



Makale / Research Paper

**Balsa Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Darbe Davranışlarının
Deneysel Olarak İncelenmesi**

Tuğberk ÖNAL^{1a*}, Şemsettin TEMİZ^{2b}

¹Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan Meslek Yüksekokulu, Malatya/TÜRKİYE

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya/TÜRKİYE

tugberk.onal@ozal.edu.tr

Received/Geliş: 18.09.2020

Accepted/Kabul: 23.10.2020

Öz: Sandviç kompozitler, kullanım alanlarına bağlı olarak farklı darbe yüklerine maruz kalabilmektedir. Yapının darbe yükü altındaki davranışları, tasarım açısından önemli bir parametredir. Bu çalışmada, 4mm, 6mm, 8mm ve 10mm kalınlıktaki balsa odunlarının çekirdekte kullanıldığı sandviç yapılara düşük hızlı darbe testi uygulanmıştır. Alt ve üst yüzeylerde 8 ve 12 tabakalı, $[\pm 45^\circ]_s$ yönlenme açılı cam elyaf/epoksi kompozit malzemeler kullanılmıştır. Dış yüzey tabaka sayısı ve çekirdek kalınlığının darbe davranışları üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen sandviç malzemelere 15J, 30J, 45J ve 60J enerji değerlerinde düşük hızlı darbe testleri yapılmıştır. Sonuçta, temas kuvveti-deplasman, enerji-zaman ve eş enerji grafikleri incelenmiştir. Dış yüzey tabaka sayısı artışına bağlı olarak temas kuvvetinin arttığı, fakat absorbe edilen enerjinin azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, çekirdek kalınlığının artırılması sandviç yapıda absorbe edilen enerjiyi arttırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sandviç kompozit; cam elyaf/epoksi; balsa; düşük hızlı darbe; hasar.

**Experimental Investigation of Impact Behavior of
Balsa Core Sandwich Composites**

Abstract: Sandwich composites can be exposed to different impact loads depending on their usage areas. The behavior of the structure under impact load is an important parameter in terms of design. In this study, low speed impact test was applied to sandwich structures where 4mm, 6mm, 8mm and 10mm thick balsa woods were used in the core. 8 and 12 layers of glass fiber / epoxy composite materials with an orientation angle of $[\pm 45^\circ]_s$ are used on the top and bottom surfaces. The effect of outer layer number and core thickness on impact behavior has been studied experimentally. Low velocity impact tests at 15J, 30J, 45J and 60J energy values were performed on sandwich materials produced by vacuum infusion method. As a result, reaction force-displacement, energy-time and co-energy graphs are examined. It was determined that the contact force increased due to the increase in the number of outer surface layers but the absorbed energy decreased. However, it has been observed that increasing the core thickness increases the energy absorbed in the sandwich structure.

Keywords: Sandwich composite; glass fiber/epoxy; balsa; low velocity impacts; damage.

1. Giriş

Sandviç kompozitler, dış yüzeylerinde yüksek mukavemetli ve ince malzemelerin, çekirdek olarak adlandırılan orta kısımda ise düşük mukavemetli, kalın ve düşük yoğunluklu malzemelerin kullanıldığı yapılardır [1]. Dış yüzeylerde, yüksek dayanım/ağırlık oranlarından dolayı sıklıkla fiber takviyeli kompozitler tercih edilmektedir [2]. Çekirdek yapı, yük altında alt ve üst yüzeyler arasındaki mesafeyi koruyarak sandviç rijitliğini muhafaza etmektedir [3]. Sentetik malzemelerden üretilen vinilester ve poliüretan köpük, bio kaynaklı malzemelerden olan balsa odunu ve balpeteği

Bu makaleye atıf yapmak için

Önal T., Temiz Ş., "Balsa Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Darbe Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(1); 333-345.

How to cite this article

Önal T., Temiz Ş., "Experimental Investigation of Impact Behavior of Balsa Core Sandwich Composites" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8(1); 333-345.

ORCID ID: ^a0000-0002-3491-7939; ^b0000-0002-6737-3720

geometrilili yapılar sıklıkla kullanılan çekirdek malzemelerdir. Sandviç malzemeler, sağladıkları yüksek darbe dayanımı sayesinde uçak, uydu, savunma araçları, gemi ve kara taşıtlarında darbe sönümleyici olarak darbe dayanımının artırılmasında kullanılmaktadır [4].

Bio kaynaklı malzemelerden olan balsa odunu, Orta ve Güney Amerika yağmur ormanlarında yetişen ve çok hızlı büyüyen tropikal bir ağaçtır. Balsa'nın yoğunluğu, 40-380 kg/m³ arasında değişmektedir. Düşük yoğunluğuna rağmen nispeten yüksek mukavemet, sertlik ve enerji absorbe etme özellikleri göstermektedir. Ağacın hafif olmasının ana nedeni, doku liflerinden oluşan kapalı bir hücre yapısına ve trakelelere sahip olmasından dolayıdır [5, 6].

2. Literatür Özeti

Tagarielli ve diğ., sandviç kompozit yapılara farklı hızlardaki darbe deneyleri uygulamıştır. Çekirdek malzemede balsa odunu ve PVC köpük kullanmıştır. Çekirdek yoğunluğu ve kalınlığının darbe dayanımı üzerindeki etkilerini incelemiştir [7]. Atas ve Sevim, balsa ve PVC köpük çekirdekli sandviç kompozit yapılara farklı enerji değerlerinde düşük hızlı darbe testleri uygulamıştır. Balsa çekirdekli yapılarda meydana gelen baskın hasar tipinin ara yüzey ayrılması olduğunu belirtmiştir. PVC köpük ile karşılaştırıldığında aynı enerji değerleri için balsa çekirdekli numunelerde daha yüksek temas kuvveti meydana geldiğini gözlemiştir [8]. Karaduman ve Önal, Sandviç yapıların alt ve üst yüzeylerinde değişen oranlarda jüt kullanmıştır. Çekirdek malzeme olarak balsa, polyester köpük ve polipropilen balpeteği kullanmıştır. Numunelere eğilme, düşük hızlı darbe ve basma deneyleri uygulanmıştır. Sonuçları, çekirdek malzeme kalınlığı ve jüt oranı değişimine göre incelemiştir [9]. Wang ve diğ., düşük ve yüksek yoğunluklu balsa, mantar, polipropilen bal peteği ve polistiren köpüğün çekirdek yapıda kullanıldığı sandviç kompozit malzemelere darbe deneyi uygulamıştır. Çekirdek malzemenin darbe dayanımındaki etkilerini incelemiştir [10]. Zaharia ve diğ., alt ve üst yüzeylerde karbon fiber kompozitlerin kullanıldığı sandviç yapılara üç noktalı eğilme, darbe ve yorulma deneyleri uygulamıştır. Balsa çekirdekli yapılara ait hasar tiplerini belirlemiş ve S-N eğrilerini oluşturmuştur. Yapıya ait maksimum normal gerilme ve maksimum kayma gerilemelerini belirlemiştir [11]. Özdemir ve diğ., farklı çekirdek kalınlıklarındaki (15mm ve 20mm) balsa odunlarının kullanıldığı sandviç kompozitlere tekil ve tekrarlı düşük hızlı darbe deneyi uygulamıştır. Çekirdek kalınlığı ve enerji absorpsiyonu arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Maksimum çökme değerinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir formülasyon geliştirmiştir [12]. Najafi ve diğ., balsa çekirdekli sandviç yapılarda takviye elemanı olarak hibrit Alüminyum ve cam fiberleri birlikte kullanmıştır. Hibrit yapı ile klasik yüzey malzemelerini eğilme, burkulma, charpy ve yüksek hızlı darbe deneyleri ile karşılaştırmıştır. Önerilen yüzey malzemesinin daha yüksek mekanik özellikler sergilediğini belirtmiştir [13]. Mohammadi ve Nairn, balsa çekirdekli sandviç yapıların ara yüzey ayrılması, ara yüzey yapışma özellikleri ve kayma gerilmelerini incelemiştir. Klasik tek parça balsa ile birden fazla balsa bloğunun yapıştırılmasıyla elde edilen iki yapıyı deneysel olarak incelemiştir [14]. Dai ve Hahn, sandviç kompozit yapılara 3 ve 4 noktalı eğilme testleri uygulamıştır. Çekirdek malzeme olarak balsa odunu ve PVC köpük kullanmıştır. Balsa çekirdekli sandviçlerin eğilme yüklerinden kaynaklanan hasarların çoğunlukla yüksek kayma gerilmesinden meydana geldiği gözlenmiştir [15]. Silva ve Kyriakides, balsa ahşabına basma ve eğilme yükleri uygulamış ve odunların kesim yönüne bağlı olarak sonuçlar karşılaştırmıştır. Ayrıca yapının enerji absorbe etme kabiliyetleri incelemiştir. Malzemenin teğet ve radyal yönlerde kesildiğinde daha yumuşak ve düşük dayanım gösterdiği gözlemiştir. Mukavemet/ağırlık oranının sandviç yapılarda kullanılan diğer çekirdek malzemelerle karşılaştırılabilir olduğu belirlemiştir [16]. Çakır ve Berberoğlu, cam elyaf oranı artışının kompozit yapıda, darbe dayanımı ve absorbe edilen enerjiyi arttırdığını gözlemiştir [17].

