

AŞINMA CİHAZINDA DAQ KARTI KULLANILARAK YAPILAN AŞINMA TESTİNDEKİ SÜRTÜNME VERİLERİNİN İNCELENMESİ

Recep KOÇ¹, Akif DUMANAY²

¹rkoc@balikesir.edu.tr Balıkesir Üniversitesi, Edremit Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal
Teknolojileri Bölümü, 10300 Balıkesir

²akifdumanay@hotmail.com Balıkesir Üniversitesi, Edremit Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar
Teknolojileri Bölümü, 10300 Balıkesir

ÖZET

Bu deneysel çalışmada, poli-oksi-metilen (POM), poli-amid-imid (PAI), döküm poliamid 6 (PA6G), poli-eter-eter-eton (PEEK) mühendislik plastikleri kullanılmıştır. Aşınma deneyleri disk-üstü-pim aşınma deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma cihazında DAQ (veri toplama) kartı kullanılarak elde edilen sürtünme verileri incelenmiştir. Mühendislik plastiklerinin aşınma deneylerinde üç farklı yük (62 N, 124 N ve 186 N), yedi farklı kayma mesafesi (500-3500 m arasında) ve 0.5 m/s kayma hızı kullanılmıştır. Deneyler kuru ortam şartları altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde AISI 1040 çeliği, karşı disk malzeme olarak kullanılmıştır. Farklı yük, hız ve kayma mesafelerinde gerçekleştirilen aşınma deneylerinde POM, PAI, PA6G ve PEEK mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayıları ve özgül aşınma oranları tespit edilmiş ve sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Mühendislik plastikleri, Aşınma, Sürtünme, DAQ kartı

ABSTRACT

This experimental study of poly-oxy-methylene (POM), poly-amide-imide (PAI), cast polyamide 6 (PA6G), poly-ether-ether-ketone (PEEK), engineering plastics are used. Wear pin-on-disk wear tests were carried out experimental setups. Wear instrument DAQ (data acquisition) card data were obtained by using friction. Engineering plastics wear of three different experiments, the load (62 N and 124 N and 186 N), the sliding distance of seven (500 to 3500 m) and 0.5 m/s test speed was used. Experiments were carried out under dry environment conditions. The experiments of AISI 1040 steel, as against the disk of material used. Different load, speed and sliding distances wear the POM experiments, PAI, PEEK engineering plastic PA6G and coefficients of friction and specific wear rates were determined and the results are compared with each other.

Key words: Engineering plastics, Wear, Friction, DAQ card

1. GİRİŞ

Mühendislik polimerleri ve polimer esaslı kompozitler, metaller ve polimerler ile birlikte karşı sürtünmeli kayarak çalışılan makine elemanlarında yaygın bir malzeme olarak kullanılır. Mühendislik polimerleri, yağlama veya gres ile yağlama ihtiyacının süreklilik probleminden sakınmak için kendinden yağlama özelliklerine sahip dişli ve kam gibi makine elemanlarının seçiminde yoğun

olarak kullanılır. Mühendislik polimerleri pek çok endüstriyel sektörde otomobil, elektrik, elektronik, havacılık ve ev eşyası yapımında tercih edilir [1-3].

Aşınma, katı bir yüzeyin bozulması olarak tanımlanır, genellikle yüzey ve temas maddesi veya maddeleri arasındaki hareket ilişkisinden dolayı bir süreç içerisinde malzeme kaybını içerir [4]. Çeşitli aşınma şartlarında veya abrasiv aşındırıcıya karşı kaydırıldığı zaman, katkı polimerler genellikle katkısız polimerlerden daha kötü aşınma performansı gösterirler [5-7].

Polimerlerin aşınmasında üç temel mekanizma vardır. Bunlar, adhesiv aşınma, abrasiv aşınma ve yorulma aşınmasıdır. Ayrıca azda olsa polimerler erozyon aşınmasına maruzdurlar. Polimerlerde, metallerde görülen ve adhezyon aşınmasının şiddetli bir şekli olan yenme aşınması meydana gelmez. Bununla birlikte polimerler su-nem ile yağlanarak da çalışabilirler [8].

PA6 özellikle kaymalı makine elamanları için mühendislik malzemesi olarak kullanılır. Polimerlerin kaymasındaki bir problem, bünyesine elektrik yük almasıdır. Bu problem için genel çözüm polimer içerisine karbon siyahı yada grafit ilave edilmesidir [9, 10].

POM, özellikleri bakımından yüksek dayanıma sahip, iyi boyutsal stabilite, düşük sürtünme katsayısı, düşük sıcaklarda bile iyi basma ve darbe dayanımı, özellikle otomatik ekipmanlarda mükemmel işlenebilme yeteneğine sahiptir. Aşınma ve sürtünme ye dirençli olan diğer bir mühendislik polimeri olan poliamid 6 (PA6) ile kıyaslandığında aşınmaya karşı özellikle de pis ve tozlu ortamlarda daha dayanıksızdır [11].

POM tesisat malzemesi olarak; çatlamaya karşı dirençli, suya ve uzun süreli yüklemelere karşı dayanıklı, sürtünmenin düşük olması ve mineral birikimini engellemek gibi özellikleri karşılayacak şekilde uzun yıllardır su ve kanalizasyon sistemlerinin çeşitli kısımlarında farklı amaçlarla kullanılmaktadır [12-15].

POM ve kompozitlerinin çelik yüzeye karşı kuru kayma şartlarında yapılan sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesinde katkısız POM'un çelik yüzey üzerinde malzeme transferi olmadığı görülmüştür. Katkısız POM'un sürtünme ve aşınma davranışında görülen yapışma çelik yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır [15].

Polieter-eter-eton (PEEK), bir yarı-kristal, çok iyi bir yüksek performans mühendislik termoplastik olup, termal ($T_g = 143 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_m = 338 \text{ }^\circ\text{C}$, sürekli çalışma sıcaklığı $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ve genellikle $300 \text{ }^\circ\text{C}$ aşan) ve mekanik (mukavemet, modül, tokluk, sürünme direnci, aşınma ve yorulma) özelliklerine sahip çok iyi bir şekillendirilebilir enjeksiyon polimeridir [16].

PEEK içerisine PTFE dahil edilmesiyle aşınma ve sürtünme katsayısı özelliklerini belirgin bir şekilde iyileştirdiği sonucuna varılmıştır [17].

Lu ve Friedrich [18], farklı molekül ağırlığındaki katkısız PEEK(poli-eter-eter-eton) ve PTFE(poli-tetra-flor-etilen) katkı PEEK karışımlarının sürtünme davranışlarını sert çeliklere karşı kuru kayma şartlarında incelemişlerdir. PEEK'in sertliği ve küre taneli özelliğinin, sürtünme performansına önemli bir etkisinin olduğunu bulmuşlardır. PEEK/PTFE karışımlarının sürtünme özellikleri ile ilgili olarak, % 15 hacim oranlı PTFE'li bir karışım için en düşük sürtünme katsayısı ölçülmüştür. % 5'den % 85 arasında çeşitli hacim oranlarında PTFE'li PEEK karışımlarının aşınma oranı katkısız PEEK'den daha düşük olmuştur. Minimum aşınma oranı değeri % 5 hacim oranlı PTFE'li PEEK polimer malzemesinde bulunmuştur.

