

Vollastonit ve kaolin katkılı poliamid-6 esaslı kompozitlerin mekanik ve tribolojik performanslarının belirlenmesi

Hüseyin ÜNAL^{1,*}, Salih Hakan YETGİN²

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya

Geliş Tarihi (Received Date): 21.01.2020
Kabul Tarihi (Accepted Date): 24.04.2020

Öz

Bu çalışmada, katkısız poliamid 6 (PA-6) ile ağırlık olarak ayrı ayrı %10 oranında vollastonit ve kaolin katkılı poliamid-6 esaslı polimer kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Poliamid-6 esaslı polimer kompozitler, endüstriyel tip ikiz vidalı bir ekstrüder makinesinde granül formda üretilmiştir. Deneylerde kullanılan mekanik ve tribolojik test numuneleri geleneksel enjeksiyon makinesi kullanılarak basılmıştır. Katkısız PA-6 ve PA-6 kompozitlerin aşınma ve sürtünme davranışları pim-disk aşınma cihazında ve kuru kayma şartları altında gerçekleştirilmiştir. Aşınma ve sürtünme davranışları 0.5m/s kayma hızında ve 60N, 120N ve 180N yükler altında yapılmıştır. Çalışma sonucunda, PA-6 polimerine ilave edilen vollastonit ve kaolin katkıları, kompozit malzemelerin çekme dayanımı ve elastiklik modülünü değerlerini artırırken sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma hızı değerlerinin azalmasına sebep olmuştur. Buna ilave olarak, tribolojik deneylerde uygulanan yükün artması ile tüm malzemelerin hem sürtünme katsayısı hem de spesifik aşınma hızı değerleri azalmıştır.

Anahtar kelimeler: Poliamid 6, vollastonit, kaolin, sürtünme, aşınma, mekanik özellikler.

* Hüseyin ÜNAL, unal@sau.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-0521-6647>
S. Hakan YETGİN, shyetgin@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6068-9204>

Determination of mechanical and tribological performance of polyamide-6 composites with wollastonite and kaolin filler

Abstract

In this experimental study, mechanical and tribological behaviors of unfilled polyamide-6 (PA-6) polymer, 10wt.% of wollastonite and 10wt.% kaolin filled polyamide-6 based polymer composites have been studied. Polyamide-6 based polymer composites are produced in granular form on an industrial twin screw extruder machine. The mechanical and tribological test samples used in the experiments were molded using a conventional type an injection molding machine. The wear and friction behaviors of unfilled PA-6 polymer and PA-6 composites were carried out in the pin-disc wear device and under dry sliding conditions. Wear and friction behaviors were performed at a sliding speed of 0.5 m/s and under the loads of 60N, 120N and 180N. As a result of the study, when wollastonite and kaolin additives are added to the PA-6 based polymer, tensile strength and elastic modulus values of composite materials increase while coefficient of friction and specific wear rate values decrease. In addition, both coefficient of friction and specific wear rate values of all materials used decreased with the increase in applied load in tribological tests.

Keywords: Polyamide-6, wollastonite, kaolin, friction, wear, mechanical properties.

1. Giriş

Polimer malzemeler, dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve farklı alanlarda kullanılabilirliklerini artırmak amacı ile genellikle inorganik partiküller ile birleştirilmektedir. Partikül katkılı polimer kompozitler geniş kullanım alanları ve kolay üretilebilirlikleri nedeniyle son yıllarda önemli malzeme grubu haline gelmiştir. Polimer malzeme içerisine inorganik minerallerin ilave edilmesi mukavemet, rijitlik ve ısıl deformasyon sıcaklığı (HDT) gibi özellikleri geliştirmektedir. Bununla birlikte, pahalı olan polimer malzemenin hacmi, ucuz olan katkı malzemesi ile azaltıldığından dolayı maliyeti düşük olan polimer kompozit malzemelerin üretilmesi mümkün olmaktadır. İnorganik partikül takviyeli polimer kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri matris içerisindeki partikülün dağılımına, şekline, boyuna ve arayüzey etkileşimine bağlıdır [1-2].

Poliamid polimeri, otomotiv, elektrik, elektronik ve paketleme gibi sektörlerde yüksek mekanik özellikleri nedeniyle en fazla kullanılan yarı-kristal bir mühendislik termoplastiğidir. Ancak, poliamidlerin düşük çatlak ilerleme direnci, oldukça düşük ısıl deformasyon sıcaklığı, yüksek oranda su emmesi, ölçüsel kararsızlığı ve yüksek fiyatı nedenleriyle yapısal uygulamalarda kullanımı sınırlanmaktadır [3,4]. Son yıllarda, poliamidlerin özelliklerini geliştirmek için bünyelerine cam küre [5-7], kalsiyum karbonat (CaCO_3) [2], kaolin [8-9], wollastonit [1, 4, 9] ve talk [1, 10] gibi inorganik katkılar ilave edilmektedir. Kalsiyum karbonat ve talk gibi geleneksel dolgu maddeleri rijit ve hafif malzemeler üretiminde ümit verici bir etkiye sahiptir. Ancak, wollastonitin düşük kalıp çekme ve karakteristik özelliği olan düşük termal genleşme katsayısı nedeniyle daha iyi ölçü kararlılığına sahip olması geleneksel dolgu malzemelerine