Bu çalışmada, sandviç kompozit yapılara 15J, 30J, 45J ve 60J enerji değerlerinde düşük hızlı darbe deneyi uygulanmıştır. Çekirdek malzeme olarak 4mm, 6mm, 8mm ve 10 mm kalınlıktaki 170 kg/m³ yoğunlukta balsa odunları kullanılmıştır. Yüzey malzemesi olarak $[\pm 45^\circ]_s$ yönlenme açısına

sahip, 8 ve 12 tabakalı cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler kullanılmıştır. Kompozit yapıda takviye elemanı olarak kullanılan cam elyaf kumaşların her biri 300gr/m² ağırlığındadır. Sandviç kompozitler, vakum infüzyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Darbe testleri sonucunda, yapıya ait temas kuvveti- deplasman, enerji- zaman grafikleri çıkartılmış, çekirdek kalınlığı ve tabaka sayısının enerji absorbe etme kabiliyeti üzerindeki etkileri ve numunelerde meydana gelen hasar tipleri incelenmiştir.

3. Materyal ve Metot

3.1. Sandviç Kompozit Malzemelerin Üretimi

Sandviç kompozitlerin üretilmesinde vakum infüzyon yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde balsa odununun alt ve üst yüzeyine cam elyaf kumaşlar serilmiş, onun üstüne sırasıyla peel ply kumaş, infüzyon filesi ve en üste vakum naylonu yerleştirilerek vakum ortamına alınmıştır. (Şekil 1.a). Daha sonra kullanılan kumaş ağırlığının %70 'i kadar sıvı haldeki reçine sertleştirici karışımı eklenmiştir. Reçine malzemesi olarak MGS laminasyon epoksi reçine L160 ve sertleştirici malzemesi olarak MGS laminasyon epoksi reçine sertleştirici LH160 kullanılmıştır. Reçine ve sertleştirici karışım oranları ağırlıkça 100:25 olarak seçilmiştir. Sıvı haldeki karışım, pompa yardımıyla vakum ortamına gönderilmiş ve kumaşın tamamı ıslanana kadar yaklaşık 0,93 bar basınç altında infüzyon işlemine devam edilmiştir. (Şekil 1.b). Üretimi tamamlanan numuneler Vakum ortamında 24 saat oda sıcaklığında bekletilerek hazır hale gelmiştir.

Alt ve üst yüzeylerde kullanılan cam takviyeli kompozit malzemelerin 8 ve 12 tabaka için kalınlık değerleri sırasıyla 2mm ve 3mm dir. Sandviç yapıda kullanılan kompozit malzemelerin fiber hacim oranı (V_f) ve matrisin hacim oranı (V_m) hesaplanmasında eşitlik (1) ve (2) kullanılmıştır. Denklemlerde verilen v_c , v_f ve v_m ifadeleri sırasıyla kompozit, fiber ve matris hacmini ifade etmektedir. Fiber hacim oranı % 54,77 ve matris hacim oranı %45,23 olarak belirlenmiştir. Sandviç kompozit yapıda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \quad (1)$$

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (2)$$

$$V_f + V_m = 1 \quad v_f + v_m = v_c \quad (3)$$

Tablo 1. Sandviç yapıyı oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri.

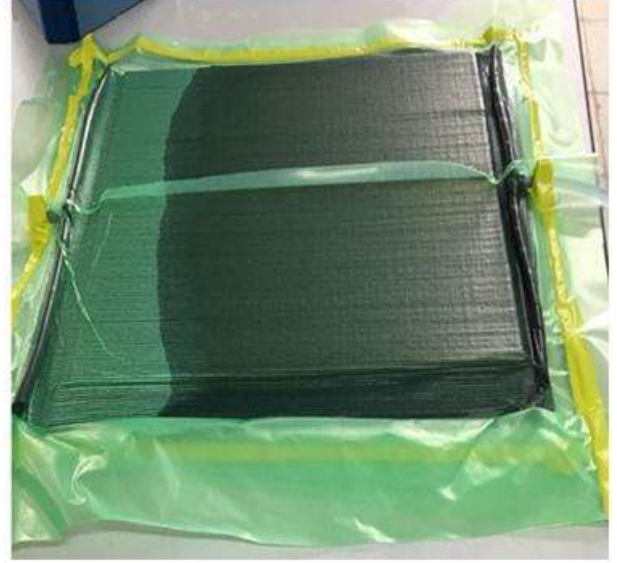
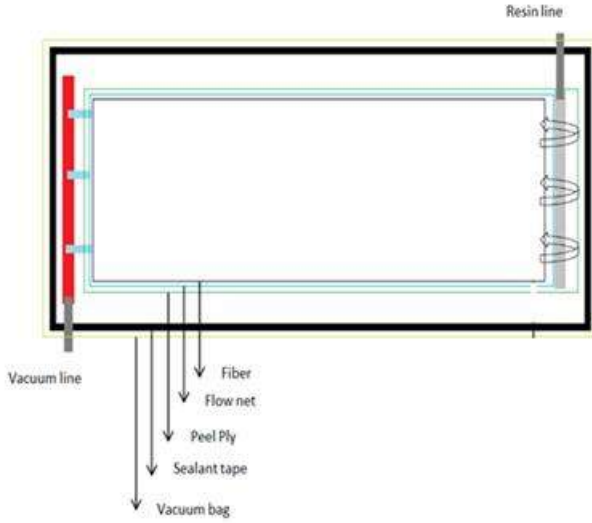
	Yoğunluk (kg/m ³)	Çekme mukavemeti (MPa)	Basma mukavemeti (MPa)	Kayma mukavemeti (MPa)
Kompozit	1841	80,25	99,44	116,59
Balsa	170	23,16	17,32	3,29

Üretimi tamamlanan kompozit malzemeler dekupaj tezgâhında 100x100mm kesilerek hazırlanmıştır. Numune sayısı her bir parametre için 3 tekrar olacak şekilde belirlenmiştir. Her bir enerji değeri, dış yüzey tabaka sayısı ve çekirdek kalınlığı göz önünde bulundurularak toplam 96 adet numune üretilmiştir. Şekil 2.a'da [[±45°]_s/Balsa/[±45°]_s] olarak istiflenmiş deney numuneleri verilmiştir.

3.2. Darbe Testleri

Düşük hızlı darbe testleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan CEAST Fracovis Plus marka test cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de deneyde kullanılan

ağırlık düşürme prensibine göre çalışan test cihazı verilmiştir. Testlerde kullanılan yarım küre şeklindeki vurucu ucun çapı 12,7mm ve vurucu ağırlığı 4,926kg dır. Vurucu uca ait kuvvet dönüştürücünün maksimum yük kapasitesi 22,4kN dur. Cihaz ile temas kuvveti, deplasman, enerji ve zaman grafikleri eş zamanlı olarak elde edilebilmektedir. Çalışmada vurucu ucun hızı, test darbe enerjisine göre 15J, 30J, 45J ve 60J için sırasıyla 2,42m/sn, 3,45m/sn, 4,22m/sn ve 4,96m/sn dir.



