



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**POLİMER ESASLI KAYMALI YATAKLARIN TRİBOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN FARKLI YÜK VE HIZLARDA
DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Taner Ramazan ÖZLÜ

Danışman: Dr.Ögr.Üyesi Mithat ŞİMŞEK

TOKAT- 2023

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr.Ögr.Üyesi Mithat ŞİMŞEK danışmanlığında hazırlamış olduğum “Polimer Esaslı Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Farklı Yük ve Hızlarda Deneysel İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../...

Taner Ramazan ÖZLÜ

İmza

JÜRİ KABUL VE ONAY

Taner Ramazan ÖZLÜ tarafından hazırlanan “**Polimer Esaslı Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Farklı Yük ve Hızlarda Deneysel İncelenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 31.05.2023 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Danışman) : Dr.Ögr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK

Üye :Dr.Ögr. Üyesi Cemil KÖZKURT

Üye :Dr.Ögr. Üyesi Ebubekir YAŞAR

ONAY

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince hiçbir desteğini esirgemedен yanımda olan, bilim insanı kişiliğinden çok şey öğrendiğim değerli hocam Dr.Öğr.Üyesi Mithat ŞİMŞEK'e ve her zaman bana destek olan eşime ve oğluma teşekkürü borç bilirim.

Taner Ramazan ÖZLÜ

TOKAT-2023

ÖZET

POLİMER ESASLI KAYMALI YATAKLARIN TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN FARKLI YÜK VE HIZLARDA DENEYSEL İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Mekatronik Mühendisliği Anabilim dalı
Tez Danışmanı : Dr.Ogr.Üyesi Mithat ŞİMŞEK
Mayıs 2023; xiv + 67 sayfa

Bu tez çalışmasında, kendinden yağlama özelliği taşıyan polimer esaslı kaymalı yatak malzemelerinin belirlenmiş yük ve hızlarda tribolojik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, yaygın olarak kullanılan ve literatürde farklı çalışmalara konu olan saf PTFE, PTFE + % 25 Karbon, PTFE + % 35 Karbon, PTFE + % 15 Cam elyaflı, PTFE + % 25 Cam elyaf, PTFE + % 40 Bronz, PTFE + % 60 Bronz katkılı kaymalı yatak numuneleri tasarlanmış ve tedarik edilmiştir. Numunelerin test edileceği deney şartları literatür yapılan ilgili çalışmalar incelenerek, numunelerin daha önce test edilmediği şartlar belirlenmiştir. Deneyler sırasında takip edilecek sıcaklık, dikey kuvvet ve hız değerlerinin sürekli takip edileceği, bir kaymalı yatak düzeneği tasarlanarak, imalatı yapılmıştır. Belirlenen deney şartlarına göre numuneler; 5000 m kayma mesafesini 75 N, 50 N ve 25 N olmak üzere 3 farklı yük altında ve 0,3 m/s, 0,6 m/s ve 0,9 m/s olmak üzere 3 farklı hızda tamamlamışlardır. Belirlenen şartlarda numunelerin sürtünme katsayısı, ağırlık kaybı, yüzey pürüzlülüğü, aşınma miktarı ve aşınma oranları tespit edilmiş, PTFE'ye eklenen katkıların mekanik özelliklere olan etkileri değerlendirilmiş ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüzeylerde oluşan değişimler analiz edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Polimer, PTFE, Cam elyaf, Karbon, Bronz, Kaymalı yatak

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER BASED JOURNAL BEARINGS AT DIFFERENT LOADS AND SPEED

Master's Thesis Mechatronic Engineering Department

Advisor: Asst.Prof.Dr. Mithat ŞİMŞEK

May 2023; xiv + 67 pages

In this thesis, it is aimed to investigate the tribological properties of polymer-based journal bearing materials with self-lubricating properties at specified loads and speeds. For this purpose, pure PTFE, PTFE + 25 % Carbon, PTFE + 35 % Carbon, PTFE + 15 % Glass fiber, PTFE + 25 % Glass fiber, PTFE + 40 % Bronze, PTFE + %, 60 Bronze doped journal bearing which are widely used and subject to different studies in the literature, specimens were designed and supplied. The experimental conditions in which the samples will be tested, the relevant studies in the literature were examined, and the conditions in which the samples were not tested before were determined. A journal bearing testing apparatus was designed and manufactured, in which the temperature, vertical force and velocity values to be saved during the experiments were constantly monitored. Samples according to the determined test conditions; they completed the 5000 m sliding distance under 3 different loads of 75 N, 50 N and 25 N and at 3 different speeds as 0.3 m/s, 0.6 m/s and 0.9 m/s. The friction coefficient, weight loss, surface roughness, wear amount and wear rates of the samples were determined under the specified conditions, the effects of the additives added to PTFE on the mechanical properties were evaluated and the changes in the surfaces were analyzed by scanning electron microscope (SEM).

KEYWORDS: Polymer, PTFE, Glass fiber, Carbon, Bronze, Journal bearing

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Polimer Malzemeler ve Polimer Kompozitler	7
2.1.1 Termoplastikler	8
2.1.2.Elastomerler	8
2.1.3.Termosetler	8
2.2 Radyal Kaymalı Yataklar.....	10
2.3 Sürtünme.....	12
2.4 Aşınma	13
2.4.1 Adhesiv aşınma.....	13
2.4.2 Abrasif aşınma	14
2.4.3 Yorulma (pitting) aşınması	14
2.4.4 Korozyon aşınma.....	14
2.4.5 Erozyon aşınması.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Deney Düzenliğini Oluşturan Malzemeler.....	20
3.1.1. Arduino	20
3.1.2. Devir ölçer Sensör	21
3.1.3. Termokupl.....	21
3.1.4. Loadcell (yük hücresi)	22

3.1.5. DC Motor	23
3.1.6. DC Motor Sürücüsü	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1 Sürtünme Katsayısı Sonuçları	29
4.2. Sıcaklık Değişimleri	38
4.3. Yüzey Pürüzlülük Değerleri	46
4.4. Aşınma Miktarları	49
4.5. Aşınma Oranları ve Dirençleri	53
4.6. Sem Görüntüleri	57
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	62
6. KAYNAKLAR	64
7. ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Sayı
Şekil 2.1. Yatak tipleri (Kaymaz, 2015)	10
Şekil 2.2. Stribeck eğrisi	13
Şekil 3.1. Deney düzeneği şematik resmi	16
Şekil 3.2. Deney düzeneği ölçüm ünitesi detay ve şematik resmi	17
Şekil 3.3. Kaymalı yatak ölçüleri.....	18
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan numuneler (PTFE, PTFE+% 25 Karbon, PTFE+% 35 Karbon, PTFE+% 15 Cam Elyaf, PTFE+% 25 Cam Elyaf, PTFE+% 40 Bronz, PTFE+% 60 Bronz.)	18
Şekil 3.5. Deney düzeneği	20
Şekil 3.6. Arduino uno kart.....	20
Şekil 3.7. Devir sensörü.....	21
Şekil 3.8. Sıcaklık sensörü.....	22
Şekil 3.9. Loadcell	22
Şekil 3.10. DC motor	23
Şekil 3.11. DC motor sürücüsü.....	24
Şekil 3.12. PC takip ekranı	25
Şekil 3.13. Milde oluşan sıvama örneği (PTFE + % 25 Cam Elyaf 50 N 0,6 m/s) ...	25
Şekil 3.14. Hassas terazi	26
Şekil 3.15. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	26
Şekil 3.16. SEM mikroskobu (HÜBTUAM)	27
Şekil 3.17. Kaplama cihazı (HÜBTUAM)	28
Şekil 4.1. 25 N yük ile 0,3 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	29
Şekil 4.2. 25 N yük ile 0,6 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	30

Şekil 4.3. 25 N yük ile 0,9 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	31
Şekil 4.4. 50 N yük ile 0,3 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	32
Şekil 4.5. 50 N yük ile 0,6 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	33
Şekil 4.6. 50 N yük ile 0,9 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	34
Şekil 4.7. 75 N yük ile 0,3 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	35
Şekil 4.8. 75 N yük ile 0,6 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	36
Şekil 4.9. 75 N yük ile 0,9 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği	37
Şekil 4.10 Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük 0,3 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	38
Şekil 4.11. Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük 0,6 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	39
Şekil 4.12. Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük 0,9 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	40
Şekil 4.13. Kaymalı yatak numunelerinin 50 N yük 0,3 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	41
Şekil 4.14. Kaymalı yatak numunelerinin 50 N yük 0,6 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	42
Şekil 4.15. Kaymalı yatak numunelerinin 50 N yük 0,9 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	43
Şekil 4.16. Kaymalı yatak numunelerinin 75 N yük 0,3 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	44
Şekil 4.17. Kaymalı yatak numunelerinin 75 N yük 0,6 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	45
Şekil 4.18. Kaymalı yatak numunelerinin 75 N yük 0,9 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği	46

Şekil 4.19. Saf PTFE numunenin 75 N 0,9 m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü	57
Şekil 4.20. PTFE + % 15 Cam Elyafı numunenin 75 N 0,3 m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü	58
Şekil 4.21. PTFE + % 25 Cam Elyaf numunenin 50 N 0,3 m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü	58
Şekil 4.22. PTFE + % 25 Karbonlu numunenin 75 N 0,9 m/s ve 50 N 0,9 m/s şartlardaki SEM görüntüsü	59
Şekil 4.23. PTFE + % 35 Karbonlu numunenin 50 N 0,3 m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü	60
Şekil 4.24. PTFE + % 40 Bronzlu numunenin 75 N 0,3 m/s ve 25 N 0,9 m/s şartlardaki SEM görüntüsü	60
Şekil 4.25. PTFE + % 60 Bronzlu numunenin 75 N 0,3m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü	61

ÇİZELGE LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan malzemelerin başlıca mekanik özellikleri (Polikim, 2022)	9
Tablo 3.1. Deney konusu malzemelerin hesaplanan yatak boşluk değerleri	19
Tablo 3.2. Devir sensörü teknik bilgiler	21
Tablo 3.3. Loadcell'e ait teknik bilgiler	23
Tablo 3.4. DC Motor Kontrol Cihazı teknik özellikleri	24
Tablo 3.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	27
Tablo 3.6. SEM cihazının teknik özellikleri	28
Tablo 3.7. Yüzey kaplama cihazı teknik özellikleri	28
Tablo 4.1. Saf PTFE kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri	47
Tablo 4.2. PTFE + % 15 Cam Elyafı kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri	47
Tablo 4.3. PTFE + % 25 Cam Elyafı kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri	47
Tablo 4.4. PTFE + % 25 Karbonlu kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri	48
Tablo 4.5. PTFE + % 35 Karbonlu kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri	48
Tablo 4.6. PTFE + % 40 Bronzlu kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri	48
Tablo 4.7. PTFE + % 60 Bronzlu kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri	49
Tablo 4.8. Saf PTFE kaymalı yatak ağırlık değişim tablosu	49
Tablo 4.9. PTFE + % 15 cam elyaf kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu	50
Tablo 4.10. PTFE + % 25 cam elyaf kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu	50
Tablo 4.11. PTFE+ % 25 karbon kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu.....	51
Tablo 4.12. PTFE + % 35 karbon kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu.....	51
Tablo 4.13. PTFE + % 40 bronz kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu.....	52

Tablo 4.14. PTFE + % 60 bronz kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu.....	52
Tablo 4.15. Saf PTFE malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri	53
Tablo 4.16. PTFE + % 15Cam elyaf malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları	54
Tablo 4.17. PTFE + % 25Cam elyaf malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri.....	54
Tablo 4.18. PTFE + % 25 Karbon malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri	54
Tablo 4.19: PTFE + % 35 Karbon malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri	55
Tablo 4.20. PTFE + % 40 Bronz malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri.....	56
Tablo 4.21. PTFE + % 60 Bronz malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
μ	Sürtünme Katsayısı
A_r	Temas Alanı
F_n	Normal Yük
F_s	Sürtünme Kuvveti
n	Devir Sayısı
p_h	Sıkıştırma Mukavemeti
R_a	Yüzey Pürüzlülüğü
v	Kayma Hızı
w	Aşınma Miktarı
τ_{av}	Ortalama Kesme Kuvveti
α	Isıl Genleşme Katsayısı
ϵ_f	Nemle Genleşme Katsayısı
ρ	Yoğunluk
Δl	Yatak Boşluğu Azalma Miktarı
Δm	Ağırlık Kaybı
Δt_2	Yatak Yüzeyi ile Dış Ortam Arasındaki Sıcaklık Farkı
ΔV	Hacimsel Malzeme Kaybı
d	Yatak Çapı
F	Yük
F_s	Statik Sürtünme Kuvveti
F_k	Dinamik Sürtünme Kuvveti
F_N	Normal Kuvvet
L	Özgül Aşınmada Kat Edilen Yol
l	Yatak boşluğu
l_{min}	Minimum Yatak Boşluğu
n	Devir Sayısı
R_a	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
s	Yatak Kalınlığı
T	Sıcaklık

v	Kayma Hızı
Wa	Aşınma miktarı
Wr	Aşınma direnci
Ws	Özgöl Aşınma Miktarı

Kısaltmalar	Açıklama
PTFE	Politetrafloroetilen
DC	Direct Current
SEM	Scanning Electron Microscope
FRP	Fiber-Reinforced Polymeric
CE	Cam Elyaf
N	Newton

1. GİRİŞ

Yataklar, dönme veya salınma yapan makine parçalarının arasındaki bir veya birden fazla yönde rölatif harekete minimum sürtünme oluşacak şekilde izin veren makine elemanlarıdır. Konstrüksiyon çeşitlerine göre yataklar; kaymalı yatak, yuvarlanmalı yatak ve manyetik yataklar olmak üzere üçe ayrılırlar. Kaymalı yataklar dönen ve salınım hareketi yapan mil, aks gibi elemanları yataklamak üzere yaygın şekilde kullanılan makine elemanlarıdır.

Kuru yatak uygulamalarının çoğunluğunda, bir metale karşı sürtünmesinde ayrıca yağlayıcı bir maddeye gerek kalmaması; nispeten küçük bir sürtünme katsayısına sahip olması sebebiyle organik polimer esaslı malzemeler kullanılmaktadır. (Karadere,2018) Polimer esaslı malzemeler; (polimer kompozitler) hafif olma, kolay işlenebilirlik vb özellikleri ile farklı sektörlerde kullanım alanı bulmuş ve hala da bulmaktadır. Başta gıda, ambalaj, tıp, tekstil, boya inşaat gibi sektörlerde hızlı bir yayılım göstermektedir. Bu hızlı yayılımın kökeninde polimerlerin organik temel yapıları yatmaktadır. Tıpkı yeryüzündeki organik yapıların olağanüstü çeşitliliği ve bu çeşitliliğin yarattığı özellik farklılık zenginliği gibi insan oğlu zekâsı ile polimerik kompozitlere bu farklılıkları yansıtarak adeta kendi yöntemleri ile doğayı yeniden yaratma çabası içine girmektedir (İçli,2006). Polimer esaslı malzemelerin yaygınlaşması, gelişmesine yol açmıştır.

Endüstriyel uygulamalarda polimer esaslı malzemelerin mihenk taşı da PTFE (polytetrafluoroethylene)'dir. 1938 yılında PTFE (polytetrafluoroethylene) bulunduğundan sonra yapılan çalışmalarda vaat ettiği düşük sürtünme katsayısı, olağanüstü korozyon direnci, kimyasal reaksiyonlara duyarsızlığı (kararlılık) ve geniş sıcaklık aralığında çalışma özellikleri sayesinde endüstride (otomotiv, kimya, tıp, gıda işleme ve elektrik) yaygın kullanım alanı bulmuştur. İlave olarak yağlayıcı gerektirmeyen yapısı nedeniyle kaymalı yataklar gibi sürekli yağlama gerektiren yerlerde maliyetlerin düşürülmesi için yeni çalışmalara sebep olmuştur. Günümüzde yağlayıcıların azaltılması, yeniden üretimi, bertarafı sıkı yasalarla regüle edilip yüksek maliyetler gerektirdiği için, büyük önem taşımaktadır. Yaklaşık olarak otomotiv, tarım endüstrisinde % 46, üretim endüstrisinde % 47 ve denizcilik ile havacılık endüstrisinde % 7 oranında kullanıldığı tahmin

edilmektedir (Conte M., Iguarta A.,2012). Ekstra maliyet gerektiren bu durumlar PTFE'ye yukarda bahsedilen özellikler ve yağlayıcı gerektirmemesi nedenleri ile, odaklanılmasına sebep olmuştur.

Bu pozitif özelliklerin yanında sahip olduğu kötü ya da yetersiz mekanik özellikler (aşınma direnci vb), PTFE'nin kullanım alanını son derece kısıtlamıştır. Bu çalışmada kullanılan PTFE alaşımlarının bileşimleri ve katkı maddeleri, PTFE'nin doğal özelliklerini iyileştirme ve yeni işlevsellikler kazandırma potansiyeli sunmaktadır. Bu çalışmada, farklı alaşım bileşimlerinin PTFE'nin mekanik dayanıklılığı, sertlik, termal iletkenlik ve elektriksel iletkenlik gibi önemli özellikleri üzerindeki etkileri bir şekilde incelenecektir.

Özellikle aşınma direncinin, sıcaklık, sertlik değerlerinin farklı katkılar (cam elyaf, bronz, karbon vb.) kullanılarak artırılabilceği tespit edilmiştir. Bu bağlamda günümüzde özellikle PTFE'nin başta aşınma direnci olmak üzere diğer (sürtünme katsayısı, sıcaklık dayanımı vb.) arttırmak için farklı katkılı çalışmalar halen devam etmektedir. Katkı malzemeleri literatürde yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde, cam elyaf katkısının PTFE'ye sertlik, Pv limit değeri (sürtünmeyi tolere edebilme özelliği) kimyasal stabilite ve sünme mukavemeti; karbon katkısının, sertlik, pv limit değeri, aşınma direnci ve ısı iletkenlik değerlerini; bronz katkısının ise sürtünme katsayısını ve aşınma oranını önemli ölçüde düşürdüğü, sünme mukavemeti değerlerini geliştirdiği belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında PTFE esaslı 7 çeşit malzemeden kaymalı yatak numuneleri tasarlanmıştır. Tasarlanan bu numunelerin tribolojik özelliklerini ölçmek üzere bir adet kaymalı yatak düzeneği imal edilmiştir. Bu düzenekte 5000 m kayma mesafesi için 3 farklı yük ve 3 farklı hız için deney şartları hazırlanmıştır. Literatürdeki deneyler incelenerek tekrara düşülmemiş ayrıca malzemeleri daha zorlu şartlarda testlerinin yapılması için çalışılmıştır. Buna göre malzemeler 2 5N, 50 N ve 75 N yüklerde ve her bir yük için 0,3 m/s, 0,6 m/s ve 0,9 m/s hızlarda deneyler yapılmıştır. Toplamda 63 adet deney tekrarlarla birlikte 91 adet deney gerçekleştirilmiştir.

Bazı deneyler esnasında loadcell’de okuduğumuz dikey kuvvet değeri, normaldekinin, aksine hızlı bir şekilde yükselip belli bir zamanda stabil olmaya başlamayıp sürekli yükselme durumları ile karşılaşmıştır. Bu tür durumlarda artan dikey kuvvet dolayısıyla sürtünme değeri, motor devir sayısını ve hızını ölçmek istenilen şartlardan uzaklaştırdığı gibi çalışmayı motorun emniyet akım değerinin üzerine kadar çıkarması sonucu deneyler motor sürücünün motoru durdurmasıyla zorunlu olarak sonlandırılarak bitirilmiştir. Bunun kaynak nedeni, numunelerin yüzey kaliteleri, geometrik tolerans değerleri, kalıp boşluklarının hesap edilen değerden daha düşük değerlerde olmasında vb. faktörler olduğu değerlendirilmektedir. Sağlıklı veriler alınamadığından bu tür deney verileri, grafik ve tablolarda verilmiş fakat analiz ve değerlendirme yapılan bölümlerde dikkate alınmamıştır.

Deneyler sonrasında mil ve numunede olan temizliğin sağlanması için hava, etil alkol emdirilmiş yumuşak bir bez ve zaman zaman da milin yüzeyinde oluşan film tabakasını temizlemek için su zımparası kullanılmıştır. Deneyler sırasında düzenekten hız, yatağa etkiyen dikey kuvvet ve sıcaklık verileri her saniye ölçülmüş veriler tablolara ve grafiklere 500m aralıklarla eklenmiş ve dokümanite edilmiştir. Deney öncesinde ve sonrasında numune yatakların ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür ve bu verilerden yararlanarak meydana gelen ağırlık kayıpları, aşınma miktarları, oranları ve dirençleri tablolar halinde verilmiştir. Deneylerden önce ve sonra yatak numunelerin ve milin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Deney sonrasında seçilen numunelerin SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri eklenmiş ve analiz edilmiştir. Ek olarak deneylerden önce numune yatakların sertlikleri belirtilen aralıklarda olup olmadığı kontrol amaçlı ölçülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Polimer kompozit malzemelerden yapılan kaymalı yatak konusunda literatürde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar aşağıdaki gibi ele alınmıştır.

Tevruz (1998), yaptığı çalışmada saf PTFE ve % 35 karbon katkılı PTFE malzemeden yapılan kaymalı yatakları belli değerlerdeki hız, yük ve kayma mesafesinde denemiş, malzemeleri tribolojik açıdan incelemiş karşılaştırmıştır. Yapılan deneyler neticesinde % 35 karbon içeren PTFE'nin sürtünme katsayısının saf PTFE oranla % 20-60 arasında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Buna ilave olarak da hızın arttıkça sürtünme katsayısının arttığı, sürtünme katsayısının yük arttıkça azaldığı tespit edilmiştir.

Tevrüz, 1998 yaptığı çalışmalarda PTFE + % 60 bronz içeren kaymalı yatakların tribolojik özelliklerini kaymalı yatak deney düzeneğinde aşındırıcı muylu olarak AISI 440C mili kullanarak incelemiştir. Buna göre yük ile sürtünme katsayısı değerinin birleri ile ters yönde ilerlediğini, kayma hızı arttıkça ile sıcaklık arttıkça ise sürtünme katsayısının arttığının tespit etmiştir. İlave olarak daha önceki yaptığı deneylerdeki sonuçları da katarak toplu bir karşılaştırma yapmıştır.

Kukureka vd. (2000), yapmış olduğu çalışmalarda PA66 + % 20 aramid, PA66 + % 30 karbon ve PA66 + % 30 cam elyaf takviyeli malzemeleri ile saf PA66 malzemesinin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Deneyler yuvarlanma – kayma (Rolling-sliding) cihazında 50-300 N yükleme ve 1000 d/dk hızlarda gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda sürtünme katsayısı değerlerini saf PA66 için 0,3 – 0,45, PA66 + % 20 aramid elyaf takviyeli için 0,2 – 0,35 PA66 + % 30 karbon elyaf takviyeli için 0,2 – 0,3 ve son olarak PA66 + % 30 cam elyaf için ise 0,1 – 0,15 aralığında bulmuşlardır.

Feyzullahoğlu ve Şafak (2008), iki aşamalı deney şartlarını ilkinde 4 farklı polimer kompozitin (delrin, ertalyte PETP, kestamid ve devateks), AISI 440C aşındırıcı muylu kullanarak 4 farklı hız ve 4 farklı yükte % 50 nem oranı ile sürtünme karakterleri tespit edilmiştir. Deneyin ikinci kısmında bu malzemeler 95N ve 1,5 m/s hızda 8 saat çalıştırılmıştır. Sonuçta alınma miktarları en çok Kestamid malzemeli numuneden

çıkarken, en düşük ise Eralyte malzemede; sıcaklık en fazla Eralyte malzemede, en düşük ise kestamid malzemede meydana geldiği tespit edilmiştir. En düşük sürtünme değerlerine sahip olan malzemenin Devateks olduğu belirlenmiştir.

