



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

**Hibrit Dokunan Karbon/E-Cam/Polipropilen Termoplastik Prepreg Kompozitlerin Mekanik Özellikleri**

**Mechanical Properties of Hybrid Woven Carbon/E-Glass/Polypropylene Thermoplastic Prepreg Composites**

Gaye KAYA

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 1 Ekim 2018 (1 October 2018)

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Gaye KAYA (2018): Hibrit Dokunan Karbon/E-Cam/Polipropilen Termoplastik Prepreg Kompozitlerin Mekanik Özellikleri, Tekstil ve Mühendis, 25: 111, 196-207.

**For online version of the article:** <https://doi.org/10.7216/1300759920182511103>

**Sorumlu Yazara ait Orcid Numarası (Corresponding Author's Orcid Number) :**

<https://orcid.org/0000-0003-1866-4799>

## HİBRİT DOKUNAN KARBON/E-CAM/POLİPROPİLEN TERMOPLASTİK PREPREG KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

**Gaye KAYA**

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 08.05.2018*

*Kabul Tarihi / Accepted: 11.09.2018*

**ÖZET:** Kompozit malzemelerde yüksek spesifik özelliklere düşük fiyatlarda ulaşma isteğinin çeşitli endüstriyel uygulama alanları için giderek artması, hibrit termoplastik kompozitlerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Bu çalışmada, hibrit dokunan Karbon/Polipropilen (PP), E-cam/PP ve Karbon/E-cam/PP prepregler kullanılarak, katman-ıçi, katmanlar-arası ve katman-ıçi/katmanlar-arası hibrit biçimde tasarlanan termoplastik kompozitler geliştirilmiş ve bu kompozitlerin eksenel yüke maruz kalması durumundaki davranışları hibrit-olmayan kompozitlerle karşılaştırılmıştır. Hibritlemede kullanılan takviye liflerinin konum ve lif miktarı bakımından dengeli/uniform dağılıma sahip olduğu katman-ıçi/katmanlar-arası hibrit kompozit yapı en yüksek dayanım/modül değerini göstermiştir. Katman-ıçi/katmanlar-arası hibrit kompozit yapı, gerek daha dar bir alanda sınırlanan delaminasyon davranışı, gerekse yüksek çekme dayanım/modül değerleri bakımından hasar toleranslı malzeme olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit kompozit, termoplastik kompozit, çekme dayanımı, kırılma davranışı.

### MECHANICAL PROPERTIES OF HYBRID WOVEN CARBON/E-GLASS/POLYPROPYLENE THERMOPLASTIC PREPREG COMPOSITES

**ABSTRACT:** An increased request in composite materials at low prices with high specific properties has contributed to the development of hybrid thermoplastic composites. In this study, intra-ply, inter-ply and intra-ply/inter-ply hybrid thermoplastic composites are developed by using hybrid woven Carbon/Polypropylene (PP), E-glass/PP and Carbon/E-glass/PP prepregs and their behaviors under axial loading are compared with non-hybrid composites. The intra-ply/inter-ply hybrid composites, which have equable and uniform fiber placement/fiber fractions, provide the highest tensile strength and modulus values. The intra-ply/inter-ply hybrid composite in which the delamination is limited to a narrow region provides high tensile strength/modulus values and therefore this composite is considered as damage tolerant material.

**Key Words:** Hybrid composite, thermoplastic composite, tensile strength, failure behavior.

\* **Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** [gkaya@ksu.edu.tr](mailto:gkaya@ksu.edu.tr) <https://orcid.org/0000-0003-1866-4799>

**DOI:** 10.7216/1300759920182511103, [www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

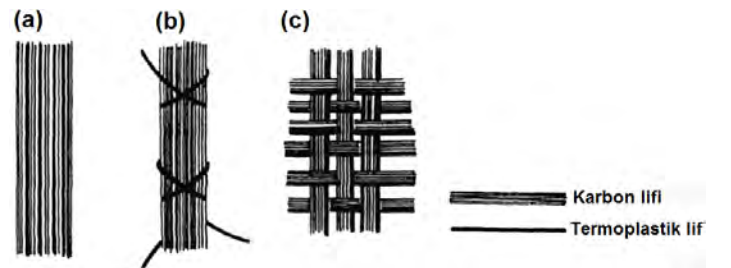
Kompozit malzemeler, 1940'lı yıllardan bu yana, özellikle termoset esaslı polimerlerdeki gelişmelere bağlı olarak, havacılıktan otomotive birçok endüstriyel alanda kullanılmaya başlanmıştır. Tekstil esaslı polimerik kompozitlerin hafiflik, yüksek dayanım ve modül değerleri, yüksek yorulma direnci ve korozyon direncinin yanı sıra, kompleks geometrik şekillerdeki parçaların üretimine imkan vermesi, mühendislik uygulamalarında çok sayıda yapısal parçanın üretiminde kullanılmasını sağlamıştır [1].

Günümüzde ise, daha düşük fiyat özelliği gösteren termoplastik polimer esaslı kompozitlerin geliştirilmesine yönelik artan bir eğilim bulunmaktadır. Bu eğilimin gerekçesi, termoplastik kompozitlerin, termoset kompozitlere kıyasla daha kısa proses sürelerinde daha kolay şekil alabilme özelliğidir. Bunun yanı sıra, yüksek kırılma tokluğu ve hasar toleransı, mikro çatlak dayanımı, kompozit yapıların yüksek sıcaklıklarda yeniden şekillendirilme veya kalıplanma özelliği göstermeleri, birçok endüstriyel alanda kullanılmalarını sağlamaktadır [2-7]. Termoplastik reçineler, termoset reçinelere kıyasla ortalama 500 ile 1000 kat daha viskoz bir yapıdadır. Bu da, polimer maddenin life infüzyon eğilimini kısıtlamaktadır. Ayrıca, termoplastik kompozit üretiminde yüksek basınç ihtiyacı duyulması da diğer bir kısıtlayıcı etken olarak göz önüne alınmaktadır. PEEK (polieter eter keton), PPS (polietilen sülfid) ve LCP (sıvı kristal polimerler) gibi yarı-kristalin termoplastik polimerler, nispeten yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal dayanım özelliklerinden dolayı özellikle havacılıkta kullanılmaktadır. Ayrıca, PP (polipropilren), ABS (akrilonitril bütadien stiren) ve PA (poliamid) gibi diğer bazı termoplastik polimerler ise, otomotiv endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır. PP, düşük fiyat, yüksek spesifik özellikler ve yeniden kullanım özelliklerinden dolayı, termoplastik kompozit üretiminde oldukça yaygındır. Yarı-kristalin özellikteki PP'nin erime sıcaklığı 176°C ve proses sıcaklığı ise 190°C'dir [8, 9].

Yüksek performans ve düşük maliyet unsurları önem kazandıkça, Cam/PP esaslı kompozit yapılarla ilgili çok sayıda araştırmanın önü açılmıştır [10-16]. Cam lifleri, yüksek bir kimyasal dayanım ve özellikle çekme dayanım ve uzama değerleri bakımından iyi mekanik özellikler sunmaktadır. Ancak, Karbon liflerine kıyasla Cam liflerinin modül değerleri daha düşüktür. Her iki lif kullanılarak geliştirilen termoplastik kompozitlerde, lif/matris ara-yüz özellikleri oldukça önemlidir ve zayıf olması durumunda mekanik özellikleri düşürdüğü ifade edilmektedir [17-20]. Termoplastik polimerler, özellikle otomotiv endüstrisi için kritik önem taşıyan son kullanım ömrünü uzatmaktadır. Kompozit malzemelerde yüksek spesifik dayanımın yanı sıra, fiyat faktörü de, özellikle otomotiv uygulamalarında önem kazanmaya başlamıştır [21]. Ancak, yüksek teknolojik uygulamalardaki kompleks malzeme gereksinimleri, izotropik malzemelerin istenilen özellikleri yeterince karşılayamamasından dolayı, hibrit materyallerin kullanılmalarının artmasına neden olmuştur. Tekstil esaslı kompozitler, maruz kalacakları yüke göre tasarım

esnekliğine sahip olmalarından dolayı, hibrit kompozit üretimine uygundur [22, 23]. Birden fazla lif çeşidi içeren kompozitler, hibrit kompozitler olarak tanımlanmaktadır. Hibrit kompozitler, geometrisi ve bileşenlerine göre temelde iki çeşittir. Bunlar; katmanlar-arası (inter-ply) hibrit ve katman-ıç (intra-ply) hibrit kompozitlerdir. Katmanlar-arası hibrit kompozitlerde, kompozit yapının istenen dayanım ve performans özelliklerine göre, kompozit yapının her bir katmanının farklı olması söz konusuysen, katman-ıç hibrit kompozitlerde ise, farklı lif türlerinin aynı katman içerisinde karıştırılması ifade edilmektedir [24]. Bazı yüksek performanslı lifler ve doğal liflerin; dokuma, tek yönde serme veya dokusuz yüzey biçimindeki preformlarından elde edilen hibrit kompozitlerin, mekanik ve darbe özellikleri üzerine araştırmalar mevcuttur. Buna göre, çeşitli şekillerde elde edilen hibrit kompozitlerin, savunma, havacılık ve otomotiv alanındaki bazı uygulamalar için uygun olduğu ifade edilmektedir [24-28].

