



SICAK PRES CETP KOMPOZİT PANELLERİN EĞİLME PERFORMANSLARI ÜZERİNE DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR

Erkan BAHÇE¹, Burak ÖZDEMİR^{2*}, Tuğberk ÖNAL³

¹Inonu University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, 44280, Malatya, Türkiye

²Malatya Turgut Özal University, Hekimhan Vocational School, 44400, Malatya, Türkiye

³Malatya Turgut Özal University, Yesilyurt Vocational School, 44900, Malatya, Türkiye

Özet: Bu çalışmada, sıcak pres yöntemi ile üretilmiş CETP (Cam elyaf takviyeli polimerler) kompozit panellerin eğilme performansları araştırılmıştır. Bu amaçla cam elyaf ve reçine ile hazırlanmış kompozit plakalar belli bir sıcaklık ve basınç altında preslenerek panellere çevrilmiştir. Üretilen paneller değişken yükler altında çalışan malzemeler olması nedeni ile eğilme testine tabi tutulmuştur. Panellerden 14×150×6 mm³ ebatlarında numuneler alınarak üç nokta eğilme testi uygulanmıştır. Deneyin doğrulanması ve gerilme dağılımının görsel olarak incelenebilmesi amacıyla sonlu elemanlar analizi (SEA) yapılmıştır. Çalışma sonunda deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve uygulanan yüklerin etkileri tartışılmıştır. Deneylerde en yüksek eğilme gerilmesi 150.39 MPa, SE analizinde ise 164.31 MPa şeklinde gerçekleşmiştir. Malzemenin hasar öncesi deplasmanı deney ve SEA için sırasıyla 4.92 mm ve 5.46 mm'dir. Deney ve SEA sonuçlarının birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar CETP kompozit malzemelerin farklı alanlarda kullanımı öncesi boyut ve mekanik özelliklerin belirlenmesi çalışmalarına destek olacak niteliktedir.

Anahtar kelimeler: CETP, Eğilme testi, Kompozit, Sıcak pres, Sonlu elemanlar analizi


Experimental and Theoretical Studies on Bending Performance of Hot Press GFRP Composite Panels


Abstract: In this study, the bending performances of GFRP (glass fiber reinforced plastic) composite panels produced by the hot press method were investigated. For this purpose, composite plates prepared with glass fiber and resin were pressed under a certain temperature and pressure and turned into panels. The panels produced were subjected to bending test since they are materials that operate under variable loads. Three-point bending test was applied by taking samples of 14x150x6 mm³ size from the panels. Finite element analysis (FEA) was performed to verify the experiment and to visually examine the stress distribution. At the end of the study, experimental and theoretical results were compared, and the effects of applied loads were discussed. The highest bending stress was 150.39 MPa in the experiments, and 164.31 MPa in the SE analysis. The displacement of the material before damage is 4.92 mm and 5.46 mm for the test and FEA, respectively. It was observed that the results of the experiment and FEA gave close results. The results obtained will support the studies of determining the size and mechanical properties of GFRP composite materials before their use in different areas.


Keywords: GFRP, Bending test, Composite, Hot press, Finite element analysis

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Malatya Turgut Özal University, Hekimhan Vocational School, 44400, Malatya, Türkiye.

E mail: burak.ozdemir@ozal.edu.tr (B. ÖZDEMİR)

Erkan BAHÇE  <https://orcid.org/0000-0001-5389-5571>

Burak ÖZDEMİR  <https://orcid.org/0000-0002-5870-0398>

Tuğberk ÖNAL  <https://orcid.org/0000-0002-3491-7939>

Gönderi: 22 Şubat 2023

Kabul: 06 Haziran 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: February 22, 2023

Accepted: June 06, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Bahçe E, Özdemir B, Önal T. 2023. Experimental and theoretical studies on bending performance of hot press GFRP composite panels. BSJ Eng Sci, 6(3): 229-234.

