

Karbon Elyaf Dolgulu Pa6 Polimer Kompozitlerinin Aşınma Özellikleri Üzerine Uygulanan Yük ve Kayma Hızının Etkisi

Murat KOYUNBAKAN¹, S. Hakan YETGİN^{1,*}, Ferhat YILDIRIM², Gözde KUŞ³, Volkan ESKİZEYBEK⁴,
Abdurrahman GENÇ³

¹Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA

²Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Müh. Böl., KÜTAHYA

³Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler ABD, KÜTAHYA

⁴Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bil. ve Müh. Böl., ÇANAKKALE

Öz

Bu çalışmada, karbon elyaf (KE) dolgulu poliamit 6 (PA6) polimer kompozitlerinin sürtünme ve aşınma davranışları üzerine kayma hızı ve yükün etkileri incelenmiştir. PA6 polimeri ve PA6 kompozitlerinin sürtünme ve aşınma testleri 1040 çelik diske karşı kuru ortamda pim-disk sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Tribolojik testler oda sıcaklığında, farklı yük (10-40N) ve kayma hızı (0.4-1.2m/s) şartlarında yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, tüm polimer numuneler için yükün ve kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı artmıştır. PA6 kompozitleri için aşınma oranı 10^{-10} mm³/Nm civarında elde edilmiştir. PA6 polimer kompozitlerinin aşınma oranını etkileyen en önemli parametrenin uygulanan kayma hızı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PA6, Triboloji, Aşınma, Sürtünme, Termoplastik

The Effect of Sliding Speed and Applied Pressure Values on the Wear Behaviour of Carbon Fiber Filled Polyamide 6 (Pa6) Polymers

Abstract

In this investigation, the influence of sliding speed and load values on the friction and wear behaviour of carbon fiber filled polyamide 6 (PA6) composites were studied. Friction and wear tests of PA 6 polymer and PA6 polymer composites versus 1040 steel were carried out at dry condition on a pin-on-disc arrangement. Tribological tests were performed at room temperature at different loads (10-40N) and sliding speeds (0.4-1.2 m/s). The results showed that, for all polymers used in this investigation, the coefficient of friction increases linearly with the increase in load and sliding speed. The specific wear rate for PA6 composites were in the order of 10^{-10} mm³/Nm. The most important parameter affecting the wear rate of PA6 polymer composites was determined to be the sliding speed.

Keywords: PA6, Tribology, Wear, Friction, Thermoplastic.

1. GİRİŞ

PA6, PA12, PA46 ve PA66 gibi türleri bulunan poliamitlerin içerisinde PA6 polimeri, görece düşük camsı geçiş sıcaklığı, düşük yoğunluk ve yüksek mekanik özellikleri ile yarı-kristal bir polimerdir. Bu özellikleri nedeniyle PA6 polimeri başta fiber olmak üzere film, otomotiv, tekstil ve kalıp parçalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır [1-2]. Ancak, düşük darbe dayanımı ve polar amit grupların bulunması sebebiyle yüksek nem emme kapasitesine sahip olması PA6 polimerinin kullanımını sınırlamaktadır [3].

PA6 polimerinin rijitliğini ve dayanımını geliştirmek için genellikle mineral, cam elyaflar, cam küreler, karbon siyahı ve odun unu gibi bir çok malzeme katkı elamanı olarak kullanılmaktadır. Bu katkılar içerisinde, cam elyaf, düşük maliyet, yüksek kimyasal direnç ve üstün yalıtım özellikleri nedeniyle en çok tercih edilen takviye elemanıdır. Katkısız PA polimerinin mekanik özellikleri üzerine cam fiberin etkisinin incelendiği bir çok çalışma olup, bu çalışmalarda cam elyafların mekanik özellikleri geliştirdiği belirtilmiştir [4-10]. Ancak, cam elyafların yüksek sertliğe sahip olması kalıpta aşırı derecede aşınmaya sebep olmaktadır.

