

Misvak'ın Abrazif Aşınma Özellikleri ve Diş Hekimliği Protez Kaide Malzemelerinde Takviye Fazı Olarak Kullanımı

Soner Savaş¹

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri.

e-posta: ssavas@erciyes.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.03.2018 , Kabul Tarihi: 29.11.2018

Özet

Bu çalışmada misvak takviyeli kompozitlerin abrazif aşınma özellikleri incelenmiş ve yapısal parçalardan medikal uygulamalara kadar farklı sektörlerdeki kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Matris malzemesi olarak polipropilen (PP) ve uyumlaştırıcı ajan olarak da maleik anhidrit aşıllı polipropilen (PP-g-MA) kopolimeri kullanılmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki (ağ. %5, 10, 20 ve 30) misvak takviyeli kompozitler, abrazif bir zımpara kâğıdının karşı disk olarak kullanıldığı bir pin-on-disk sisteminde test edilmiştir. Misvak konsantrasyonu, normal yük (2.5-5 N) ve kayma hızının (60-72 dev/dak) kompozitlerin aşınma özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Önemli parametrelerin ve bu parametrelerin etkileşimlerinin tribolojik özellikler üzerindeki etkilerini analiz etmek için 2³ tam eşlendirmeli deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Testler sonrası numunelerin aşınmış yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile incelenmiştir. Shore D sertlik ölçüm testleri de yapılarak bulgular ışığında bahsedilen özellikler arasındaki ilişkiler yorumlanmıştır. Aşınma test sonuçlarından sırasıyla; normal yük, misvak konsantrasyonu ve kayma hızının önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir. Kompozitlerin aşınma oranlarının artan yük, misvak konsantrasyonu ve kayma hızı ile arttığı bulunmuştur. Bununla birlikte, düşük misvak konsantrasyonuna (%5-10) sahip kompozitlerin nispeten düşük aşınma oranları gösterdiği tespit edilmiştir. Shore D sertlik testi sonuçlarından, artan misvak oranı ile kompozit sertliğinin de arttığı bulunmuştur. Bilindiği üzere tribolojik ve mekanik özellikler her zaman uyumlu değildir. Bu durumun zımpara kâğıdının abrazif yapısından ve literatürde ilk kez kullanılan vakum üniteli aşınma sisteminin 2-elemanlı abrazif aşınmayı desteklemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler

Misvak; Doğal Kompozitler; Maleik Anhidrit Aşıllı Polipropilen; Abrazif Aşınma; Sertlik.

Abrasive Wear Properties of Miswak and its Use as Reinforcement Phase in Dental Prosthesis Materials

Abstract

In this work, abrasive wear properties of miswak reinforced composites were studied to get an inspiration about their availability for diverse applications from mechanical to medical parts. Polypropylene (PP) matrix and a maleic anhydride-grafted polypropylene (PP-g-MA) copolymer as coupling agent were used. Composites with different miswak concentrations (5, 10, 20 and 30% wt.) were characterized primarily by pin-on-disc test using abrasive sandpaper as counter material. The effect of the concentration of the miswak, normal load (2.5-5 N) and sliding velocity (60-72 rpm) on the wear properties of the composites were characterized. A 2³ full-factorial experimental design was chosen to screen the significant factors and their interactions influencing the tribological performance of the composites. After the tests, the morphology of the worn surface of the samples was observed using scanning electron microscopy (SEM). Shore D hardness tests were also conducted and the relationships between these behaviours were analyzed on the basis of the findings. According to the wear test results, the factors that have the greatest effect on the wear rates are as follows: Normal load, miswak concentration and sliding velocity, respectively. The wear rate of the composites increases by increasing the normal load, miswak concentration and sliding speed. Nevertheless, composites with low miswak concentration (5-10% wt.) exhibited relatively less wear rates. In the case of Shore D harness values, an increase was observed with increasing the miswak concentration. It is well known that tribological and mechanical behaviours do not complement each other all the time. This is thought to be related to the abrasive nature of the sandpaper and promoting 2-body abrasive wear by the vacuum system of the test rig, which is the first in the literature.

Keywords

Miswak; Natural Composites; Maleic Anhydride-Grafted Polypropylene; Abrasive Wear; Hardness.

1. Giriş

Doğal (bitki kökenli) fiber takviyeli kompozitler düşük ağırlık ve biyo-çözünürlük, yüksek mukavemet, yüksek sertlik ve tokluk, düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı gibi özelliklerinden dolayı özellikle mekanik ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda öne çıkmaktadır (Roumeli *et al.* 2015, Granda *et al.* 2016, Omrani *et al.* 2016, Nirmal *et al.* 2015). Polimer matrisli kompozitlerde en çok kenevir, kenaf, rami, keten, bambu, jüt ve sisal gibi doğal fiberler kullanılmakta olup her geçen gün yenileri önerilmektedir.

Misvak (ayrıca coğrafyasına göre *Salvadora persica* L., Mesvak, Sivak, Arak, Koyoji veya diş çubuğu ağacı olarak da bilinir) *Salvadora* familyasına ait olan ve daha çok Asya ve Güney Afrika'da yetişen bir bitkidir (Tahir *et al.* 2015, Abhary and Al-Hazmi 2016, Alireza *et al.* 2014, Moawed and Abulkibash 2016). Misvak genel olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmakla birlikte, tıbbi birçok faydası olan antiseptikler, abrazyonlar, astrenjanlar, temizleyici kimyasallar, enzim inhibitörleri ve florür de içermektedir (Alireza *et al.* 2014, Moawed 2013, Ramadan 2015, Chaurasia *et al.* 2013, Amoian *et al.* 2010). Ağız sağlığı için antimikrobiyal ve antikaryojenik etkiler gösteren fito-bileşenlerin zenginliği bitkiyi bu alanda eşsiz kılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı misvak, yüz yıllardır farklı birçok coğrafyada doğal ve ucuz diş çubuğu olarak kullanılmış ve *Dünya Sağlık Örgütü* (WHO) tarafından da kullanımı desteklenmiştir. Bugüne kadar keşfedilen ve diş çubuğu olarak kullanılan 182 tür bitki içerisinde misvak en çok kullanılanı olup, kullanımı *Temel Sağlık Hizmeti Yaklaşımı* (PHCA) prensiplerine de uygundur (Alireza *et al.* 2014, Moawed 2013, Amoian *et al.* 2010, Ahmad and Rajagopal 2014, Sofrata *et al.* 2011). Bitkinin dalları, kökleri ve gövdesi geçmişten günümüze kadar birçok amaçla kullanılmıştır. Ayrıca misvak özütü bugün dünyaca bilinen birçok markanın (Colgate, Listerine, Dabur, Smokers, vb.) diş tozu, diş macunu, ağız çalkalama sularında, ayrıca *Persica* sakızlarında

halen kullanılmaktadır (Amoian *et al.* 2010, Ahmad and Rajagopal 2014, Al Sadhan and Almas 1999).

Ağız sağlığının korunmasında, misvağın hem çubuk ekseninde yönlendirilmiş farklı fiberli yapısından dolayı mekanik, hem de salgıladığı faydalı kimyasallardan dolayı kimyasal açıdan temizleyici etkileri bulunmaktadır (Aboul-Enein 2014, Alili *et al.* 2014, Haque and Alsareii 2015, Batwa *et al.* 2006). Mekanik olarak plak temizleme etkisi geleneksel diş fırçalarınınkine benzer (Sofrata 2010). *Persica* liflerinde fazlaca bulunan silika (özütünde bulunmamaktadır) mekanik etkiyi kuvvetlendirir (Amoian *et al.* 2010, Ahmad and Rajagopal 2014, Almas and Al-Zeid 2004). Silika abrazyon bir malzeme gibi davranarak diş üzerindeki leke ve plağı temizleyici etki gösterir (Haque and Alsareii 2015, Al Sadhan and Almas 1999, Halawany 2012). Ayrıca misvakta bulunan sodyum bikarbonat (NaHCO_3) da bir yarı-abrazyon olup benzer temizleme etkisine sahiptir (Chinsembu 2016, Chaurasia *et al.* 2013, Al Sadhan and Almas 1999). Yapılan birçok çalışmada misvağın mekanik temizleme ve plak kaldırma etkisinin, kılları genellikle poliamidden yapılan manuel veya elektrikli diş fırçalarına eşdeğer veya daha iyi olduğu kanıtlanmıştır (Darout 2014, Malik *et al.* 2014, Wu *et al.* 2001, Al-Otaibi *et al.* 2003, Hooda *et al.* 2009, Al Sadhan and Almas 1999, Sofrata 2010). Misvağın medikal (antibakteriyel, antikaryojenik özellikler, vb.), kimyasal (indirgeyici veya stabilize edici ajan, vb.) ve temizleyici (boya adsorbantı, atık su filtre katkısı, vb.) özellikleri haricinde polimer bir matris içerisinde özelliklerinin incelendiği yalnızca 2 çalışmaya rastlanılmış olup, bu çalışmalarda yalnızca çözelti polimerizasyonu ile üretilen akrilik numuneler kullanılmış ve yalnızca mekanik özellikler incelenmiştir. Khalaf (2013) misvağı toz formunda kullanan tek araştırmacı olup (maksimum tane boyutu 75 μm) ısı ile polimerize olan akrilik rezin içerisine %3 ile %5 (ağ.) oranlarında katılan misvak tozunun mekanik özellikleri (çekme mukavemeti, yüzde uzama, eğme mukavemeti, darbe direnci ve basma mukavemeti) kötü yönde etkilemediğini, fakat %7'ye çıkıldığında mekanik özelliklerin (eğme mukavemeti hariç) kötüleştiğini

bildirmiştir. Olewi *et al.* (2017), misvak fiber uzunluğu ve konsantrasyonun akrilik rezin üzerine etkilerini çalan ikinci araştırma grubudur. %9 (ağ.) misvak konsantrasyonu ile 12 mm fiber uzunluğunda kompozitlerin çekme özelliklerinin önemli ölçüde iyileştiğini bulmuşlardır. Polimer matrisli kompozitlerde fiber uzunluklarındaki artışın çekme mukavemetini ekseriyetle iyileştirdiği bilinen bir olgudur. Toz formunda kullanım ise kompozit üretim kolaylığı ve ticarileşme potansiyelinden dolayı tercih edilebilir. Bahsedilen çalışmalar haricinde, misvak takviyeli polimer kompozitlerin mekanik ve abrazyon özelliklerinin incelendiği bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı, misvağın polimer bir matris içerisindeki rijitlik ve aşınma özelliklerinin incelenmesi, yukarıda bahsedilen mekanik ve biyolojik avantajlarının ağız içi protezler ve medikal parçalar gibi farklı uygulamalardaki potansiyelinin araştırılmasıdır. Örneğin Straumann, Thommen Medical, Medical Expo ve Abunmants4life gibi önemli firmalar ağız içi "iyileşme başlığı" uygulamalarında metalden ziyade polimer tabanlı protezler kullanmaya başlamışlardır. Açık yaraya temas eden bu tür uygulamalarda antibakteriyel ve antifungal etkiler gösteren takviye fazlarının kullanımı gün geçtikçe bir gereklilik haline gelmektedir.