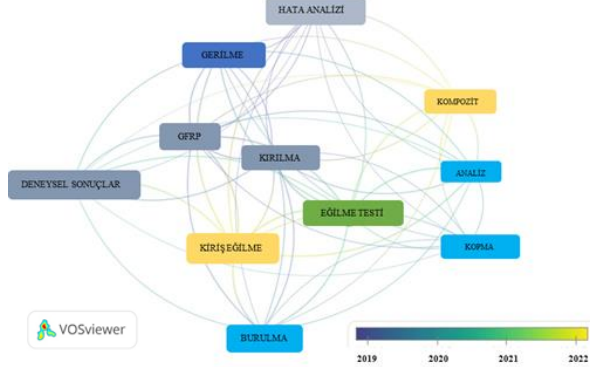
1. Giriş

CETP kompozitler, korozyona dayanımı, yüksek mukavemet düşük ağırlık oranı, tasarım esnekliği, yorulma dayanımı ve darbe direnci nedeniyle alternatif bir malzeme olarak imalatçıların ve mühendislerin dikkatini çekmektedir (Sá ve ark., 2011; Subaşı ve ark., 2017; Kilickap, 2010; Sanada ve Shindo, 2006; Kilickap ve ark., 2023). Pultrüzyon üretim tekniğinin bir sonucu olarak CETP kompozitlerinin maliyeti önemli ölçüde azaltılmıştır (Biddah, 2006). Dayanım ve maliyetten oluşan ekonomiklik özelliği CETP kompozit malzemelerin agresif ve değişken yüklerin olduğu ortamlarda

kullanımını artırmıştır (Ferdous ve ark., 2018). Sıvı depolama gibi değişken yüklerin olduğu endüstri alanlarında CETP kullanımı, malzemenin dayanım şartlarına uygunluk testlerinin yapılmasını gerektirmiştir. CETP kompozit malzemenin sıvı depolama alanında kullanımındaki ana kaygı, muadil malzemelere göre düşük eğilme dayanımı ve yüksek sapmalara neden olan elastik modülüdür (Tekin ve ark., 2016). CETP kompozit malzemeler üzerinde yapılan bazı işlemler bu malzemelerin dayanımını etkilemektedir (Kilickap ve ark., 2017). Bu özellikler yapıların bütünsel dayanımı yanında, ani güçlere karşı gösterdiği tepkilerin



iyileştirilmesini gerektirmiştir. Literatürde CETP kompozit malzemenin eğilme deneyleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, genellikle yapı ve denizcilik alanında su ile temaslı malzemelerin eğilme ve bükülme özelliklerinin araştırıldığı görülmektedir. Yapılan testler sonucu malzemenin gerilme sınırları ve kırılma karakteristiği incelenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. CETP kompozit malzemelere yapılan mekanik testlere ait literatür sonuçları.

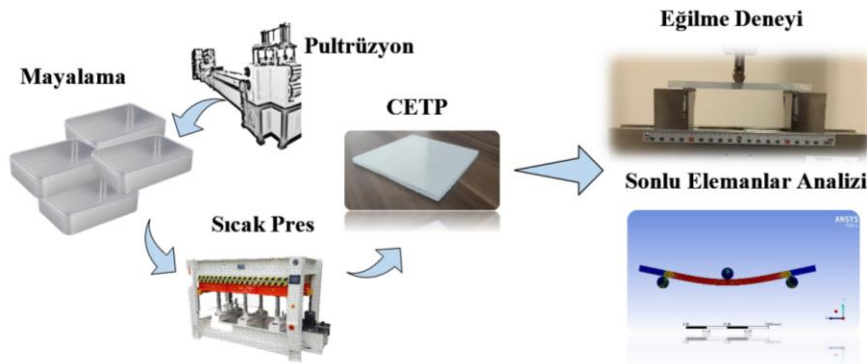
CETP kompozit malzemenin üretim şekli eğilme performansını etkileyen bir faktördür. Cam elyaf liflerinin serim açısı farklı oryantasyonlar ile (0°,45°,90° vb.) uygulanarak üretilen kompozitlerin eğilme testlerinde, büyükten küçüğe sırasıyla 0°, 90°, 45° şeklinde gerçekleşmiştir (Demircan ve ark., 2020). Lif oryantasyonu ile birlikte, lif uzunluğu ve plaka kalınlığı değişimlerinde özellikle daha uzun ve tek yönlü serilmiş elyaflarda eğilme mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine plaka kalınlığının artması eğilme mukavemetine olumlu etki sunmuştur (Bazlı ve ark., 2019). CETP kompozit malzemenin eğilme dayanımı etkileyen diğer bir faktör ise kullanım alanındaki ortam faktörleridir. Farklı kullanım alanlarında tuzlu su, güneş, nem gibi ortam faktörlerine maruz kalan kompozit malzemelerin eğilme dayanımları değişiklik