(a)

(b)

Şekil 1. (a) Vakum İnfüzyon yöntemi (b) Kompozit malzeme üretimi

Darbe testi sonrası numunelerde meydana gelen hasar türleri genel olarak matris kırılması, delaminasyon, fiber kırılması, çekirdek hasarı, kompozit çekirdek arası yüzey ayrılması ve delinmedir [8]. Numunelerin delinmesi için gerekli olan enerji değerinde yapılan ön testlerde vurucu uçta meydana gelen temas kuvvetinin cihaz limitlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle daha düşük enerji değerlerinde testler gerçekleştirilmiş ve hasar tipleri incelenmiştir.



(a)



(b)

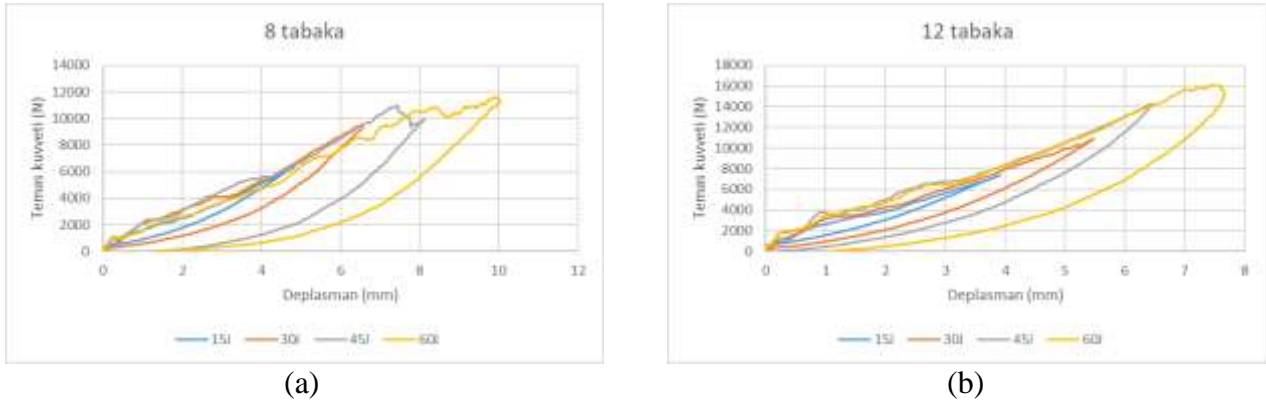
Şekil 2. (a) Darbe test numuneleri (b) Farklı kalınlıktaki balsa çekirdekli sandviçler



Şekil 3. Darbe test cihazı

5. Bulgular ve Tartışma

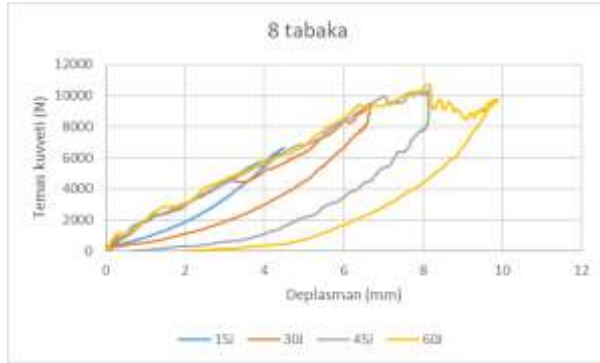
Çalışmada, sandviç dış yüzey tabaka sayısı ve çekirdek kalınlığının darbe dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Numunelere 4 farklı darbe enerjinde testler uygulanmış ve sonuçta temas kuvveti, deplasman ve absorbe edilen enerji değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda numunelerde delinme gözlenmediği için temas kuvveti-deplasman grafikleri kapalı eğri oluşturmaktadır.



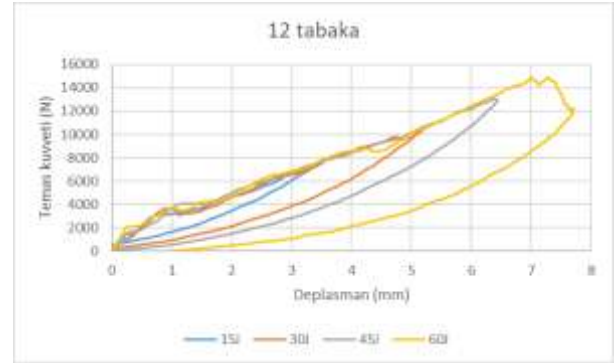
Şekil 4. 4mm balsa çekirdekli sandviç numunelerin temas kuvveti- deplasman grafikleri a) 8 tabaka
b) 12 tabaka

Şekil 4 ve Şekil 7 arasında, farklı çekirdek kalınlıkları ve dış yüzey tabaka sayıları için temas kuvveti-deplasman grafikleri verilmiştir. Her grafikte 4 farklı enerji değerinde meydana gelen eğriler birlikte verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi darbe enerjisi artışına bağlı olarak üst yüzeyde oluşan temas kuvveti ve numunelerde oluşan deformasyon değerleri artmaktadır. Bununla birlikte tabaka sayısı artışına bağlı olarak numunelerde oluşan çökme değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Şekil 8 incelendiğinde uygulanan darbe enerjisi artışına bağlı olarak oluşan temas kuvveti değerlerinin de arttığı gözlenmektedir. Tüm sandviç parametreler için en yüksek temas kuvveti, 60J enerji değerinde görülmektedir. Aynı şekilde darbe enerjisi artışına bağlı olarak deplasman değerleri de artmakta ve en yüksek şekil değişimleri 60J enerji değerinde oluşmaktadır. Şekil 8 ve Şekil 9 incelendiğinde sandviç malzeme dış yüzey tabaka sayısı artışının temas kuvveti

ve deplasman üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Tabaka sayısı artışı ile dış yüzeyde meydana gelen temas kuvveti artmaktadır. Tabaka sayısının artması, yapı rijitliğini arttırdığını ve bu sebeple aynı darbe enerji değerlerinde daha yüksek temas kuvvetlerinin oluştuğu düşünülmektedir. Bununla birlikte her iki tabaka sayısı için çekirdek kalınlığı değişiminin temas kuvveti üzerinde belirgin bir etki meydana getirmediği görülmektedir (Şekil 8).

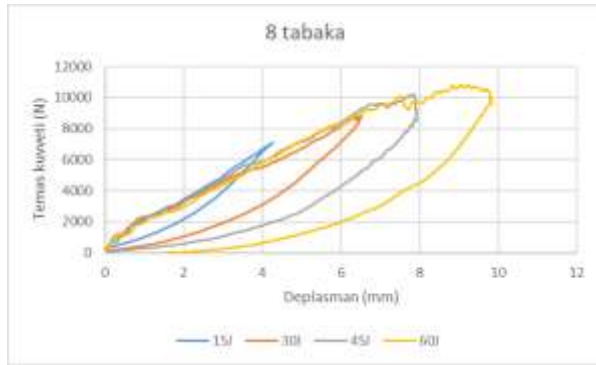


(a)

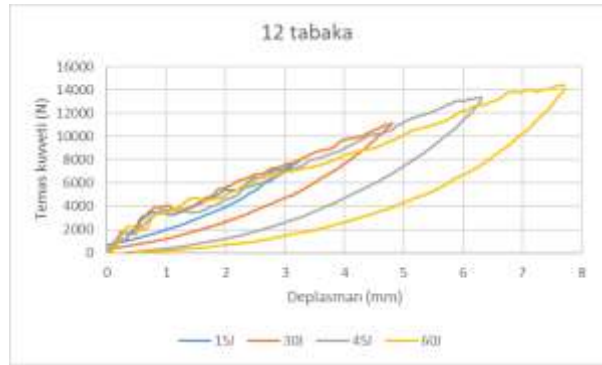


(b)

