

AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 025902(446-453)
DOI: 10.5578/fmbd.26409

AKU J. Sci. Eng. 16 (2016) 025902(446-453)

Araştırma Makalesi / Research Article

Polimer Yatak Malzemelerin Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi

Aysun Sarı¹, Özlem Salman Nteziyaremye²

¹ e-posta: aysunsari_@hotmail.com

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Isparta.

Geliş Tarihi: 26.02.2016; Kabul Tarihi: 29.08.2016

Özet

Anahtar kelimeler

Polimer yatak;
Sürtünme katsayısı;
Aşınma; Taguchi yöntemi

Bu çalışmada, polimer esaslı yatak malzemelerinin tribolojik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Seçilen polimer yatak malzemelerinin (Kestamid, Kestamid/HS, Kestoil, Kestlub, Ulpolen 1000 (UHMWPE)) 3 farklı hız (50, 75 ve 100 d/d), yük (15, 25, 35 N) ve sürede (5, 10, 15 dk) incelenerek sürtünme kuvvetleri, sürtünme katsayıları ve yüzey pürüzlülük özellikleri değerlendirilmiştir. Yatak malzemeleri kendinden yağlamalı olduğu için deneylerde yağlama işlemi yapılmamıştır. Tüm deney şartlarında diğer yatak malzemelerine göre Kestoil yatak malzemesinin sürtünme katsayısı daha düşük çıkmıştır. Deney parametreleri Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Experimental Investigation of Tribological Properties of Polymers Bearing Material

Abstract

Keywords

Polimer bearing;
Coefficient of friction;
wear; Taguchi method

In this study, experimental studies were carried out to investigate the usage of polymer materials (Kestamid, Kestamid/HS, Kestoil, Kestlub, Ulpolen 1000 (UHMWPE)) as a journal bearing. 3 different level shaft rotation speed, load and time were used in the study. During the experiments we measured friction force, friction coefficient and surface roughness. Polymer based materials uses in the area which doesn't allowed lubricants. The usage of the engineering polymers especially Kestoil can be suggested as a journal bearing material when the lowest friction coefficient is taken into consideration. Taguchi method used for gets decision for the experimental parameters.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

elektronik, havacılık ve ev eşyası yapımında tercih edilmektedir (Koç, 2011).

1. Giriş

Polimerler dünyada ve ülkemizde kullanımı giderek yaygınlaşan malzemelerdir. Polimerler sadece ucuz ve kolay işlenebilirliği ile değil mükemmel tribolojik performansları ile de malzeme ve makine mühendisliğinde önemli bir yere sahiptir. Mühendislik polimerleri ve polimer esaslı kompozitler, birbirleri ile sürtünerek çalıştığı karşı malzeme çifti olan metal ve polimerler ile birlikte yaygın olarak kullanılır. Mühendislik polimerleri pek çok endüstriyel sektörde otomobil, elektrik,

Günümüzde polimer yatak malzemeleri, yüksek aşınma direnci, yağlama gerektirmeme, hafiflik ve ucuz olması gibi özelliklerinden dolayı birçok metal malzemenin alternatifi olarak kullanılmaktadır.

Uzuner ve Gediktaş (2004), salınım hareketi yapan radyal kaymalı plastik yatakların 45° lik salınım

açısında sürtünme katsayısı ve temas yüzeyi sıcaklığı değişimlerini, kayma hızına ve yüzey basıncına bağlı olarak incelemişlerdir. Deneylerde çok yüksek molekül ağırlıklı UHMWPE'den yapılan yatak burçları ve çelik mil kullanmışlardır. Deneyleri salınım frekansı 30 d/d-430 d/d arasında ($v= 0,03-0,44$ m/s) 5 kademedeki yük, 94,5-346,5 N arasında uygulamışlardır. Yapılan deneylerin sonucunda, sürtünme katsayısının kayma hızı ile arttığı, yüzey basıncı ile düştüğü, temas yüzeyi sıcaklığının ise hem kayma hızı hem de basınç ile arttığını belirtmişlerdir.

Döküm poliamid olarak da adlandırılan Kestamid (PA6G), kimyasal yönden bir Nylon türü olmakla beraber belli ölçüde (crosslinked) çapraz bağlı moleküler yapısı nedeni ile daha üstün bazı özelliklere sahip bir poliamid türüdür. Yüksek mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı sanayide en çok kullanılan mühendislik plastiklerinden biridir. Döküm yoluyla imal edilir. Sıkı bir dokuya ve sertliğe sahiptir. Üniversal metal ve ağaç işleme tezgahlarında kolaylıkla işlenebilir (Taşdelen, 2007).