Karbon elyaflar ise yüksek performanslı termoplastik polimerleri için en önemli dolgu elemanıdır. Karbon elyaf dolgulu termoplastikler, cam elyaf dolgulu olanlara göre daha iyi sürtünme ve aşınma özelliklerine sebep olurlar [11-13]. Bunun sebebi ise cam elyafa göre yüksek spesifik modüle ve kendinden yağlamalı özelliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır [14-15]. Ayrıca, katkı malzemesi olarak grafit kullanımı polimer matrisli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin gelişimi için bilinen malzemelerden bir tanesidir [8]. Sampathkumaran ve arkadaşları [16], kauçuk veya Al₂O₃ partikül katkılı cam fiberli polimer kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri üzerine yük ve kayma hızının etkilerini analiz ettikleri çalışmada artan yük ve hızla bağlı olarak aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Cai ve Wang [17] katkısız PA66 ve karbon elyaf dolgulu PA66 kompozitlerin kuru ve sulu ortam şartları altında tribolojik özelliklerini inceledikleri çalışma sonucunda, artan yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı ve aşınma oranının arttığını, kayma hızının artması ile sürtünme katsayısının azalırken aşınma oranının arttığını belirlemişlerdir. Li ve Xia [18] farklı oranlarda karbon elyaf dolgulu PA6 polimerinin tribolojik özelliklerini inceledikleri çalışmada, artan yüke ve kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayısının ve aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. PA6 polimerine ilave edilen karbon fiberin aşınma oranının azalmasına katkı sağladığını belirtmişlerdir. Luo [19] ise %15 PTFE katkılı polifenilen sülfid (PPS) polimerine ilave ettikleri farklı oranlardaki karbon elyafın aşınma özelliklerini inceledikleri çalışmada, yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının ve aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Suresha ve arkadaşları [20], mikro ve nano katkılı PA66/PP polimer kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, grafit (Gr), nanoclay (NC) ve NC+kısa karbon fiber (NC+SCF) katkılarını kullanmışlardır. Grafit %2.5 ve 5 oranlarında, nanoclay %2 ve 3 oranlarında, NC+SCF sisteminde ise NC %2, SCF ise %10 oranında kullanılmıştır. Sürtünme ve aşınma testleri ise kuru ortam şartları altında, sertleştirilmiş En32 çelik diske karşı, pim-disk sistemi ile 20-80N yük altında, 3-6m/s kayma hızında ve 6000m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, artan yük ve kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayısının azaldığını belirtmişlerdir. Artan yük ve kayma hızına bağlı olarak aşınma oranının ise arttığı belirlenmiştir. Kompozitlerin karşı disk yüzeyinde oluşan transfer film tabakasından etkilendiği belirtilmiştir. Kısa karbon fiber eklenmesi ile tribolojik performansın geliştiği,

sürtünme katsayısının ve aşınma oranının azaldığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, %10, %20 ve %30 oranlarında karbon elyaf dolgulu PA6 polimer kompozitlerin tribolojik özelliklerine uygulanan yükün ve kayma hızının etkileri incelenmiştir. Çalışmada, aşınma ve sürtünme testleri 10-40N yük ve 0.4-1.2m/s kayma hızı aralıklarında, kuru ortamda, pin-on-disk sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda, 1.12 g/cm³ yoğunluğa sahip Emaş Plastik/Türkiye firmasından temin edilen Poliamit 6 polimeri matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Dolgu elemanı olarak kullanılan kırık karbon elyaflar ise DowAksa firmasından temin edilmiştir. %10, %20 ve %30 oranlarında karbon elyaf dolgulu PA6 polimer granüllerin üretilmesinde 11 sıcaklık bölgesine sahip çift vidalı ekstruder (vida çapı 26 mm, L/D oranı 46) kullanılmıştır. Sıcaklık dağılımı, kovan girişinden çıkış kafasına doğru 80-80-120-220-220-230-230-235-235-240-240°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ekstruder çıktısı, su banyosundan geçirildikten sonra kesme aparatı ile tekrar granül haline getirilmiştir. Elde edilen granüller 100°C'de 4 saat boyunca kurutulmuştur. Standartlara uygun test numuneleri enjeksiyon kalıplama (Hastek-Borche Model) yöntemi ile üretilmiştir. Üretimlerde, 110 bar enjeksiyon basıncı ve 250-255-260-265-270-270°C enjeksiyon sıcaklıkları kullanılmıştır. Aşınma deneyleri, kuru ortam şartları altında, oda sıcaklığında ve pim-disk aşınma sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşı disk olarak ise 1040 çeliği kullanılmıştır. Şekil 1'de, bu çalışma için tasarlanan pim-disk aşınma cihazı verilmiştir. Her bir test öncesi pim ve disk yüzeyleri alkol ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. Tablo 1'de bu çalışmada kullanılan malzemeler ve deney şartları (uygulanan yük, kayma hızı ve ortam sıcaklığı) verilmiştir. Her bir aşınma deneyinden önce ve sonra pimlerin ağırlıkları ölçülmüş ve ağırlık kaybı (Δm) tespit edilmiştir. Aşağıdaki formül kullanılarak test numunelerinin aşınma oranları (K_0) hesaplanmıştır.

$$K_0 = \Delta m / L \cdot \rho \cdot F \text{ (mm}^3\text{/N.m)}$$

Burada; Δm : ağırlık kaybı (g), L: kayma mesafesi (m), ρ : malzemenin yoğunluğu (g/cm³), F: uygulanan yük (N).



