



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

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

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



# Elyaf konfigürasyonunun termoplastik kompozit levhaların mekanik özelliklerine etkisi

## *Effect of fiber configuration on mechanical properties of thermoplastic composite laminates*

*Yazarlar (Authors): A. Onur ÖZDEMİR<sup>1</sup>, Çetin KARATAŞ<sup>2</sup>, H. Serdar YÜCESU<sup>3</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-6475-1976*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-0005-3068*

*ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-7805-6085*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Özdemir A.O., Karataş Ç. ve Yücesu H.S., "Elyaf konfigürasyonunun termoplastik kompozit levhaların mekanik özelliklerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 24(2): 599-607, (2021).

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

**DOI:** 10.2339/politeknik.711855

# Elyaf Konfigürasyonunun Termoplastik Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi

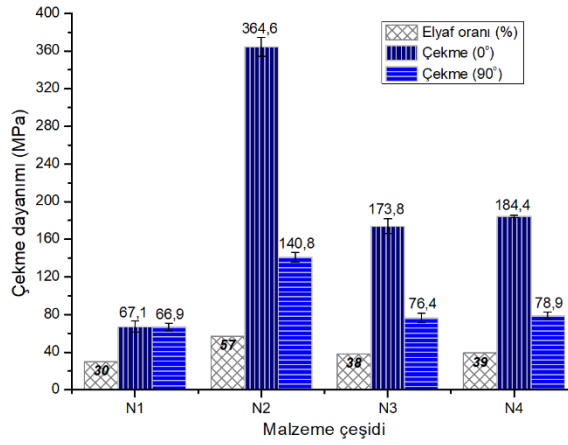
## Effect of Fiber Configuration on Mechanical Properties of Thermoplastic Composite Laminates

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kompozit malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesinde takviye elemanı konstrüksiyonu önem içermektedir. / Reinforcement element construction is important in improving the properties of composite materials.
- ❖ Kırpılmış elyaf ile sürekli elyafın bir arada olması mekanik özellikleri olumlu etkilemektedir. / The combination of chopped fiber and continuous fiber affects the mechanical features positively.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, dört farklı konfigürasyona sahip cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit levhaların mekanik özellikleri araştırılmıştır. / In this study, mechanical properties of glass fiber reinforced polypropylene composite laminates with four different configurations were investigated.



Şekil. Çekme dayanımlarının karşılaştırması / Figure. Comparison of the tensile strengths

### Amaç (Aim)

Elyaf konfigürasyonunun termoplastik kompozit levhaların mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. / It is aimed to investigate the effect of fiber configuration on the mechanical properties of thermoplastic composite laminates.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Malzemelerin çekme, basma ve darbe özellikleri sırasıyla ISO 527-4, ISO 14126 ve ISO 179-1 nolu standartlara göre belirlenmiştir. / The tensile, compressive and impact properties of materials were determined by referring to ISO 527-4, ISO 14126 and ISO 179-1 respectively.

### Özgünlük (Originality)

Araştırılan kompozit levhaların yapısında hem kırılmış hem de dokunmuş elyaf bulunması ve dokumanın yönlere göre farklı yoğunlukta olması olağandışı bir kompozit mimarisi oluşturmaktadır. / It is an unusual composite architecture that there are both chopped and woven fibers and imbalanced yarn density in the structure of the investigated composite laminates.

### Bulgular (Findings)

Kompozit levhaların çekme-uzama diyagramları oluşturulmuş, elastik modülleri belirlenmiş, çekme, basma ve darbe dayanımları ile toklukları karşılaştırılmıştır. / For composite laminates, tensile stress-strain diagrams were plotted, elastic modules were determined, tensile, compressive and impact strengths and toughnesses were compared.

### Sonuç (Conclusion)

Kırpılmış ve dokunmuş elyaf içeriğiyle birlikte takviyelendirilen kompozit levhaların mekanik özelliklerinin arttığı belirlenmiştir. / It was determined that the mechanical properties of composite laminates reinforced with the content of chopped and woven fiber increased.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Elyaf Konfigürasyonunun Termoplastik Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

A. Onur ÖZDEMİR<sup>1\*</sup>, Çetin KARATAŞ<sup>2</sup>, H. Serdar YÜCESU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara/Türkiye

<sup>2</sup>İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara/Türkiye

(Geliş/Received : 01.04.2020 ; Kabul/Accepted : 29.05.2020)

## ÖZ

Kompozit malzemeler birden fazla bileşenin bir araya gelmesiyle oluşan malzemelerdir. Termoplastik kompozit malzemeler, işlevsel özellikleri nedeniyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürekli (dokunmuş veya tek yönlü dokunmamış) elyaf ile reçine tabakalarının kombinasyonu levha halinde kompozit olarak tanımlanmaktadır. Cam elyaf, kompozit levhaların imalatında ümit verici ve rekabet edebilir malzemelerden biridir. Elyaf içeriği kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkilediğinden dolayı önemlidir. Bu çalışmada, elyaf konfigürasyonu farklı olan termoplastik kompozit levhaların çekme, basma ve darbe özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Malzemelerin mühendislik uygulamalarında etkin kullanımı için maruz kaldıkları yüklerle ilişkin bu mekanik özelliklerin bilinmesi esastır. Matriks elemanı polipropilen olan kompozit malzemelerin takviye elemanı dört çeşit konfigürasyona sahip kırılmış-dokunmuş cam elyaftır. Numuneler, su jetiyle standartlara uygun ölçülerde kesilmiştir. Boyuna ve enine yönlerde hazırlanan numunelerin mekanik testleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin gerinim-gerilim eğrileri oluşturulmuş, elastik modül değerleri hesaplanmış, çekme, basma ve darbe mukavemetleri belirlenerek grafikler üzerinde karşılaştırılmıştır. Kompozitlerin mekanik özellikleri dokuma yönüne ve lif oranına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Dokunmuş elyaf katı ve elyaf oranı en fazla olan kompozit levhanın dayanımı ve birim uzaması en fazla çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Basma dayanımı, çekme gerilmesi, darbe tokluğu, elastik modül, gerinim.