alternatif olarak kullanımını ön plana çıkarmış ve endüstriyel olarak önemli inorganik mineral partiküllerinden birisi haline gelmiştir. Vollaştonit mineralinin diğerkarakteristik özellikleri ise kimyasal olarak inert, termal olarak kararlı, düşük su emme, beyaz renkte olması ve asbest gibi diğerkarakteristik özellikleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşük sağlık tehlikesine sahip olmasıdır. Ayrıca, vollaştonit minerali, talk katkılı polimerler ile karşılaştırıldığında daha yüksek sertlik, eğme, çekme ve darbe dayanımı özellikleri sağlamaktadır [1,11,12]. Vollaştonit mineralinin diğerkarakteristik özellikleri ile karşılaştırıldığında yüksek fiyata sahip olması ise dezavantajıdır. Kaolin minerali ise plaka benzeri bir yapıya sahiptir ve darbe mukavemeti, boyutsal kararlılık, ısıl deformasyon sıcaklığı ve iyi bir yüzey görünümü için optimum bir denge sağlamaktadır [9].

Vollaştonit ve kaolin gibi çeşitli katkıları kullanılarak polimerlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesi için birçok yazar tarafından çalışmalar yapılmıştır [13-17]. Kodal ve arkadaşları [1] tekli ve hibrit şekilde talk ve vollaştonit katkılı poliamid 6 polimerinin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, 20/20 hibrit kompozitin mekanik özelliklerinin tekli ve diğerkarakteristik özellikleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek elde edildiği belirtilmiştir. Isıl deformasyon sıcaklığının vollaştonit ve kaolin katkıları bulunması ile arttığı ve bu katkıların yapı içerisinde çekirdekleyici ajan gibi davrandıklarını belirtmişlerdir. Iztok ve arkadaşları [18] farklı oranlarda vollaştonit katkılı PP polimerinin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada, artan vollaştonit miktarına bağlı olarak elastiklik modülünün arttığını ancak akma dayanımı ile kopma uzamasının azaldığını belirtmişlerdir. Rohit ve arkadaşları [19] farklı oranlarda (ağırlıkça %5, 10 ve 15) vollaştonit katkılı PC polimerinin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda vollaştonit katkısının çekme dayanımını etkilemediği ancak %15 vollaştonit miktarında darbe dayanımının %30 oranında azaldığı belirtilmiştir. DSC analizi sonucunda, camsı geçiş sıcaklığının (Tg), vollaştonit katkıdan etkilenmediği belirtilmiştir. Ünal ve arkadaşları [8] ağırlıkça %10-30 arasında değişen talk ve kaolin katkılı PA6 polimerinin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada, artan katkı oranına bağlı olarak çekme ve elastiklik modülünün arttığı ancak darbe dayanımı ve kopma uzamasının azaldığı belirtilmiştir. Optimum PA6 kompozit oranı %10 kaolin+%15 talk oranlarında elde edilmiştir. Guofang ve arkadaşları [20] polimerizasyon ve ergiyik karıştırma yöntemleri ile ürettikleri kaolin katkılı çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen (ÇYMAPE) kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Aşınma testleri kuru ortam şartlarında farklı yük ve kayma hızlarında yapılmıştır. Çalışma sonucunda, kaolin katkının ÇYMAPE polimerinin tribolojik özelliklerini geliştirdiği belirtilmiştir. Uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısı azalırken aşınma oranı artmıştır. Ayrıca kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayısı ve aşınma oranı artmıştır. Jing Tong ve arkadaşları [21] ise vollaştonit katkılı ÇYMAPE polimerinin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda artan vollaştonit miktarına bağlı olarak sürtünme katsayısı artarken aşınma oranı %10 vollaştonit miktarına kadar azalmış ve bu değerden sonra artmıştır. Ayrıca, artan yük ile sürtünme katsayısı azalırken aşınma oranı artmıştır. Akıncı [22] ise ağırlıkça %5-30 oranında vollaştonit katkılı polikarbonat (PC) kompozitlerinin 5-20N yük ve 0.5-1.5m/s kayma hızlarında tribolojik özelliklerini incelemiştir. Uygulanan kayma hızı ve yüke bağlı olarak, artan vollaştonit miktarı ile PC kompozitlerin sürtünme katsayısının 0.457'den 0.198'e azaldığını belirtmiştir. Ayrıca, artan yüke bağlı olarak PC ve PC kompozitlerin aşınma oranının azaldığını belirtmiştir.

Bu çalışmada, ağırlık olarak %10 vollastonit ve %10 kaolin katkılı poliamid-6 polimer kompozitleri önce kompond makinesinde granül formunda, sonrasında ise enjeksiyonla kalıplama yöntemleri ile üretilmiştir. Vollastonit ve kaolin minerallerinin, çekme mukavemeti ve elastiklik modülü gibi mekanik özelliklere, ayrıca aşınma ve sürtünme gibi tribolojik özelliklere etkisi incelenmiştir.