Bu çalışmada, POM, PAI, PA6G ve PEEK mühendislik plastikleri AISI 1040 çeliğine karşı pim-disk aşınma deney cihazında DAQ kartı kullanılarak çalıştırılmıştır. Deney numunelerinin aşınma ve sürtünme özelliklerini tespit etmek için üç farklı yük ve yedi farklı kayma mesafesi kullanılmıştır. Mühendislik plastiklerinin aşınma ve sürtünme davranışlarına uygulanan yükün ve kayma mesafesinin etkisi araştırılmıştır. Deneylede öngül aşınma oranı ve sürtünme katsayıları tespit edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Kullanılan Materyaller

Aşınma deneylerinde katkısız POM, PAI, PA6G ve PEEK mühendislik polimerleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan tüm malzemelerin ticari adı ve tedarikçisi Çizelge 1’de verilmiştir. Ayrıca karşı disk malzeme olarak kullanılan AISI 1040 çeliğinin spektral analiz sonuçları Tablo 2’de verildiği gibidir. Yine deneylerde kullanılan mühendislik plastikleri fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 1. Deneyde kullanılan mühendislik plastikleri

Sıra No	Numune Adı	Ticari Adı	Tedarikçisi
1	POM	Hostaform	Ticona
2	PAI	Torlon	Kahvecioğlu plastik
3	PA6G	Kestamid	Alhan plastik
4	PEEK	Ketron	Quadrant

Tablo 2. AISI 1040 çeliğinin spektral analiz sonuçları

% C	% Si	% Mn	% P	% S
0.40	0.15	0.75	0.040(maks)	0.050(maks)

Tablo 3. Mühendislik plastiklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri [16, 17, 20]

Özellikler	Test metodu	POM	PAI	PA6G	PEEK
Yoğunluk (g/cm ³)	ISO 1183	1.41	1.45	1.15	1.31
Sertlik(HR) _M	ISO 2039	80	-	85	100
Çekme mukavemeti (MPa)	ISO 527	64	118	82.7	110
Kopmadaki uzama (%)	ISO 527	30	15	20	20
Eğmedeki elastiklik modülü (GPa)	ISO 187	2.7	3.59	3.45	4.14
İzod darbe mukavemeti (kJ/m ²)	ISO-180/1A	7	-	0.214	0.534

Deneyde kullanılan POM polimer numunesi, granül halde temin edilip, iki yolluklu plastik enjeksiyon kalıbında basılmıştır. PAI, PA6G ve PEEK mühendislik polimerleri Ø6x50 mm ölçülerinde pim şeklinde deney numunesi hazırlanmıştır. Diskin yüzey sertliği 42 HRC olup yüzey pürüzlülüğü Ra=0.62 µm olarak ölçülmüştür.

POM, Ticona firmasının bir ürünü olup, asetal kopolimer ticari ürün ismiyle, katkısız standart enjeksiyon kalıp ürünüdür. Katkısız poliasetallerde dayanıklılık ve çarpma direnci düşüktür. Delrin, Celcon ve Hostaform ticari adları ile bulunmaktadır. Özellikleri bakımından, yüksek dayanıma sahip, boyutsal stabilitesi iyi, düşük sürtünme katsayısı, düşük sıcaklarda bile basma ve darbe dayanımı iyi, özellikle otomatik ekipmanlarda mükemmel işlenebilme yeteneğine sahip olup, rengi doğal ve siyahtır. Zayıf noktası, PA6’ya kıyasla aşınmaya karşı özellikle pis ve tozlu ortamlarda daha dayanıksız. Kullanım alanları, poliasetal malzemeler son zamanlarda özellikle güç ve aktarımı alanlarında metallerin yerini almakta ve dişlilerin çoğu poliasetallerden yapılmaktadır. Bulaşık makinelerinde kullanılan malzemelerin aşırı bazik olan deterjanlara karşı dayanıklı olması gerektiğinden bu amaçla asetal kopolimerler kullanılmaktadır. Konveyör ruloları gibi boyutsal stabilite ve hassas toleranslar gerektiren mekanik parçaların yapımında en çok kullanılan malzemelerden birisidir [15].

PAI malzeme, 260 °C sıcaklıklarda sürekli çalışabilme, mükemmel mekanik dayanım, yüksek tokluk, geniş bir sıcaklık aralığında ve yük altında yüksek şekil değiştirme direnci, 260 °C sıcaklığa kadar aşırı düşük ve lineer ısıl genleşme katsayısı, yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayısı, mükemmel elektrik yalıtımı, yanmaya ve radyasyona karşı direnç gösterme özelliğine sahiptir. PAI polimerleri diğer yüksek performans polimerleri polyetheretherketones (PEEK) ve poliimidler (PI) ile aynı alanda kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık ve yük altında boyutsal hassasiyet ve kararlılık gerektiren veya aşırı zor şartlara maruz kalan parçalar, yağsız çalışan yatak burçları, sızdırmazlık elemanları, rulman kafesleri, pistonlu kompresör, ve elektrik izolasyon elemanları, dişliler, makaralar, titreşim emici elemanlar, ve genel amaçlı mühendislik ve bakım uygulamalarında kullanılmaktadır.

PA6G, Döküm Poliamid 6, ticari ismiyle Kestamid olarak tanınır. Bu Poliamid'in üretim metodu, kalıpta doğrudan kaprolaktam'ın polimerizasyonu ile gerçekleşir. Üretim amacı, çok kalın levhalar yada büyük halka gibi normal boyutlardan daha büyük boyutlu parçaların üretilmesidir. Özellikleri, aşınma direnci istenilen çevre şartlarında iyi, tokluğu Poliamid 6'den daha iyi, yorulma direnci çok yüksek. Sürtünme katsayısı düşük ve genellikle yağlama gerektirmeyen kayma uygulamaları için tercih edilir. Dış hava şartlarına karşı dayanıklı ve yıpranma direnci düşük sıcaklıklarda iyidir. Zayıf yönleri Poliamid 6 gibi neme hassas olduğundan havadan nem alır. Ayrıca geniş boyutlu döküm parçaların moleküler yapısından dolayı özellikleri, küçük boyutlu döküm parçaların sahip olduğu özelliklerden üstündür. Kullanım alanları, bu malzemelerin üretiminde geniş boyutlu parçaların elde edilmesi mümkün olduğundan, geniş çaplı dişliler, tekerlek, kamlar, makaralar, aşınma plakaları, yataklar, kaymalı yataklar, burçlar, destek elemanlarının üretimi için mekanik alanda yaygın bir şekilde kullanılır. Yiyeceklerle temasta kullanılmazlar. Nem içermesi ile elektrik özelliklerinin değişmesinden dolayı elektrik alanında kullanımından kaçınılmalıdır. Alkali ve çözeltilere karşı dirençlidir [19].

