

ÇYMAPE VE PA-6 MÜHENDİSLİK POLİMERLERİNİN AŞINMA VE SÜRTÜNME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Hüseyin Ünal*, Salih Hakan Yetgin

Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Esentepe Kampüsü, Adapazarı

Özet

Bu deneysel çalışmada, tren vagonlarındaki bojilerde kullanmak için çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (ÇYMAPE) ve poliamid-6 (PA-6) polimerleri seçilmiş ve bu polimerler AISI 4140 çelik yüzeyine karşı çalıştırılarak aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. Aynı zamanda deneylerde kullanılan polimerlerin aşınma ve sürtünme davranışlarına kayma hızı ve uygulanan yükün etkisi de araştırılmıştır. Deneyler, kuru ortam şartlarında ve pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik deneyler için 50N, 100N ve 150N olmak üzere üç farklı yük ile 0.5m/s, 1.0m/s, 1.5m/s ve 2.0m/s olmak üzere dört farklı kayma hızı seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranı uygulanan yükün artması ile azaldığı fakat kayma hızının artması ile azaldığı gözlenmiştir. ÇYMAPE polimerinin spesifik aşınma oranı yaklaşık olarak 10^{-15} m²/N iken PA-6'nın spesifik aşınma oranı yaklaşık olarak 10^{-13} m²/N bulunmuştur. ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin çelik karşı yüzeyine karşı aşınma yüzeyleri optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Sürtünme, Polimer, ÇYMAPE, PA-6

THE INVESTIGATION OF WEAR AND FRICTION BEHAVIOURS OF UHMWPE AND PA-6 ENGINEERING POLYMERS

Abstract

The friction and wear performance of ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) and polyamide-6 (PA-6) polymers were studied versus AISI 4140 steel counter-face. The aim was to find the best performance polymer material in order to use in railway car bogies. In addition to this, the effect of sliding speed and applied load on the wear and friction properties of tested materials was investigated. The friction and wear experiments were used on a pin-on-disc tribometer under dry sliding conditions. Wear tests were carried out at room temperature under 50, 100 and 150N applied loads and at 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 m/s sliding speeds. The results show that the coefficient of friction and specific wear rate values for ultra high molecular weight polyethylene and polyamide-6 polymers decreases with the increment of applied load while the coefficient of friction and specific wear rate for the tested polymers increases with the increase of sliding speed. The specific wear rates for UHMWPE was in the order of 10^{-14} m²/N while the specific wear rates for PA6 was in the order of 10^{-13} m²/N. Worn surfaces of UHMWPE and PA-6 engineering polymer pins were investigated by using optical microscope.

Keywords: Wear, Friction, Polymer, UHMWPE, PA-6

* E-posta: unal@sakarya.edu.tr

1. Giriş

Özellikle son yıllarda polimer ve polimer esaslı kompozit malzemeler metal malzemelerin yerine endüstrinin farklı alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Polimer ve polimer esaslı kompozit malzemelerin en çok tercih edildiği alanlar şunlardır; otomotiv, elektrik/elektronik, makine ve ev aletlerinde kullanımı gibi. Bazı polimer ve polimer esaslı kompozitler iyi aşınma ve sürtünme özelliklerine sahiptirler. Çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen (ÇYMAPE), naylon (poliamid), (PA), poli-oksi-metilen (POM) ve poli-tetra-flor-etilen (PTFE) üstün aşınma ve sürtünme özellikleri ile en çok tercih edilen termoplastik malzemelerdir (1-3). Poliamidler yüksek mukavemet, sertlik, tokluk ve iyi aşınma direnci özelliklerinden dolayı dişli ve yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Polietilen (PE), düşük yoğunluğa, yüksek elastikiyete ve dayanıma sahiptir. POM ve PTFE ise, düşük sürtünme şartları altında üstün sürtünme ve aşınma özelliklerine sahip olup genellikle mühendislik uygulamalarında kullanılan ve kendi kendini yağlayıcı özelliğe sahip malzemelerdir(1). ÇYMAPE'nin kuru şartlar altındaki sürtünme katsayısı ise PTFE polimeri hariç diğer polimerlerden daha düşüktür (4).