Kestamid, hadde yatak ve kızakları, demiryolu sektörü, yataklar, burçlar, dişliler, makaralar, kasnaklar, gemi şaft ve dümen mili yatakları, kaplinler, araba tekerlekleri, ambalaj, tekstil vb. alanlarda tercih edilmektedir.

Quaglioni vd. (2009), çalışmalarında POM-H, PETP + PTFE, PA6 + mum(wax), PA66 + MoS₂, UHMWPE, PTFE polimer yatak malzemelerinin minimum sürtünme için optimum yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deney sonucunda, PTFE ve UHMWPE polimerlerinin elastisite modülünün düşük olduğunu, PA66 + MoS₂ ve POM-H malzemelerinin yüksek elastisite modülüne sahip olduğunu, PA6 + mum ve PETP + PTFE malzemelerinin elastisite modülünün 1000 ve 3000 MPa arasında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca polimerlerin minimum sürtünme için optimum

yüzey pürüzlülüğünün aynı olmadığını çalışmalarında ifade etmişlerdir.

Demirci (2009), altı farklı polimer yatak malzemesini (PA 66, PA 6.6, PA6.6 + %30 Cam elyaf, PA 66 + %20 Cam elyaf + %25 PTFE, PA 66 + %18 PTFE, PA 66 + % 25 Cam elyaf + % 3 MoS₂) 0,5, 1, 1,5 m/s kayma hızında ve 0,095, 0,190, 0,238, 0,280 MPa basınç altında sürtünme kuvvetleri, sürtünme katsayıları ve aşınma miktarlarını kuru kaymalı yatak test düzeneğinde statik yük altında incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda Cam elyaf ve MoS₂ katkılı kaymalı yataklarda tüm çalışma şartlarında diğer numunelere göre daha düşük sürtünme katsayısı elde edildiği, PTFE katkılı kaymalı yataklarda ise 0,5 m/s gibi düşük kayma hızlarında düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Hızın artması ile sürtünme katsayısının da arttığı belirtilmiştir.

Ünal ve Yetgin (2010), ÇYMAPE (UHMWPE) ve Poliamid 6 polimer malzemelerini kuru ortam şartlarında pim-disk aşınma cihazında, aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemiştir. Deneyler 50, 100, 150 N olmak üzere üç farklı yük ile 0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 m/s kayma hızı ile yapılmıştır. Yaptıkları çalışma sonucunda ÇYMAPE ve PA 6 polimerlerinin sürtünme katsayısının uygulanan yük ile azaldığını, kayma hızının artmasıyla ÇYMAPE ve PA polimerinin sürtünme katsayısının arttığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, Kestamid, Kestamid/HS, Kestoil, Kestlub, Ulpolen 1000 (UHMWPE) yatak malzemeleri, 316 paslanmaz çelik mil kullanılarak radyal kaymalı yatak deney düzeneğinde test edilmiştir. Yatak malzemelerinin tribolojik özelliklerini tespit etmek için üç farklı yük, süre ve mil hızı kullanılmıştır. Deney parametreleri Taguchi mixed type' a göre belirlenmiş olup sürtünme katsayıları tespit edilmiştir. Deney öncesi ve deney sonrası polimer yatak malzemelerin yüzey pürüzlülüğü karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

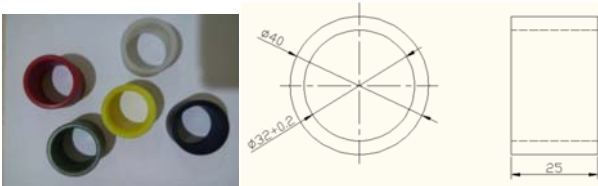
2.1. Kullanılan materyaller

Deneysel Kestamid, Kestamid/HS, Kestoil, Kestlub, Ulpolen 1000 (UHMWPE) yatak malzemeleri kullanılmıştır. Malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Yatak malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Int Kyn. 1)

Genel özellikler	Kestamid	Kestamid/HS	Kestoil	Kestlub	UHMWPE (Ulpolen1000)
Özgül ağırlığı (gr/cm ³)	1.15	1.15	1.14	1.15	0,94
Çekme dayanımı	850	800	750	800	250
Elastik modül	4000	4000	4000	4000	-
Sertlik (Shore D, 868)	84	84	83	84	60-68
Erime noktası (°C)	220 °C	220 °C	220 °C	220 °C	127-138 °C

Yatak malzemeleri literatürdeki ölçülere ve malzemelerinin temin edildiği firma katalogundaki değerlere uygun olarak işlenmiştir. Yatak ölçüleri ve fotoğrafı Şekil 1.’de görülmektedir.



