



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2010, Volume: 5, Number: 1, Article Number: 1A0062

ENGINEERING SCIENCES

Received: September 2009

Accepted: January 2010

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Murat Yavuz Solmaz

Mete Onur Kaman

Firat University

mysolmaz@firat.edu.tr

Elazig-Turkey

**PETEK YAPILI SANDVIÇ YAPILARDA KÖPÜK DOLGUSUNUN
KRİTİK BURKULMA YÜKÜNE ETKİSİ**

ÖZET

Bu çalışmanın amacı bal peteği sandviç yapılarda petek hücre boşluklarına köpük ilavesinin kritik burkulma yüküne etkisini tespit etmektir. Bu amaçla 4 farklı hücre boyutunda üretilen bal peteği sandviç numunelerin petek hücre boşlukları köpük (foam) ile doldurulmuştur. Petek yapılı kompozit levhaların yüzey plakaları, polyester/cam fiber kompozitinden üretilmiş olup petek hücre malzemesi olarak 4 farklı kalınlığa sahip alüminyum kullanılmıştır. Üretimin her aşamasında numuneler hassas terazide tartılarak sandviç yapıyı oluşturan katmanların ve petek hücrelere doldurulan köpüğün ağırlıkları tespit edilmiştir. Üretimden sonra köpüklü ve köpüksüz numuneler aynı şartlarda basma deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuçta en ince hücre duvarına sahip olan (0.05 mm) köpüklü levhaların ağırlığındaki ortalama %95 artış oranına karşılık, kritik burkulma yüklerinde ortalama %160 artış elde edilirken, en kalın hücre duvarı kalınlığına sahip olan numunelerde (0.15 mm) ortalama %45 ağırlık oranı artışına karşılık kritik burkulma yükü artışı ortalama %32 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bal Peteği Sandviç Yapılar, Köpük İlavesi, Kritik Burkulma Yükü, Basma Testi, Kompozit Malzeme

**THE EFFECT ON THE CRITIC BUCKLING LOAD OF FOAM FILLING ON THE
HONEYCOMB SANDWICH STRUCTURES**

ABSTRACT

The aim of this study, is determined experimentally effect of foam filling to the honeycomb cell holes on the critic buckling load of the honeycomb sandwich structures. For this aim, cell holes of honeycomb sandwich panels which are produced four different cell dimensions are filled foam. Face sheets of honeycomb panels are produced from polyester/fiber glass and aluminum is used for core material which has four different thickness. Every steps of production, specimens are weighted at the delicate balance. Weight of foam and laminate of sandwich are determined. After production, foamy and without foam specimens are exposed compressive tests. Finally, it is obtained that although increase of average weight of foamy panels which have thinnest cell wall are 95% and increase of average critical buckling load is 60%, for thickest cell walls, these ratios are 45% and 32%, respectively.

Keywords: Honeycomb Sandwich Structures, Foam Addition, Critic Buckling Load, Compressive Test, Composite Material

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bal peteği sandviç yapılar hafif malzemeler olmalarının yanında yüksek eğilme ve burkulma dayanımlarına sahip olduklarından dolayı birçok mühendislik yapısında sıkça kullanılmaktadır. Özellikle havacılık sanayinde uçak gövde ve kanatlarının büyük bir kısmı bu yapılardan oluşmaktadır. Uçakların başlıca kullanım alanları kargo ve yolcu taşımacılığıdır. Ticari ve insani ihtiyaçların artmasından dolayı; kargo ve yolcu uçaklarının kapasiteleri ve sefer sayıları giderek artmakta ve çalışma şartları daha ağır bir hale gelmektedir. Uçakların yapısının büyük bir kısmında kullanılan sandviç yapıların dayanımlarının bu gelişmelere paralel olarak iyileştirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

