

## EPOKSİ MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KATI YAĞLAYICI İLAVESİNİN SÜRTÜNME KAYBININ AZALTIILMASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Bilge YAMAN ISLAK<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-0766-8014)\***  
**Gökhan AÇIKBAŞ<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0002-5695-3658)**  
**Nurcan ÇALIŞ AÇIKBAŞ<sup>3</sup> (ORCID: 0000-0001-6193-8252)**

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fak., Metalurji ve Malzeme Müh., Meşelik Kampüsü, 26480, Eskişehir

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine Ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bilecik

<sup>3</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bilecik

*Geliş / Received: 21.11.2018*  
*Kabul / Accepted: 07.01.2019*

### ÖZ

Yapılan çalışmada yağlayıcı özelliği bulunan grafit dolgu elemanının yüksek miktarlarda (hac.%25-52) epoksi matris içerisine ilave edilmesiyle epoksi matrisli kompozitin aşınma direnci üzerine etkisi araştırılmıştır. Epoksi matrisli kompozitler açık kalıplama tekniği ile üretilmiştir. Grafit dolgulu kompozitlerin 3 noktalı eğme mukavemeti, eğme modülü, sertlik, yoğunluk ölçümleri yapılmış ve mikroyapı gelişimleri incelenmiştir. Aşınma testleri 5N yük altında, 200m aşınma mesafesine kadar ball-on-disk aşınma cihazında, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Fiziko-mekanik özelliklerin ve mikroyapı gelişiminin aşınma davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak en iyi aşınma direnci %30 grafit katkılı kompozit malzemede elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Katı Yağlayıcı, Kompozit Malzemeler, Grafit, Epoksi

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOLID LUBRICANT ADDITIVE IN EPOXY MATRIX COMPOSITES ON THE REDUCING OF FRICTION LOSS

### ABSTRACT

In this study, the effect of epoxy matrix composite on the wear resistance was investigated by adding the lubricator graphite filler element in high amounts (25-52% by volume) of epoxy matrix. Epoxy matrix composites are produced by open molding technique. 3-point bending strength, bending modulus, hardness and density measurements of graphite-filled composites were carried out and microstructure developments were examined. Wear tests were carried out at room temperature under a 5N load, in a ball-on-disc wear device up to a wear distance of 200m. The effects of physico-mechanical properties and microstructure development on wear behavior were investigated. As a result, the best abrasion resistance was obtained in 30% graphite added composite material.

**Keywords:** Solid Lubricant, Composite Materials, Graphite, Epoxy

### 1. GİRİŞ

Polimerler hafiflik, iyi korozyon dayanımı ve üretimde kolaylıkları nedeniyle birçok kullanım alanına sahiptir. Polimer matris içerisine takviye ve/veya dolgu maddelerinin ilavesi ile özellikler daha da iyileştirilerek kullanım alanları genişlemiştir. Yüksek spesifik modül ve mukavemet, hafiflik, iyi kimyasal özellikler nedeniyle

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Bilge Yaman Islak [Tel:0 222 23937 50](tel:02222393750); e-mail: [byaman@ogu.edu.tr](mailto:byaman@ogu.edu.tr)

kompozitlerin %90'ını polimer matrisli kompozitler oluşturmaktadır [1,2]. Polimer matrisli kompozitlerin rulman malzemesi, makaralar, contalar, dişliler, kamlar, tekerlekler, havacılık, sağlık gereçleri gibi birçok endüstriyel uygulamalarda kullanımı artmaktadır [3-5].

Polimer matris malzemelerinin seçiminin elde edilmek istenen özellikler açısından reçinenin rolü büyüktür. Yaygın olarak kullanılan bazı polimerler politetrafloroetilen (PTFE), polietereterketon (PEEK), poliamid, polietilen, fenolik, vinil ester, doymamış polyester ve epoksidir [6-9].

Epoksi reçineler termoset özellikte olup bu malzemelerin en belirgin özelliklerinden biri metalik ve metal olmayan yüzeylere yapışabilme yeteneğidir. Diğer yandan ileri epoksi reçineler olağanüstü mekanik ve elektriksel özellikler, üstün boyut kararlılığı ve ısıya karşı yüksek direnç ve kimyasal dayanım gösterirler. Ayrıca kalıplanma veya döküm yoluyla üretilen epoksiler mükemmel boyutsal kararlılık ve düşük büzülme gösterirler. Epoksi matris içerisine takviye elemanlarının ilavesiyle iyi mekanik ve tribolojik özellikler elde edilir.

Yüksek mekanik özellik elde etmenin yanı sıra polimer matrisli kompozitlerde dolgu maddelerinin eklenmesiyle reçinenin daha az kullanılmasına sebep olmakta ve doğrudan maliyet azalmaktadır. Özellikle endüstriyel atık (cam fiber, üre formaldehit, mermer, porselen, bor, ceviz kabuğu, lastik, alçı vb.) kullanımıyla ürün maliyeti daha da azalmaktadır [10-19].

Birçok uygulama alanında aşınma önemli bir konudur. Aşınma, genellikle yüzey ile temas eden madde veya maddeler arasındaki göreceli hareket nedeniyle, malzeme kaybı ile sonuçlanan hasar olarak tanımlanır. Temel olarak beş farklı aşınma mekanizması mevcuttur (abraziv, yapışma, fretting, erozyon ve yorulma). Abraziv aşınma, toplam aşınma maliyetinin neredeyse% 63'üne sebep olduğu için tüm aşınma şekilleri arasında en önemli olanıdır [20]. Abraziv aşınma, yüzeyde sert parçacıkların veya sert çıkıntılarının hareketi ile gerçekleşen malzeme kaybıdır [21].

