

## Poli-Tetra-Flor-Etilen Katkılı Poli-Fital-Amid Polimer Karışımlarının Mekanik Ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Gizem Hatipoğlu

Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

### Özet

Bu deneysel çalışmada, katkısız polifitalamid (PPA) yüksek performanslı polimeri ile ağırlıkça %5 poli-tetra-flor-etilen (PTFE) katkılı PPA polimer karışımı kullanılmıştır. Bu katkısız PPA polimeri ile PPA/PTFE karışımı AISI 440C paslanmaz çelik yüzeyine karşı çalıştırılarak aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. PPA/PTFE polimer karışımı çift vidalı bir ekstrüzyon makinesinde üretilmiştir. Aynı zamanda aşınma deneylerinde kullanılan polimer malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışlarına uygulanan yükün etkisi de araştırılmıştır. Aşınma deneyleri, pim-disk aşınma cihazında olup yapılmış olup kuru kayma ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik deneyler için 20N, 30N ve 40N olmak üzere üç farklı yük ile 0.5m/s kayma hızı seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, katkısız PPA ve PA/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranının uygulanan yükün artması ile arttığı gözlenmiştir. Katkısız PPA polimerinin spesifik aşınma oranı yaklaşık olarak  $1.2 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  iken PA/PTFE polimer karışımının spesifik aşınma oranı yaklaşık olarak  $4 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  bulunmuştur. Deneylerde kullanılan katkısız PPA polimeri ile PPA/PTFE karışımı malzemelerin paslanmaz çelik karşı yüzeyine karşı aşınma yüzeyleri optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, Sürtünme, Polimer, PPA, PTFE, polimer karışımı

## The Investigation of Mechanical and Tribological Properties of PPA/PTFE Polymer Blend

Gizem Hatipoğlu

Sakarya University, Faculty of Technology, Metallurgical and Materials Engineering

### Abstract

In this experimental study, high performance polyphthalamide (PPA) and PPA mixture with polytetrafluoroethylene (PTFE) [5% by mass] additive are used. Pure PPA polymer and PPA/PTFE mixture were experimented on AISI 440C stainless steel surface in order to examine wear and friction behaviours. PPA/PTFE polymer mixture was prepared by twin screw extruder. At the same time, the effect of load on the wear and friction behaviour of the polymers is investigated. Wear experiments were done by pin-disc wear machine in dry slip medium conditions. 20N, 30N, and 40N load values and 0.5 m/s slip speed were selected to conduct the tribological experiments. Results of the experiments show that friction coefficient and specific wear rate of pure PPA and PPA/PTFE increase with increasing load. Specific wearing rate of pure PPA is  $1.2 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  while specific wearing rate of PPA/PTFE mixture is found as  $4 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ . Wearing surfaces of pure PPA and PPA/PTFE mixture against stainless steel are analyzed via optical microscope.

**Keywords:** Wear, Friction, Polymer, PPA, PTFE, Polymer blend

### 1. Giriş

Polifitalamid (PPA), poliamidlar (PA), termoplastik polyesterler (PET, PBT), polikarbonat (PC), poliasetaller (POM) gibi geleneksel mühendislik termoplastikleri ile sıvı kristal polimerler (LCP), polifenilensülfid (PPS) ve polieterimid (PEI) gibi

yüksek fiyata sahip yüksek özellikli polimerler arasındaki fiyat-performans boşluğunu dolduran bir köprü görevi gören, bir yarı-kristal mühendislik polimeridir [1]. PPA reçinesi, geniş bir sıcaklık aralığında mükemmel mekanik özelliklere (mukavemet, rijitlik, kırılma, sürünme direnci gibi) sahiptir [1]. Yarı-aromatik poliamidlar

\*Sorumlu yazar: Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 54187, Sakarya, Türkiye E-mail: ghatipoglu@sakarya.edu.tr, Tel: +902642957291 Fax: +902642956424

