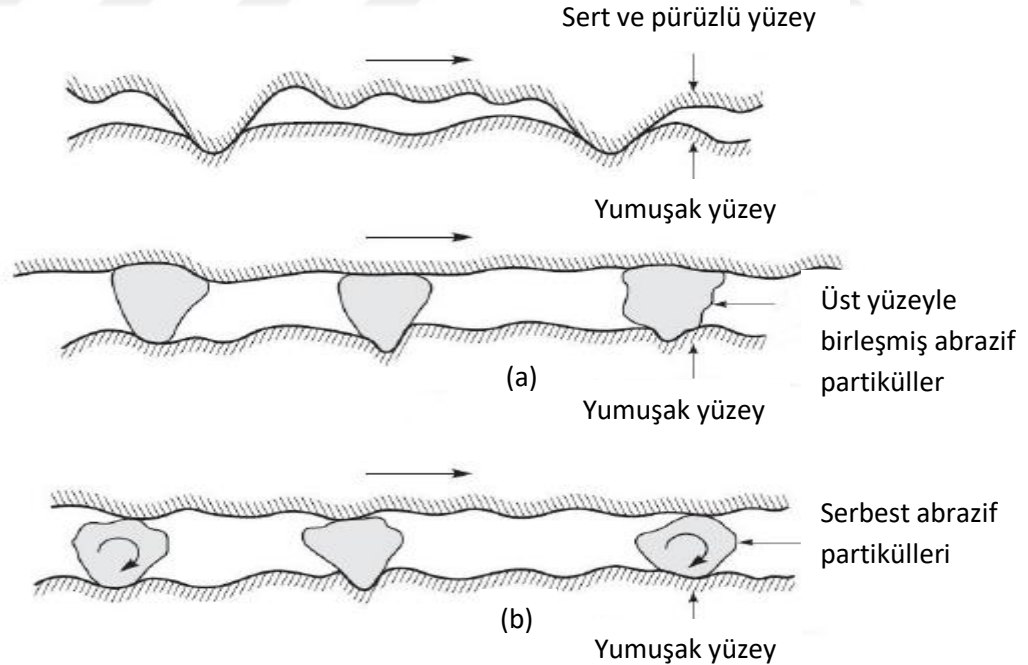
Şekil 2.5. Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimleri (Ünlüoğlu, 2012)



## 2.5.2. Abrazif aşınma

Abrazif aşınmada sert bir malzeme yüzeyinin pürüzleri daha yumuşak olan diğer malzeme yüzeyinin pürüzleri ile temasa geçtiğinde oluşur. Ara bölgede plastik deformasyonla yüzey hasarı meydana gelir. Metallerin pürüzleri düşük yüklerde dahi plastik deformasyona uğrayabilir. Abrazif aşınma, iki veya üç cisimli olarak gerçekleşebilir. Aşındırıcı ve sert yüzey diğer yumuşak yüzeyde hasar oluşturur. Üç cisimli abrazif aşınmada ara bölgedeki sert yüzeyler hareketli küçük aşınma parçacıklarıdır. Bu partiküller temas halinde olan cisimlerden adhezif aşınma ile koparak oluşurlar. Üçüncü cisimlerin ara yüzeyde hareket etmesiyle her iki yüzeyi de aşındırabilir.

Abrazif aşınma, malzemelerin yüzey sertliklerinin farklı değerlerde olduğu tribolojik sistemlerde oluşur. Yüzeyin sert pürüzleri veya yüzeyin sert partikülleri yumuşak yüzeye saplanır. Sürtünme ve aşınmanın sonucunda karşı yüzeyde aşınma kanalları ve çizikler oluşur. Abrazyonun şiddetli olmasıyla yüzeyden malzemeler kopabilir ve aşınmanın derecesi çok büyük değerlere ulaşabilir.



Şekil 2.7. Abrazif aşınma, a) Yüzey ile birleşmiş abrazif partiküllü aşınma, b) Serbest abrazif partiküllü üç cisimli abrazif aşınma (Tomris, 2018)

### **2.5.3. Yorulma aşınması**

Tribolojik temas sırasında tekrarlı yük ve sürtünme ile yüzeyde oluşan aşınma türüdür. Malzemeye etki eden bu tekrarlı yükler, yüzeyin altında ve üzerinde mikro çatlaklar oluşmasına sebep olur. Bu durum, yüzeyin parçalanmasına ve yüzeyde büyük çukurlar oluşmasına neden olur. Bu kritik noktadan önce birçok yük çevrimi meydana gelebilir ve yorulma aşamasından daha önce adhezif veya abrazif aşınma mekanizmalarının sebep olduğu şiddetli aşınmalar gerçekleşebilir. Bu nedenle, yorulma aşınmasıyla kaybedilen malzeme miktarı önemsiz hale gelebilir. Sonuç olarak çevrim sayısı ve süresinin yorulma aşınmasından önce belirlenmesi daha önemlidir.

### **2.5.4. Korozyon aşınma**

Korozyon bir ortamda tribolojik temas meydana geldiğinde korozyon aşınma gerçekleşir. Atmosfere açık ortamda en iyi korozyon etkiyi oksijen yapar. Bu sebeple açık atmosferde gerçekleşen aşınmaya çoğunlukla oksidatif aşınma adı verilir. Metalik malzemelerin yağlamasız ortamdaki teması sırasında yüzey pürüzlerinin birbirine temas ettiği noktalarda oluşan yüksek sıcaklıklar, yaklaşık 1 mikrometre kalınlığında oksit tabakaları oluşturur. Tribokimyasal reaksiyon sonucu oluşan oksidasyon, yağ filmi kalınlığının malzemenin yüzey pürüzlülüğünden çok daha küçük olduğu sınır yağlama halinde de meydana gelebilir. Oksidatif aşınmada, oksit tabakalarından kopan partiküller aşınma kalıntısı oluşturabilirler. Ortam sıcaklığı düşük olduğunda yüzey pürüzlerinin temas bölgelerinde oksidasyon oluşur. Daha yüksek ortam sıcaklıklarında malzemelerin temas yüzeylerinin tamamında oksidasyon oluşur ve bu aşınmayı etkiler (Tomris, 2018).

## **2.6. Aşınma Ölçüm Yöntemleri**

### **2.6.1. Ağırlık farkı yöntemi**

Ekonomik bir yöntem olması ve ölçülen büyüklüğün duyarlılık kapasitesinin hassas olması sebebi ile en çok kullanılan ölçüm yöntemidir.  $10^{-4}$  veya  $10^{-5}$  gr hassasiyetinde ağırlık kaybı duyarlı terazi ile ölçülür. Gram veya miligram cinsinden aşınma miktarı

ifade edilmiş ise, yapılan yol metre veya kilometre olarak uygulanmış bulunan kayma veya sürtünme mesafesine göre birim kayma mesafesine karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) olarak ifade edilir. Ölçülen ağırlık farkı birim alanı için hesap edilecek olursa (gr/cm<sup>2</sup>) gibi birim ile ifade edilebilir. Bu yöntemin en çok kullanılan bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$W_a = \frac{G}{d.M.S} \quad (2.3)$$

$W_a$ : Aşınma oranı (mm<sup>3</sup>/Nm)

$G$ : Ağırlık kaybı (gr)

$M$ : Yükleme ağırlığı (N)

$S$ : Aşınma yolu (m)

$d$ : Malzeme yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>) olarak formülize edilmiştir.

### 2.6.2. Kalınlık farkı yöntemi

Aşınma sırasında meydana gelebilecek boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıçtaki değeriyle karşılaştırılması ile elde edilir. Kalınlık olarak tespiti yapılan değer, hacimsel olarak tespit edilip malzemenin birim hacimdeki aşınma miktarı belirlenir. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile 1 mikrometre duyarlılıkta ölçülebilir. Boyutsal değişimin ölçülmesi için sistemin durdurulmasına gerek yoktur. Bunun için mekanik (mikrometre), elektronik (lineer deplasman ölçer), optik (mikroskop) yöntemleri de kullanılabilir.

### 2.6.3. İz değişim yöntemi

Plastik deformasyon metodu ile sürtünme yüzeyinde geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Bu izin deney boyunca karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi izlenir. İz bırakıcı olarak en fazla kullanılan aletler, Brinell veya Vickers sertlik ölçme uçlarıdır. Uçların bıraktığı izlerin boyutlarındaki değişimler mikroskop ile ölçülerek değerlendirilir.

#### **2.6.4. Radyoizotop ölçüm yöntemi**

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron ya da yüklü atom parçacıkları ile bombardımana uğratarak radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Oluşan aşınmanın büyük hassasiyet ile ölçülmesi ve sistemin çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi avantajlarıdır. Ekonomik olmaması sebebiyle özel problemlerin çözümü dışında çok kullanılan bir yöntem değildir (Apay, 2013).

#### **2.6.5. Bilgisayar destekli aşınma ölçüm yöntemi**

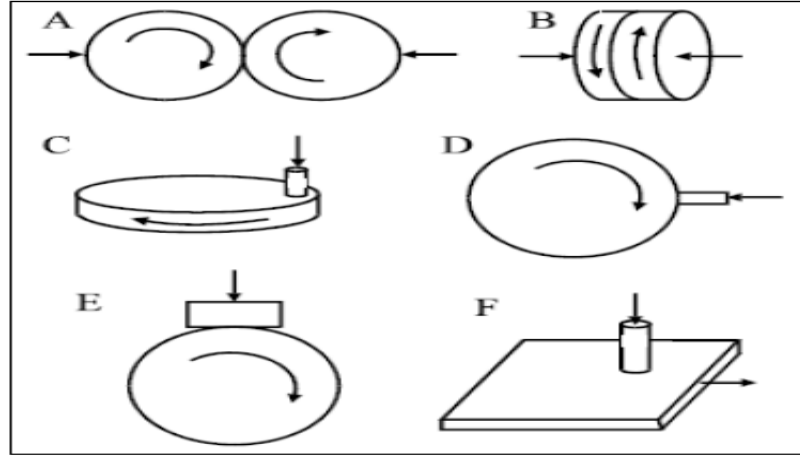
Bu yöntemde aşınma değişkenlerine ait veriler, pim-disk aşınma test mekanizmasına eklenen uygun sensörler vasıtasıyla belirlenmektedir. Aşınma kayıpları ile sürtünme katsayısı verileri bilgisayara A/D-D/A kartlar vasıtasıyla aktararak işlenir. Bu veriler, paket program ile grafik formlara dönüştürülebilir, istatistiksel analizler uygulanabilir veya diğer hesaplamalarda kullanılabilir. Uygulanan sistemin duyarlılığı, kullanılan sensörler ile kontrol kartının voltaj değerindeki lineer sapmasına bağlıdır (Ayvaz, 2013).

#### **2.7. Aşınma Deney Yöntemleri**

Aşınma çalışmalarında çok fazla değişik deneysel düzenekler kullanılmaktadır. Laboratuvar çalışmaları, genellikle hem meydana gelen aşınma mekanizmalarının incelenmesini hem de pratik olarak yapılan uygulamaların benzeşiminin yapılması ve aşınma oranlarıyla sürtünme katsayıları için kullanışlı dizayn verilerinin ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır. Her iki amaç için de aşınmayı etkileyebilecek olan tüm değişkenlerin ölçüm ve kontrolü çok önemlidir.

Şekil 2.8’de yaygın olarak kullanılan aşınma ve test aparatlarının geometrik şekilleri verilmiştir. Tribometre kelimesi 1774 yılında sürtünmeyi ölçmek için kullanılan mekanizmaya isim olarak verilmiş veya birkaç aparat için de isim olarak kullanılmaktadır (Özsaraç, 1999). Simetrik düzen, aşınma deneylerinde pek sık kullanılmaz. Bu düzene Şekil 2.8’de gösterilen A ve B düzenleri örnek olarak verilebilir. Bu düzen tipinde çevreleri boyunca temas halinde bulunan (A) veya yüzeyleri boyunca temas eden (B)’de iki disk veya her ikisi de dönen bilezik bulunur.

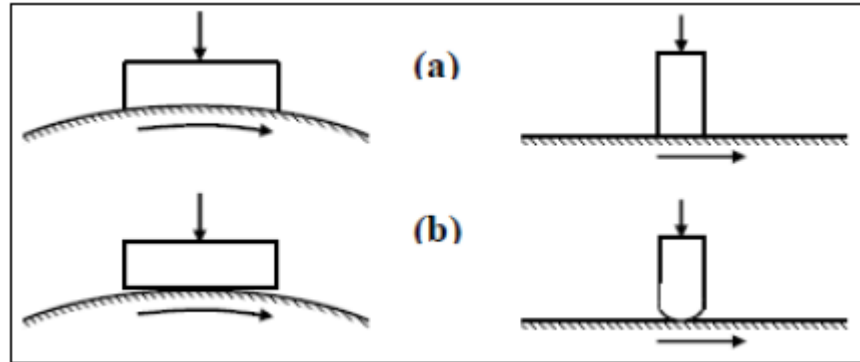




Şekil 2.8. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenler (Ayvaz, 2013)

Yaygın olarak asimetrik cihazlarda diskin üzerine bastırılan pim kullanılmaktadır. Bu pim diskin düz yüzeyi üzerine (C) veya kenarına (D) bastırılır. Bu düzen tipi bileziğin kenarına bastırılan bir blok (E) veya pimin düz bir yüzey üzerine bastırılması (F) şeklinde olabilir.

Test cihazında uygulanan temas şekilleri belirli bir alan teması (düz uçlu bir pim veya bir bloğun düz bir disk ya da bir bilezik üzerine teması) veya bir çizgi ya da nokta teması (bir disk üzerine düz uçlu ya da bir bilezik düz bir blok) şeklindedir. Temas şekilleri Şekil 2.9'da detaylı olarak gösterilmektedir (Özsaraç, 1999).



Şekil 2.9. Deney cihazlarında temas şekilleri (Özsaraç, 1999)

Aşınma test metotları ulusal standartlara sahiptir. Örneğin; bilezik üzeri blok (ASTM G77), disk üstü pim (ASTM G99), düz yüzey üzeri döner pim (ASTM G98), çapraz silindir (ASTM G83) ve disk üstü küre ASTM G99) (Ayvaz, 2013).

Kayma şartları altındaki aşınma, kayma hızı ve test süresinin büyük olmasına bağlıdır. Bir aşınma testinin sonuçları ile bu aşınmanın yarı süresi, iki kat hız ile sahip olunan bir başka aşınma testinin sonuçlarının aynı olması beklenilemez. Aşınma ayrıca kayma yüzeyleri arasındaki nominal temas etme basıncına da bağlıdır. Temas basıncındaki değişmelerin meydana getirdiği geçişleri de içerir. Temas basıncından ayrı olarak numunenin lineer boyutları da önemlidir. Yapılan çalışmalarda uzun bir numunenin kenarına yakın bir bölgedeki aşınma hasarı, temas bölgesinden geçişi sırasında kısa bir numunedeki aşınma hasarına göre çok daha etkilidir.

Normal yük, kayma hızı, temas alanı ve test süresindeki büyük değişikliklerden başka diğer farklı faktörlerde aşınma testinde hesaba katılmalıdır. Test sıcaklığı malzemenin mekanik özellikleri ve sıcaklığın harekete geçirdiği işlemler üzerindeki etkisi büyük ölçüde önemlidir. Test sıcaklığı yağlı sistemlerde yağ viskozitesi üzerine etkisinden dolayı önemlidir. Atmosferik bileşenler de önemlidir. Oksijen veya su buharı gibi reaktif bileşenler bütün malzemelerde aşınma oranını ve mekanizmasını büyük bir şekilde etkiler. Yağlı sistemlerde, yağ filmlerinde oluşan basınç dağılımı ve bunun sonucu yağlayıcı maddenin miktarı ve film kalınlığı da önemli faktörlerdir.

Temas gerilmeleri, kayma hızları, temas şartları ve kimyasal ortam aşınma testlerinde önemli bileşenlerdir. Sürtünmenin ölçülmesi ile ve test sonrası aşınmış olan yüzeylerin ve hasarın son muayenesi ile bu önem daha ön plana çıkmaktadır. Aşınma mekanizması, servis uygulamalarında olduğu gibi aşınma testinde de aynıdır. Bir laboratuvar deneyinin sonuçları güvenle bir pratik probleme uygulanabilir (Özsaraç, 1999).

## BÖLÜM 3. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER VE YAPILAN DENEYLER

### 3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu deneysel çalışmada 50nm, 1.5µm ve 2.6µm boyutlarındaki Mg(OH)<sub>2</sub> katkısını Polipropilen polimeri içerisine Tablo 3.1’de görüldüğü üzere %2-%4-%6-%10 oranlarında ilave edilerek kompozit malzeme oluşturulmuştur.

Tablo 3.1. Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı Polipropilen kompozitlerin karışım oranları

GRUPLAR	%PP	1. Tip Mg(OH) <sub>2</sub> 50nm	2. Tip Mg(OH) <sub>2</sub> 1.5µm	3. Tip Mg(OH) <sub>2</sub> 2.6µm
1	100			
2	98	2		
3	98		2	
4	98			2
5	96	4		
6	96		4	
7	96			4
8	94	6		
9	94		6	
10	94			6
11	90	10		
12	90		10	
13	90			10

Polipropilen ve kompozitlerinin hazırlanması ve üretilmesi Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde bulunan Plastik İşleme Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylede kullanılan Polipropilen malzemesi SABIC S579 kodu ile SABIC firmasından alınmıştır. Katkı malzemesi olarak magnezyum hidroksit ( $Mg(OH)_2$ ) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan toz haldeki  $Mg(OH)_2$  katkı, PP polimeri ve kaydırıcı ile birlikte mekanik karıştırıcıda 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Ayrıca kompozit malzemeler endüstriyel tip (Mikrosan) tek vidalı (L/D=30 Çap:25) bir ekstrüder makinasında 190-230°C ısıtıcı sıcaklık aralığında, 20-30 Bar basınçta, 25 dev/dak'da granül formunda üretilmiştir.



Şekil 3.1. Ekstrüder makinası

Granül formunda üretilen  $Mg(OH)_2$  katkılı PP polimer kompozitler enjeksiyonla kalıplama ile 80 ton kapasiteli enjeksiyon makinasında (Yonca Makine marka), 175-230°C sıcaklık arasında ve 100 bar enjeksiyon basıncında pim formunda basılmıştır.



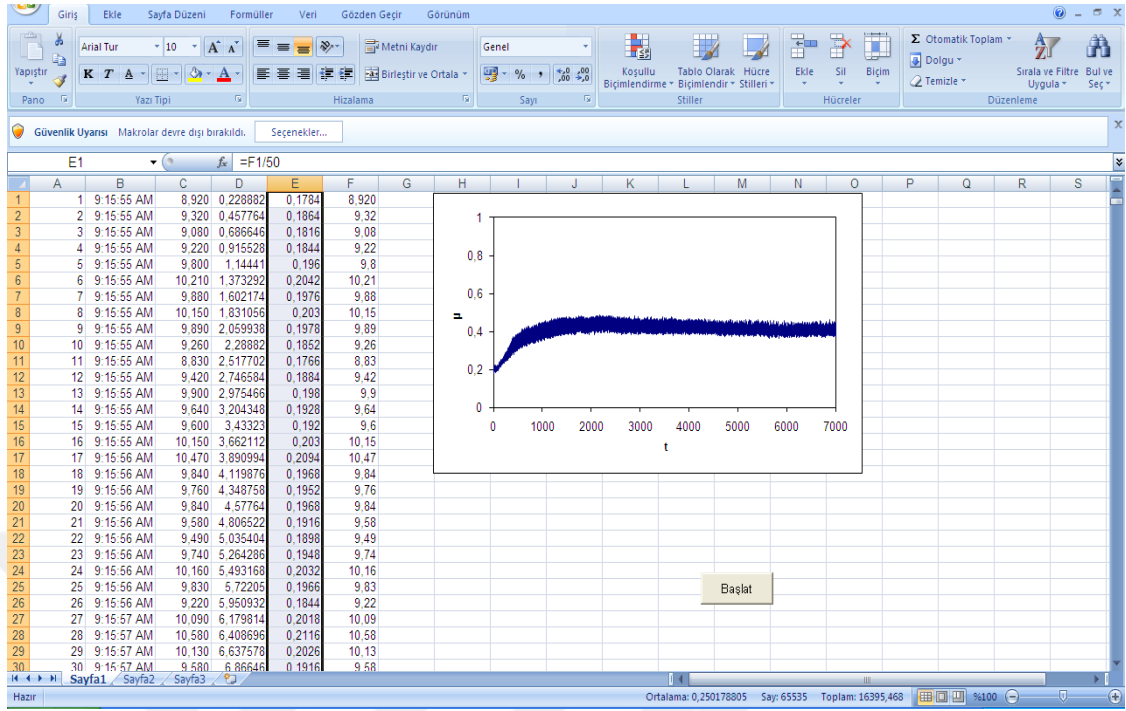
Şekil 3.2. Plastik enjeksiyon makinası

### 3.2. Aşınma Deneyi

Aşınma deney makinası, ana gövde üzerine monte edilmiş elektrik motoru, bir kuvvet kolu, elektronik yük hücresi ve verilerin kayıt edildiği bilgisayar kısımlardan meydana gelmektedir. Aşınma cihazının ana gövdesine bağlı dönen bir disk vardır. Bu diskin dönmesi aşınma cihazına bağlı olan elektrik motorunun sayesinde. Bu diskin üzerine deneyde kullanmamız için gerekli olan disk malzemesi bağlama ekipmanları ve vida yardımıyla sabitlenir. Aşınmanın gerçekleştirileceği pim numunesi 6 mm çapında olup aşınma düzeneği üzerinde bulunan kola bağlanır. Deneye başlamadan önce aşındırıcı olarak kullanılacak olan çelik disk yüzeyi ve aşındırılacak pim numuneleri aseton ile temizlenir. Aşınma makinası çalıştırıldıktan sonra kola bağlanan polimer pim malzemesi diskin üzerine yavaşça bırakılır ve pim malzemesinin hareket halindeki diske temas etmesi sonucu meydana gelen sürtünmeyle beraber pim malzemesi ve kol aparatı dönüş yönüne bağlı olarak hareket eder. Bu harekete yanal kuvvet denilmektedir. Bu yanal kuvvet aşınma makinasına bağlı olan yük hücresi ile ölçülüp bilgisayardaki özel olarak tasarlanmış olan Excel programına aktarılmaktadır.

Aşınma cihazında yapılan deneyler için dakikada 1000 veri alınabilecek biçimde ayarlanmıştır. Uygulaması yapılan deney sürelerine göre 7000 - 65.000 aralığında veriler elde edilmektedir. Yanal yükten gelen veriler Excel programında yer alan D sütunundaki değerlerdir. Elde edilen veriler Y ekseninde, deney süresi ise X ekseninde görülecek şekilde grafikler oluşturulmuştur. Bu şekilde oluşturulan grafikler sürtünme katsayısı-zaman grafiği olarak isimlendirilmiştir. Şekil 3.9'da aşınma deneyi sonucunda elde edilen verilerin bilgisayar ortamındaki Excel programında şeklini göstermektedir.

Bu yüksek lisans çalışmasında yapılan aşınma deneylerinde kullanılmak için 6mm çapında ve 50mm uzunluğunda pim şeklindeki malzemeler plastik enjeksiyon makinasında üretilmiştir. Aşındırıcı olarak kullanılan karşı disk malzeme 100 mm çapında ve 8 mm kalınlığında AISI 316L paslanmaz çelikten elde edilen malzeme kullanılmıştır. Deneylerden önce disklerin yüzeyleri taşlanmış daha sonra yapılan her deneyin sonunda 1200 no'lu zımpara ile parlatılmış ve aseton ile yüzeyi temizlenmiştir. Disklerin yüzey pürüzlülüğün aşınmaya etkisinin önemli olmasından dolayı ölçümleri yapılmış olup, ortalama yüzey pürüzlülüğü  $R_a=0,48$  olarak saptanmıştır.



Şekil 3.9. Aşınma deneyinde elde edilen verilerin excel formatında görünümü

Sürtünme katsayısı yanal kuvvetin normal kuvvete bölünmesi ile elde edilir ve aşağıdaki (Denklem 3.1) formülle hesaplanır.

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

Formülde verilen değerlerin açılımı şu şekildedir;

$\mu_m$  : Sürtünme katsayısı

$F_S$  : Yanal sürtünme kuvveti (N)

$F_N$  : Normal kuvvet (N)

Aşınma deneyi bittikten sonra pim numunesinin bağlı olduğu kol kaldırılır ardından aşınma programı durdurulur. Daha sonra çelik diski döndüren motor durdurulur. Bağlı olan pim yerinden sökülür ve eğer üzerinde yapışan aşınma partikülleri ve çapaklar var ise alınır, aşınma kaybı için dijital terazide tartılarak aradaki fark belirlenir. Aşınma farklarının ölçümünde kullanılan hassas dijital terazi 0.0001g hassasiyetine sahip

Radwag marka cihazdır. Her bir aşınma deneyi en az üç kez yapılmış ve aşınma ve sürtünme değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Test öncesi ve sonrası ağırlık kaybı tespit edilmiş ( $\Delta m$ ) ve aşağıda verilen formül (Denklem 3.2) kullanılarak spesifik aşınma oranları ( $K_0$ ) hesaplanmıştır.

$$K_0 = \Delta m / L \cdot \rho \cdot F \text{ ( m}^2 / \text{N)} \quad (3.2)$$

Burada;

$\Delta m$ : ağırlık kaybı, g

L: kayma mesafesi, m

F: uygulanan yük, N

$\rho$ : malzemenin yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>

Bu tez çalışmasında kullanılan PP polimer ve kompozitlerinin aşınma deneyleri, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği alanında bulunan Plastik Laboratuvarında Şekil 3.10'da gösterilen pin-on disk aşınma cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.10. Pin-on disk aşınma test cihazının görünümü

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL BULGULAR**

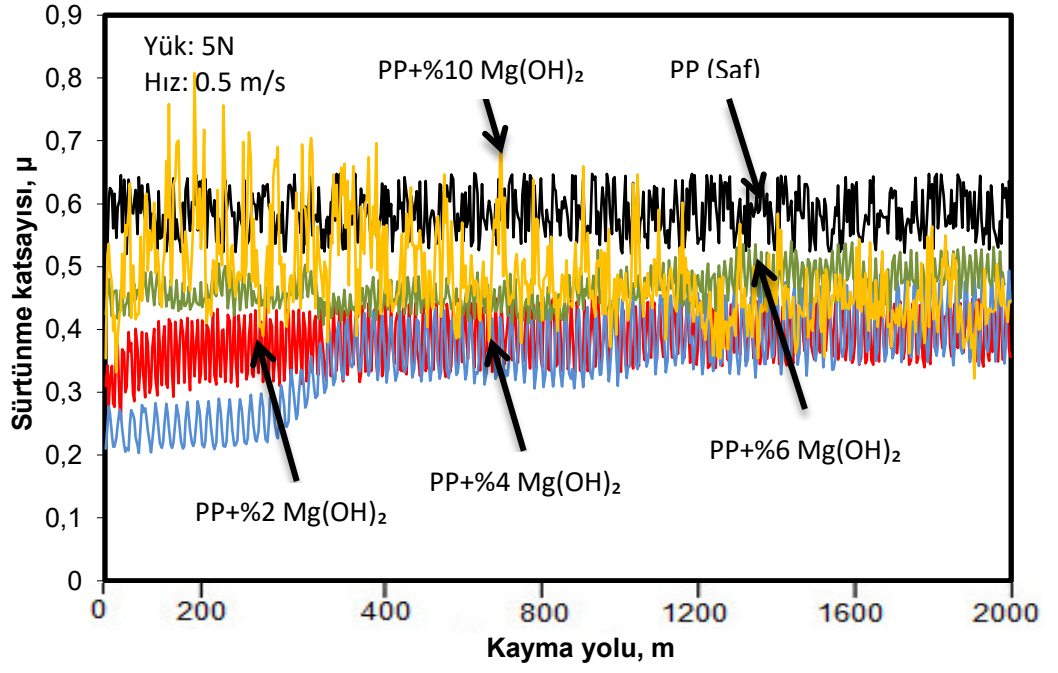
### **4.1. 50nm Tane Boyutuna Sahip Mg(OH)<sub>2</sub> Katkılı PP Kompozitlerin Deneysel Bulguları**

#### **4.1.1. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi**

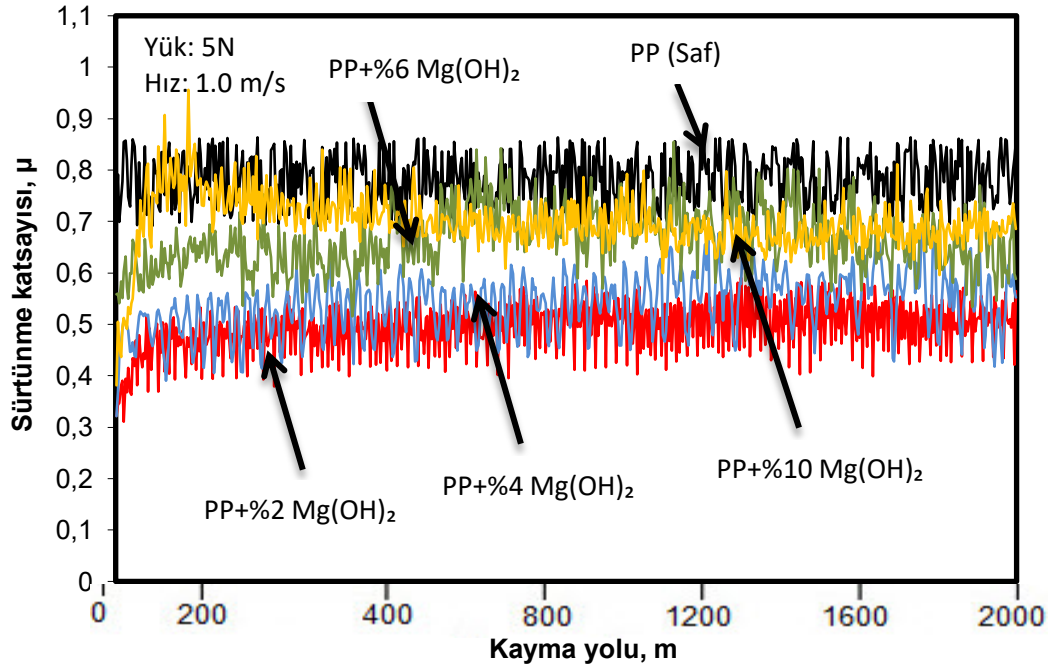
Deneyleerde kullanılan saf PP polimeri ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerinin AISI 316L paslanmaz çelik malzeme yüzeyine karşı aşınma analizleri;

5N yük ve 0.5m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.1'de verilmiştir. Saf PP polimeri ile %6 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı kayma yolunu başlangıçtan itibaren kararlı bir şekilde tamamladığı görülmüş olup sürtünme katsayıları sırasıyla 0.58 ve 0.48'dir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayısı 160m mesafe aldıktan sonra stabilize olup 0.39 değerindedir ve %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme yaklaşık 380m mesafe aldıktan sonra kararlı hale gelerek 0.42 sürtünme katsayısı değerinde olduğu saptanmıştır. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozit malzeme ise başlangıçta artış göstermiş olup daha sonra stabil bir şekilde azalarak kayma yolunu ortalama 0.47 sürtünme katsayısı değerinde tamamladığı saptanmıştır.





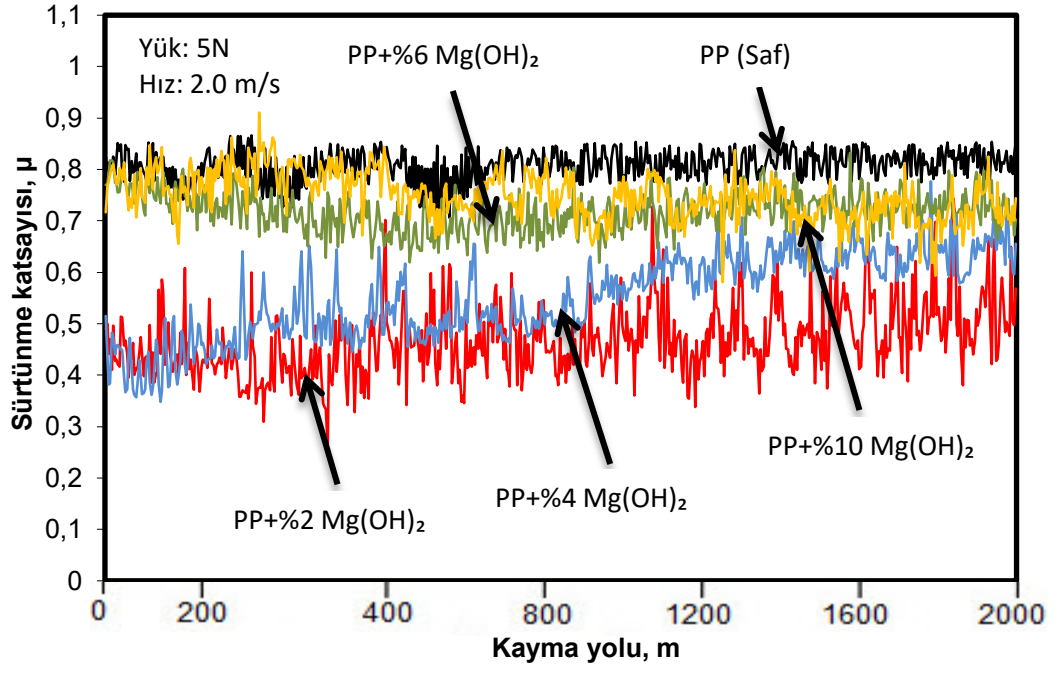
Şekil 4.1. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 0.5m/s)



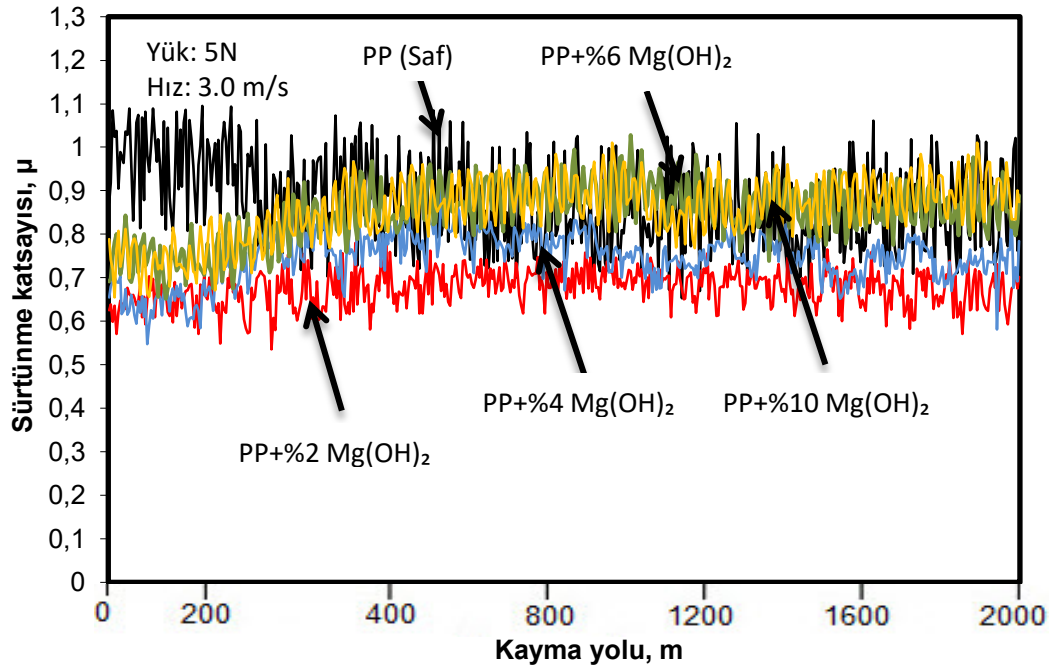
Şekil 4.2. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 1.0m/s)

Şekil 4.2’de 5N yük ve 1.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde saf PP polimer malzemesinin sürtünme katsayısı kayma yolunu başlangıçtan itibaren geniş sürtünme katsayısı aralığında kararlı bir şekilde 0.77 değerinde tamamladığı görülmüştür. %2 ve %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı başlangıçta artış göstererek yaklaşık olarak 300m mesafe aldıktan sonra kararlı hale geldiği saptanmış olup sırasıyla 0.47 ve 0.54 değerindedir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısını başlangıçtan 600m’ye kadar düzensiz bir şekilde artırdığı ve 600m ile 1500m mesafe arasında stabilize olduğu belirlenmiş ve sonrasında azalarak 2000m kayma yolunu tamladığı tespit edilmiş olup ortalama 0.65 değerine sahip olduğu görülmüştür. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme 300m mesafeye kadar sürekli artış göstermiş olup sonrasında sürtünme katsayısını az miktarda azaltarak kayma yolunu 0.69 değerinde tamamladığı belirlenmiştir.

Değişen oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.3’te verilmiştir. 5N yük ve 2.0m/s kayma hızı uygulanan deneylerde Saf PP polimer malzemesinin sürtünme katsayısı kayma yolunu ilk 600m mesafeye kadar dar bir aralıkta dalgalı şekilde tamamlarken sonrasında kararlı hale geldiği belirlenmiş ve 0.81 sürtünme katsayısına sahip olduğu saptanmıştır. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı geniş bir aralıkta kayma yolu boyunca artarak 2000m mesafeyi ortalama 0.52 değerinde tamamladığı belirlenmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçtan itibaren hızla artarak 0.44 seviyesinden 0.65 sürtünme katsayısı değerine ulaştığı ve ortalama 0.64 değerinde olduğu tespit edilmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçta azalma göstererek yaklaşık olarak 400m mesafeden sonra ortalama 0.74 değerinde stabilize olarak yolu tamamladığı belirlenmiştir. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı kayma yolunu kararlı bir şekilde az miktarda azalma göstererek 0.76 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir.



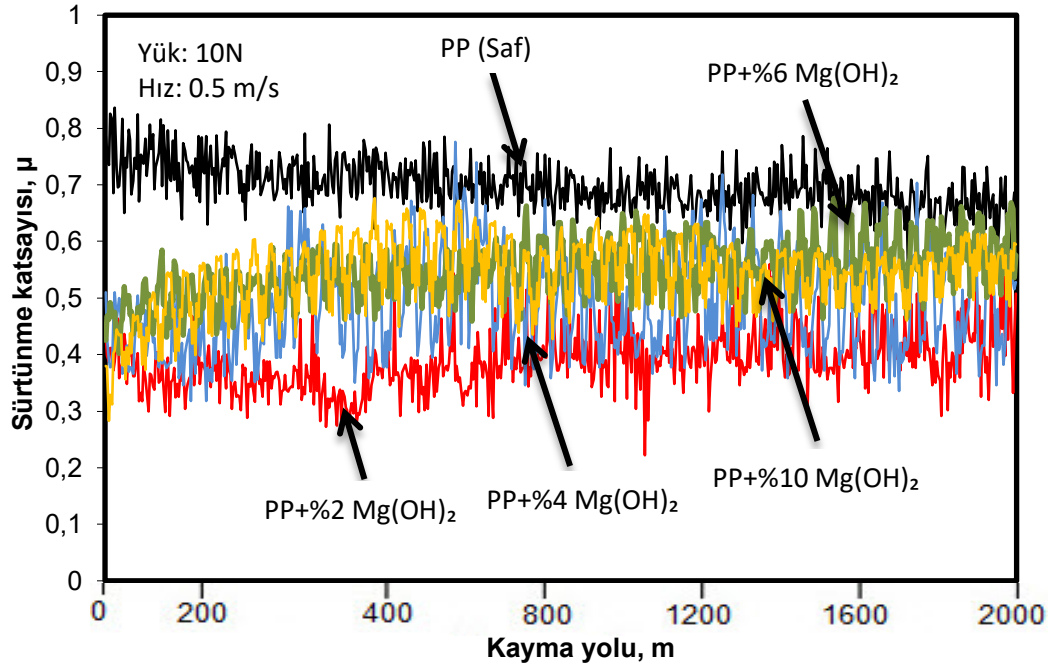
Şekil 4.3. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 2.0m/s)



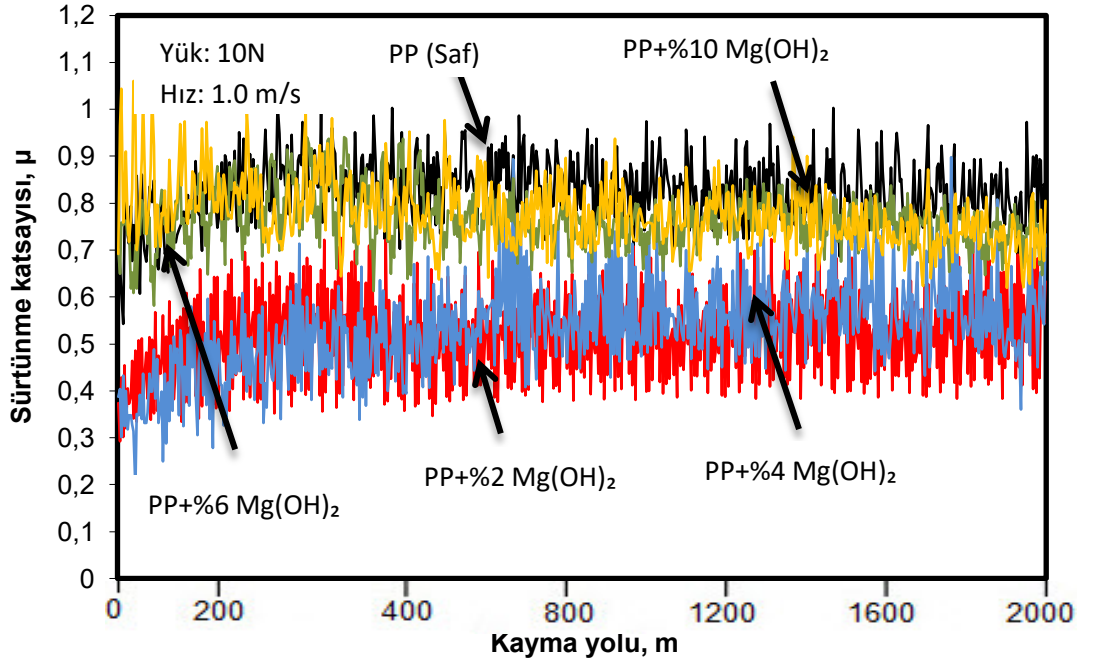
Şekil 4.4. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 3.0m/s)

Şekil 4.4'te 5N yük ve 3.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde saf PP polimer malzemesi sürtünme katsayısını başlangıçtan 800m'ye kadar azaltarak sürdürdüğü ve ardından stabilize olarak kayma yolunu 0.91 değerinde tamamladığı görülmüştür. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı yaklaşık 500m mesafe aldıktan sonra kararlı hale gelerek 0.66 değerinde olduğu tespit edilmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı başlangıçta artış göstermiş olup kayma yolunu yaklaşık olarak 1000m mesafeden sonra stabilize olarak tamamladığı ve 0.76 değerinde olduğu saptanmıştır. %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 600m mesafeye kadar artış göstermiş olup sonrasında 2000m kayma yolunu kararlı hale gelerek tamamladığı ve sürtünme katsayı değerlerinin sırasıyla 0.84 ve 0.90 olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.5'te saf PP polimeri ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin 10N yük 0.5m/s kayma hızında sürtünme katsayısı ile kayma yolu ilişkisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf PP polimer malzemesinin sürtünme katsayısı 0.74'ten 0.67'ye kadar kararlı bir şekilde azalarak kayma yolunu ortalama 0.67 değerinde tamamladığı saptanmıştır. %2 ve %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 600m mesafe aldıktan sonra az miktarda artarak stabilize duruma geldiği belirlenmiş ve sırasıyla 0.44 ve 0.56 değerinde olduğu saptanmıştır. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme kayma yolunu 400m yol aldıktan sonra geniş sürtünme katsayısı aralığında tamamlarken %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme başlangıçta artış göstermiş (0.45'ten 0.56'ya) olup 1200m yol aldıktan sonra stabilize olduğu görülmüş ve her iki malzemenin ortalama 0.50 değerinde olduğu tespit edilmiştir.



