

**Makale
(Article)**

Mühendislik Plastiklerinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi

Recep KOÇ

Balıkesir Üniversitesi, Edremit Meslek Yüksek Okulu Makine Programı, 10300-Edremit Balıkesir/TÜRKİYE
rkoc@balikesir.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.12.2010 Kabul tarihi: 22.06.2011

Özet

Bu deneysel çalışmada, poliamid 6 (PA6), döküm poliamid 6 (PA6G), poli-oksi-metilen (POM), poli-eter-eter-keton (PEEK) ve poli-etilen-tereftalat (PET) mühendislik polimerleri kullanılmıştır. Aşınma deneyleri disk-üstü-pim aşınma deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Mühendislik plastiklerinin aşınma deneylerinde üç farklı yük (60N, 80N ve 100N) ve iki farklı (0.5-1 m/s) kayma hızı kullanılmıştır. Deneyler kuru ortam şartları altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde AISI 1040 çeliği, karşı disk malzeme olarak kullanılmıştır. Farklı yük ve kayma hızlarında gerçekleştirilen aşınma deneylerinde PA6, PA6G, POM, PEEK ve PET mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayıları ve özgül aşınma oranları tespit edilmiş ve sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre deneylerde kullanılan polimerler içinde en düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı PET mühendislik polimerinde tespit edilmiştir. Mühendislik plastiklerinde kayma hızının artışı ile aşınma oranlarının ve sürtünme katsayılarının arttığı görülmüştür. PEEK, PA6G ve PET mühendislik polimerlerinde yükün artışı ile sürtünme katsayısının arttığı görülürken, PA6 ve POM mühendislik polimerlerinde yükün artışı ile sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mühendislik plastikleri, Aşınma, Sürtünme

Experimental Investigation of the Wear Behaviors Engineering Plastics

Abstract

In this experimental study, polyamide 6 (PA6), casting polyamide 6 (PA6G), poly-oxy-methylene (POM), poly-ether-ether-ketone (PEEK) and poly-ethylene-terephthalate (PET), engineering polymers are used. Wear tests were performed by pin on disc testing machine. Wear test of engineering plastics, three different loads (60N, 80N and 100N) and two (0.5-1 m/s) sliding speed used. Experiments of AISI 1040 steel, as against the disc material is used. PA6, PA6G, POM, PEEK and PET engineering plastics coefficients of friction and specific wear rates were determined and results are compared with each other. According to experimental results obtained in experiments that used polymers for the lowest coefficient of friction and wear rate was found in the PET polymer engineering. Engineering plastics with an increase in the sliding speed wear rate and friction coefficients were increased. PEEK, and PET PA6G of engineering polymers with an increased load on the coefficient of friction is increased, with an increased load in PA6 and POM engineering polymer were observed the coefficient of friction values decreases.

Keywords : Engineering plastics, Wear, Friction

1. GİRİŞ

Mühendislik polimerleri ve polimer esaslı kompozitler, birbirleri ile sürtünerek çalıştığı karşı malzeme çifti olan metal ve polimerler ile birlikte yaygın olarak kullanılır. Mühendislik polimerleri, 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, katkılı 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 az da 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].

Ye ve Hoplam [11], cam fiber takviyeli naylon(PA6) kompozitlerin pim-disk aşınma makinesinde, % 0.15 C’lu pürüzsüz bir çelik yüzeye karşı oda sıcaklığında kuru kayma şartları altında, sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Ayrıca bu incelemede, naylon içerisindeki cam fiberlerin kayma yönüne göre farklı yönlerde dizilmelerinin sürtünme ve aşınma davranışlarına etkisini görmek için çalışma yapılmıştır. Deney şartlarında, çelik yüzey pürüzlülüğü Ra, 0.04-0.05 µm, pime uygulanan basınç 2.4 MPa, kayma hızları 0.126, 0.168, 0.251 m/s seçilmiştir. Neticede kayma hızı arttığı zaman genel bir yönelim olarak sürtünme katsayısının arttığı bulunmuştur. Sürtünme katsayısı ortalama 0.37 değerinde ve cam fiberlerin dizilme yönlerinden hemen hemen bağımsız olduğu görülmüştür. PA 6’nın yapısında cam fiber katkısı aşınma oranını önemli bir şekilde azaltırken, sürtünme katsayısında bazı artışlar görüldüğünü açıklamışlardır.

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 [12].

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 [13-16].

Lu ve Friedrich [17], farklı molekül ağırlığındaki katkısız PEEK(poli-eter-eter-eton) ve PTFE(poli-tetraflor-etilen) katkılı 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.

Ucun ve arkadaşları [18], kaplanmış micro takımların aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Kaplamalı takımların takım aşınması açısından daha iyi bir performans sağladığını gözlemlemişlerdir.

Yılmaz ve arkadaşları [19], borlanmış ve bilyalı dövülmüş demir esaslı T/M malzemelerinin aşınma ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Borlanmış malzemelerin aşınma direncinin 24 kat arttığını tespit etmişlerdir.

Düzcükoğlu ve Demirci [20], Küresel grafitli dökme demirlerde (KGDD) östemperleme ısıl işlemi uygulanarak, KGDD numunelerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Küresel grafitli dökme demirlere uygulana östemperleme ısıl işlemi malzemenin aşınma kütle kaybını azalttığını belirlemişlerdir.

Sugözü ve Mutlu [21], polimer esaslı fren balata malzemelerinin kompozisyonu ve üretim parametreleri incelenmiş, kompozisyonu oluşturan komponentlerin sürtünme ve aşınma performansı bakımından önemi literatürdeki çalışmalar derlenerek sunulmuştur.

