

# Oluklu PVC köpük içeren denizel sandviç kompozitlerin darbe test performansları

Fatih BALIKOĞLU<sup>1,\*</sup>, T. Kerem DEMİRCİOĞLU<sup>1</sup>, Mustafa YILDIZ<sup>2</sup>, Nurettin ARSLAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Balikesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,, Çağış kampüsü, Balıkesir.

<sup>2</sup>Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Müh. Böl., Ankara

<sup>3</sup>Celal Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Manisa

Geliş Tarihi (Received Date): 26.07.2016

Kabul Tarihi (Accepted Date): 01.11.2016

## Özet

Bu çalışmada, denizel sandviç kompozitlerin charpy deney test sonuçlarına yer verilmiştir. Darbe testleri farklı iki laminasyon planına sahip denizel sandviç kompozit numunelere uygulanmıştır. Ön darbe ve ön darbesiz testler neticesinde sandviç numunelerin absorbe ettikleri enerji miktarları belirlenmiştir. Darbe yükleri numunelerin borda içi (ince) ve borda dışı (kalın) taraflarına uygulanmıştır.  $\pm 45$  elyaf ara tabaka içeren sandviç numunelerin darbe performansları, sadece 0/90 elyaf içeren numunelere kıyasla ön darbeli testlerde yüksek çıkmıştır. Oluklu PVC köpük içeren numuneler, düz PVC içerenlere kıyasla yüksek darbe enerjisi değerlerinde hasara uğramıştır. Ön darbe testleri sonrasında absorbe edilen enerji miktarlarının lineer olarak azaldığı gözlenmiştir. Oluklu PVC içeren sandviç numunelerde reçine sütunlar yapıya destek olarak darbe performanslarının artışı sağlamıştır. Farklı enerji seviyelerinde uygulanan darbe yükleri sonucu oluşan farklı hasar durumları rapor edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sandviç kompozit, charpy darbe testi, PVC, hasar tipleri

## Impact test performance of marine sandwich composites with grooved-PVC foam

### Abstract

In this study, charpy impact test results of marine sandwich composites have been reported. Impact tests have been conducted on the sandwich samples with two different

\* Fatih Balıkoğlu, fatih@balikesir.edu.tr, Tel: (266) 612 11 94 (5101)

*stacking sequences. The amount of absorbed energy has been determined after repeated-impact and impact tests. Impact loads were applied to both sides of sandwich samples. The performance of the repeated-impacted sandwich samples with  $[\pm 45]$  intermediate layers was higher than samples having only plain  $[0/90]$  plies. Samples with cross-grooved PVC foam have failed at high impact energy values compared to samples with plain PVC foam. Following the repeated-impact tests, it has been observed that the amount of absorbed energy has decreased linearly. Using cross-grooved PVC foam has led to an increase in the impact performance due to resin columns supporting the sandwich structure. The impact loads applied at different energy levels caused different damage modes have been reported.*

