



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf cinsinin, yükün, kayma hızı ve mesafesinin abrasiv aşınmaya etkisi

*Effect of fiber type, load, sliding speed and distance on abrasive wear of glass and carbon fiber reinforced composites*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Mehmet Emin DEMİR<sup>1</sup>, Yahya Hışman ÇELİK<sup>2</sup>, Erol KILIÇKAP<sup>3</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0001-9630-6378

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0003-1753-7712

*ORCID<sup>3</sup>:* 0000-0001-5519-2917

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Demir M. E., Çelik Y. H. ve Kılıçkap E., “Cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf cinsinin, yükün, kayma hızı ve mesafesinin abrasiv aşınmaya etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 811-817, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.429642

# Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin, Yükün, Kayma Hızı ve Mesafesinin Abrasiv Aşınmaya Etkisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Mehmet Emin DEMİR<sup>1\*</sup>, Yahya Hışman ÇELİK<sup>1</sup>, Erol KILIÇKAP<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi Diyarbakır, Türkiye

(Geliş/Received : 01.06.2018 ; Kabul/Accepted : 28.09.2018)

## ÖZ

Günümüzde, cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitler birçok mühendislik alanında geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada, cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit çubukların kuru kayma koşullarındaki abrasiv aşınmaları gerçekleştirilmiştir. Pin on disk cihazında gerçekleştirilen deneylerde elyaf türünün, uygulanan yükün(5, 10 ve 15 N): kayma hızının(0,4; 0,6 ve 0,8 m/s) ve kayma mesafesinin(250, 500 ve 750 m) kompozitlerin tribolojik davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde cam elyaf takviyeli kompozitlerdeki sürtünme katsayısının karbon elyaf takviyeli kompozitlerdeki sürtünme katsayısından daha düşük çıktığı belirlenmiştir. Aşınmaya bağlı kütle kayıplarında, bütün koşullar için cam elyafta kütle kaybının daha az olduğu görülmüştür. Artan yük, kayma hızı ve mesafesinin kütle kaybını arttırdığı tespit edilmiştir. Karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitlerde en yüksek kütle kayıpları, 15 N yük, 0,8 m/s kayma hızı ve 750 m kayma mesafesinin uygulandığı durumlarda gerçekleşmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Abrasiv aşınma, CETP kompozit, KETP kompozit.

## Effect of Fiber Type, Load, Sliding Speed and Distance on Abrasive Wear of Glass and Carbon Fiber Reinforced Composites

### ABSTRACT

Today, glass and carbon fiber reinforced composites have a wide range of applications in many engineering fields. In this work, abrasive wear in dry sliding conditions of glass and carbon fiber reinforced composite bars has been carried out. In the experiments, which conducted on the pin on disc device, the influence of the fiber type, the applied load(5, 10 and 15 N): the sliding speed(0.4, 0.6 and 0.8 m/s) and the sliding distance(250, 500 and 750 m) on the tribological behaviour of the composites was investigated. As a result of the studies, it was determined that the coefficient of friction of glass fiber reinforced composite was lower than the coefficient of friction of carbon fiber reinforced composite. In mass loss depending on wear, mass loss in the glass fiber was found to be less for all conditions. It has been found that increasing load, sliding speed and distance increased mass loss. The highest mass loss for glass and carbon fiber reinforced composites were achieved with the load of 15 N, the sliding speed of 0.8 m/s and the sliding distance of 750 m.

**Keywords:** Abrasive wear, GFRP composite, CFRP composite.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozitler, kimyasal olarak birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde bir araya gelerek oluşturduğu gelişmiş malzemelerdir. Kompozit malzemelerde bir veya daha fazla süreksiz faz, sürekli bir faz içerisine gömülür. Süreksiz faz, sürekli fazdan daha sert ve mukavemetlidir. Süreksiz faz takviye olarak, sürekli faz ise matris olarak isimlendirilir. Matris malzemesi metalik, polimerik veya seramik olabilir. Takviye fazı ise elyaf veya parçacık olabilir [1, 2].

Polimer bazlı kompozit malzemelerde; yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, hafiflik, üretim kolaylığı,

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : memin.demir@batman.edu.tr

düşük maliyet, iyi kimyasal kararlılık ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı epoksi, polyester, fenolik ve vinil ester gibi matris malzemeleri kullanılmaktadır [3]. Ancak bu matris malzemeleri nispeten düşük sertlik ve yüksek sıcaklıklarda sürünme eğilimi gösterdiğinden dolayı farklı tip elyaflarla takviye edilir [4]. Takviye edilen elyafların basma ve kesme mukavemeti ne kadar yüksek olursa bu liflere sahip polimer kompozitler o kadar yüksek yüklere dayanır ve aşınma kaybı düşer [3]. Bu yüzden, üstün özelliklere sahip cam ve karbon elyaflar polimer matrislerde takviye elemanı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimer matrisli cam ve/veya karbon elyaf takviyeli kompozitler farklı uygulamalarda tercih edilmektedir [5, 6]. Bu kompozit malzemeler iyi yağlama, üstün aşınma direnci ve metallere karşılaştırıldığında daha düşük sürtünme

katsayısı gibi özelliklerinden dolayı tribolojik uygulamalarda da kullanım alanı bulmaktadır [5, 7].