2. Deneysel çalışmalar

2.1. Malzemeler

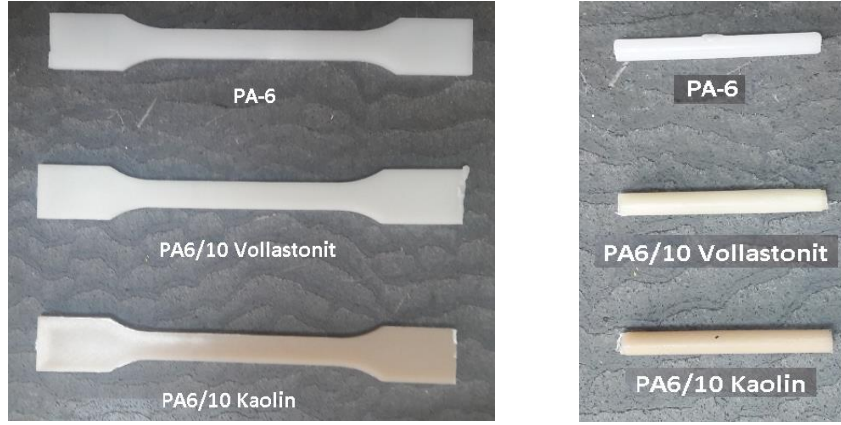
Bu çalışmada polimer matris malzeme olarak poliamid-6 mühendislik polimeri kullanılmıştır. Domamid PA-6 ticari kodu ile satılan poliamid-6 polimeri, Domopolimer (Belçika) firmasından temin edilmiştir. Doğal kalsiyum metasilikat mineral olarak bilinen vollastonit katkı malzemesi ise iğne formunda olup Nyco Minerals firmasından Nyglos M15 ticari kodu ile temin edilirken, kaolin katkı malzemesi ise plaka formunda ve ortalama 1,7 mm partikül boyutlu olarak Dorfner firmasından beyaz renkte temin edilmiştir.

2.2. Numune hazırlama

Vollastonit ve kaolin katkılı poliamid-6 esaslı kompozit malzemeler ikiz vidalı bir ekstruderde granül formunda üretilmişlerdir. Ekstruder ısıtıcı sıcaklıkları besleme bölgesinden kalıba doğru olacak şekilde sırasıyla 240°C, 260°C, 265°C, 260°C, 255°C, 250°C, 240°C, 240°C, 250°C and 250°C sıcaklıklara ayarlanmıştır. Deneyde kullanılan ekstruder vidası boy/çap oranı (L/D) 40 olup vida dönme hızı 280 devir/dakika olarak ayarlanmıştır. Ekstruderde üretilen fitil formundaki ürün önce suda soğutulmuş, sonra hava püskürtme yapılarak üzerindeki su partikülleri uzaklaştırılmış, daha sonra granül kesme işlemi yapılmış ve alüminyum folyolu torbaya doldurulmuştur. Üretilen granüller Hastek Borche marka enjeksiyon makinasında (bakınız Şekil 1) standartlara uygun olarak hazırlanmış kalıp kullanılarak hem çekme numuneleri hem de aşınma test numuneleri üretilmiştir (bakınız Şekil 2). Enjeksiyon ısıtıcı sıcaklıkları ise besleme bölgesinden kalıba doğru sırasıyla 220°C, 230°C, 240°C ve 250°C ayarlanmıştır. Çekme deney numuneleri ASTM D 637 ve aşınma ve sürtünme deneyleri ise ASTM G99 standartlarına uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Çekme deneyleri 23°C oda sıcaklığında ve %50 nispi nem şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çekme deney numuneleri Zwick Z020 marka test cihazında ve 5mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Mekanik deneyler sonucunda malzemenin çekme mukavemeti, elastiklik modülü değerleri belirlenmiştir. Deneylerde her bir malzeme kompozisyonu için en az beş test yapılmış ve ortalama değerler verilmiştir.



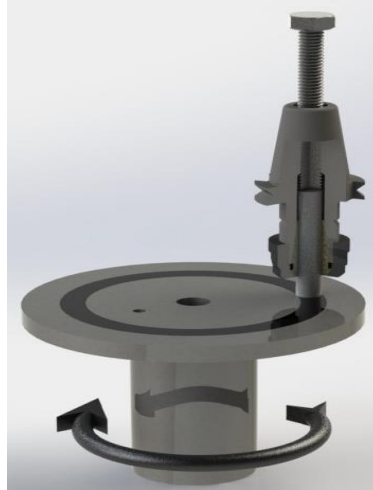
Şekil 1. Deneyde kullanılan enjeksiyon makinası



