

BİO ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ YAPILARIN KENAR BASMA MUKAVEMETİ DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Tuğberk ÖNAL^{1*}, Şemsettin TEMİZ²

¹Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan MES MYO, Makine ve Metal Tek. Bölümü., Malatya, 44400, Türkiye

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44400, Türkiye

Geliş tarihi: 15.03.2021 Kabul tarihi: 24.05.2021

ÖZET

Sandviç yapılar, farklı kullanım alanlarına bağlı olarak çeşitli basma yüklerine maruz kalabilmektedir. Yapının basma yükü altındaki gerilme değerleri ve hasar tiplerinin belirlenmesi tasarım açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bio çekirdekli sandviç kompozit malzemelere ASTM C364 standardına uygun olarak kenar basma testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda çekirdek kalınlığı, dış yüzey tabaka sayısı ve oryantasyon diziliminin maksimum hasar yükü ve hasar şekli üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çekirdek yapıda kullanılan balsa odunlarının kalınlığı sırasıyla 4, 6, 8 ve 10 mm olarak seçilmiş, dış yüzeylerde ise 8 ve 12 tabakalı 0°, 0/90° ve ±45° oryantasyon dizilime sahip cam elyaf-epoksi kompozitler seçilmiştir. Sandviç malzemeler vakum infüzyon yöntemi (VARTM) kullanılarak balsa odunu ve cam elyaf takviyeli kompozitler birlikte üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda gözlemlenen belirgin hasar tipleri sırasıyla; ara yüzey ayrılması, burkulma ve çekirdek hasarıdır.

Anahtar Kelimeler: Sandviç kompozit, Balsa, Cam elyaf/epoksi, Kenar basma, Vakum infüzyon.

INVESTIGATION OF EDGEWISE COMPRESSION STRENGTH OF BIO-CORE SANDWICH STRUCTURES

ABSTRACT

Sandwich structures can be exposed to various compression loads depending on their different usage areas. Determining the stress values and damage types of the structure under compression is important in terms of design. In this study, edgewise compression tests were applied to bio-core sandwich composite materials in accordance with ASTM C364 standard. As a result of the tests, the effects of core thickness, number of outer surface layers and orientation sequence on the maximum damage load and damage pattern were examined. The thickness of the balsa woods used in the core structure was chosen as 4, 6, 8 and 10 mm, on the outer surfaces, glass fiber-epoxy composites with 8 and 12 layers of 0°, 0/90° and ±45° orientation were selected. Sandwich materials were produced together using the vacuum infusion method (VARTM), balsa wood and glass fiber reinforced composites. As a result of the tests, the obvious damage types observed are; interface separation, buckling and core damage.

Keywords: Sandwich composite, Balsa, Glass fiber/epoxy, Edgewise compression, Vacuum infusion.

1. Giriş

Sandviç malzemeler, uzay endüstrisi, havacılık, kara taşıtları, denizcilik ve çeşitli mühendislik alanlarında ihtiyaç duyulan mekanik özellikleri sağlamak amacıyla farklı malzemelerin bir araya getirilmesi ile elde edilir [1]. Bu yapılar, üç ana elemandan meydana gelmektedir. Dış yüzeylerde ince ve yüksek mukavemetli malzemeler seçilmektedir. Çekirdek olarak adlandırılan orta kısımda ise düşük yoğunluklu, kalın ve düşük mukavemetli yapı bulunmaktadır. Ayrıca bu iki elemanı bir arada tutan

* e-posta: tugberk.onal@ozal.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3491-7939> (Sorumlu Yazar)

e-posta: semsettin.temiz@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6737-3720>

yapıştırıcı eleman mevcuttur [2]. Dış yüzeylerde, yüksek “dayanım/ağırlık” oranı, yüksek korozyon direnci ve ısı direnç gibi üstün özelliklerinden dolayı fiber takviyeli kompozit malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir. Çekirdek elemanda ise farklı geometri ve yoğunluktaki çeşitli malzeme türleri kullanılmaktadır. Bunların başında sentetik malzemelerden imal edilen poliüretan ve vinilester köpük, bio kaynaklı balsa odunu ve balpeteği geometri yapılar gelmektedir [3].

Lifli ve gözenekli bir yapıya sahip olan balsa ağacı, endüstriyel kullanımda yoğunluğu 40-380 kg/m³ aralığında değişen, Orta ve Güney Amerika yağmur ormanlarında yetişen tropikal bir türdür. Balsa odununun mekanik özellikleri, büyük ölçüde yoğunluğa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte ağaç yaşı, yaşam alanı ve kesim yönü de yapı mukavemetini doğrudan etkilemektedir. Ağaç, tranelere ve kapalı bir hücre yapısına sahip olmasından dolayı düşük yoğunluklu bir özellik göstermektedir. [4, 5, 6].