Şekil 1. Pim-disk aşınma cihazı

Tablo 1. Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan polimer malzemeler ve deney şartları

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Kayma Mesafesi (m)	Yük (N)	Kayma hızı (m/s)
PA6	1.12			10	
PA6+10KE	1.16	22±2	1000	20	0.4
PA6+20KE	1.20			30	0.8
PA6+30KE	1.23			40	1.2

3. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 2'de PA6 ve kompozitleri için, uygulanan kayma hızı ve yük aralıklarında sürtünme katsayısı değerleri verilmiştir. Şekil 2'de ise PA6 polimeri, PA6+10KE, PA6+20KE ve PA6+30KE polimer kompozitleri için, 1.2m/s kayma hızında, uygulanan yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde, PA6 ve kompozitleri için artan yüke bağlı olarak sürtünme

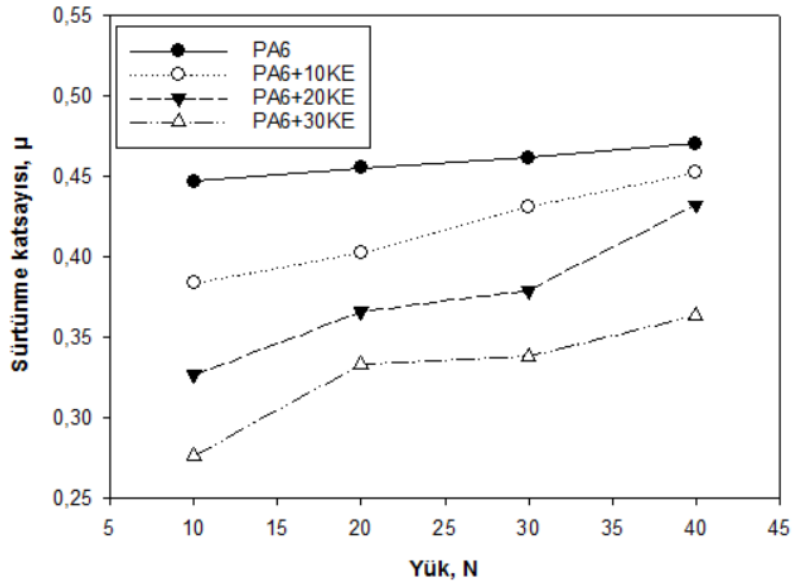
katsayısının arttığı belirlenmiştir. 0.4m/s kayma hızı ve 10N yük altında 0.41 olan PA6 polimerinin sürtünme katsayısı değeri uygulanan yükün 40N'a artırılması ile 0.45 olarak elde edilmiştir. Bu artış %8.8 oranındadır. Benzer şekilde karbon elyaf dolgulu PA6 polimer kompozitlerinde de sürtünme katsayıları sırasıyla %19.6, %14.5 ve %23.3 oranlarında artmıştır. PA6 polimerine ilave edilen karbon elyaf ise sürtünme katsayısının azalmasına sebep olmuştur.

Tablo 2. Uygulanan yük ve kayma hızına bağlı olarak PA6 ve karbon elyaf takviyeli PA6 polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri

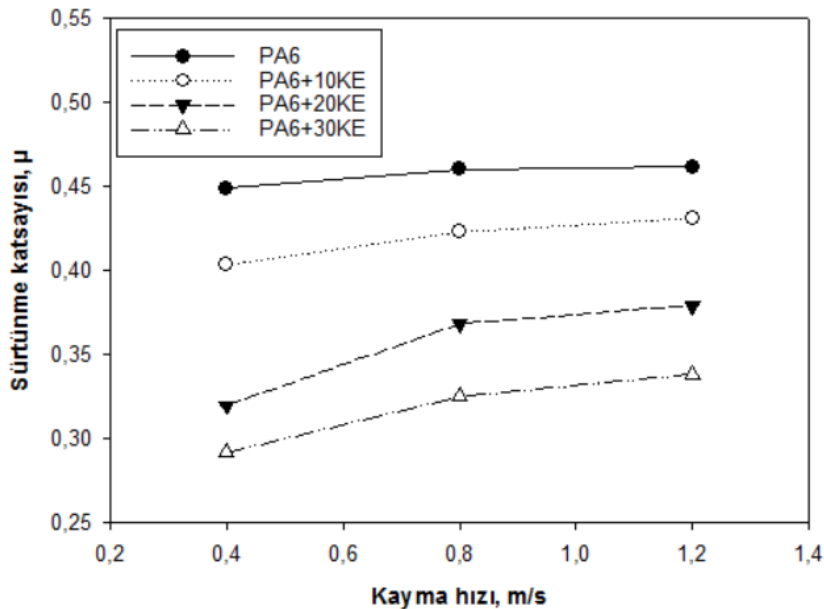
Malzeme	Yük, N	Kayma hızı, m/s		
		0.8	1.2	1.6
Sürtünme katsayısı, μ				
PA6	10	0,4181	0,4336	0,4468
	20	0,4312	0,4453	0,4553
	30	0,4488	0,4601	0,4615
	40	0,4549	0,4704	0,4703
PA6+10KE	10	0,3537	0,3695	0,3834
	20	0,3665	0,3863	0,4025
	30	0,4031	0,4228	0,4311
	40	0,4231	0,4458	0,4522
PA6+20KE	10	0,2946	0,3072	0,3264
	20	0,3028	0,3426	0,3657
	30	0,3195	0,3682	0,3791
	40	0,3374	0,4028	0,4322
PA6+30KE	10	0,2533	0,2682	0,2762
	20	0,2822	0,3115	0,3332
	30	0,2915	0,3248	0,3381
	40	0,3124	0,3837	0,3633