Polimer ve polimer esaslı kompozit malzemelerin tribolojik özellikleri oldukça karmaşıktır. Polimerlerin aşınma ve sürtünme özellikleri aşağıdaki faktörlere göre değişiklik gösterir. Malzeme özellikleri (kristallik), malzemenin sertliği, katkı malzemesi çeşidi, katkı oranı, uygulanan yük, kayma hızı, yüzey pürüzlülüğü, karşı yüzey malzeme cinsi, pim ve disk yüzey sıcaklıkları, oluşan transfer film tabakası ve ortam şartları (kuru/yağlayıcı ortam) gibi parametreler polimerlerin aşınma ve sürtünmesine etki eden faktörlerdir (5-11). Polimerlerin birçoğunun yağlayıcılık özelliği bulunmasına rağmen, oluşan transfer film tabakası yağlayıcı gibi davranarak sürtünme katsayısını önemli oranda düşürür (12,13). Daha önce polimer ve polimer esaslı kompozitlerin aşınma özellikleri ve aşınma mekanizmaları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (14-18). Franklin (10); yaptığı çalışmada katkısız POM, 30% cam elyaf takviyeli POM (POM+%30CE), %20 PTFE katkılı POM (POM+%20PTFE), PA-66, 30% cam elyaf takviyeli PA-66 (PA-66+%30CE) ve ÇYMAPE gibi polimerlerin aşınma ve sürtünme davranışlarına kayma hızı ve aşındırıcı yüzey pürüzlülüğünün etkisini araştırmışlardır. Düşük yüzey pürüzlülüğünde, kayma hızının artması ile birlikte PA-66, POM+%20PTFE ve POM+%30CE polimerleri için aşınma oranı artarken, POM, UHMWPE ve PA-66+%30CE polimerleri için azalmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artması ile katkısız POM polimerinin aşınma oranı artarken, POM+%30CE ve PA-66+%30CE polimer kompozitlerinde azaldığı tespit edilmiştir. Liu ve arkadaşları (19); sulu ortam şartları altında PA, ÇYMAPE ve PA/ÇYMAPE karışımlarının aşınma davranışlarına kayma mesafesi, yüzey pürüzlülüğü, uygulanan yük ve kayma hızının etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada uygulanan yükün ve karşı yüzey pürüzlülüğünün en önemli kontrol edilebilir parametreler olduğunu ve kayma mesafesi ile kayma hızının ise aşınma üzerinde daha az etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Liu ve arkadaşlarının (20) yaptığı bir başka çalışmada ise, PA, ÇYMAPE polimerleri ile PA/ÇYMAPE polimer karışımlarının sürtünme ve aşınma davranışlarını 1.0 ve 2,5 MPa basınç altında ve 0,5m/s kayma hızı kullanarak kuru ve sulu ortam şartlarında incelemişlerdir. En yüksek sürtünme katsayısı poliamid, en düşük sürtünme katsayısı ise ÇYMAPE polimerinde elde edilmiştir. Poliamid matris polimerine, belirli oranda ÇYMAPE ilavesi ile poliamid'in sürtünme katsayısı azalmıştır. Ayrıca, PA ve ÇYMAPE numuneleri için artan yük ile sürtünme katsayısı artarken, aşınma oranı azalmıştır. Tüm numunelerde, çok daha düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı görülmüştür. Ünal ve arkadaşları (21); PA-6.6, POM, ÇYMAPE, poli-fenilen sülfid+%30 cam fiber takviyeli (PPS+%30CE) ve alifatik keton (APK) polimerlerinin kayma hızı ve basınç altında sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan tüm polimerlerde, sürtünme katsayısı uygulanan basıncın artmasıyla birlikte lineer olarak azaldığı gözlenmiştir. Kayma hızının artmasıyla ise sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Spesifik aşınma oranının ise uygulanan yük ve basınçtan fazla etkilenmediğini belirtmişlerdir. Seabra ve Baptista (22); PTFE, ÇYMAPE, YYPE, PA-6, POM-C ve polietilen tereftalat (PET) polimerlerinin paslanmaz çelik disk karşı yüzeyine karşı tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Deneylerde kullanılan polimerler içerisinde ÇYMAPE, en düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı göstermiştir. PA-6 için yükün artması ile sürtünme katsayısı artarken, ÇYMAPE için ise azalmıştır. Kayma hızının artması ile PA-6 ve ÇYMAPE için sürtünme katsayısı azalmıştır. PA-6 ve ÇYMAPE polimerleri için yükün artması ile aşınma oranları artarken, kayma hızı ile azalmıştır. Srinath ve Gnanamoorthy (23); Nano-clay katkılı Poliamid-6 kompozitlerin kuru ve sulu ortam şartları altındaki tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Nano-clay ilavesi ile PA-6'nın sürtünme ve aşınma oranları azalmıştır. Düşük yüklerde, sulu şartlar altındaki sürtünme katsayısının kuru ortam şartlarına göre daha yüksek olduğunu, artan yük ile birlikte yüzeyin yumuşaması nedeniyle sürtünme katsayısının azaldığını belirtmişlerdir. Kuru ortamda artan yük ile birlikte sürtünme katsayısı sürekli artmıştır. Hem kuru hem de sulu ortam şartları altında yükün artması ile spesifik aşınma oranı değerleri artmıştır. Wang ve Li (5) yaptıkları çalışmada, ÇYMAPE'nin aşınma davranışı