Şekil 5. 6mm balsa çekirdekli sandviç numunelerin temas kuvveti- deplasman grafikleri a) 8 tabaka b) 12 tabaka

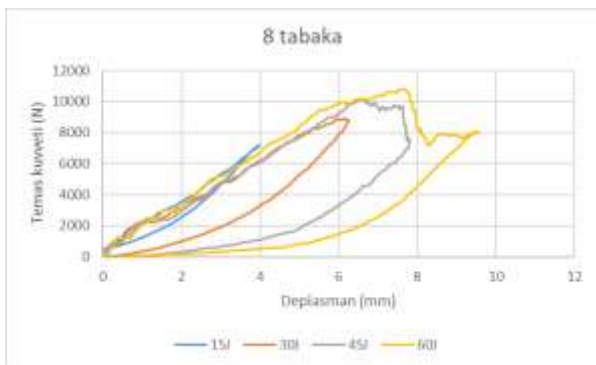


(a)

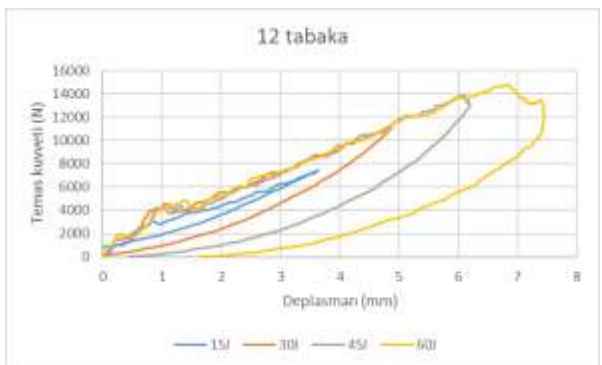


(b)

Şekil 6. 8mm balsa çekirdekli sandviç numunelerin temas kuvveti- deplasman grafikleri a) 8 tabaka b) 12 tabaka



(a)

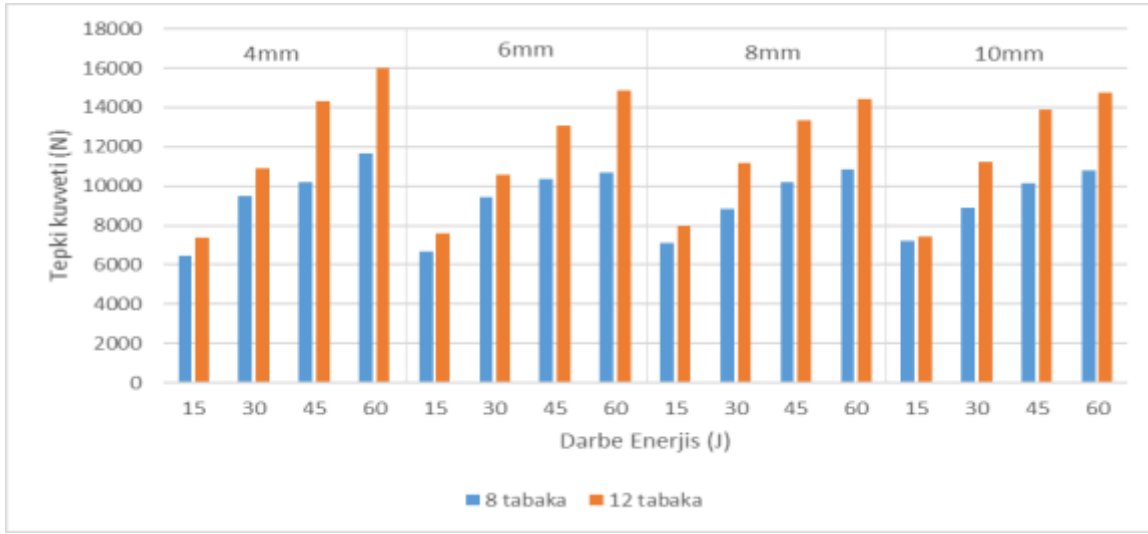


(b)

Şekil 7. 10mm balsa çekirdekli sandviç numunelerin temas kuvveti- deplasman grafikleri a) 8 tabaka b) 12 tabaka

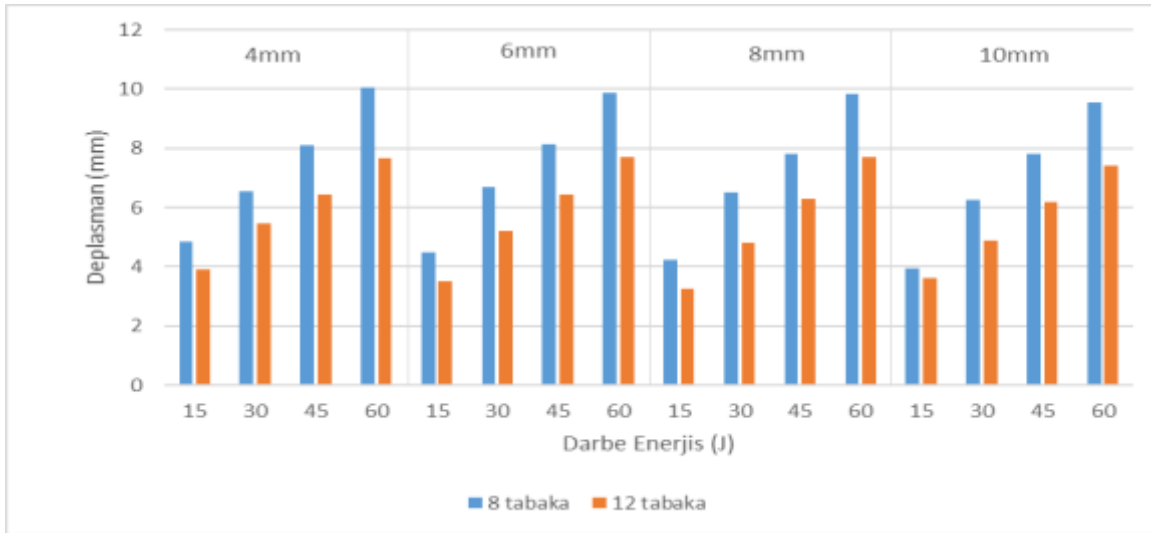
Şekil 9'da verilen deplasman-darbe enerjisi grafiği incelendiğinde, tabaka sayısı artışına bağlı olarak sandviç yapıda oluşan deformasyonların azaldığı görülmektedir. Deplasman değerleri tüm darbe enerji değerlerinde ve balsa kalınlıklarında da benzer şekilde tabaka sayısı artışına bağlı olarak azalmaktadır. Tabaka sayısı artışı yapı dayanımını arttırmakta ve buna bağlı olarak da darbe

dayanımı da artmaktadır. Darbe sonucu meydana gelen şekil değişimleri de tabaka sayısı artışına bağlı olarak düşmektedir. Balsa kalınlığı artışının te temas kuvveti değerlerinde olduğu gibi sandviç yapıda darbe sonucu oluşan şekil değişimi üzerinde etkili bir değişim oluşturmamaktadır.



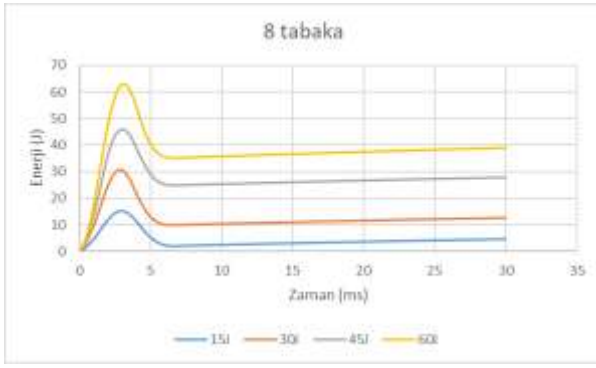
Şekil 8. Sandviç numunelerin temas kuvveti- darbe enerjisi grafikleri

Beklendiği gibi uygulanan darbe enerjisi artışına bağlı olarak daha yüksek deformasyonlar oluşmaktadır. 4mm balsa kalınlığına sahip 12 tabakalı sandviç yapıda 60J enerji değerinde en yüksek temas kuvveti 16022kN ölçülmüş ve darbe sonucu yapıda 7,65mm'lik çökme oluşmuştur. En yüksek deplasman değeri 10,04mm olarak 4mm balsa kalınlığına sahip 8 tabakalı numunelerde ölçülmüştür.