(polifitalamidler (PPA) olarak da bilinen), aromatik ve alifatik fonksiyonelliklerinin kombinasyonlarıdır. PPA ile genel olarak, PA 6,6 ve PA6 gibi alifatik naylonlar ile poliarileterketon (PAEK) gibi yüksek fiyatlı polimerler arasındaki performans boşluğunu doldurmak amaçlanmıştır. Bunlar, yükseltilmiş sıcaklıklarda kristalindir ve yüksek mukavemetin yanında rijitlik de sunarlar [2]. Kısmen aromatik poliamidler ve kopoli(amid)ler yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaları için geliştirilmiştir. Kristalin ve yarı kristal kopoli(amid)ler, özellikle iyi termal özellikler ve performanslarıyla bilinen alifatik teraftalik birimlerden molce en az % 40 oranında içerirler. Bu tür PPA'lar, yaklaşık 290°C gibi göreceli yüksek ergime sıcaklığına sahiptirler [3].

PPA'ların kimyasal direnci iyidir. Özellikle amidsülfonik gibi kireçsizlendirici ajanlara, sıcak yağlara, batarya asidine ve fren hidroliğine karşı dirençlidir [3].

PPA reçinesinin, onu çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanışlı hale getiren birçok özelliğe sahiptir. Örneğin, PPA'nın mükemmel darbe direnci, özellikle 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda, kuyu dibi gibi çevrelerde çok iyi kimyasal direnç gösterir. Dolayısıyla petrol kuyusu kazma komponentleri için mükemmel bir seçimdir [1]. Polifitalamidler (PPA), kopma uzaması düşük olduğu için tipik olarak toklukları düşüktür ve çekme testinde önemli derecede uzama kabiliyeti eksikliği göstermektedir.

Farklı polimerlere farklı katkıları ilave ederek aşınma direncini geliştirmek ve sürtünme katsayısını azaltmak için birçok çalışma yapılmıştır. Rao ve arkadaşları [4] poli-tetra-flor-etilen katkıları PA66 kompozitlerinin sürtünme katsayılarının, katkısız PA66 malzemesinin katsayısından daha düşük olduğunu gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Chauhan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [5], farklı miktarlardaki kısa cam elyaf katkıları vinilester esaslı kompozitlerin aşınma ve sürtünme özelliklerini çalışmışlardır. Yapılan çalışmada kompozitlerin sürtünme katsayılarının, yükün artmasıyla birlikte artış gösterdiklerini gözlemişlerdir. Aynı zamanda Unal ve Mimaroglu [6], PTFE, POM ve PEI polimerlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, artan yük ile birlikte polimerlerin sürtünme katsayısının arttığını belirlemişlerdir. Demircioğlu ve Düzçükoğlu [7], PA66 ve farklı oranlarda poli-tetra-flor-etilen ile cam elyaf katkıları PA66 kompozitlerinin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda çalışılan polimer ve kompozit malzemelerin aşınma oranlarının, uygulanan yükün artmasıyla birlikte artış gösterdiği belirtilmiştir. Franke ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [8] PTFE katkıları PA6, PA66 ve PA12 kompozitlerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, kompozitlerdeki PTFE içeriği arttıkça