Demirci M.T. (2009), yaptığı çalışmada PA66, PA6,6, PA 6,6 + % 30 Cam elyaf, PA66 + % 25 cam elyaf + % 25 PTFE, PA 66 + % 18 PTFE, PA 66 % 25 cam elyaf + % 3 MoS₂ termoplastik malzemelerden kaymalı yatak numuneleri hazırlamış 0,5 – 1 - 1,5 m/s hızlarda 0,095 - 0,190 - 0,238 MPa basınç altında 1000 m kayma mesafesinde test etmiştir. Sonuçlara göre yatağa uygulanan basınç arttıkça, sürtünme katsayısı düşmüş, sıcaklık arttıkça sürtünme katsayısı artmış; katkısız ve PTFE katkılı yatakların sıcaklık artışı daha fazla olmuştur.

Ünlü vd. (2009), 4 farklı polimer kompozitten (PTFE, PE, PA, Bakalit ve POM2) ürettikleri kaymalı yatakları 0,13 m/sn kayma hızında, 20 N yük ile, 1177,5 m kayma mesafesinde kuru ortam şartlarında, aşındırıcı muylu olarak SAE 1050 çeliği kullanarak kaymalı yatak test cihazında test etmişlerdir. En düşük sürtünme katsayısı PTFE ve bakalitte (0,15) en yüksek sürtünme katsayısı ise PE’de meydana geldiğini (0,25) bulmuşlardır. Aşınma miktarının en fazla bakalitte, en düşük aşınma miktarının ise POM’da olduğu tespit etmiştir. Yatak sıcaklıkları ise 30-35 °C aralığında ölçülmüştür. Conte ve Igartua (2012), yapmış oldukları çalışmada yaygın olarak kullanılan PTFE PTFE + % 25 karbon, PTFE + % 60 bronz, PTFE + % 15 grafit, PTFE + % 25 cam fiber, PTFE + % 20 cam fiber + % 5 grafit ve PTFE + % 15 cam fiber + % 3 MoS₂ kompozitlerinin, farklı yük ve hızları kapsayan deney şartlarında, aşındırıcı muylu olarak CrVNiMo malzeme kullanarak sürtünme ve aşınma özelliklerini kıyaslamışlardır. Buna göre, en düşük sürtünme katsayısı değerini PTFE + %15 cam fiber + %3 MoS₂ malzemeden elde edildiği, aşınma kaybı değerlerinde ise en yüksek sırayla değerlere PTFE + % 60 bronzda ve saf PTFE’den numunelerden elde edildiği tespit edilmiştir.

Sarı A. (2015), yaptığı çalışmada Kestamid, KEstamid HS, Kestoil, Kestlub ve Ulpolen 1000 malzemeden imal edilen kaymalı yatak numuneleri 15, 25, 35 N yük ve 50, 75, 100 d/d hızlarında kaymalı yatak düzeneğinde test etmiştir. Buna göre; en düşük sürtünme

katsayısı düşük olan Kestoil olmuştur. SEM görüntülerinde en fazla deformasyona uğrayan Ulpolen 1000'li numune olmuştur.

Artun Y. (2022), yaptığı çalışmada, saf PTFE, % 25 karbon ilaveli PTFE ve % 5 MoS₂ + % 25 Karbon + PTFE malzemeler kaymalı yataklar yapıp bu kaymalı yatak numunelerini, kuru kayma koşullarına uygun, tribolojik açıdan yüksek performanslı PTFE bazlı bir kaymalı yatak amacıyla 10 N ve 20 N kuvvetlerde 0,5 – 1- 1,5 - 2,0 m/s hızlarda denenmiştir. Buna göre hız ve mesafe arttıkça sürtünme katsayısı artmış ve abrasif aşınmalar daha belirginleşmiştir. En düşük sürtünme katsayısı saf PTFE'de (0,144) en yüksek ise PTFE+% 25 karbonlu numuneden (0,39) elde edilmiştir; Yük ve hız arttıkça aşınma miktarında artış görülmüştür. Buna göre en yüksek aşınma saf PTFE malzemede 2 m/s hız ve 20 N yükse % 6,52 olarak tespit edilmiştir; Sıcaklık artışı en fazla PTFE + % 25 Karbonlu malzemede meydana gelmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde en fazla değişim Saf PTFE malzemede meydana gelmiştir.

Taylan G.(2022), yaptığı çalışmada farklı yüzey kalitesine sahip UHMWPE ve katkısız POM malzemeden üretilen yatak numunelerini 10 N ve 20 N yük altında, 0,5 – 1 - 1,5 - 2,0 m/s hızlarda kuru şartlar altında kaymalı yatak düzeneğinde sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü sürtünme katsayısı ve aşınma miktarlarını test etmiştir. Buna göre; yüzey kalitesi farklı olsa da hız arttıkça sürtünme katsayısı ve sıcaklık değeri atmıştır; yüzey pürüzlülük değerinin kayma hızları arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Aşınma miktarının, yük ve kayma hızı arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Test numunelerinden iyi yüzey kalitesine sahip UHMWPE numunelerin, diğer numunelere göre SEM görüntüleri incelendiğinde daha az aşınması olduğu ilave olarak da sürtünme katsayısı ve yüzey pürüzlülük değişimlerinin en düşük numuneler olduğu tespit edilmiştir.

PTFE malzeme ve alaşımlarından üretilen kaymalı yataklar ile yapılan çalışmalar incelendiğinde konu ile ilgili literatürde birçok kıymetli çalışmanın olduğu fakat PTFE alaşımlarından beklenen kuru ortamda yüksek mekanik özellikler henüz tam olarak karşılanamadığı görülmüştür. İleride bu konu ve PTFE malzemeye takviye olarak kullanılan maddelerin çeşitliliği, karışma yöntemleri vb. üzerine yapılacak çalışmalar, literatürde yapılmış olan çalışmaların kılavuzluğunda çok daha ileri gidecektir.

2.1. Polimer Malzemeler ve Polimer Kompozitler

Çok sayıda molekülün (monomer) uygun koşullarda, polimerizasyon tepkimesi adı verilen bir tepkimeyle bir araya gelip kovalent bağlarla oluşturdukları makromoleküle Polimer adı verilir. Polimer ve polimer kompozitler 19.yy ile gündelik yaşantımıza yer alan ürünlere dâhil olmuşlardır (yapıştırıcı kauçuk vb.). Önceleri kolay işlenebilirlik ve ucuz maliyeti olduğundan, yaygınlaşan polimerler zamanla katkılarla beraber daha fazla özellik kazandırılmış ve bunun neticesinde endüstriyel uygulama alanlarında alternatif olmaya başlamıştır. Kompozit malzemeler genel olarak takviye edici ve matris adı verilen iki bileşenden oluşur. Takviye edici bileşen mekanik özelliklerden dayanıklılıktan sorumlu olup, genel olarak etkisi % 10 u aşınca anlaşılabilir. Matris bileşen ise daha çok kompozitin omurgasını oluşturur denenebilir. Bir başka deyişle kompozitin şeklini ve diğer bileşenin toplu halde tutmakla ve dış etkilere korumakla görevlidir (Özsoy, 2015). Özellikle 1930'larla beraber elyaf filamentlerle güçlendirilmiş polimer kompozitlerin üretimi başlamıştır. Yapılan çalışmalarda, yüksek mukavemetli elyaf kullanımı, gelişmiş matris seçimi ve güçlendirme ajanlarının eklenmesi gibi yöntemler olarak ortaya çıkmıştır (Cevahir, 2017). Süregelen çalışmalar neticesinde polimer kompozit malzemelerde farklı sektörlerde öne çıkan birçok farklı polimer kompozit alternatif malzeme olarak geniş bir yayılım göstermiştir.

Polimerler, yapılarına ve kullanım alanlarına bağlı olarak çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Polimerler, doğal (organik) ve sentetik olabilir. Polimerler, yapılarında bulunan tek bir monomerin tekrarlanmasından oluşması ile homopolimer adını iki farklı monomerlerin polimerizasyonu ile elde edilen kopolimer adını ve üç farklı tekrarlama ile oluşan termopolimer adını alarak sınıflandırılabilir. Polimerlerin sınıflandırılmasında çalışmamızın konusu bakımından yapılabilecek en faydalı sınıflandırma esas işleme yöntemlerine göre yapılan sınıflandırmadır. Buna göre polimerler; termoplastikler ve termosetler olarak iki ayrılırlar (Temiz, 1998), buna elastomerler de eklenmelidir.

2.1.1 Termoplastikler

Termoplastik kelimesi, termo; sıcaklık (ısı), plastik; şekillenebilir anlamlarında kullanılan kelimelerden türetilmiştir. Termoplastikler, endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan polimer tipidir. Isı ve basınç altında yumuşayan, akan haldeyken soğutulduğunda tekrar sertleşebilen yani katı hale gelen polimerlerdir (Malzeme Bilimi, 2020). Termoplastiklerin yapısında hem elastikiyet sağlayan amorf yapı, hem de rijitliği (bükülmezliği) ve mukavemeti sağlayan kristal yapı bulunmaktadır.

2.1.2.Elastomerler

Elastomerler piyasada gerilme ya da esneme özelliği ile tanınırlar. Yapısındaki çarpaz bağlardan dolayı, boyunun iki katı gerilen ve tekrar eski haline dönebilen, kauçuktan oluşan bir polimer çeşididir (Malzeme Bilimi, 2020). Yalıtım ve zor deforme olan elastomerler, otomotive sektöründe, spor sektöründe (tenis ayakkabılar, kaykaya tekerleri vb), elektronik (kablo plastikleri) gibi kullanım alanlarına sahiptir. Elastomer malzeme özelliklerine göre kimi kaynaklarda buradaki gibi termosetler ve termoplastikler ile beraber, kimi kaynaklarda da termoplastiklerin alt grubu olarak, kimi kaynaklarda ise farklı bir malzeme olarak metaller, seramikler ve polimerlerle beraber incelebilmektedir.

2.1.3.Termosetler

Çok kırılgan olarak bilinen polimer çeşididir. Genel anlamda ısıyla sertleşirler, yapılarında yer alan kovalent ve çarpaz bağlar nedenleri ile tekrar ısıtıldıklarında, sertleşmeden önce görülen yumuşama görülmez ve Tg sıcaklık üzerinden parçalanırlar. Bu olaya farklı bir bakışla incelersek de sıcaklık artıkça (Tg camsılaşma sıcaklığı değerinin altında) (Malzeme Bilimi, 2020) yapıları bozulmaz ve özelliklerini korurlar. Gözlük mercekleri, diş dolguları, cam ve karbon elyafarla rüzgâr yelleri ve havacılık sektörlerinde yaygın olarak kullanılırlar.

PTFE (Politetrafloroetilen), 1938 yıllarında yapılan çalışmalar neticesinde ilk defa ortaya çıkmış vaat ettiği düşük sürtünme katsayısı, olağanüstü korozyon direnci, kimyasal

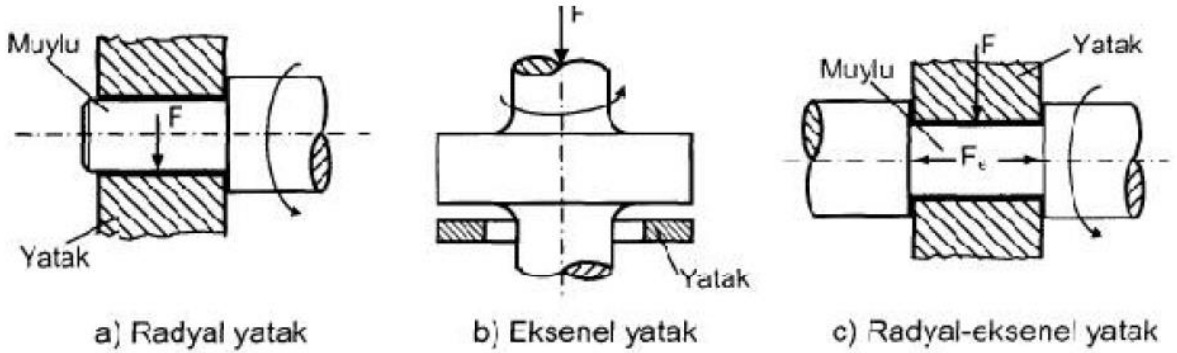
reaksiyonlara duyarsızlığı (kararlılık) ve geniş sıcaklık aralığında çalışma özellikleri sayesinde endüstride yaygın kullanım alanı bulmuştur. Fakat bu pozitif özelliklerin yanında sahip olduğu kötü mekanik özellikler (aşınma direnci vb), PTFE'nin kullanım alanını son derece kısıtlamıştır. Malzemeyi geliştirmek amaçlı yapılan çalışmalar neticesinde mekanik özelliklerini özellikle aşınma direncini farklı katkılar (cam elyaf, bronz, karbon vb.) kullanılarak artırılabilceği anlaşılmıştır. Bu bağlamda daha yüksek mekanik özelliklerin kazanılmasına yönelik çalışmalarda daha fazla miktar elyaf yüklenmesi de bu itibarla yapılan yöntemlerdendir. Fakat bu yöntem aşırı elyaf yüklemesinin sonucu ortaya çıkan bazı yan etkiler sebebi ile sınırlıdır. Bunlar arasında filamentlerin homojen olmayan dağılımı, polimer eriyikte istenmeyen viskozite artışları ve artan sürtünmelerin yol açması muhtemel üretim donanımı hasarları sayılabilir (Cevahir A. 2017). Bu itibarla yapılan PTFE geliştirme çalışmaları yukarıda belirtilen gerekçelerle sınırlanmaktadır. Çalışmada kullanılan malzemeler saf PTFE, % 15 Cam elyaf katkılı PTFE, % 25 Cam Elyaf katkılı PTFE, % 25 Karbon katkılı PTFE, % 35 Karbon katkılı PTFE, % 40 Bronz katkılı PTFE ve % 60 Bronz katkılı PTFE'ye ait başlıca mekanik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan malzemelerin başlıca mekanik özellikleri (Polikim,2022)

ÖZELLİK	BİRİM	METOT	PTFE	PTFE + C15	PTFE + C25	PTFE + K-25	PTFE + K-35	PTFE + B-40	PTFE + B-60
Özgül Ağırlık (23C)	gr/cm ³	D792	2.1-2.2	2.15-2.25	2.2-2.3	2.05-2.15	2.0-2.1	3.05-3.15	3.8-4.0
Sertlik	Shore D	D2240	54-60	60-64	64-68	65-68	66-70	64-68	65-70
Sürtünme Katsayısı(Statik)			0.04	0.05	0.07	0.11	0.13	0.06	0.07
Sürtünme Katsayısı(Dinamik)			0.06	0.06	0.09	0.12	0.16	0.12	0.13
Özgül Isı	Kcal/kg.°C		0.23-0.25						
Çekme Dayanımı	Kg/cm ²	D638	140-380	175-260	150-240	110-210	110-160	150-280	140-220
Basma Dayanımı (%1 Deformasyon), 23°C	Kg/cm ²	D695	45-50	60-65	65-70	85-110	95-120	100-105	105-110
Genleşme Katsayısı (x10-5) 25°C-100°C	°C-1	D696	12.5-16	12-14.5	7-11.5	9.5-10	7.5-8	8-9.5	7.5-9
Çalışma Sıcaklığı, Minimum	°C		-260	-260	-260	-260	-260	-260	-260
Çalışma Sıcaklığı, Maksimum	°C		+270	+270	+270	+270	+270	+270	+270
Yük Altında Deformasyon (140 kg/cm ² , 24 saat, 23°C Toplam Deformasyon	%	D621	14-16.8	11-15	9.5-13.5	2.9-4.8	2.3-4.3	3.8-4.9	3.7-4.8
Yük Altında Toplam Deformasyon 10 kg/cm ² yük, 150°C, 24 Saat	%		...	2.8-3	2.6-2.8	1.8-2	1.3-1.5	1.1-1.2	1-1.1

2.2 Radyal Kaymalı Yataklar

Yataklar, iki eleman arasındaki dönme şeklindeki izafi harekete müsaade eden, fakat kuvvet doğrultusundaki harekete engel olan elemanlardır (DEMET, 2013), bir başka tanım da dönen elemanları destelemek amacıyla kullanılan makine elemanlarıdır. İletilen kuvvet eğer mil yarıçapı yönündeysen radyal kaymalı yatak, ekseni yönündeysen aksel yatak olarak adlandırılır (Kaymaz, 2015).



Şekil 2.1. Yatak tipleri (Kaymaz, 2015)

Radyal kaymalı yatak unsurlarından olan yatağın çapı D ve diğer unsur olan milin çapı d olarak kısaltılırsa, radyal boşluk bir iki ölçünün farkıdır. İzafi yatak boşluğu ise radyal boşluğun mil çapına oranıdır.

$$C = D - d \quad 2.1$$

$$\varphi = \frac{C}{d} \quad 2.2$$

Deneyler öncesinde yatak boşluk hesapları aşağıdaki denklemler yardımıyla yapılmıştır (Babalık, 2006).

$$\Delta l = 6 \cdot s \cdot (\varepsilon f + \alpha \cdot \Delta t) \quad 2.3$$

$$l = l_{min} + \Delta l = 0,004 \cdot d + 6 \cdot s \cdot (\varepsilon f + \alpha \cdot \Delta t) \quad 2.4$$

Denklemdaki değerler;

l : yatak boşluğu

s : yatak kalınlığı

α : ısı genleşme katsayısı

εf : nemlilik katsayısı

t: çalışma sıcaklık aralığı

Yatakların düzgün şekilde çalışmasını sağlayan faktörler oldukça çeşitlidir. Bunlar: Temelde yataklara etkiyen kuvvet, mil ve yatak malzeme seçimi, malzemelerin uygun yüzey kalitesinde olması, çalışma sıcaklığı ve yağlama durumu olarak sıralanabilir. Yatakların hasar görmesine neden olan ve hatta kullanılmaz hale getiren etkenler ise temelde; yataklarda oluşan kirler, montajdan kaynaklanan kusurlar, yataklarda oluşan yükün hesaplanan değerden farklı (büyük) olması, yağlama kusurları ve malzeme korozyonları olarak belirtilebilir. Belirtilen bu temel özellikler bakımından bir yatak malzemesinden genel anlamıyla beklentiler şöyle sıralanabilir (Can, 2005):

- Yağlamanın iyi yapıldığı ve yükün bütünüyle sıvı sürtünme ile karşılandığı durumlarda yatak malzemesinin gerekli mukavemet ve rijitlikte olması beklenmektedir. Fakat uygulamada böyle ideal koşulları yakalamak mümkün olmadığından yatak malzemesinden belli özellikleri karşılaması beklenir.
- Çalışma esnasında oluşabilecek ortalama basınç değerinin yükselmesine karşı, yatağın basma mukavemetinin yüksek olmalıdır.
- Özellikle uçak ve otomotiv sanayiindeki kullanımlarda gerekli olan tekrarlı yüklerle çalışabilmek için yorulma mukavemetinin yüksek olması gereklidir.
- Yatak-Mil arasında uyumluluk.
- Yatak- Mil arasındaki kirlilik yatakları bozulmasına ve hasar görmesine neden olur. Oluşacak minik partiküllerin yatakların yapısını ve fonksiyonunu bozmadan, yatağın içine girebilmesi gereklidir.
- Yatağın ömrünü etkileyen en önemli hususlardan biri olan yağlamanın farklı çalışma şartlarında ve yatakların milin yüzey düzenli yüzeyi ile düzenli bir şekilde gerçekleşebilmesi. Kısaca yatak-mil-yağlayıcı uyumu.
- Yüksek ısı iletkenlik.
- Düşük ısı genleşme
- Düşük sürtünme katsayısı
- Aşınma ve korozyona dayanım
- Kolay işlenebilme
- Düşük maliyet

Yukarıda belirtilen farklı özelliklerin hepsini karşılamak pratikte imkânsız olsa da olabildiğince çok özelliği karşılamak amacıyla yatak malzemesi alanında birçok malzeme

alışması yapılmaktadır. Kaymalı yataklarda ilk zamanlarda tahta, deri demir vb. gibi malzemeler kullanılmaktayken, zamanla kullanım alanlarına bağlı olarak farklı tipte alaşımlar, örneğin bakır alaşımları, bronzlar, beyaz metal grupları yani kalay alaşımları ve kadmiyum alaşımları kullanılmıştır. Alaşımlarla beraber termoplastik malzemelerin ve polimer esaslı malzemelerin de bu özellikleri karşılama durumu araştırılmış, bu konuda literatürde birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır, halen de yapılmaktadır.

2.3 Sürtünme

Sürtünme, temas halinde iki katı maddenin (yüzeyin), birbiri üzerinden kaymasını önleyen ya da genel tabirle temasta olan bir yüzeyin diğer yüzeyin hareketine gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Bu genel tabir aslında inanılmaz bir çalışma alanı olarak pratikte yer almaktadır. Sürtünme hareketini detaylı olarak bilmeden, detaylarına hakim olunmadan hiçbir hareketli mekanizmanın kontrolü tam olarak yapılamaz. Bir hareketli mekanizmada sürtünme genelde istenmeyen bir durumdur zira bu durum hesaplanmazsa mekanizmanın hareketini durdurmaya giden sonuçlar doğurur. Columb bu durumu 18. yy da yaptığı çalışmada kabaca formüle etmiştir.

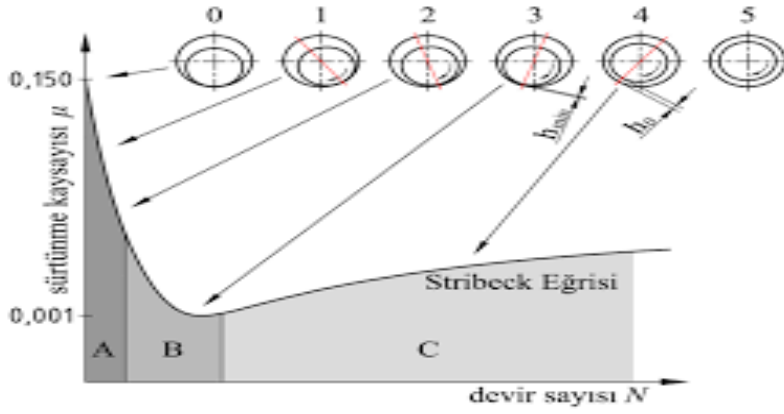
$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad 2.5$$

F_S : Sürtünme kuvveti, F_N : temas eden yüzeyler arasındaki dik kuvvet, μ : Sürtünme katsayısı

Sürtünme iki temel başlığa ayrılabilir. Bunlar statik sürtünme ve dinamik sürtünmedir. Statik sürtünmede temas eden iki yüzey hareketsizdir ve konumları değişmez. Dinamik sürtünmede temas eden yüzeylerin hareketi vardır. İşte bu harekete göre 3 farklı sürtünmeden bahsedilir. Bunlar kayma, yuvarlanma ve kayma-yuvarlanma sürtünmesidir.