Şekil 1. Polimer yataklar ve ölçüleri

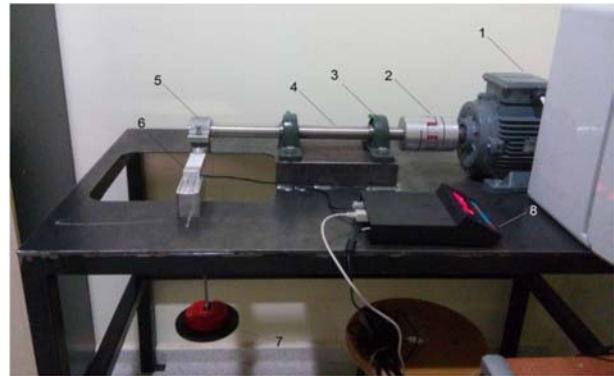
Deneysel aşındırıcı malzeme olarak 316 paslanmaz çelik mil kullanılmıştır. Mil çapı 32 mm’dir. Taşlanmış çelik mil yüzeyinin deney öncesi ve deney sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve her iki ölçümde de yüzey pürüzlülük değeri 0,12 µm’dir. Polimer yatak malzemeler mil yüzeyinde herhangi bir aşınmaya sebep olmamıştır. Test mili fotoğrafı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Test mili

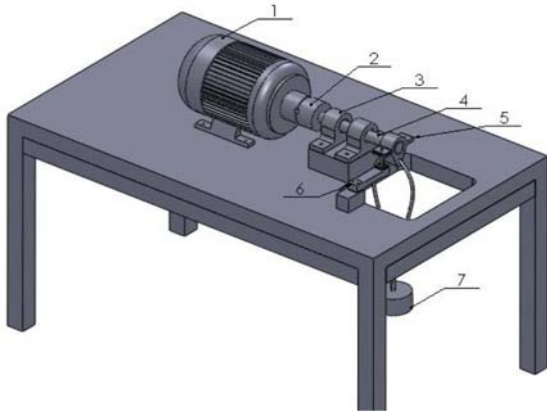
2.2. Radyal kaymalı yatak deney düzeneği ve deney şartları

Solidworks programı ile tasarımı yapılan deney düzeneğinin fotoğrafı ve şematik resmi Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Deneyde kullanılan 2.2 Kw elektrik motoru (1) 0-1400 d/d aralığındadır. Motor ve mil bağlantısı kaplin (2) yardımıyla yapılmıştır. 316 paslanmaz çelik mili (4) desteklemek amacıyla iki adet rulman (3) kullanılmıştır.



1. Elektrik motoru, 2. Kaplin, 3. Rulman, 4. Test mili, 5. Alüminyum yük askısı, 6. Yük hücre, 7. Yük, 8. İndikatör

Şekil 3. Radyal kaymalı yatak deney düzeneği



Şekil 4. Radyal kaymalı yatak deney düzeneği şematik resmi (Sarı, 2015)

Polimer yataklara ağırlık uygulamak ve sabitlemek amacıyla sert alüminyum malzemedan yük askısı tasarımı yapılmıştır. Alüminyum yük askısı fotoğrafı Şekil 5'te verilmiştir. Alüminyum yük askısına sabitlenen M6 vida ile polimer yatağa uygulanan kuvvet ölçümü yapılabilmektedir. Alüminyum yük askısı farklı dış çap ölçülerine sahip polimer yatakları sistemde sabitleyebilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 5. Alüminyum yük askısı