Sabit 20N yük altında, PA6 polimerine ilave edilen %10KE sürtünme katsayısını %17.6 oranında azaltırken %20KE ve %30KE takviyeli PA6 polimerlerinde bu azalma %42.4 ve %59.0 oranlarında elde edilmiştir. Şekil 3'de karbon elyaf dolgulu PA6 polimerleri için 30N yük altında kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayılarındaki değişim verilmiştir. Grafik incelendiğinde, artan kayma hızına bağlı olarak

sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Bu artış PA6 polimeri için %2.82 oranında elde edilirken PA6+10KE polimeri için %6.94, PA6+20KE polimeri için %18.6 ve PA6+30KE polimeri için %15.9 oranlarında elde edilmiştir. Uygulanan kayma hızı ve yük aralıklarında, PA6 polimeri ve PA6 polimer kompozitleri için sürtünme katsayısını etkileyen en önemli parametrenin yük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Sürtünme katsayısının yüke bağlı olarak değişimi (Kayma hızı: 1.2m/s)



Şekil 3. Sürtünme katsayısının kayma hızına bağlı olarak değişimi (Yük:30N)

Tablo 4'de, PA6 ve kompozitleri için, uygulanan kayma hızı ve yük aralıklarında sürtünme katsayısı değerleri verilmiştir. Şekil 4 ve 5'te ise sırasıyla, uygulanan yüke ve kayma hızına bağlı olarak aşınma oranlarındaki değişim verilmiştir. Genel

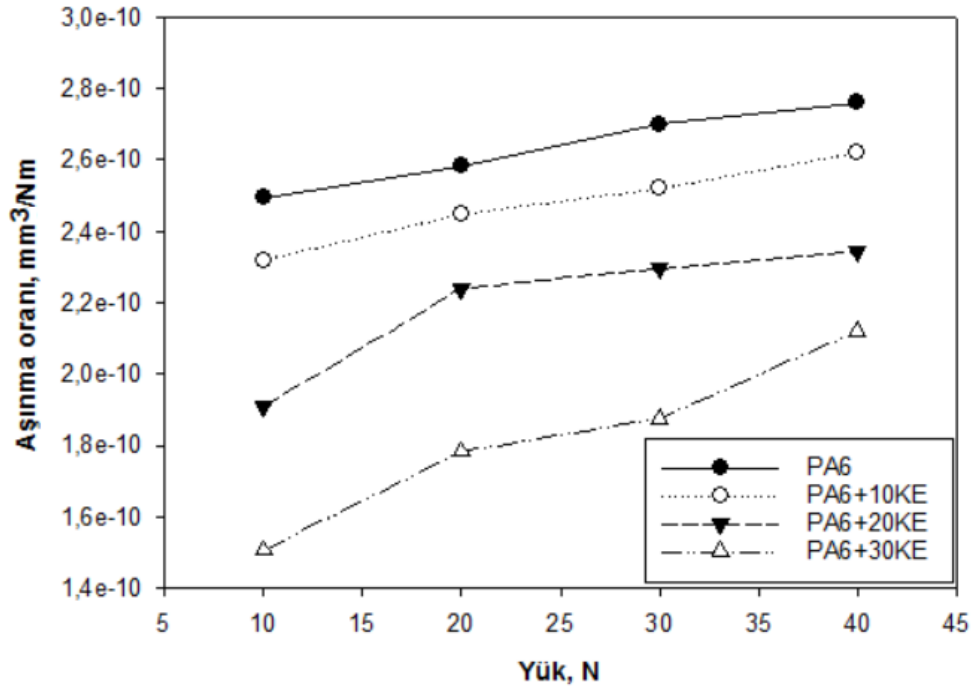
olarak, PA6 ve kompozitleri için aşınma oranı 10^{-10} mm^3/Nm olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma oranı 0.4m/s kayma hızında ve 10N yük altında, 1.10×10^{-10} mm^3/Nm değeri ile PA6+30KE polimer kompozit numunesinde elde edilmiştir. En yüksek

aşınma oranı ise 1.2m/s kayma hızında ve 40N yük altında, 2.76×10^{-10} mm³/Nm değeri PA6 polimerinde elde edilmiştir. 0.8m/s kayma hızı ve 40N yük değerleri incelendiğinde, PA6 polimerine göre, %10KE ilaveli PA6 polimerinin aşınma oranını %5.83 oranında azalttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, %20KE ve %30KE katkılı PA6 polimerleri, aşınma oranını sırasıyla %13.1 ve %19.7 oranlarında azaltmıştır. Şekil 5 incelendiğinde, uygulanan yük aralıklarında PA6 polimer ve kompozitlerinin aşınma oranının arttığı belirlenmiştir. Bu artış PA6 polimeri için %11.8 oranında iken PA6 kompozitleri için %13.0, %24.0 ve %33.7 oranlarında elde edilmiştir. Bilindiği gibi, aşınma prosesi, kırılma, tribokimyasal etki ve plastik akış kısımlarından meydana gelmektedir. Yükün artması, matris ve fiber arasındaki bağın zayıflamasına sebep olarak kırılma mekanizmasının gerçekleşmesi ile aşınma oranı artmaktadır [21]. Şekil 6'da ise uygulanan kayma hızına bağlı olarak aşınma oranının arttığı görülmektedir. Kayma

