

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Termoplastik Matrisli Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin ANSYS Programı ile Modellenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Modeling of Thermoplastic Matrix Glass and Carbon Fiber Reinforced Composite Materials with ANSYS Program and Investigation of their Mechanical Properties

Deniz Ergin Toptaş^{1*} Tayfun Fındık¹

¹Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş / Received: 27.04.2023

Kabul / Accepted: 05.05.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Deniz Ergin Toptaş, dergin.toptas@gazi.edu.tr

ÖZ: Kompozit malzemelerin günümüzde kullanımın artmasıyla birlikte, farklı ürün tasarımları ve bu tasarımların bilgisayar destekli mukavemet analizleri de yapılmaktadır. Yapılan bilgisayar destekli tasarımlar önemli bilgiler içermesinin yanı sıra doğru modelleme ile gerçek test sonuçlarına yakın kabul edilebilir sonuçlar da elde edilmektedir. Bu çalışma Sonlu Elemanlar Tabanlı matematiksel modelleme mantığı ile çalışan ANSYS programı ile yapılmıştır ve çoğu çalışmanın aksine eğri bir kompozit malzeme için belirli bir kuvvete karşı gösterdiği dayanım ve yer değiştirme analizleri yapılmıştır. Çalışmada otomotiv ve havacılık sanayinde yoğun kullanım alanı bulan, aerodinamik avantajlarından kaynaklı eğri düzlemlerde kompozit malzemelerin kuvvete karşı dayanım analizleri incelenmiştir. Karbon, cam ve hem karbon hem cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerden oluşan tasarımlar 10 katmanlı lamine kompozitler olarak tasarlanmıştır. ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) serim açılarıyla toplamda 3 kompozit model üzerinde kuvvet ve yer değiştirme sonuçları incelenmiştir. Kompozit prepegler 0,5 mm olarak hesaplanmış ve her kompozit model 5 mm kalınlığa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Tanımlanan malzeme özellikleri üretici firma olan Polyram Group firması kaynaklarından alınmış olup karbon ve cam prepegler sırasıyla PLUSTEK PAT300R8BK ve PLUSTEK PAT801G50BK10 olarak alınmıştır. Bu çalışmada termoplastik kompozit malzemelerin takviye elemanına göre göstermiş olduğu mukavemet sonuçları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yük ve basınç analizi, termoplastik matrisli kompozit malzemeler, cam ve karbon elyaf, ANSYS

ABSTRACT: With the increasing use of composite materials today, different product designs and computer-aided strength analyzes of these designs are also carried out. In addition to the fact that the computer-aided designs contain important information, acceptable results close to the real test results are obtained with the correct modeling. This study was carried out with the ANSYS program working with Finite Element Based mathematical modeling logic and unlike most studies, strength and displacement analyzes of a curved composite material against a certain force were made. In this study, the strength analyzes of composite materials in curved planes due to their aerodynamic advantages, which are widely used in the automotive and aviation industries, were examined.

The designs consisting of carbon, glass and both carbon and glass fiber reinforced composite materials are designed as 10-layer laminated composites. The force and displacement results on a total of 3 composite models with laying angles ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) were examined. Composite prepregs were calculated as 0.5 mm and each composite model was designed to have a thickness of 5 mm. The defined material properties were taken from the sources of the manufacturer Polyram Group, and the carbon and glass prepeg were taken as PLUSTEK PAT300R8BK and PLUSTEK PAT801G50BK10, respectively. In this study, the strength results of thermoplastic composite materials according to reinforcement element were examined.

