



Makale / Research Paper

E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış İle Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi

Mustafa ÇAKIR, Boran BERBEROĞLU

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Göztepe-Kadıköy
/İSTANBUL

Received/Geliş: 16.04.2018

Revised/Düzeltilme: 24.07.2018

Accepted/Kabul: 06.08.2018

Öz: Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler endüstride, otomotiv sanayinde, inşaat ve diğer birçok alanda kullanılmakta olan mühendislik malzemeleridir. Bu malzemeler matris yapısını oluşturan bir polimer reçinesi içerisine cam elyafların eklenmesi sonucunda elde edilmektedir. Bu çalışmada vakum destekli reçine transfer metodu ile üretilen ve değişik elyaf oranlarına sahip (hacimce %30, %40, %50 ve %60) kompozit malzemeler hazırlanmış ve bu malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu kompozitlerin üretiminde matris malzemesi olarak Epikote 828 epoksi reçinesi kullanılmıştır. Elde edilen plaka halindeki kompozit malzemelerden ASTM standartlarına uygun olarak numuneler kesilerek çekme, darbe ve üç nokta eğme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu çalışmaların sonucunda cam elyaf oranının artmasıyla birlikte kompozit malzemenin maksimum gerilme, çekme uzama, elastik modülü ve darbe dayanımı özelliklerinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Cam elyaf takviyeli polimerler, epoksi, mekanik özellikler, VARTM.

Investigation of Changes in Mechanical Properties of E-Glass Fiber Reinforced Epoxy Matrix Composite Materials with Increase of Fiber Ratio

Abstract: Glass fiber reinforced polymer matrix composite materials are engineering materials used in the automotive industry, construction and many other areas. These materials are obtained as a result of the addition of glass fibers into a polymer resin which constitutes the matrix structure. In this study, composite materials with various fiber ratios (30%, 40%, 50% and 60% by volume) were prepared with vacuum assisted resin transfer molding method and the mechanical properties of these materials were investigated. Epikote 828 epoxy resin is used as matrix material in the production of these composites. The tensile, impact and three-point bending tests were carried out by cutting samples according to ASTM standards from the composite materials obtained. As a result of all these studies, it was observed that the maximum tensile strength, tensile elongation, elastic modulus and impact strength of the composite material increased with the increase of glass fiber ratio.

Keywords: Glass fiber reinforced polymers, epoxy, mechanical properties, VARTM.

1. Giriş

Dünyada teknolojinin gelişmesi ve insan ihtiyaçlarının artmasıyla birlikte farklı ve daha üstün malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar da büyük önem kazanmıştır. Kompozit malzemeler, farklı sınıflarda bulunan malzemelerin önemli özelliklerini bir araya getirerek üstün özellikler sergileyebildiği için bu çalışmalarda kendisine önemli bir pay bulabilmektedir. Bir kompozit malzeme iki veya daha fazla bileşenin makroskobik seviyede ve birbirleri ile çözünmeden

Bu makaleye atıf yapmak için

Çakır M., Berberoğlu B., "E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış İle Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(3); 734-740.

How to cite this article

Çakır M., Berberoğlu B., "Investigation of Changes in Mechanical Properties of E-Glass Fiber Reinforced Epoxy Matrix Composite Materials with Increase of Fiber Ratios" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2018, 5(3); 734-740.

birleşiminden meydana gelir. Bu bileşenlerden biri veya daha fazlası takviye malzemesi olarak adlandırılırken takviye malzemesini saran diğer yapıya ise matris yapısı denilmektedir [1]. Günümüzde kullanım alanları giderek artan bu malzemeler otomotiv, havacılık, spor, sağlık, denizcilik ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır.

Kompozit malzemelerin en önemli ve en çok kullanılan türlerinden biri polimer matrisli kompozitlerdir. Bu kompozitler; matris malzemesi olarak epoksi, polyester ve vinil ester gibi reçineler ile cam, aramid ve karbon elyaf gibi takviye malzemelerinin birleştirilmesi sonucunda üstün özellikler gösteren malzemelerdir. Bu malzemeler gösterdikleri üstün mekanik özellikler, korozyon direnci ve hafif olmaları nedeniyle çok fazla tercih edilmektedir. Ancak, darbe ve yorulma hasarına karşı gösterdikleri yüksek hassasiyetleri, bu malzemelerin hasar gördükten sonra tamir edilmesini zorlaştırmaktadır [2].