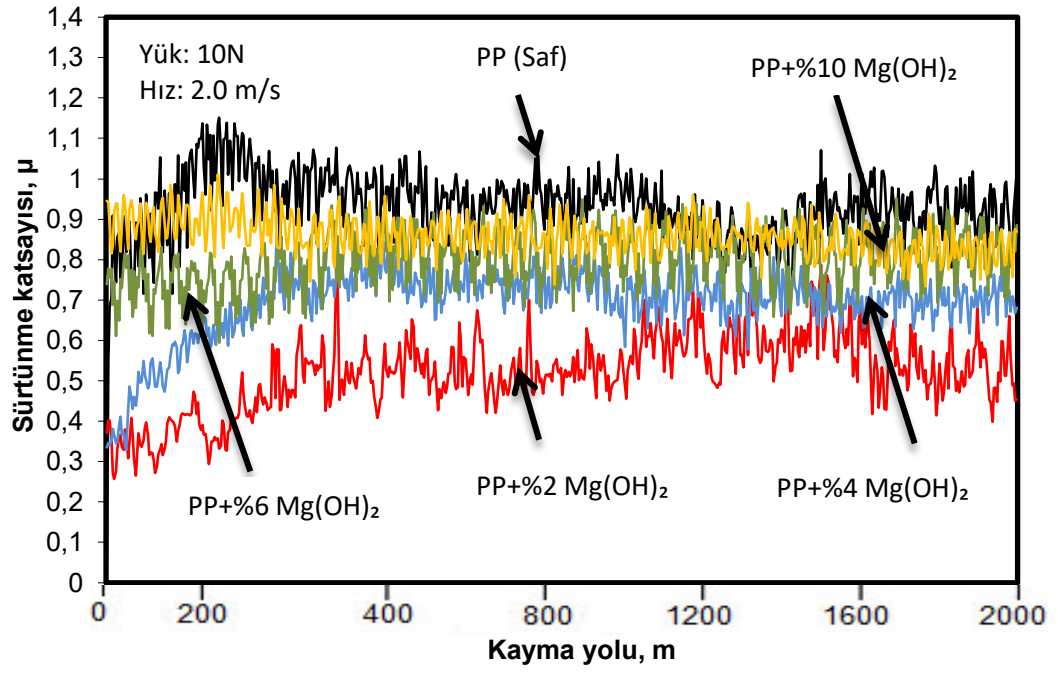
Şekil 4.5. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 0.5m/s)



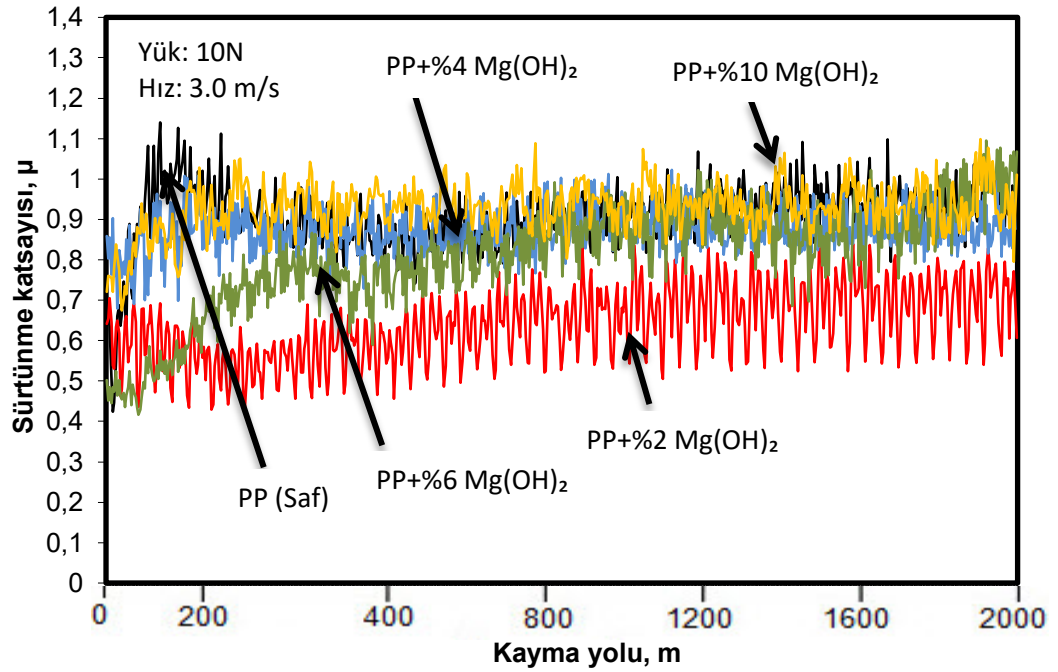
Şekil 4.6. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 1.0m/s)

Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.6'da verilmektedir. Saf PP polimer malzemesi 300m mesafeye kadar sürtünme katsayısını artırırken daha sonra 0.90 değerinden 0.82 değerine kadar azalarak ilerleme kaydettiği belirlenmiş ve ortalama 0.84 değerinde olduğu tespit edilmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı 400m mesafeye kadar artma gösterirken bu mesafeden sonra kayma yolunu geniş bir aralıkta ortalama 0.84 değerinde tamamladığı saptanmıştır. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme 600m'ye kadar sürtünme katsayısını artırırken 1800m mesafeye kadar geniş bir aralıkta kararlı olarak devam etmiş ve sonrasında azalma göstererek yolu ortalama 0.58 değerinde tamamlamıştır. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme ise başlangıçta sürtünme katsayısında artış göstermiş olup 1300m mesafeye kadar dalgalı bir şekilde azalma göstermiş ve sonrasında stabilize olarak ortalama 0.76 sürtünme katsayısı değerinde olduğu tespit edilmiştir. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı 400m ile 2000m kayma mesafesi arasında sabit azalma eğrisi çizgisi gösterdiği ve ortalama 0.78 değerinde olduğu görülmüştür.

Şekil 4.7'de saf PP polimer ile %2, %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı eğrisi başlangıçta artış göstermiş olup 2000m kayma mesafesini ortalama 1600m'ye kadar düzensiz olarak mesafe aldıktan sonra kararlı hale gelerek tamamladığı ve sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0.89, 0.56 ve 0.70 olduğu tespit edilmiştir. %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları 400m yol aldıktan sonra stabilize olduğu ve sırasıyla 0.82 ve 0.84 değerinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 2.0m/s)

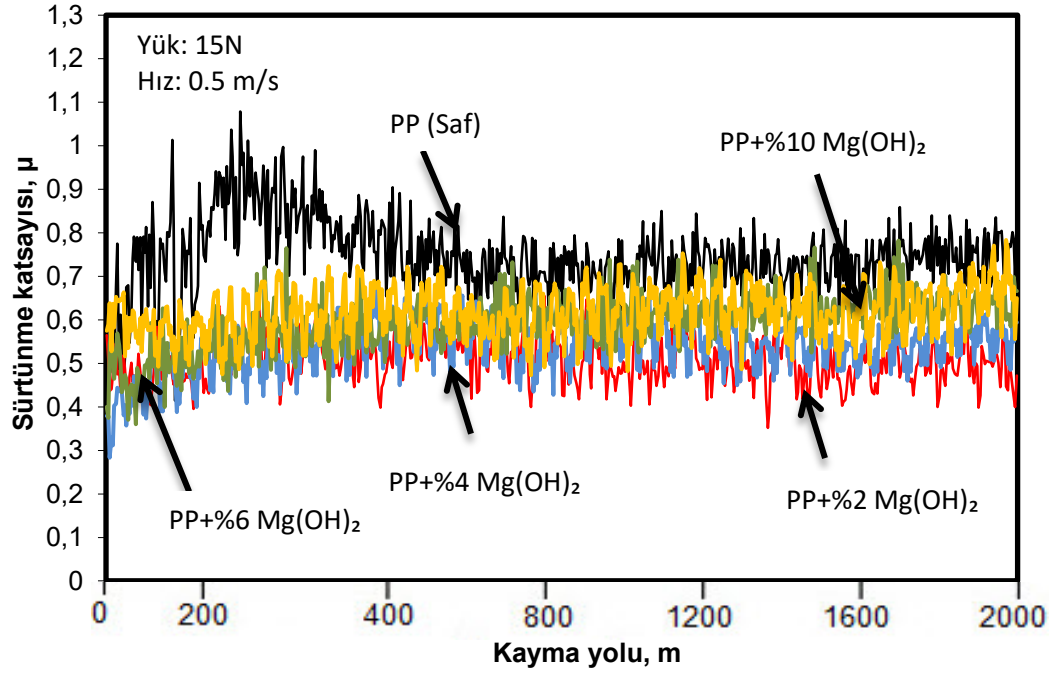


Şekil 4.8. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 3.0m/s)

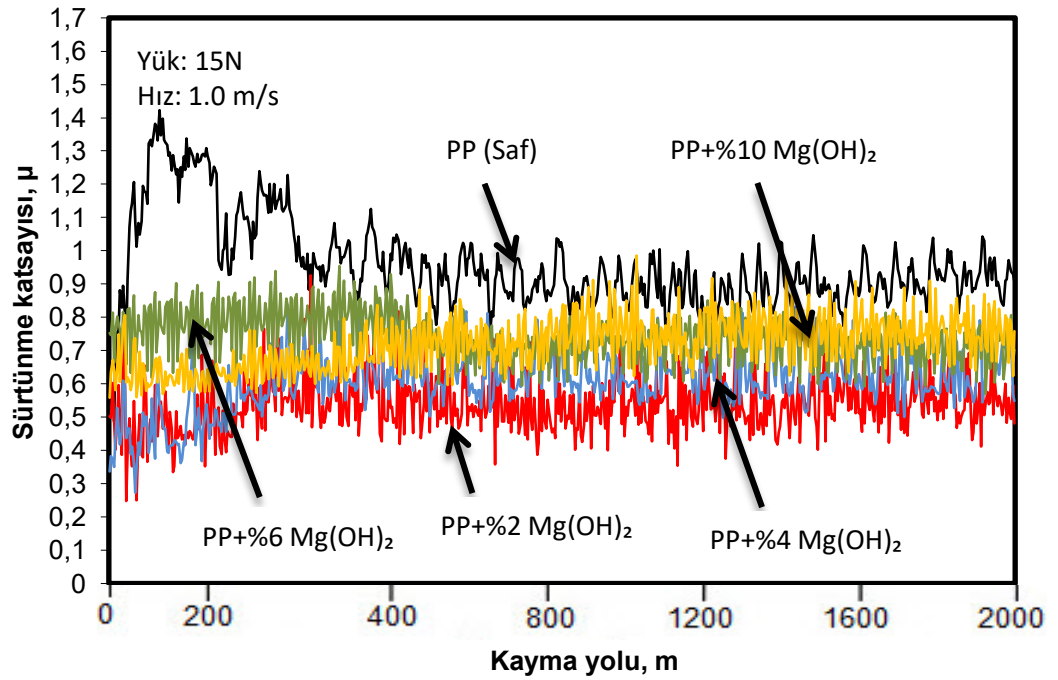
Şekil 4.8’de saf PP polimeri ile değişen oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin 10N yük ve 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı ile kayma yolu ilişkisi gösterilmektedir. Saf PP polimer malzemesi başlangıçtan 200m mesafeye kadar artış göstermiş olup 800m mesafe aldıktan sonra stabilize hale gelirken ortalama olarak sürtünme katsayısının 0.97 olduğu tespit edilmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemenin sürtünme katsayısı ise 600m mesafeden sonra geniş bir aralıkta (0.57-0.76) stabilize hale geldiği ve ortalama 0.68 değerinde olduğu belirlenmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozit malzemenin sürtünme katsayısı 200m mesafeye kadar artış gösterirken 800m yol gittikten sonra kararlı hale gelerek ortalama 0.90 değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçtan itibaren düzensiz bir şekilde (0.50’den 0.92’a) artarak 2000m kayma yolunu ortalama 0.92 sürtünme katsayısı değerinde tamamladığı saptanmıştır. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçta artış göstermiş olup 400m mesafe aldıktan sonra ortalama 0.94 sürtünme değerinde stabilize olarak kayma yolunu tamamladığı belirlenmiştir.

Farklı oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.9’da verilmiştir. 15N ve 0.5m/s kayma hızında yapılan deneylerde saf PP polimer malzemesi ile %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP esaslı kompozit malzemenin sürtünme katsayıları ortalama 600m mesafe aldıktan sonra stabilize olduğu ve sırasıyla sürtünme katsayısı değerlerinin 0.75 ve 0.48 olduğu saptanmıştır. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı başlangıçta artış göstermiş olup kayma yolunu geniş sürtünme katsayısı aralığında ortalama olarak 0.52 değerinde tamamladığı saptanmıştır. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı 200m mesafe aldıktan sonra kararlı bir şekilde kayma yolunu 0.66 değerinde tamamladığı belirlenmiş olup %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme ise başlangıçtan 1800m mesafeye kadar geniş bir sürtünme katsayısı aralığında (0.54-0.70) kayma yolunu ortalama olarak 0.65 değerinde tamamladığı saptanmıştır.





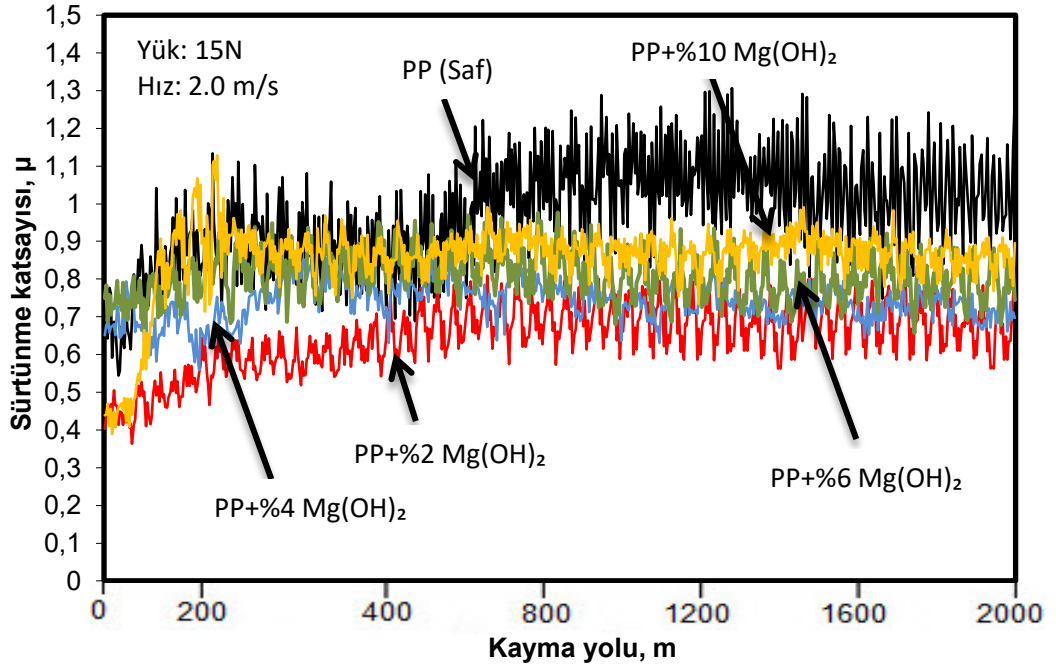
Şekil 4.9. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 0.5m/s)



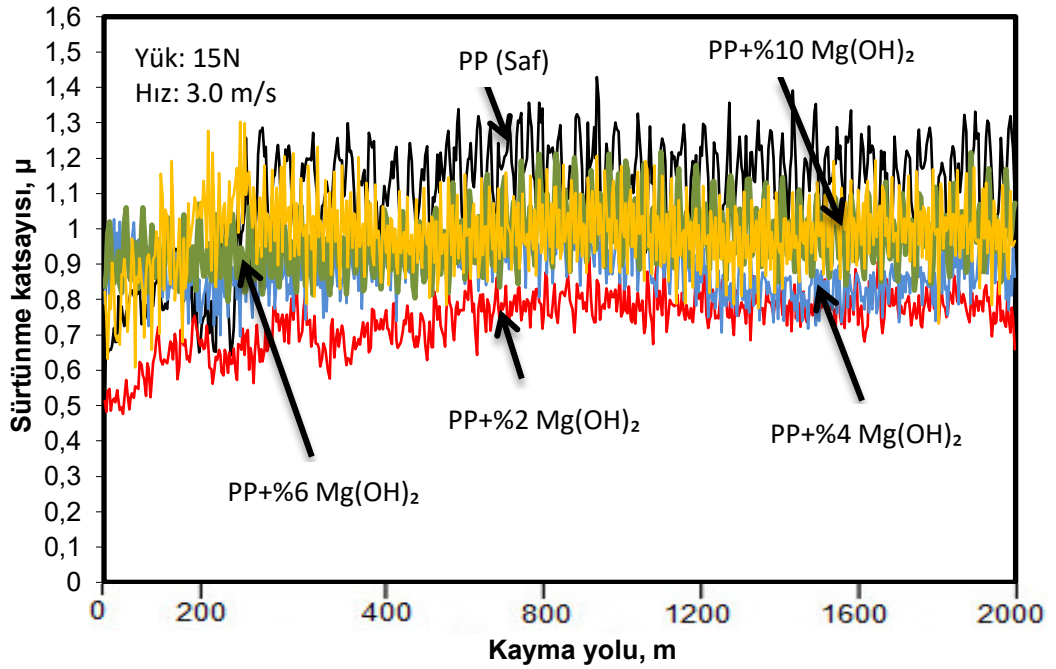
Şekil 4.10. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 1.0m/s)

Şekil 4.10'da Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer kompozitlerin 15N yükte ve 1.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerin sonuçları sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi olarak gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf PP polimeri 150m'ye kadar hızlı artış göstermiş ve 800m mesafeye kadar hızla azalarak sonrasında kararlı bir şekilde kayma yolunu 0.89 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları 700m mesafe yol gittikten sonra stabilize olduğu ve sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0.74 ve 0.76 olduğu belirlenmiştir. %2 ve %4 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı başlangıçta artış göstermiş olup 300m mesafe aldıktan sonra sırasıyla 0.58 ve 0.64 değerinde kararlı olarak kayma yolunu tamamladığı saptanmıştır.

Şekil 4.11'de saf PP polimer malzemesinin sürtünme katsayısı başlangıçtan itibaren düzensiz olarak artış göstererek kayma yolunu yaklaşık olarak 1500m mesafe aldıktan sonra stabilize hale gelerek ortalama 1.0 sürtünme katsayısı değerinde tamamladığı belirlenmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçta artış göstermiş olup (0.45'ten 0.67'ye) kayma yolunu 600m mesafe aldıktan sonra kararlı hale gelerek ortalama 0.66 değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı 800m ilerledikten sonra stabilize hale geldiği ve sürtünme katsayısının 0.72 olduğu saptanmıştır. %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 250m mesafeye kadar hızla artış göstermiş olup ardından stabilize olduğu ve sürtünme değerlerinin ortalama 0.82 ve 0.88 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 2.0m/s)



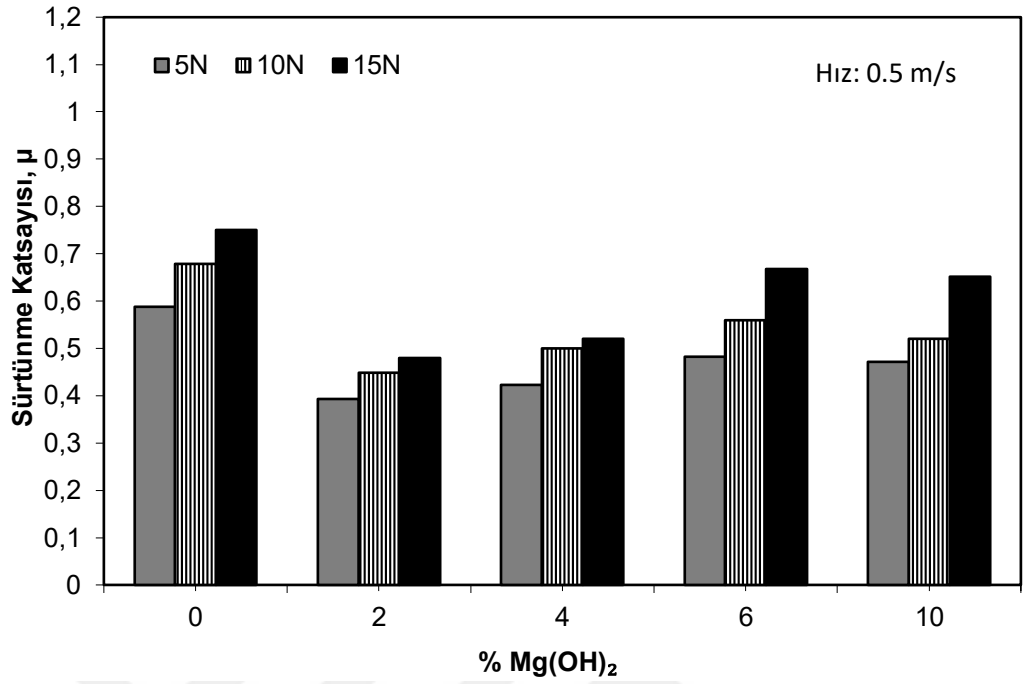
Şekil 4.12. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 3.0m/s)

Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.12’de verilmektedir. Saf PP polimerinin sürtünme katsayısı başlangıçta artış göstermiş olup 300m yol aldıktan sonra geniş bir aralıkta ortalama 1.12 değerinde kararlı hale gelirken %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayısı 400m mesafeden sonra 0.76 değerinde kararlı hale gelerek kayma yolunu dar bir aralıkta tamamlamıştır. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayısı eğrisi kayma yolu boyunca kararlı hale gelmeyerek dalgalı bir şekilde ortalama 0.90 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı başlangıçtan itibaren hafif azalma ve artış şeklinde tekrarlayarak kayma yolunu sırasıyla 1.02 ve 1.0 değerinde tamamladıkları görülmüştür.

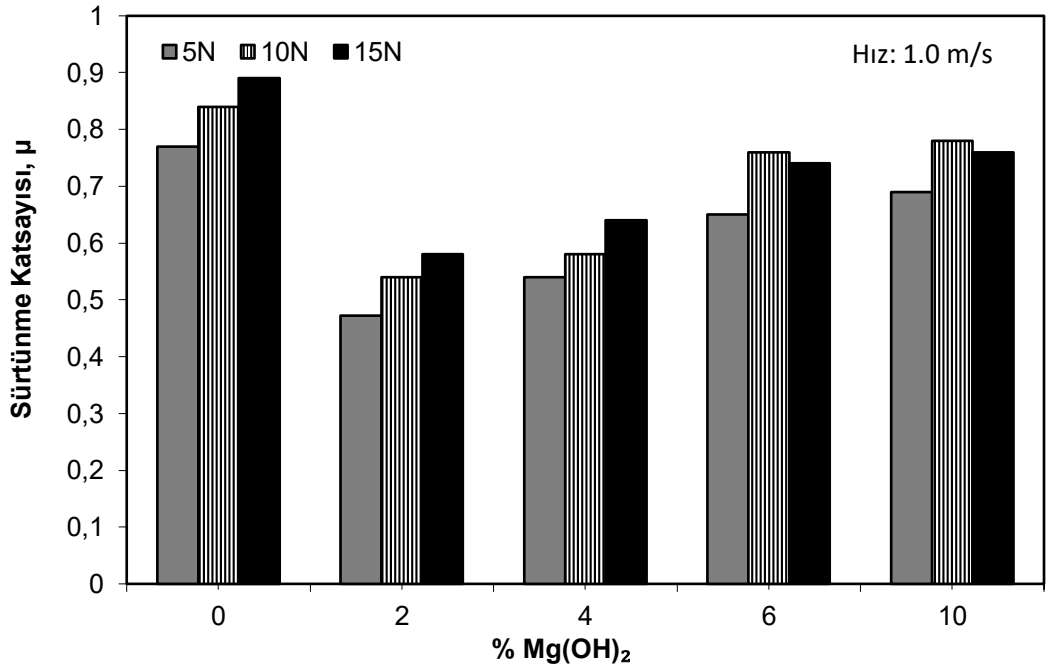
Bu çalışmada saf PP malzemesi ve Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları iki aşamada meydana gelmiştir. İlk olarak başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde sürtünme katsayılarının arttığı görülmüştür. İkinci aşamada ise stabilitesini koruyarak kararlı hal aşınmasını gerçekleştirmiştir. Bunun sebebi ise kullanılan polimer malzeme yüzeyindeki pürüzlü yapının ilk olarak düz hale gelmesi ve ikinci aşamada pürüzlü yapının aşınmasıyla polimer partiküllerinin karşı çelik yüzeydeki boşlukları doldurmasıyla dengeli hale gelmiş olmasıdır.

#### **4.1.2. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – yük ilişkisi**

Şekil 4.13’te 0.5m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. Uygulanan yükün artması ile tüm malzemeler için sürtünme katsayısının düzenli olarak arttığı görülmektedir. Saf PP polimer malzemesinin sürtünme katsayısı 5N, 10N, 15N için sırasıyla 0.58, 0.67, 0.75 olarak belirlenmiştir. En düşük sürtünme katsayısı 0.39 değerinde olup 5N yükte, %2 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile sağlanmış olup saf PP polimerine göre %32 daha düşük değere sahip olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı değeri 0.75 olup 15N yükte saf PP polimer malzemesinde görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı değerine sahip kompozit malzemeler ise %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitler olurken sürtünme katsayısı 0.66 olarak belirlenmiştir. Saf PP polimerine göre %12 daha düşük değere sahip olduğu tespit edilmiştir.



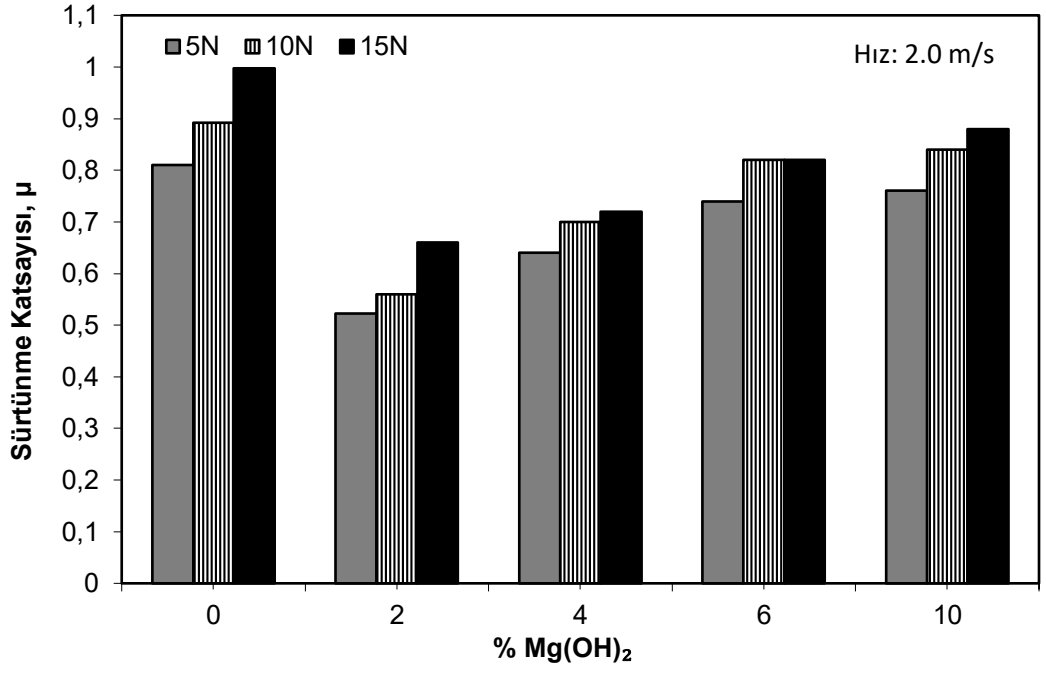
Şekil 4.13. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi



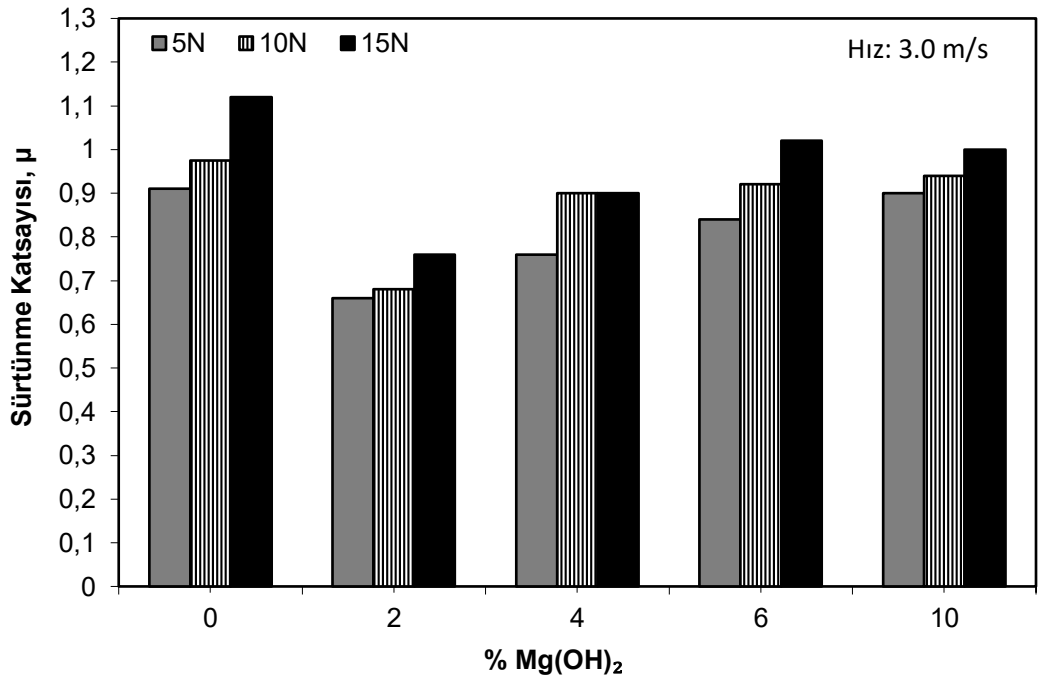
Şekil 4.14. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.14'te uygulanan yükün artırılması ile genel olarak sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı 0.89 değeriyle saf PP polimer malzemesinde 15N yükte görülmüştür. Kompozit malzemeler arasında en yüksek sürtünme katsayısına sahip malzemeler 10N yükte %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozit malzemeler olup 0.77 sürtünme katsayısı değerinde olduğu belirlenmiştir. Saf PP polimer malzemesine göre sürtünme katsayısı %8 daha düşük olduğu belirlenmiştir. 0.47 değeri ile en düşük sürtünme katsayısına 5N yük ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzeme sahip olurken saf PP polimerine (0.77 sürtünme katsayısı) göre %39 daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 2.0m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.15'de verilmiştir. Yapılan deneylerde olduğu gibi 2.0m/s kayma hızında da uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. 0.52 sürtünme katsayısı değeri en düşük sürtünme değerine sahip olan malzeme %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit olup 5N yükte yapılan deneyde tespit edilmiştir. Saf PP polimer (0.81 sürtünme katsayısı) malzemesine göre %35 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sürtünme katsayısının en yüksek olduğu malzeme 15N yükte yapılan deneyde saf PP polimer malzemesinde 1.0 değerinde olduğu belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> oranının artırılmasıyla ise sürtünme katsayısı değerinin kompozit malzemeler arasında arttığı belirlenmiş ve 0.88 değeri ile en yüksek sürtünme katsayısı değerine sahip olan malzeme %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit olup 15N yükte yapılan deneyde meydana geldiği belirlenmiş ve saf PP polimerine (1.0 sürtünme katsayısı) göre %12 daha az sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.15. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi



Şekil 4.16. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 3.0m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.16'de verilmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile oluşturulan PP kompozit malzemesinde en düşük sürtünme katsayısı elde edilmiş olup 5N yük altında yapılan deneyde 0.66 değerinde olduğu belirlenmiştir. Saf PP malzemeye göre (0.91 sürtünme katsayısı) %27 azaldığı tespit edilmiştir. 15N yükün uygulandığı ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin yapıldığı kompozit malzeme en yüksek sürtünme katsayısı değerine sahip olurken bu değer 1.02 seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Saf PP polimer malzemesi (1.12 sürtünme katsayısı) ile karşılaştırıldığında %9 daha az sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan yükün artırılması ile sürtünme katsayısındaki artışın kullanılan polimer malzemelerin viskoelastik ve sıcaklık özellikleri ile yakından ilişkili olduğu düşünülmektedir. Deneylerde kullanılan polimer malzeme ve karşı aşındırıcı yüzeyin birbirine temas etmesi sonucunda yüzeyler arasındaki sıcaklık artışıyla malzemenin viskoelastik özelliklerini, yapışma ve transfer hareketlerini etkiler.

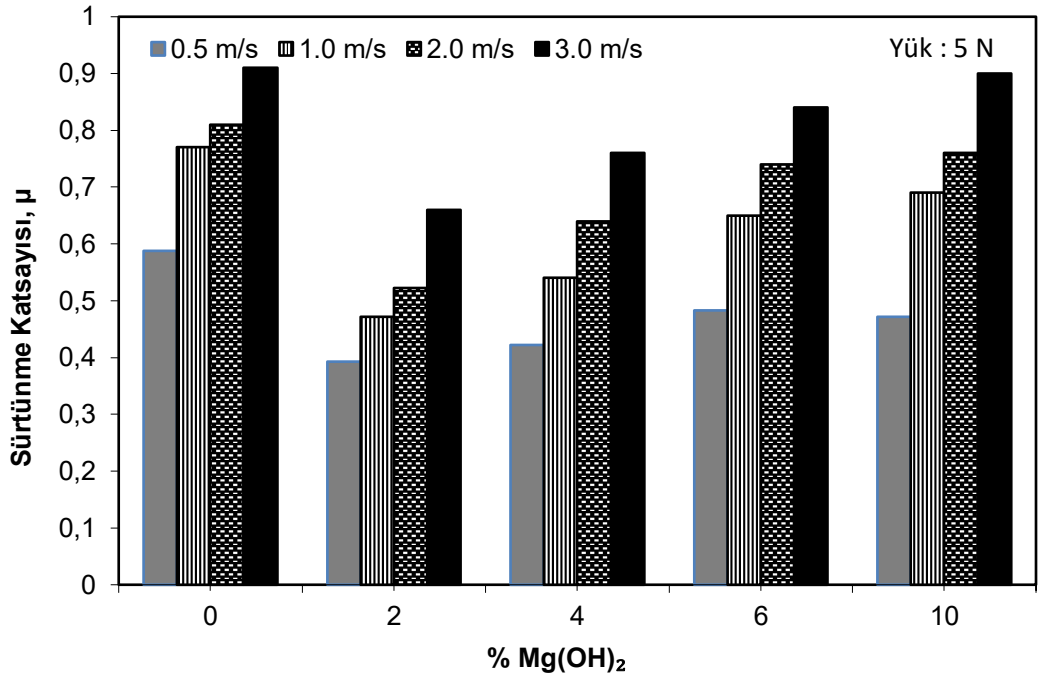
Literatür araştırması yapıldığında benzer sonuçların elde edildiği saptanmıştır. Taşdemir; Polipropilenin içine zeytin çekirdeği ve badem kabuğu tozunu ayrı ayrı ilave ederek sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Uygulanan yükün artırılmasıyla sürtünme katsayısında artma tespit edilmiştir (Taşdemir, 2017).

#### **4.1.3. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma hızı ilişkisi**

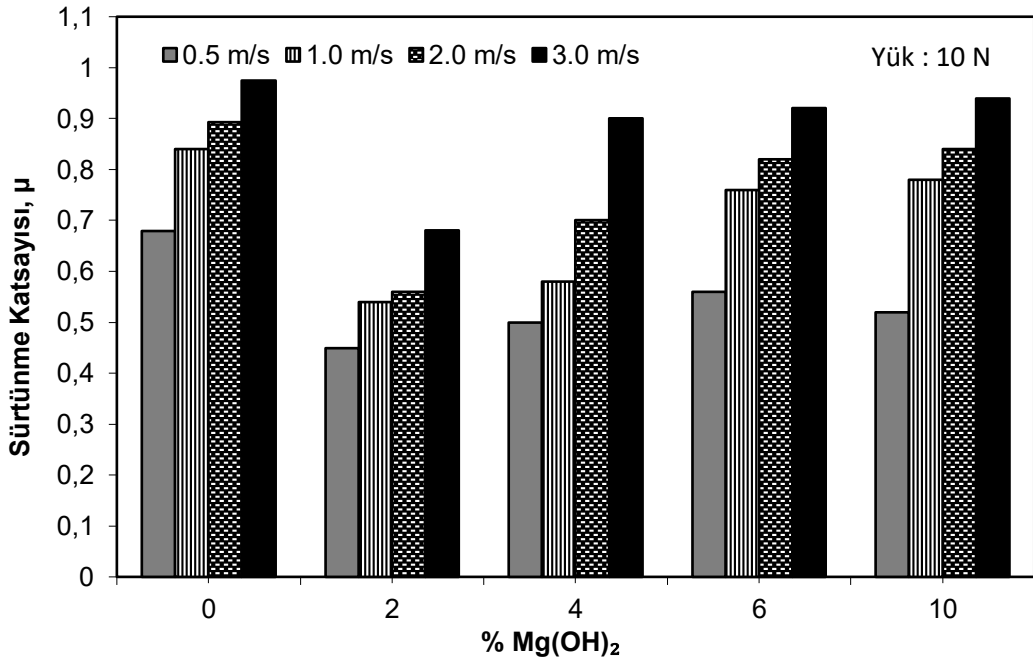
Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 5N yük altında ve farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.17'de verilmiştir. %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının sürtünme katsayısını saf PP polimerine göre düşürdüğü tespit edilmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> oranı %2'den %10'a arttıkça sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. 0.5m/s, 1.0m/s, 2.0m/s ve 3.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde katkısız PP malzemesi için sürtünme katsayısı sırasıyla 0.58, 0.77, 0.81, 0.91 olarak belirlenmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ve 0.5m/s kayma hızında sürtünme katsayısının en düşük değere sahip olduğu tespit edilmiş olup bu değer yaklaşık olarak 0.39'dur. Saf PP polimerine göre %32 daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu saptanmıştır. Sürtünme katsayısının en



yüksek olduğu değer 3.0m/s kayma hızında uygulanan deneyde saf PP polimer malzemesi ile %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemede görülmüş olup sürtünme katsayıları değeri 0.90 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.17. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

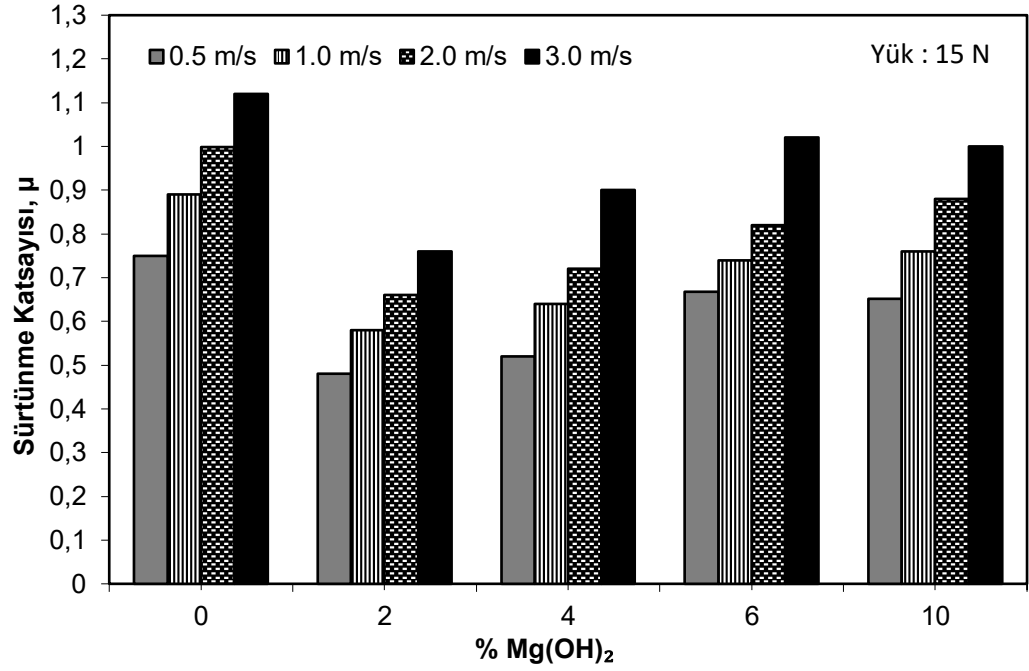


Şekil 4.18. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.18’de 10N yük altında ve farklı kayma hızlarında yapılan deneylerde kayma hızının 0,5m/s’den 3.0m/s’ye artırılması ile sürtünme katsayısında artış olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple en yüksek sürtünme katsayısı değeri 3.0m/s kayma hızında gerçekleşmiş olup %4, %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı malzemelerde en yüksek sürtünme değerine ulaşıldığı ve değerlerinin ortalama 0.92 olduğu tespit edilmiştir. Bu malzemeleri saf PP polimeri (0.97 sürtünme katsayısı) ile karşılaştırdığımızda %5 daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğunu görmekteyiz. Buradan anlaşılıyor ki Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin sürtünme katsayısının düşmesinde olumlu etki yaptığı ortaya çıkmıştır. Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin %2 oranında düşük tutulduğu ve uygulanan hızın 0.5m/s olduğu deneyde en düşük sürtünme katsayısı elde edilmiş olup 0.44 değerinde olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde saf PP (0.67 sürtünme katsayısı) ile kıyaslandığında %34 azalma gösterdiği görülmüştür.