PP, $(-H_2C-CRH-)_n$ metil gruplu bir poliolefin olup birçok sektörde yaygın kullanım alanı bulan bir polimerdir. Çalışmada PP'in matris malzemesi olarak seçilmesinin sebebi yüksek abrazyon direnci, kimyasal kararlılık, ergitme ile yapılan üretim yöntemlerine uygunluk, düşük maliyet ve fiberlerin bozulmasını engelleyecek düşük sıcaklıklarda işlenebilirlik gibi avantajlara sahip olmasıdır. Doğal fiber takviyeli polimer kompozitlerin tribolojik davranışları, test parametreleri, matris ve fiber malzemesinin özellikleri, takviye oranı ve tribo-çiftlerin temas koşullarından oldukça etkilenmektedir (Parikh and Gohil 2015, Shalwan and Yousif 2013). Her ne kadar doğal fiber takviyeli polimer kompozitlerin kuru kayma koşullarındaki sürtünme davranışları ile ilgili çok sayıda çalışma olmasa da genel yargı doğal fiberlerin sürtünme katsayısını azalttığıdır (Chin and

Yousif 2009, Yousif and El-Tayeb 2008, Yousif 2009). Doğal fiber takviyeli polimer kompozitlerde karşılaşılan problemlerden birisi de selülozun hidrofilik yapısı ile polimerin hidrofobik yapısından kaynaklanan uyumsuzluktur. Yapılan bir çalışmada, jüt fiber takviyeli kompozitlerin abrazyon dirençlerinin fiber-matris adezyonuna oldukça bağlı olduğu bulunmuştur (Goriparthi *et al.* 2012). Yapıda bulunan ligninin, doğal fiberlerin termoplastik polimere olan adezyonunda olumlu etkileri olsa da, fiber ile matris ara yüzeyini kararlı hale getirmek için ilave kimyasal ve ısıl işlemlere ihtiyaç duyulur. Adezyonu iyileştirmek için önerilen kimyasal çözümlerin başında, izosiyanatlar, silanlar, maleik anhidrit aşıllı kopolimerler, vb. uyumlaştırıcı ajanların kullanımı gelmektedir (Zulkifli *et al.* 2015, Panaitescu *et al.* 2016). Özellikle aşıllı kopolimerler kullanılarak, fiber hidroksil grupları (OH) ile anhidrit arasında hidrojen ve kovalent bağların oluşturulması, fiber-matris bağının iyileştiren ve en çok tercih edilen yöntemlerdendir (Yan *et al.* 2016, Zulkifli *et al.* 2015). Fiber yüzeyinde oluşturulan fırça tarzındaki uzun zincirli polimer kaplama, hidrofilik özelliği iyileştirip selülozik fiberlerin ıslanabilirliğini, dolayısıyla ara yüzey adezyonunu arttıran bir etki gösterir (Panaitescu *et al.* 2016, Kabir *et al.* 2012). Artan adezyon fiberlerin matristen çekilmesini önler ve yükün bir kısmını taşımalarını sağlar. Bu sayede abrazyon aşınma direncinde de gelişmeler elde edilebilir. Bu çalışmada, maleik anhidrit aşıllı polipropilen (PP-g-MA) kopolimeri uyumlaştırıcı ajan olarak kullanılmıştır. Fiber-matris ara yüzey adezyonu, dolayısıyla kompozit mekanik özelliklerini iyileştiren diğer bir yöntem de fiberlerin ısıl işlemidir (Omran *et al.* 2016). Isıl işlemin amacı fiberin kristallik ve çekme mukavemeti değerlerini arttırmak, ayrıca uçucu ve kararsız olan bileşenlerin yapıdan atılması ile fiber nem içeriğini azaltıp fiber / matris yapışma mukavemetini iyileştirmektir. Isıl işlem literatürde fiziksel bir işlem olarak tanımlanmakta olup fiberin kimyasal bileşimini değiştirmedeği kanıtlanmıştır (Cao *et al.* 2007). Bu sebeple, çalışmada kullanılan misvak da bir sonraki bölümde detayları verilen şartlarda ısıl işleme tabi tutulmuş ve misvak konsantrasyonu ile test parametrelerinin PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin tribolojik özellikleri üzerindeki etkileri

incelenmiştir. Son olarak kompozitlerin hasar ve aşınma mekanizmaları belirlenerek önerilerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1 Malzemeler

0.921 g/cm³ (ASTM D792 Metot A (American Society for Testing and Materials)) yoğunluklu, 1.1 g/10 dak (ASTM D1238 (American Society for Testing and Materials)) ergiyik akış indeksli (MFI) ve 122 °C'lik ergime noktalı (DSC) polipropilen (PP) peletler Rabigh R&P Co. (Rabigh, Suudi Arabistan)'dan temin edilmiş ve matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Yoğunluğu 0.9 g/cm³ (ExxonMobil Metot) ve ergiyik akış oranı (MFR) 150 g/10 dak (230 °C/2.16 kg, ASTM D1238 (American Society for Testing and Materials)) olan maleik anhidrit aşıllı polipropilen (PP-g-MA) Exxelor™ PO 1015, ExxonMobil Co. (Teksas, USA)'dan temin edilmiş ve uyumlaştırıcı ajan olarak kullanılmıştır. Kayseri'de yerel bir marketten hijyenik vakum poşetler içerisinde alınan misvak çubukları (asıl menşei Sehar Enterprise, Pakistan'dır) soyulup elle doğranmış ve 40 °C'lik bir etüvde 6 sa kurutulmuştur. Doğranan çubuklar daha sonra mutfak tipi bir blenderde kıyılmış ve 80 °C'de 24 sa tekrar kurutulmuştur. Kuruyan misvak fiberler laboratuvar tipi titreşimli bir değirmende 120 s öğütülmüş, ardından 75 µm elekten geçirilmiştir. Ortalama tane boyutunun SEM incelemelerinden (burada paylaşılmamıştır) yaklaşık 20 µm civarında olduğu tespit edilmiştir. Misvak tozunun XRF analiz sonucu kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmektedir.

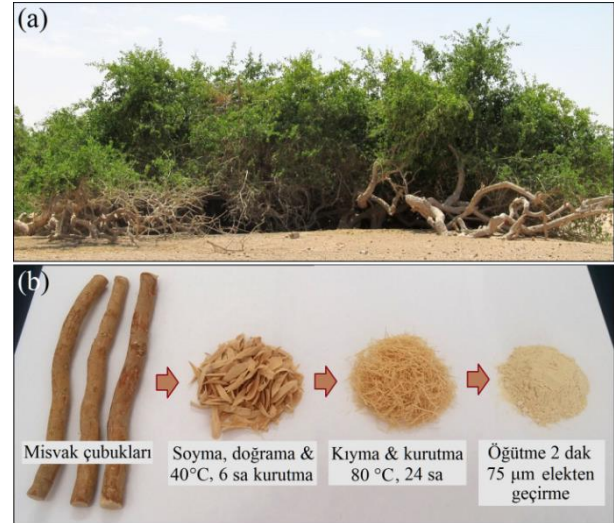
Çizelge 1. Misvak tozunun XRF analiz sonucu kimyasal bileşimi (%ağ.).

Bileşen	CaO	SO ₃	K ₂ O	Cl
%	2.31	1.74	1.08	0.68
Bileşen	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	SrO
%	0.45	0.07	0.05	0.05
Bileşen	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
%	0.02	0.02	0.01	0.01

LOI Yanma kaybı: %93.52

Salvadora Persica L. bitkisinden bir görüntü Şekil 1a'da, misvak tozunun hazırlanma aşamaları ise

Şekil 1b'de görülmektedir. PP-g-MA'nın kullanımına ilave olarak matrisle misvak arasındaki uyumu arttırmak için misvak tozu 180 °C'de 6 sa ısıtılma tabii tutulmuş ve kullanımlarına kadar plastik poşetlerde saklanmışlardır. Fiber/matris adezyonunu arttırmak için doğal fiberlere uygulanan benzer ısıtılma işlemlere literatürde rastlanmaktadır (Joseph and Thomas 2008, Cao *et al.* 2007, Pickering *et al.* 2016).



Şekil 1. (a) *Salvadora Persica* L. bitkisinden bir görüntü, (b) misvak tozunun hazırlanma aşamaları.

