

FARKLI POLİMERİK MALZEMELERİN AŞINMA MİKTARINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN REGRESYON TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

Aysun SAĞBAŞ¹, F.Bülent YILMAZ² ve Fatih ALTINIŞIK³

¹ Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü-MERSİN
asagbas@mersin.edu.tr

² Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü-MERSİN
fbylimaz@mersin.edu.tr

³ Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü-MERSİN
fyzd@mersin.edu.tr

Özet

Polimerik malzemeler, makina konstrüksiyonlarında genellikle metal malzemeleri tamamlayıcı olarak kullanılmakla beraber, uygun özelliklerinden dolayı sürtünme ve aşınmaya maruz parçaların (sızdırmazlık elemanları, taşıt tekerlekleri, varyatörler ve yatak malzemeleri) imalinde, metal malzemelere alternatif olarak da kullanılmaktadır. Bu çalışmada, PE, Derlin ve Poliamid 6.6 malzemelerinin aşınma özellikleri incelenmiş olup, devir sayısı, uygulanan yük ve aşındırıcı kağıt değişkenleri ile malzemenin aşınma miktarı arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla, SPSS paket programı kullanılarak her bir polimerik malzeme için Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmış ve bahsedilen değişkenlerin aşınma miktarına etki dereceleri belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları için, istatistiksel anlamlılık değeri $\alpha=0.05$ alınarak varyans analizi uygulanmış ve çoklu karşılaştırma testi (Tukey HSD) yapılarak, deneylerde kullanılan malzemelerin aşınma miktarı açısından aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemli olup olmadığı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polimerik malzemeler, aşınma performansı, varyans analizi, regresyon tekniği

Abstract

Polymeric materials are not only used in machine constructions as supplementary metal materials but also they are used as alternative metallic materials in the manufacturing of the parts exposed friction and wear (imperviousness components, transportation wheels, bearing materials) since they have appropriate properties. In this study, wear properties have been investigated of PA 6.6, PE and Derlin materials, to determine the relation of the amount of wear between applied load, number of revolutions, abrasive paper variables. Pearson correlation coefficient was calculated for each polymeric material using SPSS software and the effect of process variables on the amount of wear of examined variables is determined. For the obtained experimental results, the level of statistical significance was chosen $\alpha=0.05$ variance analysis has been applied and multiple comparison test (Tukey HSD) is done. Thus, the significance of the difference between the materials used in the experiments is determined.

Key Words: polymeric materials, wear performance, variance analysis, regression technique

1. GİRİŞ

Polimerik malzemeler; özelliklerinin makina konstrüksiyonuna uyumu, ağırlığa oranla dayanımlarının yüksek olması ve istenilen bir çok özelliğin kolay kazandırılması nedeniyle, bazı metallerin yerine tercihen kullanılmaktadır. Hızlı bir gelişme içinde olan polimer malzemelerin çeşitliliği arttıkça günlük hayatta, makina konstrüksiyonlarında, uzay ve havacılık alanlarında kullanımları da yaygınlaşmaktadır [1].

Aşınma; malzeme yüzeyinden, mekanik nedenlerle küçük parçacıkların ayrılması sonucu, istenmeyen şekilde meydana gelen değişiklik (DIN 50320) olarak tanımlanabildiği gibi, sürtünen malzemelerin yüzeyinden mekanik etkilerle küçük parçaların ayrılması sonucu meydana gelen hasar türü şeklinde de ifade edilmektedir [2]. Aşınma miktarı malzemenin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlı bir olay olduğundan, oldukça karmaşıktır ve laboratuvar koşullarından elde edilen sonuçlara dayanarak uygulamadaki aşınma miktarını tahmin edecek bir bağıntı henüz geliştirilememiştir [3].