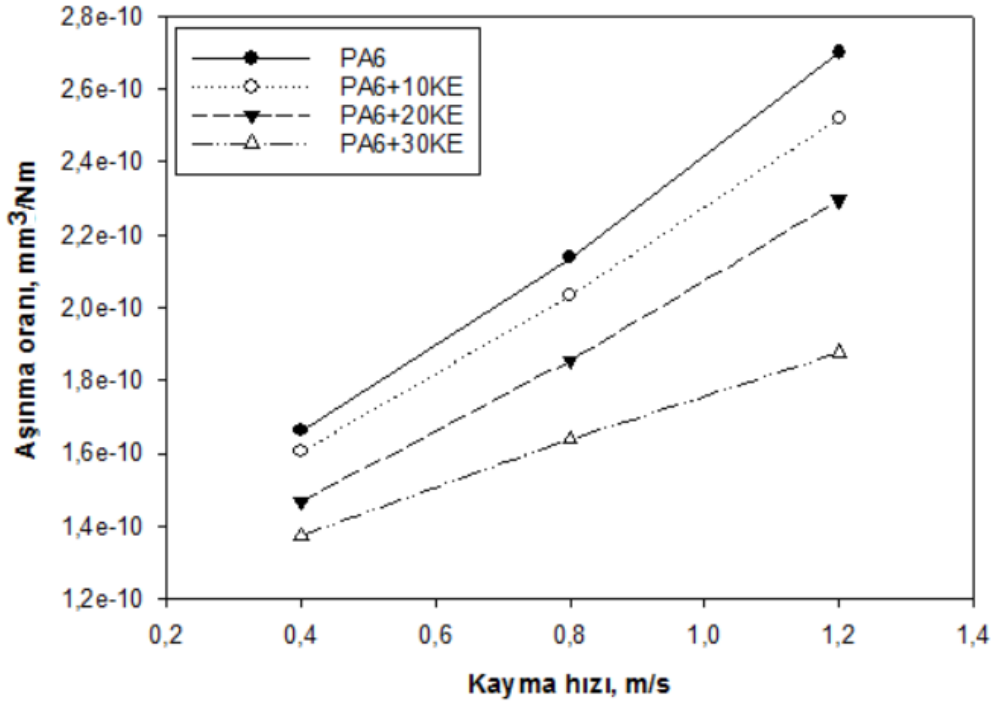
hızının %300 artırılması ile PA6 polimerinin aşınma oranı ortalama %60 oranında artarken %10KE, %20KE ve %30 karbon elyaf dolgulu PA6 polimer kompozitleri için aşınma oranındaki artış sırasıyla, %57.1, %53.8 ve %42.0 oranlarında elde edilmiştir. PA6 polimer kompozitlerinin aşınma oranını etkileyen en önemli parametrenin ise uygulanan kayma hızı olduğu görülmektedir. Ünal ve arkadaşları [22], yüzey sıcaklığının artması ve yüzey tabakasının polimerin yumuşama sıcaklığına ulaşması nedeniyle aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Suresha ve arkadaşları da [20] yaptıkları çalışmada, artan yük ve kayma hızına bağlı olarak aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, polimer kompozitlerin, karşı disk yüzeyinde oluşan transfer film tabakasından etkilendiğini, kısa karbon elyaf eklenmesiyle de tribolojik performansın geliştiğini, sürtünme katsayısının ve aşınma oranının azaldığını belirtmişlerdir.

Tablo 4. Uygulanan yük ve kayma hızına bağlı olarak PA6 ve karbon elyaf takviyeli PA6 polimer kompozitlerin aşınma oranı değerleri

