



**T.C.**

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN POLİMER  
YATAKLARIN SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İBRAHİM EKİCİER**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Mithat ŞİMŞEK**

**TOKAT – 2023**

**Her hakkı saklıdır**

## TEŞEKKÜR

“Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilen Polimer Yatakların Sürtünme Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışmamda tezin her aşamasında beni yönlendiren ve destek olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mithat Şimşek’e ve her türlü fedakarlığı ve yardımı esirgemeyen değerli meslektaşım Makine Mühendisi Ersin Orak’a teşekkürlerimi sunarım.



**ÖZET**  
**EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN POLİMER YATAKLARIN**  
**SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ekicier, İbrahim  
Yüksek Lisans, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi. Mithat ŞİMŞEK  
Ağustos 2023, x + 77 sayfa

Yataklar türleri yapıları bakımından kaymalı, yuvarlanmalı ve kızaklı şeklinde uygulamada kullanılmaktadır. Bu yatak türlerinden kaymalı yataklar, yük taşıma oranının yüksek olması, sessiz çalışabilmesi, daha az yer kaplaması, ucuz maliyet gibi sebeplerle en çok tercih edilen yatak türüdür. Bu tez çalışmasında 3B yazıcı aracılığıyla PLA, PLA Plus, ABS, ABS Plus ve PETG filamentlerinden üretilen polimer kaymalı yatakların tasarımı ve aşınma, aşınmaya dayanıklılık, yüzey pürüzlülüğü vb. temel mühendislik malzemelerinde aranan özellikler ele alınmıştır. PLA, PLA Plus, ABS, ABS Plus ve PETG filamentlerinden üretilen kaymalı yataklar 0.3 m/s, 0.6 m/s ve 0.9 m/s hızında ve 25 N, 50 N ve 75 N yük altında, C45 mili tarafından aşınmaya maruz bırakılmıştır. Elde edilen veriler grafiklerle sunulmuştur. Bu tez çalışmasıyla filamentlerin kaymalı yatak malzemesi olarak kullanımını araştırılmıştır. Deney sonucunda filamentlerden üretilen kaymalı yatakların 0.3 m/s hız için uygun oldukları, 0.6 m/s hız için görece uygun oldukları ancak 0.9 m/s hız için uygun olmadıkları tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eklemeli İmalat, Polimer Yatak, Polimer Malzeme, 3B Yazıcı Filament

**ABSTRACT**  
**INVESTIGATION OF FRICTION PROPERTIES OF POLYMER BEARINGS  
PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING METHOD**

Ekicier, İbrahim

Master's Thesis, Department of Mechatronics Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mithat ŞİMŞEK

August 2023, x + 77 pages

In terms of general structure, bearings are widely used in practice in the form of plain bearings, beds with rolling elements and slides. Of these bed types, plain bearings are the most widely used bed group for reasons such as carrying large loads, silent operation, occupying less space, lower cost. In this thesis study, the design of polymer plain bearings produced from PLA, PLA Plus, ABS, ABS Plus and PETG filaments by 3D printer and the properties sought in basic engineering materials such as abrasion, abrasion resistance, surface roughness, etc. are discussed. Plain bearings made of PLA, PLA Plus, ABS, ABS Plus and PETG filaments were subjected to wear by the C45 shaft at speeds of 0.3 m/s, 0.6 m/s and 0.9 m/s and under loads of 25 N, 50 N and 75 N. The obtained data are presented with graphs. With this thesis study, the use of filaments as plain bearing material was investigated. As a result of the test, it was determined that plain bearings made of filaments were suitable for a speed of 0.3 m/s, relatively suitable for a speed of 0.6 m/s, but not for a speed of 0.9 m/s.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Polymer Bearing, Polymer Material, 3D Printer Filament

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
SİMGELER LİSTESİ .....	ix
KISALTMALAR LİSTESİ .....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	4
2.1. Termoplastik Malzemeler .....	9
2.1.1. Polietilen (PE).....	11
2.1.2. Poliamid (PA) .....	12
2.1.3. Polioksümetilen (POM).....	12
2.1.4. Polikarbonat (PC) .....	13
2.1.5. Polisitiren (PS).....	13
2.2. Üç Boyutlu Yazıcılarda Başlıca Kullanılan Malzemeler .....	14
2.2.1. Pla (Polilaktik Asit) .....	14
2.2.2. Abs (Akrilonitril Bütadien Stiren) .....	15
2.2.3. Pla plus (Pla +).....	16
2.2.4. Abs plus (Abs +).....	16
2.2.5. Petg (Polyethylene Terephthalate Glycol-Modified).....	17
2.3. Radyal Kaymalı Yataklar .....	18
2.4. Sürtünme .....	19
2.5. Aşınma ve Türleri .....	20
2.5.1. Adheziv aşınma.....	20

2.5.2.	Abrazif aşınma.....	20
2.5.3.	Korozif aşınma.....	20
2.5.4.	Yorulma Aşınması .....	21
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1.	Deney Düzenliğini Oluşturan Malzemeler .....	23
3.1.1.	Arduino .....	23
3.1.2.	Sıcaklık sensörü .....	24
3.1.3.	Hall efect sensör.....	25
3.1.4.	DC motor .....	25
3.1.5.	DC motor sürücüsü .....	26
3.1.6.	PC takip ekranı.....	27
3.2.	Deneye Hazırlık Aşaması.....	27
3.3.	Deney Numuneleri .....	29
3.4.	Deney Düzenliğinin Mantığı ve Sürtünme Katsayısının Hesaplanması .....	32
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1.	Sürtünme Katsayısı Değişimleri .....	33
4.2.	Sıcaklık Değişimleri.....	43
4.3.	Aşınma Miktarları .....	52
4.4.	Aşınma Oranları ve Dirençleri .....	57
4.5.	Yüzey Pürüzlülüğü.....	63
4.6.	Sem Görüntüleri .....	66
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
6.	KAYNAKLAR .....	73
ÖZGEÇMİŞ .....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>	

## TABLO LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 3.1 Filamentlerin deney için hesaplanan yatak boşluğu değerleri.....	29
Tablo 4.1 Pla filamentinin ağırlık değişimi .....	52
Tablo 4.2 Pla plus filamentinin ağırlık değişimi.....	53
Tablo 4.3 Abs filamentinin ağırlık değişimi.....	54
Tablo 4.4 Abs plus filamentinin ağırlık değişimi .....	55
Tablo 4.5 Petg filamentinin ağırlık değişimi .....	56
Tablo 4.6 Pla filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları .....	58
Tablo 4.7 Pla plus filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları .....	59
Tablo 4.8 Abs filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları.....	60
Tablo 4.9 Abs plus filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları .....	61
Tablo 4.10 Petg filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları .....	62
Tablo 4.11 Pla numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri .....	64
Tablo 4.12 Pla+ numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri.....	64
Tablo 4.13 Abs numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri.....	65
Tablo 4.14 Abs+ numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri.....	65
Tablo 4.15 Petg numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri .....	66

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 1.1 3D Printer .....	1
Şekil 1.2 3D baskı aşamaları.....	2
Şekil 1.3. Malzeme tasarımından üretim aşamalarına işlem sırası.....	3
Şekil 2.1 Termoplastik örneği.....	10
Şekil 2.2 Termoplastiklerden üretilen örnekler .....	10
Şekil 2.3 Polietilen.....	11
Şekil 2.4 Poliamid.....	12
Şekil 2.5 Polioksümetilen .....	12
Şekil 2.6 Polikarbonat.....	13
Şekil 2.7 Polisitiren.....	13
Şekil 2.8 Pla filamenti.....	14
Şekil 2.9 Abs filamenti .....	15
Şekil 2.10 Pla ve abs filamentinden üretilmiş örnekler .....	16
Şekil 2.11 Petg filamentinden örnekler.....	17
Şekil 2.12 Yatak tipleri .....	18
Şekil 2.13 Stribeck eğrisi .....	19
Şekil 2.14 Aşınma türleri .....	21
Şekil 3.1 Deney düzeneği solidworks çizimi.....	22
Şekil 3.2 Deney düzeneği .....	23
Şekil 3.3 Arduino uno kart.....	24
Şekil 3.4 MAX6675 K -Tipi sıcaklık sensörü .....	24
Şekil 3.5 NJK-5002C-NPN hall efect sensör.....	25
Şekil 3.6 DC motor .....	26
Şekil 3.7 DC motor sürücüsü.....	26
Şekil 3.8 PC takip ekranı .....	27
Şekil 3.9 Milin temizlenmesi .....	27
Şekil 3.10 Hassas terazi ve ölçümü .....	28
Şekil 3.11 3D yazıcı ve üretilmiş numune.....	30
Şekil 3.12 Deney numuneleri.....	31

Şekil 3.13 Numunelere ait teknik resim görüntüsü.....	31
Şekil 3.14 Deney düzeneğinin şematik mantığı.....	32
Şekil 4.1 0.3 m/s ve 25 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	33
Şekil 4.2 0.3 m/s ve 50 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	34
Şekil 4.3 0.3 m/s ve 75 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	35
Şekil 4.4 0.6 m/s ve 25 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	36
Şekil 4.5 0.6 m/s ve 50 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	37
Şekil 4.6 0.6 m/s ve 75 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	38
Şekil 4.7 0.9 m/s ve 25 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	39
Şekil 4.8 0.9 m/s ve 50 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	40
Şekil 4.9 0.9 m/s ve 75 N yükte sürtünme katsayısı değişimi .....	41
Şekil 4.10 0.9 m/s hızda yapılan deneylerde pla+ filamentinin deformasyon görüntüsü42	
Şekil 4.11 0.9 m/s hızda yapılan deneylerde petg filamentinin deformasyon görüntüsü42	
Şekil 4.12 0.3 m/s ve 25 N yükte sıcaklık değişimi.....	43
Şekil 4.13 0.3 m/s ve 50 N yükte sıcaklık değişimi.....	44
Şekil 4.14 0.3 m/s ve 75 N yükte sıcaklık değişimi.....	45
Şekil 4.15 0.6 m/s ve 25 N yükte sıcaklık değişimi.....	46
Şekil 4.16 0.6 m/s ve 50 N yükte sıcaklık değişimi.....	47
Şekil 4.17 0.6 m/s ve 75 N yükte sıcaklık değişimi.....	48
Şekil 4.18 0.9 m/s ve 25 N yükte sıcaklık değişimi.....	49
Şekil 4.19 0.9 m/s ve 50 N yükte sıcaklık değişimi.....	50
Şekil 4.20 0.9 m/s ve 75 N yükte sıcaklık değişimi.....	51
Şekil 4.21 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı .....	63
Şekil 4.22 SEM cihazı .....	66
Şekil 4.23 Pla numunesinden alınan 0.3 m/s 25 N ve 0.3 m/s 50 N deneylerindeki SEM görüntüsü .....	67
Şekil 4.24 Pla+ numunesinden alınan 0.3 m/s 50 N ve 0.9 m/s 75 N deneylerindeki SEM görüntüsü .....	68
Şekil 4.25 Abs numunesinden alınan 0.6 m/s 25 N ve 0.9 m/s 50 N deneylerindeki SEM görüntüsü .....	69
Şekil 4.26 Pla+ numunesinden alınan 0.6 m/s 50 N ve 0.6 m/s 75 N deneylerindeki SEM görüntüsü .....	70
Şekil 4.27 Petg numunesinden alınan 0.3 m/s 75 N ve 0.9 m/s 25 N deneylerindeki SEM görüntüsü .....	71

## SİMGELER LİSTESİ

Simge	Açıklama
F	Yük
$F_n$	Normal Yük
$F_s$	Sürtünme Kuvveti
$\mu$	Sürtünme Katsayısı
$F_n$	Normal Kuvvet
l	Yatak boşluğu
$l_{min}$	Minimum yatak boşluğu
$\Delta l$	Yatak Boşluğu Azalma Miktarı
s	Yatak Kalınlığı
d	Yatak Çapı
$\alpha$	Isıl Genleşme Katsayısı
$\epsilon_f$	Nemle Genleşme Katsayısı
$\Delta t$	Yatak Yüzeyi ile Dış Ortam Arasındaki Sıcaklık
W	Aşınma Miktarı
T	Sıcaklık
$W_a$	Aşınma miktarı
P	Yoğunluk
$\Delta m$	Ağırlık Kaybı Farkı

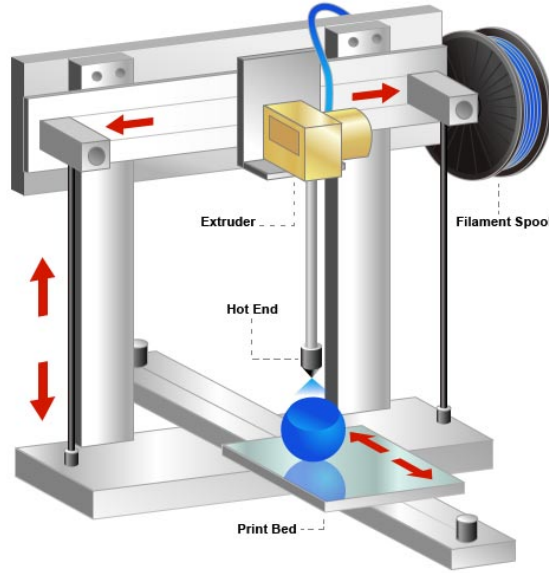
## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
ABS PLUS	Akrilonitril Bütadien Stiren Plus
PLA	Polilaktik Asit
PLA PLUS	Polilaktik Asit Plus
PETG	PoliEtilen Tereftalat Glikolle değişmiş
PA	Poliamid
PTFE	Politetrafloroetilen
UHMWPE	Ultra Yüksek Moleküler Yoğunluklu Polietilen
PHB	Polihidroksibütirat

## 1. GİRİŞ

Bilgisayar ortamında tasarlanmış 3 boyutlu nesnelere katı formda somut nesnelere dönüştüren makinelere 3 boyutlu yazıcı denir. 3D baskı teknolojisi ile gereksinim duyduğunuz bir aparat basabilir, 3D tarayıcı ile taradığınız bir cismin çıktısını alabilir, çizdiğiniz bir tasarımı prototip haline getirebilir, hatta kendi ürününüzü oluşturabilirsiniz. Kısacası 3 boyutlu yazıcılar ile dilediğiniz her şeyi basabilirsiniz (Semiz, 2019).

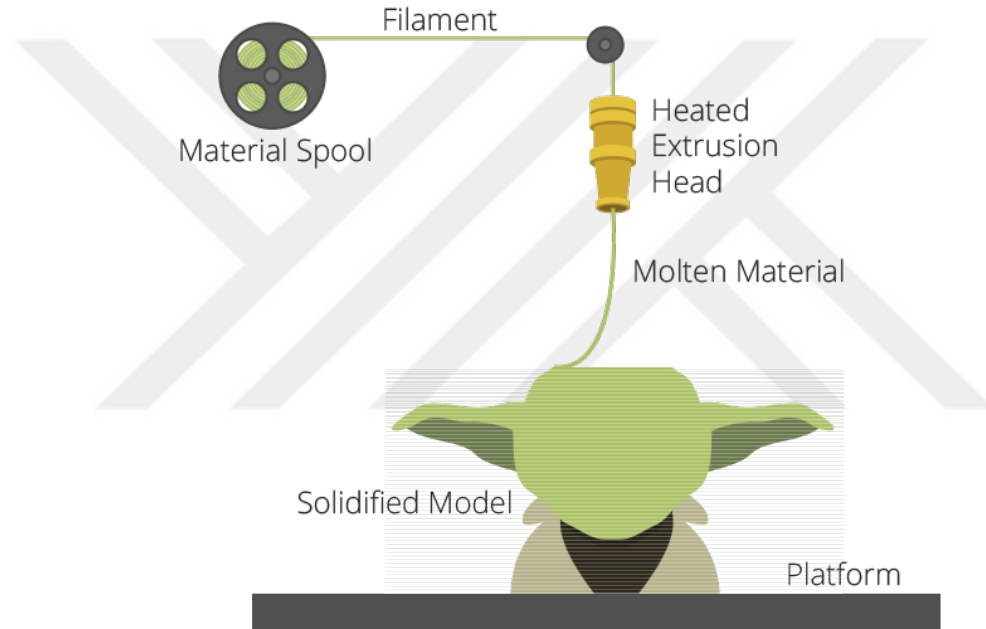
İlk 3D yazıcı teknolojisi Charless Hull tarafından 1984 yılında ortaya çıkmıştır. 1986 yılında 3D Systems adlı ilk 3D yazıcı şirketinin kurulmasıyla yeni bir sektör doğmuştur. 90'lı yıllarda bu teknoloji hızla ilerlemiş, Amerika'da ilk renkli baskı elde edilmiştir. 2005 yılında başlayan ve 2007 yılında ilk açık kaynak kodlu, kendi parçalarını dahil üretebilen yazıcıları çıkaran RepRap projesi ile 3D yazıcılar evlerimize kadar ulaşmıştır. Bu girişimin amacı maliyeti azaltarak kullanımı yaygınlaştırmaktır. Günümüzde ne kadar büyük bir başarıya ulaştığını görebilmekteyiz (Semiz, 2019). Şekil 1.1'de 3D printer ve gereçleri verilmiştir.



Şekil 1.1 3D Printer

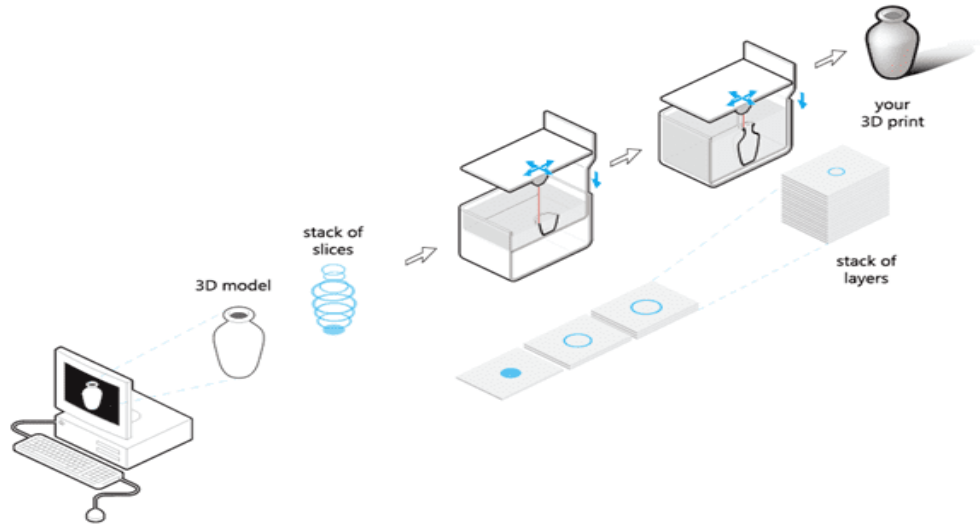
Baskı işlemine başlamadan önce yazıcının ucunda ‘nozzle’ diye adlandırılan kafa bölgesinin belirli bir sıcaklığa ulaşması gerekmektedir. Çünkü 3D baskı işlemi eriyen filamentin katman katman ve üst üste serilmesiyle gerçekleşir (Semiz, 2019).

Filamentin düzgün bir şekilde yayılabilmesi için de kafa noktasından çıkartken yüksek sıcaklıkta erimesi gerekir. Kafa noktasından eriyerek çıkan filament yüzeyde yayılır yayılmaz donar ve katı formuna geçer. Tüm katmanlar tamamlandıktan sonra model tamamen katı formda hazır hale gelir (Semiz, 2019). Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2 3D baskı aşamaları

3D Printer, bilgisayar ortamında tasarlanan üç boyutlu tasarımları bir veya birden fazla filament kullanarak üretmek için kullanılmaktadır. 3D çizim programları ile hazırlanan tasarımlar, yazıcının baskı yapabilmesi için “.stl” uzantısına çevrildikten sonra, istenen malzemeyi katmanlı üretim yöntemiyle oluşturmaktadır. Bir çok yönden kolaylık sağlayan bu cihazlar hayatımızda önemli yer tutmaktadır Şekil 1.3’te 3B yazıcıda üretimin aşamaları verilmiştir (Kalender, 2017).



Şekil 1.3. Malzeme tasarımından üretim aşamalarına işlem sırası

3B yazıcıların kullanım alanlarının artması, polimer kaymalı yatak malzemelerinin de bu yazıcılar aracılığıyla üretilebilmesi ve farklı özelliklere sahip olması önem arz etmektedir. 3B yazıcıların günümüzde hemen hemen tüm alanlarda uygulanabilmesi, bu alanlarda bilinen üretim malzemelerinin yerlerini, doğada çözünebilir, hafif, daha az maliyetli ve daha kolay üretilebilir parçalara bırakmaya başlamıştır.

Günümüzde polimer yatak malzemeleri, yüksek aşınma dayanımı, yağlamaya ihtiyaç duyulmaması, daha ergonomik ve ekonomik olması gibi özelliklerinden dolayı birçok metal malzemenin yerini almaktadır.

Bu tez çalışmasında ABS, ABS+, PLA, PLA+ ve PETG filamentlerden üretilen 5 çeşit malzemeden kaymalı yatak numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin tribolojik özelliklerini ölçmek üzere bir adet kaymalı yatak düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenekte 5000 m kayma mesafesi için 3 farklı yük ve 3 farklı hız için deney şartları hazırlanmıştır. Literatürdeki deneyler incelenerek farklı bir çalışma yapılmaya çalışılmış ayrıca malzemeleri daha zorlu şartlarda testlerinin yapılması için çalışılmıştır. Buna göre malzemeler 25 N, 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. Her bir deneyden 3 tekrar yapılarak ortalama değerleri alınmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Polimer malzemelerden yapılan kaymalı yataklar konusunda literatür çalışmaları araştırılmış ve aşağıda özetlenmiştir.