Balawi ve Abot, balpeteği yapının relatif yoğunluğunun yapının düzlem elastisite modülü üzerine etkilerini eğilme ve kayma deneyleri uygulayarak araştırdıkları çalışmada; relatif yoğunluklar için çift hücre duvarı doğrultusundaki malzeme davranışının daha iyi olduğunu ortaya çıkarmışlardır [1]. Belouettar ve arkadaşları, dört nokta eğme testlerini kullanarak aramid fiber ve alüminyum hücrelerden imal edilmiş kompozit balpeteği malzemelerin statik ve yorulma davranışlarının belirlenmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada; petek yoğunluğu ve hücre diziliminin maksimum yük ve hasar ilerlemesi üzerine önemli etkisi olduğunu deneysel olarak belirlemiştir [2]. Othman ve Barton statik ve dinamik yükler altındaki balpeteği sandviç kompozitlerde hasar başlangıcı ve ilerleme karakteristiğini inceledikleri çalışmada; baskın hasar tiplerini: yük temas bölgesi civarında üst örtü basma hasarı, petek hücre ezilmesi ve alt örtü çekme hasarı olarak tespit etmiştir [3]. Davalos ve arkadaşları, sinüzoidal petek yapıya sahip fiber takviyeli balpeteği kompozit kirişlerin burulmasını inceledikleri çalışmada; burulma yüklerine maruz fiber takviyeli polimer sandviç kirişleri analitik, nümerik ve sayısal olarak incelemiş ve her üç metotla elde edilen sonuçların uyum içerisinde olduğunu göstermiştir [4]. Yeh ve arkadaşları, alüminyum balpeteği yapıların termal temas dirençleri hakkında gerçekleştirdikleri çalışmada; aksel yönde etkili termal iletimin yanal yöndeki termal iletimden daha büyük olduğunu, numune ağırlığı ya da hücre boyutunun azalması ile aksel yöndeki toplam ısı iletiminin arttığını tespit etmiştir [5]. Foo ve arkadaşları, deneysel ve sayısal olarak Nomex malzemelerin ve Nomex balpeteği yapıların lineer elastik mekanik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında; boyut değişiminin mekanik özelliklere olan etkisini araştırmış ve elastisite modülünün balpeteği numunelerin boyutuna bağlı olduğunu tespit etmiştir [6]. Chen ve diğerleri, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak balpeteği yapıların rijitliği ve mukavemeti üzerine inklizyonların ve deliklerin etkisini araştırdıkları çalışmada; inklizyonların balpeteği yapıların rijitliği ve mukavemeti üzerine çok az etkisi olduğunu, deliklerin ise bulk modülünü ve hidrostatik akma mukavemetini büyük miktarda düşürdüğünü göstermiştir [7]. Jen ve arkadaşları, yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum balpeteği sandviç kirişlerin eğilme-yorulma mukavemeti üzerine yapıştırıcı miktarının etkisi araştırdıkları çalışmada; yapıştırıcı ile birleştirilmiş balpeteği sandviç kirişlerin yorulma mukavemetinin uygulanan yapıştırıcı miktarı ile arttığını, başlıca yorulma hasar modunun yapıştırıcı ile yüzey tabakası arasındaki arayüzey ayrılması olduğunu tespit etmiştir [8].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmanın amacı, petek yapıları sandviç yapılarda hücre duvarı kalınlığı, hücre boyutu ve köpük dolgunun yapının kritik burkulma yüküne olan etkisini tespit etmektir. Bu amaçla, 4 farklı hücre duvarı kalınlığı kullanılarak 4 farklı hücre boyutunda balpeteği yapılar elde

edilmiştir. Elde edilen balpeteği sandviç numuneler basma deneyine tabi tutularak köpüklü ve köpüksüz numunelerin kritik burkulma yükleri tespit edilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1. Deney Numunelerinin Üretimi (Production of Test Specimens)

Petek yapıları kompozit levhaların hücre kısmını altıgen petek ya da balpeteği denilen hafif yoğunluklu kısım oluşturur. Petek hücrelerin alt ve üst yüzey örtüsü ile kaplanması sonucu ise sandviç kompozit levhalar elde edilir.

Sandviç deney numunelerinin üretiminde petek hücre malzemesi olarak Tablo 1 de mekanik özellikleri verilen 0.05, 0.10, 0.12 ve 0.15 mm kalınlıkta AA-1050 standardındaki alüminyum alaşımı, yüzey örtü malzemesi olarak ise cam fiber ve polyester reçineden oluşan kompozit levhalar 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 50 gr reçineye karşılık 4 gr sertleştirici ve 4 gr hızlandırıcıdır (50:4:4). Hücre boşluklarını doldurmak için mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 2 de verilen takviyesiz termoset poliüretan köpük kullanılmıştır.

3.2. Basma Deneyi (Compressive Test)

Tablo 1. AA 1050 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [9]
(Table 1. Mechanical properties of AA 1050 aluminum alloy [9])

Yoğunluk	2.6 - 2.8	(x1000 kg/m ³)	
Poisson oranı	0.33		
Maksimum çekme mukavemeti	110		MPa
Maksimum akma mukavemeti	105		MPa
Kayma mukavemeti	69		MPa
Elastisite modülü	70 - 80		GPa

Tablo 2. Takviyesiz termoset poliüretan köpüğün fiziksel ve mekanik özellikleri [10]

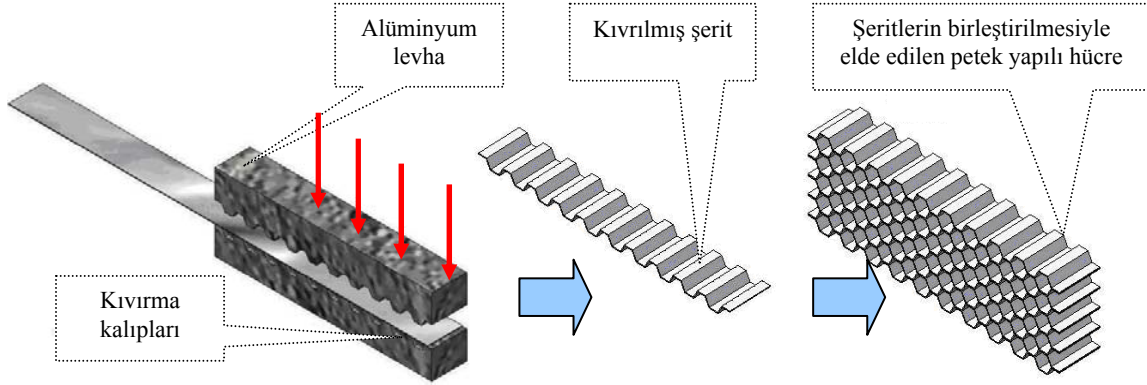
(Table 2. Physical and mechanical properties of thermoset polyurethane foam [10])