Hareketli iki parça arasında meydana gelen aşınma, sürtünme ve yağlama durumları triboloji olarak tanımlanmaktadır. Aşınma ve sürtünmenin olumsuz tarafı endüstride maliyetleri arttırması ve bunun sonucunda birçok firmanın kapanmasına neden olmasıdır. Bu nedenle malzemelerin tribolojik özelliklerinin incelenmesi faydalı olacaktır [8]. Tribolojik özelliklerin analizinde önemli parametreler normal kuvvet, yoğunluk, malzemenin cinsi, bağlı hareket, kimyasal direnç, sürtünme yüzeyi ve sıcaklık şeklinde sıralanabilir [9]. Cam ve karbon elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerinin tribolojik özelliklerini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Pihitli [10], dokuma cam elyaf takviyeli epoksi ve polyester matrisli kompozitlerde matris malzemesinin, uygulanan yükün ve kayma hızının kuru aşınma davranışını incelemiştir. Epoksi matrisli kompozitlerin bütün yük ve hızlarda polyeester matrisli kompozitlerden daha yüksek mukavemet ve minimum aşınma sergilediğini gözlemlemiştir. Artan yük ve hızlara bağlı olarak cam elyaf takviyeli kompozitlerin kütle kaybının arttığını tespit etmiştir. Zhou ve ark. [11], yaptıkları çalışmada, karbon elyaf takviyeli polyamid6/polifenilen sülfat(PA6/PPS) kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Karbon takviyeli PA6/PPS kompozitlerin(PA6/PPS-CF) ortalama sürtünme katsayı değerinin PA6/PPS malzemesinden daha düşük olduğunu belirlemiştir. Artan elyaf takviyesi ile kompozitlerin aşınma oranının arttığını tespit etmişlerdir. Sarkar ve ark. [12] cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerde farklı yük ve kayma hızlarının sürtünme ve aşınma davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bütün hızlarda yükün artmasıyla sürtünme katsayısının azaldığını ve bunun matrisin plastik deformasyonu sonucu meydana gelen ince yağ filminden kaynaklandığı gözlemlemiştir. Ayrıca artan kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayısının arttığını, bunun da kayma diski ile kompozit arasında daha fazla yapışmadan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Suresha ve ark. [13], cam ve karbon kumaş takviyeli vinil ester kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Yük ve kayma hızı arttıkça sürtünme ve aşınma katsayısının arttığını ve bunun kumaş takviyesinin türüne ve interfazdaki sıcaklığa bağlı olduğunu belirlemiştir. Karbon takviyeli vinil ester kompozitlerin daha üstün tribolojik özellikler sergilediğini tespit etmişlerdir. Aşınmış yüzeyde oluşan ince tabakanın, tribolojik özelliklerin iyileştirilmesinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. SEM görüntüleri ile inceledikleri aşınmış yüzeylerden, cam elyaf takviyeli vinil ester kompozitlerin karbon takviyeli vinil ester kompozitlere kıyasla daha fazla kırılmış elyaf oranına sahip olduğunu gözlemlemiştir. Siddhartha ve Gupta [1], ağırlıkça farklı yüzdelerde iki yönlü ve kırılmış E-cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin abrasiv aşınma davranışlarını incelemiştir. Bu kompozitlerin aşınma özelliklerini, Taguchi deneysel