kompozitlerin spesifik aşınma oranlarının düştüğü belirlenmiştir. Zhang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise [9] katkısız PPEK polimeri ile PTFE ve grafit katkıları PPEK kompozitlerinin kuru kayma koşulları altındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Test süresince 50N ve 500N yük olmak üzere, iki farklı yük ve 0.419 m/s kayma hızı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; kompozitlerdeki PTFE oranı arttıkça; kompozitlerinin hem sürtünme katsayılarının hem de aşınma oranlarının, katkısız PPEK malzemesinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranına göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Zhao ve arkadaşları [10] yaptıkları çalışmada, poli-tetra-flor-etilen katkıları PA66 kompozitlerinin mekanik özelliklerinin, katkısız PA66 polimerinin mekanik özelliklerinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda Bijwe ve arkadaşları [11] tarafından yapılan çalışmada, %7,5 poli-tetra-flor-etilen katkıları PEEK kompozitinin mekanik özelliklerinin, katkısız PEEK polimerinin mekanik özelliklerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Chen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [12] PA66/PPS karışımına PTFE eklediklerinde elde edilen kompozitlerin çekme mukavemetlerinde, elastiklik modülünde ve sertlik değerlerinde, PA66/PPS karışımına kıyasla, düşüş gözlemişlerdir. Xian ve arkadaşları [13] yaptıkları çalışmada, epoxy/TiO<sub>2</sub> karışımına poli-tetra-flor-etilen ilave edildiğinde, kompozitin eğme mukavemetinin düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan Wang ve arkadaşları [14] tarafından yapılan çalışmada karbon elyaf ve poli-tetra-flor-etilen katkıları PMMA kompozitlerinin mekanik ve tribolojik davranışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, poli-tetra-flor-etilen katkıları PMMA kompozitlerinin aşınma oranlarının, uygulanan yükün arttırılmasıyla, artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte karbon elyaf katkıları PMMA kompozitlerine poli-tetra-flor-etilen eklenmesiyle; elde edilen yeni kompozitin mekanik özelliklerinin katkısız PMMA polimerinin mekanik özelliklerinden daha iyi olduğunu da ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, katkısız polifitalamid (PPA) yüksek performanslı polimeri ile PPA/PTFE polimer karışımı kullanılmıştır. Kullanılan polimerler ve karışımlarının AISI 440C paslanmaz çelik yüzeyine karşı aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. Ayrıca deneyler kuru kayma şartlarında ve pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 20N, 30N ve 40N olmak üzere üç farklı yük seçilmiş olup 0.5m/s kayma hızı kullanılmıştır. Çalışmada, kullanılan deney şartları aralığında PPA polimeri ile PPA/PTFE polimer karışımının tribolojik özellikleri ile aşınma ve sürtünmeye etki eden proses şartlarından uygulanan yükün etkisi araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

## 2.1. Malzemeler

Poli-fital-amid matris malzemesi olarak İstanbul'dan Eurotec firmasından Tecomid HT ticari isimli granül hammadde kullanılmıştır. Kullanılan polifitalamid'in yoğunluğu  $1,18 \text{ g/cm}^3$ , ergime sıcaklığı ( $T_m$ )  $310^\circ\text{C}$  ve maksimum nem oranı ağırlıkça %2,4'dür. PPA/PTFE karışımı ise granül olarak ikiz vidalı ekstruderde  $320\text{-}340^\circ\text{C}$  aralığında üretilmiştir. Granül halde üretilen karışımın ve PPA matris malzemesinden çekme, darbe ve aşınma, test numuneleri standartlara uygun olarak imal edilmiş kalıp kullanılarak, ERAT marka enjeksiyon makinasında  $310^\circ\text{C}$  ile  $340^\circ\text{C}$  arasındaki enjeksiyon sıcaklıklarında 180 bar enjeksiyon basıncında kalıplanmıştır.

Aşınma deneyleri kuru kayma şartlarında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 6 mm çapında ve 50mm uzunluğundaki pim malzemeleri kullanılmıştır. Karşı disk malzeme olarak 52 HRC sertliğindeki AISI 440C çeliği seçilmiştir. Disk malzeme ise 80mm çapında ve 5mm kalınlığında olacak şekilde torna tezgahında işlenmiş ve ardından yüzeyi taşlanmıştır. Tablo 1'de tribolojik deneylerde kullanılan AISI 440C çeliğinin kimyasal bileşimi verilmiştir. Paslanmaz çelik diskin ortalama yüzey pürüzlülüğü  $0,22\mu\text{m}$  Ra olarak ölçülmüştür. Deneylerden önce, pim yüzeyleri 1200 nolu zımpara ile zımparalanmıştır. Her bir tribolojik test öncesinde hem pim yüzeyleri hem de paslanmaz çelik disk yüzeyleri asetonla temizlenip kurutulmuştur.