Sürtünmenin azaltılması, temas eden yüzeylerin birbirlerine karşı koyduğu direnci azaltmak ya da başka bir deyişle mekanizmanın hareketin daha kararlı, yapılması için temas eden yüzeylerin arasına yağlayıcı koymak, bunların ölçümleri ve etkilerini,

Stribeck kaymalı yataklarla bir çalışma ile yapmıştır. Bütün durumları içeren, devir sayısı ve sürtünme durumlarına göre bir diyagram oluşturmuştur. Buna göre milin hareketsiz olduğu durumda ($n=0$) kuru sürtünme, mili hareketinin başlangıcında yüzeyler arasında kuru sürtünme ve devir sayısı arttıkça yatak zarfı ve mil arasına giren yağ ile sınır sürtünme oluşur. Son olarak devir arttıkça eğrinin en alt noktasına ulaşılır, bu noktadan itibaren yatak zarfına dolan yağ bir film tabakası oluşturur ve sıvı sürtünme meydana gelmeye başlar.



Şekil 2.2. Stribeck eğrisi

2.4 Aşınma

Sürtünmenin neticesinde temas eden yüzeylerin mekanik etkiler sonucu, malzemenin ana parçalardan kopmasına aşınma adı verilir. Aşınma geri döndürülemeyen bir olaydır. Aşınma iki temel başlık altında incelenir.; ani gerçekleşen ve zamanla meydana gelen aşınmalar. Çoğu durumda aşınma, temas eden yüzeylerin uç kısımlarındaki etkileşim sonucu oluşur (Artun, 2022). Aşınmalar kendi aralarında 5'e ayrılırlar.

2.4.1 Adhesiv aşınma

Temas eden yüzeylerin birbirlerine dokundukları noktalar küçüktür. Bu alanlara etkiyen yüksek basınç buralarda maddelerin, kaynaklı malzemelerde olduğu gibi birbirlerine yapışması sonucu doğurur. Bu birleşen parçalarda hareketin devamında kopası sonucunda adhezyon aşınması oluşur. Adhezyon aşınmaları sonucunda daha önce plastik

deformasyonla birbirlerine bağlanan parçaları, temas eden yüzeyin birinde çıkıntı diğerinde de çöküntü olarak kendini göstermektedir.

2.4.2 Abrasif aşınma

Bu aşınma türü temas eden yüzeylerin arasına giren kalıntı ya da başka sert parçaların, yüzeylerde oluşturduğu kazınma sonucu ortaya çıkan aşınma türüdür. Yaygın olarak karşılaşılan bu aşınma türünde yüzeylerin birbirleri ile uyumu aşınmayı azaltan önlemlerden biridir. Diğerleri ise; yüzeyler sertleştirilmelidir, yüzeyler sürekli olarak temizlenmeli ve dışardan yatağa girebilecek yabancı maddeleri önleyici bir sızdırmazlık ile bu tür aşınmalar önlenabilmektedir.

2.4.3 Yorulma (pitting) aşınması

Genelde yaptıkları sürekli temas hareket nedeniyle; dişli çark, rulmanlı yatak, kam mekanizmalarında görülür. Buna göre; çok küçük değme noktalarında değişken yük etkisi altında zamanla pul şeklinde malzeme parçacıkları yüzeyden ayrılarak, geriye çukurcuklar bırakarak yorulma aşınmasını (pitting) oluştururlar (Temiz, 1999).

2.4.4 Korozyon aşınma

Temas eden yüzeyler çalışma ortamında yer alan yağ vb malzemelerle kimyasal reaksiyona girerek oluşturdukları sert ince tabakanın, değişken yük altında kırılarak, yüzeylere zarar vermesini tanımlayan aşınma türüdür. Çalışma devam ettikçe meydana gelmeye devam eder. Olmasını engellemek için birtakım yüzeylerin kaplanması, temas yüzeylerine ve çalışma sıcaklığına uygun yağlayıcılar, ortamda olan ve oluşan kimyasal reaksiyona girerek zarar veren sıvı ve gazların sağlıklı bir şekilde uzaklaştırmayı kapsayan önlemler alınması gerekmektedir (Demet, 2013)

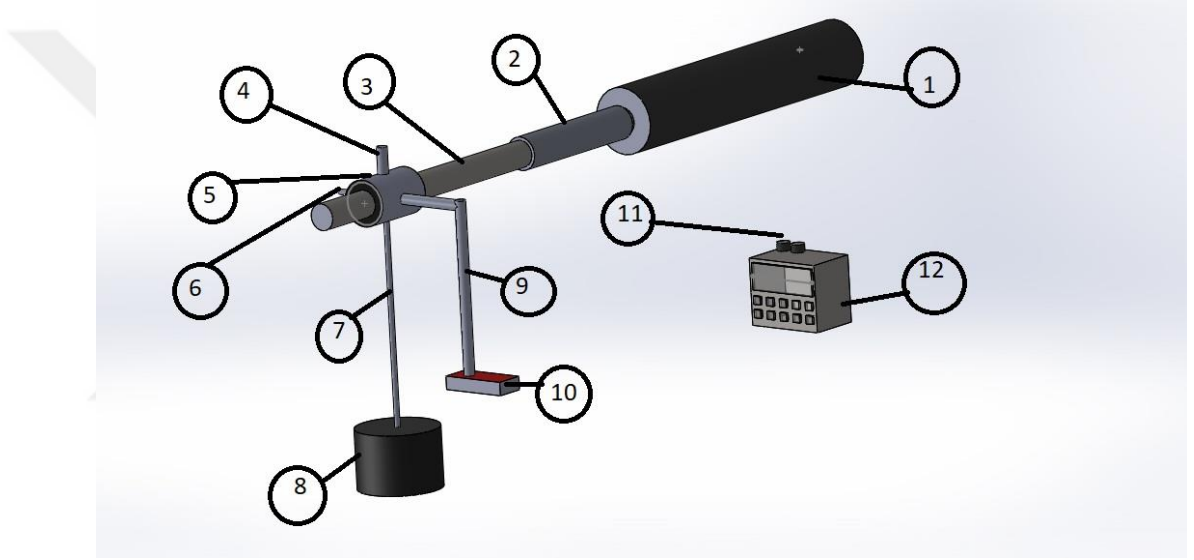
2.4.5 Erozyon aşınması

Erozyon aşınması, malzeme yüzeyinin sıvı veya gaz ortamındaki hızının yüksek olduğu durumlarda, sert ve küçük partiküllerin sürekli olarak yüzeye çarparak, parça koparması şeklinde meydana gelir. Etkileyen faktörler; aşındırıcı parçaların şekli, ebatları, hızı, sertliği ve sıcaklık önemlidir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

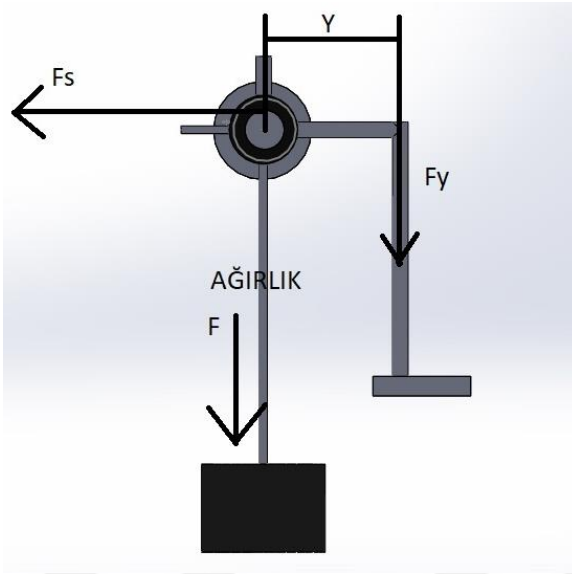
Yapılan bu çalışmada belli ölçülerde üretimi gerçekleştirilen numunelerin 3 farklı yük ve 3 farklı hızda, 5000 m kayma mesafesinde, deney düzeneğinde, sıcaklık ve sürtünme katsayılarının değişimlerinin analizi ile deney öncesi ve sonrası numunelerin aşınma miktarlarının, yüzey pürüzlülüklerini ve aşınan yüzeylerin yapısının detaylı olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği şematik resmi Şekil 3.1’de görülmektedir.



1. Motor 2. Kaplin 3. Mil (C45) 4. Sıcaklık ölçer 5. Yatak yuvası 6. Dengeleyici parça (kontra ağırlık) 7. Yük askılığı 8. Yük 9. Loadcell bağlantısı 10. Loadcell 11. Motor sürücüsü elektrik bağlantıları 12. Motor sürücüsü

Şekil 3.1. Deney düzeneği şematik resmi

Şekil 3.2’de şematik resimde görüldüğü üzere kaymalı yatak deney düzeneğinde sürtünme katsayılarının ölçülebilmesi için aşağıda gösterilen denklemler yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Deney düzeneği ölçüm ünitesi detay ve şematik resmi

Çalışma sırasında dönen milin etkisiyle test yatağı ve bu yatağın montajının yapıldığı yatak yuvasını, mil ile yatak arasındaki test yatağında oluşan sürtünme momenti döndürmeye çalışacaktır. Bu döndürme sırasında test yatağını ve yatak yuvasının bağlı olduğu yük hücresi, bir F_y kuvveti ile eğmeye çalışacaktır. Yük hücresinin yatak merkezine olan mesafesi Y , yatak ile mil arasında meydana gelen sürtünme kuvveti F_s ve mil yarıçapı r ise,

$$F_y \cdot Y = F_s \cdot r \quad 3.1$$

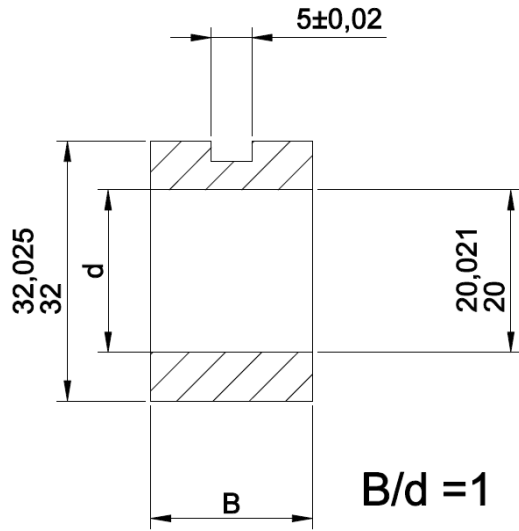
yazılabilir. Sürtünme katsayısı sürtünme kuvvetinin normal kuvvete yani yatak yüküne oranı olduğundan sürtünme katsayısı;

$$\mu = F_s / F \quad 3.2$$

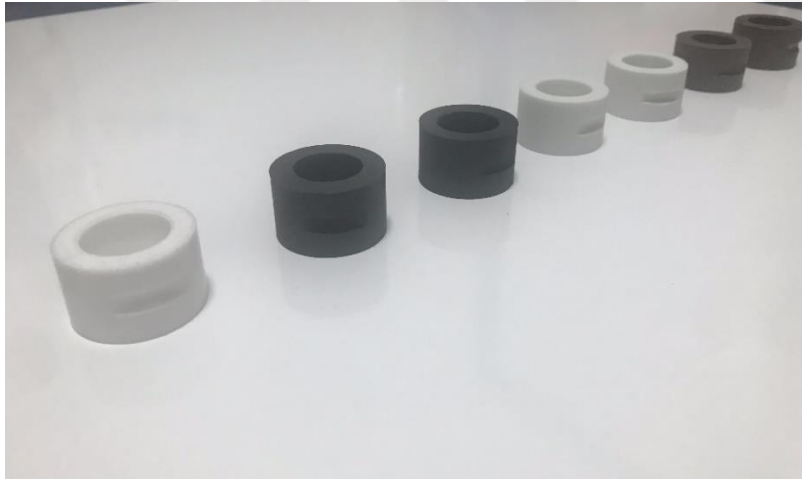
şeklinde yazılabilir. Yük hücresinde anlık alınacak sinyaller önce F_y kuvvetine çevrilip daha sonra (3,1 ve 3,2 yardımıyla) yatakta oluşacak sürtünme kuvveti ve katsayısı hesaplanıp, bilgisayar yardımıyla kayıt edilebilmektedir.

Deneyde saf PTFE, PTFE+15 Cam elyaf, PTFE+25 Cam Elyaf, PTFE+25 Karbon, PTFE+35 Karbon, PTFE+40 Bronz, PTFE+60 Bronz olmak üzere 7 farklı malzemeden

ölçüleri Şekil.3.3'te gösterilen kaymalı yatak numuneleri MEGA POLİMER firmasından temin edilmiştir.



Şekil 3.3. Kaymalı yatak ölçüleri



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan numuneler (PTFE, PTFE+% 25 Karbon, PTFE+% 35 Karbon, PTFE+% 15 Cam Elyaf, PTFE+% 25 Cam Elyaf, PTFE+% 40 Bronz, PTFE+% 60 Bronz.)

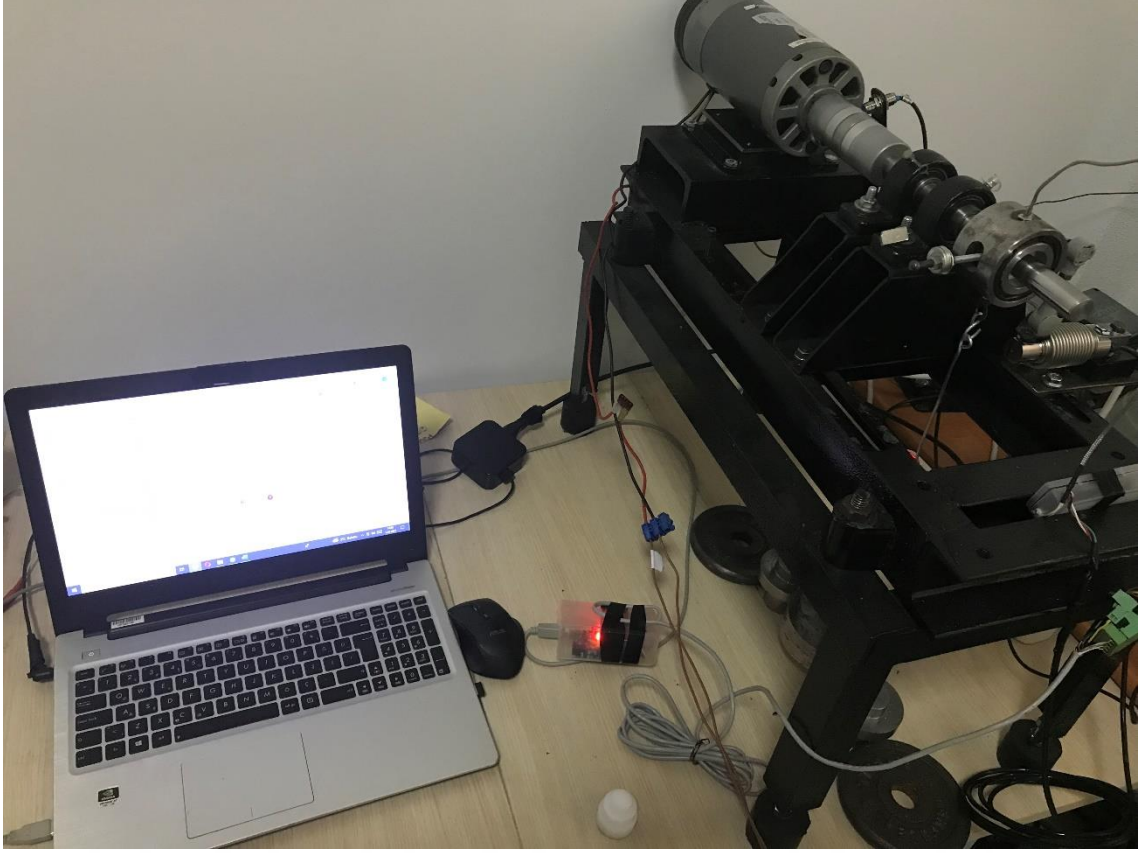
Deney öncesi deneyde kullanılacak numuneler için yatak boşluğu Denklem 2.3 ve 2.4' e göre hesabı yapılmıştır. Buna göre hesaplanan değerler Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Deney konusu malzemelerin hesaplanan yatak boşluk değerleri

Malzeme	Yatak Boşluğu (mm)
Saf PTFE	0,39
PTFE + %15 Cam elyaf	0,39
PTFE + % 25 Cam elyaf	0,27
PTFE + % 25 Karbon	0,33
PTFE + %35 Karbon	0,29
PTFE + % 40 Bronz	0,30
PTFE + % 60 Bronz	0,20

Numuneleri 25 N, 50 N ve 75 N yük altında 0.3, 0.6 ve 0.9 m/s hızlarda test edilmek Şekil 3.5'te verilen deney düzeneğinde, aşındırıcı muylu olarak SAE 1050 çelik kullanılmıştır.

3.1. Deney Düzeneğini Oluşturan Malzemeler



Şekil 3.5. Deney düzeneği

3.1.1. Arduino

Kaymalı yatak deney düzeneğinde, kontrol ettiğimiz sıcaklık, devir sayısı ve loadcele etkiyen dikey kuvvetin verilerini Pc ye Arduino Uno kart ve sisteme uygun yazılım vasıtasıyla gerçekleştirildi. Yapılan yazılımla yukarıdaki her değişken deney esnasında her saniye kaydedildi ve bu veri işlenerek sunulacak hale getirildi.



Şekil 3.6. Arduino uno kart

3.1.2. Devir ölçer Sensör

Sitemin devrini ölçmek için bir adet devir sensörü kullanılmıştır. Sensörü; düzenek gövdesine bir kaide ile konumlandırıp, veri alabilmek için de kaplin üzerinde yer alan tespit vidasının üzerine yerleştirilen bir mıknatısa vasıtasıyla devreye alınmıştır.



Şekil 3.7. Devir sensörü

Devir sensörüne ait bilgiler aşağıda tabloda 3.1 verilmiştir.

Tablo 3.2. Devir sensörü teknik bilgiler

Model	NJK-5002CJK-5002C
Giriş Voltajı	6-36 volt (d.c)
Çıkış Akımı	150 Ma
Çıkış Türü	normal 3 kablo
Algılama Aralığı	0-10 mm (+, - 10 %)
Algılama Malzemesi	demir, çelik alaşımı
Çalışma Frekansı	300 kHz
Kablo Uzunluğu	1100mm
Sensör çapı	12mmx40mm

3.1.3. Termokupl

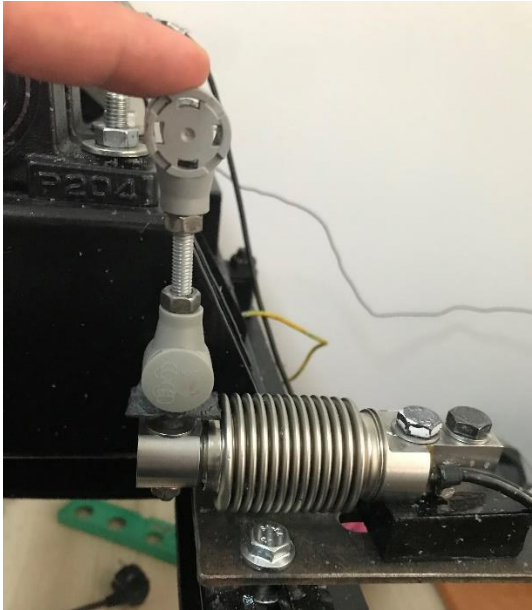
Numunelerin deney sırasında sıcaklıklarını ölçmek için numune yatak kısmına bir adet K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Termokupl yuva kısmına açılan deliğe uygun olması için M6 ağızlı olarak seçilmiştir.



Şekil 3.8. Sıcaklık sensörü

3.1.4. Loadcell (yük hücresi)

Deney esnasında meydana gelen yatağa dikey kuvveti (F_y), ölçmeye yarayan cihazdır. Cihaz deney düzeneği gövdesine bağlantısı yuva konumuna aynı hizada konumlandırıldı. Yuva ile bağlantısı için de mafsal kullanılmıştır. Yapısı gereği analog sinyaller yollayan loadcell, devreye bir ADC (analog dijital dönüştürücü) ile bağlanmıştır. Burada kullanılan ADC HX711 modülü ile yapılmıştır. İşleyiş, loadcell'den gelen gerilim filtrelenir, yükseltilir, sinyalleri burada sayısal verilere dönüştürülür. Arduino kartta yönlendirilen bu değerler gr olarak kodlandırılmıştır. Bu değerler de pc takip ekranında gram olarak okunmaktadır.



Şekil 3.9. Loadcell

Deney düzeneğinde kullanılan loadcelle ait teknik bilgiler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Loadcell'e ait teknik bilgiler

Model	BM11-C3
Çıkış Hassasiyeti (=Fs)	$2,0 \pm 0,2 \text{ mV/V}$
Maksimum kapasite (Emaks)	5 kg
Maks. Yük hücresi aralık sayısı	3000 nLC
Min. LC doğrulama aralığı oranı ($Y=Emaks/V_{min}$)	10000

3.1.5. DC Motor

Sistemin çalışması ve verileri elektromanyetik bozuculardan arındırmak amacıyla 180V 3A kapasitede DC (doğru akım) motor kullanılmıştır.



Şekil 3.10. DC motor

3.1.6. DC Motor Sürücüsü

Motoru deney şartlarına uygun hızlarda sürmek için de 4000W gücünde Dimmer + Köprülü diyotla (35 A 1000V) ile çalışmalar yapılmış fakat istenen sonuçlar tam olarak elde edilemediği için Smart Drive EKS DC motor sürücüsü ile testler gerçekleştirilmiştir. DC motor sürücü (DC motor hız kontrol cihazı) faz açısını kontrol ederek hız kontrolü sağlayan Propotional-integrative (Oransal integral) (PI) filtreli cihazdır. Tasarımında RISC tabanlı mikroişlemci ile doğru akım motorlarını şebekenin sinüs dalga şeklini 14-220 derece arasında kırparak hız ve tork kontrolü sağlamaktadır. Şekil 3.11'de DC motor sürücüsü görülmektedir.



Şekil 3.11. DC motor sürücüsü

DC motor sürücüsüne ait teknik bilgiler Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. DC Motor Kontrol Cihazı teknik özellikleri

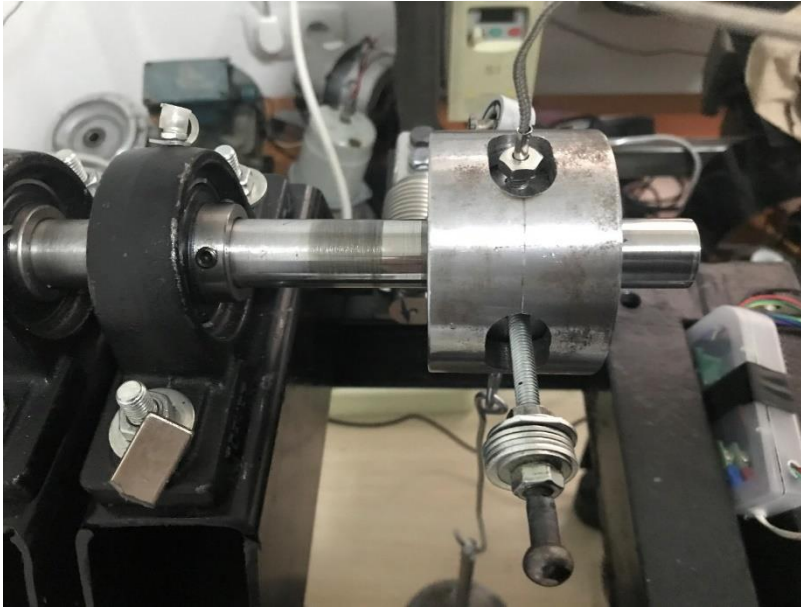
Model	Tdmc1p
Motor Gücü	1,8 Kw
Sınırlı Akım	10 Amp
Sınırlı Güç	2,0 Kva
Kontrol Yöntemi	Faz Açısı Kontrolü
Tetikleme Alt Sınırı	14° (Şebekenin % 7,5’i)
Tetikleme Üst Sınırı	220° (Şebekenin % 66’sı)
Hız Ayar Aralığı	2-200 Volt Aralığında

Deney şartlarında yer alan 3 farklı hız, kaplin kısmına bağlanan mıknatıs ile sinyal alan dijital takometre yardımıyla, hangi hıza gelen voltaj değeri tespit edilmiş ve deney süresince Arduino kart ve yazılımı vasıtasıyla PC ekranından sürtünme kuvveti (Yük) ve sıcaklık değerleri ile birlikte her saniye kaydedilmiştir. Buna göre sürücünün hız ayar bölümünde 0,9 m/s hız için 32 V; 0,6 m/s hız için 23 V; 0,3 m/s hız için 13 V değerleri tespit edilmiştir. Şekil 3.12’de deney anında PC ekranında görünen değerler verilmiştir.