tasarım şeması ve varyans analizi(ANOVA) kullanarak başarılı bir şekilde analiz etmişlerdir. Bu kompozitlerde özgül aşınma oranı ile kopma mukavemeti arasında bir doğrusal ilişkinin olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca kırılmış cam elyaf takviyeli kompozitlerin abrasiv aşınma durumlarında iki yönlü cam elyaf takviyeli kompozitlerden daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Gao ve ark. [14] saf epoksi matris malzemesine grafit, SiO<sub>2</sub>, karbon ve cam elyaf gibi takviye elemanları ilave ederek ürettikleri kompozitlerin sulu yağlama koşullarındaki sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Takviye elemanlarının epoksinin aşınma direncini arttırdığını gözlemlemiştir. Karışık ve sınır yağlama koşulları altında, karbon elyaf ve grafit ile takviye edilmiş epoksi kompozitlere SiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları ilave etmenin sürtünmeyi ve aşınmayı oldukça azalttığını belirtmişlerdir. Conte ve Igartua [15], karbon, grafit ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin sürtünme davranışını araştırmışlardır. Zhao ve ark. [16], kısa cam elyaf, katı yağlayıcı ve silika nanopartikül takviyeli epoksi kompozitlerin yağlamalı koşullarda tribolojik performansını incelemiştir. Epoksiye kısa cam elyaf ilavesinin epoksinin sürtünme ve aşınma direncini arttırdığını fakat katı yağlayıcı ve silika parçacıklarının ise aşınmaya katkısı olmadığını gözlemlemiştir. Cho ve Bhushan [17] silecek ve etiket yapımında kullanılan polimer malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışında vernik boyasının, farklı kayma hızları ve yüklerin etkisini araştırmışlardır. Agrawal ve ark. [18] takviye elemanı olarak cam kullandıkları plastik matrisli kompozitlerde aşınma ve sürtünme davranışlarını yağlayıcı, kuru ve argon gazlı ortamda incelemiştir. Argon gazlı ortamda kütle kaybının, sürtünme katsayısının ve aşınma oranının en yüksek olduğunu, yağlayıcı ortamda ise bu değerlerin en düşük olduğunu belirlemiştir. Artan yüke bağlı olarak da kütle kaybı ve sürtünme katsayısının yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada ise cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit çubukların kuru kayma şartları altında farklı yük, kayma hızı ve mesafesindeki abrasiv aşınma davranışları, aşınma kaybına bağlı olarak incelenmiştir.

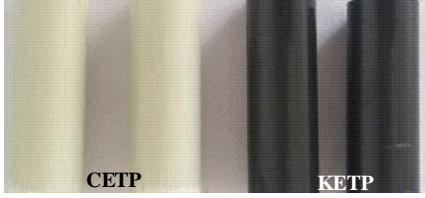
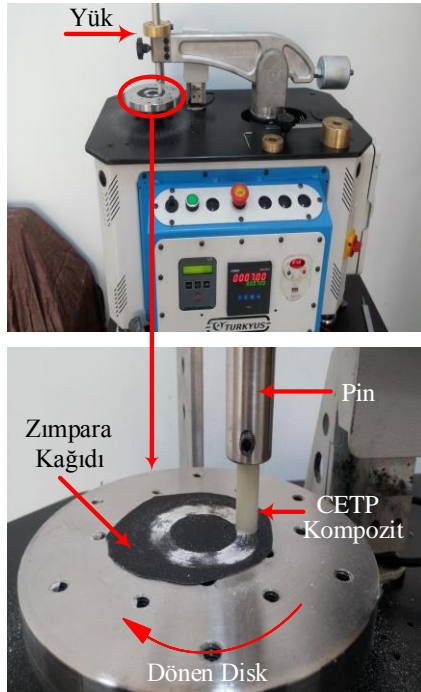
## 2. MATERYAL VE METOD(MATERIAL AND METHOD)

Deneysel çalışmalarda, ağırlıkça elyaf oranı % 75 ve reçine oranı % 25 olan vinil ester cam elyaf takviyeli plastik(CETP) ve karbon elyaf takviyeli plastik(KETP) kompozit çubuklar kullanılmıştır(Şekil 1). 10 mm çapa sahip olan bu çubuklar 30 mm uzunluğunda kesilerek deney numunesi elde edildi. Deney numunelerinin bazı özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

CETP ve KETP kompozit numunelerin abrasiv aşınma deneyleri Şekil 2’de gösterilen pin on disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Abrasiv aşındırıcı olarak 400 gridli SiC zımpara kâğıdı kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Elyaf takviyeli kompozit çubukların teknik özellikleri (Technical properties of fiber reinforced composite bars)

Ürün	Elyaf	Çekme Dayanımı (MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Çekme Modülü (GPa)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
CETP	E Cam	>1000	>550	>38	>1,80
KETP	TENAX STS40	>2080	>1450	>145	>1,51

**Şekil 1.** CETP ve KETP kompozit çubukların görüntüleri (Images of GFRP and CFRP composite bars)**Şekil 2.** Pin on disk deney düzeneği (Pin on disc experiment setup)

Şekil 2’de de görüldüğü gibi, pin on disk cihazının dönen diskine abrasiv aşındırıcı yapıştırılmıştır. Cihaz koluna ise numune bağlanmıştır. Çizelge 2’de verilen aşınma parametrelerinin kombinasyonu kullanılarak CETP ve KETP kompozit çubukların aşınma deneyleri yapılmıştır. Dolayısıyla her elyaf türü için 27 adet deney yapılmıştır.

**Çizelge 2.** Deney parametreleri ve seviyeleri (Experiment parameters and grades)

Parametreler	Seviyeleri
Uygulanan yük(N)	5, 10 ve 15
Kayma hızı(m/s)	0,4; 0,6 ve 0,8
Kayma mesafesi(m)	250, 500 ve 750

Aşındırma cihazında belirlenen hızlar takometre ile ayarlanmıştır. Deney sonunda kütle kayıplarını ölçmek için 0,1 mg hassasiyetli tartı (Radwag) kullanılmıştır. Her testin sonunda kullanılan zımpara yenilenecek bir sonraki teste geçilmiştir.

