

Jüt Takviyeli Kompozit Prepreg Malzemelerin Charpy Darbe Dayanımı ve Eğme Davranışlarının Analizi

Hayri Şen^{1*} , Tamer ÖZBEN² 

¹Trakya Üniversitesi, Edirne Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Edirne, Türkiye

²Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği, Edirne, Türkiye.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: hayrisen@trakya.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 01.08.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 10.01.2025

Öz

Kompozit prepreg malzemelerin geniş kullanım alanı bulabilmesi için mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle jüt, karbon ve cam prepreg takviyeli malzemeler 6 katmanlı; simetrik, asimetrik ve rastgele dizilim ile 30°, 45°, 60° açıyla kesilerek el yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Hidrolik ısıtma presinde kademeli bir şekilde 20 dakika, 40Bar basınç altında ısıtılarak, 120°C sıcaklıkta 45 dakika sabit sıcaklık uygulanarak kompozit plakaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Üiversal Charpy darbe ve 3 nokta eğme test cihazlarında gerçekleştirilen deneyler, ASTM standartlarına uygun şekilde boyutlandırılan numuneler için beşer kez tekrar edilmiştir. Darbe testi için 55 mm × 10 mm, eğme testi için 80 mm × 10 mm boyutlarda 0,1 mm toleransla numuneler su jeti yardımı ile kesilmiştir. Elde edilen veriler grafikler ile desteklenmiştir. Hasarlı numunelerin SEM görüntüleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. SEM görüntüleri ile yüzey üzerinde çatlak başlaması, arayüz lif kırılmaları, tek lif kırılmaları, demet halinde lif kırılmaları, yapışma gelişmiş lifler, arayüz delaminasyonu, kırılma yüzeyi, küçük çatlaklar ve çatlak ilerlemesi, parçacıklar görülmüştür. Bu çalışma ile doğal lif takviyeli katma değeri yüksek kompozit prepreg malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiş ve mekanik özellikleri ile görüntü analizleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Charpy darbe deneyi, Eğme deneyi, Jüt lifi, Karbon lifi, Cam lifi, Tabakalı hibrit kompozit

Analysis of Charpy Impact Strength and Bending Behavior of Jute Reinforced Composite Prepreg Materials

Abstract

In order for composite prepreg materials to find a wide range of use, their mechanical properties must be known. Therefore, jute, carbon and glass prepreg reinforced materials were produced by cutting them at 30°, 45°, 60° angles with 6 layers; symmetrical, asymmetrical and random arrangement using the hand lay-up method. Composite plates were produced by gradually heating them in a hydraulic heating press under 40 Bar pressure for 20 minutes and applying a constant temperature of 120°C for 45 minutes. The experiments carried out in universal Charpy impact and 3-point bending test machines were repeated five times for samples sized in accordance with ASTM standards. Samples were cut with the help of water jet in sizes of 55 mm × 10 mm for impact test and 80 mm × 10 mm for bending test with a tolerance of 0,1 mm. The obtained data were supported by graphics. SEM images of damaged samples were examined in detail. SEM images showed crack initiation on the surface, interface fiber breaks, single fiber breaks, bundle fiber breaks, adhesion-developed fibers, interface delamination, fracture surface, small cracks and crack propagation, and particles. In this study, the production of natural fiber-reinforced high value-added composite prepreg materials was carried out and their mechanical properties and image analyses were examined.

Keywords: Charpy impact test, Bending test, Jute fiber, Carbon fiber, Glass fiber, Layered hybrid composite

Cite as;

Şen, H ve Özben, T. (2025). Jüt takviyeli kompozit prepreg malzemelerin charpy darbe dayanımı ve eğme davranışlarının analizi. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 6(1), 92-109. Doi: 10.53501/rteufemud.1524044

1. Giriş

Mühendislik çalışmaları için polimerler, plastikler, termoplastikler, metaller, seramikler ve diğer çeşitli malzemeler kullanılabilmektedir. Kompozit malzemelerin kullanımı özellikle otomotiv, denizcilik, uzay, havacılık sektörlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Kompozit malzemelerin maliyetlerinin düşürülmesi, katma değeri yüksek ürünler şeklinde ortaya konması için özelliklerinin araştırılması önem arz etmektedir. Her geçen gün modern imalat yöntemlerindeki gelişmeler sayesinde kompozit malzemelerin özelliklerinin de artması sağlanabilmektedir. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine pek çok araştırma yapılmıştır ve malzeme çeşitliliğinin arttırılması ile de yapılmaya devam etmektedir.

Doğal lif takviyeli jüt, muz ve cam elyaf takviyeli üretilen hibrit kompozitlerin aynı malzemeleri içeren mono kompozitlere kıyasla daha iyi genel mekanik özellikler sergilediğini tespit etmişlerdir (Vijaya Ramnath vd., 2015). Charpy darbe ve çekme deney numuneleri için metal enjeksiyon kalıbının tasarımı gerçekleştirilerek üretilmiştir. Numunelerin dökümünde kullanılan beş farklı 50, 100, 150, 200, 250 kg/cm² enjeksiyon basınçlarının etkileri ile mikroyapı incelemesi, çekme ve Charpy darbe deneyleri ile gözenek ölçümleri analiz edilmiştir. SiC parçacık ilavesi ile kompozit numunelerin sertliği artarken darbe tokluğu, akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerlerinin düştüğü ve enjeksiyon basıncının artmasıyla kompozit numunelerin gözenek miktarının azaldığı tespit edilmiştir (Bayar vd., 2015). Fiber ile güçlendirilmiş 60 adet nanofil kompozitleri 24 saat distile su içinde bekletip Universal test cihazı yardımıyla üç nokta eğilme testini

gerçekleştirilmişlerdir. Elde edilen verileri istatistik değerlendirip SEM görüntülerini incelemişlerdir. (Candan vd., 2015). Jüt kumaş ile yün keçe takviyeli kompozitler vakum infüzyon yöntemi yardımıyla aynı kalınlıkta üretilip; yüzey yapışma özelliklerinin arttırılması için jüt kumaşlar %10 NaOH çözeltisi içinde 4 saat bekletilerek oda sıcaklığında kurutulmuştur. Farklı enerji seviyelerinde jüt kumaş destekli kompozit numunede max. çökme daha fazla tespit edilmiştir. Darbe enerjisinin artması ile de her iki tip numunede de max. çökme arttığı tespit edilmiştir. Max. temas kuvveti 5 J'luk enerji seviyesinde jüt kumaş takviyeli kompozit numunede daha fazla belirlenmiştir. Darbe yükü değiştirilmeden yün keçe takviyeli kompozit üzerine uygulandığında hasarın daha az gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Özes ve Taşkın, 2016). Tabakalı hibrit kompozit malzemelerin luştanıldıkları yere göre tekrarlı yüklere maruz kalmaları sebebi ile bu malzemelerin yorulma davranışlarını 0,1 gerilme oranı ve 10Hz frekansta incelemişlerdir (İmak vd., 2016). Farklı hacim oranlarında ısırgan lifi ve kompozit içerisindeki hacim oranı 0-50µm sabit tane büyüklüğünde fındikkabuğu unu takviyesi ile üretilen kompozit numunelere, ısıtılma işleminden sonra, a/W= 0,2, 0,3 oranlarına sahip başlangıç çentikleri açılmıştır. Eğilme testi ile eğilme modülü ve eğilme gerilmeleri belirlenmiştir. Çalışma içerisinde ilave edilen fındikkabuğunun eğilme gerilmesi, kırılma dayanımı ve darbe direncini azaltırken, eğilme modülünü artırdığı gözlenmiştir (Büyükkaya, 2017). Jüt lifi takviyeli kompozitlerin dolgu malzemesi için deniz kabuğu ve diğer deniz atıkları kullanılmaya çalışılmıştır. Kompozitlerde bu atık malzemenin dolgu malzemesi şeklinde kullanılması katma değeri yüksek bir ürüne dönüştürülmesi ele alınmıştır. Jüt lifi ve

