

Cam elyaf takviyeli poliüretan dış yüzü sandviç kirişlerin eğilme rijitliklerinin deneysel olarak belirlenmesi

İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ ^{a,*}, Özerk YILDIRIM^a

^{a,*} Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANTALYA 07070, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 16.07.2019
Kabul: 27.12.2019

Anahtar Kelimeler:

Kompozit,
Sandviç kiriş,
Poliüretan,
Titreşim testi,
Eğilme rijitliği

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
izzetufuk@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli poliüretan dış yüzü ve rijit köpük çekirdekli sandviç kiriş eğilme rijitliğinin konsol kiriş titreşim testi ile belirlenmesi konusu üzerinde durulmuştur. İmal edilen sandviç kiriş numuneleri üzerinde yapılan konsol kiriş titreşim deneylerinden elde edilmiş eğilme rijitliği değerleri bir sonlu elemanlar modeli ile ve 3 nokta eğilme deneyi ile elde edilmiş olan değerler ile mukayeseli olarak sunulmuştur. Elde edilen neticeler kompozit sandviç kiriş eğilme rijitliğinin konsol kiriş titreşim deneyi ile 3 nokta yükleme deneyinden daha yüksek hassasiyetle belirlenebildiğini göstermektedir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.03.08>

Experimental evaluation of flexural stiffness of sandwich composite beams having glass fiber reinforced polyurethane faces

ARTICLE INFO

Received: 16.07.2019
Accepted: 27.12.2019

Keywords:

Composite,
Sandwich beam,
Polyurethane,
Vibration test,
Bending rigidity

***Corresponding**

Authors

e-mail:
izzetufuk@gmail.com

ABSTRACT

This study is related to the determination of the mechanical properties of composite sandwich beams having glass fiber reinforced polyurethane outer faces and a rigid foam core. Cantilever beam vibration tests are conducted on the produced specimens and the bending rigidities obtained are presented in comparison with the results obtained using a finite element model, and 3 point bending tests. The results obtained show that the cantilever beam vibration test yields more accurate results than the 3 point bending test.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.03.08>

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bu çalışmada konsol kiriş titreşim ve 3 nokta eğilme testleri ile lifli kompozit yüzü ve rijit köpük çekirdekli sandviç kirişlerin eğilme rijitlikleri belirlenmiştir.

Sandviç paneller ile ilgili kapsamlı bir çalışma Davies [1] tarafından yapılmıştır. Daniel vd. [2] rijit köpük çekirdekli sandviç kirişlerin temel göçme modları olan batma (indentation), dış yüz buruşması (wrinkling) ve çekirdek göçmesi (core failure) için mevcut analitik çözümleri deney neticeleri ile

kıyaslamışlardır. Steeves ve Fleck [3] ve Tagarielli vd. [4], kompozit kırışlar üzerinde 3 nokta eğilme deneyleri yapmışlar ve elde edilen deneysel neticelerin sayısal ve analitik neticeler ile uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada alternatif matris malzemelerine kıyasla sağlığa zararının çok az olması ve aynı zamanda el yatırma yöntemine (takviye malzemesinin kalıba yatırılması ve açık kalıp üzerine reçine uygulanması) uygun olması gibi sebeplerden dolayı matris malzemesi olarak poliüretan (PU) reçine kullanılmasına karar verilmiştir. Literatürde poliüretan (PU) malzemenin matris malzeme olarak kullanıldığı az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların önemli bir kısmı PU'nun doğal lifler ile takviyesi ile ilgilidir [8]. Rozman vd. [5] imal ettikleri palmiye lifi takviyeli PU numunelerin çekme özelliklerini belirlemişlerdir. Silva vd. [6] ve El-Shekeil vd. [7] benzer şekilde doğal lifler ile takviye edilmiş PU matrisli kompozitlerde kırılma tokluğu konusunu incelemişlerdir. Seydibeyoğulları vd. [8] ise nano-lif katkının PU matrisin elastisite modülünü %3000 kadar artırdığını bildirilmişlerdir. Husić vd. [9] ve Reis vd. [9] ise cam elyaf takviyeli PU kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi konusunda çalışmışlardır. Mohamed vd. [11] cam elyaf takviyeli poliüretan dış yüzü sandviç yalıtım panelleri üzerinde eğilme deneyleri yapmışlar ve enerji tüketim hesaplamaları yapmışlardır.