göstermektedir. Belli süre ortam etkenlerine maruz bırakılarak yapılan yaşlandırma işlemleri sonucunda özellikle tuz ve suyun eğilme ve çekme özelliklerini bozduğu tespit edilmiştir (Liao ve ark., 1999). Sıcaklık ve nemin birlikte artışı da eğilme dayanımı için negatif etki göstermektedir (Nishizaki ve Meiarashi, 2002). Farklı su tiplerinin cam elyaf liflerinin kırılma özelliğini artırması eğilme dayanımını azaltan temel nedenler olarak belirlenmiştir (Bian ve ark., 2012; Sateesh ve ark., 2015). CETP kompozitleri, imalat ve çevre koşullarının olumsuz etkilerinden koruma amaçlı yüzey kalitesi ve iç yapısını iyileştirici uygulamalar yapılmaktadır. Kimyasal emdirme, yüksek sıcaklık ve basınç altında presleme gibi uygulamalar, yüzeyi iyileştirirken iç yapıdaki düzensizlik ve boşlukları yok etmekte ve özellikle su ve sıcaklık faktörlerinin eğilme mukavemeti üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaktadır (Li ve ark., 2022). Farklı alanlarda kullanılan CETP kompozit malzemeler eğilme ile birlikte burulma ve darbe gibi yüklere de maruz kalabilmektedir (Carvelli ve ark., 2001; Özkılıç ve ark., 2020).

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile imal edilmiş CETP kompozit malzemenin eğilme dayanımı araştırılmıştır. Test edilen numune kompozit su deposu paneli üretiminde kullanılmaktadır. Depolar normal şartlarda içerisinde bulunan suyun panellere yaptığı baskıya maruz kalmaktadır. Dolum süreci ve kuruldukları zeminin sarsıntısına bağlı olarak depo içerisindeki su, zaman zaman panellere eğilme kuvveti uygulamaktadır. Çalışmada, kullanım şartlarına bağlı kalınarak malzemenin üç nokta eğilme deneyi ve SE analizi yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma, CETP kompozit malzemenin imalat süreci ve eğilme deneyi aşamalarından oluşmaktadır. Yapılan deney setinin akış şeması Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Deney akış şeması.

2.1. CETP Kompozitlerin İmalatı

CETP imalatında matris olarak, genellikle bot, gemi su deposu, rüzgâr pervanesi gibi sulu ve nemli ortamlarda kullanılan bağlayıcı ve sertleştirici malzemeler tercih edilmiştir. Bu sebeple plakaların üretiminde LR300 epoksi reçine ve LH300 sertleştirici kullanılmıştır. Epoksi

reçine ve sertleştiricinin karışım oranı üretici firmanın önerisi ile ağırlıkça 100:30±2gr’dır. Matris malzemesi olarak kullanılan LR300 epoksi reçine ve LH300 sertleştiricinin yoğunlukları sırasıyla 1.15 g/cm³ ve 1.05 g/cm³ şeklindedir. Kompozit plakalarda kullanılan cam elyaf kumaşların ağırlıkları 200 gr/m². Pultrüzyon

yöntemi ile boyutlandırılan lifler 24 saat mayalandırılmıştır. Daha sonra erkek ve dişi hazır kalıplara serilerek sıcak preslemeye tabi tutulmuştur. Presleme işleminde basınç 13MPa, sıcaklık 210 C° olarak belirlenmiştir. Plakalar kesilerek 14x150x6 mm³ ölçülerinde test numuneleri elde edilmiştir (Şekil 3).