Polimer matrisli kompozit malzemelerin en yaygın kullanılan örneği cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerdir [3]. Cam elyaflar, takviye malzemeleri arasında gösterdikleri önemli mekanik özellikler nedeniyle kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılırlar [4]. Kompozit malzeme yapımında cam elyaflar ile birlikte matris malzemesi olarak kullanılan en yaygın reçineler polyester ve epoksi reçinesi türleridir. Termoset polimerler sınıfına üye olan epoksi reçineler, gösterdikleri eşsiz kimyasal ve mekanik özellikler ile çok yönlü işleme kabiliyetleri doğrultusunda kompozit malzemeler için en çok tercih edilen reçineler arasına girmişlerdir [3]. Ayrıca epoksi reçineleri bazı termoplastiklere göre daha düşük sürtünme ve termal genleşme katsayısına sahip olmasının yanında daha yüksek yük taşıma kapasitesine de sahiptir [5].

Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri birçok bilim insanı tarafından araştırılmıştır. Araştırılan mekanik özellikler arasında sürtünme ve aşınma davranışları da üzerinde çalışılan önemli bir karakteristik özelliktir. 1999 yılında, Kishore ve ekip arkadaşları [6] cam elyaf ve epoksi kompozitlerin içerisine kauçuk ve oksit partikülleri ekleyerek aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemiş ve oksit partikülleri içeren kompozitin aşınma direncinin kauçuk içeren kompozite göre daha iyi olduğu görülmüştür. 2006 yılında ise, B. Suresha ve ekip arkadaşları [7] cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit içerisine silikon karbid ve grafit partikülleri ekleyerek sürtünme ve aşınma davranışlarını gözlemlemişler ve bunun sonucunda silikon karbid ve grafit partiküllerinin sürtünmeyi önemli ölçüde azalttığı ve kompozitin aşınma direncini arttırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, grafit partikülleri içeren kompozitin partikül içermeyen ve silikon karbid partikülleri içeren kompozit numunelerine göre daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri kadar çekme mukavemeti, darbe mukavemeti ve elastik özellikleri gibi mekanik özellikleri de oldukça önemlidir. 2017 yılında, Mr. Ricciardi ve arkadaşları hazırladıkları cam elyaf takviyeli kompozitlerde matris malzemesi olarak sıvı nitril kauçuk ile modifiye ettikleri epoksi reçinesini kullanmışlar ve bu kompozitin mekanik özelliklerini modifiye edilmemiş epoksi reçinesi ile hazırlanan cam elyaf takviyeli kompozitlerle kıyaslamışlardır. Bu çalışma sonucunda, modifiye edilmiş epoksi reçinesi içeren kompozitin uygulanan yük daha fazla ve absorblanan enerji aynı olmasına rağmen diğer kompozite göre daha küçük bir delaminasyon gösterdiği gözlemlenmiştir [8]. L.B. Manfredi ve ekip arkadaşları [9], 2008 yılında, cam elyaf takviyeli polimer kompozite montmorillonit kili ekleyerek mekanik özellikleri ve su absorpsiyon özelliklerini analiz etmişlerdir ve belirli bir oranda eklenen kilin kompozitin mekanik özelliklerinde artış meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

