

3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yükü Altındaki Performanslarının Araştırılması

Murat Yavuz SOLMAZ*, Eyüp ÇELİK

Firat University, Engineering Faculty, Department of Engineering, 23119 Elazığ/Turkey

*mysolmaz@firat.edu.tr

(Geliş/Received:06.12.2017; Kabul/Accepted:12.02.2018)

Özet

Bu çalışmada altıgen petek (bal peteği) yapılı sandviç kompozitlerin basma kuvveti etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Kompozit numunelerin yüzey örtüsü tabakalı kompozitten (polyester/cam fiber) üretilmiş olup petek hücrelerin üretiminde ABS ve PLA gibi 2 farklı özelliğe sahip termoplastik malzeme kullanılmıştır. Sandviç yapıların çekirdek kısmının üretimi üç boyutlu (3D) yazıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3 farklı hücre boyutuna ve 3 farklı hücre yüksekliğine sahip petek yapılı sandviç numuneler eksenel basma deneyine maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar numunenin ağırlığına oranlanarak her bir parametre için özgül kritik burkulma yük değerleri belirlenmiş ve grafikler halinde sunulmuştur. Sonuç olarak maksimum dayanım 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğinde elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda PLA malzemenin ABS malzemeye göre daha üstün özelliklere sahip olduğu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bal Peteği, 3D, Sandviç Kompozitler, ABS, PLA

Investigation of Compression Test Performances of Honeycomb Sandwich Composites Produced by 3D Printing Method

Abstract

In this study, the behaviors of hexagonal honeycomb sandwich composites under compression force were investigated. Composite plates are produced with surface cover layer composite (polyester / glass fiber) and thermo plastic materials with 2 different properties such as ABS and PLA are used in the production of honeycomb cells. The initial part of the sandwich constructions was produced using a three-dimensional (3D) printer with Fused Deposition Method. The honeycomb sandwich samples with 3 different cell sizes and 3 different cell height were subjected to the axial compression test. The specific critical buckling load values for each parameter are determined and presented as graphs, with the results obtained being proportional to the weight of the sample. As a result, maximum strength was obtained at 7 mm cell size and 25 mm cell height. As a result of the experiments, PLA material has superior mechanical properties to ABS material.

Keywords: Honeycomb, 3D, Sandwich Composites, ABS, PLA

1. Giriş

Hüresel yapıdaki kompozitler kompozit endüstrisinin en değerli mühendislik buluşlarından birisidir [1]. Hüresel kompozitlerde altıgen petek yapıda boşluklara sahip petek hücre yapılı kompozit numuneler yüksek enerji sönmüleme kabiliyeti, hafiflik, yüksek kayma ve eğilme rijitliği, ses yalıtımı ve yüksek korozyon dayanımı özellikleri nedeniyle havacılık ve diğer endüstri dallarında kullanımı artmaktadır. Oldukça hafif sistemler elde etmek için sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasında bu petekli yapılar yerleştirilir [2]. Petek hücre

boyutları sandviç kompozit yapının yoğunluğunu belirler [3]. Bal peteği kompozit yapıların alt ve üst yüzeyleri kompozit levhalarla kaplanarak sandviç kompozit numuneler elde edilir[3]. Üretim sürecinin zor ve pahalı olması nedeniyle bal peteği yapıların mekanik davranışlarının belirlenmesi zor bir durumdur. Bal peteği yapıların kullanılması için mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir[4].

Mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için basma, darbe, soyulma, eğilme, çekme testleri yaygın olarak yapılmaktadır [3,4]. Literatürdeki çalışmalarda petek yapılı kompozit numuneler eğilmeye maruz bırakılarak hasar tipleri ve