Prepreg, belirli miktarda ve uniform bir biçimde dağılmış olan polimer matris içeren ince lif katmanları olarak tanımlanmaktadır. Bu lifler; kesiksiz fitil, keçe veya dokuma formunda olabilirler. Yüksek viskoziteli termoplastik reçineleri liflere aktarmak ve iyi ıslanma özelliği gösteren bir yapıda prepreg üretmek, düşük viskoziteli termoset reçinelere kıyasla oldukça zordur [29]. Termoplastik prepreg üretimi için ticari olarak kullanılan çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Üretilen bu prepregler, herhangi bir süre kısıtlaması olmadan depolanabilmekte ve ihtiyaç halinde istenen kat sayısında hazırlanarak, uygun sıcaklık ve basınç altında kompozit üretilmektedir. Termoplastik prepreg üretiminde kullanılan yöntemler; sıcak-eriyik, solüsyon emdirme, sıvı emdirme, film yöntemi, kuru partikül kaplama ve lif karıştırma yöntemleridir. Lif karıştırma yöntemi, termoplastik lifler ve takviye liflerinin, hibrit iplik (commingling), özlü iplik (wrapping) ve hibrit dokuma (co-weaving) gibi yöntemler kullanılarak homojen bir biçimde karıştırılması esasına dayanır. Şekil 1'de, bu üç yöntem için şematik görüntü verilmiştir [29].



Şekil 1. Hibrit iplik (a), özlü iplik (b) ve hibrit dokuma (c) [29].

Hibrit iplik ve özlü iplik yöntemleri ile üretilen ipliklerden, dokuma, örme veya saç örgü yöntemleri ile hibrit kumaş üretimi mümkündür. Bu kumaşlardaki termoplastik lifler, kürlenme esnasında erimekte ve takviye liflerini ıslatarak yayılmaktadır. Hibrit kumaşların en önemli avantajı, yüksek oranda şekil alabilirlik özelliklerinden dolayı karmaşık geometrik şekillerdeki kalıplamalar için uygun olmasıdır [29]. Literatürde, hibritiplik ve

özlüplük yöntemleri ile üretilen kompozitlerin kurluşmesi ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur [30-44]. Burada, polimerik lifler hızlıca erimekte ve takviye lifinin etrafını akışkan formda sarmaktadır. Genel olarak, polimerik liflerin iplik içerisinde homojen bir biçimde dağılmadığı ve üretilen kompozit performansının doğrudan iplik homojenliği ile bağlantılı olduğu ifade edilmiştir [30-44]. Cam ve Karbon lifi gibi, düşük eğilme ve enine basma özelliklerine sahip kırılğan liflerin, hibrit iplik üretimi esnasında bazı deformasyonlara uğradığı belirlenmiştir. Bu deformasyonlar ve filament kırılmaları, üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini düşürmektedir [40].

Hibrit dokuma, kompleks geometrik şekillerdeki kompozit üretimi için uygun özellikte, dökümlülüğü yüksek prepreg üretimi için, iki farklı özellikteki lifin birlikte dokunması neticesinde üretilmektedir. Bu tip hibrit kompozitlerdeki en kritik nokta, düzenli lif dağılımını elde etmektir [45-46]. Shekar vd., atkı ipliği olarak PEEK ve çözgü ipliği olarak Cam lifi kullanarak 2/2 basket dokusunda hibrit kumaş geliştirmişlerdir. Farklı katman sayısı kullanılarak elde edilen farklı kalınlıklardaki kompozit yapıların, mekanik ve tekrarlı darbe (drop) testleri gerçekleştirilmiştir. Eğme dayanımı ve katlararası ayrılma dayanımlarının, kompozit kalınlığı arttıkça arttığı ifade edilmiştir [45]. Shekar vd., basket ve saten dokusunda PEEK/E-cam hibrit dokuma kumaşlardan elde edilen kompozitlerin, mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Herhangi bir ön ısıtma olmaksızın, doğrudan proses sıcaklığında kalıplanan kompozitlerin dinamik mekanik özelliklerinin, ön ısıtma ve sonrasında proses sıcaklığına ulaştırılan ve kalıplanan kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu ifade edilmiştir [46]. Dehkordi vd., Bazalt ve Nylon katman-ıçi hibrit dokuma kumaşları, termoset epoksi reçine ile kompozit formuna dönüştürmüşler ve darbe özelliklerini incelemiştir. Kompozit yapıların darbe dayanımlarının, Bazalt/Nylon lif oranına bağlı olduğu ve hasar tipi ve boyutunun da yine lif miktarından etkilendiği ifade edilmiştir [47]. Sugie vd., Karbon ve Cam liflerini kullanarak çok eksenli çözgü örne hibrit kumaşlar geliştirmişlerdir. Bu kumaşlar, termoset polyester ve epoksi reçine ile kompozit formuna dönüştürülmüştür. Katmanlar-arası hibrit polyester reçineli kompozitlerin darbe dayanımlarının, aynı yapıların epoksi reçineli kompozitlerine kıyasla farklı enerji absorpsiyon özellikleri sergilediği ifade edilmiştir [48]. Sevkat vd., S2-cam ve Grafit bezayağı dokuma yapısında katmanlar-arası hibrit kumaşları termoset epoksi reçine ile kompozit formuna dönüştürmüşler ve darbe özelliklerini araştırmışlardır. Yüzeyde Cam, çekirdek kısmında Grafit olan kompozitlerin, yüzeyde Grafit çekirdekte Cam olan kompozitlere kıyasla darbe dayanımlarının bir miktar daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Hibrit kompozitlerin, özellikle lif tipi

bakımından birbirinden farklı katmanları arasında delaminasyon eğiliminin daha fazla olduğu belirtilmiştir [49]. Pandya vd., saten dokusundaki Karbon ve bezayağı dokusundaki E-cam kumaştan katmanlar-arası hibrit yapılar geliştirmiş ve termoset epoksi reçine ile kompozit formuna dönüştürerek mekanik özelliklerini incelemiştir. E-cam kumaşın dış katmanda, Karbon kumaşın ise iç katmanda olduğu yapıların çekme dayanımlarının, Karbon kumaşın dış katmanda, cam kumaşın ise iç katmanda olduğu yapılardan daha yüksek olduğu ifade edilmiştir [50]. Zhang vd., Cam dokuma ve Karbon dokuma kumaşları epoksi reçine ile katmanlar-arası hibrit kompozit yapı formuna dönüştürmüşlerdir. Karbon kumaşın dış katmanda olduğu ve Karbon kumaşın hibrit kompozit yapı içerisindeki oranının %50 olduğu durumda, yapıların yüksek eğilme dayanımı sergilediği ifade edilmiştir. Buna karşın, Cam kumaşın dış katmanda olduğu hibrit kompozitlerin ise basma dayanımlarının yüksek olduğu belirtilmiştir [51].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, genel olarak katmanlar-arası hibrit kompozit yapılara ait mekanik ve darbe özellikleri üzerine yapılan çalışmaların yoğunlukta olduğu görülmüştür. Ayrıca termoplastik liflerin, termoset esaslı kompozitlerde tokluğu arttırmak amaçlı kullanıldığı belirlenmiştir. Hibrit dokuma prepregler kullanılarak geliştirilen katman-ıçi, katmanlar-arası ve katman-ıçi/katmanlar-arası hibrit termoplastik kompozitlerin mekanik özellikleri ile ilgili detaylı bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu çalışmanın amacı, hibrit dokunan Karbon/PP, E-cam/PP ve Karbon/E-cam/PP prepregler kullanılarak, katman-ıçi, katmanlar-arası ve katman-ıçi/katmanlar-arası hibrit biçimde tasarlanan termoplastik kompozitler geliştirilmesi ve bu kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesidir. Geliştirilen hibrit termoplastik kompozitlerin aksenal yüke maruz kalması durumundaki davranışı, çekme testi ile belirlenmiştir. Elde edilen, çekme dayanımı, çekme modülü ve çekme uzaması değerleri kompozit yoğunlukları ile normalize edilerek değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Hibrit Termoplastik Prepreglerin Dokunması

Çalışma kapsamında, üç tip termoplastik prepreg el dokuma tezgâhında (GARM-55, Gülas Makine, Türkiye) dokunmuştur. Bunlar; Karbon/PP (P-C), E-Cam/PP (P-G) ve Karbon/E-Cam/PP (P-H) olarak belirlenmiştir. Çözgü ipliği (0°) olarak BCF (Bulk Continuous Filament) PP (Eruslu Tekstil, Türkiye) iplik kullanılırken, atkı ipliği (90°) olarak ise Karbon (Aksa, Türkiye) ve E-cam (Cam Elyaf, Türkiye) iplikler kullanılmıştır. Tablo 1'de, çalışma kapsamında kullanılan liflerin özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Liflerin özellikleri.