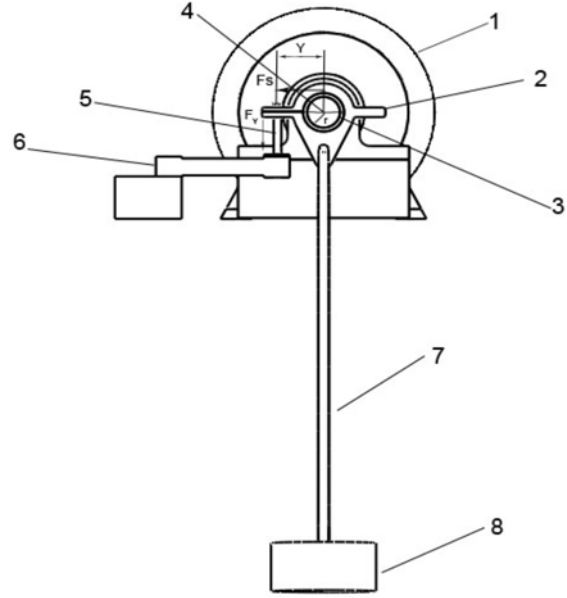
Şekil 6'da görüldüğü gibi çalışma sırasında dönen milin (4) etkisiyle, polimer yatak (3) ve bu yatağın montajının yapıldığı alüminyum yük askısının (2), mil (4) ile yatak (3) arasındaki sürtünme momenti döndürmeye çalışacaktır. Bu zorlama esnasında polimer yatak ve alüminyum yük askısının (2) bağlı olduğu yük hücresi (6), bir F_Y kuvveti ile eğmeye zorlanacaktır. Yük hücresinin (6) yatak merkezine olan mesafesi Y , yatak ile mil arasında meydana gelen sürtünme kuvveti F_s ve mil yarı çapı r ise;

$$F_Y \cdot Y = F_s \cdot r$$

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

şeklinde yazılabilir.

Sürtünme kuvvetinin şekilsel ifadesi Şekil 6 'da verilmiştir.



1.Motor, 2.Alüminyum yük askısı, 3.Polimer yatak, 4.Mil, 5.Vida, 6.Yük hücresi, 7.Yük askısı, 8.Yük

Şekil 6. Sürtünme kuvvetinin şekilsel ifadesi (Sarı, 2015)

2.3.Taguchi yöntemi ile deney tasarımı

Deneysel çalışmalarda doğru deney tasarımının yapılması doğru sonuçlar elde etmenin yanında kaliteyi artıran, maliyeti düşüren, deney sayısını önemli ölçüde azaltarak hem kaynakların verimli kullanılması hem de zamandan kazanç sağlaması açısından önemlidir (Turgut ve Dikici, 2011). Taguchi, üründe ve proste, değişkenlik (hedef değerden farklılık, yani kalitesizlik) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün veya prosteaki değişkenliği en aza indirmek gerektiğini söylemektedir. Deney tasarım matrislerinde ortogonal dizinlerin kullanımı hem zaman hem de maliyet açısından büyük avantaj sağlamaktadır (Erdem vd., 2010; Taylan, 2011).

Bu deneysel çalışmada Minitab istatistik yazılım programı kullanılarak Taguchi karma (mixed) deney tasarımı kullanılmıştır. Literatürdeki bilgilere ve güvenlik şartlarına göre seçilen faktörler ve deney parametreleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Deney parametreleri ve seviyeleri

Faktörler	Birim	Seviyeler		
		1	2	3
Hız	d/d	50	75	100
Süre	Dk	5	10	15
Yük	N	15	25	35

3. Bulgular

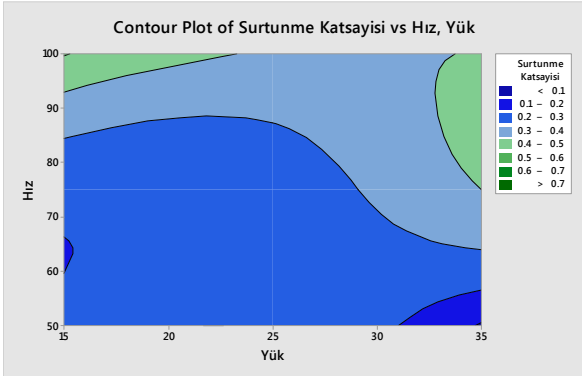
Kaymalı yatak numuneleri (Kestamid, Kestamid HS, Kestoil, Kestlub, Ulpolen 1000) 15, 25 ve 35 N yük ve 50, 75 ve 100 d/d hızında normal oda şartlarında test edildi. Deneyler 316 paslanmaz çelik mil ile kuru kaymalı yatak test düzeneğinde 3 kez tekrar edilerek sürtünme katsayılarının ortalamaları Excel programı ile hesaplanmış ve ortalama sürtünme katsayıları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Polimer yatak malzemelerin ortalama sürtünme katsayıları