üzerine kayma hızı ve yükün etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, ÇYMAPE'nin aşınma davranışının uygulanan yüke göre kayma hızından daha fazla etkilenmiştir.

Bu çalışmada, tren vagonlarındaki bojilerde kullanılmak üzere iki farklı polimer seçilmiştir. Bunlar; çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen ve poliamid-6' dır. Seçilen polimerlerinin AISI 4140 çelik yüzeyine karşı aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. Ayrıca deneyler kuru ortam şartlarında ve pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 50N, 100N ve 150N olmak üzere üç farklı yük ve 0.5m/s, 1.0m/s, 1.5m/s ve 2.0m/s olmak üzere dört farklı kayma hızı kullanılmıştır. Çalışmada, uygulanan deney şartları aralığında ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin aşınma ve sürtünme performansları ile aşınma ve sürtünmeye etki eden proses şartlarından kayma hızının ve uygulanan yükün etkisi araştırılmıştır.

2. Deneysel ve Tartışma

2.1. Malzemeler

Aşınma deneyleri kuru ortam şartlarında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 6 mm çapında ve 50mm uzunluğundaki pim malzemeleri kullanılmıştır. Karşı disk malzeme olarak 56 HRC sertliğindeki AISI 4140 çeliği seçilmiştir. Disk malzeme 100mm çapında ve 5mm kalınlığında olacak şekilde torna tezgahında işlenmiş, sertleştirilmiş ve ardından yüzeyi taşlanmıştır. Çizelge 1'de deneylerde kullanılan AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi verilmiştir. Çelik diskin ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.36µm Ra olarak ölçülmüştür. Deneylerden önce, pim yüzeyleri 1200 no zımpara ile zımparalanmıştır. Her test öncesinde hem çelik yüzeyleri hem de pim yüzeyleri asetonla temizlenip kurutulmuştur. Şekil 1'de deneylerin gerçekleştirildiği pim-disk aşınma test cihazının şematik resmi verilmiştir. Çizelge 2'de ise bu çalışmada kullanılan polimer malzemeler ve test şartları (ortam sıcaklığı, uygulanan yük, kayma hızı ve nem) verilmiştir. Her testten önce ve sonra pimlerin ağırlıkları ölçülmüştür. Test öncesi ve sonrası ağırlık kaybı tespit edilmiş (Δm) ve aşağıda verilen formül kullanılarak spesifik aşınma oranları (K_0) hesaplanmıştır.

$$K_0 = \Delta m / L \cdot \rho \cdot F \quad (m^2 / N)$$

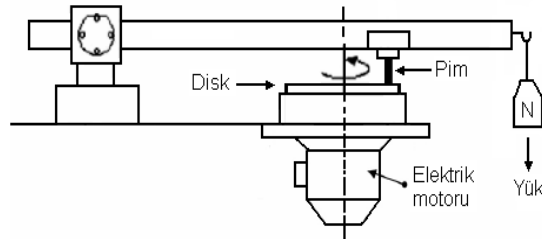
Burada;