Lif tipi	Lif çapı (µm)	Lif yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme modülü (GPa)	Uzama (%)	Erime noktası (°C)	İplik numarası
Karbon	6.17	1.78	4200	240	1.8	>1200	3K
E-Cam	18.34	2.57	2306	81.5	2.97	840	410 tex
PP	-	0.90	35	14	30	175	150 tex

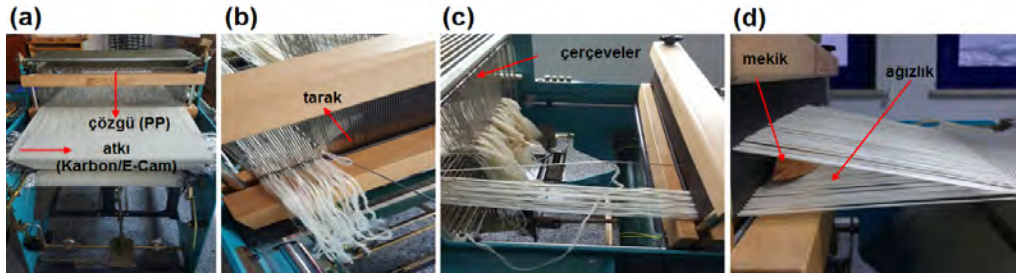
Şekil 2’de, termoplastik prepreglerin dokunma aşamaları verilmiştir [52]. P-C, P-G ve P-H termoplastik prepregler, bezayağı örgüsünde dokunmuştur. P-C ve P-G prepreglerde, her ağızlık açılışında altışar adet Karbon veya E-cam iplik atılmıştır. P-H prepregde ise, ilk ağızlık açıldığında altı adet E-cam iplik atılmış, ardından açılan ikinci ağızlıkta üç adet Karbon iplik atılmıştır. Bu işlemlerin sırasıyla devam etmesi neticesinde termoplastik prepreglerin dokuma işlemi tamamlanmıştır. Burada, çözgü ipliği olarak kullanılan PP, sıcak pres ile kompozit üretimi esnasında eriyerek matris işlevi görecektir. Bu durumda geliştirilen yapılar, kompozit üretiminde tek yönde doğrultulanmış prepreg özelliği taşımaktadır.

Tablo 2’de, P-C,P-G ve P-H termoplastik prepreglerin bazı özellikleri verilmiştir. Prepreglerin kalınlıkları, ISO 5084 test standardına uygun olarak ölçülmüştür (SDL Atlas, J200). Kıvrım ve gramaj ölçümleri ise sırasıyla ISO 7211-3ve ISO 6348 test standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Kullanılan E-Cam lifinin iplik numarasının ve lif yoğunluğunun Karbon lifine kıyasla daha yüksek olması nedeniyle, en yüksek gramaj değerini P-G ( $1278 \text{ g/m}^2$ ) göstermiş, bunu sırasıyla P-H ( $1027 \text{ g/m}^2$ ) ve P-C ( $794 \text{ g/m}^2$ ) yapıları takip etmiştir. Benzer eğilim kalınlık değerleri için de geçerlidir. Termoplastik prepreglerin genel olarak, düşük atkı yönü kıvrım değerleri sergilediği görülmüştür. Buna karşın her üç prepreg için de çözgü yönündeki kıvrım

değerlerinin, rijit karakterli E-Cam ve Karbon atkı ipliklerinin PP çözgü ipliğine uyguladığı yüksek gerilim neticesinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Atkı yönünde kullanılan E-cam ipliğin iplik numarasının Karbon ipliğe kıyasla daha yüksek olması nedeniyle, en yüksek çözgü yönü kıvrım değeri P-G (%16.2) yapısında elde edilmiştir. Bunu, sırasıyla P-H (%8.8) ve P-C (%5.0) prepregleri takip etmiştir.

## 2.2. Kompozit Üretimi

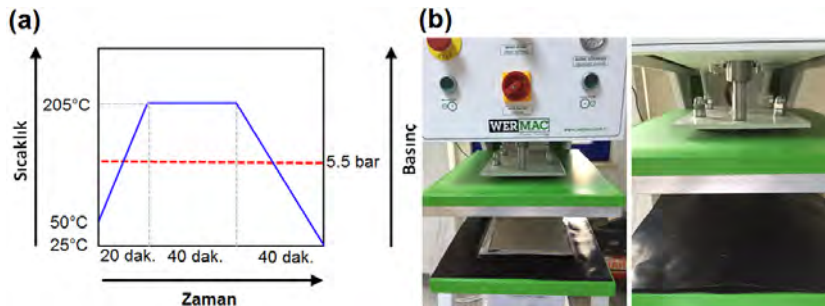
P-C,P-GveP-H prepregler üretilecek hibrit kompozit tipine bağlı olarak,  $[90^\circ/0^\circ]$  oryantasyonunda 4 katlı olarak düzenlenmiştir. Katmanlı prepregler, alt ve üst yüzeylerine yapışmaz teflon kumaş konulan önceden  $50^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılmış sıcak prese (Wermac®-H501, Türkiye) yerleştirilmiştir. Proses sıcaklığı  $205^\circ\text{C}$ , basınç 5.5 bar olarak belirlenmiştir. 40 dakika bu sıcaklıkta çalışılmış, daha sonra sıcaklığın oda sıcaklığına düşmesi sağlanarak kürleşme gerçekleştirilmiştir. Şekil 3’te, katmanlı prepreglerin kompozit formuna dönüştürülmesinde kullanılan proses diyagramı ve sıcak pres gösterilmiştir. Tablo 3’te, üretilen hibrit termoplastik kompozitler tanımlanmıştır. Buna göre, hibrit-olmayan (C-C, C-G), katman-İçi hibrit (C-H), katman-İçi/katmanlar-arası hibrit (C-H1, C-H3) ve katmanlar-arası hibrit (C-H2) olmak üzere toplam altı farklı kompozit yapı üretilmiştir. Şekil 4’te, üretilen prepreg ve kompozitlerin mikroskopik (BAB Bs200Doc, Türkiye) görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Termoplastik prepreglerin dokunması, el dokuma tezgâhı  
(a), çözgü ipliklerinin taraktan geçirilmesi (b), çerçeveler (c), mekik ve ağızlık (d) [52].

Tablo 2. Termoplastik prepreglerin özellikleri.

Prepreg tipi	Örgü	İplik setleri		Sıklık (tel/cm)		Gramaj ( $\text{g/m}^2$ )	Kıvrım (%)		Kalınlık (mm)
		Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı		Çözgü	Atkı	
P-C	Bezayağı	PP	6 Karbon	4	4.5	794	5.0	2.0	$1.35 \pm 0.02$
P-G	Bezayağı	PP	6 E-cam	4	5.5	1278	16.2	1.0	$1.54 \pm 0.02$
P-H	Bezayağı	PP	6 E-cam/ 3 Karbon	4	5.5	1027	8.8	1.0/2.0	$1.46 \pm 0.02$

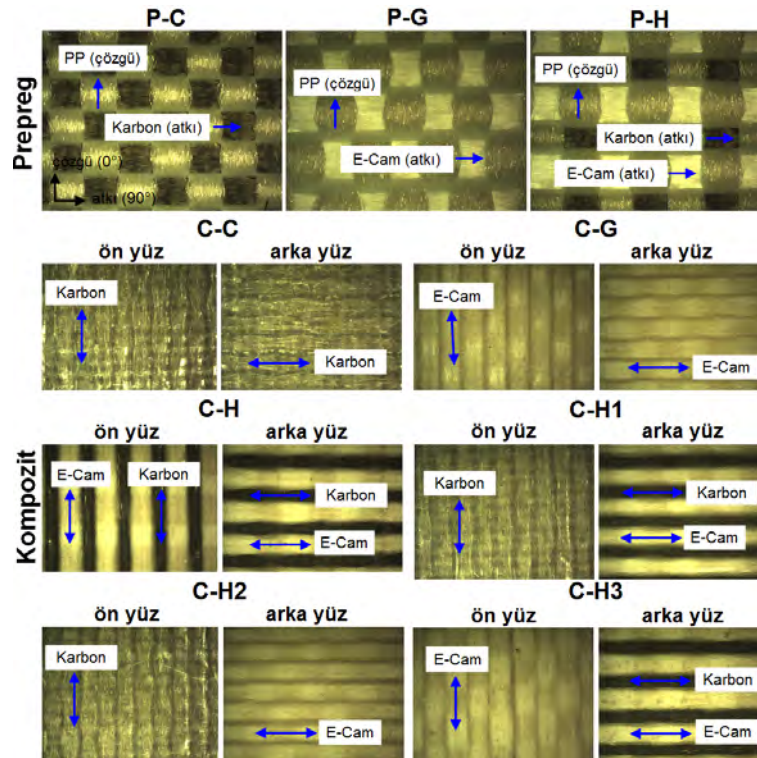


Şekil 3. Proses diyagramı (a), sıcak preste kompozit üretimi (b).