DENEY ZAMAN KAYIT SÜTUNU	D.KUV.	DEVİR	SICAKLIK
15:12:01.350 ->	82.51	900	22.75
15:12:02.325 ->	88.60	900	22.50
15:12:03.347 ->	94.69	900	22.25
15:12:04.321 ->	100.74	900	22.50
15:12:05.346 ->	100.74	900	22.75
15:12:06.364 ->	100.36	900	22.75
15:12:07.341 ->	100.23	900	23.00
15:12:08.358 ->	100.10	900	23.00
15:12:09.331 ->	99.95	900	23.00
15:12:10.348 ->	99.82	900	22.75
15:12:11.321 ->	99.61	900	23.00
15:12:12.340 ->	99.24	900	22.75
15:12:13.358 ->	98.83	900	22.75
15:12:14.330 ->	98.46	900	22.75
15:12:15.351 ->	98.06	900	22.25

Şekil 3.12. PC takip ekranı

Deneylere başlarken ve sürdürürken, deney verilerin netliği için bazı prosedürler takip edilmiş ve bir takım pratik uygulamalar yapılmıştır. Deneylerde milin üzerinde numunelerden kalma sıvamalar olduğu tespit edilmiştir. Sıvıanan parçaları milden uzaklaştırmak için kuru yumuşak bir bez ve ilave olarak da 3000 mesh'lik su zımparası kontrollü şekilde uygulanmıştır.



Şekil 3.13. Milde oluşan sıvama örneği (PTFE + % 25 Cam Elyaf 50 N 0,6 m/s)

Deneylerin başında milin temizliği sürekli kontrol edilmiş, yukarıda belirtilen yöntemlerle temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler deneye başlamadan önce

ve sonra, Şekil 3.14'te gösterilen Gıda Mühendisliğinde bulunan hassas terazi ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14. Hassas terazi

Numuneler deney öncesinde ve sonrasında etil alkol emdirilmiş fiber bez ile temizlenip hava sızdırmaz kilitli poşetlerde muhafaza edilmiştir. Numuneler test düzeneğine yerleştirildikten sonra, mile alışana kadar yüksüz halde çalıştırılmıştır. Deney düzeneğinde farklı hızlara geçmek için DC motor sürücüsüne ait ayar ekranlarında voltaj değerleri değiştirilmiştir. Loadcell'i gövdeye bağlayan mafsallı aparatın ağırlığını dengeleyecek, miktarda zıt istikametinde ağırlık, monte edilerek deney düzeneğine eklenmiştir.

Deney öncesi ve sonrası numunelerin yüzey pürüzlülük değeri Şekil 3.15'te gösterilen Mitech marka MR200 modeli yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür.



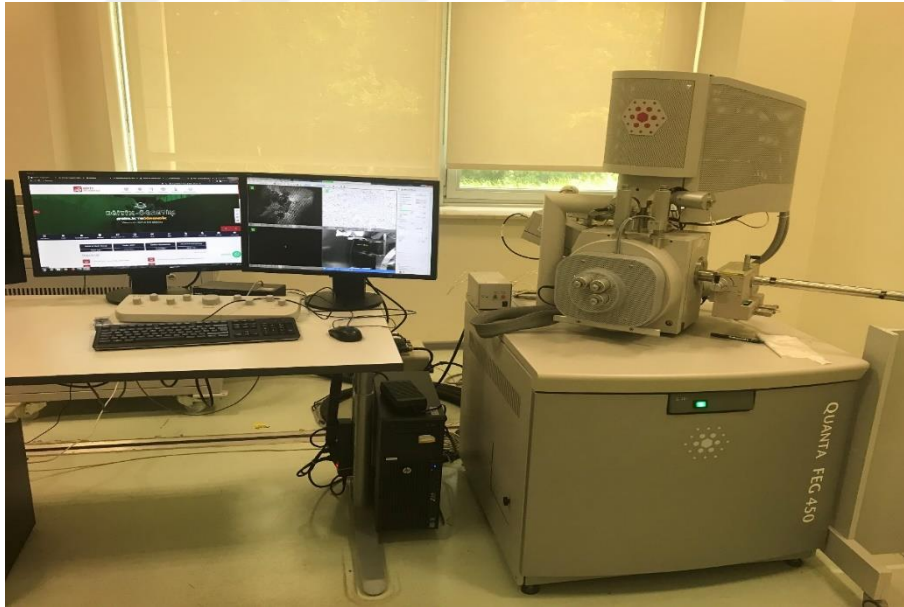
Şekil 3.15. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Numunelerin yüzey pürüzlülüğünü ölçen cihaza ait teknik bilgiler Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı teknik özellikleri

Model	Mitech Mr200
Ölçme Aralığı	Z Eksen (Dikey) 320µm X Eksen (Yatay) 17,5mm
Ebatlar	119 X 47 X 65
Ağırlık	2,4 Kg
Keskinlik	$\leq \pm 10 \%$
Örnekleme Uzunluğu (Ir)	0,25/0,8/2,5mm
Değerlendirme Uzunluğu (In)	$L_n = L_r \times N, N=1 \sim 5$

Deney sonrası numunelerde meydana gelen aşınma analizleri için gerekli mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.16'daki taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilmiştir.



Şekil 3.16. SEM mikroskobu (HÜBTUAM)

SEM görüntülemeleri için kullanılan cihazın özellikleri Tablo 3.6'da verilmiş olup, cihaz ve ilgili görüntülemeler Çorum Hitit Üniversitesine bağlı Bilimsel Teknik Uygulama ve

Araştırma Merkezinde (HÜBTUAM) yapılmıştır. Numuneler, SEM cihazına girmeden, aşınan yüzey yukarda olacak şekilde kesilmiş ve aşınma analizi yapılmıştır.

Tablo 3.6. SEM cihazının teknik özellikleri

Model	Quanta 450 SEM
Prob Akımı	≤ 200 nA
Büyültme	6 - 1000000 x
Ekran Çözünürlük	6144 x 4096 Piksel Görüntüleme
Objektif-Lens	45° Objektif Lens Yapısı
Voltaj Aralığı	200V-30kV
Özellikler	EDS, WDS, EBSD, FEG S/TEM detektörü ile BF (parlak yüzey) ve DF (karanlık yüzey) görüntülemeleri

SEM görüntüleri alınırken parlamayan görüntüler elde etmek için numunelerin görüntülenmelerinde net sonuçlar elde etmek için numunelerin görüntülenecek yüzeylerine Şekil 3.17'deki cihazla altın kaplama yapılmıştır.



Şekil 3.17. Kaplama cihazı (HÜBTUAM)

Numunelere kaplama yapan cihazın teknik özellikleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

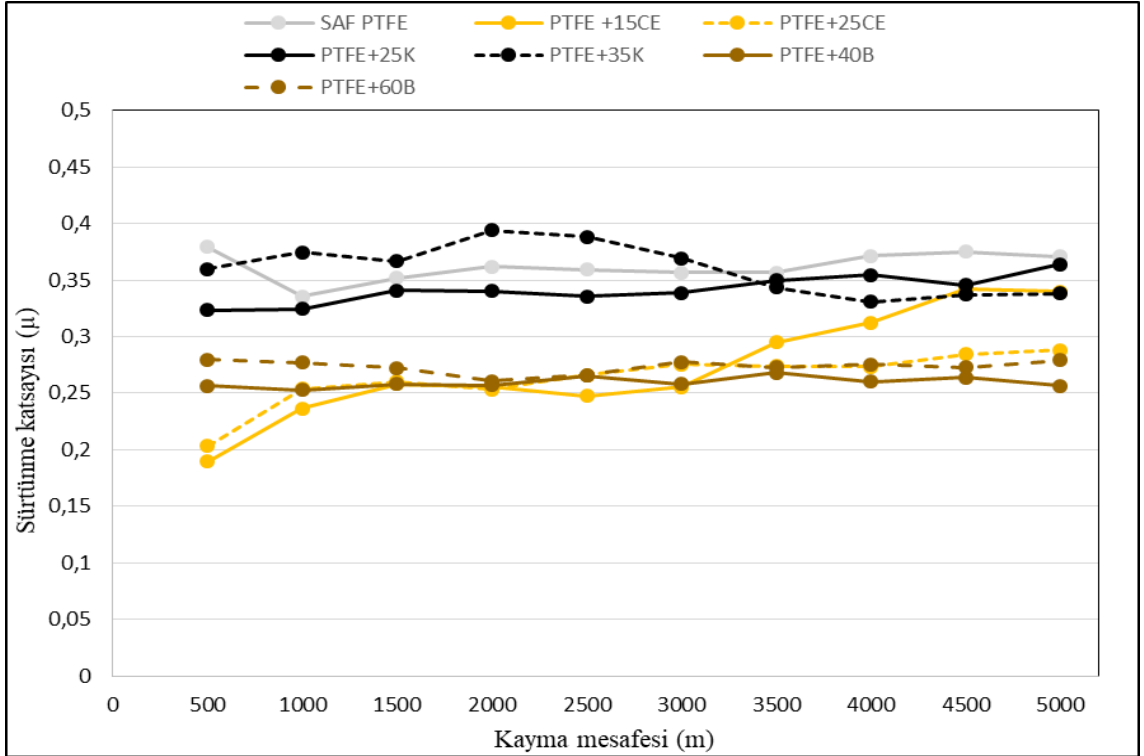
Tablo 3.7. Yüzey kaplama cihazı teknik özellikleri

Model	Quorum Q150R ES
Vakum Haznesi Çapı	165mm
Akım Aralığı	1-80mA
Spreyleme Süre Aralığı	1-3600 sn
Numune Büyüklüğü (Maks.)	30mm yükseklik, 140mm çap

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Sürtünme Katsayısı Sonuçları

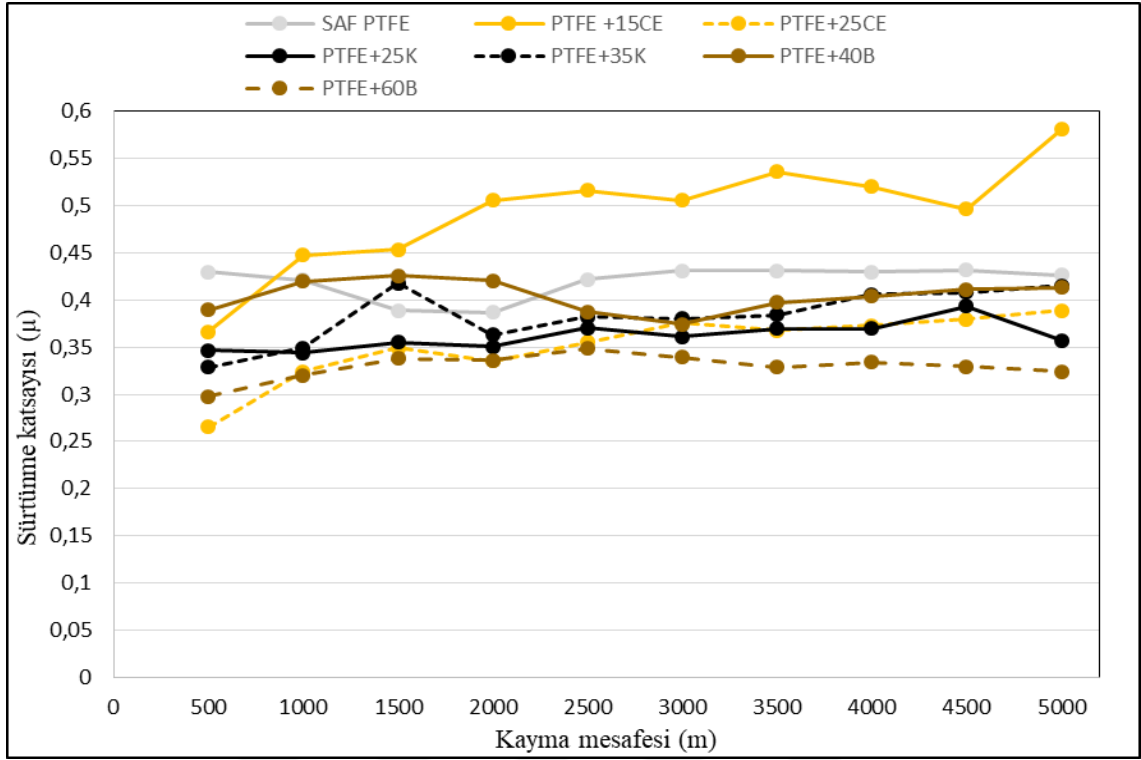
Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 25 N yük ile 0,3 m/s hız, şartlarında gerçekleştirilen deneylerin, sürtünme katsayısı ile kayma mesafesi arasındaki değişimi gösteren grafik Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. 25 N yük ile 0,3 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

25 N 0,3 m/s şartlarında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı değerinin numunelerde birbirine çok yakın değerlerde gözlenmiştir. Sürtünme katsayısı değeri en düşük PTFE + %40 bronzlu numunede ortalama 0,259 olarak tespit edilmiştir. Bu değer saf PTFE’ye oranla %28 oranında düşük olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde en fazla değişimin PTFE + %15 cam elyafı numunede %79 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 25 N yük ile 0,6 m/s hızda yapılan sürtünme katsayısının gösteren deneylerin sonuçlarına ait grafik şekil 4.2’de verilmiştir.



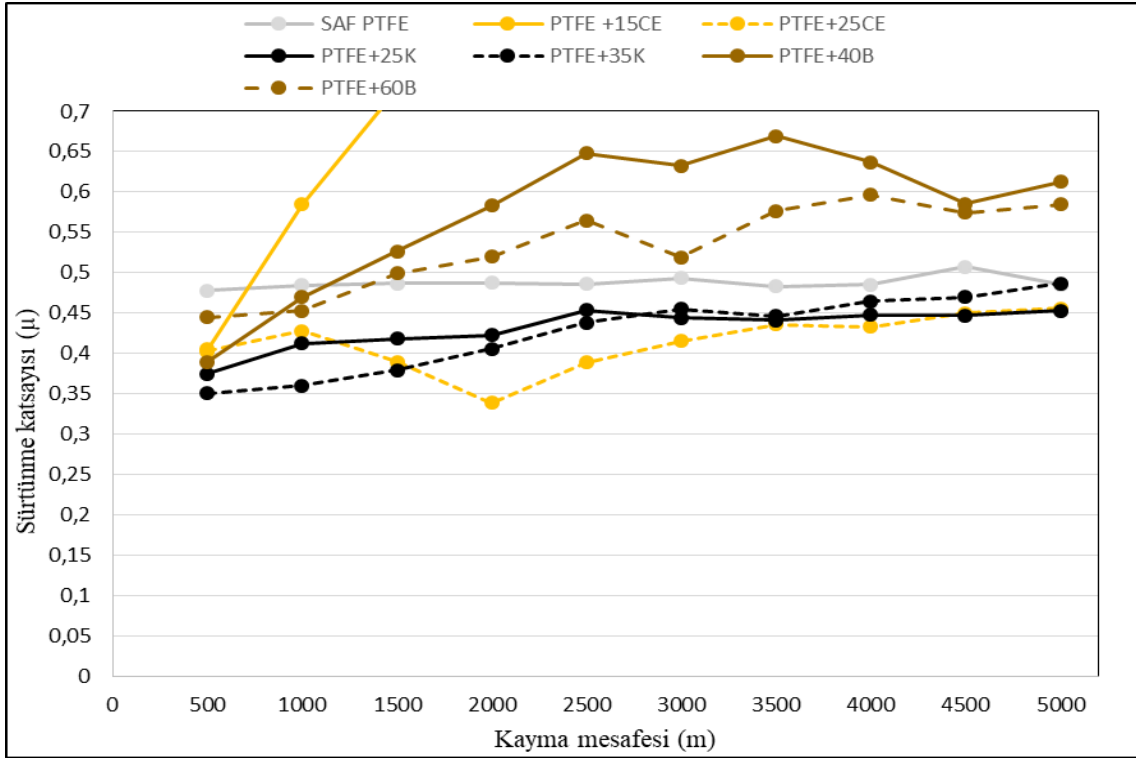
Şekil 4.2. 25 N yük ile 0,6 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

25 N 0,6 m/s şartlarında sürtünme katsayısı değeri, PTFE + %60 bronzlu numunede ortalama 0,33 olarak en düşük tespit edilmiştir. Bu değer saf PTFE'ye oranla %21 oranında düşük olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde en fazla değişimin PTFE + %15 cam elyafı numunede %58 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 25 N yük ile 0,9 m/s hızda yapılan sürtünme katsayısının gösteren deneylerin sonuçlarına ait grafik şekil 4.3'te verilmiştir. 25 N 0,9 m/s hız şartlarında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı değeri en düşük PTFE + %25 cam elyafı numunede ortalama 0,414 olarak tespit edilmiştir. Bu değer saf PTFE'ye oranla %15 düşük olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde en fazla değişimin PTFE + %40 bronzlu numunede %57 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

PTFE + %15 Cam elyaf malzemeden üretilen kaymalı yatak numunesinin 25 N yük altında 0,9 m/s hızda yaklaşık olarak 1600 m kayma mesafesinde deney düzeneğinde yer alan motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettirememiştir. Bu mesafede düzenekte mil ve numune arasında sürtünmenin aşırı artmasından dolayı meydana gelen sıkışmadan

kaynaklı hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir, öte yandan dönme hareketinin oluşan sürtünme direncini yenebilmesi, dönme hareketinin devamı için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlar altında motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak bitirilmiştir.

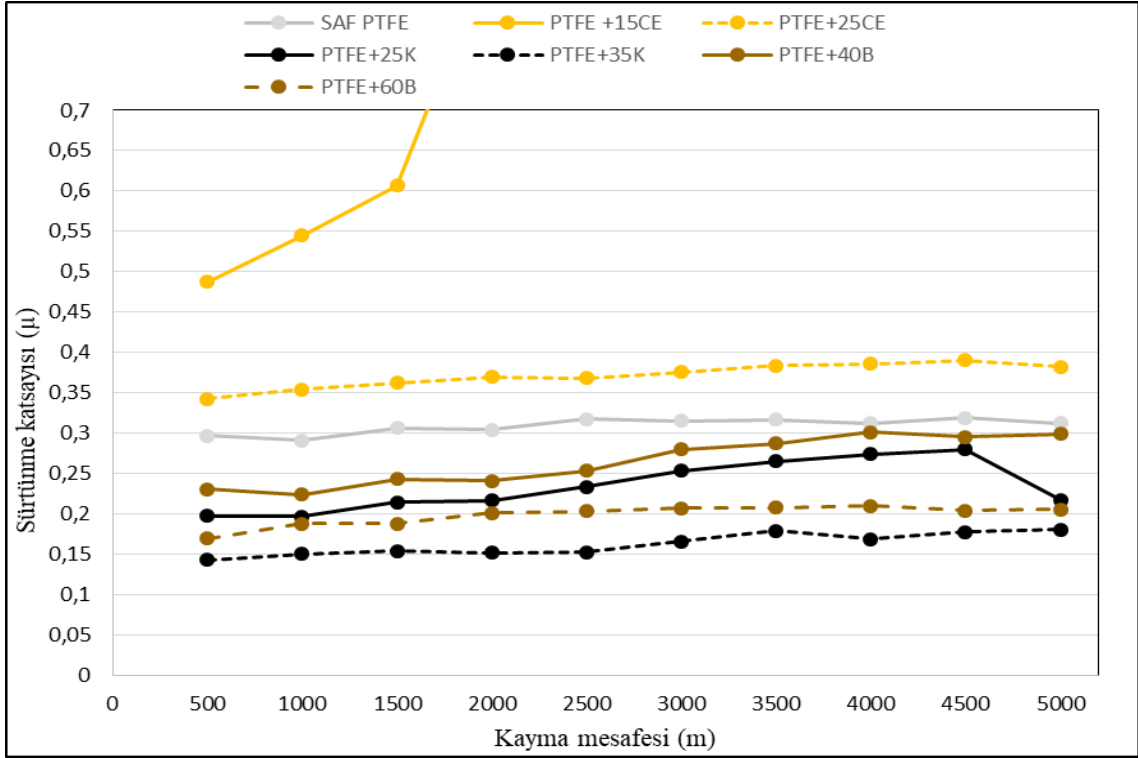


Şekil 4.3. 25 N yük ile 0,9 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 50 N yük ile 0,3 m/s hızda yapılan sürtünme katsayısının gösteren deneylerin sonuçlarına ait grafik şekil 4.4'te verilmiştir. 50 N 0,3 m/s hız şartlarında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı değerinin en düşük PTFE + %25 karbonlu numunede ortalama 0,162 olarak tespit edilmiştir. Bu değer saf PTFE'ye oranla %47 oranında düşük olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde en fazla değişimin, PTFE + % 40 bronzlu numunede %29 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

PTFE + %15 Cam elyaf malzeme 50 N 0,3 m/s hızda numune yaklaşık olarak 1900-2000 m kayma mesafesinde deney düzeneğinde motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettirememiştir. Bu mesafede düzenekte mil ve numune arasında meydana gelen sürtünmenin artmasından dolayı meydana gelen sıkışmadan kaynaklı hız düşmesi

başlamış ve giderek devam etmiştir, öte yandan dönme hareketinin oluşan sürtünme direncini yenebilmesi, dönme hareketinin devamı için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlar altında motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