PEEK mühendislik polimer malzemesinin doğal rengi çok açık bir kahverengidir, siyah renge bulunabilir. Siyah renkli PEEK estetik olan yerlerdeki takımlar için idealdir. PEEK gıda ile temasa uygunluk gösterir. Katkısız PEEK iyi aşınma direnci gösterir ve 250°C de sürekli çalışmada kullanılabilir. Fiziksel özelliklerini kaybetmeksizin sıcak su yada buharda kullanılabilir. Çevreye zararsız olan PEEK, yüksek mukavemetli alternatif bir polimerdir. Ateşe maruz kaldığı zaman çok düşük bir duman ve zehirleyici gaz çıkarır.

2.2 Deney Şartları

Aşınma deneyleri kuru ortam şartlarında ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir olup, her bir numunenin deney şartları Tablo 4'de görüldüğü gibidir.

Tablo 4'de görüldüğü gibi deneylerin yapılışı sırasında ortamın nemi ve sıcaklık değişimi ortalama olarak kaydedilmiştir. Her bir numune 0.5 m/s kayma hızında, 62-124-186 N'luk yüklerde ve yedi farklı kayma mesafesi ile denenmiştir. Her bir deney üç kez tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır.

Tablo 4. Deney şartları

Sıra No	Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Yük (N)	Hız m/s
1	POM	1.41	62 124 186	0.5
2	PAI	1.45	62 124 186	0.5
3	PA6G	1.15	62 124 186	0.5
4	PEEK	1.31	62 124 186	0.5

2.3 Aşınma Testlerinde Uygulanan Deney Yöntemi

Şekil 1'de devre şeması görülen DIN 50324 standardına göre dizayn edilmiş disk üzeri pim aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deneyde kullanılan disk üzeri pim aşınma cihazının görüntüsü

Aşınma ve sürtünme deneyleri pim disk cihazı kullanılarak AISI 1040 çeliğine karşı gerçekleştirilmiştir. POM mühendislik plastiği granül halde temin edildikten sonra Ø6x50 mm ölçülerinde pim şeklinde enjeksiyonla kalıplanmıştır. Aşınma deneylerinden önce pim numunelerinin çelik disk ile temas edecek alın yüzeyi 1200 nolu SiC zımpara kağıdı kullanılarak temizlenmiştir.

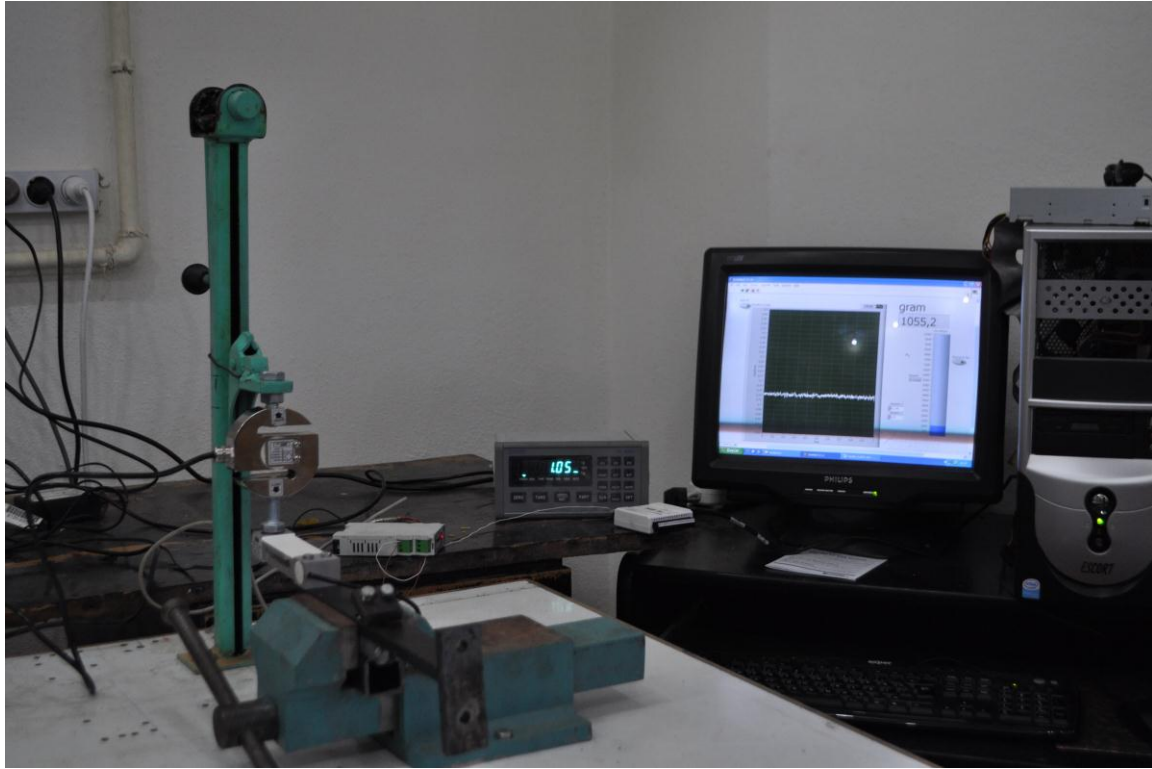
Mühendislik plastiklerini aşındıracak çelik disk AISI 1040 çeliğinden olup $\varnothing 100 \times 10$ mm ölçülerinde olacak şekilde talaşlı imalat yöntemi ile işlenmiş olup sertleştirilmiş ve taşlanmıştır.

Çelik disk aşınma deney cihazına uygun şekilde bağlanarak yüzeyleri asetonla temizlenmiştir. Aseton ile temizleme pim numunelerin alın yüzeyleri için de uygulanmış olup, temizlemenin amacı yüzeylerde gözle görülmeyen toz, yağ, kir ve lekelerinin ortamdaki uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Deneyde kullanılacak pim numunelerinin ilk ağırlıkları ve aşınma sonrası ağırlıkları Precisa marka 0.0001 gr hassasiyetli elektronik dijital terazi ile ölçülmüştür. Ölçümler kapalı ortamda yapılmış ve en az üç kez ölçüm alınıp doğruluğu saptanarak kaydedilmiştir.