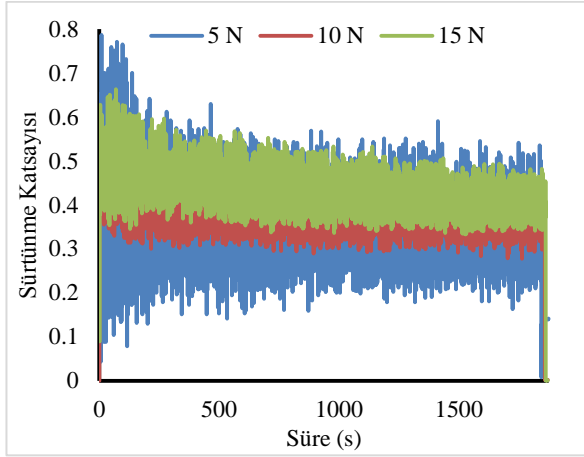
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Kompozit malzemelerin aşınmasında önemli olan faktörler uygulanan yük, kayma hızı, kayma mesafesi veya zamanı, yağlama durumu ve malzeme çiftinin özelliğidir. Aşınma deneyi cihazında bu faktörlerin tümüne müdahale edilebilmektedir. Deney esnasında ise bu parametreler bir bütün olarak düşünüldüğünde, önemli olan sürtünme esnasında açığa çıkan ısı, tribo yüzeyin oluşup oluşmadığı, sürtünme katsayısı değeri ve kütle kaybı veya plastik şekil değişimidir. CETP ve KETP kompozit çubukların abrasiv aşınma deneylerinde farklı yük, kayma hızı ve kayma mesafelerindeki sürtünme katsayıları ve kuvvetleri cihaz tarafından ölçülmüştür. Kayma zamanına bağlı olarak yükün, kayma hızının ve elyaf cinsinin sürtünme katsayısı üzerine etkileri Şekil 3’te gösterilmiştir.

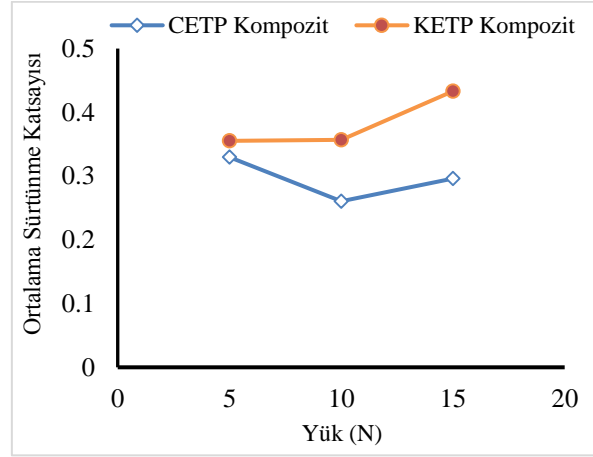
Şekil 3’te görüldüğü gibi abrasiv aşınma deneylerinde aşındırıcı zımparanın belirli gözenekte olması ve kompozit çubuk numunelerin alınlarından devamlı parça koparması sürtünme esnasında dalgalanmaların oluşmasına neden olmuştur. Başlangıçta sürtünme katsayısındaki dalgalanmalar oldukça fazla gözlemlenmiştir. Bu kompozit malzeme yüzeyinin aşındırıcıya alışma uyumu ile ilgilidir. Zamanla bu dalgalanmalar azalmıştır. Ayrıca yükün artması da dalgalanmaların azalmasına neden olmuştur. Çünkü yükün artması kompozit malzemenin aşındırıcıya daha iyi nüfus etmesini dolayısıyla aşınma esnasında oluşan titreşimin azalmasını sağlamıştır. Yükün aksine kayma hızındaki artışla birlikte aşınma esnasındaki titreşimler artmıştır. Bundan dolayı yüksek kayma hızında daha fazla dalgalanmalar görülmüştür.

Elyaf tipinin sürtünme katsayısındaki etkileri incelendiğinde ise KETP kompozitlerin CETP kompozitlerden daha fazla dalgalanma gösterdiği ve sürtünme katsayısının daha fazla olduğu görülmüştür.