istiridye kabuğu takviyeli bu polimer kompozitlerin darbe özelliğini belirlenmesi için İzod darbe test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Jüt lifi takviyeli kompozit üzerine dolgu maddesi uygulanmasının, etki değerlerinin azalttığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte; dolgunun matrisin üretilmesi esnasında dâhil edilmesinin sertlik değerini %22,5'e kadar iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır (Panigrahi vd., 2018). Polyester matrisli, non-woven jüt takviyeli kompozitlerin çok katmanlı zırh performans özelliklerini araştırılması amacıyla; altıgen seramik ile bir ön katmandan meydana gelen ikinci katmanı non-woven jüt takviyeli kompozitten ve üçüncü katman bir alüminyum alaşımlı levha içeren polyester kompozit; 7,62 mm x 51 mm mühimmat ile insan vücudunu korumasını simüle eden bir kil tabakasında girinti derinliği, istatistiksel kesinlik dahilinde, hem jüt non-woven kompozitlerde hem de aramid kumaşa aynı sonucu vermektedir. Aramid kumaşın yerini almak için doğal liflerle güçlendirilmiş polimerik kompozitlerin kullanımı sonucu; ağırlıkça %5,4 oranında ve maliyette %474 oranında bir azalma sağladığını bulmuşlardır (Assis vd., 2018). Deliksiz ve ortasında farklı delik geometrilerine sahip delikli numune modelleri kullanılarak elde ettikleri St37 çelik ve AA7075-T651 alüminyum numunelerine Charpy darbe test cihazında 3 tekrarlı test yapılarak ANSYS yazılımı ile sayısal analizini yapmışlardır (Albayrak ve Kaman, 2019). İki grup hibrit kompozit plakaların üzerlerine ağırlık düşürülerek darbe davranışlarını incelemişlerdir. Birinci grupta için belirlenen (TYPE 1) numunelerinin; tüm katmanlarının oryantasyon açısı 0° ile simetrik veya asimetrik dizilmiştir. Ancak ikinci grupta (TYPE 2) numunelerinin; katmanlarının oryantasyon açıları 0° ve 45° ile simetrik ve asimetrik dizilmiştir. Hibrit kompozit

plakalara sırasıyla 12 J, 16 J ve 20 J enerjileri ile yükler uygulanarak; farklı gruplardaki plakalar için sapmalar, temas kuvvetleri ve emilen enerjiler belirlenmiş ve karşılaştırmıştır (Özben ve Şen, 2020). Jüt kumaş/epoksiden ve jüt kumaş/polyesterden meydana getirilmiş kompozit levhalar ile kürlenmemiş jüt elyaf kumaşlar ile kürlenmiş kompozit levhaların çeşitli özelliklerini incelemişlerdir. Kürlenmiş polyester reçine laminatın sertliği, kürlenmiş epoksi reçine laminattan daha yüksek elde edilmiş, iki değer arasındaki fark %5 tespit edilmiştir. Ayrıca, NaOH kullanılarak yapılan kimyasal işlemin jüt liflerinin boyutlarını arttırdığı, asetik asit kullanılarak yapılan kimyasal işlemin ise liflerin boyutlarını azalttığı sonucuna varılmıştır (Öktem ve Yıldırım, 2020). Simetrik, asimetrik ve rastgele dizilim ile jüt takviyeli prepreg malzemeler el yatırma yöntemi ile meydana getirilen kompozit plakalara uygulanan darbe testi sonuçları; bor takviyeli kompozitlerden daha önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlarla, jüt takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır (Şen ve Özben, 2021). Kalsiyum hipofosfit (CHP) %5 ve %10'luk seviyeler kullanılarak ve çözelti halinde magnezyum hipofosfit (MHP) emdirilmiş jüt elyaf (JE) ile katkılanırılan poli (laktik asit) (%20 PLA) eriyik harmanlama yöntemiyle elde edilen biyokompozitlerinin ısıl özellikleri ile birlikte termogravimetik analiz (TGA) ve güç tutuşurluk özellikleri limit oksijen indeksi (LOI), dikey (UL-94V) ve yatay yanma (UL-94HB) testleri yapılmıştır. Test sonuçlarında, bu kompozitlerin güç tutuşurluk özelliklerinin iyileştiğini tespit etmişlerdir (Savaş vd., 2021). Elyaf takviyeli 14 kat karbon ve 14 kat cam kumaştan vakum infüzyon yöntemi ile ürettikleri kompozitlerde darbe sonrası absorblanan enerji ile oluşan iç hasar görüntüsü

araştırılmıştır. Elde edilen C-Tarama görüntülerinde görüntü işleme yöntemi kullanılarak, oluşan iç hasar alanı hesaplanmıştır. Charpy test cihazından alınan enerji absorblama oranı ile hasar yayılımı ve hasarlı bölgenin kapladığı alan arasında doğru orantı tespit etmişlerdir (Öztaş ve Korkmaz, 2021). Üç farklı çentik derinliğine sahip alüminyum levhalar, karbon/epoksi ve e-cam/epoksi kompozitleri ile metil metakrilat yapıştırılarak tamir edilmiş ve Charpy darbe tepkileri araştırılmıştır. Yama malzemeleri [90/45/-45] oryantasyonlu üç eksenli kumaşlar 40×40 cm boyutlar ile el yatırma yöntemi kullanılarak, 100 °C ve 7 bar basınç altında takviyelendirilmiştir. kürleştirilmiştir. Kompozitler su jeti ile kesilmiştir. Kompozit yamaların alüminyum plakanın çentik darbe tokluğunu hangi düzeyde etkilediğinin belirlenmeye çalışılmışlardır (Dindar ve Ağır, 2021). Karbon fiberlere göre daha sünek davranış gösteren bazalt fiberler ile hibrit kompozitler üretilerek kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Tabakalı kompozitler saf karbon, saf bazalt, ardışık ve sandviç tip hibrit olarak üretilerek mekanik özellikleri çekme, eğilme ve Charpy darbe testleri ile karakterize edilmiştir. Karbon fibere bazalt fiber ilavesi ile kompozitlerin çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü azaldığı, darbe performansları ise iyileştiği sonucuna varmıştır. Öztürk (2020) çalışmasında; kenevir doğal fiberleri ve Polilaktik Asit (PLA) fiberleri 50:50 oranı ile, iğneleme yöntemi ile sürekli matlar haline getirilmiş ve biyokompozit yapının su emdirildikten sonra, 40°C ve 80°C yaşlandırma sonrası mekanik özelliklerinin değişimini incelemiştir. Charpy Darbe Dayanımı 21kJ/m² bulmuştur (Özsoy, 2022).

Bu çalışma ile jüt, karbon ve cam prepreg takviyeli malzemeler simetrik, asimetrik ve

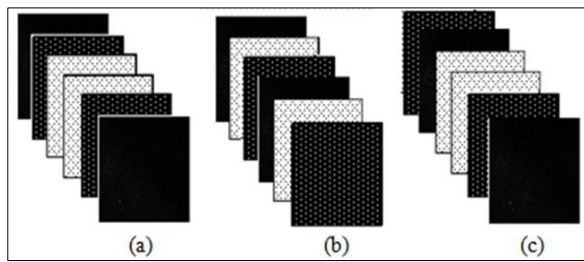
rastgele dizilim ile 6 katmanlı; 30°, 45°, 60° açıyla kesilerek el yatırma yöntemi hidrolik ısıtma presi kullanılarak üretilmiştir. ASTM standartlarına uygun şekilde boyutlandırılan numuneler 0,1 mm toleransla numuneler su jeti yardımı ile kesilerek; Charpy darbe testi için 55 mm × 10 mm ve 3 nokta eğme testi için 80 mm × 10 mm boyutlarında deneyler için beş tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve hasar analizleri tespit edilmiştir. SEM görüntüleri ile yüzey üzerinde çatlak başlaması, arayüz lif kırılmaları, tek lif kırılmaları, demet halinde lif kırılmaları, yapışma gelişmiş lifler, arayüz delaminasyonu, kırılma yüzeyi, küçük çatlaklar ve çatlak ilerlemesi, parçacıklar görülmüştür. Deneylerden elde edilen veriler grafikler ile desteklenip çalışma içinde sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Tabakalı hibrit kompozit numunelerin üretimi için jüt, karbon ve cam prepreg malzemeler üzerinde takviye malzemesinin ağırlıklarının %20'si kadar solvent tipi prepreg reçine F-RES 21 ve sertleştirici F-HARD 22 kullanılmıştır. Matris malzemesinin özelliklerinden de anlaşılabileceği üzere; düşük viskoziteli ve fiber ıslatma özelliği yüksek, 90°C'den 150°C'ye kadar geniş kürlleme aralığına sahiptir. F-RES 21/F-HARD 22 bileşenlerinin hazırlanması için homojen bir şekilde karıştırılması ve belirlenen oranlarda karışım yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde sertleştirici fazla ya da miktarı az geleceğinden istenen oranlarda ve kalitede matris malzemesi kumaş üzerine sürülemeyecektir. Özellikle karıştırma esnasında yan çeperlerde ve dipte kalan malzemeler iyi şekilde mekanik karıştırıcılar ile karıştırılmalıdır. Büyük miktarda karışım hazırlanırken ekzotermik reaksiyonlar nedeniyle pot life süresinde

düşüş gözlemlenebilir. Bu da matris malzemesinin hızlı bir şekilde hazırlanıp uygulanmasını gerektirmektedir.