Şekil 1'de deneylerin gerçekleştirildiği pim-disk aşınma deney cihazının şematik resmi verilmiştir. Tablo 2'de ise bu çalışmada kullanılan polimer malzemeler ve deney şartları (ortam sıcaklığı, uygulanan yük, kayma hızı ve nem) verilmiştir. Her aşınma testinden önce ve sonra polimer numunelerinin ağırlıkları ölçülmüştür. Deney öncesi ve sonrası deney numunelerinin ağırlık kaybı  $1 \times 10^{-4}$  gr hassasiyetli bir terazi ile tespit edilmiş ( $\Delta m$ ) ve aşağıdaki formül kullanılarak spesifik aşınma oranı ( $K_o$ ) hesaplanmıştır.

$$K_o = \Delta m / L \cdot \rho \cdot F \quad (\text{m}^2 / \text{N})$$

Burada;

$\Delta m$ : ağırlık kaybı, g

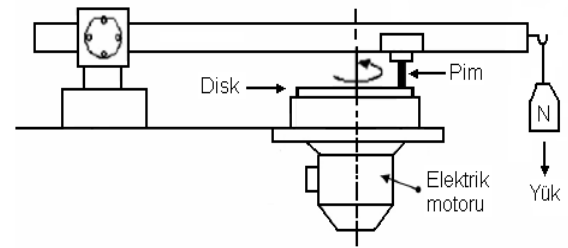
L: kayma mesafesi, m

F: uygulanan yük, N

$\rho$ : malzemenin yoğunluğu,  $\text{g/cm}^3$

Tablo 1. 440C paslanmaz çelik diskin kimyasal bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Fe
1,00	0,45	0,70	0,025	0,025	17	0,45	kalan



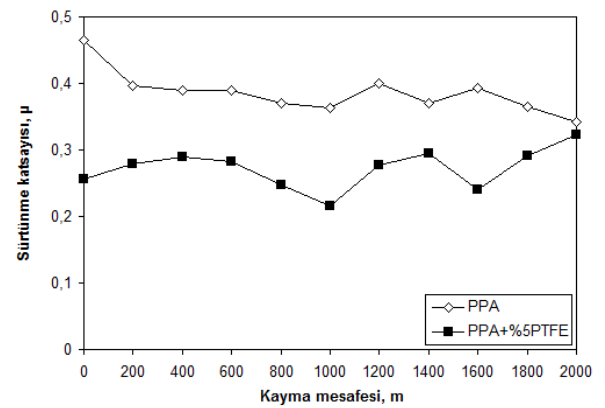
Şekil 1. Pim-disk aşınma cihazının şematik gösterimi

Tablo 2. Deneylerde kullanılan malzemeler ve deney şartları.

Malzeme	Yoğunluk	Ortam Sıcaklığı	Kayma	Nem	Yük	Kayma hızı
Katkısız PPA	1.18				20	
	1.20	22±2	2000	40±2	30	0.5
PPA/PTFE karışımı					40	

## 3. Bulgular ve Tartışma

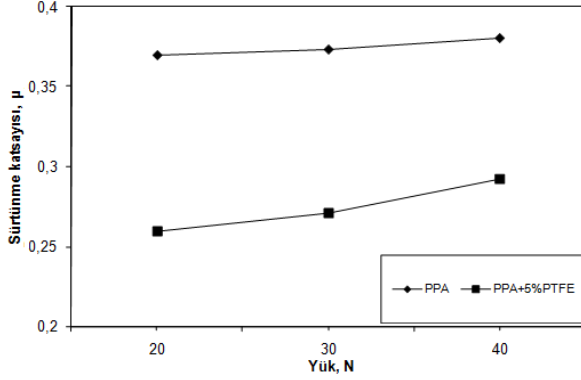
Şekil 2' de PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının kayma mesafesi-sürtünme katsayısı ilişkisi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi hem PPA hem de PPA/PTFE polimer karışımı için sürtünme katsayısı değişimi başlangıç aşaması ve sürekli kayma aşaması olmak üzere iki aşamada gerçekleşmiştir. Katkısız PPA polimeri için sürtünme katsayısı başlangıç şartlarında azalmakta ve 250m gibi bir mesafede sürekli kayma şartlarına ulaşmıştır. PPA/PTFE polimer karışımı için sürtünme katsayısı başlangıç şartlarında artmış, ve yaklaşık 200m gibi bir kayma mesafesinde sürekli kayma şartlarına ulaşmıştır