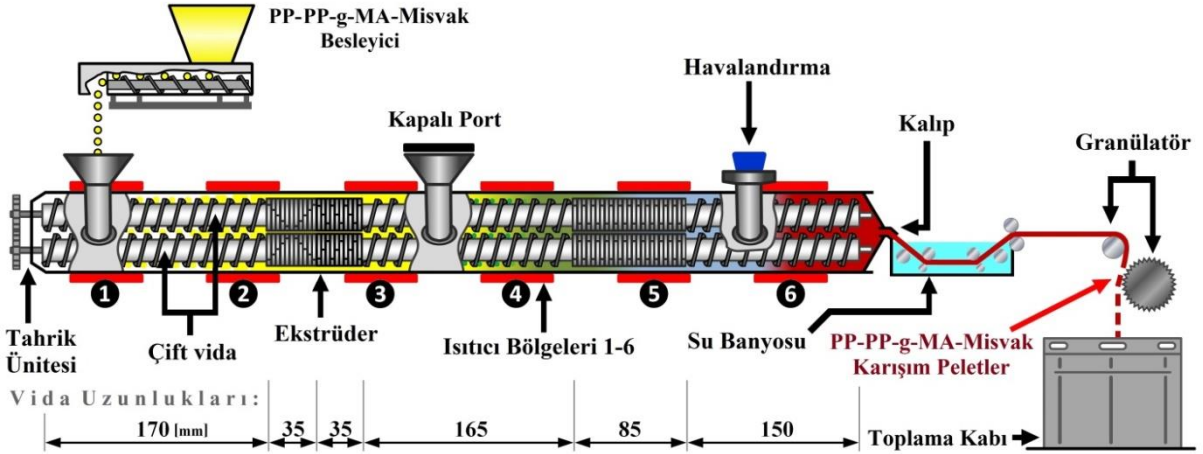
2.2 PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin sentezi

Karıştırmadan önce PP peletler, PP-g-MA ve misvak tozu yapıdaki nemin uzaklaştırılması için 80 °C'de 24 sa etüvde kurutulmuştur. Çizelge 2'de bileşimi verilen PP/PP-g-MA/misvak kompozitler, vida çapı (D) 12 mm, vida boy/çap oranı (L/D) 40 olan ve vidaları aynı yönde dönen çift vidalı bir ekstrüder (Gülner Makine, İstanbul) kullanılarak 100 d/d vida hızında ergiyik harmanlama yöntemi ile üretilmişlerdir (Şekil 2). Ekstrüderin altı adet sıcaklık bölgesi beslemeden kalıp çıkışına doğru kovan sıcaklık profili 20, 160, 170, 175, 180 ve 185 °C olarak ayarlanmıştır. Kalıptan birkaç mm çapında çıkan sıcak ürün, oda sıcaklığındaki banyo-

Çizelge 2. Kompozitlerin kimyasal bileşimi.

Numune kodu	PP (%ağ.)	PP-g-MA (%ağ.)	Misvak (%ağ.)
PMO	100	0	0

PM5	94	1	5	PM30	64	6	30
PM10	88	2	10				
PM20	76	4	20				



Şekil 2. PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin ergiyik harmanlama yöntemi ile üretilmesinde kullanılan çift vidalı ekstrüderin şematik görünümü ve vida uzunlukları.

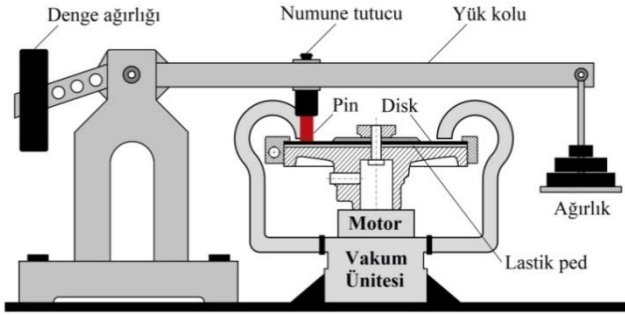
dan geçirilerek soğutulmuş, granülörde doğandıktan sonra 60 °C'lik etüvde bir gece bekletilmiştir. Peletler daha sonra 12 ml'lik bir mikro enjeksiyon kalıplama makinesinde (Xplore IM 12, Hollanda) aşınma testleri için gerekli ölçülerdeki numune boyutlarına kalıplanmıştır. Kalıplama işleminde, kovan sıcaklığı 185 °C, kalıp sıcaklığı 20 °C ve kalıplama basıncı 7 bar olarak seçilmiştir. Saf PP peletler de (PM0) kontrol numunesi olarak kullanmak amacıyla benzer şartlarda kalıplanmıştır.

2.3 Aşınma testleri

Aşınma testleri, Taber aşınma test cihazı (Taber 5135, USA) pin-on-disk sistemine uyarlanarak ve silisyum karbür (SiC) zımpara kâğıtları karşı disk olarak kullanılarak kuru kayma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Geleneksel pin-on-disk aşınma cihazlarında zemine paralel olan aşınma diskleri dik pozisyona getirilerek ve numune bir manivela mekanizmasıyla zemine paralel doğrultuda yüklenerek abrazyon aşınmadan kaynaklı partiküllerin (üçüncü elemanların, vb.) aşınma izi içerisinde kalması ve böylece aşınma mekanizması ve aşınma oranlarını değiştirmesi önlenebilir (Devaraju *et al.* 2012). Bu şekilde çalışan aşınma sistemlerine literatürde rastlanmaktadır (Liu *et al.* 2012, Prasad 2004, Zhang *et al.* 2006). Bu çalışmada ise, sabit halde duran numune yine zemine paralel şekilde dönen abrazyon disk üzerine dik yöndeki bir kuvvetle

yüklenmiş, fakat literatürde ilk kez sisteme monte edilen bir vakum mekanizması kullanılarak abrazyon partiküllerin ve aşınma ürünlerinin kayma yolu üzerinde birikmesi önlenmiştir (Şekil 3). Bu şekilde çalışan bir sistemin kullanılmasının amacı 3-elemanlı abrazyon aşınma yerine, 2-elemanlı abrazyon aşınmayı sağlamak ve aşınma mekanizmalarını daha kolay yorumlamaktır. Böylece, genellikle polimer malzemelerin abrazyon aşınmasında karşılaşılan, karşı diske yapışan ve böylece sürtünmeyi azaltarak aşınma oranlarını düşüren malzeme miktarını azaltmak da hedeflenmiştir. Yaklaşık 3 × 12 × 50 mm³ boyutlarında kalıplanan dikdörtgen prizma şeklindeki numunelerin 3 × 12 mm²'lik tek yüzü SiC zımpara kâğıdı kullanılarak parlatılmış ve ardından numuneler numune tutucuya bağlanmıştır. Testlerde kullanılan karşı diskler 102 mm çapında ve 150 kum tane boyutundaki SiC zımpara kâğıtlarıdır. Uygulanan normal yükler 2.5 N ve 5 N, aşınma izi merkezindeki kayma hızları ise 0.267 m/s ve 0.320 m/s'dir (sırasıyla 60 dev/dak ve 72 dev/dak disk hızına karşılık gelmektedir). Kayma mesafeleri 60 dev/dak ve 72 dev/dak kayma hızları için sırasıyla 128 m ve 153.8 m'de tutulmuştur (mesafeler 8 dak'lık test süresine karşılık gelmektedir). İz çapı tüm testler için 85 mm'dir. Tribo-testler oda sıcaklığında (22 ± 2 °C) ve atmosferik nem koşullarında (30 ± %2) gerçekleştirilmiştir. Testlerden önce numuneler, etil alkolle temizlenmiş ve kuru hava püskürtülerek

kurutulmuşlardır. Testlerden sonra ağırlık kayıpları aşınmanın bir ölçüsü olarak 10^{-4} g hassasiyetli bir terazide (Ohaus Pioneer, USA) ölçülerek hesaplanmış, aşınmış yüzey morfolojilerinin incelenmesi için ise alan emisyonlu bir taramalı elektron mikroskopundan (FE-SEM, Zeiss Gemini 500, Almanya) faydalanılmıştır. Yüzeyleri iletken yaparak görüntü alabilmek için numune yüzeyleri ince bir tabaka altın (Au) ile kaplanmıştır. Numune yoğunlukları farklı olduğundan, sonuçların güvenilirliği açısından hacimsel kayıplar da hesaplanmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Numunelerin mekanik ve aşınma özellikleri arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için Shore D sertlik testleri de (Bareiss HPE II, Almanya) gerçekleştirilmiştir. Her numune üzerinden sekiz adet ölçüm alınarak sonuçların aritmetik ortalamasına gidilmiştir.



Şekil 3. Vakum sistemli abrazyon aşınma test cihazının şematik görünümü.

2.4 Deneysel tasarım metodu

Deneysel tasarım, çok sayıda değişkenin olduğu karmaşık sistemlerde bile optimum değerlerin bulunmasına olanak sağlayan faydalı bir metottür (Yu *et al.* 2008). Eşlendirmeli tasarımda, ana faktörlerin etkileri ve farklı faktörler arasındaki etkileşimler yüksek doğruluk seviyesiyle tahmin edilebilir. Tam eşlendirmeli bir tasarımda her faktörün her seviyesi, diğer faktörlerin seviyeleriyle eşleştirilir. Yaygın kullanılan bir tasarım, her bir giriş faktörünün iki seviyeye sahip olduğu deneysel tasarımdır. Böyle bir tasarımda seviyeler “yüksek” ve “düşük” veya “2” ve “1” şeklinde adlandırılır. Her iki seviyeye sahip k adet faktör varsa, tam eşlendirmeli tasarımın 2^k adet çevrimi olacaktır (Gottipati and Mishra 2010). Bu çalışmada, tribolojik özelliklere etki eden faktörlerin etkilerini ve

faktörler arası etkileşimleri tespit edebilmek için üç faktörlü ve iki seviyeli ($2^3=8$ çevrimli) L8 tam eşlendirmeli deneysel tasarım metodu kullanılmıştır. Misvak konsantrasyonu, normal yük ve kayma hızı parametreleri için iki düzey belirlenmiş ve ağırlık ile hacimsel aşınma kayıplarına etkileri incelenmiştir. Deneysel verileri analiz etmek için MINITAB® 16 istatistik yazılımı kullanılmış ve aşağıdaki eşitliğin ortaya koyduğu “en düşük en iyi” kriterine göre tribolojik özelliklere etki eden faktörler ve etkileşimleri araştırılmıştır.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum y^2 \right) \quad (1)$$

Eşitlikte, S/N sinyal/gürültü oranı, n gözlem sayısı ve y ise aranan ilgili sonuç özelliğidir. Parametreler ve bu parametre seviyelerine karşılık gelen test değerleri Çizelge 3’te özetlenmektedir. Test hatalarının sonuçlar üzerindeki etkisini azaltmak için tüm testler rastgele bir sırada gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. L8 tam eşlendirmeli deney tasarımı için faktörler ve seviyeleri.