Keywords: Force and pressure analysis, thermoplastic matrix composite materials, glass and carbon fiber reinforced, ANSYS

1. GİRİŞ

Yüksek sertlik, yüksek özgül mukavemet ve hafif ağırlık özellikleri, kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre daha verimli bir yapısal tasarım yapılmasını sağlar. Temel olarak, polimer kompozitleri birden fazla fazda sahip malzemelerdir ve en az bir fazda polimer matrisidir. Polimerlerin matris olarak farklı takviyelerle, örneğin epoksi, polyester veya PVC köpük ile karıştırılması, bileşenlerin fiziksel özelliklerinden farklı temel fiziksel özelliklerle sonuçlanır. Genellikle, bu malzemeler polimer matrisli ve epoksi, polyester veya PVC köpük gibi farklı takviyeler içerir [1]. Bu malzemelerin otomotiv ve havacılık endüstrileri gibi farklı alanlarda üretimi, termal ve mekanik özelliklerinin farklılıklarından kaynaklanır [2]. Kompozit malzemeler hakkındaki çalışmaların çoğu, 20. yüzyılın ikinci yarısından günümüze kadar olan dönemi kapsar. Doğadaki ilk kompozit malzeme olarak çam ağacı bilinmektedir. Bunun sebebi çam ağacının içi kışın sert ve kırılğan, yazın ise yumuşak ve esnek olmasından kaynaklanır. En basit kompozit malzeme örneği ise saman takviyeli kerpiçlerdir [3]. Günümüzde en yaygın olarak kullanılanlar ise tungsten-molibden takviyeli karbon, alüminyum ve cam fiber takviyeli plastiklerdir.

Yapılan çalışmalarda; Farklı darbe enerji değerleri ile farklı oryantasyonlar içeren cam elyaf / epoksi kompozitlerin darbe dayanımını deneysel olarak incelenmiştir. Darbe deneyi için 8 ve 12 katmandan oluşan 150 mm x 100 mm ölçülerinde numuneler oluşturulmuş ve 10 J, 20 J ve 30 J artan darbe enerjisi değerlerinde teste tabi tutulmuştur. Elyaf oryantasyonu ve katman kalınlığının darbeye karşı davranışının incelendiği çalışmalarda artan darbe enerjisine karşın çökme miktarının arttığı, 30J darbe enerjisi için çökmenin en fazla olduğu numunenin [0°/30°/60°/0°] elyaf dizilimine sahip numune olduğunu gözlemlenmiştir [4].

Farklı matris malzemelere sahip, tek doğrultulu, karbon elyaf takviyeli plastikler imal edilmiştir. Matris malzemesi olarak termoplastik poliamid 6 ve ısı ile sertleşen epoksi kullanılmıştır. Tek yönlü karbon elyaf takviyeli poliamid 6 ve tek yönlü karbon elyaf takviyeli epoksi tabakalarda çok sayıda aksenal çekme testi gerçekleştirilmiştir.

Mekanik özellikler ve kopma davranışları, elyaf dağılımları, emdirme koşulları ve ara yüzey kayma mukavemetleri belirlenerek tartışılmıştır. Çekme mukavemetleri, modifiye bir küresel yük paylaşım modeli vasıtasıyla öngörülmüş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır [5].

Kompozit malzemelerde mekaniksel özelliklerinin artırılması adına birçok deney yapılmıştır. Tek yönlü kompozit tabakaların enine basınç dayanımını üç noktalı eğme ile ölçmek için yeni bir test konfigürasyonu önerilmiş ve çapraz katlı deney numuneleriyle bu incelenmiştir. Farklı kalınlıklara sahip çapraz katlı karbon / epoksi, hasara uğrayana kadar üç noktalı eğme ile test edilmiştir. Enine basma hasar bölgesinin, literatürde bulunan çalışmalarla iyi bir uyum sağladığı tespit edilmiştir. Çekme gerilmelerinin 90° laminelerde eğilme gerilmelerinden düşük olduğu 0° laminelerde maksimum çekme gerilmelerinin boyuna çekme gerilmelerinden düşük olduğu, ancak maksimum çekme gerilmesinin çekme gerilmesine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir [6]. Elyaf yerleşiminin etkilerini araştırmak için lamine kompozitler üzerinde bir bükülme simülasyonu geliştirilmiştir. FEA (Finite Element Analysis) simülasyonunun sonuçları, çapraz kenarlı laminatta düzlemsel normal gerilmeleri ve serbest kenar bölgesinin yakınındaki açılı laminattaki düzlem içi kayma gerilmesini ortaya çıkardı. Bu enine normal gerilmeler geleneksel laminat teorisinde dikkate alınmamıştır [7]. Simetrik ve simetrik olmayan plakaların elasto-plastik gerilme analizleri yapılmıştır. Çalışmalarda sonlu elemanlar metodu kullanarak çok sayıda iterasyonla çözüm yapılmıştır [8]. Birçok deneysel ve teoriksel çalışma yapılmıştır. İki farklı kompozit malzemenin kuvvet - yer değiştirme davranışını deneysel ve sayısal olarak ANSYS sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda sayısal çözüm ve deneysel çözüm birbirine yakın sonuçlar vermiştir [9].

Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, fiberlerle güçlendirilmiş termoplastik matrisli ve dikdörtgen delikli çelik kompozit plakaların elastik gerilme, kalıcı deformasyon ve plastik şekil değiştirmesini incelenmiştir. Yapılan çalışmada, simetrik ve simetrik olmayan katmanları farklı plakalar değerlendirilmiş ve plakaya yerleştirilen dikdörtgen deliğin çevresinde gerilme ve şekil

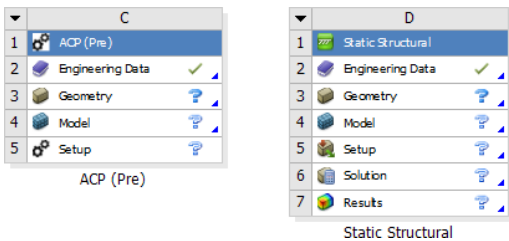
değiştirme değerlerinin maksimum olduğunu gözlemlemiştir [10].

Bu çalışmada laminasyon tekniği kullanılarak sürekli cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli poliamid, matrisli termoplastik kompozit malzemelerin dayanım analizleri incelenmiştir. Tasarlanan kompozit malzemeler standartlara uygun kalınlıklarda olup 10 katmana sahiptir. Bu malzemelerin belirli bir yük altındaki göstermiş oldukları dayanım değerleri belirleme amacıyla eğri düzlemine dik gelecek şekilde sabit kuvvet uygulanmıştır. Çalışmada eğri bir model tasarlanarak günümüz otomotiv ve havacılık sektöründe kullanılan termoplastik matrisli kompozit malzemelerde elyaf tipi ve elyaf serim açısının, kompozit malzemenin dayanımına olan etkisi incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

ANSYS 2023 R1 paket programı ile yapılan bu çalışmada, modelleme ve analiz için kullanılan ANSYS modülleri ACP(Pre) ve Static Structural (Yapısal Analiz) kullanılmıştır. ACP(Pre) kompozit malzemeleri oluşturmak için kullanılan çok yönlü bir modelleme modülüdür. Bu yöntem ile kompozit yapı oluşturabilmek için öncelikle bir 2 boyutlu yüzey oluşturmak gerekmektedir ve elyafların serim açısına, tipine ve kalınlığına göre nasıl bir serim yapılacağına belirlendiği pakettir [11].

Static Structural yöntem ile ACP(Pre) ile oluşturulan kompozit malzemelere çekme, eğme ve 3 nokta dayanım gibi birçok mekanik özelliklerin teste sokulup, analizleri ve sonuçların incelenmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 1: ANSYS model şeması.

Bu çalışmada kullanılan kompozit malzemeyi oluşturan karbon elyaf takviyeli termoplastik matrisli prepreg ile cam elyaf takviyeli termoplastik matrisli prepreglerin mekaniksel

özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir [12]-[13].