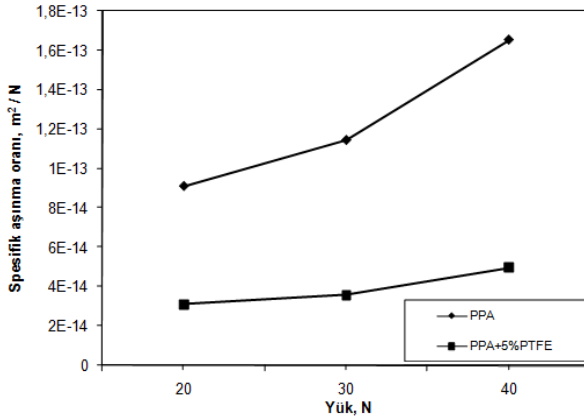
Şekil 2. Katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının 0.5m/s kayma hızındaki kayma mesafesi-sürtünme katsayısı ilişkisi

Şekil 3'de katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının 0.5m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi görülmektedir. Hem katkısız PPA polimeri hem de PPA/PTFE polimer karışımı için sürtünme katsayısı uygulanan yüke göre hafif artma göstermektedir. Yükün %100 oranında artması ile sürtünme katsayısındaki bu artış katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımı için

ortalama %27 ve %42 oranında olmuştur. Uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısında artma olduğu literatürde daha önce yapılan çalışmalarda, Ünal ve arkadaşları [15], Kadioğlu [16] tarafından da tespit edilmiştir.



Şekil 3. Katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının 0.5m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi



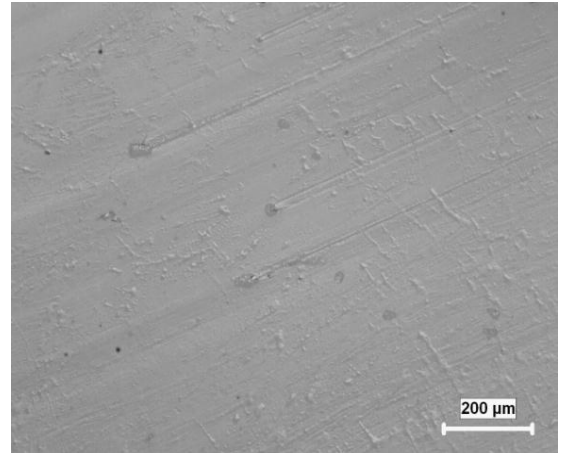
Şekil 4. Katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının 0.5m/s kayma hızındaki spesifik aşınma oranı-uygulanan yük ilişkisi

Katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının 0.5m/s kayma hızındaki ve farklı yüklerdeki spesifik aşınma oranının uygulanan yüke göre değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi hem katkısız PPA polimeri hem de PPA/PTFE polimer karışımının spesifik aşınma oranları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Şekil 4, dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının 0.5m/s kayma hızındaki ortalama spesifik aşınma oranları sırasıyla  $1.2 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $4.0 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değerlerinde olduğu gözlenmiştir.