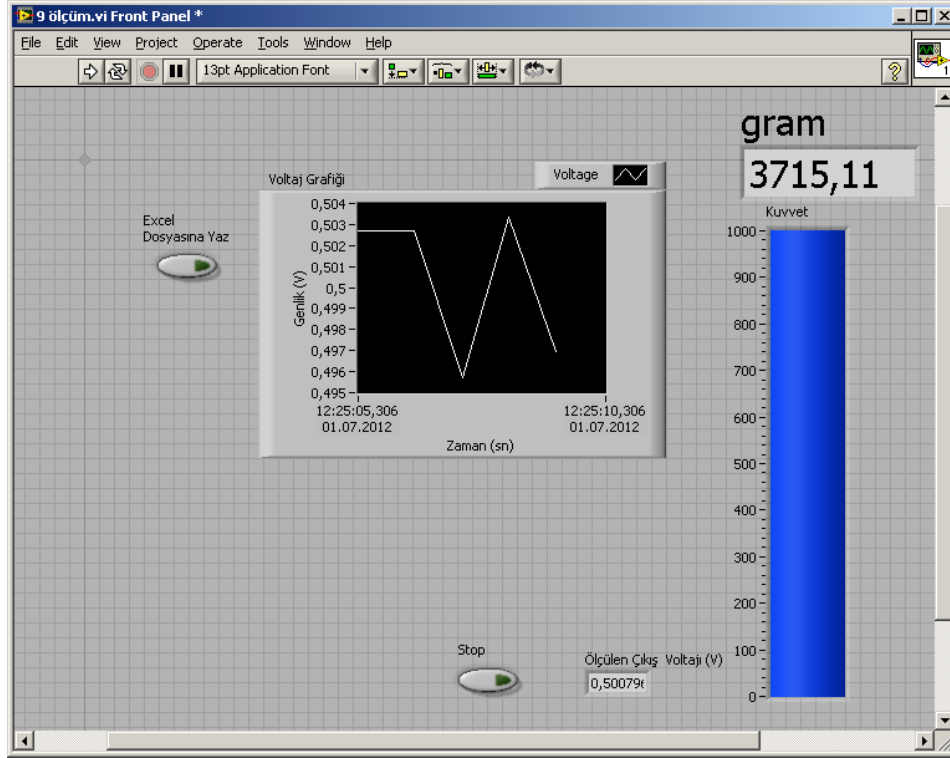
2.4 DAQ (Veri Toplama Kartı) ile Sürtünme Kuvvetinin Ölçümü

Loadcell sensörü ile uygulanan yüke karşı bir elektrik sinyali alınır. Bu sinyalin ölçümünde her ağırlığa karşı doğru ağırlığı ekranda gösterecek şekilde program üzerinde kalibrasyon yapılır (Şekil 2). Kalibrasyonda verilerin logaritmik mi, lineer mi değiştiği incelenir ve uygun kalibrasyon katsayı formula çıkartılarak programa dahil edilir.

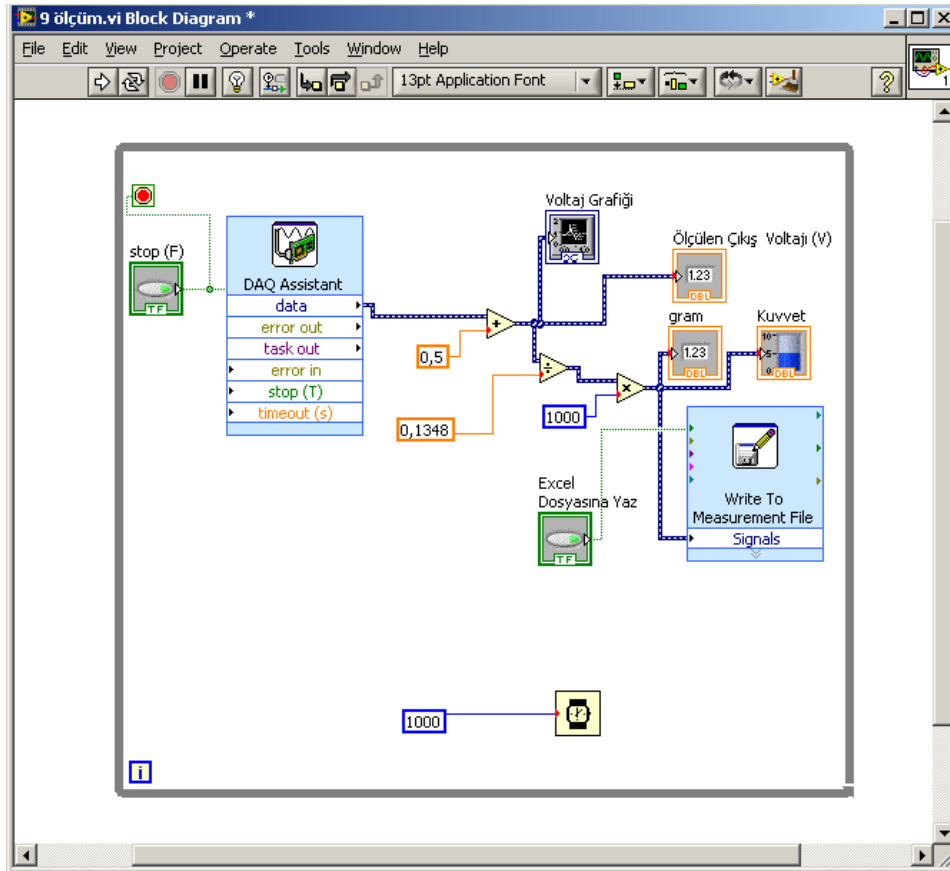
Disk üzeri pim aşınma test cihazında yapılan ölçüm ve veri kaydını Labview Programı kullanarak yapılmıştır. Loadcell den gelen yüke karşı oluşan elektrik sinyali transmitter ile güçlendirilerek DAQ kartın Analog sinyal girişine bağlanmıştır. Şekil 3'de ön panelde ölçüm, grafik olarak anlık gösterilmekte, dosyaya yazılması gerektiğinde "Excel Dosyasına Yaz" butonuna basarak dosya kaydı gerçekleştirilmektedir. Şekil 4'de arka panelde ise sistemin bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 2. Loadcell uygulanan yükün kalibrasyon resmi.



Şekil 3. Loadcellden gelen sinyallerin ölçüm değerlerinin ön panelde gösterilmesi.



Şekil 4. DAQ kartı bağlantı şemasının arka paneldeki görüntüsü

Sürtünme katsayısı aşağıdaki 1 nolu formül kullanılarak kullanılarak sonuçlar kaydedilmiştir.

$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad (1)$$

Burada;

- μ : Sürtünme katsayısı;
 F_S : Sürtünme kuvveti (N);
 F_N : Normal kuvveti (N) şeklinde ifade edilmektedir.