Vadake ve Carlsson [7] çekirdek yapıda PVC köpük kullanılan sandviç malzemelere kenar basma testleri uygulamıştır. Numune boyu, çekirdek yoğunluğu ve kalınlığı değişiminin kritik hasar yükü ve hasar mekanizması üzerindeki etkilerini incelemiştir. Silva ve Kyriakides[8] farklı kesim yönlerinde hazırlanan balsa numunelere eğilme ve basma testleri uygulamıştır. Yapının radyal ve teğetsel yönlerde kesildiğinde daha düşük mukavemetli ve yumuşak olduğunu gözlemiştir. “Dayanım/ağırlık” oranı göz önüne alındığında, sandviç çekirdekte kullanılan diğer malzeme türleri ile karşılaştırılabilir olduğunu belirlemiştir. Tagarielli ve ark. [9] sandviç yapılara farklı şekil değiştirme hızı değerlerinde tek eksenli basma yükü uygulamıştır. Yapılan çalışma sonucunda şekil değiştirme hızına bağlı olarak basma dayanımı değerlerini belirlemiştir. Borrega ve Gibson [5] yoğunluğu 60 ile 380 kg/m³ arası değişen balsa odunlarına basma, eğilme ve burkulma testleri uygulamıştır. Çalışma sonucunda balsa yoğunluğunun mekanik özellikler üzerinde doğrudan etkili bir parametre olduğunu belirlemiştir. Karaduman ve Önal [10] çekirdek yapıda polyster köpük, balsa odunu ve polipropilen balpeteğinin kullanıldığı sandviç kompozitlere düşük hızlı darbe, eğilme ve basma testleri uygulamıştır. Yapının dış yüzeylerinde kullanılan kompozit malzemelerdeki jüt oranı ve çekirdek kalınlığı değişiminin sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Aslan ve ark. [11] dış yüzeylerde cam ve karbon elyaf, çekirdek elemanda ise alüminyum bal peteği, polipropilen bal peteği ve polietilen terafitalat köpük kullanılan sandviç numunelere eğilme kenar basma ve yüzey basma testleri uygulamıştır. Çekirdek yapıda kullanılan malzemelerin sonuçlar üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Solmaz ve Çelik[12] çekirdek yapıda ABS ve PLA termoplastiklerin kullanıldığı, 3D yazıcıda üretimi yapılan balpeteği yapı sandviç malzemelere basma testleri uygulamıştır. Yapının alt ve üst yüzeylerinde cam fiber takviyeli kompozit malzemeler kullanmıştır. Sonuç olarak PLA'nın ABS malzemesine göre daha üstün özelliklere sahip olduğunu belirlemiştir. Kıyak ve Kaman [13] dış yüzeylerde ve çekirdek yapıda karbon fiber takviyeli kompozitlerin kullanıldığı sandviç yapılara kenar basma testleri uygulamıştır. Çekirdek malzemedeki kullanılan kompozitler kare kesitli olarak hazırlanmış ve numune yüksekliği ve yoğunluğunun sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. ANSYS programında kritik burulma yükünü hesaplamış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Susainathan ve ark. [14] farklı enerji değerlerinde darbe ön hasarı uygulanan kontrplak çekirdekli sandviç numunelere basma testleri uygulamış ve hasarsız numuneler ile karşılaştırmıştır. Osmanoğlu ve ark. [15] tek ve çift eksenli karbon fiber kompozitlerin kullanıldığı sandviç yapılara eğilme ve basma testleri uygulamıştır. PVC köpük çekirdek kalınlığı ve kompozit oryantasyon dizilimi değişiminin sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çekirdek kalınlığı artışının basma ve eğilme dayanımını düşürdüğünü belirlemiştir. Najafî ve Eslami-Farsani [16] köpük çekirdekli sandviçlerin yapısal alandaki kullanımlarını arttırmak amacıyla çekirdek elemana hibrit bir model önermiştir. Buna göre, köpük elemanın alt ve üst yüzeylerine mantar ve aynı zamanda yapı içerisinde kafes elemanı birlikte kullanmıştır. Üretilen numunelere mekanik testler uygulamıştır. Kenar basma testleri sonucu elde edilen sonuçlar incelendiğinde yeni tasarlanan modelin yük taşıma kapasitesinin geleneksel köpük çekirdekli sandviçlere göre arttığı belirlenmiştir. Cui ve ark. [17] jeopolimer çekirdekli sandviç kompozit malzemelerin üç nokta eğilme ve kenar basma deneyimlerini incelenmiştir. Numune boyunun arttırılmasının kritik hasar yükü değerini düşürdüğünü belirlemiştir. Ashraf ve Isaac [18] keten ve cam fiber kumaşların farklı sıralarda istiflenerek üretildiği balpeteği çekirdekli sandviç yapıların mekanik özelliklerini incelemiştir. Sadece cam fiber ve keten kumaşların kullanıldığı yapılarla hazırlanan numuneler hibrit modeller ile karşılaştırılmıştır. Yang ve

ark. [19] bambu ahşabının dayanımı arttırmak için bazalt lifli kompozitlerin ve bambu ahşabının kullanıldığı sandviç yapılara eğilme, kenar basma, çekme ve kayma testleri uygulamıştır. Yapılan tesler sonucunda bambu ahşabının kenar basma dayanımı, sandviç olarak kullanıldığında %21 arttığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada, vakum infüzyon yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen sandviç kompozit malzemelere kenar basma testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda çekirdek kalınlığı değişimi, dış yüzey tabaka sayısı ve oryantasyon açısı değişiminin maksimum hasar yükü ve hasar şekli üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çekirdek elemanda 170 kg/m^3 yoğunluklu 4, 6, 8 10 mm kalınlığındaki balsa odunları kullanılmıştır. Dış yüzeyleri oluşturan kompozit malzemeler 330 gr/m^2 tek eksenli, 600 gr/m^2 0/90° ve $606 \text{ gr/m}^2 \pm 45^\circ$ iki eksenli cam elyaf kumaşlar kullanılmıştır. Kompozit yapının matris elemanı olarak epoksi reçine seçilmiştir. Testler ASTM C364 standardına uygun olarak İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan 100kN kapasiteli Shimadzu marka test cihazında yapılmıştır. Standartta belirtildiği gibi testler sırasında çeneler ile numunelerin temas ettiği bölümlerde ara yüzey ayrılmalarından dolayı erken hasarların oluşmaması için numunelerin alt ve üst yüzeylerine Şekil 1’de görüldüğü gibi kelepçe şeklinde aparatlar takılmıştır [20].



Şekil 1. Kenar basma test düzeneği.

2. Materyal ve Metot

Test numuneleri cam elyaf kumaşların arasına balsa odunu yerleştirilerek vakum infüzyon yönteminde birlikte üretilmiştir. Dış yüzeyler ile çekirdek eleman arasında ayrıca bir yapıştırıcı kullanılmamıştır. VARTM, Vakum basıncı altında elyaflara reçine emdirilmesi esasına göre üretimin gerçekleştirildiği bir yöntemdir [21]. Sandviç numunelerin üretiminde, vakum altında hazırlanan balsa ve cam elyaf malzemelere epoksi ve sertleştirici karışımı emdirilmiştir. Karışım, Toplam kumaş ağırlığının yaklaşık %70-75’i kadar reçine ve sertleştirici ağırlıkça 100:25 oranında birleştirilerek hazırlanmıştır. Matris elemanı olarak MGS laminasyon epoksi reçine L160 ve epoksi reçine sertleştirici H160 seti kullanılmıştır. Sıvı karışım, pompa ile vakum ortamına aktarılmış ve fiberlerin tamamı ıslanana kadar yaklaşık 0,93 bar basınçta infüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Üretimde kullanılan sarf malzeme, balsa odunu ve cam fiber kumaşların dizilimi.