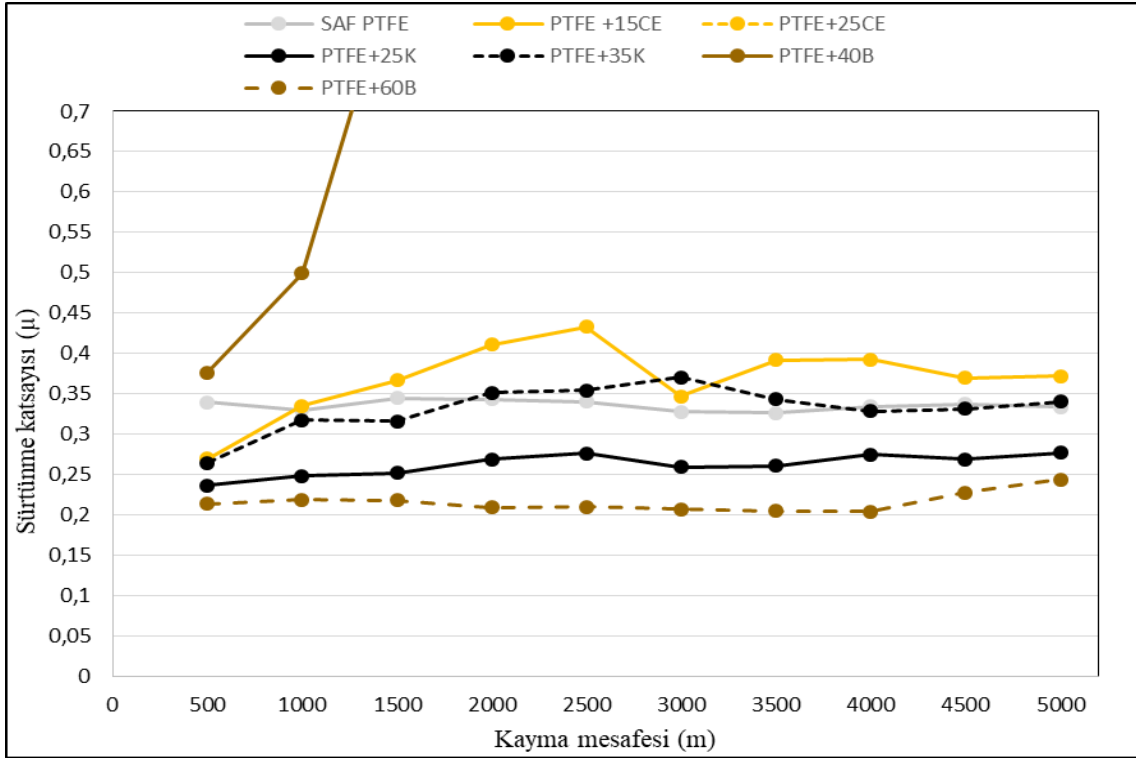


Şekil 4.4. 50 N yük ile 0,3 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 50 N yük ile 0,6 m/s hızda yapılan sürtünme katsayısının gösteren deneylerin sonuçlarına ait grafik şekil 4.5'te verilmiştir. 50 N 0,6 m/s hız şartlarında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı değerinin en düşük PTFE + %60 bronzlu numunede ortalama 0,215 olarak tespit edilmiştir. Bu değer saf PTFE'ye oranla % 36 oranında düşük olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde, en fazla değişimin PTFE + %15 cam elyafı numunede %38 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

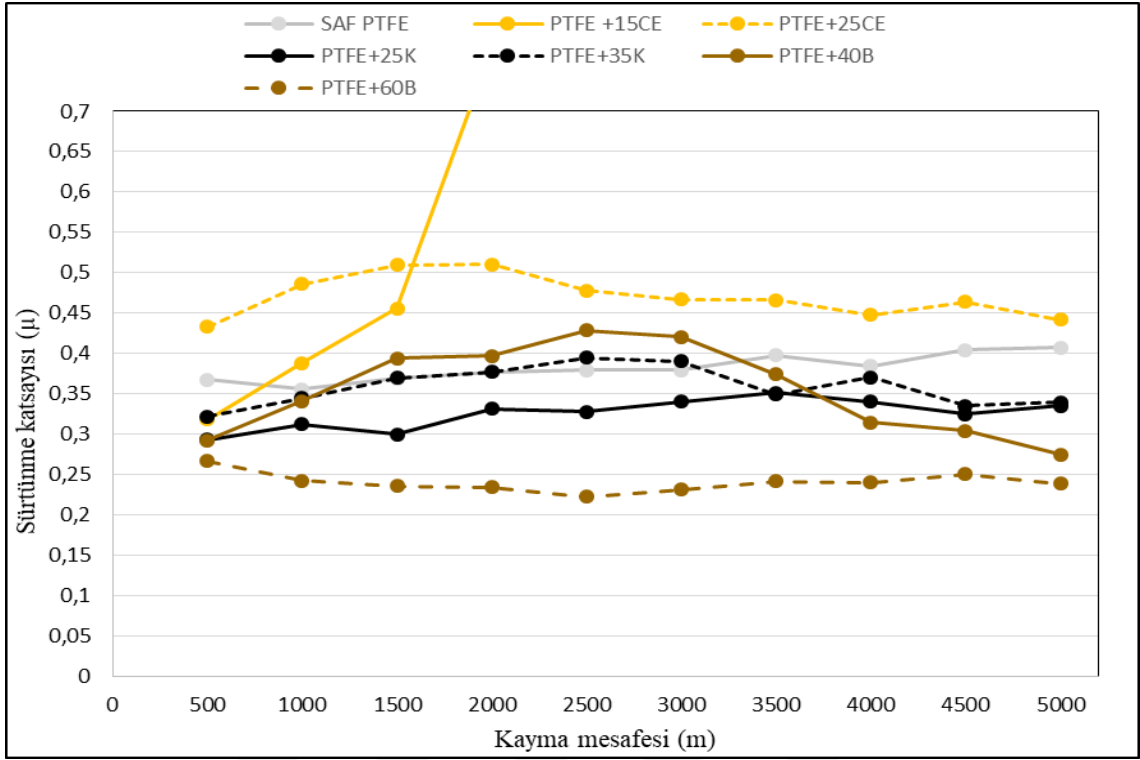
Şekil 4.5'te görüldüğü üzere; PTFE + %40 Bronz 50 N 0,6 m/s hızda numune yaklaşık olarak 1300 m kayma mesafesinde ve PTFE + %25 Cam elyaf numunede yaklaşık 500 m kayma mesafesinde; deney düzeneğinde motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettirememiştir. Bu mesafede düzenekte mil ve numune arasında meydana gelen sürtünmenin artmasından dolayı meydana gelen sıkışmadan kaynaklı hız düşmesi

başlamış ve giderek devam etmiştir, öte yandan dönme hareketinin oluşan sürtünme direncini yenebilmesi, dönme hareketinin devamı için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlar altında motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.



Şekil 4.5. 50 N yük ile 0,6 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 50 N yük ile 0,9 m/s hızda yapılan sürtünme katsayısının gösteren deneylerin sonuçlarına ait grafik şekil 4.6’da verilmiştir.

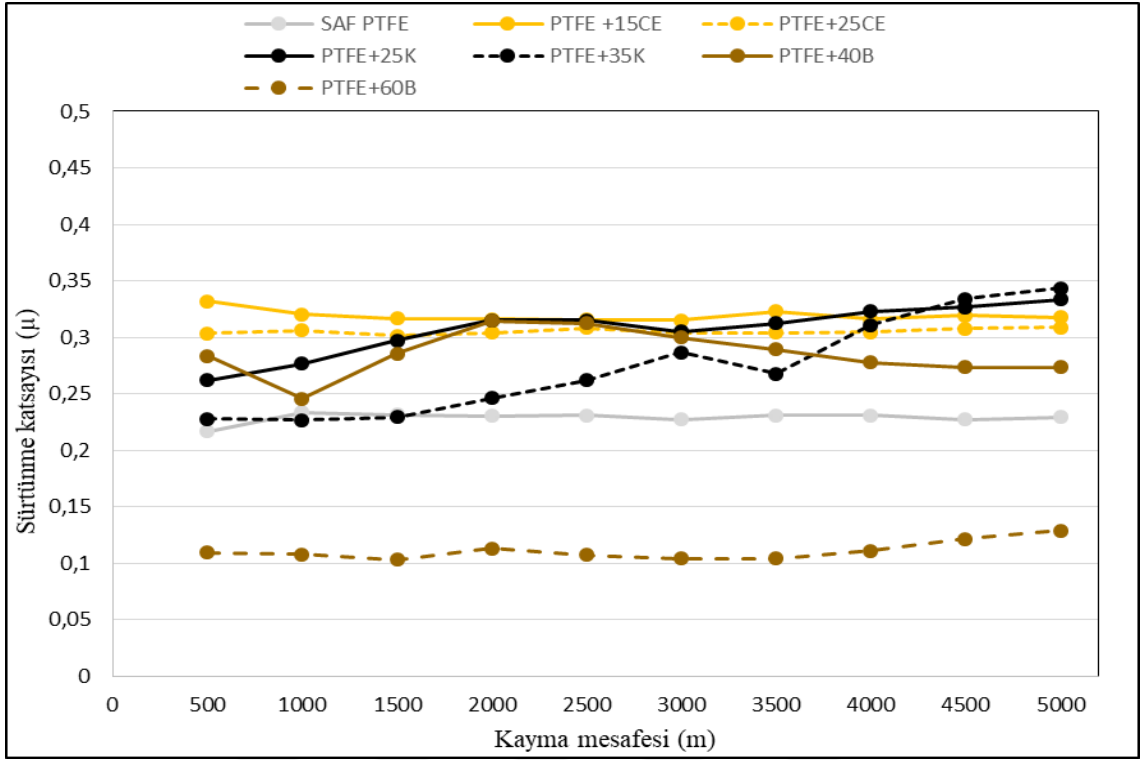


Şekil 4.6. 50 N yük ile 0,9 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

50 N 0,9 m/s hız şartlarında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı değerinin en düşük PTFE + %60 bronzlu numunede ortalama 0,24 olarak tespit edilmiştir. Bu değer saf PTFE'ye oranla % 37 oranında düşük olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde, en fazla değişimin PTFE + %25 karbonlu numunede %14 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

50 N ve 0,9 m/s şartlarında, PTFE +%15 Cam elyaf numunede yaklaşık 1900 m kayma mesafesinde; deney düzeneğinde motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettirememiştir. Bu mesafede düzenekte mil ve numune arasında meydana gelen sürtünmenin artmasından dolayı meydana gelen sıkışmadan kaynaklı hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir, öte yandan dönme hareketinin oluşan sürtünme direncini yenebilmesi, dönme hareketinin devamı için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlar altında motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

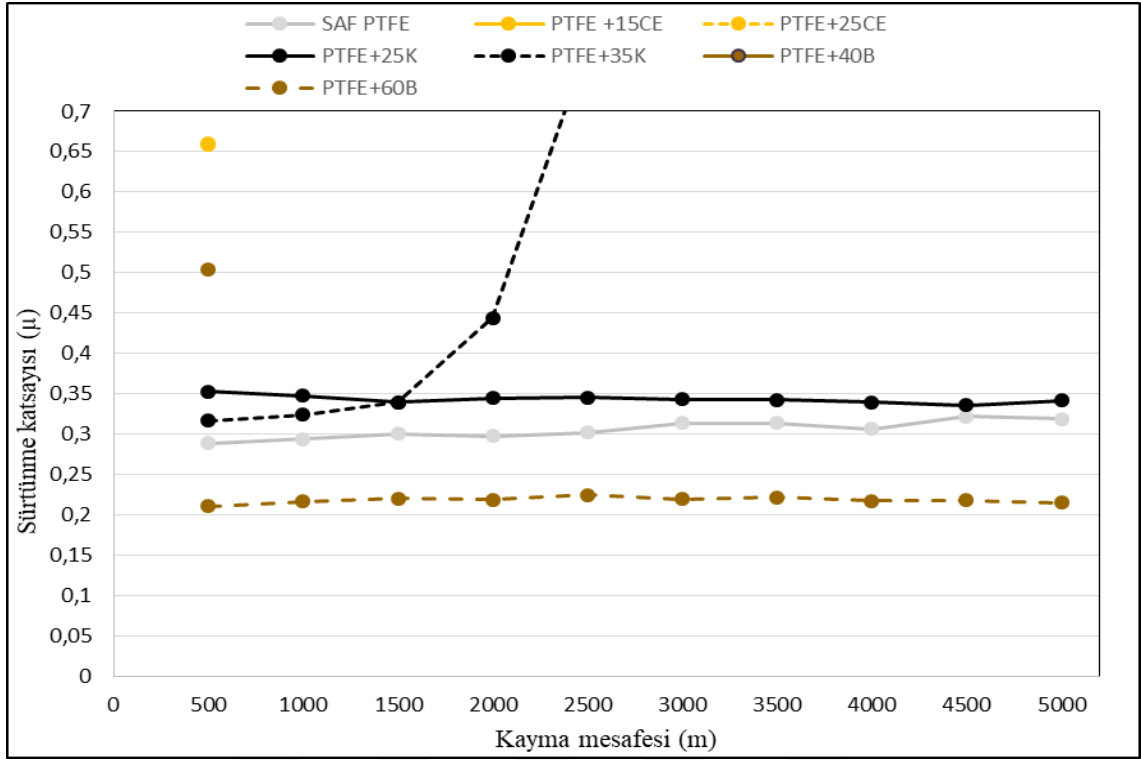
Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 75 N yük ile 0,3 m/s hızda yapılan sürtünme katsayısının gösteren deneylerin sonuçlarına ait grafik Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. 75 N yük ile 0,3 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

75 N 0,3 m/s hız şartlarında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı değerinin en düşük PTFE + %60 bronzlu numunede ortalama 0,111 olarak tespit edilmiştir. Bu değer saf PTFE'ye oranla %51 oranında düşük olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde, en fazla değişimin PTFE + %35 karbonlu numunede %50 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 75 N yük ile 0,6 m/s hızda yapılan sürtünme katsayısının gösteren deneylerin sonuçlarına ait grafik şekil 4.8'de verilmiştir.

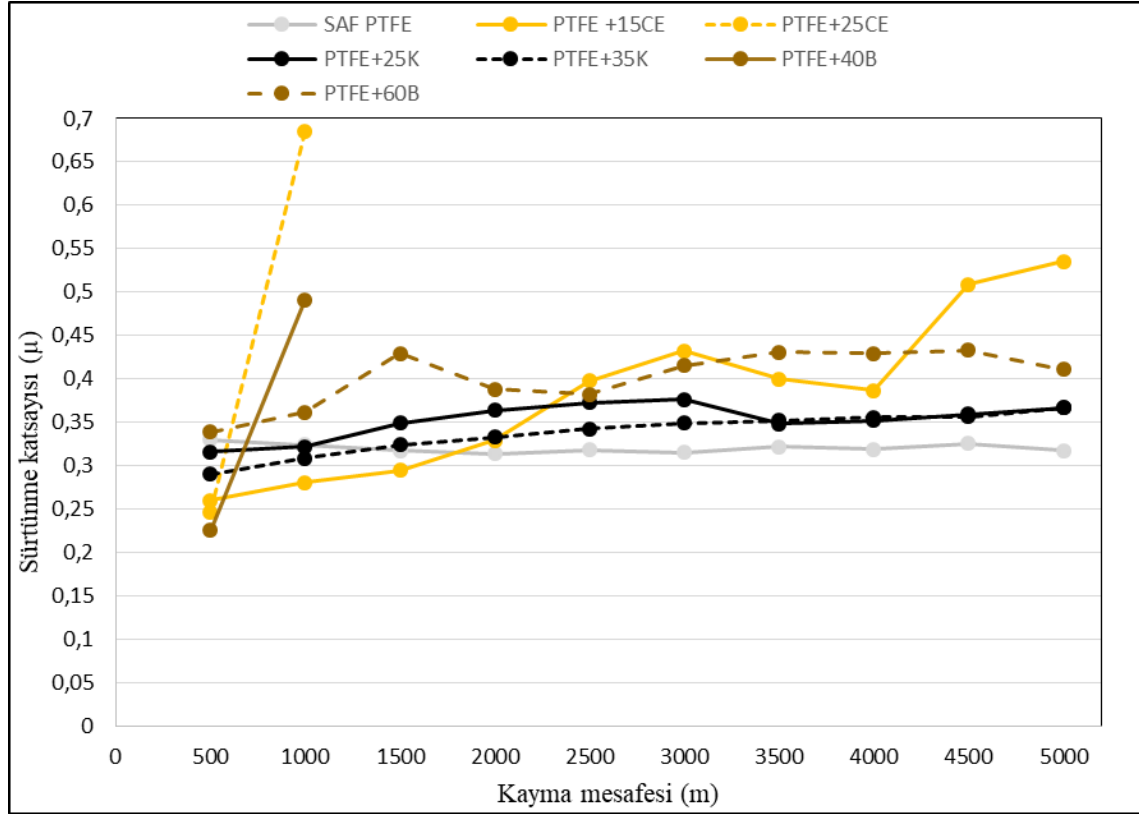


Şekil 4.8. 75 N yük ile 0,6 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

75 N 0,6 m/s hız şartlarında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı değerinin en düşük PTFE + %60 bronzlu numunede ortalama 0,218 olarak tespit edilmiştir. Bu değer saf PTFE'ye oranla %28 oranında düşük olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde, en fazla değişimin PTFE + %15 cam elyafı numunede %61 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

75 N 0,6 m/s hızda; PTFE + %25 ile PTFE + %15 Cam elyaf malzemeden üretilen kaymalı yatak numunesi yaklaşık olarak 500 m kayma mesafesinde, PTFE + %35 Karbon malzemeden üretilen kaymalı yatak numunesi yaklaşık 2500 m kayma mesafesinde ve PTFE +%40 Bronz malzemeden üretilen numune yaklaşık 1300 m kayma mesafesinde, motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettirememiştir. Bu mesafede düzenekte mil ve numune arasında meydana gelen sürtünmenin artmasından dolayı meydana gelen sıkışmadan kaynaklı hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir, öte yandan dönme hareketinin oluşan sürtünme direncini yenebilmesi, dönme hareketinin devamı için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlar altında motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

Numune malzemelerden üretilen kaymalı yatakların 75 N yük ile 0,9 m/s hızda yapılan sürtünme katsayısının gösteren deneylerin sonuçlarına ait grafik şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. 75 N yük ile 0,9 m/s hızda numunelerin sürtünme katsayısı değişimi grafiği

75 N 0,9 m/s hız şartlarında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı değerinin en düşük görüldüğü numuneler 0,32 ve 0,337 değerleri ile saf PTFE ve PTFE+%35 Karbonlu numuneler olmuştur. Kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler incelendiğinde, en fazla değişimin PTFE + %15 cam elyafı numunede %105 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

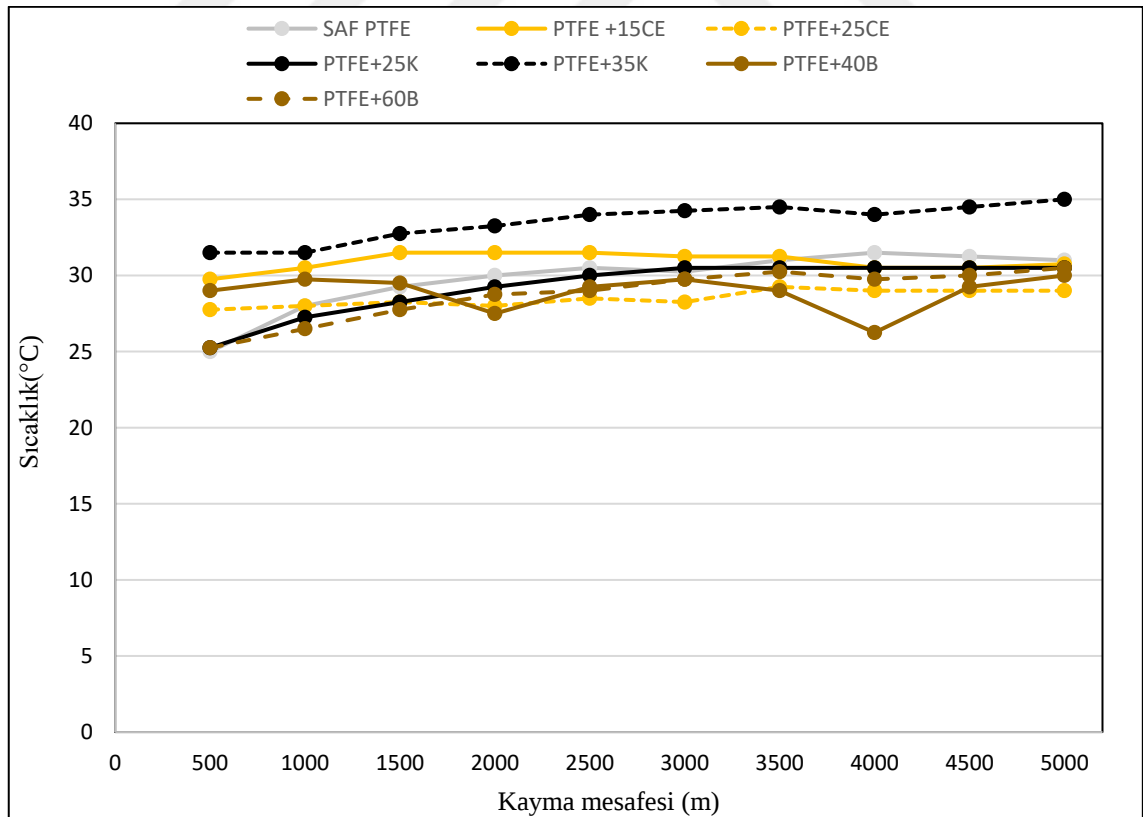
75 N yük altında 0,9 m/s hızdaki değişimler Şekil 4.9’da verilmiştir. Buna göre; PTFE + %25 Cam elyaf malzemeden üretilen kaymalı yatak numunesi yaklaşık olarak 1000 m kayma mesafesinde, PTFE + % 40 Bronz malzemeden üretilen kaymalı yatak yaklaşık olarak 1000 m kayma mesafesinde, sağlıklı stabil dönmeyi devam ettirememiştir. Bu mesafede düzenekte mil ve numune arasında sürtünmenin aşırı artmasından dolayı meydana gelen sıkışmadan kaynaklı hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir, öte yandan dönme hareketinin oluşan sürtünme direncini yenebilmesi, dönme hareketinin

devamı için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlar altında motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

4.2. Sıcaklık Değişimleri

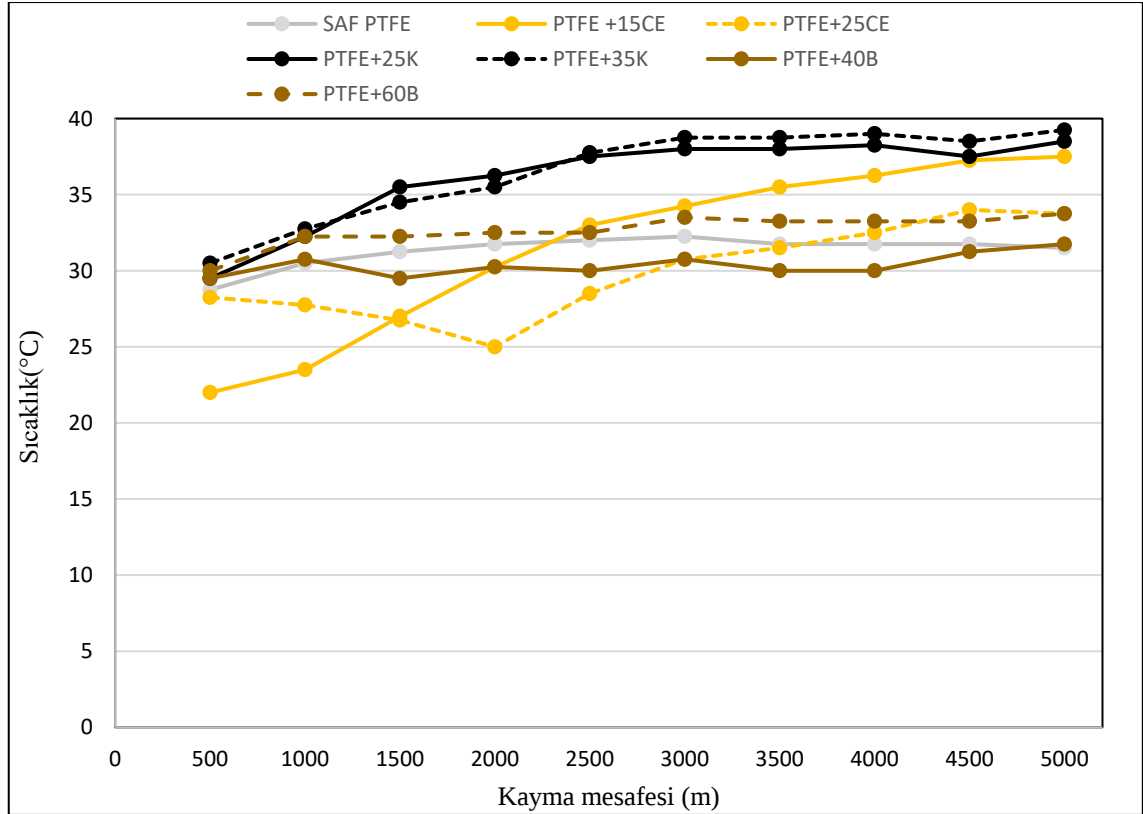
Deneyler sırasında düzenekte yer alan termokupl vasıtasıyla numunelerde meydana gelen sıcaklık ölçümleri ve değişimleri tespit edilmiştir. Aynı yük ve hızda tüm numuneler için, kayma mesafesi ile sıcaklık değişimlerini gösterir grafikler oluşturulmuştur.

Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük altında 0,3 m/s hızda sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi Şekil 4.10'daki grafikte sunulmuştur. Grafikten anlaşılabacağı üzere, en yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 35 Karbonlu numunede 35 °C ölçülmüştür. En çok sıcaklık artışı yaşayan numune 5,25 °C ile PTFE + % 25 Karbonlu ve PTFE + % 60 Bronzlu numuneler olmuştur. En düşük sıcaklık değişimi ise PTFE + % 40 Bronzlu ve PTFE + % 15 Cam elyaflı olan numunelerde 1°C olarak tespit edilmiştir.



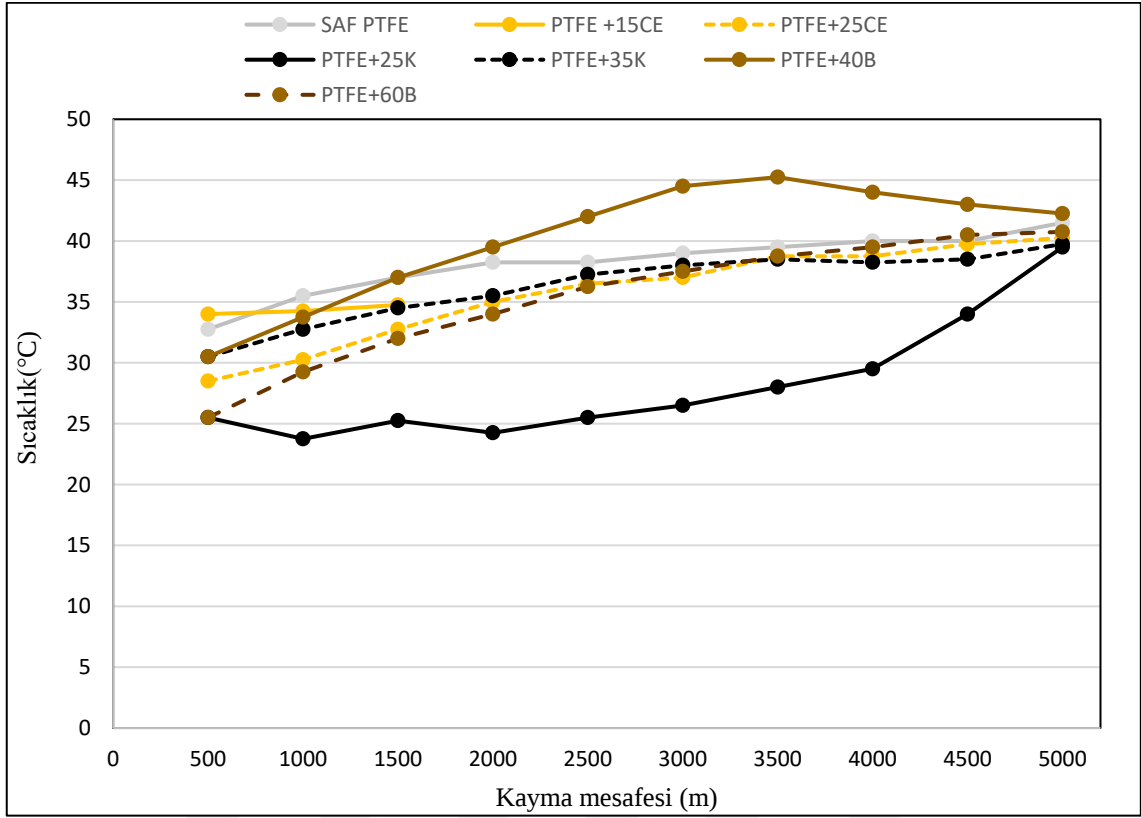
Şekil 4.10 Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük 0,3 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük altında 0,6 m/s hızda sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi şekil 4.11'deki grafikte sunulmuştur. Grafikten anlaşılabacağı üzere, en yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 35 Karbonlu numunede 39,25 °C, ardından PTFE + % 25 Karbonlu numunede 38,5°C ölçülmüştür. En çok sıcaklık artışı yaşayan numune 15,50 °C ile PTFE + % 15 Cam Elyafı numune olmuştur. En düşük sıcaklık değişimi ise PTFE + % 40 Bronzlu olan numunede 2,25 °C olarak tespit edilmiştir.



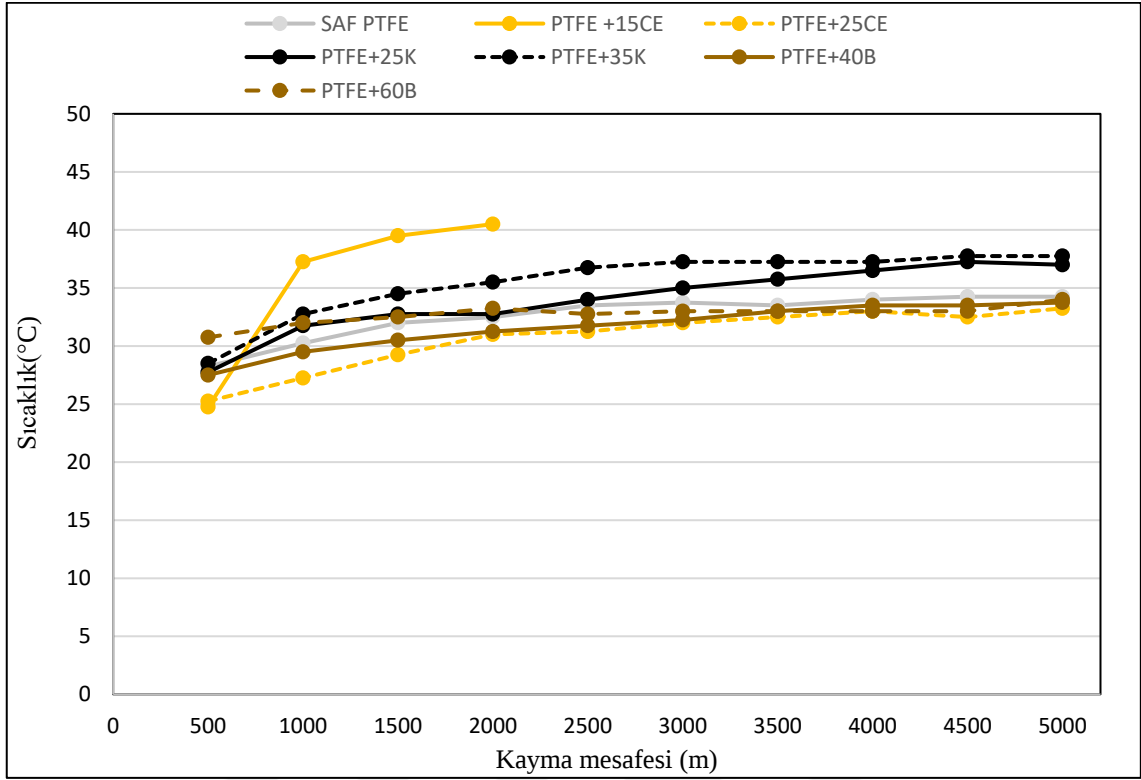
Şekil 4.11. Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük 0,6 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük altında 0,9 m/s hızda sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi şekil 4.12'deki grafikte sunulmuştur. Grafikten anlaşılabacağı üzere, en yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 40 Bronzlu numunede 45,25 °C, ardından PTFE + % 60 Bronzlu numunede 40,75 °C ölçülmüştür. En çok sıcaklık artışı yaşayan numune 15,25 °C ile PTFE + % 60 Bronzlu numune olmuştur. En düşük sıcaklık değişimi ise saf PTFE olan numunede 3,25 °C olarak tespit edilmiştir. Grafikte sona kadar gitmeyen numuneler, zorunlu olarak sonlandırılan numunelerin, kat ettikleri kayma mesafesine kadar yapılan ölçümleridir.



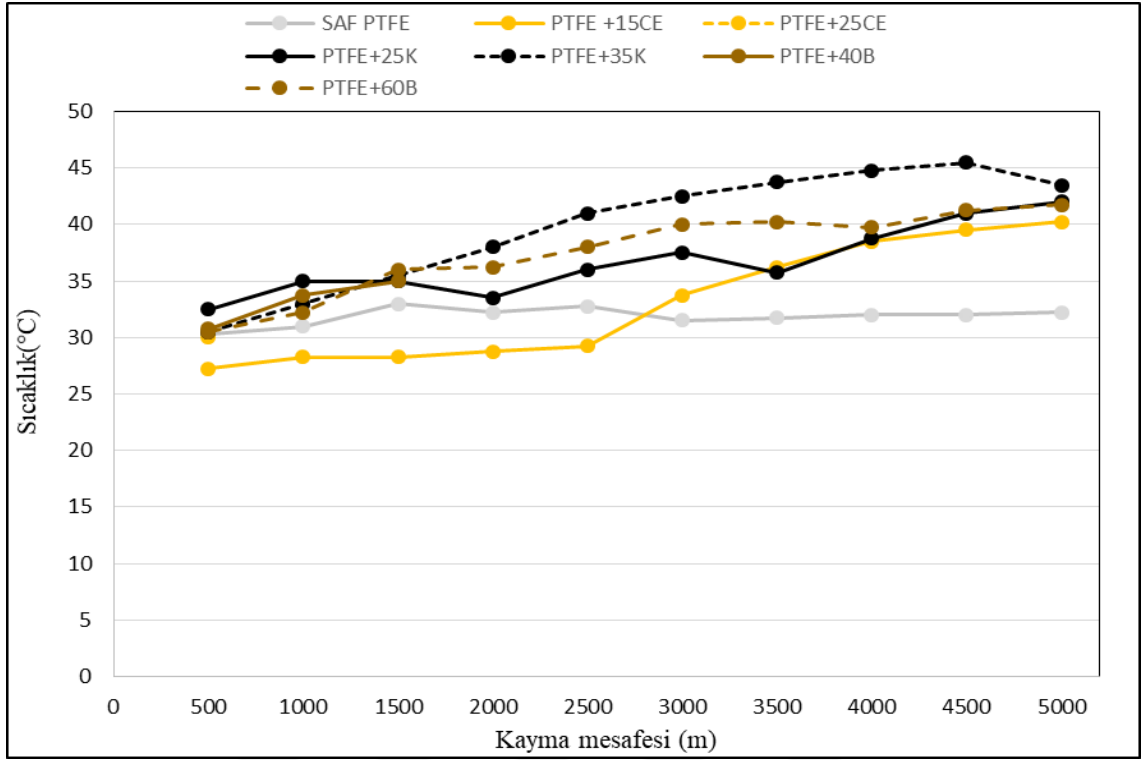
Şekil 4.12. Kaymalı yatak numunelerinin 25 N yük 0,9 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

Kaymalı yatak numunesinin 50 N yük altında 0,3 m/s hızda sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi Şekil 4.13'teki grafikte sunulmuştur. Grafikten anlaşılabileceği üzere, en yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 35 Karbonlu numunede 37,75 °C, ardından PTFE + % 25 Karbonlu numunede 37,25°C ölçülmüştür. En çok sıcaklık artışı yaşayan numuneler 9,25°C ile PTFE + % 35 Karbonlu ve PTFE + % 25 Karbonlu numuneler olmuştur. En düşük sıcaklık değişimi ise PTFE+ % 60 Bronzlu numunede 3,25 °C olarak tespit edilmiştir. Grafikte sona kadar gitmeyen numuneler, zorunlu olarak sonlandırılan numunelerin, kat ettikleri kayma mesafesine kadar yapılan ölçümleridir.



Şekil 4.13. Kaymalı yatak numunelerinin 50 N yük 0,3 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

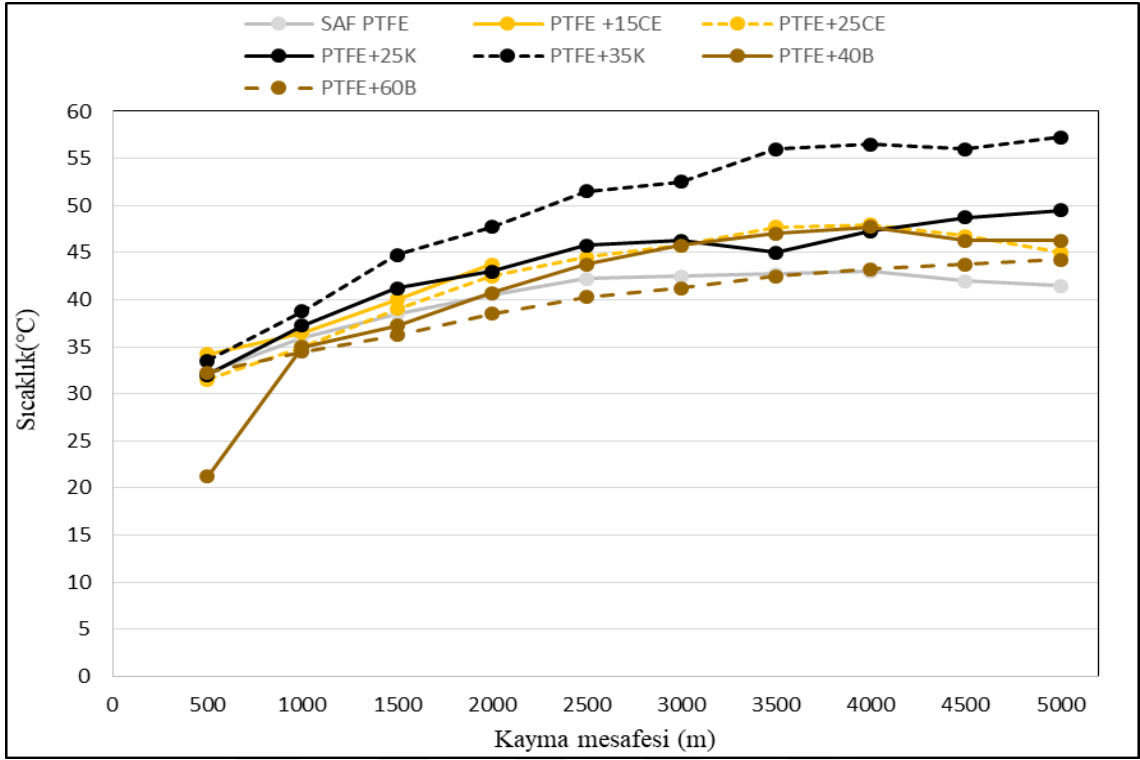
Kaymalı yatak numunesini 50 N yük altında 0,6 m/s hızda sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi şekil 4.14'teki grafikte sunulmuştur. En yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 35 Karbonlu numunede 45,5 °C, ardından PTFE + % 25 Karbonlu numunede 42°C ölçülmüştür. En çok sıcaklık artışı yaşayan numuneler 13°C ile PTFE + % 35 Karbonlu ve PTFE + % 15 Cam Elyafı olmuştur. En düşük sıcaklık değişimi ise Saf PTFE'de 2°C ile tespit edilmiştir. Grafikte sona kadar gitmeyen numuneler, zorunlu olarak sonlandırılan numunelerin, kat ettikleri kayma mesafesine kadar yapılan ölçümleridir.



Şekil 4.14. Kaymalı yatak numunelerinin 50 N yük 0,6 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

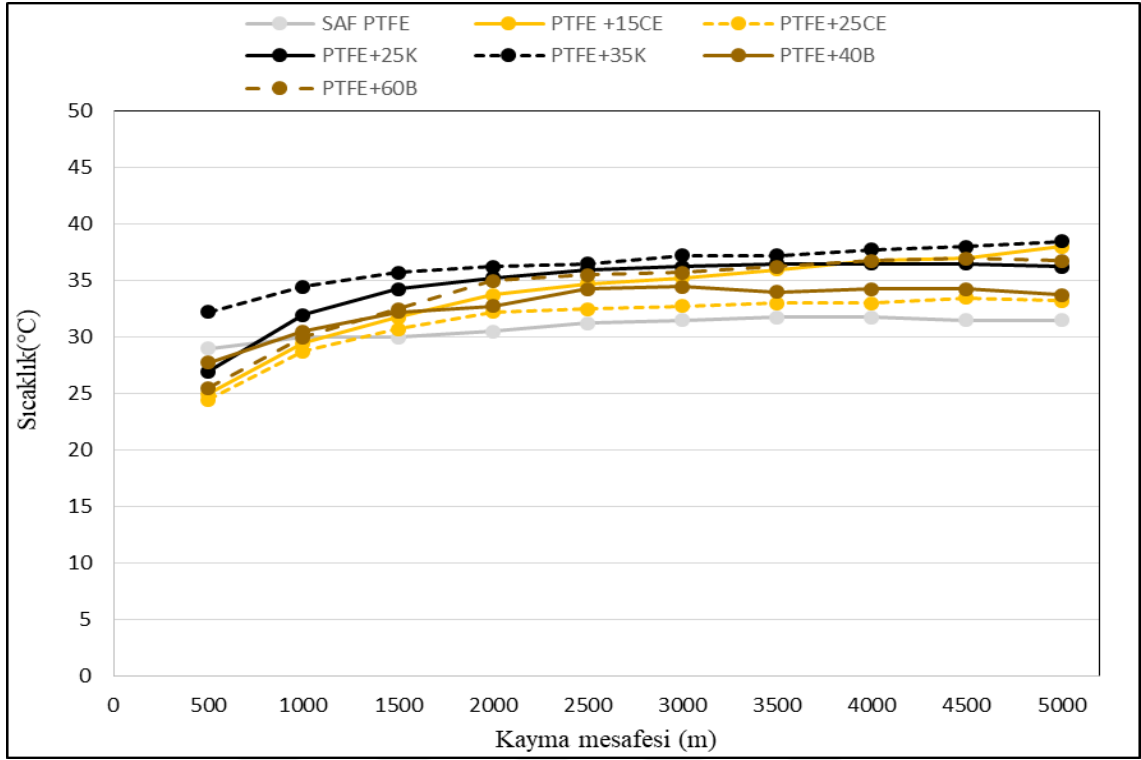
Kaymalı yatak numunesini 50 N yük altında 0,9 m/s hızda sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi şekil 4.15'teki grafikte sunulmuştur. Grafikten anlaşılabacağı üzere, en yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 35 Karbonlu numunede 57,25 °C, ardından PTFE + % 25 Karbonlu numunede 49,5 °C ölçülmüştür. En çok sıcaklık artışı yaşayan numune ise PTFE + % 40 Bronzlu numune 25°C ardından 23,75 °C ile PTFE + % 35 Karbonlu numune olmuştur. En düşük sıcaklık değişimi ise Saf PTFE'de 9,25°C ile tespit edilmiştir.

Grafikte sona kadar gitmeyen numuneler, zorunlu olarak sonlandırılan numunelerin, kat ettikleri kayma mesafesine kadar yapılan ölçümleridir.



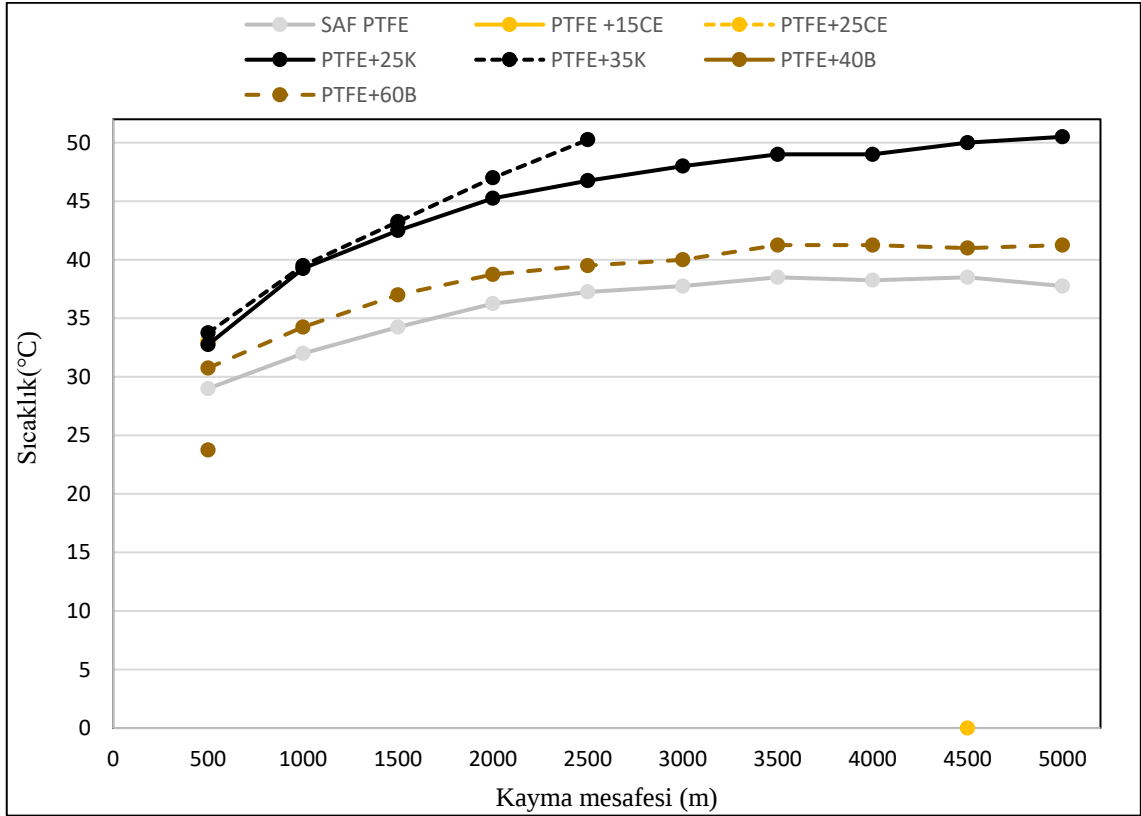
Şekil 4.15. Kaymalı yatak numunelerinin 50 N yük 0,9 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

Kaymalı yatak numunelerinin 75 N yük altında 0,3 m/s hızda, sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi şekil 4.16'daki grafikte sunulmuştur. Grafikten anlaşılabacağı üzere sıcaklık değerlerinin değişimleri genel anlamda benzer olmakla birlikte, sıcaklık değeri olarak en yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 35 Karbonlu numunede 38,5 °C, ardından PTFE + % 15 Cam Elyafı numunede 38 °C ölçülmüştür. En çok sıcaklık artışı yaşayan numune ise PTFE + % 15 Cam Elyafı numune 13°C ardından 11,25 °C ile PTFE + % 60 Bronzlu numune olmuştur. En düşük sıcaklık değişimi ise Saf PTFE'de 2 °C ile tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. Kaymalı yatak numunelerinin 75 N yük 0,3 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

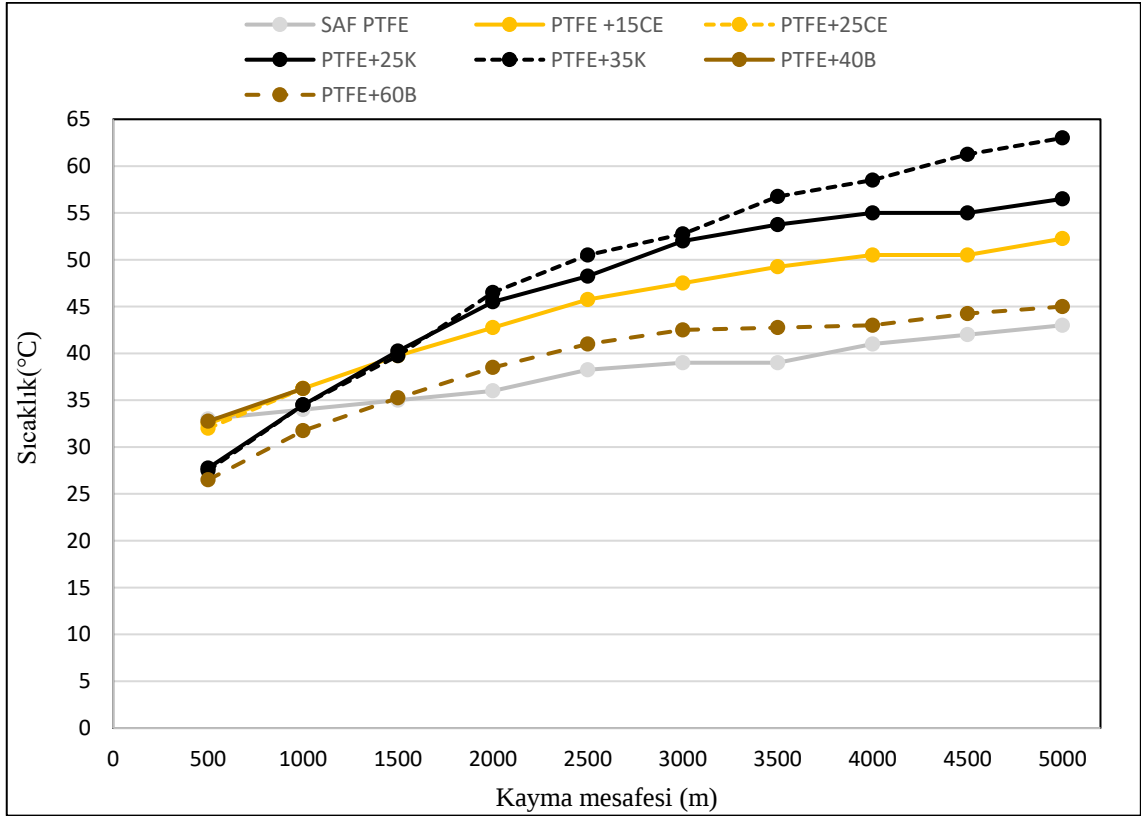
Kaymalı yatak numunesini 75 N yük altında 0,6 m/s hızda sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi şekil 4.17'deki grafikte sunulmuştur. Verilere göre sıcaklık değerlerinin değişimleri genel anlamda benzer olmakla birlikte, sıcaklık değeri olarak en yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 25 Karbonlu numunede 50,5 °C ölçülmüştür. Grafikte sona kadar gitmeyen numuneler, zorunlu olarak sonlandırılan numunelerin, kat ettikleri kayma mesafesine kadar ölçümleridir.