Prepreg malzemeler, 30°, 45°, 60° farklı açılarla kesilip, 250 mm × 250 mm boyutlarında; 6 katmanın üst üste konmasıyla ısı presi vasıtasıyla basınç uygulanarak meydana getirilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü üzere kompozitler simetrik, asimetrik ve rastgele dizilim ile tabakalar halinde üretilmiştir.



Şekil 1. (a) Simetrik prepreg dizilimi (b) Asimetrik prepreg dizilimi (c) Rastgele prepreg dizilimi

Figure 1. (a) Symmetric prepreg arrangement (b) Asymmetric prepreg arrangement (c) Random prepreg arrangement

Prepreg kompozit uygulamalarında plaka üretimi için matris malzemesi solvent tipi prepreg reçine el yatırma yöntemi ile jüt, karbon ve cam liflerinden elde edilen dokumadan üretilmiş takviye malzemesine uygulanmıştır. Tablo 1., 2., 3.'te belirtilen dizilim ile 6 katmandan meydana gelerek 18 farklı tabakalı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1., 2., 3.'te belirtilen dizilim ile meydana getirilen hibrit prepregler 40Bar basınç altında kademeli bir şekilde 20 dakika ısıtılarak, 120°C sıcaklıkta 45 dakika sabit sıcaklık uygulanmıştır. Daha sonra kompozit plakalar Şekil 3'te önden görünümü verilen ısıtma presi altında oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılmıştır.

Tablo 1. Simetrik N01, N02, N03, N04, N05, N06, N07 prepreg malzeme dizilimi

Table 1. Symmetrical N01, N02, N03, N04, N05, N06, N07 prepreg material arrangement

N01 S0	N02 S30	N03 S45	N04 S60	N05 S30	N06 S45	N07 S60
Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon
Jüt	Jüt	Jüt	Jüt	Jüt-30°	Jüt-45°	Jüt-60°
Cam	Cam-30°	Cam-45°	Cam-60°	Cam	Cam	Cam
Cam	Cam-30°	Cam-45°	Cam-60°	Cam	Cam	Cam
Jüt	Jüt	Jüt	Jüt	Jüt-30°	Jüt-45°	Jüt-60°
Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon

Tablo 2. Asimetrik N08, N09, N10, N11, N12, N13, N14 prepreg malzeme dizilimi

Table 2. Asymmetrical N08, N09, N10, N11, N12, N13, N14 prepreg material arrangement

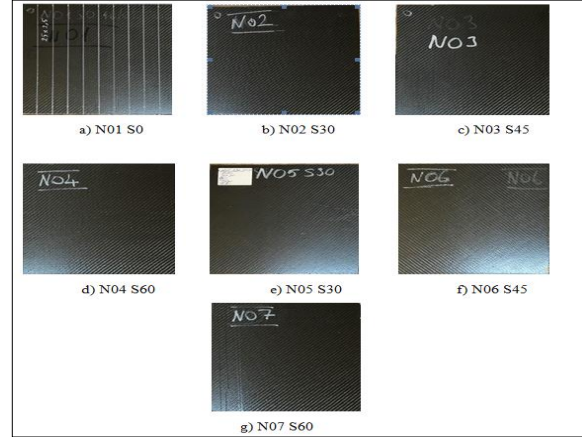
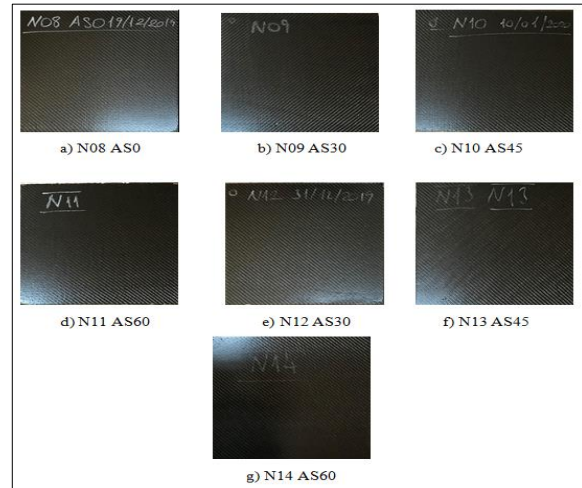
N08 AS0	N09 AS30	N10 AS45	N11 AS60	N12 AS30	N13 AS45	N14 AS60
Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon
Jüt	Jüt	Jüt	Jüt	Jüt-30°	Jüt-45°	Jüt-60°
Cam	Cam-30°	Cam-45°	Cam-60°	Cam	Cam	Cam
Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon
Jüt	Jüt	Jüt	Jüt	Jüt-30°	Jüt-45°	Jüt-60°
Cam	Cam-30°	Cam-60°	Cam-60°	Cam	Cam	Cam

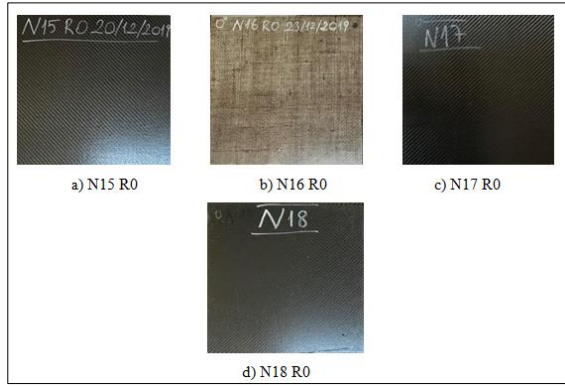
Tablo 3. Rastgele N15, N16, N17, N18 prepreg dizilimi**Table 3.** Random N15, N16, N17, N18 prepreg material arrangement

N15 R0	N16 R0	N17 R0	N18 R0
Karbon	Cam	Karbon	Cam
Jüt	Jüt	Cam	Karbon
Cam	Karbon	Jüt	Jüt
Karbon	Jüt	Cam	Jüt
Cam	Karbon	Jüt	Cam
Jüt	Cam	Karbon	Karbon

**Şekil 2.** Isıtma presi önden görünümü**Figure 2.** Heating press front view

Prepreg malzemelerden üretilen kompozit deney numuneleri; Şekil 3'te görüldüğü üzere simetrik prepreg malzeme dizilimli kompozit plaka numuneleri, Şekil 4.'te görüldüğü üzere asimetrik prepreg malzeme dizilimli kompozit plaka numuneleri ve Şekil 5.'te görüldüğü üzere rastgele prepreg malzeme dizilimli kompozit plaka numuneleri görülmektedir. Üretilen kompozit malzemelerin numune kesimleri su jeti yardımı ile deney standartlarına uygun boyutlarda gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 3.** Simetrik prepreg malzeme dizilimli kompozit plaka numuneleri; (a) N01, (b) N02, (c) N03, (d) N04, (e) N05, (f) N06, (g) N07**Figure 3.** Composite plate samples with symmetrical prepreg material alignment; (a) N01, (b) N02, (c) N03, (d) N04, (e) N05, (f) N06, (g) N07**Şekil 4.** Asimetrik prepreg malzeme dizilimli kompozit plaka numuneleri; (a)N08, (b)N09, (c) N10, (d) N11, (e) N12, (f) N13, (g) N14**Figure 4.** Composite plate samples with asymmetric prepreg material alignment; (a)N08, (b)N09, (c) N10, (d) N11, (e) N12, (f) N13, (g) N14



Şekil 5. Rastgele prepreg malzeme diziliimli kompozit plaka numuneleri; (a) N15, (b) N16, (c) N17, (d) N18

Figure 5. Composite plate samples with random prepreg material arrangement; (a) N15, (b) N16, (c) N17, (d) N18

Tabakalı hibrit kompozit plakalar su jeti kesim yöntemiyle 0,76 mm çapında nozuldan 4000 Bar (60.000 PSI) basınçla, 600-935 m/min. hız ve 350 g kumlama yaparak suyun çok yüksek kuvvetle geçmesiyle yapılan deney ve testler doğrultusunda standartlarda belirtilen; Charpy Darbe testi için 55 mm x 10 mm, eğme testi için 80 mm x 10 mm boyutlarda 0,1 mm toleransla kesilmiştir.