Bu çalışmada, kompozit kırış eğilme rijitlikleri konsol kırış titreşim ve 3 nokta eğilme deneyleri ile belirlenmiştir. İlgili titreşim deneyleri MEMS tipi denilen dijital bir ivmeölçer kullanılarak yapılmıştır. Albarbar [12] bu tip dijital ivmeölçerlerin serbest titreşim frekansı elde etmek için kullanılabileceğini göstermiştir. Benzer bir ivme ölçer Varanis vd. [13], [14] ve Çağdaş ve Aliyev [15] tarafından titreşim deneylerinde kullanılmıştır. Elde edilen deney neticelerinin mukayese edilebilmesi için formülasyonu Hinton ve Owen [16] tarafından verilmiş kayma deformasyonlu bir izoparametrik kırış elemanı kullanılmış ve Çağdaş ve Aliyev [15] tarafından da kullanılmış olan bir program yazılmıştır.

Son olarak elde edilen deneysel neticeler kayma deformasyonlu kırış elemanları kullanılarak oluşturulmuş bir sonlu elemanlar modeli ile mukayeseli olarak sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Malzeme Özellikleri (Material Properties)

Seçilen çekirdek malzemesi yoğunluğu 23.4 kg/m³ olan Wallboard marka bir rijit köpük yalıtım malzemesidir. Bu malzeme için kayma modülü değeri Çağdaş ve Aliyev [15] tarafından ASTM C393 [17] standardına göre yapılmış olan sandviç kırış 3 nokta eğilme testleri ile belirlenmiş ve $G_{12}^{XPS}=4.3$ MPa olduğu bildirilmiştir.

Takviye malzemesi olarak özellikleri Şekil 1'de gösterilen KCR-2(E) kodlu cam elyaf fitil kullanılmış ve takviye elastisite modülü $E_f=7.2 \times 10^4$ MPa ve yoğunluğu 2.54 gr/cm³ olarak alınmıştır, [18].

KCR2(E):							
KCR2(E) multi end rovning is from E-glass with,							
<ul style="list-style-type: none"> • Good unwinding, • Good chopability and uniform dispersion, • None of static electricity, • Fast wetting-out, • Low resin consumption, • Easy application on vertical surfaces properties for spray-up systems in high quality mouldings. The silane based sizing is compatible with, general purposed polyester resins, vinyl ester ve poliurethane resins. 							
Code for ordering	KCR2(E)-2400 (+Packaging Code)						
Identification	KCR2(E)-2400 (02)-13-(60) (+Packaging Code)						
Product Name	KCR2(E)						
Roving Tex Count	2400						
CE Sizing Code	02						
Filement Diameter	13						
Split Tex	60						
PRODUCT SPECIFICATION:							
Glass Type	E						
Roving Tex (g/1000m)	2400 ± 3%						
Split Tex (g/1000m)	Norm. 60						
Filement Diameter (µ)	Norm. 13						
Moisture content (%)	max. 0.1						
Sizing Content (%)	0.90 ± 0.15						
Sizing Type	Silane						
Resin Compatibility	Polyester, Vinylester, Poliurethane						
Wet-out	Very fast						
BOBBIN MEASUREMENTS AND PACKAGING:							
Inner Diameter (mm)	External Diameter (mm)	Weight (kg)	Height (mm)				
100	300	Norm. 23	260				
Packaging	Number of bobbins per pallet	Number of layers per pallet	Pallet Dimensions (cm)	Pallet Height (cm)	Pallet Net Weight (kg)	Number of ends	Number of bobbins per layer
Bulk Packaging (C)	48	4	98 x 128 (E)	125	1100	0-1-2-3-4	12

Şekil 1. KCR2(E) kodlu cam elyaf fitil için üretici şirket tarafından verilmiş bilgiler.

