

Article Arrival Date

6.02.2021

Article Type

Research Article

Article Published Date

20.03.2021

Doi Number: <http://dx.doi.org/10.38063/ejons.382>

KARBON, E-CAM ve ARAMİD TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN MUKAVEMET DEĞERLENDİRMESİ

STRENGTH EVALUATION of CARBON, E-GLASS and ARAMID REINFORCED HYBRID COMPOSITES

Berkant DİNDAR

Dr. Öğretim Üyesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye, berkant.dindar@gop.edu.tr,
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1215-3621>

İnan AĞIR

Araştırma Görevlisi, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye, iagir@pau.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8845-1452>

ÖZET

Bu çalışmada, karbon, e-cam ve aramid takviyeli epoksi matrisli kompozitler birbirleri arasında makro düzeyde birleştirilerek hibrit kompozitler oluşturulmuştur. Kompozit plakalar dört laminalı olarak üretilip sonrasında Loctite 9461 A&B Hysol çift komponentli yapıştırıcı ile birbirlerine yapıştırılmış ve hibrit kompozitler elde edilmiştir. Bu hibrit kompozitlerin Instron servo-hidrolik deney cihazı ile tek eksenli çekme deneyleri yapılarak mukavemet değerleri ve elastisite modülleri tespit edilmiştir ve grafikler halinde sunulmuştur. Çekme mukavemetleri kıyaslandığında e-cam/epoksi-aramid/epoksi hibritin dayanımı en düşük tespit edilmiş ve değeri yaklaşık 350 MPa'dır. E-cam/epoksi-karbon/epoksi hibritler bunlara göre yaklaşık %3 daha dayanıklıdır. En yüksek mukavemeti karbon/epoksi-aramid/epoksi kompozitler göstermiştir. Bu kompozitler e-cam/epoksi-aramid/epoksi'ye göre yaklaşık %29 daha dayanıklıdır.

Anahtar kelimeler: Hibrit kompozitler, aramid fiber, e-cam fiber, karbon fiber, epoksi.

ABSTRACT

In this study, hybrid composites were performed by combining carbon, e-glass and aramid reinforced epoxy matrix composites between each other at macro level. Composite plates were produced with four laminations and then bonded to each other with Loctite 9461 A&B Hysol two component adhesive and hybrid composites were obtained. Strength values and elasticity modules of these hybrid composites were determined by performing uniaxial tensile tests with Instron servo-hydraulic test device and presented in graphs. When the tensile strength is compared, the strength of e-glass/epoxy-aramid/epoxy hybrid has been determined to be the lowest and its value is approximately 350 MPa. E-glass/epoxy-carbon/epoxy hybrids are approximately 3% more than these. Carbon/epoxy-aramid/epoxy composites showed the highest strength. These composites are approximately 29% more durable than e-glass/epoxy-aramid/epoxy.

Keywords: Hybrid composites, aramid fiber, e-cam fiber, karbon fiber, epoxy.

1. GİRİŞ

Hibrit kompozitler, geleneksel kompozit malzemelere göre bir dizi gelişmiş özellik ve çeşitli avantajlar sundukları için birçok mühendislik uygulamasında giderek daha fazla kullanılmaktadır (Bouhfid, 2019). Hibrit kompozitler, bileşenlerine bağlı olarak daha dengeli malzeme özellikleri sunabilmektedir. Farklı türdeki fiberler hibrit kompozitlerde diğer bileşen türlerinde eksik olan özellikleri tamamlayabilirler. Uygun malzeme tasarımı maliyet ve performansta bir denge sağlanabilir (Jamir ve diğ. 2018).