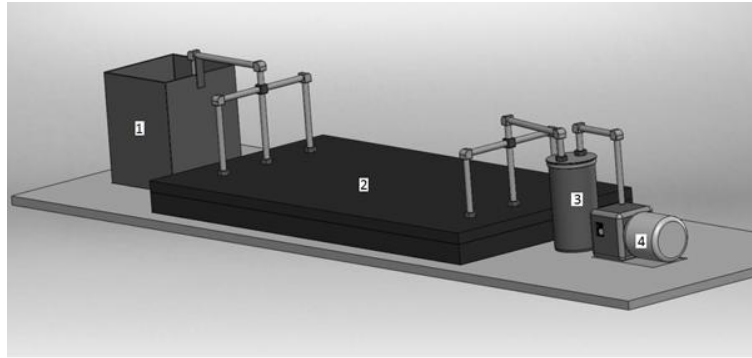
Geçmişte ve halen cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin mekanik ve kimyasal özelliklerinin farklı çeşit ve boyutlarda partiküllerin eklenmesiyle polimer matrislerinin modifiye edilmesi ile daha iyi hale getirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu makalede ise Epikote 828 epoksi reçinesi içerisine farklı oranlarda (ağırlıkça %30, 40, 50 ve 60) cam elyaf eklenerek vakum destekli reçine

transfer metodu (VARTM) ile kompozit plakalar üretilmiştir. Bu plakalardan standart ölçülerde çekme, darbe ve üç nokta eğme numuneleri kesilerek teste tabi tutulmuşlardır. Böylece polimer matris içerisindeki cam elyaf oranının artmasıyla kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.

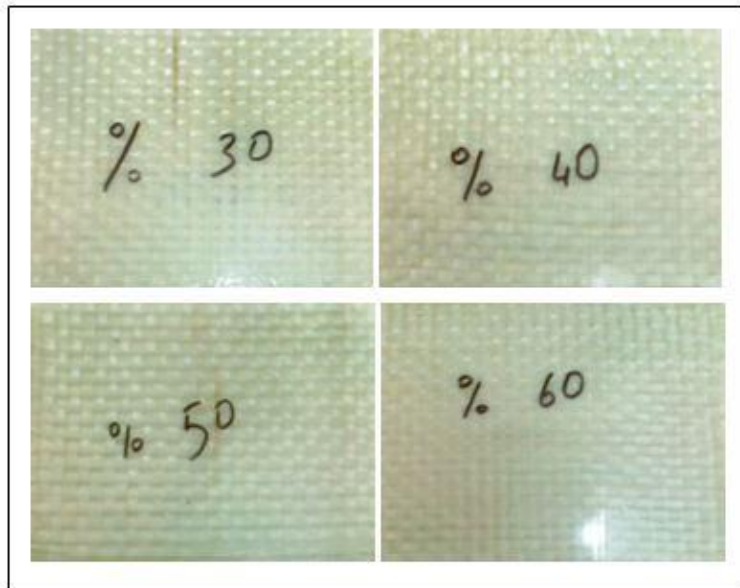
2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kompozitlerin hazırlanması için 245x240mm boyutlarında çelik kalıp kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak Hexion Türkiyeden tedarik edilen Epikote 828 epoksi reçinesi, sertleştirici olarak Epikure F-205 kullanılmıştır. Hızlandırıcı olarak ise Sigma-Aldrich ten sağlanan N,N-dimethylbenzylamine (BDMA) kullanılmıştır. Ayrıca takviye malzemesi olarak da Camelyaf® den tedarik edilen CD125-500 kodlu (birim alan ağırlığı 500 gr/m², 1200 atkı 1200 çözgü) E-cam elyaf kullanılmıştır.

Kompozitler VARTM yöntemi ile üretilmiştir. Öncelikle kompozitin kalıptan kolayca çıkarılabilmesi ve kalıba yapışmaması için kalıbın dişi ve erkek parçalarına spreylen silikon kalıp ayırıcı püskürtülmüştür. Sonrasında kalıpla aynı ölçülerde kesilen (245x240 mm) cam elyaf kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Kalıbın sızdırmazlığı sağlandıktan sonra epoksi, sertleştirici ve hızlandırıcı karışımı vakum yardımıyla kalıp içerisine transfer edilmiştir. Kalıp Şekil.1 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. VARTM üretim yönteminin şematik gösterimi (1. Reçine haznesi, 2. Kalıp, 3. Kalıptan geçen fazla reçinenin toplandığı kısım, 4. Vakum pompası)



Şekil 2: VARTM üretim yöntemi ile üretilen değişik elyaf oranlarındaki cam elyaf takviyeli kompozitlerin resmi