Şekil 2’de üretim sonrası sandviç plakanın sarf malzemelerden ayrılması için kullanılan soyma kumaşı, reçine akışını kolaylaştırmak için kullanılan akış filesi ve vakum torbasının dizilimi verilmiştir. Üretim sonrası alt ve üst yüzeyleri oluşturan kompozit malzemelerin kalınlığı 8 ve 12 tabakalı numuneler için sırasıyla 2 mm ve 3 mm dir. Bununla birlikte sandviç yapıyı oluşturan elemanların mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

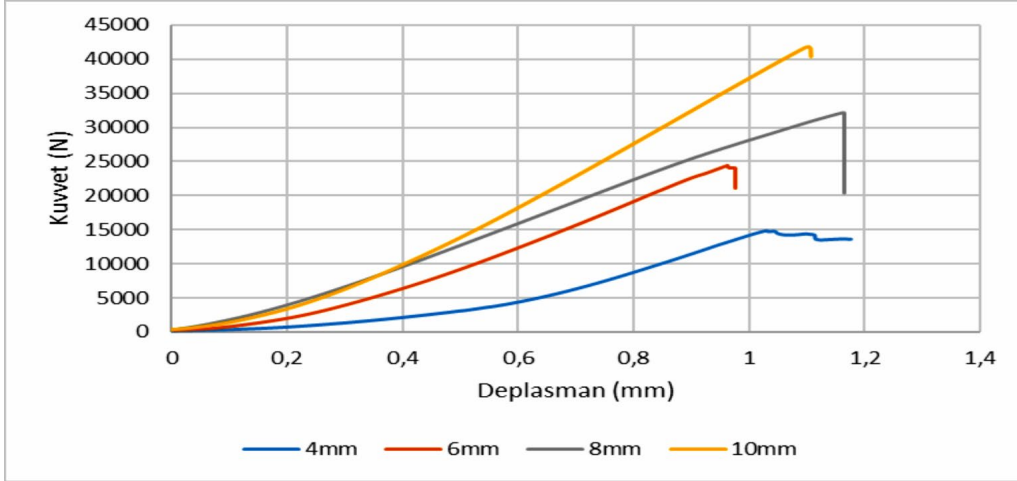
Çizelge 1. Sandviç yapıda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.

	Yoğunluk (kg/m ³)	Çekme mukavemeti (MPa)	Basma mukavemeti (MPa)	Kayma mukavemeti (MPa)
Balsa	170	23,16	17,32	3,29
0° cam fiber kompozit	1841	848,5	300,52	59,98
0/90° cam fiber kompozit	1841	473,87	224,52	53,82
±45° cam fiber kompozit	1896	80,25	99,44	116,59

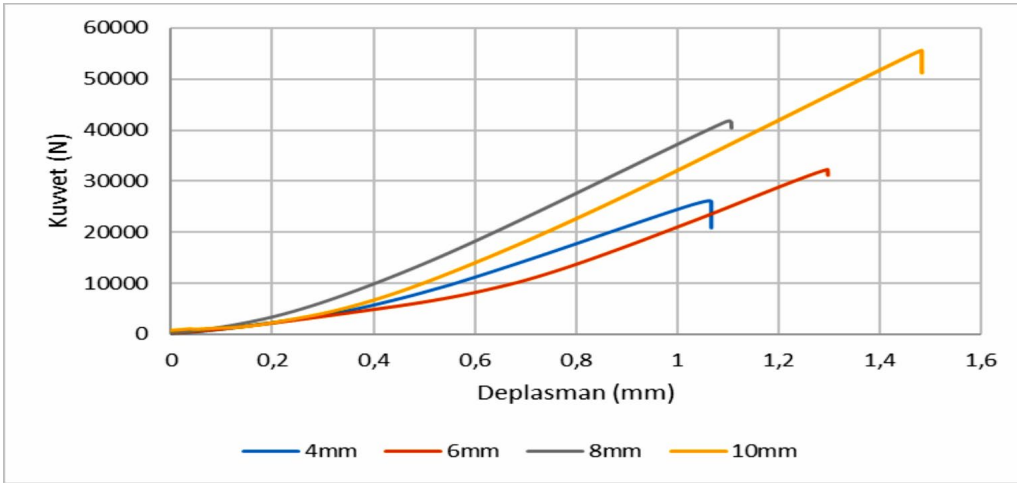
Üretimi yapılan sandviç plakalar dekupaj makinesi ile belirlenen ölçülerde kesilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan numune boyutları 100x45 mm olarak seçilmiştir. Her bir parametre için 3’er tekrar yapılacak şekilde toplam 72 adet numune üretilmiştir. Kenar basma testleri 0,5 mm/dk yükleme hızında gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma Bulguları

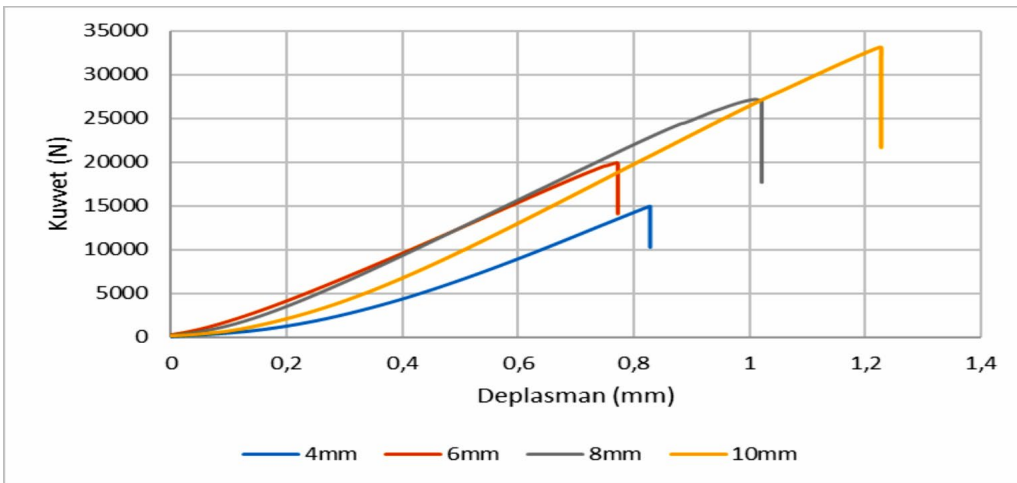
Sandviç yapılar ASTM C364 standardına göre kenar basma testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda numunelere ait kuvvet-deplasman verileri elde edilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4’de [0°]₈ ve [0°]₁₂ dizilimli, Şekil 5 ve Şekil 6’da [0/90°]₄ ve [0/90°]₆ dizilimli, Şekil 7 ve Şekil 8’de ise [±45°]₄ ve [±45°]₆ dizilimli sandviç numunelerin kuvvet-deplasman grafikleri verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi, dört farklı çekirdek kalınlığının kullanıldığı numunelere ait kuvvet-deplasman eğrileri birlikte verilmiştir.