dayanımları araştırılmıştır, hasar oluşumunun yüzey örtüsünün mekanik dayanımının aşıldığı durumlarda meydana geldiği belirlenmiştir[5]. Literatürdeki bir diğer çalışmada farklı hücre tipindeki sandviç yapıların eğilme davranışları ve hasar tipleri belirlemiş hücre malzemesi olarak; petek alüminyum köpük ve küre şeklinde boşluklu metal yapılar kullanmışlardır [6]. Literatürdeki bir diğer çalışmada petek yapılı kompozitlerin, maksimum dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorbe özellikleri basma ve çarpma yükleri altında elde edilmiştir [2]. Alüminyum petek yapılı kompozit levhalara yapılan kayma testi sonucunda yük-yer değiştirme grafiğinden; kayma yükünün maksimum bir değere ulaştığı bu değerden sonra ani bir düşüş gösterdiği ve daha sonra yükün sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada deformasyon süreci, elastik deformasyon, plastik deformasyon, hücre duvarı kırılması ve petek hücreleri ile yüzey örtüsünün ayrılması şeklinde tanımlanmıştır [7]. Bal peteği kompozit levhaların basma mukavemetlerinin iyi olmasına karşın eğilme ve kesme mukavemetlerinin iyi olmadığı hasarın uygulanan yüke bağlı olarak genelde yapışma noktalarından ayrılma şeklinde meydana geldiği bilinmektedir [8].

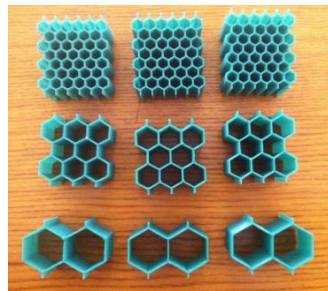
Bu çalışmada üç boyutlu yazıcı kullanılarak 3 farklı hücre boyutu ve 3 farklı hücre yüksekliğinde üretilen bal peteği yapılı sandviç kompozitlerin basma kuvveti etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Kompozit numunelerin yüzey örtüsü tabakalı kompozitten (polyester/cam fiber) üretilmiş olup petek

hücrelerin üretiminde ABS ve PLA gibi 2 farklı termoplastik malzeme kullanılmıştır.

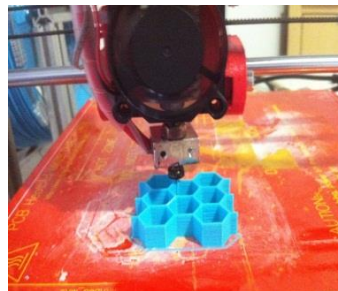
2. Malzeme ve Yöntem

Petek yapılı sandviç kompozitlerin üretilmesinde ergiyik biriktirme yöntemi kullanılmıştır. Bal peteği hücrelerin üretiminde 1.75 mm çapında PLA ve ABS termoplastik filamen tercih edilmiştir. 7, 14 ve 25 mm olmak üzere üç farklı hücre boyutu ve 25, 30 ve 40 mm olmak üzere üç farklı yüksekliğe sahip petek yapılı deney numunelerinin üretim şekli Şekil 1’de, bal peteği çekirdek geometrisi Şekil 2’de verilmiştir.

Çalışmada yüzey örtü malzemesi olarak cam fiber ve polyester reçine kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak Erco polyester E-6 döküm tipi polyester reçine, sertleştirici olarak Erco Mek Peroksit- Ece Perox ve hızlandırıcı olarak da Erco Kobalt Oktaat (%6) - Ece Dryer kullanılmıştır. Karışım oranı olarak 35gr reçineye karşılık 3gr sertleştirici ve 3 gr hızlandırıcı seçilmiştir (35:3:3). Matris malzemesi içerisine iki tabaka halinde rastgele dağılıma sahip cam fiber yerleştirilerek ortalama $t_f=2.4$ mm kalınlığında kompozit yüzey örtüsü plakaları üretilmiştir. Kompozit plakaların katılmasında petek hücreler plakaların üzerine yerleştirilerek sıvı haldeki matris yardımıyla birleşmesi sağlanmıştır. Bu işlem aracılığı ile matris malzemesi ile yüzey örtü malzemesinin yük altında ideal etkileşimi temin edilmiştir.