Pürçek (1994), değişik kimyasal bileşimlere sahip, üçlü çinko-alüminyum-bakır, dördü çinko-alüminyum-bakır-silisyum ve ticari ZA-27 alaşımlarının üretmiş ve bu malzemelerin aşınma davranışlarını incelemiştir. Çalışmaları sonucunda çinko-alüminyum esaslı alaşımların, birçok geleneksel yatak malzemesine göre üstün özellikleri olduğunu gözlemlemiştir.

Yelgin (2003), karbonlu Teflon yatak zarf malzemesinin sıcaklık ve aşınma değerleri belirleyebilmek için deneyler yapmıştır. Deneysel çalışmalarını 4 farklı hız kademesinde ve 5 farklı yük değerinde gerçekleştirmiştir. Sabit yük altında yapılan deney çalışmalarında, milin hızının artmasına bağlı olarak zarf sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. PTFE (Politetrafloroetilen) esaslı malzemelerin ısı iletkenliğinin zayıf olmasından dolayı, hidrodinamik şartlarda çalışmaya uygun olmadığını, Hidrostatik çalışma içinse yağlayıcı akışkan kullanılması sonucunda uygun olacağı sonucunu elde etmiştir.

Can (2005), tez çalışmasında, geleneksel krank miline, Pb-Sn-Cu-ZrO içerikli yatak malzemesini toz püskürtme yöntemi kullanılarak kaplamış ve alternatif bir krank mili ana yatak malzemesi geliştirmeyi hedeflemiş ve bu malzemenin aşınma davranışı deneysel olarak incelemiştir. Deney düzenliğini 500 saat çalıştırmış, bu süreden sonra yeni içeriğe sahip yatağı ve orijinal yatağı sökerek tartı yöntemi ile ağırlık kayıplarını hesaplamıştır. Yaptığı çalışmanın sonucuna göre, yeni içeriğe sahip yatağın orijinal yatağa göre aşınmaya karşı daha dirençli olduğu neticesini elde etmiştir.

Demirci (2009), PA (poliamid) 66, PA 6.6, PA 66 + %18 PTFE, PA 66 + %25 PTFE + %20 Cam elyaf, PA 66 + %25 Cam elyaf + %3 MoS<sub>2</sub>, PA6.6 + %30 Cam elyaf, polimer yatak malzemelerini, 3 farklı hızda ve 4 farklı basınç altında 1000 m kayma mesafesinde test ederek aşınma davranışlarını incelemiştir ve sonuçları grafiklerle desteklemiştir. Tüm

numunelerin farklı çalışma şartlarında birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri olduğunu gözlemlemiştir. Hız artmasıyla ve sürtünme katsayısında doğrusal bir artış olduğunu gözlemlemiştir.

Sarı (2015), Kestamid HS, Kestamid, Kestlub, Kestoil, Ulpolen 1000 Ultra Yüksek Moleküler Yoğunluklu Polietilen (UHMWPE) malzemelerinden üretilen kaymalı yatak numunelerini 3 farklı yük, hız ve sürede test etmiş, elde ettiği verileri grafik olarak sunmuştur. Deneyler sonuçlarına göre hızın artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısında artış görmüştür. Buna göre; en düşük sürtünme katsayısı düşük olan Kestoil olmuştur. SEM görüntülerinde ise en fazla deformasyona uğrayan numune Ulpolen 1000 olmuştur.

Güngör (2016), yaptığı çalışmada bilinen burç malzemelerinden farklı olarak tribolojik özellikleri daha yüksek bir kaymalı yatak malzemesi üretmeyi hedeflemiştir. Çalışmasında sinterlenmiş gözenekli yapıya sahip bronz esaslı kaymalı yatakların gözeneklerine polimer malzeme kaplanarak, polimer kullanımının tribolojik özelliklere ne gibi sonuçlar katacağını araştırmıştır. Bronz yatak ana malzemesi (matris), 100-200 µm tane boyutlarına sahip CuSn11 alaşım tozu kullanılarak T/M yöntemiyle üretilmiştir. Bu malzemelerin gözeneklerine spreyle kaplama yöntemiyle PTFE, PTFE + %10 Grafit, PTFE + %20 Grafit katkılı polimer olmak üzere üç farklı malzeme emdirmiştir. Deneylerinde numuneleri 0,5, 1, 1,5 m/s hızlarında; 30, 50, 70 N ağırlığında ve 4500 – 9000 – 13500 m kayma mesafesinde aşınmaya maruz bırakmıştır. Elde ettiği sonuçlarda grafit kaplı polimerlerin saf PTFE malzemesine göre daha verimli olduğunu gözlemlemiştir.

Yıldız (2016), yaptığı tez çalışmasında, grafit ile kaplanan kaymalı yatakların tribolojik özelliklerini araştırmıştır. Çalışmasını otomotiv alanında kullanılan biyel kolunda uygulayarak sürtünmeden kaynaklı kayıpları en aza indirmeyi amaçlamıştır. Grafiti uygulayabilmek için kimyasal buhar biriktirme yöntemini kullanmıştır. Deneylerinde pim-disk aşınma yöntemini tercih etmiştir. Deneylerde ise 10, 15 ve 30N yük uygulamış, aşındırıcı malzemeyi 2,8 m/s hıza sabitlemiş, her bir yük için 252 - 336 – 700 m kayma mesafesi uygulamıştır. Aşındırıcı malzeme olarak AISI 52100 çeliğini tercih etmiştir.

Deney sonucunda ise grafenin kaymalı yataklara uygulanmasının tribolojik olarak faydalı sonuçlar doğurduğunu gözlemlemiştir.

Coşkun (2019), 3D yazıcıda üretilen ASTM D638-Type 4 kodlu çekme numunesinin, sıcaklık ve bekleme süresi değişkenleri uygulanarak yük dayanımının artırılıp artırılamayacağı 9 farklı deney yapılarak araştırılmıştır. Bütün numuneleri 30, 60, 90 dakikada bekletmiş, 1., 2. ve 3. numunede sıcaklık 100 °C’de sabit tutulmuş, 4., 5. ve 6. numuneleri 150°C altında bekletilmiş ve son üç numune 200°C sıcaklıkta deneyler tamamlanmıştır. Son üç deney numunesi yüksek sıcaklığa dayanamamıştır, bu yüzden çekme testi 6 numaralı numunede tamamlamıştır.

Taylan (2021), yaptığı çalışmada Ultra Yüksek Moleküler Yoğunluklu Polietilen (UHMWPE) ve Polioksümetilen (POM) üretilen kuru kaymalı yatakların, farklı çalışma senaryolarındaki tribolojik performansları incelemiştir. Bu bağlamda, UHMWPE ve POM malzemeden numuneler hazırlamış ve bunların sürtünme, aşınma ve sıcaklık gibi parametreleri deneysel olarak test etmiştir. Deneylerden sonra tüm numunelerin tribolojik ve fiziksel özellikleri yeniden ölçülerek, numunelerin hem deney öncesi durumlarıyla hem de birbirleri ile karşılaştırmıştır.

Şahin (2021), 3D yazıcılarda sıkça kullanılan PLA (Polilaktik asit) ve kompozit filamentlerin bazı çevresel şartlara tepkilerini incelenmiştir. Filament olarak PLA, PLA/Grafit ve PLA/polihidroksibütirat (PHB) kompozit filamentler kullanılmıştır. Çevresel şartlar olarak 25 °C su ve %80 bağıl nemli ortam seçilmiştir; 5, 10, 15, 20 gün süre boyunca bu ortamlarda bekletilmiş, daha sonra bu filamentlerden standart kemik numuneler basılmıştır. Yapılan deneylerde bu şartlara maruz kalmış filamentlerin baskı kalitesi ve çekme mukavemeti açısından, PLA, PLA/Grafit kompozit filamentlerinde azalma, PLA/PHB kompozit filamentinde ise artma görülmüştür.

Artun (2022), yaptığı çalışmada, farklı katkı oranlarına sahip PTFE esaslı kaymalı yatakların tasarlanmasını hedeflemiştir. Çalışmasının amacı, sürtünme katsayısı düşük ve aşınma dayanımı zayıf olan saf PTFE kaymalı yatakların aşınma ve sıcaklık dayanımı gibi mekanik özelliklerini yükselterek daha uzun ömürlü yataklar geliştirebilmeyi

amaçlamıştır. Bu amaçla, sırasıyla saf PTFE, PTFE+%25Karbon, PTFE+%25Karbon+%5MoS2 malzemeler ile yatak numuneleri hazırlanmış, bunların tribolojik özellikleri farklı yük ve hız senaryolarına göre test etmiş ve tribolojik performanslarını sürtünme katsayısı, ağırlık kaybı, yüzey pürüzlülüğü bakımından değerlendirmiş ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak aşınmalar analiz etmiştir.

Koç (2022), hatalı üretimler sonrası oluşan atık filament parçalarının geri dönüşümüyle tekrar üretilen filamentlerle ilgili araştırmalar yapmış ve çekme, izod ve üç nokta ile eğme testleri uygulamıştır. Çalışmada filament türü olarak PLA ve Re-PLA filament kullanılmış olup, üretim yöntemi olarak FDM ve baskı doluluk oranı %30, %50 ve %70; doldurma şekli ise Çizgi Kafes ve Bal Peteği belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre PLA'nın çekme dayanımı, Re-PLA'ya daha yüksek olmuştur. Yapılan test sonuçlarına göre, en yüksek dayanım değeri PLA'da %70 doluluk oranında Çizgi Kafes numunesinde, en düşük sonuçlar ise %30 doluluk oranında Bal Peteği numunesinde tespit edilmiştir.

Özer (2022), PLA filamentin kullanım alanının belirginleşmesini sağlamak, PLA Filamentler için belli bir standartın geliştirilmesine katkı sunmak ve PLA filament kullanıcılarının içerik sorgulaması konusunda bilinçlenmesini ve farkındalık oluşturulmasını sağlamak amacıyla bu çalışmada, ticarileşmiş on farklı markaya ait PLA filamentler ile üretilen malzemelerin kimyasal ve mekanik özellikleri incelemiştir. Deneysel çalışmalar olarak numunelere çekme, eğme, darbe testi, sertlik ölçümleri ve XRD analizleri yapılmıştır. XRD analizi ile kimyasal içeriği tespit edilen numunelerden polimer karışımları içeren markaların, tüm mekanik değerlerinin ortalamasının altında olduğu belirlenmiştir. Yapıda bulunan yüksek kalsit katkısının ise çekme dayanımını ve sertlik değerlerini olumsuz etkilediği, baryum sülfat katkısının ise mekanik özelliklere etkisinin olmadığı görülmüştür.

Şirahane (2022), tez çalışmasında otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Etial 177, Etial 140, Etial 171 Eti standartlı alüminyum alaşımlı numuneler kullanarak kendisinin tasarladığı aşınma sürtünme test analizöründe testler uygulamıştır. Deneyleri

2 farklı yükte ve 2 farklı devirde uygulamıştır. Elde ettiği sonuçlara göre aşınma ve sürtünme değerlerinin, yük, sıcaklık, hız, viskozite, kullanılan malzemelerin alaşımları gibi değişkenlerle doğrudan ilişkisi olduğu sonucuna gözlemlemiştir.

Yazıcı (2022), yaptığı tez çalışmasında 3 boyutlu eklemeli üretim yöntemini kullanarak, farklı farklı yönlemlerle üretilen 316L paslanmaz çelik malzemelerine 3 farklı yüksek sıcaklıkta 4 saat süre boyunca plazma nitrürleme işlemi uyguladıktan sonra elektrokimyasal, tribolojik, mekanik ve fiziksel alandaki özelliklerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda, 316L paslanmaz çelik tozuna, seçici lazer ergitme (SLE) yöntemini kullanarak farklı yönlere sahip numuneler üretmeyi amaçlamıştır. Çalışmaları sonucunda, SLE üretim yöntemi kullanılarak düşük üretim açılarında üretilen numunelerin çalışma yaptığı konularda daha iyi özellik sergilediğini gözlemlemiştir.

Aydınlı (2023), eriyik biriktirme modelleme tekniği kullanılarak PLA filament malzeme ile çelik metal tozları ile katkılandırılmış PLA filament malzeme, mekanik ve fiziksel özellikler açısından karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda çelik tozu katkısı ile PLA malzemenin darbe dayanımı değerinde yaklaşık %55, çekme dayanımı değerinde ise yaklaşık %50'lik bir düşüş olmuştur. Çelik tozu katkısıyla PLA malzemenin termal iletkenlik değeri yaklaşık olarak %100 oranında artmıştır.

## 2.1. Termoplastik Malzemeler

3D Yazıcıda kullanılan maddelere filament denilmektedir. Filamentler tanım olarak 3D yazıcıların baskı işlemi yapabilmek için kullandığı termoplastik hammaddedir. Filamentleri anlayabilmek için termoplastik malzemeleri tanımak gerekmektedir.

Termoplastikler, ısıtıldığında homojen bir sıvı haline gelen ve soğutulduğunda sertleşen polimer reçinelerinden üretilen bir plastik türüdür (Anonim, 2018).

İlk termoplastik olarak kabul edilen selüloit ilk olarak 1800'lerin ortasında kullanılmış ve 100 yıl içerisinde endüstriye hükmetmeye başlamıştır. Üretiminin zirve yaptığı zamanlarda fil dişinin yerini alabilecek bir malzeme olarak kullanılmıştır. Günümüzdeyse gitar penalarında kullanılmaktadır (Anonim, 2018).

Termoplastiklerin bilinen genel özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Çekme dayanımları düşüktür.
- Sertlikleri yüksektir.
- Oda sıcaklığında bile basınç altında şekil değiştirebilirler (Talın, 2019).

Termoplastiklerin fiziksel özellikleri ise;

- Termoplastiklerin yoğunlukları metaller ve diğer malzemelere göre düşüktürler.
- Termal uzama katsayıları çok yüksektir.
- İşlenebilirliği yüksektir. Metallere göre daha düşük kuvvetlerle şekil değiştirilebilir.
- Farklı olan atom yapıları sayesinde korozyon dirençleri metallerden daha yüksektirler.
- Isı ve elektrik iletkenlik oldukça düşük olduğu gözükmektedir (Talın, 2019).

Şekil 2.1'de termoplastik örneği verilmiştir (Portillo, 2022).



Şekil 2.1 Termoplastik örneği

Termoplastikler, semikristaller ve amorf olmak üzere ikiye ayrılırlar. En çok tercih edilen termoplastik malzemelerin bazıları aşağıda verilmiştir (Talın, 2019).

Semikristaller grubu;

- Polietilen (PE)
- Poliamid (PA)
- Polioksimetilen (POM)

Amorf grubu:

- Polikarbonat (PC)
- Polistiren (PS)
- Polivinil Klorür (PVC)'dür.

Şekil 2.2'de termoplastiklerden üretilen ürünler verilmiştir (Anonim, 2021c).



Şekil 2.2 Termoplastiklerden üretilen örnekler

### 2.1.1. Polietilen (PE)

1899'da Alman kimyager Hans von Pechmann tarafından sentezlenen Polietilen, endüstriyel olarak ilk kez 1933'de bir kaza sonucunda keşfedilmiştir (Anonim, 2020a). En çok tercih edilen ve en düşük maliyetli plastik türüdür.

Polimerler arasında birkaç temel türün varlığından söz etmek gerekir. Bu türler genel anlamda, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) ve Düşük Yoğunluklu Polietilenden (LDPE) şeklinde düşünülebilir (Anonim, 2021a).

Bu iki tür arasında Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) türü daha kristalimsi bir görünüme sahiptir. Bu özelliği nedeniyle de Düşük Yoğunluklu Polietilenden (LDPE) daha farklı koşulları vardır. Örneğin, düşük yoğunluklu polietilen olan LDPE genellikle sünger, market poşetleri ya da plastik ambalajlarda tercih edilir. Yüksek yoğunluklu polietilen olan HDPE ise LDPE'nin aksine, ağırlıklı olarak inşaat sektöründe kullanılır (Anonim, 2021a).

Genellikle gündelik paket işlerinde ve daha çok ev araç gereçlerinde kullanılmaktadır (Talın, 2019). Şekil 2.3'te Polietilen görüntüsü verilmiştir (Anonim, 2020a).



Şekil 2.3 Polietilen

### 2.1.2. Poliamid (PA)

Mühendislik plastiklerinden olan polyamid halk dilinde naylon olarak da bilinmektedir. Sert bir plastik olan bu plastik çeşidi aşınmaya ve bükülmeye karşı dayanıklı bir plastik çeşididir (Anonim, 2022). Şekil 2.4'te Poliamid görüntüsü verilmiştir (Anonim, 2022).



Şekil 2.4 Poliamid

### 2.1.3. Polioksümetilen (POM)

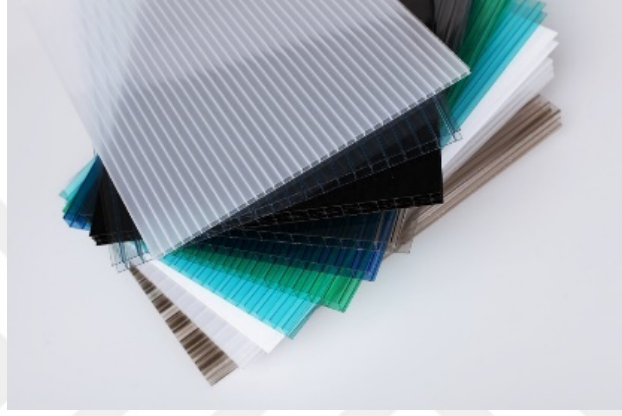
Mekanik ve darbe dayanımına ve kimyasal dayanıklılığa yüksek oranda sahip olduğu bilinmektedir. Kendinden yağlama özelliğine ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Bükülmesi ve deforme olması zordur (Talın, 2019). Daha çok makine elemanları ve hassas parçaların yapımında kullanılmaktadır. Şekil 2.5'te Polioksümetilen görüntüsü verilmiştir (Talın, 2019).



Şekil 2.5 Polioksümetilen

#### 2.1.4. Polikarbonat (PC)

Yüksek dayanıklılığı ve tokluğa sahiptir. Daha çok ağır sanayide tercih edilen parçaların üretiminde ve kırılmaz cam, araba farları ve hafif gözlük camlarının yapımında kullanılmaktadır (Talın, 2019, Anonim, 2021b). Şekil 2.6'da Polikarbonat görüntüsü verilmiştir (Talın, 2019).



Şekil 2.6 Polikarbonat

#### 2.1.5. Polistiren (PS)

Saydam bir yapıya sahiptir ve kokusuzdur. Çevresel ve kimyasal etkilere karşı yeterli dirence sahip değildir. Daha çok elektriksel alanlarda kullanılmaktadır (Talın, 2019). Şekil 2.7'de Polistiren görüntüsü verilmiştir (Talın, 2019).



Şekil 2.7 Polistiren

## 2.2. Üç Boyutlu Yazıcılarda Başlıca Kullanılan Malzemeler

İhtiyaçlarımız için kullanabileceğimiz 3D filamentleri arasında genel olarak ABS, PLA, PETG, türü filamentler kullanılmaktadır. Bunlara ilaveten özel tür denilen filamentler ise farklı üretim alanlarında farklı amaçlarla kullanılmaktadırlar. Bu tür özel filamentler arasında bakır, karbon fiber ve PVA filamentler bulunmaktadır (Anonim,2019).

### 2.2.1. Pla (Polilaktik Asit)

PLA, çevreye zararları olmayan bir biyoplastik olup ve tamamen organik kaynaklardan üretilen bir filamenttir. Sertlik ve dayanıklılık açısından ABS filamentine benzerdir ancak erime sıcaklığı açısından PLA filamenti, ABS filamentine göre daha düşük sıcaklıklarda erime noktasına ulaşır. Standart bir PLA filamenti şeffaf ve parlaktır. Bu filamentle yapılan tasarımlar parlak görüldüğünden dolayı görselliğe önem veren tasarımcıların sıkça kullandığı bir filamenttir (Semiz, 2019).

PLA, organik kaynaklardan üretilen filament sınıfı adlandırılmaktadır ve Şekil 2.8’de belirtilmiştir (Anonim, 2019). PLA, filament türleri içinde en gözde olanıdır ve günlük hayatımızda evde üretim yapanların en çok kullandığı filamentlerdendir. PLA filamentinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir (Semiz, 2019).

- Kolaylık açısından ABS filamentine göre avantajlıdır.
- Sert yapısından dolayı dayanıklıdır ve darbe direnci fazladır.
- Aseton ile ayrıştırılması kolay değildir.
- Soğumaya bırakıldığında deformasyon sorunları ile karşılaşılmaz (Anonim, 2019).



Şekil 2.8 Pla filamenti

### 2.2.2. Abs (Akrilonitril Bütadien Stiren)

Polibütadien dahilinde akrilonitril ve stirenden elde edilen amorf yapılı bir filamenttir. Bu filamentin başlıca karakteri darbe direncinin yüksek olmasıdır. Bu özelliğinden dolayı ürün daha dayanıklıdır. Bu filamentin sert ve dirençli olmasının sebebi içinde barındırdığı bütadien maddesidir. ABS ile üretilen ürün, şekillendirme ve renklendirme açısından daha elverişlidir ama PLA filamentine göre çalışma esnasında istenmeyen kokular olabilir çünkü ABS filamentini bir petrol türevinden elde edilir (Semiz, 2019).

PLA'dan ardından en gözde filament ABS'dir ve Şekil 2.9'da belirtilmiştir (Anonim, 2019). ABS, PLA'ya karşı teknik özellikler açısından üstün baskı özelliği açısından zayıftır. Bu nedenle birçok alanda çoğunlukla ABS hammaddeli ürün kullanılmaktadır. ABS filamentinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir (Semiz, 2019).

- Sertlik, dayanıklılık ve darbe direnci yüksektir.
- Esneklik özelliği düşüktür.
- Asetonla çözümlenmesi kolay olduğundan ve ince işçilik yapılabilir.
- Soğumaya bırakıldığında deformasyon sorunları ile karşılaşılabilir (Anonim, 2019).