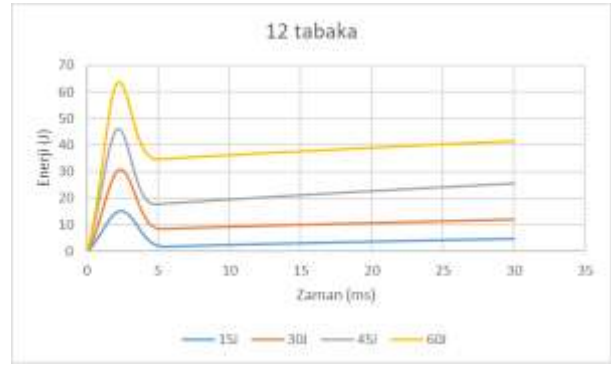


Şekil 9. Sandviç numunelerin deplasman- darbe enerjisi grafikleri

Şekil 10 ve şekil 13 arasında verilen grafiklerde her bir çekirdek kalınlığı ve tabaka sayısı için enerji-zaman grafikleri verilmiştir. Yapılan deneylerde delinme gerçekleşmediği için eğrilerde bir tepe oluşmakta ve daha sonra enerji düşerek yatay ekseninde sabit kalmaktadır. Grafiğin tepe noktası vurucu uçtan numuneye geçen enerjiyi ve yataydaki sabit bölge ise absorbe edilen enerjiyi göstermektedir. Testler dört farklı (15J, 30J, 45J ve 60J) enerji değerinde gerçekleştirilmiş ve grafiklerde görüldüğü gibi hiçbir numunede delinme gerçekleşmemiştir. Grafikler incelendiğinde uygulanan darbe enerjisinin artışına bağlı olarak absorbe edilen enerji artmaktadır. Bu durum tüm balsa kalınlığı ve tabaka sayıları için de geçerlidir.

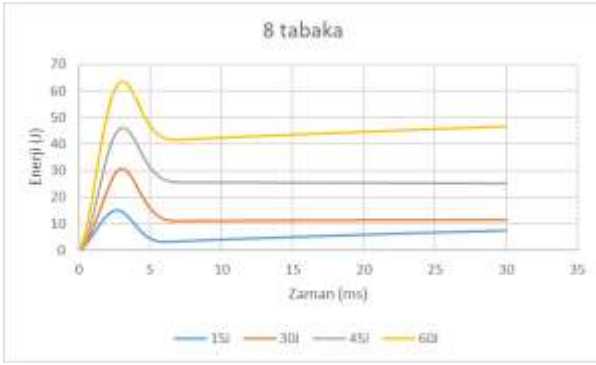


(a)

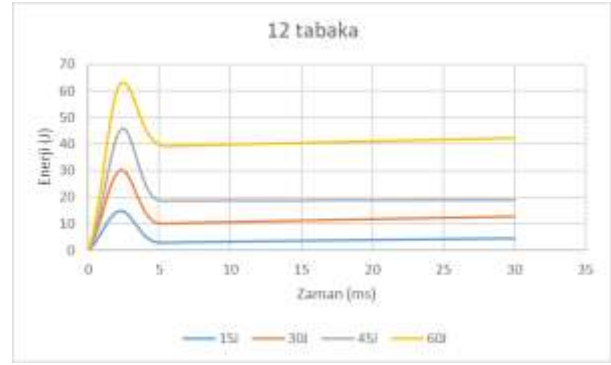


(b)

Şekil 10. 4mm balsa çekirdekli sandviçlerin enerji- zaman grafikleri a) 8 tabaka b) 12 tabaka

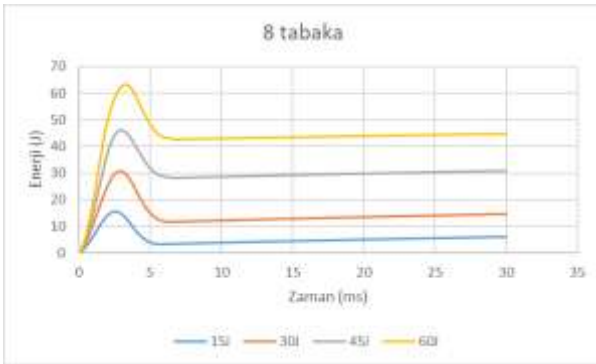


(a)

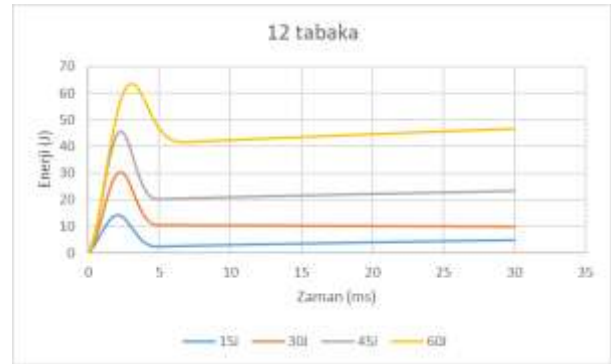


(b)

Şekil 11. 6mm balsa çekirdekli sandviçlerin enerji- zaman grafikleri a) 8 tabaka b) 12 tabaka

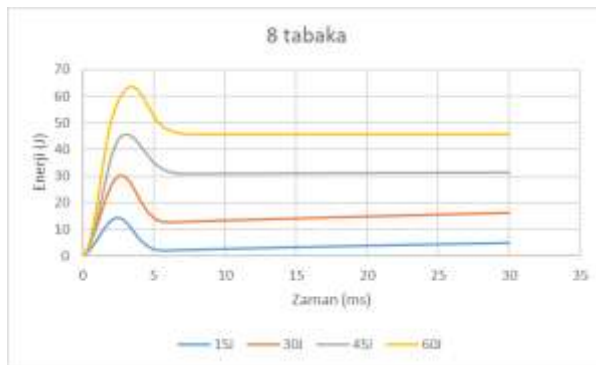


(a)

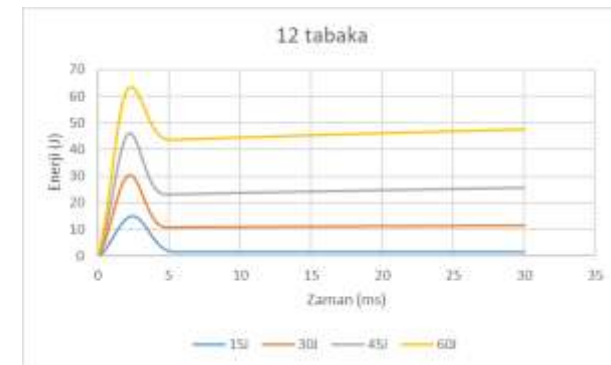


(b)

Şekil 12. 8mm balsa çekirdekli sandviçlerin enerji- zaman grafikleri a) 8 tabaka b) 12 tabaka