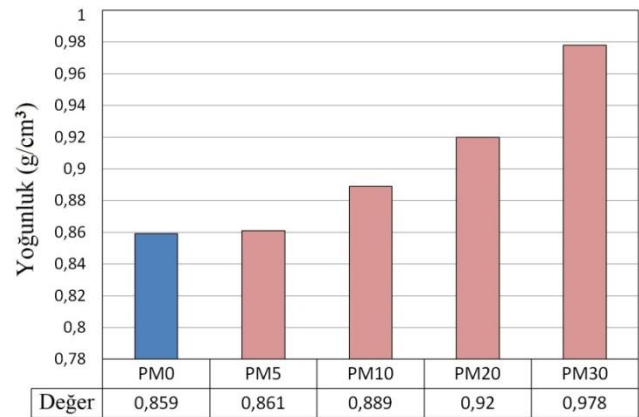
Sembol	Faktör / Parametre	Seviye 1	Seviye2
A	Misvak konsantrasyonu (%)	5	30
B	Normal yük (N)	2.5	5.0
C	Kayma hızı (dev/dak)	60 ^a	72 ^b

^a 0.267 m/s’lik çevresel hıza karşılık gelmektedir.

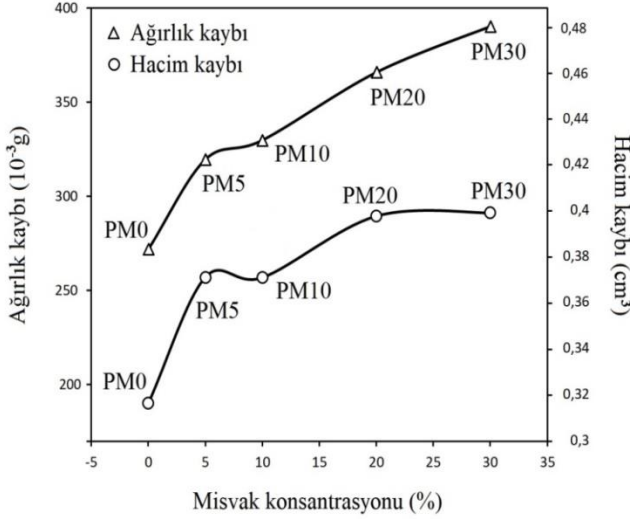
^b 0.320 m/s’lik çevresel hıza karşılık gelmektedir.

3. Bulgular

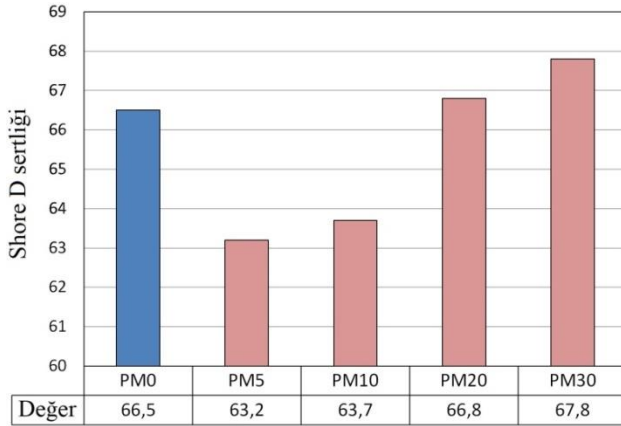
PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin ve saf PP’nin yoğunlukları Şekil 4’te görülmektedir. Kompozitlerin 5 N normal yük ve 72 dev/dak kayma hızı koşul-



Şekil 4. PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin ve saf PP'nin yoğunlukları. larındaki ağırlık ve hacim kayıplarının misvak konsantrasyonuna göre değişimi Şekil 5'te verilmektedir. Kompozitlerin ve saf PP'nin Shore D sertlik değerleri ise Şekil 6'da özetlenmektedir.



Şekil 5. PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin ağırlık ve hacim kayıplarının misvak konsantrasyonuna göre değişimi (normal yük: 5 N, disk hızı: 72 dev/dak).



Şekil 6. PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin Shore D sertlik değerlerinin misvak konsantrasyonuna göre değişimi.

Polimer kompozitlerde kullanılan takviye fazının tipi, boyutu, şekli ve uygulanan yüzey işlemi kompozitlerin mekanik ve aşınma özelliklerini oldukça fazla etkileyebilmektedir (Parikh and Gohil 2015, Ramesh and Suresha 2014). Örneğin kritik bir boyuttan kısa fiberler yük taşıma kapasitesini düşürüp aşınmayı hızlandırabilir. Aşırı uzun fiberler ise matristen çekilerek deformasyonu artırabilir (Parikh and Gohil 2015). Bu çalışmada kullanılan

yaklaşık 20 µm tane boyutunun da, matrisle takviye fazı arasındaki gerilim transferi verimini azalttığı düşünülmektedir. Buna ilave olarak, fiber boyutunun küçültülmesi aynı ağırlık oranında çatlak başlatıcı fiber uç sayısını arttıracığından farklı yönlerdeki yüklenme koşullarında kompozit mekanik özellikleri yine zayıflayabilir. Bu çalışmada da kompozitlerin hem ağırlık hem de hacim kayıplarının artan misvak konsantrasyonu ile arttığı bulunmuştur. Numunelerin Shore D sertlik değerlerinde ise artan misvak konsantrasyonu ile birlikte benzer bir artış görülmektedir. Polimer yapılar da rijitlik arttıkça numune ile karşı disk arasındaki abrazyon aşınma şiddetlenebilir. Bu durum literatürdeki, polimer kompozitlerin aşınma direncinin rijitlik veya fiber içeriği ile her zaman doğru orantılı olmadığı birçok çalışma ile kanıtlanmıştır (Dasari *et al.* 2005, Morioka *et al.* 2015, Tong *et al.* 2006). Ayrıca, polimerlerin aşınma oranlarının mekanik özellikler ile ters orantılı olabileceği de bilinmektedir (Mathew *et al.* 2010). Bu durumun, zımpara kâğıdının abrazyon yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, düşük misvak konsantrasyonlarında (%5-10) nispeten düşük aşınma oranları elde edilmiştir. Başka bir çalışmada, Lancaster (1972) %30 kısa karbon fiber takviyeli 13 farklı polimerin abrazyon aşınma davranışını incelediği çalışmada, 7 polimerin aşınma direncinin iyileştiğini, fakat 6'sının kötüleştiğini bulmuştur.

Takviye oranındaki artışın matris ile adezyonu azalttığı ve aşınma ile sürtünme özelliklerini kötüleştirdiği de bilinmektedir (Parikh and Gohil 2015). Tong *et al.* (2006) çalışmalarında, ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen içerisindeki vollastonit fiber takviyesinin ağırlıkça kritik bir seviyenin üzerine çıkması ile (~%10) fiber dağılımının zayıfladığını ve ara yüzeyde bazı boşluklar meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak fiberler kolaylıkla matristen çekilmiş ve abrazyon aşınma özellikleri de kötüleşmiştir. Bu durum, %5 ve %10 misvak takviyeli kompozitlerin saf PP'den düşük sertliğe sahip olmalarına rağmen, aşınma oranlarının neden daha yüksek olduğunu açıklamaktadır. %20 ve %30 misvak takviye oranlarında sertliğin saf PP'ye kıyasla daha da

artması abrazyon aşınma oranlarını arttıran bir sebeptir. Bu noktada, misvak ile PP matris arasındaki adezyonu iyileştirecek farklı kimyasal veya fiziksel çözümlerin getirilmesinin kompozitlerin abrazyon aşınma dirençleri üzerinde de olumlu etkilerinin olacağı düşünülmektedir.

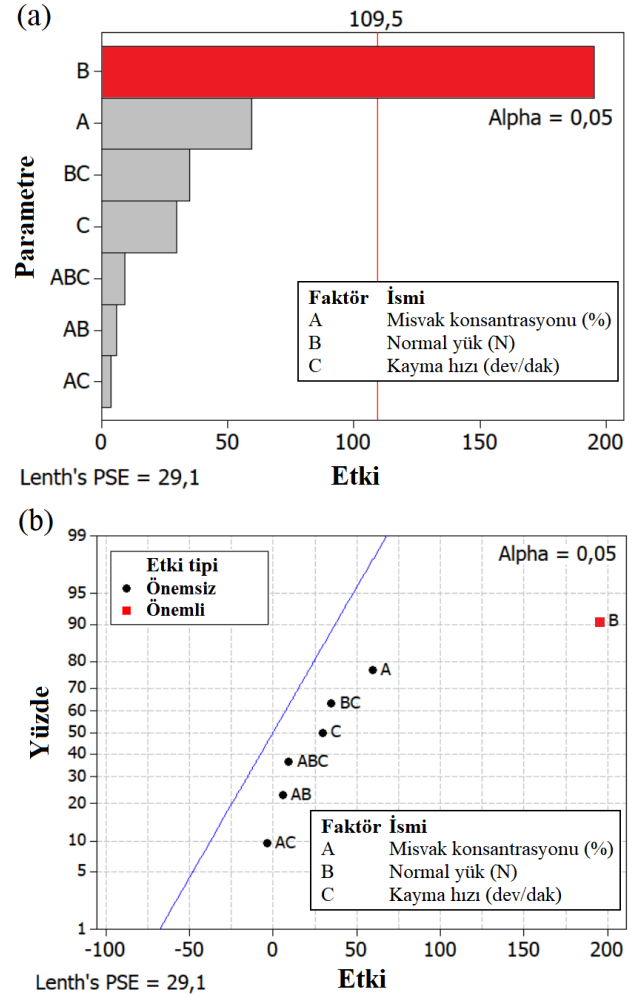
L8 tam eşlendirmeli deney tasarımı için deney sonuçları Çizelge 4'te verilmektedir. Ağırlık kayıpları için pareto grafiği ve etkilerin normal grafiği Şekil 7'de, hacim kayıpları için pareto grafiği ve etkilerin normal grafiği ise Şekil 8'de görülmektedir.

Çizelge 4. L8 tam eşlendirmeli deney tasarımı için deney sonuçları.