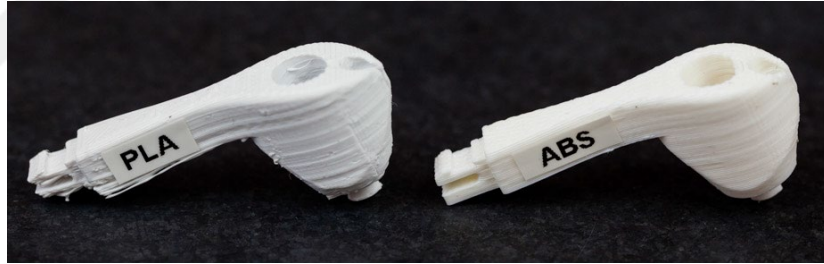


Şekil 2.9 Abs filamentini

PLA kırılmaya yatkın, yüzey sertliğine sahip bir malzemedir. PLA ile üretilmiş malzemeler kesilme, törpülenme, boyanma, taşlanma ve yapıştırılma açısından elverişlidir. Yüzey pürüzlülüğünü gidermek için için aseton ile işlem yapmak uygun değildir (Semiz, 2019).

ABS ile üretilmiş 3D modellerin dayanıklılığı ve darbe direnci daha fazladır. Bu yüzden, mekanik parçalarda ve değişik hava şartlarına karşı kullanılması önerilir. ABS, PLA'ya göre daha esnek olduğundan ABS'nin basınç altında dayanma zamanı PLA'ya oranla daha yüksektir. İlâveten, ABS'nin işlenebilirliği daha fazladır. ABS kullanılan modellerin görünüşlerini pürüzsüzleştirmek ve parlatmak için aseton ile işlem yapılabilir (Semiz, 2019).

Şekil 2.10'da (Tran, 2016) ve PLA ve ABS filamentinden üretilen örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Pla ve abs filamentinden üretilmiş örnekler

### 2.2.3. Pla plus (Pla +)

PLA Plus, yakın dönemde geliştirilmiş organik bir biyopolimerdir. ABS'in dayanıklılığına yakındır ve PLA'ya oranla kopma değeri yaklaşık 4 kat daha fazladır. PLA ve PLA Plus arasında büyük bir fark yoktur.

### 2.2.4. Abs plus (Abs +)

ABS Plus, son yıllarda geliştirilmiş bir termoplastik malzemedir. Laboratuvarda testleri sonucuna göre ABS'ye oranla dayanıklılık ve kopma uzaması açısından üstündür.

### 2.2.5. Petg (Polyethylene Terephthalate Glycol-Modified)

PET (Polietilen tereftalat), dünyada en yaygın kullanılan plastik çeşididir. PETG filament ise Polietilen Tereftalat'ın (PET) polimerasyonu sırasında malzeme bileşimine glikol eklenmesiyle oluşur. PETG en sık kullanılan filament türelerindedir.

PLA'ya göre hem basımı kolay hem de tamamen geri dönüştürülebilme özelliğine sahiptir. PLA'ya göre kolay olması ve ABS'ye göre sağlamlığı daha fazla olmasından dolayı PLA ve ABS arasındaki "orta yol" olarak adlandırılmaktadır. İlaveten hafif ve esnek bir yapısı vardır. PETG filamentinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir. (Semiz, 2019).

- Sertliği yüksektir, sağlamdır, bu sebeple darbe direnci fazla ve hafiftir.
- ABS'ye ve PLA'ya oranla esnekliği yüksektir.
- Yiyecekler, içecekler ve yemek kapları için uygundur.
- Soğumaya bırakıldığında deformasyon sorunları ile oldukça az karşılaşılır (Anonim, 2019).

Şekil 2.11'de PETG filamentini belirtilmiştir (Anonim, 2019).

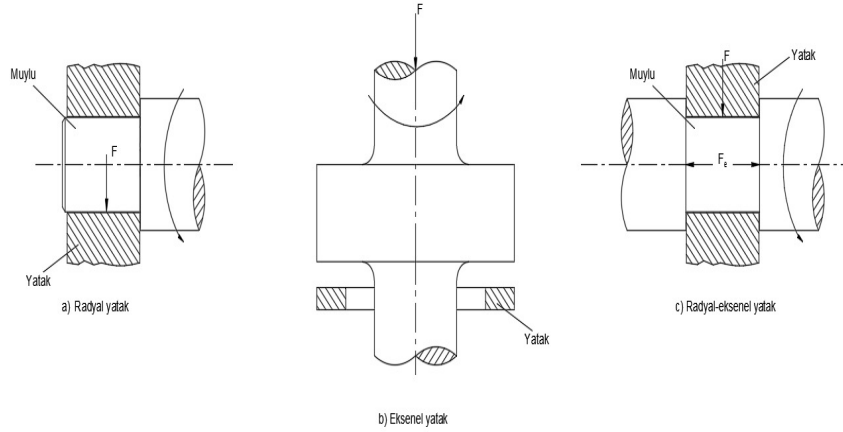


Şekil 2.11 Petg filamentinden örnekler

### 2.3. Radyal Kaymalı Yataklar

Bir milin yüzeyi üzerinde kayarak dönmesini sağlayan elemanlara kaymalı yatak denir. Kaymalı yataklar, basit ve ucuz yapıları, radyal yönde az yer kaplamaları, iki parça halinde yapılabilmeleri, darbe ve titreşimlere dayanabilmeleri gibi sebeplerle tercih edilirler. Yeteri kadar yağın bulunduğu ortamda çalıştıklarında çok yüksek performansa sahiptirler (Anonim, 2011).

İletilen kuvvet eğer mil yarıçapı yönündeyse radyal kaymalı yatak, eksenî yönündeyse eksenel yatak olarak adlandırılır (Kaymaz, 2015). Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12 Yatak tipleri

Bir kaymalı yatakta bir mil veya muylu bir kovan veya yatak içerisinde döner veya salınım yapar. Burada bağıl hareket kaymadır. Bir yuvarlanmalı veya rulmanlı yataklamada esas bağıl hareket yuvarlanmadır. Bir izleyici kam üzerinde kayabilir veya yuvarlanabilir (Kurgan, 2016). Geometrik şart muylu ve yatak yuvası arasında meydana gelen boşluğun eksantrikliği dolayısı ile kendiliğinden sağlanır (Temiz, 2015).

Uygulama alanları:

Sessiz çalışma, büyük darbeli yüklere dayanım (içten yanmalı motorlarda biyel ve krank yatakları gibi), titreşim sönümlenme vb. gibi isteklerin bulunduğu bütün yataklama hallerinde uygulanır.

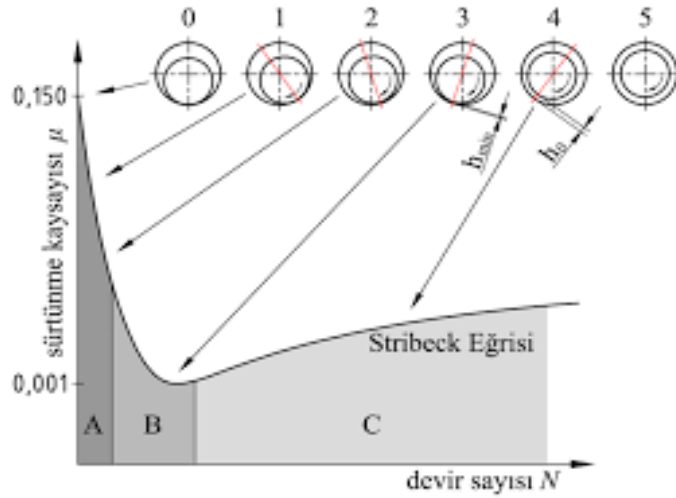
## 2.4. Sürtünme

Sürtünme, geniş tanımıyla temasta olan bir yüzeyin diğer yüzeyin hareketine gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Columb bu durumu 18. yy'de yaptığı çalışmada Denklem 2.1'de formüle etmiştir (Sarı, 2015).

$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad 2.1$$

$F_S$ : Sürtünme kuvveti,  $F_N$ : temas eden yüzeyler arasındaki dik kuvvet,  $\mu$ : Sürtünme katsayısı

Alman makine mühendisi Richard Stribeck (1861-1950), kaymalı yataklar üzerinde yaptığı deneylerde sürtünmeye etki edebilecek bütün değerleri sabit tutmuş, devir sayısını ve buna bağlı olarak çevresel hızı değiştirerek bugün Stribeck eğrisi olarak bilinen eğriyi elde etmiştir. Şekil 2.13'te verilmiştir. Stribeck eğrisi olarak anılan çalışmada, sürtünme katsayısı ile milin rölatif dönme sayısı arasındaki eğrisi elde edilmiştir. Burada ortalama yatak basıncı  $P = \text{sabit}$  için Stribeck eğrisi ve yağlama durumları verilmektedir.  $n=0$  da,  $\mu$  sürtünme katsayısı 0 olup statik sürtünme katsayısı olarak adlandırılmaktadır (Kurgan, 2016).



Şekil 2.13 Stribeck eğrisi

## **2.5. Aşınma ve Türleri**

Sürtünme sonucunda temas eden yüzeylerin mekanik etkiler sonucu, malzemenin ana parçalardan kopmasına aşınma adı verilir. Aşınma geri döndürülemeyen bir olaydır. Aşınma, ani gerçekleşen ve zamanla meydana gelen aşınmalar olmak üzere iki temel başlık altında incelenir. Çoğu durumda aşınma, temas eden yüzeylerin uç kısımlarındaki etkileşim sonucu oluşur (Artun, 2022).

### **2.5.1. Adheziv aşınma**

Özellikle kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adheziv çekim kuvveti söz konusudur (Şimşek, 2005). Temas malzeme çiftinin pürüzleri arasında olduğu için malzemenin ağırlığından ve dış kuvvetlerden dolayı pürüz tepelerinde yüksek bir basınç meydana gelir. Bu basınç pürüzlerin akma dayanımını aşınca pürüzler plastik deformasyona uğrayarak birbirine sıvanıp kaynak oluşur (Anonim 2020b).

### **2.5.2. Abrazif aşınma**

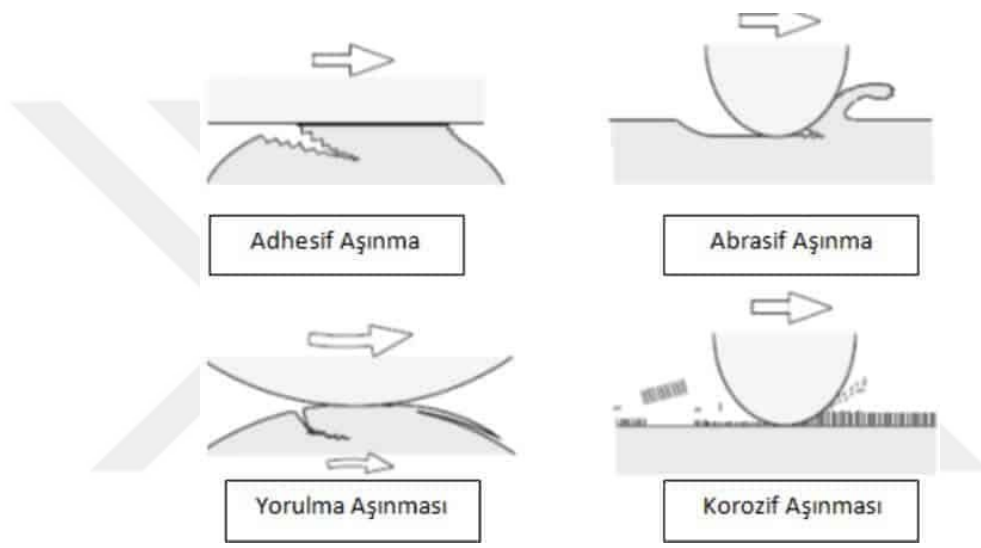
Abrasiv aşınma plastik deformasyonla gerçekleşmektedir (Şimşek,2005). Keskin köşeli ve sert minerallerin metal yüzeyi mikroskobik ölçüde çizerek talaş kaldırması ve malzeme yüzeyinde derin çizikler oluşturmasına abrazif aşınma denir. Farklı kristalografik yapılara sahip malzeme çiftlerinde görülür (Anonim, 2020b).

### **2.5.3. Korozyif aşınma**

Temas yüzeylerinde oluşan mekanik yıpranmaların yanı sıra kimyasal ve elektrokimyasal tahribatların oluşmasına korozyon denir (Şimşek, 2005). Metal ve alaşımları ile buldukları ortam arasında kimyasal, elektrokimyasal ve metalürjik ilişkiler neticesinde yüzey yapısında çeşitli katmanlar oluşur. Sürtünen bu yüzeylerdeki tabakaların kolayca parçalanarak yüzeyden atılmasına korozyif aşınma adı verilir (Anonim, 2018).

#### 2.5.4. Yorulma Aşınması

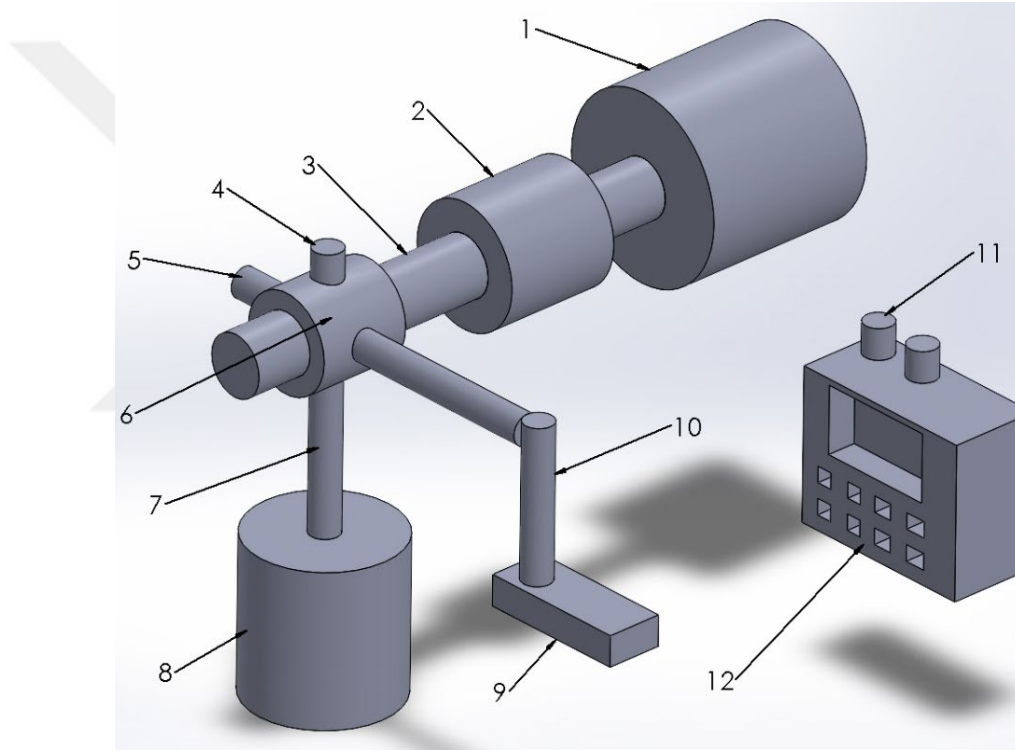
Çoğunlukla dinamik zorlanma sonunda temas yüzeyinin altında veya yakınında iç yapının yorulması ile yüzeyden küçük parçaların kopması ile gerçekleşen aşınma türüdür. Bu aşınma türünde doğal sertlik önemli bir husustur. Yorulma aşınması yumuşak malzemelerde görülmemektedir. Yorulma aşınmasını önlemenin en etkili yolu yüzeylerin sertleştirilmesidir (Avcu, 2018). Şekil 2.14’te aşınma türleri verilmiştir.



Şekil 2.14 Aşınma türleri

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deney çalışmasında, yatak boşlukları hesaplanan ve mil çapına uygun olacak şekilde farklı filamentlerden tasarlanan deney numunelerinin, 3 farklı yük ve 3 farklı hızda, 5000m kayma mesafesinde, yatak malzemelerinin sürtünme katsayıları ve sıcaklık değişimi ile deney sonrası numunelerin aşınma miktarlarının ve yüzey pürüzlülüklerinin ayrıntılı incelenmesi amaçlanmıştır. Deney düzeneğimizin Solidworks'te çizilmiş şematik görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.

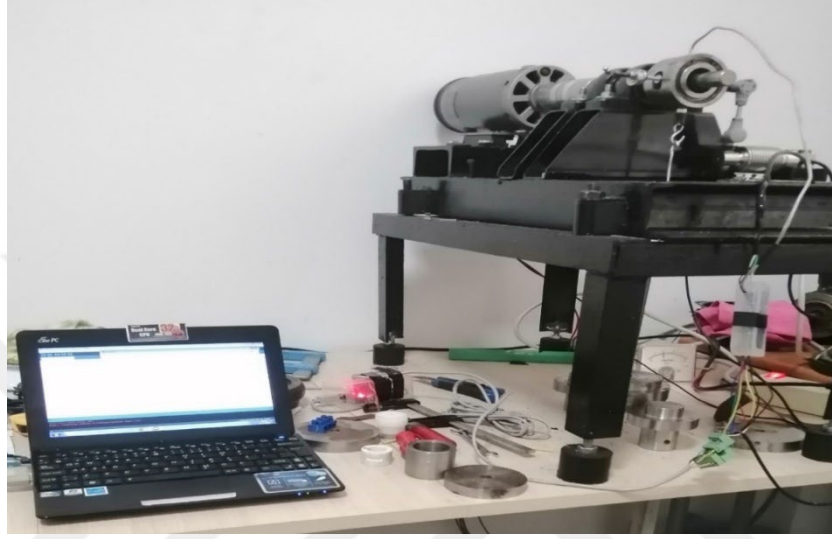


1 - Motor, 2 - Kaplin, 3 - Mil (C45), 4 - Sıcaklık ölçer, 5 - Dengeleyici parça, 6 - Yatak yuvası, 7 - Yük askılığı, 8 - Yük, 9 - Loadcell, 10 - Loadcell bağlantısı, 11 - Motor sürücüsü elektrik bağlantıları, 12 - Motor sürücüsü

Şekil 3.1 Deney düzeneği solidworks çizimi

### 3.1. Deney Düzeneğini Oluşturan Malzemeler

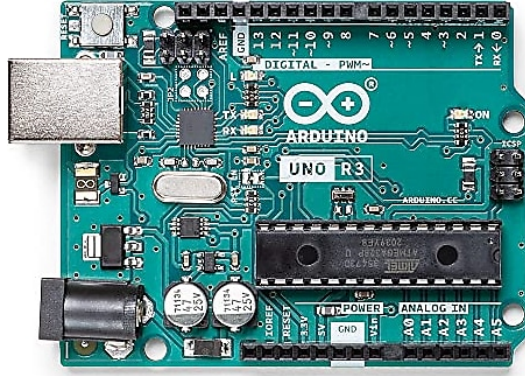
Deneylerde kullanılacak olan deney düzeni ve deney sonuçlarının takip edileceği PC ekranından oluşan düzenimiz Şekil 3.2’de verilmiştir (Özlu, 2023).



Şekil 3.2 Deney düzeni

#### 3.1.1. Arduino

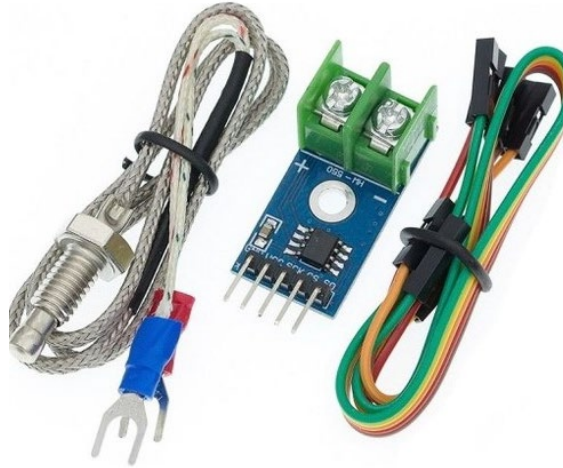
Arduino Uno ATmega328 mikrodenetleyici içeren bir Arduino kartıdır. Arduino Uno'nun 14 tane dijital giriş / çıkış pini vardır. Bunlardan 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. Ayrıca 6 adet analog girişi, bir adet 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, power jakı (2.1mm), ICSP başlığı ve reset butonu bulunmaktadır. Arduino Uno bir mikrodenetleyiciyi desteklemek için gerekli bileşenlerin hepsini içerir (Anonim, 2017a). Deney düzenimizde kontrol edilen devir sayısı, sıcaklık ve loadcele etkileyen dikey kuvvetin verileri, Arduino Uno kart ve bu karta uygun yazılım vasıtasıyla gerçekleştirildi ve sisteme anlık olarak aktarıldı. Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Arduino uno kart

### 3.1.2. Sıcaklık sensörü

Termokupl veya ısıl çift, bir tür sıcaklık sensörüdür. Farklı iki iletken malzemedendir oluşur. Bu malzemelerin iki ucu birleştirilir (sıcak nokta) ve ısıtılırsa, diğer uçlarda (soğuk nokta) gerilim elde edilir. MAX6675 termokupl güçlendirici modülü ve K-tipi termokupldan oluşmaktadır. Soğuk nokta kompanzasyonuna sahiptir (-20 ~ +80 °C) ve 0,25 °C hassasiyete sahiptir (Anonim, 2017b). Deney numunesinin sıcaklık değişimini ölçmek için hassas ölçüm yapmamıza imkân sağlayan MAX6675 K -Tipi termokupl sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4 MAX6675 K -Tipi sıcaklık sensörü

### 3.1.3. Hall efect sensör

Endüstriyel kontrol ve otomasyon uygulamalarda sıklıkla kullanılan sensörlerden birisi proximity sensördür. Proximity kelime olarak yakınlık, yakın olma anlamına gelir. Kelime anlamından da anlaşılacağı gibi proximity sensör bir cismin varlığını veya yakınlığını gören sensördür. Proximity sensör oluşturduğu elektromanyetik veya elektrostatik alandaki değişimleri kontrol ederek çalışır (Anonim, 2017c). Sistemin devrini ölçebilmek için, 10 mm algılama mesafesine ve 150 mA yük akımına sahip NJK-5002C-NPN proximity-yaklaşım sensörü kullanılmıştır. Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5 NJK-5002C-NPN hall efect sensör

### 3.1.4. DC motor

Redüktörsüz DC motorlar, doğru akım (DC) ile çalışan ve bir redüktör mekanizması olmadan doğrudan çıkış hızı sağlayan motorlardır. Redüktörsüz DC motorlar, yüksek hızlarda çalışabilme yeteneğine sahiptir ve hızları genellikle 10.000 devir/dakika (rpm) veya daha yüksek olabilir. Bu nedenle, hızlı tepki ve hassas kontrol gerektiren uygulamalarda tercih edilirler (Anonim, 2017d). Sistemin çalışması ve verileri elektromanyetik bozuculardan arındırmak amacıyla 180V 3A kapasitede DC (doğru akım) motor kullanılmıştır. Şekil 3.6’de verilmiştir.