Şekil 4.17. Kaymalı yatak numunelerinin 75 N yük 0,6 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

Kaymalı yatak numunesini 75 N yük altında 0,9 m/s hızda sıcaklık değerinin kayma mesafesi ile değişimi Şekil 4.18'deki grafikte sunulmuştur. Verilere göre sıcaklık değerlerinin değişimleri genel anlamda benzer olmakla birlikte, en yüksek sıcaklık ölçümü PTFE + % 35 Karbonlu numunede 63 °C, ardından PTFE + %25 Karbonlu numunede 56,5 °C ölçülmüştür. En çok sıcaklık artışı yaşayan numune ise PTFE + %35 Karbonlu numune 35,5°C ardından 28,75 °C ile PTFE + % 25 Karbonlu numune olmuştur. En düşük sıcaklık değişimi ise Saf PTFE'de 10°C ile tespit edilmiştir.

Grafikte sona kadar gitmeyen numuneler, zorunlu olarak sonlandırılan numunelerin, kat ettikleri kayma mesafesine kadar yapılan ölçümleridir.



Şekil 4.18. Kaymalı yatak numunelerinin 75 N yük 0,9 m/s hız ve kayma mesafesine göre sıcaklık değişiminin grafiği

4.3. Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Yüzey pürüzlülüğü numuneler için son derece önemli bir parametredir. Deney şartlarında değerleri sürekli takip edilen sıcaklık ve aşınma miktarı değerlerine direkt olarak etki eden, ilave olarak aşınma izlerinden aşınma karakteristiklerine etkisi olan bir değerdir. Literatürde yapılan bu tür çalışmalarda bu durum zaman zaman tespit edilmiştir. Özetle deney şartlarına katılan numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ya da başka bir deyişle yüzey kaliteleri, deney parametrelerinden aşınma miktarı, sıcaklık değişimine direkt etki ettiği gibi yüzey kalitesine göre deneyde farklı tipte aşınma türüne maruz kalabilmektedir. Numunelerin, deneylerden önce yapılan yüzey pürüzlülüğü değerleri, yüzeylerin son kaba olarak işlendiğini tespit edilmiştir. Şekil 3.15 yüzey pürüzlülüğü ölçümü cihazı ölçüm uzunluğu 0,25 ayarlanmış, istenen yüzeyde 3 adet ölçüm yapılmış ve ortalama değerleri Ra olarak yazılmıştır.

Tablo 4.1. Saf PTFE kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (µm)
25	0,9	1,252
	0,6	2,354
	0,3	3,704
50	0,9	1,548
	0,6	2,654
	0,3	2,857
75	0,9	0,176
	0,6	1,489
	0,3	2,161
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		9,716

Tablo 4.2. PTFE + %15 Cam Elyafı kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (µm)
25	0,9	1,382
	0,6	2,456
	0,3	3,142
50	0,9	2,469
	0,6	3,254
	0,3	3,724
75	0,9	2,191
	0,6	2,328
	0,3	2,675
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		2,393

Tablo 4.3. PTFE + %25 Cam Elyafı kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (µm)
25	0,9	3,611
	0,6	2,845
	0,3	2,306
50	0,9	2,981
	0,6	2,432
	0,3	1,371
75	0,9	3,211
	0,6	3,456
	0,3	2,432
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		3,575

Tablo 4.4. PTFE + % 25 Karbonlu kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (µm)
25	0,9	3,442
	0,6	3,674
	0,3	3,899
50	0,9	4,408
	0,6	3,225
	0,3	2,973
75	0,9	1,584
	0,6	2,456
	0,3	4,259
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		2,432

Tablo 4.5. PTFE + % 35 Karbonlu kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (µm)
25	0,9	3,258
	0,6	3,307
	0,3	3,407
50	0,9	2,904
	0,6	2,549
	0,3	2,144
75	0,9	3,038
	0,6	2,954
	0,3	2,827
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		4,269

Tablo 4.6. PTFE + % 40 Bronzlu kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (µm)
25	0,9	2,648
	0,6	2,143
	0,3	1,502
50	0,9	2,157
	0,6	2,874
	0,3	3,650
75	0,9	1,979
	0,6	1,247
	0,3	0,974
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		3,038

Tablo 4.7. PTFE + % 60 Bronzlu kaymalı yatak numuneleri yüzey pürüzlülük ölçümleri

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (µm)
25	0,9	7,105
	0,6	6,745
	0,3	6,219
50	0,9	5,272
	0,6	4,858
	0,3	4,458
75	0,9	3,422
	0,6	2,547
	0,3	2,042
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		9,545

4.4. Aşınma Miktarları

Saf PTFE malzeme ile üretilen kaymalı yatakların, deney şartlarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Saf PTFE kaymalı yatak ağırlık değişim tablosu

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYIP YÜZDESİ (%)
25	0,3	20,3151	20,0313	0,2838	1,3970
	0,6	20,3138	20,0413	0,2725	1,3415
	0,9	19,9101	19,6604	0,2497	1,2541
50	0,3	19,8475	19,4803	0,3672	1,8501
	0,6	19,8647	19,5325	0,3322	1,6723
	0,9	19,7826	19,3994	0,3832	1,9371
75	0,3	20,0718	19,4626	0,6092	3,0351
	0,6	19,6452	19,1101	0,5351	2,7238
	0,9	20,3635	19,7857	0,5778	2,8374

PTFE + % 15 cam elyaf malzeme ile üretilen kaymalı yatakların, deney şartlarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. PTFE + % 15 cam elyaf kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYIP YÜZDESİ (%)
25	0,3	21,5634	21,5619	0,0015	0,0070
	0,6	21,6104	21,607	0,0034	0,0157
	0,9	21,5213	19,5163	2,005	9,3164
50	0,3	21,6603	21,6518	0,0085	0,0392
	0,6	21,547	21,5457	0,0013	0,0060
	0,9	21,5395	21,534	0,0055	0,0255
75	0,3	21,6105	21,6072	0,0033	0,0153
	0,6	21,5463	21,5447	0,0016	0,0074
	0,9	21,4855	21,4828	0,0027	0,0126

PTFE + % 25 cam elyaf malzeme ile üretilen kaymalı yatakların, deney şartlarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10. PTFE + % 25 cam elyaf kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYIP YÜZDESİ (%)
25	0,3	21,6993	21,6979	0,0014	0,0065
	0,6	21,8028	21,8017	0,0011	0,0050
	0,9	21,7824	21,7794	0,003	0,0138
50	0,3	21,6499	21,6488	0,0011	0,0051
	0,6	21,7743	21,7726	0,0017	0,0078
	0,9	21,6606	21,6572	0,0034	0,0157
75	0,3	21,7723	21,7653	0,007	0,0322
	0,6	21,8442	21,8426	0,0016	0,0073
	0,9	21,851	21,85	0,001	0,0046

PTFE + % 25 karbon malzeme ile üretilen kaymalı yatakların, deney şartlarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. PTFE+ % 25 karbon kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu

Y ÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYIP YÜZDESİ (%)
25	0,3	20,2154	20,2133	0,0021	0,0104
	0,6	20,6092	20,6062	0,003	0,0146
	0,9	20,3452	20,3364	0,0088	0,0433
50	0,3	20,696	20,6925	0,0035	0,0169
	0,6	20,2784	20,2764	0,002	0,0099
	0,9	20,1779	20,1735	0,0044	0,0218
75	0,3	20,2986	20,2976	0,001	0,0049
	0,6	20,3076	20,3059	0,0017	0,0084
	0,9	20,7962	20,7928	0,0034	0,0163

PTFE + % 35 karbon malzeme ile üretilen kaymalı yatakların, deney şartlarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12. PTFE + % 35 karbon kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYIP YÜZDESİ (%)
25	0,3	19,6999	19,6974	0,0025	0,0127
	0,6	19,8809	19,8783	0,0026	0,0131
	0,9	19,5955	19,5927	0,0028	0,0143
50	0,3	19,7529	19,7498	0,0031	0,0157
	0,6	19,5536	19,55	0,0036	0,0184
	0,9	19,523	19,5155	0,0075	0,0384
75	0,3	19,5964	19,5948	0,0016	0,0082
	0,6	19,8486	19,8453	0,0033	0,0166
	0,9	19,7444	19,7417	0,0027	0,0137

PTFE + % 40 bronz malzeme ile üretilen kaymalı yatakların, deney şartlarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13. PTFE + % 40 bronz kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYIP YÜZDESİ (%)
25	0,3	30,1045	30,0992	0,0053	0,0176
	0,6	30,125	30,1202	0,0048	0,0159
	0,9	30,0453	30,0241	0,0212	0,0706
50	0,3	30,112	30,1036	0,0084	0,0279
	0,6	30,259	30,1444	0,1146	0,3787
	0,9	30,0973	30,0645	0,0328	0,1090
75	0,3	31,1791	31,1663	0,0128	0,0411
	0,6	30,3658	30,34	0,0258	0,0850
	0,9	30,2029	30,1731	0,0298	0,0987

PTFE + % 60 bronz malzeme ile üretilen kaymalı yatakların, deney şartlarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14. PTFE + % 60 bronz kaymalı yatağın ağırlık değişim tablosu

YÜK (N)	HIZ (m/s)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYIP YÜZDESİ (%)
25	0,3	31,054	31,0494	0,0046	0,0148
	0,6	31,2782	31,2747	0,0035	0,0112
	0,9	31,3026	31,2865	0,0161	0,0514
50	0,3	31,0774	31,0728	0,0046	0,0148
	0,6	31,3308	31,3267	0,0041	0,0131
	0,9	31,0874	31,0817	0,0057	0,0183
75	0,3	30,9992	30,9938	0,0054	0,0174
	0,6	31,1943	31,1916	0,0027	0,0087
	0,9	31,0933	31,0909	0,0024	0,0077

4.5. Aşınma Oranları ve Dirençleri

Numunelere ait aşınma oranları aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$W_a = \frac{\Delta m}{S \cdot \rho \cdot F_n} \quad 4.1$$

Wa: Aşınma oranı (mm³ /Nm)

ρ: Yoğunluk (gr/cm³)

Δm: Ağırlık kaybı (gr)

F_n: Yük (N)

S : Kayma mesafesi (m)

Aşınma Direnci, aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \quad 4.2$$

Wa : Aşınma oranı (mm³/N.m)

Wr : Aşınma direnci (N.m/mm³)

Formüllere göre hesaplanan değerler tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.15. Saf PTFE malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri

MALZEME	YÜK (N)	HIZ (m/s)	YOĞUNLUK (gr/cm ³)	AŞINMA ORANI (mm ³ /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm ³)
PTFE	75	0,9	2,15	0,000717	1.395,38
		0,6		0,000664	1.506,73
		0,3		0,000756	1.323,46
	50	0,9		0,000713	1.402,66
		0,6		0,000618	1.618,00
		0,3		0,000683	1.463,78
	25	0,9		0,000929	1.076,29
		0,6		0,001014	986,24
		0,3		0,001056	946,97

Tablo 4.16. PTFE + % 15Cam elyaf malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları

MALZEME	YÜK (N)	HIZ (m/s)	YOĞUNLUK (gr/cm ³)	AŞINMA ORANI (mm ³ /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm ³)
PTFE+%15 CAM ELYAF	75	0,9	2,2	0,000003	305.555,56
		0,6		0,000002	515.625,00 (ZS)
		0,3		0,000004	250.000,00
	50	0,9		0,000010	100.000,00 (ZS)
		0,6		0,000002	423.076,92
		0,3		0,000015	64.705,88 (ZS)
	25	0,9		0,007291	137,16 (ZS)
		0,6		0,000012	80.882,35
		0,3		0,000005	183.333,33

ZS: zorunlu sonlandırılan deneyleri belirtmektedir.

Tablo 4.17. PTFE + % 25Cam elyaf malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri

MALZEME	YÜK (N)	HIZ (m/s)	YOĞUNLUK (gr/cm ³)	AŞINMA ORANI (mm ³ /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm ³)
PTFE+%25 CAM ELYAF	75	0,9	2,25	0,000001	843.750,00 (ZS)
		0,6		0,000002	527.343,75 (ZS)
		0,3		0,000008	120.535,71
	50	0,9		0,000006	165.441,18
		0,6		0,000003	330.882,35 (ZS)
		0,3		0,000002	511.363,64
	25	0,9		0,000004	281.250,00
		0,6		0,000006	175.781,25
		0,3		0,000025	40.178,57

ZS: zorunlu sonlandırılan deneyleri belirtmektedir.

Tablo 4.18. PTFE + % 25 Karbon malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri

MALZEME	YÜK (N)	HIZ (m/s)	YOĞUNLUK (gr/cm ³)	AŞINMA ORANI (mm ³ /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm ³)
PTFE+%25 KARBON	75	0,9	2,1	0,000004	231.617,65
		0,6		0,000002	463.235,29
		0,3		0,000001	787.500,00
	50	0,9		0,000008	119.318,18
		0,6		0,000004	262.500,00
		0,3		0,000007	150.000,00
	25	0,9		0,000034	29.829,55
		0,6		0,000011	87.500,00
		0,3		0,000008	125.000,00

Tablo 4.19: PTFE + % 35 Karbon malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri

MALZEME	YÜK (N)	HIZ (m/s)	YOĞUNLUK (gr/cm ³)	AŞINMA ORANI (mm ³ /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm ³)
PTFE+%35 KARBON	75	0,9	2,05	0,000004	284.722,22
		0,6		0,000004	232.954,55 (ZS)
		0,3		0,000002	480.468,75
	50	0,9		0,000015	68.333,33
		0,6		0,000007	142.361,11
		0,3		0,000006	165.322,58
	25	0,9		0,000011	91.517,86
		0,6		0,000010	98.557,69
		0,3		0,000010	102.500,00

ZS: zorunlu sonlandırılan deneyleri belirtmektedir.

Tablo 4.20. PTFE + % 40 Bronz malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri

MALZEME	YÜK (N)	HIZ (m/s)	YOĞUNLUK (gr/cm ³)	AŞINMA ORANI (mm ³ /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm ³)
PTFE+%40 BRONZ	75	0,9	3,1	0,000026	39.010,07(ZS)
		0,6		0,000022	45.058,14(ZS)
		0,3		0,000011	90.820,31
	50	0,9		0,000042	23.628,05
		0,6		0,000148	6.762,65(ZS)
		0,3		0,000011	92.261,90
	25	0,9		0,000055	18.278,30
		0,6		0,000012	80.729,17
		0,3		0,000014	73.113,21

ZS: zorunlu sonlandırılan deneyleri belirtmektedir.

Tablo 4.21. PTFE + % 60 Bronz malzemeye ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları ve dirençleri

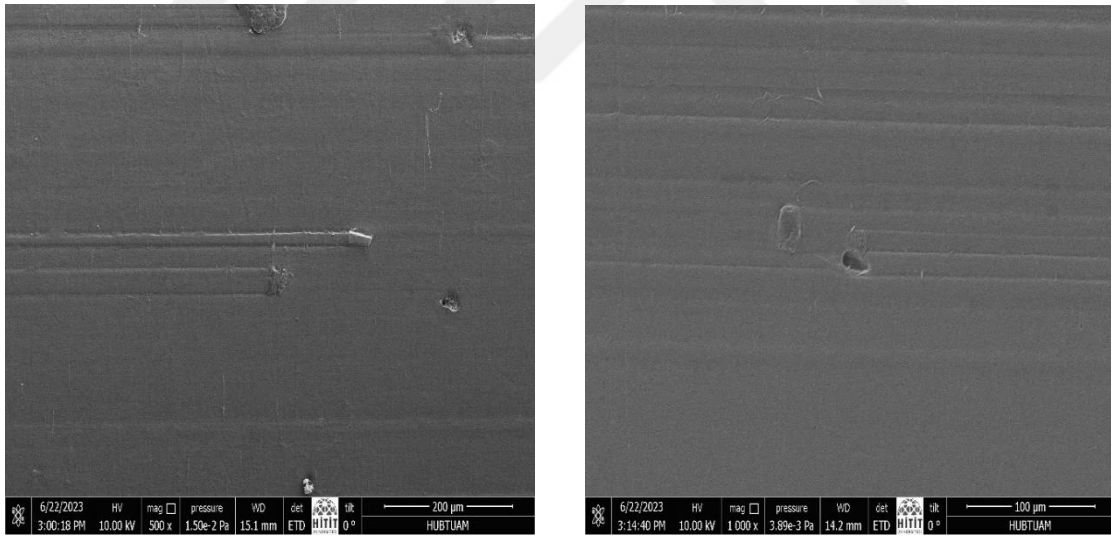
MALZEME	YÜK (N)	HIZ (m/s)	YOĞUNLUK (gr/cm ³)	AŞINMA ORANI (mm ³ /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm ³)
PTFE+%60 BRONZ	75	0,9	3,9	0,000002	609.375,00
		0,6		0,000002	541.666,67
		0,3		0,000004	270.833,33
	50	0,9		0,000006	171.052,63
		0,6		0,000004	237.804,88
		0,3		0,000005	211.956,52
	25	0,9		0,000033	30.279,50
		0,6		0,000007	139.285,71
		0,3		0,000009	105.978,26

Tablolarda ZS yazı ile belirtilen deneyler, Zorunlu Sonlandırılan deneylerdir. Deneyler sırasında ölçümlenen dikey kuvvet değeri ve dolayısıyla sürtünme katsayısı değeri, yükselmiş, deney düzeneğindeki hareket ve hızı, ayarlanan değerden daha düşük

değerlere düşürüp, düzenekteki motorun çektiği akımı yükseltmiş bunun sonucunda da DC motor sürücüsü tarafından motorun emniyet akım değeri aşıldığından devre kapanmış, deneyler zorunlu olarak durdurulmuştur. Deneylerden alınan veriler sağlıklı olmadığından değerlendirme yapılmamıştır.

4.6. Sem Görüntüleri

Test numunelerinde ortaya çıkan aşınma kayıplarının sayısal sonuçları önceki bölümde tabloda hem net hem de yüzdesel olarak verilmiştir. Bu bölümde meydana gelen aşınmaların SEM cihazı ile yapılacak analiz türleri ortaya konulmuştur. Bu amaçla yüzey pürüzlülüğünde değişimin gerçekleştiği deneylerin malzemelerinin SEM cihazı görüntülemeleri gerçekleştirilmiştir. Görüntüler genel olarak ele alındığında alaşımlı numunelerin homojen yapıdan uzak oldukları gözlenmiştir. Numune yüzeylerinin pürüzlülük değerleri yüksek yüzey kaliteleri de kaba olduğundan fotoğraflarda buna göre değerlendirilmiştir. Saf PTFE numuneden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.19'da verilmiştir.