Bu çalışmada, PA6, PA6G, POM, PEEK ve PET mühendislik plastikleri AISI 1040 çeliğine karşı pim-disk aşınma deney cihazı kullanılarak çalıştırılmıştır. Deney numunelerinin aşınma ve sürtünme özelliklerini tespit etmek için üç farklı yük ve iki farklı kayma hızı kullanılmıştır. Mühendislik plastiklerinin aşınma ve sürtünme davranışlarına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi araştırılmıştır. Deneylede özgül aşınma oranı ve sürtünme katsayıları tespit edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Materyaller

Aşınma deneylerinde katkısız PA6, PA6G, POM, PEEK ve PET mühendislik polimerleri kullanılmıştır. Deneylede kullanılan mühendislik plastikleri fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1’de görülmektedir. Yine deneylede kullanılan tüm malzemelerin ticari adı ve tedarikçisi Çizelge 2’de verilmiştir. Ayrıca karşı disk malzeme olarak kullanılan AISI 1040 çeliğinin spektral analiz sonuçları Çizelge 3’de verildiği gibidir.

Çizelge 1. Mühendislik plastiklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri [14, 15, 22]

Özellikler	Test metodu	PA6	PA6G	POM	PEEK	PET
Yoğunluk (g/cm ³)	ISO 1183	1.14	1.15	1.41	1.31	1.41
Sertlik(HR) _M	ISO 2039	85	85	80	100	93
Çekme mukavemeti (MPa)	ISO 527	76	82.7	64	110	85.5
Kopmadaki uzama (%)	ISO 527	Min 50	20	30	20	20
Eğmedeki elastiklik modülü (GPa)	ISO 187	3.25	3.45	2.7	4.14	3.38
İzod darbe mukavemeti (kJ/m ²)	ISO-180/1A	5.5	0.214	7	0.534	-

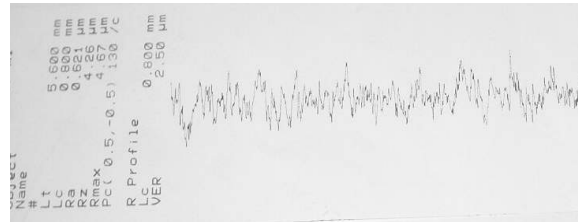
Çizelge 2. Deneylede kullanılan mühendislik plastikleri

Sıra No	Numune Adı	Ticari Adı	Tedarikçisi
1	PA6	Ertalon 6	Quadrant
2	PA6G	Kestamid	Alhan plastik
3	POM	Hostaform	Ticona
4	PEEK	Ketron	Quadrant
5	PET	Ertalyte	Quadrant

Çizelge 3. AISI 1040 çeliğinin spektral analiz sonuçları

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

Deneyde kullanılan POM polimer numunesi, granül halde temin edilip, iki yolluklu plastik enjeksiyon kalıbında basılmıştır. Basılan pim numuneleri Şekil 1’de görülmektedir. PA6, PA6G, PEEK ve PET mühendislik polimerleri talaşlı imalat yöntemi ile Ø6x50 mm ölçülerinde pim şeklinde deney numunesi hazırlanmıştır. Diskin yüzey sertliği 42 HRC olup yüzey pürüzlülüğü Ra=0.62 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 2’de çelik disk yüzeyinden profilometre ile alınan yüzey pürüzlülük değeri görülmektedir.

**Şekil 1.** İki yolluklu plastik enjeksiyon kalıbında basılmış pim numunesi**Şekil 2.** Taşlanmış çelik disk yüzeyinin aşınmadan önceki yüzey pürüzlülüğü

Deneyde kullanılan katkısız PA6 Quadrant mühendislik plastik ürünüdür. “Quadrant EPP Ertalon® 6 SA Nylon 6”, ticari ürün ismiyle bulunmaktadır. Rengi doğal(beyaz)/siyah renklere bulunur. Piyasada, granül halde, talaşlı yada enjeksiyon kalıpla işlenmiş mamul olarak bulunabilir. Temel özellikleri, çok dayanıklı, iyi kaydırıcılık özellikleri, aşınmaya karşı dirençli, elektrik yalıtkanlığına sahip, kolay şekil verme ve kolaylıkla kaynak yapılabilmesidir. Sert, rijit, kaygan, yağa ve makine yağlarına karşı dirençli, iyi mekanik dayanıma sahiptir. Kullanım alanları, silindirik dişli çarklar, dişli miller, mil yatağı, piston kılavuzu, makaralar, sürtünme mil yatağı, basınç silindirleri, flanşlar, filtre plakaları, sonsuz vidalar, mafsal parçaları, kayış yatakları ve kasnakları, vanalar ve parçaları, ray bağlantıları, teleferik ve havai hat makaraları, asansör makaraları, ve benzeri uygulamalar olarak sıralanabilir [23].

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’dan üstün ve çok yüksek yorulma direncine sahiptir. Sürtünme katsayısı düşüktür 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 hassastır, havadaki nemi bünyesine 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 [22].

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 dayanıksızdır. 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].

PEEK mühendislik polimer malzemesinin doğal rengi çok açık bir kahverengidir, siyah rengi de bulunabilir. Siyah renkli PEEK estetik olan yerler için idealdir. PEEK gıda ile temas 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.