Farklı türdeki polimerler farklı sürtünme ve aşınma davranışı gösterirler. Ancak monolitik polimerler iyi mekanik ve tribolojik özellik gerektiren aşınma uygulamalarında yeterli performans gösterememektedir [22]. Kompozit malzemelerin tribolojik performansını etkileyen en önemli parametre takviye özellikleridir. Polimer malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışını iyileştirmenin en temel yolu sertlik, rijitlik ve basma dayanımını arttırmak ve sürtünme gerçekleşen diğer yüzeyle yapışmasını azaltmaktır [23-25].

Polimerlerin aşınma davranışını iyileştirmek için MoS<sub>2</sub>, CuO, CuS ve grafit gibi katı yağlayıcı özelliği olan ilaveler kullanılmaktadır [26-29]. Grafit kristal yapısındaki tabakalar arasındaki zayıf Van der Waals bağları nedeniyle tribolojik uygulamalarda mükemmel yağlayıcı özellik göstermektedir [30]. Grafit takviyeli polimerlerin aşınma davranışı üzerine yapılan çalışmalarda grafitin bu kendinden-yaglayıcı özellik göstermesinden dolayı sürtünme katsayısı ve aşınma oranının azaldığı bildirilmiştir [31-35].

Guo ve ark. nın yaptığı çalışmada [36] iyi iletkenlik ve aşınma direnci eldesi için grafit katkılı epoksi matrisli kompozitler geliştirilmiştir. Grafit miktarı %50 olduğunda optimum katı yağlayıcı film tabakası oluşarak en düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı elde edilmiştir. Gao ve ark. grafit ilaveli epoksi matrisli kompozitlerin aşınma davranışını araştırmış ve epoksi kompozit içindeki grafitin sürtünme katsayısını etkili bir şekilde azaltabildiğini ve epoksi kompozitin aşınma direncini büyük ölçüde artırabildiğini göstermişlerdir [37]. Xian ve ark. nano TiO<sub>2</sub> ve grafit ilavesinin epoksilerin tribolojik davranışı üzerine etkisini araştırarak düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı elde etmişlerdir [38]. Suresha ve ark. [26] grafit ilavesinin cam-epoksi kompozitlerin aşınma dayanımı üzerine etkisini incelemiştir. Grafit dolgulu polimer matrisli kompozitlerle ilgili yapılan çalışmalarda genelde grafit miktarı oldukça azdır (0.5-10 ağırlık %). Ayrıca grafit takviyeli epoksi matrisli kompozitler üzerine yapılan çalışmalar genelde hibrit kompozittir [26,34,35].

Bu nedenle gerçekleştirilen çalışmada endüstriyel atık grafit partikülleri yüksek miktarda epoksi reçine içerisine ilave edilerek geliştirilen malzemelerin fiziko-mekanik özellikleri tespit edilmiş ve aşınma davranışları araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada üretimi yapılmış olan kompozit numunelerinde SKC Karbon firmasından temin edilen, talaşlı imalat esnasında oluşmuş olan atık grafit numunesi dolgu fazı olarak, Kanada menşeli Smooth-On firmasından temin edilen epoksi reçine ise matris fazı olarak kullanılmıştır. Temin edilen atık grafit numuneleri boyutlandırma işlemi için halkalı kırıcıda öğütülüp, 45 mikronluk elekten elenmiştir. Grafit tozuna ait tane boyut görüntüleri Zeiss marka taramalı elektron mikroskobu, ikincil elektron detektörü (SEM-SE) kullanılarak alınmıştır. Grafit numunesinin faz tayini Panalytical Empyrean model XRD cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Kullanılan epoksi matris ve grafit dolgu fazının yoğunluk ölçümleri He-gaz piknometresi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

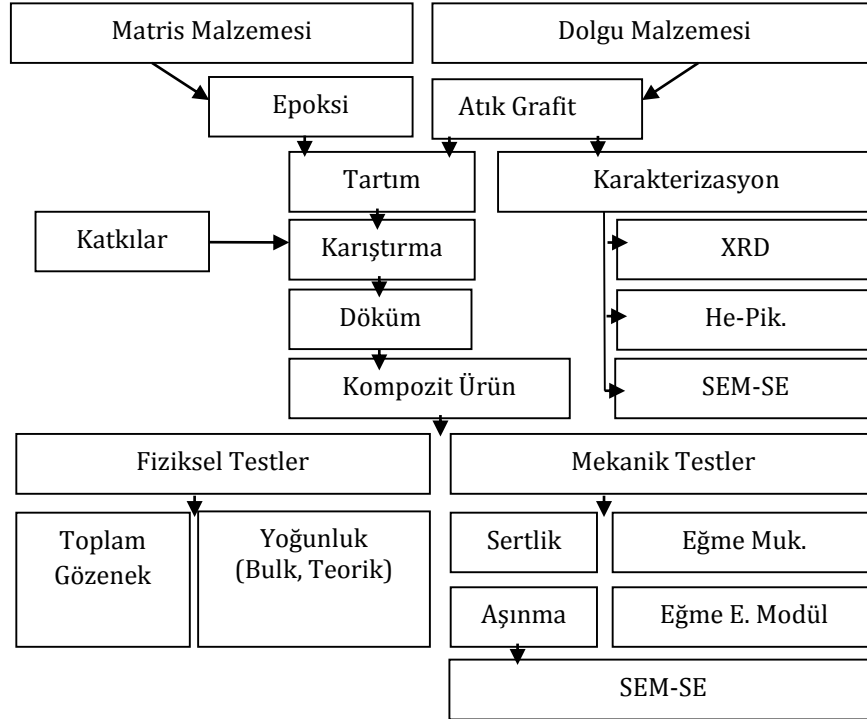
Çalışmada grafit tozuna ait hacimce % değerleri Tablo-1'de, kompozit üretimine ve yapılan test analiz çalışmalarına ait üretim akım şeması Şekil-1'de verilmiştir.