Deneylerden elde edilen verilerin değişim katsayısı (% CV) değerlerinin hesaplanması

Tablo 4. Simetrik, asimetrik ve rastgele diziliimli kompozit plakaların m² cinsinden ağırlıkları (250 mm x 250 mm)

Table 4. Weights in m² of symmetrical, asymmetrical and randomly arranged composite plates (250 mm x 250 m m)

Numune kodu	1. Numune	2. Numune	3. Numune	4. Numune	Ortalama g/m ² (±5%)	% CV
N01 S0	165,5	173,3	175,6	175,1	2758	2,72
N02 S30	174,7	189,3	170,7	171,3	2824	4,937
N03 S45	184,6	160,5	165,1	165,8	2704	6,309
N04 S60	188,4	171,6	164,1	166,5	2762,4	6,346
N05 S30	179,5	172,6	164,8	166,9	2735,2	3,851
N06 S45	179,9	170,5	167,9	171,6	2759,6	3,008
N07 S60	170,1	167	167,2	166,4	2682,8	0,985
N08 AS0	172,5	177,5	166,7	166,7	2733,6	3,049
N09 AS30	168,1	170,4	167,9	178,1	2738	2,797
N10 AS45	188,2	179,1	172,2	160,5	2800	6,673
N11 AS60	175,3	182,1	168,5	162,6	2754	4,901

için; elde edilen verilerin her biri (X) için ortalama; $X_{ort} = \sum X/n$ formülü ile, standart sapma; $S = \sqrt{\sum (X - X_{ort})^2 / n - 1}$ ve % CV = $(S/X_{ort}) \times 100$ değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen tüm test ve analizlerinin verileri bir sonraki kısımda detaylı bir şekilde verilmiştir.

$$X_{ort} = \sum X/n \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\sum (X - X_{ort})^2 / n - 1} \quad (2)$$

$$\% CV = (S/X_{ort}) \times 100 \quad (3)$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Birim kütle tayini

Tabakalı hibrit kompozit plakaların üretimi için kullanılan prepreg malzemeler jüt; 284 g/m² (±5%), karbon; 245 g/m² (±5%), cam 300 g/m² (±5%) gramajlarına sahiptir. Bu malzemelerden elde edilen tabakalı hibrit kompozitlerin m² cinsinden ağırlıkları ve standart sapmalarının ortalamaya göre % değişimleri yani % CV oranları Tablo 4'te verilmektedir. Kompozit malzemelerin gramajları g/m² cinsinden ifade edilmiştir.

Tablo 4 devamı. Simetrik, asimetrik ve rastgele diziliimli kompozit plakaların m² cinsinden ağırlıkları (250 mm x 250 mm)

Table 4 continued. Weights in m² of symmetrical, asymmetrical and randomly arranged composite plates (250 mm x 250 m m)

Numune kodu	1. Numune	2. Numune	3. Numune	4. Numune	Ortalama g/m ² (±5%)	% CV
N12 AS30	180,6	175,6	169,5	175,4	2804,4	2,59
N13 AS45	167,5	171,5	164,6	169,1	2690,8	1,722
N14 AS60	172,8	165,7	172,5	169,9	2723,6	1,93
N15 R0	179,2	162,6	159,5	175,1	2705,6	5,635
N16 R0	165,1	186,4	184,1	161,2	2787,2	7,401
N17 R0	166,5	169,1	167,1	164,3	2668	1,185
N18 R0	155,9	164,7	158,1	163,2	2567,6	2,591

3.2. Charpy darbe dayanımı testi

Tabakalı hibrit kompozit plakalar Charpy darbe dayanım testleri Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında Alşa marka darbe dayanımı test cihazında gerçekleştirilmiştir. Test cihazı Şekil 6'da gösterilmektedir. Charpy darbe dayanımı testi ASTM D6110-18 (ASTM, 2018) standardına göre oda sıcaklığında, sürtünmeler göz ardı edilerek, test esnasında 15 J'luk çekiç kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 6. Darbe dayanımı test cihazı
Figure 6. Impact strength tester

Uygulama yapılan kompozit plaka numuneler Şekil 7.'da görüldüğü üzere 55

mm × 10 mm boyutlarında ve çentiksizdir. Charpy darbe testi cihazının çenesine yerleştirilen numunenin yüzeyine kavrama çenesinden belirli yükseklikte, sarkacın ucundaki çekiçle darbe uygulanması ile numune tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler ile numunenin kırılması için sarf edilen enerjiyi tayin edilmiştir.



Şekil 7. Çentiksiz Charpy darbe testi numune (55 mm x 10 mm) örnekleri

Figure 7. Unnotched Charpy impact test specimens (55 mm x 10 mm)

Charpy darbe deneyi ile simetrik, asimetrik, rastgele diziliimli kompozit numunelerin darbe davranışları incelenmiştir. Charpy darbe dayanımı testi sonucunda elde edilen

veriler aşağıdaki Tablo 5'te Charpy darbe dayanımı testi sonucunda elde edilen ortalama değerler karşılaştırılmalı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 5. Charpy darbe dayanımı testi sonucunda darbe direnci kuvveti değerleri

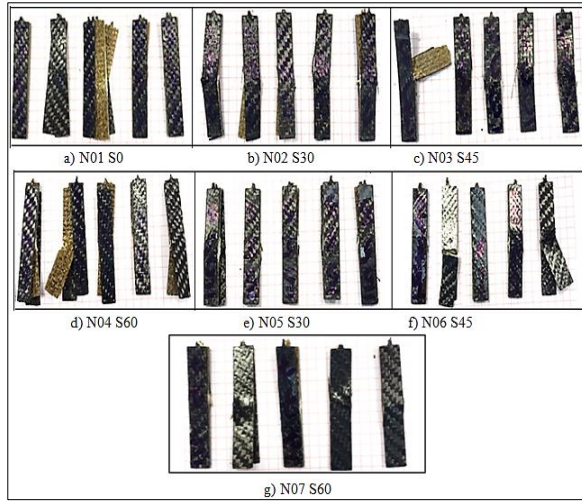
Table 5. Impact resistance force values as a result of Charpy impact resistance test

Dizilim	Numune Kodu	Charpy Darbe Direnci Darbe Direnci Kuvveti (Nm),(J/m)							
		1. Numune	2. Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	Ortalama	Min değere göre % Değişim	% CV
Simetrik	N01 S0	76,518	74,556	74,556	74,556	72,594	74,556	101,604	1,861
	N02 S30	74,556	74,556	74,556	76,518	70,632	74,164	101,07	2,898
	N03 S45	76,518	74,556	76,518	74,556	74,556	75,341	102,674	1,426
	N04 S60	72,594	74,556	72,594	72,594	74,556	73,379	100	1,464
	N05 S30	74,556	74,556	74,556	74,556	76,518	74,948	102,138	1,171
	N06 S45	76,518	78,48	76,518	76,518	76,518	76,91	104,812	1,141
	N07 S60	74,556	76,518	76,518	76,518	78,48	76,518	104,278	1,813
Asimetrik	N08 AS0	76,518	76,518	76,518	76,518	76,518	76,518	104,278	0
	N09 AS30	76,518	78,48	76,518	78,48	76,518	77,303	105,348	1,39
	N10 AS45	76,518	74,556	76,518	76,518	74,556	75,733	103,208	1,419
	N11 AS60	74,556	76,518	76,518	78,48	76,518	76,518	104,278	1,813
	N12 AS30	78,48	78,48	76,518	76,518	78,48	77,695	105,882	1,383
	N13 AS45	76,518	76,518	76,518	78,48	76,518	76,91	104,812	1,141
	N14 AS60	78,48	76,518	76,518	78,48	78,48	77,695	105,882	1,383
Rastgele	N15 R0	76,518	76,518	76,518	76,518	76,518	76,518	104,278	0
	N16 R0	76,518	78,48	78,48	78,48	78,48	78,088	106,417	1,124
	N17 R0	78,48	78,48	78,48	78,48	79,461	78,676	107,219	0,558
	N18 R0	78,48	76,518	76,518	76,518	78,48	77,303	105,348	1,39

x 1 Kpm= 9,81Nm(J/rad)

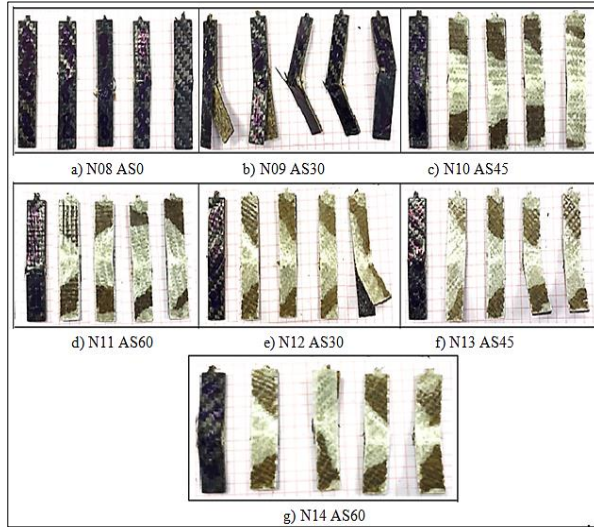
Epoksi matrisli jüt, cam, karbon takviyeli kompozit plakalarının malzemeleri Tablo 5'te ki Charpy darbe dayanımı testi sonuçları incelendiğinde değerler arasında yakın veriler elde edilmesine rağmen maksimum değer rastgele diziliimli numuneler arasından N17 R0'dan elde edilmiş; minimum değer ise simetrik diziliimli numuneler arasından N04 S60'ta saptanmıştır. Rastgele diziliimli ve oryantasyon verilmeyen numuneler en yüksek Charpy darbe dayanımı değerlerine sahiptirler. Simetrik diziliimli numunelerin ortalaması asimetrik ve rastgele diziliimli numunelerin kendi içlerindeki ortalamalarına

göre en az Charpy darbe dayanımı değerlerini vermektedir. Tüm numuneler arasındaki değerler karşılaştırıldığında ise minimum değer ile maksimum değer arasındaki değişim %7.22 tespit edilmiştir. Simetrik, asimetrik ve rastgele diziliimli kompozit plakalar için en az 5 tekrarlı Charpy darbe dayanımı testi sonucundaki biçim değişimleri ve hasarlı test numuneleri Şekil 8., 9., 10.'da gösterilmektedir.