Şekil 1. Ergiyik biriktirme yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi



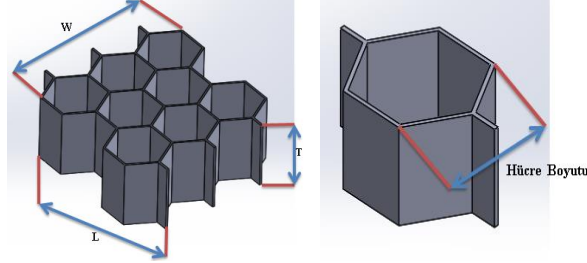
Katılma süreci tamamlanan kompozit plaka ile ona yapışmış olan petek hücre yapısının diğer yüzeyi de aynı işlemler uygulanarak kompozit plakalar ile kapatılmıştır. Oda sıcaklığında katılma sürecini tamamlayan sandviç yapı tel testere yardımı ile petek hücre

boyutlarında kesilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan ABS ve PLA termoplastik yapılı malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Basma deneyleri UTEST (1 kN) marka universal çekme/basma test cihazında

0.5mm/dak basma hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda farklı hücre yoğunluğu ve farklı yüksekliklere sahip numunelerin yük/uzama grafikleri elde

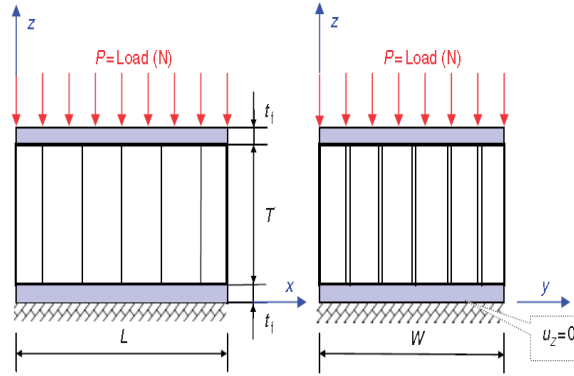
edilmiştir. Numune boyutları ve yükleme koşulları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. Bal peteği geometrisi [2]

Tablo 1. ABS ve PLA termoplastik yapılı malzemelerin mekanik özellikleri [9]

Mekanik Özellikler	PLA	ABS
Çekme Mukavemeti (MPa)	65	41
Kopma Uzaması (%)	7.5	8.2
Eğilme Mukavemeti (Mpa)	97	63
Eğilme Modülü (MPa)	3600	2200

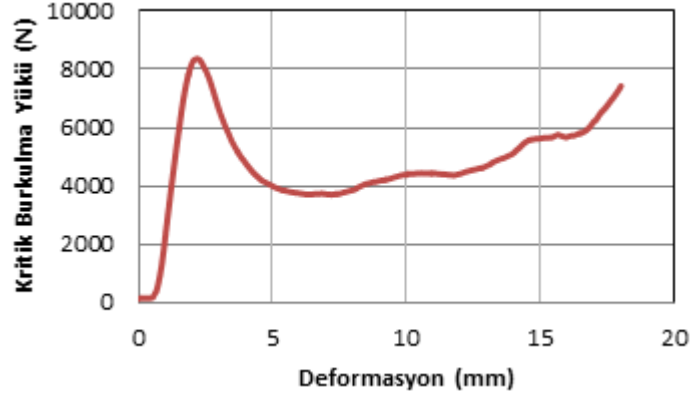


Şekil 3. Numune boyutları ve yükleme koşulları

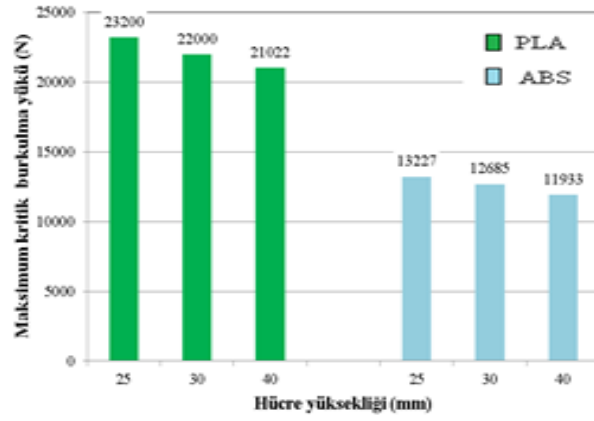
3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Yapılan bu çalışma sonucunda farklı hücre boyutu ve farklı yüksekliklere sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıli kompozitlerin yük-uzama grafikleri elde edilmiştir. Petek yapıli kompozitlerin maksimum kritik burkulma yükleri, özgül mukavemet değerleri yük-uzama grafiklerinin maksimum tepe noktasından yararlanılarak yorumlanmıştır. Petek yapıli kompozitte oluşan hasar tipleri örnek resimler ile birlikte verilerek yorumlanmıştır. Şekil 4’de yük-uzama grafiğinin üzerinde maksimum kritik burkulma yükü gösterilmiştir. Şekil 5’de, 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri

karşılaştırılmıştır. 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit numunenin maksimum kritik burkulma yükü aynı hücre boyutu ve hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numuneye göre 1.75 kat daha yüksek çıkmıştır. Bu karşılaştırmayı aynı hücre boyutu farklı hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik yapıli kompozit numuneler içinde tekrarlanmış PLA termoplastik malzemenin maksimum kritik burkulma yükünün ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin maksimum kritik burkulma yükünden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