Quadrant firmasının bir ürünü olup, "Ertalylte® PET" katkısız bir termoplastik polyester yarı kristal ürün ismiyle tanımlanır. Mühendislik reçineleri olan termoplastik polyesterlerden olup polietilen tereftalat (PET) olarak bilinirler. PET, POM'un boyutsal stabilitesi ile Poliamid'in aşınma direncinin özelliklerini gösterir. Hem nem hem de kuru çevre şartları için idealdir. PET yüksek mukavemet ve dayanıklılık gerektiren parçalarda tercih edilir. Kimyasal ve abrasiv aşınma direnci iyidir. Gıda işleme ve endüstri aletlerinde kullanılan parçalar için mükemmel bir polimer malzemedir. Uygulama alanları, düşük sürtünme katsayısı sayesinde özellikle kayan bloklar, rulmanlar, kılavuzlar vs. için uygundur. Boyutsal stabilite özelliği nedeniyle, hassas toleranslı parçalarda, nemli ve sıcak ortamların söz konusu olduğu durumlar için mükemmel bir seçimdir. Gıda ile temas edebilir ve gıda endüstrisinde kullanılır. PET elektrikli komponentler için uygundur. Kimyasal olarak, asitlere ve klorin çözeltilerine karşı dirençlidir. Şişirme kalıplarında bazı PET çeşitleri, yiyecek, kozmetik gibi kullanımlar için kutu, kap, şişe yapımında kullanılırlar [8, 24].

2.2. Deney Şartları

Aşınma deneyleri kuru ortam şartlarında ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olup, her bir numunenin deney şartları Çizelge 4'de görüldüğü gibidir. Deneylerin yapılışı sırasında ortamın nemi ve sıcaklık değişimi ortalama olarak kaydedilmiştir. Ortam nemindeki farklılıkların sebebi deneyin farklı zamanlara taşmasıdır. Günün farklı zamanlarındaki sıcaklıklarında deney ortamının nemi değişmektedir. Her bir numune 0.5 m/s ve 1 m/s kayma hızında, 60-80-100 N'luk yüklerde ve 60 dakikalık kayma zamanı ile denenmiştir. Her bir deney üç kez tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır.

Çizelge 4. Deney şartları

Sıra No	Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Yük (N)	Hız m/s	Sıcaklık (°C)	Nem (ortam) (%)
1	PA6	1.14	60 80 100	0.5 1	30	47
2	PA6G	1.15	60 80 100	0.5 1	33	40
3	POM	1.41	60 80 100	0.5 1	27	55
4	PEEK	1.31	60 80 100	0.5 1	27	50
5	PET	1.44	60 80 100	0.5 1	30	55

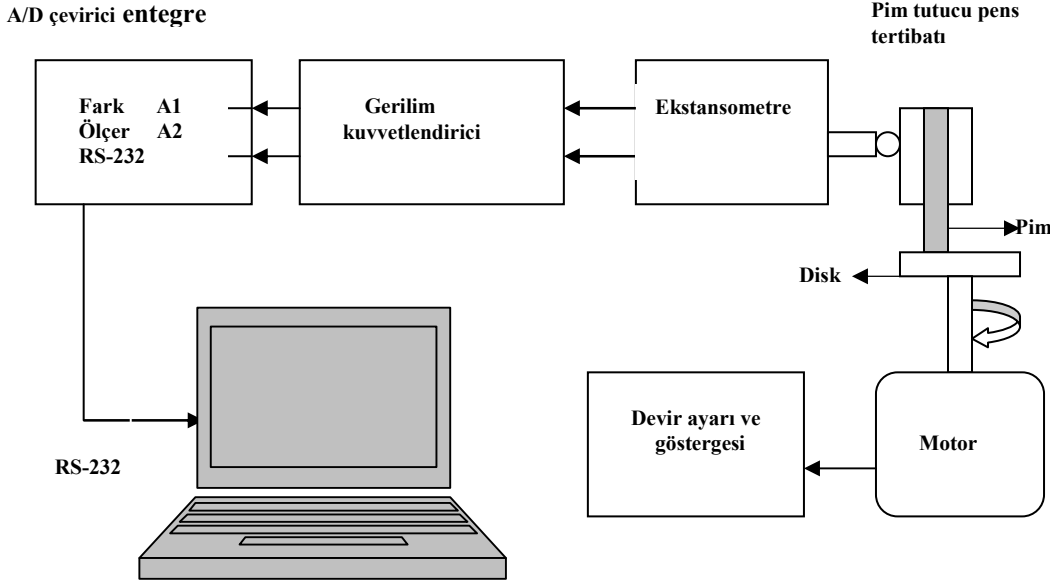
2.3. Hız ve yükün artışı ile deney yöntemi

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. Enjeksiyonla kalıplama ve kalıp sıcaklıkları sırasıyla 210°C ve 80 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca enjeksiyon basıncı ise 100 MPa olarak ayarlanmıştır. Numuneler kalıplanmadan önce 80°C de 3 saat kurutulmuşlardır. 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 Ø100x10 mm ölçülerinde olacak şekilde talaşlı imalat yöntemi ile işlenmiş olup sertleştirilmiş ve taşlanmıştır.

Şekil 3’de devre şeması görülen DIN 50324 standardına göre dizayn edilmiş pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.

Devre şemasında düzenekte pim-disk aşınma cihazı, hız göstergesi, ekstansometre, gerilim kuvvetlendirici, analog/dijital(A/D) çevirici entegre, monitör ve kasadan oluşan bilgisayar bağlantısı bulunmaktadır.

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.



Şekil 3. Pim-disk aşınma deneyi devre şeması

Pim numunelerin pens tertibatlı yuvasına bağlanarak disk ile pim yüzeylerinin birbirine paralel bir şekilde temas etmesi sağlanmıştır. Aşınma cihazı hesaplanan devirde çalıştırılıp ve pimin bağlı olduğu kol, diskin üzerine yavaşça bırakılmış, sürtünme kuvveti verilerinin gerilim cinsinden alımı için aşınma programı çalıştırılmıştır. Pim numunesinin disk malzemeye temas ettirilmesiyle birlikte pimin bağlı olduğu kol, diskin dönüş yönüne göre hareket etmesi ile bu hareket ekstansometreye iletilmiştir. Ekstansometre bu salınım hareketini bağlı bulunduğu kablolarla önce gerilim kuvvetlendirici cihaza, sonra A/D çevirici entegreye, burada gerilim farkı ölçülerek bilgisayara iletilmiştir. Deneyler süresince her 2 saniyede bir veri alınmış ve bilgisayara kurulan bir program vasıtasıyla gerilim değerleri olarak kayıt edilmiştir. Bilgisayarda elde edilen gerilim değerlerinin belirlenmesi için bir dinamometre kullanılmış ve bir fonksiyon grafiği çıkartılmıştır. Bu fonksiyon grafiği ile sürtünme kuvveti değerleri bulunmuştur. Sürtünme katsayısı aşağıdaki 1 nolu formül kullanılarak kullanılarak sonuçlar kaydedilmiştir.