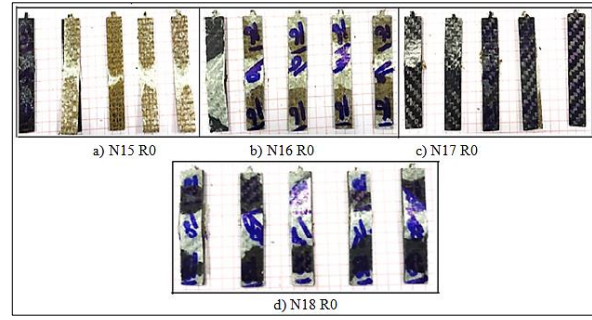
Şekil 8. Simetrik diziliimli prepreg kompozitlerin 5 tekrarlı Charpy darbe dayanımı testi sonucundaki biçim değişimleri; (a) N01, (b) N02, (c) N03, (d) N04, (e) N05, (f) N06, (g) N07

Figure 8. Shape changes of symmetrically aligned prepreg composites after 5 repeated Charpy impact strength tests; (a) N01, (b) N02, (c) N03, (d) N04, (e) N05, (f) N06, (g) N07



Şekil 9. Asimetrik diziliimli prepreg kompozitlerin 5 tekrarlı Charpy darbe dayanımı testi sonucundaki biçim değişimleri; (a)N08, (b)N09, (c) N10, (d) N11, (e) N12, (f) N13, (g) N14

Figure 9. Shape changes of asymmetrically aligned prepreg composites after 5 repeated Charpy impact strength tests; (a) N08, (b) N09, (c) N10, (d) N11, (e) N12, (f) N13, (g) N14

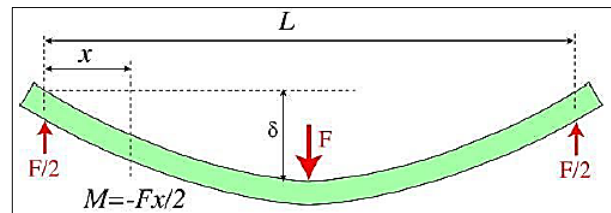


Şekil 10. Rastgele diziliimli prepreg kompozitlerin 5 tekrarlı Charpy darbe dayanımı testi sonucundaki biçim değişimleri; (a) N15, (b) N16, (c) N17, (d) N18

Figure 10. Shape changes of randomly arranged prepreg composites after 5 repeated Charpy impact strength tests; (a) N15, (b) N16, (c) N17, (d) N18

3.3. Eğme testi

Çalışmada üretilen kompozit malzemelerin 3 nokta eğme testleri Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarında Instron marka 4411 model çekme/basma cihazında test edilmiştir. 3 nokta eğme testleri ASTM D790-17 (ASTM, 2017). standardına uygun bir şekilde oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. 3 nokta eğme testinde kullanılan numune çubuklarının uzunluğu 80 mm, eni 10 mm'dir. 3 nokta eğme deneyi için her bir örnek için Şekil 12'de görüldüğü üzere en az 5 adet deney numunesi kullanılmıştır. Eğme deneyi ile simetrik, asimetrik, rastgele diziliimli kompozit plaka numunelerin eğme davranışları incelenmiştir. Şekil 11'de gösterildiği üzere 3 nokta eğme testinin şematik çizimi görülmektedir.



Şekil 11. 3 nokta eğme testinin şematik gösterimi (80 mm x 10 mm)

Figure 11. Schematic representation of 3-point bending test (80 mm x 10 mm)

Mesnetlerin orta noktasından ($L/2$), F kuvveti uygulanan basit mesnetli kiriş için kesit atalet momenti I ve elastik modülü E alınırsa; sehim $\delta = F.L^3/48.E.I$ formülü ile tespit edilir:

$$\delta = F.L^3/48.E.I \quad (4)$$



Şekil 12. Eğme testi numuneleri (80 mm×10 mm)

Figure 12. Bending test specimens (80 mm×10 mm)

Kompozit numunelere uygulanan 5 tekrarlı 3 nokta eğilme dayanımı testi sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 6., 7. ve 8. ile

Tablo 6. Simetrik dizilimli kompozit numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları

Table 6. Maximum bending load (N) and bending elongation at maximum load (mm) results of the 3-point bending test with at 5 repetitions for symmetrically aligned composite samples

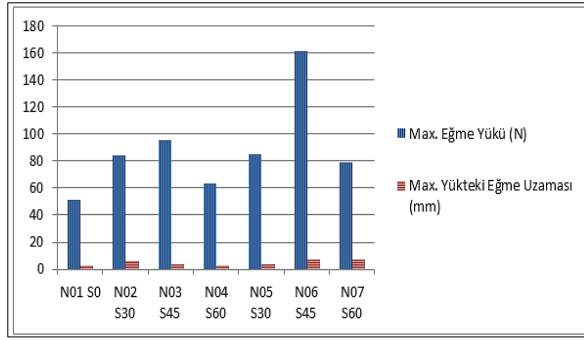
Numune Kodu	Maksimum Eğme Yükü (N)	Maksimum Yükteki Eğme Uzaması (mm)
N01 S0	51,26	2,313
N02 S30	84,113	5,69
N03 S45	95,04	3,3
N04 S60	62,789	2,402
N05 S30	84,3	2,963
N06 S45	160,565	6,402
N07 S60	78,927	6,45

Simetrik dizilimli kompozit plakalı numunelerin eğilme dayanımı grafiği Şekil 13.'te görülmektedir. Simetrik numuneler arasında maksimum eğilme dayanımı için en etkin oryantasyonu 45°'lik açı verilen jüt lifi takviyeli N06 S45 numunesi sağlanmaktadır. N01 S0 numunesi ise simetrik numuneler arasında ve tüm numunelere bakıldığında en düşük eğilme değerini ve en az eğme

Şekil 13., 14. ve 15.'te karşılaştırılmalı bir şekilde verilmiştir. 3 Nokta eğme testi sonucunda elde edilen veriler cihaz yazılımından faydalanılarak sağlanmıştır.

Simetrik dizilimli kompozit plakalı numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları Tablo 6'ya göre değerlendirildiğinde; N06 S45 numunesi simetrik numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı değerini ve N07 S60 numunesi en yüksek eğme uzaması (mm) değerini vermektedir. N01 S0 numunesi ise simetrik numuneler ve tüm numuneler arasındaki en düşük eğilme dayanımı değerini ve en az eğme uzaması (mm) değerini vermektedir.

uzaması (mm) değerlerini vermektedir. Şekil 13.'te görüldüğü üzere N07 S60 kompozit plakalı numunede en yüksek eğme uzama (mm) değerini vermektedir. Simetrik numuneler arasında maksimum eğme uzaması (mm) için en etkin oryantasyonu 60°'lik açı uygulanan jüt takviyeli numuneden sağlanmıştır.



Şekil 13. Simetrik diziliimli kompozit numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları grafiği

Figure 13. Graph of the maximum bending load (N) and bending elongation at maximum load (mm) results of the 3-point bending test with at least 5 repetitions for symmetrically aligned composite samples

Asimetrik diziliimli kompozit plakalı numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları Tablo 7'e göre değerlendirildiğinde; N13 AS45 numunesi asimetrik numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı değerini ve N14 AS60 numunesi asimetrik numuneler arasında ve tüm numuneler arasındaki en yüksek eğme uzama (mm) değerini vermektedir. N11 AS60 numunesi ise asimetrik numuneler arasındaki en düşük eğilme dayanımı değerini ve N10 AS45 numunesi en az eğme uzaması (mm) değerini vermektedir.