Tablo 1: PLUSTEK PAT300R8BK mekaniksel özellikleri

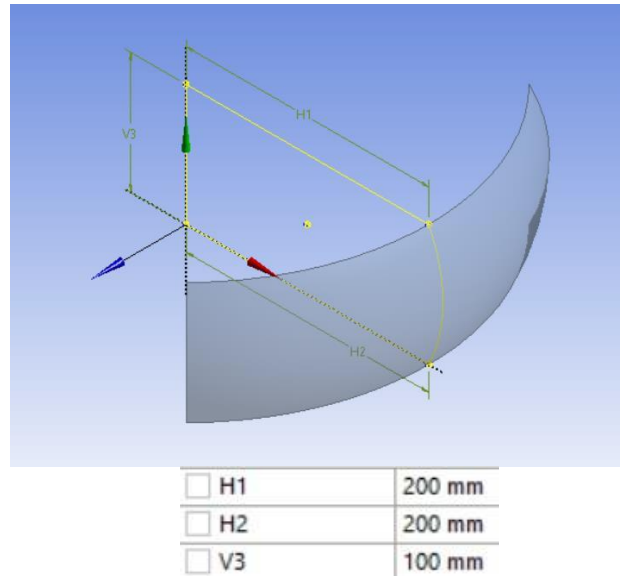
Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Direnci (MPa)	Gerilme Modülü (MPa)	Bükülme Direnci (MPa)	Bükülme Modülü (MPa)
1.31	245	27300	360	25000

Tablo 2: PLUSTEK PAT801G50BK10 mekaniksel özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Direnci (MPa)	Gerilme Modülü (MPa)	Bükülme Direnci (MPa)	Bükülme Modülü (MPa)
1.23	195	15500	310	14500

2.1 Kompozit Modelinin Oluşturulması

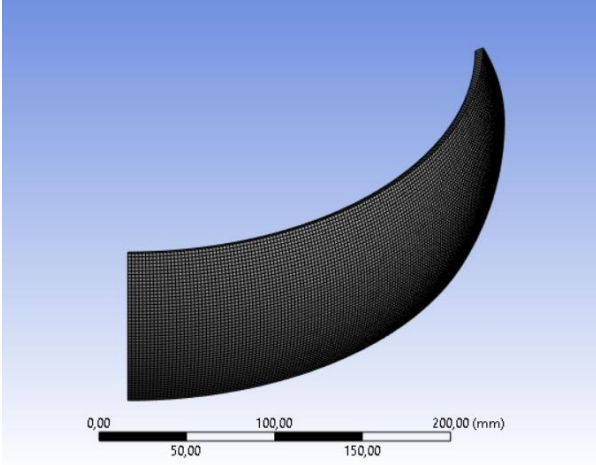
Analizleri yapabilmek için öncelikle eğri bir model oluşturulmuştur. Modelin yarıçap uzunluğu 200 mm, modelin genişliği 100 mm olarak verilmiştir. Parçanın başlangıç ve bitiş noktaları tam 90° olacak şekilde yüzey alanı oluşturulmuştur ve toplam yüzey alanı 172120 mm²’dir. Modelin görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: ANSYS 2023 R1 programı ile oluşturulmuş model görüntüsü

2.2 Mesh Yapısı

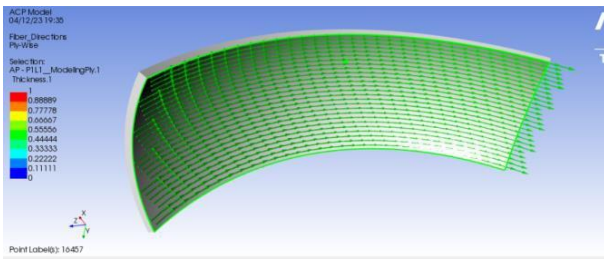
ACP(Pre) modeli üzerinden öncelikle mesh oluşturularak geometrik modelin simülasyonun yürütülebileceği en küçük parçalara ayrılmıştır. 2mm'lik parçalara ayrılarak toplamda 8374 parça oluşturulmuştur. Şekil 3'de tasarımın mesh modeli gösterilmiştir.



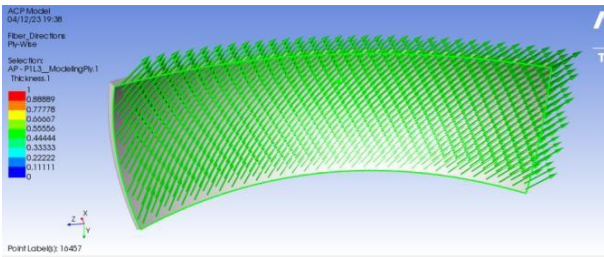
Şekil 3: Modelin mesh görüntüsü.