**Keywords:** Sandwich composite, charpy impact test, PVC, damage modes

## 1. Giriş

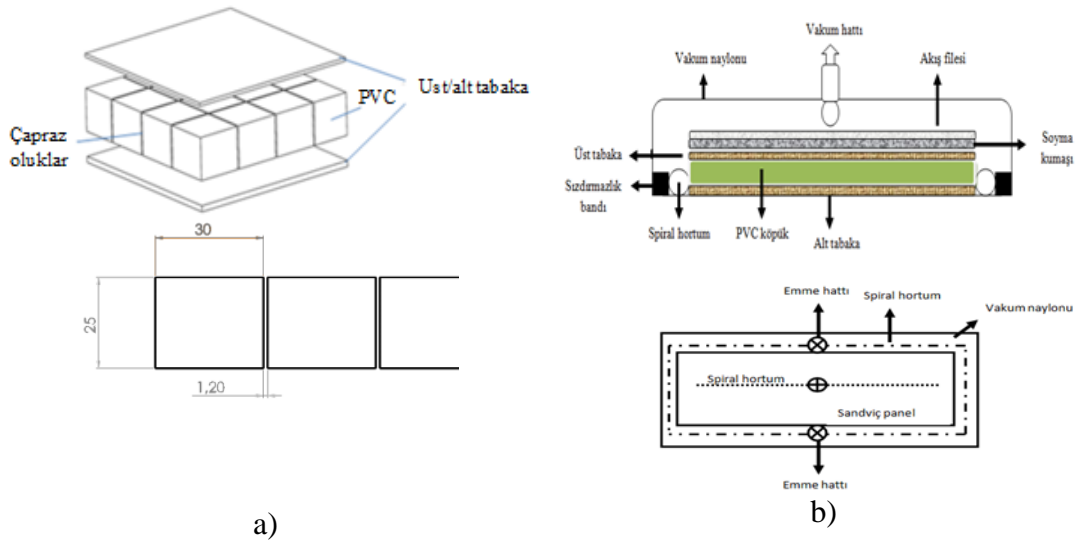
Sandviç kompozitler, eğilme yükü taşıma kabiliyetleri ve düşük ağırlıklarından dolayı kara, deniz ve hava ulaşım taşıtlarında tercih edilen malzemelerdir. Sandviç yapılar, düşük yoğunluk ve rijitlik değerlerine sahip çekirdek malzemenin üst ve alt yüzeylerine yük taşıyacak tabakaların yapıştırılması ile üretilmektedir[1]. Sandviç kompozit yapılar çalışma koşullarında statik ve dinamik yüklere maruz kalmaktadır [1]. Lokal darbe yüklerine karşı direnç değerlerinin düşük olduğu bilinmektedir. Darbe enerjisi, sandviç yapıda elastik deformasyona ve hasar oluşumlarına neden olmaktadır. Düşük hızda gerçekleşen darbe testlerinde, elyaf takviyeli polimer tabakalı ve köpük malzeme içeren sandviç yapılarda, üst/alt tabaka, tabaka-köpük ara yüzeyi ve köpük malzemede: delaminasyon (1), matris ve fiber kırılması (2), tabaka-köpük malzeme ayrılması (3) ve köpük ezilmesi (4) hasar durumları oluşmaktadır. Darbe yüküne maruz kalmış sandviç numunelere eğilme (dört nokta eğ. test), kesme (dört nokta eğ. test.) ve basma (dikine basma test.) testleri yapılarak mekanik performanslarında düşme miktarları belirlenmektedir [2-3]. Çalışmalarda, sandviç yapıların darbe performansları, impaktör geometrisine [4-7], tabakalarda kullanılan elyaf özelliklerine ve katman sayısına [8-12], ve kor malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir [13-19]. Sandviç kompozitlerin darbe hasar analizini ve hasar sonrası mekanik özelliklerinin belirlenmesini içeren geniş miktarda kaynak literatürde bulunmaktadır. Literatürde, İzod ve charpy darbe testleri sonucu, sandviç kompozit numuneler daha düşük enerji seviyelerinde darbenin uygulandığı noktadan eğilme yükü sebebiyle kırılmıştır. Ağırlık düşme testlerinde ise enerji, köpük tarafından absorbe edilmiş, farklı geometriye sahip impaktörler vasıtasıyla numunenin kalınlığı doğrultusunda uniform olarak dağılmıştır. Lokal deformasyon impaktörün temas ettiği ön tabakada hasara neden olmuştur. Charpy ve izod testlerinde numunelerin ön ve arka tabakaları hasar almış ve kırılmıştır. Ağırlık düşme testlerinde ise numunelerde üst tabaka-kor ayrılması ve kor kırılması hasar durumları gözlenmiştir. Darbe testlerinde, farklı impaktörlerin geometrisi temas alanı ve temas süresini etkilemiştir. Charpy impaktörlerin darbe temas yükü ve maksimum kuvvet değerleri yüksek, temas süresi ise düşük çıkmıştır. Küresel impaktörde çap değerinin artışı temas alanının artmasına, temas süresinin kısılmasına ve darbe tepe noktasının ve delaminasyon miktarının artmasına neden olmuştur [4,5]. Sandviç kompozitlerin darbe sonrası performansları, uygulanan darbe enerjisinin büyüklüğüne (J), darbenin uygulanışına (charpy, izod, ağırlık düşme, balistik darbe) ve darbe sonrası uygulanacak kuvvete bağlı olarak (eğilme, kesme ve basma) farklılık göstermektedir.