Şekil 4.19’da kayma hızının artırılması ile sürtünme katsayısının tüm malzemelerde Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de olduğu gibi 15N yükün uygulandığı deneylerde de arttığı tespit edilmiştir. 0.5m/s kayma hızının uygulandığı saf PP polimer malzemesinin sürtünme katsayısı 0.75 iken %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile sürtünme katsayısının 0.48 değeri ile diğer malzemeler arasında en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Saf PP malzemeye göre yaklaşık olarak %36 azalma olduğu belirlenmiştir. 3.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneyde ise %6 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozit malzeme 1.02 sürtünme katsayısı değeriyle kompozit malzemeler arasında en yüksek değere sahip olurken saf PP polimer malzemesine göre (1.12 sürtünme katsayısı) %9 daha az sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmüştür.

Hızın etkisi araştırıldığında literatür incelemesinde benzer sonuçların olduğu tespit edilmiştir. Nasir ve arkadaşları; Polipropilen polimeri içerisine cam elyaf+kenaf lifi ilave ederek oluşan kompozit malzemenin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Cam elyaf+kenaf lifi ilaveli kompozit malzemedeki uygulanan yük sabit ve kayma hızı artırıldığı durumda sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir (Nasir ve Ghazali, 2014).

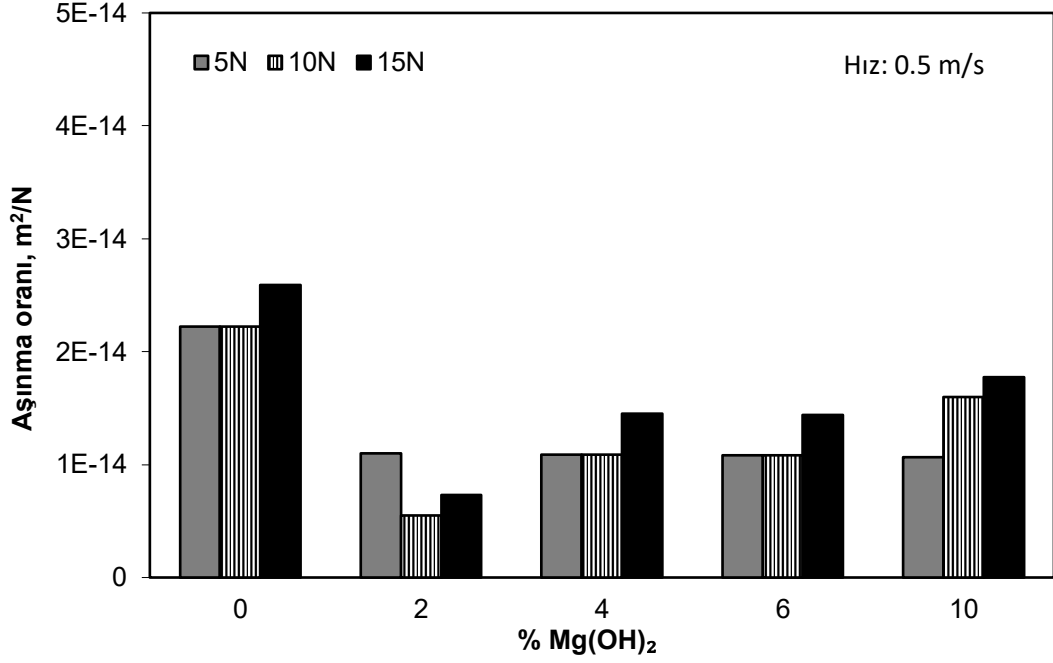


Şekil 4.19. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

#### 4.1.4. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı - yük ilişkisi

Şekil 4.20’de Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile aşınma oranının düştüğü belirgin bir şekilde görülmektedir. 5N yük altında 0.5m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $1,10 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,06 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile aşınma oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmalar saf PP’ye göre sırasıyla %50, %51, %51 ve %52 değerinde olmuştur. 10N yük altında 0.5m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik aşınma oranı  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $5,49 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,60 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak tespit edilmiştir. 10N yükte de Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının aşınma oranını azalttığı görülmüştür. Bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %75, %51, %51 ve %27 değerlerinde olduğu saptanmıştır. 15N yük altında 0.5m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $2,59 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $7,33 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,45 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,77 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiş olup Mg(OH)<sub>2</sub>

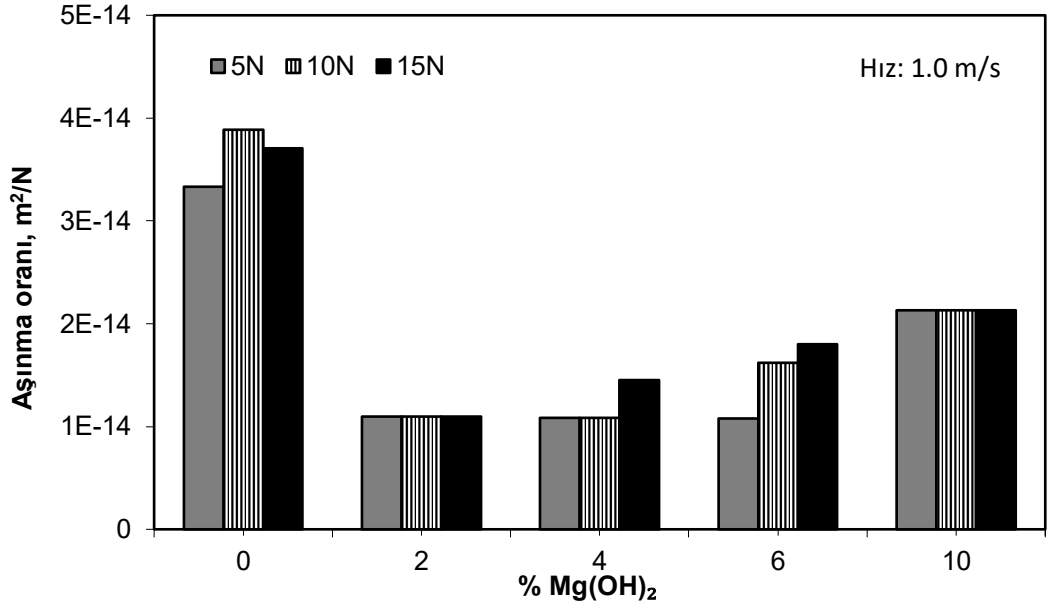
katkısının aşınma oranını azalttığı tespit edilmiştir. Bu azalma saf PP polimer malzemesine göre sırasıyla %71, %44, %44 ve %31 değerlerinde olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.20. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı aşınma oranına olumlu etki yaparak saf PP malzemesine göre aşınmayı azaltmıştır. 5N yük altında 1.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $3,33 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,12 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Saf PP’ye göre aşınma oranında azalma belirgin olup bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %67, %67, %67 ve %36 değerlerinde olduğu saptanmıştır. 10N yük altında 1.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik aşınma oranı  $3,88 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,62 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,12 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak saptanmıştır. Saf PP malzemeye göre aşınma oranlarında azalma olduğu belirlenmiş olup bu azalma oranlarının sırasıyla %72, %72, %58 ve %45 olduğu saptanmıştır. 15N yük altında 1.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik

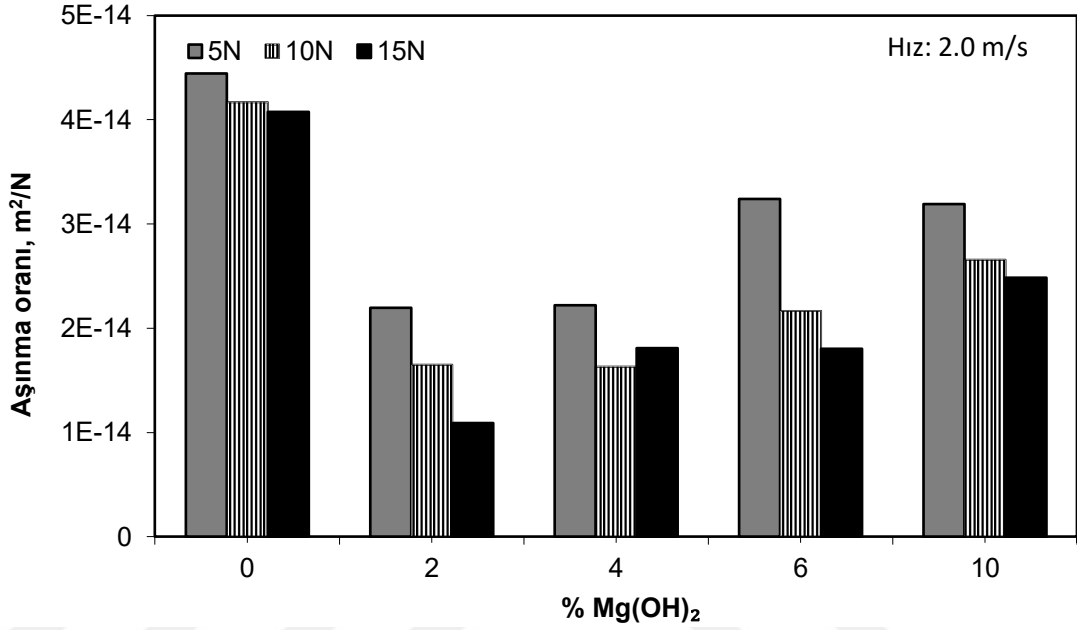
aşınma oranı  $3,70 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,80 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,12 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Bu aşınma oranlarındaki azalma saf PP polimer malzemesine göre sırasıyla %70, %61, %51 ve %42 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.21. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı -  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.22’de %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısı ile aşınma oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının oranı %2’den %10’a artırıldığında aşınma oranının arttığı görülmüştür. 5N yük altında 2.0m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $4,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $2,19 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $3,24 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,19 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Bu aşınma oranları saf PP malzemeye göre azalma göstermiştir. Bu azalma oranları saf PP malzemeye göre sırasıyla %51, %50, %27 ve %28 olarak belirlenmiştir. 10N yük altında 2,0m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $4,16 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $1,64 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,63 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,16 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,65 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Saf PP malzemeye göre azalma değerleri sırasıyla %60, %61, %49 ve %36 olarak tespit edilmiştir. 15N yük altında 2.0m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma

oranı  $4,07 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,81 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,80 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,48 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Yani  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısı PP malzemenin aşınma oranını düşürmüş olup bu azalma değerleri sırasıyla %73, %55, %56 ve %40 olduğu tespit edilmiştir.

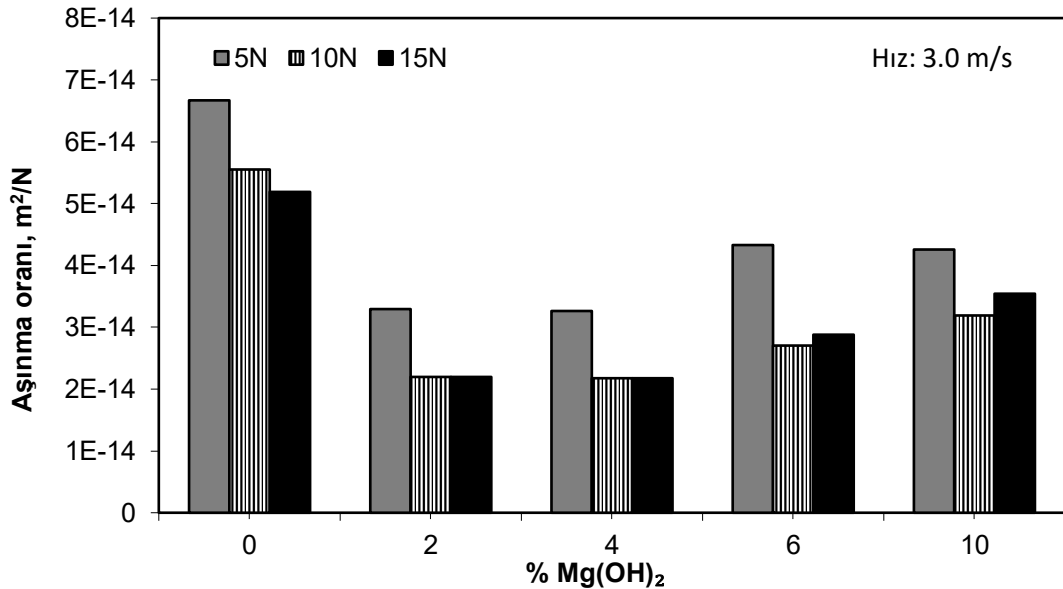


Şekil 4.22. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı -  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı oranı ilişkisi

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkıli kompozitlerin 3.0m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki aşınma oranı ile  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı oranı ilişkisi Şekil 4.23'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının ilave edilmesiyle aşınma oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. 3.0m/s kayma hızı ve 5N yükte uygulanan deneylerde saf PP malzemenin aşınma oranı  $6,66 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkıli PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $3,29 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $3,26 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $4,32 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $4,25 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olduğu saptanmıştır. 5N yükün uygulandığı deneyde  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının aşınma oranını azalttığı görülmüş olup saf PP malzemeye göre sırasıyla %50, %51, %35 ve %36 oranında azalmıştır. 10N yük altında 3.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $5,55 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkıli PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $2,19 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,17 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,70 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,19 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiş

olup  $Mg(OH)_2$  katkısının aşınma oranını azalttığı tespit edilmiştir. Bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %60, %61, %51 ve %42 olarak belirlenmiştir. 15N yük altında 3.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde saf PP malzemenin aşınma oranı  $5,18.10^{-14} m^2/N$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $2,19.10^{-14} m^2/N$ ,  $2,17.10^{-14} m^2/N$ ,  $2,88.10^{-14} m^2/N$  ve  $3,54.10^{-14} m^2/N$  olduğu belirlenmiş olup  $Mg(OH)_2$  katkısının aşınma oranını düşürdüğü saptanmıştır. Bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %57, %58, %44 ve %31 olduğu tespit edilmiştir.

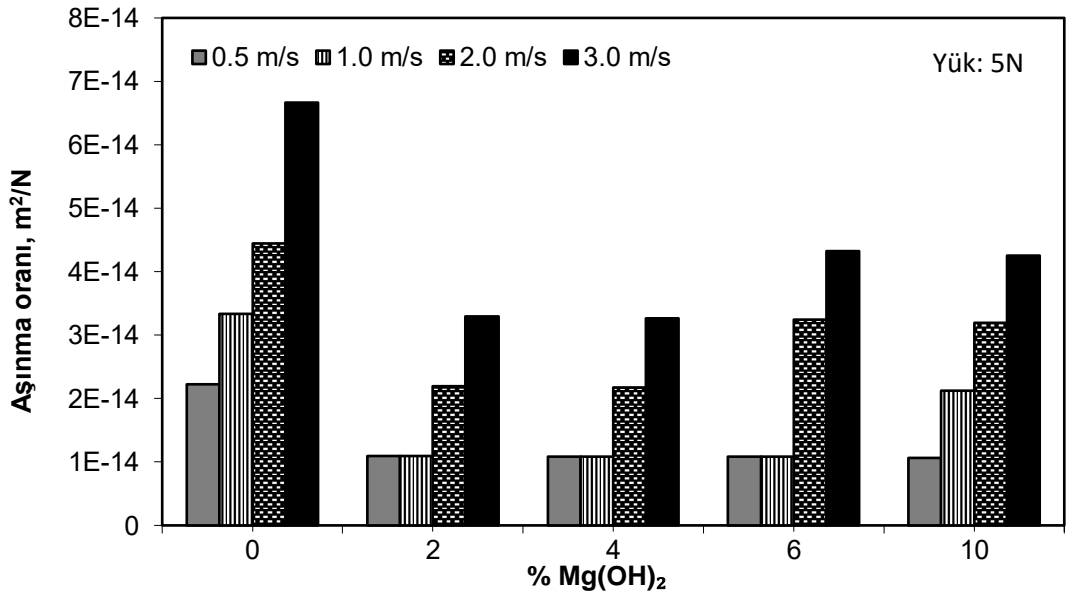
$Mg(OH)_2$  ilavesinin aşınma oranını düşürdüğü uyguladığımız deneylerde elde edildi. Literatür ile karşılaştırdığımızda Gordienko ve arkadaşları; Polipropilen polimeri içerisine değişen oranlarında  $MoS_2$  (molibden disülfür) ilave ederek oluşan yeni malzemenin tribolojik ve sertlik özelliklerini incelemişlerdir. Çelik bir diske karşı yapılan aşınma deneyi  $MoS_2$  ilavesinin artırılmasıyla aşınma direnci önemli ölçüde artmıştır. (Gordienko ve diğ, 2009). Her iki deneyde de ilave edilen katkı malzemeleri ile PP matris malzemesi önemli ölçüde sertlik ve dayanımı artırdığı için aşınmaya karşı direnç elde ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.23. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda  $Mg(OH)_2$  katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı -  $Mg(OH)_2$  katkı oranı ilişkisi

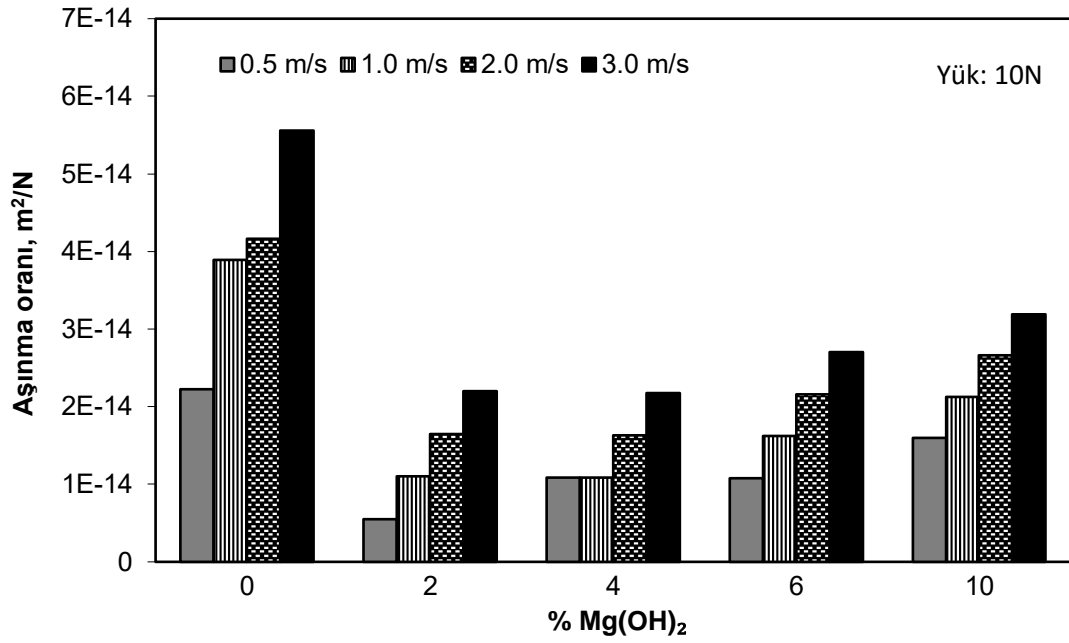
#### 4.1.5. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı – kayma hızı ilişkisi

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 5N yük altında ve farklı kayma hızlarındaki aşınma oranı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.24’de verilmiştir. Kayma hızının artmasıyla aşınma oranının da arttığı görülmektedir. Saf PP polimer malzemesi için 0.5m/s, 1.0m/s, 2.0m/s ve 3.0m/s’de uygulanan kayma hızlarındaki aşınma oranı sırasıyla  $2,22 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $3,33 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $4,44 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $6,67 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. 0.5m/s ile 1.0m/s kayma hızında ve %2, %4, %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemelerde en düşük aşınma oranı olduğu belirlenmiş olup ortalama  $1,09 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değerinde olduğu saptanmıştır. Ayrıca 0.5m/s kayma hızında %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemede de aşınma oranının  $1,09 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değerinde olduğu saptanmıştır. Aşınma oranı saf PP malzemeye göre 0.5m/s kayma hızı için %51, 1.0m/s kayma hızı için %67 daha az olduğu tespit edilmiştir. Aşınma oranının en yüksek olduğu malzeme 3.0m/s kayma hızında yapılan deneyde  $6,67 \cdot 10^{-14}$  değeriyle saf PP malzeme olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemeler arasında en yüksek aşınma değerine sahip malzeme 3.0m/s kayma hızında yapılan deneyde %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemede görülmüş olup bu aşınma oranı  $4,32 \cdot 10^{-14}$  değerine sahiptir. Saf PP malzemeye göre aşınma oranında %35 azalma tespit edilmiştir.



Şekil 4.24. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi



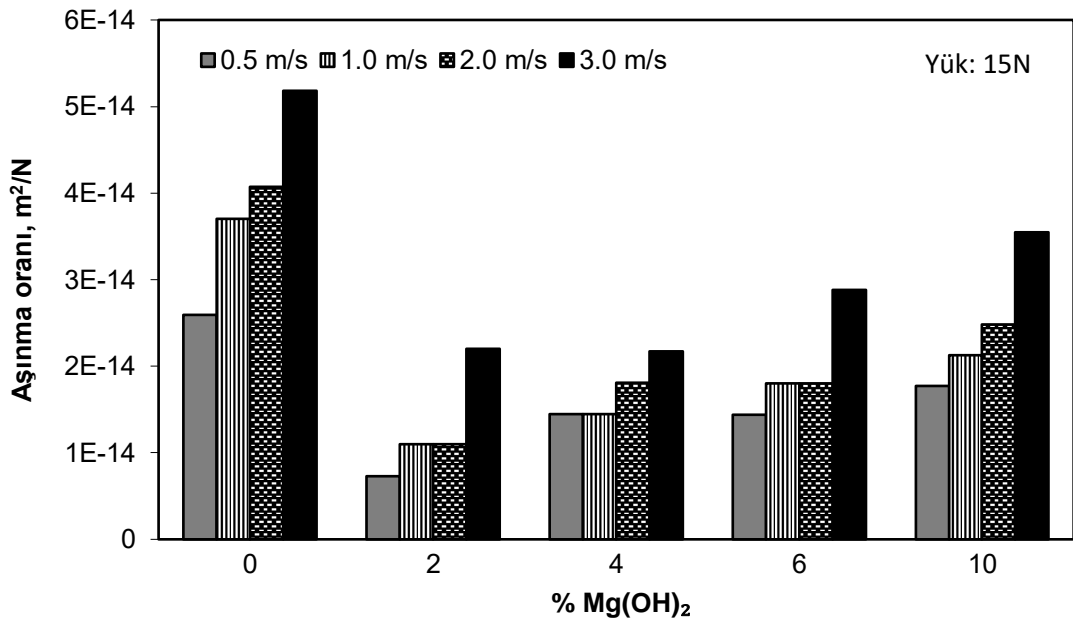


Şekil 4.25. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.25'te 10N yükün uygulandığı deneylerde kayma hızının 0.5m/s'den 3.0m/s hıza artırılması ile aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir. Saf PP polimer malzemesi için 0.5m/s, 1.0m/s, 2.0m/s ve 3.0m/s'de uygulanan kayma hızlarındaki aşınma oranı sırasıyla  $2,22.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $3,89.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $4,16.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $5,56.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile aşınma oranında azalma belirgin olarak saptanmış olup en az aşınmanın yaşandığı kompozit malzeme 0.5m/s kayma hızında uygulanan deneyde ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemede saptanmış olup bu değer  $5,49.10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. Saf PP malzemesine göre %75 oranında azalma gösterdiği saptanmıştır. En yüksek aşınma oranına sahip malzeme ise 3.0m/s kayma hızına sahip deneyde görülmüş olup  $5,56.10^{-14}$  aşınma oranına sahip olan saf PP malzemede görülmüştür. Kompozit malzemeler arasında en yüksek aşınma oranına sahip malzemeye %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP malzemede 3.0m/s kayma hızında yapılan deneyde rastlanılmış olup  $3,19.10^{-14}$  aşınma oranı değerine sahip olduğu saptanmıştır. Saf PP malzemesine göre aşınma oranında %42 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 4.26'da 15N yük altında gerçekleştirilen deneylerde Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile aşınma oranında saf PP polimer malzemesine göre azalma tespit edilmiştir. Kayma hızının artması ile genel olarak aşınma oranında artış olduğu belirlenmiştir. 0.5m/s, 1.0m/s,

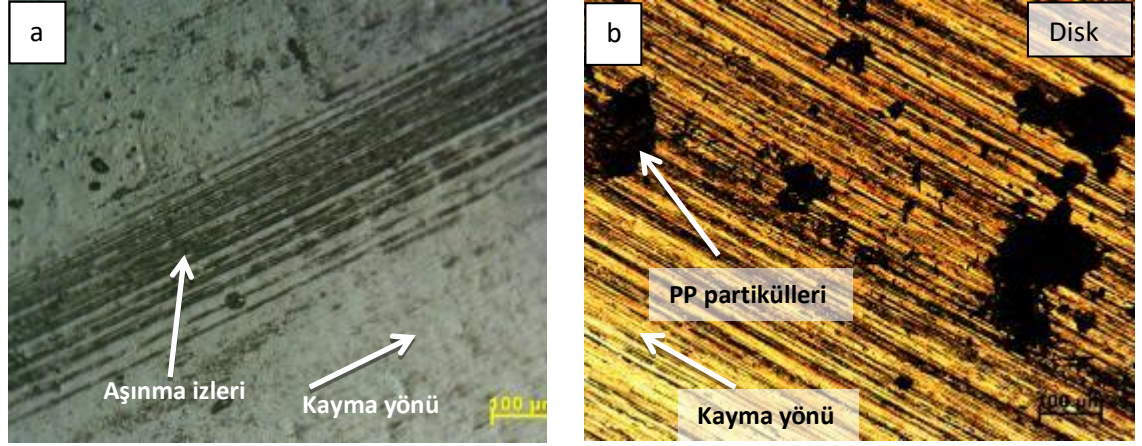
2.0m/s ve 3.0m/s’de uygulanan kayma hızlarındaki aşınma oranı saf PP polimer malzemesi için sırasıyla  $2,59.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $3,70.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $4,07.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $5,19.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. En düşük aşınma oranı %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemede görülmüş olup bu deney 0.5m/s kayma hızı için  $7,33.10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N aşınma oranı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Saf PP malzemeye göre %71 aşınma oranında azalma olduğu saptanmıştır. En yüksek aşınma oranının yaşandığı malzeme 3.0m/s kayma hızında uygulanan deneyde meydana gelmiş olup aşınma oranı  $5,19.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değerinde olan saf PP polimer malzemesinde olduğu saptanmıştır. Kompozit malzemeler arasında aşınmanın en fazla olduğu malzeme %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı ve 3.0m/s kayma hızında uygulanan deneyde tespit edilmiş olup aşınma oranının  $3,55.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değerinde olduğu belirlenirken saf PP malzemeye göre aşınma oranında %32 azalma tespit edilmiştir.



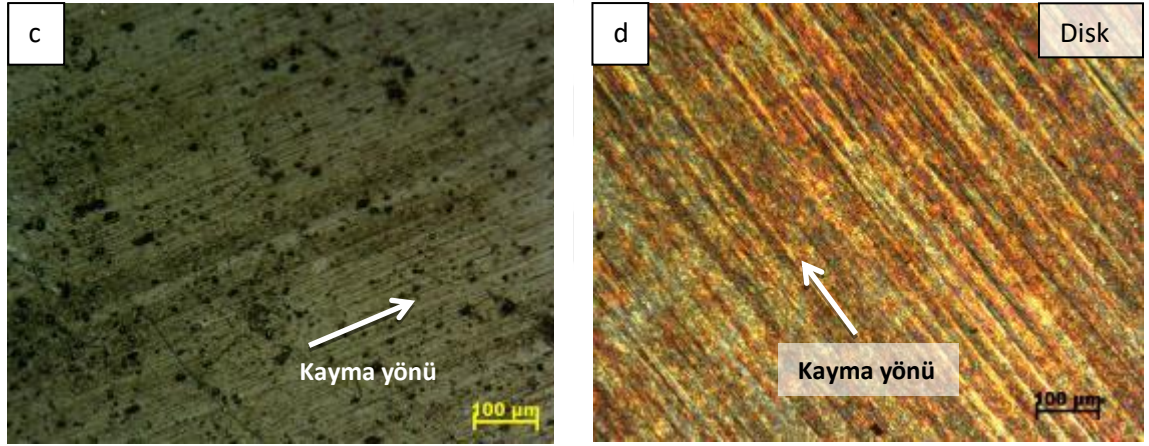
Şekil 4.26. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Dike ve arkadaşları; Polipropilen polimerine Bor karbür (B<sub>4</sub>C) ilave ederek mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bor karbür ilavesi sertlik ve akma dayanımını sırasıyla %37 ve %18 artırmıştır. Yapılan tribolojik deneylerde kayma hızı ve bor karbür miktarı arttıkça aşınma oranında artış tespit edilmiş (Dike ve diğ, 2013).

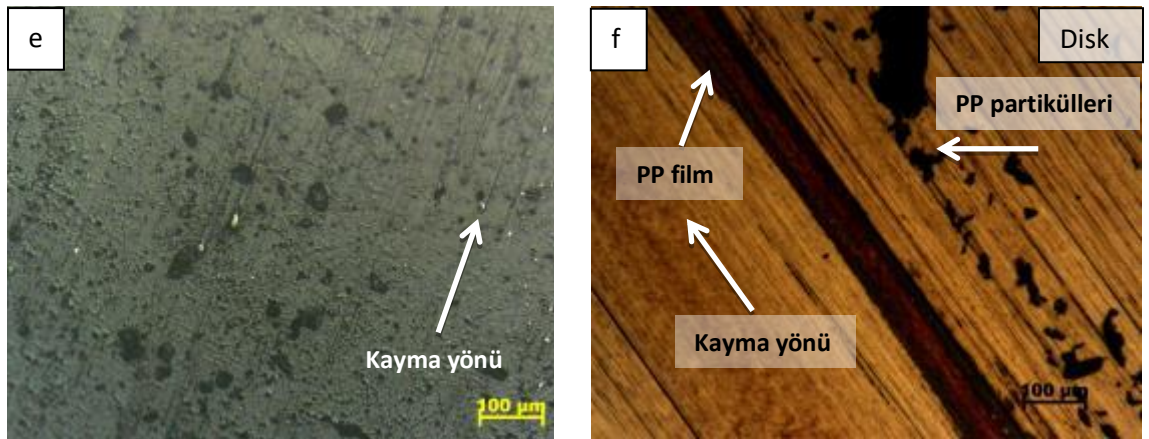
#### 4.1.6. 50nm partikül boyutuna sahip Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin mikro yapı görüntüleri



a) Katkısız

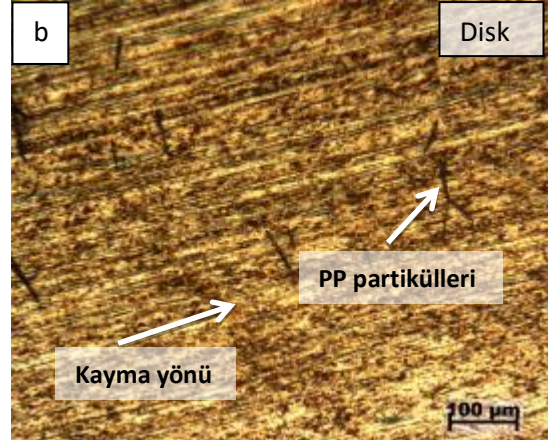
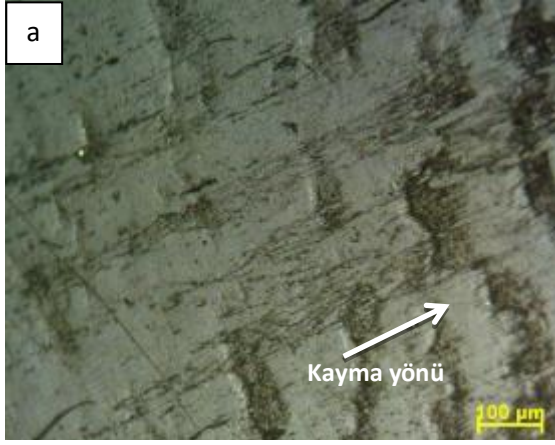


b) %2 Mg(OH)<sub>2</sub>

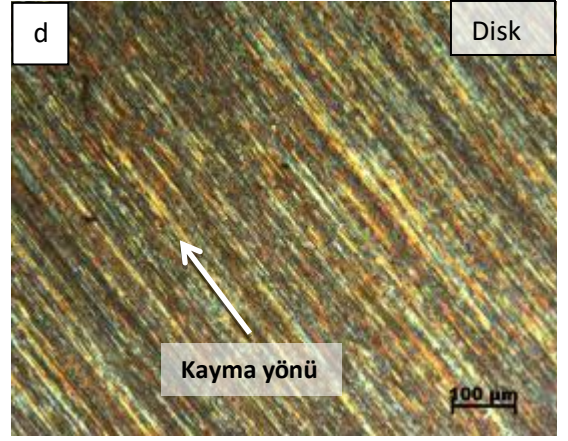
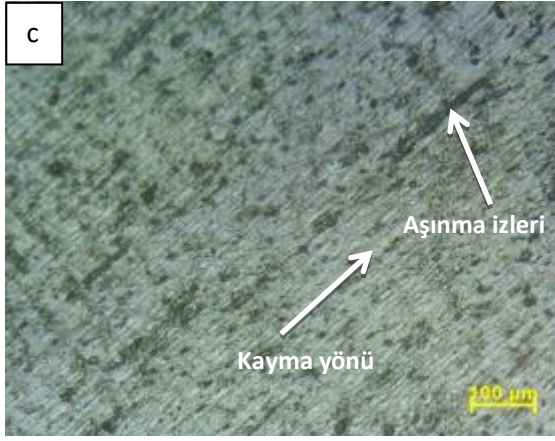


c) %10 Mg(OH)<sub>2</sub>

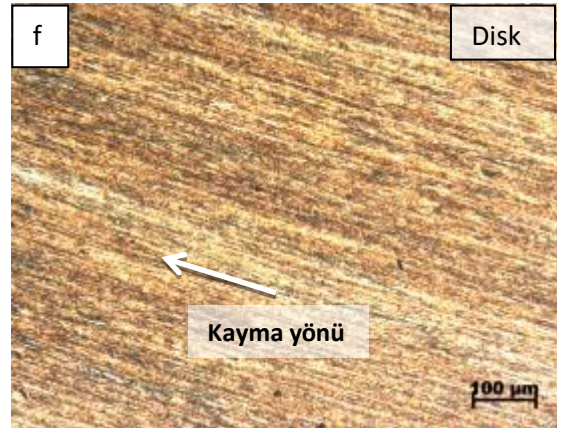
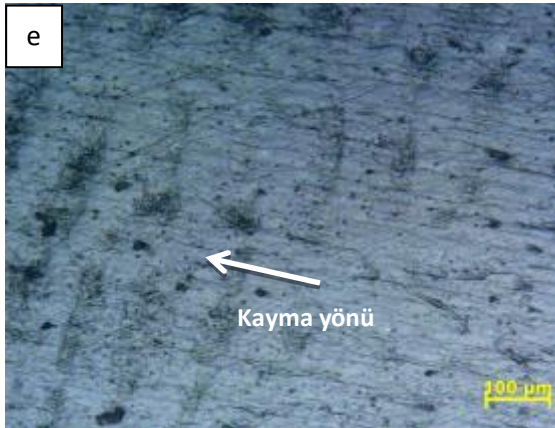
Şekil 4.27. Katkısız PP ile 50nm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 0.5m/s)



a) Katkısız



b) %2 Mg(OH)<sub>2</sub>



c) %10 Mg(OH)<sub>2</sub>

Şekil 4.28. Katkısız PP ile 50nm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 3.0m/s)

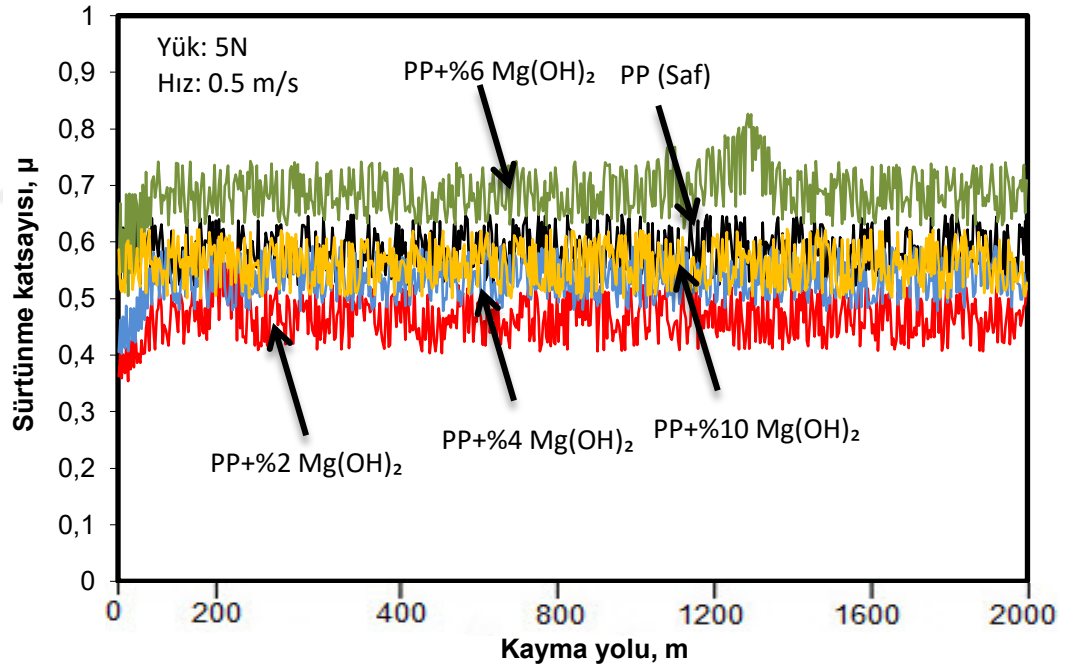
Şekil 4.27’de kuru kayma ve oda sıcaklığında gerçekleşen, 15N yük ve 0.5m/s kayma hızında AISI 316L çelik disk malzemesine karşı uygulanan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen saf PP ile 50nm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma pim numunelerinin ve çelik diskin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde (a) saf PP polimer malzemesinin pim yüzeyinde derin ve geniş aşınma izlerinin olduğu aynı zamanda (b) çelik diske ait mikroyapı görüntüsünde, çelik disk yüzeyinde yapışmalar olduğu gözlenmektedir. Bunun sebebinin yüke bağlı olarak oluşan sıcaklıktan dolayı polimer zincirlerinin zayıflaması ve kopması, sonrasında çelik disk yüzeyine yapışması olarak açıklanabilir. Yani hem abrazif hem de adhezif aşınma sergilediği düşünülmektedir. (c) %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin pim yüzeyinde aşınma izleri belirgin bir şekilde görülmekte olup (d) çelik disk malzemesinin üzerinde yapışma olmadığı göze çarpmaktadır. Dolayısıyla PP+%2 Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitinin abrazif aşınma sergilediği düşünülmektedir. (e) %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin pim numunesi üzerinde aşınma kanalları görülmektedir. Şekil 4.27 f’de yer alan çelik disk yüzeyinde ise yapışmanın ve PP partiküllerin olduğu tespit edilmiş olup hem abrazif hem de adhezif aşınma sergilediği belirlenmiştir.