Yoğunluk	0.0270 - 0.960		g/cc
Sertlik	3.00 - 55.0		
Shore A			
Maksimum çekme mukavemeti	0.10 - 79.3		MPa
Maksimum akma mukavemeti	0.241 - 3.07		MPa
Kayma mukavemeti	1.40 - 20.0		MPa
Basma akma mukavemeti	0.00700 - 58.0		MPa
Elastisite modülü	0.000138 - 2.00		GPa
Basma modülü	0.0000276 - 1.40		GPa
Kayma modülü	0.0230 - 0.262		GPa

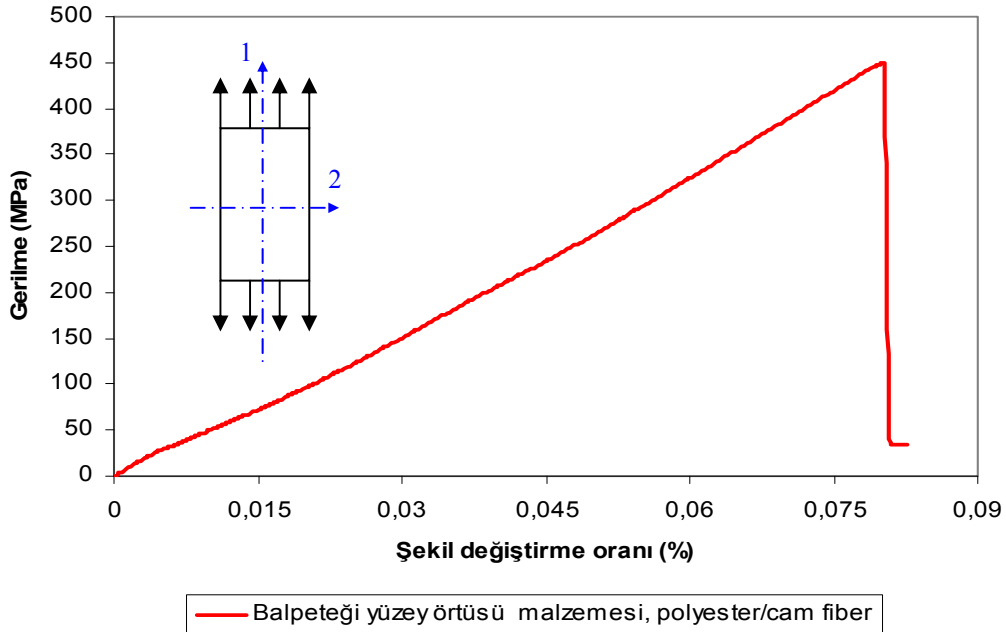
Petek yapılarının üretiminde Şekil 1'de üretim aşamaları gösterilen kıvrarak şekil verme tekniği kullanılmıştır. 15 mm genişliğinde şerit halinde hazırlanan AA-1050 sac malzemeleri altıgen kesitli metal kalıplar arasına yerleştirilmiş daha sonra kalıplar sıkıştırılarak kıvrılmış şeritler elde edilmiştir. Farklı hücre boyutuna sahip numuneler elde edebilmek için farklı boyutlarda kıvrma kalıpları kullanılmıştır. Üretilen şeritlerin hücre duvarları 502 Cyanoacrylate (5A TYPE:W-50 Eya Bound Group) yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve altıgen kesitli balpeteği hücreler elde edilmiştir.

Petek yapıları elde edildikten sonra sırasıyla alt yüzey örtüsü dökülmüştür. Kompozit yüzey örtüsü plakaları, Erco Polyester E-6 döküm

tipi polyester reçine içerisinde iki tabaka halinde rastgele dağılıma sahip cam fiber yerleştirilerek ortalama 3 mm kalınlığında üretilmiştir. Daha sonra hücre boşlukları takviyesiz termoset poliüretan köpükle doldurulmuş ve son aşamada ise üst yüzey örtüsü dökülerek sandviç yapı oluşturulmuştur. Üretilen polyester/cam fiber yüzey örtüsündeki fiberin hacim oranı %49.32, polyesterin hacim oranı ise %50.68'dir. Şekil 2'de, üretilen kompozit yüzey örtüsünün gerilme-şekil değiştirme grafiği görülmektedir.

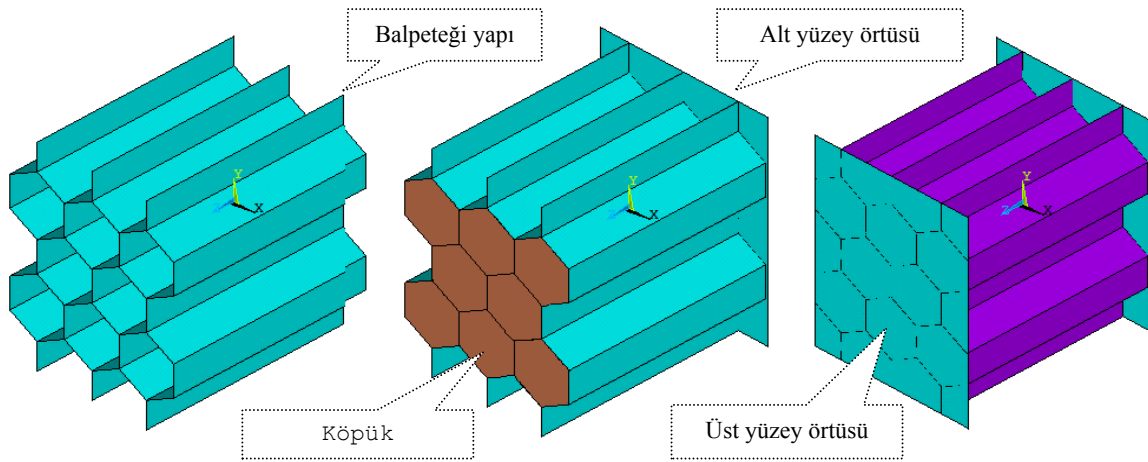


Şekil 1. Petek hücrelerinin üretim aşamaları
(Figure 1. Production stages of honeycomb cells)