(Figure 1. The properties of the glass fiber roving having code KCR2(E) given by the production company)

Kullanılan Mikrokim marka poliüretan (PU) reçinenin üretici firma tarafından sunulmuş olan teknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Kullanılan çift bileşenli poliüretan reçine malzemesinin teknik özellikleri

(Table 1. The technical properties of the two part polyurethane resin used)

Sertlik	75-80
Bağlayıcı Madde	Poliüretan reçine
Yoğunluk	Ana malzeme 1.60 gr/cm ³ / sertleştirici 1.22 gr/cm ³
Karışım Oranı	6/1 kg ağırlıkça
Uygulama Süresi (23 °C) de	30 Dakika
Katılma Başlangıcı	25 °C /+40 °C ısısında 45. dakika
Isı dayanıklılığı	40 °C/+280 °C
Kür süresi (20 °C)	5-7 saat
Çevreye uyum	Çevreye olumsuz etkisi yok
Sağlığa uygunluk	Sağlığa zararlı değildir
UV dayanımı	UV dayanıklıdır

2.2. Numune Özellikleri (Specimen Properties)

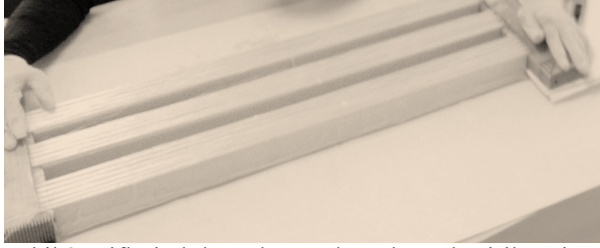
Kırış uzunluğu $L=700$ mm, kırış genişliği $b=50$ mm, ve çekirdek yüksekliği $h_c=50$ mm olarak alınmıştır. E-camı lifler Şekil 2'de gösterildiği şekilde

kılavuzlar yardımıyla rijit köpük çekirdek üzerine yerleştirilmiş ve üzerlerine PU reçine spatula ile sürülmüştür. İmal edilen numunelerin ağırlıkları ve dış yüz kalınlıkları, t_d , Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. İmal edilen numunelerin özellikleri.

(Table 2. Properties of the specimens produced)

Numune	ağırlık(gr)	t_d (mm) (ortalama değer)
1	323	2.54
2	321	2.54
3	301	2.36

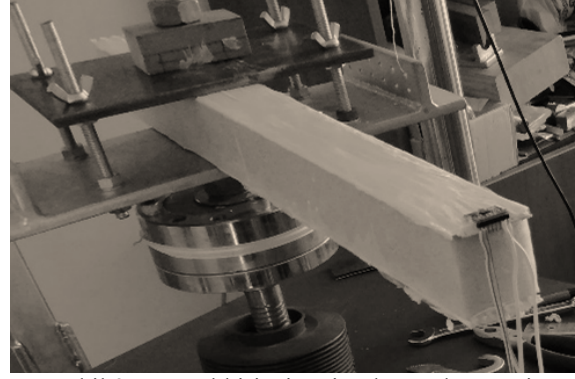


Şekil 2. Liflerin kılavuzlar yardımıyla yerleştirilmesi
(Figure 2. Placement of the rovings using guides)