**Tablo 3.** Üretilen hibrit termoplastik kompozitlerin tanımlanması.

Kompozit tipi	Hibritleme	Kat sayısı	Oryantasyon	Katların sıralaması*
C-C	hibrit-olmayan	4 kat	$[90^{\circ}/0^{\circ}]_2$	1: $90^{\circ}$ (P-C), 2: $0^{\circ}$ (P-C), 3: $90^{\circ}$ (P-C), 4: $0^{\circ}$ (P-C)
C-G	hibrit-olmayan	4 kat	$[90^{\circ}/0^{\circ}]_2$	1: $90^{\circ}$ (P-G), 2: $0^{\circ}$ (P-G), 3: $90^{\circ}$ (P-G), 4: $0^{\circ}$ (P-G)
C-H	katman-içi	4 kat	$[90^{\circ}/0^{\circ}]_2$	1: $90^{\circ}$ (P-H), 2: $0^{\circ}$ (P-H), 3: $90^{\circ}$ (P-H), 4: $0^{\circ}$ (P-H)
C-H1	katman-içi/ katmanlar-arası	4 kat	$[90^{\circ}/0^{\circ}]_2$	1: $90^{\circ}$ (P-C), 2: $0^{\circ}$ (P-H), 3: $90^{\circ}$ (P-C), 4: $0^{\circ}$ (P-H)
C-H2	katmanlar-arası	4 kat	$[90^{\circ}/0^{\circ}]_2$	1: $90^{\circ}$ (P-C), 2: $0^{\circ}$ (P-G), 3: $90^{\circ}$ (P-C), 4: $0^{\circ}$ (P-G)
C-H3	katman-içi/ katmanlar-arası	4 kat	$[90^{\circ}/0^{\circ}]_2$	1: $90^{\circ}$ (P-G), 2: $0^{\circ}$ (P-H), 3: $90^{\circ}$ (P-G), 4: $0^{\circ}$ (P-H)

\*1: en üst kat, 4: en alt kat.

**Şekil 4.** Prepreg ve kompozitlerin mikroskopik görüntüleri ( $\times 7$  büyütme oranı).

## 2.3. Kompozit Testleri

### 2.3.1. Kompozit Yoğunluğu ve Lif Miktarının Tayini

Hibrit termoplastik kompozitlerin yoğunlukları ASTM D792-13 standardına göre belirlenmiştir. Kompozit numuneler,  $3 \times 3$  cm boyutlarında kesilmiştir. Hazırlanan numunelerin yoğunlukları, yoğunluk ölçme kiti bulunan hassas terazide (Precisa® XP205, İsviçre) önce havadaki daha sonra da sudaki ağırlıklarının oda sıcaklığında ölçülmesi yoluyla belirlenmiştir. Hibrit termoplastik kompozitlerin lif miktarlarının belirlenmesi için ASTM D 3171-15 standardı kullanılmıştır. Test numuneleri,  $3 \times 3$  cm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır. Test öncesi her bir numune hassas terazide tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra,  $600^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat kül fırınında bekletilen numuneler, soğuması amacıyla

desikatöre alınmış tekrar tartımları gerçekleştirilmiştir. Hibrit termoplastik kompozitlerin ağırlıkça lif miktarları, her bir lif için ayrı ayrı ( $W_f$ ) ve toplam lif miktarı ( $\Sigma W_f$ ) olarak belirlenmiştir. Hacimsel lif miktarları ise, toplam lif miktarına ( $\Sigma V_f$ ) göre hesaplanmıştır.

### 2.3.2. Çekme Dayanımı Testi

Hibrit kompozitlerin çekme dayanımı özellikleri ASTM D3039-76 standardına uygun olarak Hounsfield H5KS (İngiltere) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Numune eni 25 mm, numune boyu 250 mm ve test mesafesi 150 mm olarak belirlenmiştir. Test hızı 2 mm/dakika olarak ayarlanmıştır. Şekil 5'te çekme testi esnasında numune görüntüleri verilmiştir. Çekme testi sonrası

kompozit yapılarıdaki kırılma davranışı optik mikroskop kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 5. Çekme testi esnasındaki numune görüntüleri (C-H).

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

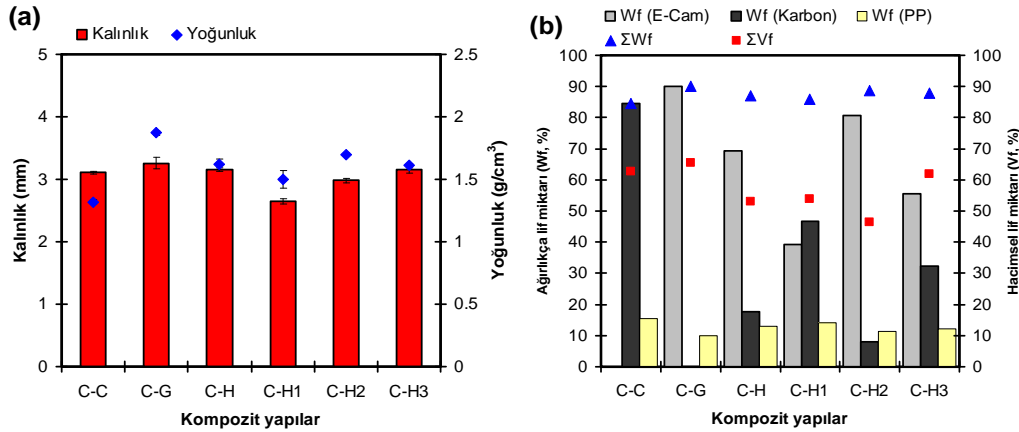
#### 3.1. Kompozit Yoğunluğu ve Lif Miktarı

Şekil 6(a)'da kompozit kalınlığı ve kompozit yoğunluğu değerleri verilmiştir. Kompozit yapıların kalınlık değerleri, kullanılan prepreg tipine bağlı olarak 2.65 ile 3.26 mm arasında değişmektedir. En yüksek kompozit yoğunluğunu hibrit-olmayan C-G yapısı göstermiştir. Bunun nedeni, C-G yapısında kullanılan E-cam lifinin yoğunluğunun ( $2.57 \text{ g/cm}^3$ ), Karbon lifine ( $1.78 \text{ g/cm}^3$ ) kıyasla daha yüksek olmasıdır. Ayrıca, hibrit kompozitlerde kullanılan E-cam lifi miktarı arttıkça, kompozit yapının

yoğunluğunun artması da beklenen bir sonuçtur. En düşük yoğunluk değerini, hibrit-olmayan C-C kompozit yapı göstermiştir. Bu yapıyı, Karbon ve E-cam lifinin dengeli bir oranda kullanıldığı katman-İçi/katmanlar-arası hibrit C-H1 yapısı takip etmiştir. Şekil 6(b)'de ise, kompozit yapıların ağırlıkça ve hacimsel lif miktarları verilmiştir. Lif miktarının kompozit dayanım değerlerini doğrudan etkilediği göz önünde bulundurulduğunda, üretilen kompozit yapıların ağırlıkça ve hacimsel lif miktarlarının genel olarak oldukça yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. En yüksek ağırlıkça ve hacimsel lif miktarı değerlerini, E-cam lifi takviyeli hibrit-olmayan C-G kompozit yapı göstermiştir. C-H, C-H2 ve C-H3 hibrit kompozitlerde E-cam lif miktarının daha yüksek olduğu, buna karşın C-H1 hibrit kompozit yapıda ise E-cam ve Karbon lif miktarlarının daha dengeli kullanıldığı belirlenmiştir.

#### 3.2. Çekme Dayanımı Testi

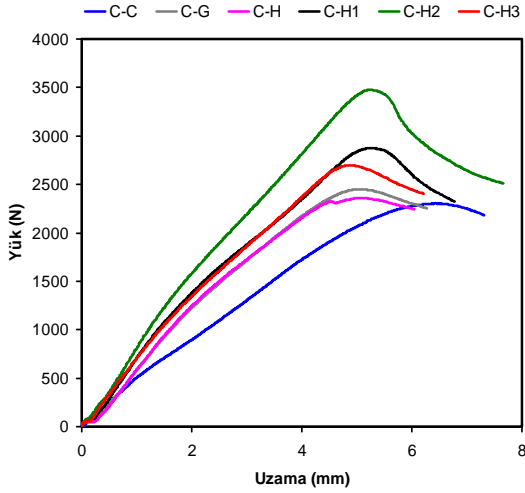
Hibrit termoplastik kompozitlerin çekme dayanımı test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 7'de, hibrit termoplastik kompozitlerin yük-uzama eğrileri verilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, hibrit kompozitler PP termoplastik matristen dolayı genel olarak sünek bir davranış göstermiştir. C-H1 ve C-H2 kompozit yapıların yük-uzama davranışları incelendiğinde, diğer kompozit yapılarla kıyasla daha gevrek bir davranış sergilemiştir. Hibrit kompozit yapıların maksimum yük değerleri 2303 N ile 3189 N arasında değişmektedir. En yüksek çekme yükü değerini, katman-İçi/katmanlar-arası hibrit C-H2 kompozit yapı göstermiştir.