Δm : ağırlık kaybı, g

L: kayma mesafesi, m

F: uygulanan yük, N

ρ : malzemenin yoğunluğu, g/cm³



Şekil 1. Pim-disk aşınma cihazının şematik gösterimi

Çizelge 1. 4140 çelik diskin kimyasal bileşimi

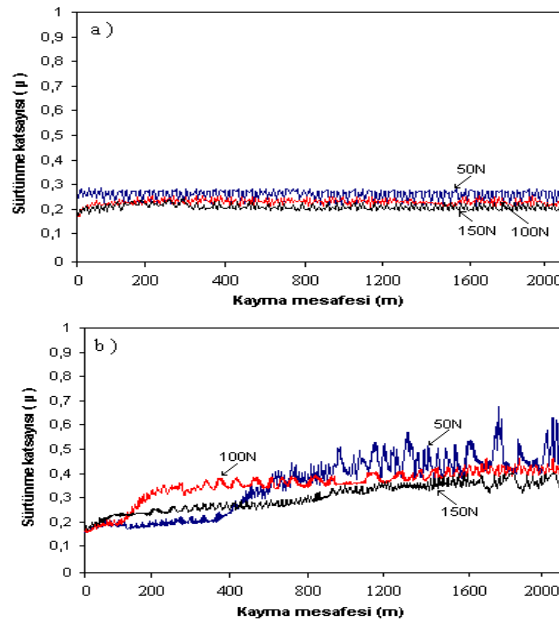
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Cu	%Fe
0,369	0,257	0,634	0,029	0,005	0,990	0,184	0,143	0,451	kalan

Çizelge 2. Kullanılan malzemeler ve deney şartları.

Malzeme	Yoğunluk g cm ⁻³	Ortam Sıcaklığı (°C)	Kayma mesafesi (m)	Nem (%)	Yük (N)	Kayma hızı (m/s)
						0.5
PA-6	1.14	17±2	2000	21±2	100	1.0
ÇYMAPE	0.94				150	1.5
						2.0

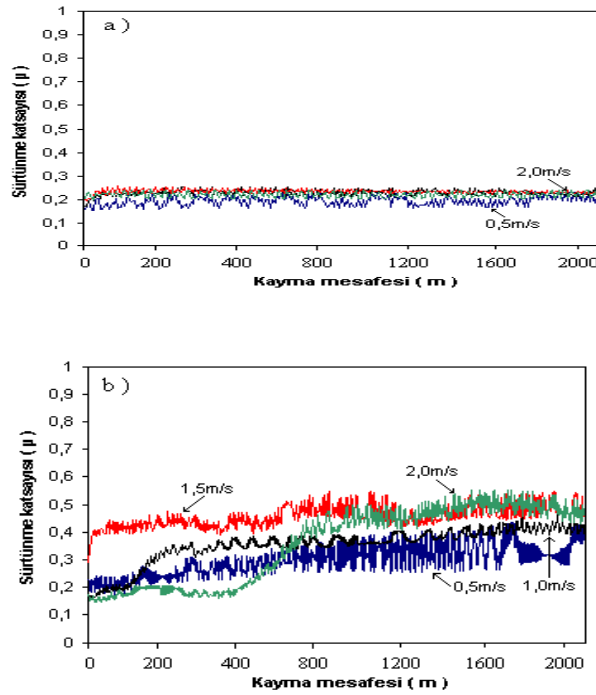
3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 2a ve 2b' de ÇYMAPE ve PA-6 mühendislik polimerlerinin uygulanan yüklere göre kayma mesafesi-sürtünme katsayısı ilişkisi sırasıyla gösterilmektedir. Şekil 2 a'da görüldüğü gibi ÇYMAPE polimeri için sürtünme katsayısı değişimi başlangıç ve sürekli kayma şartları olarak iki aşamada gerçekleşmiştir. Sürtünme katsayısı başlangıçta şartlarında artmış ve 200m gibi kısa bir mesafede sürekli kayma şartlarına ulaşmıştır. PA-6 polimeri için ise (Şekil 2b) UHMWPE'e benzer davranışlar gözlenmiş fakat sürekli kayma şartlarına ulaşma hem yüke göre farklılık göstermiş hem de geniş bir kayma mesafesi aralığında gerçekleşmiştir.