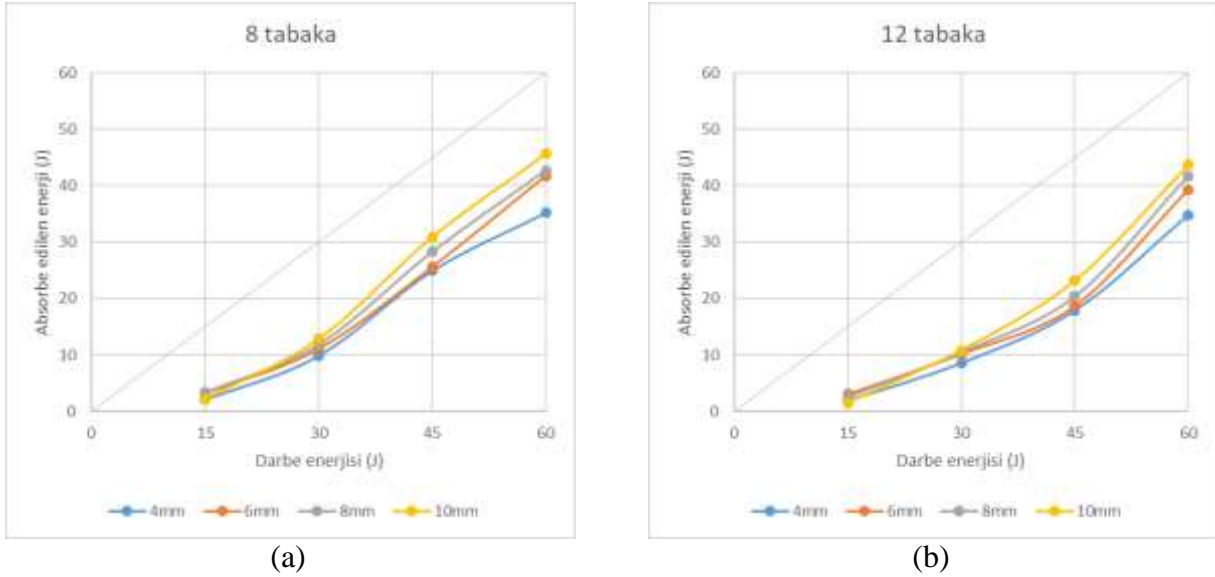
(a)



(b)

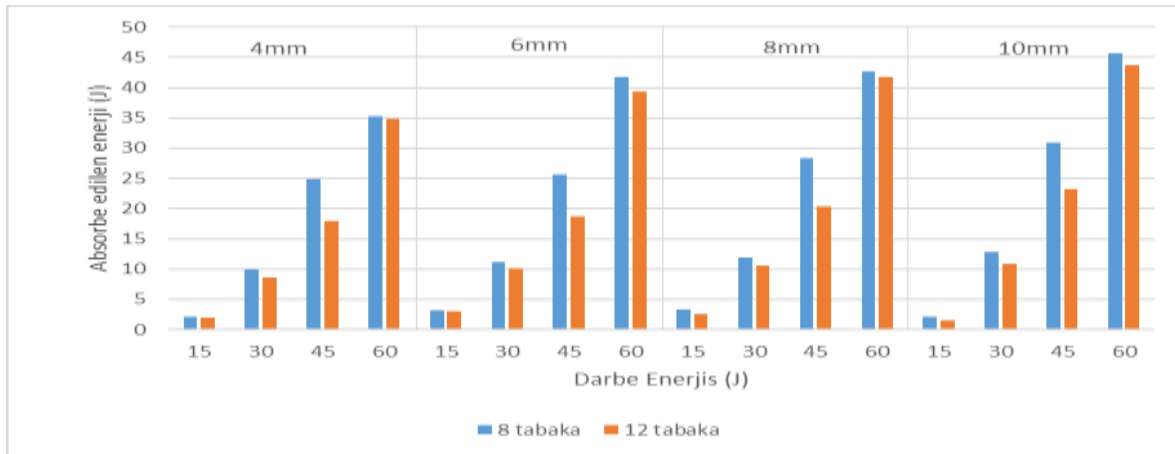
Şekil 13. 10mm balsa çekirdekli sandviçlerin enerji-zaman grafikleri a) 8 tabaka b) 12 tabaka

Balsa kalınlığının absorbe edilen enerji üzerindeki etkisini incelemek için Şekil 14’de eş enerji grafikleri verilmiştir. Eş değer enerji grafiğinde 45°’lik eğim ile grafik alanını ikiye bölen çizgi eş enerji çizgisi olarak adlandırılmaktadır [18].



Şekil 14. Sandviç Numunelerin eş enerji grafikleri a) 8 tabaka b) 12 tabaka

Yapılan çalışmada deney numunelerinde delinme gözlenmediği için eş enerji grafiklerinde elde edilen sonuçlar eş enerji çizgisi ile kesişmemektedir. Grafik incelendiğinde her iki tabaka sayısı için darbe enerjisi artışına bağlı olarak absorbe edilen enerji değerleri artmaktadır. Bununla birlikte 15J darbe enerjisi uygulanmış numunelerde absorbe edilen enerji miktarının 4 farklı balsa kalınlığı için de benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Darbe enerjisi artışına bağlı olarak absorbe edilen enerji değerleri balsa kalınlığı artışı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Balsa kalınlığı artışı sandviç yapıda temas kuvveti ve deplasmanlar üzerinde etkili olmamıştır.



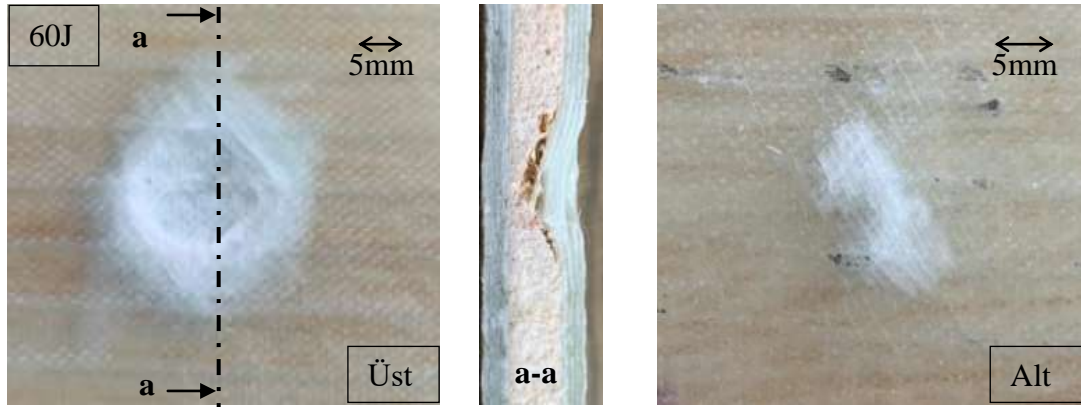
Şekil 15. Sandviç numunelerin absorbe edilen enerji- darbe enerjisi grafikleri

Fakat özellikle 30J ve üzerindeki darbe enerjilerinde balsa kalınlığı artışı ile absorbe edilen enerji de artmaktadır. Şekil 15’de verilen grafik tabaka sayısı artışının absorbe edilen enerji üzerindeki etkilerini göstermektedir. 15J darbe enerjide yapılan testlerde tabaka sayısı değişimin absorbe edilen enerji üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. 30J, 45J ve 60J değerlerinde yapılan testler göz önüne alınışında 8 tabakalı kompozitlerin kullanıldığı sandviç yapılarda absorbe edilen enerjinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç tüm balsa numuneler için geçerlidir. 12 tabakalı

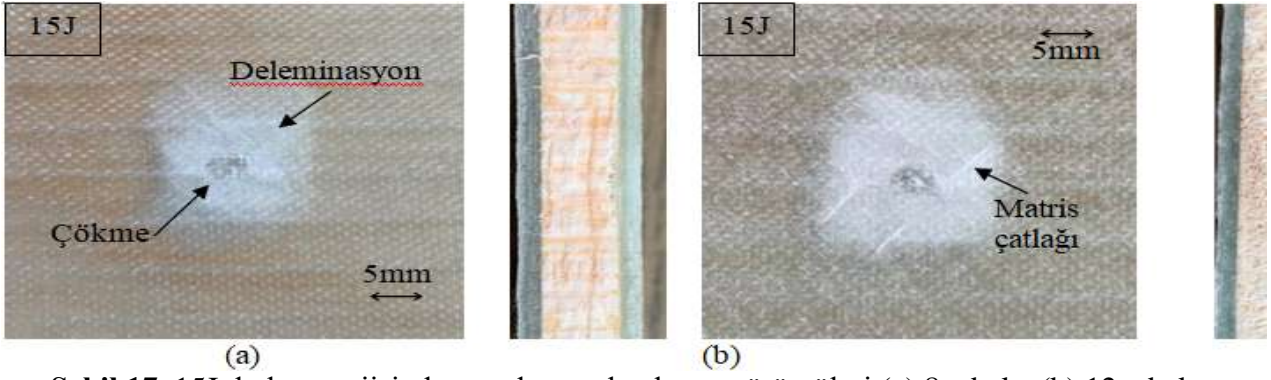
numunelerde absorbe edilen enerjinin daha düşük olmasına bağlı olarak Şekil 9’da görüldüğü gibi yapıda daha küçük deplasmanlar meydana gelmektedir.