# Effect of Fiber Configuration on Mechanical Properties of Thermoplastic Composite Laminates

## ABSTRACT

Composite materials consist of combining two and more ingredients. Thermoplastic composite materials are prevalently used in various industrial applications due to their functional properties. The combination of continuous (woven or unidirectional/non-woven) fiber and resin layers is defined as composite in laminate form. Glass fiber is one of the promising and competitive materials in the manufacture of composite laminates. Fiber content is important because it affects the mechanical properties of composite materials. In this study, the tensile, compressive and impact properties of thermoplastic composite laminates with different fiber configurations were investigated experimentally. So that the effective use of materials in engineering applications, it is essential to know these mechanical properties related to the loads they are exposed to. The reinforcing element of composite materials, whose matrix element is polypropylene, is chopped-woven glass fiber with four configurations. Specimens were cut of sizes conformity to standard via water jet. Mechanical tests of specimens prepared in longitudinal and transverse directions were carried out at room temperature. Stress-strain curves of the materials were created, elastic modulus values were calculated, tensile, compressive and impact strengths were determined and compared on the graphs. The mechanical properties of the composites varied depending on the weaving direction and fiber ratio. The strength and elongation of the composite laminate having higher woven fiber ratio and layer have been greatest.

**Keywords:** Compressive strength, tensile stress, impact toughness, elastic modulus, strain.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çeşitli endüstrilerden imalatçılar, geleneksel malzemelere kıyasla daha hafif, güçlü, yüksek korozyon ve aşınma dirençleri gibi gerekli özellikleri sergileyen yapıda malzemeler üretmeye çalışmaktadırlar. Kompozit malzemeler, imalatçıların bu ihtiyaçlarına bir çözüm sunan, farklı özelliklere sahip birden fazla bileşenin makro seviyede bir araya gelmesiyle oluşan malzemelerdir [1,2]. Kompozitler, farklı polimerlerden,

metallerden veya seramik malzemelerden elde edilen karmaşık yapılardır. Havacılık ve otomotiv sektörlerinin sürekli artan performans talepleri, çevresel risklerin azaltılması ve sürdürülebilir enerji yaklaşımları, malzeme sistemlerinin ve mekanik özelliklerinin geniş bir yelpazede olmasını gerektirmektedir [3]. Polimer matriks esaslı kompozitler, mühendislik problemlerinin aşılmasına imkân verdiği için son yıllarda popüler hale gelmiştir. Üstün gerilme ve sıcaklık dayanımları olmasına rağmen termoset türevi plastiklerin imalat ve performans uyumluluğu düşüktür. Geri dönüştürülebilir olması ve seri üretime uygunluğundan dolayı,

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : onurozdemir@gazi.edu.tr

termoplastik kompozitlerin kullanılma potansiyeli gün geçtikçe artmaktadır. Cam elyaf, özellikleri ve maliyeti arasında iyi bir dengeye sahip olduğundan dolayı, polimerik malzemelerde en sık tercih edilen sentetik takviye elemanıdır. Takviye elemanı, kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinde büyük rol oynamaktadır. Dokunmuş yapıda elyaf içeren kompozitler, hafiflik, mukavemet, sertlik, tokluk, bütünlük ve hasar toleransı gibi birçok üstün özellik sunmaktadır. Partikül ve kısa lif biçimindeki süreksiz takviye maddeleri, kompozit özelliklerinin geliştirilmesinin yanı sıra, malzeme maliyetlerinin de azaltılması için ilave edilmektedir [4]. Bununla birlikte, tek yönlü elyaf takviyesi bulunan tabakalardan oluşmuş kompozit levhaların zayıflıklarının da azaltılmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, elyaf yapısından etkilenen malzeme özelliklerinin bilinmesi ürün geliştirme ve uygulamaları için önem arz etmektedir. Malzemenin kullanım amacına bağlı olarak gerekli özelliklerinin belirlenmesinde çeşitli testler yürütülmektedir. Çekme, basma ve darbe testleri, ürün ve süreç tasarımlarında yapı taşı olarak kullanılmakta ve mekanik özelliklerin karşılaştırılmasında önemli bir ilk adım olarak değerlendirilmektedir [5].

Araştırmacılar, gerek doğal gerekse yapay elyaf takviye edilmiş termoset veya termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deneysel, nümerik ve analitik çalışmalar yürütmektedir [6]. Reyes ve Sharma yaptıkları çalışmada, %50-50 denk dokunmuş ve %80-20 eş olmayan oransal dokunmuş cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit plakalara düşük hızda 4 ila 16 J arasında farklı darbe yüklemeleri yapmıştır. Hasar öncesi ve sonrası eğme testleri uygulanmış ve %80-20 oransal dokunmuş kompozit plakanın eğilme dayanımında düşme %15 daha az olmuştur [7]. Suresh ve Kumar yaptıkları çalışmada, sıkıştırma kalıplama yöntemiyle imal edilen cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit levhaların mekanik özelliklerini, bağlayıcı konsantrasyonuna ve sıkıştırma basıncına bağlı olarak incelemişlerdir. Kalıplama basıncının artışı çekme ve eğme dayanımını artırmıştır [8]. Mortazavian ve Fatemi yaptıkları çalışmada, kısa cam lifi ile güçlendirilmiş termoplastik kompozitlerin anizotropi durumunun çekme özelliklerine etkisini incelemiş ve enjeksiyon kalıplama akış yönündeki malzeme çekme dayanımı yüksek çıkmıştır [9]. Sridhar ve Varadarajan yaptıkları çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş termoplastik kompozitler imal etmişler, takviye türü ve oranının kompozitlerin mekanik davranışları üzerindeki önemini araştırmışlardır. Karbon elyafın malzeme mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir [10]. Demirçan vd. yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda karbon nano parçacıklarının cam elyaf takviyeli poli(etilen tereftalat)'a ilave edilmesiyle hibrit kompozit malzeme imal edilmiş, çekme ve üç nokta eğme testleri uygulanmıştır. Çekme dayanımında %7'ye

kadar ve eğilme dayanımında %33'e kadar artış görülmüştür [11]. Aruchamy vd. yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda pamuk ve bambu liflerinden oluşan dokunmuş elyaf takviyeli epoksi kompozit levhalara çeşitli testler uygulamışlardır. En iyi mekanik özellikleri, atkı yönünde bambu lifi bulunan ve ağırlıkça %45 elyaf içeren kompozitin sergilediğini açıklamışlardır [12]. Nassar A. ve Nassar E. yaptıkları çalışmada, cam elyaf takviyeli poliüretan reçinesine ekledikleri nano dolgu maddelerinin, termal ve mekanik özellikleri arttırdığı sonucuna varmışlardır [13].