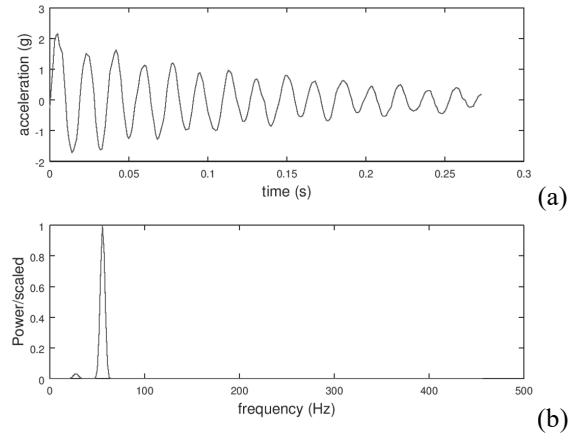
İmal edilen bütün numunelerde eşdeğer cam elyafı katman kalınlığı, t_f^* , değerlerinin eşit olması için her bir dış yüzde 5 mm aralıklı toplam 10 sıra fitil kullanılmıştır. PU katkısı ihmal edildiğinden, lif hacim oranı hesaplanmamıştır.

2.3. Titreşim deney düzeneği (The vibration test setup)

Konsol kiriş titreşim deney düzeneğinde ADXL345 marka 3 eksenli dijital bir ivmeölçer kullanılmış ve numuneler iki metal plaka arasında Şekil 3’de gösterildiği şekilde mesnetlenmiştir. Deneyler sırasında konsol kiriş, serbest ucuna metal bir çekiç ile vurularak tahrik edilmiş ve örnekleme frekansı 912 Hz olacak şekilde toplam 250 ivme-zaman verisi kaydedilmiştir. Elde edilen ham verilerin FFT analizleri Welch [19] tarafından geliştirilmiş olan Welch Yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Örnek bir FFT analiz neticesi Şekil 4’de gösterilmektedir. Şekil 3(a)’da gösterilen zaman-ivme verilerinden Şekil 3(b)’de gösterildiği şekilde temel titreşim frekansı elde edilmiştir. Bu çalışmada incelenen kirişlerden daha kısa ve/veya rijit kiriş numuneleri için örnekleme frekansının artırılması gerekebileceğini not ediniz.



Şekil 3. Konsol kiriş titreşim deney düzeneği
(Figure 3. Cantilever beam vibration test setup)



Şekil 4. Sandviç kirişin titreşim cevabı (a) zaman, ve (b) frekans tanım alanlarında
(Figure 4. The vibration behavior of the sandwich beam (a) in time and (b) in frequency domains)

FFT ile elde edilen sönümlü titreşim hali için açılmalık frekans, ω_d , değerleri kullanılarak sönümsüz titreşim hali için açılmalık frekans, ω_n , değerleri elde edilmiştir.

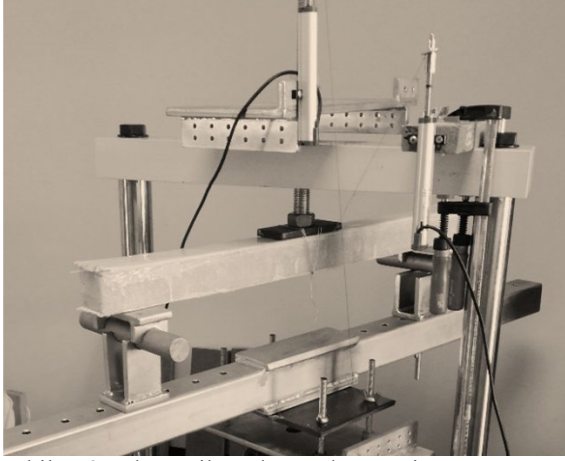
$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \xi^2}} \quad (1)$$

Burada ξ , az sönümlü sistemlerde sönüm oranıdır ve Chopra [20] tarafından tarif edilmiş olan logaritmik azalma yöntemi ile hesaplanmıştır.