Şekil 3.6 DC motor

### 3.1.5. DC motor sürücüsü

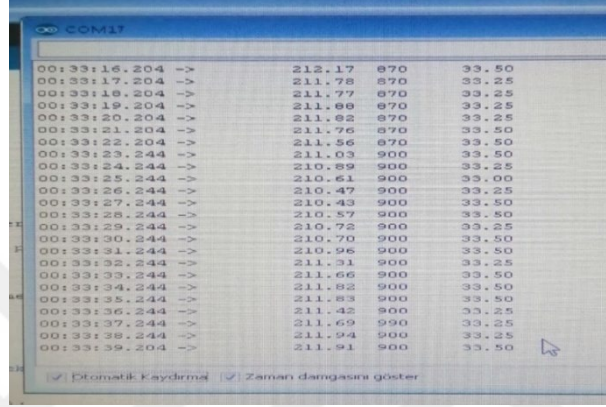
Smart Drive elektronik kontrol sürücüsü, 180 Volt takometre geri beslemesi ve voltaj geri beslemesine sahip, 2 - 200 Volt ayar aralığında ve 0-10 Amper akım aralığında çalışan elektronik kontrol sürücüsüdür (Anonim, 2017e). Sistemimizde kullanılacak olan DC motorun, akım, volt gibi elektriksel değerlerini ayarlayabilmek için DC motor sürücüsü kullanılacaktır. Şekil 3.7’de belirtilmiştir.



Şekil 3.7 DC motor sürücüsü

### 3.1.6. PC takip ekranı

Deney senaryolarındaki 3 farklı hız, DC motor sürücüsü ile voltaj değerine göre tespit edilmiş, deney süresince Arduino kart ve yazılımıyla PC ekranından sürtünme kuvveti ve sıcaklık değerleri ile anlık takip edilip kayıt altına alınmıştır. Şekil 3.8’de verilmiştir.

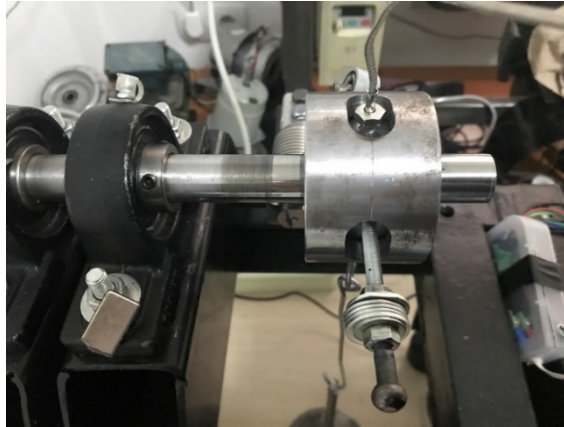


Time	Voltage (V)	Current (A)	Temperature (°C)
00:33:16.204 ->	212.17	870	33.50
00:33:17.204 ->	211.78	870	33.25
00:33:18.204 ->	211.77	870	33.25
00:33:19.204 ->	211.88	870	33.25
00:33:20.204 ->	211.82	870	33.25
00:33:21.204 ->	211.76	870	33.50
00:33:22.204 ->	211.56	870	33.50
00:33:23.244 ->	211.03	900	33.50
00:33:24.244 ->	210.89	900	33.25
00:33:25.244 ->	210.61	900	33.00
00:33:26.244 ->	210.47	900	33.25
00:33:27.244 ->	210.43	900	33.50
00:33:28.244 ->	210.87	900	33.80
00:33:29.244 ->	210.72	900	33.25
00:33:30.244 ->	210.70	900	33.50
00:33:31.244 ->	210.96	900	33.50
00:33:32.244 ->	211.31	900	33.25
00:33:33.244 ->	211.66	900	33.50
00:33:34.244 ->	211.82	900	33.50
00:33:35.244 ->	211.83	900	33.50
00:33:36.244 ->	211.42	900	33.25
00:33:37.244 ->	211.69	900	33.25
00:33:38.244 ->	211.94	900	33.25
00:33:39.204 ->	211.91	900	33.50

Şekil 3.8 PC takip ekranı

### 3.2. Deneye Hazırlık Aşaması

Deneylere başlamadan önce, deney verilerin netliği için birtakım işlemler uygulanmıştır. Deneylerde, milin üzerinde numunelerden kalma partiküller olduğu tespit edilmiştir. Partikülleri temizlemek için yumuşak kuru bir bez ve 3000 mesh su zımparası kontrollü şekilde uygulanmıştır. Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9 Milin temizlenmesi

Numunelerin temizliği de fiber bez, deney sonunda ise etil alkol emdirilmiş nemli yumuşak bir bezle yapılmıştır. Numuneler mile yerleştirildikten sonra, yuksüz halde alıştırma yapılmıştır. Deney dzeneninde farklı hızlara geçmek için DC motor sürücüsüne ait ayar ekranlarında akım değerleri değiştirilmiştir. Loadcell'in gövdeye bağlayan aparatın ağırlığını dengeleyecek, ters bir (kontra) ağırlık, aparatın tam karşısına monte edilerek deney dzenenine eklenmiştir.

Deneylerin başında milin temizliği sürekli kontrol edilmiş, yukarıdaki önlemlerle temizlenmiştir. Numuneler, deneye başlamadan önce ve sonra hassas teraziyle Şekil 3.10'da gösterildiği üzere ölçülmüştür.



Şekil 3.10 Hassas terazi ve ölçümü

### 3.3. Deney Numuneleri

Deney numuneleri için yatak boşluğu, Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 (Babalık, 2006) denklemlerine göre hesaplanmıştır.

$$\Delta l = 6.s.(\epsilon f + \alpha.\Delta t) \quad 3.1$$

$$l = l_{min} + \Delta l = 0,004.d + 6.s.(\epsilon f + \alpha.\Delta t) \quad 3.2$$

l: yatak boşluğu

d: yatak çapı (mm)

s: yatak kalınlığı (mm)

$\alpha$ : ısı genleşme katsayısı (1/°C)

$\epsilon f$ : nemle genleşme katsayısı

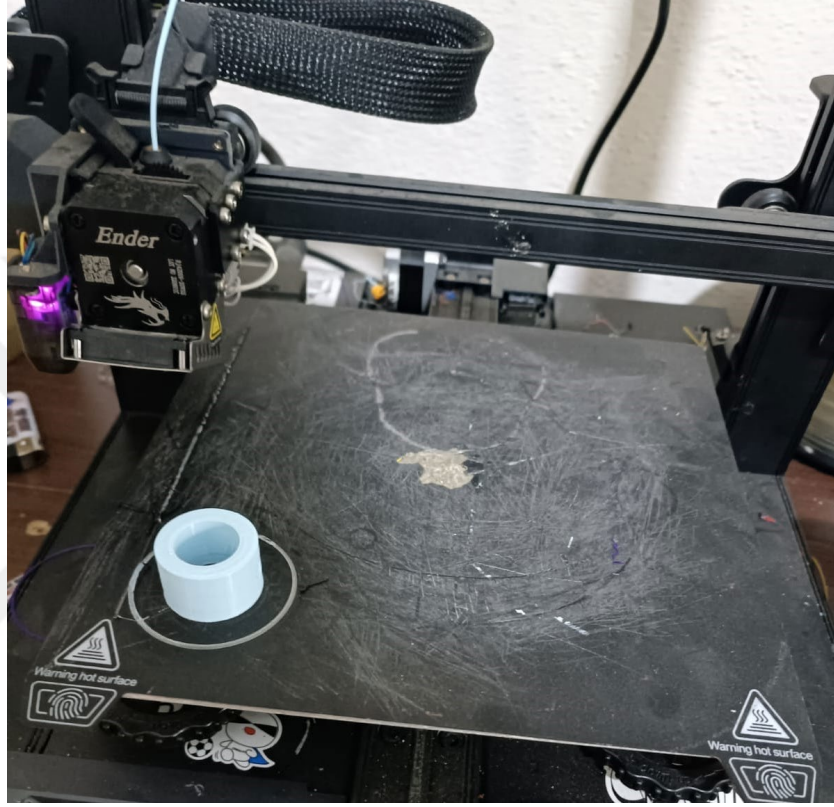
$\Delta t$ : yatak sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki fark (°C)

İlgili denklemlere göre hazırlanan yatak boşluğu değerleri Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1 Filamentlerin deney için hesaplanan yatak boşluğu değerleri

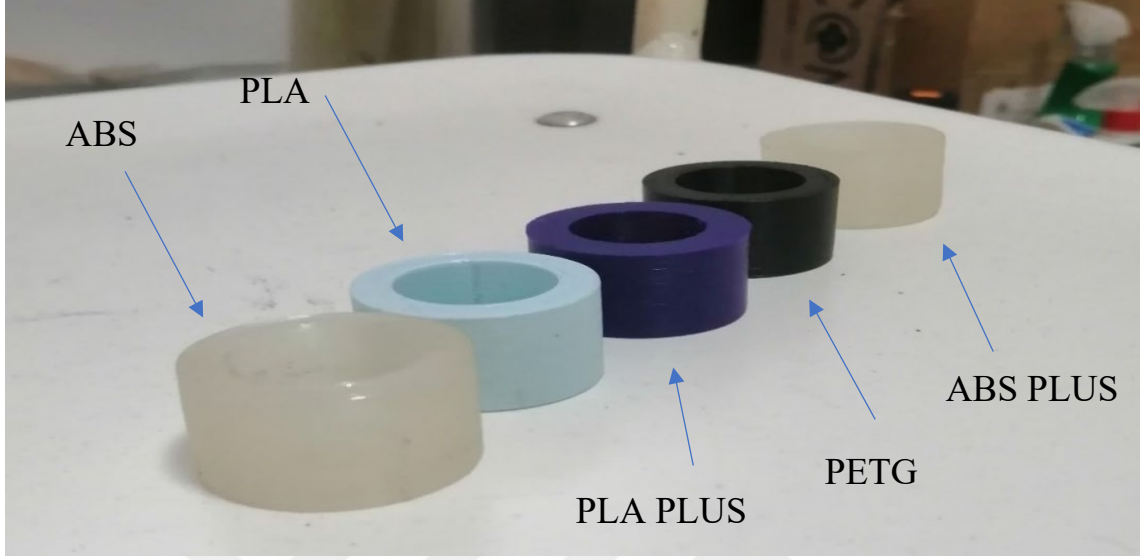
MALZEME	YATAK BOŞLUĞU (mm)
PLA	0.2268
PLA PLUS	0.2268
ABS	0.2744
ABS PLUS	0.2744
PETG	0.4191

Deney numunelerini üretmek için Creality Ender-3 S1 3D Yazıcı kullanılmıştır. 3D yazıcının özellikleri arasında birden fazla filamentle uyumlu olması, baskı kalitesinin yüksek olması vb. özelliklerinin olması seçimde ön plana çıkarmıştır (Anonim, 2023). Şekil 3.11’de verilmiştir.



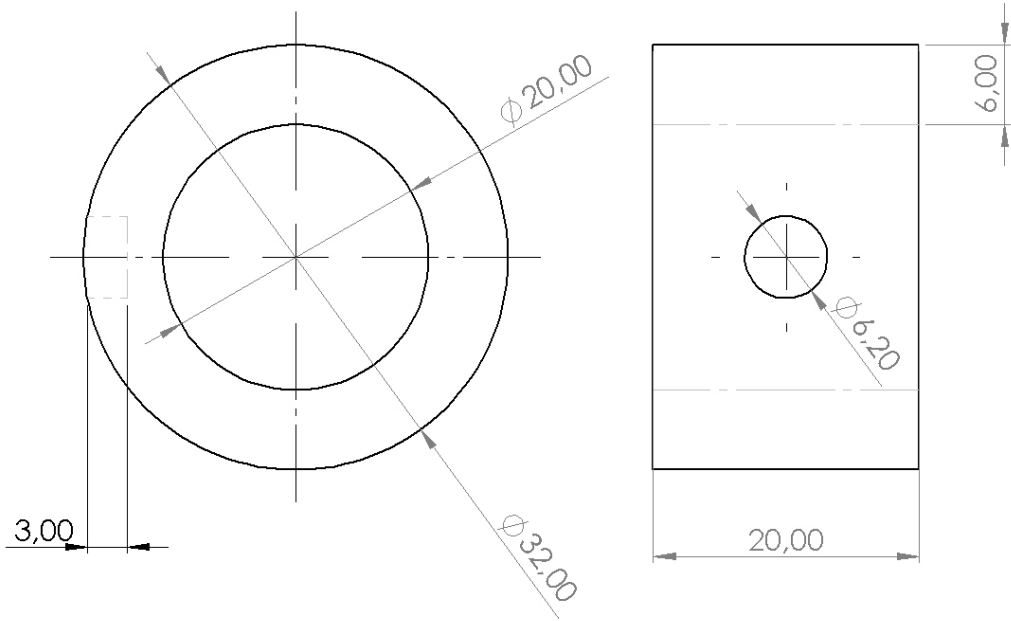
Şekil 3.11 3D yazıcı ve üretilmiş numune

Yatak boşlukları Denklem 3.1'e ve Denklem 3.2'ye göre hesaplanan numunelerin görüntüleri Şekil 3.12'de sunulmuştur.



Şekil 3.12 Deney numuneleri

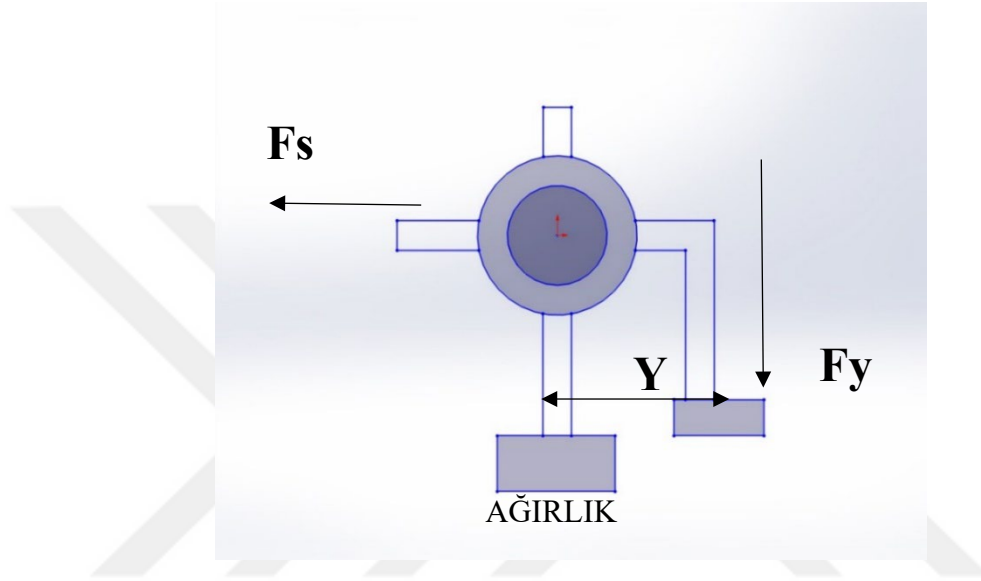
Numunelerin yatak boşlukları hesaba katılmadan sadece deney düzeneğindeki ölçülere göre Solidworks'te çizilmiş örnek bir teknik resim görüntüsü Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13 Numunelere ait teknik resim görüntüsü

### 3.4. Deney Düzenekinin Mantığı ve Sürtünme Katsayısının Hesaplanması

Deney düzenekinin mantığı, ağırlığın etkisiyle milin numune yüzeyinde yaptığı sürtünme kuvveti ve loadcell'deki yük değerleri alınarak, numunede oluşan sürtünme katsayısını tespit etmektir. Şekil 3.14'te ise deney düzenekinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.14 Deney düzenekinin şematik mantığı

Sürtünme katsayısındaki değişimin hesabını yapabilmek için, deney düzenekindeki yük ve loadcell'deki değerlerden ve aşağıda verilen Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 denklemlerinden yararlanılmıştır.

$$F_y \cdot Y = F_s \cdot R \quad 3.3$$

$$\mu = \frac{F_s}{F} \quad 3.4$$

Fy: Loadcell'deki yük değerleri (g)

Y: Mil ile Loadcell arası uzaklık (mm)

R: Mil yarıçapı (mm)

Fs: Sürtünme Kuvveti (N)

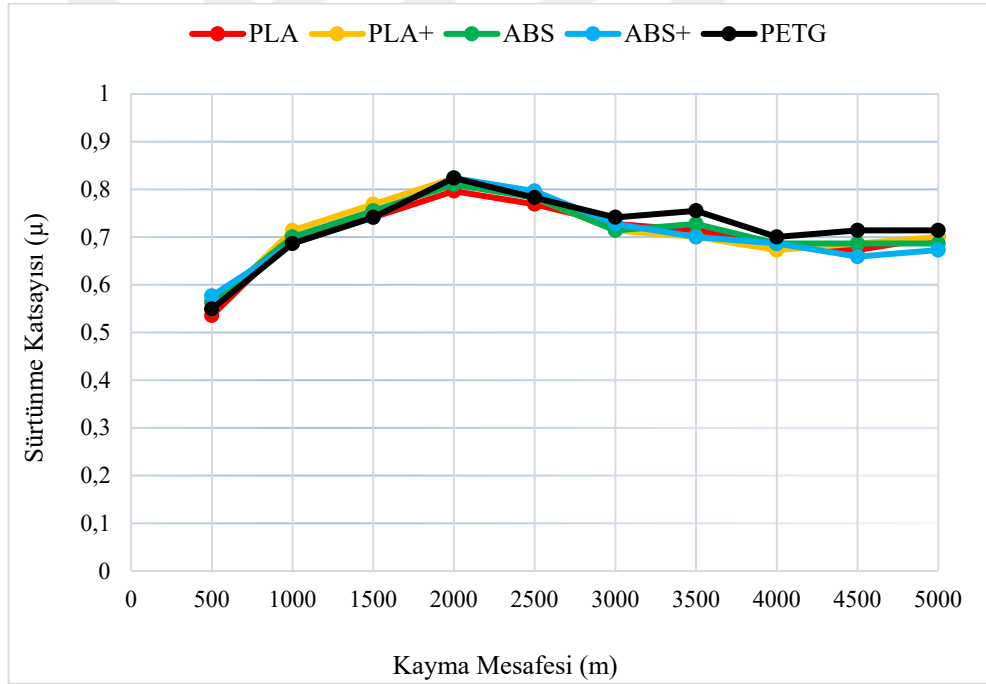
$\mu$ : Sürtünme katsayısı

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada filamentlerden hazırlanan numunelerin 0.3 m/s, 0.6 m/s, 0.9 m/s hızda ve 25 N, 50 N ve 75 N yük altında sürtünme katsayılarının değişimi, sıcaklık değerlerinin değişimini, deney sonrası numunelerin ağırlık kaybı ve aşınma oranları incelenmiş, grafikler ve tablolar yardımıyla görselleştirilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

##### 4.1. Sürtünme Katsayısı Değişimleri

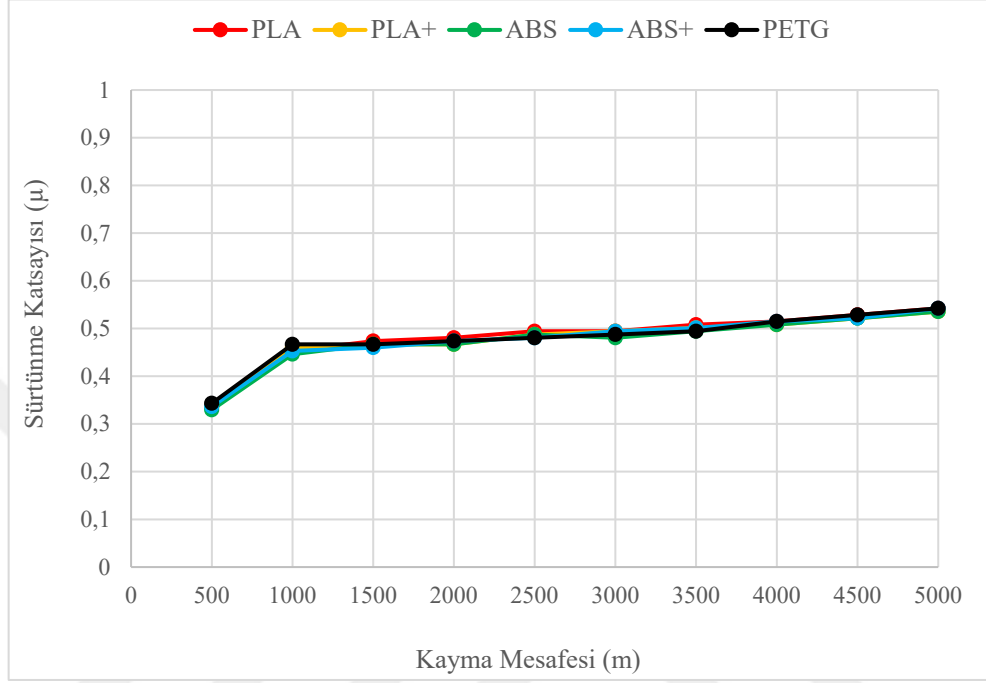
0.3 m/s hızda ve 25 N yükte yapılan deneylere ait, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 0.3 m/s ve 25 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 500 m’de 0,55 seviyelerinde başlamış, 2000 m’ye kadar %47 artışla 0,81 seviyelerine ulaşmış ve 2500 m’den 3500 m’ye kadar %13 düşüşle 0,7 seviyelerine ulaşmış, deney sonuna kadar 0,7 seviyesinde kararlı bir şekilde devam etmiş ve 5000 m’de başlangıç seviyesine göre %27 artışla deneyler tamamlanmıştır.