*EPOKSİ MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KATI YAĞLAYICI İLAVESİNİN SÜRTÜNME KAYBININ AZALTILMASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ*

Grafit tozu 105 °C lik etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Epoksi reçine, kompozit karışımlar hazırlanmadan önce, oda sıcaklığındaki laboratuvar koşullarında bir gün süre ile bekletildikten sonra reçete uygun karışımlar hazırlanarak PVA kalıp ayırıcı sürülmüş silikon kalıplara döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıplarda bir gün süreyle kürlenene kompozit ürünler kalıplardan alınıp 70 °C 'de 2 saat süre ile etüvde tutulup son sertliğine ulaşması sağlanıp düzgün cam yüzeyler üzerinde bir hafta süreyle bekletilmişlerdir.

**Çizelge 1.** PMK reçetelerine ait hacimce karışım miktarları

Numune kodu	Grafit miktarı (Hacim %)	Epoksi Miktarı (Hacim %)
Epoksi (G0)	0	100
G20	25	75
G30	33	67
G40	42	58
G50	52	48



**Şekil 1.** PMK ürün üretim ve analiz akış şeması

Elde edilen kompozit ürünlerin sertlik testlerinde 50\*50 mm boyutunda ve 5mm kalınlığında döküm işlemi yapılmış PMK plakalar kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri 5kg'lık sabit yük uygulama kapasiteli Shore-D sistemi kullanılarak ürünün 5 farklı bölgesinden alınan ölçümlerin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

TS 985 EN ISO-178 standardına göre hazırlanmış 80mm boy, 10mm en ve 4 mm kalınlığındaki plakalar kullanılarak, üç noktalı eğme deneyi 2 mm/dak. hızda Shimadzu marka universal test cihazını kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğme testleri 5 farklı numune kullanılarak yapılmış olup sonuçların ortalaması alınmıştır. Aşağıda Eşitlik.1'e göre eğme mukavemeti N/mm<sup>2</sup>(MPa) olarak hesaplanmıştır. Eşitlik.1'de uygulanan yük(P)

B.YAMAN ISLAK, G.AÇIKBAŞ, N.ÇALIŞ AÇIKBAŞ

birim Newton(N), Mesnetler arası mesafe(L) birimi mm, dörtgen kesitli plakanın eni(b) birimi mm, dörtgen kesitli plakanın kalınlığı(d) birimi mm'dir.

$$\sigma_{eğme} = \frac{3.P.L}{2.bd^2} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Üretilen PMK ürünlerin eğmede elastik modül hesaplamaları aşağıda Eşitlik.2 de verilen denklem kullanılarak yapılmıştır. Eşitlik.2'de verilen, eğmede elastik modül(E) birimi GPa, eğme deneyinden elde edilen eğim değeri(m), Mesnetler arası mesafe(L) birimi mm, dörtgen kesitli plakanın eni(W) birimi mm, dörtgen kesitli plakanın kalınlığı(D) birimi mm'dir.

$$E = \frac{L^3}{4WD^3} xm \quad (\text{Eşitlik2})$$

Kompozit ürünlerin yoğunluğu, Arşimet prensibine göre ölçüm yapan terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eşitlik.3'de bulk yoğunluk, Eşitlik.4'de % T.Y. ve Eşitlik 5'de %T.P. ait değerlerin hesaplanmasında kullanılacak denklemler verilmiştir. Tüm kompozit ürünlerin teorik yoğunluk değerleri epoksi matrisin yoğunluk değeri, içerdiği grafit dolgu fazının yoğunluk değeri ve hacim oranlarına bağlı olarak kompozit karışım kuralına göre hesaplanmıştır.

$$\text{Bulk Yoğunluk} = \frac{W_1}{W_3 - W_2} x \rho_{su} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

$$\% \text{ TY} = \frac{B.Y}{T.Y} x 100 \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$\% \text{ TP} = 100 - \% \text{ T.D.} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

$W_1 = \text{Kuru ağırlık}$

$W_2 = \text{Askıda ağırlık}$

$W_3 = \text{Sıvı sızdırılmış haldeki ağırlıkları}$

$B.Y. = \text{Bulk Yoğunluk}$

$T.Y. = \text{Teorik Yoğunluk}$

$T.P. = \text{Toplam Porozite}$

Aşınma testleri; kuru ortamda, oda sıcaklığında 5N sabit yük uygulanarak 3mm çapa sahip tungstenkarbür aşındırıcı bilya kullanılarak ball-on-disk yöntemi ile 200m kayma mesafesine kadar sürdürülerek gerçekleştirilmiştir. Yüzey profilometresi (Mitutoyo SJ-401) kullanılarak iki boyutlu aşınma profilleri çıkarılmış ve aşınma alanları hesaplanmıştır. Daha sonra bu alanları aşınma izi çevresi ile integrali alınarak aşınma hacimleri hesaplanmıştır. Aşınma hacimlerinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak meydana gelen aşınma oranlarına ulaşılmıştır;

$$W = \frac{V}{F.L} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Burada; aşınma oranlarını (W), yükü (F) ve aşınma mesafesini (L) temsil etmektedir. Aşınma testlerinden sonra epoksi ve kompozitlerin aşınmış yüzeylerinin mikroyapısal analizi taramalı elektron mikroskobu (SEM-Zeiss Supra 40VP) ile gerçekleştirilmiştir. Sürtünme katsayısı (CoF,  $\mu$ ) değişimleri aşınma testleri sırasında otomatik olarak kaydedilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Fiziko-Mekanik Özellikler