Deney No	Parametreler ve Seviyeleri			DeneySEL Sonuçlar	
	A	B	C	Ağırlık kaybı (10 ⁻³ g)	Hacim kaybı (cm ³)
1	1	1	1	96.8	0.1124
2	1	1	2	104.5	0.1214
3	1	2	1	260.9	0.3030
4	1	2	2	319.7	0.3713
5	2	1	1	163.3	0.1669
6	2	1	2	145.3	0.1486
7	2	2	1	320.5	0.3277
8	2	2	2	390.4	0.3992

Pareto grafiği ana faktörlerin ve bunların etkileşimlerinin mutlak etki değerlerini veren bir grafikdir. Grafikte görülen referans çizgiyi geçen parametre ve etkileşimlerin önem derecelerinin çok yüksek olduğu sonucuna varılır. Ardından önem dereceleri birbirleriyle kıyaslanarak mukayese yapılır. Grafiklerin teorik temelleri bu çalışmanın kapsamı dışında olup, ilgilenenler Antony (2003)'ten detaylı bilgiye ulaşabilirler. Pareto grafikleri incelendiğinde, hem ağırlık (Şekil 7a) hem de hacim kayıpları (Şekil 8a) dikkate alınarak aşınma oranları üzerinde önem derecesi en yüksek olan parametrelerin sırasıyla; normal yük (B), misvak konsantrasyonu (A) ve kayma hızı (C) olduğu görülmektedir. Ayrıca, normal yük / kayma hızı (BC) etkileşiminin özellikle hacim kayıpları dikkate alındığında potansiyel öneme sahip olduğu bulunmuştur. Pareto grafiklerine benzer bir grafik de etkilerin normal grafiğidir. Referans çizgi yani sıfır hattından uzak olan noktalar istatistiksel olarak daha önemli kabul edilir. Sıfır noktasından olan mesafe önem derecesini belirler. Hem ağırlık (Şekil

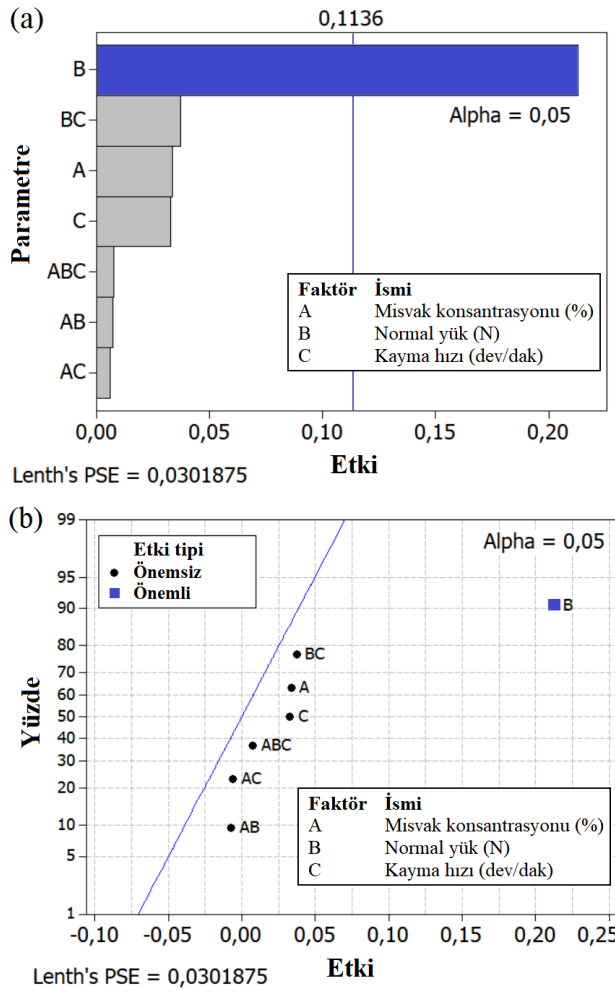
7b) hem de hacim kayıpları (Şekil 8b) dikkate alındığında, pareto grafiklerine benzer şekilde; B, A, BC ve C'nin yine önemli parametreler olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Ağırlık kayıpları için (a) pareto grafiği ve (b) etkilerin normal grafiği.

Ağırlık kayıpları için ana etkiler grafiği ve etkileşim grafiği Şekil 9'da, hacim kayıpları için ana etkiler grafiği ve etkileşim grafiği ise Şekil 10'da görülmektedir. Ana etkiler grafiği, farklı parametrelerin etkilerinin nispi önemini ortaya koymaktadır. Bu grafikler, bir parametrenin farklı seviyelerinin sonuç ortalaması üzerindeki etkilerini görmek için kullanılır. Ana etkinin işareti etkinin yönünü de gösterir. Örneğin "en düşük en iyi" kriteri dikkate alındığında ortalamayı düşük tutan değerlerin seçimi avantajlı olacaktır.

Şekil 9a ve Şekil 10a'daki ana etkiler grafikleri incelendiğinde, beklenildiği gibi hem ağırlık hem de hacim kayıplarının artan normal yük ve kayma hızı

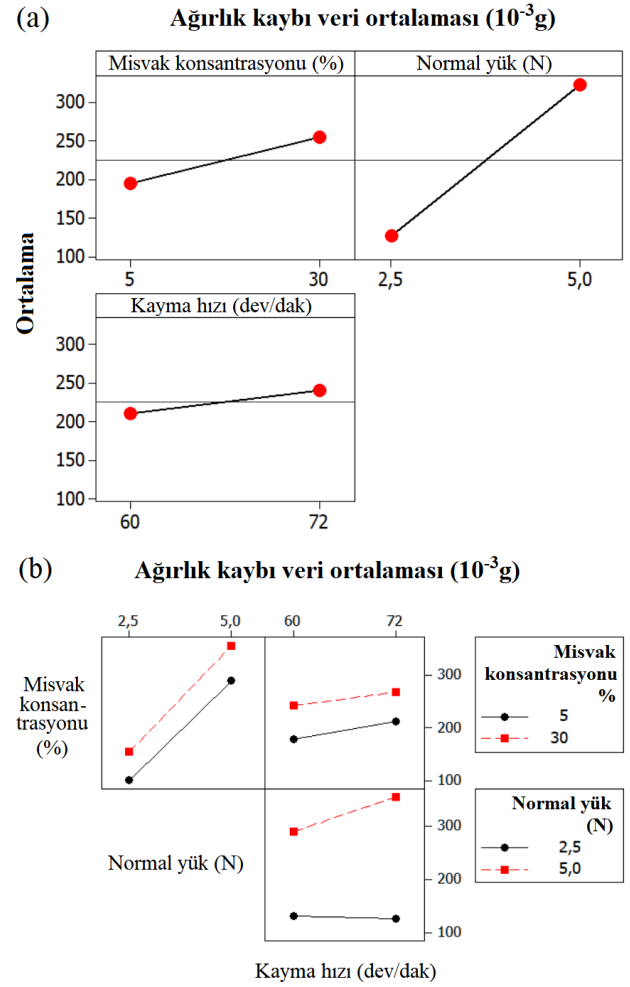


Şekil 8. Hacim kayıpları için (a) pareto grafiği ve (b) etkilerin normal grafiği.

ile orantılı olarak arttığı görülmektedir. Artan yük ile abrazyon aşınma kayıplarının artması pek çok araştırmacı tarafından kanıtlanmıştır (Omrani *et al.* 2016, Ramesh and Suresha 2014, Kumar and Panneerselvam 2016, Mahesha *et al.* 2017). Yük artışı temas gerilmesini artırır ve böylece zımpara kâğıdındaki SiC partiküllerinin matris yüzeyine olan batma derinliği de artar. Bu durum kazımalı aşınma oranını arttıran bir etki gösterir (Ramesh and Suresha 2014).

Polimerlerin kuru şartlardaki aşınma mekanizmaları üzerinde ısı akışının da kuvvetli etkisi olup, sürtünme katsayıları temas gerilmesi belirli bir limite ulaşıncaya kadar artar (Wang *et al.* 2017, Aslan *et al.* 2018). Kayma hızı sürtünme ısısını

arttıran bir başka etkidir. Bahsedilen sebeplerden dolayı artan yük ve hızla birlikte aşınma oranlarının artışı da doğaldır.

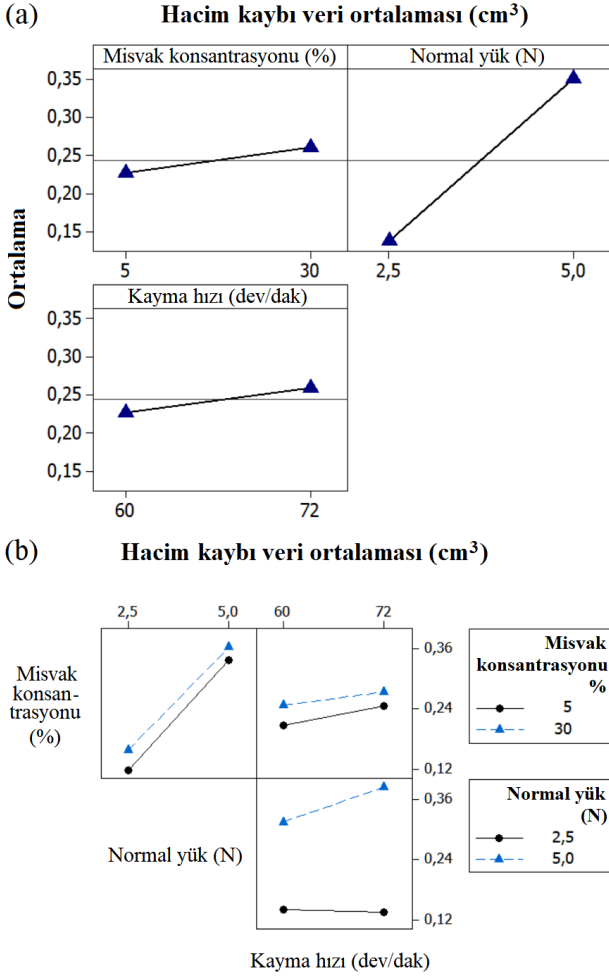


Şekil 9. Ağırlık kayıpları için (a) ana etkiler grafiği ve (b) etkileşim grafiği.