İleri sürdüğümüz çalışmada, dikişli bükümsüz E-cam/vinilester tabakalı ve PVC köpük malzemeye sahip polimer denizel sandviç kompozitlerin charpy deneyi test sonuçları sunulmuştur. Ön darbe sonrası denizel sandviç kompozitlerin absorbe ettikleri enerji miktarlarındaki değişim rapor edilmiştir. Oluklu yapıya sahip PVC içeren sandviç kompozitlerin darbe performansları, düz PVC içeren numuneler ile karşılaştırılmıştır. Literatürden farklı olarak balans olmayan yapıya sahip sandviç kompozitlerin charpy testleri yapılmış ve numunelerin hasar almaları sağlanmıştır. Sandviç yapıların iç ve dış kısmına uygulanan darbe yükü altında absorbe ettikleri enerji miktarları belirlenmiştir.

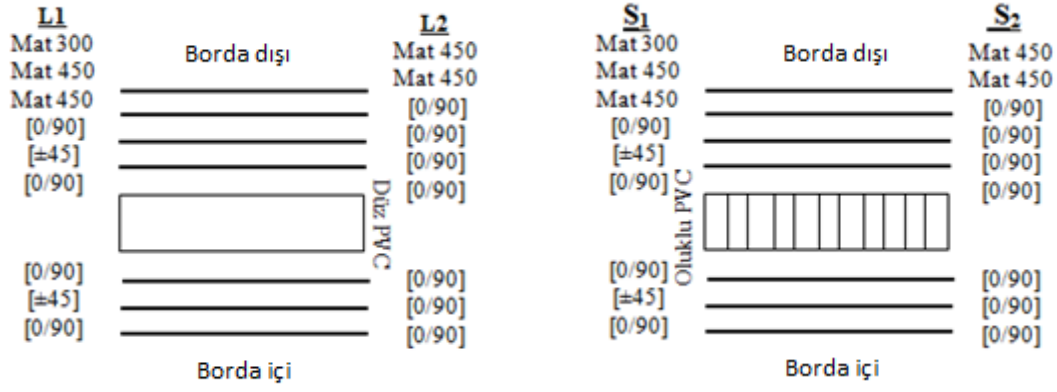
## 2. Deneysel çalışmalar

### 2.1. Materyal ve metod

Sandviç kompozit plakalar laboratuvarında VARTM (vakum destekli reçine transfer yöntemi) ile üretilmiştir (Şekil 1 b). VARTM sırasında vakum pompası ile negatif 760 mm hg basınç oluşturulması sağlanmıştır. Sandviç kompozit plakalar test numunesi olarak kesilmeden önce iki (2) hafta kadar tamamen kürleşmesi için beklenmiştir. Elyaf malzeme olarak iki eksenli 0/90 ve  $\pm 45$  dizilime sahip dikişli bükümsüz düz (biaxial stitched fabric) 850 gr/m<sup>2</sup>E-cam elyaf, 300, 450 gr/m<sup>2</sup> E-cam keçe kullanılmıştır. VARTM üretimine uygun Poliya marka Polives 702 infüzyon tipi Bisfenol-A Epoksi vinilester reçine tercih edilmiştir. Reçine içerisine, başlatıcı olarak ağırlıkça %1-2 wt oranında MEKP (Metiletilketonperoksit), hızlandırıcı olarak ağırlıkça % 0,2-0,5 wt oranında kobalt naftanat kullanılmıştır. 25 mm kalınlığına sahip düz ve çapraz oluklu Airex C.70.75 PVC köpük malzeme kullanılmıştır (Şeki 1a). Düz PVC içeren numuneler L<sub>1</sub> ve L<sub>2</sub>, çapraz oluklu PVC içeren numuneler ise S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> olarak isimlendirilmiştir. Laminasyon planları Şekil 2’ de verilmiştir. 2.5 mm kalınlığında (0/90/ $\pm 45$ /0/90) ve (0/90)<sub>3</sub> tabakalar borda içini, 4 mm 2 kat Mat450, (0/90)<sub>4</sub> ve 3,5 mm Mat300,450,(0/90/ $\pm 45$ /0/90) tabakalar ise borda dışını göstermektedir (Şekil 2).