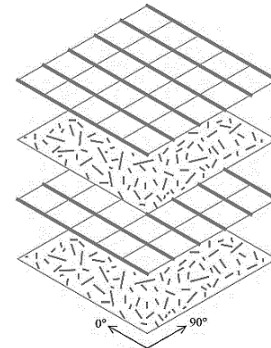
Kompozit malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesinde takviye elemanı türü ve yapılarının önemli olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, yalnızca kırılmış takviye elemanına sahip kompozit malzemeler ile yapısında hem kırılmış hem de dokunmuş elyaf bulunan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Levha kalınlıkları farklı olan kompozit malzemelerin takviye biçimi ve oranının mekanik özelliklere etkileri karşılaştırılmıştır. Bunun için, dört farklı konfigürasyona sahip cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit levhalara çekme, basma ve darbe testleri uygulanmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL WORK)

### 2.1. Malzeme (Material)

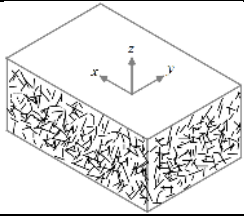
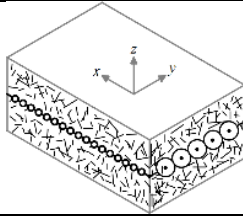


Bu araştırmada kullanılan malzemeler, cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit levhalardır. İmalatçı tarafından düz plaka şeklinde yarı mamul ürünler olarak sektöre sunulan malzemeler, ilk aşamada elyafın polipropilen reçine ile emprenye edilmesi ve ikinci aşamada sıkıştırma ile kalıplanmasıyla üretilmiştir. Elyaf oranı ve biçimine göre farklılık gösteren numunelerin özellikleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

Dokunmuş elyaf içeren malzeme çeşitlerinin takviye elemanının yapısı Şekil 1.'de şematik olarak gösterilmiştir. N1 yalnızca kırılmış elyaf içerirken, diğerleri kırılmış elyaf ile birlikte farklı oranlarda sürekli elyaf içermektedir. N2, N3 ve N4'teki sürekli elyaf, 0° yönde %80 ve 90° yönde %20 yoğunlukta olmak üzere denk olmayan oranla dokunmuştur.

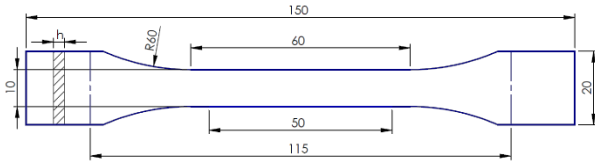


Şekil 1. Dokunmuş elyaf içeren malzeme çeşitlerinin takviye elemanı yapısı (Reinforcement structure of materials containing woven fabric)

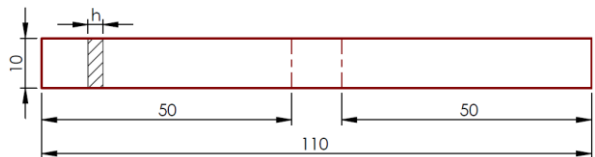
**Çizelge 1.** Malzeme özellikleri (Material properties)

	N1	N2	N3	N4
<b>Malzeme çeşidi</b>				
<b>Matriks elemanı</b>	Polipropilen (PP)			
<b>Takviye elemanı</b>	Cam elyaf			
<b>Dokuma sitili</b>	Dokunmamış	Düzlem dokuma		
<b>Elyaf dağılımı</b>	Uzun kırılmış (50-100 mm)	Dört tabaka dokunmuş ve kırılmış	Bir tabaka dokunmuş ve kırılmış	İki tabaka dokunmuş ve kırılmış
<b>Dokuma yoğunluğu</b>	Rastgele 	$x \uparrow \%80$  $y \rightarrow \%20$		
<b>Elyaf oranı (ağırlıkça %)</b>	30	57	38	39
<b>Levha kalınlığı (mm)</b>	4,8	4,3	3,0	4,8

Deney numuneleri su jeti tezgâhında kesilerek hazırlanmıştır. Çekme deneyinde numune tipi ISO 527-4 standardına göre *1B* olarak seçilmiştir ve Şekil 2.'de numune ölçüleri gösterilmiştir [14]. Kullanılan numune türü için ölçüm bölgesi 50 mm uzunluğunda ve 10 mm genişliğindedir.

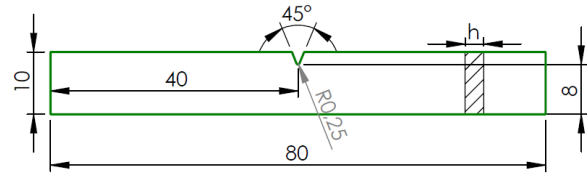

**Şekil 2.** Çekme deney numunesi (Tensile test specimen)

Basma deneyinde numuneler ISO 14126 standardına göre *B1* tipinde hazırlanmış ve Şekil 3.'te boyutları gösterilmiştir [15]. Deney cihazının tutma çeneleri numuneyi iyi kavrayabilmesi ve yük uygulandığında kaymaması için numunenin toplam boyu ve tutma payı standartta 50 mm olarak verilmiştir. Basma yüküne maruz kalan mesafe, burkulmaya sebep olmayacak şekilde kısa tutularak standartta 10 mm olarak önerilmiştir.


**Şekil 3.** Basma deney numunesi (Compression test specimen)

Darbe deneyi için, ISO 179-1 standardına göre, numune tipi *1-CN*, çentik tipi *A*, darbe yönü '*ep*' olarak seçilmiş ve numune ölçüleri Şekil 4.'te gösterilmiştir [16].