Hafifliği ve yüksek mukavemeti sayesinde metalik malzemelere bir alternatif olarak karbon fiber takviyeli kompozitler kullanımı artmaktadır. Bununla birlikte, karbon fiberle takviyelendirilmiş kompozitlerin uygulanması, yüksek maliyet nedeniyle hala sınırlıdır. Cam fiber, karbon fibere kıyasla daha düşük mekanik özelliklere sahip olmasına rağmen, maliyeti karbon fiberden çok daha düşüktür. Dolayısıyla, karbon ve cam elyafların hibridizasyonu yoluyla uygun bir maliyetle istenen mekanik özelliklere ulaşmak mümkün olabilmektedir. (Dong, 2020), (Jetsi ve diğ. 2019).

Bıçaklı saldırılara karşı savunmada kullanılmak üzere cam, aramid ve karbon olmak üzere üç farklı türdeki kompozitlerden hibrit yapılar oluşturulmuştur. ABD Ulusal Adalet Enstitüsü standartlarına göre yapılan bıçak saplanma testlerinde, iki farklı takviye malzemesinin uygun konfigürasyonda kullanılmaları mekanik özellikleri iyileştirmekle birlikte aynı zamanda kırılma ve eğilme toklukları üzerine iyi bir sinerji oluşturmuştur (Cheon ve diğ., 2020).

Aramid/epoksi, karbon/epoksi ve hibrit (karbon-aramid/epoksi) olmak üzere üç tip laminatın çekme dayanımı, elastik modülü, eğilme dayanımı ve eğilme modülü gibi mekanik özellikleri açısından incelenmiştir. Karbon-aramid iç katmanı, hem karbon hem de aramid kompozitlerinin avantajlarını sergilemiştir. Hibrit/epoksi kombinasyonunun karbon/epoksi'den biraz düşük olduğunu görülmüştür. Bu tür girişimlerin yararı, malzemenin üstün özellikler elde edebilmesi ve hibridizasyon olmadan karşılanamayan tasarım gereksinimlerini karşılayabilmesidir (Ruban ve diğ. 2018).

Hibridizasyon, her bir fiber türünün özel özelliklerinin, örneğin karbon fiberlerin görece kırılma dayanımını iyileştirmek için kevlar fiberlerin doğal tokluğunun veya cam ve kevlar fiberlerin daha düşük karşılık gelen özelliklerini iyileştirmek için karbon fiberlerin yüksek sertliğinin kullanılmasına izin vermektedir (Ribeiro, 2021). Naito, (2021).

Aramid fiber, düşük yoğunluğu, yüksek sertliği, yüksek deforme edilebilirliği ve darbe hasarına karşı yüksek direnci nedeniyle karbon/epoksi kompoziti hibritlemek için kullanılan yaygın fiber türlerinden biridir (Yayun ve diğ. 2017). Wagih ve diğ., (2020) karbon takviyeler arasında aramid yerleştirerek karbon/aramid epoksi hibridizasyonları elde ederek darbe sonrası eğilme davranışlarını araştırmışlardır.

Literatürdeki çalışmalarda hibridizasyon genellikle aynı laminat içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, karbon, cam ve aramid fiberlerin farklı laminatlar halinde makro düzeyde birleştirilmesi ile hibridizasyon yapılmıştır. Yeni yapıdaki bu hibrit kompozitlerin çekme dayanımları ve elastisite modelleri deneysel olarak tespit edilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