Şekil 6. Kompozit yapıların kalınlık ve yoğunluk değerleri (a), kompozit yapıların lif miktarları (b).

Tablo 4. Hibrit kompozit yapıların çekme dayanımı test sonuçları.

Kompozit tipi	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme modülü (MPa)	Çekme uzaması (%)	Spesifik çekme dayanımı ( $\text{MPa/g/cm}^3$ )	Spesifik çekme modülü ( $\text{MPa/g/cm}^3$ )	Spesifik çekme uzaması ( $\%/g/cm^3$ )
C-C	$24.61 \pm 1.63$	$825.53 \pm 22.71$	$3.76 \pm 0.19$	18.64	625.40	2.85
C-G	$27.87 \pm 2.28$	$1165.27 \pm 26.87$	$3.37 \pm 0.06$	14.90	623.14	1.80
C-H	$28.06 \pm 0.56$	$1498.04 \pm 16.92$	$3.24 \pm 0.13$	17.32	924.72	2.00
C-H1	$34.03 \pm 2.03$	$1653.03 \pm 23.47$	$3.40 \pm 0.11$	22.69	1102.02	2.27
C-H2	$37.58 \pm 1.10$	$1557.60 \pm 21.06$	$3.39 \pm 0.10$	22.11	916.24	1.99
C-H3	$31.35 \pm 0.89$	$1348.90 \pm 18.45$	$3.14 \pm 0.11$	19.47	837.83	1.95



Şekil 7. Hibrit kompozitlerin yük-uzama eğrileri.

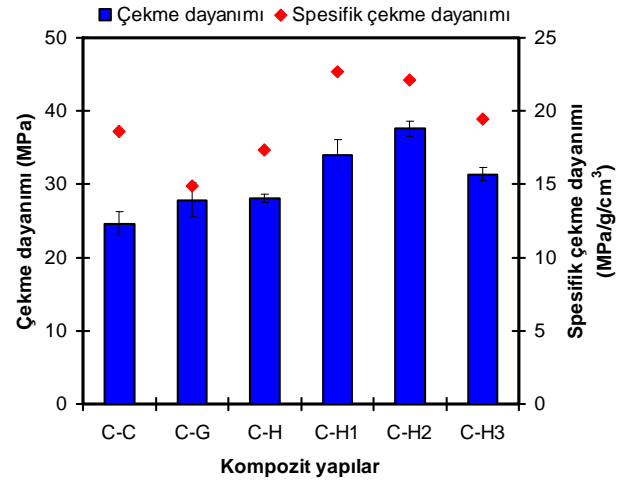
### 3.2.1. Çekme Dayanımı ve Spesifik Çekme Dayanımı

Şekil 8'de, kompozit yapıların çekme dayanımı ve spesifik çekme dayanımı değerleri verilmiştir. Kompozit yapıların çekme dayanımı değerleri, 24.61 MPa ile 37.58 MPa arasında, spesifik çekme dayanımı değerleri ise 14.90 MPa/g/cm<sup>3</sup> ile 22.69 MPa/g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Genel olarak, kompozit yapıların çekme dayanımları ile spesifik çekme dayanımlarının birbirleriyle uyumlu olmadığı belirlenmiştir. Burada, hibritleme tipine (katman-İçi, katmanlar-arası, katman-İçi/katmanlar-arası) bağlı olarak ortaya çıkan Karbon ve E-cam lifi miktarları ve dolayısıyla bu liflerin dayanım ve yoğunluk değerleri, nihai kompozit yapıların çekme dayanımı değerlerini önemli bir biçimde etkilemiştir. Hibrit kompozit yapıların çekme dayanımı ve spesifik çekme dayanımı değerlerinin, hibrit-olmayan kompozitlere kıyasla, genel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Karbon lifinin, E-cam lifine kıyasla daha yüksek dayanım ve daha düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı, C-C kompozit yapının spesifik çekme dayanımı (18.64 MPa/g/cm<sup>3</sup>), C-G kompozit yapıya kıyasla %20 daha yüksektir. Benzer eğilim, hibrit yapılarda da görülmektedir. Katman-İçi hibrit C-H kompozit yapının spesifik çekme dayanımının (17.32 MPa/g/cm<sup>3</sup>), C-C kompozit yapıya kıyasla yalnızca %7 daha düşük olduğu, C-G kompozit yapıdan ise yaklaşık %14 daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, Karbon ve E-cam liflerinin katman-İçi hibrit yapıdaki sinerjik katkısını ortaya koymaktadır. C-H kompozit yapıdaki ağırlıkça Karbon lifi miktarı %17.72, ağırlıkça E-cam lifi miktarı ise %69.38'dir. Ancak, spesifik çekme dayanımı değerleri kıyaslandığında, ağırlıkça %84.40 Karbon lifi içeren C-C kompozit yapıya yakın bir değer elde edilmiştir. Katman-İçi/katmanlar-arası hibrit C-H1 kompozit yapı, en yüksek spesifik çekme dayanımını (22.69 MPa/g/cm<sup>3</sup>) göstermiştir. Bu kompozit yapıyı sırasıyla, C-H2, C-H3, C-C, C-H ve C-G takip etmiştir. Katman-İçi/katmanlar-arası hibrit C-H1 kompozit yapının spesifik çekme dayanımı, hibrit-olmayan C-C ve C-G kompozit yapılara kıyasla sırasıyla %18 ve %34 daha yüksektir. Bunun nedeni, C-H1 yapısındaki Karbon ve E-cam liflerinin hem katman-İçi hem de katmanlar-arasındaki uniform

dağılımı ve dengeli lif miktarının kullanılmasıdır. Bir diğer önemli neden ise, C-H1 kompozit yapının 1. ve 3. katmanındaki P-G prepregdeki Karbon liflerinin, çekme yükünün uygulandığı ekseninde yer almasıdır. Şekil 6'da görüldüğü gibi, C-H1 kompozit yapıdaki ağırlıkça Karbon lifi miktarı %46.79, ağırlıkça E-cam lifi miktarı ise %39.14'tür. Katmanlar-arası hibrit kompozit yapı olan C-H2 ise, C-H1'in ardından en yüksek spesifik çekme dayanımını göstermiştir. C-H2 kompozit yapının spesifik çekme dayanımı (22.11 MPa/g/cm<sup>3</sup>), hibrit olmayan C-C ve C-G kompozit yapılara kıyasla sırasıyla %16 ve %33 daha yüksektir. Her ikisi de katman-İçi/katmanlar-arası hibrit C-H1 ve C-H3 kompozit yapılarda, C-H1'in spesifik çekme dayanımının (22.69 MPa/g/cm<sup>3</sup>), C-H3 kompozit yapıdan %14 daha yüksek olduğu görülmüştür. C-H1 hibrit kompozit yapıdaki ağırlıkça Karbon lifi miktarının (%46.79) C-H3 kompozit yapıya (%32.34) kıyasla daha yüksek olması, bu sonucunun ortaya çıkmasındaki önemli bir faktördür.

Hibrit termoplastik kompozitlerin çekme dayanımlarının, hibritlemenin katman-İçi, katmanlar-arası veya katman-İçi/katmanlar-arası olmasından etkilendiği belirlenmiştir. Katman-İçi/katmanlar-arası hibrit kompozitlerin genel olarak daha yüksek çekme dayanımı ve spesifik çekme dayanımı sergiledikleri belirlenmiştir. Katmanlar-arası hibrit kompozitlerde, her katmanın Karbon ve E-cam lifi gibi farklı takviye liflerinden oluşması, katmanlar-arası delaminasyon eğilimini arttırmaktadır.



Şekil 8. Hibrit kompozitlerin çekme dayanımı ve spesifik çekme dayanımı değerleri.

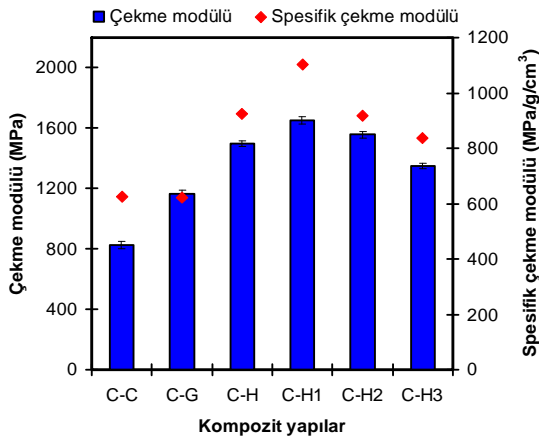
### 3.2.2. Çekme Modülü ve Spesifik Çekme Modülü