Numuneler polimerik yapının etkisiyle sünek davranış sergileyebileceğinden, ilgili standart referans alınarak çentik oluşturulmuştur.


**Şekil 4.** Darbe deney numunesi (Impact test specimen)

## 2.2. Yöntem (Methodology)

Bu çalışmadaki tüm deneyler oda sıcaklığında yürütülmüştür. Çekme ve basma deneyleri ISO-527 ve ISO-14126 standartları referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Numunelere elektro-mekanik universal test makinası kullanılarak 1 mm/dk sabit hızda çekme ve basma yükleri uygulanmıştır. Çekme ve basma deneyleri Instron-3369 universal test makinesinde uygun fiştirler bağlanarak yapılmıştır. Çekme/basma sırasında kaydedilen kuvvet değişimine bağlı olarak maksimum çekme/basma gerilmesi (MPa) Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Burada  $F_{max}$  (N) maksimum kuvveti,  $h$  (mm) numune kalınlığını ve  $b$  (mm) numune genişliğini göstermektedir.

$$\sigma_{\zeta,b} = \pm \frac{F_{max}}{b \cdot h} \quad (1)$$

Elastik modül değerleri clip-on-extensometer yardımıyla test sırasında ölçülmüş ve doğrulamak için kaydedilen uzama-gerilme verilerine göre Eşitlik 2'den yararlanılarak hesaplanmıştır. Burada  $\Delta \epsilon$ ; %0,05 ile %0,25 arasındaki birim uzama farkını ve  $\Delta \sigma$  ise bu

uzama miktarlarına karşılık gelen gerilme değerlerinin farkını ifade etmektedir.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2)$$

Darbe deneyi ISO-179 standardına göre Charpy çekici kullanılarak 2,90 m/s hızla yapılmıştır. Deneyler Al-Pen-M test cihazında gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyi sırasında 3,556 kg ağırlığındaki çekiç, 0,43 m yükseklikten, 0,328 m'lik bir yarıçapı izleyecek şekilde serbest bırakılmış ve numunenin darbe tokluğu ( $J/m^2$ ) Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır.  $E_c$  (J) numunenin kırıldığı sırada sönmülediği enerjiyi,  $h$  (mm) numune kalınlığını ve  $b_N$  (mm) numune genişliğini ifade etmektedir.

$$a_{cN} = \frac{E_c}{h \cdot b_N} \quad (3)$$

Çekme-uzama eğrisinin altında kalan bölgenin alanı çekme işlemi için harcanan toplam işi veya enerjiyi göstermektedir. Çekmede depolanan enerji yoğunluğu (malzemenin birim hacim başına maksimum deformasyonu), yani çekme tokluğu,  $W_T$  ( $J/m^3$ ), Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır. Burada,  $\varepsilon_k$  (mm/mm), kopmada uzama oranıdır.

$$W_T = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{\varphi} \cdot \varepsilon_k \quad (4)$$

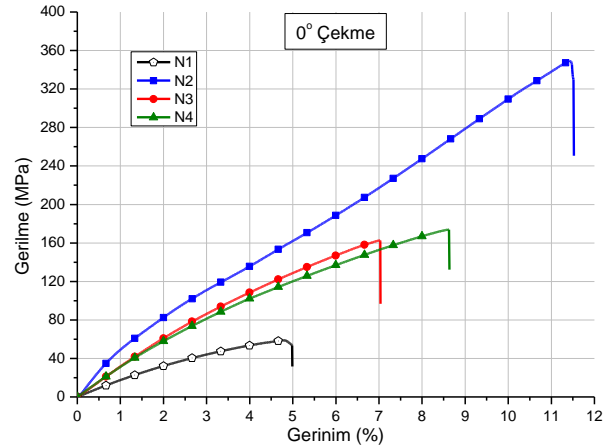
### 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND EVALUATION)

Bu deneysel incelemede, farklı elyaf konfigürasyonunun termoplastik kompozit levhaların çekme, basma ve darbe özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Deneyler dört çeşit malzeme için boylamasına ( $0^\circ$ ) ve enlemesine ( $90^\circ$ ) yönlerde ayrı ayrı yapılmıştır. Deneyler üçer kez tekrarlanmış, ortalama maksimum mukavemet değerine en yakın tekrara ait veriler kullanılarak grafikler oluşturulmuş ve bu bölümde değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Çekme Deneyi Sonuçları (Tensile Test Results)

Boylamasına ( $0^\circ$ ) yönde gerçekleştirilmiş çekme deneyi sonucunda elde edilen uzamaya karşılık gerilim değişimleri Şekil 5.'te gösterilmiştir. Maksimum çekme gerilmeleri, sırasıyla; N2: 349,2 MPa; N4: 173,7 MPa; N3: 162,6 MPa ve N1: 58,7 MPa olarak elde edilmiştir. Kopmada birim uzama değerleri ise, N2: %11,4; N4: %8,62; N3: %7,0 ve N1: %4,8 olarak belirlenmiştir. En yüksek elyaf içeren N2'de dokuma yönü yoğun olan yönde en yüksek dayanım ve uzama değeri oluşurken, dokuma elyaf içermeyen N1'de ise en düşük dayanım ve uzama meydana gelmiştir. Dokunmuş elyaf katı ve elyaf oranına bağlı olarak diğerleri de buna göre sıralanmıştır. N1 haricindeki diğer malzemelerin mekanik davranış türleri sürekli elyafın etkisiyle plastik davranış göstermeden bir noktadan sonra aniden kopma meydana gelmiştir. N1 yapısında yalnızca kırılmış elyaf içerdiğinden dolayı kısmen-sünek davranış sergilemiştir.