Şekil 4.28’de deneylerde kullanılan saf PP polimeri ile 50nm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma pim numunelerinin ve çelik diskin optik mikroskop görüntüleri verilmiş olup 15N yük ve 3.0m/s kayma hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Pim malzemelerinin aşınma yüzeylerine bakıldığında (a) saf PP polimer malzemesinin yüzeyinde aşınmadan dolayı dalgalanmalar meydana gelmiştir. (b) Karşı yüzey olarak kullanılan çelik disk malzemesinde ise PP partiküllere ve yapışmalara rastlanılmıştır. Yani adhezif ve abrazif aşınmanın gerçekleştiği söylenebilir. (c) %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin pim yüzeyinde ise saf PP malzemeye göre daha az aşınmanın gerçekleştiği görülmektedir. (d) Çelik disk yüzeyinde ise yapışmanın az olduğu ve adhezif aşınmanın az miktarda olduğu ve abrazif aşınmanın gerçekleştiği görülmektedir. (e) %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin pim yüzeyi ise saf PP malzemeye benzer şekilde aşınmanın dalgalı bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir. (f) Disk malzemesinde ise yapışmanın olmadığı ve abrazif aşınmanın gerçekleştiği düşünülmektedir.

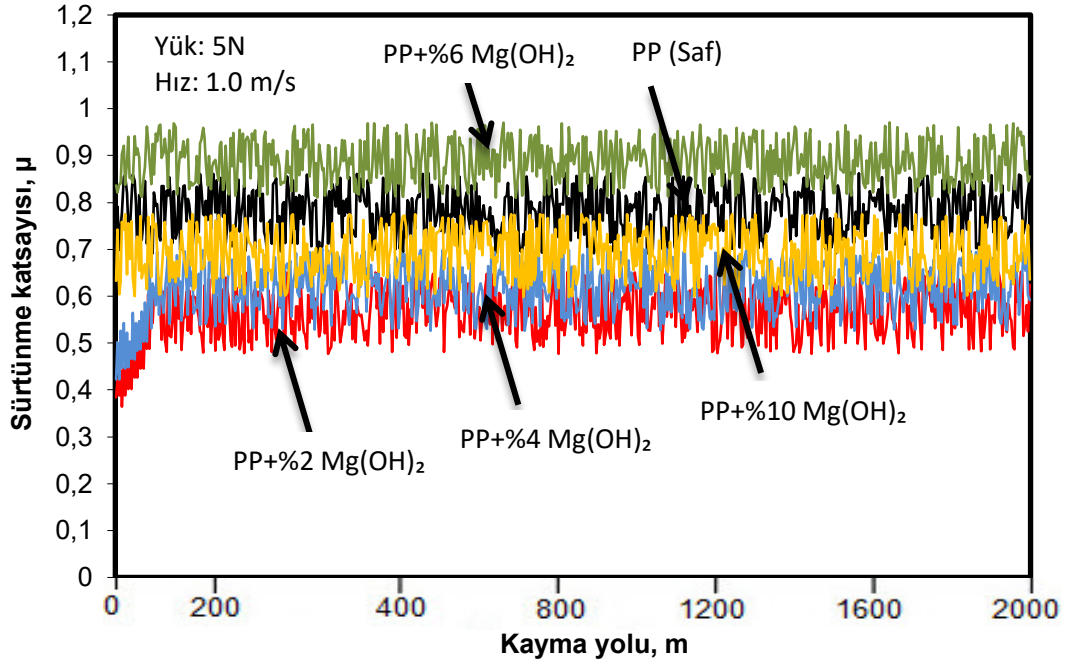
## 4.2. 1.5µm Tane Boyutuna Sahip Mg(OH)<sub>2</sub> Katkılı PP Kompozitlerin Deneysel Bulguları

### 4.2.1. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi

Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.29’da verilmektedir. %2, %4, %6 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemeler için sürtünme katsayısı değişimi başlangıçta artma ve daha sonra sürekli kayma şartları olarak iki şekilde gerçekleşmiştir. 220m gibi kısa mesafede kararlı kayma şartlarına ulaşmıştır. Saf PP polimeri ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçtan itibaren stabilize olarak devam etmiştir. PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0.58, 0.46, 0.53, 0.68, 0,56 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.29. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 0.5m/s)

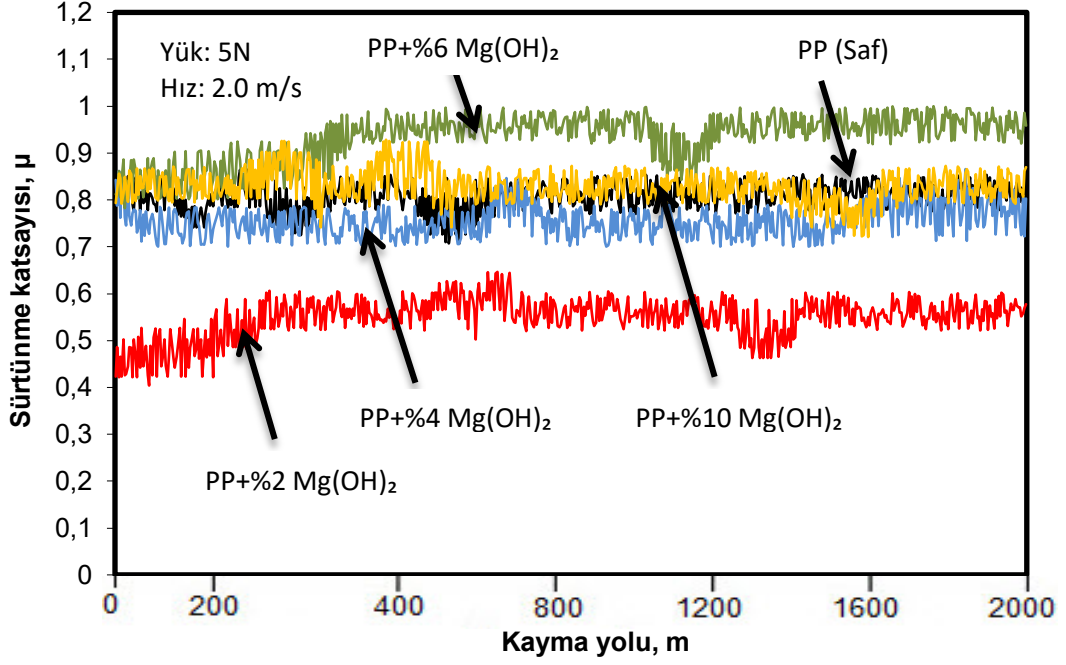


Şekil 4.30. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 1.0m/s)

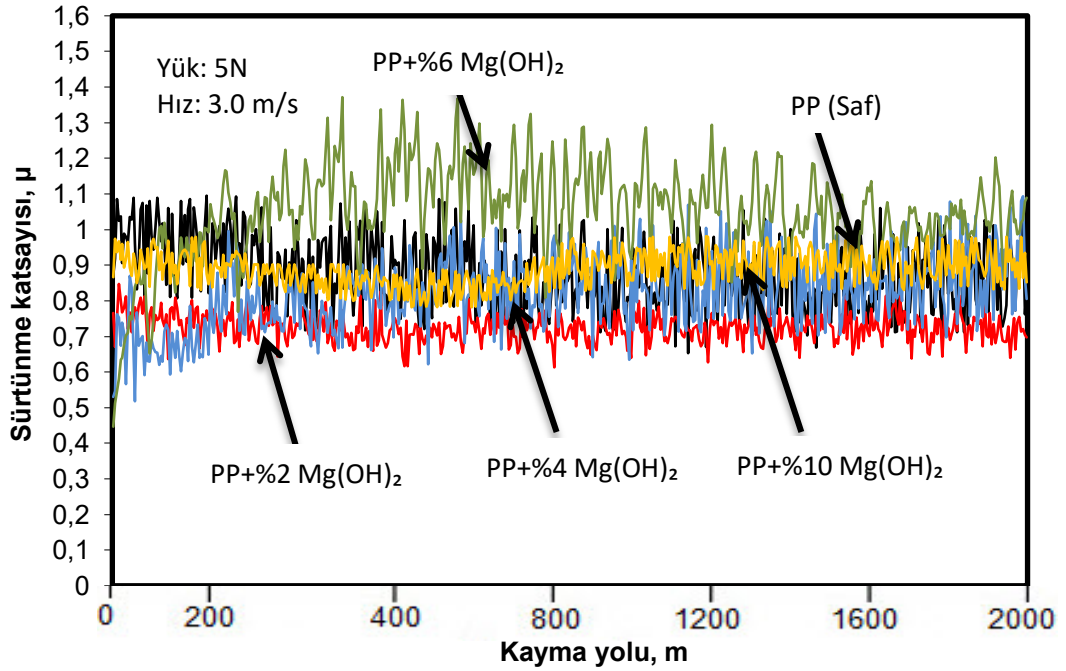
Şekil 4.30'da saf PP polimeri ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin 5N yük ve 1.0m/s kayma hızında sürtünme katsayısı ile kayma yolu ilişkisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi %2 ile %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları 120m yol aldıktan sonra kararlı hale geldiği ve sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0.56 ve 0.61 olduğu tespit edilmiştir. Saf PP polimeri ile %6, %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları başlangıçtan itibaren stabilize olarak devam ettiği belirlenmiş olup sırasıyla sürtünme katsayısı değerleri 0.77, 0.88 ve 0.68 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.31'de saf PP polimeri yaklaşık olarak 600m mesafe aldıktan sonra 0.81 sürtünme katsayısı değerinde kararlı hale gelerek kayma yolunu tamamladığı saptanmıştır. %2 ve %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitler başlangıçtan 350m mesafeye kadar artış göstermiş olup sonrasında sırasıyla 0.56 ve 0.97 sürtünme değeriyle kararlı hale gelerek 2000m kayma yolunu tamamladığı belirlenmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompoziti ise 100m gibi kısa mesafeden sonra 0.74 değeriyle kararlı hale gelmiştir. %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile sürtünme katsayısı eğrisinin 600m mesafeye kadar

dalgalı bir şekilde ilerlediği ve sonrasında kayma yolunu stabilize olarak ortalama 0.83 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.31. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 2.0m/s)

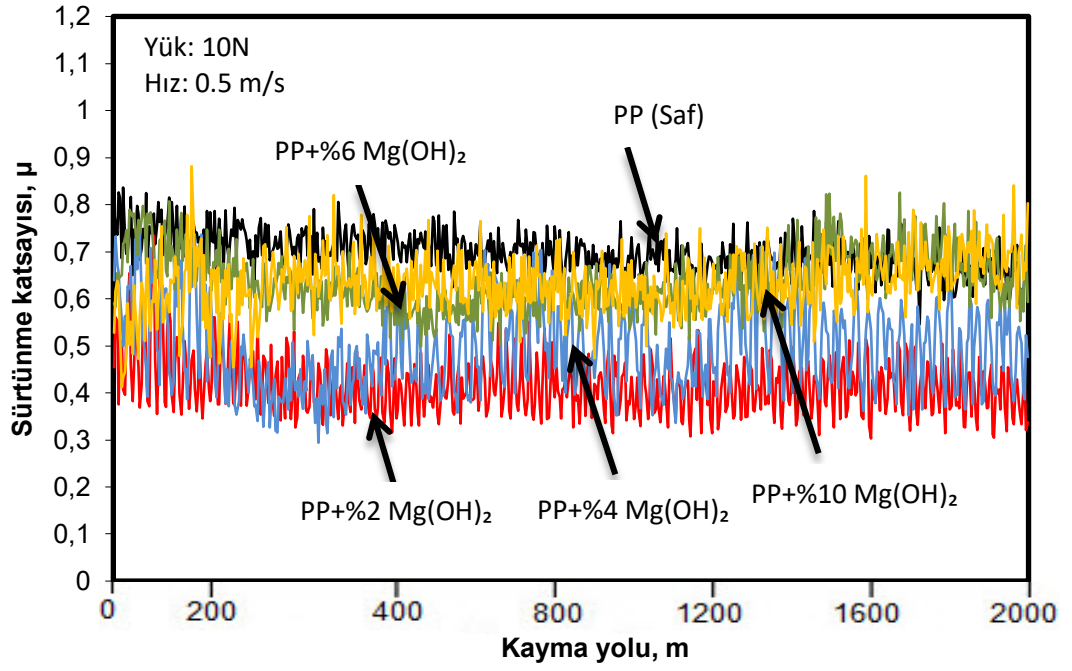


Şekil 4.32. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 3.0m/s)

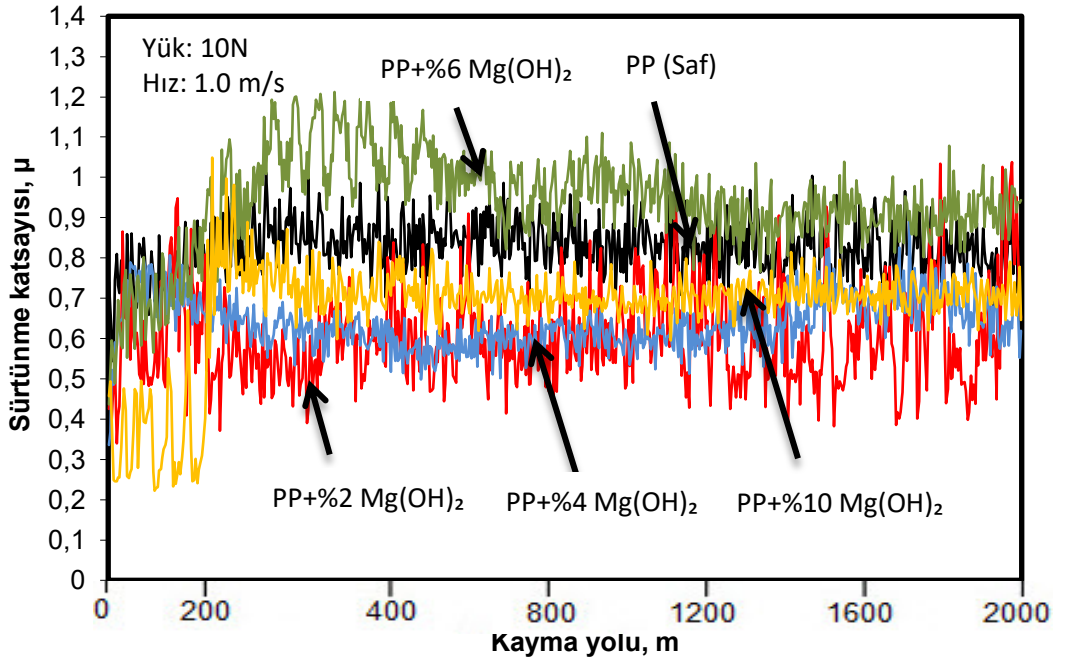


Farklı oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.32’de verilmiştir. 5N yük ve 3.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde Şekilden de görüldüğü gibi saf PP polimeri ile %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 350m yol aldıktan sonra dar bir sürtünme aralığında ortalama olarak sırasıyla 0.90 ve 0.72 sürtünme katsayısı değerlerinde kararlı hale gelmiştir. %4 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesi 350m mesafeden sonra geniş bir aralıkta ortalama olarak 0.80 değerinde 2000m kayma yolunu tamamladığı tespit edilmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesi geniş bir sürtünme katsayısı aralığında 500m’ye kadar artış gösterirken daha sonra 1.04 değerinde stabil hale gelerek azalma olduğu saptanmıştır. %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı 700m yol aldıktan sonra ortalama olarak 0.90 değerinde kararlı hale geldiği belirlenmiştir.

Şekil 4.33’te 10N yük altında ve 0.5m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları 200m mesafeye kadar artış göstermiş olup sonrasında 1500m’ye kadar hafif düşüş gösterip 1500m’den sonra sırasıyla 0.70 ve 0.61 sürtünme katsayısı değerinde stabilize olarak devam etmiştir. Saf PP polimer ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayısı eğrisi baştan sona kadar az miktarda azalma göstererek kararlı olarak ilerlediği saptanmış olup sırasıyla 0.67 ve 0.48 sürtünme katsayısı değerine sahip oldukları belirlenmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozit malzeme 400m yol aldıktan sonra geniş bir sürtünme aralığında ortalama 0.56 değerinde stabilize olarak kayma yolunu tamamladığı tespit edilmiştir.



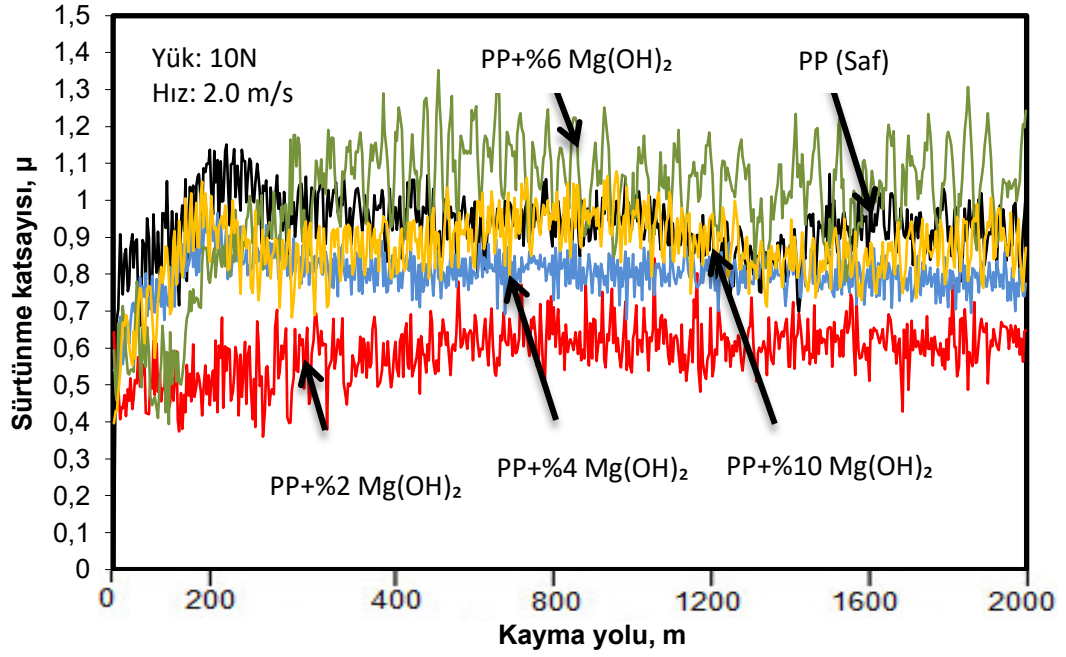
Şekil 4.33. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 0.5m/s)



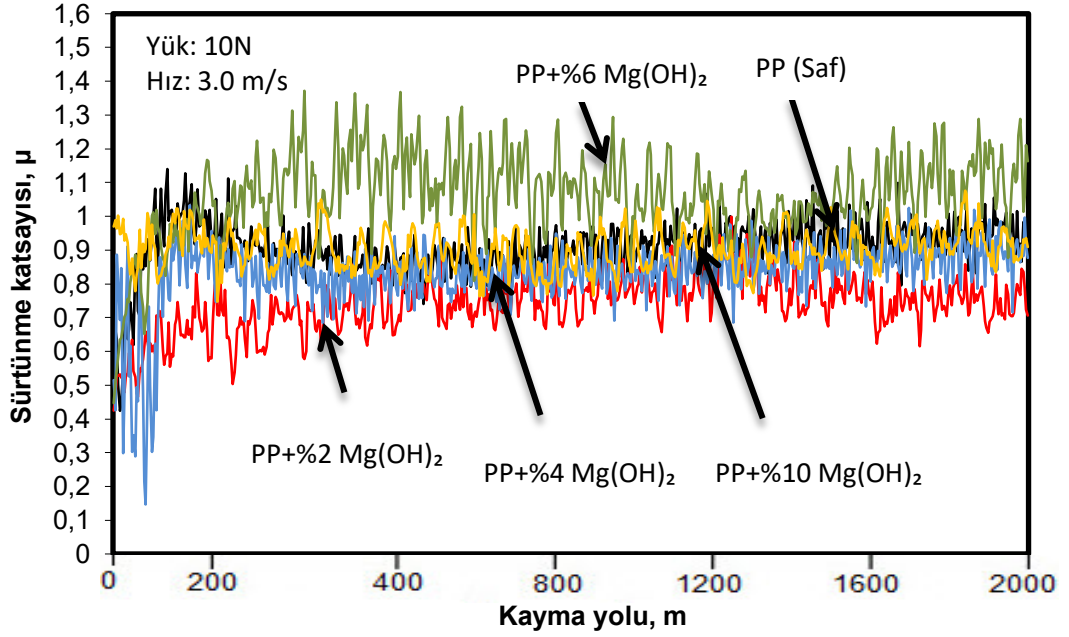
Şekil 4.34. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 1.0m/s)

1.0m/s kayma hızında ve 10N yük altında uygulanan sürtünme deneyleri sonucunda saf PP polimeri ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.34'te verilmiştir. Saf PP polimer malzemesi başlangıçta artış göstermiş olup 800m mesafeden sonra az miktarda azalma göstererek kayma yolunu 0.84 sürtünme katsayısı değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı ise 0.48 ile 0.78 gibi geniş bir aralıkta stabilize olduğu saptanmış olup ortalama 0.61 sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu belirlenmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemenin sürtünme katsayısı 400m mesafeye kadar azalma gösterirken 400m ile 1400m yol arasında stabilize şekilde devam ederken 1400m'den sonra sürtünme katsayısını artırarak devam ettiği tespit edilmiş ve ortalama olarak 0.65 değere sahip olduğu belirlenmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı 300m mesafeye kadar artış göstermiş ve sonrasında 1400m'ye kadar azalma gösterdiği belirlenmiş olup sonrasında kayma yolunu kararlı bir şekilde ortalama 0.97 sürtünme katsayısı değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozit malzeme 400m yol aldıktan sonra 0.69 sürtünme katsayısı değerinde kararlı hale gelmiştir.

Şekil 4.35'te 10N yük altında ve 2.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde sürtünme katsayısı ve kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Saf PP polimer malzemesi ile %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı eğrisi başlangıçta artış göstermiş olup yaklaşık olarak 300m yol aldıktan sonra küçük dalgalı hareketler göstererek kayma yolunu ortalama 0.90 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayısı eğrisi 800m mesafeye kadar az miktarda stabilize olarak artarken sonrasında ortalama 0.59 sürtünme katsayısı değerinde kararlı olarak kayma yolunu tamamladığı saptanmıştır. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin 300m mesafeye kadar hızlı artış gösterdiği ve sonrasında stabilize olarak az miktarda azalarak kayma yolunu ortalama 0.80 değerinde tamamladığı görülmüştür. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile sürtünme katsayısının 400m mesafeye kadar arttığı ve sonrasında geniş bir aralıkta dalgalı hareketler yaparak kayma yolunu ortalama 1.02 değerinde tamamladığı belirlenmiştir.



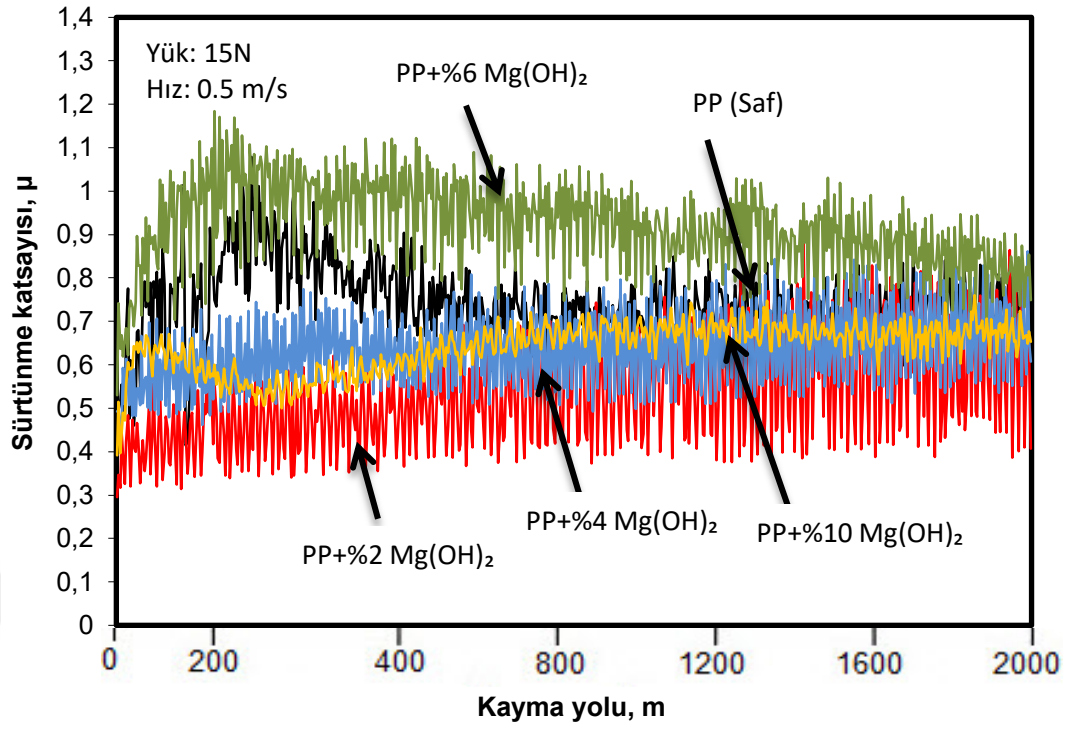
Şekil 4.35. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 2.0m/s)



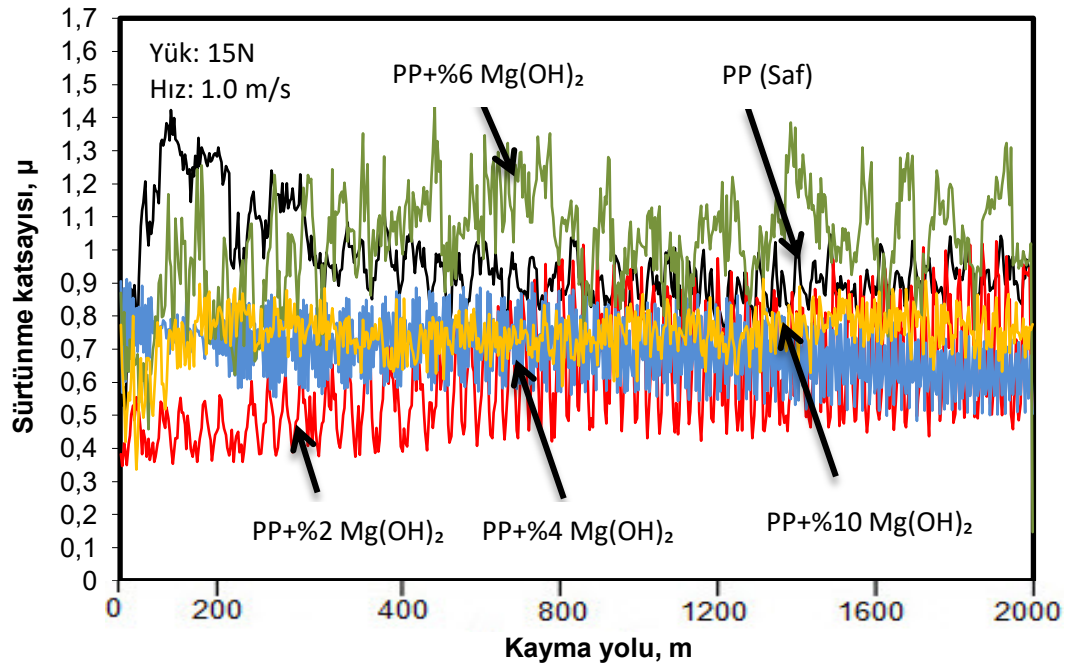
Şekil 4.36. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 3.0m/s)

Şekil 4.36’da saf PP polimeri ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin 10N yük ve 3.0m/s kayma hızında sürtünme katsayısı ile kayma yolu ilişkisi görülmektedir. Saf PP polimeri ile %10 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozitin sürtünme katsayısı eğrisi yaklaşık olarak 900m yol aldıktan sonra sırasıyla 0.97 ve 0.94 sürtünme katsayısı değerinde devam ederek dengeli hale geldikleri tespit edilmiştir. %2 ve %4 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 350m yol aldıktan sonra kararlı hale gelirken sürtünme katsayıları sırasıyla 0.76 ve 0.86 olarak belirlenmiştir. %6 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ise geniş bir aralıkta hareket ederek yaklaşık olarak 1600m mesafe aldıktan sonra 1.1 sürtünme değerinde dengeli hale geldiği saptanmıştır.

Şekil 4.37’de Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer kompozitlerin 15N yükte ve 0.5m/s kayma hızında uygulanan deneylerin sonuçları sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi olarak gösterilmektedir. Saf PP malzeme ile %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 800m mesafe aldıktan sonra kararlı hale geldiği görülmüştür ve sürtünme katsayıları sırasıyla 0.75 ve 0.66 değerinde olduğu belirlenmiştir. %2 ve %4 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayılarında başlangıçta az miktarda yükselme ve 400m mesafeden sonra kararlı hale gelip kayma yolunu sırasıyla 0.55 ve 0.66 değerlerinde tamamladıkları saptanmıştır. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile 250m mesafeye kadar ani artış tespit edilmiş olup daha sonra stabilize olarak azalma gösterdiği ve sürtünme katsayısı değerinin ortalama 0.84 olduğu tespit edilmiştir.



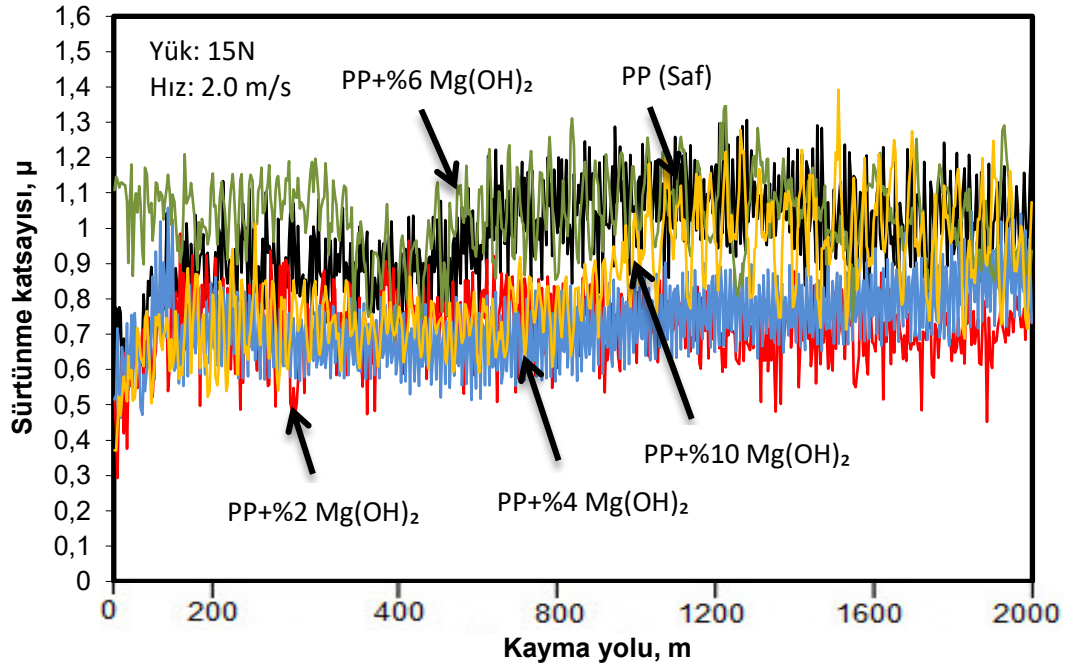
Şekil 4.37. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 0.5m/s)



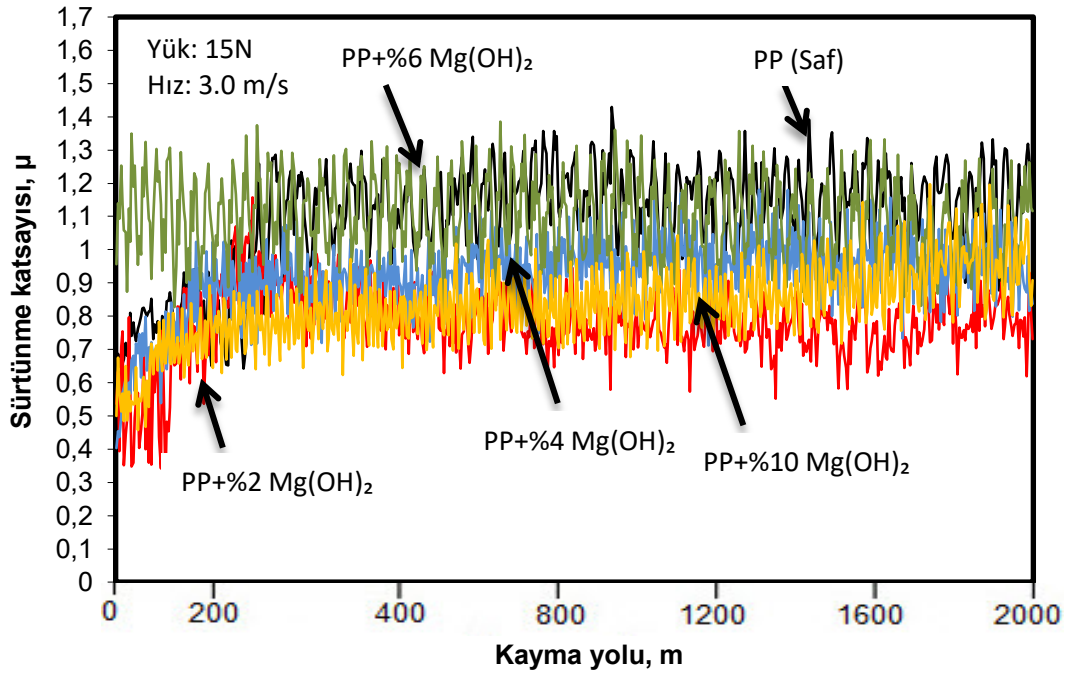
Şekil 4.38. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 1.0m/s)

Değişen oranlarda  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.38'de verilmiştir. 15N yük ve 1.0m/s kayma hızının uygulandığı deneylerde saf PP polimer malzemesi yaklaşık olarak 800m yol aldıktan sonra kararlı hale geldiği belirlenmiştir. %6  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozit malzeme 200m yol aldıktan sonra geniş bir aralıkta dalgalı hareketler yaparak 2000m mesafeyi tamamladığı saptanmıştır ve sürtünme katsayısı değerlerinin sırasıyla 0.89, 1.06 olduğu görülmüştür. %2, %4 ve %10 oranlarında  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 400m mesafe aldıktan sonra kararlı hale gelerek 2000m yolu tamamladıkları tespit edilmiştir. Sırasıyla %2 ve %4  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 0.64 olurken %10 oranında  $Mg(OH)_2$  katkılı PP malzemenin sürtünme 0.72 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4.39'da 15N yük altında ve 2.0m/s kayma hızındaki deneylerde saf PP polimer malzemesi ve %6  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozit malzemesinin kayma yolunu düzensiz bir şekilde geniş sürtünme katsayısı aralığında ortalama olarak her iki malzemede 1.0 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %2 ve %4  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozitler yaklaşık olarak 300m yol aldıktan sonra geniş sürtünme katsayısı aralığında ortalama olarak sırasıyla 0.70 ve 0.80 değerinde kayma yolunu tamamladığı belirlenmiştir. %10  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozit malzeme ise 200m ile 1000m arasında stabil olarak devam etmiş ve daha sonra sürtünme katsayısını yükseltip 1200m ile 2000m arasında kararlı hale gelip aldığı yolu ortalama olarak 0.92 değerinde tamamladığı belirlenmiştir.



Şekil 4.39. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 2.0m/s)



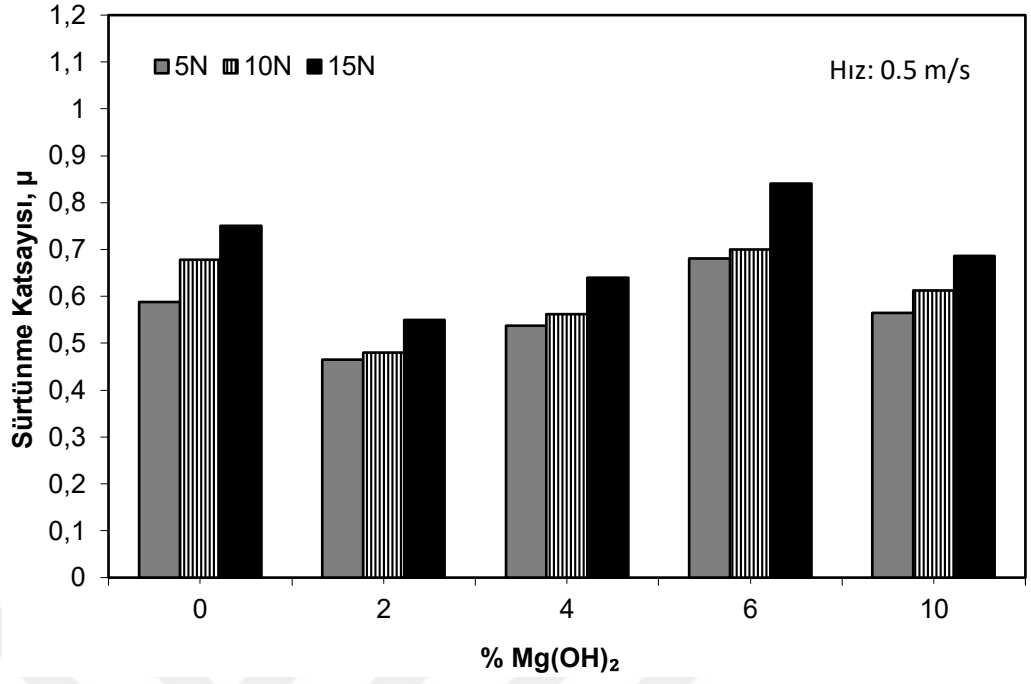
Şekil 4.40. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 3.0m/s)



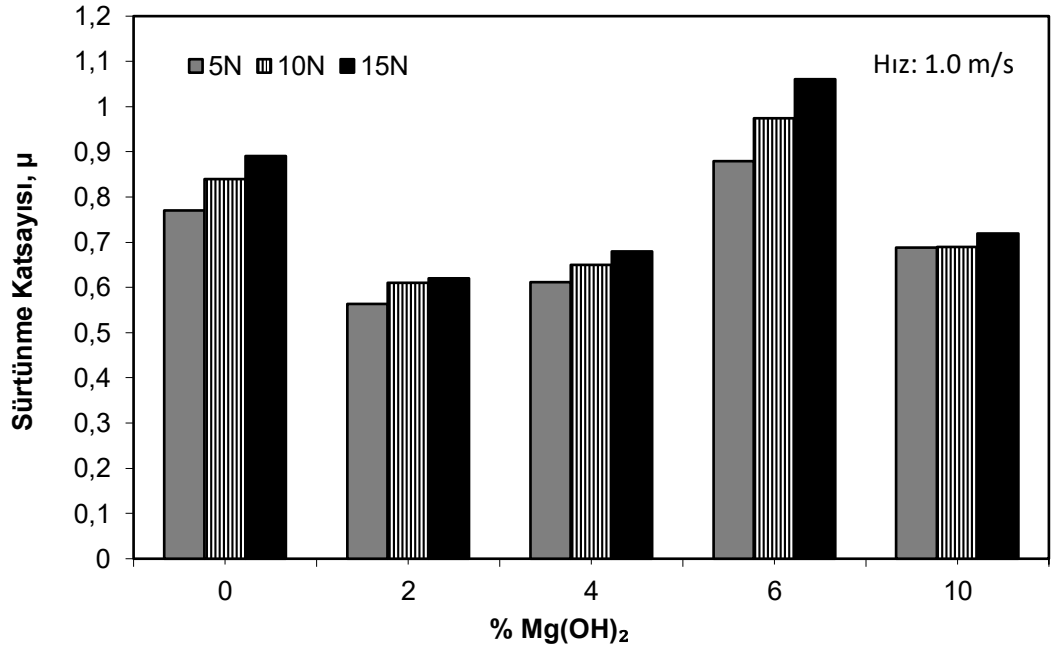
15N yük ve 3.0m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda saf PP polimeri ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.40'da verilmiştir. Saf PP polimer malzeme ile %2, %4 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları ilk 300m kayma mesafesi boyunca artış gösterirken 400m yol aldıktan sonra kararlı hale gelerek sırasıyla 1.12, 0.79 ve 0.92 değerlerinde kayma yolunu tamamladıkları tespit edilmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı baştan itibaren kararlı halini korumuş olup geniş sürtünme katsayısı aralığında ortalama olarak 1.12 değerinde 2000m kayma mesafesini tamamladığı belirlenmiştir. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme ise 300m yol aldıktan sonra sürtünme katsayısını artırarak 1600m'ye kadar az miktarda artarak yoluna devam etmiş ve sonrasında daha fazla artış göstererek kayma yolunu ortalama 0.96 değerinde bitirdiği saptanmıştır.

#### **4.2.2. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi**

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin 0.5m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.41'de verilmiştir. Malzeme grupları arasında sürtünme katsayısının en yüksek olduğu malzeme 0.84 değeri ile 15N yükün uygulandığı %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit olup saf PP polimeri (0.75 sürtünme katsayısı) ile karşılaştırıldığında %12 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısının düşmesine en fazla olumlu etki eden malzeme %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit olup en düşük sürtünme katsayısı 0.46 değeri ile 5N yükte yapılan deneyde meydana gelmiştir ve saf PP polimer malzemesine (0.58 sürtünme katsayısı) göre %21 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Deneylerde uygulanan yükün artırılmasının sürtünme katsayısına olumsuz etki yaparak artırdığı belirlenmiştir.