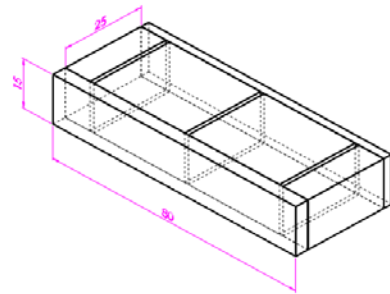
Şekil 1. a) Çapraz oluklu PVC içeren sandviç kompozit yapı, b) VARTM metodu şematik resmi



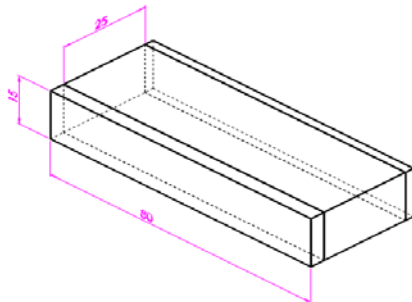
Şekil 2. Sandviç kompozitlerin laminasyon planları

## 2.2. Sandviç kompozitlerin Charpy deneyi test sonuçları

L<sub>1</sub> ve S<sub>1</sub> charpy deney numuneleri (uzunluk x yükseklik x kalınlık), 125x31x15 mm, L<sub>2</sub> ve S<sub>2</sub> numuneleri ise 125x31,5x15 mm olarak hazırlanmıştır (Şekil 3 a,b). Borda içi ve dışı olmak üzere 5' er adet numuneye darbe yüklemesi uygulanmıştır. Darbe testlerinde mesnet aralığı 45 mm olarak belirlenmiştir. Ön darbesiz numuneler 300 joule (J) değerinde darbe yükü ile hasara uğratılmıştır. Ön darbe yapılan testlerde, 30, 40, 80, 120 J değerinde ön yüklemeler sonrası 300 J darbe yükü ile numunelerin destek kısmında bulunan tabakaların hasar alması hedeflenmiştir. Testler neticesinde absorbe edilen enerji miktarları rapor edilmiştir. Charpy deney test düzeneği Şekil 3 c' de verilmiştir. Numunelerin ön darbesiz sonuçları Şekil 4, 5' te, ön darbeli test sonuçları ise Şekil 6-9' da verilmiştir.



a)

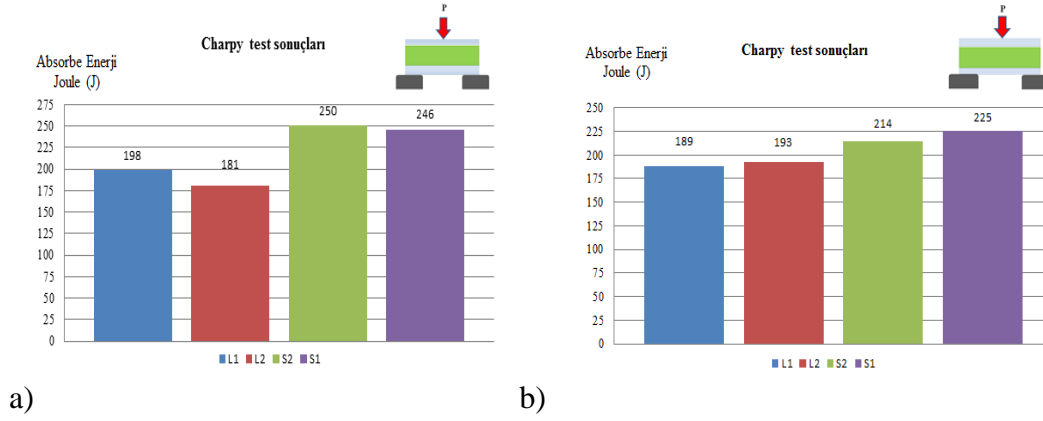


b)