Şekil 2. Deneyde kullanılan a) çekme ve b) aşınma test numuneleri

2.3. Aşınma deneyi uygulanması

Vollastonit ve kaolin katkılı poliamid-6 esaslı kompozit malzemelerin aşınma ve sürtünme deneyleri disk üzerinde pim düzeneği (bakınız Şekil 3) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma pim numuneleri, 6 mm çapında ve 50 mm boyunda olacak şekilde enjeksiyonla kalıplanarak üretilmiştir. Karşı disk malzeme olarak 100 mm çapında ve 8 mm kalınlığında AISI 4140 çelik disk kullanılmıştır (bakınız Şekil 4). Kesilen diskler, önce geleneksel bir torna kullanılarak tornalanmış sonrasında ise taşlanmıştır. Her bir deney öncesi çelik disklerin yüzeyleri 1200 nolu zımpara ile parlatılmış ve yüzeyleri aseton ile temizlenmiştir. Çelik disk yüzeyi taşlanmış olup yüzey pürüzlülüğü ortalama $0,35\mu\text{m}$ Ra olarak ölçülmüştür. Tablo 1’de tribolojik testlerde kullanılan parametreler verilmiştir.



Şekil 3. Deneyde kullanılan pim-disk aşınma cihazı şematik görüntüsü

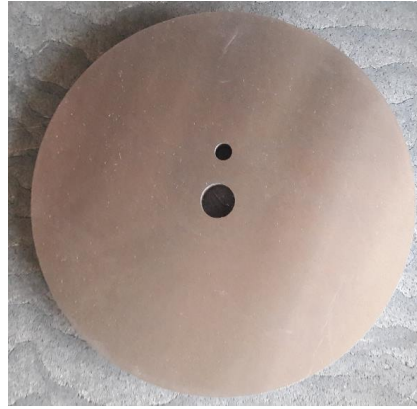
Pim-disk aşınma deney cihazı, bir yük kolu, yük hücresi, ana gövde üzerinde bir elektrik motoru ve masaüstü bir bilgisayar gibi temel kısımlardan oluşmaktadır. Elektrik motorunun tahriki ile dönen rulmanlar vasıtasıyla yataklanmış bir mile bağlı bulunan bir sabit disk vardır. Bu sabit diskin üzerine deneylerde kullanılacak olan çelik disk, M10 bir vida yardımıyla bağlanır. Kol üzerinde bulunan bir mekanizma ile 6 mm çapındaki polimer pim malzemeler kola bir bağlama aparatı ile bağlanır. Çelik disk yüzeyi ve deney numuneleri aşınma deneyine başlamadan önce aseton ile temizlenir. Aparata bağlanan pim çelik diskin üzerine yavaş bir şekilde bırakılır, pim numunesinin

diske sürtünmesiyle pim numunesinin bağlı olduğu kol aparatı da diskin dönme yönüne hareket etmek istemektedir. Bu istek sonucunda kolda ileriye doğru bir hareket gerçekleşir. İleriye doğru hareket yanal kuvveti vermektedir. Bu yanal kuvvet ise yük hücresi ile ölçülüp bilgisayarda bir Excel programına aktarılır. Aşınma deneylerinde dakikada 1000 veri alınmaktadır. Bir deney süresince toplam 65536 veri alınmıştır. Bilgisayar ekranında sürtünme katsayısını görebilmek için yük hücresi ile ölçülen yanal yük değerleri Excel programında deneylerde kullanılan yüke bölünmektedir. Sürtünme katsayısı yanal kuvvetin, normal uygulanan kuvvete oranı olarak ifade edilir ve Eşitlik 1 ile hesaplanır. Burada; μ : Sürtünme katsayısını, F_S : yanal sürtünme kuvvetini ve F_N ise normal uygulanan kuvveti ifade eder.

$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad (1)$$

Numunelerin aşınma oranını tespit etmek için, aşınma deneyi öncesi numuneler Precisa marka 0.0001g hassasiyetinde bir elektronik terazi ile tartılır. Deney sonrası tekrar tartılır. İlk ağırlık ile son ağırlık arasındaki fark hesaplanarak belirlenen şartlar için numunenin aşınma kaybı değeri bulunur. Numunelerin aşınma oranının hesaplanmasında Eşitlik 2 kullanılır. Burada; W_a : Aşınma oranı, Δ_m : aşınma miktarı, S : kayma yolu, ρ : numunenin yoğunluğu ve F_N ise normal kuvveti ifade eder.

$$W_a = \frac{\Delta_m}{S * \rho * F_N} \quad (2)$$



Şekil 4. Deneyde kullanılan AISI 4140 çelik disk

Tablo 1. Tribolojik testlerde kullanılan parametreler

| Parametre | Değerler |
|---------------------------------|--------------|
| Uygulanan yük (N) | 60, 120, 180 |
| Hız (m/s) | 0.50 |
| Test sıcaklığı (°C) | 21±2 |
| Nem (%) | 66±2 |
| Kayma yolu (m) | 2000 |
| Disk yüzey pürüzlülüğü (Ra, µm) | 0.30-0.39 |