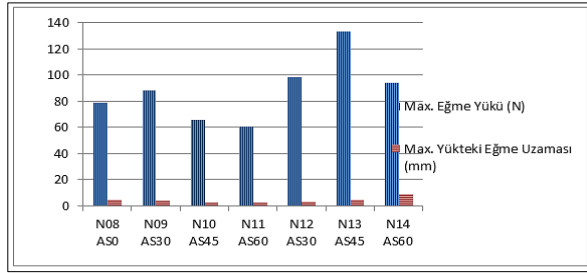
Tablo 7. Asimetrik diziliimli kompozit numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları

Table 7. Maximum bending load (N) and bending elongation at maximum load (mm) results of the 3-point bending test with at least 5 repetitions performed for composite samples with asymmetrical alignment

Numune Kodu	Maksimum Eğme Yüğü (N)	Maksimum Yükteki Eğme Uzaması (mm)
N08 AS0	78,914	4,83
N09 AS30	88,536	4,213
N10 AS45	65,628	2,6
N11 AS60	61,157	3,013
N12 AS30	98,395	3,63
N13 AS45	133,133	5,263
N14 AS60	94,512	9,626

Asimetrik diziliimli kompozit plakalı numunenin eğilme dayanımı grafiği Şekil 14'te görülmektedir. Asimetrik numuneler arasında maksimum eğilme dayanımı için en etkin oryantasyonu simetrik numunelerdeki gibi 45°'lik açı verilen jüt lifi takviyeli N13 AS45 numunesi sağlamıştır. N11 AS60 numunesi ise asimetrik diziliimli numuneler arasında en düşük eğilme dayanımı değerini 60°'lik açı verilen cam lifi takviyeli numune

vermiştir. Şekil 14'te görüldüğü üzere N14 AS60 kompozit plakalı numune asimetrik numuneler arasında ve tüm numuneler arasındaki en yüksek eğme uzama (mm) değerini 60°'lik açı verilen jüt lifi takviyeli numunede sağlamıştır. En az eğme uzama (mm) değerini ise katmanları arasında 45°'lik açı verilen cam lifi takviyeli N10 AS45 numunesi vermiştir.



Şekil 14. Asimetrik diziliimli kompozit numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları grafiği

Figure 14. Graph of the maximum bending load (N) and bending elongation at maximum load (mm) results of the 3-point bending test with at least 5 repetitions performed for composite samples with asymmetrical alignment

Tablo 8. Rastgele diziliimli kompozit numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları

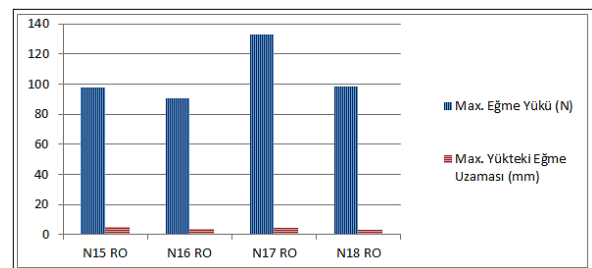
Table 8. Maximum bending load (N) and bending elongation at maximum load (mm) results of the 3-point bending test with at least 5 repetitions for randomly arranged composite sample

Numune Kodu	Maksimum Eğme Yüğü (N)	Maksimum Yükteki Eğme Uzaması (mm)
N15 R0	97,724	4,827
N16 R0	90,326	3,976
N17 R0	132,923	4,623
N18 R0	98,549	3,253

Rastgele diziliimli kompozit plakalı numunenin eğilme dayanımı grafiği Şekil 15'te görülmektedir. Rastgele numuneler arasında maksimum eğilme dayanımı için en etkin dizilimi dış yüzeylerin her iki tarafında da karbon prepreg yüzey bulunduran numune sağlanmaktadır. N16 R0 numunesi ise rastgele diziliimli numuneler arasında en düşük eğilme dayanımı değerini her iki dış yüzeyinde de cam prepreg malzeme yüzeyi bulundurduğundan vermektedir. Şekil 15'te görüldüğü üzere N15 R0 kompozit plakalı numunesi rastgele numuneler arasındaki en yüksek eğme uzama (mm) değerine dış yüzeylerin birinde karbon prepreg diğerinde de jüt prepreg yüzey katmanı bulundurduğundan sağlamaktadır. N18 R0 numunesi de en az eğme uzama (mm) değeri

Rastgele diziliimli kompozit plakalı numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları Tablo 8'e göre değerlendirildiğinde; N17 R0 numunesi rastgele numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı değerini ve N15 R0 numunesi rastgele numuneler arasında en yüksek eğme uzaması (mm) değerini vermiştir. N16 R0 numunesi ise rastgele numuneler arasındaki en düşük eğilme dayanımı değerini ve N18 R0 numunesi en az eğme uzaması (mm) değerini vermiştir.

için en bir yüzeyinde cam prepreg diğer yüzeyinde karbon lifi takviyeli numune bulundurmasından kaynaklı vermektedir. Rastgele numuneler arasında eğme yükleri ve eğme uzamaları birbirine yakın değerler vermiştir.

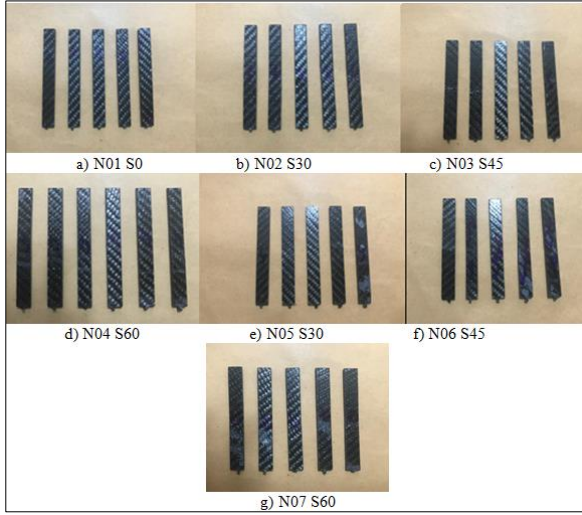


Şekil 15. Rastgele diziliimli kompozit numuneler için yapılan en az 5 tekrarlı 3 nokta eğme testinin maksimum eğme yükü (N) ve maksimum yükte eğme uzaması (mm) sonuçları grafiği

Figure 15. Graph of the maximum bending load (N) and bending elongation at maximum load (N) and bending elongation at maximum load

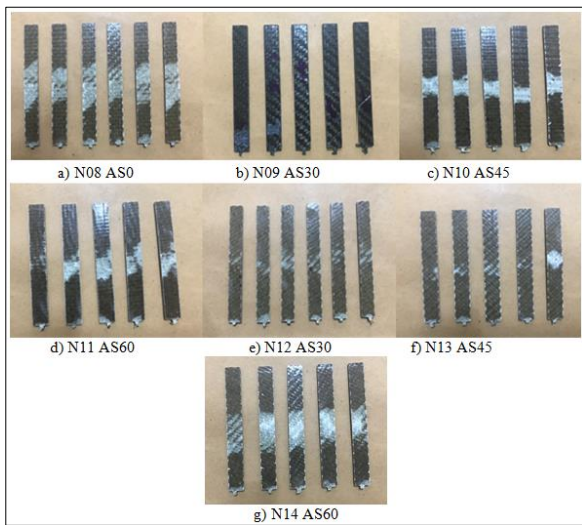
(mm) results of the 3-point bending test with at least 5 repetitions for randomly arranged composite samples

Kompozit plakalar için uygulanan 5 tekrarlı 3 nokta eğme testi sonucunda numunelerin biçim değişimleri ve hasarlı test numuneleri Şekil 16., 17. ve 18.'de gösterilmektedir.