2.3 Kompozit Modelde Fiber Yerleşimi

Kompozit tasarımın son aşamasında toplamda 3 adet kompozit model oluşturulmuştur. Karbon, cam ve karbon-cam fiberlerin kullanıldığı ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) derece olarak şekilde toplam 3 adet kompozit model oluşturulmuştur. Şekil 4 ve şekil 5 sırasıyla ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) fiber serimlerinin modellenışı gösterilmiştir.



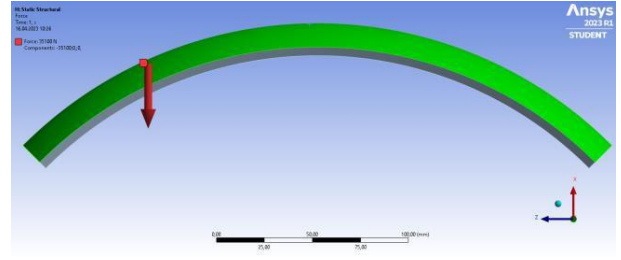
Şekil 4: (0°) fiber serim gösterimi.



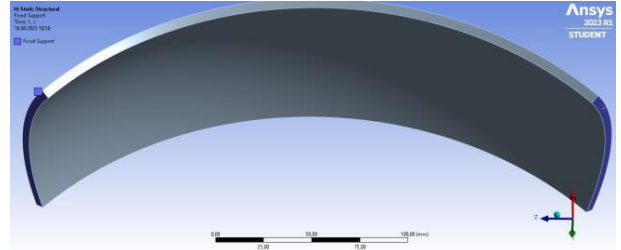
Şekil 5: ($0^\circ/\pm 45^\circ/0^\circ$) fiber serim gösterimi.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Static Structural modülü kullanılarak kompozit modelin iki kısa kenarı sabitlenerek, eğri modele tam dik bir doğrultuda gelecek şekilde 35100 N kuvvet uygulanmıştır. Kompozit modelin kuvvet karşısında gösterdiği dayanım için Equivalent (Von- Mises) Stress değerleri incelenmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de sırasıyla modelin kuvvet doğrultusu ve sabitlenme yerleri gösterilmiştir.

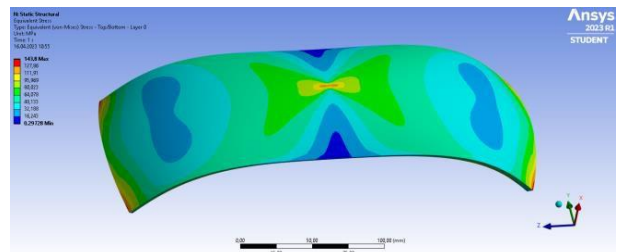


Şekil 6: Kompozit modele gelen kuvvet değeri ve doğrultusu.



Şekil 7: Kompozit modelin sabit yüzeyleri.

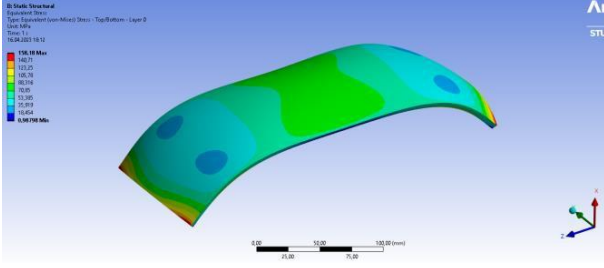
Şekil 8'de ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) serim açısına sahip cam elyaf takviyeli kompozit modelin yük altında gösterdiği davranış incelenmiştir. En yüksek dayanım değeri 143.8 MPa bulunmuştur. Tablo 3'de karbon, cam ve karbon-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin serim açlarına oranla gösterdikleri dayanım değerleri verilmiştir.