Yaklaşık 50°C sıcaklıkta 6 saat sertleştirme işleminden sonra kompozit plaka kalıptan çıkarılmıştır. Bu şekilde hacimce %30, %40, %50 ve %60 oranlarında cam elyaf içeren kompozitlerin de üretimi yapılmıştır. Numune hazırlama aşamasında 4 mm kalınlığındaki kompozit plakaların su jeti yardımıyla kesilmesiyle çekme testi, darbe testi ve üç nokta eğme testi numuneleri hazırlanmıştır. Tüm bu işlemler sonucunda elde edilen plaka halindeki kompozitler Şekil 2’de gösterilmiştir.

3. Sonuçlar

Su jeti yardımıyla hazırlanan standartlara uygun numunelere çekme testi, darbe testi ve üç nokta eğme testi yapılmış sonuçlar ve deney şartları aşağıda verilmiştir.

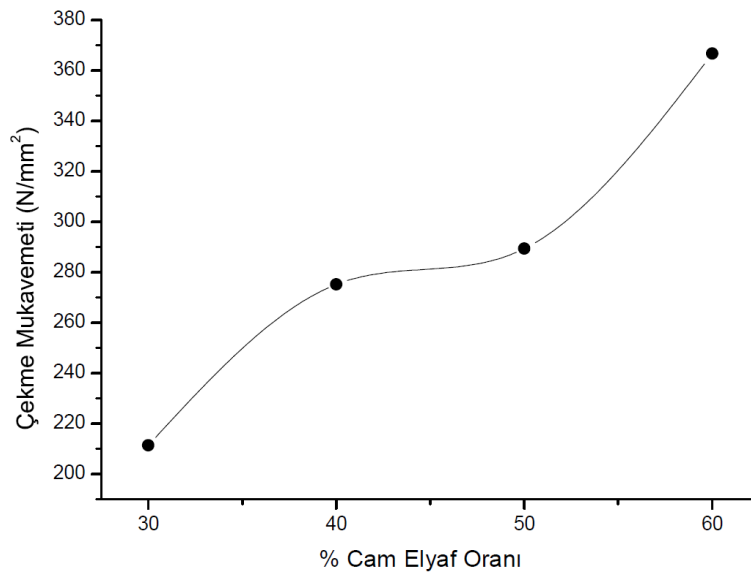
3.1 Çekme Testi

ASTM D3039 standardına göre hazırlanmış 240x15x4 mm ölçülerindeki çekme numuneleri Devotrans DVT FU D NU model çekme testi cihazına yerleştirilerek 5 mm/dak hızla çekme testi gerçekleştirilmiştir. Her kompozit için beş farklı numune test edilmiş ve elde edilen değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Çekme testi sonuçları

Numuneler	Maksimum Gerilme $\sigma_{\max}(\text{N/mm}^2)$	Çekme Uzama ϵ (%)	Elastik Modülü E (N/mm ²)
%30 Cam Elyaf Takviyeli	211,330	6,7	3183,87
%40 Cam Elyaf Takviyeli	275,180	7,2	4061,72
%50 Cam Elyaf Takviyeli	289,372	8,1	4268,53
%60 Cam Elyaf Takviyeli	366,694	8,8	4689,225

Tablo 1’de gösterilen maksimum gerilme, çekme uzaması ve elastik modülü değerleri incelendiğinde kompozit malzemedeki cam elyaf oranı arttıkça değerlerin de arttığı gözlemlenmektedir. Bu nedenle, kompozit malzemedeki cam elyaf miktarı artırıldığında malzemenin mukavemetinin arttığı ve cam elyaf malzemesinin matris malzemesi olan epoksinin gevrekliğini gidererek düşük oranda şekil değiştirip kırılmasının önüne geçmiştir. Beklenildiği gibi cam elyaf oranı arttıkça elastisite modülü de önemli oranda artmıştır. Elyaf oranının %30 dan %60 a çıkmasıyla elastisite modülünde % 47’lik bir artış meydana gelmiştir.