Malzeme	Yük, N	Kayma hızı, m/s		
		0.8	1.2	1.6
		Aşınma oranı, mm ³ /Nm		
PA6	10	1,5138E-10	1,9590E-10	2,4933E-10
	20	1,6473E-10	2,0035E-10	2,5823E-10
	30	1,6622E-10	2,1371E-10	2,7011E-10
	40	1,7364E-10	2,1593E-10	2,7604E-10
PA6+10KE	10	1,4604E-10	1,8041E-10	2,3195E-10
	20	1,5893E-10	1,8900E-10	2,4484E-10
	30	1,6036E-10	2,0332E-10	2,5200E-10
	40	1,6537E-10	2,0403E-10	2,6202E-10
PA6+20KE	10	1,2448E-10	1,5767E-10	1,9087E-10
	20	1,4107E-10	1,7012E-10	2,2406E-10
	30	1,4661E-10	1,8533E-10	2,2959E-10
	40	1,5975E-10	1,9087E-10	2,3444E-10
PA6+30KE	10	1,1093E-10	1,3470E-10	1,5055E-10
	20	1,2282E-10	1,4659E-10	1,7828E-10
	30	1,3734E-10	1,6376E-10	1,8753E-10
	40	1,4065E-10	1,8026E-10	2,1196E-10



Şekil 4. Aşınma oranının yüke bağlı olarak değişimi (Kayma hızı: 1.2m/s)



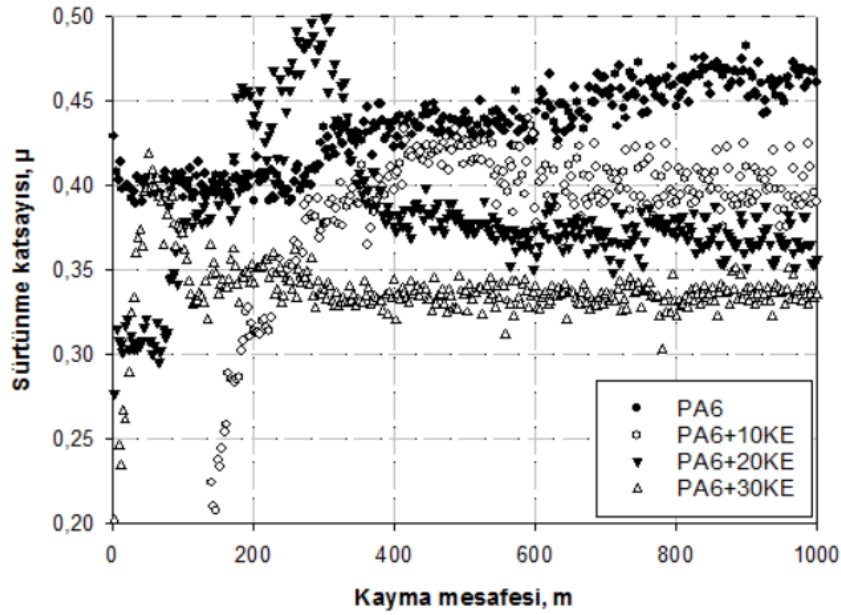
Şekil 5. Aşınma oranının kayma hızına bağlı olarak değişimi (Yük:30N)

Şekil 6'da, 1.2m/s kayma hızında ve 20N yük altında, katkısız PA6 ile karbon elyaf dolgulu PA6 polimer kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkileri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PA6 ve kompozitlerinin sürtünme katsayısı değişimi başlangıç aşaması ve kararlı hal aşaması olmak üzere iki aşamada meydana gelmiştir. Sürtünme katsayıları başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde artmış ve 300m gibi bir mesafede kararlı hal aşamasına ulaşmıştır. Benzer

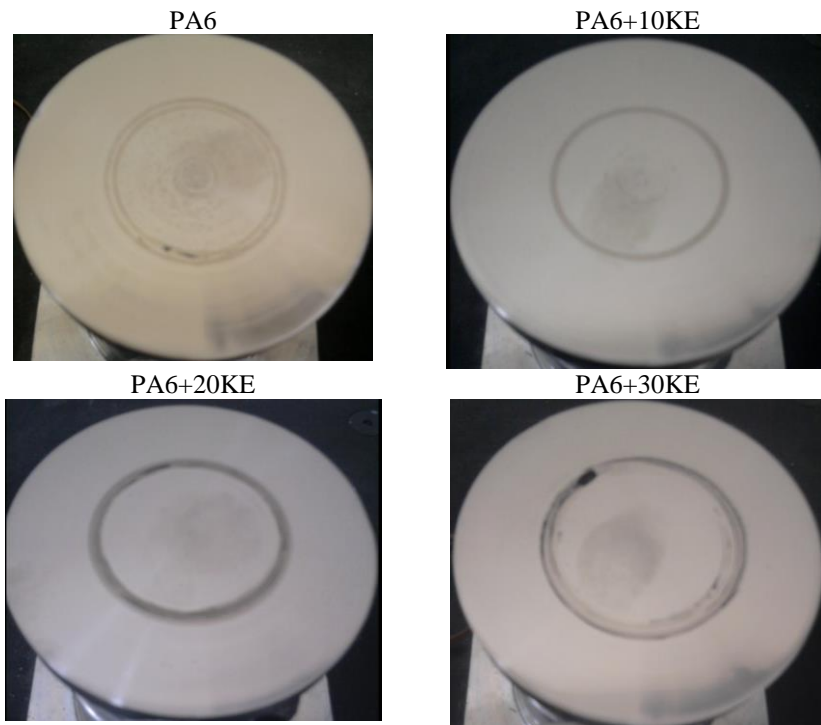
sonuçlar Luo ve arkadaşları [23] tarafından yapılan çalışmada da elde edilmiştir. Kararlı hal aşamasından önce oluşan başlangıç aşamasının geometrik etkiler (çizgisel temastan yüzeysel temasa geçiş), deformasyon (yumuşama ve plastikleşme) ve transfer film tabakası nedeniyle oluştuğu belirtilmiştir [24]. Ayrıca, Lou ve arkadaşları tarafından [23] kısa karbon elyaf dolgulu PPS/PTFE kompozitlerinin tribolojik özelliklerinin incelendiği çalışmada, düşük karbon