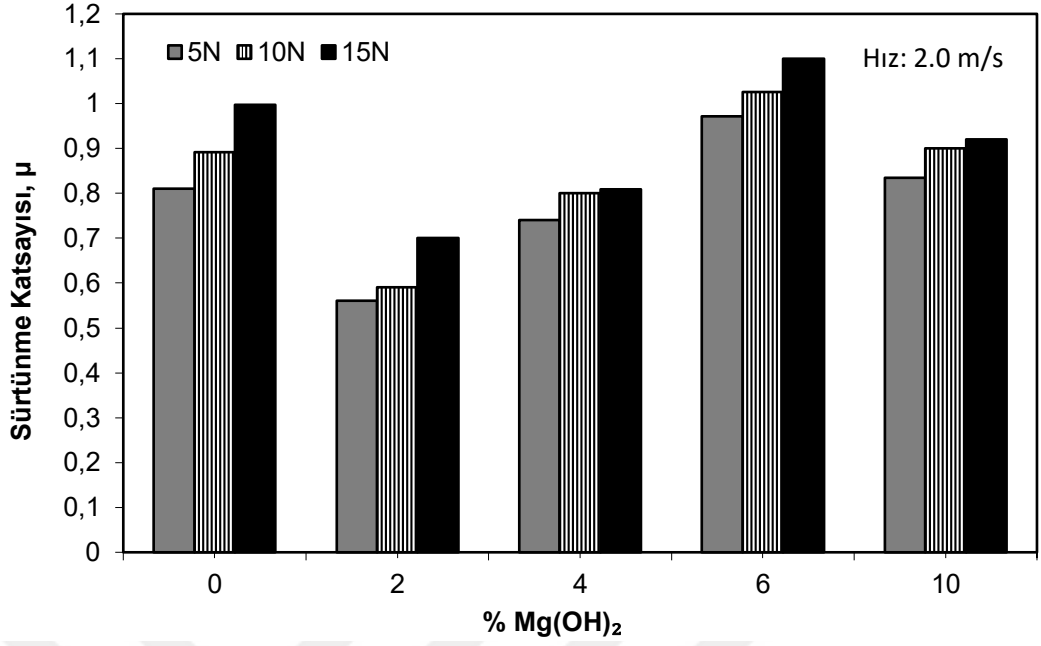
Şekil 4.41. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi



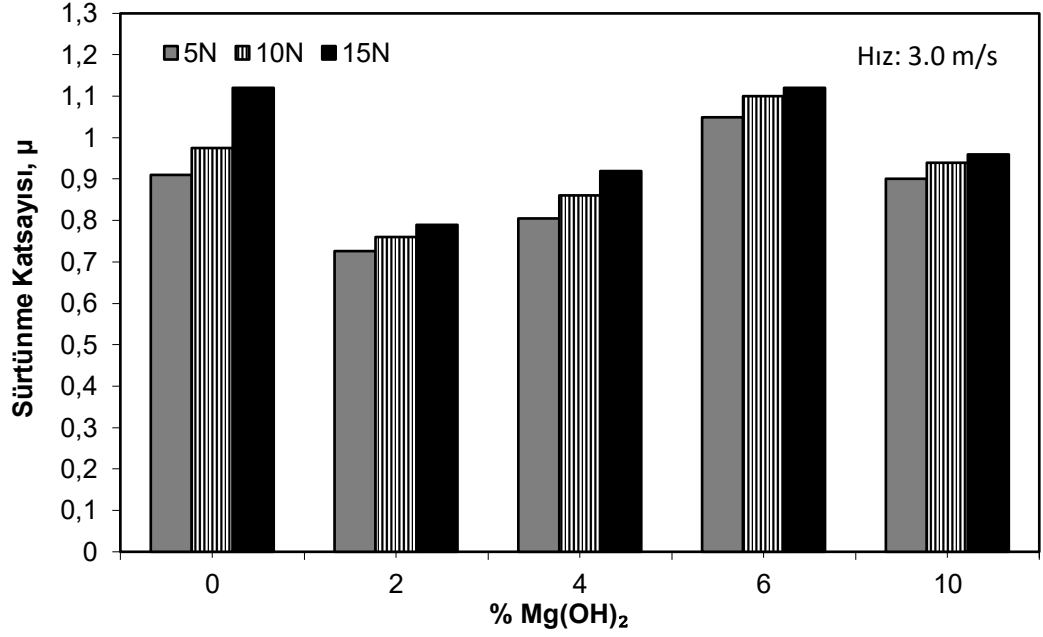
Şekil 4.42. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.42’de 1.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde kullanılan saf PP ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin sürtünme katsayıları Şekil 4.41’e benzer davranış göstermiştir. Uygulanan yükün artması ile malzemelerin sürtünme katsayısında artış olduğu saptanmıştır. Genel itibariyle %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli kompozit dışında Mg(OH)<sub>2</sub> oranının var olması sürtünme katsayısının düşmesine sebep olmuştur. En az sürtünme katsayısı değerine sahip olan %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin olumlu etki yaptığı PP kompozit malzemede görülmüş olup deney şartlarının 5N yükte yapıldığı ve sürtünme katsayı değerinin 0.56 olduğu tespit edilmiştir. Karşılaştırma yapıldığında saf PP malzemeye göre yaklaşık %27 azaldığı tespit edilmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin sürtünme katsayısını malzeme grupları arasında olumsuz etki yaparak 1.06 değerine artırdığı belirlenmiştir. 15N yükte yapılan deneyde saf PP malzemeye (0.89 sürtünme katsayısı) göre %19 daha fazla olduğu saptanmıştır.

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin 2.0m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.43’de verilmiştir. %2 ve %4 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin sürtünme katsayısının düşmesinde olumlu yönde etki ettiği görülmektedir. %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi sürtünme katsayısını artırdığı saptanmıştır. Uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısının düzenli olarak arttığı görülmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı değeri 1.1 olup 15N yükte, %6 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile olduğu saptanmıştır. Saf PP polimerine (0.99 sürtünme katsayısı) göre %11 daha yüksek değere sahiptir. 0.56 değeriyle sürtünme katsayısının en düşük olduğu malzeme %2 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemede görülmüş olup 5N yükte yapılan deneyde elde edilmiştir. Katkısız PP (0.81 sürtünme katsayısı) ile karşılaştırıldığında %30 daha düşük değere sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.43. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi



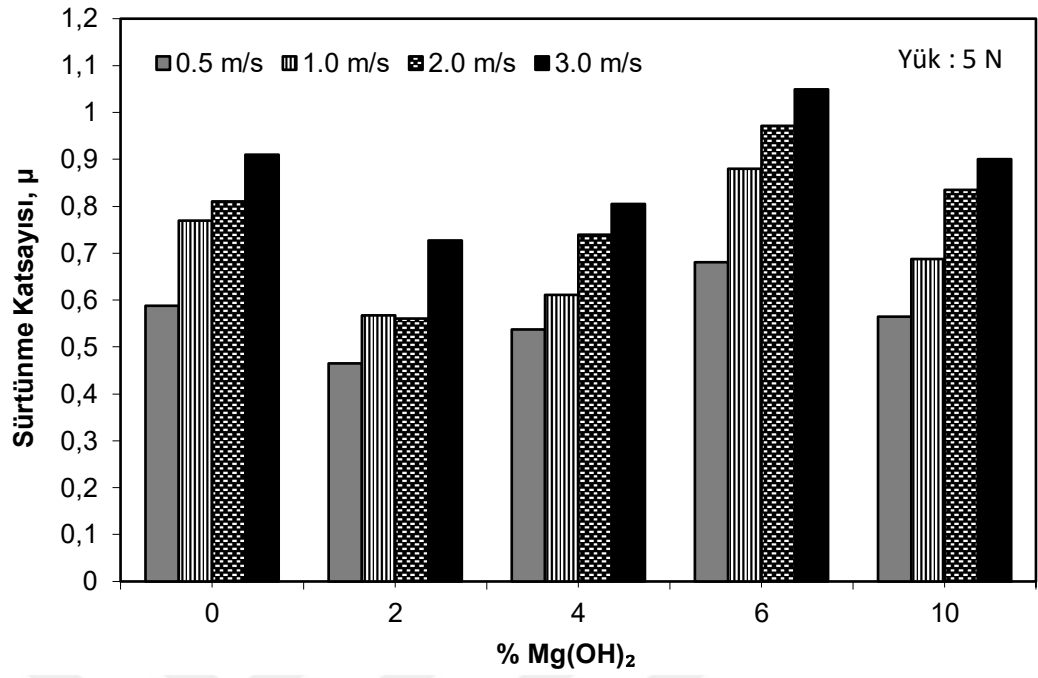
Şekil 4.44. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 3.0m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.44'de verilmiştir. 3.0m/s kayma hızının diğer 0.5m/s, 1.0m/s ve 2.0m/s

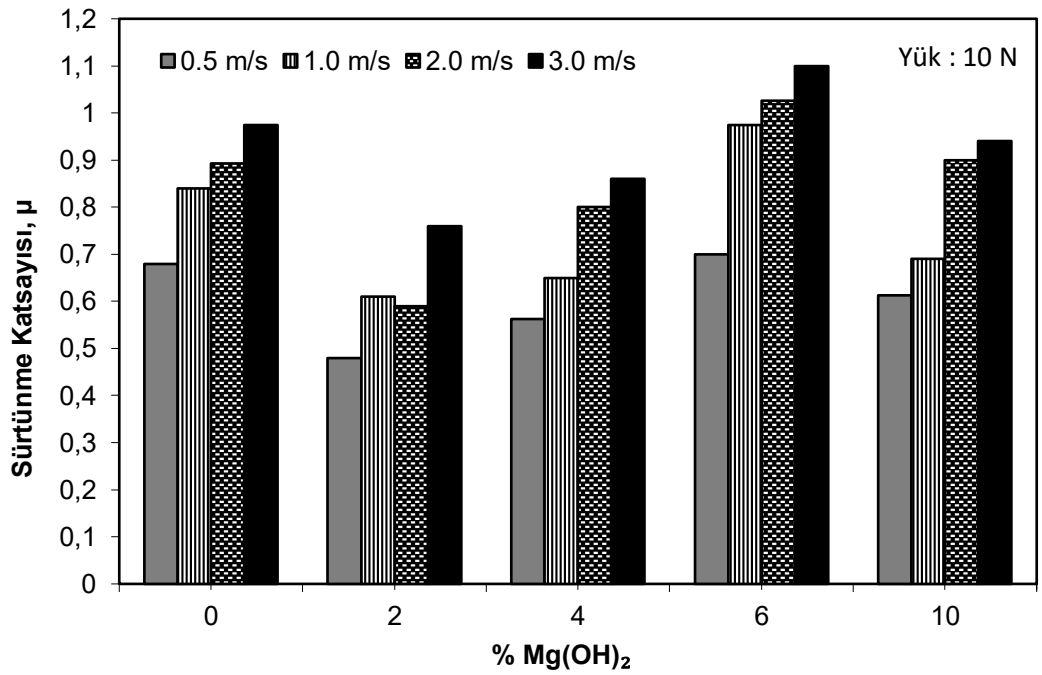
kayma hızlarına göre sürtünme katsayısı değerlerinde daha fazla artış olduğu saptanmıştır. 3.0m/s kayma hızında da uygulanan yükün artması ile tüm malzemelerde sürtünme katsayısı değeri artmıştır. Deneylede kullanılan malzemeler arasında sürtünme katsayısının düşmesine en fazla etki yapan malzeme 5N yükün uygulandığı %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemede 0.72 değeri ile tespit edilmiştir. Bu değer saf PP malzemeye (0.91 sürtünme katsayısı) göre yaklaşık olarak %21 daha düşük olduğu belirlenmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı saf PP polimer malzemesi ve %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemede, 15N yükte 1.12 sürtünme katsayısı değerine sahip malzemelerde tespit edilmiştir.

#### **4.2.3. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma hızı ilişkisi**

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 5N yük altında ve farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.45’de verilmiştir. Malzeme grupları incelendiğinde en yüksek sürtünmenin yaşandığı grup %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli malzemelerde olduğu belirlenmiştir. Kayma hızının 3.0m/s olduğu deneyde 1.04 sürtünme katsayısı değeriyle en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin saf PP malzemeye (0.91 sürtünme katsayısı) göre sürtünme katsayısını %14 artırdığı belirlenmiştir. 5N yük ve 0.5m/s kayma hızında gerçekleşen deneyde %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin sürtünme katsayısını düşürmek için en fazla katkı yaptığı belirlenmiş olup yaklaşık olarak 0.46 değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Saf PP malzeme (0.58 sürtünme katsayısı) ile kıyaslandığında %20 daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu saptanmıştır.



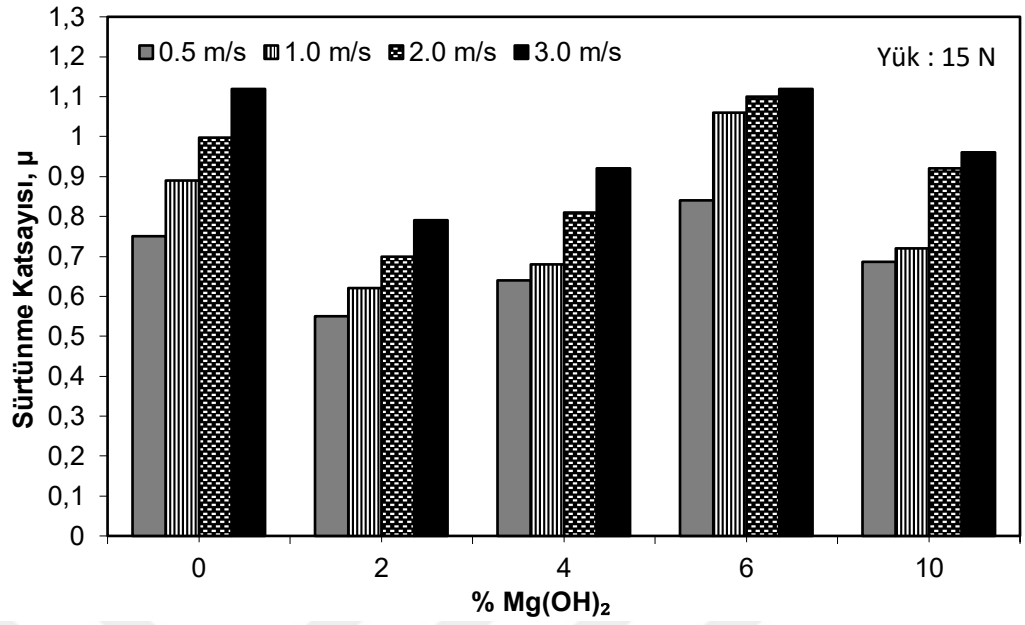
Şekil 4.45. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi



Şekil 4.46. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin 10N yük altında sürtünme katsayısı ve farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.46.'da verilmiştir. 10N yükte uygulanan deneylerde kullanılan saf PP ve Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin sürtünme katsayıları Şekil 4.45'e benzer davranış göstermiştir. %6 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı hariç %2, %4, %10 oranlarındaki Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile sürtünme katsayısında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. 3.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneyde ise %6 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozit malzeme 1.1 sürtünme katsayısı değerine sahip olup saf PP polimer malzemesine (0.97 sürtünme katsayısı) göre %13 artarak sürtünme katsayısını yükseltmiştir. Kayma hızının 0.5m/s olarak uygulandığı deneylerde %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin sürtünme katsayısını oldukça azalttığı ve 0.48 seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Katkısız PP'ye (0.67 sürtünme katsayısı) göre %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin %28 daha düşük değerde olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.47.'de kompozit malzemeler arasında Mg(OH)<sub>2</sub> oranı %2'den %10'a arttıkça sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. Şekil 4.45. ve 4.46'da uygulanan 5N ve 10N yüke göre Şekil 4.47'de uygulanan 15N yükün sürtünme katsayısı değerlerini yükselttiği tespit edilmiştir. 0.55 sürtünme katsayısı değeriyle %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli ve 0.5m/s kayma hızında uygulanan deneyde sürtünme katsayısının en düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Saf PP polimeri (0.75 sürtünme katsayısı) ile %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli PP kompozit karşılaştırıldığında Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile yaklaşık olarak %27 daha düşük sürtünme katsayısı değeri elde edilmiştir. 3.0m/s kayma hızında uygulanan deneyde saf PP polimer malzemesi ile %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısının 1.16 değeriyle en yüksek olduğu görülmüştür.



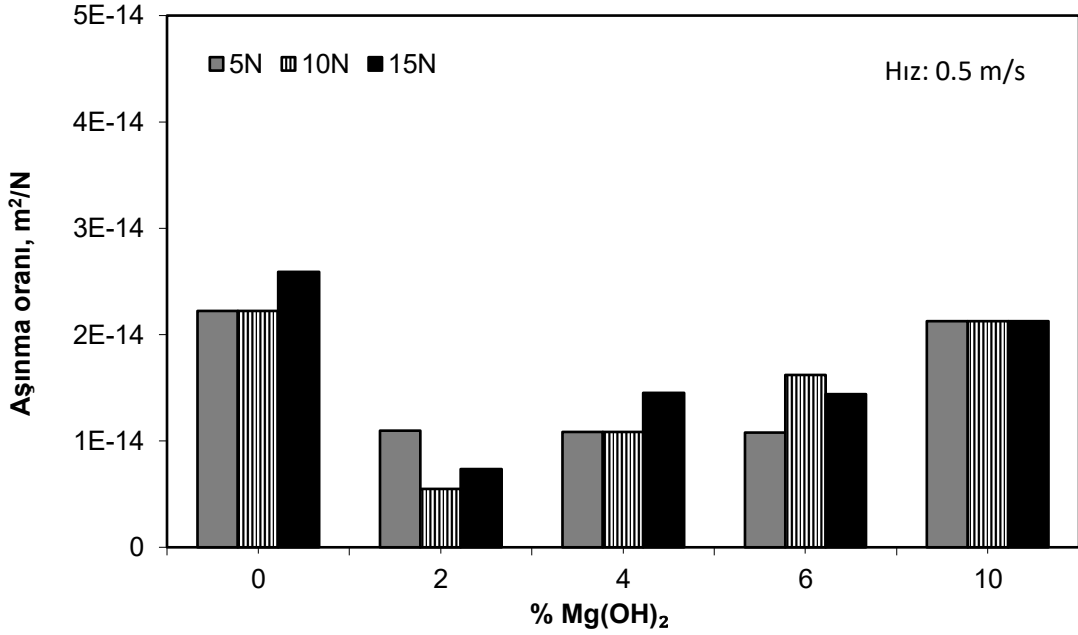
Şekil 4.47. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

#### 4.2.4. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı - yük ilişkisi

Şekil 4.48'de saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 0.5m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki aşınma oranı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile aşınma oranlarında azalma olduğu saptanmıştır. Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının oranı %2'den %10'a artırıldığında aşınma oranının arttığı görülmüştür. 5N yük altında 0.5m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $1,10 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,13 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Bu aşınma oranları saf PP malzemeye göre azalma göstermiştir. Bu azalma oranları saf PP malzemeye göre sırasıyla %50, %51, %51 ve %4 olarak belirlenmiştir. 10N yük altında 0.5m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $5,49 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,62 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,13 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı saf PP malzemenin aşınma oranını düşürmüş olmasına rağmen %2'den %10'a Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi artırıldığında aşınma oranının arttığı saptanmıştır. Saf PP malzemeye göre azalma değerleri sırasıyla %75, %51, %27 ve %4 olarak tespit edilmiştir. 15N yük altında 0.5m/s kayma hızında



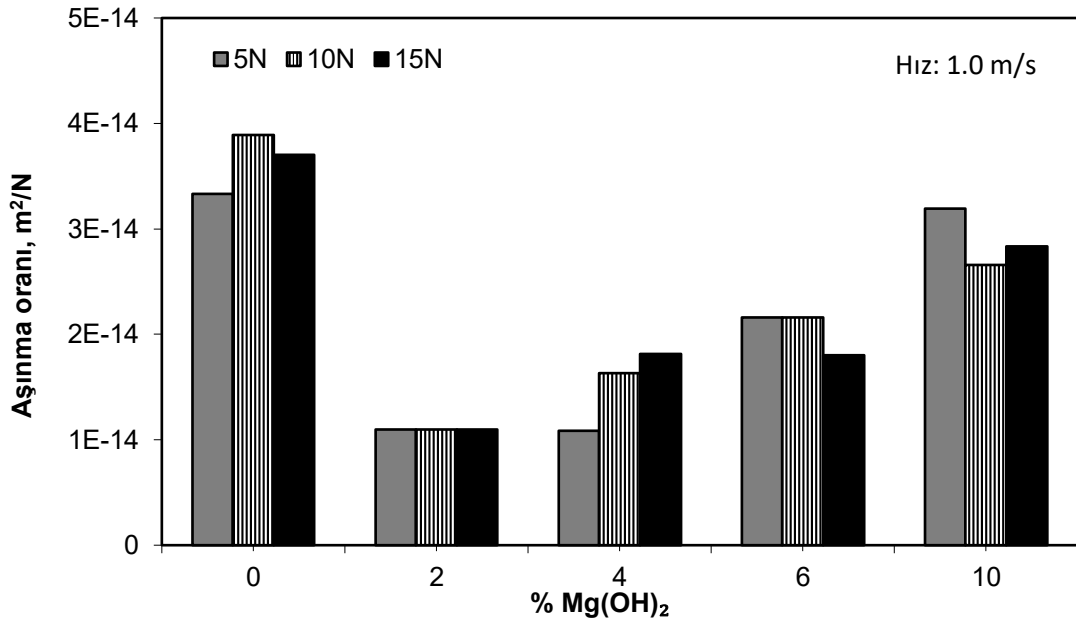
saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $2,59 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $7,33 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,45 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,13 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Yani  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısı PP malzemenin aşınma oranını düşürmüş olup bu azalma değerleri sırasıyla %72, %44, %44 ve %18 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.48. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı -  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.49'da 1.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının ilave edilmesiyle aşınma oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. 1.0 m/s kayma hızı ve 5N yükün uygulandığı deneylerde saf PP malzemenin aşınma oranı  $3,33 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,16 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,19 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olduğu saptanmıştır. 5N yükün uygulandığı deneyde  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının aşınma oranını azalttığı görülmüş olup saf PP malzemeye göre sırasıyla %67, %67, %35 ve %4 oranında azalmıştır. 10N yük altında 1.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $3,88 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,63 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,16 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,65 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiş olup  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının aşınma oranını azalttığı tespit edilmiştir. Bu azalma saf PP

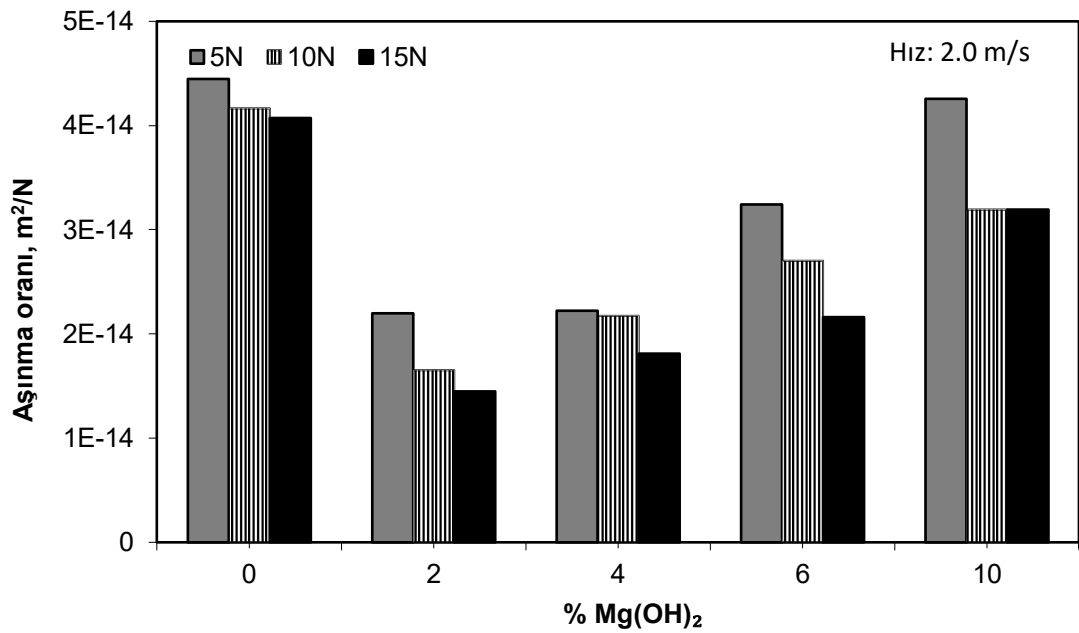
malzemeye göre sırasıyla %72, %58, %44 ve %32 olarak belirlenmiştir. 15N yük altında 1.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde saf PP malzemenin aşınma oranı  $3,70 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak tespit edilmiştir. %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,81 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,80 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,83 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olduğu belirlenmiştir.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının aşınma oranını düşürdüğü saptanmıştır. Bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %70, %51, %51 ve %23 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.49. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı -  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.50'de 2.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ilavesi ile aşınma oranının düştüğü belirgin bir şekilde görülmektedir.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının oranı %2'den %10'a artırıldığında aşınma oranının kompozit malzemeler arasında arttığı görülmüştür. 0.5m/s ve 1.0m/s kayma hızlarında gerçekleşen deneylerde uygulanan yükün pek bir etkisi olmazken 2.0m/s hızda yapılan deneylerde  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozit malzemelerde uygulanan yük arttıkça aşınma oranının azaldığı tespit edilmiştir. 5N yük altında 2.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $4,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $2,19 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $3,24 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $4,25 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısı ile aşınma

oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmalar saf PP'ye göre sırasıyla %51, %50, %27 ve %4 değerinde olmuştur. 10N yük altında 2.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik aşınma oranı  $4,16 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $1,64 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,17 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,70 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,19 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak tespit edilmiştir. 10N yükte de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının aşınma oranını azalttığı görülmüştür. Bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %60, %48, %35 ve %23 değerlerinde olduğu saptanmıştır. 15N yük altında 2.0m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $4,07 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $1,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,81 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,16 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,19 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiş olup  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının aşınma oranını azalttığı tespit edilmiştir. Bu azalma saf PP polimer malzemesine göre sırasıyla %64, %55, %47 ve %22 değerlerinde olduğu saptanmıştır.

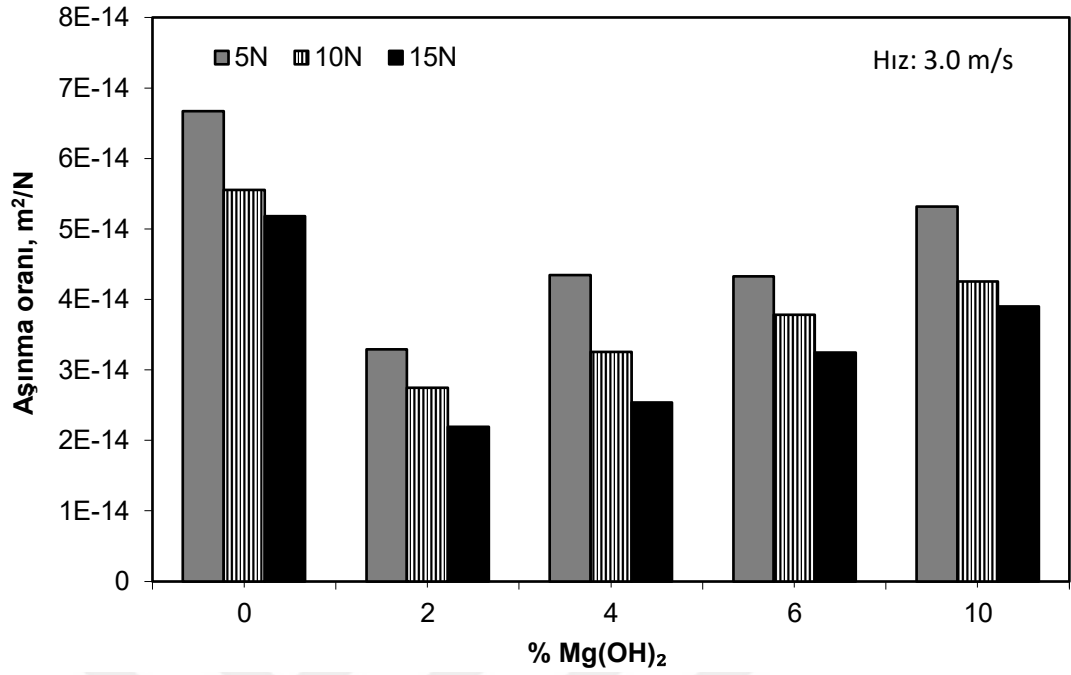


Şekil 4.50. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı -  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.51'de 3.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısı aşınma oranına olumlu etki yaparak saf PP malzemesine göre aşınmayı azaltmıştır. Fakat  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  oranı %2'den %10'a artırıldığında aşınma oranının arttığı görülmektedir. 0.5m/s, 1.0m/s ve 2.0m/s kayma hızına göre 3.0m/s kayma hızında aşınma oranları oldukça yükselmiştir. Şekil 4.51'de uygulanan yükün artması ile aşınma oranının

azaldığı tespit edilmiştir. 5N yük altında 3.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $6,66.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $3,29.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $4,34.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $4,32.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $5,31.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Saf PP'ye göre aşınma oranında azalma belirgin olup bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %50, %35, %35 ve %20 değerlerinde olduğu saptanmıştır. 10N yük altında 3.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik aşınma oranı  $5,55.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $2,74.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $3,26.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $3,78.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $4,25.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak saptanmıştır. Saf PP malzemeye göre aşınma oranlarında azalma olduğu belirlenmiş olup bu azalma oranlarının sırasıyla %50, %41, %32 ve %23 olduğu saptanmıştır. 15N yük altında 3.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik aşınma oranı  $5,18.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $2,19.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,54.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $3,24.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,90.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiş olup  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozitlerin saf PP malzemeye göre aşınmayı azalttığı saptanmıştır. Bu aşınma oranındaki azalma saf PP polimer malzemesine göre sırasıyla %58, %51, %37 ve %25 olduğu tespit edilmiştir.

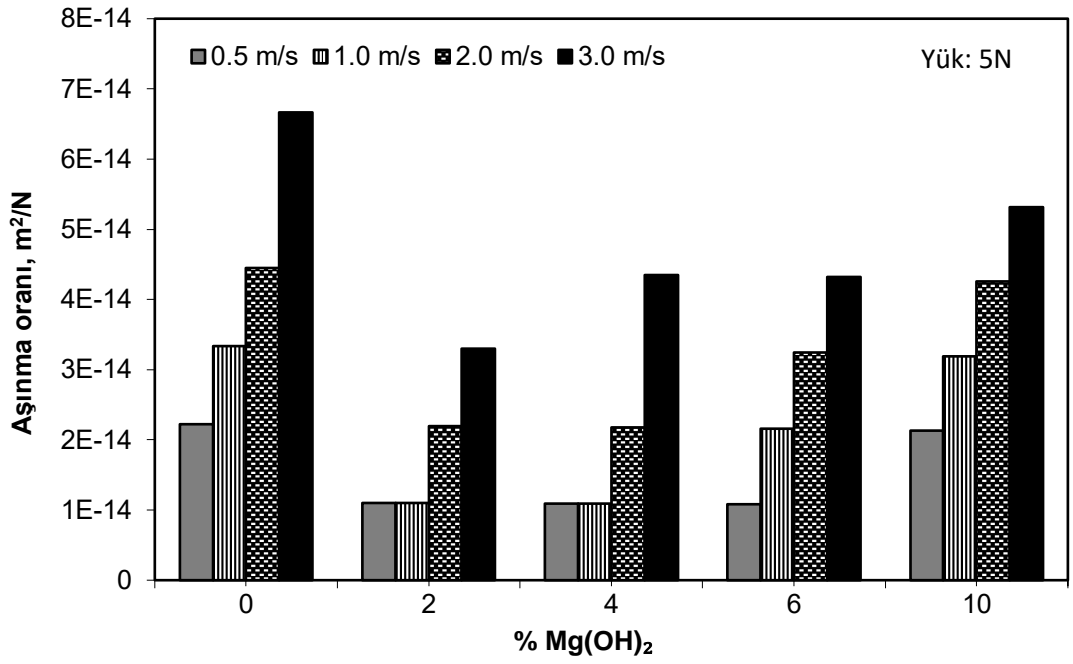
Uygulanan yüke bağlı olarak elde edilen aşınma oranındaki azalma ve artma şeklindeki değişimlerin, karşı disk yüzeyinde oluşan film tabakası ve film tabakasının kalınlığı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Oluşan film tabakası, polimer ile karşı disk yüzey arasında yağlayıcı görevi üstlenerek iki malzemenin sürtünmesini ve dolayısıyla aşınma oranını etkilemiş olabilir.



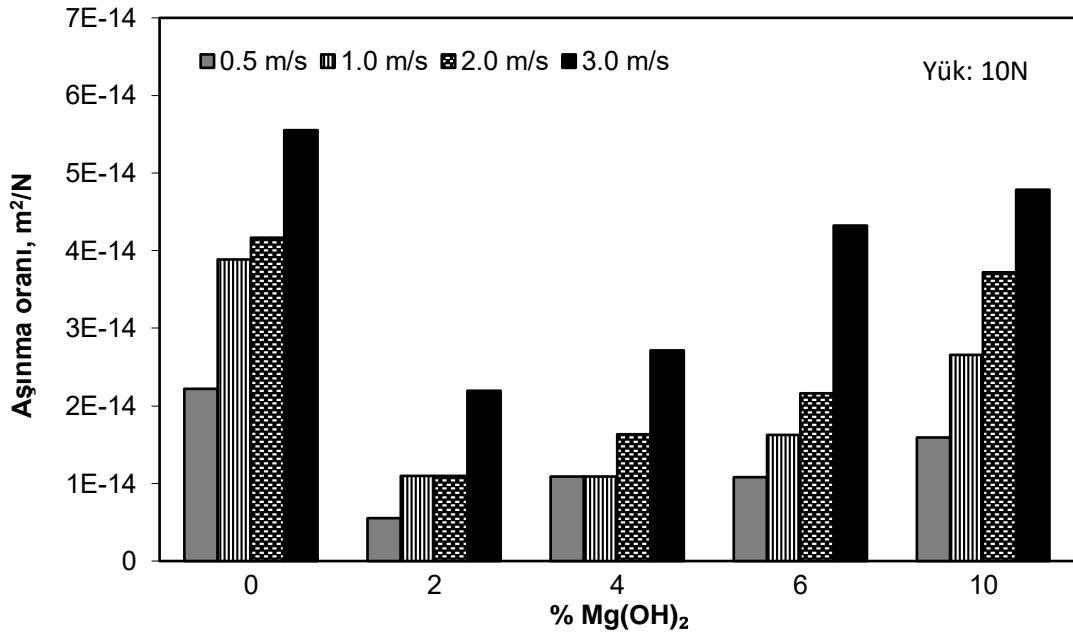
Şekil 4.51. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

#### 4.2.5. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı – kayma hızı ilişkisi

Şekil 4.52’de saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 5N yük altında ve farklı kayma hızlarındaki aşınma oranı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi verilmiştir. Kayma hızınının 0.5m/s’den 3.0m/s hıza artırılması ile aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile aşınma oranında azalma belirgin olarak saptanmış olup en az aşınmanın yaşandığı kompozit malzemeler %2, %4 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemelerin 0.5m/s ve 1.0m/s hızlarda yapılan deneylerinde ve %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin 0.5m/s hızında yapılan deneyde ortalama aşınma oranı  $1,10 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu aşınma oranındaki azalma saf PP malzemeye göre 0.5m/s kayma hızı için %50 ve 1.0m/s kayma hızı için %67 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Mg(OH)<sub>2</sub> oranının %2’den %10’a artırılması ile kompozit malzemeler içerisinde aşınma oranının arttığı saptanmıştır.



Şekil 4.52. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

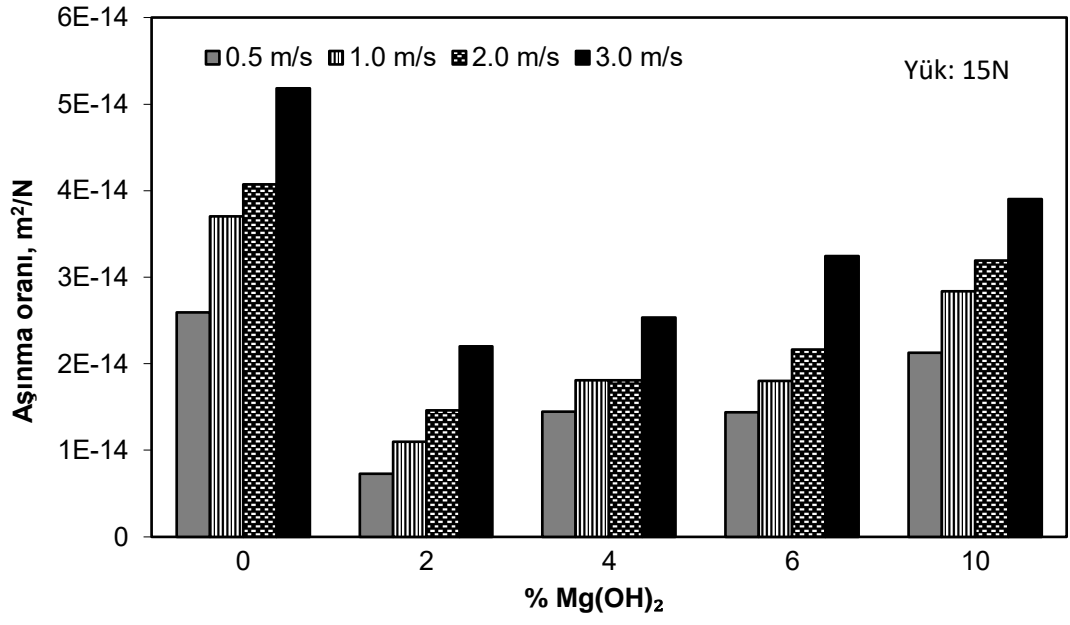


Şekil 4.53. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 10N yük ve farklı kayma hızlarındaki aşınma oranı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.53'de verilmiştir. Şekil 4.52'ye benzer davranışlar 10N sabit yükte uygulanan deneyde de görülmüştür. Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile aşınma oranında saf PP malzemeye göre azalma görülmüş olup kayma hızı ve Mg(OH)<sub>2</sub> oranının artması ile aşınma oranında artış tespit edilmiştir. En düşük aşınma oranı  $5,49.10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemedeki meydana gelmiş olup bu deney 0.5m/s kayma hızında gerçekleşmiştir. Saf PP malzemeye göre %75 aşınma oranında azalma göstermiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> oranının artmasıyla aşınma oranında artma olduğu saptanmış olup 0.5m/s kayma hızına göre, %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının ilave edilmesiyle saf PP malzemeye göre aşınma oranında %4 azalma tespit edilmiştir.

Şekil 4.54'te 15N yük altında ve farklı kayma hızlarında uygulanan deneylerde saf PP polimeri ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma oranı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi verilmiştir. 15N yükte de Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin aşınma oranını düşürdüğü belirlenmiştir. Kayma hızı arttıkça aşınma oranının da arttığı görülmektedir. 0.5m/s kayma hızı ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemedeki en düşük aşınma oranı olduğu saptanmış olup  $7,33.10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N değerindedir. Aşınma oranı saf PP malzemeye göre %72 daha az olmuştur. Mg(OH)<sub>2</sub> oranının %2'den %10'a artırılması ile kompozit malzemelerin aşınma oranında artış gözlemlenmiştir. 0.5m/s kayma hızına göre, %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının ilave edilmesiyle saf PP malzemeye göre aşınma oranında %18 azalma tespit edilmiştir.

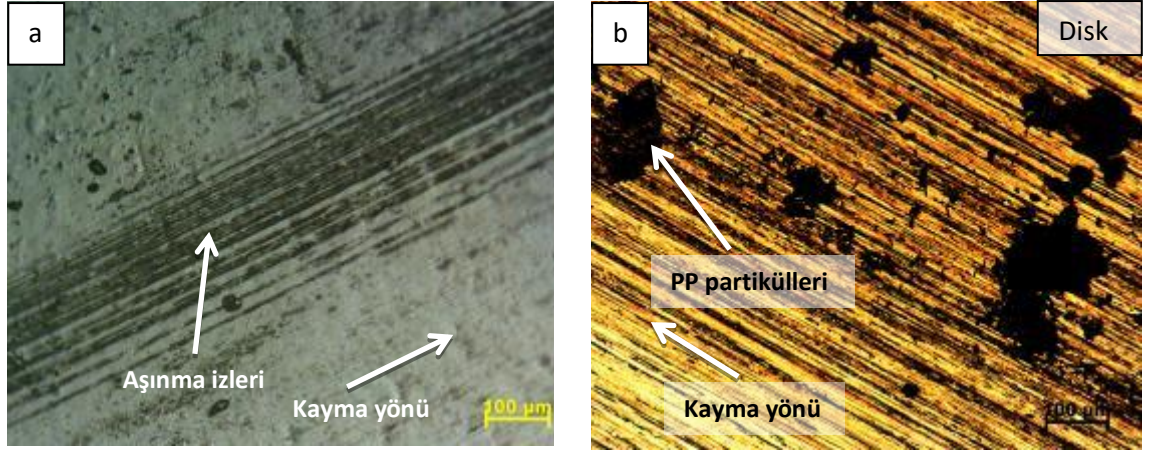
Literatür ile karşılaştırıldığında kayma hızının etkisinin PP kompozit malzemelerde farklı katkı maddelerinde de aynı sonuca ulaşıldığı tespit edilmiştir. Gandhi ve arkadaşları; Polipropilen içerisine %1, %3, %5, %7 oranlarında karbon nanotüp (CNT) ilave ederek oluşturdukları kompozit malzemenin pin-on disk aşınma cihazında çelik diske karşı 1m/s-5m/s hızlarında, 10N-50N yüklerinde tribolojik özellikleri incelenmiştir. Yükün ve hızın artırılması ile aşınma oranında artış gözlemlenmiştir (Gandhi ve diğ, 2013).