Yatak malzemesi	Yük(N)	Zaman(dk)	Mil dönme devri(d/dk)	Ortalama Sürtünme katsayısı (μ)
Ulpolen 1000(UHMWPE)	35	5	75	0.063528
Ulpolen 1000(UHMWPE)	15	10	100	0.241208
Ulpolen 1000(UHMWPE)	25	15	50	0.271331
Kestlub	15	5	50	0.3992
Kestlub	25	10	75	0.3711
Kestlub	35	15	100	0.556193
Kestamid	15	5	75	0.235478
Kestamid	25	10	100	0.39526
Kestamid	35	15	50	0.090472
Kestoil	15	10	50	0.08142
Kestoil	25	15	75	0.14777
Kestoil	35	5	100	0.271134
Kestamid HS	25	5	50	0.318693
Kestamid HS	15	15	100	0.776229
Kestamid HS	35	10	75	0.7435

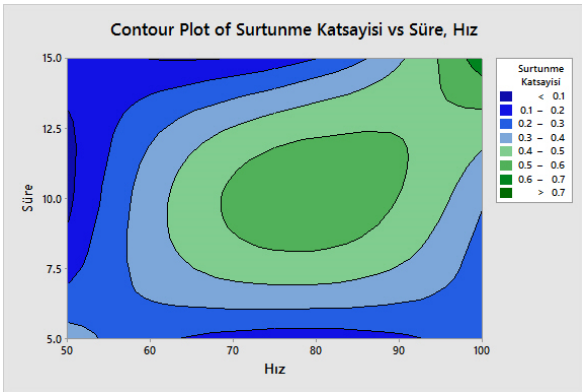
Deney çalışmaları Taguchi Methoduna göre uygulanıp sonuçlar için Minitab istatistik programı kullanılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen verilerin doğruluğunu kanıtlamak için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Taguchi doğrulama deneyleri için elde edilen sürtünme katsayı grafikleri aşağıda

verilmektedir. Şekil 7’de hız ve yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişim grafiği verilmiştir.



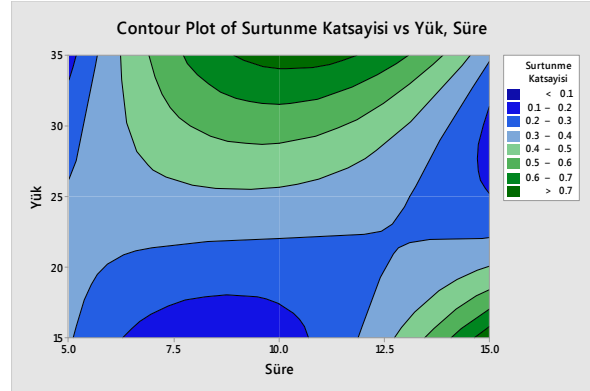
Şekil 7.Yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

Yapılan literatür araştırması ve deney sonuçlarında genel olarak hızın artmasıyla sürtünme katsayısının da arttığı, yük artışıyla sürtünme katsayısının düştüğü görülmektedir. Şekil 7’ de görüldüğü gibi yük artışı sürtünme katsayısının düşmesine sebep olmuştur. Yatak malzemelerinin hız ve zamana bağlı olarak sürtünme katsayılarının değişim grafiği Şekil 8’de verilmektedir.



Şekil 8. Süreye bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

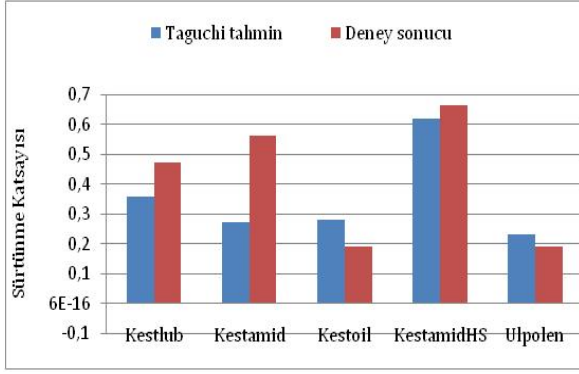
Deney süresinin artmasıyla birlikte Şekil 8’de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı hız artışına bağlı olarak artmaktadır. Şekil 9’da yük ve süreye bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 9. Yük ve süreye bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 9’da görüldüğü gibi deney süresinin ve yükün artışı sürtünme katsayısını da arttırmıştır.