Zhang ve ark.[4], üç farklı polimer malzeme (polietilen, poliüretan ve epoksi modifiye edilmiş poliüretan) için erosiv aşınma hızını tahmin etmek amacıyla, yapay sinir ağları (Artificial Neural Network) yaklaşımını uygulamışlar ve en düşük epoksi miktarında en düşük aşınma hızı olduğunu, her bir polimer tipi için tahmin sonuçları ile gerçek değerler arasındaki korelasyonun yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Shipway ve Ngao [5], polimerik malzemelerin mikroscale seviyede aşınma davranışlarını incelemişler ve polimerlerin aşınma davranışının ve hızının kritik olarak polimer tipine bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Budinski, Basse ve Rajesh aşınma hızının tahmin edilmesi ile ilgili beş teorik model incelemiştir Bu modellerden ilki, polimerin aşınma hızını tahmin etmeyi amaçlayan Ratner-Lanchester korelasyonu olarak bilinen modeldir. Budinski, önerilen modellerin tahmin gücünü, 21 polimerik malzeme için araştırmış ve yapılan testler sonucunda; malzemenin mekanik özellikleri ile abrasiv aşınma direnci arasındaki korelasyonun zayıf olduğunu belirtmiştir [6]. Ünal ve arkadaşları [7], tarafından yapılan çalışmada; alifatik poliketone (APK), polioksietilen (POM), ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE), poliamid 6.6 (PA 6.6) ve %30 cam lifi kuvvetlendirilmiş polihienilsülfid (PPS) malzemeleri oda sıcaklığında, pin on disk test cihazında; 1 m/sn kayma hızı, 10 N yükleme ve 50,100,150 ve 200 metre kayma mesafesinde incelenmiş olup, en yüksek aşınma hızına (0.00085 mm³/Nm) sahip malzeme POM ve en düşük aşınma hızına (0.0000336 mm³/Nm) sahip malzeme UHMWPE olarak belirlenmiştir. Ayrıca, tüm malzemelerin aşınma hızının artan aşınma mesafesi ile lineer bir şekilde arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Liu ve ark.[8], ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilenin (UHMWPE) aşınma davranışını incelemiş ve sonuçta, uygulanan yükün ana parametre olduğunu belirtmişlerdir. Larsen Basse [2], polimer tipine bağlı olarak aşınma mekanizmasını araştırmıştır. Budinski [5], polimerik malzemelerin aşınma davranışlarının karmaşıklığı nedeniyle, bugüne kadar yapılan çalışmaların önemli bir bölümünün sadece sonraki çalışmalar için öneri niteliğinde olduğunu belirtmiştir. Rajesh ve ark. [9], tarafından yapılan çalışmada; çeşitli poliamid liflerinin abrasiv aşınma direnci ile; uygulanan yük, CH₂/CONH oranı ve malzeme mekanik özellikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Bu çalışmada; PE, Derlin ve Poliamid 6.6 malzemeleri kullanılmış olup, devir sayısı, uygulanan yük ve aşındırıcı kağıt numarası değişkenleri ile malzemenin aşınma miktarı arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla, SPSS paket programı kullanılarak istatistiksel analizler yapılmıştır. Bu amaçla; çoklu karşılaştırma testlerinden (Post Hoc) Tukey HSD uygulanmıştır. Deneyler, AT 280 masa tipi bir torna tezgahında gerçekleştirilmiş olup, incelenen değişkenlerin malzemelerin aşınma performansları üzerindeki etki derecelerini belirlemek amacıyla, uygun regresyon modelleri oluşturulmuş ve her bir malzeme için Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Malzemenin aşınma miktarına etki eden en önemli parametrenin uygulanan yük miktarı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalışmada Kullanılan Malzeme ve Test Cihazı

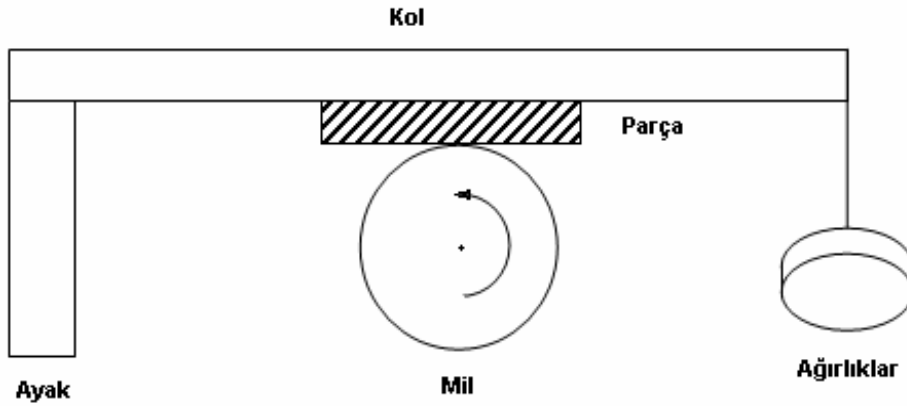
Yapılan çalışmada Polietilen, Derlin ve Poliamid 6.6. malzemelerinin aşınma davranışının incelenmesi amacıyla, 16x94x8 mm ölçülerinde dikdörtgen kesitli deney numuneleri hazırlanmış olup, kullanılan malzemelerin özellikleri çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. İncelenen Malzeme Özellikleri [1]