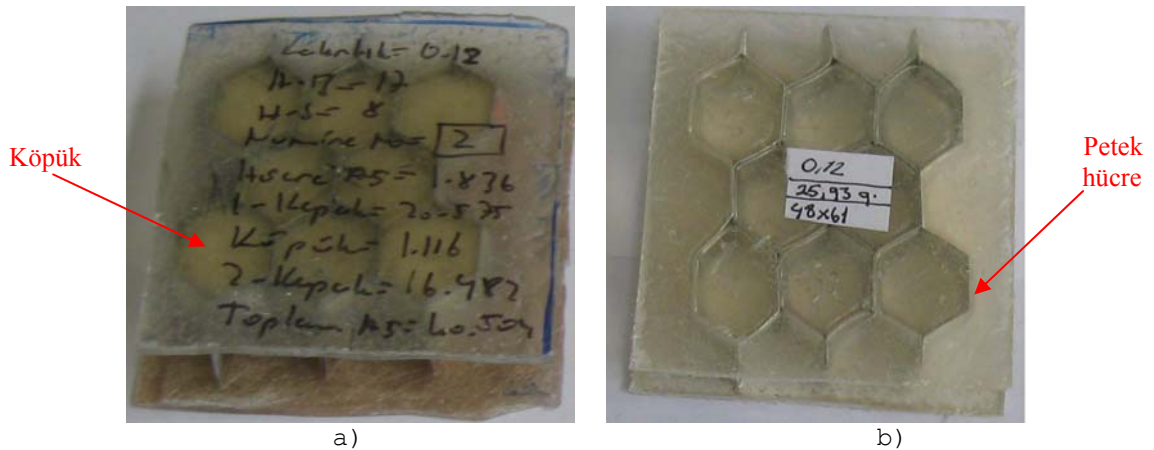
Şekil 2. Yüzey örtüsünün gerilme-şekil değiştirme grafiği
(Figure 2. Stress-strain graphic of face sheet)

Kompozit plakaların katılaşması sırasında petek hücreler plakaların üzerine yerleştirilerek yüzey örtüsü ile petek hücrelerin sıvı haldeki matris yardımıyla birleşmesi sağlanmıştır. Şekil 3'de, petek yapılı kompozit levhaların üretim aşamaları gösterilmiştir. Üretim aşamasının her adımında numuneler 10^{-4} hassasiyetindeki hassa terazi ile tartılarak numunelerin köpüksüz ve köpüklü ağırlıkları tespit edilmiştir.

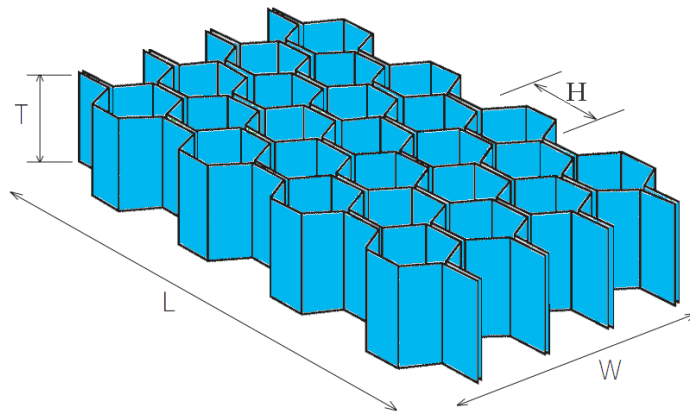


Şekil 3. Petek yapılı kompozit levhaların üretimi
(Figure 3. Production of honeycomb composite panels)

Oda sıcaklığında katılaşma sürecini tamamlayan sandviç yapı petek hücre boyutlarında kesilerek deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 4). Balpeteği sandviç yapıların literatürde kullanılan boyutlandırma standardı Şekil 5'de gösterildiği gibidir. Numunelerin yüzey örtüleri 70 x 70 x 3 mm ebadında olup petek yükseklikleri $T=15$ mm'dir.

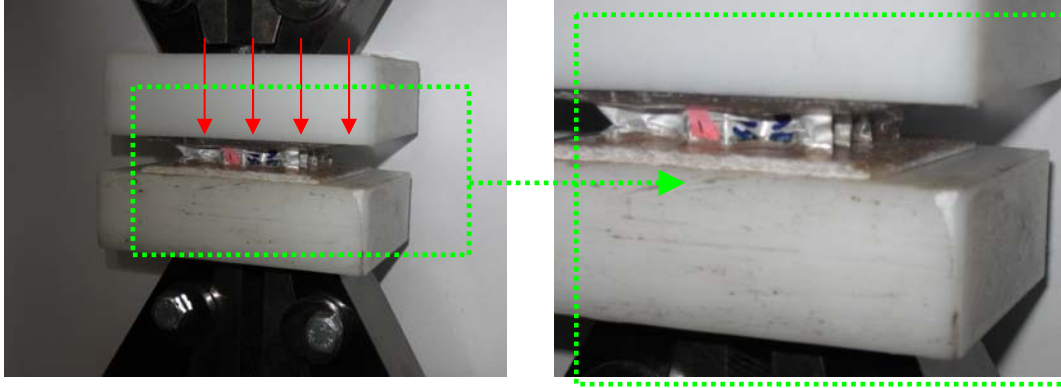


Şekil 4. Balpeteği sandviç deney numuneleri a) Köpüklü b) Köpüksüz
(Figure 4. Honeycomb sandwich test specimens a) Foamy b) Without foam)