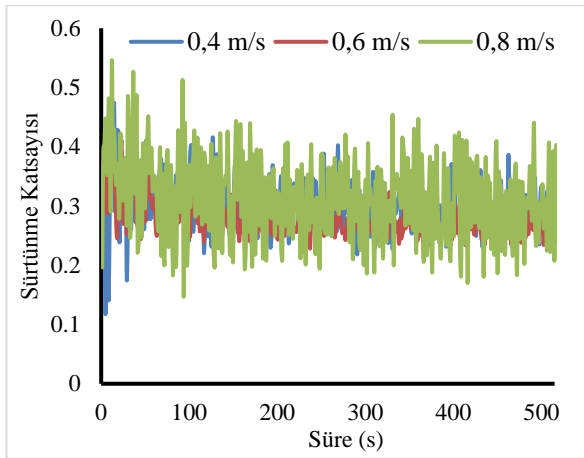
Aşınma deneylerinde, dalgalanmaların yaklaşık olarak  $\pm 0,1$  değerinde değişmesi ve değerlerin bir birine yakın elde edilmesi nedeniyle ortalama sürtünme katsayılarının dikkate alınmasını ön plana çıkarmıştır. CETP ve KETP kompozitlerin yüke, kayma hızına ve kayma mesafesine bağlı ortalama sürtünme katsayıları Şekil 4’te verilmiştir.



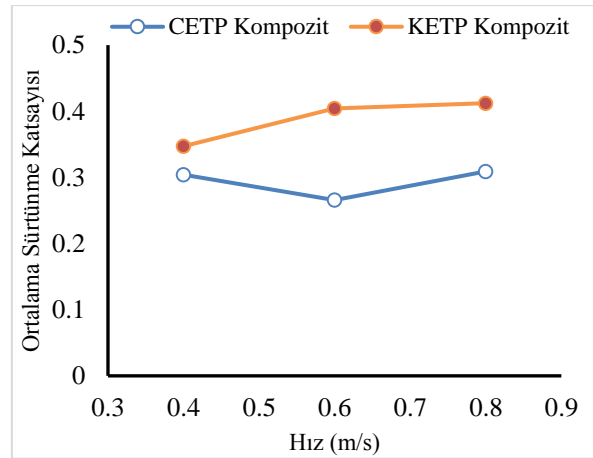
a) Malzeme: KETP Kompozit; Kayma Hızı: 0,4 m/s



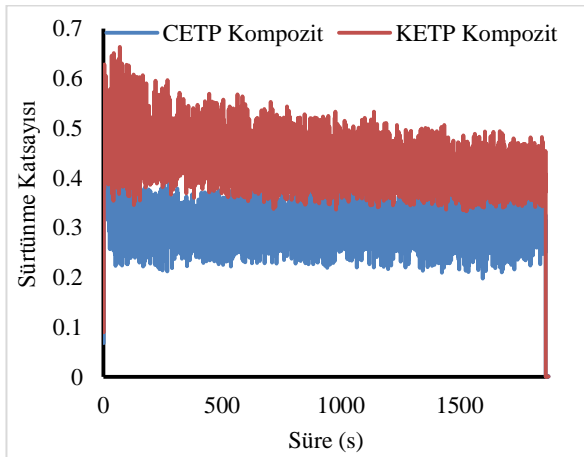
a) Kayma Hızı: 0,4 m/s; Kayma Mesafesi: 500 m



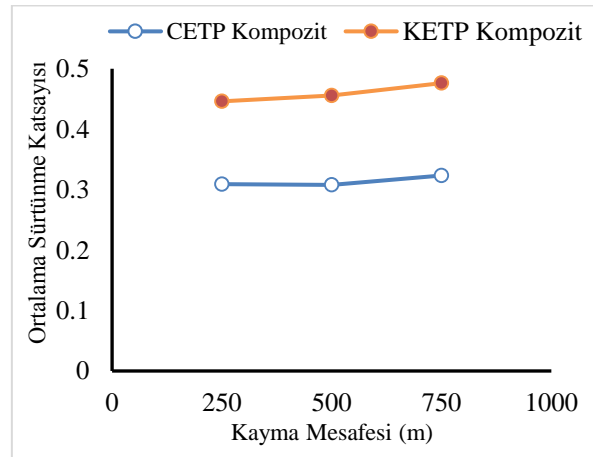
b) Malzeme: CETP Kompozit; Uygulanan Yük: 5 N



b) Uygulanan Yük: 5 N; Kayma Mesafesi: 750 m



c) Kayma Hızı: 0,4 m/s; Uygulanan Yük: 15 N



c) Kayma Hızı: 0,8 m/s; Uygulanan Yük 15 N

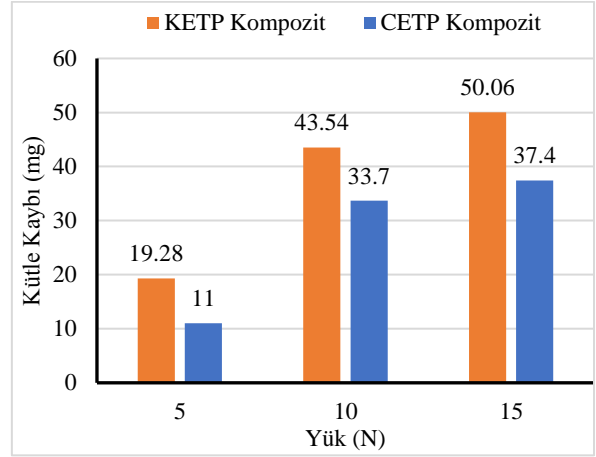
**Şekil 3.** Kompozit malzemelerin farklı aşınma parametrelerindeki kayma zamanına bağlı sürtünme katsayısı değişim grafiği (The friction coefficient variation depending on the sliding time in the different wear parameters of composite materials)