Yapılan testler sonucunda tüm numunelerin hasar şekilleri incelenmiştir. Genel olarak hasarın sandviç yapının üst yüzeyinde ve çekirdekte meydana geldiği görülmüştür. Sadece 4mm balsa kalınlığına sahip 8 tabakalı numunelere 60J enerji değerinde yapılan testlerde alt yüzeyde delemasyonların başladığı gözlenmiştir. Şekil 16’da 4mm balsa çekirdekli, 8 tabakalı numunelerin test sonrası üst yüzey, kesit ve alt yüzey görüntüleri verilmiştir. Üst yüzeyde vurucu ucun geometrisine benzer şekilde çökme, delemasyonlar, fiber kırıkları ve matris çatlakları belirgin bir şekilde görülmektedir. Kesit görüntüsünde, kompozit malzemede delemasyon, çekirdek kompozit ara yüzey ayrılması ve balsa’nın ezildiği görülmektedir. Alt yüzeyde ise en belirgin hasar tipi delemasyon olarak belirlenmiştir.

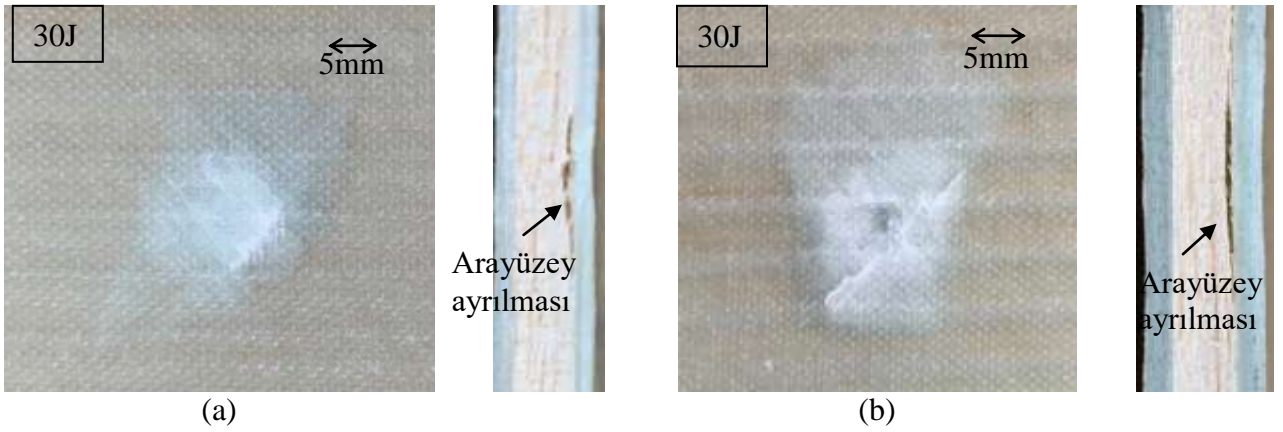
Şekil 17, şekil 18, şekil 19 ve şekil 20’de sırasıyla 15J, 30J 45J ve 60J enerji değerlerinde 8 ve 12 tabakalı numunelerde görülen hasar tipleri incelenmiştir. 15J darbe enerjisi sonucunda numunelerde meydana gelen baskın hasar tipi delemasyondur. Bununla birlikte 8 ve 12 tabakalı numunelerde de matris çatlakları ve çökme oluştuğu gözlenmiştir. 8 tabakalı numunelerde daha yüksek enerji absorbe edildiği göz önüne alındığında çökme çapının 8 tabakalı numunelerde daha büyük olması beklenen bir sonuçtur. Kesit görüntüleri incelendiğinde 8 tabakalı numunelerde sandviç ara yüzeyinde ayrılmalar belirlenmiştir. Fakat 12 tabakalı numunelerin kesit görüntüsünde belirgin hasar, üst yüzeyde oluşan delemasyonlardır. 8 ve 12 tabakalı numunelerde de 15J enerji değerinde balsa yapıda belirgin bir hasar gözlenmemiştir (Şekil 17). Şekil 18’de 30J darbe enerjisi sonucunda 8 ve 12 tabakalı numunelerde, darbe enerjisi artışına bağlı olarak ara yüzey ayrılmaları görülmüştür. 45J darbe enerjisi uygulanmış 8 tabakalı numunelerde çökme çapı belirgin bir şekilde artmaktadır. Bununla birlikte darbe enerjisi artışına bağlı olarak delemasyon alanında genişleme ve fiber kırıkları oluşmaktadır. 8 tabakalı numunelerin kesit görüntüsü incelendiğinde sandviç ara yüzeyindeki ayrılma ile birlikte balsa yapıda meydana gelen ezilmeler görülmektedir. Şekil 19’de 12 tabakalı numunelerde oluşan fiber kırıkları verilmiştir. 12 tabakalı numunede, 8 tabakalı numuneye göre 45J enerji değerinde de daha az hasarın oluştuğu hem kesit hem de üst yüzey görüntülerinde anlaşılmaktadır. Özellikler 45J ve 60J darbe enerjilerinde delemasyonların ve fiber kırıklarının fiber yönlenece doğru devam ettiği görülmektedir. Şekil 20’de verilen kesit görüntülerinde 12 tabakalı sandviç numunelerde de balsa yapıda ezilmelerin başladığı görülmektedir. 8 tabakalı numunelerde 60J enerji değerinde üst yüzeyin delindiği ve her iki tabaka sayısında delemasyonların, matris çatlaklarının ve fiber kırıklarının büyüdüğü gözlenmiştir. Şekil 17 ve şekil 20 arasında verilen numune görüntülerinde, darbe enerjisi artışına bağlı olarak numunelerde oluşan hasarın arttığı görülmektedir.



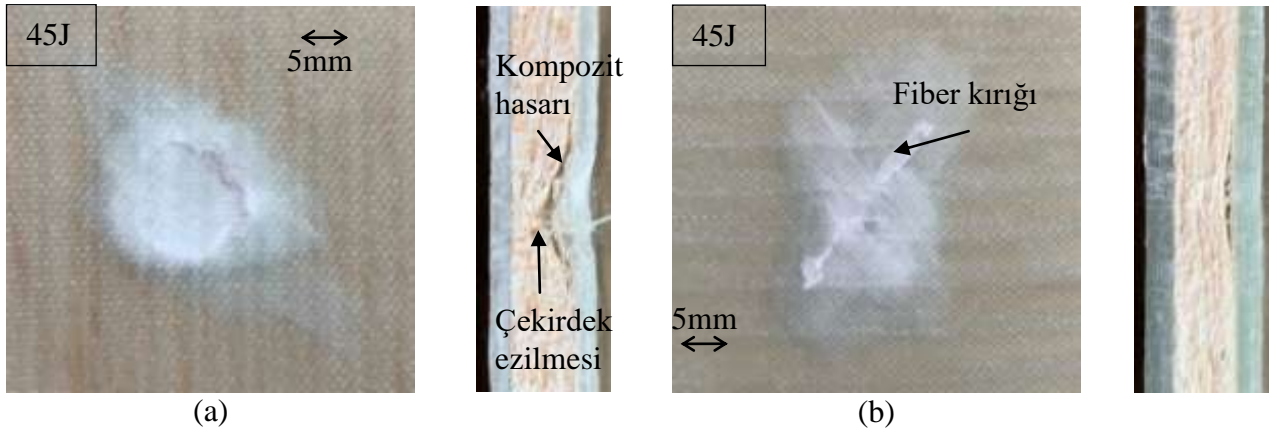
Şekil 16. 60J darbe enerjisinde 4mm balsa-8 tabakalı numunede meydana gelen hasar görüntüsü