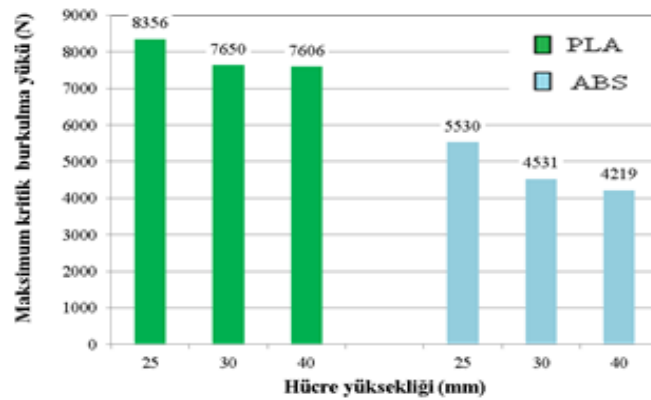
Şekil 4. 14 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğindeki PLA petek yapılı numunenin yük-uzama grafiği



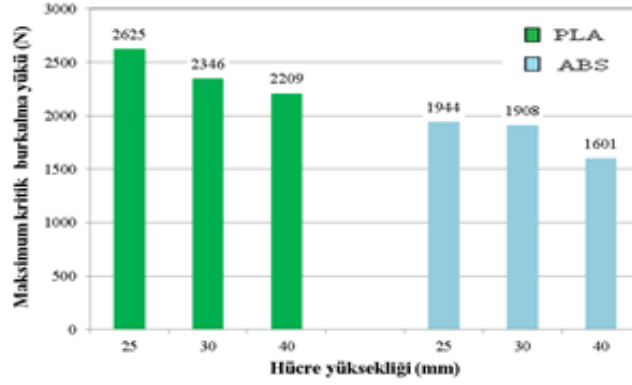
Şekil 5. 7 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yüğüleri

14 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit malzemelerin kritik burkulma yüğü Şekil 6'da verilmiştir. Hücre yüksekliğine artışına bağlı olarak maksimum kritik burkulma yüğü azalmıştır. 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik yapılı kompozit numunede 8356N iken ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunede ise 5530N kritik burkulma yüğü ölçülmüştür.

Şekil 7'de, 25 mm hücre boyutuna sahip petek yapılı numuneler içinde en yüksek kritik burkulma yükünün 25 mm hücre yüksekliğinde 2625N olduğu görülmüştür. Hücre yüksekliği artıkça kritik burkulma yüğü azalmıştır. Bunun nedeni kritik burkulma yükünün burkulan elemanın yüksekliğinin karesi ile ters orantılı olarak değişmesidir.



Şekil 6. 14 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yüğüleri

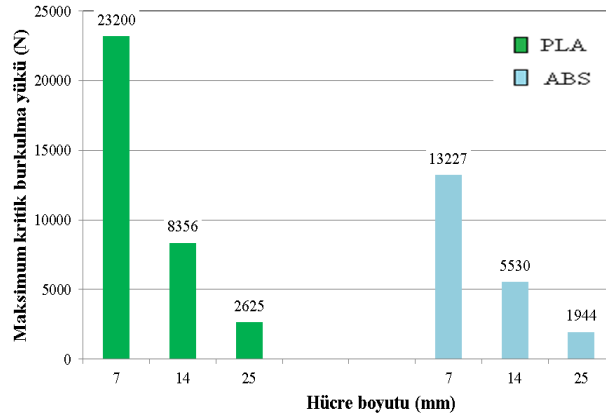


Şekil.7. 25 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri

Şekil 8’de 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri verilmiştir. 7 mm hücre boyutuna sahip PLA malzemenin yine aynı hücre boyutuna sahip ABS malzemeye göre 1.75 kat daha yüksek kritik burkulma yüküne sahip olduğu görülmektedir.