Şekil 9'da, kompozit yapıların çekme modülü ve spesifik çekme modülü değerleri verilmiştir. Kompozit yapıların çekme modülü değerleri 825.53 MPa ile 1653.03 MPa arasında, spesifik çekme modülü değerleri ise 623.14 MPa/g/cm<sup>3</sup> ile 1102.02 MPa/g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Genel olarak, kompozit yapıların çekme modülleri ile spesifik çekme modüllerinin birbirleriyle uyumlu olmadığı belirlenmiştir. Burada, hibritleme tipine (katman-İçi, katmanlar-arası, katman-İçi/katmanlar-arası) bağlı olarak ortaya çıkan Karbon ve E-cam lifi miktarları ve dolayısıyla bu liflerin dayanım ve yoğunluk değerleri, nihai kompozit yapıların çekme



modülü değerlerini önemli bir biçimde etkilemiştir. Hibrit kompozit yapıların çekme modülü ve spesifik çekme modülü değerlerinin, hibrit-olmayan kompozitlere kıyasla, daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

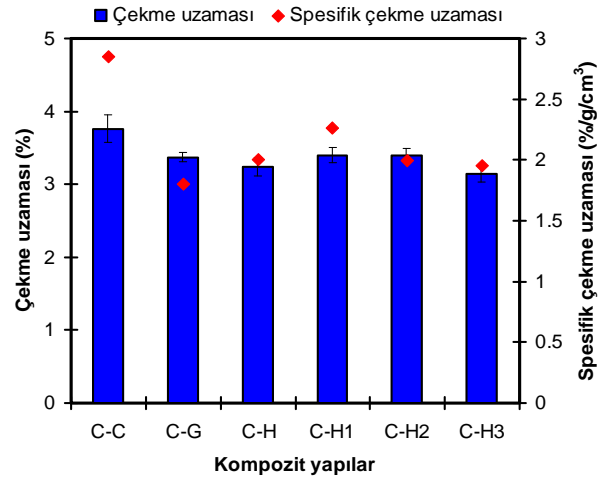
C-G kompozit yapının çekme modülü, C-C kompozit yapının çekme modülünden yüksektir. Ancak, her iki yapının spesifik çekme modülleri ise birbirine oldukça yakındır. Katman-İçi hibrit C-H kompozit yapının çekme modülü ve spesifik çekme modülünün C-C ve C-G kompozit yapılara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. C-H kompozit yapının spesifik çekme modülü, C-C ve C-G kompozit yapılardan yaklaşık %32 daha yüksektir. Çekme modülünde, Karbon ve E-cam liflerinin katman-İçi hibrit yapıdaki sinerjik katkısı daha net bir biçimde ortaya çıkmıştır. En yüksek çekme modülü ve spesifik çekme modülünü katman-İçi/katmanlar-arası hibrit C-H1 kompozit yapı (1653.03 MPa ve 1102.02 MPa/g/cm<sup>3</sup>) göstermiştir. Bu kompozit yapıyı sırasıyla, C-H, C-H2, C-H3, C-C ve C-G takip etmiştir. Katman-İçi/katmanlar-arası hibrit C-H1 kompozit yapının spesifik çekme modülü, hibrit-olmayan C-C ve C-G kompozit yapılara kıyasla yaklaşık %43 daha yüksektir. Bunun nedeni, C-H1 yapısındaki Karbon ve E-cam liflerinin hem katman-İçi hem de katmanlar-arasındaki uniform dağılımı ve dengeli lif miktarının kullanılmasıdır. Bir diğer önemli neden ise, C-H1 kompozit yapının 1. ve 3. katmanındaki P-G prepregdeki Karbon liflerinin, çekme yükünün uygulandığı ekseninde yer almasıdır. Şekil 6'da görüldüğü gibi, C-H1 kompozit yapıdaki ağırlıkça Karbon lifi miktarı %47, ağırlıkça E-cam lifi miktarı ise %39'tür. Katman-İçi hibrit kompozit yapı olan C-H ise, C-H1'in ardından en yüksek spesifik çekme modülünü göstermiştir. C-H3 kompozit yapının spesifik çekme modülü, C-H1 kompozit yapıdan yaklaşık %24 daha düşüktür. C-H1 hibrit kompozit yapıdaki ağırlıkça Karbon lifi miktarının (%46.79) C-H3 kompozit yapıya (%32.34) kıyasla daha yüksek olması, bu sonucunun ortaya çıkmasındaki önemli bir faktördür. Hibrit termoplastik kompozitlerin çekme modüllerinin, hibritlemenin katman-İçi, katmanlar-arası veya katman-İçi/katmanlar-arası olmasından etkilendiği belirlenmiştir. Katman-İçi/katmanlar-arası hibrit kompozitlerin genel olarak daha yüksek çekme modülü ve spesifik çekme modülü sergiledikleri belirlenmiştir.



Şekil 9. Hibrit kompozitlerin çekme modülü ve spesifik çekme modülü değerleri.

### 3.2.3. Çekme Uzaması ve Spesifik Çekme Uzaması

Şekil 10'da, kompozit yapıların çekme uzaması ve spesifik çekme uzaması değerleri verilmiştir. Kompozit yapıların çekme uzaması değerleri %3.14 ile %3.76 arasında, spesifik çekme uzaması değerleri ise %1.80-2.85 arasında değişmektedir. Genel olarak, kompozit yapıların çekme uzamaları ile spesifik çekme uzamalarının birbirleriyle uyumlu olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, tüm kompozit yapıların uzama değerleri incelendiğinde, sünek bir davranış ortaya çıkmıştır. Burada, hibritleme tipine (katman-İçi, katmanlar-arası, katman-İçi/katmanlar-arası) bağlı olarak ortaya çıkan Karbon ve E-cam lifi miktarları ve dolayısıyla bu liflerin dayanım ve yoğunluk değerleri, nihai kompozit yapıların çekme uzaması değerlerini önemli bir biçimde etkilemiştir. Ancak, kompozit yapıların çekme modülü değerleri ile çekme uzaması değerleri arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir.



Şekil 10. Hibrit kompozitlerin çekme uzaması ve spesifik çekme uzaması değerleri.

### 3.2.4. Kompozit Yapıların Kırılma Davranışı

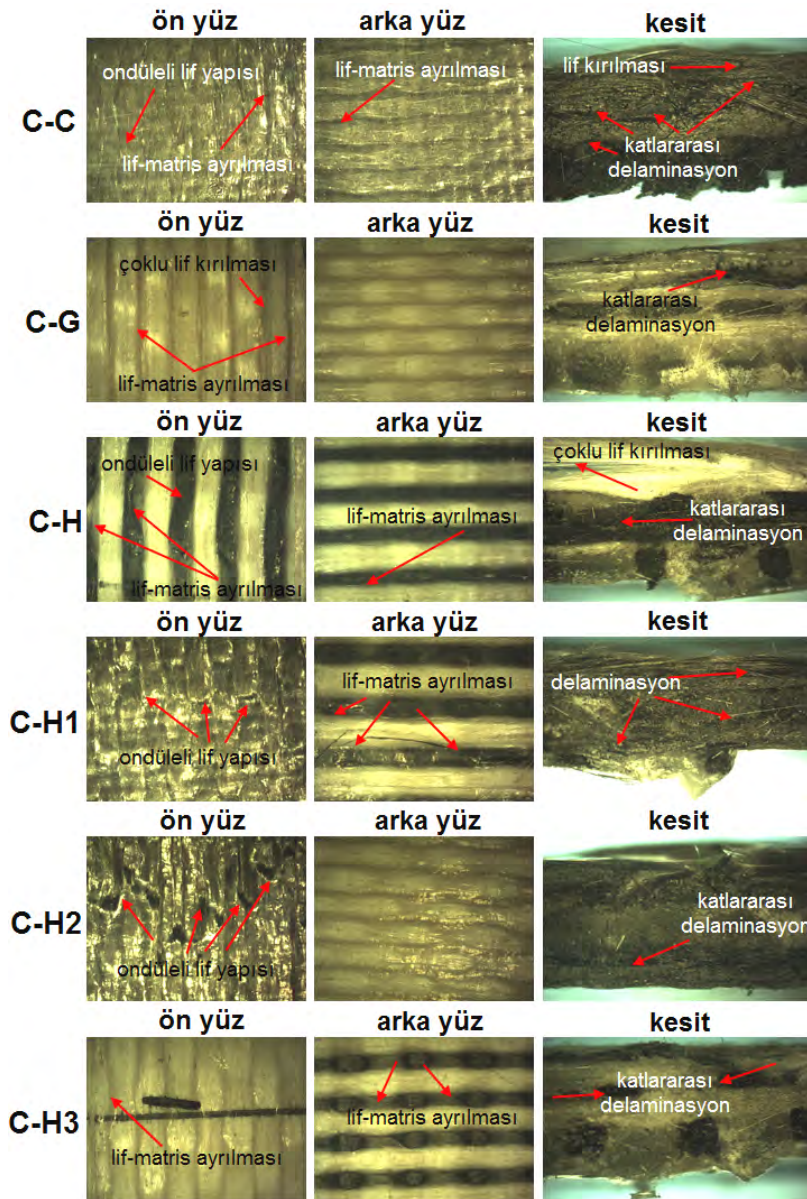
Şekil 11'de, kompozit yapıların çekme testi sonrası mikroskopik kırılma görüntüleri verilmiştir. Kırılmanın tüm kompozit yapılarda, katlararası delaminasyon esaslı gerçekleştiği belirlenmiştir. Kompozit yapıların ön ve arka yüzlerinde genel olarak, lif kırılması veya matris kırılması esaslı belirgin bir kırılma görüntüsü bulunmamaktadır. Ancak, özellikle ön yüzde liflerin ondüleli bir görünüm aldığı ve lif-matris ayrılmalarının gerçekleştiği belirlenmiştir. Termoplastik PP matrisin sünek davranışı, katastrofik kırılmayı önleyerek yapıda mikro-çatlak dayanımını arttırmıştır. Hibrit olmayan C-C kompozit yapının ön yüzünde oldukça yoğun bir lif ondülesi meydana gelmiştir. Benzer kırılma davranışı, ön yüzde Karbon prepreg (P-C) takviyesi bulunan C-H1 ve C-H2 yapılarında da gözlenmiştir. Ayrıca delaminasyon esaslı bozunmalarda, C-C kompozit yapıdaki delaminasyonun çok daha geniş bir bölgeye yayıldığı belirlenmiştir. Bu durum, Karbon ve PP'nin lif/matris ara-yüz özelliklerinin zayıf olmasından kaynaklanmaktadır [53]. C-C yapının kesit görüntüsü incelendiğinde, lif kırılmaları görülmüştür. C-G yapının ön yüzünde