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

μ : Sürtünme katsayısı;
 F_S : Sürtünme kuvveti (Newton);
 F_N : Normal kuvveti (Newton) 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 oranı hesaplanmıştır.

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

Wa : spesifik aşınma oranını,
 Δm : aşınma miktarını (gram),
 S : kayma yolunu (mm),
 ρ :yoğunluğu (gr/cm^3),
 F_N : uygulanan normal kuvveti (newton) göstermektedir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

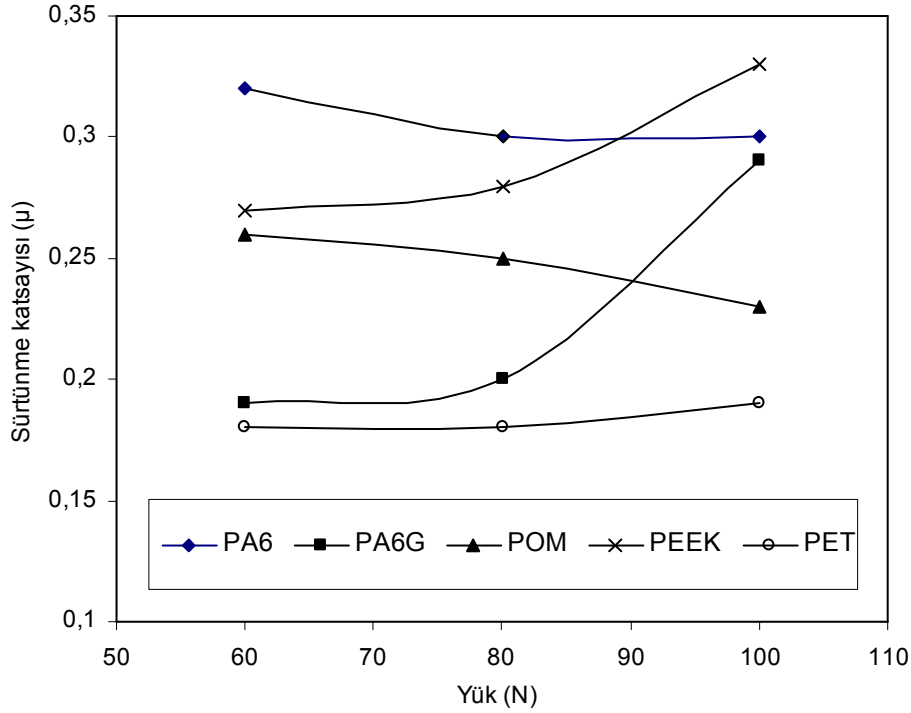
Deneyde kullanılan mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarının deneysel sonuçları Çizelge 5’de görülmektedir.

Şekil 4 ve Şekil 5, mühendislik plastiklerinin sırasıyla 0.5 m/s ve 1 m/s kayma hızlarındaki yük-sürtünme katsayısı ilişkisini göstermektedir. Her iki şekilde de görüldüğü gibi PA6 ve POM mühendislik plastik malzemelerinin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artışı ile azalma gösterirken, PA6G, PEEK ve PET mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artışı ile artma eğilimi göstermiştir. 0.5m/s kayma hızında PA6G, PEEK ve PET mühendislik plastikleri için yük 60 N’dan 100 N’na artırıldığı zaman sürtünme katsayısındaki artış sırasıyla % 52, % 22 ve % 5 oranında artmıştır. Aynı kayma hızında PA6 ve POM mühendislik plastik malzemelerinin sürtünme katsayısı sırasıyla % 6 ve % 12 civarında azalmıştır.

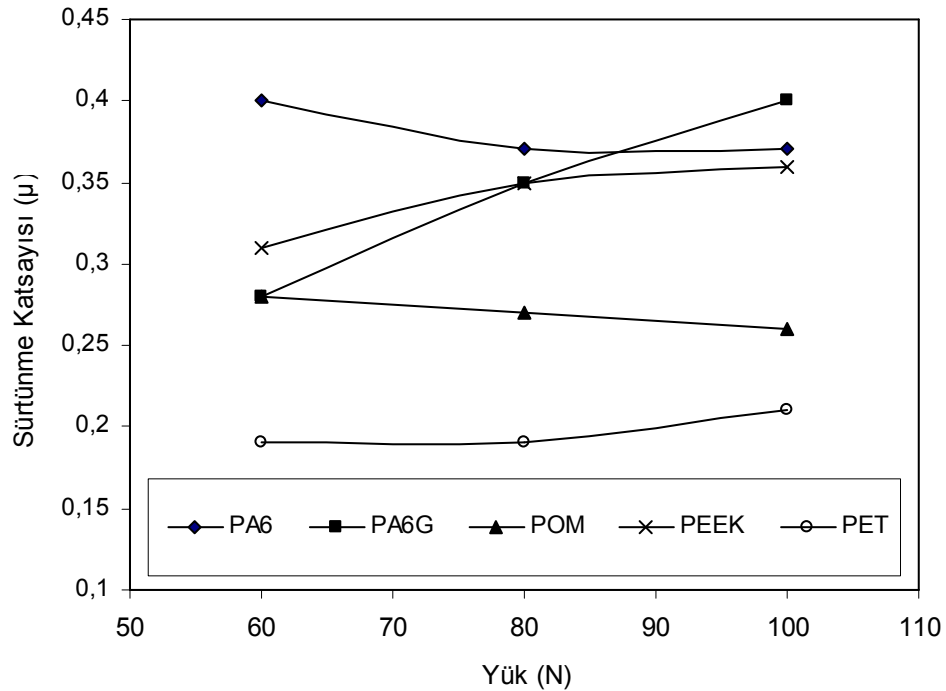
Çizelge 5. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranları

Malzemeler	Yük (N)	Hız (m/s)		Hız (m/s)	
		0.50	1.00	0.50	1.00
		Sürtünme katsayısı (μ)		Aşınma oranı (m^3/Nm)	
PA6	60	0.32	0.40	0.97E-14	1.54E-14
	80	0.30	0.37	1.83E-14	2.13E-14
	100	0.30	0.37	2.05E-14	2.58E-14
PA6G	60	0.19	0.28	0.48E-14	1.01E-14
	80	0.20	0.35	0.54E-14	1.42E-14
	100	0.29	0.40	0.72E-14	1.57E-14
POM	60	0.26	0.28	2.36E-14	5.52E-14
	80	0.25	0.27	2.26E-14	4.78E-14
	100	0.23	0.26	2.20E-14	4.61E-14
PEEK	60	0.27	0.31	1.41E-14	1.55E-14
	80	0.28	0.35	1.32E-14	1.43E-14
	100	0.33	0.36	1.18E-14	1.27E-14
PET	60	0.18	0.19	0.13E-14	0.84E-14
	80	0.18	0.19	0.15E-14	0.68E-14
	100	0.19	0.21	0.16E-14	0.62E-14

Şekil 5’de görüldüğü gibi 1 m/s kayma hızında PA6G, PEEK ve PET mühendislik plastikleri için yük 60 N’dan 100 N’na artırıldığı zaman sürtünme katsayısındaki artış sırasıyla % 43, % 16 ve % 11 civarında olurken, PA6 ve POM mühendislik plastik malzemelerinde sırasıyla % 8 ve % 7 civarında azalmıştır. Görüldüğü gibi kayma hızının artışı ile sürtünme katsayısındaki artış ve azalma sıralarında bir değişiklik olmamıştır.

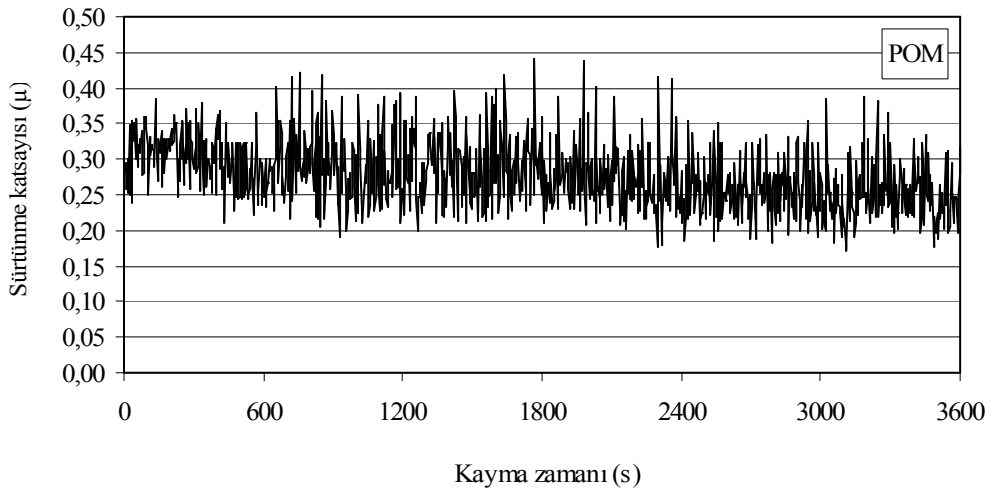
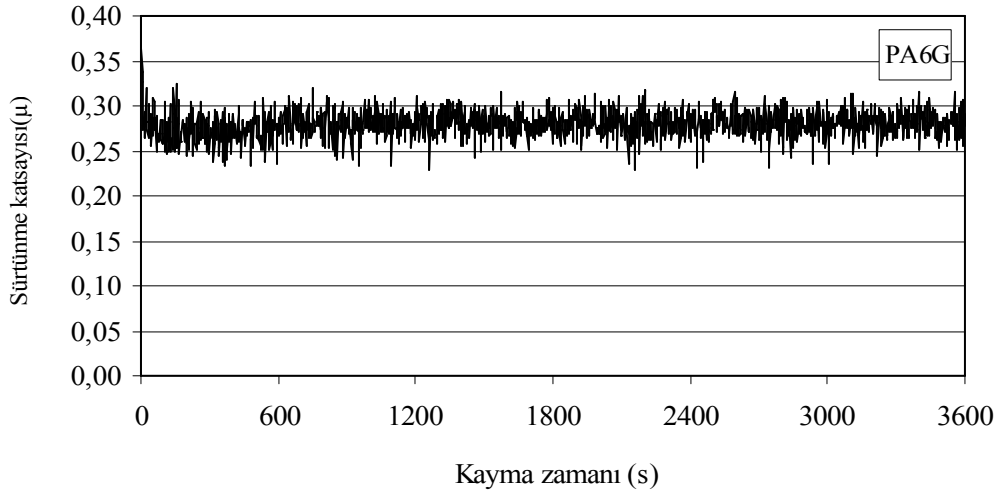
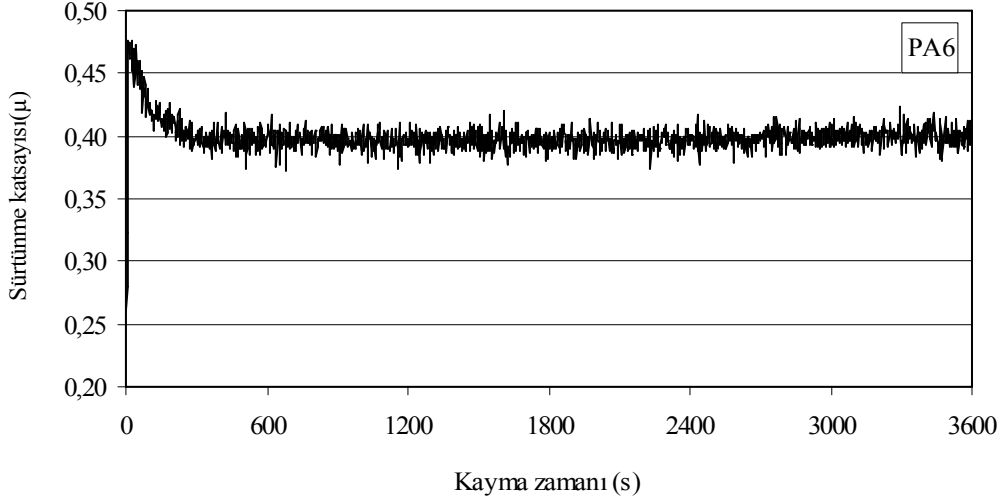