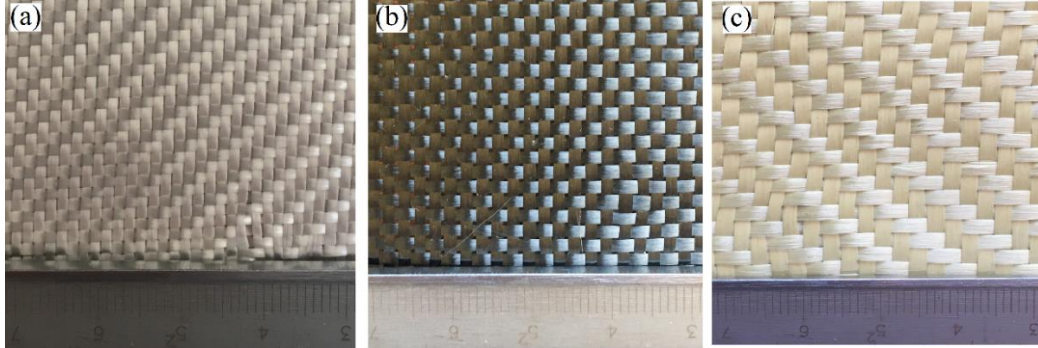
2. MALZEME ve YÖNTEM

Kompozit plakaların üretiminde matris malzemesi olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Epoksi reçine termoset bir polimerdir ve epoksid monomerlerinin poliamid sertleştiriciler ile reaksiyona girmesi sonucunda meydana gelmektedir. Epoksiler diğer polimerlerden farklı olarak, yüksek mekanik özelliklere ve çevresel etkilere karşı yüksek dayanımına sahiptirler (Eskizeybek, 2012). Epoksi kimyasal olarak oldukça güçlü ve sağlam bir yapıştırıcıdır. Kürlendikten sonra oldukça mukavim bir yapıya sahip olan ve uygulandığı yüzeye sıkı bir şekilde tutunan kimyasal bir maddedir. Bu üstün özelliklerinden dolayı kullanım alanları oldukça geniştir. Bu çalışmada kullanılan epoksi reçine ve sertleştiricisi (Şekil 1) İzmir Meduza Karbon Şirketi aracılığı ile temin edilmiştir.



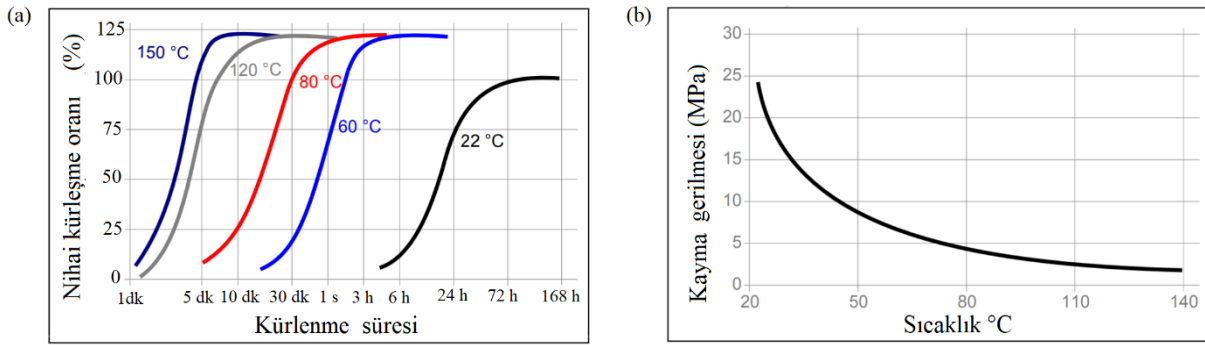
Şekil 1. Epoksi reçine ve sertleştiricisi.

Kompozitlerin üzerlerine gelen yük matris üzerinden takviye fiberlerine aktarılmakta ve bu yükü fiberler taşımaktadır. Bu çalışmada üç farklı türde takviye fiberi kullanılmıştır. Bunlardan ilki cam fiberdir, cam fiber karbon ve aramid fiber gibi diğer fiberler ile kabaca karşılaştırılabilir mekanik özelliklere sahiptir. Karbon fiber kadar mukavim olmasa bile, daha az kırılğan ve daha ucuzdur. Çalışmada kullanılan ikinci takviye elyafı karbon fiber hafiflik ve dayanım istenen uygulamalar için ideal bir malzemedir ayrıca dış görüntüsünün çekiciliğinden dolayı otomobil içi kaplamalarda ve diğer dekoratif ürünlerde tercih edilmektedir. Son olarak aramid fiber güçlü ve ısı dayanımı yüksek bir sentetik takviye elemanıdır. Kurşun geçirmez yeleklerde, uzay araştırmalarında ve askeri amaçlar için kullanılmaktadır. Bu üç takviye elemanı Şekil 2(a)'da 300 gr/m² alan ağırlığında twill dokuma türünde e-cam, Şekil 2(b)'de 200 gr/m² alan ağırlığında plain dokuma türünde karbon ve son olarak Şekil 2(c)'de 300 gr/m² alan ağırlığında twill dokuma türünde aramid olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Takviye kumaşları; E-cam twill dokuma (a), karbon plain dokuma (b), aramid twill dokuma.