ise çoklu lif kırılması ve lif-matris ayrılması gerçekleşmiştir. Hibrit termoplastik kompozitlerin kırılma davranışlarının, hibritlemenin katman-İçi, katmanlar-arası veya katman-İçi/katmanlar-arası olmasından etkilendiği belirlenmiştir. C-H kompozit yapının ön yüzünde özellikle Karbon liflerinin ondüleli bir şekil aldığı, bunun yanı sıra Karbon ve E-cam liflerinde lif-matris ayrılması gözlenmiştir. C-H kompozit yapının kesitinde, E-cam lifinde çoklu lif kırılmaları ve orta katmanda delaminasyon gerçekleşmiştir. C-H1 kompozit yapı, Karbon ve E-cam liflerinin hem katman-İçi hem de katmanlar-arası dengeli ve düzenli dağılımından dolayı, diğer yapılara kıyasla daha sınırlı bir delaminasyon göstermiştir. Katman-İçi/katmanlar-arası hibrit kompozit yapı, gerek daha dar bir alanda sınırlanan delaminas-

yon davranışı, gerekse yüksek çekme dayanım/modül değerleri bakımından hasar toleranslı malzeme olarak değerlendirilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, hibrit dokunan Karbon/PP, E-cam/PP ve Karbon/E-cam/PP prepregler kullanılarak, katman-İçi, katmanlar-arası ve katman-İçi/katmanlar-arası hibrit biçimde tasarlanan termoplastik kompozitler geliştirilmiş ve bu kompozitlerin eksenel yüke maruz kalması durumundaki davranışları hibrit-olmayan kompozitlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen çekme dayanımı, çekme



Şekil 11. Kompozit yapıların çekme testi sonrası mikroskopik kırılma görüntüleri (ön yüz ve arka yüz: X7 büyütme oranı, kesit: x15 büyütme oranı).

modülü ve çekme uzaması değerleri kompozit yoğunlukları ile normalize edilerek değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Hibrit kompozitlerde kompozit yoğunluğu, hibritlemede kullanılan Karbon ve E-cam lif miktarları ve yoğunluklarından etkilenmiştir. Hibrit kompozitlerdeki E-Cam lif miktarı arttıkça, kompozit yapının yoğunluğu artmıştır.
- Hibrit kompozit yapıların ağırlıkça ve hacimsel esaslı lif miktarları genel olarak yüksektir.
- Hibritleme tipine (katman-içi, katmanlar-arası, katman-içi/katmanlar-arası) bağlı olarak ortaya çıkan Karbon ve E-cam lifi miktarları ve dolayısıyla bu liflerin dayanım ve yoğunluk değerleri, nihai kompozit yapıların çekme dayanımı/spesifik çekme dayanımı ve çekme modülü/spesifik çekme modülü değerlerini önemli bir biçimde etkilemiştir.
- Hibrit kompozit yapıların çekme dayanımı/modülü ve spesifik çekme dayanımı/modülü değerlerinin, hibrit-olmayan kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Karbon lifinin, E-cam lifine kıyasla daha yüksek dayanım ve daha düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı, genel olarak hibritlemede Karbon lifi miktarı arttıkça kompozit yapıların spesifik çekme dayanımı/modülü değerleri artmıştır.
- Katman-içi, katmanlar-arası ve katman-içi/katmanlar-arası hibrit kompozit yapıların çekme dayanımı/spesifik çekme dayanımı ve çekme modülü/spesifik çekme modülleri, hibrit-olmayan Karbon lifi takviyeli ve hibrit-olmayan E-cam lifi takviyeli kompozitlere kıyasla yüksektir.
- Hibritlemede kullanılan takviye liflerinin konum ve lif miktarı bakımından dengeli ve uniform bir dağılıma sahip olduğu ve Karbon lifinin çekme yükünün uygulandığı eksende yer aldığı katman-içi/katmanlar-arası hibrit kompozit en yüksek dayanım ve modül değerini göstermiştir.
- Katman-içi/katmanlar-arası hibrit kompozit yapı, gerek daha dar bir alanda sınırlanan delaminasyon davranışı, gerekse yüksek çekme dayanım/modül değerleri bakımından hasar toleranslı malzeme olarak değerlendirilmiştir.
- Bu çalışmada geliştirilen kompozit yapıların, maruz kalacakları yüklemeye tipine ve kullanım alanlarına bağlı olarak lif miktarı ve yerleşimlerinin çeşitlendirilmesi, tasarım esnekliği sağlaması bakımından oldukça önemlidir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2016/3-76M nolu proje ile desteklenmiştir. Dokuma prosesine katkısından dolayı Meryem Çiçek'e teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

1. Hoa, S. V., (2009), *Principles of the Manufacturing of Composite Materials*, DEStech Publications, Inc. ABD.
2. Offringa, A. R. (1996), *Thermoplastic Composites-Rapid Processing Applications*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 27, 329-336.
3. Iyer, S. R., Drzal, L. T., (1990), *Manufacture of Powder-Impregnated Thermoplastic Composites*, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 3, 325-355.
4. Hifennach, W., Bohm, R., Thieme, M., Winkler, A., Mader, E., Shade, M., (2011), *Polypropylene/Glass Fibre 3D-Textile Reinforced Composites for Automotive Applications*, Materials & Design, 32, 1468-1476.
5. Ning, H., Janowski, G. M., Vaidya, U. K., Husman, G., (2007) *Thermoplastic Sandwich Structure Design and Manufacturing for the Body Panel of Mass Transit Vehicle*, Composite Structures, 80, 82-91.
6. Vieille, B., Albouy, W., Chevalier, L., Taleb, L., (2013), *About the Influence of Stamping on Thermoplastic-Based Composites for Aeronautical Applications*, Composites Part B: Engineering, 45, 821-834.
7. Robert, M., Roy, R., Benmokrane, B., (2010). *Environmental Effects on Glass Fibre Reinforced Polypropylene Thermoplastic Composite Laminate for Structural Applications*, Polymer Composites, 31, 604-611.
8. Brandrup, J., Immergut, H., Grulke, A., (1999), *Polymer Handbook*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., ABD.
9. Schafer, J., Stolyarov, O., Ali, R., Greb, C, Seide, G., Gries, T., (2015), *Process-Structure Relationship of Carbon/Polyphenylene Sulfide Commingled Hybrid Yarns Used for Thermoplastic Composites*, Journal of Industrial Textiles, 45, 6, 1661-1673.
10. Thomason, J. L., (2007), *The Influence of Fibre Length and Concentration on the Properties of Glass Fibre Reinforced Polypropylene: 7. Interface Strength and Fibre Strain in Injection Moulded Long Fibre PP at High Fibre Content*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 38, 210-216.
11. Thomason, J. L., (2002), *Micromechanical Parameters from Macromechanical Measurements on Glass Reinforced Polypropylene*, Composites Science and Technology, 62, 1455-1468.
12. Bureau, M. N., Perrin, F., Denault, J., Dickson, J. I., (2002), *Interlaminar Fatigue Crack Propagation in Continuous Glass Fiber/Polypropylene Composites*, International Journal of Fatigue, 24, 99-108.
13. Bureau, M. N., Denault, J., (2004), *Fatigue Resistance of Continuous Glass Fiber/Polypropylene Composites: Consolidation Dependence*, Composites Science and Technology, 64, 1785-1794.
14. Vina, J., Arguelles, A., Canteli, A. F., (2011), *Influence of Temperature on the Fatigue Behavior of Glass Fibre Reinforced Polypropylene*, Strain, 47, 222-226.
15. Seo, Y., Kim, J., Kim, K. U., Kim, Y. C., (2000), *Study of the Crystallization Behaviors of Polypropylene and Maleic Anhydride Grafted Polypropylene*, Polymer, 41, 2639-2646.
16. Hamada, H., Fujihara, K., Harada, A., (2000), *The Influence of Sizing Conditions on Bending Properties of Continuous Glass Fibre Reinforced Polypropylene Composites*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 31, 979-990.