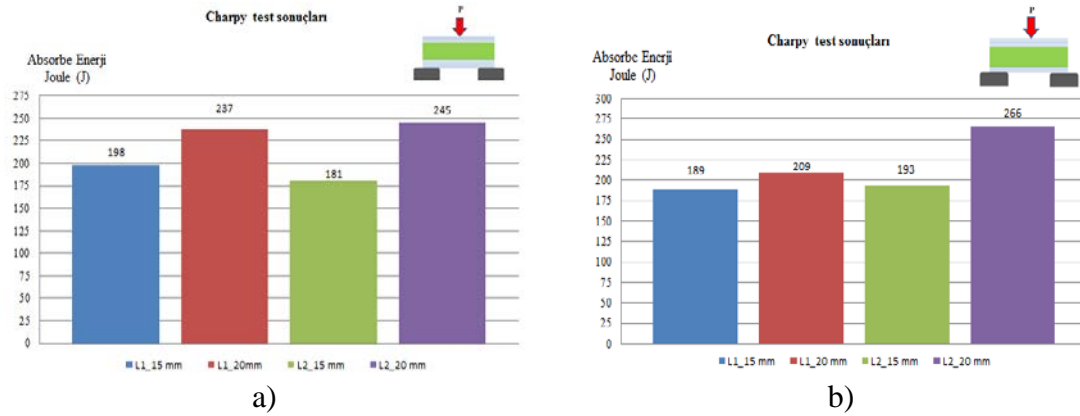


c)

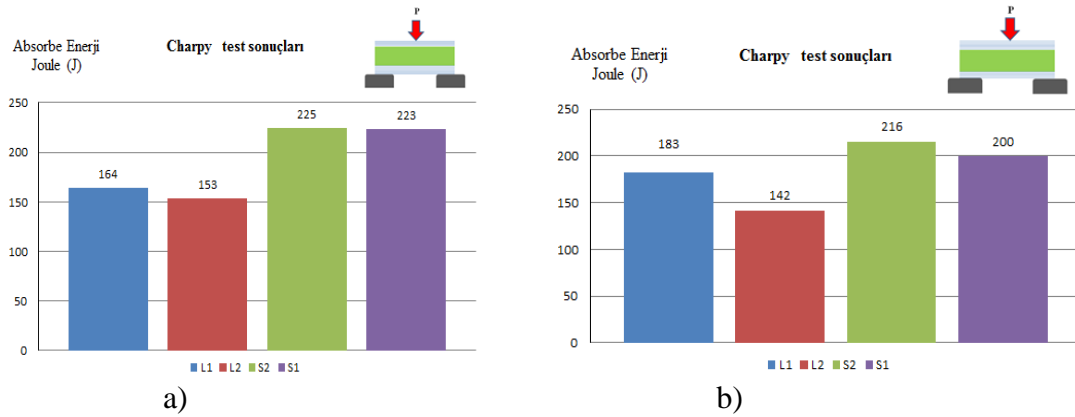
Şekil 3. a) Oluklu PVC içeren numune, b) Düz PVC içeren test numunesi, c) Alşa marka Charpy test düzeneği