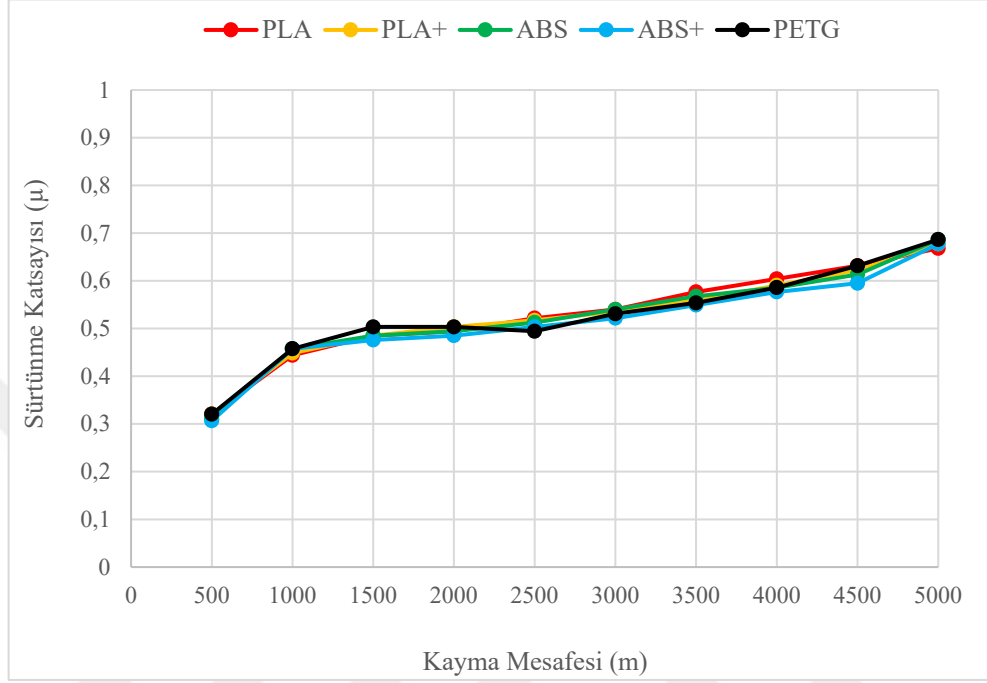
0.3 m/s hızda ve 50 N yükte yapılan deneylere ait, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 0.3 m/s ve 50 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 500 m’de 0,33 seviyelerinde başlamış, 1000 m’ye kadar %45 artışla 0,48 seviyelerine ulaşmış ve 1000 m’den 5000 m’ye kadar %13 artışla 0,54 seviyelerine kararlı bir şekilde artarak devam etmiş, 5000 m’de başlangıç seviyesine göre %63 artışla deneyler tamamlanmıştır. Demirci (2009), yaptığı çalışmada hızın artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısında artış gözlemlemiştir.

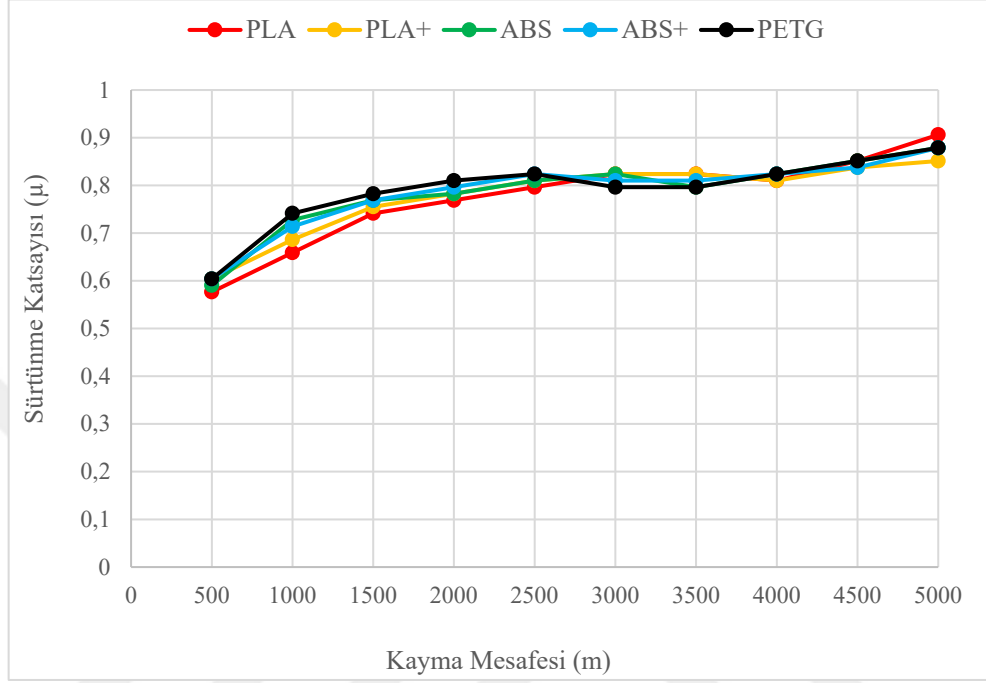
0.3 m/s hızda ve 75 N yük altında yapılan deneylere ait, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 0.3 m/s ve 75 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 500 m'de 0,31 seviyelerinde başlamış, 1500 m'ye kadar %54 artışla 0,49 seviyelerine ulaşmış ve 1500 m'den 2500 m'ye kadar kararlı bir şekilde devam etmiş, 2500 m'den 5000 m'ye kadar %40 artışla 0,69 seviyelerine kararlı bir şekilde artarak devam etmiş, 5000 m'de başlangıç seviyesine göre %122 artışla deneyler tamamlanmıştır. Sarı (2015), yaptığı çalışmada sürtünme katsayısı ile hız arasında artış gözlemlemiştir.

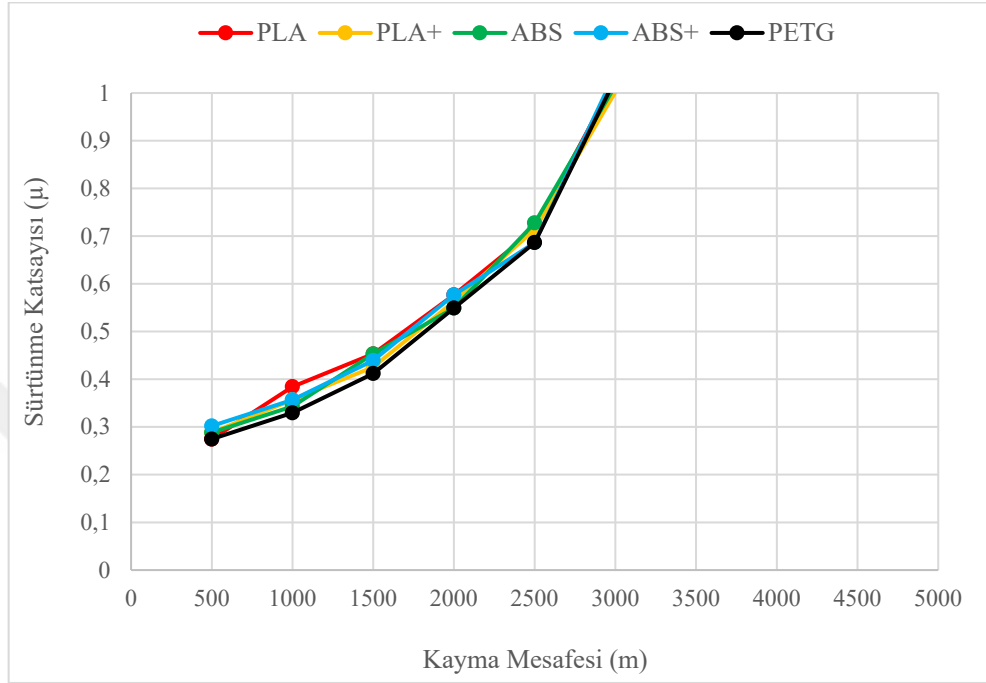
0.6 m/s hızda ve 25 N yük altında yapılan deneylere ait, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 0.6 m/s ve 25 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 500 m'de 0,58 seviyelerinde başlamış, 2500 m'ye kadar %38 artışla 0,80 seviyelerine ulaşmış ve 2500 m'den 4000 m'ye kadar kararlı bir şekilde devam etmiş, 4000 m'den 5000 m'ye kadar %10 artışla 0,88 seviyelerine kararlı bir şekilde artarak devam etmiş, 5000 m'de başlangıç seviyesine göre %50 artışla deneyler tamamlanmıştır. Sarı (2015) ve Demirci (2009), yaptığı çalışmada sürtünme katsayısı ile hız arasında artış gözlemlemiştir.

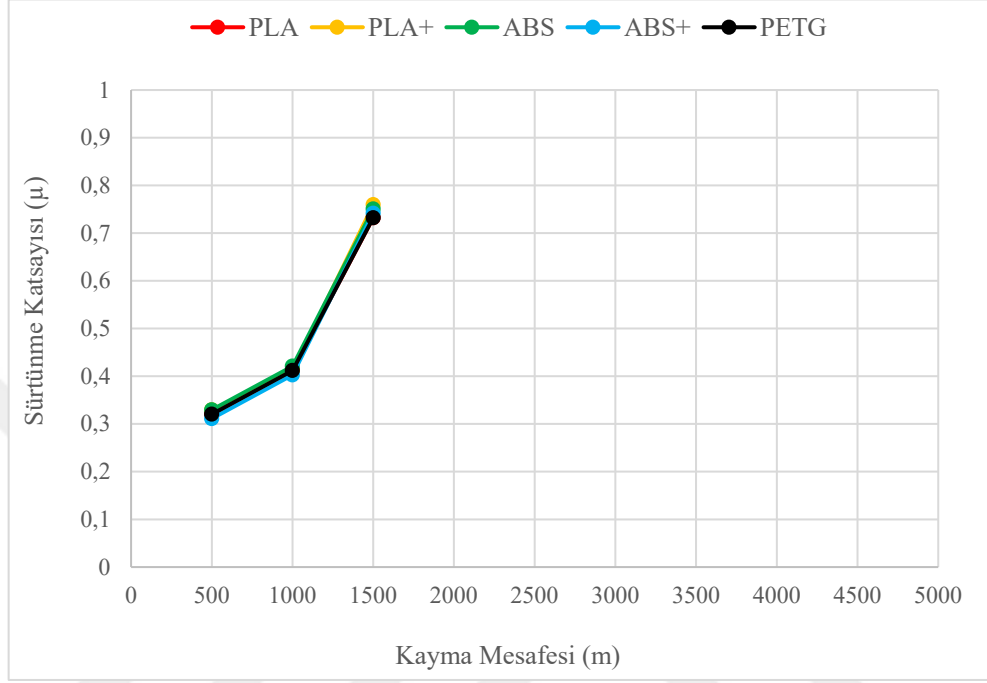
0.6 m/s hızda ve 50 N yük altında yapılan deneylere ait, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 0.6 m/s ve 50 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 500 m'de 0,29 seviyelerinde başlamış, 500 m'den 2500 m'ye kadar her 500 m'de yaklaşık %20 artışla devam etmiştir. 3000 m'den sonra ise motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur. Sürtünme katsayısı, 3000 m'de başlangıç seviyesine göre %244 artışla 1 seviyelerine ulaşmıştır.

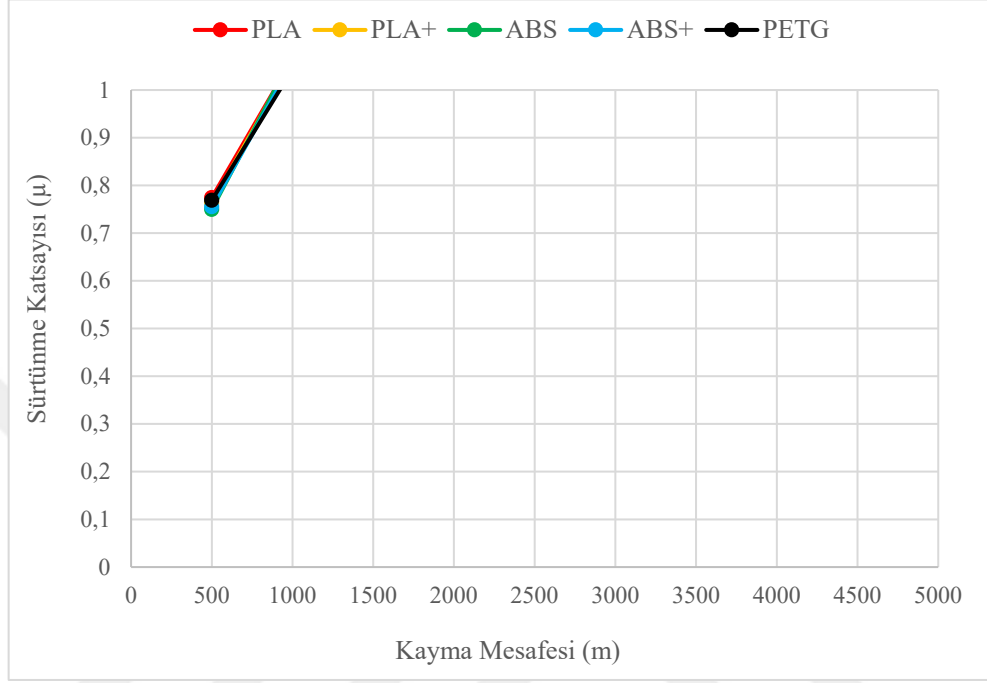
0.6 m/s hızda ve 75 N yük altında yapılan deneylere ait, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 0.6 m/s ve 75 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 500 m'de 0,31 seviyelerinde başlamış, 1000 m'ye kadar %32 artışla 0,41 seviyelerine ulaşmış ve 1000 m'den 1500 m'ye kadar %83 artışla 0,75 seviyelerine ulaşmış ve 1500 m'den sonra motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur. Sürtünme katsayısı, 1500 m'de başlangıç seviyesine göre %142 artışla 0,75 seviyelerinde ulaşmıştır.

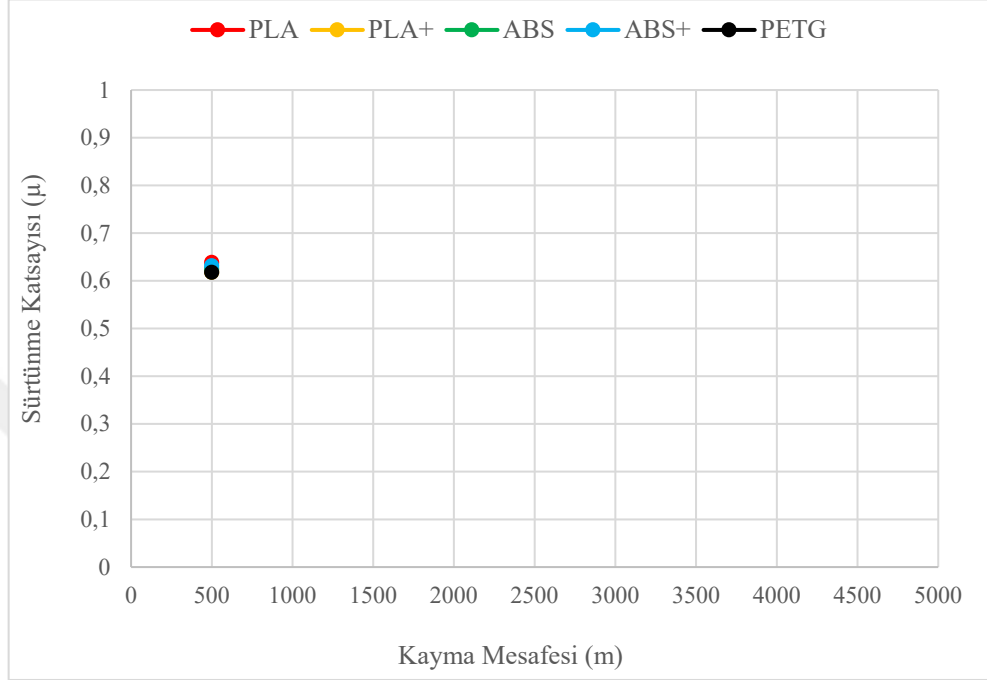
0.9 m/s hızda ve 25 N yük altında yapılan deneylere ait, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 0.9 m/s ve 25 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 500 m’de 0,77 seviyelerinde başlamış, 500 m’den 1000 m’ye %30 artışla devam etmiş ve 1000 m’den sonra ise motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur. Sürtünme katsayısı, 1000 m’de başlangıç seviyesine göre %30 artışla 1 seviyelerine ulaşmıştır.

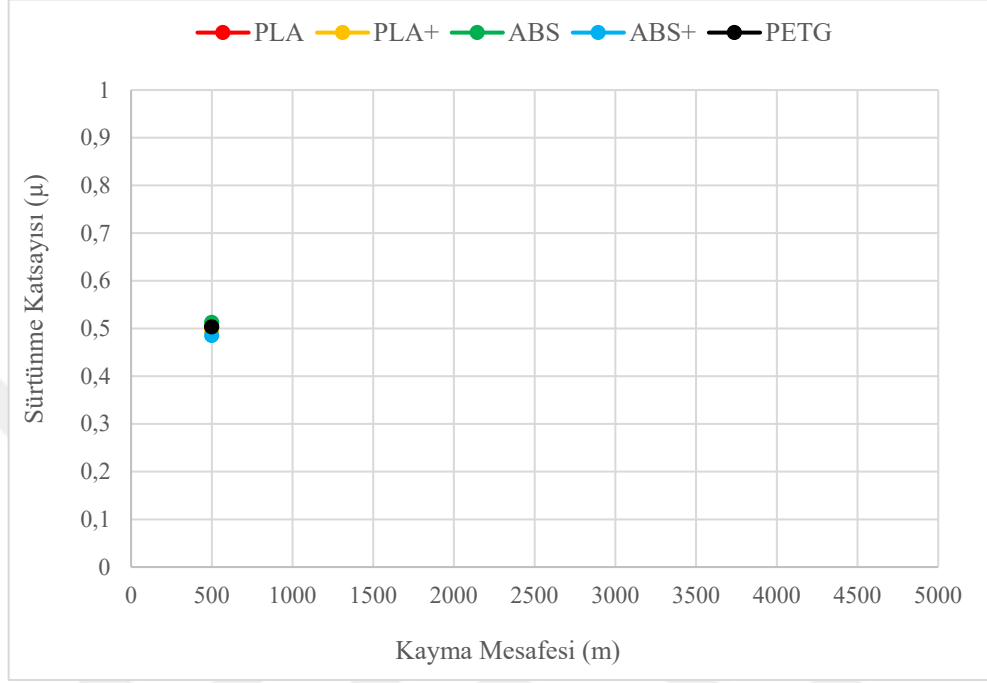
0.9 m/s hızda ve 50 N yük altında yapılan deneylerde, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 0.9 m/s ve 50 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.8’de görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 500 m’de 0,62 seviyelerinde başlamış ve 500 m sonunda motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur. Numunelerin dış yüzeyinde deformasyonlar oluşmuştur.

0.9 m/s hızda ve 75 N yük altında yapılan deneylere ait, sürtünme katsayısının değişiminin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 0.9 m/s ve 75 N yükte sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 4.9'da görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değişimi, 300 m'de 0,51 seviyelerinde başlamış ve 300 m sonunda motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur. Numunelerin dış yüzeyinde deformasyonlar oluşmuştur.

0.9 m/s hızda yapılan deneylerde numunelerin dış yüzeylerinde oluşan deformasyon görüntüleri Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.10 0.9 m/s hızda yapılan deneylerde pla+ filamentinin deformasyon görüntüsü

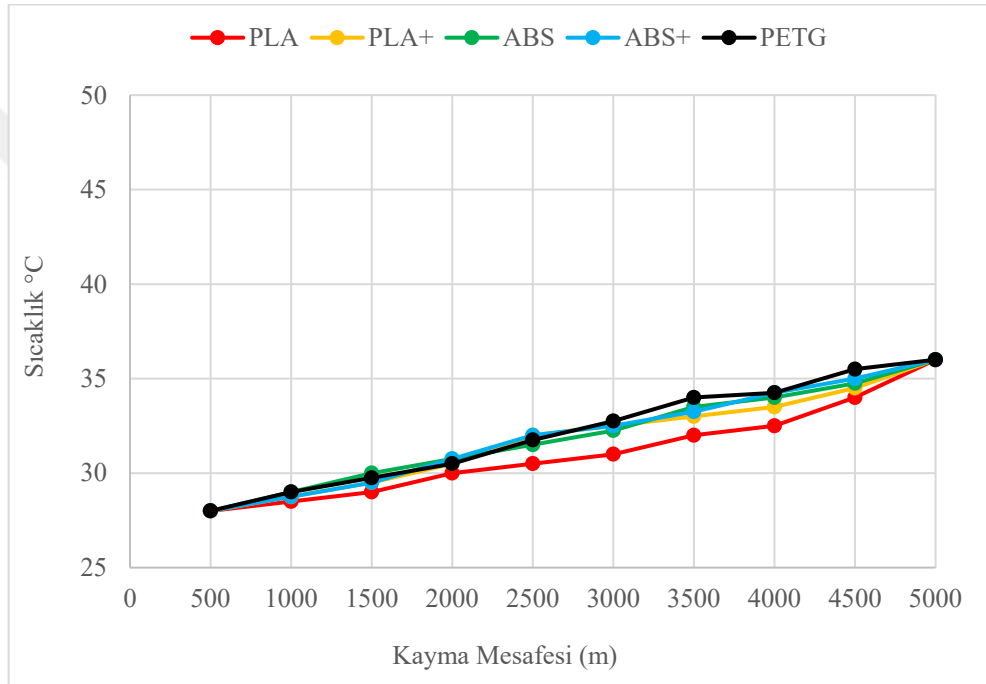


Şekil 4.11 0.9 m/s hızda yapılan deneylerde petg filamentinin deformasyon görüntüsü

## 4.2. Sıcaklık Değişimleri

Deneylere ortam sıcaklığında başlanmaya özen gösterilmiş ancak deneyin yaz aylarında yapılmasından dolayı ortam sıcaklığı 25 °C ile 30 °C arasında değişkenlik göstermiştir.