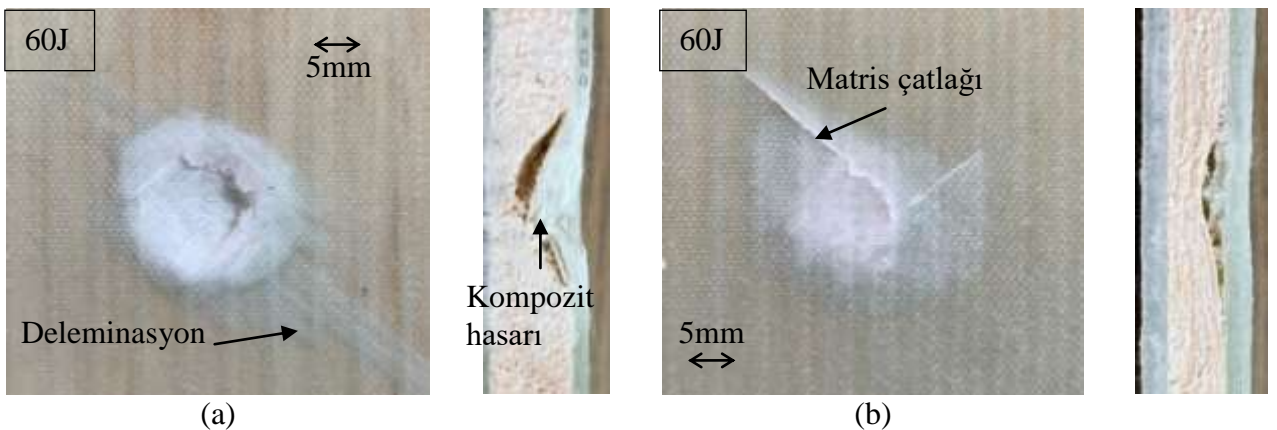
Şekil 17. 15J darbe enerjisinde meydana gelen hasar görüntüleri (a) 8 tabaka (b) 12 tabaka.



Şekil 18. 30J darbe enerjisinde meydana gelen hasar görüntüleri (a) 8 tabaka (b) 12 tabaka.



Şekil 19. 45J darbe enerjisinde meydana gelen hasar görüntüleri (a) 8 tabaka (b) 12 tabaka.



Şekil 20. 60J darbe enerjisinde meydana gelen hasar görüntüleri (a) 8 tabaka (b) 12 tabaka.

5. Sonuçlar

Balsa çekirdekli sandviç yapılarda tabaka sayısı ve çekirdek kalınlığının darbe testleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve test sonucunda meydana gelen hasarlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Artan darbe enerjisine bağlı olarak temas kuvveti ve deplasman değerleri artmaktadır. En düşük temas kuvveti 4mm balsa çekirdekli numunelerde 15J değerinde 6486,9 N ve en yüksek temas kuvveti ise 12 tabakalı 10mm balsa çekirdekli numunelerde 60J değerinde 16022N olarak belirlenmiştir.
- 12 tabakalı numunelerde oluşan temas kuvvetleri, 8 tabakalı numunelere göre daha yüksektir. Balsa kalınlığı artışının temas kuvveti üzerinde bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.
- 12 tabakalı numunelerde test sonucu oluşan deplasman değerleri, 8 tabakalı numunelere göre daha düşüktür. Buna bağlı olarak 8 tabakalı sandviç kompozitlerde daha büyük deformasyonlar ve hasarlar gözlenmektedir. Balsa kalınlığının deplasman değerleri üzerinde belirgin bir etki oluşturmadığı belirlenmiştir.
- Darbe enerjisi artışı ile absorbe edilen enerji artmaktadır. Absorbe edilen enerji 8 tabakalı numunelerde daha fazladır. Bununla birlikte sandviç yapıda çekirdek kalınlığı artışı absorbe edilen enerjiyi arttırmaktadır.
- Tüm numunelerde gözlemlenen en belirgin hasar tipi delemantasyondur. Bununla birlikte darbe enerjisi artına bağlı olarak çökme, matris çatlakları ve fiber kırıkları artmaktadır. Fiber kırıkları ve delemantasyonlar genel olarak fiber yönlenmesi doğrultusundadır. Sandviç yapıda, düşük darbe enerjilerinde çekirdek-kompozit ara yüzeyinde ayrılma ve yüksek darbe enerjilerinde ise balsada ezilmeler gözlenmektedir.

Teşekkür

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

Kaynaklar

- [1]. Arıkan V., Sandviç Kompozitlerin Onarım Parametrelerinin İncelenmesi, Doktora, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [2]. Soutis ., Fibre reinforced composites in aircraft construction, Progress in Aerospace Sciences, 2005, 41(2): 143-151.
- [3]. Kaw A. K., Kompozit Malzeme Mekaniği, Cilt no:1, Elif Yayınevi, Ankara, 2006.
- [4]. Leijten J., Bersee H. E. N., Bergsma O. K., Beukers A., Composites : Part A Experimental study of the low-velocity impact behaviour of primary sandwich structures in aircraft, Composites Part A, 2009, 40(2): 164-175.
- [5]. Shishkina O., Lomov S. V., Verpoest I., Gorbatikh L., Structure–property relations for balsa wood as a function of density: modelling approach, Archive of Applied Mechanics, 2014, 84(1): 789-805.
- [6]. Borrega M., Gibson L. J., Mechanics of balsa (Ochroma pyramidale) wood, Mchanics of Materials, 2015, 84(1): 75-90.
- [7]. Tagarielli V. L., Deshpande V. S., Fleck N. A., The dynamic response of composite sandwich beams to transverse impact, International Journal of Solids and Structures, 2007, 44(7): 2442-2457.
- [8]. Atas C., Sevim C., On the impact response of sandwich composites with cores of balsa wood and PVC foam, Composite Structures, 2010, 93(1): 40-48.
- [9]. Karaduman Y., Önal L., Flexural behavior of commingled jute/polypropylene nonwoven fabric reinforced sandwich composites, Composites Part B, 2016, 93(1): 12-25.

- [10]. Wang H., Ramakrishnan K. R., Shankar K., Experimental study of the medium velocity impact response of sandwich panels with different cores, *Materials and Design*, 2016, 99(1): 68-82.
- [11]. Zaharia S. M., Morariu C. O., Pop M. A., Experimental Study of Static and Fatigue Behavior of CFRP-Balsa Sandwiches under Three-point Flexural Loading, *BioResources*, 2017, 12(2): 2673-2689.
- [12]. Özdemir O., Öztoprak N., Kandas H., Single and repeated impact behaviors of bio-sandwich structures consisting of thermoplastic face sheets and different balsa core thicknesses, *Composites Part B*, 2018, 149(1): 49-57.
- [13]. Najafi M., Ansari R., Darvizeh A., Experimental characterization of a novel balsa cored sandwich structure with fiber metal laminate skins, *Iranian Polymer Journal*, 2019, 28(1): 87-97.
- [14]. Mohammadi M. S., Nairn J. A., Balsa sandwich composite fracture study: Comparison of laminated to solid balsa core materials and debonding from thick balsa core materials, *Composites Part B*, 2017, 122(1):165-172.
- [15]. Dai J., Hahn H. T., Flexural behavior of sandwich beams fabricated by vacuum-assisted resin transfer molding, *Composite Structures*, 2003, 61(3): 247–253.
- [16]. Silva A. D., Kyriakides S., Compressive response and failure of balsa wood, *International Journal of Solids and Structures*, 2007, 44(25): 8685–8717.
- [17]. Çakır M., berberoğlu B., E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış İle Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2018, 5(3): 734-740.
- [18]. Ağır İ., Kırılmırsız dikişli cam elyaf kumaşlardan üretilen kompozit plakların darbe davranışlarının incelenmesi, Yüksek lisans, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.