Şekil 8: ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) serim açılı cam elyaf takviyeli kompozit model.

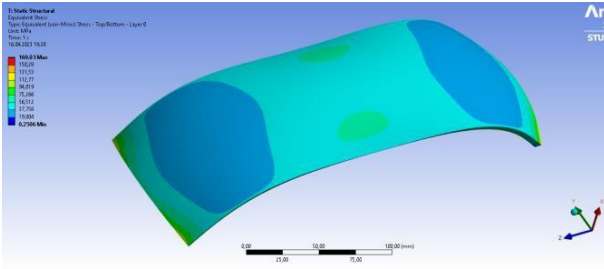
Şekil 9'da ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) serim açısına sahip karbon

elyaf takviyeli kompozit modelin yük altında gösterdiği davranış incelenmiştir. En yüksek dayanım değeri 158.18 MPa bulunmuştur.



Şekil 9: $(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$ serim açılı karbon elyaf takviyeli kompozit model

Şekil 10'da $(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$ serim açısına sahip hem karbon hem cam elyaf takviyeli kompozit modelin yük altında gösterdiği davranış incelenmiştir. En yüksek dayanım değeri 169.03 MPa bulunmuştur.



Şekil 10: $(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$ serim açılı karbon-cam elyaf takviyeli kompozit model.

Tablo 3: PLUSTEK PAT300R8BK mekaniksel Özellikleri.

Elyaf Tipi	Matris Malzemesi	Serim Açısı	Equivalent (Von-Mises) Stress (MPa)
Karbon	Aromatik Poliamid	$(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$	158.18
Cam	Aromatik Poliamid	$(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$	143.8
Karbon-Cam	Aromatik Poliamid	$(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$	169.03

ANSYS ile yapılan kompozit modellerinin literatürde yapılan numunesel çalışmalarla kıyaslamak için 2 farklı çalışmanın kompozit numuneleri modellenmiştir. Yapılan bu

çalışmalarda kompozit numuneler çekme testlerine maruz bırakılmıştır ve kopma anındaki maksimum gerilme kuvveti ölçülmüştür.

Yapılan çalışmada sürekli cam elyaf kullanılan termoplastik kompozit numunelerde çekme testleri yapılmıştır. Numune parçalarının ebatları 140 mm x 12 mm x 2 mm'dir. Kompozit numunenin malzeme özellikleri aynı olacak şekilde ANSYS'de modellenmiştir ve aynı kuvvet değerlerinde çekme testine sokulmuştur [14].

Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit numunelerde yapılan çalışmalarda numune boyutları 250 mm x 25 mm x 2 mm olarak çekme testine sokulmuştur. Kullanılan prepreg malzemenin mekanik özellikleri ile birlikte ANSYS'de modellenmiştir [15].

4. SONUÇ

- Termoplastik matrisli kompozit malzemeler eğri model doğrultusunda serilmiştir elyaf tipi ve serim açısının malzeme mukavemetinde farklı dayanım değerleri oluşturduğu gözlemlenmiştir ve modellenen kompozit malzemeler kullanılan elyaf tiplerinden kaynaklı maksimum gerilme değerleri aynı modelin farklı yerlerinde gözlemlenmiştir. Karbon elyaf takviyeli kompozit tasarımında en yüksek dayanım değeri 158.18 MPa, cam elyaf takviyeli kompozit tasarımında 143.8 MPa ve hem karbon hem cam elyaf takviyeli kompozit tasarımında 169.03 MPa bulunmuştur.
- Karbon, cam ve karbon-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde en yüksek mukavemet değeri 3 modelin için $(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$ serim açılarında karbon-cam elyaf takviyeli kompozit modelde olduğu gözlemlenmiştir ve 169.03 MPa bulunmuştur.
- Karbon ve cam elyaf takviyeli kompozit malzeme arasında karbon elyaf takviyeli kompozit model diğer 2 modele göre daha yüksek mukavemete sahiptir.
- Numunesel çalışmalarda çekme testine sokulan cam elyaf takviyeli kompozit parçanın kopma anındaki gerilme değeri 231 MPa ve karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin kopma

anındaki gerilme değeri 1713.46 MPa çıkmıştır. ANSYS ile modellenen kompozit numunelere göre cam elyaf elyaf takviyeli kompozit modelin kopma anındaki gerilim değeri 246 MPa, karbon elyaf takviyeli kompozit modelin kopma anındaki gerilim değeri 1746.3 MPa çıkmıştır.