Şekil 5. Petek yapı boyutları
(Figure 5. Dimensions of honeycomb core)

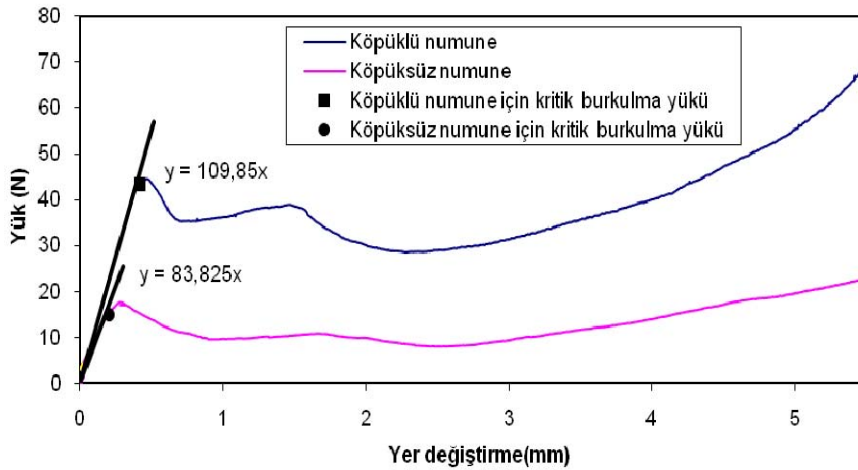
Köpüklü ve köpüksüz olarak üretilen balpeteği sandviç yapıların kritik burkulma yüklerini tespit etmek amacıyla UTEST (1kN) marka universal çekme/basma test cihazında 0.5 mm/dak. basma hızında basma deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Basma deneyi ve deney numunesinin burkulması
(Figure 6. Compressive test and buckling of test specimen)

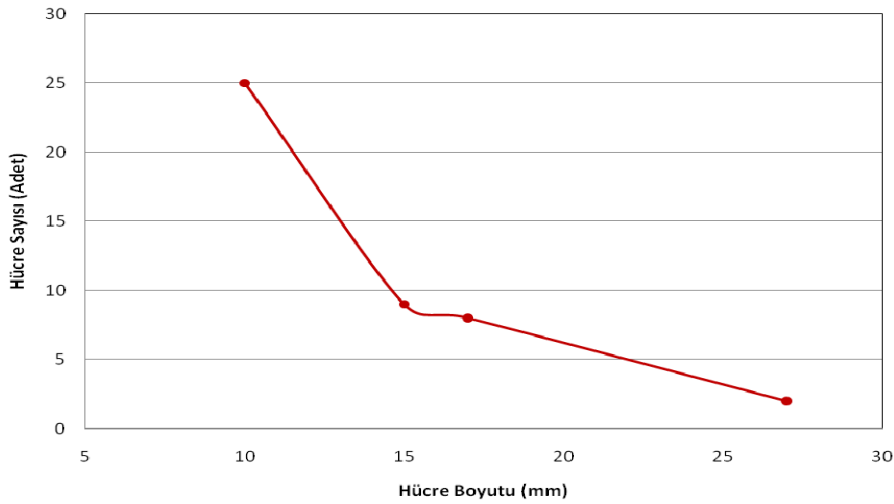
4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME (RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 7'de, 0.05 mm hücre duvarı kalınlığı ve 15 mm hücre boyutuna sahip köpüklü ve köpüksüz numunenin basma deneyi neticesinde elde edilen yük-yer değiştirme grafiği verilmiştir. Elde edilen grafiklerinin lineer kısmının bitiş noktası tespit edilmiş ve kritik burkulma yükü olarak alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi aynı hücre duvarı kalınlığı ve hücre boyutuna sahip numunede köpük ilavesi kritik burkulma yükünü yaklaşık olarak 3 kat arttırmıştır.