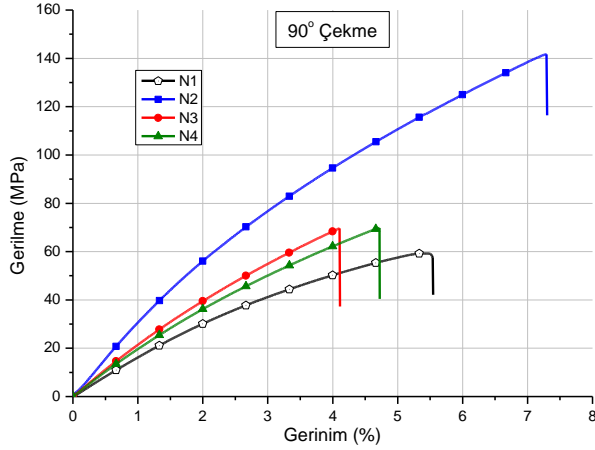
N3 ile N4 aynı oranda elyafa sahip olması nedeniyle gerilim artışı birbirine yakın çıkmış, dokunmuş elyafın iki kat olması sayesinde N4'ün birim uzaması daha fazla çıkmıştır. N2'de dokunmuş elyaf katının ve elyaf oranının fazla olması, çekme gerilmesi ile birim uzama değerlerinin oldukça yüksek çıkmasını sağlamıştır. Malzemelerin kopuncaya kadar gösterdikleri enerji depolama yeteneği tokluk olarak tanımlanır ve çekme-uzama eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Bu alanlar numune sırasına göre N1; N2; N2 ve N4 için boylamasına yönde 1409; 19904; 5691 ve 7486  $kJ/m^3$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Boylamasına yönde birim uzamaya göre çekme gerilmesi eğrileri (Tensile stress-strain curves in the longitudinal direction)

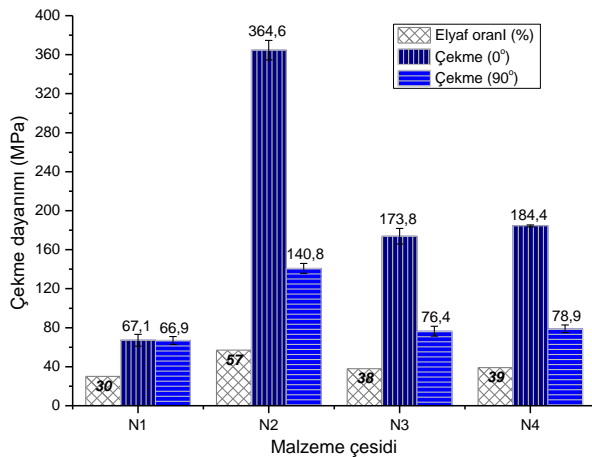
Enlemesine ( $90^\circ$ ) çekme işlemi sonrası her bir numunenin gerilim-gerinim değişimleri Şekil 6.'da gösterilmiştir. Dört çeşit malzemede benzer şekilde eğrisel-linear elastik özellik göstermiştir. Bu durum, her bir malzemede kırılmış elyafın bulunması ve dokunmuş elyaf içeren malzemelerin enine yönde sürekli elyafın görece zayıf olmasından dolayı kaynaklanmıştır. Bu yönde de sünek-olmayan kopmalar gerçekleşmiş ve performans sıralaması boylamasına çekme testinde ki gibi olmuştur. Maksimum gerilmeler ve birim uzama değerleri N2, N4, N3 ve N1 için sırasıyla; 141,6 MPa (%7,2); 69,8 MPa (%4,7); 69,6 MPa (%4,1); 59,2 MPa (%5,3) olarak tespit edilmiştir. N1'de elyaf yüzdesinin tamamı kırılmış elyaf olduğundan dolayı, N3 ve N4'e göre daha fazla uzama göstermiştir. Boylamasına yönde olduğu gibi enlemesine de N3 ile N4 benzer eğilimde gerilme oluşmuştur. En fazla elyaf oranına sahip N2'nin hem gerilme hem de uzama değeri en fazla çıkmıştır. Eğrilerin altında kalan alanlar hesaplanarak numunelerin enlemesine tokluk değerleri N1; N2; N3 ve N4 için sırasıyla 1569; 5098; 1427 ve 1640  $kJ/m^3$  olarak tespit edilmiştir.

Şekil 7.'de malzemelerin maksimum çekme dayanımları karşılaştırılmıştır. Yapısında yöne bağımlı dokunmuş elyaf bulunmadığından dolayı N1'in enlemesine gerilme ve uzama değerleri boylamasına sonuçlarıyla çok yakın çıkmıştır. Bu durum, N1'in homojen bir yapıda olduğunu göstermiştir.



Şekil 6. Enlemesine yönde birim uzamaya göre çekme gerilmesi eğrileri (Tensile stress-strain curves in the transverse direction)

Mortazavian ve Fatemi yaptıkları çalışmada, kalıplama akış yönünün mukavemete etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir [9]. Burada da, haddeleme/makine yönünün etkisiyle, N1 için 0° yönde maksimum dayanım oldukça az bir farkla 90°'ye göre fazla çıkmıştır. Dokunmuş elyaf içeren numuneler N2, N3 ve N4'ün enlemesine çekme özelliklerinin boylamasına göre belirgin bir şekilde düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, 0° yönde elyaf yoğunluğunun 90° yöne göre daha fazla olmasından kaynaklanmıştır. N2'nin 0° yönde 90° yöne göre çekme dayanımı 2,5 kat daha yüksek çıkmıştır. N3 ile N4 yüzde-ağırlıkça elyaf oranı birbirine eşit olmasına rağmen, N3'ün çekme dayanımının N4'ten %6 daha düşük olduğu görülmüştür. N3'ün bir kat ve N4'ün ise iki kat dokunmuş sürekli elyaf içermesi, sürekli elyafın çekme özellikleri üzerinde etkisinin kırılmış elyafa göre daha fazla olduğunu göstermiştir. Bir noktadaki gerilmenin bir diğerine taşınmasına engel olacak şekilde hareket eden dokunmuş yapıdan dolayı, N2'nin çekme dayanımı en fazla çıkmıştır.



Şekil 7. Çekme dayanımlarının karşılaştırması (Comparison of the tensile strengths)

Buna paralel olarak, Jesuarockiam vd. yaptıkları çalışmada, yüksek elastik davranış gösteren takviye elemanları sayesinde, polimer zincirleri arasındaki hareketin sınırlandırıldığını ve dolayısıyla kompozit malzemenin dayanımının arttığını raporlamışlardır [17].