Şekil 3. Elyaf oranındaki değişim ile çekme mukavemetindeki artma

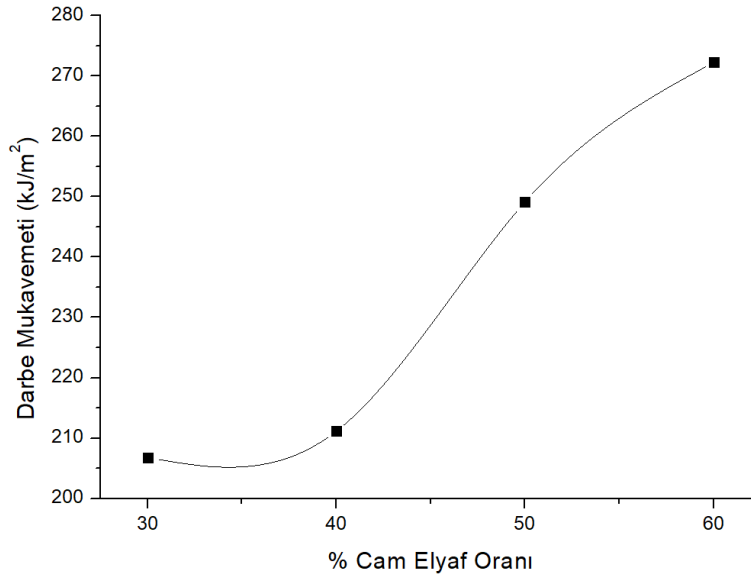
3.2 Darbe Testi

Zwick 5113E test cihazında 15 kJ'lük çekiç kullanılarak, ASTM D-256 standardına göre hazırlanmış darbe numuneleri test edilmiştir. Her kompozit numunesi için beş farklı numuneye test yapılmıştır. Bu testlerin ortalamaları alınarak belirlenen değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: İzod darbe testi sonuçları

Numuneler	(kJ/m ²)
%30 Cam Elyaf Takviyeli	206,80
%40 Cam Elyaf Takviyeli	211,15
%50 Cam Elyaf Takviyeli	249,12
%60 Cam Elyaf Takviyeli	272,24

Şekil 4'de verilen darbe mukavemeti-% elyaf oranı grafiği incelendiğinde kompozit malzemedeki cam elyaf oranının artmasıyla birlikte malzemenin darbe mukavemetinin arttığı, dolayısıyla emilen enerji miktarının da yükseldiği açıkça görülmektedir.



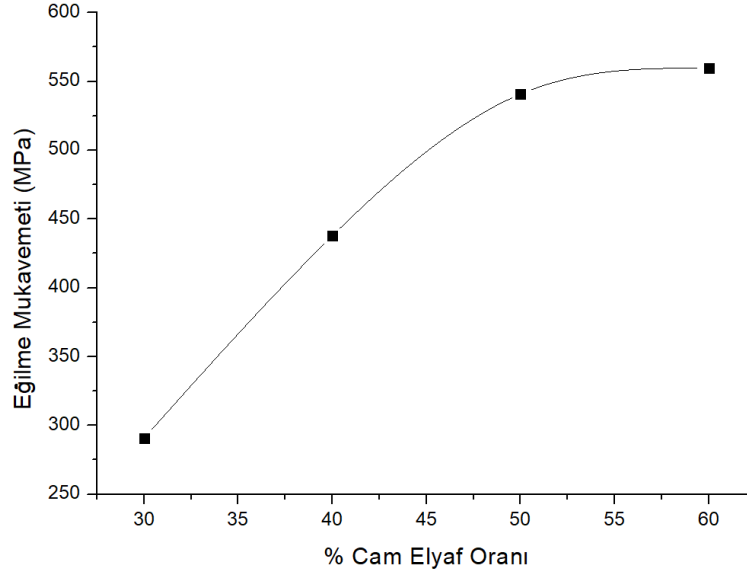
Şekil 4. Elyaf oranındaki değişim ile darbe mukavemetindeki artma