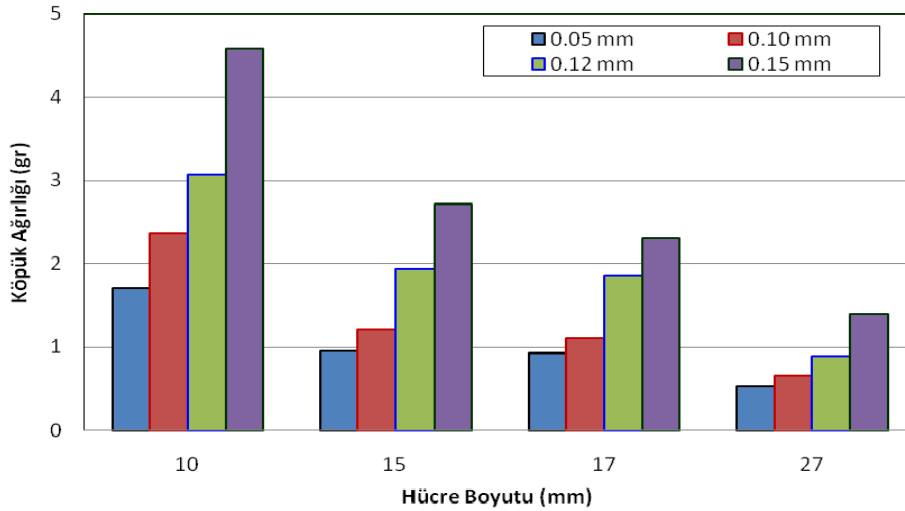
Şekil 7. 0.05 mm hücre duvarı kalınlığı ve 15 mm hücre boyutuna sahip köpüklü ve köpüksüz balpeteği numunelerin yük/yer değiştirme grafiği
(Figure 7. The load/displacement graphic of honeycomb foamy and without foam test specimens which have 0.05 mm honeycomb cell wall thickness and 15 mm cell size)

Şekil 8'de, hücre boyutu ile hücre sayısı arasındaki ilişki verilmiştir. Numuneler yaklaşık olarak aynı basma alanına (70x70 mm²) sahip olduğundan hücre boyutunun azalması hücre sayısının artmasına, hücre boyutunun artması ise hücre sayısının azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 8. Hücre boyutu ile hücre sayısı arasındaki ilişki
(Figure 8. The relationship between cell size and cell number)

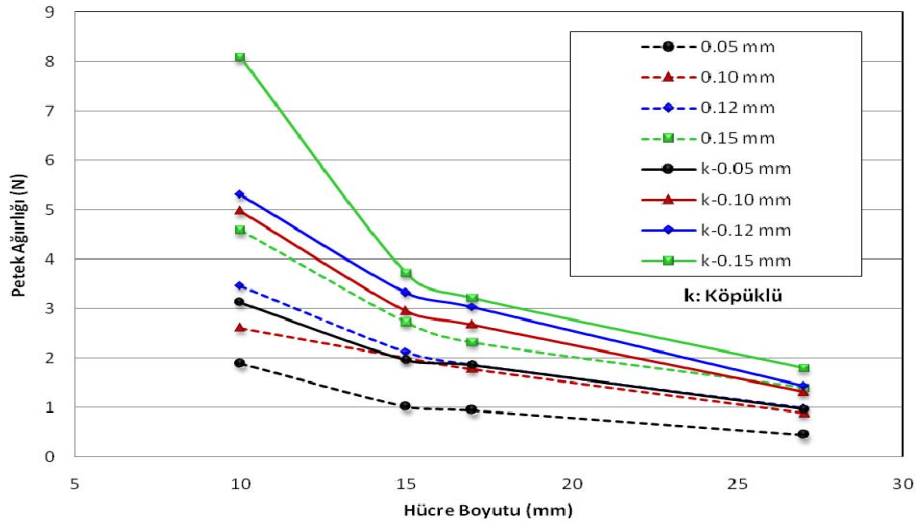
Hücre boyutu değişimine göre tespit edilen köpük ağırlıklarının değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Petek yapının içerisine doldurulan köpüğün ağırlığı hücre boyutunun artmasına bağlı olarak azalmıştır. Bu durum hücre boyutu arttıkça hücre sayısının azalmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Farklı hücre duvarı kalınlıkları için köpük ağırlıklarının hücre boyutuyla değişimi
(Figure 9. Variation of foam weight with cell size for different cell wall thickness)

Şekil 10'da, hücre duvarı kalınlığı ve hücre boyutu değişimine göre petek ağırlıklarının değişimi gösterilmiştir. Petek ağırlığı; hücre boyutu, hücre duvarı kalınlığı ve köpük ağırlığından etkilenmiştir.

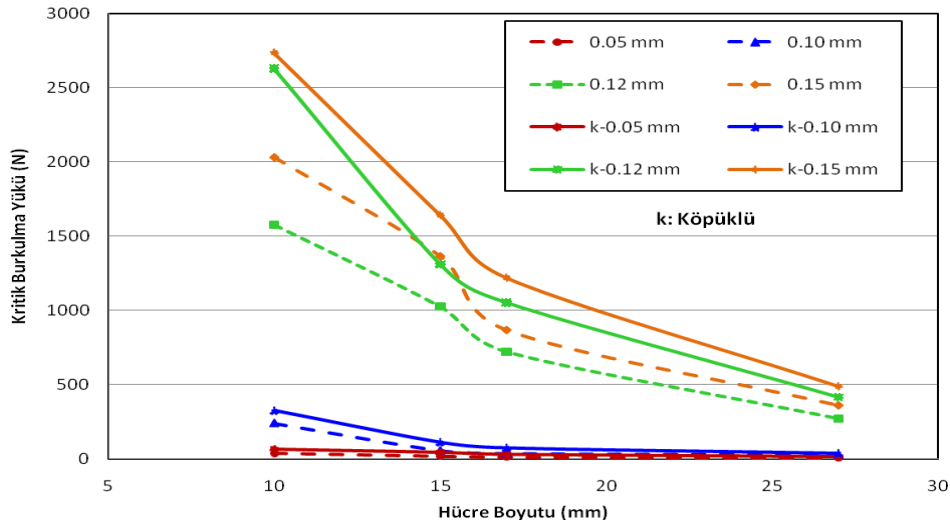
Aynı hücre boyutuna sahip numuneler kendi aralarında değerlendirildiğinde petek ağırlığı, hem köpüklü hem de köpüksüz numunelerde hücre duvarı kalınlığının artmasıyla artmıştır. Hücre duvarı kalınlığı ve hücre boyutu aynı olan numunelerde köpüklü hücrelerin petek ağırlığı köpük ağırlığından dolayı köpüksüzlere göre artmıştır. Hücre boyutunun artması ise köpüklü ve köpüksüz petek ağırlığını düşürmüştür.