30 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit

numunelerin hücre yüksekliği sabit tutularak maksimum kritik burkulma yükleri Şekil 9’da verilmiştir. 7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek kompozit numunenin kritik burkulma yükü 22000 N, aynı hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıları kompozit numunede 12685 N olarak ölçülmüştür. Artan hücre yüksekliği ile birlikte kompozit numunenin rijitliği azalacağından kritik burkulma yükü azalmıştır.

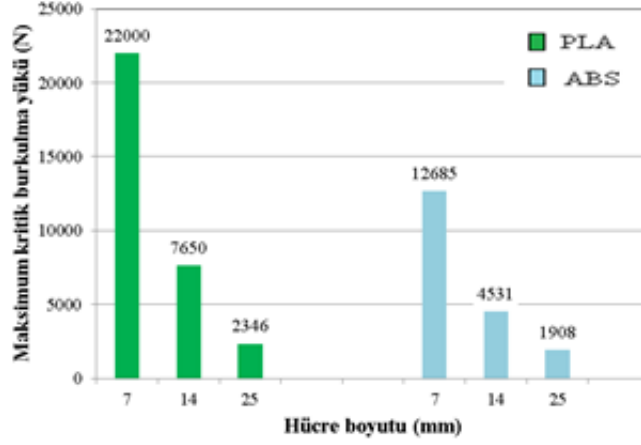


Şekil.8. 25 mm hücre yüksekliğine sahip kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri

40 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıları kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri Şekil 10’da verilmiştir. Artan hücre boyutuna bağlı olarak kritik burkulma yükü azalmıştır. Gerçekleştirilen deney sonucu 7mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit numunenin kritik burkulma yükü 21022 N iken aynı hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıları

kompozit numunenin kritik burkulma yükü ise 11933N olarak elde edilmiştir.

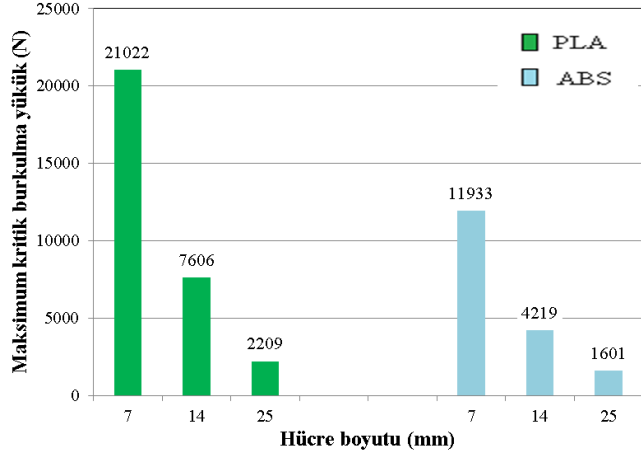
7 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit numunelerin özgül mukavemet değerleri Şekil 11’de verilmiştir.



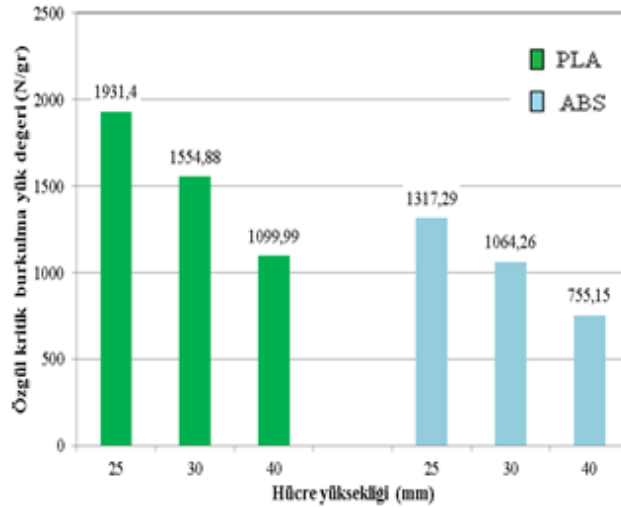
Şekil. 9. 30 mm hücre yüksekliğine sahip kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri

Hücre boyutu sabit tutularak artan hücre yüksekliğine göre 30 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit numunenin özgül kritik burkulma yük değeri

ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunenin özgül kritik burkulma yük değerinden yaklaşık olarak 1.5 kat daha yüksek çıkmıştır.