Aşınma deneylerinde spesifik aşınma oranını bulmak için, numuneler deneyden önce ve sonra hassas terazide tartılmıştır. Aşağıdaki 2 nolu formül kullanılarak spesifik aşınma oranları hesaplanmıştır.

$$Wa = \frac{\Delta m}{S \times \rho \times F_N} \quad (2)$$

Burada;

- Wa : spesifik aşınma oranını,
 Δm : aşınma miktarını,
 S : kayma yolunu,
 ρ : yoğunluğu,
 F_N : uygulanan normal kuvveti göstermektedir.

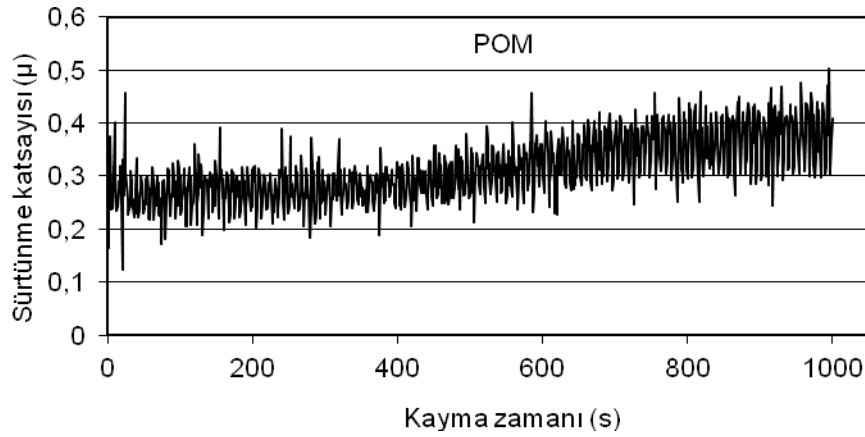
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Deneyde kullanılan mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarının deneysel sonuçları Tablo 5'de görülmektedir. Şekil 5'de POM malzemesinin 0.5 m/sn kayma hızında, 62 N yükde kayma zamanı ile değişen sürtünme katsayısı ilişkisi görülmektedir. Kayma zamanı uzadıkça sürtünme katsayısında bir miktar artış görülmektedir. Şekil 6'da mühendislik plastiklerinin 500 m kayma mesafeli, yük ve sürtünme katsayısı ilişkisi görülmektedir. PAI, PA6G ve PEEK mühendislik plastikleri yükün artışı ile sürtünme katsayısı artmıştır. POM mühendislik plastiği düşük yükte yüksek sürtünme katsayısı görülürken, yükün artışı ile sürtünme katsayısında bir azalma görülmüştür. Bu durum POM malzemesinin yüksek yüklerde daha fazla aşınıp çıkan parçacıklar disk üzerinde kaydırıcılık özelliği sağlamasından olabilir. Şekil 7'de mühendislik plastiklerinin 62 N yük, kayma mesafesinin artışı ile sürtünme katsayısı ilişkisi görülmektedir. Kayma mesafesi arttıkça tüm mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayılarının arttığı görülmekte olup, özellikle PA6G numunesi 2000 m kayma yolundan sonra sürtünme katsayısında daha hızlı bir artış görülmüştür. Kayma yolunun artışı ile sürtünme katsayısının artışını küçükten büyüğe doğru PEEK<PAI<POM<PA6G olarak sıralanır.

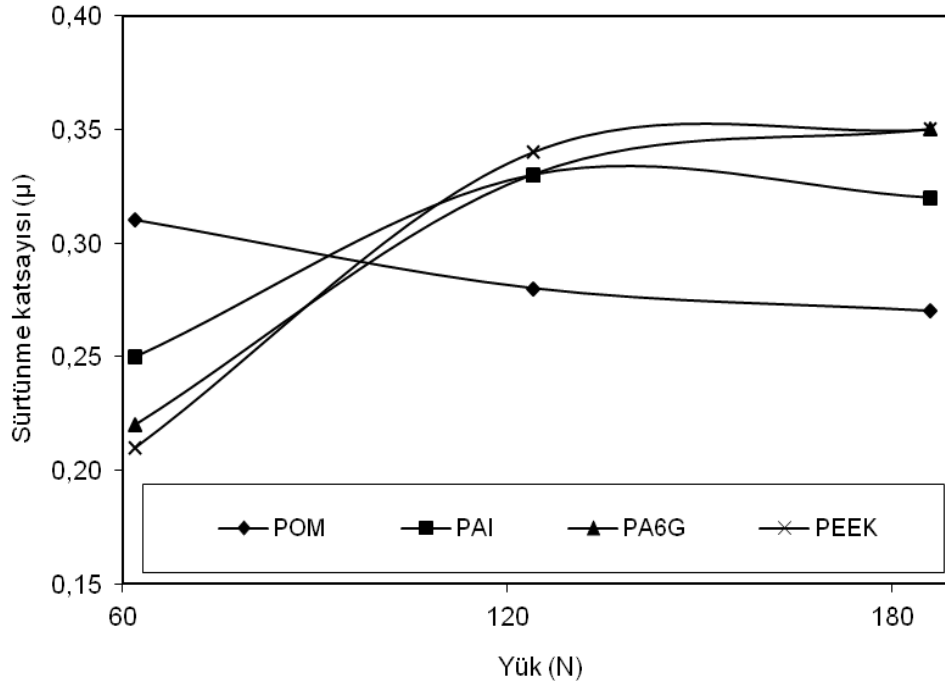
Şekil 8.(a)'da PAI, Şekil 6.(b)'de PA6G, Şekil 6.(c)'de PEEK mühendislik plastiklerinin 62 N'luk yük ve 0.5 m/s kayma hızındaki kayma süresi ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. PAI malzemesi kayma zamanı yükseldikçe sürtünme katsayısında bir miktar yükseliş görülürken, PA6G ve PEEK malzemelerinde daha stabil bir sürtünme katsayısı grafiği görülmektedir. Şekillerden anlaşılacağı gibi mühendislik plastikleri karşı sürtünme malzemesine ilk dokunulduğunda sürtünme katsayıları yüksek, daha sonraki ilerleyen zamanlarda daha düzenli bir sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Plastik malzemeler çelik disk üzerinde yağlayıcılık, kaydırıcılık özelliklerinden dolayı çelik malzemelerle birlikte rahatlıkla kullanılabilir.