Şekil 10. Farklı hücre duvarı kalınlıkları için petek ağırlıklarının hücre boyutuyla değişimi
(Figure 10. Variation of honeycomb core weight with cell size for different cell wall thickness)

Şekil 11'de farklı petek hücre duvarı kalınlığı ve hücre boyutuna sahip köpüklü ve köpüksüz numunelerin kritik burkulma yükleri verilmiştir. Grafikte köpüksüz numuneler kesik çizgiler ile ifade edilirken köpüklü numuneler düz çizgiler ile gösterilmiştir.

Köpüklü numunelerin kritik burkulma yük değerleri 4 farklı petek hücre malzemesi için de köpüksüz numunelere göre daha yüksektir.



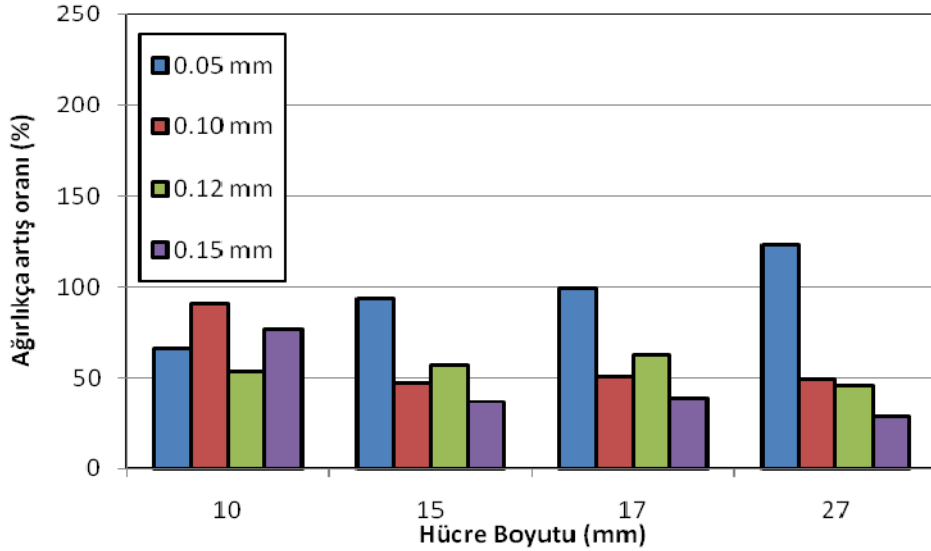
Şekil 11. Hücre boyutu, petek hücre malzemesi kalınlığı ve köpük dolgunun kritik burkulma yüküne etkisi
(Figure 11. The effect of cell size, honeycomb cell wall thickness and foam filler on the critical buckling load)

Hücre duvarı kalınlığının artması kritik burkulma yük değerlerini artırmıştır. En yüksek kritik burkulma yükü 0.15 mm hücre duvarı kalınlığına ve 10 mm hücre boyutuna sahip köpüklü numunede 2732.71 N değerine ulaşmıştır.

Hücre boyutunun artması ise hem köpüksüz hem de köpüklü numunelerde kritik burkulma yükünü düşürmüştür. En düşük kritik

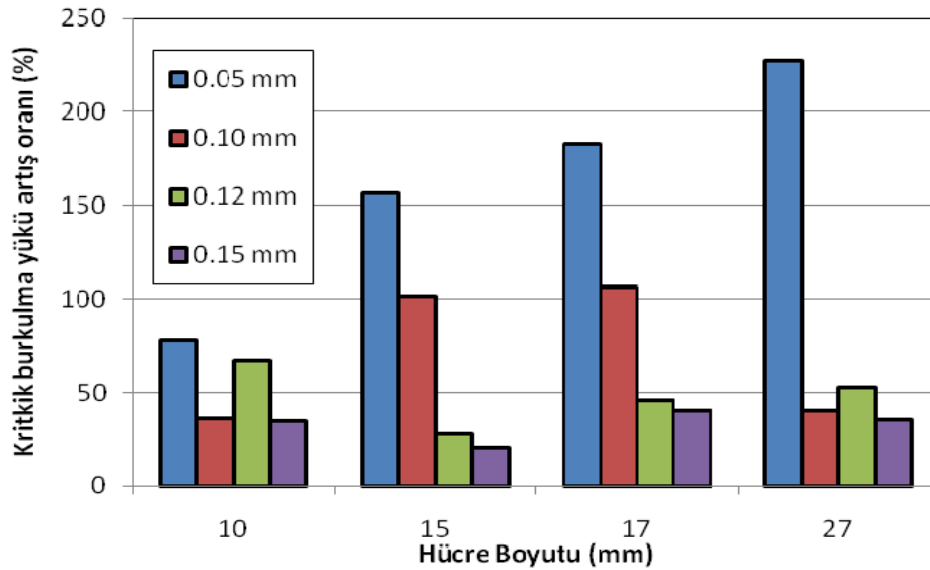
burkulma yükü 0.05 mm hücre duvarı kalınlığına ve 27 mm hücre boyutuna sahip köpüksüz numunede 4.57 N'dur.