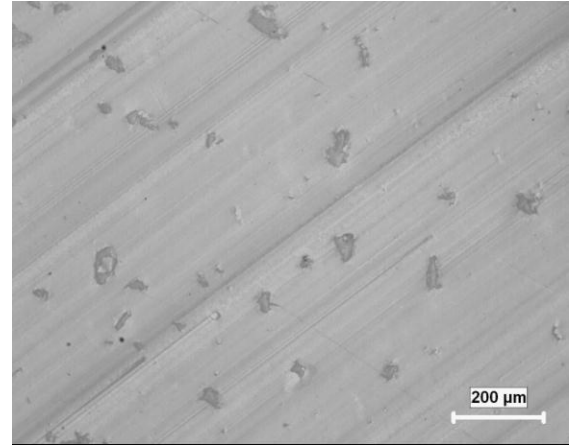
En yüksek aşınma oranı 40N yük altında  $1.7 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile katkısız PPA polimerinde, en düşük spesifik aşınma oranı ise yine aynı kayma hızında ve 20N yük altında  $2.2 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  değeri ile PPA/PTFE

polimer karışımında edilmiştir. Deneylerde kullanılan 0.5 m/s kayma hızında ve uygulanan yük aralıklarında PPA/PTFE polimer karışımının aşınma oranı katkısız PPA polimerine göre yaklaşık olarak 2 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5 (a-b)'de katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının 0.5m/s kayma hızındaki ve 40N yük altındaki aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 5a ve 5b'de hem katkısız PPA polimerinin hem de PPA/PTFE polimer karışımının paslanmaz çelik karşı yüzeyi ile temasında elde edilen aşınma pim yüzey görüntüleri verilmiştir. Her iki polimerde de hem adhesive hem de abrasiv aşınma mekanizması gözlenmiştir.



a)



b)

Şekil 5. Katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının kuru kayma şartları altındaki aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri, 200X a) Katkısız PPA polimeri b) PPA/PTFE polimer karışımı (kayma hızı:0.5m/s, uygulanan yük: 40N)

Tablo 3, katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının mekanik özelliklerini göstermektedir. Katkısız PPA polimer matris numunesinin çekme mukavemeti değeri 44,16 MPa olarak tespit edilmiştir. PPA matris malzemesine, %5 oranında PTFE

eklendiğinde, elde edilen kompozitin çekme mukavemeti %55,43 oranında azalmıştır. Elastiklik modülü değerleri ele alındığında ise; katkısız PPA polimer matris malzemesinin elastiklik modülü 4971 MPa iken, PPA'ya %5 oranında PTFE eklendiğinde, elastiklik modülü değeri 3494 MPa değerini almıştır. Kopmadaki %uzama değerleri ele alındığında ise; PPA polimer matris malzemesinin kopmadaki uzama değerinin %6,6 olduğu görülmüştür. PPA'ya ağırlıkça %5 oranında PTFE ilave edilmesiyle elde edilen PPA+%5PTFE karışımı için kopmadaki uzama değeri yaklaşık olarak %2ye düşmüştür. PPA+%5PTFE karışımının katkısız PPA polimer matris malzemesine göre yaklaşık olarak %69,2 oranında düştüğü görülmüştür.

Tablo 3. Katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının mekanik özellikleri

Malzemeler		Katkısız PPA	PPA/PTFE karışımı
Özellikler	Birimi	Değeri	Değeri
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	1.18	1.20
Çekme mukavemeti	MPa	44.16	20
Elastiklik modülü	MPa	4971	3494
Uzama	%	6.5	2.0
Sertlik	Shore D	82	81
Izod darbe mukavemeti	kJ/m <sup>2</sup>	6.6	10.8

Genel olarak katkısız PPA polimer matris malzemesi için 82 shore D sertlik değeri elde edilmiştir. PPA matris malzemesine ağırlıkça %5 oranında PTFE ilave edildiğinde ise, shore D sertlik değerinde, katkısız PPA matris malzemesine göre; %1,21 oranında düşüş olduğu gözlenmiştir.

Katkısız PPA polimer matris malzemesinin çentikli izod darbe dayanımı 6.6 kJ/m<sup>2</sup> olarak tespit edilirken, PPA polimerine %5 PTFE ilave edilmesiyle elde edilen PPA+%5PTFE karışımının izod darbe dayanımı 10.8 kJ/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir

PTFE malzemesinin yoğunluğu 2.2 g/cm<sup>3</sup> olup, 1.18 g/cm<sup>3</sup> yoğunluklu PPA polimer matris malzemesinin yoğunluğundan daha yüksek bir yoğunluk değerine sahip olduğu için, PTFE içeren malzemelerin yoğunlukları daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatür ile uyumludur.