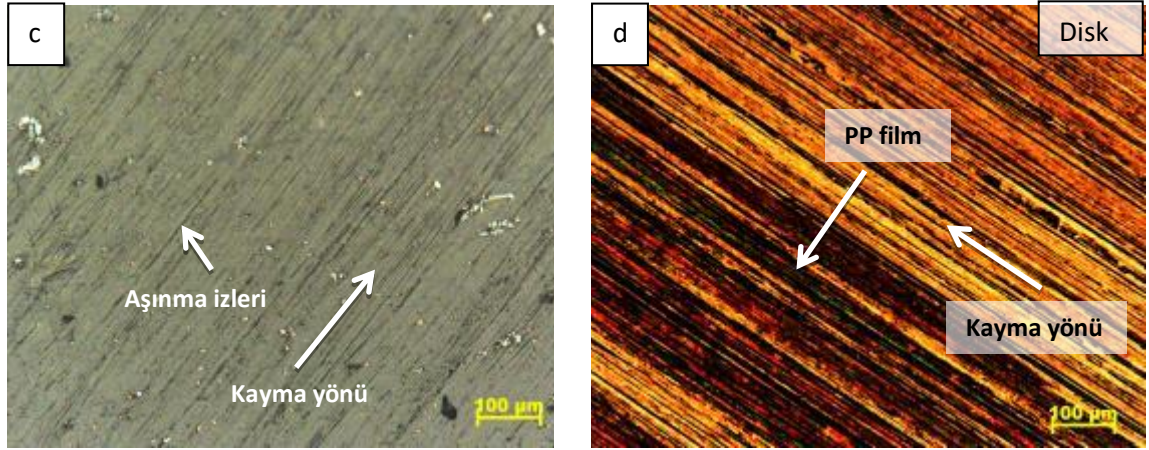
Şekil 4.54. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi



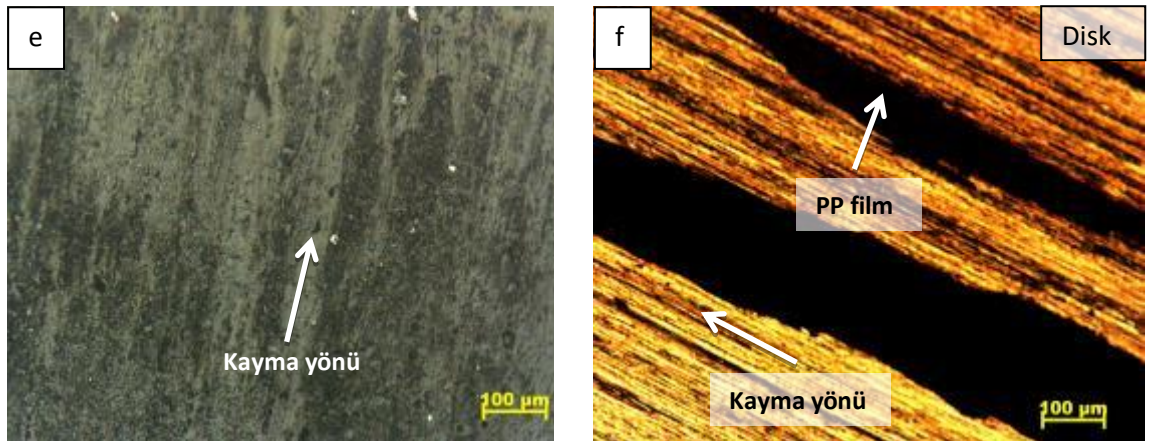
#### 4.2.6. 1.5µm partikül boyutuna sahip Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin mikro yapı görüntüleri



a) Katkısız

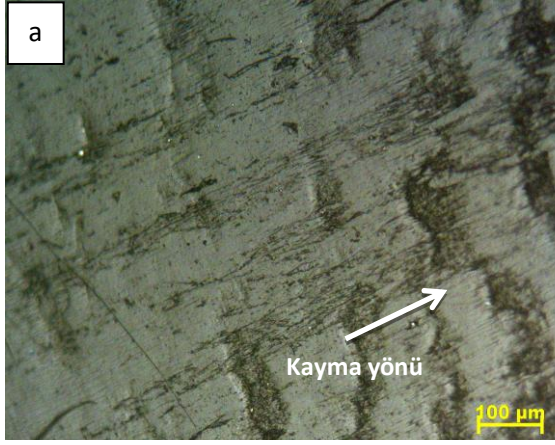


b) %2 Mg(OH)<sub>2</sub>

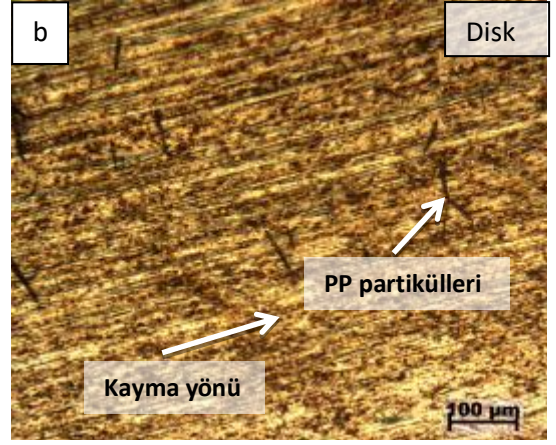


c) %10 Mg(OH)<sub>2</sub>

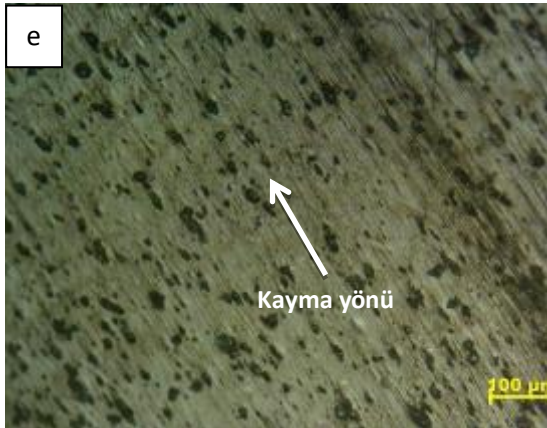
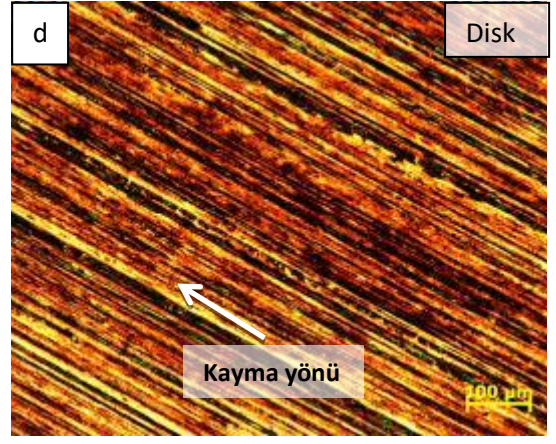
Şekil 4.55. Katkısız PP ile 1.5µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 0.5m/s)



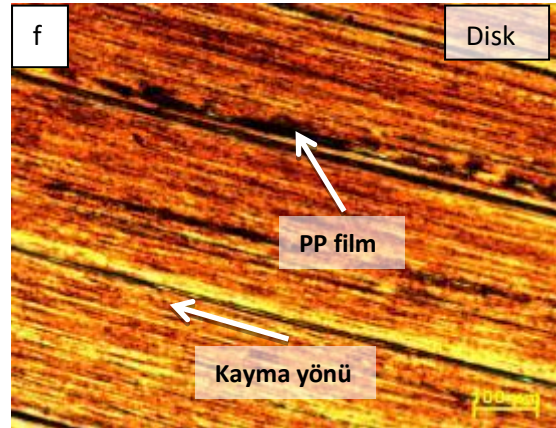
a) Katkısız



b) %2 Mg(OH)<sub>2</sub>



c) %10 Mg(OH)<sub>2</sub>



Şekil 4.56. Katkısız PP ile 1.5µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 3.0m/s)

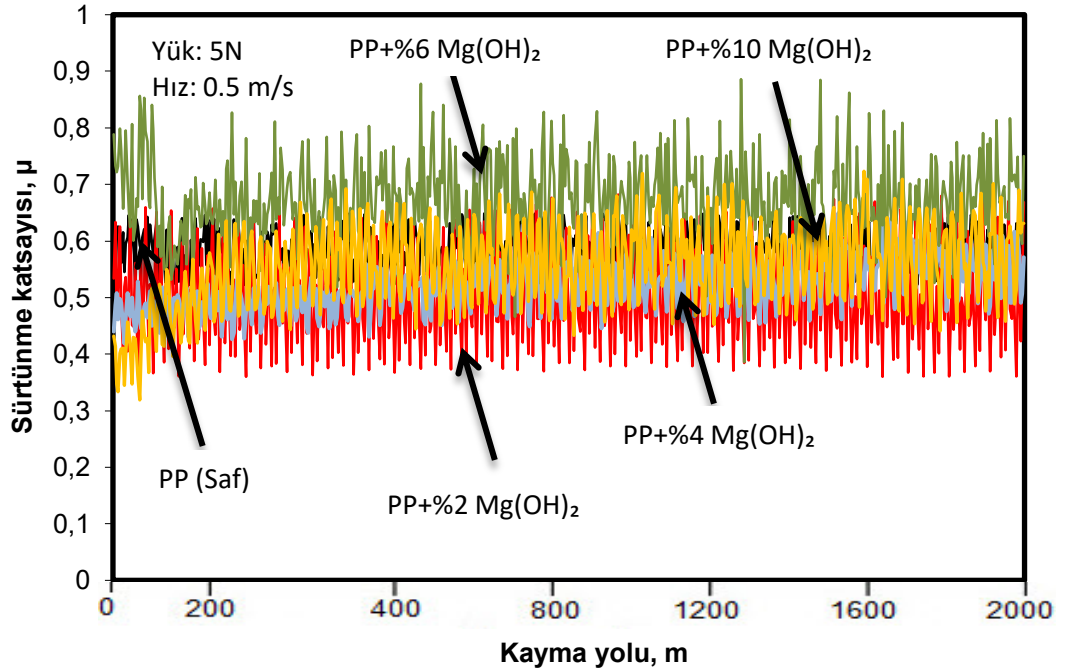
Şekil 4.55'te kuru kayma ve oda sıcaklığında gerçekleşen, 15N yük ve 0.5m/s kayma hızında AISI 316L çelik disk malzemesine karşı uygulanan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen saf PP ile 1.5µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma pim numunelerinin ve çelik diskin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Pim numuneleri arasında en fazla aşınma izinin olduğu malzeme saf PP polimer malzemesidir. (c) PP polimer malzemesine %2 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katılması ile aşınma izinin saf PP malzemeye göre azaldığı görülmektedir. (d) Karşı malzeme olarak belirlenen çelik disk yüzeyinde ise PP film tabakası olduğu belirlenmiştir. Adhezif ve abrazif aşınmanın birlikte gerçekleştiği saptanmıştır. (e) %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer malzemesinin yüzeyinde aşınmadan dolayı yönlenme izleri görülmektedir. (f) Disk malzemesinin yüzeyinde sıcaklık artışından dolayı pim malzemesinden kopmalar sonucu yapışma izleri belirgin şekilde görülmektedir. Adhezif ve abrazif aşınmanın olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.56'da deneylerde kullanılan saf PP polimeri ile 1.5µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma pim numunelerinin ve çelik diskin optik mikroskop görüntüleri verilmiş olup 15N yük ve 3.0m/s kayma hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Aşınmanın en fazla olduğu mikroyapı görüntüsü saf PP malzemesinde elde edilmiştir. (c) Aşınma izinin en az olduğu malzeme %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer malzemesi olup (d) karşı yüzey olarak kullanılan çelik disk malzemesinin yüzey görüntüsünde yapışmanın az olduğu gözlemlenmiştir. Yani adhezif ve abrazif aşınmanın az olduğu belirlenmiştir. (e) %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer malzemesinin pim yüzey görüntüsünde aşınma izleri belirgin bir şekilde görülmektedir. (f) Çelik disk malzemesinin yüzeyinde yapışmalar olduğu gözlemlenmiştir. Yani adhezif ve abrazif aşınmanın olduğu belirlenmiştir.

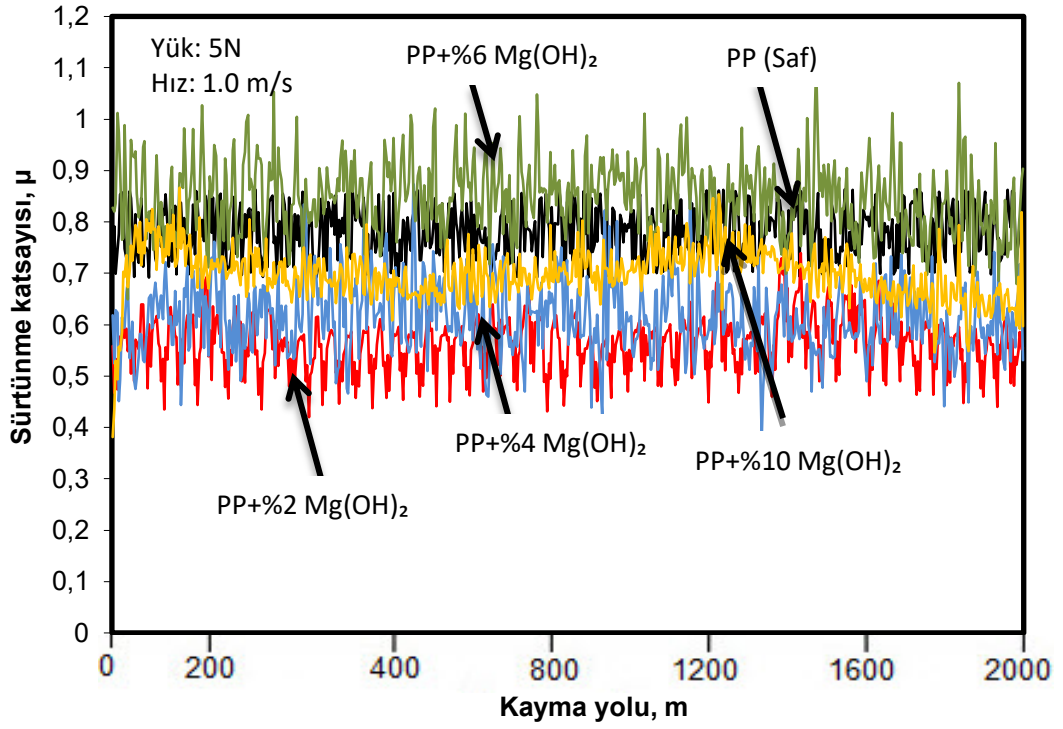
### 4.3. 2.6µm Partikül Boyutuna Sahip Mg(OH)<sub>2</sub> Katkılı PP Kompozitlerin Deneysel Bulguları

#### 4.3.1. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi

0.5m/s kayma hızında ve 5N yük altında uygulanan sürtünme deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.57’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi saf PP polimeri kayma yolunu dar bir sürtünme katsayısı aralığında tamamlarken %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayısı eğrisi geniş bir aralıkta başlangıçtan itibaren stabilize olarak tek çizgi boyunca kayma yolunu tamamladığı görülmüş ve sırasıyla 0.58, 0.47 sürtünme katsayısı değerinde oldukları tespit edilmiştir. %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları geniş bir aralıkta yaklaşık olarak 300m kayma mesafesinden sonra kararlı hale geldiği saptanmış olup sırasıyla 0.68, 0.57 değerinde oldukları belirlenmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayısı kayma mesafesi boyunca hafif bir artış göstererek ortalama 0.54 değerinde yolu tamamladığı belirlenmiştir.



Şekil 4.57. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 0.5m/s)

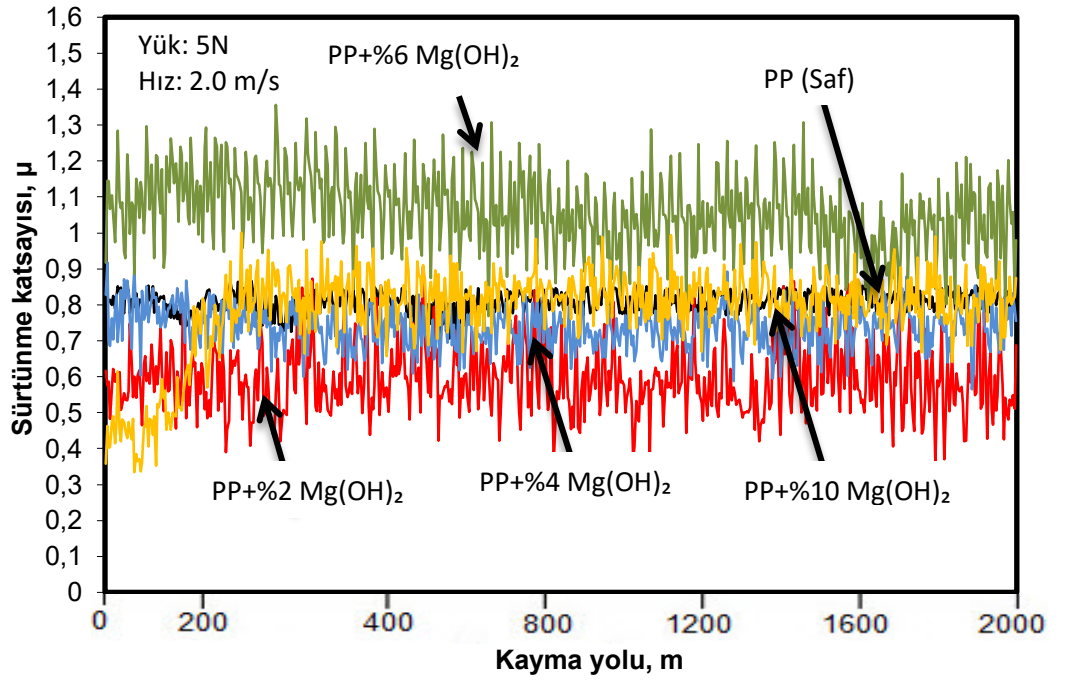


Şekil 4.58. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 1.0m/s)

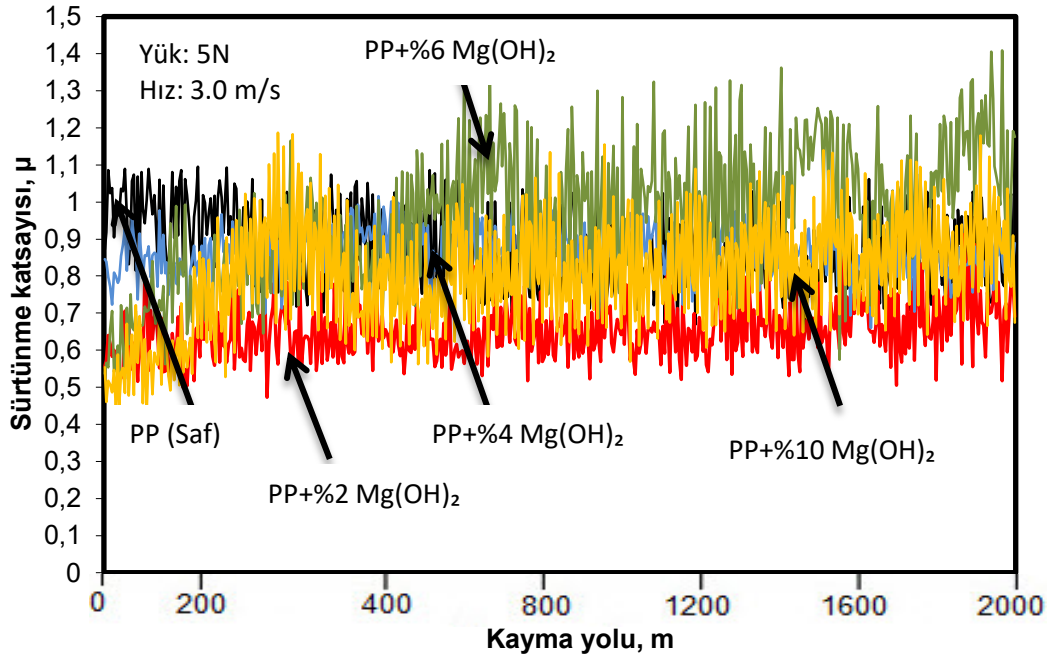
Şekil 4.58’de 5N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimeri dar bir sürtünme aralığında kayma yolunu kararlı bir şekilde tamamlarken %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme daha geniş sürtünme katsayısı aralığında başlangıçtan itibaren stabilize olarak devam etmiş olup sürtünme katsayısı değerleri sırasıyla 0.77, 0.87 olarak belirlenmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme kayma yolunu hafif iniş ve çıkışlar yaparak geniş bir aralıkta 0.57 değerinde tamamlarken %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme yaklaşık olarak 100m mesafe aldıktan sonra aynı şekilde geniş bir aralıkta ortalama 0.62 değerinde kararlı hale geldiği saptanmıştır. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin ise 300m ile 900m kayma yolu mesafesi arasında kararlı olarak hareket ettiği ve sonrasında 1200m mesafeden sonra azalma göstererek yolu bitirdiği ve ortalama 0.69 değerinde olduğu saptanmıştır.

Farklı oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.59’da verilmiştir. 5N ve 2.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde görüldüğü gibi saf PP polimeri kayma yolunu dar bir aralıkta stabilize olarak ortalama 0.81 değerinde tamamlarken %2 ve %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin

sürtünme katsayıları başlangıçtan itibaren geniş bir aralıkta stabilize olarak kayma yolunu sırasıyla 0.60, 0.73 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %6 oranında  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçtan 1500m'ye kadar geniş sürtünme katsayısı aralığında kararlı bir şekilde devam ederken 1500m'den sonra sürtünme katsayısında azalma gözlenmiş olup ortalama 0.99 değere sahip olduğu görülmüştür. %10  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozit ise başlangıçtan 250m'ye kadar hızlı bir artış gösterirken daha sonra kararlı hale gelerek ortalama saf PP gibi 0.81 değerinde ilerlediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.59. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 2.0m/s)

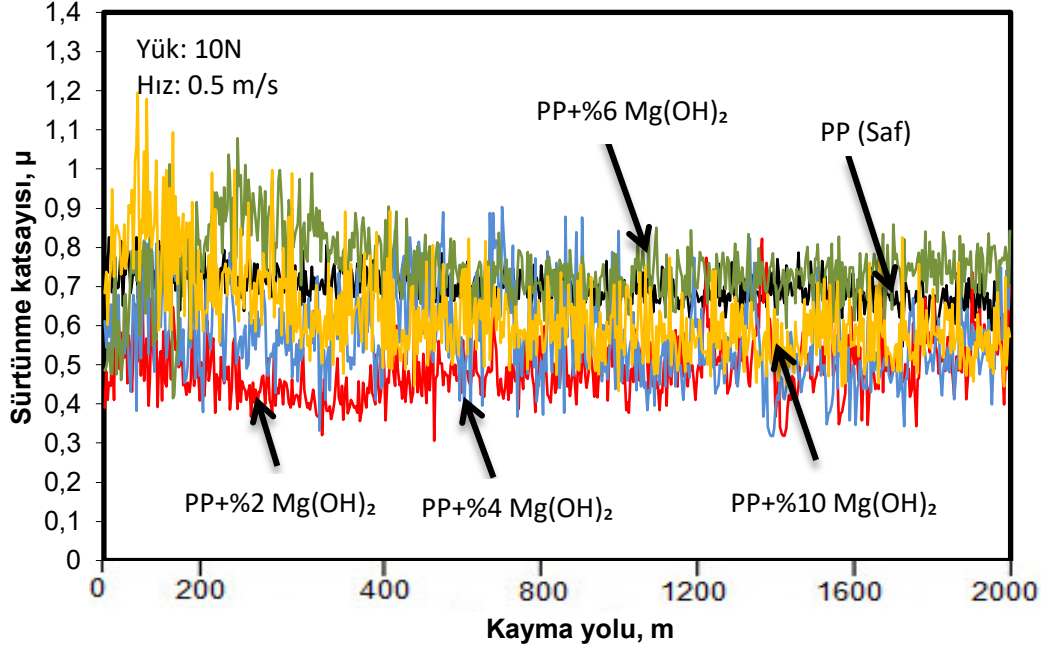


Şekil 4.60. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 5N, kayma hızı: 3.0m/s)

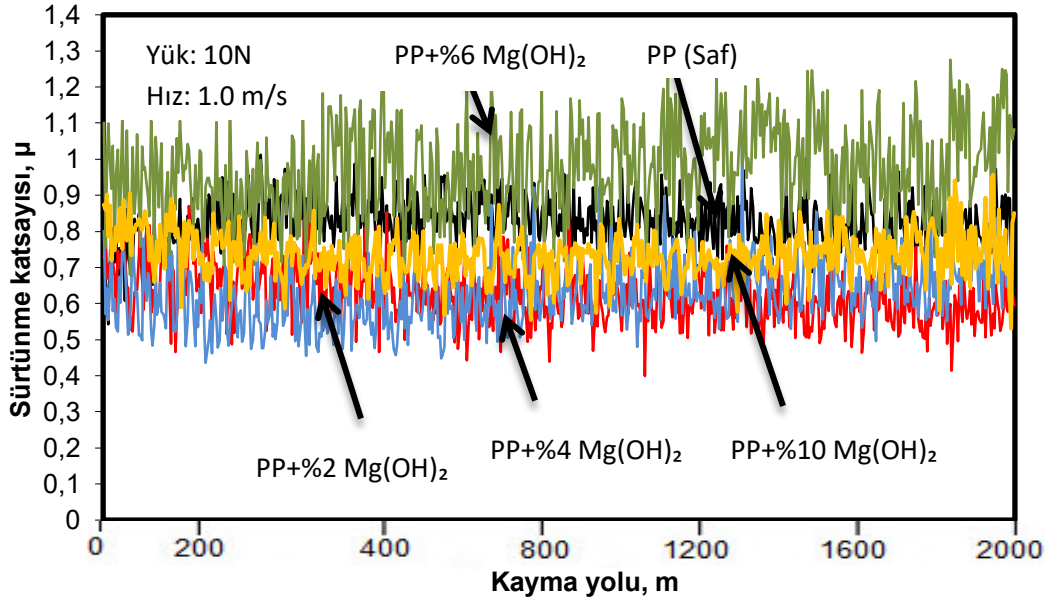
Şekil 4.60'ta 5N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde saf PP polimer malzemesi başlangıçta azalma göstermiş olup 600m yol aldıktan sonra kararlı hale gelerek 0.91 değerinde kayma mesafesini tamamladığı görülmüştür. %2 ve %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları kayma yolu boyunca kararlı olarak devam ettiği ve sırasıyla 0.70, 0.82 değerinde oldukları saptanmıştır. %6 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP esaslı kompozitlerin sürtünme katsayıları kayma yolu boyunca geniş bir aralıkta düzensiz olarak arttığı saptanmış ve sırasıyla ortalama 1.12 ve 0.91 değerinde oldukları belirlenmiştir.

Şekil 4.61'de saf PP polimeri ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin 10N yük ve 0.5m/s kayma hızının uygulandığı deneylerin sürtünme katsayısı ile kayma yolu ilişkisi görülmektedir. Saf PP polimer malzemesi ile %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin sürtünme katsayıları başlangıçtan itibaren azalma göstererek oldukça geniş bir aralıkta kayma mesafesini sırasıyla 0.67, 0.62 değerinde tamamladıkları belirlenmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçtan 360m'ye kadar azalma daha sonra artma göstererek 2000m kayma yolunu ortalama 0.50 değerinde tamamladığı saptanmıştır. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli malzemenin sürtünme katsayısını kayma mesafesi boyunca geniş bir aralıkta ortalama 0.60

değerinde sürdürürken %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozit malzeme ise başlangıçta ani artış ve azalma gösterip 500m mesafe aldıktan sonra kararlı hale gelerek kayma yolunu 0.72 değerinde tamamladığı saptanmıştır.



Şekil 4.61. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 0.5m/s)

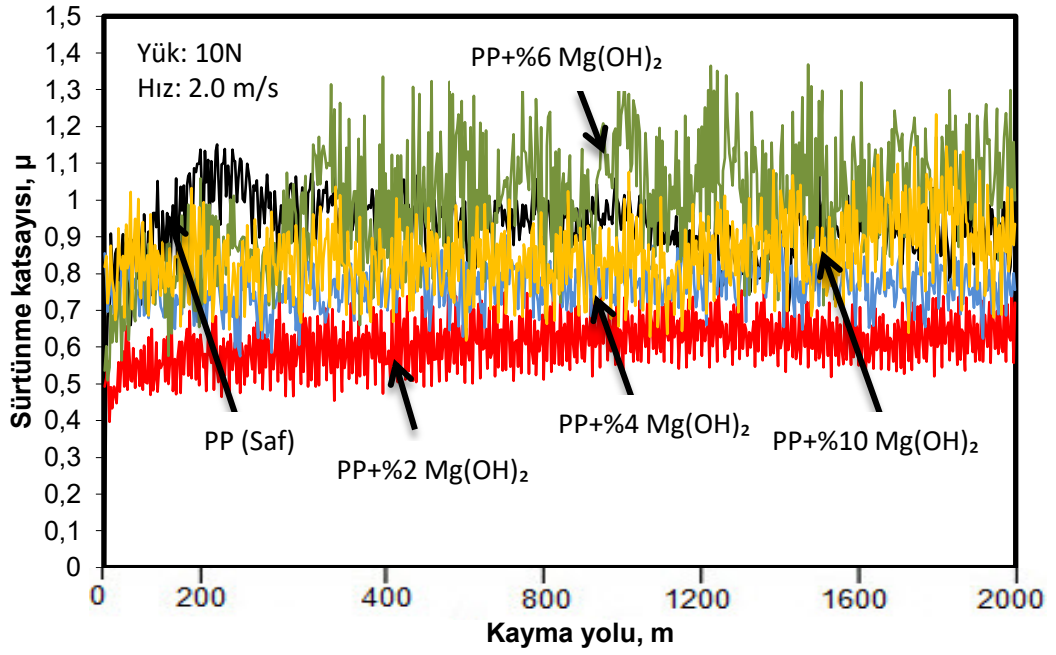


Şekil 4.62. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 1.0m/s)

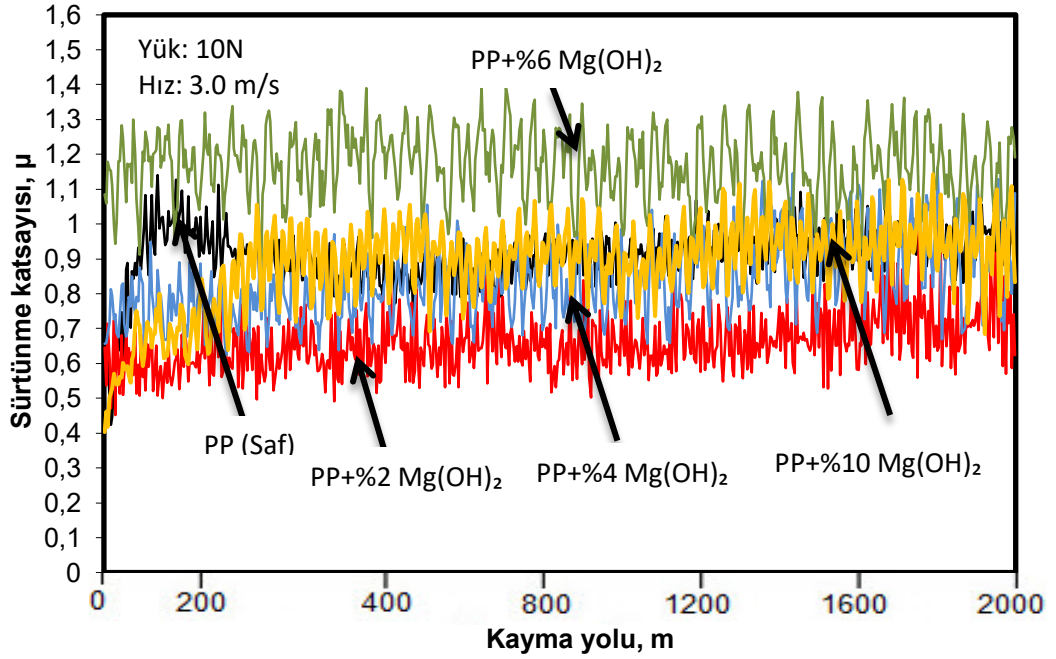


Şekil 4.62’de 10N yükün ve 1.0m/s kayma hızının uygulandığı deneylerde saf PP polimer ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı eğrisi 200m mesafeye kadar artış göstermiş olup ardından kararlı hale gelerek kayma yolunu sırasıyla 0.84 ve 0.60 değerinde tamamladıkları görülmüştür. %4 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları 400m yol aldıktan sonra sırasıyla 0.68, 0.72 değerinde stabilize olduğu tespit edilmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP malzemenin başlangıçtan itibaren geniş ve dalgalı bir şekilde sürtünme katsayısı eğrisi oluşturduğu görülmüş ve ortalama 0.99 değere sahip olduğu belirlenmiştir.

10N yük ve 2.0m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.63’te verilmiştir. Saf PP polimer malzemesi başlangıçtan 250m mesafeye kadar ani artış göstermiş olup sonrasında düzensiz olarak azaldığı ve kayma yolunu ortalama 0.89 değerinde tamamladığı belirlenmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 40m ile 1400m mesafe arasında stabilize olarak 0.62 değerinde yol aldığı saptanmıştır. %4 ve oldukça geniş bir sürtünme katsayısı aralığında ilerleyen %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayıları 400m mesafe aldıktan sonra kararlı hale gelerek sırasıyla 0.78 ve 1.08 değerinde yolu bitirdiği tespit edilmiştir. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme ise başlangıçtan 1500m’ye kadar 0.88 değerinde stabilize olarak devam etmiş ve sonrasında katsayıda artış göstererek yolu bitirdiği görülmüştür.



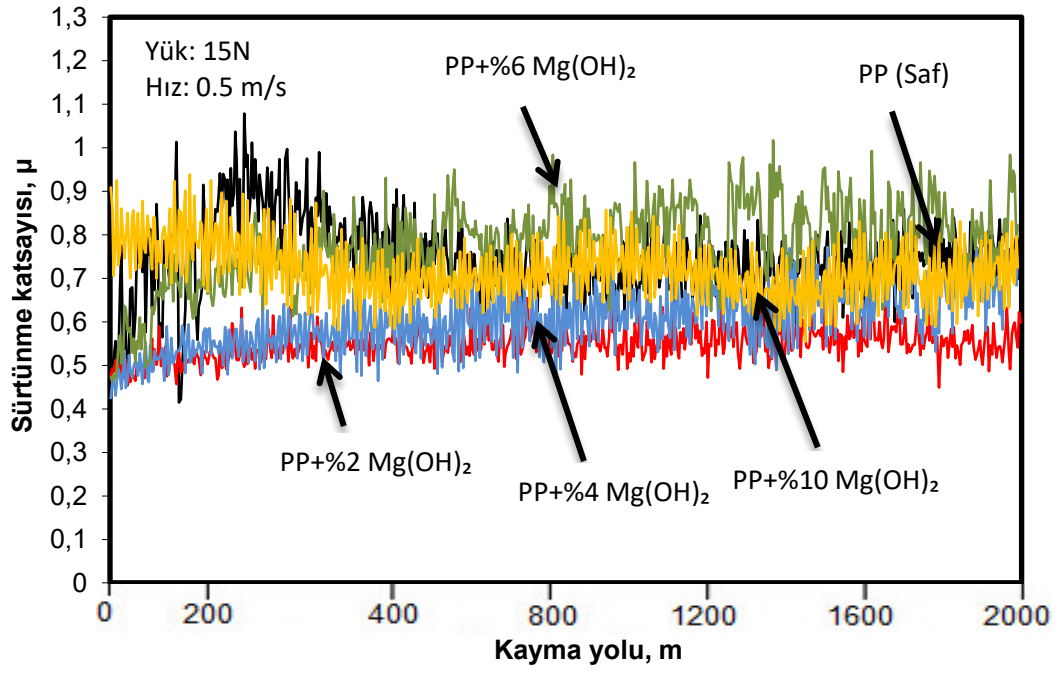
Şekil 4.63. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 2.0m/s)



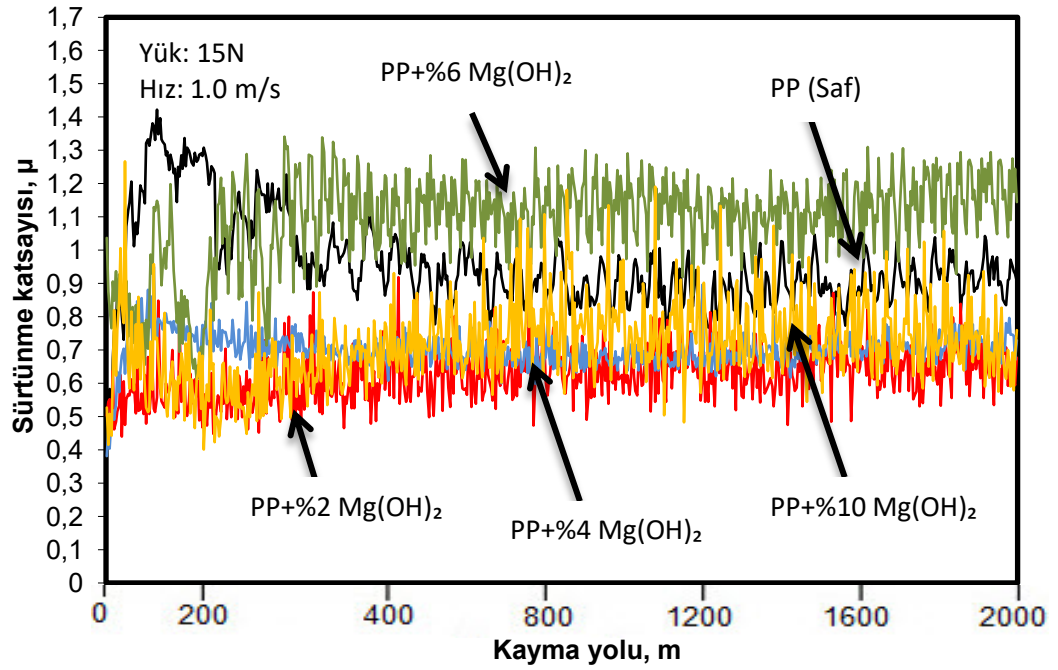
Şekil 4.64. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 10N, kayma hızı: 3.0m/s)

Şekil 4.64'te 10N yük ve 3.0m/s kayma hızında yapılan deneylerin sürtünme katsayısı ile kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi saf PP polimer malzemesi başlangıçtan 200m mesafeye kadar hızlı artış göstermiş ve sonrasında azalma göstererek kayma yolunu kararlı şekilde 0.97 değerinde sürdürdüğü belirlenmiştir. %2 ve %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları 100m mesafeden sonra az miktarda artarak kayma yolunu sırasıyla 0.73 ve 0.88 değerinde tamamladığı görülmüştür. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme kayma yolunu geniş bir aralıkta ortalama 1.18 değerinde stabilize bir şekilde tamamlarken %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme başlangıçta artış gösterirken 300m yol aldıktan sonra ortalama 0.98 değerinde stabilize hale geldiği tespit edilmiştir.

Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi Şekil 4.65'te verilmiştir. 15N yük ve 0.5m/s kayma hızında yapılan deneylerde saf PP polimer malzemesi 250m mesafeye kadar hızlı artış ve ardından 600m mesafeye kadar azalma gösterdikten sonra stabilize olarak kayma yolunu 0.75 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %2 ve %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 100m mesafeden sonra stabilize olarak 2000m kayma yolunu sırasıyla 0.58, 0.65 değerinde tamamladıkları saptanmıştır. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer malzemesinin sürtünme katsayısı eğrisi başlangıçtan 300m mesafeye kadar artış göstermiş ve 400m mesafeden sonra ortalama 0.82 değerinde kararlı hale geldiği görülmüştür. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimerin sürtünme katsayısı 400m mesafeye kadar azalma göstermiş ve ardından geniş bir aralıkta dalgalı hareketle kayma mesafesini ortalama 0.69 değerinde tamamladığı saptanmıştır.