Ağırlık ve hacim kayıpları ayrıca kompozit içerisindeki artan misvak konsantrasyonuna göre de artış eğilimi göstermektedir. Bu durumun muhtemel sebepleri yukarıda tartışılmıştır. Şiddetli abrazyon aşınma ve fiber çekilmesi olayları, misvağın yapısında bulunan silika, sodyum bikarbonat, vb. abrazyon bileşenlerin 3. eleman olarak ara yüzeyde abrazyon aşınmayı arttırmaya da atfedilebilir.

Şekil 9b ve Şekil 10b'de ise, sırasıyla ağırlık ve hacim kayıpları için etkileşim grafikleri görülmektedir. Etkileşim grafikleri, farklı parametrelerin mümkün olan tüm kombinasyonlarındaki sonuç ortalamalarını gösteren grafiklerdir. Grafiklerin birbirlerine paralel olmaması ve hatta birbirlerini kesecek şekilde çapraz olmaları parametreler

arasında bir etkileşim olduğunun kanıtıdır. Etkileşim grafiklerinden faktörler arasında herhangi bir etkileşime rastlanılmamıştır.



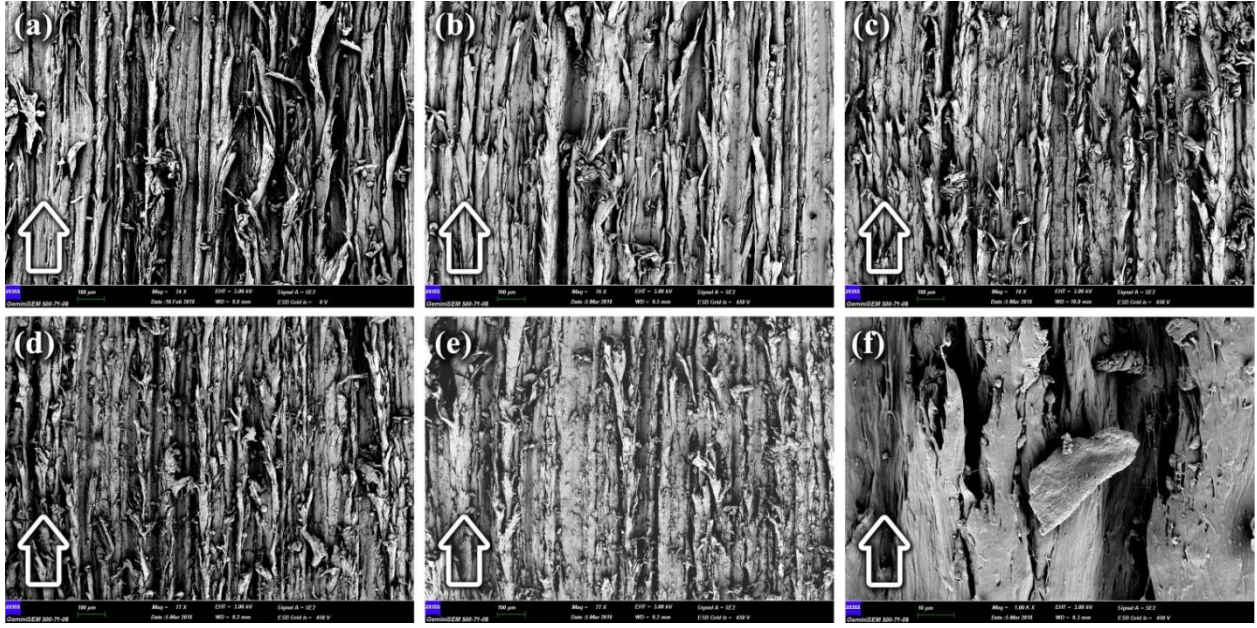
Şekil 10. Hacim kayıpları için (a) ana etkiler grafiği ve (b) etkileşim grafiği.

Aşınma testleri sonrası, kompozitlerin ve saf PP'nin aşınma yüzeylerinin SEM fotoğrafları Şekil 11'de görülmektedir. Numunelerin aşınma yüzeylerinin aşınmamış kısımlara kıyasla mikro-çizilme ve mikro-kesme mekanizmaları ile sonuçlanan abrazif aşınmadan dolayı daha pürüzlü olduğu tespit edilmiştir. Polimerlerde en çok karşılaşılan aşınma mekanizmalarının; adezif aşınma, abrazif aşınma ve yorulma aşınması olduğu kabul edilir (Myshkin *et al.* 2005). Ayrıca, polimerlerin aşınma oranlarının çekme mukavemeti ve kopma uzaması gibi mekanik özelliklerle ters orantılı olabileceği de bilinmektedir (Mathew *et al.* 2010). SEM fotoğrafları incelendiğinde, tüm kompozitlerin aşınma yüzeyleri üzerinde abrazif aşınmadan kaynaklı mikroskobik ve makroskobik ölçeklerde uzun çiziklerin olduğu görülmektedir. Bu durum, yukarıda bahsedilen

mikro-çizme ve mikro-kesme mekanizmalarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca plastik deformasyon ve adezif aşınma belirtilerine de (Şekil 11f) rastlanılmış olup, numuneler arasında ise belirgin bir farklılık görülmemektedir. Aşındırıcı üzerindeki bir çıkıntının numune yüzeyi üzerinden tekrarlı geçişinin sebep olduğu yorulma olayından kaynaklanan "yorulma dalgası" oluşumu (Myshkin *et al.* 2005, Da Silva *et al.* 2007) kompozitlerde gözlenmemiştir. Yorulma aşınması polimerlerde yaygın olup, daha çok yüzey kusurları ve belirli bir limitin üzerindeki gerilme yığılmasından kaynaklanır. Bu çalışmada kullanılan zımpara kâğıdının abrazif yapısının yorulma aşınmasını önlediği düşünülmekte olup, bu durum protez malzemeleri için ümit vadedicidir. Çalışmada kullanılan vakum üniteli aşınma sistemine rağmen, numunelerin aşınma yüzeyleri üzerinde ve abrazif disklerde belirli miktarlarda aşınma ürünlerine ve üçüncü elemanlara da rastlanmıştır. Bununla birlikte, 2-elemanlı abrazif aşınmanın nispeten sağlanabildiği düşünülmektedir. 2-elemanlı abrazif aşınmada büyük boyutlu abrazif partiküller kullanıldığında kompozit yüzeyi ile abrazif partiküller arasındaki gerçek temas alanı azalmaktadır. Bu durum temas yüzeyindeki kesme gerilmelerinin artmasına, erken çatlak oluşumuna ve aşınmanın artmasına sebep olur (Ramesh and Suresha 2014). Bu çalışmada kullanılan 150 kum tane boyutundaki zımpara kâğıdı ile benzer bir etki elde edilmiştir. Aşınma ürünlerinin numunelerin kenar kısımlarında birikerek kalıcı bir yapı meydana getirdiği de tespit edilmiştir. Bu durum, enjeksiyon kalıplamada yüzeye yakın kısımlarda takviye fazının az oluşundan kaynaklanır, ayrıca normal yükten kaynaklanan plastik deformasyonun bir sonucudur.

Abrazif aşınmada, nispeten daha yüksek sertliğe sahip bir malzeme yumuşak bir malzemedan parça kopartır ve oluşan aşınma ürünleri ya ara yüzeyde ya da sert malzeme yüzeyinde kalır (Kumar and Panneerselvam 2016, Suresha *et al.* 2007). Oluşan aşınma ürünleri yuvarlanma etkisi veya yağlayıcı etki göstererek kompozitlerin aşınma direncini geliştiren bir etki de gösterebilir (Wang *et al.* 2017). Örneğin; grafit ve molibden disülfür (MoS₂) gibi takviye malzemeleri katı yağlayıcı gibi davranabilirler (Ramesh and Suresha 2014). Doğal fiberlerin,

kompozitlerin sürtünme katsayısını azalttığı da bilinmektedir (Chin and Yousif 2009, Yousif



Şekil 11. PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (normal yük: 5 N, disk hızı: 72 dev/dak): (a) PM0, (b) PM5, (c) PM10, (d) PM20, (e) PM30 ve (f) PM30 ($\times 1000$ büyütme). Oklar zımpara kâğıdının kayma yönünü göstermektedir.

and El-Tayeb 2008, Yousif 2009). Sürtünmedeki azalma, doğal fiberlerin karşı disk üzerinde bir film tabakası oluşturmasıyla birlikte temasta olan çıkıntılarının ve yüzey pürüzlülüğünün azalması ile ilişkilendirilir (Shalwan and Yousif 2013). Bu çalışmada kullanılan yükler, kayma sürtünmesi ve transfer film kalınlığının artmasına sebep olmuş, bu filmler kısmen sistem tarafından vakumlanmış, kısmen de zımpara kâğıdı üzerindeki boşluklarda kalmıştır. Normal şartlarda, belirli bir çevrim süresinin sonunda hapsolan film tabakası zımpara kâğıdının sahip olduğu pürüzlülük yüksekliğini geçer ve pürüzsüz ve yağlayıcı bir yüzey oluşturarak sürtünme katsayısının ve buna bağlı olarak da aşınma oranlarının azalmasını sağlar. Aşınma testleri sonrası zımpara diskleri incelendiğinde (burada paylaşılmamıştır) 5 N yük ve 72 dev/dak kayma hızında bile devamlı bir sürtünme film yapısının oluşmadığı görülmüştür. Bu durumun, öncelikli olarak vakum sistemi ile aşınma ürünlerinin ara yüzeyden kaldırılması, ardından bu çalışmada kullanılan yetersiz yük ve kısa test süresi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kayma yönüne dik yönde yönlendirilmiş doğal fiber takviyeli polimer kompozitler daha iyi sürtünme ve aşınma özellikleri gösterebilmektedirler (Omriani *et al.* 2016, Parikh

and Gohil 2015). Bu çalışmada ise, ergiyik harmanlama yöntemi ile üretilen kompozitlerin rastgele yönlendirilmiş yapısı, aşınma testlerinde kullanılan normal yüklere karşı yeterli direnci gösterememektedir.