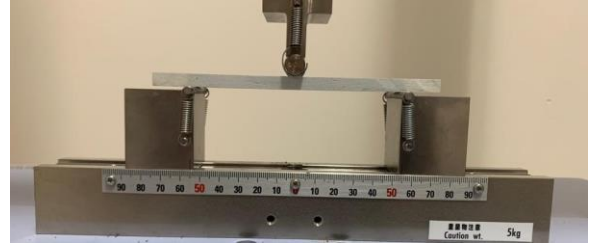
Şekil 3. Üretilen CETP kompozit plakalar ve sıcak pres hattı.

2.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi

Kompozit numunelerin üç nokta eğilme testleri 10 kN kapasiteli Shimadzu marka test cihazında ASTM D790 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te üç nokta eğilme testinin görünümü verilmiştir. İki destek arası mesafe (L) 110 mm'dir. Test yükü (P) kompozit yapının üst yüzeyinin ortasından 2,95 mm/dk hızla uygulanmıştır. Eğilme yükü altında kompozit numunelerde meydana gelen maksimum eğilme mukavemeti değeri (σ_e) eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır. Yükleme sonucunda numunelerde meydana gelen maksimum şekil değiştirme değeri (ϵ) ise eşitlik 2 eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada P yük (N), L destekler arası mesafe (mm), b numune genişliği (mm), d numune kalınlığını (mm) ve D maksimum sehim değerini (mm) göstermektedir.

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

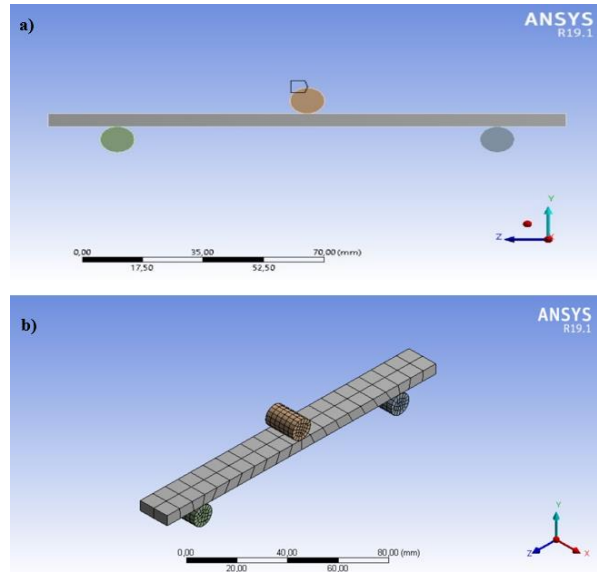
$$\epsilon = \frac{6Dd}{L^2} \quad (2)$$



Şekil 4. Üç nokta eğilme testi düzeneği.

2.3. Sayısal Çözümleme

Yer değiştirme tabanlı klasik SE analizi, deneysel ve teorik sonuçların tutarlılığını karşılaştırmak için ikinci bir sayısal çözüm yöntemi olarak sunulmuştur. Numunelerin eğilme yükü altındaki davranışını tahmin etmek ve gerilme dağılımını görebilmek için Ansys 19.1 paket programı kullanılmıştır. Sayısal simülasyon süreci beş aşamadan oluşmaktadır. Numunelerin ve test elemanlarının üç boyutlu teknik resimleri Solidworks 2022 paket programında çizilmiştir (Şekil 5a). Numuneler için Ansys paket programında mühendislik malzemeleri içerisinde bulunan CETP kompozit malzemesi seçilmiştir. Deneysel kullanılan malzemeye sıcak pres uygulanması sebebiyle, üç nokta eğilme testiyle farklılık gösteren mekanik özellikler sonlu elemanlar analizinde düzenlenmiştir. Numunelerin ağ yapısı, fiber seriminin açısal ve boyutsal özellikleri dikkate alınarak, 3482 düğüm ve 620 adet eleman ile yapılmıştır (Şekil 5b). Ağ yapısının minimum kenar uzunluğu 5 mm'dir. Desteklerin sınır koşulları Ansys programının standart özellikleri ile mevcut konumuna sabitlenerek uygulanmıştır. Destek açıklığı 110 mm olacak şekilde malzemenin tam ortasından 4.92 mm yer değiştirme uygulanmış ve gerilme değerler incelenmiştir.