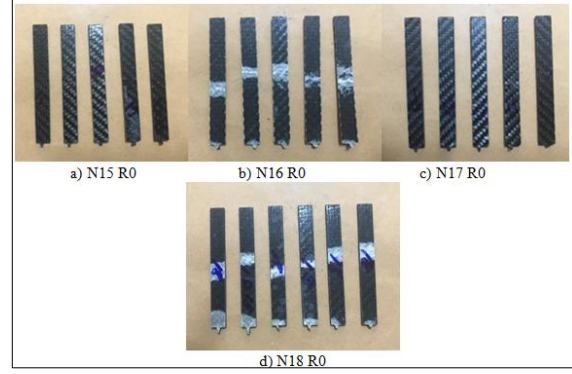
Şekil 16. Simetrik dizilişli prepreg kompozitlerin 3 nokta eğme testi sonucundaki biçim değişimleri; (a) N01, (b) N02, (c) N03, (d) N04, (e) N05, (f) N06, (g) N07

Figure 16. Shape changes of symmetrically aligned prepreg composites as a result of 3-point bending test; (a) N01, (b) N02, (c) N03, (d) N04, (e) N05, (f) N06, (g) N07



Şekil 17. Asimetrik dizilişli prepreg kompozitlerin 3 nokta eğme testi sonucundaki biçim değişimleri; (a)N08, (b)N09, (c) N10, (d) N11, (e) N12, (f) N13, (g) N14

Figure 17. Shape changes of asymmetrically aligned prepreg composites as a result of 3-point bending test; (a) N08, (b) N09, (c) N10, (d) N11, (e) N12, (f) N13, (g) N14



Şekil 18. Rastgele dizilişli prepreg kompozitlerin 3 nokta eğme testi sonucundaki biçim değişimleri; (a) N15, (b) N16, (c) N17, (d) N18

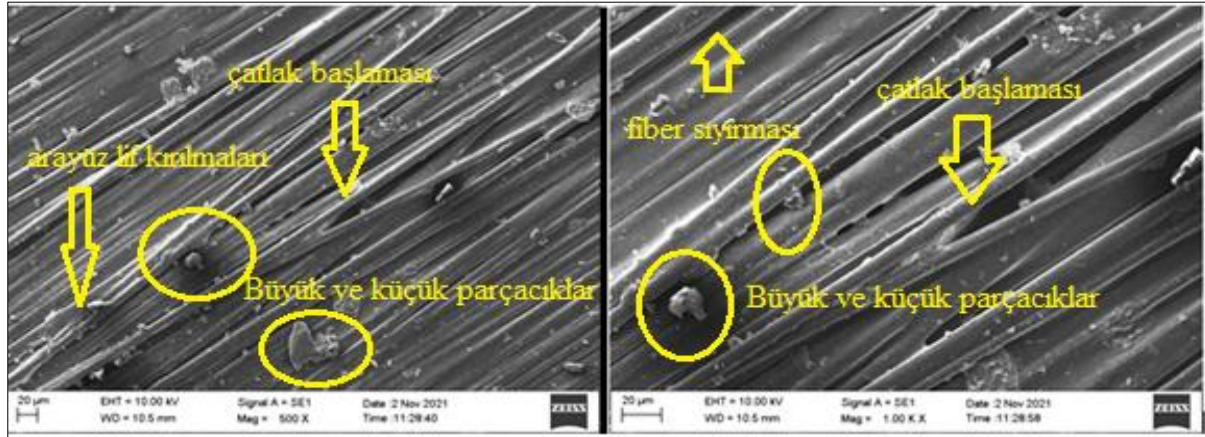
Figure 18. Shape changes of randomly arranged prepreg composites after 3-point bending test; (a) N15, (b) N16, (c) N17, (d) N18

3.4. SEM görüntülerinin incelenmesi

SEM görüntüleme analizleri ile hibrit kompozit plakaların genel kompozit yapısını, Charpy darbe dayanımı ve eğme testleri sonrası hasarlı kısımlarının kesitleri, Zeuss Evo LS 10 marka elektron mikroskobu 45x-2500x büyütme oranlarında, 20 kV'lık gerilme altında düşük vakumda inceleme yapılarak görüntülenmiştir. İletkenlik özelliği bulunmayan numuneler için Agar Supetter Coater kaplama cihazı ile görüntü alınabilmesi için altın/paladyum (Au/Pd) ile kaplanmaları; Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. SEM görüntülemesi ile jüt takviyeli kompozit plaka malzemeler üzerinde matris yapısı kusurları, çatlak başlaması ve ilerlemesi, elyaf ayrılması, kırılma yüzeyi, delaminasyon, lif kırılmaları, yapışma meydana gelmiş lifler, demet halinde lif kırılmaları, arayüz delaminasyonu

matris kalıntısı, ardışık lif kırılmaları, küçük arayüz ayrılması, makro/mikro gözenekler, yapışma gelişmiş lif, fiber yönü ve bileşimi incelenmiştir. Simetrik dizilime sahip N01 S0 numunesinin 500x ve 1000x büyütme altında prepreg kompozit numunenin lifler

arasındaki farklı noktalardaki SEM görüntüsü Şekil 19’da verilmiştir. Yüzey üzerinde çatlak başlaması, fiber sıyrılması, arayüz lif kırılmaları, büyük ve küçük parçacıklar görülmektedir.

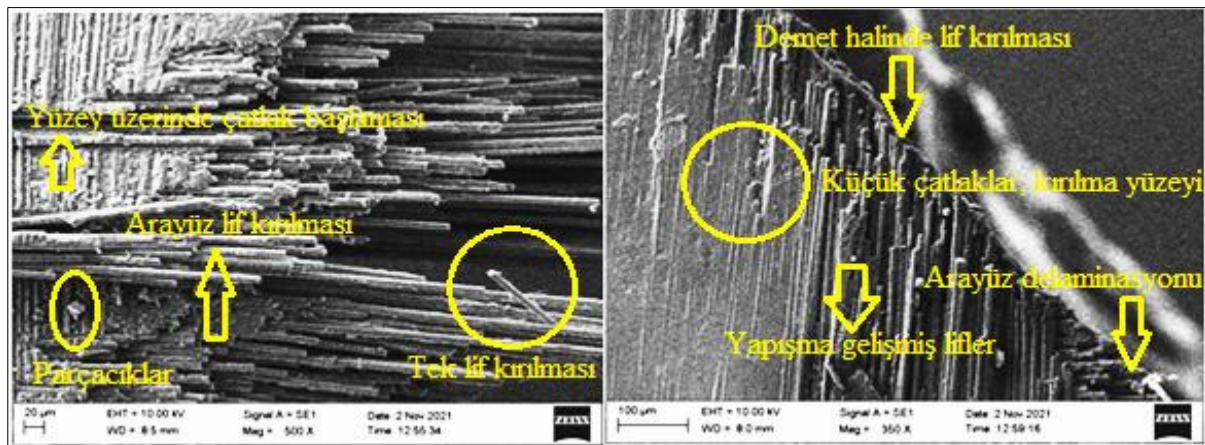


Şekil 19. Simetrik dizilimli N01 S0 prepreg kompozit numunenin 500x-1000x büyütme altında SEM görüntüsü

Figure 19. SEM image of the symmetrically aligned N01 S0 prepreg composite sample under 500x-1000x magnification

Simetrik dizilime sahip N08 AS0 hasarlı prepreg kompozit numunenin 350x – 500x büyütme altında prepreg kompozit numunenin lifler arasındaki farklı noktalardaki SEM görüntüsü Şekil 20’de verilmiştir. Yüzey üzerinde çatlak başlaması,

arayüz lif kırılmaları, tek lif kırılmaları, demet halinde lif kırılmaları, yapışma gelişmiş lifler, arayüz delaminasyonu, kırılma yüzeyi, küçük çatlaklar ve çatlak ilerlemesi, parçacıklar görülmektedir.



Şekil 20. Simetrik dizilimli N08 AS0 hasarlı prepreg kompozit numunenin 350x – 500x büyütme altında lifler arasındaki farklı noktalardaki kopmaların SEM görüntüsü

Figure 20. SEM image of the breaks at different points between the fibers of the symmetrically aligned N08 AS0 damaged prepreg composite sample under 350x – 500x magnification

Kompozit plakaların morfolojik yapıları ortaya konulmuştur. SEM görüntülerinde büyük çukurlar, büyük gözenekler, tanecikler lif kalıntıları ve lif kırılmaları görülmektedir. Elyaf matris arasındaki bağların iyi tutunabilmesi için matris malzemesinin iyi dağılması ve daha rijit özellik gösterilmesi; uygulanan farklı oryantasyon açılarından, dizilim farklılıklarından, kompozit malzeme üzerinde meydana gelen hasarlardan kaynaklanmaktadır.

4. Sonuçlar

Üretimi gerçekleştirilen hibrit kompozit plakalı malzemeler; karbon, cam ve jüt elyafın işlenerek dokunması ile elde edilmiş kumaşların prepreg malzeme haline getirilmesi ile üç farklı dizilimli, altı katmanlı ve oryantasyonları farklı, 250 x 250 mm boyutlarında kare kesitli plakalardan deney standartları için gerekli boyutlardaki numuneler ile Charpy darbe testi, eğme testi ve SEM görüntüleme analizleri gerçekleştirilmiştir.