3.3 Üç Nokta Eğme Testi

Üç nokta eğme testi için hazırlanan numuneler ASTM standardına göre hazırlanmıştır ve 80x15x4 mm ölçülerine sahiptir. Test, çekme testinin de yapıldığı Zwick Z010 model universal makinede 5mm/dak deney hızında gerçekleştirilmiştir. Diğer testlerde olduğu gibi bu test için de her kompozitten beş adet numune test edilmiş ve elde edilen verilerin ortalamaları Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3: Üç nokta eğme testi sonuçları

Numuneler	Eğilme Kuvveti E _f (N)	Eğilme Gerilmesi σ _{fm} (Mpa)	Eğilme Uzaması ε _{fm} (%)
%30 Cam Elyaf Takviyeli	11322,22	290,84	3,11
%40 Cam Elyaf Takviyeli	18953,34	437,905	2,98
%50 Cam Elyaf Takviyeli	20481,66	540,76	3,18
%60 Cam Elyaf Takviyeli	20562,05	559,49	3,19



Şekil 5. Elyaf oranındaki değişim ile üç nokta eğilme mukavemetindeki artma

Tablo 3’de verilen sonuçlar ve Şekil 5 incelendiğinde kompozit malzemedeki cam elyaf oranının artmasıyla birlikte linear olarak eğilme dayanımı yaklaşık iki kat arttığı gözlemlenmiştir. % eğilme uzamasında büyük bir değişim söz konusu değildir.

4. Tartışma ve Sonuç

Tüm bu çalışmanın sonucunda cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin içerisindeki cam elyaf oranının artmasıyla birlikte malzemenin mekanik özelliklerinin geliştiği görülmektedir. Polimer matrisli kompozit malzemelerdeki cam elyaf oranının artırılmasıyla malzemenin çekme mukavemetinin, çekme uzama miktarının, elastik modülünün, darbe mukavemetinin ve elastik özelliklerinin arttığı bu çalışma ile açıkça ortaya konulmuştur. Yapılan %70 lik cam elyaf içeriğine sahip kompozitlerde VATRM yöntemi ile üretiminde elyafların tam olarak ıslatılmadığından dolayı bu oran değerlendirmeye alınmamıştır. Dolayısıyla VATRM yöntemi ile başarılı kompozit üretimi %60 cam elyaf oranına kadar yapılabilmektedir. Bu çalışmada da bu orana kadarki veriler incelenmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Sanjay, M. R., G. R. Arpitha, and B. Yogesha. "Study on mechanical properties of natural-glass fibre reinforced polymer hybrid composites: A review." *Materials today: proceedings* (2015), 2.4-5: 2959-2967.
- [2]. Post, W., et al. "Healing of a glass fibre reinforced composite with a disulphide containing organic-inorganic epoxy matrix." *Composites Science and Technology* (2017), 152: 85-93.
- [3]. Al Mahmood, Abdullah, et al. "Characterization of Glass Fibre Reinforced Polymer Composite Prepared by Hand Layup Method." *American Journal of Bioscience and Bioengineering* (2017), 5.1: 8-11.
- [4]. Deogonda, Patil, and Vijaykumar N. Chalwa. "Mechanical property of glass fiber reinforcement epoxy composites." *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)* (2013), 1.4: 2347-3878.

- [5]. Basavarajappa, S., K. V. Arun, and J. Paulo Davim. "Effect of filler materials on dry sliding wear behavior of polymer matrix composites—a Taguchi approach." *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* (2009), 8.05: 379.
- [6]. Sampathkumaran, P., et al. "SEM observations of the effects of velocity and load on the sliding wear characteristics of glass fabric–epoxy composites with different fillers." *Wear* (2000), 237.1: 20-27.
- [7]. Suresha, B., et al. "The role of fillers on friction and slide wear characteristics in glass-epoxy composite systems." *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* (2006), 5.01: 87.
- [8]. Ricciardi, M. R., et al. "Mechanical properties of glass fibre composites based on nitrile rubber toughened modified epoxy resin." *Composites Part B: Engineering* (2018), 139: 259-267.
- [9]. Manfredi, L. B., H. De Santis, and A. Vázquez. "Influence of the addition of montmorillonite to the matrix of unidirectional glass fibre/epoxy composites on their mechanical and water absorption properties." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* (2008), 39.11: 1726-1731.