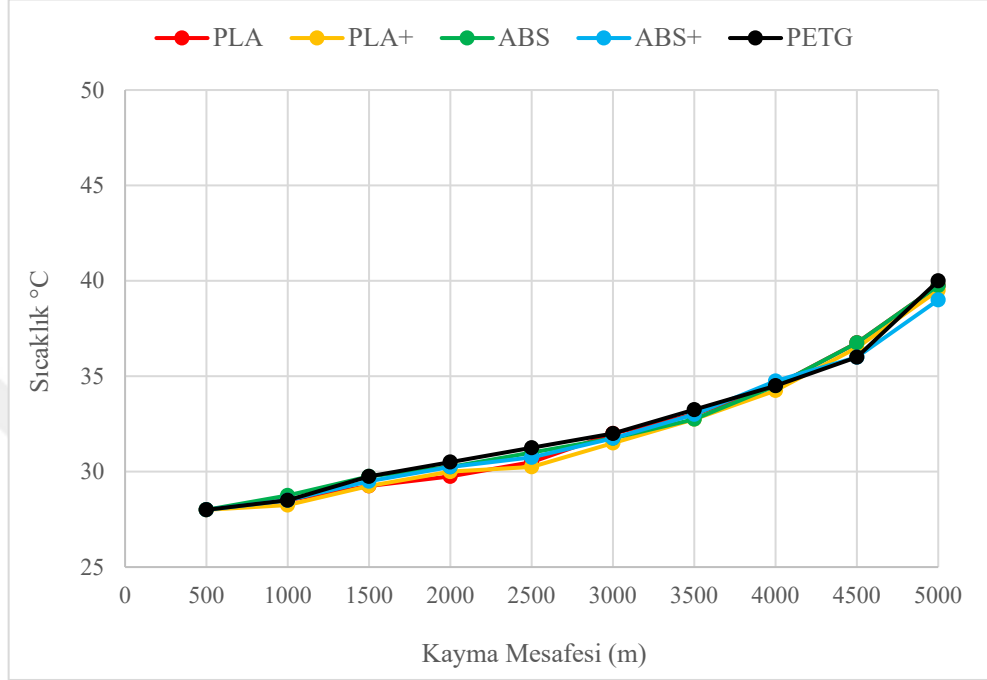
0.3 m/s hızda ve 25 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 0.3 m/s ve 25 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.12’de görüldüğü üzere sıcaklık değişimi, 500 m’de 28 °C seviyelerinde başlamış ve 5000 m’de 36 °C seviyelerinde sonlanmıştır. Her 500 m’de yaklaşık 1 °C seviyelerinde dengeli bir artış göstererek, 5000 m’de başlangıç seviyesine göre %28 oranında artışla deneyler tamamlanmıştır. Pla numunesinin sıcaklık değişiminin daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir.

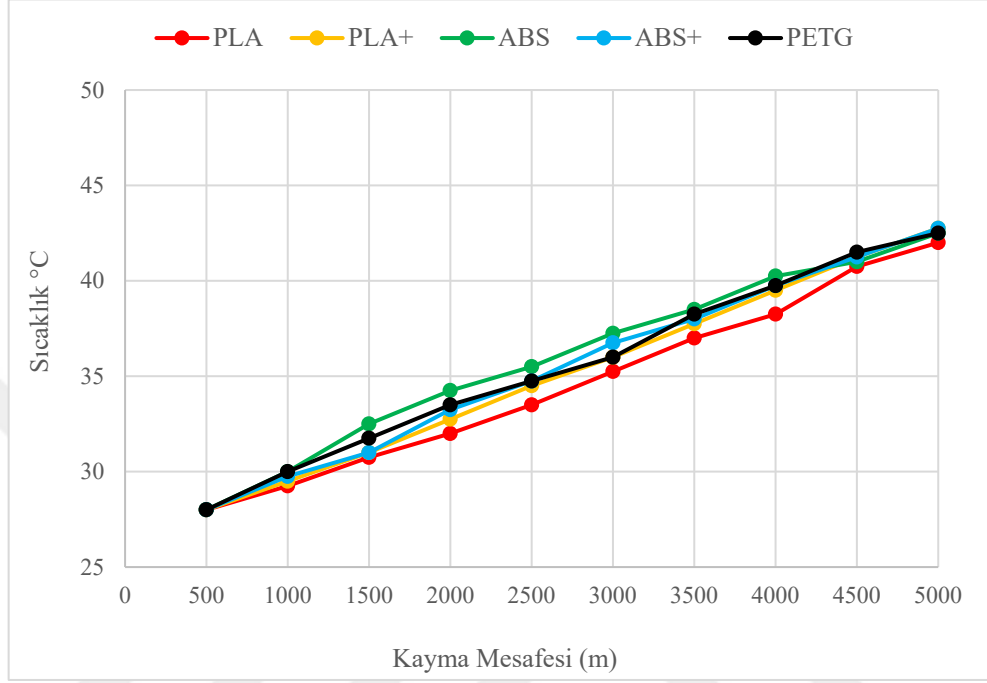
0.3 m/s hızda ve 50 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 0.3 m/s ve 50 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.13'te görüldüğü üzere sıcaklık değişimi, 500 m'lerde 28 °C seviyelerinde başlamış ve 5000 m'de 40 °C seviyelerinde sonlanmıştır. Her 500 m'de yaklaşık 1,5 °C seviyelerinde dengeli bir artış göstererek, 5000 m'de başlangıç seviyesine göre %43 oranında artışla deneyler tamamlanmıştır. Petg numunesinin sıcaklık değişimi diğer numunelere göre daha yükselen bir tutum göstermiştir.

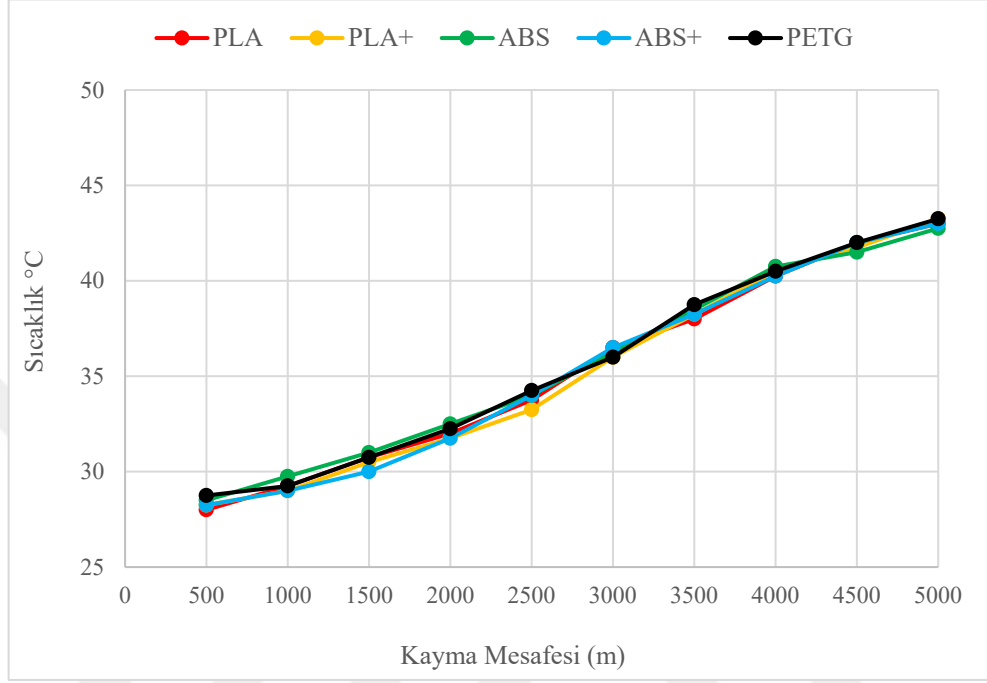
0.3 m/s hızda ve 75 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14 0.3 m/s ve 75 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.14'te görüldüğü üzere sıcaklık değişimi, 500 m'lerde 28 °C seviyelerinde başlamış ve 5000 m'de 43 °C seviyelerinde sonlanmıştır. Her 500 m'de yaklaşık 2 °C seviyelerinde dengeli bir artış göstererek, 5000 m'de başlangıç seviyesine göre %54 oranında artışla deneyler tamamlanmıştır. Pla numunesinin sıcaklık değişiminin daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir.

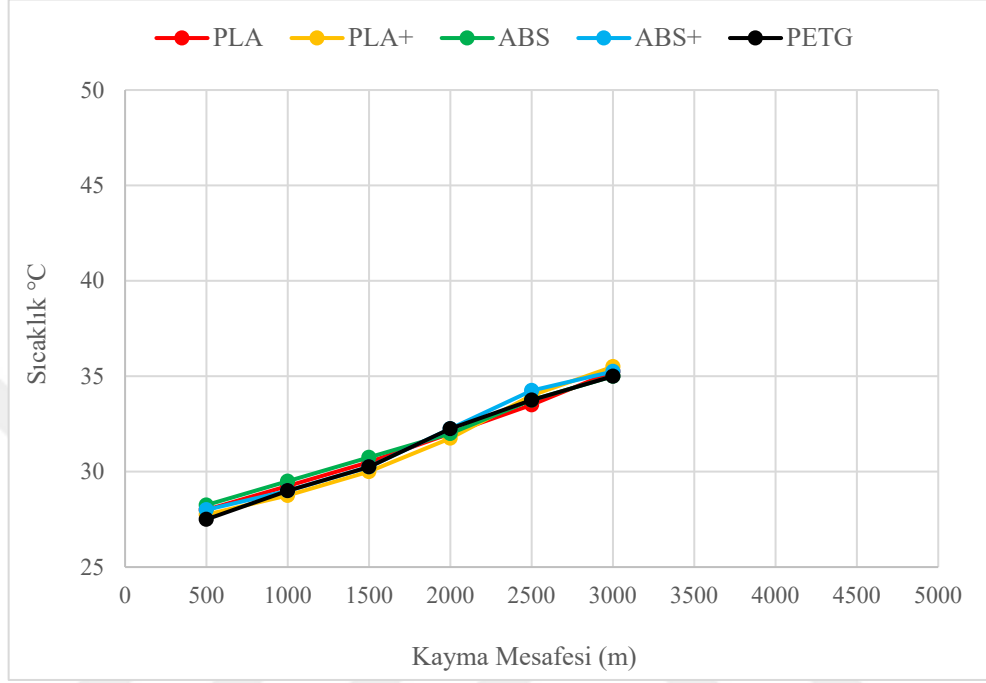
0.6 m/s hızda ve 25 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 0.6 m/s ve 25 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere sıcaklık değişimi, 500 m'lerde 28 °C seviyelerinde başlamış ve 5000 m'de 43 °C seviyelerinde sonlanmıştır. Her 500 m'de yaklaşık 2 °C seviyelerinde dengeli bir artış göstererek, 5000 m'de başlangıç seviyesine göre %54 oranında artışla deneyler tamamlanmıştır. Numunelerin sıcaklık değişimlerinde 2000 m'ye kadar yatay bir görünüm gösterdiği, 2000 m'den sonra ise dikey bir görünüm gösterdiği tespit edilmiştir.

0.6 m/s hızda ve 50 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.16'da verilmiştir.

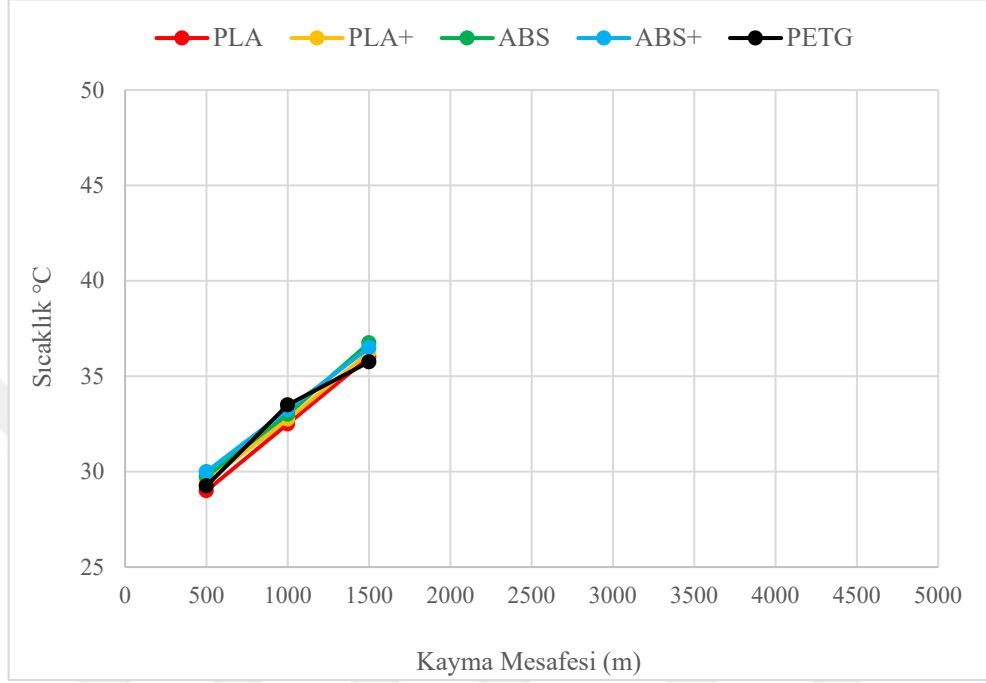


Şekil 4.16 0.6 m/s ve 50 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere sıcaklık değişimi 500 m'de 28 °C seviyelerinde başlamış ile 3000 m'de 35 °C seviyelerinde sonlanmıştır. 3000 m'de başlangıç seviyesine göre %25'e yakın ve sürekli bir artan bir tutum göstermiştir. Sıcaklığı en çok artan numune Pla+ olmuştur.

Bu noktadan sonra deney tamamlanamamıştır. Bunun nedeni 3000 m sonunda motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

0.6 m/s hızda ve 75 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.17’de verilmiştir.

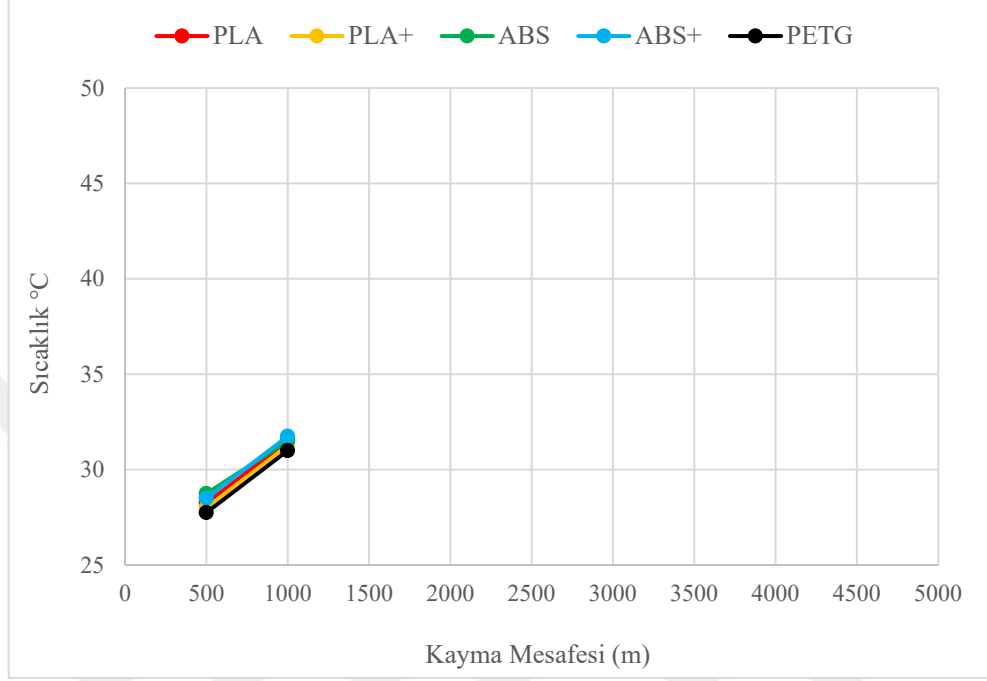


Şekil 4.17 0.6 m/s ve 75 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.17’de görüldüğü üzere sıcaklık değişimi 500 m’de 29 °C seviyelerinde başlamış ile 1500 m’de 36 °C seviyelerinde sonlanmıştır. 1500 m’de başlangıç seviyesine göre %25’e yakın ve sürekli bir artan bir tutum göstermiştir. Sıcaklığı en çok artan numune Abs+ olmuştur.

Bu noktadan sonra deney tamamlanamamıştır. Bunun nedeni 1500 m sonunda motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

0.9 m/s hızda ve 25 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.18’de verilmiştir.

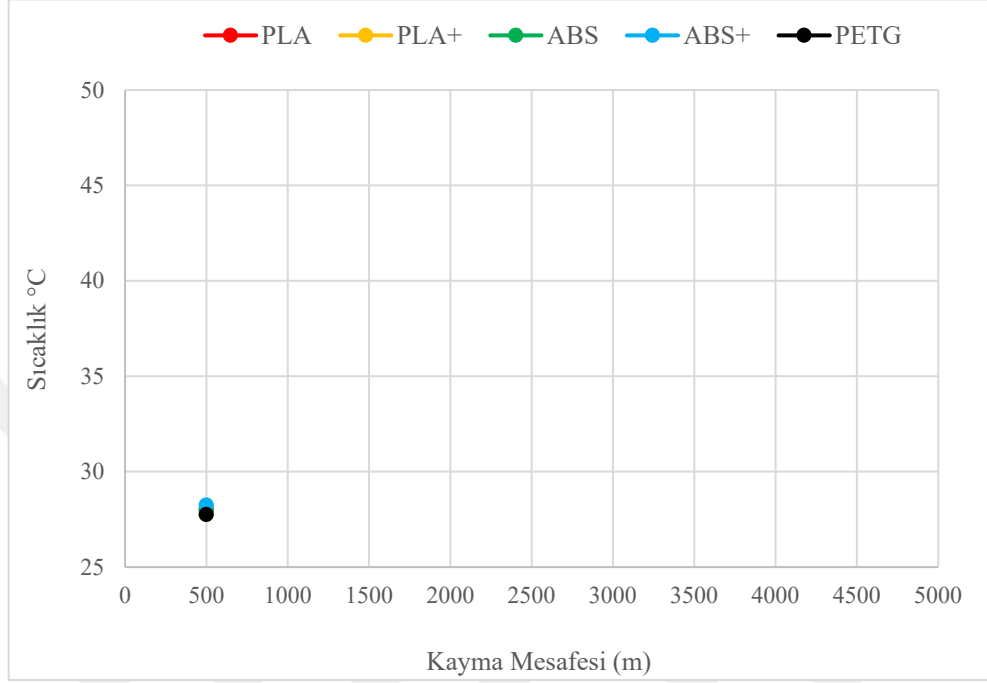


Şekil 4.18 0.9 m/s ve 25 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.18’de görüldüğü üzere sıcaklık değişimi 500 m’de 27 °C seviyelerinde başlamış ile 1000 m’de 32 °C seviyelerinde sonlanmıştır. 1000 m’de başlangıç seviyesine göre %19 artış göstermiştir. Sıcaklığı en çok artan numune Abs+ olmuştur.

Bu noktadan sonra deney tamamlanamamıştır. Bunun nedeni 1000 m sonunda motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

0.9 m/s hızda ve 50 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.19’da verilmiştir.