Şekil 5. Sonlu elemanlar analizi bileşenleri. a) Deneysel 3B çizimi b) Numunenin ağ yapısı uygulaması.

3. Bulgular

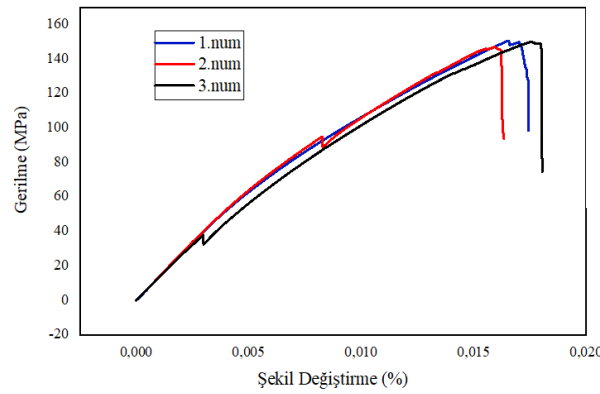
Kompozit numunelere üç nokta eğilme testleri uygulanmıştır. Deneysel çalışma için üçer tekrar

yapılmıştır. Testler sonucunda numunelere ait hasar yükü, eğilme mukavemeti ve eğilme elastisite modülü değerleri belirlenmiş ve ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda parantez içinde standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6'da kompozit numunelere uygulanan eğilme testi sonucu belirlenen Gerilme-Şekil değiştirme grafiği verilmiştir.

Tablo 1. Kompozit numunelerin üç nokta eğilme test sonuçları.

		SS
Hasar yükü (N)	589.01	10.50
EM (MPa)	148.98	1.89
EEM (GPa)	13.340	0.41

EM= eğilme mukavemeti, EEM= eğilme elastisite modülü, SS= standart sapma.



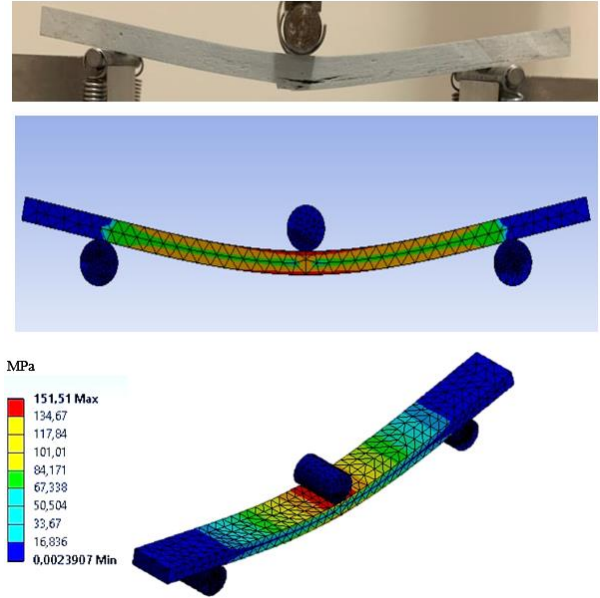
Şekil 6. Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.

Yapılan testler sonucunda en yüksek hasar yükü 597.58 N dur. Bu yük değerine karşılık numunede 5.18 mm uzama meydana gelmiştir. Bununla birlikte tüm numuneler için maksimum hasar yükü ve uzama değerlerinin ortalamaları sırasıyla 589.01 N ve 4.92 mm'dir. Numunelerde belirlenen en yüksek eğilme gerilmesi ve eğilme elastisite modülü değerleri sırasıyla 150.39 MPa ve 13.466 GPa'dır.