elyaf içeriğinde, karbon elyafların yumuşak olan PPS/PTFE polimerinden kolaylıkla ayrıldığı ve daha küçük boyutlara ulaştığını, böylelikle başlangıç aşamasındaki sürtünme katsayısının hızla arttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, karbon elyaf oranı kritik değere ulaştığında, sert karbon elyafların polimerden ayrılmasının daha zor olduğunu belirtmişlerdir. Karbon elyafların artan destekleyici etkisi nedeniyle, yumuşak polimer matris ile çelik disk yüzeyi arasındaki gerçek temas alanının azalmasına sebep olacağı belirtilmiştir. Hem PA6 polimeri hem de PA6 polimer

kompozitleri için sürtünme katsayısı benzer değişim göstermiştir. PA6 polimerine ilave edilen karbon elyaf sürtünme katsayısını önemli oranda azaltmıştır. Bunun sebebi ise çelik disk yüzeyinde oluşan transfer film tabakası ve katkı miktarına bağlı olarak transfer film tabakası kalınlığının değişmesine bağlanmıştır (Şekil 7 a-d). Oluşan transfer film tabakası polimer pim ile çelik disk yüzeyi arasında ince bir film tabakası oluşturarak pim ve disk yüzeylerinin temasını kesmiş ve sürtünme katsayısının önemli oranda azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 6. Sürtünme katsayısı-kayma mesafesi değişimi (Yük:20N, kayma hızı: 1.2m/s)



Şekil 7. Disk yüzeyi makro resimleri

4. Sonuçlar

PA6 polimeri ile karbon elyaf dolgulu PA6 polimer kompozitlerin tribolojik özelliklerinin incelendiği çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Uygulanan yük ve kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı artmıştır.
2. PA6 polimerine ilave edilen karbon elyaf sürtünme katsayısını azaltmıştır.
3. Uygulanan kayma hızı ve yük aralıklarında, PA6 polimeri ve PA6 polimer kompozitleri için sürtünme katsayısını etkileyen en önemli parametrenin yük olduğu tespit edilmiştir.
4. PA6 ve kompozitleri için aşınma oranı 10^{-10} mm³/Nm olarak elde edilmiştir.
5. Artan yük ve kayma hızına bağlı olarak aşınma oranı artmıştır.
6. En düşük aşınma oranı PA6+30KE polimer kompozit numunesinde elde edilirken en yüksek aşınma oranı PA6 polimerinde elde edilmiştir.
7. PA6 polimerine ilave edilen farklı oranlardaki karbon elyaf, aşınma oranını %5.83, %13.1 ve %19.7 oranlarında azaltmıştır.
8. PA6 polimer kompozitlerinin aşınma oranını etkileyen en önemli parametrenin uygulanan kayma hızı olduğu belirlenmiştir.
9. Karşı disk yüzeyinde oluşan transfer film tabakası sürtünme ve aşınma oranını etkilemiştir.

Teşekkür

Yazarlar, Dumlupınar Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına desteklerinden dolayı teşekkür eder. (Proje No: DPÜ-BAP 2016-90)

Kaynaklar

- [1] H. Unal, "Morphology and mechanical properties of composites based on polyamide 6 and mineral additives", *Materials & Design*, vol. 25, pp. 483-487, 2004.
- [2] E. Kuram, E. Tasci, A. I. Altan, M. M. Medar, F. Yilmaz and B. Ozcelik, "Investigating the effects of recycling number and injection parameters on the mechanical properties of glass-fibre reinforced nylon 6 using Taguchi method", *Materials & Design*, vol. 49, pp. 139-150, August 2013.
- [3] X. Q. Liu, W. Yang, B. H. Xie and M. B. Yang, "Influence of multiwall carbon nanotubes on the morphology, melting, crystallization and mechanical properties of polyamide 6/acrylonitrile-butadiene-styrene blends", *Materials & Design*, vol. 34, pp. 355-362, February 2012.
- [4] B. J. Briscoe, "Wear of polymers: an easy on fundamental aspects", *Tribology*, vol. 14, pp. 231-243, 1981.

[5] G. B. Hattotuwa, H. Premalal and A. Ismail Baharin, "Comparison of the mechanical properties of rice husk powder filled polypropylene composites with talc filled polypropylene composites", *Polymer Test*, vol. 21, pp. 833-839, 2002.