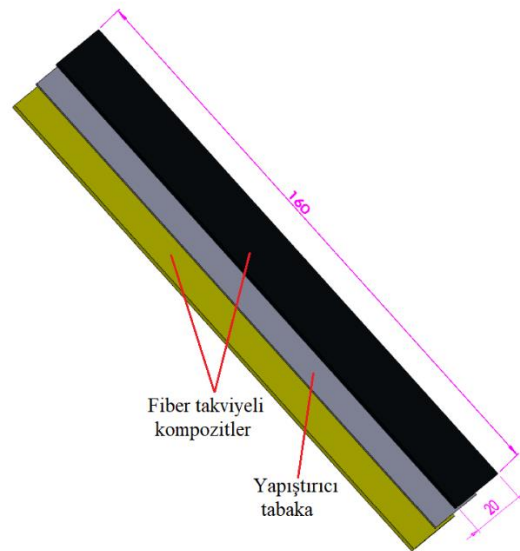
Numunelerin yapıştırılmasında Loctite 9461 A&B Hysol tiksotropik, iki bileşenli yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcının birincil bileşeni epoksi bazlı bir reçinedir. İkinci bileşeni amin türü bir sertleştiricidir. Bunların karışımı özel tasarım bir uç sayesinde 1:1 oranında olmaktadır. Bu yapıştırıcı oda sıcaklığında kürlenebilmekle birlikte sıcaklık arttıkça kürlenme süresi azalmaktadır (Şekil 3 (a)). Oda sıcaklığında 22 ± 2 °C'de 25 MPa değerinde mükemmel bir kayma mukavemeti sunar ortam sıcaklığının artması ile birlikte kayma mukavemetinde düşüş meydana gelmektedir (Şekil 3 (b)) (Loctite 2016).



Şekil 3. Loctite, kürleşme oranı-kürleşme süresi (a), kayma gerilmesi-sıcaklık eğrileri (b) (Loctite, 2016).

2.1. Deney Numunelerinin Üretimi

Bu çalışmada kullanılan epoksi üretici firmanın talimatları doğrultusunda sertleştiricisi ile %62,5-37,5 oranlarında mekanik olarak birbirlerine karıştırılmışlardır. Reçine takviye kumaşlarına rulo ile tatbik edildikten sonra kumaşlar dört kat üst üste dizilerek 30 dakika beklemeye alınmıştır. Bunun nedeni reçinenin kumaşlara iyice difüze olması ve içerisindeki mikro hava kabarcıklarının atılması içindir. Daha sonra ıslak haldeki kumaşlar sıcak presleme ile 8 Bar ve 120 °C sıcaklıkta 90 dakika süre ile kürlendirilmiştir. Kürlenmiş kompozit plakalardan literatürdeki numune boyutları referans alınarak 20x160 mm boyutlarında deney numuneleri su jeti ile kesilmiştir. Daha sonra bu deney numunelerinin elektronik bir kumpas ile kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda kalınlıklar yaklaşık olarak karbon, e-cam ve aramid kompozitler için sırasıyla 0,8 mm, 1 mm ve 1,5 mm olarak ölçülmüştür. Hibrit kompozitlerin üç boyutlu bileşenleri Şekil 4’deki gibi dış katmanlarda hibriti oluşturan kompozitler ve arada bir yapıştırıcı film tabakası şeklindedir. Numunelerin yapıştırılmasında Loctite 9461 A&B Hysol yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı yarı akışkan formdadır ve temizlenmiş kompozit yüzeylere sıkma aparatı kullanılarak tüm yüzeyi kaplayacak şekilde eşit olarak sürülmüştür. Sürüldükten sonra numuneler sıkıştırma mandalı ile sıkıştırılarak Şekil 3 (a)’daki üretici firmanın kürlenme diyagramına göre oda sıcaklığında 96 saat boyunca beklemeye alınmıştır