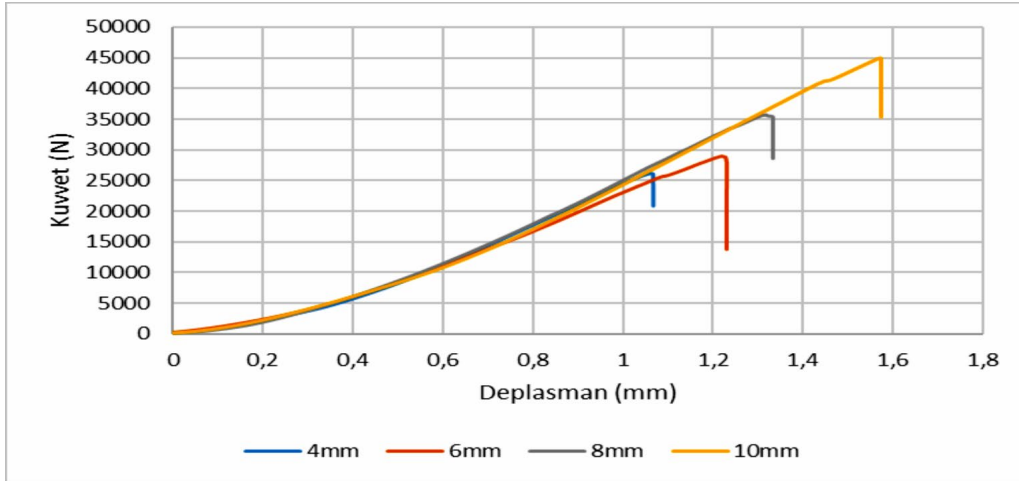
Şekil 3. $[0^\circ]_8$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



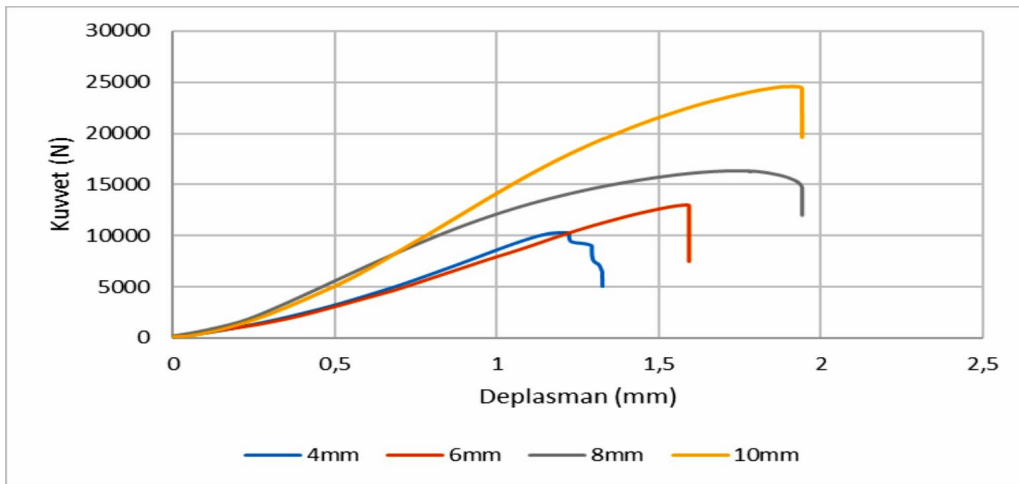
Şekil 4. $[0^\circ]_{12}$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



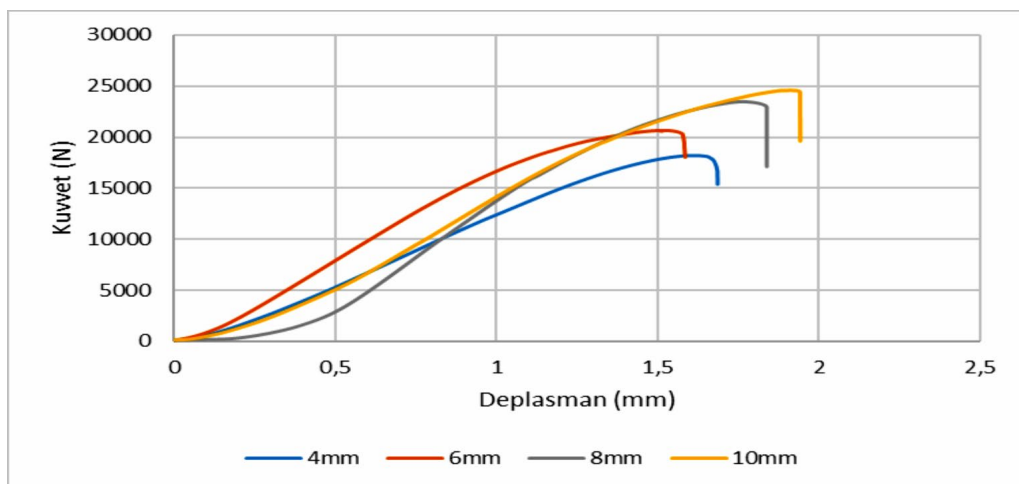
Şekil 5. $[0/90^\circ]_4$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



Şekil 6. $[0/90^\circ]_6$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



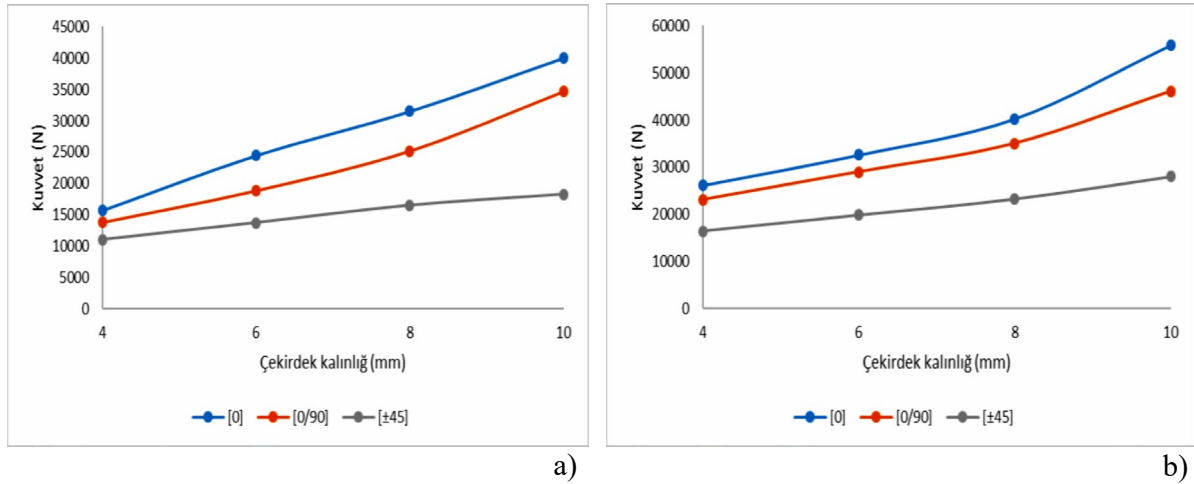
Şekil 7. $[\pm 45^\circ]_4$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



Şekil 8. $[\pm 45^\circ]_6$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.