Özellik	Malzemeler		
	Poliamid 6.6	Derlin	Polietilen
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.14	1.43	0.93
Özgül Direnç (ohm/cm)	10(16)	10(14)	10(14)
Sertlik (Rockwell-Shore)	M89	M90	Shore63
Ergime noktası (°C)	255	175	135
1.8 N/mm Yükte Eğilme Noktası (°C)	100	135	---
Kopma uzaması (%)	40	30	600
Uzamada gerilme mukavemeti (N/mm ²)	90/-	70/-	22
Yatay konumda darbe mukavemeti (kJ/mm ²)	5	8	Kırılmaz
Dikey konumda darbe mukavemeti, çentikli (kJ/mm ²)	4	10	Kırılmaz
Aşınma mukavemeti (1000 saatte % 1'lik aşınma için harcanan güç) (N/mm ²)	20	16	3
Basma mukavemeti (% 1'lik akmada) (N/mm ²)	92	70	---
Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	3300	3300	800

*: Tüm değerler, kuru test numuneleri için geçerli olan sonuçlardır

Deneyler, mil çapı 40 mm ve uzunluğu 400 mm olan AT 280 tipi bir torna tezgahı kullanılarak hazırlanan bir deney düzeneği ile gerçekleştirilmiş olup, test cihazının şematik görünüşü şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Aşınma Deneyinde Kullanılan Test Cihazının Şematik Görünüşü

Aşınma deneylerinde her bir test numunesi için tezgah devir sayısı; 500, 900 ve 1600 dev/dak, uygulanan yük; 10, 15, 20 N ve aşındırıcı kağıt numarası; P150, P220 ve P320 (Grand marka) alınmış ve aşındırıcı, mil üzerine yapıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Aşınma

miktarı; ağırlık kaybı esasına göre ölçülmüş olup, oluşan ağırlık kayıplarını ölçmek için 0.01 gr hassasiyetinde ve 1500 gr tartma kapasiteli elektronik terazi kullanılmıştır.

2.2. Araştırmada Kullanılan Yöntem

2.2.1. Çok Değişkenli Regresyon Modeli ve Korelasyon

Değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel olarak ifade edilmesinde regresyon modelleri kullanılır. İki veya daha fazla bağımsız değişkenin bir bağımlı değişkeni belirlemesi durumunda oluşturulan çok değişkenli lineer regresyon modeli, üç bağımsız değişken için en genel şekilde eşitlik 1.'de verilmiştir.

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \quad (1)$$

Bu eşitlikte; Y : bağımlı değişken olmak üzere; \hat{Y} : regresyon fonksiyonundan elde edilen tahmini Y değeri, a, b_1, b_2, b_3 : model katsayıları; X_1, X_2, X_3 : Y değişkeni üzerine etkisi incelenen bağımsız değişkenleri ifade eder. Belirlenen regresyon modelinin anlamlılığını test etmek için F testi yapılır. Değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini ifade etmek için kullanılan korelasyon katsayısı; regresyon modeli ile bulunan tahmini Y değerlerinin gerçek değerlere uygunluğunu ölçmede kullanılır [10]. Üç bağımsız değişkenli regresyon modeli için korelasyon katsayısı; eşitlik 2.'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$R^2 = \frac{b_1 \sum X_1Y + b_2 \sum X_2Y + b_3 \sum X_3Y}{\sum Y^2} \quad (2)$$

2.2.2. Varyans Analizi ve Çoklu Karşılaştırma Testi

Örnek ortalaması arasındaki farkın anlamlılığını test etmek için varyans analizi uygulanır. Varyans analizi sonuçlarının güvenilir olabilmesi için "normallik, homojenlik ve bağımsızlık" varsayımlarının yapılması gerekir. Varyans analizinde farklı grupların tesbiti için "Tukey ve Duncan Testi" kullanılır [10].