Doğrulama deneyi için taguchi tahmin sonuçları Şekil 10’ da verilmiştir.



Şekil 10. Taguchi tahmin ve deneysel sonucun karşılaştırılması

Doğrulama deneyinden elde edilen sonuçlar ve taguchi tahmin sonuçları karşılaştırıldığında en az hata oranını veren % 6.78 hata ile Kestamid HS yatak malzemesi olmuştur.

4. Yüzey Pürüzlülük Analizi

Polimer yatak malzemelerin deney öncesi ve deney sonrası yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş, deney koşulları ve yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Polimer yatak malzemelerin pürüzlülük değerleri (Ra)

Malzeme Adı	Deney Öncesi(µm)	Deney Sonrası (µm)	Deney koşulları
Kestoil	0,95	1,72	15N,10 dk,50 d/d
Kestamid HS	1,87	1,71	25N,15 dk,75 d/d
Ulpolen 1000 (UHMWPE)	3,93	3,17	25N,15 dk,50 d/d
Kestamid	1,01	1,22	35N,15 dak,50 d/d
Kestlub	0,46	0,85	15N,10 dak,50 d/d

Deney öncesi ve deney sonrası yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında Kestamid HS ve Ulpolen 1000 yatak malzemesinin yüzey pürüzlülük değeri azalırken diğer yatak malzemelerinde artmıştır.

5. Sonuç

Kaymalı yatak numuneleri (Kestamid, Kestamid HS, Kestoil, Kestlub, Ulpolen 1000) 15, 25 ve 35N yük, 50, 75 ve 100 d/d hızında normal oda şartlarında radyal kaymalı yatak deney düzeneğinde test edildi. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Taguchi methoduna göre deney parametreleri belirlenmiştir.
- Doğrulama deneyleri sonucunda, Taguchi tahmin sonuçları ve deney sonuçları karşılaştırıldığında en az hata oranını veren yatak malzemesi % 6.78 hata ile Kestamid HS olmuştur.
- Yapılan deney sonuçlarına göre çalışma süresi arttıkça (Ulpolen 1000, Kestlub ve Kestamid HS yatak malzemesinde) sürtünme katsayısı da artmıştır.
- Tüm çalışma şartlarında diğer yatak malzemelerine göre Kestoil yatak malzemesinin sürtünme katsayısı daha düşük çıkmıştır.
- Yüksek yatak basıncının uygulandığı yerlerde Kestoil yerine Kestlub malzemesi tercih edilebilir.
- Yatak malzemelerinin yüzey pürüzlülük özelliklerinin daha iyi değerlendirilebilmesi için kalıptan çıkan yatak malzemelerin ölçüsüne göre mil seçilebilir.
- Taguchi methodu yüksek hata oranları vermesinden dolayı bu çalışmada önerilmemektedir. (Sarı, 2015).

Kaynaklar

İnternet kaynakları

Koç, R., 2011. Mühendislik plastiklerinin aşınma davranışlarının deneysel incelenmesi . *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8, 27-40.

1- <http://www.polikim.com.tr/index.asp#>, (01.01.2015)

Uzuner, F., Gediktaş, M., 2004. Salınım hareketi yapan radyal kaymalı plastik yataklarda sürtünme. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/d Mühendislik*, 3 , 91-98.

Taşdelen, Y., 2007. Polimer malzemelerin sfero döküm karşısında aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 60.

Quaglioni, V., Dubini, P., Ferroni, D., Poggi, C., 2009. Influence of counterface roughness on friction properties of engineering plastics for bearing applications. *Materials and Design*, 30, 1650–1658.

Demirci, M.T., 2009. Polimer esaslı kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 85.

Ünal, H., Yetgin, S.H., 2010. ÇYMAPE ve PA-6 mühendislik polimerlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarının incelenmesi. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 3, 145-152.

Sarı, A., 2015. Polimer yatak malzemelerin tribolojik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 60.

Turgut, E., Dikici, A., 2011. Eş eksenli bir ısı değiştiricisinin tasarım parametrelerinin taguchi metodu ile optimizasyonu. *International Advanced Technologies Symposium*, 16-18 May, Elazığ, 278-280.

Erdem, V.,Belevi, M., Koçhan, C., 2010. Taguchi metodu ile plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmanın en aza indirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12, 17-29.

Taylan, M., 2011. Sertleştirilmiş Takım Çeliklerinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Takım Aşınması ve Talaş Oluşumuna Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 59.