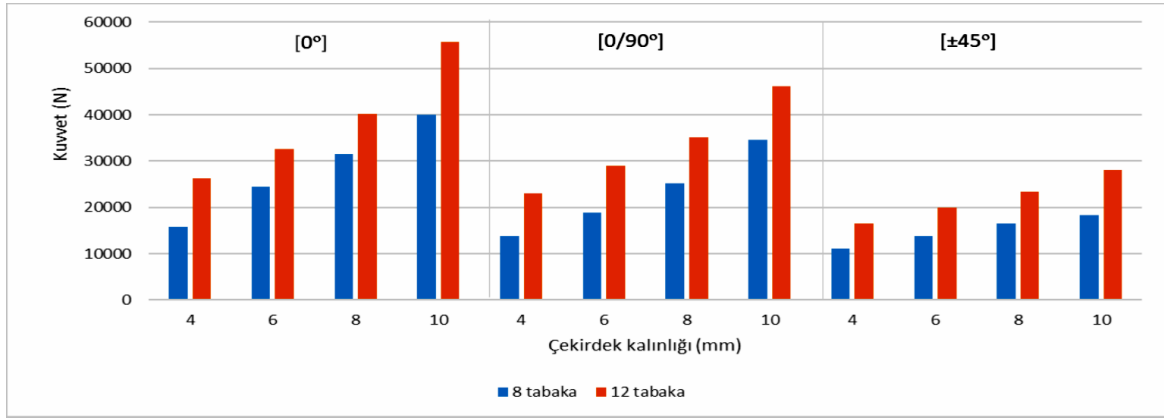
En yüksek kuvvet değeri 10 mm balsa odununun kullanıldığı 12 tabakalı 0° dizilimli numunelerde 56875,82 N ve en düşük kuvvet değeri ise 4 mm balsa odununun kullanıldığı 8 tabakalı $\pm 45^\circ$ fiber dizilimli numunelerde 10298,13 N olarak belirlenmiştir. Yukarıda verilen kuvvet-deplasman grafiklerine göre, her 3 oryantasyon dilimi ve her 2 tabaka sayısında da çekirdek kalınlığı artışı ile birlikte hasar yükü değerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. $[0^\circ]_{2s}$ ve $[0/90^\circ]_s$ oryantasyon dizilimli numunelerde kuvvet değeri maksimum değerine ulaştıktan sonra ani bir düşüş görülürken, $[\pm 45^\circ]_s$ oryantasyon dizilimli numunelerde ise kuvvet değeri maksimum hasar yüküne ulaştıktan sonra sandviç yapının bir süre daha yük taşıdığı belirlenmiştir. Yapılan kenar basma testine göre, yükün kompozit ve balsa tarafından birlikte taşındığı göz önüne alındığında kompozit oryantasyon diziliminin maksimum kuvvet ve deplasman değerleri üzerinde doğrudan etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

Yukarıda verilen grafiklere ait deplasman değerleri incelendiğinde, çekirdek kalınlığı artışının deplasman değerleri üzerinde etkin bir parametre olmadığı görülmektedir. Kompozit oryantasyon açısı değişiminin deplasman değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, en yüksek deplasman değeri 10 mm balsa odununun kullanıldığı 12 tabakalı $\pm 45^\circ$ fiber dizilimli numunelerde 2,003 mm olarak ölçülmüştür. $[\pm 45^\circ]_4$ ve $[\pm 45^\circ]_6$ oryantasyon dizilimli sandviç numunelerde dört balsa kalınlığında deplasman değerleri sırasıyla ortalama 1,563 mm ve 1,719 mm olarak belirlenmiştir. 8 ve 12 tabakalı $[0^\circ]_{2s}$ fiber dizilimli sandviç numunelerde bu değer sırasıyla ortalama 1,184 mm ve 1,231 mm iken $[0/90^\circ]_s$ dizilimli numunelerde ise sırasıyla 1,231 mm ve 1,441 mm olarak ölçülmüştür. Verilen değerler incelendiğinde, $[0^\circ]_{2s}$ ve $[0/90^\circ]_s$ dizilimli sandviç kompozitlerin deplasman değerleri birbirine yakın olmakla birlikte $[\pm 45^\circ]_s$ kodlu numunelerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.



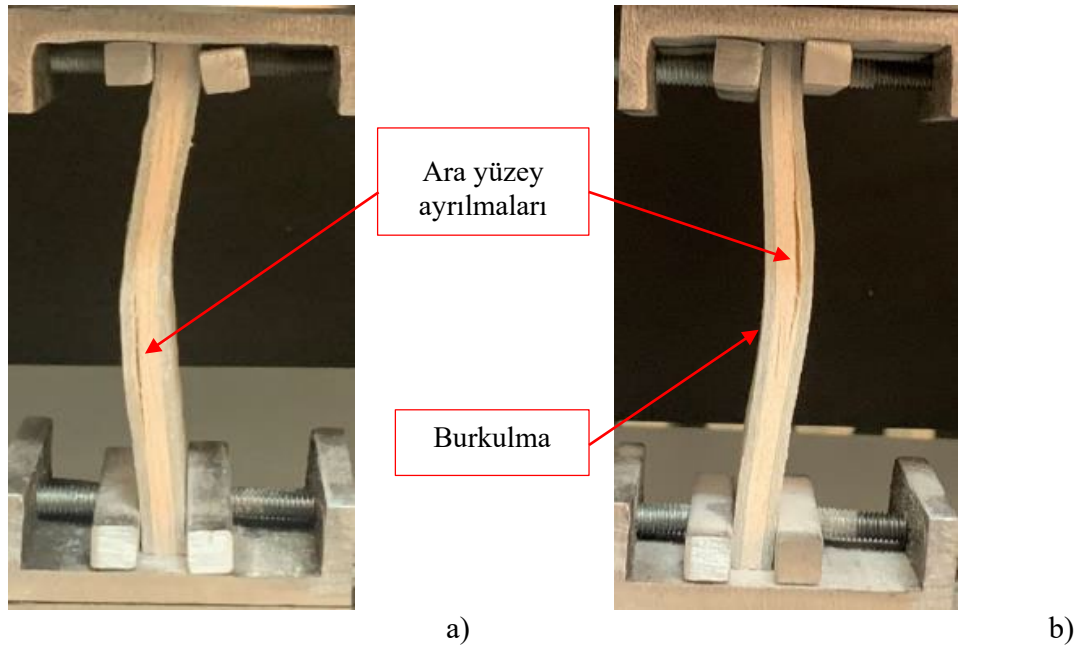
Şekil 9. Basma yükü altında sandviç yapıların çekirdek kalınlığı-kuvvet değişimi a) 8 tabaka, b) 12 tabaka.