**Şekil 4.** Kompozit malzemelerin farklı aşınma parametrelerindeki kayma mesafesine bağlı ortalama sürtünme katsayısı değişimi (The friction coefficient variation depending on the sliding distance in the different wear parameters of composite materials)

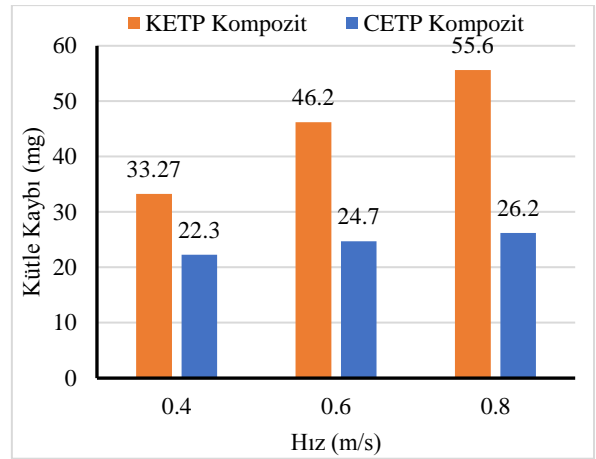
Şekil 4'te CETP ve KETP kompozit çubuklarda yükün 5 N'dan 10 N'a çıkması ortalama sürtünme katsayısını azaltmıştır. Yükün 10 N'dan 15 N'a çıkmasıyla ortalama sürtünme katsayısında artış görülmüştür. Polimer matrisli kompozitler viskoelastik özellik sergilediklerinden dolayı yük altında da deformasyona uğradıklarında viskoelastik davranırlar. Fakat kritik yük aşıldığı zaman sürtünme katsayısı artan yüzey polimer enerjisine bağlı olarak artmaya başlayacaktır [19]. Sumer ve ark. [20] da bu çalışmayla uyumlu olarak CETP kompozitlerin sürtünme katsayısının yüksek yüklerde arttığını tespit etmişlerdir. Şekil 4'te CETP kompozitlerin sürtünme katsayısının KETP kompozitlerden daha düşük olduğu da görülmektedir. Bu da cam elyafın kendinden yağlamalı özelliğinin olduğunu göstermektedir. CETP ve KETP kompozit çubuklardaki ortalama sürtünme katsayısındaki değişimin uygulanan yüke bağlı olarak lineer olmadığı ve bu farklı iki elyafa sahip kompozitlerde artan yük ile sürtünme katsayısındaki farkın giderek arttığı görülmektedir. Yapılan çalışmaların bazılarında artan kayma hızının, sürtünen yüzeyin aşındırıcı ile daha az temas etmesinden dolayı sürtünme katsayısını düşürdüğü de belirtilmiştir [21, 22]. Tevrüz [23] ve Unal ve ark.[19] yaptıkları çalışmada benzer şekilde artan hızla sürtünme katsayısının arttığını belirlemişlerdir. Unal ve ark. [19] artan hıza bağlı olarak oluşan ısıdan dolayı sürtünme katsayısının artmış olabileceğini ifade etmiştir. Ayrıca artan kayma mesafesinin CETK'lerin sürtünme katsayısını KETP kompozitlerden daha az etkilediği görülmekte olup her iki elyaf tipi için artışın lineer olduğu görülmüştür. Kayma mesafesinin artması, aşındırıcı ve kompozit malzemenin daha fazla temas etmesine, dolayısıyla sürtünme katsayısının artmasına neden olduğu düşünülebilir.

Sürtünme katsayısındaki farklılıklar temas halindeki yüzeyden kopan malzeme miktarını etkilemektedir. Elyaf cinsine, yüke, kayma hızına ve mesafesine bağlı kütle kayıpları Şekil 5'te verilmiştir.