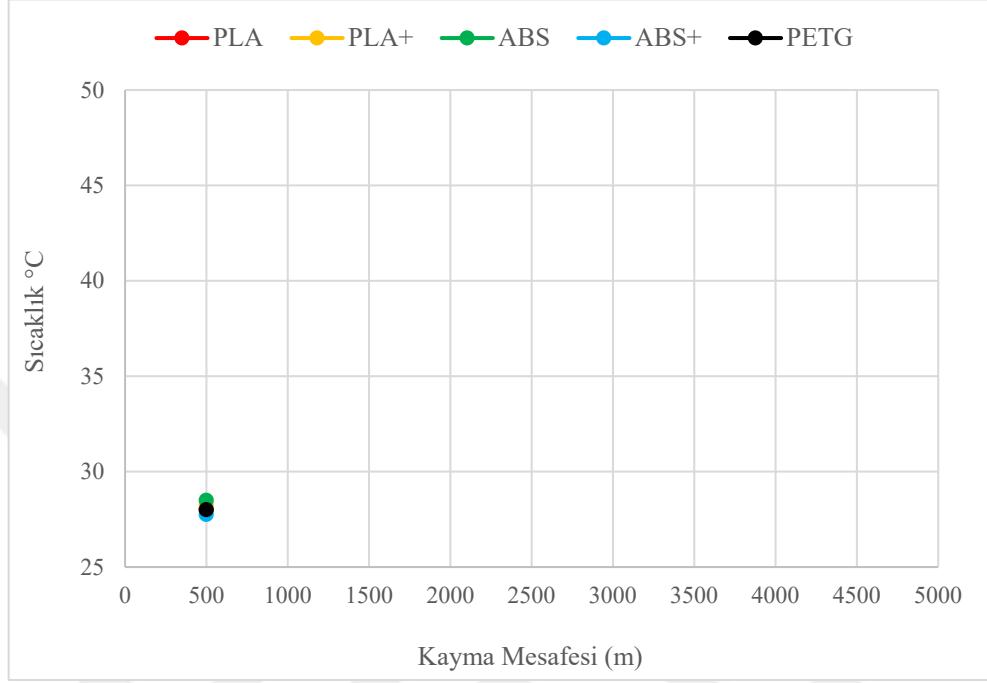


Şekil 4.19 0.9 m/s ve 50 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.19’da görüldüğü üzere sıcaklık değişimi 500 m’de 27 ° C seviyelerinde başlamış ve aynı seviyelerde sonlanmıştır. Deney boyunca yeterli veri oluşmadığından sıcaklık artışı gözlemlenememiştir.

Bu noktadan sonra deney tamamlanamamıştır. Bunun nedeni 500 m sonunda motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

0.9 m/s hızda ve 75 N yük altında yapılan deneylere ait, sıcaklık değerlerinin kayma mesafesi ile değişimin sonuçlarını veren grafik Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20 0.9 m/s ve 75 N yükte sıcaklık değişimi

Şekil 4.20’de görüldüğü üzere sıcaklık değişimi, 300 m’de 27 ° C seviyelerinde başlamış ve aynı seviyelerde sonlanmıştır. Deney boyunca yeterli veri oluşmadığından sıcaklık artışı gözlemlenememiştir.

Bu noktadan sonra deney tamamlanamamıştır. Bunun nedeni 300 m sonunda motor sağlıklı stabil dönmeyi devam ettiremediğinden deneyler sonlandırılmıştır. Bu mesafede, mil ve numune arasındaki sürtünmenin aşırı artmasından ve meydana gelen sıkışmadan kaynaklı bir hız düşmesi başlamış ve giderek devam etmiştir. Diğer yandan dönme hareketinin, oluşan sürtünme direncini yenebilmesi için ekstra güç gerektiğinden, normal şartlarda motor çalışma aralığı olan 0,8-1A aralığından, motorun emniyet akım değeri olan 3A akım çekmeye başlamış ve deney zorunlu olarak durdurulmuştur.

### 4.3. Aşınma Miktarları

Numuneler her hızda ve her yükte farklı miktarda aşınmaya maruz kalmışlardır. PLA filamentinden üretilen kaymalı yatakların, deney senaryolarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Pla filamentinin ağırlık değişimi

HIZ (m/s)	YÜK (N)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYBI (%)
0.3	25	11.6190	11.6141	0.0049	0.0421
0.3	50	11.5664	11.5592	0.0072	0.0622
0.3	75	11.6534	11.6429	0.0105	0.0901
0.6	25	11.6284	11.6229	0.0055	0.0473
0.6	50	11.5975	11.5295	0.0680	0.5863
0.6	75	11.5767	11.5049	0.0718	0.6202
0.9	25	11.5834	11.5776	0.0058	0.0500
0.9	50	11.6625	11.6609	0.0016	0.0137
0.9	75	11.6504	11.6499	0.0005	0.0004

PLA numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça ağırlık kaybı yüzdesinin arttığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Ağırlık kaybı 0.3 m/s ve 25N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir.
- 0.6 m/s ve 50 N ve 75 N ve 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak ağırlık kaybı yüzdesi fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

PLA Plus filamentinden üretilen kaymalı yatakların, deney senaryolarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Pla plus filamentinin ağırlık değişimi

<b>HIZ (m/s)</b>	<b>YÜK (N)</b>	<b>DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)</b>	<b>DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)</b>	<b>AĞIRLIK KAYBI (g)</b>	<b>AĞIRLIK KAYBI (%)</b>
0.3	25	11.4039	11.3987	0.0052	0.0456
0.3	50	11.3790	11.3717	0.0073	0.0641
0.3	75	11.3865	11.3752	0.0113	0.0992
0.6	25	11.3907	11.3851	0.0056	0.0491
0.6	50	11.3856	11.3190	0.0666	0.5850
0.6	75	11.3688	11.2964	0.0724	0.6368
0.9	25	11.3752	11.3693	0.0059	0.0518
0.9	50	11.3806	11.3792	0.0014	0.0123
0.9	75	11.3813	11.3808	0.0005	0.0004

PLA Plus numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça ağırlık kaybı yüzdesinin arttığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Ağırlık kaybı 0.3 m/s ve 25 N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir.
- 0.6 m/s ve 50 N ve 75 N ve 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak ağırlık kaybı yüzdesi fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

ABS filamentinden üretilen kaymalı yatakların, deney senaryolarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Abs filamentinin ağırlık değişimi

<b>HIZ (m/s)</b>	<b>YÜK (N)</b>	<b>DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)</b>	<b>DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)</b>	<b>AĞIRLIK KAYBI (g)</b>	<b>AĞIRLIK KAYBI (%)</b>
0.3	25	11.6851	11.6806	0.0045	0.0385
0.3	50	11.6735	11.666	0.0075	0.0642
0.3	75	11.6681	11.6563	0.0118	0.1011
0.6	25	11.6423	11.6366	0.0057	0.0490
0.6	50	11.6576	10.5917	0.0659	0.5653
0.6	75	11.6637	11.5945	0.0692	0.5933
0.9	25	11.6787	11.6726	0.0061	0.0522
0.9	50	11.6916	11.6899	0.0017	0.0145
0.9	75	11.6587	11.6583	0.0004	0.0003

ABS numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça ağırlık kaybı yüzdesinin arttığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Ağırlık kaybı 0.3 m/s ve 25 N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir.
- 0.6 m/s ve 50 N ve 75 N ve 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak ağırlık kaybı yüzdesi fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

ABS PLUS filamentinden üretilen kaymalı yatakların, deney senaryolarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Abs plus filamentinin ağırlık değişimi

<b>HIZ (m/s)</b>	<b>YÜK (N)</b>	<b>DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)</b>	<b>DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)</b>	<b>AĞIRLIK KAYBI (g)</b>	<b>AĞIRLIK KAYBI (%)</b>
0.3	25	11.7024	11.6976	0.0048	0.0410
0.3	50	11.6856	11.6778	0.0078	0.0667
0.3	75	11.6781	11.6672	0.0109	0.0933
0.6	25	11.6923	11.6865	0.0058	0.0496
0.6	50	11.7123	11.6470	0.0653	0.5575
0.6	75	11.7064	11.6369	0.0695	0.5937
0.9	25	11.6794	11.6732	0.0062	0.0530
0.9	50	11.6842	11.6824	0.0018	0.0154
0.9	75	11.6936	11.6932	0.0004	0.0003

ABS Plus numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça ağırlık kaybı yüzdesinin arttığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Ağırlık kaybı 0.3 m/s ve 25N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir.
- 0.6 m/s ve 50 N ve 75 N ve 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak ağırlık kaybı yüzdesi fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

PETG filamentinden üretilen kaymalı yatakların, deney senaryolarına göre ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Petg filamentinin ağırlık değişimi

HIZ (m/s)	YÜK (N)	DENEY ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (g)	AĞIRLIK KAYBI (g)	AĞIRLIK KAYBI (%)
0.3	25	10.7980	10.7927	0.0053	0.0490
0.3	50	10.7506	10.7424	0.0082	0.0762
0.3	75	10.7640	10.7515	0.0125	0.1161
0.6	25	10.7712	10.7648	0.0064	0.0594
0.6	50	10.7654	10.6964	0.0690	0.6410
0.6	75	10.7759	10.7006	0.0753	0.6990
0.9	25	10.7785	10.7720	0.0065	0.0603
0.9	50	10.7930	10.7910	0.0020	0.0185
0.9	75	10.7627	10.7622	0.0005	0.0005

PETG numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça ağırlık kaybı yüzdesinin arttığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Ağırlık kaybı 0.3 m/s ve 25N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir.
- 0.6 m/s ve 50 N ve 75 N ve 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak ağırlık kaybı yüzdesi fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

#### 4.4. Aşınma Oranları ve Dirençleri

Filamentlerden üretilen numunelerin her biri için aşınma oranları Denklem 4.1'e göre hesaplanmış ve aşınma dirençleri ise Denklem 4.2'ye göre hesaplanmış, ulaşılan sonuçlar tablo halinde hazırlanmış ve değerler yorumlanmıştır.

Numuneler hıza ve yüke bağlı olarak değişen miktarlarda aşınmaya uğramışlardır.

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 (mm<sup>3</sup> /Nm);

Δm: Ağırlık kaybı (g);

S: Kayma mesafesi (m)

ρ: Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>);

F<sub>n</sub>: Yük (N)

Aşınma Direnci ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

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

Wa : Aşınma oranı (mm<sup>3</sup>/N.m)

Wr : Aşınma direnci (N.m/mm<sup>3</sup>)

PLA filamentine ait aşınma oranları Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6 Pla filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları

HIZ (m/s)	YÜK (N)	AŞINMA MİKTARI (gr)	YOĞUNLUK (gr/cm <sup>3</sup> )	AŞINMA ORANI (mm <sup>3</sup> /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm <sup>3</sup> )
0.3	25	0.0049	1,24	0.000031613	31632.5562
0.3	50	0.0072	1,24	0.000023226	43055.1967
0.3	75	0.0105	1,24	0.000022580	44286.9796
0.6	25	0.0055	1,24	0.000035484	28181.7157
0.6	50	0.0680	1,24	0.000365591	2735.2971(ZS)
0.6	75	0.0718	1,24	0.000514695	1942.8982(ZS)
0.9	25	0.0058	1,24	0.000187096	5344.8497(ZS)
0.9	50	0.0016	1,24	0.000051613	19374.9636(ZS)
0.9	75	0.0005	1,24	0.000017921	55800.4576(ZS)

ZS: Zorunlu Sonlandırılan Deneyler.

Pla numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda ve 25 N, 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça aşınma oranının azaldığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Aşınma oranı 0.3 m/s ve 25 N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir. 0.6 m/s hızda ve 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanamasa da tamamlanabilen kısma kadar belli bir miktarda aşınma gerçekleşmiştir.
- 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak aşınma oranı fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

PLA PLUS filamentine ait aşınma oranları Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Pla plus filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları

HIZ (m/s)	YÜK (N)	AŞINMA MİKTARI (gr)	YOĞUNLUK (gr/cm <sup>3</sup> )	AŞINMA ORANI (mm <sup>3</sup> /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm <sup>3</sup> )
0.3	25	0.0052	1,24	0.000033548	29808.0363
0.3	50	0.0073	1,24	0.000023548	42466.4515
0.3	75	0.0113	1,24	0.000024300	41152.2633
0.6	25	0.0056	1,24	0.000036130	27677.8300
0.6	50	0.0666	1,24	0.000358065	2792.7890(ZS)
0.6	75	0.0724	1,24	0.000518996	1926.7971(ZS)
0.9	25	0.0059	1,24	0.000190322	5254.2533(ZS)
0.9	50	0.0014	1,24	0.000045161	22142.9995(ZS)
0.9	75	0.0005	1,24	0.000017921	55800.4576(ZS)

ZS: Zorunlu Sonlandırılan Deneyler.

Pla Plus numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda ve 25 N, 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça aşınma oranının azaldığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Aşınma oranı 0.3 m/s ve 25 N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir. 0.6 m/s hızda ve 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanamasa da tamamlanabilen kısma kadar belli bir miktarda aşınma gerçekleşmiştir.
- 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak aşınma oranı fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

ABS filamentine ait aşınma oranları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 Abs filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları

HIZ (m/s)	YÜK (N)	AŞINMA MİKTARI (gr)	YOĞUNLUK (gr/cm <sup>3</sup> )	AŞINMA ORANI (mm <sup>3</sup> /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm <sup>3</sup> )
0.3	25	0.0045	1,04	0.000034615	28889.2099
0.3	50	0.0075	1,04	0.000028846	34666.8516
0.3	75	0.0118	1,04	0.000030256	33051.2956
0.6	25	0.0057	1,04	0.000043846	22807.0976
0.6	50	0.0659	1,04	0.000422435	2367.2281(ZS)
0.6	75	0.0692	1,04	0.000591452	1690.7543(ZS)
0.9	25	0.0061	1,04	0.000234615	4262.3020(ZS)
0.9	50	0.0017	1,04	0.000065385	15294.0277(ZS)
0.9	75	0.0004	1,04	0.000017094	58500.0585(ZS)

ZS: Zorunlu Sonlandırılan Deneyler.

ABS numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda ve 25 N, 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça aşınma oranının azaldığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Aşınma oranı 0.3 m/s ve 25 N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir. 0.6 m/s hızda ve 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanamasa da tamamlanabilen kısma kadar belli bir miktarda aşınma gerçekleşmiştir.
- 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak aşınma oranı fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

ABS PLUS filamentine ait aşınma oranları Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9 Abs plus filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları

HIZ (m/s)	YÜK (N)	AŞINMA MİKTARI (gr)	YOĞUNLUK (gr/cm <sup>3</sup> )	AŞINMA ORANI (mm <sup>3</sup> /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm <sup>3</sup> )
0.3	25	0.0048	1,04	0.000036923	27083.3897
0.3	50	0.0078	1,04	0.000030000	33333.3333
0.3	75	0.0109	1,04	0.000027948	35780.7356
0.6	25	0.0058	1,04	0.000044615	22413.9863
0.6	50	0.0653	1,04	0.000418589	2388.9782(ZS)
0.6	75	0.0695	1,04	0.000594017	1683.4535(ZS)
0.9	25	0.0062	1,04	0.000238461	4193.5578(ZS)
0.9	50	0.0018	1,04	0.000069230	14444.6049(ZS)
0.9	75	0.0004	1,04	0.000017094	58500.0585(ZS)

ZS: Zorunlu Sonlandırılan Deneyler.

ABS Plus numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda ve 25 N, 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça aşınma oranının azaldığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Aşınma oranı 0.3 m/s ve 25 N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir. 0.6 m/s hızda ve 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanamasa da tamamlanabilen kısma kadar belli bir miktarda aşınma gerçekleşmiştir.
- 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak aşınma oranı fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

PETG filamentine ait aşınma oranları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Petg filamentine ait deney şartlarında oluşan aşınma oranları

HIZ (m/s)	YÜK (N)	AŞINMA MİKTARI (gr)	YOĞUNLUK (gr/cm <sup>3</sup> )	AŞINMA ORANI (mm <sup>3</sup> /N.m)	AŞINMA DİRENCİ (N.m/mm <sup>3</sup> )
0.3	25	0.0053	1,27	0.000033385	29953.5719
0.3	50	0.0082	1,27	0.000025823	38725.1675
0.3	75	0.0125	1,27	0.000026247	38099.5923
0.6	25	0.0064	1,27	0.000040315	24804.6633
0.6	50	0.0690	1,27	0.000362205	2760.8675(ZS)
0.6	75	0.0753	1,27	0.000527034	1897.4108(ZS)
0.9	25	0.0065	1,27	0.000204724	4884.6251(ZS)
0.9	50	0.0020	1,27	0.000062992	15875.0317(ZS)
0.9	75	0.0005	1,27	0.000174979	5714.9715(ZS)

ZS: Zorunlu Sonlandırılan Deneyler.

PETG numunelerinin deney sonuçlarına göre;

- 0.3 m/s hızda ve 25 N, 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanmıştır. Yük arttıkça aşınma oranının azaldığı görülmüştür.
- 0.6 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyleri başarıyla tamamlamıştır. Aşınma oranı 0.3 m/s ve 25 N ile yapılan deneye göre benzerlik göstermiştir. 0.6 m/s hızda ve 50 N ve 75 N yükte yapılan deneyler tamamlanamasa da tamamlanabilen kısma kadar belli bir miktarda aşınma gerçekleşmiştir.
- 0.9 m/s hızda tüm yüklerde yapılan deneylerde, hızın ve yükün artmasına bağlı olarak aşınma oranı fazla olduğu gibi motor zorlandığından dolayı deneyler tamamlanamamıştır.

#### 4.5. Yüzey Pürüzlülüğü

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. Numunelerin deneylerden önce ve sonra yüzey pürüzlülüğü Hitit Üniversitesi'ne bağlı HUBTUAM laboratuvarında ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı Şekil 4.21'de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü cihazı ölçüm uzunluğu 0.25 ayarlanmış, istenen yüzeyde 3 adet ölçüm yapılmış ve ortalama değerleri Ra olarak yazılmıştır. Elde edilen veriler tablo halinde sunulmuştur.



Şekil 4.21 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Tablo 4.11 Pla numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri

<b>HIZ (m/s)</b>	<b>YÜK (N)</b>	<b>DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
0.3	25	1.264
0.3	50	0.952
0.3	75	0.564
0.6	25	1.213
0.6	50	1.654
0.6	75	2.958
0.9	25	2.468
0.9	50	3.796
0.9	75	3.365
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		12.88

Tablo 4.12 Pla+ numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri

<b>HIZ (m/s)</b>	<b>YÜK (N)</b>	<b>DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
0.3	25	1.237
0.3	50	0.931
0.3	75	0.512
0.6	25	1.126
0.6	50	1.518
0.6	75	2.809
0.9	25	2.374
0.9	50	3.871
0.9	75	3.326
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		12.97

Tablo 4.13 Abs numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri

<b>HIZ (m/s)</b>	<b>YÜK (N)</b>	<b>DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
0.3	25	1.198
0.3	50	0.876
0.3	75	0.561
0.6	25	1.141
0.6	50	1.645
0.6	75	2.983
0.9	25	2.184
0.9	50	3.636
0.9	75	3.405
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		12.75

Tablo 4.14 Abs+ numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri

<b>HIZ (m/s)</b>	<b>YÜK (N)</b>	<b>DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
0.3	25	1.213
0.3	50	0.897
0.3	75	0.614
0.6	25	1.137
0.6	50	1.708
0.6	75	2.869
0.9	25	2.249
0.9	50	3.575
0.9	75	3.825
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		12.81

Tablo 4.15 Petg numunesinin yüzey pürüzlülük değerleri

HIZ (m/s)	YÜK (N)	DENEY SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ (Ra) ( $\mu\text{m}$ )
0.3	25	1.302
0.3	50	0.595
0.3	75	0.348
0.6	25	1.112
0.6	50	1.378
0.6	75	2.799
0.9	25	2.397
0.9	50	3.925
0.9	75	3.405
DENEY ÖNCESİ ORT. DEĞER		12.20

#### 4.6. Sem Görüntüleri

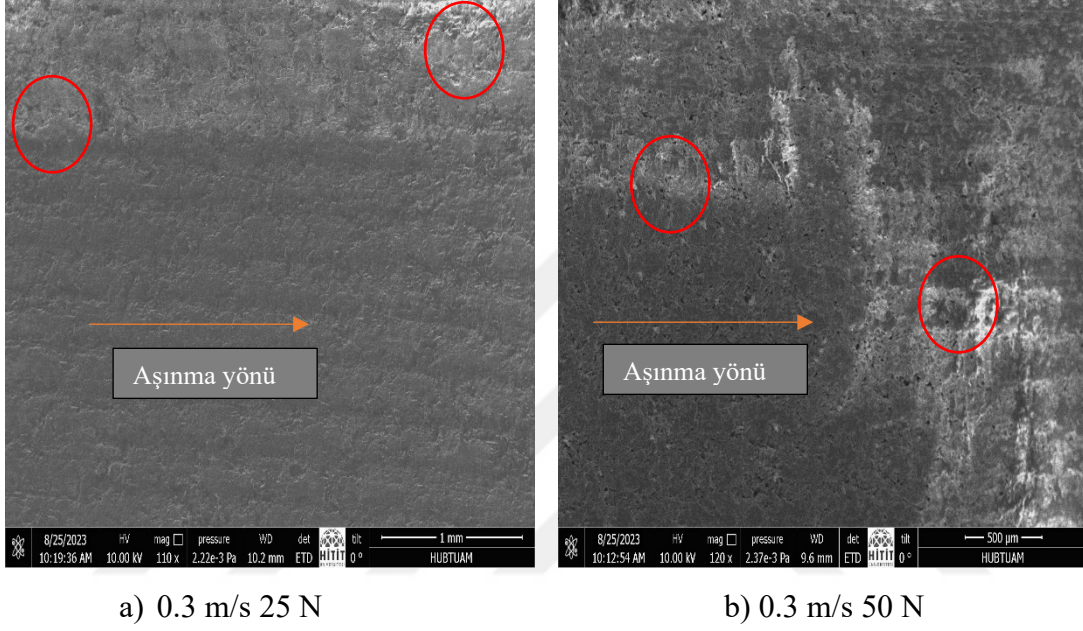
Bu bölümde meydana gelen aşınmaların SEM cihazı ile yapılan görüntüleri ortaya konulmuştur. SEM görüntüleri Hitit Üniversitesi'ne bağlı HUBTUAM laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22 SEM cihazı

Deney numunelerinden alınan SEM görüntüleri aşağıda verilmiştir. Numunelerin deneylerdeki senaryoları benzer olduğu için, numunelerin farklı deney senaryolarına göre elde edilen görüntüler karşılaştırma yapılarak yorumlanmıştır.