Tablo 5. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranları

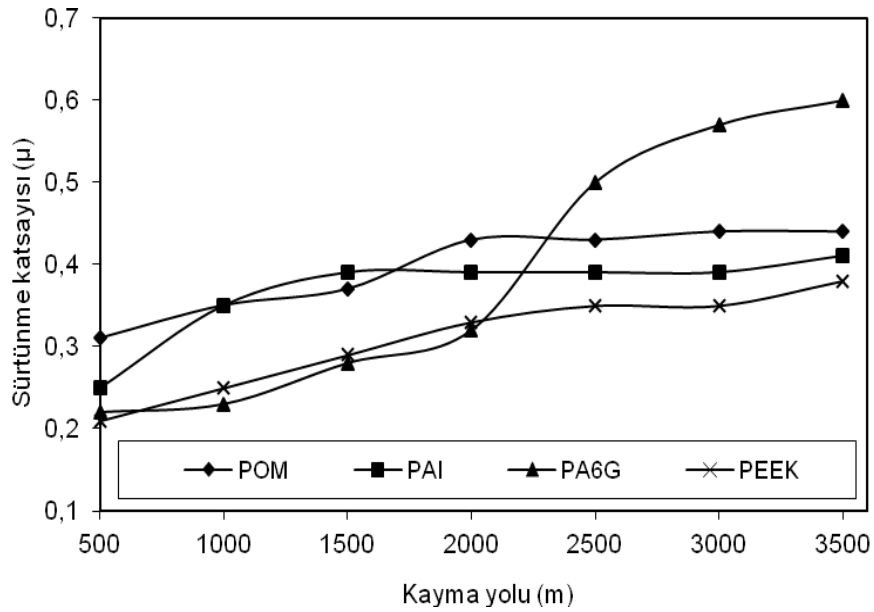
Numune Adı	Kayma hızı (m/sn)	Uygulanan Yük(N) ⇒	62	124	186	62	124	186	62	124	186
			Aşınma miktarı (mg)			Aşınma oranı ($\times 10^{-14} \text{m}^3/\text{Nm}$)			Sürtünme Katsayısı(μ)		
		Kayma yolu (m) ↓									
POM	0.5	500	0.4	0.7	3.2	0.92	0.80	2.4	0.31	0.28	0.27
		1000	0.9	0.7	5.1	1.03	0.4	1.94	0.35	0.37	0.38
		1500	1.1	1.6	6.5	0.83	0.61	1.65	0.37	0.40	0.39
		2000	1.7	2.8	8.8	0.97	0.80	1.67	0.43	0.41	0.40
		2500	2.3	4.5	9.9	1.05	1.02	1.50	0.43	0.45	0.40
		3000	2.8	6.9	10.3	1.06	1.31	1.30	0.44	0.46	0.42
		3500	3.2	8.2	11.2	1.04	1.34	1.22	0.44	0.47	0.43
PAI	0.5	500	0.6	11.4	34.1	1.33	12.6	25.2	0.25	0.33	0.32
		1000	1.3	15.1	42.7	1.44	8.11	15.8	0.35	0.34	0.30
		1500	2.4	19.6	51.0	1.72	7.26	12.6	0.39	0.33	0.29
		2000	2.7	22.3	62.9	1.50	6.20	11.6	0.39	0.31	0.30
		2500	3.0	25.2	76.7	1.33	5.60	11.3	0.39	0.31	0.27
		3000	3.4	28.9	81.0	1.26	5.35	10.0	0.39	0.30	0.27
		3500	3.7	36.2	86.5	1.17	5.56	9.16	0.41	0.32	0.27
PA6G	0.5	500	0.3	0.34	0.21	0.84	0.47	0.20	0.22	0.33	0.35
		1000	0.4	0.51	0.33	0.56	0.35	0.15	0.23	0.35	0.35
		1500	0.5	0.60	0.46	0.46	0.28	0.14	0.28	0.32	0.33
		2000	1.9	0.71	0.56	1.33	0.25	0.10	0.32	0.31	0.29
		2500	2.9	0.97	0.84	1.62	0.27	0.15	0.50	0.31	0.28
		3000	5.0	1.57	0.84	1.79	0.28	0.13	0.57	0.30	0.26
		3500	6.1	1.72	0.86	2.44	0.34	0.11	0.60	0.29	0.25
PEEK	0.5	500	0.1	1.3	2	0.25	1.60	1.64	0.21	0.34	0.35
		1000	0.2	2.1	3.3	0.25	1.30	1.35	0.25	0.39	0.39
		1500	0.6	2.8	4	0.49	1.15	1.09	0.29	0.43	0.41
		2000	1.3	4.3	4.3	0.80	1.32	0.88	0.33	0.44	0.42
		2500	1.7	4.7	6.3	0.83	1.15	1.03	0.35	0.44	0.42
		3000	2.8	6.3	4.9	1.15	1.29	0.67	0.35	0.45	0.41
		3500	2.6	5.5	4.3	0.91	0.96	0.50	0.38	0.46	0.42



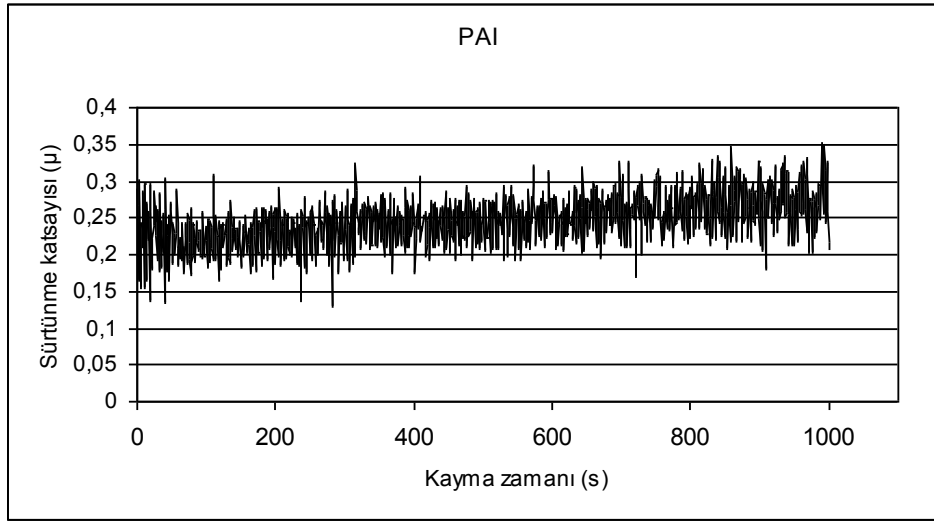
Şekil 5. POM malzemesinin 0.5 m/sn, 62 N, kayma zamanı ile sürtünme katsayısı ilişkisi