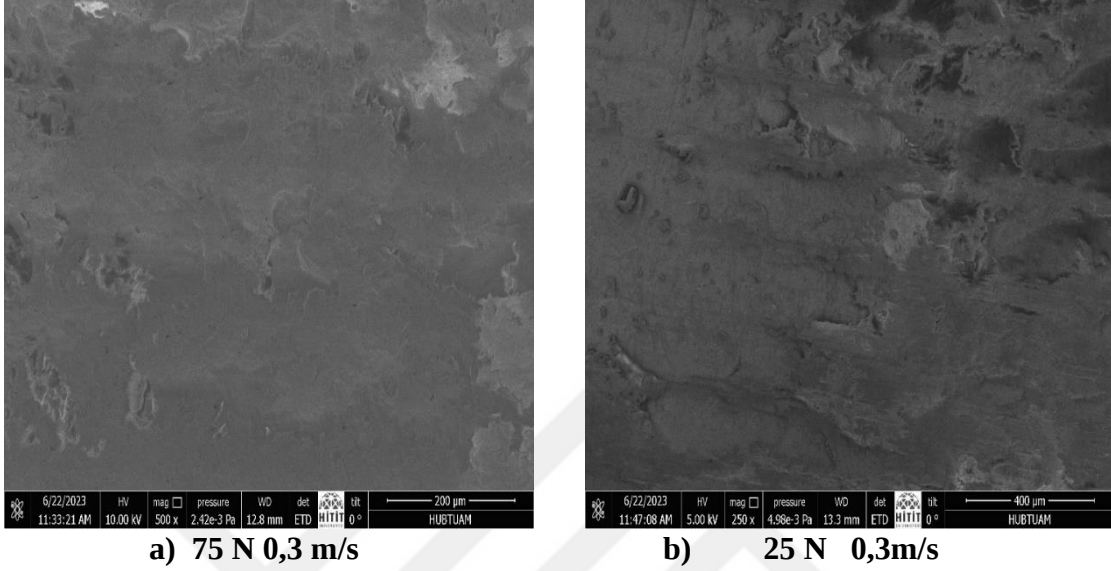
a) 75 N 0,9 m/s

b) 25 N 0,3 m/s

Şekil 4.19. Saf PTFE numunenin 75 N 0,9 m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü

Saf PTFE yatak numune yüzey pürüzlülüğü yüksek ve yüzey kalitesi kaba olduğundan, aşınma yüzeyinde yük ve hız altında pürüzlerde düzelmeler olmuştur. Burada görüldüğü üzere abrazyon aşınma izlerine benzeyen kalem işleme izlerinin süreklilikleri kesilmiş ve ek olarak adheziv aşınma gözlenmiştir. Saf PTFE’de, yüzeyde yük azaldıkça meydana gelen pürüzlerdeki düzelme miktarı azalmıştır. Bir başka deyişle yüzeydeki kalem işleme

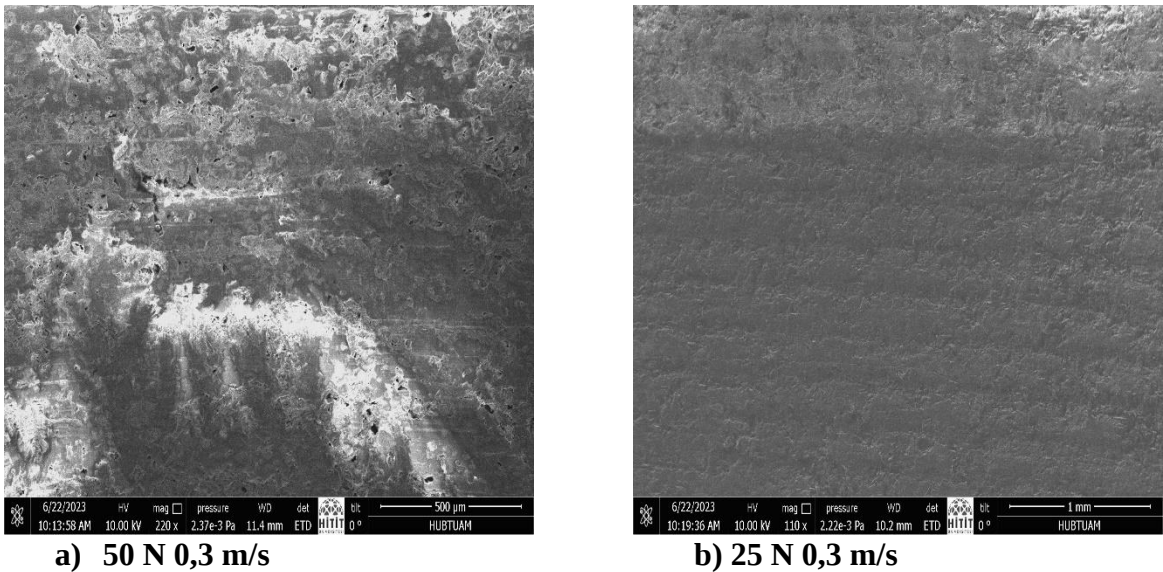
izleri yük azaldıkça daha fazla görülmüş ve ilave olarak adheziv aşınma izleri tespit edilmiştir. PTFE + %15 cam elyafı numuneden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. PTFE +% 15 Cam Elyafı numunenin 75 N 0,3 m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü

PTFE + % 15 cam elyafı yatak numunelerin görüntüleri incelendiğinde, yüzeyde adheziv aşınma izleri gözlenmiş ilave olarak numune üzerindeki cam elyaf yapının bazı yerlerde numune üzerinden uzaklaştığı tespit edilmiştir. Yük azaldıkça, yüzeydeki cam elyafın malzemenin daha az uzaklaştığı tespit edilmiştir.

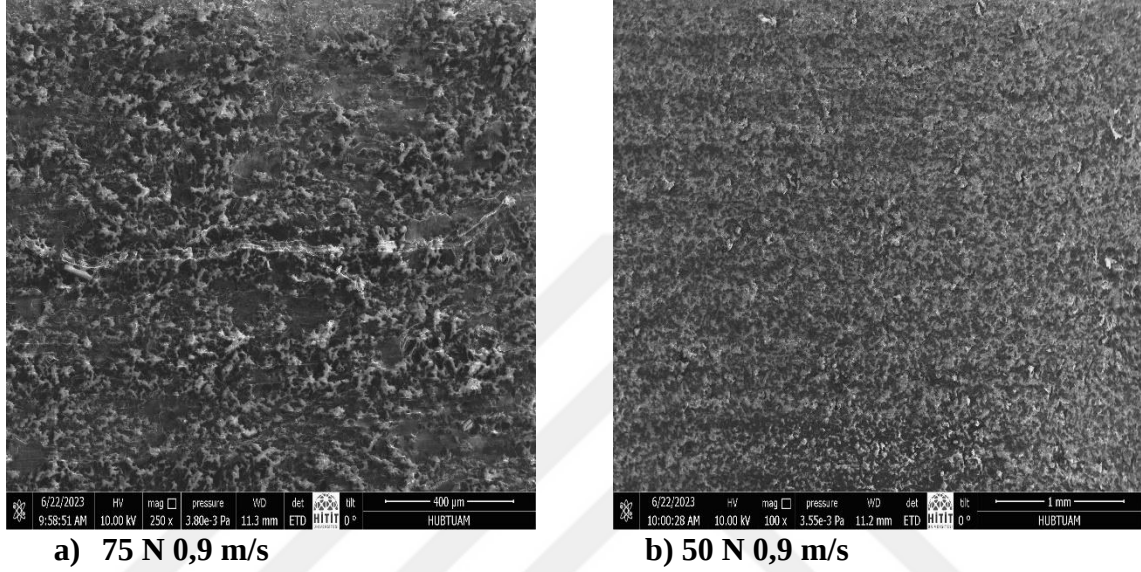
PTFE + % 25 cam elyafı numuneden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21. PTFE +% 25 Cam Elyaf numunenin 50 N 0,3 m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü

PTFE + % 25 Cam elyaflı yatak numunelerde de diğer numunelerde gerçekleşen pürüzlerde düzelme işlemi gözlenmiş, yükün artmasıyla aşınmadan dolayı cam elyaf yapının yatak numunesinden uzaklaştığı ilave olarak yük arttıkça numunelerin görüntülerinden adheziv aşınmanın izleri de tespit edilmiştir.

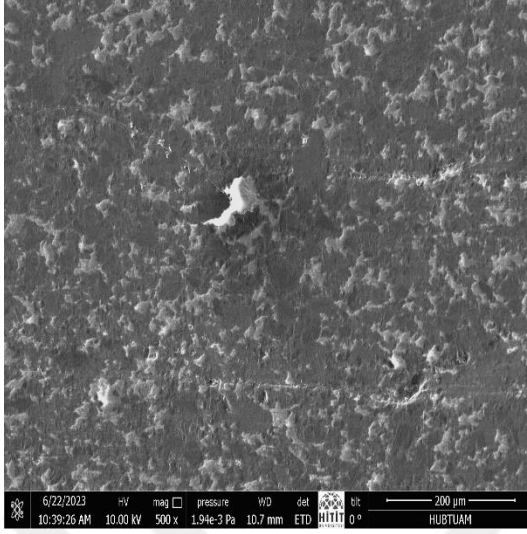
PTFE + %25 karbonlu numuneden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.22’de verilmiştir.



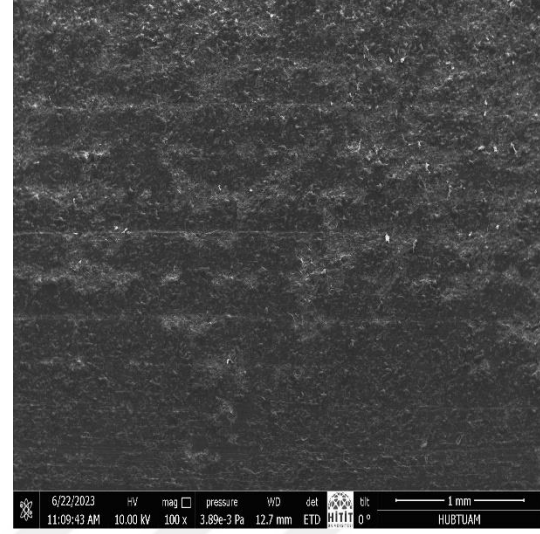
Şekil 4.22. PTFE + % 25 Karbonlu numunenin 75 N 0,9 m/s ve 50 N 0,9 m/s şartlardaki SEM görüntüsü

PTFE + % 25 Karbonlu yatak numunenin görüntüleri incelendiğinde, her iki numune de aşınmadan dolayı yer yer karbon malzemenin uzaklaştığı gözlenmiştir. Her iki yükte de adheziv yapıda aşınmalar gözlenmiş olup, yükün artmasıyla boydan boya bir abrazif aşınmanın gerçekleştiği tespit edilmiştir.

PTFE + %35 karbonlu numuneden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.23’te verilmiştir



a) 50 N 0,3 m/s

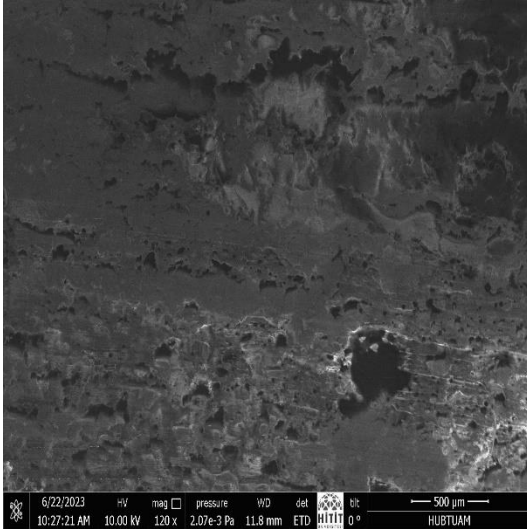


b) 25 N 0,3 m/s

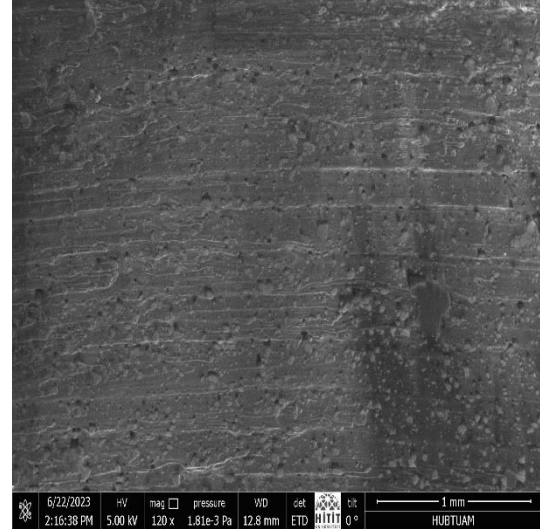
Şekil 4.23. PTFE+% 35 Karbonlu numunenin 50 N 0,3 m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü

PTFE + % 35 Karbonlu yatak numunelerinin görüntüleri incelendiğinde, her iki numune de aşınmadan dolayı yer yer malzemenin uzaklaştığı gözlenmiştir. Her iki yükte de adheziv yapıda aşınmalar gözlenmiş olup, yükün artmasıyla gerek yüzeyden uzaklaşan karbon miktarının gerekse de abrazif aşınma izlerinin daha fazla gerçekleştiği tespit edilmiştir.

PTFE + %40 bronzlu numuneden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.24'te verilmiştir



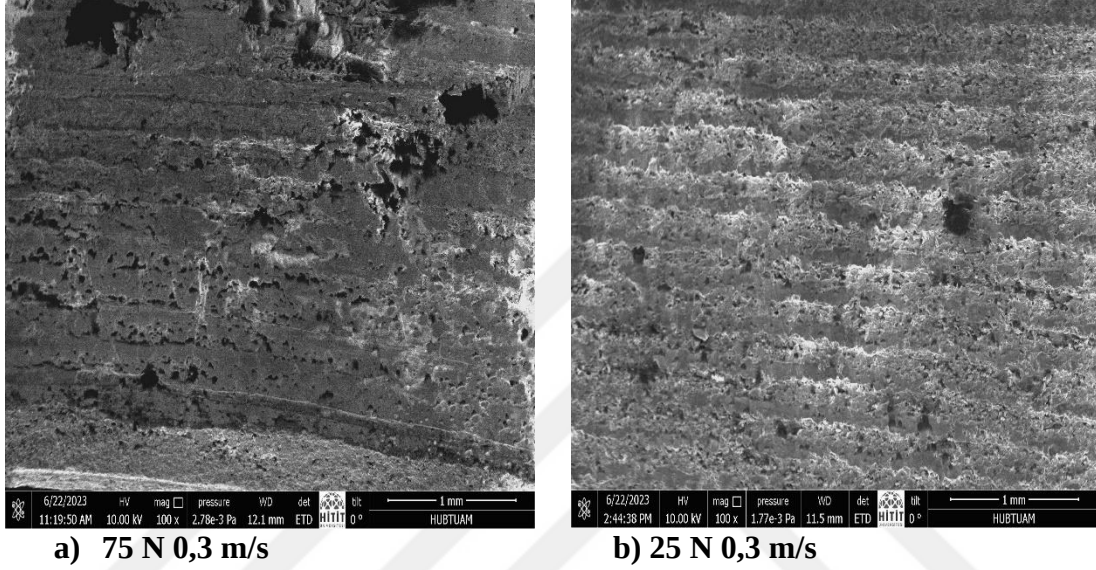
a) 75 N 0,3 m/s



b) 25 N 0,9 m/s

Şekil 4.24. PTFE+% 40 Bronzlu numunenin 75 N 0,3 m/s ve 25 N 0,9 m/s şartlardaki SEM görüntüsü

PTFE+%40 Bronzlu yatak numunelerinin görüntüleri incelendiğinde, özellikle 75 N yükte aşınmadan dolayı bronz malzemenin ana malzemeden koptuğu gözlenmiştir. Her iki yükte de adheziv yapıda aşınmalar gözlenmiş olup, yükün artmasıyla adheziv aşınmaların yüzeyde sayıca çoğaldığı ve büyüdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.25. PTFE+% 60 Bronzlu numunenin 75 N 0,3m/s ve 25 N 0,3 m/s şartlardaki SEM görüntüsü

PTFE+% 60 Bronzlu yatak numunelerinin görüntüleri incelendiğinde, özellikle 75 N yükte aşınmadan dolayı bronz yapının ana malzemeden uzaklaştığı gözlenmiştir. Her iki yükte de adheziv yapıda aşınmalar gözlenmiş olup, yükün artmasıyla adheziv aşınmalara ilave olarak yüzeyde abrazif aşınma tespit edilmiştir

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

PTFE ve alaşımlarından olmak üzere 7 tipte malzemeden, tasarlanan kaymalı yatak ölçülerinde numuneler tedarik edilmiş, her biri 3 farklı yük ve 3 farklı hızda olmak üzere her bir numune için 9 farklı deney toplamda 63 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı; kayma mesafesi, yük ve hızın, ilgili düzenekte test edilen numuneler üzerindeki tribolojik etkilerini incelemektir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre;

- Aynı yük değerinde, hız arttıkça, numunelerin sürtünme katsayıları da artmıştır.
- Yük arttıkça, numunelerin sürtünme katsayısında düşüşler tespit edilmiştir.
- Yük arttıkça, numunelerin deney süresince ulaştıkları maksimum sıcaklık değeri artmıştır.
- Katkı maddelerinin PTFE'nin mekanik özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Belirlenen deney şartlarından alınan verilere göre; cam elyaflı PTFE'ye en çok kazandırdığı özelliğin aşınma direnci olduğu tespit edilmiştir. Cam elyaflı numunelerin deney öncesi/sonrası ağırlık kayıplarında saf PTFE'ye göre aşınma oranını ort. 113 kat azalttığı tespit edilmiştir. İlave olarak aşınma direncini 178 kat artırdığı gözlenmiştir. En düşük aşınma verisi 50 N 0,3 m/s deney koşullarında PTFE + % 25 cam elyaflı numunede gözlenmiştir.
- Bronz katkısının deney şartlarından alınan verilere göre, saf PTFE'nin ortalama sürtünme katsayısı değerini % 10 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı 75 N yük altında ve 0,3 m/s hızda, PTFE + % 60 Bronzlu numunede ölçülmüştür.
- Karbon katkısının, deney şartlarından alınan verilere göre, saf PTFE'nin ısı iletkenliğini min. % 44 oranında yükselttiği gözlenmiştir. En fazla ısı ölçümü 75 N 0,3 m/s PTFE + % 35 Karbon malzemeli kaymalı yatak numunesinde ölçülmüştür.
- Aşınma miktarı en fazla 75 N yük ve 0,3 m/s hızda saf PTFE'den ölçülmüştür.
- Alaşımlı numunelerle yapılan deneylerden sonra, mil yüzeyinde alaşımı oluşturan katkıdan meydana gelen bir katman oluşmuştur. Deney şartlarındaki yüke ve süreye göre, literatürde yapılan çalışmalara paralel olarak, bu katmanın arttığı tespit edilmiştir.

- Deneylerin başlangıcında sürtünme katsayısı hızlı bir yükseliş gösterdikten sonra stabil hale gelmeye başlamıştır. Stabil hale gelemeyen deneylerde, bu değer sürekli yükselmiş, sağlıklı deney verileri alınamamış ve deneyler sonlandırılmıştır. Sonlandırılan deneyler tekrar edilmiştir. Tekrarlardan sonra kimi deneyler başarılı şekilde sonlandırılmış kimi numunelerin geometrik tolerans değerleri, kayma boşlukları, yüzeyleri vb nedenleri ile tekrar aynı sonuçları vermiştir.
- Yük ve mesafe arttıkça sıcaklık değerinin arttığı gözlenmiştir. Sıcaklık değerinin en az değişkenlik gösterdiği numuneler saf PTFE, Bronzlu numuneler olmuştur.
- SEM görüntüleri seçilen numuneler, deneyden önceki ile deneyden sonraki yüzey pürüzlülükleri arasında en çok en az fark olan iki numuneler seçilmiş ve buna göre; en fazla ağırlık kaybı yaşanan numune olan saf PTFE’de, yüzeyin pürüzlük değeri % 98 oranında değişmiş. Bu durumun tam tersi de, % 25 karbonlu alaşımda tespit edilmiştir.
- Deneylerde kullanılan milin yüzey pürüzlülük değeri deney öncesi 1,298 μm ölçülmüş, deneylerden sonra 1,406 μm olarak ölçülmüştür. Bunun nedeni olarak da deneyler sırasında milin yüzeyinde oluşan, yapışmış halde bulunan başta sürtünme katsayısı ve sıcaklık olmak üzere değerlerin stabil olmasını sağlayan, numuneden kaynaklı film tabakasının milin yüzeyinden temizlenmesi için bazı durumlarda kullanılan 3000’lik su zımparası kullanımı olduğu değerlendirilmiştir. Bu kullanımın temizlik amacıyla yapıldığından, bölgesel farklılık tespit edilmiş bundan dolayı ortalama değerler verilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Artun, Y.,2022, Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü; İstanbul
- Babalık, C. F., 2006, Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri, Nobel Yayınları, Ankara.
- Can, İ. (2005). Kurşun Esaslı Krank Mili Kaymalı Yatak Malzemesinin Aşınma Davranışı
- Cevahir, A., 2017, Yüksek Performanslı Elyaf Takviyeli Termoplastik Polimerler (Lft), Seminer Konuşması, 5. Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu Ve Çalıştayları, İzmir
- Conte M. ve Igartua, A., 2012 “Study of PTFE composites tribological behavior,” Wear, vol. 296, no. 1–2, pp. 568–574, Aug. 2012, doi: 10.1016/J.WEAR.2012.08.015
- Demet S M., 2013, Ptfе Alaşımlarından Yapılmış Perno Yataklarının Bozulma Davranışının Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Konya
- Demirci, M. T., 2009. Polimer esaslı kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya
- Desale, D.D. ve Pawar, H.B., 2018, Performance Analysis of Polytetrafluoroethylene as Journal Bearing Material. Procedia Manufacturing, 20, 414-419.
- Duman, M. S., 2002, Dinamik Yük Altında Çalışan Teflon – Bronz Tabakalı Kaymalı Yataklarda Gerilme Analizi ve Yüzey Yorulmasının İncelenmesi, Doktora Tezi,Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Feyzullah, E., Saffak, Z., 2008. The tribological behaviour of different engineering plastics under dry friction conditions. Materials and Design, 29:205 - 211.
- Fried, J.R. (2003). Polymer Science and Technology, Prentice Hall PTR, USA.
- İçli, S., I. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi, 17-19 Kasım, 2006, İzmir
- Kato, K., Adachi, K., 2000, Wear Mechanism, Modern Tribology Handbook, CRC Press, U.K..

- Karadere G., 2018. Grafit Ve Bronz Dolgulu Bir Ptfе Kaymalı Yatağın Kuru Sürtünme Özelliklerinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, doi: 10.17482/uumfd.420367
- Kaymaz, İ., 2015. Kaymalı Yataklar, Ders Notu, Erzurum Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum
- Malzeme Bilimi (2020). “Polimer Nedir? Polimer Çeşitleri Nelerdir? Nasıl elde edilir? Nerelerde Kullanılır?”, Erişim Adresi: <https://malzemebilimi.net/polimer-nedir-polimer-cesitleri-nelerdir.html>, Erişim Tarihi: 28.12.2020.
- Özsoy, N., 2015, Polimer Esaslı Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Tribolojik Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktor Tezi, Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği ABD, Sakarya
- Parlar Z., Samankan, S., Temiz, V., 2015. The Effect of Counter-face Roughness on the Tribological Behavior of Filled and Unfilled PTFE. Journal of Mechanics Engineering and Automation, 5(11). doi: 10.17265/2159-5275/2015.11.003.
- Polikim,2022. Efalon teknik değerler tablosu https://www.polikim.com.tr/images/uploads/4a2a3de41b3846418f60d898d6408824_efalon-teknik-degerler.pdf , 11.04.2022
- Sarı, A., 2015, Polimer yatak malzemelerin tribolojik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta
- Taylan, G.,2022, Polimer Esaslı Kuru Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü; İstanbul
- Taşkıran M., 2018. Karbon Elyaf, Ptfе Ve Yağ Katkılı Pa6 Polimer Kompozitlerinin Mekanik Ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniverstesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya
- Temiz, V., 1998, Çeşitli Katkılı ve Katkısız Polimer Yatakların Sürtünme ve Aşınma Karakteristiklerinin DeneySEL Tayini, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri
- Tevrüz, T., 1998, Tribological Behaviours Of Carbon Filled Polytetrafluororthylene (PTFE) Dry Journal Bearings. Wear 221,61 – 68.

- Tevrüz,T., 1998, Tribological behaviours of carbon filled polytetrafluoroethylene (PTFE) dry journal bearings. *Wear*. 221(1), 61–68. doi: 10.1016/S0043-1648(98)00258-0.
- Tevrüz, T., 1999, Tribological behaviours of bronze-filled polytetrafluoroethylene dry journal bearings. *Wear* 230 (1), 61–69. doi: 10.1016/S0043-1648(99)00091-5.