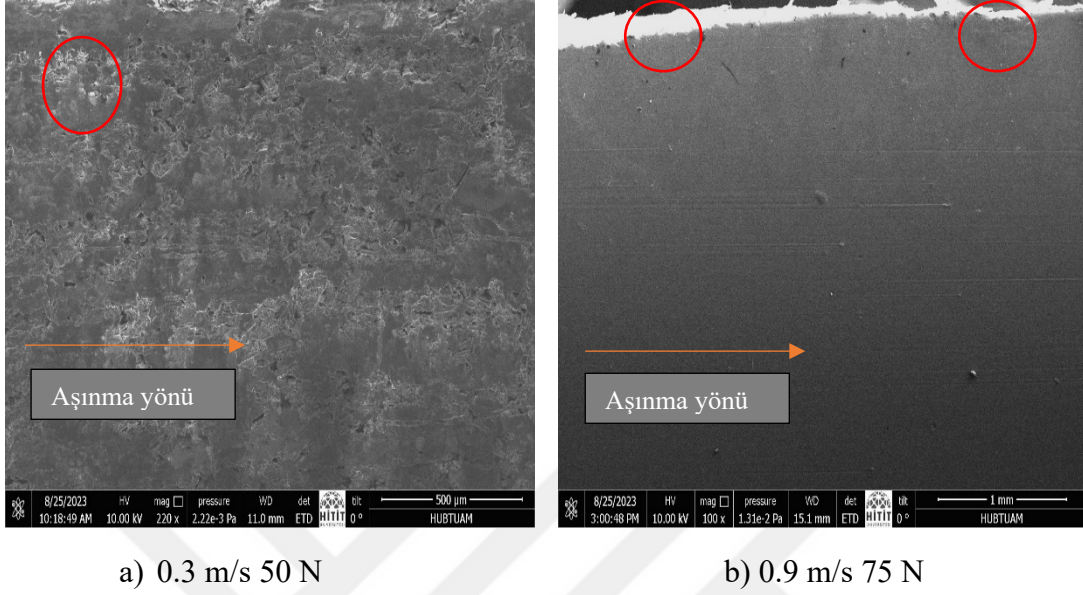
Pla numunelerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23 Pla numunesinden alınan 0.3 m/s 25 N ve 0,3 m/s 50 N deneylerindeki SEM görüntüsü

Şekilde görüldüğü ve deneylerde hesaplandığı üzere aynı hızda yük arttıkça aşınma miktarında artış ve yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmüştür. Yükün artmasına bağlı olarak numune yüzeyine daha fazla temas ettiği için dolaylı olarak adhesiv aşınma daha belirgin hale gelmiştir. Şekil 4.23a'da ve Şekil 4.23b'de yuvarlak okla işaretlenen yerlerde adhesiv aşınma izleri görülmektedir.

Pla+ numunelerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.24'te verilmiştir.

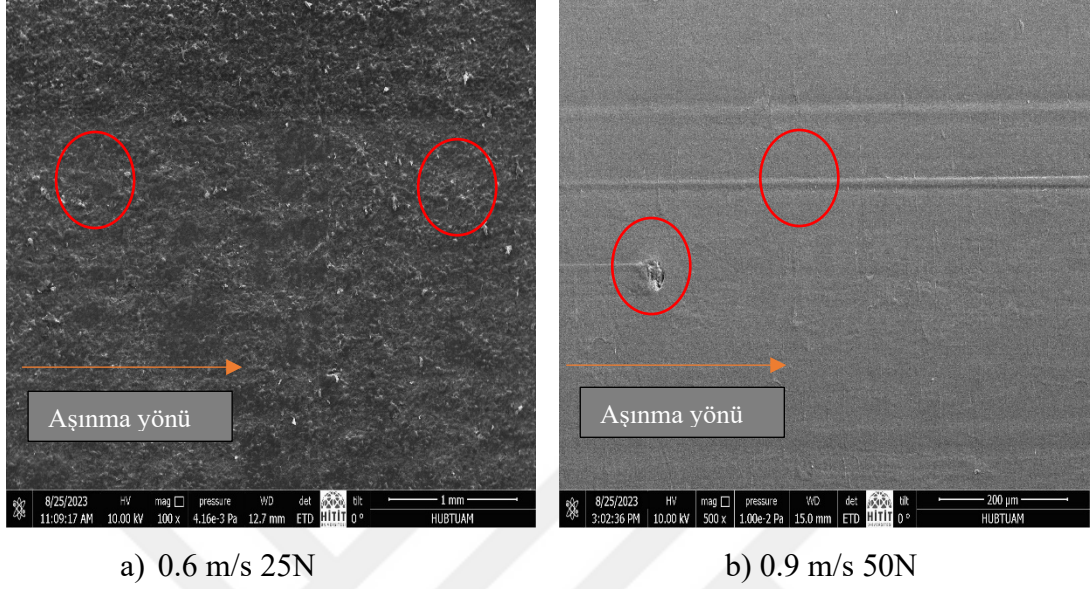


Şekil 4.24 Pla+ numunesinden alınan 0.3 m/s 50 N ve 0.9 m/s 75 N deneylerindeki SEM görüntüsü

0.3 m/s 50 N ile yapılan deney görüntülerinde yüzeydeki aşınma daha dengeli ve kararlı olmuştur. Şekilde görüldüğü ve deneylerde hesaplandığı üzere aynı hızda yük arttıkça aşınma miktarında artış ve yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmüştür. Yükün artmasına bağlı olarak numune yüzeyine daha fazla temas ettiği için dolayısıyla adhesiv aşınma daha görülür hale gelmiştir. Şekil 4.24a'da görülmektedir.

Ancak 0.9 m/s ve 75 N ile yapılan deney görüntüleri incelendiğinde adhesiv aşınma ile abrasif aşınma birlikte gerçekleşmiştir ve numunenin yüzeyinde çizikler meydana gelmiştir. Şekil 4.24b' de yuvarlak okla işaretlenen yerlerde abrasif aşınma izleri görülmektedir.

Abs numunelerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.25'te verilmiştir.

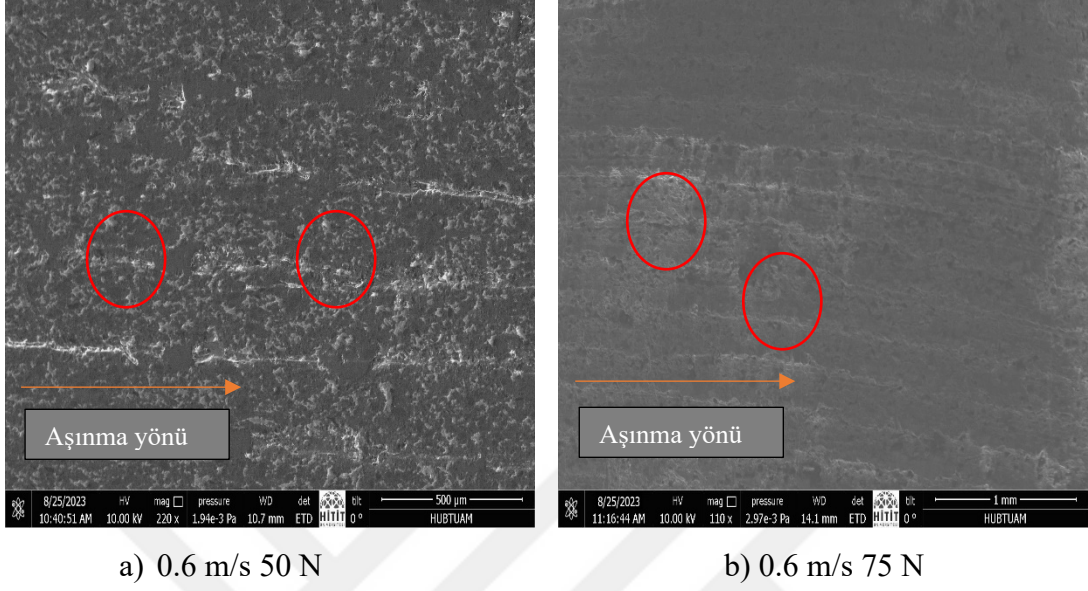


Şekil 4.25 Abs numunesinden alınan 0.6 m/s 25 N ve 0.9 m/s 50 N deneylerindeki SEM görüntüsü

0.6 m/s 50 N ile yapılan deneyden elde edilen SEM görüntüsüne göre, yükün ve hızın artmasına bağlı olarak numune yüzeyinde adhesif aşınma izleri ve numuneden uzaklaşma görülmüştür. Şekil 4.25a'da yuvarlak okla işaretlenen yerlerde adhesiv aşınma izleri görülmektedir

0.9 m/s 50 N ile yapılan deney görüntülerine göre abrasif aşınma izleri ile beraber abrasif aşınma izleri görülmüştür. Numunenin yüzeyinde çizikler meydana gelmiştir. Şekil 4.25b' de yuvarlak okla işaretlenen yerlerde abrasif aşınma izleri görülmektedir. Bu durumla ilgili Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de benzer durumla ilgili görüntüler verilmiştir.

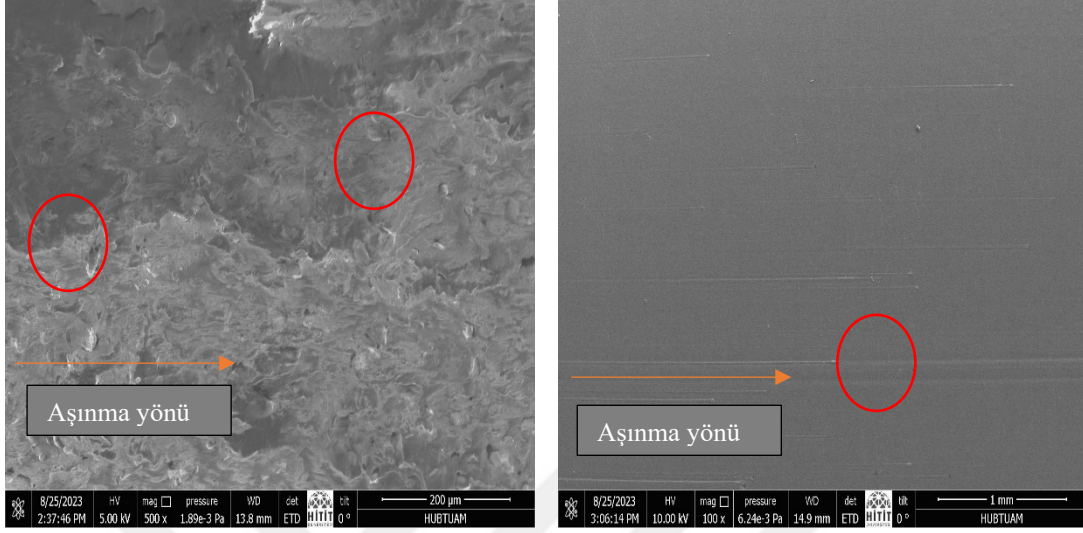
Abs+ numunelerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26 Pla+ numunesinden alınan 0.6 m/s 50 N ve 0.6 m/s 75 N deneylerindeki SEM görüntüsü

Elde edilen SEM görüntülerine göre 0.6 m/s hızda 50 N ve 75 N ile yapılan deneylerde numunelerin yükün ve hızın artmasına bağlı olarak sürtünme miktarının artmasından dolayı adhesiv aşınma ile birlikte abrasif aşınma da gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana gelmiştir. Numune yüzeylerinde uzaklaşma görülmüştür. Şekil 4.26’da yuvarlak okla işaretlenen yerlerde adhesiv aşınma izleri görülmektedir.

Petg numunelerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.27’de verilmiştir.



a) 0.3 m/s 75N

b) 0.9 m/s 25N

Şekil 4.27 Petg numunesinden alınan 0.3 m/s 75 N ve 0.9 m/s 25 N deneylerindeki SEM görüntüsü

0.3 m/s hızda 75 N yükte yapılan deneyin SEM görüntülerine göre, 0.3 m/s 25 N ve 0.3 m/s 50 N ile yapılan deneyle karşılaştırıldığında adhesiv aşınma daha gözle görülür hale gelmiştir. Yükün artmasına bağlı olarak sürtünme miktarı daha fazla olduğundan dolayı yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.27a’da yuvarlak okla işaretlenen yerlerde adhesiv aşınma izleri görülmektedir.

0.9 m/s hızda 25 N yükte yapılan deneyin SEM görüntülerine göre, numune yüzeyinde çizikler ve uzaklaşma görülmüştür. Numunenin yüzeyinde çizikler meydana gelmiştir. Bu durumla ilgili Şekil 4.10’da ve Şekil 4.11’de benzer durumla ilgili görüntüler verilmiştir. Şekil 4.27b’de işaretlenmiştir

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Abs, Abs+, Pla, Pla+ ve Petg olmak üzere 5 farklı filamentten üretilen kaymalı yatak malzemelerinin her biri ile, 3 farklı yük ve 3 farklı hızda toplam 9 farklı senaryoda olmak üzere yapılan çalışmanın sonuçlarına göre;

- ✓ Hızın artmasına bağlı olarak numunelerin sürtünme katsayıları da artmıştır.
- ✓ Yükün artmasına bağlı olarak numunelerin sürtünme katsayısında düşüşler tespit edilmiştir.
- ✓ Yük arttıkça, numunelerin deney boyunca ulaştıkları en yüksek sıcaklık değerleri ve kayma mesafesi aralıklarındaki sıcaklık değerleri artış göstermiştir.
- ✓ Aynı hızda farklı yükte yapılan deneylerde, yükün artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde azalma tespit edilmiştir.
- ✓ Numunelerin birbirlerine göre esneklik, dayanıklılık ve sertlik özelliklerinde farklılık olsa da hepsi deneyleri benzer değerlerde tamamlamıştır.
- ✓ Numunelerin yüzey kalitesi de aşınma miktarını ve türünü etki eden faktörlerin başında gelmektedir.
- ✓ SEM görüntüleri ile aşınmaların belirgin olduğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Numuneler 0.3 m/s hızda yapılan deneyleri tamamlayabildiği; 0.6 m/s hızda ve 25 N yükte deneyleri tamamlayabildiği, 0.6 m/s hızda ve 50 N yükte deneyleri 3000 m kayma mesafesine kadar tamamlayabildiği, 0.6 m/s hızda ve 75 N yükte 1500 m kayma mesafesine kadar tamamlayabildiği; 0.9 m/s hızda yapılan deneyleri tamamlayamadığı tespit edilmiştir.
- ✓ 0.9 m/s hızda yapılan deneylerde numunelerin iç yüzeyinde aşınmalar olduğu gibi dış yüzeylerinde de deformasyonlar tespit edilmiştir.
- ✓ Yukarıda grafik ve tablolarda belirtildiği üzere, deneylerde sürtünme katsayısının aşırı artmasından dolayı, deney düzeneğinin sağlıklı çalışmasına engel olan durumlar yaşanmıştır. Bundan dolayı deneyler zorunlu olarak durdurulmuştur.
- ✓ Yapılan deney sonuçlarına göre numunelerin, 0.3 m/s hızda çalışma yapmak için uygun olduğu; 0.6 m/s hızda çalışma yapmak için göreceli olarak uygun olduğu ancak 0.9 m/s hızda deneyler yapmak için uygun olmadığı tespit edilmiştir.
- ✓ Numunelerin hafif hız gerektiren çalışma alanlarında kullanabileceği ancak yüksek hız gerektiren çalışma alanlarında kullanılamayacağı tespit edilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2011. Kaymalı yataklar. <https://teknikbilgisitesi.blogspot.com/2015/01/kaymal-yataklar.html> - (29.08.2023)
- Anonim, 2017a. [http://www.robotiksystem.com/arduino\\_uno\\_ozellikleri.html](http://www.robotiksystem.com/arduino_uno_ozellikleri.html) - (28.08.2023)
- Anonim, 2017b. <https://www.robotistan.com/max6675-k-type-termokupl-sensor> - (28.08.2023)
- Anonim, 2017c. <https://www.direnc.net/proximity-hall-effect-sensor> - (28.08.2023)
- Anonim, 2017d. <https://www.robotistan.com/reduktorsuz-dc-motor-1> - (28.08.2023)
- Anonim, 2017e. [http://elektronikkontrol.com/dc\\_surucu.htm](http://elektronikkontrol.com/dc_surucu.htm) - (28.08.2023)
- Anonim, 2018. Termoplastikler. <https://pagev.org/termoplastikler> - (06.05.2023)
- Anonim, 2019. 3d yazıcı filament özellikleri. <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-yazici-filament-ozellikleri> - (06.02.2022)
- Anonim, 2020a. Polietilen. <https://esen.com/plastik/polietilen/> - (06.06.2023)
- Anonim, 2020b. Aşınma Nedir? Aşınma Çeşitleri ve Etki Eden Faktörler. <https://insapedia.com/asinma-nedir-asinma-cesitleri-ve-etki-eden-faktorler.-> (20.08.2023)
- Anonim, 2021a. Polietilen (PE) Nedir? Kullanım Alanları ve Geri Dönüşüm. <https://saydasplastik.com.tr/polietilen-pe-nedir-kullanim-alanlari-ve-geri-donusum/> - (28.08.2023).
- Anonim, 2021b. Termoplastik nedir? Nerelerde kullanılır?. <https://www.elektrikde.com/termoplastik-nedir-nerelerde-kullanilir/> - (06.05.2023)
- Anonim, 2021c. Termoset Plastik ve Termoplastik Arasındaki Fark. <https://tr.jyinsulation.com/info/the-difference-between-thermosetting-plastic-a63502136.html>. - (28.06.2023)
- Anonim, 2022. Polyamid Nedir?. <https://www.martanplastik.com/pa-polyamid-nedir/> (08.07.2023)
- Anonim, 2023. <https://www.robotistan.com/creality-ender-3-s1> - (08.06.2023)
- Artun, Y., 2022. Kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Avcu, A., 2018. Aşınma Nedir Aşınma Çeşitleri. <https://www.muhendisbeyinler.net/asinma-nedir-asinma-cesitleri/> - (20.08.2023)
- Aydınlı, O.M., 2023. Eklemeli imalat yönteminde kullanılan filament katkılarının üretilen parçaların mekanik özelliklerine etkilerinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Kırıkkale Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Babalık, C. F. ve Çavdar K., 2021. Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri. Dora Yayınları, 10. Baskı, 848s, Bursa.
- Can, İ., 2005. Kurşun esaslı krank mili kaymalı yatak malzemesinin aşınma davranışı. (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- Coşkun, M., 2019. 3 boyutlu yazıcıda üretilmiş parçalara uygulanan ısı işlemlerin mekanik özelliklere etkisi. (Yüksek Lisans Tezi), Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Demirci, M.T., 2009. Polimer esaslı kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin deneysel incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Güngör, K., 2016. Sinterlenmiş bronz esaslı kaymalı yataklarda polimer kullanımının tribolojik özelliklere etkisi. (Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kalender, M., 2017. Üç boyutlu yazıcılarda hangi malzemeler kullanılıyor 3d printer. <https://malzemebilimi.net/uc-boyutlu-yazicilarda-hangi-malzemeler-kulaniliyor-3d-printer.html> – (06.02.2022).
- Kaymaz, İ., 2015. Kaymalı Yataklar, Ders Notu, Erzurum Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum
- Koç, H.B., 2022. Üç boyutlu yazıcılarda kullanılmak üzere geri dönüştürülmüş PLA filamentle basılan parçaların mekanik özelliklerinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurgan, N., 2016. Triboloji. <https://avys.omu.edu.tr/public/naci.kurgan>. (28.07.2023)
- Özer, H.İ., 2022. Polilaktik Asit (PLA) Esaslı Farklı Filamentlerle Biriktirilmiş Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Öztlü, T.R., 2023. Polimer Esaslı Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Farklı Yük ve Hızlarda Deneysel İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

- Pürçek, G., 1994. Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Portillo, A., 2022. Termoplastikler. <https://www.renovablesverdes.com/tr/Termoplasticos> - (28.08.2023).
- Sarı, A., 2015. Polimer yatak malzemelerin tribolojik özelliklerinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Semiz, T.Y., 2019. 3d filament nedir çeşitleri. <https://maker.robotistan.com/3d-filament-nedir-cesitleri> - (06.02.2022).
- Şahin, G., 2021. 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan poli(laktik asit) ve kompozit filamentlerinin mekanik ve baskı özelliklerinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Şimşek, M., 2005. İçten Yanmalı Motorlarda Borlama ile Mukavemet Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Talın, A.İ., 2019. Termoplastik malzemeler nelerdir termoplastiklerin özellikleri nelerdir. <https://malzembilimi.net/termoplastik-malzemeler-nelerdirtermoplastiklerin-ozellikleri-nelerdir.html> – (18.04.2023).
- Taşkıran, M., 2018. Karbon Elyaf, Ptfе Ve Yağ Katkılı Pa6 Polimer Kompozitlerinin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Dumlupınar Üniversitesi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı. Kütahya
- Taylan, G., 2021. Polimer esaslı kuru kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Temiz, V.,2015. Kaymalı yataklar. <http://web.itu.edu.tr/temizv/VTDN/Kaymalı%20yatak.pdf>. – (06.05.2023)
- Tran, R., 2016. PLA vs. ABS: Getting Value out of Low-Cost Prototyping. <https://www.fictiv.com/articles/pla-vs-abs-getting-value-out-of-low-cost-prototyping> - (08.08.2023)
- Yazıcı, M., 2022. Eklemeli üretim yöntemi ile farklı orantasyon açılarında üretilmiş 316L paslanmaz çeliğinin plazma nitrürleme işleminden sonra, mekanik, tribolojik,elektrokimyasal ve manyetik özelliklerinin incelenmesi, (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Yelgin, H., 2003. Hidrostatik Karbonlu Teflon Kaymalı Yatakta Termal Etki ve Aşınma. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7.
- Yıldız, B., 2016. Grafenin kaymalı yataklara uygulanması. (Yüksek Lisans Tezi), Pamukale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Şirahane, S.T., 2022. Otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum alaşım malzemelerin farklı viskozitedeki yağlayıcılar altında tribolojik özelliklerinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