3. Sonuçlar ve tartışma

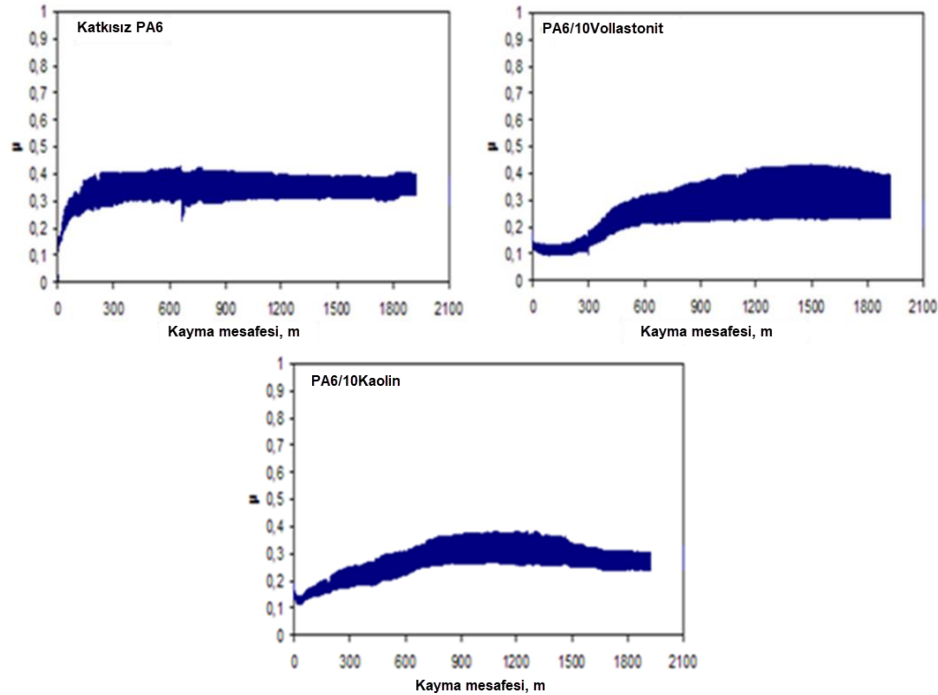
3.1. Çekme testi sonuçları

Tablo 2’de katkısız PA-6 polimeri ile ağırlıkça %10 oranında vollastonit ve kaolin katkılı PA-6 kompozitlerin çekme testi sonrası elde edilen çekme mukavemeti ve elastiklik modülü sonuçları verilmiştir. Katkısız PA-6 polimerinin 65 MPa olan çekme mukavemeti %10 vollastonit ilave edilince %15.3 oranında artarak 75 MPa elde edilmiştir. %10 kaolin katkılı PA-6 kompozitin çekme mukavemeti ise katkısız PA-6 polimeri ile karşılaştırıldığında %16.9 oranında artmıştır. Tablo 2’de görüldüğü gibi katkısız PA-6 polimerine ilave edilen vollastonit ve kaolin katkıları elastiklik modülünü önemli oranda artırmıştır. Bu artış, PA-6/10vollastonit kompoziti için %61.3 oranında iken PA6/10 kaolin kompoziti için %47.2 oranında elde edilmiştir. Bunun nedeni, daha rijit olan katkı partiküllerinin poliamid polimerinin yerini alması ve katkıların poliamid polimerinin deformasyonunu ve zincir hareketliliğini kısıtlamasıdır [9]. Kodal ve arkadaşları da [1] mekanik özelliklerdeki artışı, matris içerisindeki katkıların homojen olarak dağılmasına ve polimer zincir hareketinin kısıtlanmasına bağlamışlardır. Iztok ve arkadaşları [18] ise elastiklik modülündeki artışı vollastonit katkısının iğne formunda olmasına bağlamışlardır.

Tablo 2. Test malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

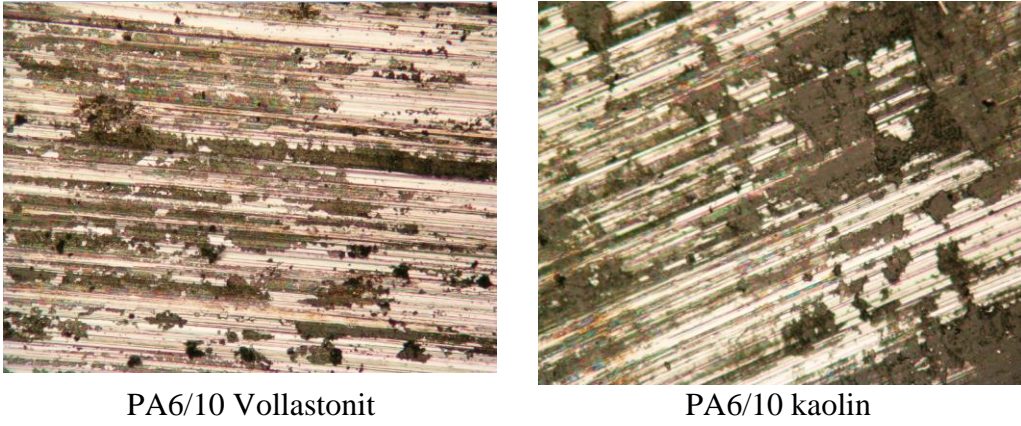
| Malzeme kodu | Renk | Yoğunluk, g/cm ³ | Çekme Mukavemeti, MPa | Elastiklik Modülü,MPa |
|-------------------|------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| PA6 | Krem | 1.13 | 65 | 2200 |
| PA6/10vollastonit | Krem | 2.9 | 75 | 3550 |
| PA6/10Kaolin | Kahverengi | 2.6 | 76 | 3240 |