Grafit-epoksi kompozitlerin fiziko-mekanik özellikleri Çizelge 2' de verilmiştir. Kompozitlerin bulk yoğunlukları 1.32 gr/cm<sup>3</sup> (G20) ve 1.56 gr/cm<sup>3</sup> (G50) arasında değişmektedir. Kompozitlerin bulk yoğunlukları

## EPOKSİ MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KATI YAĞLAYICI İLAVESİNİN SÜRTÜNME KAYBININ AZALTILMASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

açık ve kapalı gözeneklere bağlıdır. Dolayısıyla bulk yoğunluğu yüksek olan kompozitlerin toplam gözenek miktarının düşük olması beklenir. Artan grafit miktarı ile bulk yoğunluk, teorik yoğunluk, % teorik yoğunluk değerleri artarken toplam gözenek miktarı azalmıştır.

Kompozitlerin eğme mukavemeti değerleri 50 MPa ile 84 MPa arasında ve eğme modülleri 3.91 GPa ve 5.56 GPa arasında değişmektedir. Saf epoksinin ise eğme mukavemeti 106 MPa'dır. Epoksi matris içerisine polimer fazdan daha sert olan grafit faz ilavesiyle rijitlik artarak eğme mukavemeti azalmıştır. Kompozitler hazırlanırken hacimce %42 grafit ilavelisinden sonra karışımın vizkozitesi artarak karıştırma işlemi zorlaşmıştır. Bu nedenle kullanılan epoksi reçine için optimum grafit miktarı %42 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle grafit katkısı %42'yi aştığında eğme dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeni matris-dolgu elemanı arasındaki bağın zayıflamasından kaynaklanır. Benzer sonuçlar literatürde farklı çalışmalarda gözlenmiştir [10,39].

Epoksi matris içerisine grafit ilavesiyle eğme modülü artmıştır. Grafit miktarı artışıyla eğme modülü değerleri nispeten artış gösterdiği söylenebilir. Eğme modülü ilave edilen dolgu elemanının özellikleri ve gözenek miktarından etkilenmektedir. Artan gözenek miktarı ile eğme modülü değerleri azalmıştır.

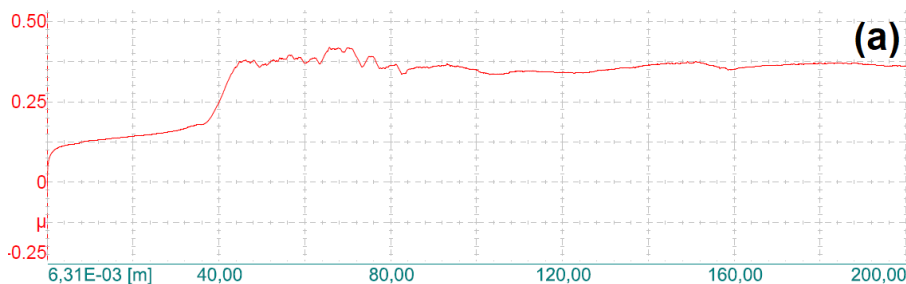
Polimer faz içerisine grafit ilavesiyle sertlik değerleri nispeten artmıştır. Kompozitlerin sertlikleri takviye/dolgu elemanının sertliği, gözenek miktarı ve arayüzey bağlanma karakteristiği tarafından kontrol edilmektedir. Grafit miktarı arttıkça gözenek miktarı azalmış ve sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir.