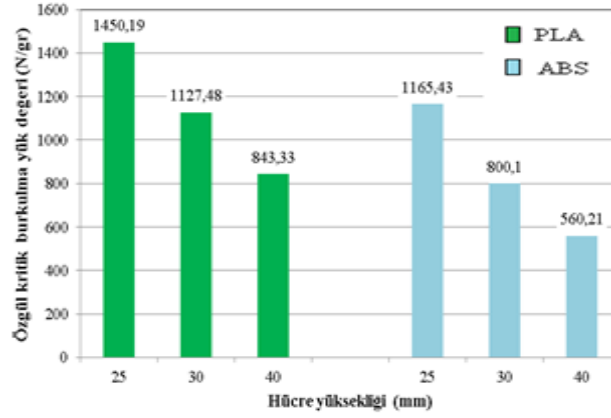
Şekil.10. 40 mm hücre yüksekliğine sahip kompozit numunelerin maksimum kritik burkulma yükleri



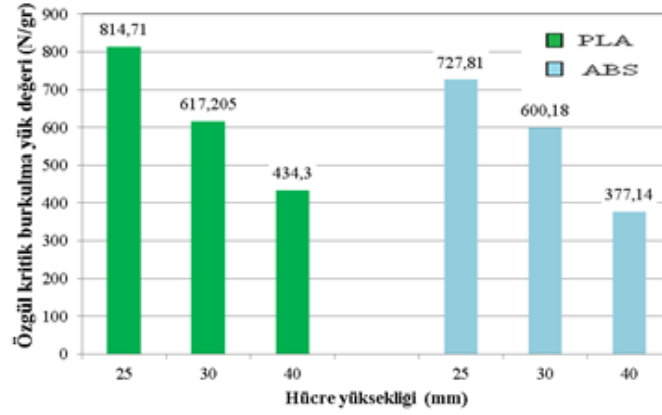
Şekil.11. 7 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

14 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri Şekil 12’de verilmiştir. En yüksek özgül kritik burkulma yük değeri 14 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik yapıları kompozit numunede 1450.19 N/gr olarak elde edilmiştir. 25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

Şekil 13’de verilmiştir. 25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit numuneleri kendi arasında karşılaştıracak olursak 25 mm hücre yüksekliğine sahip olan kompozit numunenin özgül kritik burkulma yük değerinin 40 mm hücre yüksekliğine sahip olan kompozit numunenin özgül kritik burkulma yük değerinden 1.8 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil.12.14 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

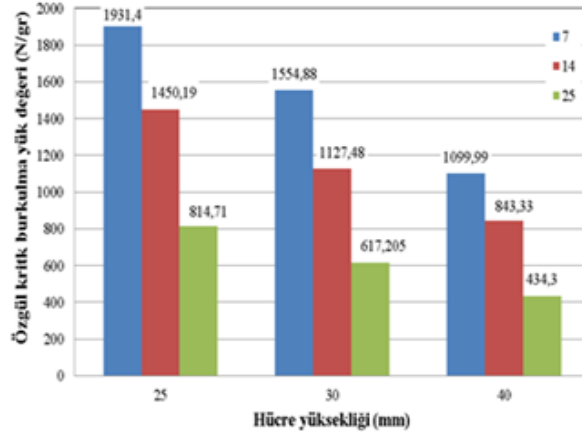


Şekil.13.25 mm hücre boyutlu kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