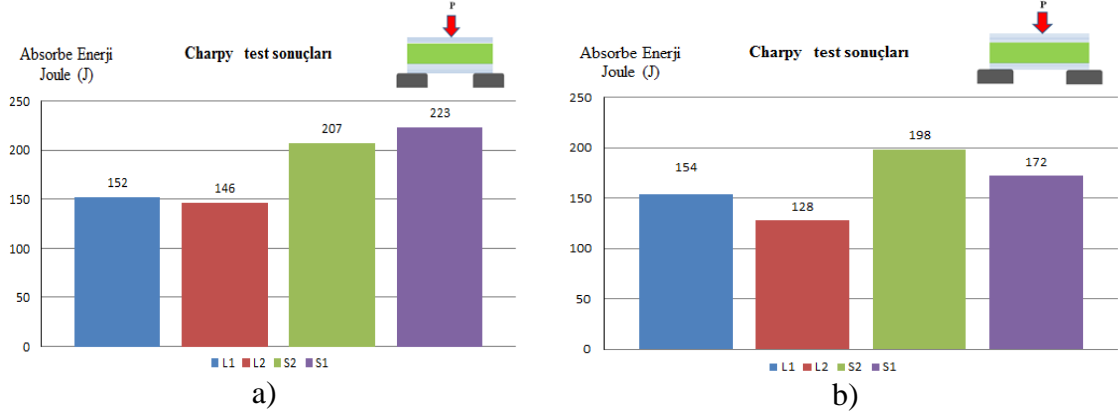
Şekil 4. Ön darbesizdenizel sandviç kompozitlerin **300 J** darbe sonucu absorbe edilen enerji miktarları (J), a) darbe yönü borda içi, b) darbe yönü borda dışı



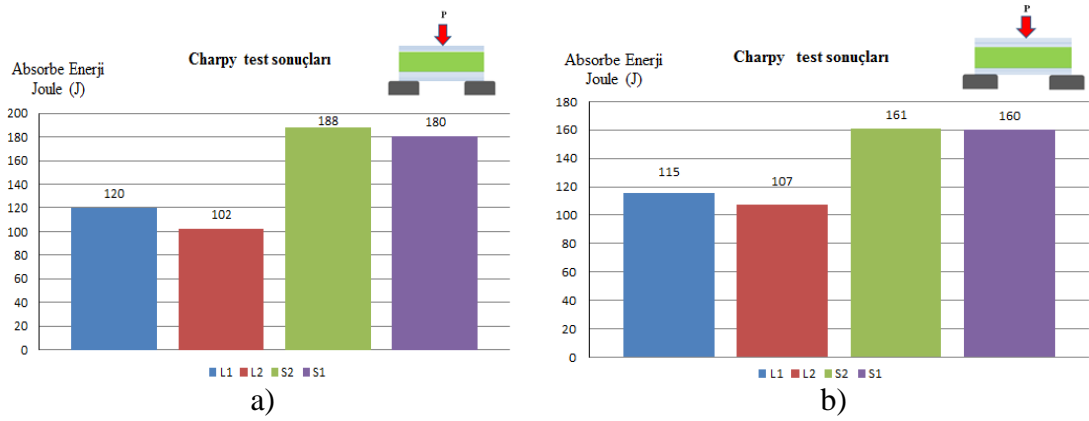
Şekil 5. Ön darbesiz  $L_1$  ve  $L_2$  numunelerin **300 J** darbe sonucu absorbe edilen enerji miktarları (J), parça kalınlığı: 15 mm ve 20 mm a) darbe yönü borda içi, b) darbe yönü borda dışı