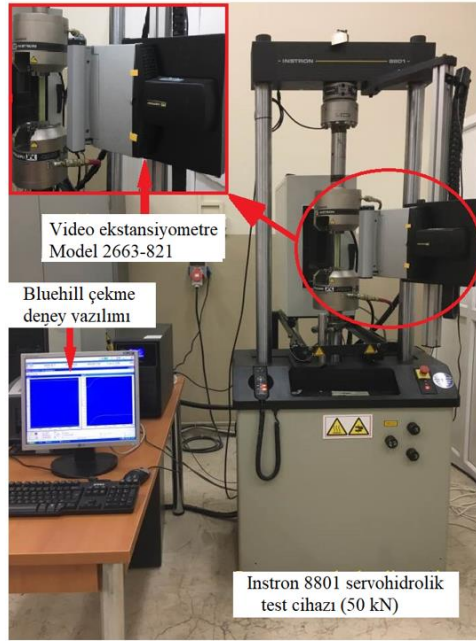


Şekil 4. Hibrit kompozitin yapısal gösterimi.

2.2. Deneysel Çalışmalar

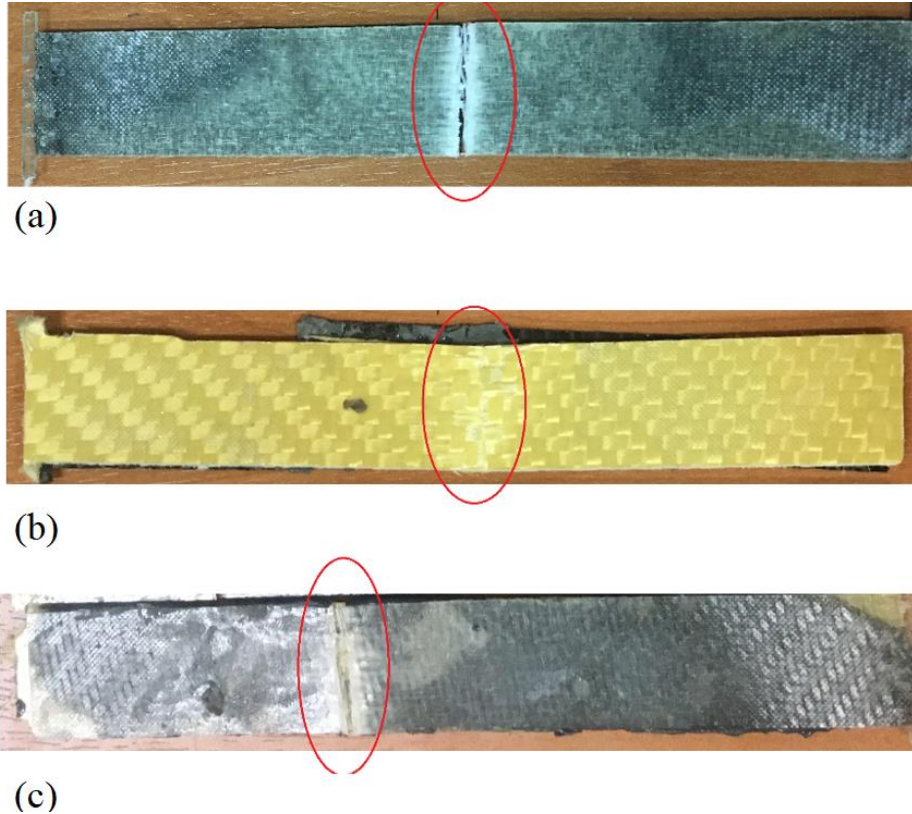
Deneyler Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği, Mekanik Laboratuvarında yapılmıştır. Ortam sıcaklığı klima sistemi ile sabit tutulmuştur ($T = 22 \pm 3$ °C). Deneyler 50 kN kapasiteli Şekil 5’deki Instron 8801 hidrolik universal test cihazı ile ± 0.01 kN hassasiyetle gerçekleştirilmiştir.