2.4. 3 nokta eğilme deney düzeneği (3 point bending test setup)

Rijit bir kiriş eğilme düzeneği, deplasman kontrollü bir basma-çekme deney cihazı (model: Rantek-100) içine Şekil 5’te gösterildiği şekilde yerleştirilmiştir. 100 kN kapasiteli bir yük hücresi (model: Puls Elektronik HT1-W) ve 0.01 mm hassasiyetli bir potansiyometrik cetvel (model: Opkon-100) veri toplama sistemine (model: TESTART-Testbox 1001)

bağlanmış ve numuneler ASTM C393 standardı göz önünde bulundurularak 3.6 mm/dk hızla yüklenmiştir. Ayrıca, batma hasarını engellemek için kiriş ortasına 100 mm boyunda çelik bir plaka yerleştirilmiştir.



Şekil 5. 3 nokta eğilme deney düzeneği
(Figure 5. 3 point bending test setup)

2.5. Sonlu Elemanlar Modeli (The Finite Element Model)

Sandviç kiriş titreşim analizleri Çağdaş ve Aliyev [15] tarafından metal yüzlü sandviç kirişler için geliştirilmiş olan toplam 6 adet 3 düğümlü, 1. mertebeden kayma deformasyonlu izoparametrik kiriş elemanı kullanılarak oluşturulmuş bir sonlu elemanlar modeli ile yapılmıştır. İvmeölçer ve bunu kiriş ucuna yapıştırmakta kullanılan yapıştırıcı ağırlığı yaklaşık 2 gr olarak ölçülmüş ve modelde kiriş serbest ucuna konsantre kütle olarak ilave edilerek göz önünde bulundurulmuştur. Aynı model sınır şartları değiştirilerek 3 nokta yükleme deneyini modellemeye de kullanılmış ve kiriş orta noktasında 100 mm genişlikte düzgün yayılı yük etki ettiği varsayımı yapılmıştır.

Sayısal modelde aksenal rijitlik AE, eğilme rijitliği EI, ve kayma rijitliği GA şöyle hesaplanmıştır;

$$\begin{aligned} EA &\approx 2bt_f^* E_f, \\ EI &\approx \frac{E_c bt_f^*}{6} \left[3h_c^2 + (6h_{c+4}) (t_f^*)^2 \right], \\ GA &\approx bh_c G_{12}^{XPS}. \end{aligned} \quad (2)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

İmal edilen kompozit sandviç kiriş numuneler üzerinde konsol kiriş titreşim ve 3 nokta eğilme deneyleri yapılmıştır.

3.1. Konsol Kiriş Titreşim Deneyleri (Cantilever Beam Vibration Tests)

Numuneler deney düzeneğine $L=500$ mm uzunluğunda konsol olacak şekilde mesnetlenmiş ve uçlarına ADXL345 marka bir ivmeölçer yerleştirilerek serbest titreşim frekansları elde edilmiştir. Her bir numune için 3 deney yapılmış ve ölçülen frekans değerleri sonlu elemanlar modeli ile elde edilmiş sayısal neticeler ile beraber Çizelge 3’de sunulmuştur. Çizelge 3’de ‘SE’ alt indisi sonlu eleman modeli ile elde edilmiş neticelerini göstermektedir ve bağıl standart sapmaları en düşük olan ilk 3 deney neticesinin ortalaması alınmıştır. Sönümsüz titreşim frekansını değerleri, $\omega_{n,deneysel}$, Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Fark şöyle hesaplanmıştır;

$$|Fark| = \left| \frac{\omega_{n,SE} - \omega_{n,deneysel}}{\omega_{n,SE}} \right| \times 100 \quad (3)$$

Çizelge 3’den görülebileceği üzere, sonlu elemanlar modeli ile titreşim deneyi neticeleri uyumludur ve en büyük fark %4’ün altındadır.