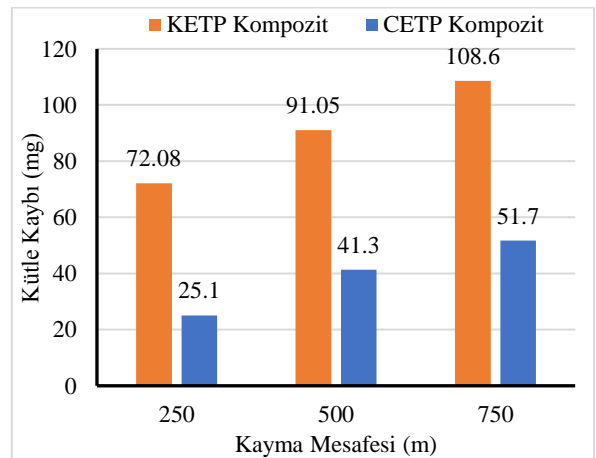
Yükün, kayma hızının ve mesafesinin artması hem CETP hem de KETP kompozit çubuklarda kütle kaybını arttırmıştır. Arun ve ark. [24] ve Kim ve ark. [25] artan yükün, Pıhtılı ve Tosun [2] ve Suresha ve ark. [6] ise artan kayma mesafesinin kütle kaybını arttırdığını belirtmişlerdir. Suresha ve Chandramohan'da [21] yaptıkları çalışmada artan kayma hızı ve yükün kütle kayıplarını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Yükün ve kayma mesafesinin artması sürtünen yüzeylerde temas basıncını arttırdığından dolayı abrasiv aşındırıcı kompozit malzemelerden daha fazla oranda talaş kaldırmıştır. Kayma hızının artması ise sürtünme esnasında malzemeler arasındaki sıcaklığı ve titreşimi arttırdığından malzeme kaybını arttırdığı düşünülmektedir. Artan yük, kayma hızı ve mesafesine bağlı kütle kayıplarına bakıldığında CETP kompozitlerin KETP kompozitlerden daha az aşındığı görülmektedir.



a) Kayma Hızı: 0,4 m/s; Kayma Mesafesi: 500 m



b) Uygulanan Yük:5 N; Kayma Mesafesi:750 m



c) Kayma Hızı: 0,8 m/s, Uygulanan Yük 15 N

Şekil 5. Kompozit malzemelerin farklı aşınma parametrelerindeki kayma mesafesine bağlı kütle kayıpları(Mass losses depending on the sliding distance in the different wear parameters of composite materials)