Çekme yükü numunelere deplasman kontrollü olarak 1mm/dk çeki hızı ile uygulanmıştır. Her hibrit türü için üç numune test edilerek ortalamaları alınmıştır. Çekme numuneleri literatür (Negawo ve diğ., 2021) referans alınarak düz geometrili ve pabuç (tab) kullanılmadan test edilmiştir.



Şekil 5. Instron 8801 çekme deney cihazı.

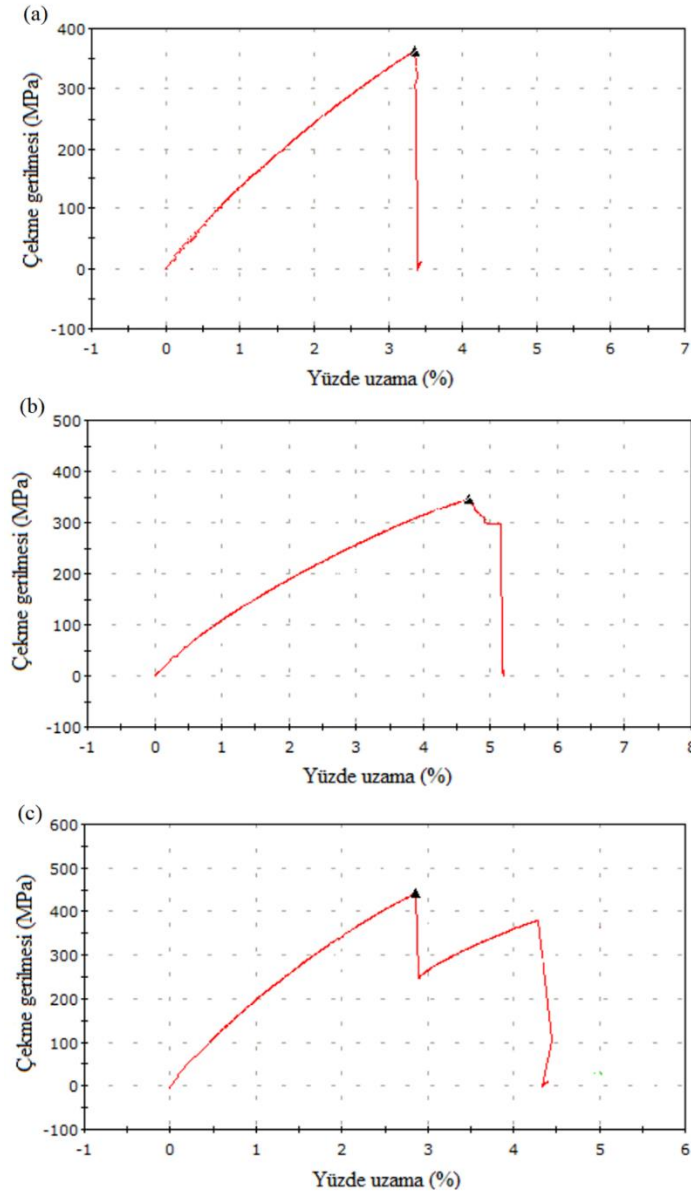
Şekil 6'de çekme hasarlı deney numuneleri görülmektedir. Çekme sonrası deformasyonlar karşılaştırılacak olursa eğer karbon takviyeli kompozitlerin kopma sonrasındaki deformasyonu en azdır bunu sırasıyla cam takviyeli ve aramid takviyeli kompozitler takip etmektedir. Çekme hasarları numunenin orta bölgelerindedir.