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, devir sayısı, uygulanan yük ve aşındırıcı kağıt numarası değişkenlerinin aşınma miktarı üzerine etkisini belirleyebilmek ve deneylerde kullanılan Poliamid, Derlin ve Poliamid 6.6 malzemelerinin aşınma miktarları arasında % 5 önem düzeyinde ($\alpha=0.05$) istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını (Gruplararası fark) araştırmak amacıyla; SPSS paket programı kullanılmış olup, çoklu karşılaştırma testi (Post Hoc) olarak Tukey HSD uygulanmıştır. Ayrıca aşınma miktarına etkisi incelenen değişkenlerin her biri için, aralarındaki farkın % 5 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlılığı da çoklu karşılaştırma testi (Tukey HSD) ile incelenmiştir (Gruplarıçi fark). Deneyler, ME.Ü.Makine Mühendisliği Makine Elemanları laboratuvarında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup, her bir malzeme için toplam 45 deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar, çizelge 2.'de verilmiştir.

Çizelge 2. Polietilen, Derlin ve Poliamid 6.6 Malzemeleri İçin Aşınma Deney Sonuçları

Aşınma Miktarı (gr)	Devir Sayıları (dev/dak) P 220 ve 15 Nt			Uygulanan Yük (N) 900 dev/dak ve P220			Aşındırıcı Kağıt No 900 dev/dak ve 15 N		
	500	900	1600	10	15	20	P150	P220	P320
Poliamid 6.6 (PA 6.6)	0,19	0,73	1,75	0,59	0,73	0,81	0,93	0,73	0,17
	0,27	0,76	1,35	0,67	0,76	0,93	0,87	0,76	0,17
	0,28	0,66	1,58	0,60	0,66	0,63	0,91	0,66	0,13
	0,26	0,72	1,65	0,66	0,69	0,72	0,89	0,71	0,16
	0,26	0,69	1,71	0,58	0,71	0,84	0,92	0,68	0,16
Derlin	0,19	0,73	1,75	0,59	0,73	0,81	0,93	0,73	0,17
	0,27	0,76	1,35	0,67	0,76	0,91	0,87	0,66	0,17
	0,28	0,66	1,58	0,60	0,66	0,63	0,91	0,76	0,13
	0,21	0,71	1,46	0,58	0,74	0,87	0,89	0,72	0,16
	0,27	0,68	1,71	0,63	0,68	0,69	0,92	0,69	0,14
Polietilen (PE)	0,02	0,06	0,65	0,05	0,06	0,09	0,13	0,07	0,03
	0,03	0,06	0,54	0,06	0,08	0,09	0,07	0,06	0,04
	0,02	0,08	0,46	0,05	0,06	0,09	0,08	0,05	0,03
	0,04	0,08	0,63	0,06	0,08	0,16	0,07	0,06	0,03
	0,03	0,07	0,48	0,04	0,07	0,12	0,09	0,06	0,04

Çizelge 2.'de verilen deney sonuçları için SPSS paket programı kullanılarak Varyans Analizi (ANOVA) yapılmış olup, elde edilen sonuçlar, çizelgeler 3. ve 4.'de verilmiştir.

Çizelge 3. Grupları İçin Etkiler İçin Varyans Analizi Sonuçları

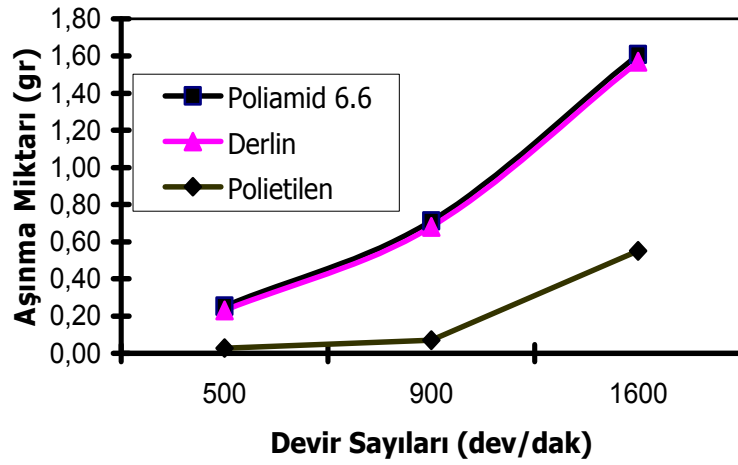
	Devir Sayısı	Uygulanan Yük	Aşındırıcı Kağıt No
F değeri	516,985	26,023	1791,054
p Anlamlılık Değeri	0,000	0,0001	0,00001

Çizelge 3.'de verilen varyans analizi tablosuna göre; incelenen tüm malzeme tipleri için devir sayısı, uygulanan yük ve aşındırıcı kağıt numarası değişkenleri arasındaki farkın % 5 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p < 0,05$) görülmüştür.