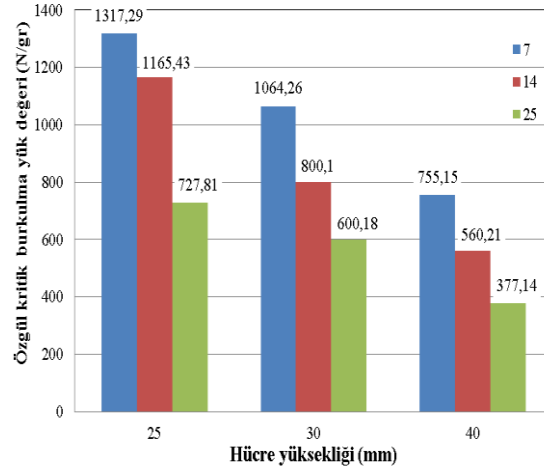
7 mm, 14 mm ve 25 mm hücre boyutuna sahip PLA petek yapıları kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri Şekil 14’de verilmiştir. En yüksek özgül kritik burkulma yük değeri 7 mm hücre boyutuna ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 1931.4 N/gr, en düşük özgül kritik burkulma yük değeri ise 25 mm hücre boyutuna ve 40 mm hücre yüksekliğinde 1317.29 N/gr, en düşük özgül kritik burkulma yük değeri ise 25 mm hücre

yüksekliğine sahip olan numunede 434.3 N/gr olarak elde edilmiştir.

7 mm, 14 mm ve 25 mm hücre boyutuna sahip ABS petek yapıları kompozit numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri Şekil 15’de verilmiştir. PLA numunelerinin sonuçlarına benzer olarak en yüksek özgül kritik burkulma yük değeri 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğinde 377.14 N/gr olarak elde edilmiştir.



Şekil.14. 7, 14 ve 25 mm hücre boyutundaki PLA numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri



Şekil.15. 7, 14 ve 25 mm hücre boyutundaki sahip ABS numunelerin özgül kritik burkulma yük değerleri

Şekil 16'da, 7 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit numunelerin basma deneyi sonrası hasar durumları verilmiştir. Maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma meydana gelmiştir. Maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik

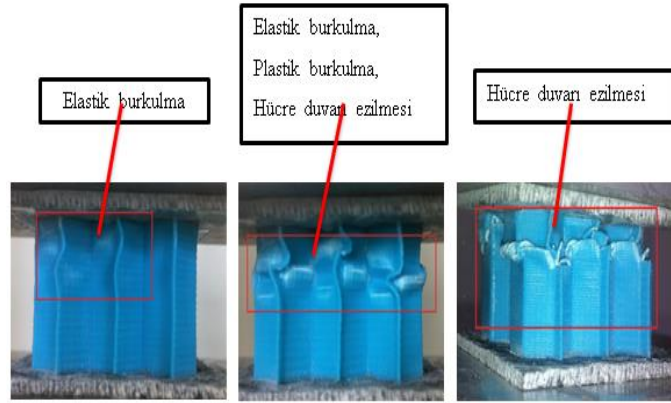
burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekleşmiştir. Hücre duvarı ezilmesi sonrası tabakaların birbiri üzerinden yaklaşık 45° de kaymıştır. 7 mm hücre boyutuna sahip farklı yükseklik ve farklı malzemeden oluşan petek yapıli kompozit numunelerin hemen hemen tamamında benzer hasar modları oluşmuştur.



Şekil.16. 7 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit numunenin deney aşamalarına göre hasar durumları

14 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin hasar modları Şekil 17’de verilmiştir. PLA numunelerin hasar mekanizmasına benzer şekilde maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma, maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekteşmiştir. 14 mm

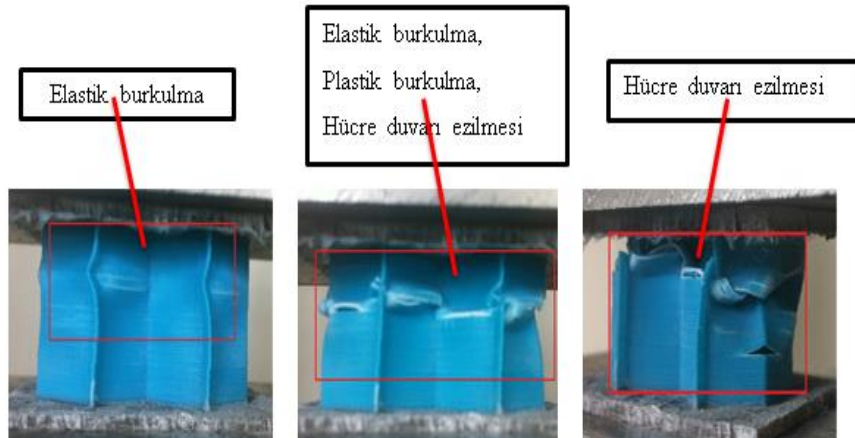
hücre boyutuna sahip numunelerde azalan hücre duvarı sayısından dolayı kayma hasarı oluşmadan önce hücreler bir biri üzerine yığılardak ezilme hasarı oluşturmuştur. 14 mm hücre boyutuna sahip farklı yükseklik ve farklı malzemeden oluşan petek yapıli kompozit numunelerin hemen hemen tamamında benzer hasar modları meydana gelmiştir.