3.2 Aşınma testi sonuçları



Şekil 5. Katkısız PA-6 polimeri ile PA/10 vollastonit ve PA6/10 kaolin kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

Şekil 5’de katkısız PA-6 polimeri ile %10 oranında ayrı ayrı vollastonit ve kaolin katkılı PA-6 kompozitlerin sürtünme katsayısı (μ) ile kayma mesafesi ilişkisi verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi katkısız PA-6 polimeri ile vollastonit ve kaolin katkılı kompozitlerin sürtünme karakteristiği başlangıç aşaması ve kararlı-hal aşaması olarak iki aşamadan meydana gelmiştir. Katkısız PA-6 polimerinin başlangıç aşamasında 0.1 civarında olan sürtünme katsayısı hızlı bir şekilde artmıştır ve 150m gibi kısa bir mesafede kararlı-hal aşamasına geçmiş ve ortalama sürtünme katsayısı 0.4 civarında elde edilmiştir. Benzer bir eğilim vollastonit ve kaolin katkılı PA-6 kompozitleri içinde elde edilmiştir. Ancak, vollastonit ve kaolin katkılı PA-6 kompozitler ortalama 600m mesafede kararlı-hal aşamasına geçmiştir. Bu durum, başlangıç aşamasında polimer yüzeyinde pürüzlerin oluşması ancak kararlı hal aşamasında bu pürüzlerin ortadan kaybolması ve aşınma partiküllerinin karşı disk yüzeyinde ince bir transfer film tabakası oluşturması ile ilgilidir (Bakınız Şekil 6). Benzer bir açıklama Guofang [20] tarafından yapılan çalışmada da yapılmıştır.



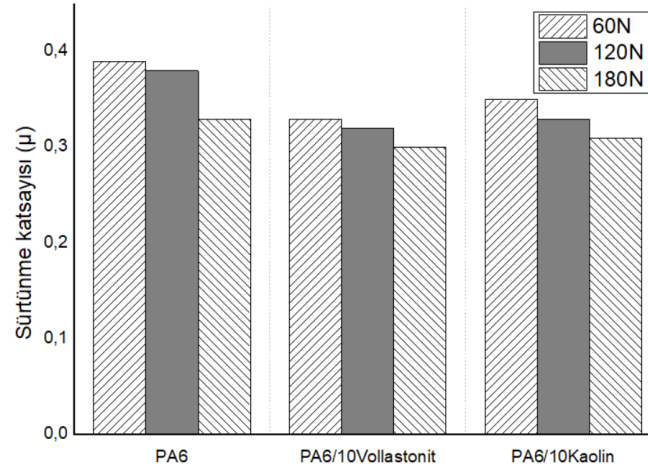
Şekil 6. PA/10 vollastonit ve PA6/10 kaolin kompozitlerin çelik yüzey optik yüzey mikroyapı görüntüleri

Şekil 7’de katkısız PA6 polimeri ile ağırlıkça %10 vollastonit ve kaolin katkılı PA6 kompozitlerin farklı yükler altındaki sürtünme katsayısı değişimleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hem katkısız PA-6 polimeri için hem de vollastonit ve kaolin katkılı PA-6 kompozitleri için uygulanan yükün artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısının azaldığı belirlenmiştir. Uygulanan yük 60N’dan 180N’a artırılması ile PA-6 polimerinin sürtünme katsayısı yaklaşık %18.1 oranında, PA6/10 vollastonit kompoziti için yaklaşık %10 ve PA6/10 kaolin kompoziti için ise yaklaşık %12.9 oranında azalmıştır. Sürtünme katsayısı ile uygulanan yük arasındaki ilişki Eşitlik 3 ile açıklanmıştır. Burada, μ : sürtünme katsayısı, N: uygulanan yük, K ve n ise malzeme ile ilgili sabitlerdir ve “n” değeri $2/3 < n < 1$ arasındadır [20].