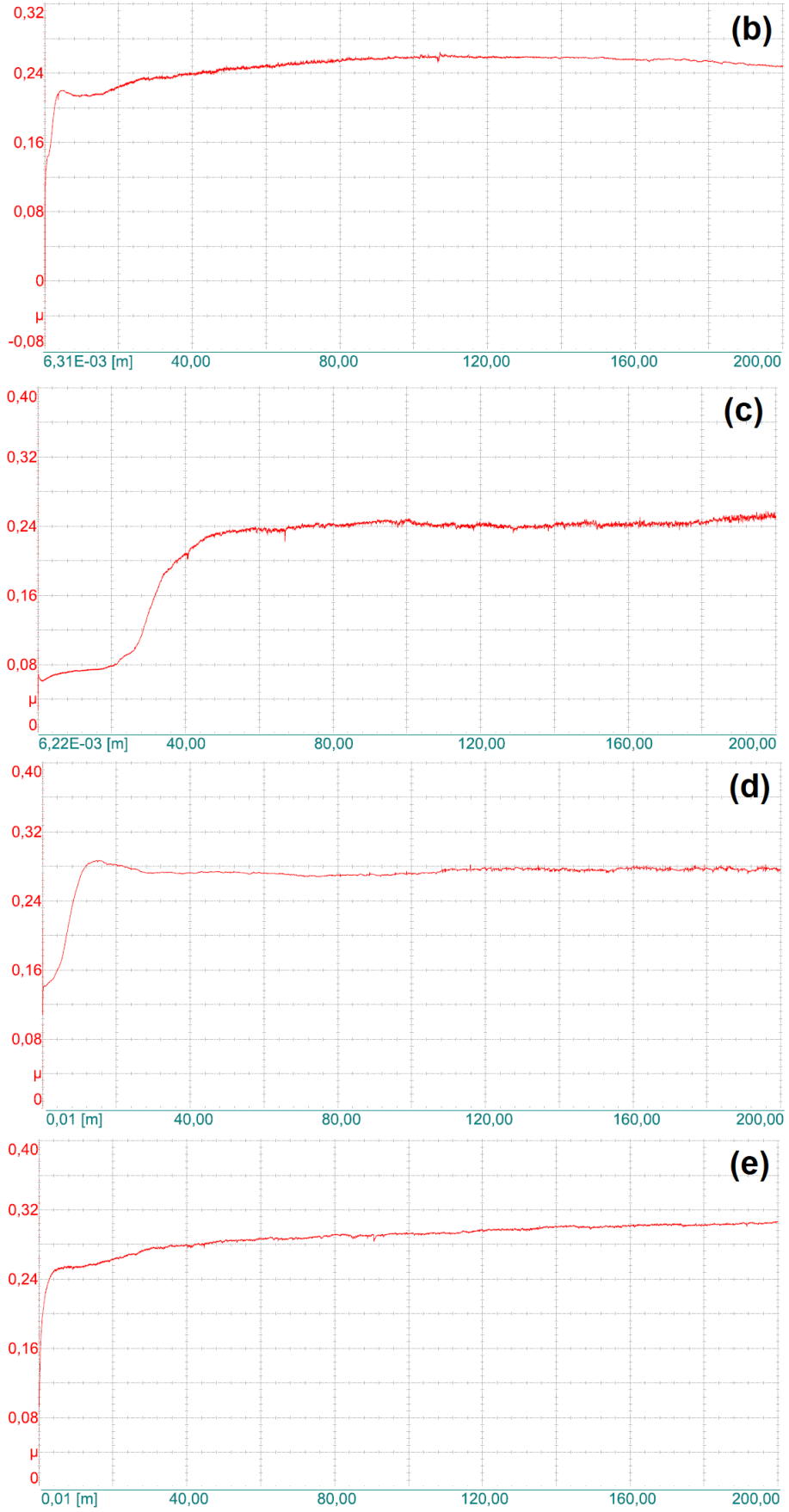
**Çizelge 2.** Grafit-epoksi kompozitlerin fiziko-mekanik özellikleri

Özellikler	Saf epoksi	G20	G30	G40	G50
Bulk Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.52	1.32	1.39	1.46	1.56
Teorik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.54	1.85	1.88	1.92	1.96
% Teorik Yoğunluk	98.9	71.35	73.94	76.04	79.60
% Toplam Gözenek Miktarı	2.10	29.65	27.06	24.96	20.41
Eğme Dayanımı (MPa)	106	80	84	76	50
Eğme Modülü (GPa)	3.20	3.91	4.81	5.56	5.14
Shore D Sertlik	80.5	81.4	82.6	83.85	84.7

### 3.2. Aşınma Davranışı

Bütün numunelere ait sürtünme davranışı Şekil 2' de görülebileceği gibi dalgalanmadan uzak, kararlı bir seyir sergilemiştir. Katı yağlayıcı içermeyen saf epoksi numunesinde (Şekil 2-a) en yüksek ortalama sürtünme katsayısı (0.34) elde edilmiştir. Tüm grafit katkılı epoksi kompozitlerin ortalama sürtünme katsayısı değeri katkı içermeyen epoksi matristen daha düşük elde edilmiştir (Şekil 2, b-e). G20 grafit (%25) katkılı kompozitte ortalama sürtünme değerleri 0.34 den 0.24' e düşüş gösterirken en düşük ortalama sürtünme katsayısı G30 grafit (%33) katkılı epoksi kompozitte (0,21) elde edilmiştir. 40 metreye kayma mesafesine kadar düşük sürtünme katsayısı göstermiş, 40. Metreden sonra kararlı halde seyretmiştir. Bununla birlikte, sürtünme katsayısı artan grafit miktarı ile artış göstermiş, grafit katkılı kompozitler içerisinde en yüksek değerler; 0.27 ve 0.28 olarak G40 ve G50 numunelerinde elde edilmiştir.