N2, N3 ve N4'ün enlemesine yönde birim uzamaları boylamasına yöne göre daha az çıkmış ve buna bağlı olarak da çekme dayanımları düşmüştür. N1 her iki yönde de aynı özellikleri göstermiştir. Dolayısıyla, iki eksenli gerilmeye maruz kalan uygulamalarda N1'in kullanılabilmesi, eş olmayan oranlı dokunmuş elyaf içeren N2, N3 ve N4 gibi kompozitlerin ise tek eksenli gerilme etkisi altındayken kullanımının daha uygun olacağı anlaşılmıştır.

Çekme deneyi sonrasında kopan numunelerin görüntüleri Resim 1'de sunulmuştur. Malzeme modeli izotropik olmadığından dolayı kopma yerleri numunelerin tam merkezinden gerçekleşmemiştir. Sünek malzemelerde olduğunun aksine herhangi bir şekilde boyun verme gözlenmemiştir.

Çekme deneyi sırasında numune üzerine yerleştirilen 'clip-on-extensometer' ile elastik modül değerleri ölçülmüş, cihazın kaydettiği yer değiştirme-kuvvet değerlerinden yararlanılarak hesaplanan değerler ile doğrulanmıştır. Boyuna ve enine elastik modüller ve standart sapmalarından elde edilen varyans katsayıları Çizelge 2.'de listelenmiştir. Boyuna yönde yoğun sürekli elyafın etkisiyle N2'nin elastik modülü diğerlerinden %70 daha yüksek çıkmıştır. Enine yönde ise elastik modül değerleri görece birbirine daha yakın çıkmıştır. Burada belirtilen varyans değerleri aynı zamanda çekme testlerinin tekrarlarında kaydedilen çekme dayanımı farklılıklarına da göstermektedir. Kompozitteki elyaf türünün temel mekanik özelliği, elyaf oranı ve elyaf yönü, kompozit malzemenin özelliklerini yöneten ana faktörlerdir [8]. Bununla birlikte, bu çalışmada elyaf biçimi ve elyaf mimarisinin de kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerine önemli etkilerinin olduğu görülmüştür. Bunların yanı sıra, N2'nin deney tekrarlarında görülen farklılık, kompozitteki elyaf ile matriksin yüzey etkileşiminden kaynaklanması kuvvetle muhtemeldir. Dokunmuş sürekli elyaf miktarının en fazla olduğu bu kompozit malzeme tipinde, bir kısım sürekli lif kırılrsa bile geri kalanlar mukavemet göstermeye devam etmektedir. Bu durum, yüzey etkileşimine bağlı olarak farklılık göstermiş ve sürekli elyaf demetlerinin yoğun olduğu yönde daha baskın rol oynamıştır.

Çizelge 2. Elastik modül (EM) ve varyans (V) değerleri (Elastic modulus and variance values)

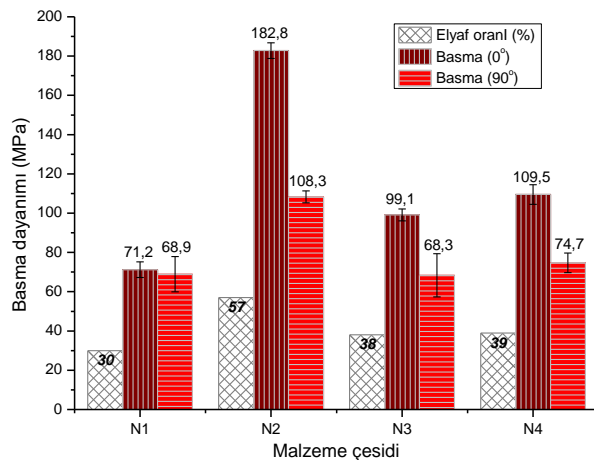
	0°		90°	
	EM (GPa)	V (%)	EM (GPa)	V (%)
N1	1,86	2	1,84	2
N2	5,33	9	2,90	1
N3	3,12	2	2,14	1
N4	3,17	2	2,21	3



Resim 1. Çekme deneyi sonrası numuneler (Specimens after tensile test)

### 3.2. Basma Deneyi Sonuçları (Compression Test Results)

Şekil 8.'de malzeme çeşidine göre basma dayanımları karşılaştırılmıştır. Elyaf oranları aynı ancak kalınlıkları farklı olan N3 ile N4 incelendiğinde, N4'ün her iki yönde de basma dayanımı, dokunmuş elyaf katmanının daha fazla olması nedeniyle, N3'e göre daha yüksek çıkmıştır. Malzeme kalınlıkları aynı olan N1 ve N4 incelendiğinde, N4'ün yapısında bulunan dokunmuş elyafın etkisi 0° yönde belirgin bir şekilde görülerek, N4'ün basma dayanımının N1'e göre %54 daha fazla olduğu belirlenmiştir. N2 incelendiğinde, dokunmuş elyaf katmanının ve toplam elyaf oranının artmasıyla birlikte basma dayanımının da arttığı görülmüştür. Yapısında dokunmuş elyaf bulunan N2, N3 ve N4 anizotropik basma özellikleri göstermiştir. N1'in her iki yönde de basma dayanımlarının aynı çıkmış olması, rastgele kırılmış elyaf içeren kompozit levhaların yönden bağımsız özellik sergilediğini göstermiştir.