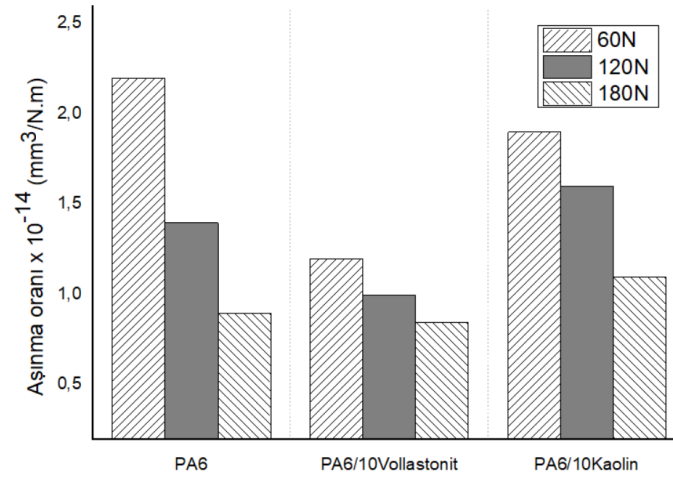
$$\mu: KN^{(n-1)} \quad (3)$$

PA6 polimerine ilave edilen vollastonit ve kaolin katkıları sürtünme katsayısını azaltmıştır. Katkısız PA-6 polimeri ile karşılaştırıldığında, PA6/10 vollastonit kompozitin sürtünme katsayısı yaklaşık %18.7 oranında, PA6/10 kaolin kompozitin sürtünme katsayısı yaklaşık %15.1 oranında azalmıştır. Nizar ve arkadaşları [23] katkı maddesine bağlı olarak azalan sürtünme katsayısının, katkıların kendinden yağlamalı özelliğe sahip olması nedeniyle arayüzeydeki kesme geriliminin azalmasına ve ayrıca kompozitin artan sertliğine bağlı olarak temas alanının azalmasına bağlamışlardır.

Uygulanan yük aralıkları için en düşük sürtünme katsayısı %10 oranında vollastonit katkıli PA-6 kompozit numunesinde elde edilmiştir.



Şekil 7. Katkısız PA-6 polimeri ile PA/10 vollastonit ve PA6/10 kaolin kompozitlerin uygulanan yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı özelliklerinin değişimi



Şekil 8. Katkısız PA-6 polimeri ile PA-6/10 vollastonit ve PA-6/10 kaolin kompozitlerin uygulanan yüke bağlı olarak spesifik aşınma oranı özelliklerinin değişimi

Şekil 8'de katkısız PA-6 polimeri ile ağırlıkça %10 oranında vollastonit ve kaolin katkıli PA-6 kompozitlerin farklı yükler altındaki spesifik aşınma oranı değişimleri verilmiştir. Genel olarak PA-6 polimeri ile PA-6 kompozitlerin spesifik aşınma oranı değerleri 10^{-14} mm³/N.m değerlerinde elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hem katkısız PA-6 polimeri için hem de vollastonit ve kaolin katkıli PA-6 kompozitleri için artan yüke bağlı olarak spesifik aşınma oranının azaldığı belirlenmiştir. Katkısız PA-6 polimeri için bu azalma oranı yaklaşık %144 civarında iken PA-6/10 vollastonit kompoziti için yaklaşık %41, PA6/10kaolin kompoziti için ise yaklaşık olarak %72 oranında elde edilmiştir. PA-6 polimerine ilave edilen vollastonit ve kaolin katkı maddeleri kompozit malzemelerin aşınma oranının azalmasında oldukça etkili olmuştur. PA-6/10 vollastonit ve PA-6/10 kaolin kompozitlerin aşınma oranları katkısız PA-6 polimerininki ile karşılaştırıldığında sırasıyla yaklaşık %83 ve %15.8 oranlarında daha düşük olduğu belirlenmiştir. En yüksek spesifik aşınma oranı 60N yük altında 2.2×10^{-14}

mm³/Nm değeri ile katkısız PA-6 polimerinde elde edilirken en düşük aşınma oranı ise 180N yük altında 8.5x10⁻¹⁵ mm³/N.m değeri ile PA-6/10vollastonit kompozitinde elde edilmiştir. Çalışma sonucunda düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direnci %10 vollastonit katkılı PA-6 polimer kompozitinde elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. PA-6 polimerine ilave edilen ağırlıkça %10 oranındaki vollastonit ve kaolin katkıları kompozitlerin hem çekme dayanımını hem de elastiklik modülü değerlerini artırmıştır.
2. Aşınma testleri sonucunda, uygulanan yükün arması ile deneylerde kullanılan malzemelerin hem sürtünme katsayısı hem de aşınma oranının azaldığı belirlenmiştir.
3. PA-6 polimerine ağırlıkça %10 oranında ilave edilen vollastonit ve kaolin katkıları kompozitlerin sürtünme katsayılarının sırasıyla %18.7 ve %15.1 oranlarında azaltmasına sebep olmuştur.
4. PA-6 polimerine ilave edilen vollastonit ve kaolin katkıları kompozit malzemelerin spesifik aşınma oranını sırasıyla %83 ve %15.8 oranlarında azaltmasına sebep olmuştur.
5. Düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direnci ağırlıkça %10 oranında vollastonit katkılı PA-6 polimer kompozitinde elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kodal, M., Erturk, S., Sanli, S., Ozkoc, G., Properties of Talc/Wollastonite/Polyamide 6 Hybrid Composites, **Polymer Composites**, 36(4), 739-746, (2015).
- [2] Yue, Q., Hongfeng, Y., Yun, T., Jinshi, B., Yan, L., Huodie, Y., Mechanical properties of the nano-CaCO₃ and GB coreinforced CF/PA6 composites, **Materials Research Express**, 6(10), 1-12, (2019).
- [3] Gang, T., Wangjuan, H., Daofang, C., Wenzhong, N., Weijian, M., Wei, Y., The Friction and Wear of Aramid Fiber-Reinforced Polyamide 6 Composites Filled with Nano-MoS₂, **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 50, 1537-1540, (2011).
- [4] Aslan, Ç., Ahmet, D., Ferit, F., Optimization of Wear Parameters of Polyamide-6 Composite Materials Filled with Wollastonite Particles, **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**, 2(1), 1-6, (2014).
- [5] Mimaroglu, A., Sen, U., Unal, H., Abrasive Wear Volume Maps for PA6 and PA6 Composites Under Dry Working Condition, **Applied Composite Materials**, 15, 13-25, (2008).
- [6] Unal, H., Mimaroglu, A., Alkan, M., Mechanical properties and morphology of nylon-6 hybrid composites, **Polymer International**, 53, 56-60, (2004).
- [7] Capela, C., Ferreira, J.M., Costa, J.M., Mendes, N., Mechanical Properties of Injection-Molded Glass Microsphere-Reinforced Polyamide, **Journal of Materials Engineering and Performance**, 25, 4256-4265, (2016).
- [8] Unal, H., Fındık, F., Mimaroglu, A., Mechanical Behaviour of Nylon Composites Containing Talc and Kaolin, **Journal of Applied Polymer Science**, 88, 1694-1697, (2003).