17. Mader, E., Freitag, K., (1990), *Interface Properties and Their Influence on Short Fibre Composites*, Composites, 21, 5, 397-402.
18. Atas, C., Sayman, O., (2008), *An Overall View on Impact Response of Woven Fabric Composite Plates*, Composite Structures, 82, 336-345.
19. Kim, J. K., Sham, M. L., (2000), *Impact and Delamination Failure of Woven-Fabric Composites*, Composites Science and Technology, 60, 745-761.
20. Sorrentino, L., Simeoli, G., Iannace, S., Russo, P., (2015), *Mechanical Performance Optimization Through Interface Strength Gradation in PP/Glass Fibre Reinforced Composites*, Composites Part B: Engineering, 76, 201-208.
21. Stack, R. M., Lai, F., *Development in Thermoforming Thermoplastic Composites*, <https://pdfs.semanticscholar.org/3e1d/a9dc45b73ff1415692d15361baa8a5b2791f.pdf>, Erişim tarihi: 30.04.2018.
22. Choi, B. D., Diestel, O., Offermann, P., (1999), *Commingled CF/PEEK Hybrid Yarns for Use in Textile Reinforced High Performance Rotors*, <https://pdfs.semanticscholar.org/a9bc/704a0e09a283ac303f563498ee31dab710a1.pdf>, Erişim tarihi: 02.10.2017.
23. Kretsiss, G., (1987), *A Review of the Tensile, Compressive, Flexural And Shear Properties of Hybrid Fibre-Reinforced Plastics*, Composites, 18, 1, 13-23.
24. Yan, R., Wang, R., Lou, C. W., Lin, J. H., (2015), *Low-Velocity Impact and Static Behaviors of High-Resilience Thermal-Bonding Inter/Intra-Ply Hybrid Composites*, Composites Part B: Engineering, 69, 58-68.
25. Valença, S. L., Griza, S., Oliveira, V. G., Sussuchi, E. M., Cunha, F. G. C., (2015), *Evaluation of the Mechanical Behavior of Epoxy Composite Reinforced with Kevlar Plain Fabric and Glass/Kevlar Hybrid Fabric*, Composites Part B: Engineering, 70, 1-8.
26. Irina M. M. W., Azmi, A. I., Tan, C. L., Lee, C. C., Khalil, A. N. M., (2015), *Evaluation of Mechanical Properties of Hybrid Fiber Reinforced Polymer Composites and Their Architecture*, Procedia Manufacturing, 2, 236-240.
27. Lou, C. W., Huang, S. Y., Huang, C. L., Yan, R., Lin, J. H., (2015), *Impact Properties of Flexible Composites Made of Nylon/High-Resilience Non-Woven Fabric With an Inter/Intra-Ply Hybrid Structure*, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 35, 4, 320-333.
28. Hamouda, T., Hassanin, A. H., Kilic, A., Candan, Z., Bodur, M. S., (2015), *Hybrid Composites from Coir Fibers Reinforced with Woven Glass Fabrics: Physical and Mechanical Evaluation*, Polymer Composites, DOI 10.1002/pc.23799.
29. Mallick, P. K., (2007), *Fiber Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, CRC Press Taylor & Francis Group, Birleşik Krallık.
30. Beehag, A., Ye, L., (1996), *Role of Cooling Pressure on Interlaminar Fracture Properties of Commingled CF/PEEK composites*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 21A, 175-182.
31. Bernet, N., Michaud, V., Bourban, P. E., Manson, J. A. E., (2001), *Commingled Yarn Composites for Rapid Processing of Complex Shapes*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 32, 1613-1626.
32. Mader, E., Rausch, J., Schmidt, N., (2008), *Commingled Yarns-Processing Aspects and Tailored Surfaces of Polypropylene/Glass Composites*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39, 612-623.
33. Long, A. C., Wilks, C. E., Rudd, C. D., (2001), *Experimental Characterization of the Consolidation of a Commingled Glass/Polypropylene Composite*, Composites Science and Technology, 61, 1591-1603.
34. Wakeman, M. D., Cain, T. A., Rudd, C. D., Brooks R., Long, A. C., (1998), *Compression Moulding of Glass and Polypropylene Composites for Optimised Macro and Micro Mechanical Properties of Commingled Glass and Polypropylene*, Composites Science and Technology, 58, 1879-1898.
35. Lariviere, D., Krawczak, P., (2004), *Interfacial Properties in Commingled Yarn Thermoplastic Composites Part I: Characterization of the Fiber/Matrix Adhesion*, Polymer Composites, 25, 6, 577-587.
36. Ye, L., Friedrich, K., Kastel, J., Mai, Y. W., (1995), *Consolidation of Unidirectional CF/Peek Composites from Commingled Yarn Prepreg*, Composites Science and Technology, 54: 349-358.
37. Bernet, N., Michaud, V., Bourban, P. E., Manson, J. A. E., (1999), *An Impregnation Model for the Consolidation of Thermoplastic Composites Made from Commingled Yarns*, Journal of Composite Materials, 33, 8, 751-772.
38. Alagirusamy, R., Ogale, V., (2004), *Commingled and Air Jet-textured Hybrid Yarns for Thermoplastic Composites*, Journal of Industrial Textiles, 33, 4, 223-243.
39. Selver, E., Potluri, P., Hogg, P., Soutis, C., (2016), *Impact Damage Tolerance of Thermoset Composites Reinforced with Hybrid Commingled Yarns*, Composites Part B: Engineering, 91, 522-538.
40. Alagirusamy, R., Figueiro, R., Ogale, V., Padaki, N., (2006), *Hybrid Yarns and Textile Preforming for Thermoplastic Composites*, Textile Progress, 38, 4, 1-71.
41. Baghaei, B., Skrifvars, M., Berglin, L. 2015. *Characterization of Thermoplastic Natural Fibre Composites Made from Woven Hybrid Yarn Prepregs With Different Weave Pattern*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 76, 154-161.
42. Baghaei, B., Skrifvars, M., (2016), *Characterisation of Poly(lactic Acid) Biocomposites Made from Prepregs Composed of Woven Poly(lactic Acid)/Hemp-Lyocell Hybrid Yarn Fabrics*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 81, 139-144.
43. Baghaei, B., Skrifvars, M., Berglin, L., (2013), *Manufacture and Characterization of Thermoplastic Composites Made from Pla/Hemp Co-Wrapped Hybrid Yarn Prepregs*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 50, 93-101.
44. Zhang, L., Miao, M., (2010), *Commingled Natural Fibre/Polypropylene Wrap Spun Yarns for Structured Thermoplastic Composites*, Composites Science and Technology, 70, 130-135.
45. Shekar, R. I., Satheesh Kumar, M. N., Damodhara Rao, P. M., Yaakob, Z., Kotresh, T. M., Siddaramaiah, Chandrakala, (2010), *Studies on the Composites Produced from Co-Weaved Poly Ether Ether Ketone and Glass Fiber Fabric*, Journal of Composite Materials, 45, 7, 741-749.
46. Shekar, R.I., Kotresh, T. M., Krishna Prasad, A. S., Damodhara Rao, P. M., Satheesh Kumar, M. N., Siddaramaiah, (2010), *Hybrid Fiber Composites from Poly Ether Ether Ketone and Glass Fiber*, Journal of Applied Polymer Science, 117, 1446-1459.
47. Dehkordi, M. T., Nosrati, H., Shokrieh, M. M. Minak, G., Ghelli, D., (2010), *Low Velocity Impact Properties of Intra-Ply Hybrid Composites Based on Basalt and Nylon Woven Fabrics*, Materials and Design, 31, 3835-3844.

48. Sugie, T., Nakai, A., Hamada, H., (2009), *Effect of CF/GF Fibre Hybrid on Impact Properties of Multi-Axial Warp Knitted Fabric Composite Materials*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40, 1982-1990.
49. Sevkati, E., Liaw, B., Delale, F., Raju, B. B., (2009), *Drop-Weight Impact of Plain-Woven Hybrid Glass-Graphite/Toughened Epoxy Composites*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40, 8, 1090-1110.
50. Pandya, K. S., Veerajulu, Ch., Naik, N. K., (2011), *Hybrid Composites Made of Carbon and Glass Woven Fabrics under Quasi-Static Loading*, Materials and Design, 32, 4094-4099.
51. Zhang, J., Chaisombat, K., He, S., Wang, C. H., (2012), *Hybrid Composite Laminates Reinforced With Glass/Carbon Woven Fabrics for Lightweight Load Bearing Structures*, Materials and Design, 36, 75-80.
52. Kaya, G., (2017), *Flexural Stiffness of Carbon/E-Glass/PP(Polypropylene) Hybrid Woven Thermoplastic Prepregs for Composites*, 2<sup>nd</sup> International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC), 987-993, 25-27 Ekim, Adana, Türkiye,
53. Spragg, C. J., Drzal, L. T., (1996), *Fiber, Matrix, and Interface Properties*, ASTM, ABD.