Şekil 8. Basma dayanımlarının karşılaştırılması (Comparison of the compressive strengths)

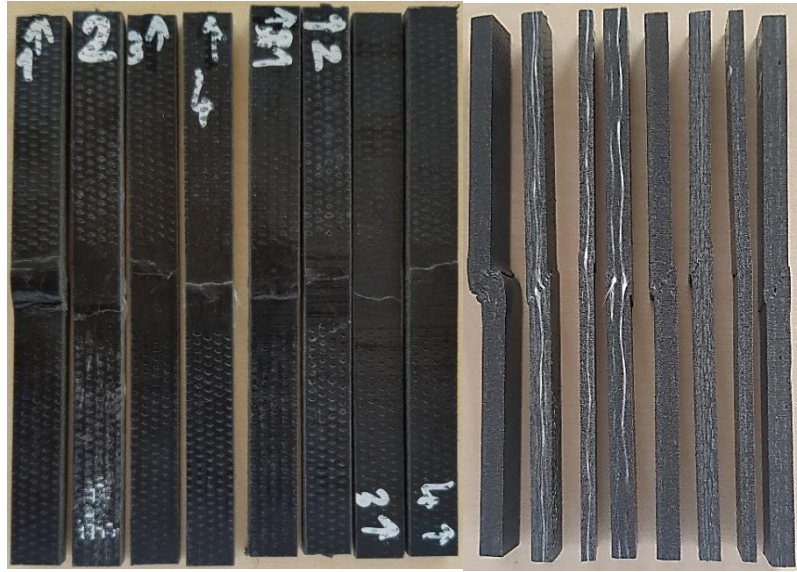
Çekme ve basma dayanımları birbiriyle karşılaştırıldıklarında, sürekli elyafın yoğun olduğu boylamasına yönde çekme dayanımının basmaya göre yaklaşık 2 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sadece kırılmış elyaf içeren N1'in dayanımlarının ise neredeyse aynı olduğu tespit edilmiştir. Sürekli elyaf oranını artması kompozitlerin aynı düzlem üzerinde basma ve çekme özellikleri arasındaki farkın artmasına neden olmuştur.

Basma deneyi sonrasında deformasyona uğrayan numunelerin görüntüleri Resim 2'de verilmiştir. Basma yüküne karşı numuneler esas olarak kaymaya maruz kalmış olsalar da; N1 ezilme ve bükülme eğilimi göstermiş ve diğer numuneler kırılma özelliği göstererek çatlama şeklinde deformasyona uğramışlardır. Bu durum, elyaf konfigürasyonunun deformasyon tiplerini farklılaştırdığını göstermiştir. Sürekli elyafın etkisiyle delaminasyon olasılığı önemli ölçüde azalmış, Wang ve Zhao'nun yaptıkları çalışmada da açıkladıkları gibi; hasar bölgesinin boyunun sınırlı kaldığı görülmüştür [5].

### 3.3. Darbe Deneyi Sonuçları (Impact Test Results)

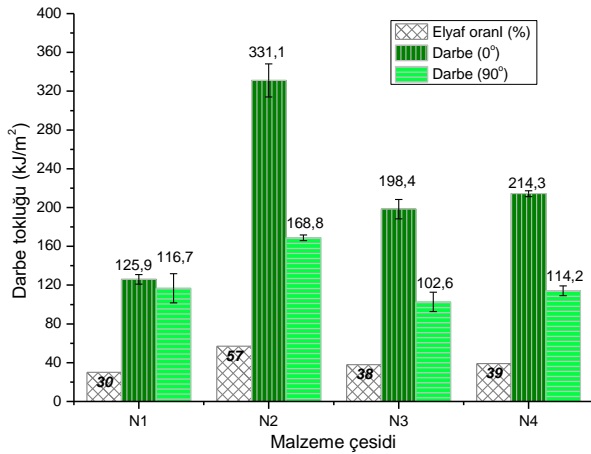
Şekil 9.'da malzeme çeşidine göre numunelerin darbe toklukları karşılaştırılmıştır. N3'ün yöne göre darbe tokluğundaki fark, bir tabaka dokunmuş elyafa sahip olması nedeniyle, N2 ve N4'e göre nispeten daha az olmuştur. Darbe enerjisinin 0° yönde 90° yöne göre daha yüksek sönümlendiği görülmüştür. Darbe kuvvetine karşı en iyi performansı N2 göstermiştir. N1 tekdüze yapıya sahip olduğundan her iki yönde de aynı darbe sönümlenme seviyesine ulaşmıştır. Darbe tokluğu, 0° ve 90° yönlerdeki sürekli elyaf yoğunluğundaki farkla ilişkili olmasına rağmen, lineer olarak değişmemiştir. Ayrıca, dokunmuş elyaf tabaka sayısının değişimiyle aynı oranda değişmemiştir. Bu durum, ara yüzey bağlanmalarını ve matris ile sürekli elyaf arasındaki tutunmayı güçlendiren kırılmış elyafın etkisiyle





Resim 2. Basma deneyi sonrası numuneler (Specimens after compression test)

gerçekleşmiştir. Mylsamy vd. yaptıkları çalışmada elyaf biçiminin ve elyaf ile matriks arasındaki sürtünme ve tutunma faktörlerinin levha kompozitlerde darbe özelliklerini etkilediğini açıklamışlardır [18]. Matriks yapı deformasyona uğramadan önce sürekli elyaf hızla uygulanan gerilmeyi üzerinde toplamış ve etki eden enerjinin bütüne yayılmasını sağlamıştır. Bu yüzden dokunmuş elyaf katı en fazla olan N2’de darbe tokluğu en yüksek çıkmıştır.

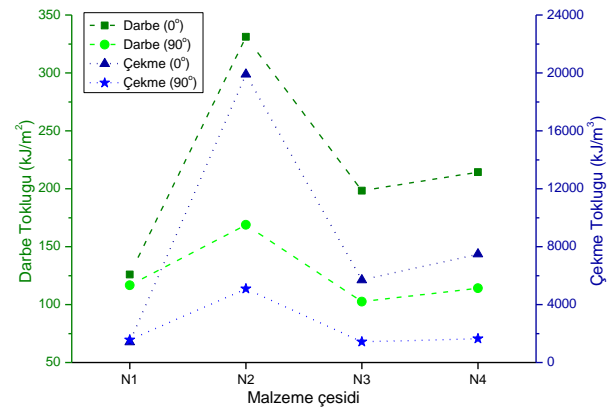


Şekil 9. Darbe tokluklarının karşılaştırması (Comparison of the impact toughness)

Darbe deneyi sırasında kırılan numunelerin görüntüleri Resim 3’te sunulmuştur. Kırılma bölgesine bakıldığında, darbe sırasında sürekli elyafın matriksten sıyrıldığı anlaşılmıştır.