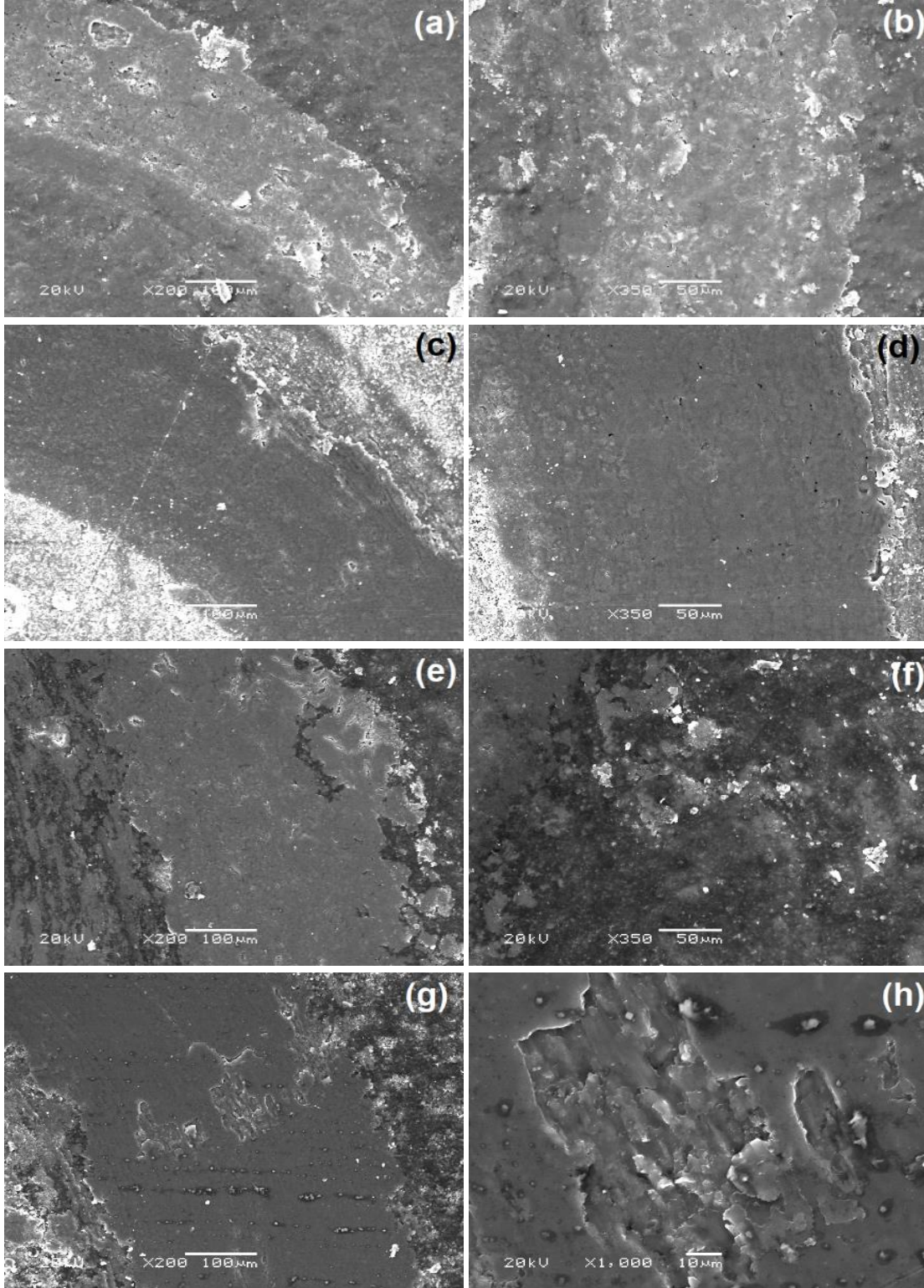




Şekil 2. Sürtünme katsayısı-kayma mesafesi ilişkisi; a) Saf epoksi, b) G20, c) G30, d) G40, e) G50.



*EPOKSİ MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KATI YAĞLAYICI İLAVESİNİN SÜRTÜNME KAYBININ AZALTILMASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ*



**Şekil 3.** Aşınma izlerinin SEM görüntüleri; a-b) G20, c-d) G30, e-f) G40, g-h) G50.

Grafit ilavesi; kayma uzunluğu boyunca temas bölgesinde kendinden yağlayıcılık özelliği göstererek ara yüzeyde sürtünme kuvvetini düşürerek sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır. Katı yağlayıcı ilavesi ile daha düşük sürtünme katsayısının elde edilmesinin ara yüzey temas basıncının ve sürtünmeden kaynaklı temas sıcaklığının düşürülmesiyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Bununla birlikte %33 ilaveden sonra sürtünme katsayısının artışı; aşınma mekanizmasının değişmiş olma ihtimali, matris fazının azalmasıyla grafit aşınma özelliklerinin baskın olması gibi etkilerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Sürtünme katsayısındaki

B.YAMAN ISLAK, G.AÇIKBAŞ, N.ÇALIŞ AÇIKBAŞ

artış ve kayma sırasında meydana gelen aşınma mekanizmalarının anlaşılabilmesi için mikroyapı incelemeleri ve aşınma oranları hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3’ de grafit katkılı epoksi matrisli kompozitlerde meydana gelen aşınma izlerinin aynı büyütme değerindeki ikincil elektron görüntüleri verilmiştir.

Bütün kompozit malzemelerde aşınma yüzeylerinin adhesif kimyasal tabaka ile kaplı olduğu görülmektedir. Tribokimyasal koruyucu tabaka nedeniyle aşınma bölgesi düzleşerek temas gerilimlerini azalttığı, kaymayı kolaylaştırarak sürtünme katsayısını ve aşınmayı düşürdüğü düşünülmektedir. Grafit partiküllerinin kendinden yağlayıcı özelliği nedeniyle aşınma yüzeylerinde oluşan bu tribokimyasal tabaka G30 numunesinde kuvvetli, homojen ve devamlı olduğu görülürken (Şekil 3, c-d), diğer kompozitlerde tabakada kırılmalar gözlemlenmiştir. Tribokimyasal tabakada kırılmalar ve kopmalar adhesif aşınmayı arttırdığı, ayrıca oluşan lokal aşınma çizikleri ve aşınma izi genişliğinin artması abrasif aşınmalara yol açtığı görülmektedir. Mikroyapısal incelemelere ilave olarak aşınma oranları karşılaştırıldığında (Çizelge 3) en düşük aşınma miktarının G30 numunesinde meydana geldiği saptanmıştır.