Şekil 4. Mühendislik plastiklerinin 0.5 m/s kayma hızındaki yük ve sürtünme katsayısı ilişkisi



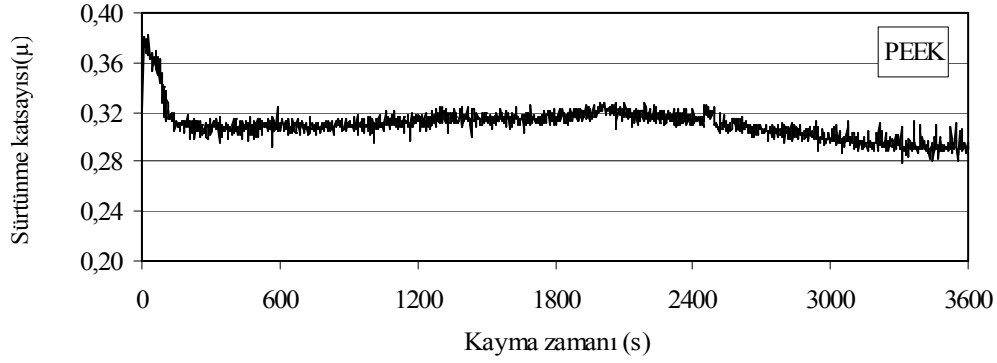
Şekil 5. Mühendislik plastiklerinin 1 m/s kayma hızındaki yük ve sürtünme katsayısı ilişkisi

Şekil 6.(a)'da PA6, Şekil 6.(b)'de PA6G, Şekil 6.(c)'de POM mühendislik plastiklerinin 60 N'luk yük ve 1 m/s kayma hızındaki kayma süresi ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekillerden anlaşılacağı gibi mühendislik plastikleri karşı sürtünme malzemesine ilk dokunulduğunda sürtünme katsayıları yüksek, ilerleyen zamanlarda daha düzenli bir sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Plastik malzemeler çelik disk üzerinde yağlayıcılık, kaydırıcılık özelliklerinden dolayı çelik malzemelerle birlikte rahatlıkla kullanılabilir.

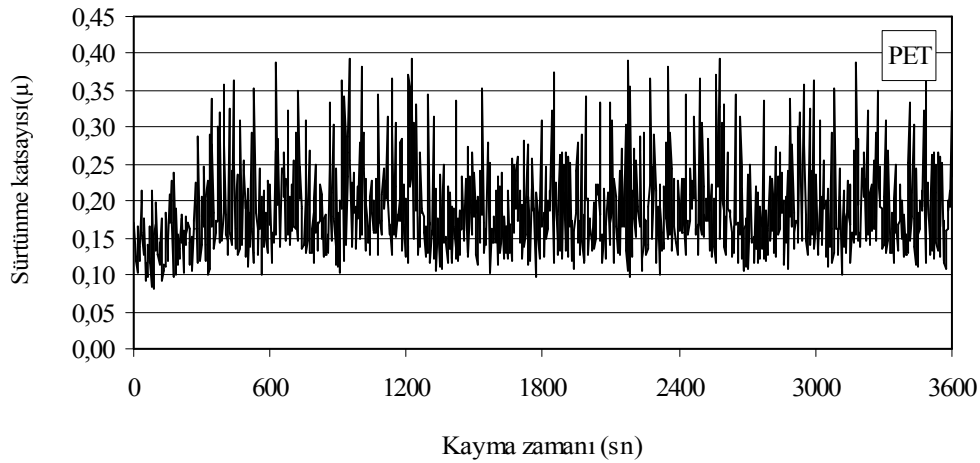


Şekil 6. Mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayısı ile kayma zamanı ilişkisi (uygulanan yük: 60 N, hız: 1 m/s, kayma zamanı: 3600 sn) (a) PA6, (b) PA6G, (c) POM

Şekil 7.(a)'da PEEK, Şekil 7.(b)'de PET mühendislik plastiklerinin 60 N'luk yük ve 1 m/s kayma hızındaki kayma süresi ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi sürtünme esnasındaki titreşim dalga boyu, PEEK yüksek performanslı mühendislik polimeri için daha kısa, PET malzemesi içinse dalga boyu en uzun olmuştur.