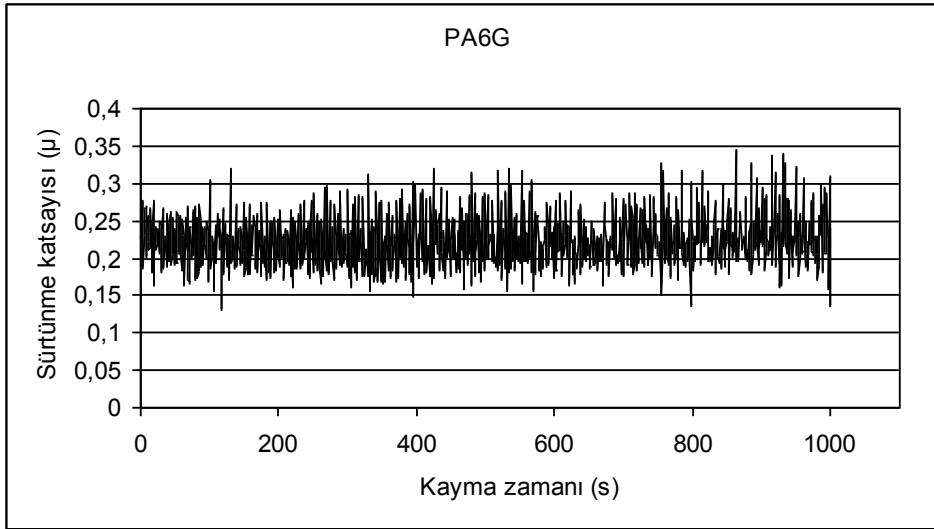
Şekil 6. Mühendislik plastiklerinin 500 m kayma mesafeli, yük ve sürtünme katsayısı ilişkisi



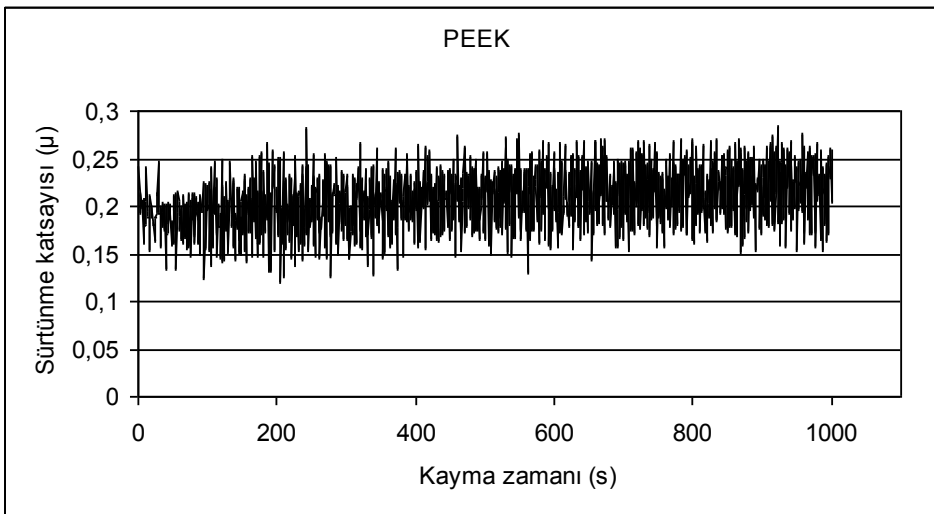
Şekil 7. Mühendislik plastiklerinin 62 N yük, kayma meafesinin artışı ile sürtünme katsayısı ilişkisi



(a)



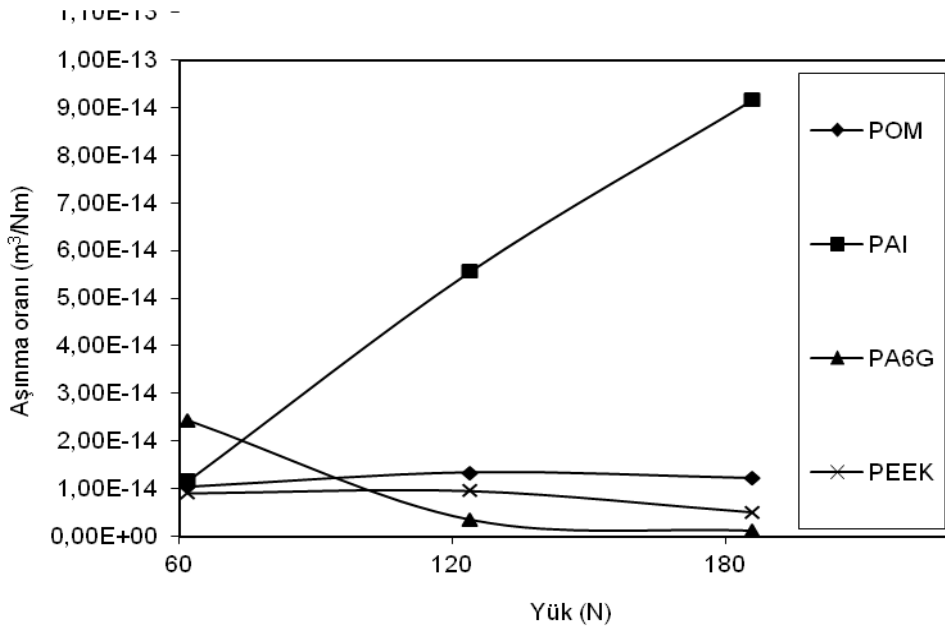
(b)



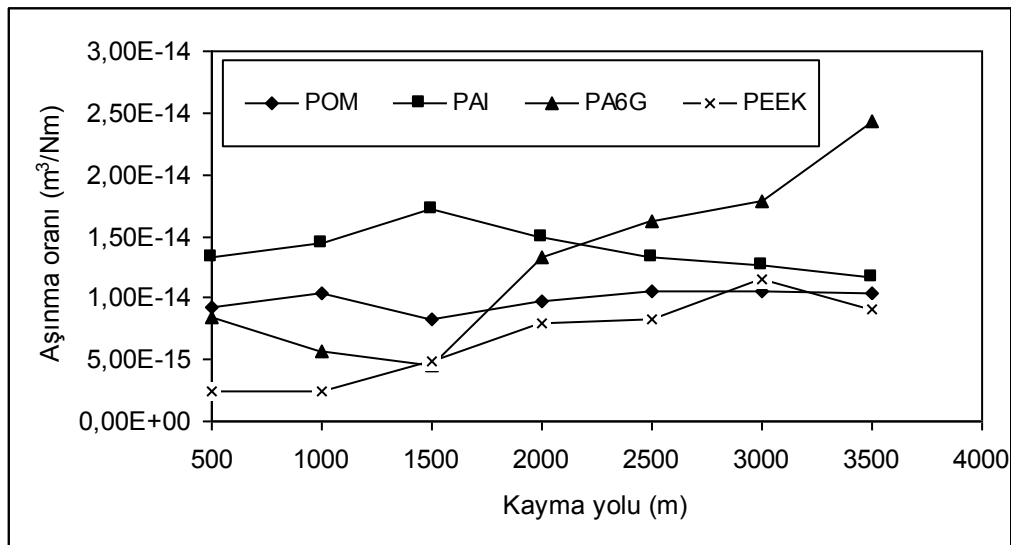
(c)

Şekil 8. Mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayısı ile kayma zamanı ilişkisi (uygulanan yük: 62 N, hız: 0.5 m/s, kayma zamanı: 1000 sn) (a) PAI, (b) PA6G, (c) PEEK