**Çizelge 3.** Saf epoksi ve grafit katkılı epoksi kompozitlere ait aşınma ve sürtünme değerleri

Malzeme	% Epoksi	% Grafit	Yük (N)	Yol (m)	WR (mm <sup>3</sup> /Nm)	Fc
Epoksi	100	-	5	200	9,83132E-05	0,34
G20	75	25	5	200	1,21E-08	0,24
G30	67	33	5	200	7,73E-09	0,21
G40	58	42	5	200	1,53E-08	0,27
G50	48	52	5	200	2,49E-08	0,28

Bu sonuçlara göre; grafit katkılı bütün kompozit malzemelerde saf epoksi malzemeye göre daha az aşınma miktarı elde edilmiştir. En az aşınma oranı; en düşük ortalama sürtünme katsayısı elde edilen G30 numunesinde elde edilmiştir. G20, G40 ve G50 numunelerini karşılaştırdığımızda; G20 numunesinde saf epoksiye göre aşınma önemli derecede azalmış, grafit miktarı arttıkça aşınma artmıştır. Bu sonuçlara göre, uygulanan aşınma testi koşullarında optimum grafit katkı miktarı %30 olarak görülmektedir. Grafit miktarının artması ile kaymanın artması, sürtünmenin ve aşınmanın azalması beklenirse bile, mikroyapısal incelemelerde de gözlemlenen tribokimyasal tabakanın kırılma ve kopması, grafit miktarının artmasıyla bu sürecin hızlanması, mekanik özellikleri daha yüksek matris fazın azalmasıyla abrasiv dayanımın düşmesi vb. gibi sebeplerle optimum grafit oranından sonra aşınmanın artmış olabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar mekanik karakterizasyon sonuçlarıyla uyumludur. En yüksek eğme dayanımı G30 numunesinde elde edilmiştir. Fiziksel ve mekanik karakterizasyon sonuçlarına göre optimum grafit katkı miktarı hac. %30 olarak belirlenmiş, aşınma özellikleri açısından bakıldığında da en iyi aşınma direnci aynı kompozitte elde edilmiştir. Sonuç olarak en yüksek aşınma oranı elde edilen G50 numunesinde bile saf epoksi malzemeye göre aşınma direnci %100 artırılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan aşınma testi sonuçlarına göre; en düşük aşınma miktarı ve sürtünme katsayısı hac.%33 grafit katkılı epoksi kompozit malzemede elde edilmiştir. Grafit miktarının artması abrasif aşınmanın düşmesiyle olumsuz etki göstermiştir. Aşınma oranları yaklaşık %100 geliştirilmiştir. Ortalama sürtünme katsayısı 0,34 → 0,21’ e düşürülmüştür. Bu sonuçlara göre optimum katkı oranı hac. %33 grafit katkılı epoksi matrisli kompozitte elde edilmiş ve mekanik ve aşınma özellikleri saf epoksi malzemeye göre geliştirilmiş, sürtünme direnci azaltılmıştır.



*EPOKSİ MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KATI YAĞLAYICI İLAVESİNİN SÜRTÜNME KAYBININ AZALTILMASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ*