[6] M. Z. Rong, Q. Y. Zhang, X. H. Zheng, M. Zeng, R. Walter and K. Friedrich, "Structure-property relationship of irradiation grafted nano-inorganic particle filled polypropylene composites", *Polymer*, vol. 42, pp. 167-183, 2001.

[7] B. Suresha, G. Chandramohan, P. R. Sadananda, Rao, P. Samapathkumaran and S. Seetharamu, "Investigation of the friction and wear behavior of glass-epoxy composite with and without graphite filler", *Journal Reinforced Plastics Composites*, vol. 26, pp. 81-93, 2007.

[8] B. Suresha, G. Chandramohan, M.N. Renukappa and Siddaramaiah, "Mechanical and tribological properties of glass-epoxy composites with and without graphite particulate filler", *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 103, pp. 2472-2480, 2007.

[9] B. Suresha, Siddaramaiah, Kishore, P. Samapthkumaran and S. Seetharamu, "Investigations on the influence of graphite filler on dry sliding wear and abrasive wear behaviour of carbon fabric reinforced epoxy composites", *Wear*, vol. 267, pp. 1405-1414, 2009.

[10] B.N. Ravi Kumar, B. Suresha and M. Venkataramareddy, "Effect of particulate fillers on mechanical and three-body abrasive wear behaviour of polyamide66/polypropylene nanocomposites", *Materials & Design*, vol. 30, pp. 3852-3858, 2009.

[11] Y. Yamamoto and M. Hashimoto, "Friction and wear of water lubricated PEEK and PPS sliding contacts: part 2. Composites with carbon or glass fibre", *Wear*, vol. 257 no 1, pp. 181-189, 2004.

[12] H. Zeng, G. He and G. Yang, "Friction and wear of poly (phenylene sulphide) and its carbon fibre composites: I unlubricated" *Wear*, vol. 116, no 1, pp. 59-68, 1987.

[13] K. Tanaka, "Friction and wear of glass and carbon fiber-filled thermoplastic polymers", *Journal of Tribology*, vol. 99, no.4, pp. 408-414, 1997.

[14] B. Suresha, G. Chandramohan, P. Samapthkumaran and S. Seetharamu, "Three-body abrasive wear behaviour of carbon and glassfiber reinforced epoxy composites", *Materials Science Engineering A*, vol. 443 no 1, pp. 285-291, 2007.

[15] R. Nakao, H. Inoya and H. Hamada, "Mechanical properties of injection molded products fabricated by Direct Fiber Feeding Injection Molding", *Energy Procedia*, vol. 89, pp. 307-312, 2016.

- [16] K. P. Sampathkumaran, S. Seetharamu, S. Vynatheya, A. Murali, R.K. Kumar, "SEM observations of the effects of velocity and load on the sliding wear characteristics of glass fabric-epoxy composites with different fillers", *Wear*, vol. 237, pp. 20-27, 2000.
- [17] Z. Cai and W. Wang, "Friction and wear properties of polyamide 66 composites filled with carbon fiber under dry sliding and oil lubricated condition", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 148-149, pp. 612-615, 2012.
- [18] J. Li and Y.C. Xia, "Evaluation of Tribological Properties of Carbon Fiber-Reinforced PA6 Composites", *Polymer Composites*, pp. 536-542, 2010.
- [19] W. Luo, L. Qi, L. Yi, Z. Shengtai, Z. Huawei and L. Mei, "Enhanced mechanical and tribological properties in polyphenylene sulfide/polytetrafluoroethylene composites reinforced by short carbon fiber", *Composites Part B: Engineering*, vol. 91, pp. 579-588, 2016.
- [20] B. Suresha, B.N. Ravi Kumar, M. Venkataramareddy and T. Jayaraju, "role of micro/nano fillers on mechanical and tribological properties of polyamide66/polypropylene composites", *Materials & Design*, vol. 31, pp. 1993-2000, 2010.
- [21] H. Unal, A. Mimaroglu and V. Serdar, "Dry sliding performance of thermoplastics against reinforced unsaturated polyester (BMC): In use in electrical contact breakers components", *Wear*, pp. 841-847, 2006.
- [22] H. Unal, U. Sen and A. Mimaroglu, "Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface", *Tribology International*, vol. 37, pp. 727-732, 2004.
- [23] W. Luo, Q. Liu, Y. Li, S. Zhou, H. Zou and M. Liang, "Enhanced mechanical and tribological properties in polyphenylene sulfide/polytetrafluoroethylene composites reinforced by short carbon fiber", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 91, pp. 579-588, April 2016.
- [24] P. Samyn, P. De Baets and G. Schoukens, "Influence of internal lubricants (PTFE and silicon oil) in short carbon fibre-reinforced polyimide composites on performance properties", *Tribol. Letter*, vol. 36, no 2, pp. 135-146, 2009.