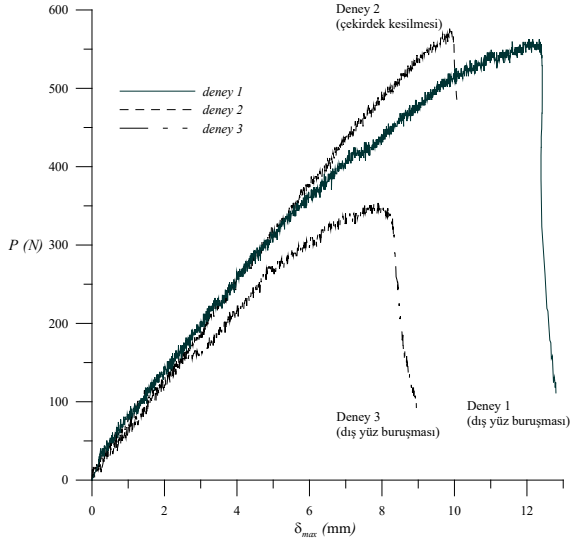
Çizelge 3. $L=500$ mm uzunluktaki sandviç kompozit kiriş numuneleri için elde edilmiş deneysel ve sayısal neticeler.

Table 3. The numerical and experimental results sandwich composite beam specimens with $L=500$ mm)

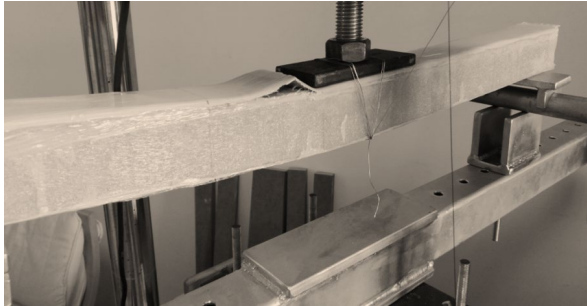
Num	$\omega_{d,deneysel}$ (Hz)	Bağıl std.sap (%)	Sönü m oranı ζ (%)	$\omega_{n,deneysel}$ (Hz)	$\omega_{n,SE}$ (Hz)	Fark (%)
1	58.60 8	0.000	4.908	58.68 1	59.43 4	1.28 3
2	58.15 0	0.793	4.080	58.20 1	59.61 4	2.42 8
3	59.24 0	0.000	5.156	59.32 0	61.51 4	3.69 9

3.2. 3 Nokta yükleme deneyleri (3 point bending tests)

Numuneler Şekil 5’te gösterilen deney düzeneğine mesnet orta noktaları arası mesafe 600 mm olacak şekilde yerleştirilmiş ve kiriş ortasındaki 100 mm genişlikteki çelik plaka vasıtasıyla yüklenmişlerdir. Elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 6’da gösterilmektedir. Çizelge 4’ten görülebileceği üzere, eğilme rijitliğindeki en büyük fark %12 civarındadır. Eğilme rijitlikleri yük-deplasman eğrisinin doğrusal kısmının eğiminden elde edilmiştir ve hata oranı sonlu elemanlar modeli kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. 3 nokta eğilme deneyleri için yük-deplasman eğrileri.
(Figure 6. Load-displacement curves for the 3 point bending tests)

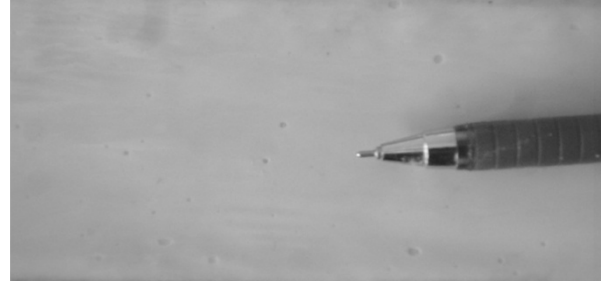


Şekil 7. Dış yüz buruşması sebebiyle göçmüş numune. (Figure 7. Specimen failure due to due to wrinkling)

Çizelge 4. Kompozit sandviç kirişler için 3 nokta eğilme deney neticeleri, $L=600$ mm.
(Table 4. 3 point bending test results for composite sandwich beams with $L=600$ mm.)