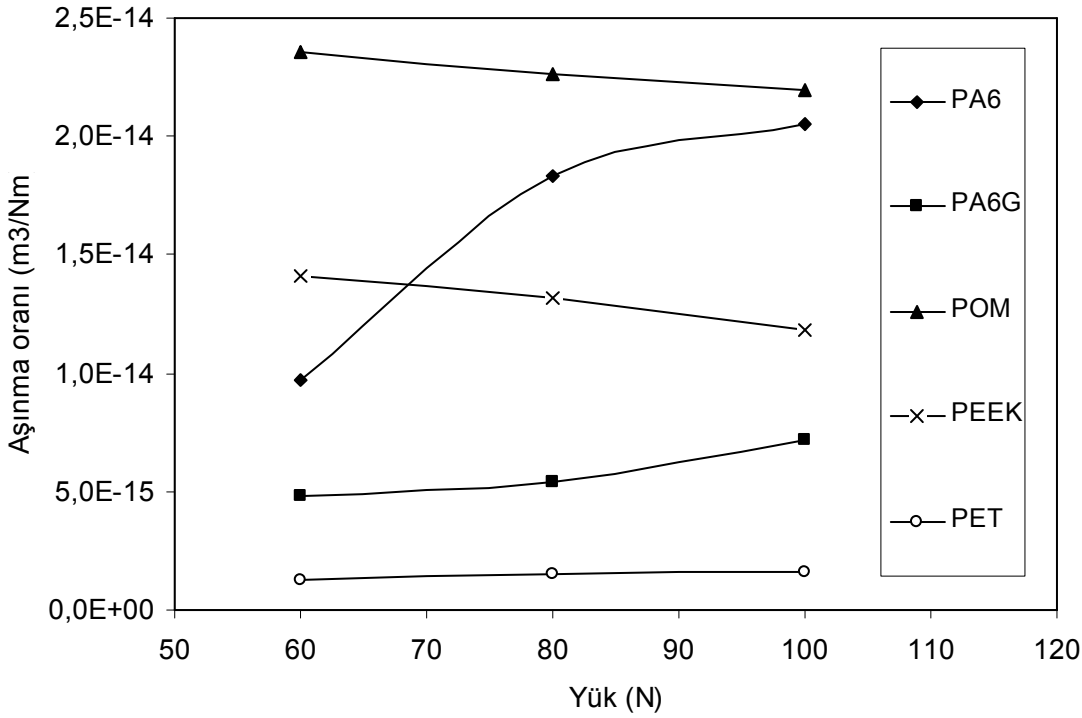
(a)



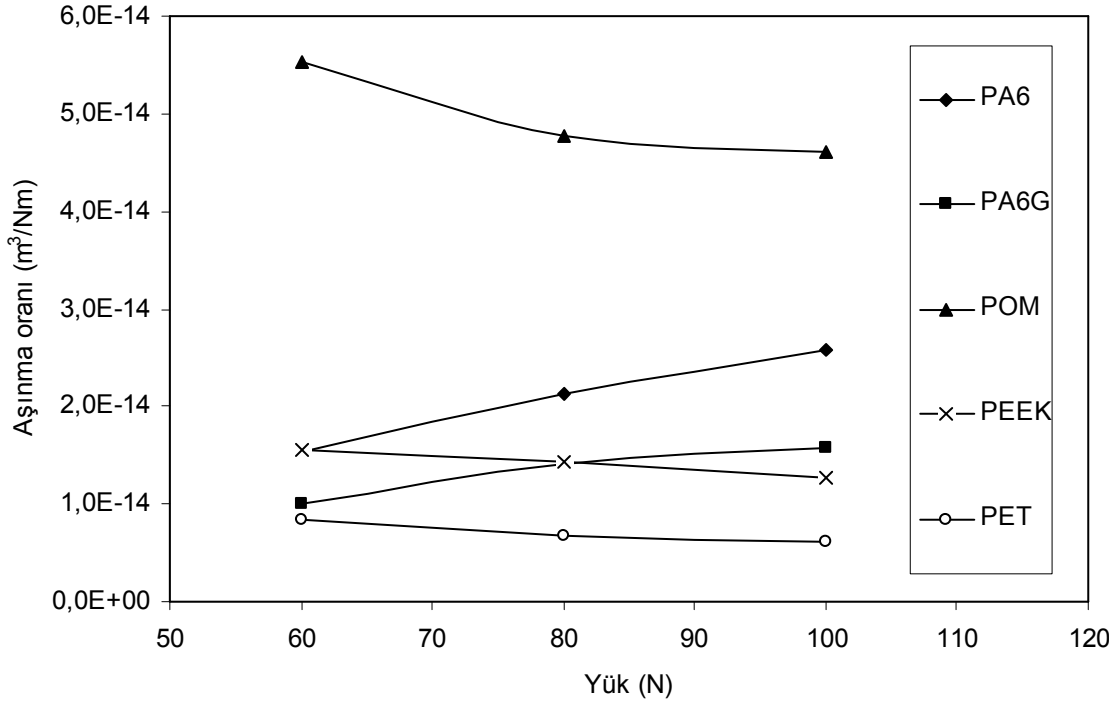
(b)

Şekil 7. POM ve kompozitlerinin sürtünme katsayısı ile kayma zamanı ilişkisi (uygulanan yük: 60 N, hız: 1 m/s, kayma zamanı: 3600 sn) (a) PEEK, (b) PET

Şekil 8 ve Şekil 9'da sırasıyla 0.5 m/s ve 1 m/s kayma hızlarındaki uygulanan yük ve aşınma oranı ilişkisini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde, düşük kayma hızında PET malzemesinin aşınma oranlarında uygulanan yükün etkisi pek görülmezken, PA6 ve PA6G malzemelerinde yükün artışı ile aşınma oranı artmış, PEEK ve POM malzemelerinde yükün artması ile aşınma oranlarında azalma eğilimi görülmektedir.