Şekil 2. Uygulanan yüklere göre kayma mesafesi-sürtünme katsayısı değişimi, a) ÇYMAPE, b) PA-6 (kayma hızı: 1.0m/s)

Şekil 3a ve 3b'de ise yine ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin 100N yük altındaki, kayma hızı-sürtünme katsayısı ilişkisi görülmektedir. Her iki polimerin sürtünme katsayısı grafikleri Şekil 2a ve 2b'de görülen grafiklere benzerlik göstermektedir. Yani ÇYMAPE'nin sürtünme katsayısı grafikleri uygulanan kayma hızı aralıklarında PA-6 polimerine göre daha stabil olarak davrandığı görülmektedir. Buna ilave olarak, ÇYMAPE'nin sürtünme katsayısı değerlerinin de PA-6 polimerinin sürtünme katsayısına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ise, ÇYMAPE polimerinin PA-6 polimerine göre çelik karşı yüzeyine karşı yağlayıcı özelliğinin daha iyi olduğu ile açıklanabilir.



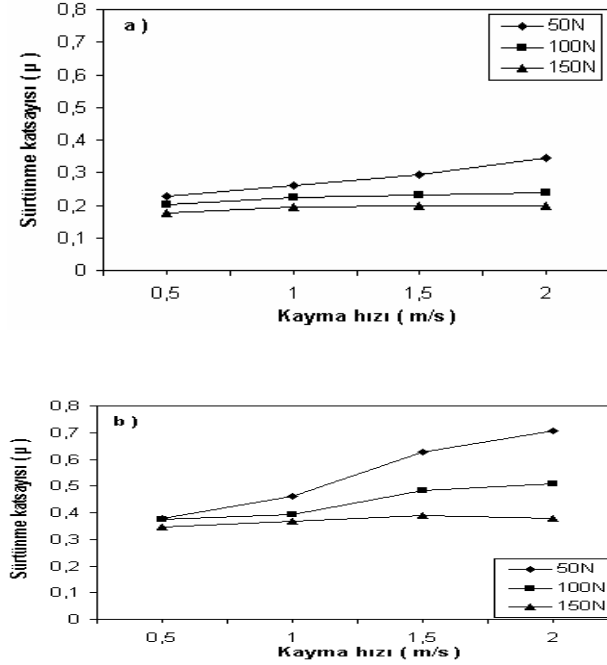
Şekil 3. Farklı kayma hızlarına göre kayma mesafesi-sürtünme katsayısı değişimi, a) ÇYMAPE, b) PA-6 (Uygulanan yük: 100N)

Yine şekil 4a ve 4b ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısının kayma hızına göre değişimini sırasıyla göstermektedir. Hem ÇYMAPE polimeri hem de PA-6 polimeri için kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Kayma hızının 0.5m/s den 2.0 m/s ye artırılması yani % 300 oranında artırılması sonucunda PA-6 polimeri için artış miktarı, 50N yük için %87 iken 150N için ise %8 oranında olmuştur. ÇYMAPE polimeri için sürtünme katsayısındaki artış oranı 50N yük için %53 iken 150N için ise %12 olmuştur. Kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı azalma sonuçları daha önce yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. Benzer sonuçlara daha önce yapılan çalışmalarda Quaglino ve arkadaşları (15) ile Ünal ve arkadaşları (24) tarafından da ulaşılmıştır. Sürtünme katsayısındaki azalma sürtünme yüzeylerindeki sıcaklık artması ile açıklanabilir. Yani kayma hızının artması ile hem ÇYMAPE polimeri hem de PA-6 polimerinin karşı çelik disk yüzeyine karşı çalışırken, temas yüzeylerinde artan sürtünmeden dolayı sıcaklık artışı olmaktadır. Polimer pim yüzeyi yumuşayarak ve çelik disk yüzeyi üzerinde transfer film tabakasının oluşmasına sebep olmaktadır. Çelik disk yüzeyinde film oluşumu ile polimer-polimer üzerinde çalışma durumu oluşmakta ve bu durum ise sürtünme katsayısının azalmasına sebep olmaktadır.

Benzer şekilde Şekil 4a ve 4b' de ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin sürtünme katsayısının uygulanan yüke göre değişimini incelendiğinde hem ÇYMAPE hem de PA-6 polimerinin sürtünme katsayısının uygulanan yüke göre azaldığı tespit edilmiştir. Yükün %200 oranında artması ile sürtünme katsayısındaki bu azalma sırasıyla 1m/s ve 2 m/s kayma hızlarında ÇYMAPE için ortalama %27 ve %42 oranında olmuştur. PA-6 polimeri için ise sürtünme katsayısındaki azalma sırasıyla 1m/s ve 2 m/s hızlar için yaklaşık %20 ve %46 oranında azalma gözlemlenmiştir. Uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısı azalma olduğunu daha önce yapılan çalışmalarda Tong ve arkadaşları (4), Ünal ve arkadaşları (21) ve Zahao ve arkadaşları (25) tarafından da tespit edilmiştir. Yükün artması ile test edilen her iki polimer için sürtünme katsayısının azalmasının nedeni, yükün artırılması ile çelik disk yüzeyinde deney süresince film tabakasının oluşması olarak açıklanabilir.