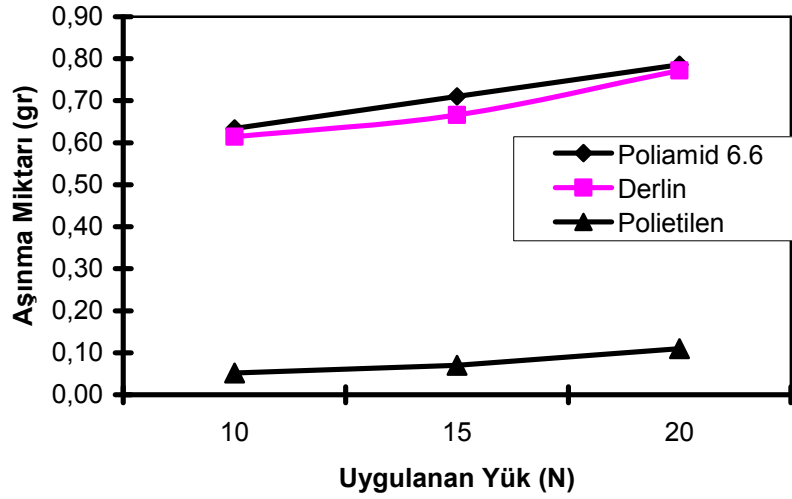
Çizelge 4. Gruplararası Etkiler İçin Varyans Analizi Sonuçları

Malzeme Grupları	P anlamlılık Değeri		
	Devir Sayısı	Uygulanan Yük	Aşındırıcı Kağıt No
Poliamid 6.6*Derlin	0,790	0,998	1,00
Poliamid 6.6*Polietilen	0,000	0,000	0,000
Derlin*Polietilen	0,000	0,000	0,000

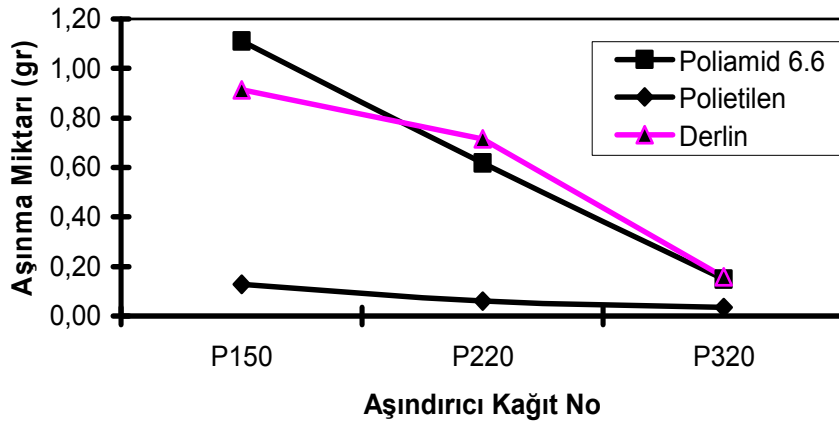
Aşınma performansları açısından malzemeler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olup olmadığını belirlemek için çizelge 4. incelenmiş ve yapılan F testi sonucunda % 5 önem düzeyinde; Poliamid 6.6 ile Derlin malzemesinin aşınma davranışı arasındaki farkın önemsiz olduğu; Polietilen ile Poliamid 6.6 ve Polietilen ile Derlin malzemelerinin aşınma miktarları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Her bir malzeme için devir sayısı, uygulanan yük ve aşındırıcı kağıt numarası ile aşınma miktarı arasındaki ilişki grafiği; şekiller 2. 3. ve 4.'de verilmiştir.