Şekil 6. Hibrit kompozitler hasar şekilleri; E-cam/epoxy-karbon/epoksi (a), kevlar/epoxy-karbon/epoksi (b), e-cam/epoxy-aramid/epoksi (c).

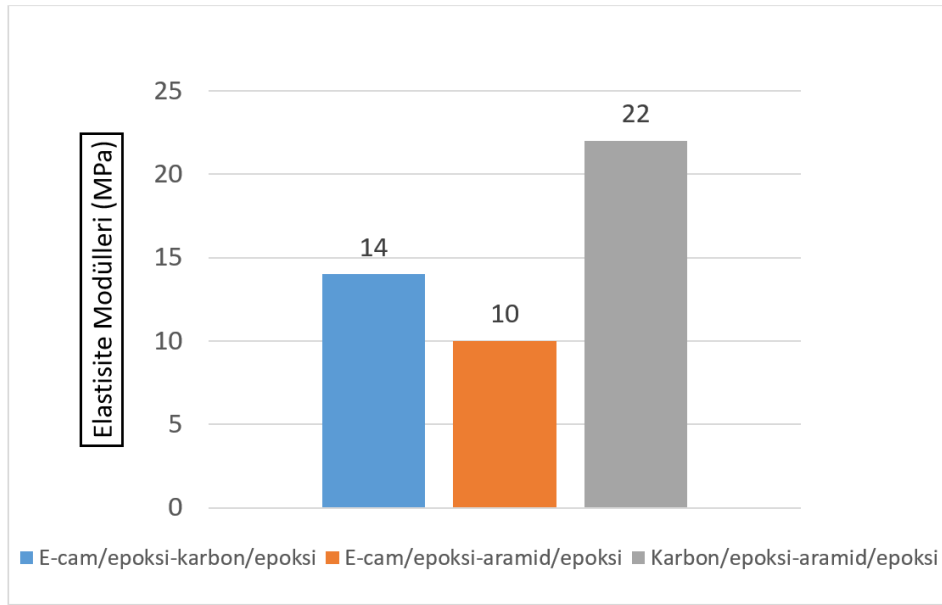
3. BULGU ve TARTIŞMALAR

Şekil 7’de hibrit kompozitlere ait gerileme-uzama grafikleri görülmektedir. Şekil 7 (a)’da hibrit kompoziti oluşturan e-cam/epoksi ve karbon/epoksi eşzamanlı olarak yaklaşık 360 MPa seviyelerinde birlikte hasara uğramışlardır. Şekil 7 (b)’de ise e-cam/epoksi ve aramid epoksi’ye ait grafik görülmektedir. Burada hibrit yapının dayanımı yaklaşık 350 MPa’dır. Kırılma eş zamanlı olmamakla birlikte hibriti oluşturan bileşenlerin kırılma değerleri nispeten birbirlerine yakındır. Son olarak Şekil 5 (c)’de ise karbon/epoksi ve aramid/epoksi hibritine ait grafik görülmektedir. Burada kırılkan karbon ve karbona göre nispeten daha sünek olan aramid elyaf tabakalarının eş zamanlı olmayan hasarları görülmektedir. Burada hibrit yapının maksim çekme dayanım değeri yaklaşık 450 MPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7. Hibrit kompozitlere ait gerilme-uzama eğrileri; E-cam/epoksi-karbon/epoksi (a), e-cam/epoksi-aramid/epoksi (b), karbon/epoksi-aramid/epoksi (c).

Hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri yine Instron 8801 test cihazı tarafından tek eksenli çekme deneylerinden elde edilmiştir. Şekil 8’de bu değerler görülmektedir. E-cam/epoksi-Karbon/epoksi, e-cam/epoksi-aramid/epoksi ve karbon/epoksi-aramid epoksi için sırası ile 14 MPa, 10 MPa, 22 MPa şeklindedir.



Şekil 8. Hibrit kompozitlere ait elastisite modülleri (MPa).