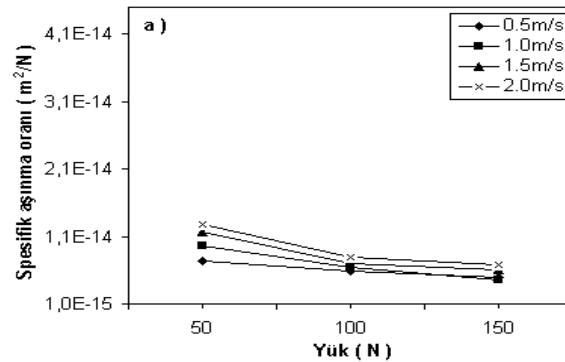
ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin farklı yüklerdeki spesifik aşınma oranının uygulanan yüke göre değişimi Şekil 5a ve 5b'de sırasıyla verilmiştir. Şekil 5a ve 5b'de görüldüğü gibi hem ÇYMAPE hem de PA-6 polimerlerinin spesifik aşınma oranının hızları uygulanan yükün artması ile azalmaktadır. Şekil 5a ve Şekil 5b dikkatli bir şekilde incelendiğinde ÇYMAPE polimerinin spesifik aşınma oranının 10^{-15} m²/N değerlerinde olduğu gözlenirken, PA-6 polimerinin spesifik aşınma oranı ise 10^{-14} m²/N değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek aşınma oranı 2.0m/s kayma hızında ve 50N yük altında 5.21×10^{-13} m²/N değeri ile PA-6 polimerinde, en

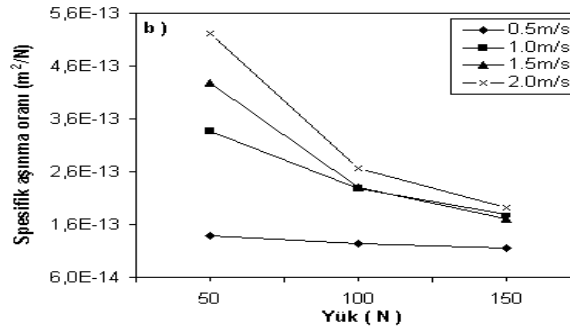
düşük spesifik aşınma oranı ise 1.0m/s kayma hızı ve 150N yük altında $4.61 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ değeri ile ÇYMAPE polimerinde elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan kayma hızı ve uygulanan yük aralıklarında ÇYMAPE polimerinin aşınma oranı PA-6 polimerine göre ortalama 2,4 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Değişik yüklerdeki sürtünme katsayısının kayma hızına göre değişimi, a) ÇYMAPE, b) PA-6