**KAYNAKLAR**

- [1] SHALIN, R.E., “Polymer Matrix Composites”. London ; New York : Chapman & Hall, - Soviet advanced composites technology series ; 4, 1st Edition, 440 pages, 1995.
- [2] ZHANG, S.W., “State of the art of polymer tribology”, Tribol. Int., 31, 49–60, 1998.
- [3] Açıkbay G, Göçmez H., “Characterization and properties of industrial polymer matrix composite sanitarywares”, Materials Testing, 59(11-12), 1067-74, 2017.
- [4] BIJWE J., LOGANI C.M., TEWARI U.S., “Influence of fillers and fibre reinforcement on abrasivewear resistance of some polymeric composites”, Wear, 138(1–2), 77–92, 1990.
- [5] TRIPATY B.S., FUREY M.J., “Tribological behaviour of unidirectional graphite-epoxy and carbon-PEEK composites”, Wear, 162, 385–96, 1993.
- [6] SURESHA B., CHANDRAMOHAN G., SAMAPATHKUMARAN P., SEETHARAMU S., VYNATHEYA, “Friction and wear characteristics of carbon-epoxy and glass-epoxy woven roving fiber composites”, J. Reinf. Plast. Compos., 25, 771–82, 2006.
- [7] LU Z., FRIEDRICH K., PANNHORST W., HEINZ J., “Wear and friction of unidirectional carbon fiber–glass matrix composite against various counterparts”, Wear, 162, 1103–1113, 1993.
- [8] ACIKBAS G., OZCAN S., CALIS ACIKBAS N., “Production and characterization of a hybrid polymer matrix composite”, Polymer Composites, DOI: 10.1002/pc.24471, 2017.
- [9] ACIKBAS NC, ACIKBAS G., “Epoxy Matrix Composites Containing Urea Formaldehyde Waste Particulate Filler. Waste and Biomass Valorization”, 8(3), 669-78, 2017.
- [10] KOLEVA, M., ZHEGLOVA, A., FIDANCEVSKA, E., VASSILEV, V., “Composites Containing Waste Materials”, INTECH Open Access Publisher, 1-28, 2011.
- [11] SATHIYAMOORTHY, M., THANAPPAN, S.& SENTHILKUMAR M., “Utilization of waste rubber tires as an additional ingredient of concrete mixtures”, International J. of Engg. Research & Indu. Appls., 4(1), 335-350, 2011.
- [12] ACIKBAS G, GÖCMEZ H., “Polyester Matrisli Kompozit Özelliklerine Vitrikiye Seramik Sağlık Gereci Atık Miktarının Etkisi”, Academic Platform-Journal of Engineering and Science, 5(3), 138-45, 2017.
- [13] YAMAN B, ACIKBAS G, ACIKBAS NC., “Effect of Particle Size Variations on the Tribological Properties of Porcelain Waste Added Epoxy Composites”. ICCME 2017: 19th International Conference on Chemical and Materials Engineering, Rome, Italy, May 04-05, 2017.
- [14] ACIKBAS, G., “Interfacial and physico-mechanical properties of walnut shell fiber reinforced polyester matrix composites”, Materials Testing, 60(5), 510-518, 2018.
- [15] ACIKBAS G, GOCMEZ H., “The Influence of Industrial Fiber Waste Amount on Physico-mechanical Properties of Polyester Matrix Composite”. Scholars Bulletin, 3(11), 617-624, 2017.
- [16] YAMAN B., CALIS ACIKBAS N., “Dry sliding behaviour of boron waste reinforced epoxy matrix composites”, Journal of Boron, 3(2), 63 – 70, 2018.
- [17] N. CALIS ACIKBAS, B. YAMAN, G. ACIKBAS, “Influence of vacuum application on the tribological properties of porcelain waste reinforced epoxy composites”, Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., 6(1), 55-69, 2018.
- [18] ASM Handbook, “Friction, Lubrication, and Wear Technology”, Materials Park, USA, vol. 18, ISBN: 978-1-62708-141-2, 1108 pages., 2017
- [19] HUTCHINGS I., Shipway P., “Tribology; Friction and Wear of Engineering Materials”, Butterworth Heinemann publications, 2nd Edition, Technology & Engineering, 412 pages, Apr 13, 2017.
- [20] FRIEDRICH K., LU Z., HAGER A.M., “Recent advances in polymercomposites tribology”, Wear, 190, 139–144, 1996.
- [21] EI-SAYED A.A., EI-SHERBINY M.J., ABO-EL-EZZ A.S., AGGAG G.A., “Friction and wear properties of polymeric composite materials for bearing applications”, Wear 184, 45–53, 1995
- [22] CHANG H.W., “Correlation of wear with oxidation of carbon–carbon composites”, Wear, 80(1), 7–14, 1982.
- [23] LHYMN C., “Tribological behaviour of unidirectional polyphenylene sulfide carbon fiber reinforced laminate”, Wear, 116, 343–359, 1987.
- [24] SURESHA B., CHANDRAMOHAN G., RENUKAPPA M.N., SIDDARAMAIAH, “Mechanical and tribological properties of glass-epoxy composites with and without graphite”, J. Appl. Polym. Sci., 103, 2472–2480, 2007.
- [25] MODY P.B., CHOU T.W., FRIEDRICH K., “Effect of testing conditions and microstructure on the slidingwear of graphite fiber/PEEK matrix composites”, J. Mater. Sci., 23, 4319–4330, 1988.
- [26] LI X., GAO Y., XING J., WANG Y., FANG L., “Wear reduction mechanism of graphite and MoS2 in epoxy composites”, Wear, 257(3–4), 279–283, 2004.

- [27] BAHADUR S., GONG, “The role of copper compounds as fillers in the transfer and wear behaviour of polyetheretherketone”, *Wear*, 154(1), 151–165, 1992.
- [28] SHAJI S, RADHAKRISHNAN V., An investigation on surface grinding using graphite as lubricant. *International Journal of Machine tools and manufacture*, 42(6),733-40, 2002.
- [29] ZHANG Z., BREIDT C., CHANG L., HAUPERT F., FRIEDRICH K., “Enhancement of the wear resistance of epoxy: short carbon fibre, graphite, PTFE and nano-TiO<sub>2</sub>”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(12), 1385-1392, 2004.
- [30] SURESHA B, CHANDRAMOHAN G, SAMAPTHKUMARAN P, SEETHARAMU S., “Investigation of the friction and wear behavior of glass-epoxy composite with and without graphite filler”, *Journal of reinforced plastics and composites*, 26(1), 81-93, 2007.
- [31] SRIVASTAVA VK, PATHAK JP. “Friction and wear properties of bushing bearing of graphite filled short glass fibre composites in dry sliding”. *Wear*, 197(1-2), 145-50, 1996.
- [32] SURESHA B, RAMESH BN, SUBBAYA KM, KUMAR BR, CHANDRAMOHAN G., “Influence of graphite filler on two-body abrasive wear behaviour of carbon fabric reinforced epoxy composites” *Materials & Design*, 31(4),1833-41, 2010.
- [33] SURESHA B, SEETHARAMU S, KUMARAN PS., “Investigations on the influence of graphite filler on dry sliding wear and abrasive wear behaviour of carbon fabric reinforced epoxy composites”, *Wear*, 267(9), 1405-14, 2009.
- [34] PAN G., GUO Q., DING J, ZHANG W, WANG X, “Tribological behaviors of graphite/epoxy two-phase composite coatings”, *Tribology International*, 43, 1318–1325, 2010.
- [36] XIAN GJ, WALTER R, Haupert F. A, “Synergistic effect of nano-TiO<sub>2</sub> and graphite on the tribological performance of epoxy matrix composites”, *J Appl Polym Sci*, 102(3),2391–400, 2006.
- [37] KOLEVA M, ZHEGLOVA A, VASSILEV V, FIDANCEVSKA E, MILOSEVSKI M, VASSILEV G., “Strength characteristics of polymer composites with waste dust from power production” In *Proceedings of International Scientific Conference UNITEH’07*, 339-343, 2007.