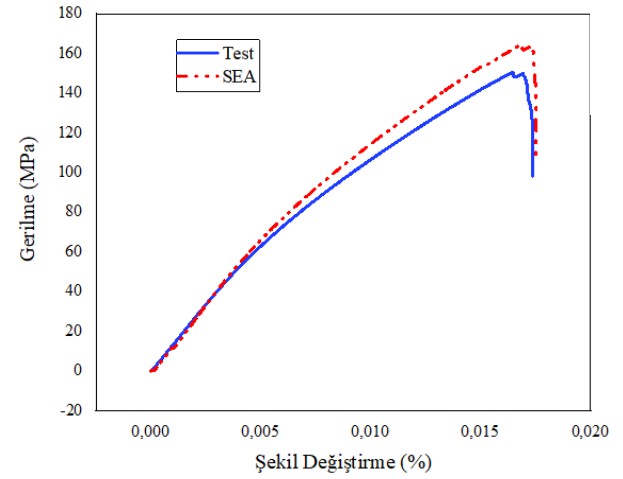
Şekil 7'de verilen hasarlı test numunesi incelendiğinde hasarın alt yüzeyde meydana geldiği görülmektedir. Eğilme yükü altında yapının üst yüzeyinde bası, alt yüzeyinde ise çeki gerilmeleri olduğu göz önüne alındığında numunenin çekme gerilmelerinden kaynaklı olarak hasara uğradığı düşünülmektedir (Asaee ve ark., 2021). Bu durum her üç test numunesinde de benzerlik göstermektedir. SEA analizi sonuçlarında CETP kompozit malzemenin eğilme deneyi sırasındaki gerilme dağılımı görülmektedir (Şekil 8). Üç nokta eğilme testi ve SEA gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği Şekil 9'da sunulmuştur.



Şekil 7. Eğilme sonrası hasarlı numune görüntüsü.



Şekil 8. SEA gerilme dağılımı grafiği.

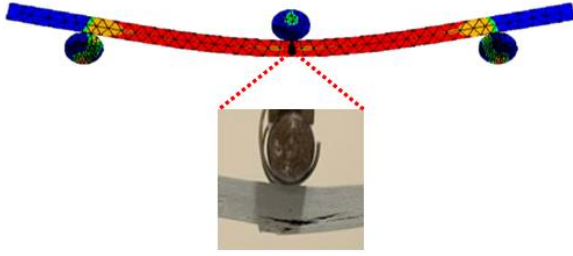


Şekil 9. Üç nokta eğilme testi ve SEA gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.

4. Tartışma

Kompozit numunelerde yükün orta noktadan malzemenin enine paralel konsantre bir şekilde uygulaması sonucunda, deneylere paralel olarak kırılma noktasında gerilmenin daha yoğun olduğu görülmektedir (Kharghani ve ark., 2019; Carbajal ve Mujika, 2009). İkincil olarak destek noktalarında yoğunlaşan gerilme, yük uygulama merkezi ve destekler arasında azalan bir şekilde dağılmaktadır. En yüksek gerilme değeri teorik analizde 164.31 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, deneylerde elde edilen en yüksek eğilme gerilmesi (150.39 MPa) değerinden %9.26 daha fazladır (Şekil 9). Kompozit malzemelerde katmanlar arasındaki homojenliğin değişkenliği bu farkın temel sebebi olması yanında, sıcak pres uygulanmasının farkın daha az oluşmasında etkili olduğu düşünülmektedir (Valenza ve ark., 2010; Madenci ve ark., 2020). Üç nokta eğilme testi ve SEA analizlerinin her ikisinde de lineer davranış seyri ve nihai davranış noktaları birbirine yakındır.

SEA analizinde hasar başlangıç deplasmanı 5.46 mm olarak gerçekleşmiştir. Hasar bölgesi test sürecinde olduğu gibi alt kabukta gerçekleşmiştir (Şekil 10). Destek noktalarının çekme etkisi aynı şekilde gözlemlenmiştir. Malzemenin lifli yapısı ve sıcak pres işleminin homojenliğe olumlu etkisi hasar öncesi lineer gerilme noktasının geniş olmasını sağlamıştır (Pyrzowski ve Sobczyk, 2020; Seifoori ve ark., 2020). Genel olarak SEA analizi simülasyon sonuçları deneysel sonuçlara oldukça yakındır.