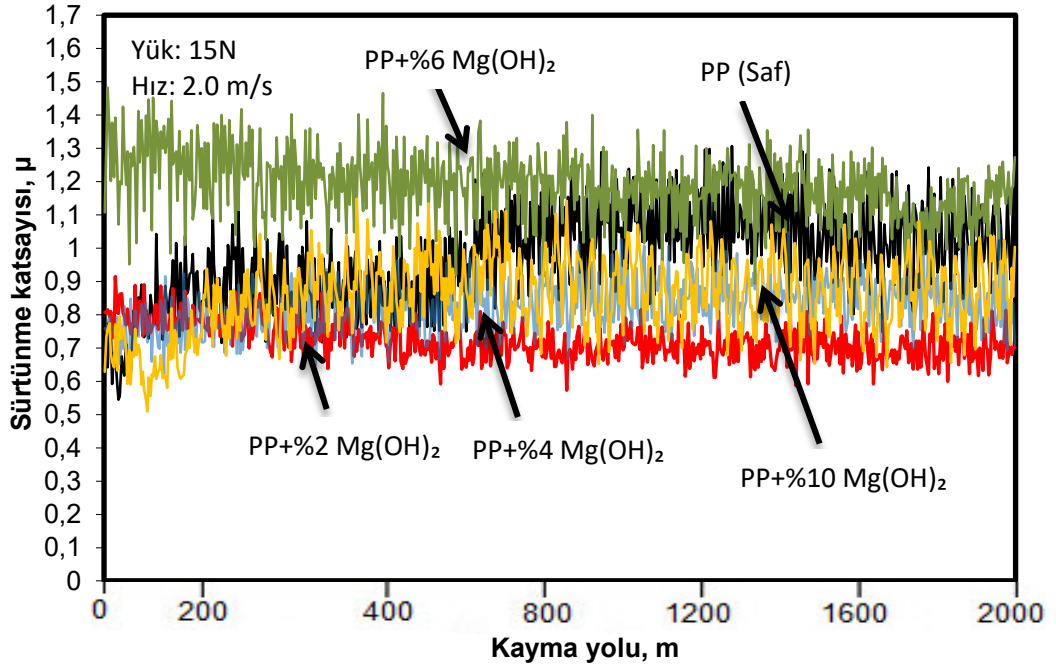
Şekil 4.65. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 0.5m/s)



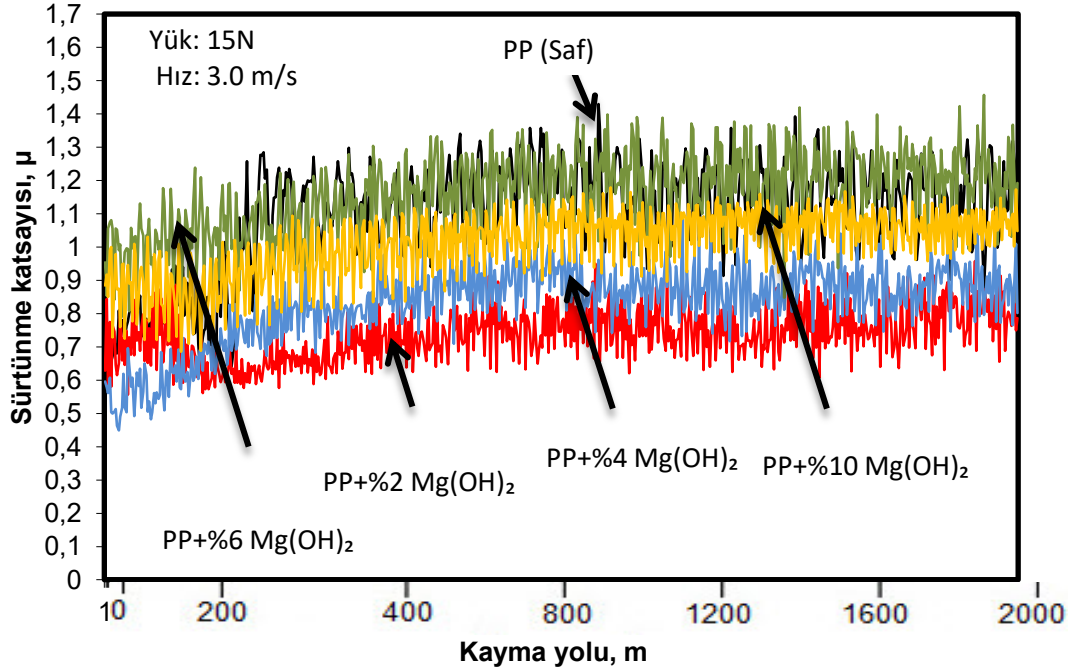
Şekil 4.66. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında  $Mg(OH)_2$  katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 1.0m/s)

Şekil 4.66'da 15N yükün ve 1.0m/s kayma hızının uygulandığı deneylerde sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Saf PP polimer malzemesi ile %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak 800m mesafe aldıktan sonra kararlı hale geldiği görülmüş ve sürtünme katsayılarının ortalama olarak sırasıyla 0.89 ve 0.74 olduğu belirlenmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP malzemenin 200m mesafe aldıktan sonra az miktarda artarak kararlı şekilde kayma yolunu 0.64 değerinde tamamladığı görülmüştür. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzeme 150m mesafeye kadar artış ve sonrasında dar bir sürtünme katsayısı aralığında az miktarda azalma göstererek 0.71 sürtünme katsayısında kayma yolunu tamamladığı tespit edilmiştir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP malzemesinin sürtünme katsayısı eğrisi yaklaşık olarak 300m mesafeden sonra geniş bir aralıkta ortalama 1.14 değerinde kayma yolunu kararlı bir şekilde bitirdiği belirlenmiştir.

Şekil 4.67'de uygulanan yükün 15N olduğu ve kayma hızının 2.0m/s olarak belirlendiği deneylerde saf PP polimer malzemesinin sürtünme katsayısı kayma yolu boyunca artarak kararlı bir ilerleme göstermediği belirlenmiştir ve ortalama sürtünme katsayısının 1.0 olduğu belirlenmiştir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli malzemenin sürtünme eğrisi başlangıçtan itibaren kararlı bir şekilde azalarak kayma yolunu ortalama 0.69 değerinde tamamladığı tespit edilmiştir. %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 400m mesafe aldıktan sonra geniş bir aralıkta 0.83 değerinde kararlı hale geldiği görülmüştür. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçtan 1600m'ye kadar 1.30 seviyesinden 1.14 seviyesine azalarak ilerlediği görülmüş olup ortalama 1.17 değerinde kayma mesafesini tamamladığı saptanmıştır. %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin sürtünme katsayısı başlangıçtan 400m'ye kadar artış göstermiş ve sonrasında geniş bir aralıkta 0.90 değerinde stabilize olduğu görülmektedir.



Şekil 4.67. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 2.0m/s)

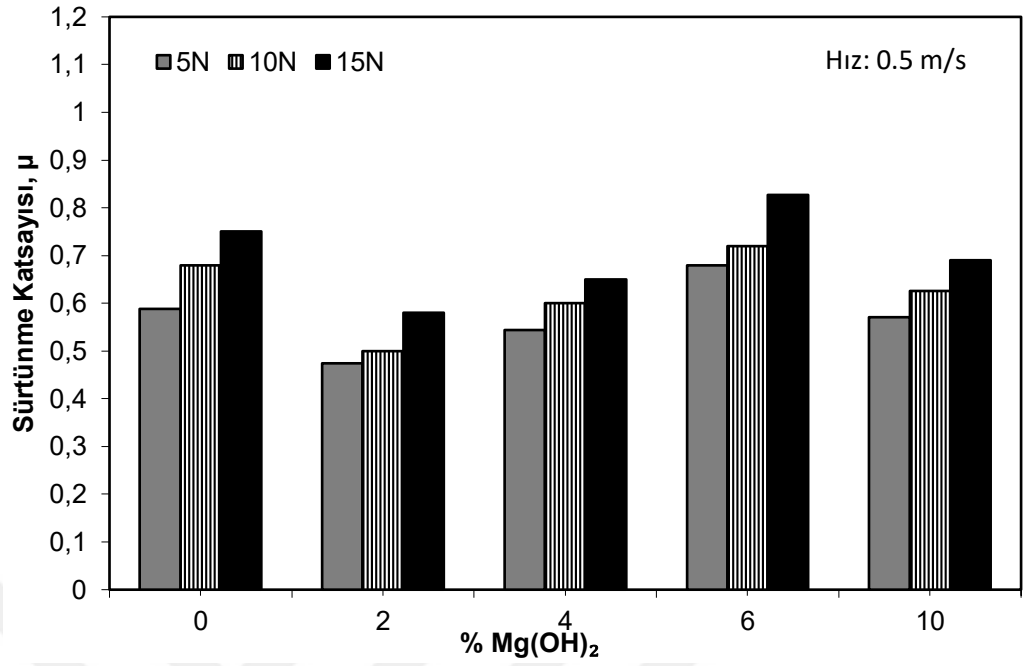


Şekil 4.68. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisi (Uygulanan yük: 15N, kayma hızı: 3.0m/s)

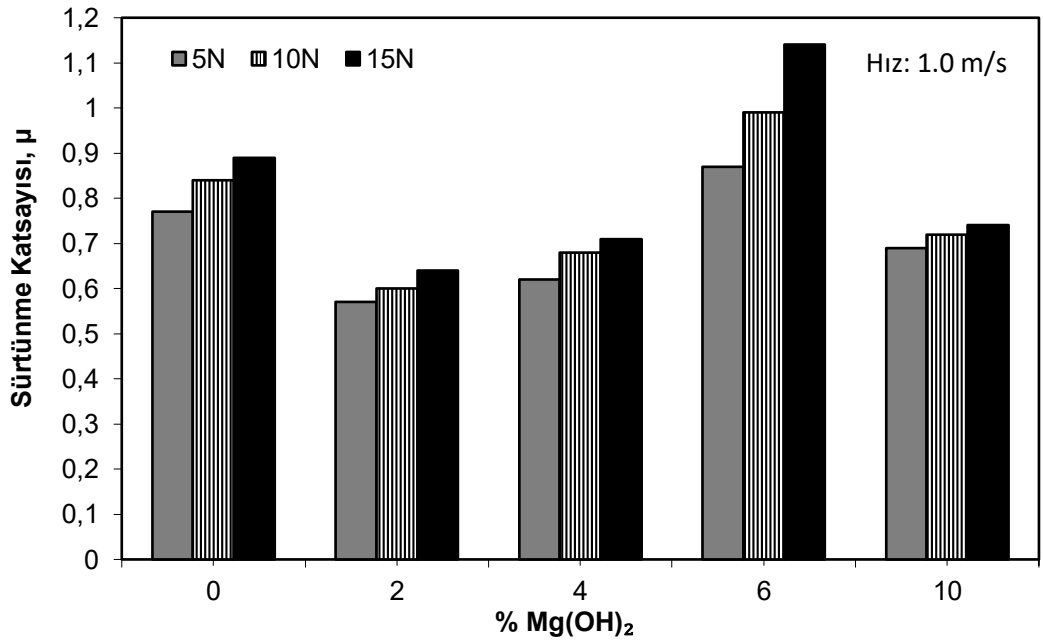
Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin 15N yük altında ve 3.0m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 4.68'de verilmektedir. Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları başlangıçta artış göstermiş olup ortalama 350m mesafeden sonra stabilize oldukları gözlemlenmiştir. Saf PP polimer malzemesi ve %2, %4, %6, %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla 1.12, 0.78, 0.90, 1.19, 1.05 olarak tespit edilmiştir.

#### **4.3.2. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi**

Şekil 4.69'de saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 0.5m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi verilmiştir. Tüm malzeme gruplarında uygulanan yükün 5N yükten 15N yüke artırılması ile sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. Mg(OH)<sub>2</sub> oranının %6 olduğu durumda sürtünme katsayısının en yüksek seviyeye ulaştığı saptanmıştır. 15N yükte 0.82 sürtünme katsayısı değerine sahip olup saf PP malzemeye (0.75 sürtünme katsayısı) göre %9 oranında arttığı tespit edilmiştir. Şekil 4.69 incelendiğinde Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin ve uygulanan yükün düşük miktarda tutulduğu durumda daha olumlu etki yaptığı, yani sürtünme katsayısını en iyi seviyede düşürdüğü belirlenmiştir. Bu nedenle %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin 5N yükte en düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu ve sürtünme katsayısı değerinin 0.47 olduğu saptanmıştır. Saf PP malzemeye (0.58 sürtünme katsayısı) göre sürtünme katsayısının yaklaşık olarak %19 azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.69. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

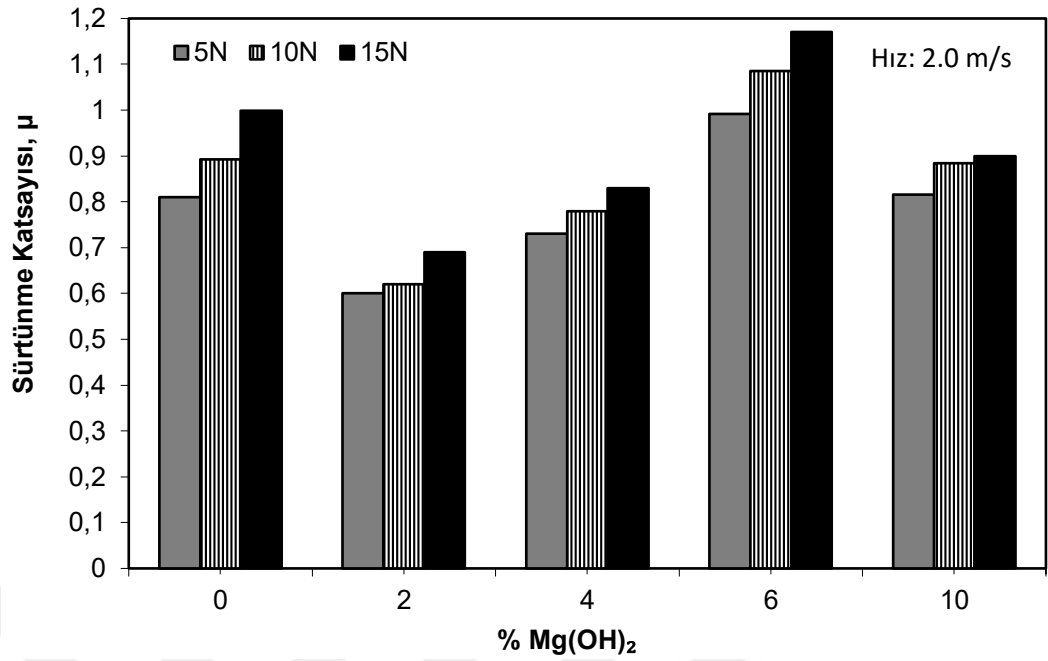


Şekil 4.70. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

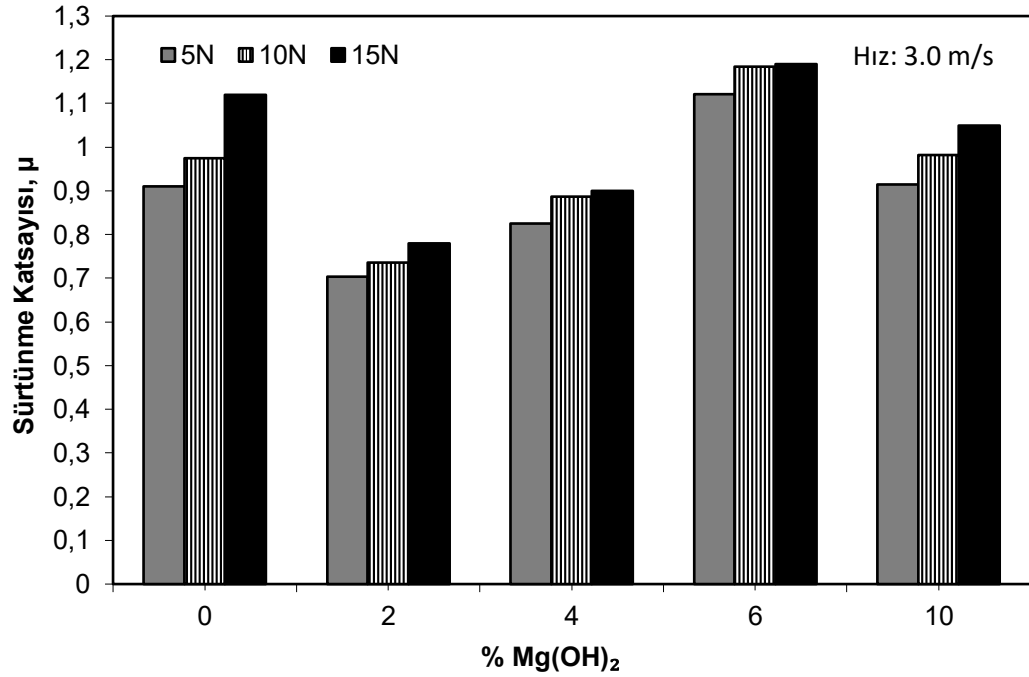


Şekil 4.70'te 1.0m/s kayma hızında yapılan deneyde sürtünme katsayısının 0.5m/s hıza göre yapılan deneylerden belirgin bir şekilde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 15N yükte uygulanan deneyde %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemede sürtünme katsayısının en yüksek olduğu saptanmış ve 1.14 değerinde olduğu belirlenmiştir. Bu değer saf PP polimerine göre (0.89 sürtünme katsayısı) %28 daha fazladır. Uygulanan yükün düşük tutulduğu durumda sürtünme katsayısının da düşük olduğu saptanmış olup 5N yükte ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemede en düşük sürtünme katsayısının elde edildiği ve bu değer 0.57 seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Sürtünme katsayısının saf PP malzemeye (0.77 sürtünme katsayısı) göre %26 daha düşük olduğu saptanmıştır.

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 2.0m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.71'de verilmiştir. Uygulanan yükün artması ile 2.0m/s kayma hızında da tüm malzemeler için sürtünme katsayısı değeri artmıştır. Şekilden de belli olduğu gibi yükün 5N'da tutulduğu durumda sürtünme katsayısının az olduğu ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP malzemede en düşük seviyeye yani 0.60 değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Saf PP malzemesi (0.81 sürtünme katsayısı) ile karşılaştırma yapıldığında %26 daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür. Yükün 5N'dan 15N'a artırılmasıyla sürtünme katsayısının arttığı ve en yüksek seviyeye %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozit malzeme ile çıktığı belirgin bir şekilde görülmektedir. 1.17 sürtünme katsayısı değerine sahip %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı malzeme saf PP'ye (1.0 sürtünme katsayısı) göre %17 daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.71. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

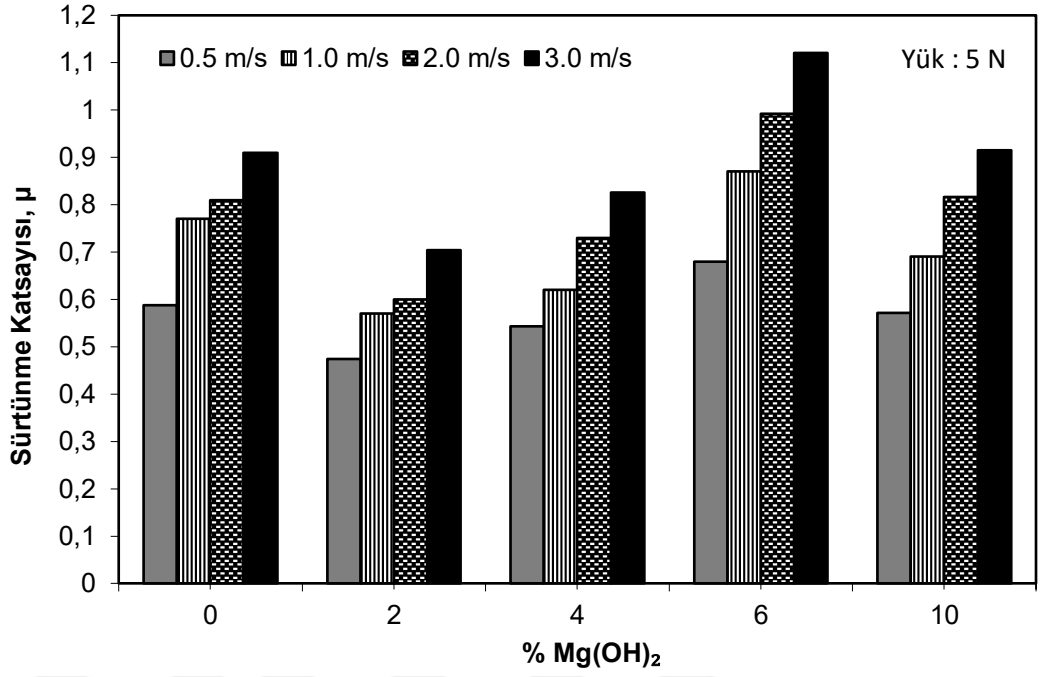


Şekil 4.72. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

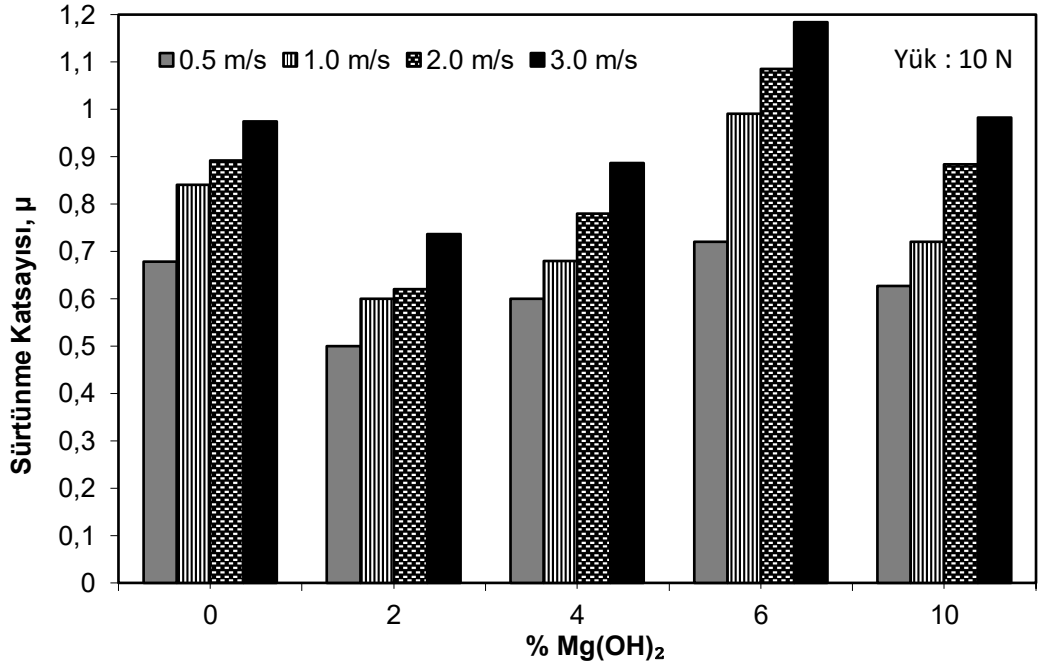
Şekil 4.72’de 3.0m/s kayma hızında Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin düşük tutulduğu (%2-%4) durumda saf PP malzemeye göre azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sebeple en düşük sürtünme katsayısına sahip olan malzeme 0.70 değeriyle %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP malzeme olup uygulanan yükün 5N olduğu belirlenmiştir. Saf PP polimer malzemesine (0.91 sürtünme katsayısı) göre oldukça düşük olduğu ve %23 oranında azalma gerçekleştiği belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> oranının artırılmasıyla sürtünme katsayısının arttığı açıkça görülmektedir. %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ve 15N yükte sürtünme katsayısının 1.19 değeriyle en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sürtünme katsayısı saf PP polimerine (1.12 sürtünme katsayısı) göre %6 daha yüksek değere sahiptir.

#### **4.3.3. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin sürtünme katsayısı – kayma hızı ilişkisi**

Şekil 4.73’de saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 5N yükte ve farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi verilmiştir. Tüm malzeme grupları incelendiğinde hızın 0.5m/s’den 3.0m/s hıza çıkarılması ve kompozit malzemeler arasında Mg(OH)<sub>2</sub> oranının artırılmasıyla sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. Saf PP polimer malzemesine (0.58 sürtünme katsayısı) göre karşılaştırma yapıldığında en düşük sürtünme katsayısının 0.47 değeriyle 0.5m/s kayma hızındaki %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP malzemede olduğu saptanmıştır. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile %19 oranında sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde saf PP malzemesi (0.91 sürtünme katsayısı) ile en yüksek sürtünme katsayısı değeri karşılaştırıldığında 1.12 sürtünme katsayısına sahip %6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP malzemenin 3.0m/s kayma hızında yapılan deneyinde elde edildiği ve yaklaşık olarak %23 artarak sürtünme katsayısını yükselttiği belirlenmiştir.



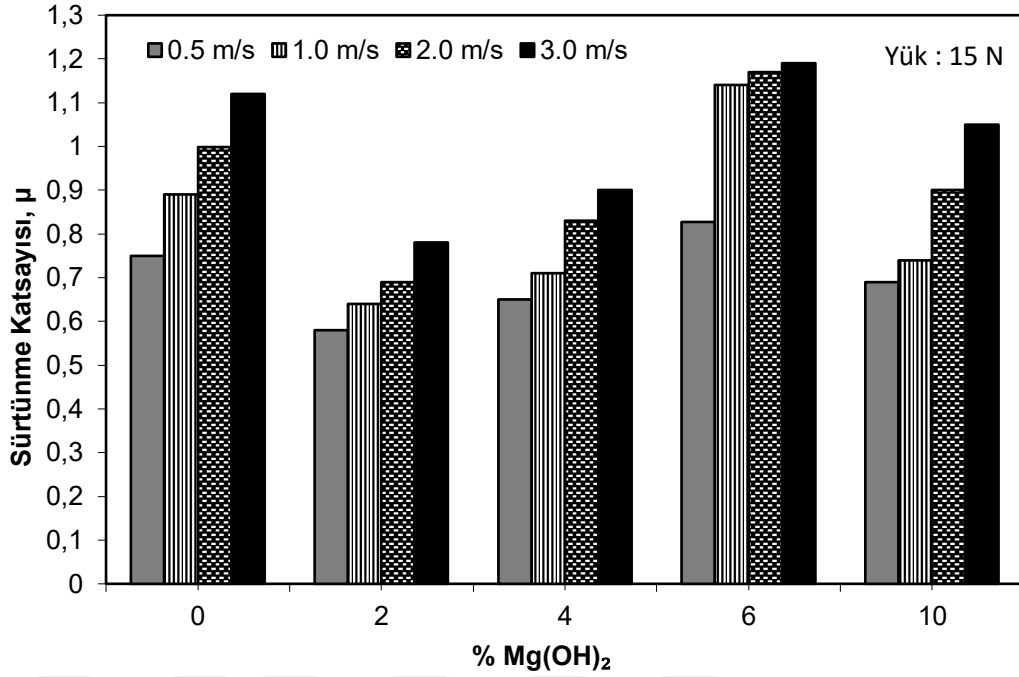
Şekil 4.73. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi



Şekil 4.74. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 10N yük altında ve farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.74'te verilmiştir. 0.5m/s, 1.0m/s, 2.0m/s ve 3.0m/s katkısız PP malzemesi için sürtünme katsayısı sırasıyla 0.67, 0.84, 0.89, 0.97 olarak belirlenmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 3.0m/s kayma hızında yapılan deneylerde %6 Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile sürtünme katsayısının 1.18 olduğu ve diğer malzemelere göre en yüksek değere çıktığı görülmektedir. Bu sürtünme katsayısı değeri katkısız PP malzemesine göre %21 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesinin düşük oranda olmasıyla sürtünme katsayısına daha fazla olumlu etki yaptığı Şekil 4.74'te görülmektedir. %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli ve 0.5m/s kayma hızında yapılan deneyde sürtünme katsayısının en düşük değere sahip olduğu tespit edilmiş ve bu değer yaklaşık olarak 0.50'dir. Katkısız PP polimer malzemesine göre %25 daha az sürtünme katsayısı değerine sahiptir.

Şekil 4.75'te yükün 15N olarak sabit tutulduğu deneylerde Mg(OH)<sub>2</sub> oranı %2'den %10'a arttıkça sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. Mg(OH)<sub>2</sub> oranının %6 olduğu PP kompozit malzemede en yüksek sürtünme katsayısı değerinin 1.19 olarak elde edildiği ve 3.0m/s kayma hızında yapılan deney şartlarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Saf PP polimer malzemesine (1.12 sürtünme katsayısı) göre sürtünme katsayısını yaklaşık olarak %6 oranında artırdığı belirlenmiştir. Uygulanan kayma hızının düşük tutulduğu deneylerde sürtünme katsayısının daha az olduğu tespit edilmiştir. 0.5m/s kayma hızında yapılan deneylerde %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP malzemede en düşük sürtünme katsayısının 0.58 değerinde elde edildiği saptanmıştır. 0.5m/s kayma hızında yapılan deneyde katkısız PP polimerine (0.75 sürtünme katsayısı) göre %22 daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu saptanmıştır.

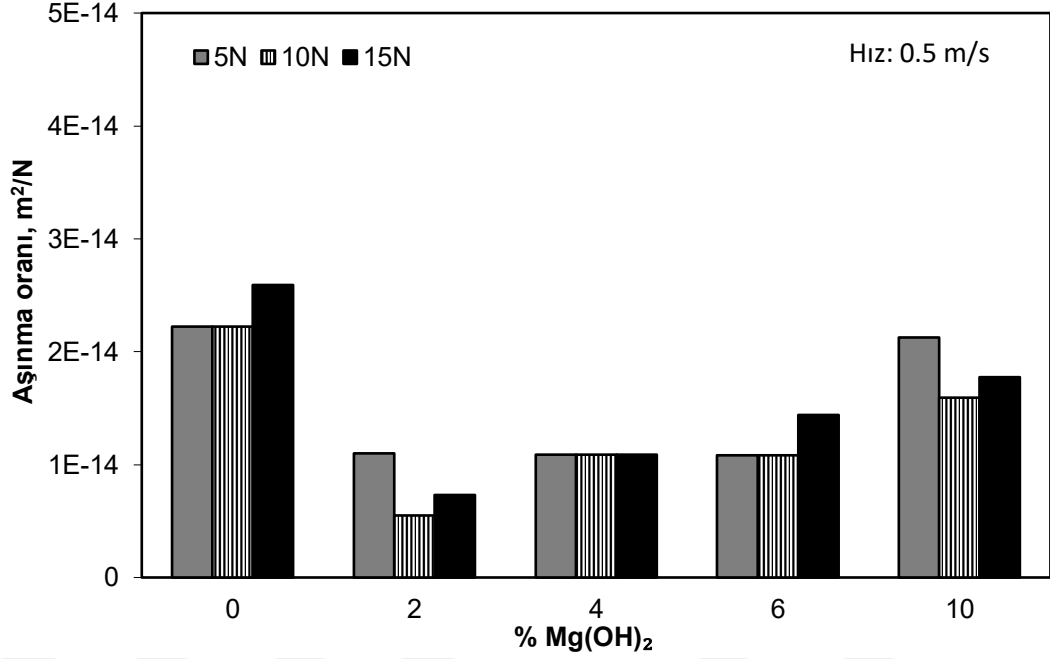


Şekil 4.75. Saf PP polimeri ve %2, %4, %6 ve %10 oranında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin farklı hızlardaki sürtünme katsayısı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

#### 4.3.4. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı - yük ilişkisi

Şekil 4.76'da Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının ilave edilmesiyle aşınma oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. 0.5 m/s kayma hızı ve 5N yükte uygulanan deneylerde saf PP malzemesinin aşınma oranı  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değerinde tespit edilmiştir. %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma oranlarının sırasıyla  $1,10 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,13 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olduğu saptanmıştır. 5N yükün uygulandığı deneyde Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının aşınma oranını azalttığı görülmüş olup saf PP malzemeye göre sırasıyla %50, %51, %51 ve %4 oranında azalmıştır. 10N yük altında 0.5m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $5,49 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,60 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiş olup Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının aşınma oranını azalttığı tespit edilmiştir. Bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %75, %51, %51 ve %28 olarak belirlenmiştir. 15N yük altında 0.5m/s kayma hızında yapılan deneylerde saf PP malzemenin aşınma oranı  $2,59 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak tespit edilmiştir. %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı

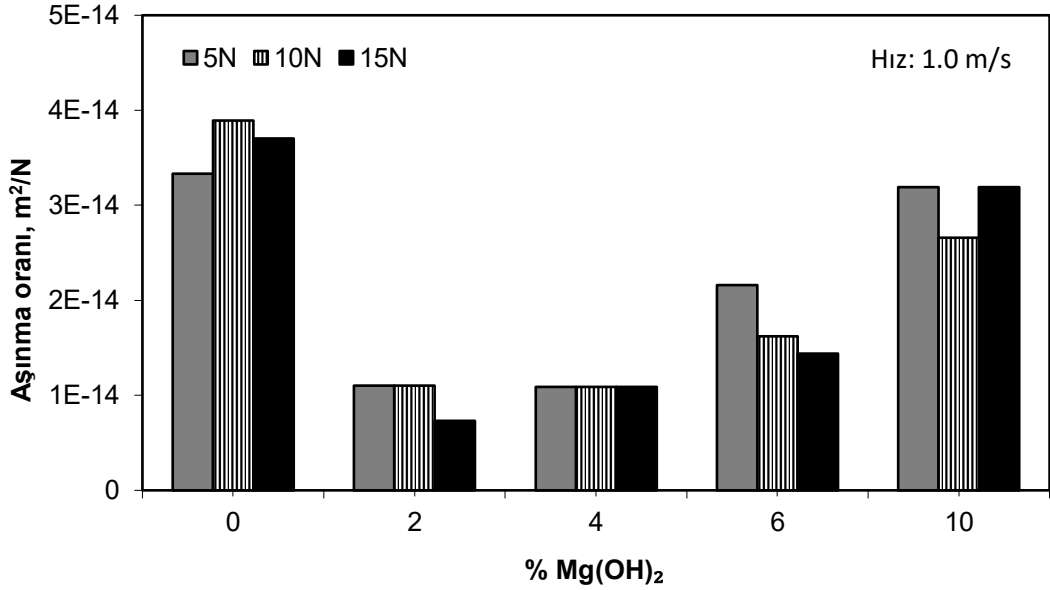
PP kompozitlerin aşınma oranlarının sırasıyla  $7,33.10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,09.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,44.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,77.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olduğu belirlenmiştir.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının aşınma oranını düşürdüğü saptanmıştır. Bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %71, %58, %44 ve %32 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.76. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı -  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.77'de %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısı ile aşınma oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkısının oranı %2'den %10'a artırıldığında aşınma oranının arttığı görülmüştür. 5N yük altında 1.0m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $3,33.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,16.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $3,19.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Bu aşınma oranları saf PP malzemeye göre azalma göstermiştir. Bu azalma oranları saf PP malzemeye göre sırasıyla %67, %67, %35 ve %4 olarak belirlenmiştir. 10N yük altında 0.5m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $3,88.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,08.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,62.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $2,65.10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Saf PP malzemeye göre azalma değerleri sırasıyla %71, %72, %58 ve %32 olarak tespit

edilmiştir. 15N yük altında 1.0m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $3,70.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $7,32.10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N,  $1,08.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $1,44.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N ve  $3,19.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. Yani Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı PP malzemenin aşınma oranını düşürmüş olup bu azalma değerleri sırasıyla %80, %70, %61 ve %13 olduğu tespit edilmiştir.

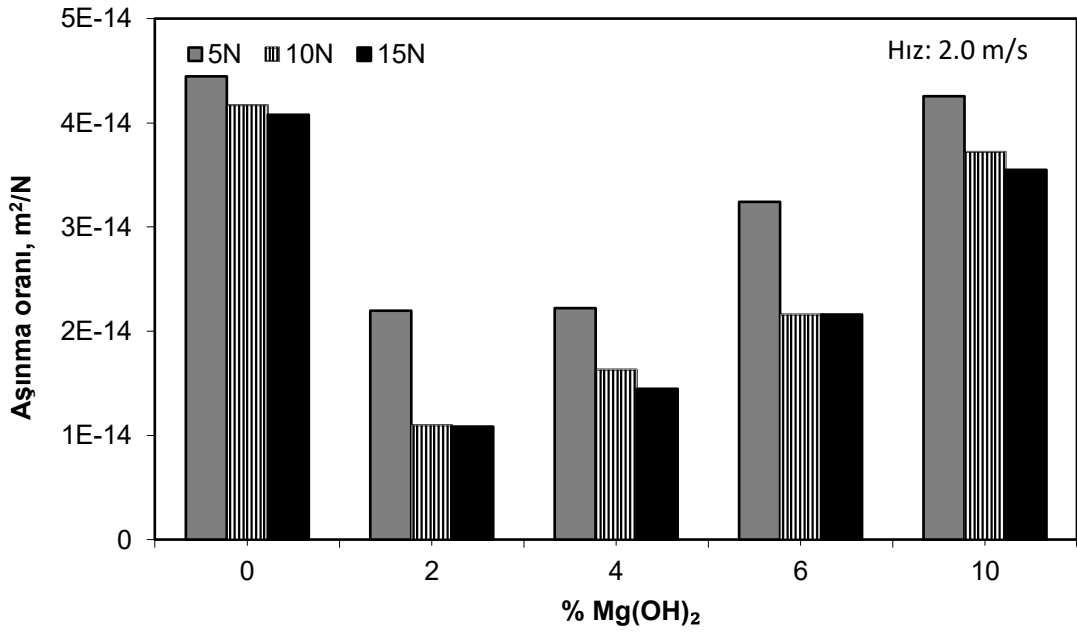


Şekil 4.77. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.78'de saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 2.0m/s kayma hızında ve farklı yüklerdeki aşınma oranı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı aşınma oranına olumlu etki yaparak saf PP malzemesine göre aşınmayı azaltmıştır. Şekil 4.78'de uygulanan yükün artması ile genel olarak aşınma oranının azaldığı tespit edilmiştir. 5N yük altında 2.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $4,44.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $2,19.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $2,22.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $3,24.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N ve  $4,25.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. Saf PP'ye göre aşınma oranında azalma belirgin olup bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %51, %50, %27 ve %4 değerlerinde olduğu saptanmıştır. 10N yük altında 2.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik aşınma oranı  $4,44.10^{-14}$



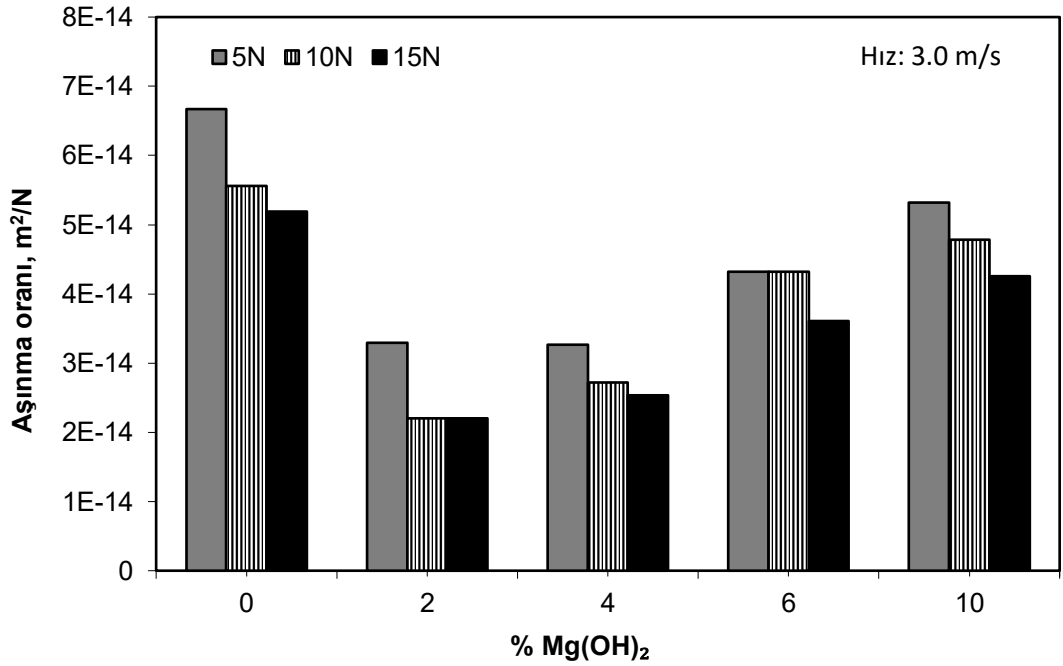
$m^2/N$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $Mg(OH)_2$  katkı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $1,09.10^{-14} m^2/N$ ,  $1,63.10^{-14} m^2/N$ ,  $2,16.10^{-14} m^2/N$  ve  $3,72.10^{-14} m^2/N$  olarak saptanmıştır. Saf PP malzemeye göre aşınma oranlarında azalma olduğu belirlenmiş olup bu azalma oranlarının sırasıyla %74, %61, %49 ve %11 olduğu saptanmıştır. 15N yük altında 2.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik aşınma oranı  $4,07.10^{-14} m^2/N$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $Mg(OH)_2$  katkı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla  $1,08.10^{-14} m^2/N$ ,  $1,44.10^{-14} m^2/N$ ,  $2,16.10^{-14} m^2/N$  ve  $3,54.10^{-14} m^2/N$  olarak belirlenmiş olup  $Mg(OH)_2$  katkı PP kompozitlerin saf PP malzemeye göre aşınmayı azalttığı saptanmıştır. Bu aşınma oranında ki azalma saf PP polimer malzemesine göre sırasıyla %73, %65, %47 ve %13 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.78. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda  $Mg(OH)_2$  katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı -  $Mg(OH)_2$  katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.79'da 3.0m/s kayma hızındaki deneylerde  $Mg(OH)_2$  ilavesi ile aşınma oranının düştüğü belirgin bir şekilde görülmektedir.  $Mg(OH)_2$  katkısının oranı %2'den %10'a artırıldığında aşınma oranının kompozit malzemeler arasında arttığı görülmüştür. Ayrıca 3.0m/s hızda yapılan deneylerde tüm malzemeler için uygulanan yük arttıkça aşınma oranının azaldığı tespit edilmiştir. 5N yük altında 3.0m/s kayma hızında gerçekleştirilen deneylerde saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı  $6,66.10^{-14} m^2/N$  iken %2, %4, %6, %10 oranlarında  $Mg(OH)_2$  katkı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla

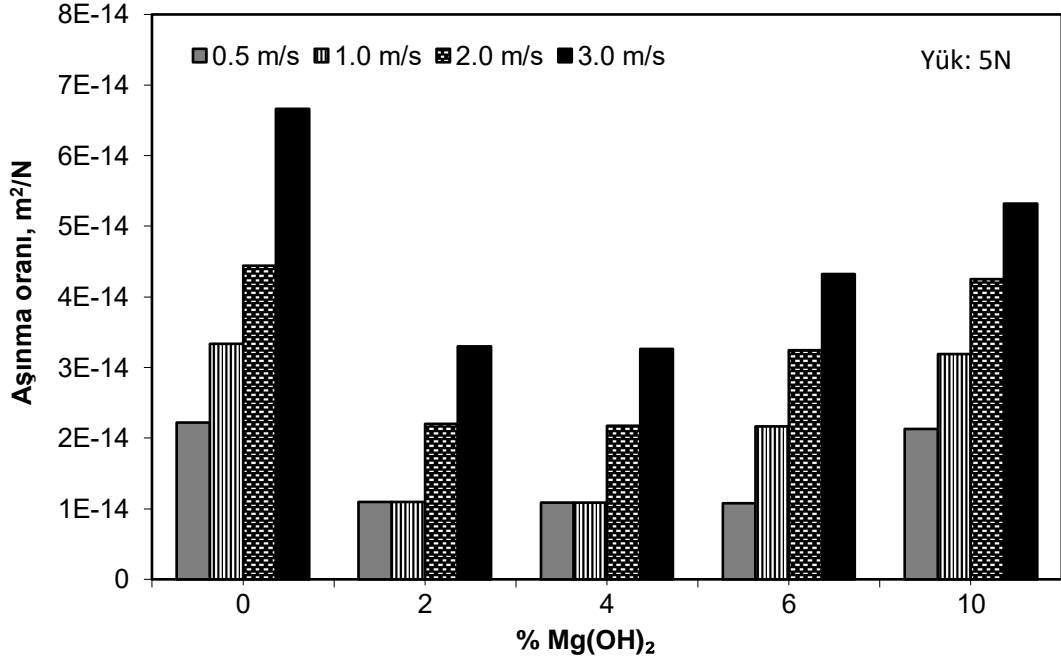
3,29.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N, 3,26.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N, 4,32.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N ve 5,31.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile aşınma oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmalar saf PP'ye göre sırasıyla %50, %51, %35 ve %20 değerinde olmuştur. 10N yük altında 3.0m/s kayma hızında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesinin spesifik aşınma oranı 5,55.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerin aşınma oranları sırasıyla 2,19.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N, 2,71.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N, 4,32.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N ve 4,78.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N olarak tespit edilmiştir. 10N yükte de Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının aşınma oranını azalttığı görülmüştür. Bu azalma saf PP malzemeye göre sırasıyla %60, %51, %22 ve %14 değerlerinde olduğu saptanmıştır. 15N yük altında 3.0m/s kayma hızında saf PP malzemenin spesifik aşınma oranı 5,18.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N iken %2, %4, %6, %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla 2,19.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N, 2,53.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N, 3,60.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N ve 4,25.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiş olup Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının aşınma oranını azalttığı tespit edilmiştir. Bu azalma saf PP polimer malzemesine göre sırasıyla %57, %51, %30 ve %18 değerlerinde olduğu saptanmıştır.