El yatırma tekniği kullanılarak üretilen prepreg malzemeler; belirlenen ısı, zaman ve basınç yardımı ile işlenerek elde edilen hibrit kompozitler önemli miktarda takviye ve matris uyumu sağlamıştır. Hibrit kompozit malzemelerin meydana getirilmesinde karbon, cam ve jüt prepreg malzemelere uygulanan oryantasyon ve katmanlar arasındaki dizilim farklılıkları sebebiyle; uygulanan mekanik testler ile Charpy darbe dayanımı ve eğme testi sonucunda elde edilen veriler özellikle numuneler arasındaki farklılıkları ortaya koymuştur.

Aynı prepreg malzeme çeşitliliğine sahip, altı katmandan meydana gelen kompozit plakalı malzemelerin Charpy darbe dayanımı, eğme deneyi sonuçları incelendiğinde; eğme ve Charpy darbe dayanımı değerleri katmanlar arasındaki

sıralamanın ve oryantasyon açısının farklılıkları deney sonuçlarını etkilemektedir. Ancak; Charpy darbe dayanımı testinin değerleri incelendiğinde katmanlar arasındaki dizilim sıralamasının enerji absorpsiyonunda ufak bir değişim tespit edilse de önemli bir etkisi görülmemektedir. Ancak; numunelerden elde edilen değerlerdeki ufak değişimlerin oryantasyon açısının enerji absorpsiyonunu etkilediği tespit edilmiştir.

Simetrik, asimetrik ve rastgele dizilimli kompozit plakalı numunelerin Charpy darbe dayanımı sonuçlarına bakıldığında rastgele dizilime sahip numunelerin en yüksek darbe dayanımına sahip bulunduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla simetrik ve asimetrik dizilimli numuneler takip etmektedir. Asimetrik ve rastgele dizilimli kompozit plakalı malzemeler birbirine çok yakın darbe dayanımı değerleri vermektedir. Buradan anlaşılabileceği üzere Charpy darbe dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesinde dizilim sırası ve oryantasyon verilmesi bu yakın değerleri etkilemektedir.

Bu çalışmada kullanılan cam, karbon ve jüte liflerinden elde edilerek üretilmiş prepreg hibrit kompozit malzemeler, sanayinin ve endüstrinin ihtiyaç duyduğu 3 boyutlu kalın kesitli ve yüksek darbe dayanımına ve eğme yüküne dayanıklı plakalar elde edilmiştir. Elde edilen jüt takviyeli kompozit plakalı malzemelere uygulanan testler ile bu malzemelerin mekanik özelliklerinin yeterliliklerini ortaya koymuştur. Bu sayede elde edilen plakalar katma değeri yüksek ve sentetik liflerden elde edilen prereg malzemelerin yerini alabilme yeteneğine sahip bulunmuştur.

Yapılan çalışma ile prepreg malzeme cinslerinin doğru seçilmesi ve uygulanan dizilim sıralaması ile oryantasyon açılarının

uygun bir şekilde belirlenmesi halinde kompozit plakalı malzemenin çekme kuvvetinde, eğme dayanımında, Charpy darbe dayanımında değişimler meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Yeni yapılacak çalışmalarda jüt takviyeli kompozit plakalı malzemelerin titreşim, elektromanyetik ve akustik analizleri ayrıntılı incelenebilir, numunelerin hasar analizleri tahribatsız malzeme muayenesi yöntemleri kullanılarak; radyografik, ultrasonik ve sıvı penetrant ile muayene edilip 3D tarayıcı ile görüntülenerek detaylı incelenebilir.

Kompozit plakalı numunelerin oryantasyon açıları 30°, 45°, 60° şeklinde farklı dizilim ve tabakalarda yer alarak verilmiştir. Numunelere uygulanan mekanik testlerin ve görsel analizlerin değerlendirilmesinin bu açılardan farklı açılar ile de değerlendirilebilir. Bu sebeple benzeri çalışmaların sadece bu çalışmada kullanılan açı değerleri (30°, 45°, 60°) ile değil, farklı açılar ve farklı katman adetleriyle de yapılması önerilmektedir.

Yazar katkısı (Author contribution)

Bu makale birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir. Hayri ŞEN: Metodoloji, Kavramsallaştırma, Kaynaklar, Yazma-İnceleme ve Düzenleme. İkinci yazar tezin danışmanıdır.

Finansman beyanı

Çalışma için maddi destek veren Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (TÜBAP-2019/282) teşekkürü bir borç biliriz.

Çıkar çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Etik standartlar

Bu makale için etik kurul izni gerekmemektedir.

Kaynaklar

- Albayrak, M, Kaman, M. O. (2019). Charpy darbe testinin deneysel ve sayısal analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 10 (3), 945–957. <https://doi.org/10.24012/dumf.475979>
- ASTM International. (2017). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials (ASTM D790-17). *American Society for Testing and Materials*, 12.
- ASTM International. (2018). Standard test methods for determining the charpy impact resistance of notched specimens of plastics (ASTM D6110-18). *American Society for Testing and Materials*, 17.
- Assis, F. S. de, Pereira, A. C., Filho, F. da C. G., Lima, É. P., Monteiro, S. N., Weber, R. P. (2018). Performance of jute non-woven mat reinforced polyester matrix composite in multilayered armor. *Journal of Materials Research and Technology*, 7(4), 535-540. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.05.026>
- Bayar, H., Subasi, M., Karatas, C. (2015). SiC takviyeli alüminyum alaşım matrisli kompozit malzemenin yüksek basınçlı kalıp dökümü ve mekanik özellikleri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*. 3 (4), 603-612.
- Büyükkaya, K. (2017). Isırgan lifi-fındık kabuğu unu ile güçlendirilmiş hibrit kompozitlerin mekanik davranışının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji GU J Sci Part:C*, 5(4), 133-144. <https://doi.org/10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.337247>

- Candan, Ü., Eronat, N., Türkün, M. (2015). Fiberle güçlendirmenin nanofil kompozitin eğme direncine etkisinin incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 25(1), 13-20. <https://doi.org/10.17567/dfd.35569>
- Dindar, B., Ağır, İ. (2021). Charpy impact response of notched aluminum 5754-h111 of repaired with carbon/epoxy and e-glass/epoxy. *European Journal of Science and Technology*, (22), 352-356. <https://doi.org/10.31590/ejosat.844824>
- İmak, A., Solmaz, M. Y., Topkaya, T. (2016). Tabakalı hibrit kompozit malzemelerin yorulma davranışlarının analizi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, c. 3, sy. 3, 2016. <https://doi.org/10.31202/ecjse.258572>
- Öktem, M.F., Yıldırım, M. (2020). Manufacturing process and material characterization of woven jute composites. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi (NÖHÜ) Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1): 546 – 556. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.508950>
- Özben, T., Şen, H. (2020). Damage behavior of hybrid composite plates exposed to impacts at different energy levels. *Mechanics of Composite Materials*, 56, (3), 361-366. <https://doi.org/10.1007/s11029-020-09887-1>
- Özes, Ç., Taşkın, A.E. (2016). Jüt kumaş ve yün keçe esaslı kompozitlerin darbe davranışının belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 18, (54), 513-520.
- Özsoy, M. İ. (2022). Investigation of the mechanical properties of carbon and basalt fiber laminated hybrid epoxy composites. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28 (4), 499-505.
- Öztaş, B., Korkmaz, Y., Çelik, H. İ. (2021). Kompozit malzemelerin charpy darbe testi sonrası ultrasonik c-scan yöntemi ile hasar analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (4), 332-340. <https://doi.org/10.17780/ksujes.993152>
- Öztürk, S. (2020). The investigation of polylactic acid based natural fiber reinforced biocomposites for automotive applications. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (1), 21-31. <https://doi.org/10.34186/klujes.626590>
- Panigrahi, A., Jena, H., Surekha, B. (2018). Effect of clams shell in impact properties of jute epoxy composite. *Materials Today: Proceedings*, 5, (9), 19997-20001. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.366>
- Savaş, L.A., Erdem, A., Kaplan, A., Doğan, M. (2021). Kalsiyum hipofosfit ve magnezyum hipofosfit emdirilmiş jüt elyaf katkılı poli (laktik asit) biyokompozitlerinin ısı ve güç tutuşurluk özelliklerinin incelenmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 28, 121, 16-22.
- Şen, H., Özben, T. (2021). Mechanical Properties of Boron Reinforced Textile Composite, *III. International Conference on Agricultural, Biological and Life Science*, 01-03 Eylül 2021, Edirne.
- Vijaya Ramnath, B., Sharavanan, R., Chandrasekaran, M., Elanchezhian, C., Sathyanarayanan, R., Niranjana Raja, R. ve Junaid Kokan, S. (2015). Experimental determination of mechanical properties of banana jute hybrid composite. *Fibers and Polymers*, 16(1), 164-172. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-0164-0>