4. Tartışma

Özet olarak, polimer ve kompozitlerinin aşınma davranışları oldukça karmaşık olup hala anlaşılmayan noktalar mevcuttur (Mahesha *et al.* 2017, Suresha *et al.* 2007). Literatürde, özellikle fiber takviyeli polimer kompozitlerin abrazyon aşınma davranışları hakkında eksik veya çelişkili bilgiler de bulunmaktadır. Genel olarak fiber takviyeli polimer kompozitlerin aşınma davranışlarının; tokluk, rijitlik, sertlik, bileşenlerin konsantrasyonu ve fiber-matris adezyonu gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bilinmektedir (Parikh and Gohil 2015, Goriparthi *et al.* 2012, Tong *et al.* 2006). Bununla birlikte, abrazyon aşınmada malzemenin kesilmeye veya yırtılmaya karşı direnci söz konusu olduğundan fiber takviyeli polimer kompozitlerde özellikle mukavemet ve sertlik özellikleri ön plana çıkmaktadır (Kumar and Panneerselvam 2016). PP ve kompozitleri viskoelastik malzemeler oldukları

için yük altındaki davranışları da viskoelastik olacaktır (Wang *et al.* 2017). Zımpara kâğıdındaki SiC partikülleri yumuşak polimer yüzeyi üzerinde devamlı bir kazıma etkisi oluşturur ve yükteki artışla birlikte abrazyon aşınmanın şiddeti de artar. Literatürde üzerinde durulan diğer iki faktör, büyük abrazyon partiküllere sahip zımpara kâğıtlarının aşınma esnasında daha fazla malzeme kaybına yol açtığı (Ramesh and Suresha 2014), diğeri ise abrazyon aşınmanın şiddetli olduğu şartlarda termoplastiklerin aşınma dirençlerinin kısa fiber takviyesi ile iyileştirilemeyeceğidir (Mahesha *et al.* 2017). Yumuşak PP, zımpara partiküllerinin arasına dolarken, yüksek misvak konsantrasyonlarında ise vakumun etkisi ile karalı sürtünmeye ulaşamamaktadır. Zımpara kâğıdında partikül keskinliği korunmakta dolayısı ile aşınma oranları da artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kompozitlerin aşınma oranları saf PP'ye göre yüksek çıkmaktadır. Belirli bir kayma mesafesinden sonra zımpara kâğıdı yüzeyi üzerinde biriken aşınma ürünleri partiküllerin keskinliğini azaltıp kararlı aşınma rejimine geçilmesini sağlayabilir (Ramesh and Suresha 2014, Kumar and Panneerselvam 2016). Fakat bu çalışmada zımpara kâğıdı yüzeyi üzerinde oluşan sürtünme filminin devamlı bir yapıya ulaşmadığı görülmüştür. Ayrıca, yük, hız, kayma mesafesi gibi test parametrelerinin ağır abrazyon şartlarında oluşan sürtünme ısısını dolayısıyla çoğu polimer kompozitin sürtünme ve aşınma davranışını etkilediği de bilinmektedir (Shalwan and Yousif 2013). Özetle, zımpara kâğıdının partikül boyutu, yük ve kayma mesafesi hem 2- hem de 3-elemanlı abrazyon aşınma için önemli parametreler olup (Ramesh and Suresha 2014, Tong *et al.* 2006, Kumar and Panneerselvam 2016, Daniel and Panneerselvam 2018), polimer kompozitlerin rijitlikleri ile ters orantılı aşınma dirençlerinin görülmesini sağlayabilirler. Sonuç olarak, PP/PP-g-MA/misvak kompozitlerin tribolojik özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı test parametrelerinde ve abrazyon olmayan kayma şartlarında testlerin tekrarlanması faydalı görülmektedir.

5. Sonuçlar

PP/PP-g-MA/misvak kompozitler farklı misvak konsantrasyonlarında (ağ. %5, 10, 20 ve 30) ergiyik harmanlama yöntemi ile başarıyla üretilmiş ve takviye oranları ile farklı test parametrelerinin kompozitlerin abrazyon aşınma davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen temel bulgular aşağıda özetlendiği gibidir:

- Beklenildiği gibi artan kuvvet ve kayma hızı ile birlikte kompozitlerin aşınma oranlarının da arttığı bulunmuştur. 5 N yük ve 72 dev/dak kayma hızında, 390 mg ağırlık kaybı ve 0.4 cm³'lük hacim kayıplarına ulaşılmıştır. Artan misvak konsantrasyonu ile kompozitlerin hem sertliği hem de aşınma oranları artmaktadır. %30 misvak konsantrasyonunda 68 Shore D'ye yaklaşan sertlik değerlerine ulaşılmıştır.
- Polimer kompozitlerin mekanik ve aşınma davranışlarının her zaman orantılı olmadığı bilinmektedir. Bu durumun ayrıca, zımpara kâğıdının abrazyon doğası ve malzemelerin rijitliğinden kaynaklanan mikro-kazıma ve mikro-kesilme mekanizmalarının bu çalışmada kullanılan test parametrelerinde baskın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, düşük misvak konsantrasyonlarında (%5-10) nispeten düşük aşınma oranları elde edilebilmiştir. Protez uygulamalarında ihtiyaç duyulan basma direnci ile rijitliğe olan ihtiyaç düşünüldüğünde bulunan sonuçlar oldukça olumludur.
- Literatürde bir ilk olarak, 2-elemanlı abrazyon aşınmanın desteklenmesi için vakum sistemli bir abrazyon pin-on-disk sistemi kullanılmıştır. Sistem, havacılık parçaları ve boru hatları gibi üçüncü elemanların doğal olarak ara yüzeyden uzaklaştırıldığı uygulamaların simülasyonu için uygun olup, aşınma oranları ve tiplerini değiştirebilecek çeşitli etkileri ortadan kaldırmaktadır. Yüksek polimer oranlarında zımpara partiküllerinin arası dolarken, yüksek misvak konsantrasyonlarında vakumun etkisi ortaya çıkmış, partikül keskinliği korunmuş, dolayısı ile kompozit aşınma oranlarında artış gözlenmiştir.
- Hem ağırlık hem de hacim kayıpları dikkate alındığında aşınma oranları üzerinde etkili olan parametrelerin sırasıyla; normal yük, misvak

konsantrasyonu ve kayma hızı olduğu bulunmuştur.

- Kompozitlerin aşınma yüzeyleri üzerinde yapılan SEM analizlerinde, öncelikle mikro-kazıma ve mikro-kesme ile sonuçlanan şiddetli abrazyon aşınma, ardından adeziv aşınma ve plastik deformasyon mekanizmalarının hâkim olduğu görülmüştür. Misvak konsantrasyonuna bağlı olarak belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.
- Sonuç olarak misvak, farklı mekanik ve biyolojik test sonuçlarına ihtiyaç duyulsa da, antimikrobiyal ve antikaryojenik etkiler gösteren fito-bileşenlerinin zenginliği nedeniyle diş hekimliği protetik ve ortodontik uygulamalarda protez kaide malzemesi olarak kullanılan polimerler içerisinde takviye fazı olarak kullanımı konusunda ümit vadetmektedir.

6. Kaynaklar

- Abhary, M. and Al-Hazmi, A.-A., 2016. Antibacterial activity of miswak (salvadora persica l.) extracts on oral hygiene. *Journal of Taibah University for Science*, **10**, 513-520.
- Aboul-Enein, B.H., 2014. The miswak (salvadora persica l.) chewing stick: Cultural implications in oral health promotion. *The Saudi Journal for Dental Research*, **5**, 9-13.
- Ahmad, H. and Rajagopal, K., 2014. Salvadora persica l. (meswak) in dental hygiene. *The Saudi Journal for Dental Research*, **5**, 130-134.
- Al Sadhan and R.I., Almas, K., 1999. Miswak (chewing stick): A cultural and scientific heritage. *Saudi Dental Journal*, **11(2)**, 80-88.
- Alili, N., Türp, J.C., Kulik, E.M. and Waltimo, T., 2014. Volatile compounds of salvadora persica inhibit the growth of oral candida species. *Archives of Oral Biology*, **59**, 441-447.
- Alireza, R.G.A., Afsaneh, R., Hosein, M.S.S., Siamak, Y., Afshin, K., Zeinab, K., Mahvash, M.J. and Reza, R.A., 2014. Inhibitory activity of salvadora persica extracts against oral bacterial strains associated with periodontitis: An in-vitro study. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, **4**, 19-23.
- Almas, K. and Al-Zeid, Z., 2004. The immediate antimicrobial effect of a toothbrush and miswak on cariogenic bacteria: A clinical Study. *Journal of Contemporary Dental Practice*, **5(1)**, 1-9.
- Al-Otaibi, M., Al-Harthy, M., Söder, B., Gustafsson, A. and Angmar-Månsson, B., 2003. Comparative effect of chewing sticks and toothbrushing on plaque removal and gingival health. *Oral Health and Preventive Dentistry*, **1(4)**, 301-307.
- American Society for Testing and Materials (ASTM D1238), Standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer, 2013. ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- American Society for Testing and Materials (ASTM D792), Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement, 2013. ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- Amoian, B, Moghadamnia, A.A., Barzi, S., Sheykholeslami, S. and Rangiani, A., 2010. Salvadora persica extract chewing gum and gingival health: Improvement of gingival and probe-bleeding index. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, **16**, 121-123.
- Antony, J., 2003. Design of Experiments for Engineers and Scientists, in: Burlington MA, Butterworth-Heinemann, 1-190.
- Aslan, M., Tufan, M. and Küçükömeroğlu, T., 2018. Tribological and mechanical performance of sisal-filled waste carbon and glass fibre hybrid composites. *Composites Part B-Engineering*, **140**, 241-249.
- Batwa, M., Bergström, J., Batwa, S. and Al-Otaibi, M.F., 2006. The effectiveness of chewing stick miswak on plaque removal. *Saudi Dental Journal*, **18(3)**, 125-133.
- Cao, Y., Sakamoto, S. and Goda, K., 2007. Effects of heat and alkali treatments on mechanical properties of kenaf fibers. In: Proceedings of ICCM-16 Conference, Japan, July, 1-4.
- Chaurasia, A., Patil, R. and Nagar, A., 2013. Miswak in oral cavity - an update. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, **3**, 98-101.
- Chin, C.W. and Yousif, B.F., 2009. Potential of kenaf fibres as reinforcement for tribological applications. *Wear*, **267**, 1550-1557.
- Chinsembu, K.C., 2016. Plants and other natural products used in the management of oral infections and improvement of oral health. *Acta Tropica*, **154**, 6-18.
- Da Silva, R.C.L., Da Silva, C.H. and Medeiros, J.T.N., 2007. Is there delamination wear in polyurethane? *Wear*, **263**, 974-983.
- Daniel, D.J. and Panneerselvam, K., 2018. Abrasive wear of polypropylene/cloisite 30B/elvaloy AC 3427 nanocomposites. *Journal of Composite Materials*, **52(13)**, 1833-1843.
- Darout, I.A., 2014. The natural toothbrush "miswak" and the oral health. *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research*, **3(3)**, 1-14.
- Dasari, A., Yu, Z.-Z., Mai, Y.-W., Hu, G.-H. and Varlet, J., 2005. Clay exfoliation and organic modification on wear of nylon 6 nanocomposites processed by different routes. *Composites Science and Technology*, **65**, 2314-2328.