Numune	Göçme sebebi	$N_{f,deney}$ (N)	Eğilme rijitliği için fark (%)
1	Dış yüz buruşması	562.566	4.577
2	Çekirdek kesilmesi	572.672	11.417
3*	Dış yüz buruşması	353.709	-9.580

Numunelerin göçme yükleri ve eğilme rijitliklerinde sayısal modelden sapmalar Çizelge 4’de sunulmuştur. Buna göre, çekirdek kesilmesi ile göçen 2. numune dışındaki numuneler beklenildiği üzere dış yüz buruşmasına bağlı olarak göçmüşlerdir; bkz. Şekil 7. PU matris malzemesi ile ilgili temel problemin PU’nun kür alması sırasında açığa çıkan CO₂ gazına bağlı olarak gözenekli bir yapı oluşması olduğu düşünülmektedir; bkz. Şekil 8. Bu durum göz önünde bulundurularak, ileride yapılacak çalışmalarda PU reçine karışımı yapılmadan önce ve döküm öncesinde vakum uygulanması planlanmaktadır.



Şekil 8. Poliüretan matriste oluşan boşlukları gösteren fotoğraf.
(Figure 8. Photograph showing the voids in the polyurethane matrix)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışma neticesinde aşağıda maddeler halinde özetlenmiş neticeler elde edilmiştir.