Şekil 9'da çekirdek kalınlığı artışı ve fiber diziliminin maksimum kuvvet değeri üzerindeki etkilerini gösteren grafikler verilmiştir. Her iki tabaka sayısında da görüldüğü gibi çekirdek kalınlığı artışına bağlı olarak yapının yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Bununla birlikte en yüksek kuvvet değerleri $[0^\circ]_{2s}$, en düşük kuvvet değerleri ise $[\pm 45^\circ]_s$ oryantasyon dizilimli sandviç numunelerde belirlenmiştir. Fiber takviyeli kompozit malzemelerde çeki ve bası yükleri altında fiber diziliminin yükleme doğrultusunda seçilmesi durumunda yapıdan daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında en yüksek yük taşıma kapasitesinin $[0^\circ]_{2s}$ fiber dizilimli numunelerde gözlenmesi beklenen bir durumdur. 8 tabakalı numunelerde en yüksek kuvvet değeri 10 mm balsa odununun kullanıldığı 0° dizilimli numunelerde 42168,83 N dur. Aynı çekirdek kalınlığında $[0/90^\circ]_4$ ve $[\pm 45^\circ]_4$ fiber dizilimli kompozitlerin kullanıldığı numunelerde ise en yüksek kuvvet değerleri sırasıyla 36382,45 N ve 18588,40 N dur. 12 tabakalı ve 10 mm balsa odunlarının kullanıldığı $[0^\circ]_{12}$, $[0/90^\circ]_6$ ve $[\pm 45^\circ]_6$ fiber dizilimli sandviç kompozitlerde ise en yüksek kuvvet değeri sırasıyla 56875,82 N, 48430,71 N ve 28964,46 N olarak belirlenmiştir.

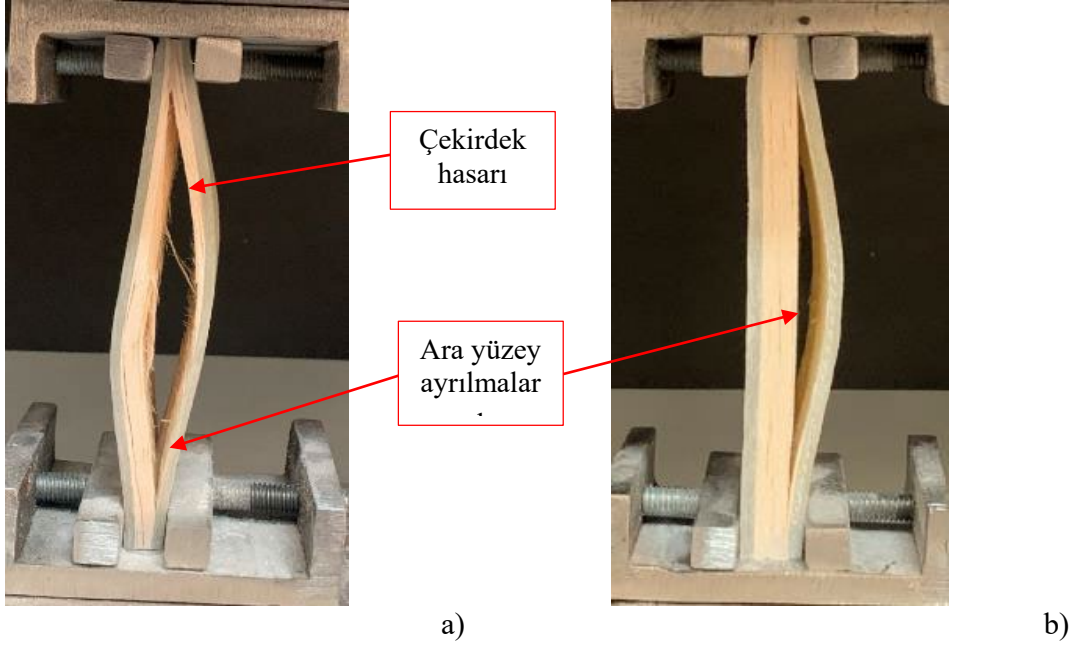


Şekil 10. Sandviç yapılarda basma testi sonucu tabaka sayısı değişimine göre Kuvvet-Çekirdek kalınlığı grafiği.

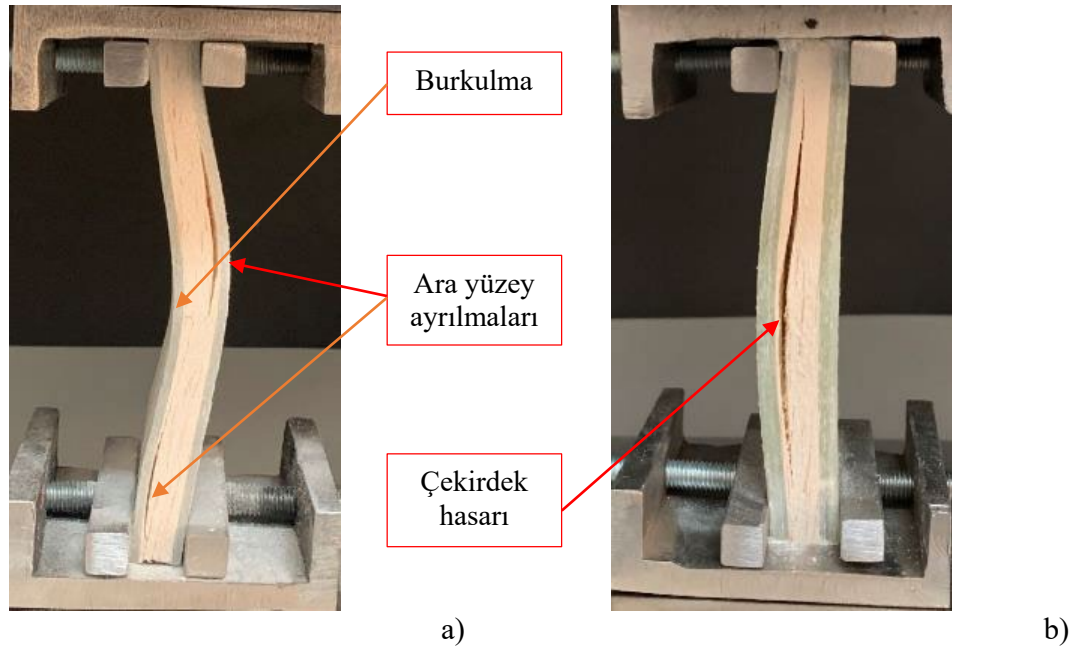
Şekil 10'da tabaka sayısı artışının maksimum kuvvet değerleri üzerindeki etkileri görülmektedir. Her üç fiber diziliminde ve tüm balsa kalınlığında da sandviç yapının alt ve üst yüzelerindeki kompozit malzemelerin tabaka sayısı artışına bağlı olarak yapının yük taşıma kapasitesi artmaktadır. En büyük artış 4 mm balsa odununun kullanıldığı $[0^\circ]_{2s}$ ve $[0/90^\circ]_s$ fiber dizimli sandviç kompozitlerde ortalama %66,41 ve %67,1 olarak belirlenmiştir. $[\pm 45^\circ]_s$ fiber dizimli sandviç numunelerde ise dört balsa kalınlığında tabaka sayısı artışına bağlı olarak ortalama %46,99'luk bir artış görülmüştür.