- Devaraju, A., Perumal, A.E., Alphonsa, J., Kailas, S.V. and Venugopal, S., 2012. Sliding wear behavior of plasma nitrided austenitic stainless steel type AISI 316LN in the temperature range from 25 to 400 °C at 10⁻⁴ bar. *Wear*, **288**, 17-26.
- Goriparthi, B.K., Suman, K.N.S. and Rao, N.M., 2012. Effect of fiber surface treatments on mechanical and abrasive wear performance of polylactide/jute composites. *Composites Part A—Applied Science and Manufacturing*, **43**, 1800-1808.
- Gottipati, R. and Mishra, S., 2010. Process optimization of adsorption of Cr(VI) on activated carbons prepared from plant precursors by a two-level full factorial design. *Chemical Engineering Journal*, **160**, 99-107.
- Granda, L.A., Espinach, F.X., Méndez, J.A., Tresserras, J., Delgado-Aguilar, M. and Mutjé, P., 2016. Semicomposites of leucaena collinsii reinforced polypropylene composites: Young's modulus analysis and fibre diameter effect on the stiffness. *Composites Part B: Engineering*, **92**, 332-337.
- Halawany, H.S., 2012. A review on miswak (salvadora persica) and its effect on various aspects of oral health. *Saudi Dental Journal*, **24**, 63-69.
- Haq, M.M. and Alsareii, S.A., 2015. A review of the therapeutic effects of using miswak (salvadora persica) on oral health. *Saudi Medical Journal*, **36(5)**, 530-543.
- Hooda, A., Rathee, M. and Singh, J., 2009. Chewing sticks in the era of toothbrush: A review. *The Internet Journal of Family Practice*, **9(2)**, 1-6.
- Joseph, S. and Thomas, S., 2008. Electrical properties of banana fiber-reinforced phenol formaldehyde composites. *Journal of Applied Polymer Science*, **109**, 256-263.
- Kabir, M.M., Wang, H., Lau, K.T. and Cardona, F., 2012. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, **43**, 2883-2892.
- Khalaf, H.A.-R., 2013. Effect of siwak on certain mechanical properties of acrylic resin. *Journal of Oral Research*, **1(1)**, 39-49.
- Kumar, S. and Panneerselvam, K., 2016. Two-body abrasive wear behavior of nylon 6 and glass fiber reinforced (GFR) nylon 6 composite. *Procedia Technology*, **25**, 1129-1136.
- Lancaster, J.K., 1972. *Polymer Science, A Material Science Handbook*. North-Holland, Amsterdam.
- Liu, T., Wood, W., Li, B., Lively, B. and Zhong, W.-H., 2012. Effect of reinforcement on wear debris of carbon nanofiber/high density polyethylene composites, morphological study and quantitative analysis. *Wear*, **294-295**, 326-335.
- Mahesha, C.R., Shivarudraiah, Mohan, N. and Suprabha, R., 2017. Three body abrasive wear studies on nanoclay/nanoTiO₂ filled basalt-epoxy composites. *Materials Today: Proceedings*, **4**, 3979-3986.
- Malik, A.S., Shaukat, M.S., Qureshi, A.A. and Abdur, R., 2014. Comparative effectiveness of chewing stick and toothbrush: A randomized clinical trial. *North American Journal of Medical Sciences*, **6(7)**, 333-337.
- Mathew, M.T., Novo, J., Rocha, L.A., Covas, J.A. and Gomes, J.R., 2010. Tribological, rheological and mechanical characterization of polymer blends for ropes and nets. *Tribology International*, **43**, 1400-1409.
- Moawed, E.A. and Abulkibash, A.B., 2016. Selective separation of light green and safranin o from aqueous solution using salvadora persica (miswak) powder as a new biosorbent. *Journal of Saudi Chemical Society*, **20**, 178-185.
- Moawed, E.A., 2013. Effect of heating processes on salvadora persica (miswak) and its application for removal and determination of aniline blue from wastewater. *Journal of Taibah University for Science*, **7**, 26-34.
- Morioka, Y., Tsuchiya, Y. and Shioya, M., 2015. Correlations between the abrasive wear, fatigue, and tensile properties of filler-dispersed polyamide 6. *Wear*, **338-339**, 297-306.
- Myshkin, N.K., Petrokovets, M.I. and Kovalev, A.V., 2005. Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer. *Tribology International*, **38**, 910-921.
- Nirmal, U., Hashim, J. and Megat Ahmad, M.M.H., 2015. A review on tribological performance of natural fibre polymeric composites. *Tribology International*, **83**, 77-104.
- Olewi, J.K., Salih, S.I. and Fadhil, H.S., 2017. Effect of siwak and bamboo fibers on tensile properties of self-cure acrylic resin used for denture applications. *Journal of Material Sciences and Engineering*, **6(5)**, 1-6.
- Omran, E., Menezes, P.L. and Rohatgi, P.K., 2016. State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fibers in the green materials world. *Engineering Science and Technology*, **19**, 717-736.
- Panaitecu, D.M., Nicolae, C.A., Vuluga, Z., Vitelaru, C., Sanporean, C.G., Zaharia, C., Florea, D. and Vasilevici, G., 2016. Influence of hemp fibers with modified surface on polypropylene composites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **37**, 137-146.
- Parikh, H.H. and Gohil, P.P., 2015. Tribology of fiber reinforced polymer matrix composites—a review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **34(16)**, 1340-1346.
- Pickering, K.L., Aruan Efendy, M.G. and Le, T.M., 2016. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **83**, 98-112.
- Prasad, B.K., 2004. Sliding wear behaviour of bronzes under varying material composition, microstructure and test conditions. *Wear*, **257**, 110-123.

- Ramadan, M., 2015. Efficiency of new miswak, titanium dioxide and sand filters in reducing pollutants from wastewater. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, **4**, 47-51.
- Ramesh, B.N. and Suresha, B., 2014. Optimization of tribological parameters in abrasive wear mode of carbon-epoxy hybrid composites. *Materials and Design*, **59**, 38-49.
- Roumeli, E., Terzopoulou, Z., Pavlidou, E., Chrissafis, K., Papadopoulou, E., Athanasiadou, E., Triantafyllidis, K. and Bikiaris, D.N., 2015. Effect of maleic anhydride on the mechanical and thermal properties of hemp/high-density polyethylene green composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **121**, 93-105.
- Shalwan, A. and Yousif, B.F., 2013. In state of art: Mechanical and tribological behaviour of polymeric composites based on natural fibres. *Materials Design*, **48**, 14-24.
- Sofrata, A., Brito, F., Al-Otaibi, M. and Gustafsson, A., 2011. Short term clinical effect of active and inactive salvadora persica miswak on dental plaque and gingivitis. *Journal of Ethnopharmacology*, **137**, 1130-1134.
- Sofrata, A.H., 2010. Salvadora persica (miswak) - an effective way of killing oral pathogens. In: Karolinska Institutet, publisher. Stockholm, Sweden, 1-65.
- Suresha, B., Chandramohan, G., Siddaramaiah, Samapthkumaran, P. and Seetharamu, S., 2007. Three-body abrasive wear behaviour of carbon and glass fiber reinforced epoxy composites. *Materials Science and Engineering A*, **443**, 285-291.
- Tahir, K., Nazir, S., Li, B., Khan, A.U., Khan, Z.U.H., Ahmad, A. and Khan, F.U., 2015. An efficient photo catalytic activity of green synthesized silver nanoparticles using salvadora persica stem extract. *Separation and Purification Technology*, **150**, 316-324.
- Tong, J., Ma, Y., Arnell, R.D. and Ren, L., 2006. Free abrasive wear behavior of UHMWPE composites filled with wollastonite fibers. *Composites Part A—Applied Science and Manufacturing*, **37**, 38-45.
- Wang, Y., Yin, Z., Li, H., Gao, G. and Zhang, X., 2017. Friction and wear characteristics of ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) composites containing glass fibers and carbon fibers under dry and water-lubricated conditions. *Wear*, **380-381**, 42-51.
- Wu, C.D., Darout, I.A. and Skaug, N., 2001. Chewing sticks: Timeless natural toothbrushes for oral cleansing. *Journal of Periodontal Research*, **36(5)**, 275-284.
- Yan, L., Kasal, B. and Huang, L., 2016. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. *Composites Part B: Engineering*, **92**, 94-132.
- Yousif, B. and El-Tayeb, N., 2008. Adhesive wear performance of T-OPRP and UT-OPRP composites. *Tribology Letters*, **32**, 199-208.
- Yousif, B.F., 2009. Frictional and wear performance of polyester composites based on coir fibres. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, **223**, 51-59.
- Yu, D., Wang, C., Cheng, X. and Zhang F., 2008. Optimization of hybrid PVD process of TiAlN coatings by Taguchi method. *Applied Surface Science*, **255**, 1865-1869.
- Zhang, L.C., Zarudi, I. and Xiao, K.Q., 2006. Novel behaviour of friction and wear of epoxy composites reinforced by carbon nanotubes. *Wear*, **261**, 806-811.
- Zulkifli, N.I., Samat, N., Anuar, H. and Zainuddin, N., 2015. Mechanical properties and failure modes of recycled polypropylene / microcrystalline cellulose composites. *Materials Design*, **69**, 114-123.