Şekil 8. Mühendislik plastiklerinin 0.5 m/s kayma hızındaki yük ve aşınma oranı ilişkisi



Şekil 9. Mühendislik plastiklerinin 1 m/s kayma hızındaki yük ve aşınma oranı ilişkisi

Şekil 8 ve Şekil 9 incelenerek bulunan bir diğer sonuçta, POM malzemesinde aşınma oranları en yüksek, PET malzemesinde aşınma oranı en düşük kalmıştır. Kayma hızının % 100 artırılması ile deneylerde kullanılan tüm polimer malzemeler için aşınma oranının yükün etkisi ile değişimlerinde önemli bir farklılık görülmemiştir. Her iki şekilde de görüldüğü gibi en yüksek aşınma oranı POM malzemesinde gözlenirken, en düşük aşınma oranı ise PET polimer malzemesinde olduğu tespit edilmiştir. Fakat deneylerde kullanılan tüm polimerlerin aşınma oranları ortalama 10^{-14} m³/Nm civarındadır.

PA6 polimer malzemesinin 0.5m/s kayma hızındaki aşınma oranı incelendiğinde yükün %66 oranında artırılması sonucunda aşınma oranı yaklaşık olarak %100 oranında artmaktadır. Bu artış yaklaşık olarak %100 civarındadır. Kayma hızı 1 m/s artırıldığında, PA6 polimer malzemesine uygulanan yükün %66 oranında artırılması ile aşınma oranı %68 oranında artış tespit edilmiş olup, PA6G polimeri için bu artış oranı %55 civarındadır. Aynı şartlarda POM polimer malzemesinde %16 azalma, PEEK polimer malzemesinde %18 azalma, PET polimer malzemesinde %26 azalma tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

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

1. Deneylerde kullanılan PA6 ve POM mühendislik plastik malzemelerinin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artışı ile azalma gösterirken, PA6G, PEEK ve PET mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artışı ile artma eğilimi göstermiştir.
2. 0.5m/s kayma hızında PA6G, PEEK ve PET mühendislik plastikleri için yük 60 N'dan 100 N'na artırıldığı zaman sürtünme katsayısındaki artış sırasıyla % 52, % 22 ve % 5 oranında artmıştır.
3. Deneylerde kullanılan malzemeler içerisinde sürtünme katsayısı en düşükten en büyüğe sıralandığında aşağıdaki gibi bir sıralama çıkarılabilmektedir. PET<PA6G< POM<PEEK<PA6
4. Deneylerde kullanılan malzemelerin aşınma ve sürtünme katsayısındaki değişikliği artan yük, hızla veya zamanla pim ve disk arasında oluşan ara tabakanın etki ettiği sonucu çıkarılabilir.
5. Benzer şekilde deneylerde kullanılan polimer malzemelerin aşınma ve sürtünme özelliklerine kayma hızı etki etmektedir.
6. PA6 polimer malzemesinin 0.5m/s kayma hızındaki aşınma oranı incelendiğinde yükün %66 oranında artırılması sonucunda aşınma oranı dikkate değer oranda artmaktadır. Bu artış yaklaşık olarak %100 civarındadır.

KAYNAKLAR

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 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. YE, L. and HOPLAM, P., “Sliding Friction and Wear of A Continuous Glass Fibre/Nylon Composite Against Steel”, J. Of Materials Science Letters, Vol.13, pp. 1684-1687, 1994.
12. Crino M., Pipes R. B., Friedrich K., “The abrasive wear behaviour of continuous fibre polymer composites”, J. Material Science, 22, (1987), p. 2481-2492.
13. Akkurt, S., Plastik Malzeme Bilgisi, s. 96-118,193-196, İstanbul, 1991.
14. QUADRANT., “Engineering Plastic Products”, www.quadranttepp.com, 2003.
15. TICONA, “Asetal kopolimer (POM)”, TICONA Mühendislik Polimerleri Katalođu, İstanbul, 2001.
16. Pişkin, E., “Poliasetaller”, Polimerler II Mühendislik Polimerleri, **Pagev**, s. 53-66, İstanbul, 2000.
17. LU, Z. P. and FRIEDRICH, K., “On Sliding Friction and Wear of PEEK and Its Composites”, Wear, Vol. 181-183, pp. 624-631, 1995.
18. Uçun İ., Aslantaş K.,Bedir F., “İnconel 718 Süper Alaşımının İşlenmesinde Kaplanmış Mikro Takımların Aşınma Davranışları Ve Performans Analizi” Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2010, (7) 47-55
19. Yılmaz S.S., Ünlü B. S., Varol R., “Borlanmış ve Bilyalı Dövülmüş Demir Esaslı T/M Malzemelerin Aşınma ve Mekanik Özellikleri” Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2008, (1) 7-16
20. Düzcükoğlu H., Demirci M. T., “ Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi” Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2008, (3) 21-31
21. Sugözü İ., Mutlu İ., “Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme ve Aşınmaya Etkisinin İncelenmesi” Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2008, (4) 33-40
22. TEKNO POLİMER, “Teklamid (PA 6/66)”, PolyOne Mühendislik Malzemeleri Katalođu, İstanbul, 2002.
23. BRISCOE, B. J., TWEETPALE, P. J., “A Critical Review of The Tribology of Polymers Composites”, In; Matthews F.L.,et al., editors, Proc. 6th In. Conf. Composite Materials. London: Elsevier Applied Science, 1987.
24. ASTRA POLİMER, “Yüksek Performanslı Poliamid 46”, DSM Mühendislik Plastikleri Katalođu, İstanbul, 2002.