Şekil.17. 14 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin hasar modları

25 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin hasar modları Şekil 18’de verilmiştir. Maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma oluşmuştur. Maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte

hücre duvarı yırtılması ve çekirdek ezilmesi gerçekteşmiştir. 25 mm hücre boyutuna sahip farklı yükseklik ve farklı malzemeden oluşan petek yapıli kompozit numunelerde benzer hasar modları oluşmuştur.



Şekil.18: 25 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit numunenin hasar modları

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada üç farklı hücre boyutu ve üç farklı hücre yüksekliğinde PLA ve ABS termoplastik çekirdek yapıya sahip petek yapı kompozit numuneler üretilmiş ve basma yükü altında; kritik burkulma yükleri, özgül mukavemet değerleri ve numunelerde oluşan hasar tipleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir,

En yüksek kritik burkulma yükü 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapı kompozit numunede 23200 N, en düşük kritik burkulma yükü ise 25 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapı kompozit numunede 1601 N olarak tespit edilmiştir. İki sonuç arasında yaklaşık 14.5 katlık bir fark söz konusudur.

Elde edilen sonuçlara göre hücre yoğunluğu arttıkça kritik burkulma yükünün arttığı bunun tam aksine hücre yüksekliği arttıkça kritik burkulma yükünün azaldığı görülmüştür. Bu sonuç özgül kritik burkulma yükü içinde geçerlidir.

14 ve 25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapı kompozit numunelerde maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma oluşurken maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekleşmiştir.

Hücre boyutunun 7 mm olduğu PLA ve ABS termoplastik petek yapı kompozit numunelerde ise maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda benzer şekilde elastik burkulma oluşurken maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi ile birlikte tabakaların birbiri üzerinden kaymasıyla kayma hasarı oluşmuştur.

Genel olarak PLA termoplastik malzemeden elde edilen numunelerin kritik burkulma yükleri ABS kullanılarak üretilen numunelerin kritik burkulma yüklerinden daha yüksektir.

5. Kaynaklar

1. Bek, H. Ercan, M. Doğuş ve A. Ünal. (2011). 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS 11), 16-18 May 2011 Elazığ, Turkey.
2. N. Arslan, M. O. Kaman.(2002). Alüminyum, Kâğıt ve cam elyaf petek yapı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:4, Sayı:3, Sh.113-123.
3. M. Y. Solmaz, M. O. Kaman, K. Turan, A. Turgut, (2010), Petek yapı kompozit levhaların eğilme davranışlarının incelenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(1), 1-11.
4. Asadi, M; Shirvani, H.; Sanaei, E.; Ashmead, M. A., (2006), Simplified model to simulate crash behavior of honeycomb, Proceedings of The International Conference on Advanced Design and Manufacture, 8th-10th January Harbin, China, pp.119-123.
5. Galletti, G.G., Vinquist, C. And Es-Said, O.S., (2008), theoretical design and analysis of a honeycomb panel sandwich structure loaded in pure bending, Engineering Failure Analysis, 15(5), 555-562.
6. Fiedler, t. And Ochsner, A., (2008), Experimental analysis of the flexural properties of sandwich panels with cellular core material materialwissens chaft und Werksofftechnik, 39(2) ,121-124.
7. Pan, S. D., Wu, L.Z., Sun ,Y.G, Zhou, Z.G. and Qu ,J.L., (2005), Longitudinal Shear Strength And Failure Process of Honeycomb Cores Composit Structures, 72(1), 42-46.
8. Zhou, G., Hill, M.D., (2009), Impact Damage And Energy Absorbing Characteristics and Residual in-Plane Compressive Strength of Honeycomb Sandwich Panels, Journal of Sandwich Structures and Materials, VOI11, pp.329-356.
9. www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d- yazici-filament-ozellikleri.