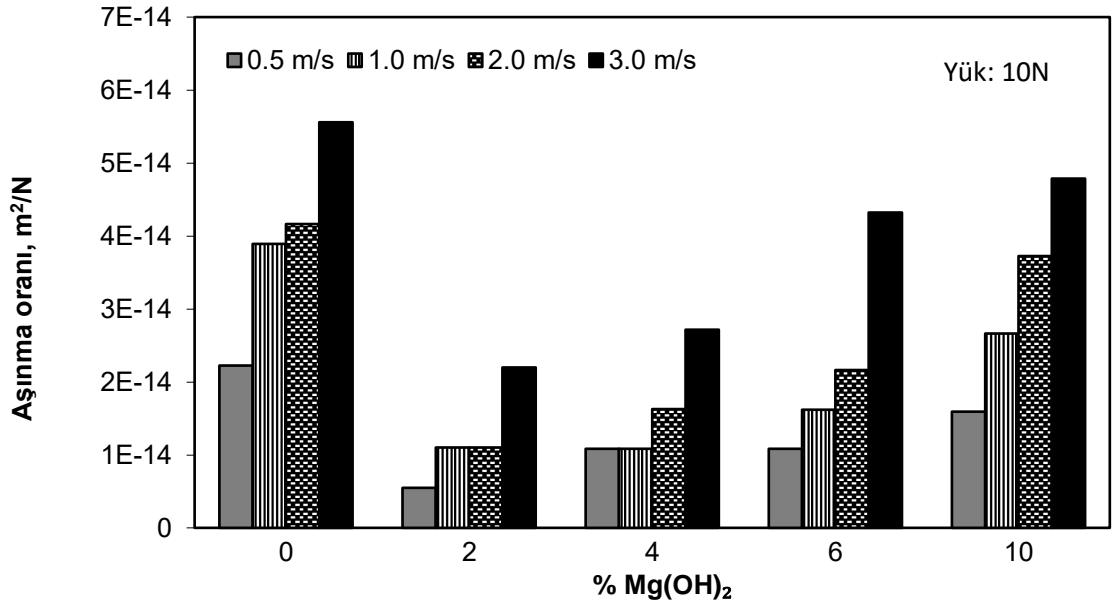
Şekil 4.79. Farklı yüklerde saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

#### 4.3.5. PP ve PP + Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin aşınma oranı – kayma hızı ilişkisi

Saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 5N yük altında ve farklı kayma hızlarındaki aşınma oranı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi Şekil 4.80’de verilmiştir. Kayma hızının artması ile aşınma oranında artış olduğu belirlenmiştir. 0.5m/s, 1.0m/s, 2.0m/s ve 3.0m/s’de uygulanan kayma hızlarındaki aşınma oranı saf PP polimer malzemesi için sırasıyla  $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $3,33 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $4,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $6,67 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. En düşük aşınma oranı %2 ve %4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerde görülmüş olup bu deney 0.5m/s ve 1.0m/s kayma hızı için  $1,09 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  aşınma oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Saf PP malzemeye göre 0.5m/s kayma hızı için %50 aşınma oranında azalma ve 1.0m/s kayma hızı için %67 oranında azalma olduğu saptanmıştır. Mg(OH)<sub>2</sub> oranının ve kayma hızının artmasıyla kompozit malzemeler arasında aşınma oranında artış olduğu saptanmış olup %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ve 3.0m/s kayma hızı uygulanan deneyde aşınma oranının  $5,32 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değerinde olduğu belirlenirken saf PP malzemeye göre aşınma oranında %20 azalma tespit edilmiştir.



Şekil 4.80. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

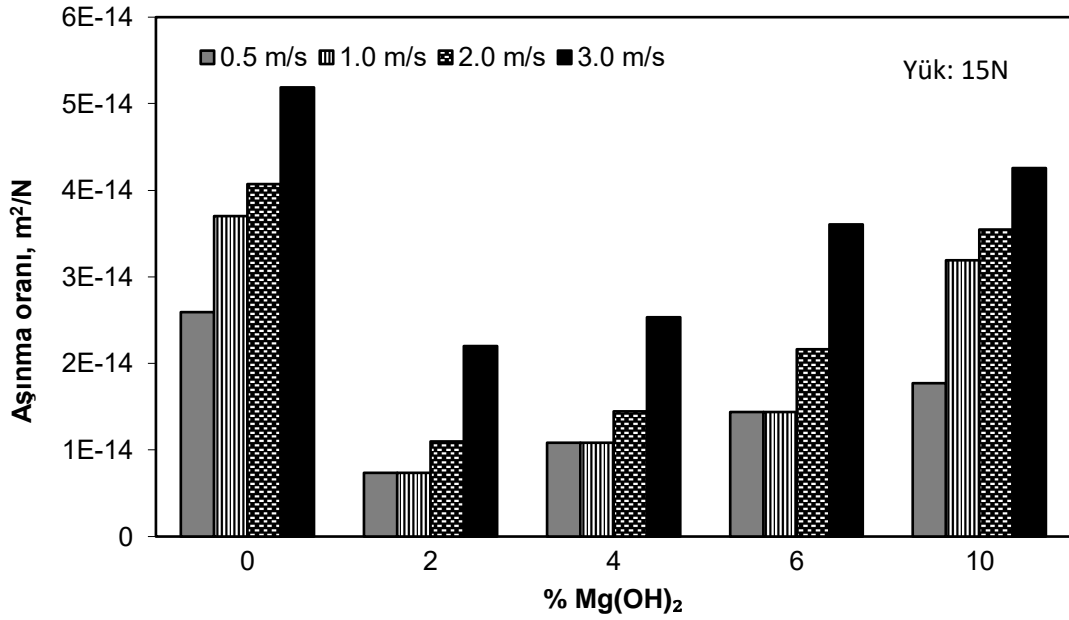


Şekil 4.81. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Şekil 4.81’de 10N yük altında uygulanan deneylerde saf PP polimer malzemesi için 0.5m/s, 1.0m/s, 2.0m/s ve 3.0m/s kayma hızlarındaki aşınma oranı sırasıyla  $2,22.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $3,89.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $4,16.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $5,56.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> ilavesi ile aşınma oranında azalma belirgin olarak saptanmış olup en az aşınmanın yaşandığı kompozit malzemeler %2 ve %4 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemelerde 0.5m/s ve 1.0m/s hızlarda meydana geldiği belirlenmiştir. En düşük aşınma oranı 0.5m/s kayma hızında ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli PP kompozit malzemedeki görülmüş olup  $5,49.10^{-15}$  aşınma oranına sahip olduğu saptanmıştır. Saf PP malzemesine göre %75 oranında azalma gösterdiği saptanmıştır. En yüksek aşınma oranına sahip kompozit malzeme ise %10 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli ve 3.0m/s kayma hızına sahip deneyde görülmüş olup  $4,79.10^{-14}$  aşınma oranına sahip olduğu saptanmıştır. Saf PP malzemesine göre aşınma oranında %13 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 4.82’de saf PP polimeri ile %2, %4, %6 ve %10 oranlarında Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin 15N yük altında ve farklı kayma hızlarındaki aşınma oranı ile Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi verilmiştir. Kayma hızı arttıkça aşınma oranının da arttığı görülmektedir. Saf PP polimer malzemesi için 0.5m/s, 1.0m/s, 2.0m/s ve 3.0m/s’de uygulanan kayma hızlarındaki aşınma oranı sırasıyla  $2,59.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,  $3,70.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N,

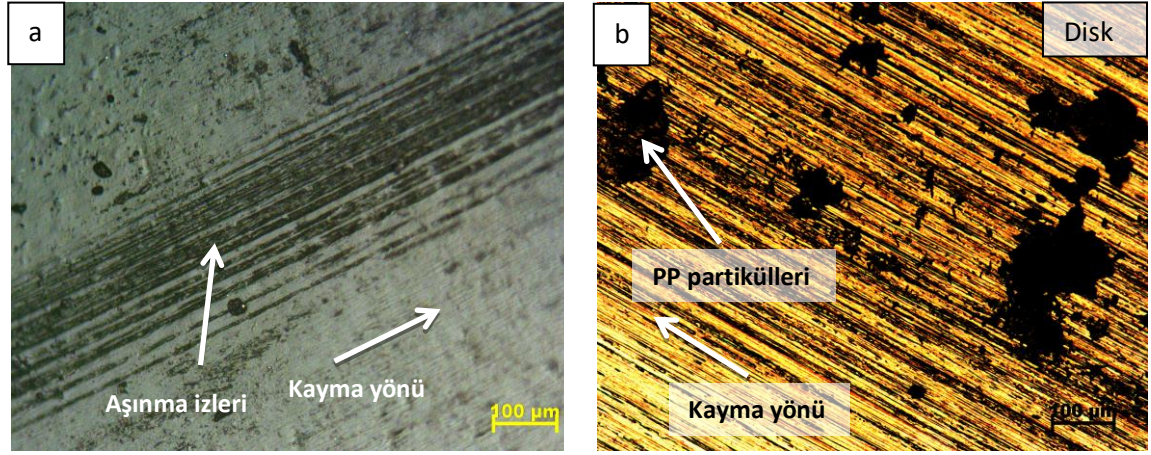
4,07.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N, 5,19.10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/N olarak belirlenmiştir. 0.5m/s ve 1.0m/s kayma hızında ve %2 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemede en düşük aşınma oranı olduğu belirlenmiş olup 7,33.10<sup>-15</sup> m<sup>2</sup>/N değerindedir. Aşınma oranının saf PP malzemeye göre 0.5m/s kayma hızı için %71, 1.0m/s kayma hızı için %80 daha az olduğu tespit edilmiştir. Mg(OH)<sub>2</sub> oranının %2'den %10'a artırılması ile kompozit malzemelerin aşınma oranında artış gözlemlenmiştir. Kompozit malzemeler arasında en yüksek aşınma değerine sahip malzeme 3.0m/s kayma hızında yapılan deneyde %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemede görülmüş olup bu aşınma oranı 4,26.10<sup>-14</sup> değerine sahiptir. Saf PP malzemeye göre aşınma oranında %18 azalma tespit edilmiştir.



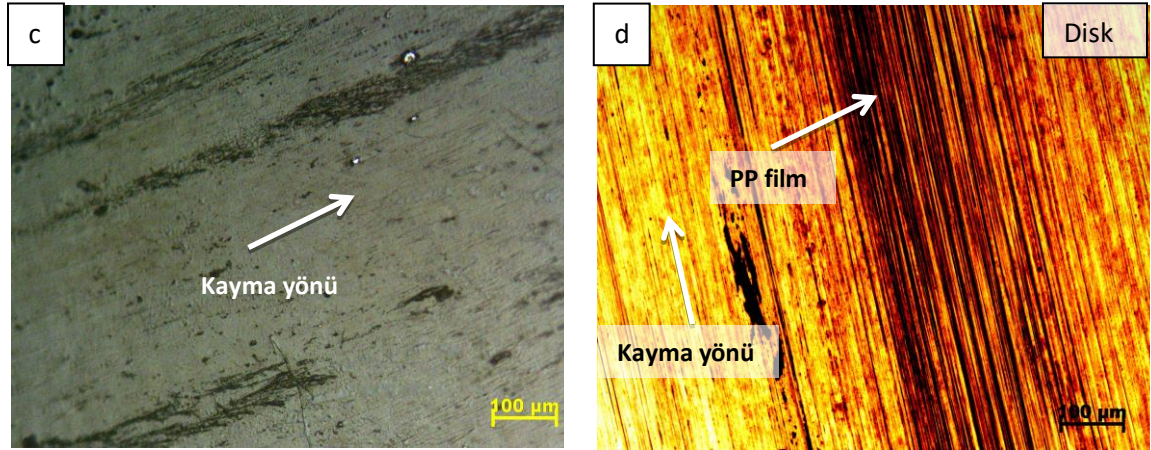
Şekil 4.82. Farklı kayma hızlarında saf PP polimeri ile değişik oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkı içeren PP kompozitlerin aşınma oranı - Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranı ilişkisi

Literatürde Mg(OH)<sub>2</sub> katkısının etkisi incelendiğinde Pilarska ve arkadaşları; Polipropilenin içerisine ağırlığınca %10 ve %30 oranında magnezyum hidroksit ilave ederek alev geciktirici, mekanik ve antibakteriyel özelliklerini incelemişlerdir. Mg(OH)<sub>2</sub> oranı arttıkça kopma uzamasında büyük oranda azalma gözlenmiş olup elastisite modülünün arttığı saptanmıştır. %30 Mg(OH)<sub>2</sub> ilaveli polipropilen kompozit malzeme saf polipropilene göre %28 oranında malzemenin yanma oranını düşürmüştür. Antibakteriyel olarak iyi bir etkiye sahip olan Mg(OH)<sub>2</sub> hem ağırlıkça %10 hem de ağırlıkça %30 içerikli numuneler neredeyse tamamen bakteri yokluğu sağladığı tespit edilmiştir.

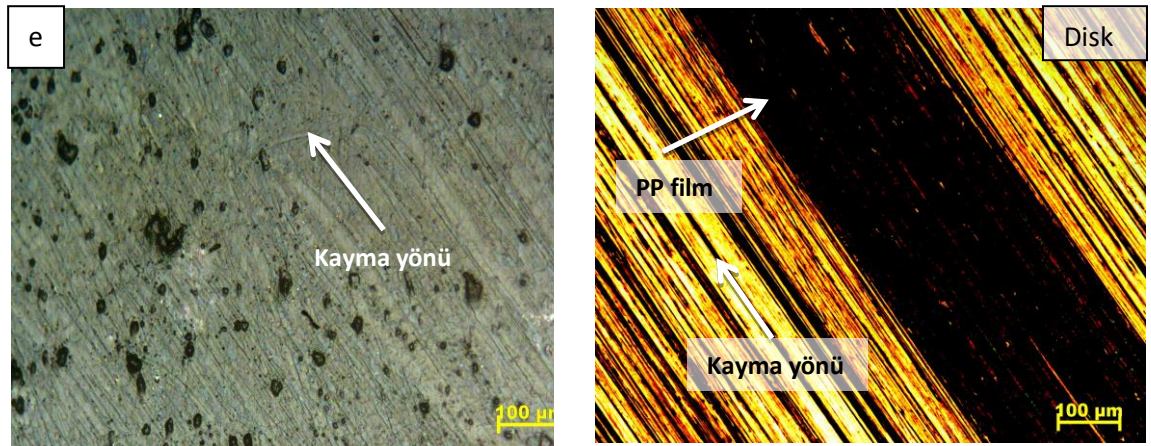
#### 4.3.6. 2.6µm partikül boyutuna sahip Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin mikro yapı görüntüleri



a) Katkısız

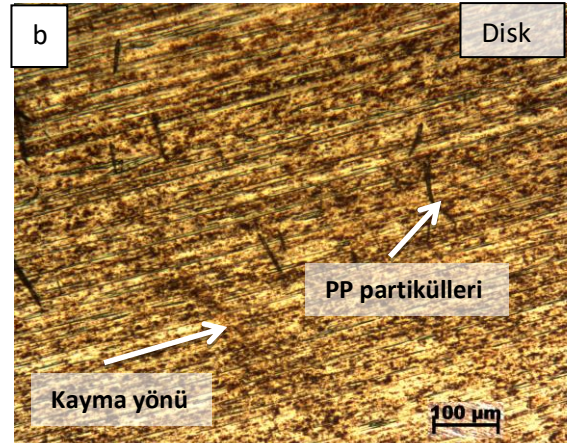
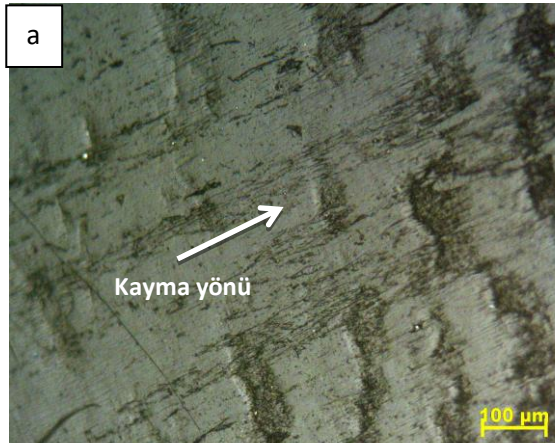


a) %2 Mg(OH)<sub>2</sub>

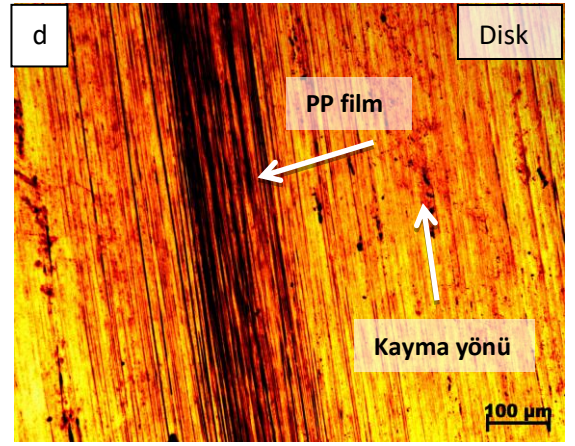
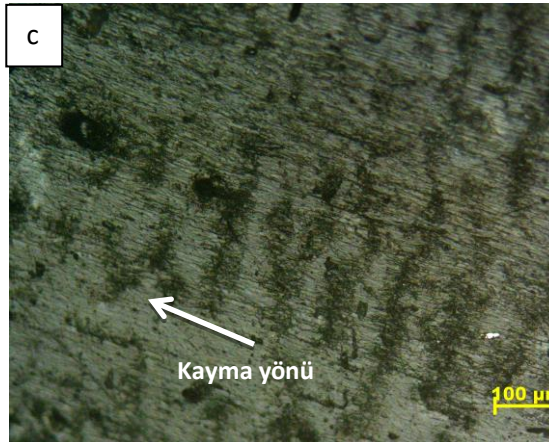


a) %10 Mg(OH)<sub>2</sub>

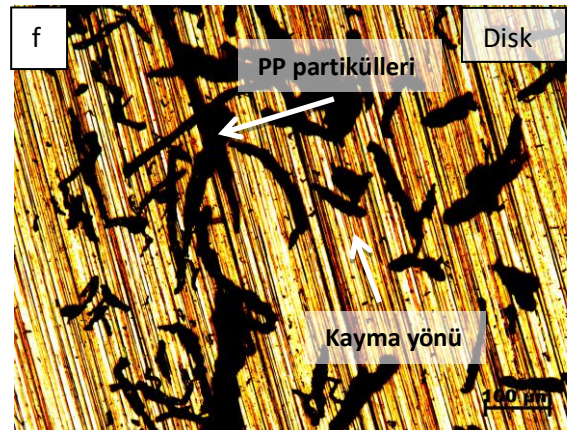
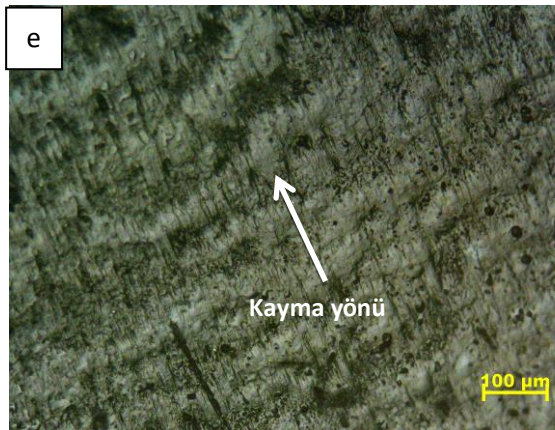
Şekil 4.83. Katkısız PP ile 2.6µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 0.5m/s)



a) Katkısız



a) %2 Mg(OH)<sub>2</sub>



a) %10 Mg(OH)<sub>2</sub>

Şekil 4.84. Katkısız PP ile 2.6µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 15N, Hız: 3.0m/s)

Şekil 4.83'te kuru kayma ve oda sıcaklığında gerçekleşen, 15N yük ve 0.5m/s kayma hızında AISI 316L çelik disk malzemesine karşı uygulanan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen saf PP ile 2.6µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma pim numunelerinin ve çelik diskin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Pim numunelerinin yüzey görüntüleri incelendiğinde saf PP malzemeye göre Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma çiziklerinin azaldığı görülmektedir. (c) %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP malzemenin pim yüzeyinde aşınma çiziklerinin saf PP'ye göre azaldığı fakat (d) karşı yüzey olarak kullanılan çelik disk yüzeyinde PP yapışmasının olduğu belirlenmiştir. Yani abrazyif aşınmanın az adhezif aşınmanın fazla olduğu saptanmıştır. (e) Mg(OH)<sub>2</sub> oranının %10'a çıkarılması ile pim numunesinin yüzeyinde aşınma çiziklerinin arttığı belirlenmiştir. (f) Çelik disk malzemesinin yüzeyinde ise %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin deneyinin yapıldığı çelik disk yüzeyine göre %10 Mg(OH)<sub>2</sub> PP kompozit malzemenin deneyinin yapıldığı çelik disk yüzeyinde yapışmanın daha belirgin ve yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak adhezif aşınmanın fazla abrazyif aşınmanın az olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.84'te deneylerde kullanılan saf PP polimeri ile 2.6µm partikül boyutuna sahip %2 ve %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitlerin aşınma pim numunelerinin ve çelik diskin optik mikroskop görüntüleri verilmiş olup 15N yük ve 3.0m/s kayma hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm malzeme gruplarında aşınma hızının artması ile pim numunelerinin yüzey görüntüsünde dalgalanmaların olduğu belirlenmiştir. Saf PP malzemeye göre (c) %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin yüzeyinde aşınma kanallarının azaldığı fakat pim numune yüzeyinde aşınmadan dolayı yönelme çizikleri belli olmaktadır. (d) Ayrıca karşı cins olarak kullanılan çelik disk yüzeyinde aşırı ısınmadan dolayı film tabakası olduğu belirlenmiştir. Buradan adhezif aşınmanın fazla abrazyif aşınmanın az olduğu anlaşılmaktadır. (e) %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemenin pim yüzey görüntüsünde ise aşınma izlerinin %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemesinin pim yüzey görüntüsüne benzemekte olduğu fakat karşı yüzey olarak kullanılan çelik disk malzemesinin yüzey görüntüsünde PP partikülleri belirgin olarak görülmektedir. Yani abrazyif aşınmanın olduğu saptanmıştır.



## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Farklı kayma hızları ve yükleri uygulanarak Nano ve Micro-Mg(OH)<sub>2</sub> katkı polipropilen kompozitlerin tribolojik özelliklerinin incelendiği deneyde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Saf PP polimer malzemesi içerisine ilave edilen farklı oranlardaki (%2-%4-%6-%10) ve farklı boyutlardaki (50nm-1.5µm-2.6µm) Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ile uygulanan tüm hız (0.5m/s-1.0m/s-2.0m/s-3.0m/s) ve yüklerde (5N-10N-15N) tüm malzemeler için saf PP malzemeye göre aşınma oranının azaldığı tespit edilmiştir.
2. PP polimerine ilave edilen Mg(OH)<sub>2</sub> katkı oranının %2'den %10'a çıkarılması ile spesifik aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir.
3. Farklı oranlarda (ağırlıkça %2-%4-%6-%10) Mg(OH)<sub>2</sub> katkı polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranları uygulanan yükün (5N-10N-15N) artırılması ile uygulanan hıza bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Uygulanan deneylerde 0.5m/s ve 1.0m/s kayma hızlarında yükün artırılmasının etkisi pek önemli olmazken 2.0m/s ve 3.0m/s kayma hızlarında yükün artırılması ile spesifik aşınma oranının azaldığı belirlenmiştir.
4. Katkısız PP polimeri ile değişen oranlardaki (%2-%4-%6-%10) Mg(OH)<sub>2</sub> katkı polimer kompozitlerin aşınma oranları kayma hızının (0.5m/s hızdan 3.0m/s hıza) artırılması ile spesifik aşınma oranlarının deneylerde kullanılan tüm malzeme gruplarında arttığı tespit edilmiştir.

5. Katkısız polipropilen polimerine üç farklı partikül boyutuna sahip (50nm-1.5 µm-2.6µm) Mg(OH)<sub>2</sub> katkısı ilave edilerek aşınma oranı üzerindeki etkisi incelenmiştir. En az aşınma oranı 50nm partikül boyutuna sahip Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozit malzemelerde gözlenirken 1.5µm ile 2.6µm partikül boyutuna sahip Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitler arasında pek bir fark gözlenmemiştir.
6. Deneyleerde kullanılan PP kompozitler arasında en düşük spesifik aşınma oranı tüm partikül boyutları için  $5,49.10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile 10N yük altında ve 0.5m/s kayma hızında %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer kompozitinde elde edilmiştir. Bu kompoziti 15N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında 2.6µm partikül boyutuna sahip %2 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer kompoziti  $7,32.10^{-15}$  m<sup>2</sup>/N aşınma oranı değeri ile takip etmektedir.
7. Deneyleerde kullanılan Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer kompozitler arasında en yüksek spesifik aşınma oranı  $5,31.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile 5N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında 1.5µm ile 2.6µm partikül boyutuna sahip %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer kompozitlerinde tespit edilmiştir. Bu kompozit malzemeyi 2.6µm partikül boyutuna sahip %10 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer kompoziti 10N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında  $4,78.10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile takip ettiği belirlenmiştir.
8. Farklı oranlarda Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP polimer kompozitlerin tamamının sürtünme katsayısı uygulanan yükün 5N'dan 15N'a artırılması ile ve uygulanan kayma hızının 0.5m/s'den 3.0m/s hıza artırılması ile arttığı tespit edilmiştir.
9. En düşük sürtünme katsayısı 50nm partikül boyutuna sahip PP+Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerinde elde edilirken sırasıyla 1.5µm ve 2.6µm partikül boyutuna sahip PP+ Mg(OH)<sub>2</sub> kompozitlerin takip ettiği gözlenmiştir.
10. Deneyleerde kullanılan tüm Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP kompozitler arasında en düşük sürtünme katsayısı 0.392 değeri ile 5N yük altında ve 0.5m/s kayma hızında elde edilirken, 50nm partikül boyutlu PP+%2 Mg(OH)<sub>2</sub> PP kompozitinde tespit edilmiştir. Bu kompoziti 50nm partikül boyutlu PP+%4 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı

kompozit 5N yük altında ve 0.5m/s kayma hızında 0.422 değeri ile takip ettiği belirlenmiştir.

11. Deneyleerde kullanılan tüm PP kompozitler arasında en yüksek sürtünme katsayısı 1.19 değeri ile 15N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında 2.6µm partikül boyutuna sahip PP+%6 Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı kompozit malzemede elde edilmiştir. Bu kompoziti 2.6µm partikül boyutuna sahip yine aynı kompozit malzeme 10N yük altında ve 3.0m/s kayma hızında 1.184 değeri ile takip ettiği tespit edilmiştir.

## 5.2. Öneriler

1. Deneyleeri yapılan katkısız PP ve kompozitlerinin aşınma ve sürtünme performansları oda sıcaklığında (23°C) yapılmış olup, farklı deney şartlarında sıcaklığın etkisi araştırılabilir.
2. Deneyleerde kullanılan yükler 5N-15N arasında belirlenmiştir. Uygulanan yükler daha fazla artırılarak polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranı ve sürtünme katsayısı haritası çıkarılabilir.
3. Deneyleerde uygulanan maksimum hız 3.0m/s olmuştur. Uygulanan yükün düşük olması şartıyla kayma hızı artırılarak kompozitlerin yüksek yüklerdeki aşınma ve sürtünme performansları incelenebilir.
4. Bu çalışmada yapılan aşınma deneylelerinde karşı disk olarak AISI 316L paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Endüstride kullanım alanına göre daha farklı çalışma kombinasyonları oluşturularak Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı PP esaslı kompozit malzemelerin tribolojik performansları incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Abenojar, J., Enciso, B., Martinez, M., Velesco, F., (2017). Wear resistance of polypropylene-SiC composite, *6th International Conference on Fracture Fatigue and Wear, Journal of Physics: Conference Series*, 843 012066.
- Ammar, O., Bouaziz, Y., Haddar, N., Mnif, N., (2017). Talc as Reinforcing Filler in Polypropylene Compounds: *Effect on Morphology and Mechanical Properties*, Polym Sci. Vol. 3 No. 1:8.
- Apay, S., (2013). Farklı yöntemler ile stellite kaplanan yapı çeliğinin mikroyapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Doktora Tezi*, Ankara.
- Aslan, M., Tufan, M., Küçükömeroğlu, T., (2018). Tribological and mechanical performance of sisal-filled waste carbon and glass fibre hybrid composites, *Composites Part B* 140 241–249.
- Asuke, F., Abdulwahab, M., Aigbodion, V., Fayomi, O., Aponbiede, O., (2014). Effect of load on the wear behaviour of polypropylene/carbonized bone ash particulate composite, *egyptian journal of basic and applied sciences I*, 67-70.
- Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M., Gomez, X., (2008). Effects of microstructure on wear behaviour of wood reinforced polypropylene composite, *ScienceDirect, Wear* 265, 606–611.
- Ayvaz, S., (2013). *Cr-Mo Çeliklerinin Aşınma Ve Korozif Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- Behalek, L., Lenfeld, P., Seidl, M., Bobek, J., Dvorackova, S., Ausperger, A., (2013). Tribological And Physical Properties Of Polypropylene Filled By Natural Fibres, *Tribologia*, 25-34.
- Dike, A., Mindivan, H., Mindivan, F., (2014). Mechanical and tribological performances of polypropylene composites containing multi-walled carbon nanotubes, *Article in International Journal of Surface Science and Engineering*, Vol. 8, No. 4.
- Dike, A., Mindivan, H., Mindivan, F., (2014). Effect of B<sub>4</sub>C Content on the Mechanical and Tribological Performances of Polypropylene, *Proceedings of the 3rd International Congress APMAS2013*, Vol. 125 No. 2.

- Ersoy, S., Taşdemir, M., (2012). Zinc oxide (ZnO), magnesium hydroxide [Mg(OH)<sub>2</sub>] and calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) filled HDPE polymer composites: Mechanical, *thermal and morphological properties*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 24(4), 93-104.
- Feyzullahoğlu, E., Şahin, T., (2010). The Tribologic and Thermomechanic Properties of Polypropylene Filled with CaCO<sub>3</sub> and Anhydrous Borax, *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, Vol. 29, No. 16/2010.
- Gandhi, R., Palanikumar, K., Raganath, B., Davim, J., (2013). Role of carbon nanotubes (CNTs) in improving wear properties of polypropylene (PP) in dry sliding condition, *Materials and Design* 48, 52-57.
- Garcia, M., Fasce, L., Pettarin, V., Viana, J., Pontes, A., Frontini, P., Pouzada, A., (2011). *Synergistic effects of nanoclay and SGF on tribological and dynamic properties of polypropylene composites*, <http://hdl.handle.net/1822/34801>.
- Gordienko, V., Salnikov, V., Podlesnyi, R., Kasperskii, A., (2009). Hardness and wear resistance of certain polyolefins with additions of molybdenum disulphide, International Polymer Science and Technology, *Plasticheskie Massy*, No. 10, pp. 13–15.
- Hufenbach, W., Stelmakh A., Kunze, K., Böhm, R., Kupfer, R., (2012). Tribo-mechanical properties of glass fibre reinforced polypropylene composites, *Tribology International* 49, 8–16.
- Karakuş, R., (2017). *Atık Üre Formaldehit Katkılı Polipropilen Ve Yüksek Yoğunluklu Polietilen Polimer Kompozitlerinin Özellikleri*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Karaoğlu, Y., (2006). *Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Korpela, T., Salstela, J., Suvanto, M., Pakkanen, T., (2014). Periodically micro-patterned viscose fiber-reinforced polypropylene composites with low surface friction, *Wear* 310, 20–26.
- Kurtuluş, E., (2010), *Bazı Termoplastik Kompozit Malzemelerin Mekanik Ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Latiff, A., Mohamad, N., Jeefferie, A., Nasir, M., Rahmah, S., Mahamood, M., Abdullah, M., Abdollah, M., (2015). Friction and wear characteristics of

recycled aerocomposite carbon fibre reinforced polypropylene composites, *Proceedings of Malaysian International Tribology Conference*, pp. 211-212.

- Li, H., Ma, Y., Li, Z., Ji, J., Zhu, Y., Wang, H., (2017). High temperature resistant polysulfone/silica double-wall microcapsules and their application in self-lubricating polypropylene, *Royal Society of Chemistry, RSC Adv.*, 2017, 7, 50328.
- Mertens, J., Senthilvelan, S., (2018). Mechanical and tribological properties of carbon nanotube reinforced polypropylene composites, *J Materials: Design and Applications*, Vol. 232(8) 669–680.
- Mohamad, N., Zainol, Z., Rahim, F., Maulod, H., Rahim, T., Shamsuri, S., Azam, M., Yaakub, M., Abdollah, M., Manaf, M., (2013). Mechanical and morphological properties of polypropylene/epoxidized natural rubber blends at various mixing ratio, *The Malaysian International Tribology Conference, Procedia Engineering* 68, 439 – 445.
- Mysiukiewicz, O., Sterzynski, T., (2017). Influence of Water on Tribological Properties of Wood-Polymer Composites, *Arch. Mech. Tech. Mater.* Vol. 37 (2017) 79-84.
- Nasir, R., (2013). *Assessing the Friction and Abrasion of Paddy Straw/Cockle Fibres Reinforced Polymer in Lubricated/Dry Sliding Condition*, <https://www.researchgate.net/publication/256096909>
- Nasir, R., Ghazali, N., (2014). Tribological performance of paddy straw reinforced polypropylene (PSRP) and unidirectional glass-pultruded-kenaf (UGPK) composites, *Jurnal Tribologi*, 1, pp.1-17.
- Özcan, M., (2014), *Mikro Ark Oksidasyon Yöntemi İle Kaplanmış Alüminyum Alaşımının Aşınma Davranışının İncelenmesi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- Özkader, M., (2015). *Isıl İşlemlerle AISI 4140 Çeliğinin Abrasiv Aşınmasının Araştırılması*, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Çorum.
- Özsaraç, U., (1999). *Endüstriyel Yatak Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Pilarska, A., Bula, K., Myszka, K., Rozmanowski, T., Szwarc-Rzepka, C., Pilarski, K., Chrzanowski, T., Czaczyk, K., Jesionowski, T., (2015). Functional polypropylene composites filled with ultra-fine magnesium hydroxide, *Article in Central European Journal of Chemistry*, Open Chem., 2015; 13: 161–171.

- Prabhu, R., Mendonca, S., Bhat, T., (2016). Mechanical and Tribological Properties of Injection Moulded Modified CaCO<sub>3</sub>/PP, LDPE Composites, *American Journal of Materials Science* 2016, 6(4A): 61-66.
- Sain, M., Park, S., Suhara, F., Law, S., (2004). Flame retardant and mechanical properties of natural fibre–PP composites containing magnesium hydroxide, *Polymer Degradation and Stability* 83 (2004) 363–367.
- Sedlak, P., Bialobrzaska, B., Stawicki, T., (2016). Friction coefficient and wear resistance of a modified polypropylene impregnated with different oils, This article is published with open access at Springerlink.com, *Iran Polym J* (2016) 25:263–275.
- Sivaraos, Yap, T., Qumrul, Amran, M., Anand, T., Izamshah, R., Aziz, A., (2013). Friction Performance Analysis of Waste Tire Rubber Powder Reinforced Polypropylene Using Pin-On-Disk Tribometer, *The Malaysian International Tribology Conference*, Procedia Engineering 68 ( 2013 ) 743 – 749.
- Sole, B., Ball, A., (1996). On the abrasive wear behaviour of mineral filled polypropylene, *Tribology International* Vol. 29, No. 6, pp. 457-465.
- Taşdemir, M., (2017). Polypropylene/olive pit & almond shell polymer composites: wear and friction, *5th International Conference on Nanomaterials and Materials Engineering*, Materials Science and Engineering 204, 012015.
- Taşdemir, M., Gülsoy, O., (2017). Water Absorption, Friction and Wear Behaviors of Polypropylene Composites Filled with Hydroxyapatite, *Article in Key Engineering Materials*, Vol. 733, pp 60-64.
- Tomris, S., (2018). *Farklı Kaplama Tozları ile Yüzeyi Alaşımlandırılmış 90 MnCrV8 Çeliğinin Mikroyapı ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir.
- Ünal, H., Hatipoğlu, G., Yetgin, S., (2016). *Poli-Fital-Amid (PPA) Polimerinin Tribolojik Özelliklerine Karbon Fiber Ve Kayma Hızı'nın Etkisinin İncelenmesi*, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4, 167-175.
- Ünlüoğlu, O., (2012). *Grafit Partiküllerinin Yağ Katkısı Olarak AISI H11 Çeliğinde Sürtünme ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir.
- Wu, Z., Hu, N., Wu, Y., Wu, S., Qin, Z., (2014). The Effect of Ultrafine Magnesium Hydroxide on the Tensile Properties and Flame Retardancy of Wood Plastic Composites, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials* Volume 2014, Article ID 945308, 8 pages.

Yallew, T., Kumar, P., Singh, I., (2014). Sliding Wear Properties of Jute Fabric Reinforced Polypropylene Composites, *12th Global Congress On Manufacturing And Management*, Procedia Engineering 97, 402 – 411.

Yuan, S., Li, Y., Zhang, Q., Wen, J., Zhu, Z., (2018). The Tribological Properties of PP/EPDM/CaCO<sub>3</sub> Composites Modified by HDPE, *Materials Science and Engineering* 381 (2018) 012098.

Zan, L., Yanxiang, L., Lu, M., Dunzhong, Q., Zhilin, C., (2017). A Study on Tribological Properties of Polypropylene Nanocomposites Reinforced with Pretreated HNTs, *China Petroleum Processing and Petrochemical Technology*, Vol. 19, No. 3, pp 115-122.

Url-1 <<https://www.pagev.org>>, erişim tarihi 26.12.2019.





## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyadı** : Samet VARDAR  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 10/08/1991 Bursa  
**E-posta** : y155047028@subu.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2020, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

### YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- **Vardar, S., Ünal, H., Taşdemir, M., Yıldız, M.** 2017. Magnezyum Hidroksit ( $Mg(OH)_2$ ) Katkılı Polipropilen Kompozitin Aşınma ve Sürtünme Performansı, *International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017)*, 668-676.
- **Vardar, S., Ünal, H., Taşdemir, M.** 2019.  $Mg(OH)_2$  Katkılı Polipropilen (PP) Kompozitin Farklı Hızlardaki Tribolojik Performansları, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar) (IMASCON)*, 1659-1665.
- **Vardar, S., Ünal, H., Taşdemir, M.** 2019. Polipropilen (PP)/ $Mg(OH)_2$ , Kompozitin Aşınma ve Sürtünme Davranışlarına Uygulanan Yükün Etkisinin İncelenmesi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar) (IMASCON)*, 1666-1672.