#### 4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Katkısız PPA polimeri ve PPA/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı uygulanan yük ile hafif artma göstermiştir.
2. PPA/PTFE polimer karışımının spesifik aşınma oranı ortalama  $4.0 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değerlerinde iken katkısız PPA polimerinin için ise spesifik aşınma oranı  $1.2 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N değerlerinde elde edilmiştir.
4. En yüksek spesifik aşınma oranı 0.5m/s kayma hızı ve 40N yük altında  $1.7 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile katkısız PPA polimerinde, en düşük spesifik aşınma oranı ise yine aynı hız fakat 20N yük altında  $3.0 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N değeri ile PPA/PTFE polimer karışımı polimerinde elde edilmiştir.
5. Çalışılan test şartları altında PPA/PTFE polimer karışımının katkısız PPA polimerine göre yaklaşık 2 kat aşınmaya daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.
6. PPA polimerine ilave edilen PTFE katkısı, PPA polimerinin hem sürtünme katsayısını düşürmekte hem de aşınma oranının düşmesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda PTFE, PPA'nın darbe mukavemet değerini artırırken, çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve %uzama değerlerinde azalmaya sebep olmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Platt D.K., "Engineering and high performance plastics market report", Rapra technology limited (2003).
- [2] Kemmis D.J., "Practical guide to high performance engineering plastics", Smithers rapra technology limited (2011).
- [3] Fink, J.K., "High performance polymers", William Andrew inc. (2008).
- [4] Glasscock D. ve diğerleri, High performance polyamides fulfill demanding requirements for automotive thermal management components, Dupont engineering polymers (2011) 1-9
- [5] Rao M.et al., "The effect of PTFE on the friction and wear behavior of polymers in rolling-sliding contact", Polymer Engineering and Science, 38.12 (1998): 1946-1958
- [6] Chauhan S.R., "Gaur B., Dass K., Effect of fiber loading on mechanical properties, friction and wear behaviour of vinylester composites under dry and water lubricated conditions", International Journal of Material Science, 1.1 (2011): 1-8

- [7] Demirci M.T. and Düzcükoğlu H., “Wear behaviours of PTFE reinforced PA66 journal bearings”, In Int. Scientific Conference, Gabrovo, (2010) pp. 249-253
- [8] Franke, R., Lehmann D. and Kunze K., “Tribological behavior of new chemically bonded PTFE polyamide compounds”, *Wear* 262 (2007): 242-252.
- [9] Zhang X. et al., “On dry sliding friction and wear behavior of PPESK filled with PTFE and graphite”, *Tribology International*, 41 (2008): 195-201.
- [10] Zhao G. et al., “Friction and wear of fiber reinforced polyimide composites”, *Wear*, 301 (2013): 122-129
- [11] Bijwe J., Sen S. and 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
- [12] Chen Z. Et al., “Mechanical and tribological properties of PA66/PPS blend. II. filled with PTFE”, *Journal of Applied Science*, 101(2006): 969-977
- [13] Xian G., Walter R. and Hauptert F., “Friction and wear of epoxy/TiO<sub>2</sub> nanocomposites: influence of additional short carbon fibers, aramid and PTFE particles”, *Composites Science and Technology*, 66 (2006): 3199-3209
- [14] Wang X., Chi Y. and Cao Y., “The effect of PTFE on the mechanical, friction, and wear properties of CF/PMMA composites”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 10 (2013): 1-7
- [15] Unal H. and Mimaroglu A., “Friction and wear performance of polyamide 6 and graphite and wax polyamide 6 composites under dry sliding conditions”, *Wear*, 289 (2012): 132-137
- [16] Kadioğlu U., “Bronz katkılı PTFE'nin katkılı kuru kayma halinde sürtünme ve aşınma davranışları”, *Sakarya Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7.1 (2003): 62-66