Karbonun aşınma direncinin daha iyi olduğu bilinmektedir. Ancak kütle kaybının CETP kompozitten daha fazla olmasının iki sebebi olduğu düşünülmektedir. Bunlardan birincisi CETP kompozitlerin aşınma deneylerinde yağlama özelliği gösterip daha az aşınmasıdır. İkincisi ise KETP kompozitten kopan parçacıkların zımpara üzerinde birikmesiyle kendi kendini aşındırarak daha fazla malzeme kaybına neden olmasıdır. Ayrıca sürtünme katsayıları ile aşınma değerleri karşılaştırıldığında düşük sürtünme katsayısı değerlerinde malzeme kaybının daha az olduğu görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışma, CETP ve KETP kompozit çubukların tribolojik davranışlarını incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada elyaf türünün, kayma mesafesinin, kayma hızının ve uygulanan yükün kompozitlerin sürtünme katsayısı ve abrasiv aşınması üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Uygulanan bütün koşullar için CETP kompozit çubukların sürtünme katsayısının, KETP kompozit çubuklardan daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- Uygulanan yükün, kayma mesafesinin ve hızın artması kompozitlerde sürtünme katsayısını arttıran bir etkiye sahiptir. Ancak kayma mesafesinin sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi uygulanan yük ve kayma hızından daha az olmuştur.
- Cihazdan elde edilen sürtünme katsayısı grafiklerine bakıldığında, 5 N yükteki dalgalanmaların daha fazla olduğu görülmüştür.
- KETP kompozitlerdeki kütle kaybının CETP kompozitlere kıyasla çok daha fazla olduğu görülmüştür.
- Uygulanan yükün, kayma mesafesinin ve hızın artması kütle kaybını arttırmıştır. CETP kompozitlerde artan yük ve hızlarda kütle kayıpları benzer çıkarken, kayma mesafesinin artmasının kütle kaybına etkisinin daha az olduğu tespit edilmiştir.
- Kütle kayıplarında etkisi araştırılan aşınma parametrelerinin (yük, kayma mesafesi ve hızı) CETP kompozitlere göre KETP kompozitleri daha baskın bir şekilde etkilediği sonucuna varılmıştır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Siddhartha and Gupta K., Mechanical and abrasive wear characterization of bidirectional and chopped E-glass fiber reinforced composite materials, *Materials & Design* 35, 467–479, 2012.
- [2] Pihili H., and Tosun N., Effect of load and speed on the wear behaviour of woven glass fabrics and aramid fibre-reinforced composites, *Wear* 252(11–12): 979–984, 2002.
- [3] Sathishkumar T. P., Satheeshkumar S., and Naveen J., Glass fiber-reinforced polymer composites-A review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 33(13): 1258–1275, 2014.
- [4] Davim J. P., and Cardoso R., Effect of the reinforcement (carbon or glass fibres) on friction and wear behaviour of the PEEK against steel surface at long dry sliding, *Wear* 266(7–8): 795–799, 2009.
- [5] Suresha B., Chandramohan G., Samapthkumaran P., Seetharamu S., and Vynatheya S., Friction and wear characteristics of carbon-epoxy and glass-epoxy woven roving fiber composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 25(7): 771–782, 2006.
- [6] Suresha B., and Kumar K. N. S., Investigations on mechanical and two-body abrasive wear behaviour of glass/carbon fabric reinforced vinyl ester composites, *Materials & Design* 30(6): 2056–2060, 2009.
- [7] Srinath G., and Gnanamoorthy R., Effect of short fibre reinforcement on the friction and wear behaviour of nylon 66, *Applied Composite Materials* 12(6): 369–383, 2005.
- [8] Parikh H. H., and Gohil P. P., Tribology of fiber reinforced polymer matrix composites-A review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 34(16): 1340–1346, 2015.
- [9] Chowdhury M. A., Nuruzzaman D. M., Roy B. K., Samad S., Sarker R., and Rezwana A. H. M., Experimental investigation of friction coefficient and wear rate of composite materials sliding against smooth and rough mild steel counterfaces, *Tribology in Industry* 35(4): 286–296, 2013.
- [10] Pihili H., An experimental investigation of wear of glass fibre-epoxy resin and glass fibre-polyester resin composite materials, *European Polymer Journal* 45(1): 149–154, 2009.
- [11] Zhou S., Zhang Q., Wu C. and Huang J., Effect of carbon fiber reinforcement on the mechanical and tribological properties of polyamide6/polyphenylene sulfide composites, *Materials & Design* 44, 493–499, 2013.
- [12] Sarkar P., Modak N., and Sahoo P., Effect of normal load and velocity on continuous sliding friction and wear behavior of woven glass fiber reinforced epoxy composite, *Materials Today: Proceeding* 4(2): 3082–3092, 2017.
- [13] Suresha B., Kumar K. S., Seetharamu S., and Kumaran P. S., Friction and dry sliding wear behavior of carbon and glass fabric reinforced vinyl ester composites, *Tribology International* 43, 602–609, 2010.
- [14] Gao C. P., Guo G. F., Zhao F. Y., Wang T. M., Jim B., Wezel B., Zhang G., and Wang Q. H., Tribological behaviors of epoxy composites under water lubrication conditions, *Tribology International* 95: 333–341, 2016.
- [15] Conte M., and Igartua A., Study of PTFE composites tribological behavior, *Wear* 296(1–2): 568–574, 2012.
- [16] Zhao F., Li G., Österle W., Häusler I., Zhang G., Wang T., and Wang Q., Tribological investigations of glass fiber reinforced epoxy composites under oil lubrication conditions, *Tribology International* 103, 208–217, 2016.
- [17] Cho D. H., and Bhushan B., Friction and wear of various polymer pairs used for label and wiper in labelling machine, *Tribology International* 98, 10–19, 2016.
- [18] Agrawal S., Singh K. K., and Sarkar P. K., A comparative study of wear and friction characteristics of glass fibre

- reinforced epoxy resin, sliding under dry, oil-lubricated and inert gas environments, **Tribology International** 96: 217-224, 2016.
- [19] Unal H., Mimaroglu A., Kadioglu U., and Ekiz H., Sliding friction and wear behaviour of polytetrafluoroethylene and its composites under dry conditions, **Materials and Design** 25: 239–245, 2004.
- [20] Sumer M., Unal H., and Mimaroglu A., Evaluation of tribological behaviour of PEEK and glass fibre reinforced PEEK composite under dry sliding and water lubricated conditions, **Wear** 265: 1061–1065, 2008.
- [21] Suresha B., Chandramohan G., Siddaramaiah, Samapthkumaran P., and Seetharamu S., Three-body abrasive wear behaviour of carbon and glass fiber reinforced epoxy composites, **Materials Sciences and Engineering** 443: 285–291, 2007.
- [22] Chen B., Wang J., and Yan F., Tribology International Comparative investigation on the tribological behaviors of CF/PEEK composites under sea water lubrication, **Tribology International** 52: 170–177, 2012.
- [23] Tevruz T., Tribological behaviours of carbon filled polytetrafluoroethylene(PTFE) dry journal bearings, **Wear**, 221(1): 61–68, 1998.
- [24] Arun A., and Singh K. K., Friction and wear behaviour of glass fibre reinforced polymer composite(GFRP) under dry and oil lubricated environmental conditions, **Materials Today: Proceeding** 4: 7285–7292, 2017.
- [25] Kim S. S., Shin M. W., and Jang H., Tribological properties of short glass fiber reinforced polyamide 12 sliding on medium carbon steel, **Wear** 274–275: 34–42, 2012.