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, karbon, cam ve aramid elyaf takviyeli hibrit kompozit laminatların çekme özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır.

- Hibrit kompozitlerin çekme mukavemetleri sadece bir matrisin ve takviyelerin karakterine değil, aynı zamanda bu bileşenler ile matris arasındaki arayüzey ve bileşenleri birbirlerine sabitleyen yapıştırıcının özelliklerine de bağlıdır.
- Yükleme sırasında özellikle kopmanın hemen öncesinde delemantasyonlar gözlenmiş ve ardından kopma hasarı meydana gelmiştir.
- Çekme mukavemetleri kıyaslandığında e-cam/epoksi ve aramid/epoksi hibritin dayanımı en düşük tespit edilmiş ve yaklaşık 350 MPa'dır. E-cam/epoksi-karbon/epoksi hibritler yaklaşık %3 daha mukavimdir. En yüksek mukavemeti karbon/epoksi-aramid/epoksi kompozitler göstermiştir. Bu kompozitler e-cam/epoksi-aramid/epoksi'ye göre yaklaşık %29 daha mukavimdirler.
- Elastisite modülleri E-cam-/epoksi-karbon/epoksi, e-cam/epoksi-aramid/epoksi, karbon/epoksi-aramid/epoksi için sırası ile 14 MPa, 10 Mpa ve 22 MPa olarak tespit edilmiştir.
- Bu çalışmada amaç hibrit kompozitler için yenilikçi bir malzeme tasarımı ve seçimi sağlanmasıdır.
- İleri çalışma konusu olarak hibrit kompozitlere nano katkı ilavelerinin etkisinin araştırılması önerilebilir.

KAYNAKÇA

ASTM D 3039 (2014). Standart test method for tensile properties of polymer matrix composite materials.

Bouhfid. ve diğ., (2019). Numerical modeling of hybrid composite materials. *Wood Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 57-101.

Cheon, J., Lee, M., Kim, M., (2020). Study on the stab resistance mechanism and performance of the carbon glass and aramid fiber reinforced polymer and hybrid composites. *Composite Structures*, 234. doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111690

- Dong, C., (2020). Flexural properties of symmetric carbon and glass fibre reinforced hybrid composite laminates. *Composites Part C:Open Access*,3 doi.org/10.1016/J.Jcomc.2020.100047
- Eskizeybek, V., (2012). Yüzeylerine kimyasal olarak karbon nanotüpler bağlanmış örgü cam üretimi ve tabakalar arası kırılma davranışlarının incelenmesi. *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Loctite, (2016). Technical Data Sheet LOCTITE® EA 9461 Known as Hysol 9461.
- Jamir, M.R.M. (2018). Natural light weight hybrid composites for aircraft structural applications. *Sustainable Composites for Aerospace Applications*, 155-170.
- Jesthi, D. K., Nayak, R.K., (2019). Evaluation of mechanical properties and morphology of carbon and glass fiber reinforced polymer hybrid composites aged with seawater. *Composites Part B: Engineering*,174, doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106980
- Naito, K., (2021). Interfacial mechanical properties of carbon/glass hybrid thermoplastic epoxy composite rods. *Composite Structures*, 257, doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113129
- Negawo, T.A., ve diğ. (2021). Mechanical and dynamic mechanical thermal properties of ensete fiber/woven glass fiber fabric hybrid composites. *Composite Structures*, 259, doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113221
- Ribeiro, F., Cruz, C.S., Vassilopoulos, A.P., (2021). Stress-strain fatigue behavior of hybrid glass/carbon composites. *International Journal of Fatigue*, 146, doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106143
- Ruban, R. B., ve diğ. (2018). Evaluation on mechanical properties of intra-ply hybrid carbon-aramid/epoxy composite laminates. *Materials Today: Proceedings* 5, 25323–253.
- Yayun, Z., ve diğ. (2017). Response of aramid honeycomb sandwich panels subjected to intense impulse loading by Mylar flyer. *International Journal of Impact Engineering*. 104, 75-84.