- i. Sonlu elemanlar modeli ile titreşim deneyi neticeleri arasında, özellikle $L=550$ mm için %4’den az bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen deney neticeleri, tahribatsız bir yöntem olan konsol kiriş titreşim deneyinin kompozit sandviç kiriş eğilme rijitliğini belirlemek amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir.
- ii. Sayısal model ile 3 nokta eğilme deneyinden elde edilmiş olan orta nokta deplasmanları arasındaki farkın %10 civarında bir değer almış olması rijitliği sağlayan esas kompozit bileşeni olan cam elyafının tasarlandığı şekilde rijitliğe katkıda bulunduğu göstermektedir. 1 ve 2 numaralı numuneler beklenenden sırasıyla yaklaşık %5 ve %11 daha yüksek eğilme rijitliği göstermiştir. 3 numaralı numunenin ise, dış yüz ve çekirdek köpükteki kusurlardan dolayı, beklenenden yaklaşık % 10 kadar düşük eğilme rijitliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin numunelerdeki kusurlar olduğu düşünülmektedir.
- iii. Elde edilen bu neticeler ışığında, poliüretan reçinesinin yüksek rijitlik gerektiren uygulamalarda alternatif bir matris malzemesi olarak tercih edilebileceği düşünülmektedir. Ancak, PU reçinesinin gözenekli yapısı sebebiyle yüksek dayanım gerektiren uygulamalar için uygun olamayacağını not ediniz.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma Akdeniz Üniv. BAP Birimi tarafından 2013.06.0102.030 ve FYL-2016-1424 no’lu proje destekleri ile desteklenmiştir. Yazarlar BAP Birimi çalışanlarına, Pakmetal A.Ş.’den Sn. Harun TAYLAN Bey’e ve uluslararası değişim programı öğrencileri Noka Hamdani, Ryan, ve Wahyu’ya yardım ve destekleri için teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J.M. Davies. *Lightweight Sandwich Construction*. İngiltere: Blackwell Science, 2001.
- [2] I.M. Daniel et al. "Failure modes of composite sandwich beams," *International journal of damage mechanics*, vol. 11.4 (2002): 309-334.
- [3] C.A. Steeves, N.A. Fleck, "Collapse mechanisms of sandwich beams with composite faces and a foam core, loaded in three-point bending. Part II: experimental investigation and numerical modelling," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 46, pp. 585-608, 2004.
- [4] V.L. Tagarielli, N.A. Fleck, V.S. Deshpande, "Collapse of clamped and simply supported composite sandwich beams in three-point bending," *Composites: Part B*, Vol. 35(6-8), pp. 523-53, 2005.
- [5] H.D. Rozman, G.S. Tay, A. Abubakar, R.N. Kumar, "Tensile properties of oil palm empty fruit bunch-polyurethane composites," *European Polymer Journal*, vol. 37: pp. 1759-1765, 2001.
- [6] R.V. Silva et al. "Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites," *Composites science and technology*, vol. 66(10), pp. 1328-1335, 2006.
- [7] Y.A. El-Shekeil et al., "Influence of fiber content on the mechanical and thermal properties of Kenaf fiber reinforced thermoplastic polyurethane composites," *Materials & Design*, vol. 40, pp. 299-303, 2012.
- [8] M.Ö. Seydibeyoğlu, K. Oksman, "Novel nanocomposites based on polyurethane and micro fibrillated cellulose," *Composites Science and Technology*, vol. 68(3-4)pp. 908-914, 2008.
- [9] S. Husić, I. Javni, and Z.S. Petrović, "Thermal and mechanical properties of glass reinforced soy-based polyurethane composites," *Composites Science and Technology*, vol. 65(1), pp. 19-25, 2005.
- [10] J.M.L. Reis, F. L. Chaves, and H. S. da Costa Mattos. "Tensile behaviour of glass fibre reinforced polyurethane at different strain rates," *Materials & Design*, vol. 49, pp. 192-196, 2013.
- [11] M. Mohamed, R. Hussein, A. Abutunis, Z. Huo, K. Chandrashekhara, L.H. Sneed. "Manufacturing and evaluation of polyurethane composite structural insulated panels," *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 18(6), pp. 769-789, 2016.
- [12] A. Albarbar, A. Badri, J.K. Sinha, and A. Starr, "Performance evaluation of MEMS accelerometers," *Measurement*, vol.42(5), pp. 790-795, 2009.
- [13] M. Varanis, A.L. Silva, P.H.A. Brunetto, and R.F. Gregolin, "Instrumentation for mechanical vibrations analysis in the time domain and frequency domain using the Arduino platform," *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 38(1),pp.1301/1-10, 2016.
- [14] M. Varanis, A.L. Silva, and A.G. Mereles, "On mechanical vibration analysis of a multi degree of freedom system based on arduino and MEMS accelerometers," *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol.40(1), 2018.
- [15] İ.U. Çağdaş, R. Aliyev, "Metal yüzü sandviç konsol kirişlerde numune uzunluğunun ölçülen temel titreşim frekansına etkisi", Hakem değerlendirmesinde, 2019.
- [16] E. Hinton, D.P. Owen, *Finite element programming*, London: Academic Press, 1977.
- [17] ASTM International. *ASTM C 393/C393M-06 - Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure*, West Conshohocken, PA, 2006.
- [18] ASTM International, *ASTM D2343-17 - Standard Test Method for Tensile Properties of Glass Fiber Strands, Yarns, and Rovings Used in Reinforced Plastics*, West Conshohocken, PA, 2017.
- [19] P. Welch, "The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms," *IEEE Transactions on audio and electroacoustics*, vol. 15(2), pp. 70-73, 1967.
- [20] A.K. Chopra, *Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering*. Prentice Hall, 1995.

İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Lisans ve yüksek lisans eğitimini Gazi Üniv.Müh.Fak.İnş.Müh ve doktorasını Güney Afrika Cumhuriyetinde bulunan UKZN Makine Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Halen Akdeniz Üniv. Müh.Fak.İnş.Müh. Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Yapısal stabilite, sonlu elemanlar yöntemi, ve kompozit malzemelerin mekaniği konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

Özerk YILDIRIM

Lisans ve yüksek lisans eğitimini Akdeniz Üniv.Müh.Fak.İnş.Müh.Bölümünde tamamlamıştır. Halen Antalya İMO da çalışmaktadır.