- [9] Unal, H., Performance of Polyamide-6/Wollastonite/Kaolin Hybrid Composites, **Science and Engineering of Composite Materials**, 10(6), 407-414, (2002).
- [10] Gustavo, D.D., Adriana M.C.de S., Influence of reprocessing on the mechanical properties of polyamide 6 containing talc, **AIP Conference Proceedings**, 1779, 1-4, (2016).
- [11] Hadal, R., Dasari, A., Rohrmann, J., Misra, R.D.K., Susceptibility to scratch surface damage of wollastonite- and talc-containing polypropylene micrometric composites, **Materials Science and Engineering A**, 380(1), 326-339, (2004).
- [12] Kumar, V., Manohar, S.S., Kanungo, B.K., Shishir, S., Effect of Various Additives on Mechanical Properties of Rice Husk Polypropylene (RHPP) Composites, **Journal of Polymer Engineering**, 32(3), 163-166, (2012).
- [13] Sudeepan, J., Kumar, K., Barman, T.K., Sahoo, P., Study of Friction and Wear Properties of ABS/Kaolin Polymer Composites Using Grey Relational Technique, **Procedia Technology**, 14, 196-203, (2014).
- [14] Sleptsova, S.A., Laukkanen, S., Gladkina, N.P., Fedoseeva, V.I., Okhlopkova, A.A., Grigoryeva, L.A., Effect of Kaolinite on the Properties and Structure of PTFE, **AIP Conference Proceedings**, 2053, 040092, (2018).
- [15] Mei, L., Yaoguang, C., Lijun, W., Zishou, Z., Kancheng, M., A novel polypropylene composite filled by kaolin particles with β -nucleation, **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 135, 2137-2145, (2019).
- [16] Tej, S., Avinash, T., Amar, P., Ranchan, C., Sharafat, A., Influence of wollastonite shape and amount on tribo-performance of non-asbestos organic brake friction composites, **Wear**, 386-387, 157-164, (2017).
- [17] Lubomir, La., David, M., Barbora, L., Martin, V., Michal, S., Klara, C., Jakub, V., Kristian, E.W., Richard, W.G., Neil, A.R., Effect of filler particle shape on plastic-elastic mechanical behavior of high density poly(ethylene)/mica and poly(ethylene)/wollastonite composites, **Composites Part B: Engineering**, 141, 92-99, (2018).
- [18] Iztok, S., Vojko, M., Mirela, L., The Adhesion Phenomena in Polypropylene/Wollastonite Composites, **Acta Chimica Slovenica**, 52, 264-271, (2005).
- [19] Rohit, S.T., Prakash, A.M., Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Recycled and Virgin PC/ wollastonite Composite and its Compatibilization by SBC, **Journal of Materials and Environmental Sciences**, 10(4), 357-366, (2019).
- [20] Guofang, G., Yang, H., Fu, X., Tribological properties of kaolin filled UHMWPE composites in unlubricated sliding, **Wear**, 256, 88-94, 2004.
- [21] Tong, J., Yunhai, M., Man, J., Effects of the wollastonite fiber modification on the sliding wear behavior of the UHMWPE composites, **Wear**, 255, 734-741, (2003).
- [22] Akıncı, A., Dry sliding friction and wear behaviour of self-lubricating wollastonite filled polycarbonate composites, **Industrial Lubrication and Tribology**, 67(1), 22-29, (2015).
- [23] Nizar, J.H., Ammar, Al-K., Ahmed, F.H., Dhey, J.M., New Approach to Predict Mechanical and Tribological Behaviour Through Rheological Properties of Polypropylene Composites, **9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE 2018)**, 556-560, 10-13 July 2018, Budapest, Hungary.