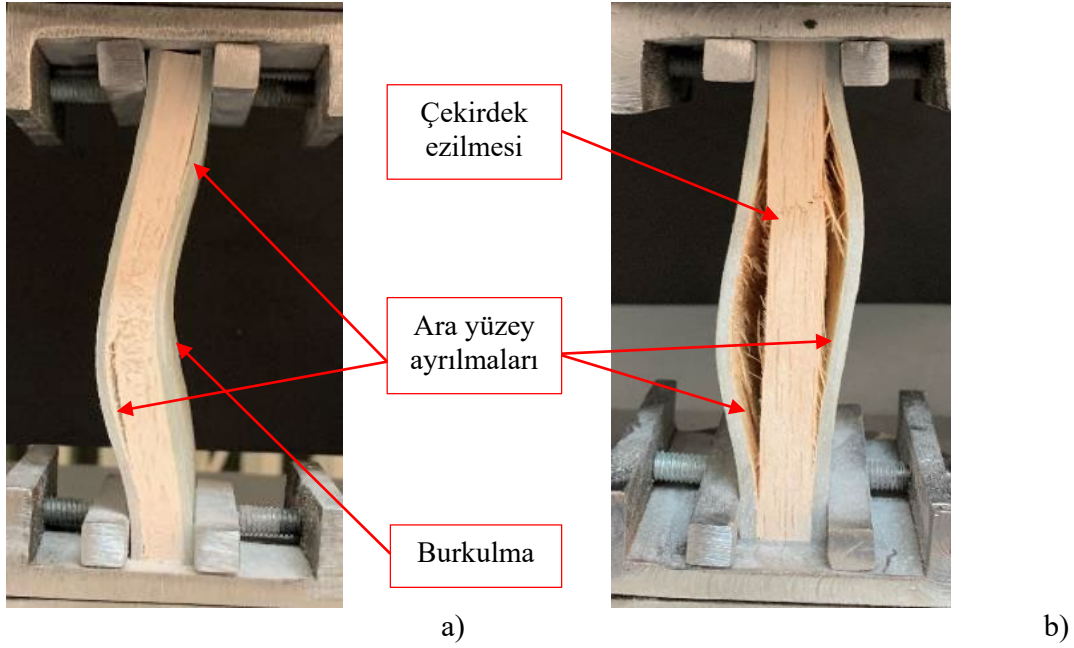
Şekil 11. Basma testi sonucu 4 mm balsa odunu kullanılan numunelerde meydana gelen hasar görüntüleri a) $[0/90^\circ]_4$ b) $[\pm 45^\circ]_4$



Şekil 12. Basma testi sonucu 6 mm balsa odunu kullanılan numunelerde meydana gelen hasar görüntüleri a) $[\pm 45^\circ]_4$ b) $[\pm 45^\circ]_6$



Şekil 13. Basma testi sonucu 8 mm balsa odunu kullanılan numunelerde meydana gelen hasar görüntüleri a) $[\pm 45^\circ]_4$ b) $[0^\circ]_{12}$



Şekil 14. Basma testi sonucu 10 mm balsa odunu kullanılan numunelerde meydana gelen hasar görüntüleri a) $[\pm 45^\circ]_4$ b) $[0^\circ]_{12}$

Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'de kenar basma testi sonucu sandviç numunelerde gözlenen hasar görüntüleri verilmiştir. Şekil 11'de 4 mm balsa odununun kullanıldığı numunelere ait hasar görüntüleri incelendiğinde, 8 tabakalı numunelerde balsa ile kompozit ara yüzeyinde ayrılmalar ve sandviç yapıda burkulma görülmektedir. Bununla birlikte 4 mm balsa odununun kullanıldığı sandviç numunelerin çekirdek elemanlarında genel olarak hasar gözlenmemiştir. Verilen şekillerde görüldüğü gibi çekirdek kalınlığı artışı ile balsa yapıda meydana gelen hasar miktarları artmaktadır. Şekil 12. a'da 6 mm balsa odunu kullanılan $[\pm 45^\circ]_4$ fiber dizimli numunelerin genel hasar tipi ara yüzey ayrılmaları ve çekirdek hasarı olarak belirlenirken, aynı çekirdek kalınlığı ve fiber dizilime sahip 12 tabakalı sandviç numunelerde sadece ara yüzey ayrılmaları görülmektedir (Şekil 12.b). 10 mm balsa odunu kullanılan sandviç numune örneklerinde burkulma, ara yüzey ayrılmaları ve çekirdek hasarına ek olarak çekirdek yapıda ezilmeler görülmektedir. Yukarıda verilen hasar görüntüleri incelendiğinde, sandviç yapılarda kenar basma testi sonucu meydana gelen hasar tiplerinin genel olarak ara yüzey ayrılmaları, burkulma ve çekirdek hasarı olduğu görülmüştür.

4. Sonuçlar

Yapılan kenar basma testleri sonucunda, sandviç kompozitlerin çekirdek kalınlığı, dış yüzey tabaka sayısı artışı ve oryantasyon dizilimi değişiminin maksimum hasar yükü değerleri ve hasar şekilleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aşağıda basma testleri sonucu elde edilen bulgular maddeler halinde verilmiştir.