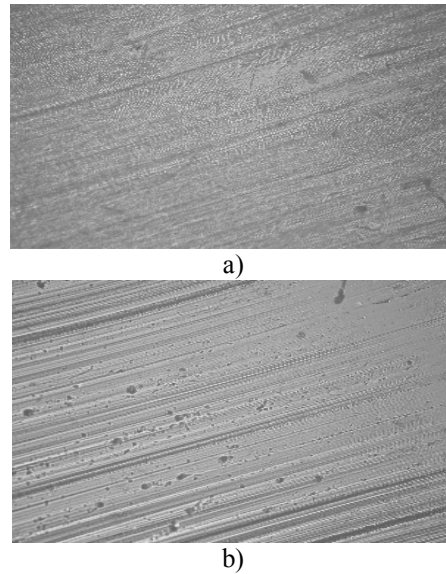
Yine Şekil 5a ve b'de, ÇYMAPE ve PA-6 mühendislik polimerlerinin farklı yükler altındaki spesifik aşınma oranının kayma hızına göre değişimini incelendiğinde, her iki mühendislik polimerinin de spesifik aşınma oranlarının kayma hızına göre değişimi artış yönünde benzerlik göstermektedir. Yani ÇYMAPE ve PA-6 mühendislik polimerlerinin spesifik aşınma oranları uygulanan kayma hızına göre artış göstermektedir. Kayma hızı % 300 artırıldığında spesifik aşınma oranındaki artış yaklaşık olarak ÇYMAPE için 50N yükte %71 iken 150N yükte ise yaklaşık %36 oranında olmuştur. Benzer şekilde PA-6 polimeri için ise kayma hızı %300 artırıldığında, spesifik aşınma oranındaki artış 50N yükte %275 iken 150N yükte ise yaklaşık %67 oranında olmuştur. Deneylerde kullanılan her iki polimer malzemesi içinde kayma hızının artmasıyla spesifik aşınma oranı artmıştır. Elde edilen verilerden ÇYMAPE'in aşınma direncinin PA-6 polimerin aşınma direncine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 50N yük altındaki spesifik aşınma oranı, 100 ve 150N yükte göre daha fazla artış göstermiştir. Bunun nedeni yüksek yüklerde pim ve disk yüzeyinin birbirleri ile teması sonucu oluşan ısı ile ve pim yüzeyinden kopan partiküller karşı çelik disk yüzeyi üzerinde transfer film tabası oluşturmuş ve pim ile disk yüzeyi arasında yağlayıcı görevi görerek sürtünme katsayısının düşmesine ve aşınma direncinin artmasına sebep olmuştur. Benzer sonuçlar daha önce yapılan çalışmalar da (Wang (5), Liu (20) ve Hashmi (26)) da tespit edilmiştir.





Şekil 5. Değişik hızlardaki aşınma oranının uygulanan yüke göre değişimi, a) ÇYMAPE, b) PA-6

Şekil 6 a-b' de ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin kuru ortam şartlarındaki aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 6 a ve b'de hem ÇYMAPE hem de PA-6 polimerlerinin çelik karşı yüzeyi ile temasında elde edilen aşınma pim yüzey görüntüleri verilmiştir. Her iki polimerde de hem adhesive hem de abrasiv aşınma mekanizması görülmüştür. PA-6 polimer yüzeyinde daha fazla derin ve geniş aşınma izleri görülmektedir (Şekil 6 b). ÇYMAPE polimerinin çelik karşı yüzeyinde çalışması ile oluşan transfer film tabakası, pim ve çelik disk arasında yağlayıcı etkisi oluşturarak ÇYMAPE polimerini sert ve pürüzlü olan çelik yüzeyinden korumuştur. Böylece, ÇYMAPE pim yüzeyinde PA-6 polimerine göre nispeten daha düzgün ve daha az aşınma izleri görülmüştür (Şekil 6a).



Şekil 6. Çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen ve poliamid-6 polimerlerinin kuru ortam şartlarındaki aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri, 100X a) ÇYMAPE, b) PA-6 (uygulanan yük: 100N, kayma hızı: 1m/s)

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin sürtünme katsayısı uygulanan yük ile azalmıştır.
2. Kayma hızının artmasıyla hem ÇYMAPE polimerinin hem de PA-6 polimerinin sürtünme katsayısı artmaktadır.
3. ÇYMAPE polimeri için spesifik aşınma oranı ortalama 10^{-15} m²/N değerlerinde iken PA-6 polimeri için ise spesifik aşınma oranı 10^{-13} m²/N değerlerinde elde edilmiştir.
4. En yüksek spesifik aşınma oranı 2.0m/s kayma hızı ve 50N yük altında 5.21×10^{-13} m²/N değeri ile PA-6 polimerinde, en düşük spesifik aşınma oranı ise 1.0m/s kayma hızı ve 150N yük altında 4.61×10^{-15} m²/N değeri ile ÇYMAPE polimerinde elde edilmiştir.