Şekil 9'da mühendislik plastiklerinin 0.5 m/s kayma hızı ve 3500 m kayma mesafesinde uygulanan yük ve aşınma oranı ilişkisi görülmektedir. Şekillerden açıkça görüldüğü gibi PA6G numunesi yükün artışı ile aşınma oranı azalırken, PAI malzemesi yükün artışı ile aşınma oranı sürekli artmıştır. POM ve PEEK malzemelerinin aşınma oranlarında uygulanan yükün etkisi pek görülmemiştir. Şekil 10'da mühendislik plastiklerinin 0.5 m/s kayma hızı, 62 N yükde kayma mesafesinin artışı ile aşınma oranı ilişkisi görülmektedir. Tüm numunelerde kayma mesafesinin artışı ile aşınma oranlarında doğrusal bir azalma veya artış görülmemektedir. Bununla birlikte PEEK ve PA6G malzemelerinde kayma mesafesinin artışı ile aşınma oranlarında dalgalı bir artış görülmekte, bu artış PA6G malzemesinde en yüksek oranda olduğu görülmektedir. POM ve PAI malzemesinde kayma mesafesinin artışı ile aşınma oranlarında dalgalı bir azalma olduğu, 2000 m kayma mesafesinden sonra aşınma oranları daha sabit bir çizgide olduğu görülmektedir. Fakat deneylerde kullanılan tüm polimerlerin aşınma oranları ortalama 10^{-14} m³/Nm civarındadır.



Şekil 9. Mühendislik plastiklerinin 3500 m kayma mesafesindeki yük ve aşınma oranı ilişkisi



Şekil 10. Mühendislik plastiklerinin 62 N yükde, kayma mesafesinin artışı ile aşınma oranı ilişkisi

4. SONUÇLAR

Mühendislik plastiklerinin AISI 1040 çeliğine karşı farklı yük ve farklı hızlarda yapılan aşınma ve sürtünme deney sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Aşınma cihazında DAQ kartı ile elde edilen sürtünme kuvveti verilerinin mühendislik plastiklerinin belirlenen şartlarda sürtünme katsayılarının ortaya çıkmasında ve karşılaştırılmasında önemli bir etkisi olmuştur.
2. PAI, PA6G ve PEEK mühendislik plastikleri yükün artışı ile sürtünme katsayısı artmıştır. POM mühendislik plastiği düşük yükte yüksek sürtünme katsayısı görülürken, yükün artışı ile sürtünme katsayısında bir azalma görülmüştür.
3. Kayma mesafesi arttıkça tüm mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayılarının arttığı görülmekte olup, özellikle PA6G numunesi 2000 m kayma yolundan sonra sürtünme katsayısında daha hızlı bir artış görülmüştür. Kayma yolunun artışı ile sürtünme katsayısının artışını küçükten büyüğe doğru PEEK<PAI<POM<PA6G olarak sıralanır.
4. PAI malzemesi kayma zamanı yükseldikçe sürtünme katsayısında bir miktar yükseliş görülürken, PA6G ve PEEK malzemelerinde daha stabil bir sürtünme katsayısı grafiği görülmektedir.
5. PA6G numunesi yükün artışı ile aşınma oranı azalırken, PAI malzemesi yükün artışı ile aşınma oranı sürekli artmıştır. POM ve PEEK malzemelerinin aşınma oranlarında uygulanan yükün etkisi pek görülmemiştir.
6. Tüm numunelerde kayma mesafesinin artışı ile aşınma oranlarında doğrusal bir azalma veya artış görülmemektedir. Dalgalı bir azalma veya artış görülmektedir. Deneylerde kullanılan tüm polimerlerin aşınma oranları ortalama $10^{-14} \text{ m}^3/\text{Nm}$ civarındadır.

4. KAYNAKÇA

- [1] LANCASTER JK., **Wear**, 1990;141:159 –183.
- [2] HUTCHINGS IM., **Tribology friction and wear of engineering materials.**, London:Edward Arnold, 1992. p. 51.
- [3] TEWARI US, SHARMA SK, **Vasudevan P. Rev Macromol Chem Phys**, 1989;C29(1):1–38
- [4] HUTCHINGS I. M., Mechanism of wear in powder technology: a review, **Powder Technology**, V.76, (1993), p. 3-13
- [5] RAJESH J. J., BIJWE J., TEWARI U. S., Influence of fillers on abrasive wear of short glass fibre reinforced polyamide composites, **J. Material Science**, 36, (2001), p. 351-356.
- [6] BIJWE J., RAJESH J. J., JEYAKUMAR A., GHOSH A. K., Tewari U. S., Influence of solid lubricants and fibre reinforcement on wear behaviour of polyethersulphone, **Tribology Int.**, 33 (2000), p. 697-706.
- [7] CRINO M., PIPES R. B., FRIEDRICH K., The abrasive wear behaviour of continuous fibre polymer composites, **J. Material Science**, 22, (1987), p. 2481-2492.
- [8] AKKURT, S., **Plastik Malzeme Bilgisi**, s. 96-118,193-196, İstanbul, 1991.
- [9] NEDOREZOVA, P.M., TSVETKOVA, V.I., **Polymer Science Series A**, 39 pp. 304-309, 1997.
- [10] FOULGER, S.H., Journal of Polymer Science, **Polymer Phys.**, Vol. 37, pp. 1899-1910, 1999.

- [11] CRINO M., PIPES R. B., FRIEDRICH K., The abrasive wear behaviour of continuous fibre polymer composites, **J. Material Science**, 22, (1987), p. 2481-2492.
- [12] QUADRANT., **Engineering Plastic Products**, www.quadranttepp.com, 2003.
- [13] TICONA, Asetal kopolimer (POM), **TICONA Mühendislik Polimerleri Kataloğu**, İstanbul, 2001.
- [14] PIŞKIN, E., POLIASETALLER, **Polimerler II Mühendislik Polimerleri**, Pagev, s. 53-66, İstanbul, 2000.
- [15] OWEI S. O., SCHIPPER D. J., Tribological behaviour of unfilled and composite polyoxymethylene, **Wear**, V.148, 15 August 1991, Pages 363–376
- [16] STENING, T.C., SMITH, C.P., KIMBER, P.J., Polymers: a high performance in a new thermoplastic, **Mod. Plast. Int.** (1992) 54–57.
- [17] BIJWE, J., SEN, S., GHOSH, A., Influence of PTFE content in PEEK–PTFE blends on mechanical properties and tribo-performance in various wear modes, **Wear**, 258 (2005) 1536–1542
- [18] LU, Z. P. and FRIEDRICH, K., On Sliding Friction and Wear of PEEK and Its Composites, **Wear**, Vol. 181-183, pp. 624-631, 1995.
- [19] TEKNO POLİMER, Teklamid (PA 6/66), **PolyOne Mühendislik Malzemeleri Kataloğu**, İstanbul, 2002.