- En yüksek yük taşıma kapasitesi 10 mm balsa odunu kullanılan $[0^\circ]_{12}$ fiber dizimli numunelerde 56875,82 N ve en düşük yük taşıma kapasitesi ise 4 mm balsa odunu kullanılan $[\pm 45^\circ]_4$ fiber dizimli numunelerde 10298,13 N olarak belirlenmiştir.
- Üç farklı oryantasyon dilimlerinde çekirdek kalınlığı artışına bağlı olarak sandviç kompozitlere ait hasar yükü değerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca her iki tabaka sayısında da en yüksek yük taşıma kapasitesi $[0^\circ]_{2s}$, en düşük yük taşıma kapasitesi ise $[\pm 45^\circ]_s$ fiber dizimli numunelerde belirlenmiştir. Fiber diziliminin yükleme doğrultusunda seçilmesinin yapı dayanımını arttırdığı göz önüne alındığında bu durum literatüre benzer şekilde beklenen bir sonuç ortaya koymaktadır.

- Dış yüzey tabaka sayısı artışına bağlı olarak numunelerin yük taşıma kapasitesi artmaktadır. En büyük artış 4 mm balsa odununun kullanıldığı $[0^\circ]_{2s}$ ve $[0/90^\circ]_s$ fiber dizimli numunelerde sırasıyla ortalama %66,41 ve %67,1 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte $[\pm 45^\circ]_s$ fiber dizimli sandviç numunelerde dört çekirdek kalınlığında tabaka sayısı artışına bağlı olarak ortalama %46,99'luk artış gözlenmiştir.
- Kenar basma yüklemesi durumunda sandviç yapıda çekirdek ve dış yüzey elemanların yükü birlikte taşıdığı göz önüne alındığında, çekirdek kalınlığı, dış yüzey tabaka sayısı ve oryantasyon diziliminin sonuçlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Dış yüzey tabaka sayısı ve oryantasyon diziliminin sonuçlar üzerinde literatüre benzer sonuçlar ortaya koyduğu görülürken, çekirdek kalınlığı artışının literatürden farklı sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir. Bu durumun diğer çalışmalardan farklı olarak, düşük kalınlıklı çekirdek elemanların kullanılması ve balsa odununun lifli bir yapıya sahip olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Sandviç numunelerde meydana gelen en belirgin hasar şekilleri sırasıyla ara yüzey ayrılması, burkulma ve çekirdek hasarıdır.

Teşekkürler

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi tarafından FDK-2018-1249 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Griškevičius P, Zeleniakiene D, Leišis V, Ostrowski M. Experimental and numerical study of impact energy absorption of safety important honeycomb core sandwich structures experimental and numerical study of impact energy absorption of safety important honeycomb core sandwich structures. *Materials Science* 2010; 16(2):119–123.
- [2] Arıkan V. Sandviç Kompozitlerin Onarım Parametrelerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2019.
- [3] Zurnacı E. Farklı Çekirdek Konfigürasyonuna Sahip Sandviç Yapıların Tasarımı, Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Karabük: Karabük Üniversitesi; 2019.
- [4] Osei-Antwi M, Castro JD, Vassilopoulos AP, Keller T. Shear mechanical characterization of balsa wood as core material of composite sandwich panels. *Construction and Building Materials* 2013; 41:231–238.
- [5] Borrega M, Gibson LJ. Mechanics of balsa (*Ochroma pyramidale*) wood. *Mechanics of Materials* 2015; 84:75–90.
- [6] Shishkina O, Lomov SV, Verpoest I, Gorbatikh L. Structure–property relations for balsa wood as a function of density: modelling approach. *Archive of Applied Mechanics* 2014; 84:789–805.
- [7] Vadakke V, Carlsson LA. Experimental Investigation of Compression Failure Mechanisms of Composite Faced Foam Core Sandwich Specimens. *Journal of Sandwich Structures and Materials* 2004; 6(4):1-16.
- [8] Silva AD, Kyriakides S. Compressive response and failure of balsa wood. *International Journal of Solids and Structures* 2007; 44:8685–8717.
- [9] Tagarielli VL, Deshpande VS, Fleck NA. The dynamic response of composite sandwich beams to transverse impact. *International Journal of Solids and Structure* 2007; 44: 2442–2457.
- [10] Karaduman Y, Önal L. Flexural behavior of commingled jute/polypropylene nonwoven fabric reinforced sandwich composites. *Composites Part B* 2016; 93:12-25.
- [11] Aslan M, Güler O, Alver Ü. Farklı yüzey ve çekirdek malzemelerine sahip sandviç panel kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 6(24):1062-1068.

- [12] Solmaz MY, Çelik E. 3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yükü Altındaki Performanslarının Araştırılması. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 2018; 30(1):277-286.
- [13] Kıyak B, Kaman MO. Karbon Fiber Kompozit Sandviç Levhaların Yanal Mukavemet Davranışlarının Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 18(1):684-691.
- [14] Susainathan J, Eyma F, Luycker ED, Cantarel A. Experimental investigation of compression and compression after impact of wood-based sandwich structures. Composite Structures 2019; 220(1):236-249.
- [15] Osmanoğlu S, Selver E, İmal M. Sandviç kompozitlerde Çekirdek Kalınlığının Ve Karbon Lif Yönlenmelerinin Basma ve Eğilme Dayanımlarına Etkisi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 8(2):223-236.
- [16] Najafi M, Eslami-Farsani R. Design and characterization of a multilayered hybrid cored-sandwich panel stiffened by thin-walled lattice structure. Thin-Walled Structures 2021; 161:107514.
- [17] Cui Y, Hao H, Li J, Chen W. Failure mechanism of geopolymer composite lightweight sandwich panel under flexural and edgewise compressive loads. Construction and Building Materials 2021; 270:121496.
- [18] Ashraf W, Ishak MR, Zuhri MYM, Yidris N, Ya'acob AM. Experimental Investigation on the Mechanical Properties of a Sandwich Structure Made of Flax/Glass Hybrid Composite Facesheet and Honeycomb Core. International Journal of Polymer Science 2021.
- [19] Yang Y, Fahmy MF, Pan Z, Zhan Y, Wang R, Wang B, Feng B. Experimental study on basic mechanical properties of new BFRP-bamboo sandwich structure. Construction and Building Materials 2020; 264:120642.
- [20] Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions. American Society for Testing and Materials ASTM, C364 / C364M-16: 2016.
- [21] Hsiao KT, Heider D. Vacuum assisted resin transfer molding (VARTM) in polymer matrix composites. Manufacturing techniques for polymer matrix composites (PMCs) 2012; 310-347.