5. Çalışılan test şartları altında ÇYMAPE polimerinin PA-6 polimerine göre yaklaşık 2.4 kat aşınmaya daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] B. S.Ünlü, E.Atık, S. Köksal, Tribological properties of polymer-based journal bearings, *Materials and Design*, Basımda (2009).
- [2] N.P. Suh, M. Mosleh, J. Arinez, Tribology of polyethylene homocomposites, *Wear* 214, 231-236, (1998).
- [3] T. Aoike, D. Yokoyama, H. Uehara, T., Yamanobe, T. Komoto, Tribology of ultra-high molecular weight polyethylene disks molded at different temperatures, *Wear* 262, 742-748, (2007)
- [4] J. Tong, Y. Ma, M. Jiang, Effects of the wollastonite fiber modification on the sliding wear behavior of the UHMWPE composites, *Wear* 255, 734-741, (2003).
- [5] Y.Q. Wang, J. Li, Sliding wear behavior and mechanism of ultra-high molecular weight polyethylene, *Materials Science and Engineering A266*, 155-160, (1999).
- [6] G. Guofang, Y. Huayong, and F. Xin Tribological properties of kaolin filled UHMWPE composites in unlubricated sliding, *Wear* 256, 88-94, (2004).
- [7] B.F. Yousif, and N.S.M., El-Tayeb Wear and friction characteristics of CGRP composite under wet contact condition using two different test techniques, *Wear* 265, 856-864, (2008).
- [8] T., Sinmazcelik, T. Yılmaz, Thermal aging effects on mechanical and tribological performance of PEEK and short fiber reinforced PEEK composites, *Materials and Design* 28, 641-648, (2007).
- [9] G.Zhang, A.K. Schlarb. Morphologies of the wear debris of polyetheretherketone produced under dry sliding conditions: Correlation with wear mechanism, *Wear* 266, 7-8, 745-749, (2009).
- [10] S.E. Franklin, Wear experiments with selected engineering polymers and polymer composites under dry reciprocating sliding conditions, *Wear* 251, 1591-1598, (2001).
- [11] P. Cong, F. Xiang, X. Liu, T. Li, Morphology and microstructure of polyamide 46 wear debris and transfer film: In relation to wear mechanisms, *Wear* 265, 1100-1105, (2008).
- [12] S. Bahadur,, The development of transfer layers and their role in polymer tribology, *Wear* 245, 92-99, (2000).
- [13] J. Gao. Tribochemical effects in formation of polymer transfer film, *Wear* 245, 100-106, (2000).
- [14] E. Feyzullahoglu, Z. Saffak, The tribological behaviour of different engineering plastics under dry friction conditions, *Materials and Design* 29, 205-211, (2008).
- [15] V. Quaglino, P. Dubini, D. Ferroni, C. Poggi, Influence of counterface roughness on friction properties of engineering plastics for bearing applications, *Materials and Design*, Basımda,(2008).
- [16] K.Friedrich, Z.Zhang, A. K. Schlar, Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites, *Composites Science and Technology* 65, 2329-2343, (2005).
- [17] Jia, Bin-Bin, Li, Tong-S., Liu, Xu-Jun, Cong, Pei-Hong, Tribological behaviors of several polymer-polymer sliding combinations under dry friction and oil-lubricated conditions, *Wear* 262, 1353-1359, (2007).
- [18] J., John RajeshBijwe, U.S. Tewari, Abrasive wear performance of various polyamides, *Wear* 252, 769-776, (2002).
- [19] C.Z. Liu, L.Q. Ren, J. Tong,., S.M. Green, R.D., Arnell, Effects of operating parameters on the lubricated wear behavior of a PA-6/UHMWPE blend: a statistical analysis, *Wear* 253, 878-884, (2000).
- [20] E. Feyzullahoglu, Z. Saffak, The tribological behaviour of different engineering plastics under dry friction conditions, *Materials and Design* 29, 205-211, (2008).
- [21] H.Ünal, U. Sen, A. Mimaroglu, Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface, *Tribology International* 37, 727-732, (2004).
- [22] Seabra, Lu'is C., Baptista, M. António. Tribological behaviour of food grade polymers against stainless steel in dry sliding and with sugar *Wear* 253, 394-402, (2002).
- [23] G. Srinath, R. Gnanamoorthy, Sliding wear performance of polyamide 6-clay nanocomposites in water, *Composites Science and Technology* 67, 399-405, (2007).
- [24] H.Ünal, A. Mimaroglu, Friction and wear behaviour of unfilled engineering thermoplastics, *Materials and Design* 24, 183-187, (2003).
- [25] Zhao, Li-xin, Zheng, Li-yun, Zhao, Shu-guo, Tribological performance of nano-Al₂O₃ reinforced polyamide 6 composites, *Materials Letters* 60, 2590-2593, (2006).
- [26] S.A.R. Hashmi, , S. Neogi, A. Pandey, Chand, N., Sliding wear of PP/UHMWPE blends: effect of blend composition, *Wear* 247, 9-14, (2001).