Şekil 10. Üç nokta eğilme testi ve SEA hasar bölgesi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada CTEP kompozit malzemesi sıcak pres uygulaması ile panel haline getirilmiş ve 14x150x6 mm³ ebatlarında numunelere dönüştürülerek üç nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Numunelerin eğilme yükü altındaki davranışını tahmin etmek, gerilme dağılımını görebilmek ve eğilme deneyini doğrulamak amacıyla sonlu elemanlar analizi uygulanmıştır. Deneysel ve teorik çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Ortalama maksimum hasar yükü 589.01 N ve uzama değerleri 4.92 mm'dir.
 - En yüksek eğilme gerilmesi ve eğilme elastisite modülü değerleri sırasıyla 150.39 MPa ve 13.466 GPa'dır.
 - Numunelerdeki hasarın çeki gerilmeleri sonucu alt yüzeyde meydana geldiği görülmektedir.
 - SEA analizinde benzer şekilde kırılma noktasında gerilmenin daha yoğun olduğu görülmektedir.
 - SEA analizinde en yüksek eğilme gerilmesi 164.31 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, deneylerde elde edilen en yüksek eğilme gerilmesi (150.39 MPa) değerinden %9.26 daha fazladır.
 - Üç nokta eğilme testi ve SEA analizlerinin her ikisinde de lineer davranış seyri ve nihai davranış noktaları birbirine yakındır.
 - SEA analizinde hasar başlangıç deplasmanı 5.46 mm olarak gerçekleşmiştir.
 - Malzemenin lifli yapısı ve sıcak pres işleminin homojenliğe olumlu etkisi hasar öncesi lineer gerilme noktasının geniş olmasını sağlamıştır.
- Çalışma sonuçları incelendiğinde deneysel ve SEA analizi simülasyon sonuçlarının birbirlerini destekledikleri görülmektedir. Bu çalışma, hareketli yükler için tasarlanan depolama ürünlerinin, mekanik ve sağlık açısından avantajları olan kompozit malzemeler ile üretimine, boyutsal ve süreç seçimi açısından literatüre destek sağlamaktadır.

Teşekkür

Yapılan çalışmada vermiş oldukları malzeme ve teknik desteklerden dolayı Yağız Enerji Makina Ltd. Şti. firmasına teşekkürlerimizi sunarız.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.B.	B.Ö.	T.Ö.
K	40	40	20
T	60	20	20
Y	100		
VTI	20	40	40
VAY	20	40	40
KT		50	50
YZ	10	60	30
KI		20	80
GR		100	
PY			100
FA	33	33	34

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çalışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Asaee Z, Montesano J, Worswick M. 2021. Assessing the failure mechanisms and mechanical performance of Co-moulded hybrid AA5182-O/GFRP hat-channel beams under quasi-static three-point bending. *Composite Struct*, 256: 113007.
- Bazli M, Ashrafi H, Jafari A, Zhao XL, Gholipour H, Oskouei AV. 2019. Effect of thickness and reinforcement configuration on flexural and impact behaviour of GFRP laminates after exposure to elevated temperatures. *Composites Part B: Engin*, 157: 76-99.
- Bian L, Xiao J, Zeng J, Xing S. 2012. Effects of seawater immersion on water absorption and mechanical properties of GFRP composites. *J Composite Mater*, 46(25): 3151-3162.
- Biddah A. 2006. Structural reinforcement of bridge decks using pultruded GFRP grating. *Composite Struct*, 74(1): 80-88.
- Carbajal N, Mujika F. 2009. Determination of longitudinal compressive strength of long fiber composites by three-point bending of [0m/90n/0p] cross-ply laminated strips. *Polymer Test*, 28(6): 618-626.
- Carvelli V, Panzeri N, Poggi C. 2001. Buckling strength of GFRP under-water vehicles. *Composites Part B: Engin*, 32(2): 89-101.
- Demircan G, Mustafa Ö, Murat K. 2020. Flexural properties of glass fiber reinforced epoxy composites at different strain