Şekil 10.’da numunelerin çekme tokluğu ile darbe tokluğunun karşılaştırması verilmiştir. Elyaf takviyesinin her iki tokluk performansını da geliştirdiği görülmüştür. Elyaf konfigürasyonundaki değişim hem darbe hem de çekme tokluğu üzerinde aynı etkiyi göstermiştir.

Dokunmuş sürekli elyafın kırılmış elyafa göre kompozite uygulanan yükü sönmülemde daha fazla katkı sunduğu belirlenmiştir. Sürekli elyafın yoğun olduğu yönde tokluk özelliğinin de belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 10. Darbe ve çekme tokluklarının karşılaştırması (Comparison of impact and tensile toughness)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, farklı elyaf konfigürasyonuna sahip polipropilen kompozit levhaların çekme, basma ve darbe özellikleri hem boyuna hem de enine yönlerde deneysel olarak incelenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Sürekli elyaf oranının fazla olması boylamasına yönde çekme gerilmesini belirgin bir şekilde artırmıştır.
- Kırılmış elyaf takviyesinin birim uzamayı artırdığı tespit edilmiştir.

- Dokunmuş elyaf katmanının ve elyaf oranının artması malzemenin basma dayanımının yükselmesini sağlamıştır.



Resim 3. Darbe deneyi sonrası numuneler (Specimens after impact test)

- Yapısında yalnızca kırılmış elyaf içeren kompozit malzemenin birbirine dik iki yönde de aynı özellikler sergilediği belirlenmiştir.
- Kırılmış ve dokunmuş elyaf içeriğiyle birlikte takviyelendirilen kompozit levhaların darbe özelliklerini arttığı tespit edilmiştir.
- Dokunmuş sürekli elyafın takviye elemanı olarak kullanılması, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine katkı sağlamıştır.
- Eş oranlı olmayan dokunmuş kompozit malzemelerin çekmede birim uzamalarının zayıf olan elyaf yönünde daha az olduğu belirlenmiştir.
- 0° yönde sürekli elyaf yoğunluğunun 90° yöne göre 4 kat fazla olması, dokunmuş elyaf içeren kompozitlerin mekanik özelliklerinin yaklaşık 2-2,5 kat daha yüksek çıkmasını sağlamıştır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada kullanılan kompozit levha malzemelerin tedarik edilmesinde yardımlarından dolayı Mitsubishi Chemical Advanced Materials Co.'a ve ayrıca, bu çalışmayı 07/2018-15 kodlu proje kapsamında destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**A. Onur ÖZDEMİR:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. / Performed the experiments and analyzed the results.

**Çetin KARATAŞ:** Literatürü hazırlamıştır. / Prepared the literature.

**H. Serdar YÜCESU:** Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Wrote the manuscript.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Karakoç H. "Toz metal Al7075/B4C/Si3N4 kompozit malzemelerin üretimi ve aşınma özelliklerinin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, (Accepted: 13.11.2019).
- [2] Demir M.E., Çelik Y.H. and 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).
- [3] Anand Y. and Dutta V. "Testing of composites: a review", *Advanced Materials Manufacturing & Characterization*, 3(1): 359-364, (2013).
- [4] Hemanth R., Sekar M. and Suresha B. "Effects of fibers and fillers on mechanical properties of thermoplastic composites", *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 2, 28-35, (2014).

- [5] Wang Y. and Zhao D. "Effect of fabric structures on the mechanical properties of 3-D textile composites", *Journal of Industrial Textiles*, 35(3): 239-256, (2006).
- [6] Eksi S. and Genel K. "Comparison of mechanical properties of unidirectional and woven carbon, glass and aramid fiber reinforced epoxy composites", *Acta Physica Polonica A*, 132, 879-882, (2017).
- [7] Reyes G. and Sharma U. "Modeling and damage repair of woven thermoplastic composites subjected to low velocity impact", *Composite Structures*, 92, 523-531, (2010).
- [8] Suresh S. and Kumar V.S.S. "Experimental determination of the mechanical behavior of glass fiber reinforced polypropylene composites", *Procedia Engineering*, 97, 632-641, (2014).
- [9] Mortazavian S. and Fatemi A. "Fatigue behavior and modeling of short fiber reinforced polymer composites: a literature review", *International Journal of Fatigue*, 70(1): 297-321, (2015).
- [10] Sridhar D.R. and Varadarajan Y.S. "Significance of the type of reinforcement on the mechanical behavior of thermoplastic composites", *Materials Today: Proceedings*, 5, 13139-13145, (2018).
- [11] Demircan O., Al-darkazali A., İnanç İ. and Eskizeybek V. "Investigation of the effect of CNTs on the mechanical properties of LPET/glass fiber thermoplastic composites", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1-22, (2019).
- [12] Aruchamy K., Subramani, S.P., Palaniappan, S.K., Sethuraman, B. and Kaliyannan, G.V. "Study on *Materials Research & Technology*, 9(1): 718-726, (2020).
- [13] Nassar A. and Nassar E. "Effect of fiber orientation on the mechanical properties of multi layers laminate nanocomposites", *Heliyon*, 6, e03167, (2020).
- [14] ISO 527-4. Plastics - Determination of tensile properties, Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites, (1997).
- [15] ISO 14126. Fibre-reinforced plastic composites - Determination of compressive properties in the in-plane direction, (1999).
- [16] ISO 179-1. Plastics - Determination of Charpy impact properties, Non-instrumented impact test, (2010).
- [17] Jesuarockiam N., Jawaid M., Zainudin S.E., Sultan M.T.H. and Yahaya R. "Enhanced thermal and dynamic mechanical properties of synthetic/natural hybrid composites with graphene nanoplatelets", *Polymers*, 11(7): 1085-1103, (2019).
- [18] Mysamy B., Palaniappan S.K., Subramani S.P., Pal S.K. and Aruchamy K. "Impact of nanoclay on mechanical and structural properties of treated *Coccinia Indica* fiber reinforced epoxy composites", *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6): 6021-6028, (2019)

mechanical characteristics of woven cotton/bamboo hybrid reinforced composite laminates", *Journal of*