- Kompozit modellerin numunesel çalışmaları ve ANSYS model çalışmaları arasında %98 uyum vardır. Bu çalışmalar teorik olarak numunesel çalışmalarda zorluk çıkaracak parçaların ANSYS ile modellenmesinin doğruluk oranını göstermektedir.

Yazar Katkısı: Deniz Ergin Toptaş, Termoplastik Matrisli Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin ANSYS Programı ile Modellenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Tayfun Fındık, kompozit modellemesi ve ANSYS 2023 R1 kullanımı ve uygulanabilirliğinin araştırılması kısımlarında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

5. KAYNAKLAR

- [1] K.P. Ashik, R.S. Sharma, A review on mechanical properties of natural fiber reinforced hybrid polymer composites, J. Miner. Mater. Charact. Eng., vol.03(05):420-426, January, 2015.
- [2] L.C. Hollaway, M.K. Chryssanthopoulos, S.S.J. Moy (Eds.), Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction, Woodhead, Publishing Limited, UK, 2004, pp. 360-370
- [3] Sayman, O. Aksoy, S., "tabakalı kompozit plakalarda takviye malzemesi ve oryantasyon açısının gerilme analizine etkisi", Ege Üniv. Mak. Fak. Mak. Müh. Böl, vol. 1, no. 6, 2007.
- [4] Öndürücü, A., & Karacan, A., Tabakalı Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Müh. Bil. ve Tas. Der., 6(3), 435-447. <https://doi.org/10.21923/jesd.363292>, 2008
- [5] Ma, Y., Ueda, M., Yokozeki, T., Sugahara, T., Yang, Y., Hamada, H., A comparative study of the mechanical properties and failure behavior of carbon fiber/epoxy and carbon fiber/polyamide 6 unidirectional composites. Compos. Struct., 160, 89-99. 2017.
- [6] K. Friedrich, A.A. Almajid, Manufacturing aspects of advanced polymer composites for automotive applications, Appl. Compos. Mater. 20 107-128, <https://doi.org/10.1007/s10443-012-9258-7>. 2013.
- [7] Carbajal, N., & Mujika, F. Determination of transverse compressive strength of long fibre composites by three-point bending of [90 m /0 n] cross-ply laminated strips. Poly. Test., 30(5), 578-584. 2001.
- [8] M.E. Demir, Y.H. Çelik, E. Kilickap, Effect of matrix material and orientation angle on tensile and tribological behavior of jute reinforced composites, Material./Mater. Test. 61 (8) 806-812. 2019.
- [9] Meng, M., Le, H. R., Rizvi, M. J., & Grove, S. M. (2015). 3D FEA modelling of laminated composites in bending and their failure mechanisms. Compos. Struct., 119, 693-708. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.09.048>.
- [10] Arriaga, A., Lazkano, J. M., Pagaldai, R., Zaldua, A. M., Hernandez, R., Atxurra, R., & Chrysostomou, A. Finite-element analysis of quasi-static characterisation tests in thermoplastic materials: Experimental and numerical analysis results correlation with ANSYS. Poly. Test., 26(3),284-305. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.10.012>. 2007.
- [11] Xiong, J., Ma, L., Stocchi, A., Yang, J., Wu, L. and Pan S., Bending response of carbon fiber composite sandwich beams with three dimensional honeycomb cores. Compos. Struct., 108(1), 234-242. 2013. Feb, 2014.
- [12] <https://polyram-group.com/product/plustek-pat300r8bk>
- [13] <https://polyram-group.com/product/plustek-pat801g50bk10>
- [14] H. Özer., "Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, 2015
- [15] A. Demirel, "Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2007.