- rates. Dokuz Eylül Üniv, Müh Fak Fen Müh Derg, 22(64): 271-276.
- Ferdous W, Bai Y, Almutairi AD, Satasivam S, Jeske J. 2018. Modular assembly of water-retaining walls using GFRP hollow profiles: Components and connection performance. *Composite Struct*, 194: 1-11.
- Kharghani N, Soares CG, Tsouvalis NG. 2019. Experimental and numerical study of the bolt reinforcement of a composite-to-steel butt-joint under three-point bending test. *Marine Struct*, 63: 384-403.
- Kilickap E. 2010. Investigation into the effect of drilling parameters on delamination in drilling GFRP. *J Reinforced Plast Composit*, 2923: 3498-3503.
- Kılıçkap E, Yenigün B, Çelik YH. 2017. The effect of drilling parameters on strength of glass fibre-epoxy laminates by produced hand lay-up. *Engineering Sciences* 12(4): 246-254.
- Kilickap E, Çelik YH, Yenigün B. 2023. Experimental evaluation of parameters affecting delamination factor tensile strength thrust force and surface roughness in drilling of GFRP. *Surface Rev Letters*, 30(4): 2350025.
- Li H, Wang H, Xiang J, Li Z, Chen X, Tao J. 2022. Evolution behaviors and reduction mechanism of curing residual stresses in GLARE laminates under a hot-pressing condition. *Polymers*, 14(10): 1982.
- Liao K, Schultheisz CR, Hunston DL. 1999. Effects of environmental aging on the properties of pultruded GFRP. *Composites Part B: Engin*, 30(5): 485-493.
- Madenci E, Özkılıç Y. O, Gemi L. 2020. Experimental and theoretical investigation on flexure performance of pultruded GFRP composite beams with damage analyses. *Composite Struct*, 242 112162.
- Nishizaki I, Meiarashi S. 2002. Long-term deterioration of GFRP in water and moist environment. *J Composites Construct*, 6(1): 21-27.
- Özkılıç YO, Madenci E, Lokman G. 2020. Tensile and compressive behaviors of the pultruded GFRP lamina. *Turkish J Engin*, 4(4): 169-175.
- Pyrzowski Ł, Sobczyk B. 2020. Local and global response of sandwich beams made of GFRP facings and PET foam core in three point bending test. *Composite Struct*, 241 112122.
- Sá MF, Gomes A. M, Correia JR, Silvestre N. 2011. Creep behavior of pultruded GFRP elements-Part 1: Literature review and experimental study. *Composite Struct*, 93(10): 2450-2459.
- Sanada K, Shindo Y. 2006. Notched three-point bend testing of grp woven laminates at cryogenic temperatures and analysis of fracture and damage properties. *American Institut Phys*, 824(1): 264-271.
- Sateesh N, Rao PS, Ravishanker DV, Satyanarayana K. 2015. Effect of moisture on GFRP composite materials. *Mater Today Proceed*, 2(4-5): 2902-2908.
- Seifoori S, Mirzaei M, Afjoland H. 2020. Experimental and FE analysis for accurate measurement of deflection in CFRP and GFRP laminates under bending. *Measurement*, 153: 107445.
- Subaşı S, Çetin V, Şamandar A. 2017. Kompozit panellerde ctp levha ve çekirdek kalınlığının mekanik özelliklere etkisi. *El-Cezeri*, 42: 135-145.
- Tekin A, Esendemir Ü, Öndürücü A. 2016. Farklı ortam koşullarına maruz bırakılan kompozit malzemenin eğilme davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi. *Soma MYO Tek Bil Derg*, 121: 27-37.
- Valenza A, Fiore V, Calabrese L. 2010. Three-point flexural behaviour of GFRP sandwich composites: A failure map. *Advanced Composite Mater*, 19(1): 79-90.