Köpük ilavesi petek hücreli levhaların ağırlığında belli oranlarda artışa sebep olmuştur. Ancak bu durum aynı zamanda kritik burkulma yükünü arttırmıştır. Farklı hücre boyutu için ağırlıktaki ve kritik burkulma yükündeki % artış oranları sırasıyla Şekil 12 ve 13'de verilmiştir.



Şekil 12. Köpük ilavesinin toplam petek ağırlığına etkisi
(Figure 12. The effect of foam filler on the total honeycomb core weight)

4 hücre tipi için de 0.05 mm hücre duvarı kalınlığına sahip olan numunelerde köpük ilavesi neticesinde meydana gelen ağırlıkça artış oranı ortalaması %95'dir. Bu oran hücre duvarı kalınlığının artması ile azalmış ve 0.15 mm hücre duvarı kalınlığına sahip numunelerde %45'e gerilemiştir.



Şekil 13. Köpük ilavesinin kritik burkulma yüküne etkisi.
(Figure 13. The effect of foam filler on the critical buckling load)

Tespit edilen en yüksek ağırlıkça artış oranı hücre duvarı kalınlığı 0.05 mm olan 27 mm boyutuna sahip numunede yaklaşık olarak %122.92 iken bu durumun kritik burkulma yükündeki artış oranına etkisi yaklaşık olarak %227.13 olmuştur. Bu değer aynı zamanda en yüksek kritik burkulma yükü artış oranıdır. Benzer şekilde 0.05 mm hücre duvarı kalınlığına sahip numunelerde ortalama kritik burkulma yük artış oranı %160 iken bu oran 0.12 mm için %48 ve 0.15 mm için ise %32'ye düşmüştür.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada 0.05, 0.10, 0.12 ve 0.15 mm kalınlıklarına sahip alüminyum sac kullanılarak 10, 15, 17 ve 27 mm hücre boyutlarına sahip balpeteği sandviç numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin bir kısmına köpük ilave edilerek petek yapıllı kompozit levhaların basma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda köpüklü ve köpüksüz numunelerin ağırlıkları ve kritik burkulma yükleri tespit edilmiş, elde edilen sonuçlar hücre boyutu ve petek malzemesi kalınlığına göre karşılaştırılarak aşağıda sunulmuştur:

- Gerçekleştirdiğimiz deneyler neticesinde kritik burkulma yükünün petek hücre duvarı kalınlığının artırılması ile arttığı tespit edilmiştir.
- Hücre sayısı ve boyutunun dikkate alındığı deney sonuçları, hücre boyutunun artması ile kritik burkulma yükünün düştüğünü göstermiştir.
- Petek hücre boşluklarının köpük ile doldurulması işlemi tüm numuneler için köpüksüz numunelere göre kritik burkulma yükünü arttırmıştır.
- Petek hücre boşluklarının köpük ile doldurulması balpeteği sandviç yapınının toplam ağırlığını artırmıştır.
- Fakat özellikle küçük hücre duvarı kalınlığına sahip olan numunelerde (0.05 mm) ağırlıktaki bu artış oranı petek hücrelerin kritik burkulma yükündeki artış oranı ile kıyaslandığında oldukça düşük kalmıştır.
- Çalışmamız neticesinde bal peteği sandviç yapıların petek hücre boşluklarının yapınının ağırlığına negatif yönde etki etmeyecek köpük ya da benzeri dolgu malzemeleri ile doldurulmasının uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Balawi, S. and Abot, J.L., (2008). The effect of honeycomb relative density on its effective in-plane elastic moduli: An experimental study. *Composite Structures* 84, 293-299.
2. Belouettar, S., Abbadi A., Azari, Z., Belouettar, R., and Freres, P., (2009). Experimental investigation of static and fatigue behaviour of composites honeycomb materials using four point bending tests. *Composite Structures* 87, 265-273.
3. Othman, A.R. and Barton, D.C., (2008). Failure initiation and propagation characteristics of honeycomb sandwich composites. *Composite Structures* 85, 126-138.
4. Davalos, J.F., Qiao, P., Ramayanam, V., Shan, L., and Robinson, J., (2009). Torsion of honeycomb FRP sandwich beams with a sinusoidal core configuration. *Composite Structures* 88, 97-111.
5. Yeh, C.L., Chen, Y.F., Wen, C.Y., and Li, K.T., (2003). Measurement of thermal contact resistance of aluminum honeycombs. *Experimental Thermal and Fluid Science* 27, 271-281.
6. Foo, C.C., Chai, G.B., and Seah, L.K., (2007). Mechanical properties of Nomex material and Nomex honeycomb structure. *Composite Structures* 80, 588-594.

7. Chen, C., Lu, T.J., and Fleck, N.A., (2001). Effect of inclusions and holes on the stiffness and strength of honeycombs. *International Journal of Mechanical Sciences* 43, 487-504.
8. Jen, Y.M., Ko, C.W., and Lin, H.B., (2009). Effect of the amount of adhesive on the bending fatigue strength of adhesively bonded aluminum honeycomb sandwich beams. *International Journal of Fatigue* 31, 455-462.
9. http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_1050&prop=all&Page_Title=AA%201050
10. <http://www.matweb.com>, Material Property Data.