Şekil 2. Devir Sayısı ve Ortalama Aşınma Miktarı Arasındaki İlişki Grafiği
(Uygulanan Yük:15 N ve Aşındırıcı Kağıt No: P220)



Şekil 3. Uygulanan Yük ve Ortalama Aşınma Miktarı Arasındaki İlişki Grafiği
(Devir Sayısı: 900 dev/dak ve Aşındırıcı Kağıt Numarası P220)



Şekil 4. Aşındırıcı Kağıt Numarası ve Ortalama Aşınma Miktarı Arasındaki İlişki Grafiği
(Uygulanan Yük:15 N ve Devir Sayısı: 900 dev/dak)

Devir sayısı, uygulanan yük ve aşındırıcı kağıt numarası değişkenlerinin aşınma miktarı üzerine etki derecelerinin belirlenebilmesi amacıyla, SPSS paket programı kullanılarak yapılan çoklu regresyon ve korelasyon analizi sonucunda her bir malzeme için elde edilen regresyon denklemleri eşitlik 3.'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} Y_{poliamid} &= 0.225 + 0.01X_1 + 0.21X_2 - 0.05X_3 \\ Y_{derlin} &= 0.408 + 0.01X_1 + 0.16X_2 - 0.05X_3 \\ Y_{polietilen} &= 0.321 + 0.04X_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Yapılan analiz sonucunda; pearson korelasyon katsayısı; $R^2_{poliamid} = 0,981$, $R^2_{derlin} = 0,976$, $R^2_{polietilen} = 0,957$ olarak hesaplanmış ve tüm malzeme tipleri için aşınma miktarındaki değişimin yaklaşık % 96'sının bu çalışmada incelenen değişkenler tarafından açıklanabildiği görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Farklı polimerik malzemelerin (Polietilen, Derlin ve Poliamid 6.6) aşınma performansının devir sayısı, uygulanan yük ve aşındırıcı kağıt numarası değişkenleri ile ilişkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada; aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Aşınma performansları incelenen tüm malzemeler için; uygulanan yük miktarının artmasıyla malzemelerin aşınma miktarında önemli bir artış görülmüştür.
- Poliamid 6.6 ve Derlin malzemeleri için; devir sayısının artması aşınma miktarının artmasına neden olurken, büyük numara aşındırıcı kağıt kullanılması ile aşınma miktarında azalma meydana gelmiştir.
- Yapılan regresyon analizi sonucunda; Polietilen malzeme için devir sayısı ve aşındırıcı kağıt numarası değişkenlerinin aşınma miktarına etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür.
- Poliamid 6.6 ve Derlin malzemeleri aşınma performansı açısından benzer davranış gösterirken, Polietilen malzemesinin daha düşük aşınma miktarına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

5. KAYNAKÇA

- [1] SAVAŞCI, Ö.T., UYANIK, N., "Plastikler ve Plastik Teknolojisi", ÇaNay Kitabevi, İstanbul, (1998)
- [2] HUTCHINGS, I.M., "Tribology: friction and Wear Engineering Materials", Edward Arnold, London, (1992)
- [3] THROP, J.M., "Abrasive wear of some commercial polymers", Tribol,IN, 15, 59-68, 1982
- [4] ZHANG, Z., BARKOULA, N.M., KERGER-KOCSIS, J., FRIEDRICH, K., "Artificial Neural Network predictions on erosive wear of polymers, Wear, 255, 708-713, 2003
- [5] SHIPWAY, P.H., NGAO, N.K., "Microscale abrasive wear of polymeric materials", Wear, 255, 742-750, 2003
- [6] BUDİNSKI, K.G., "Resistance to particle abrasion of selected plastics", Wear, 203-204, 302-309, 1997
- [7] ÜNAL, H., SEN, U., MİMAROĞLU, A., "Abrasive wear behaviour of polimeric materials", Materials & Design, 26, 705-710, 2005
- [8] LİU, C., REN, L., ARNELL, R.D., TONG, J., "Abrasive wear behavior of particle reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene composites", Wear, 225-229, 199-204, 1999
- [9] RAJESH, J.J., BİJWE, J., TEWARI, U.S., "Abrasive wear Delrinformance of various polyamides", Wear, 252,769-776, 2002
- [10] BAŞAR, A., OKTAY, E., "Uygulamalı İstatistik 2", Şafak Yayınevi, Erzurum, (2000)