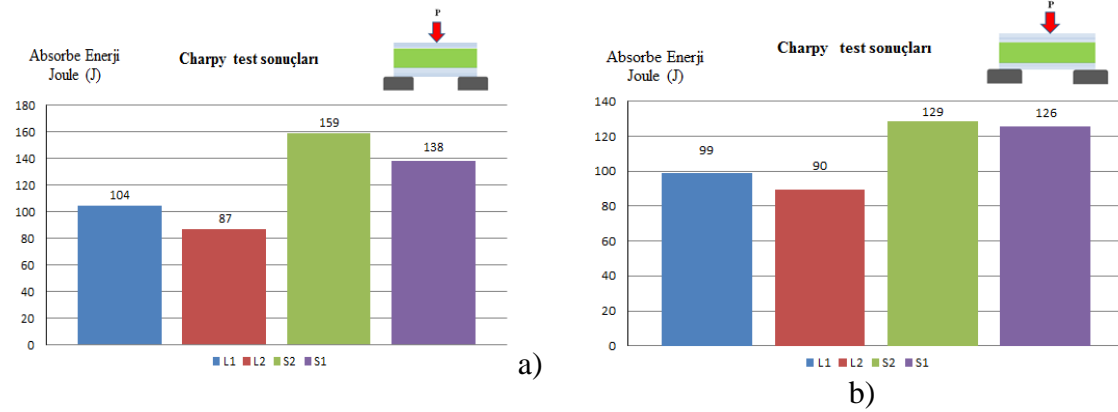
Şekil 6. Denizel sandviç kompozitlerin **30 J** ön darbe sonucu absorbe edilen enerji miktarları (J), a) darbe yönü borda içi, b) darbe yönü borda dışı



Şekil 7. Denizel sandviç kompozitlerin **40 J** ön darbe sonucu absorbe edilen enerji miktarları (J), a) darbe yönü borda içi, b) darbe yönü borda dışı

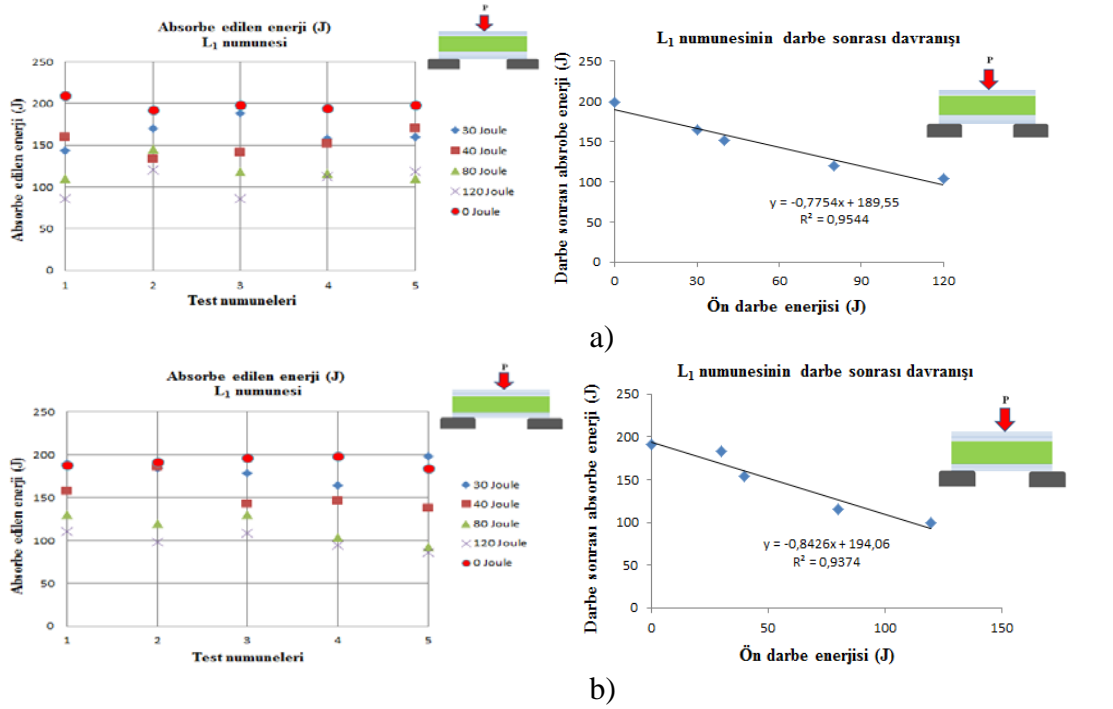


Şekil 8. Denizel sandviç kompozitlerin **80 J** ön darbe sonucu absorbe edilen enerji miktarları (J), a) darbe yönü borda içi, b) darbe yönü borda dışı

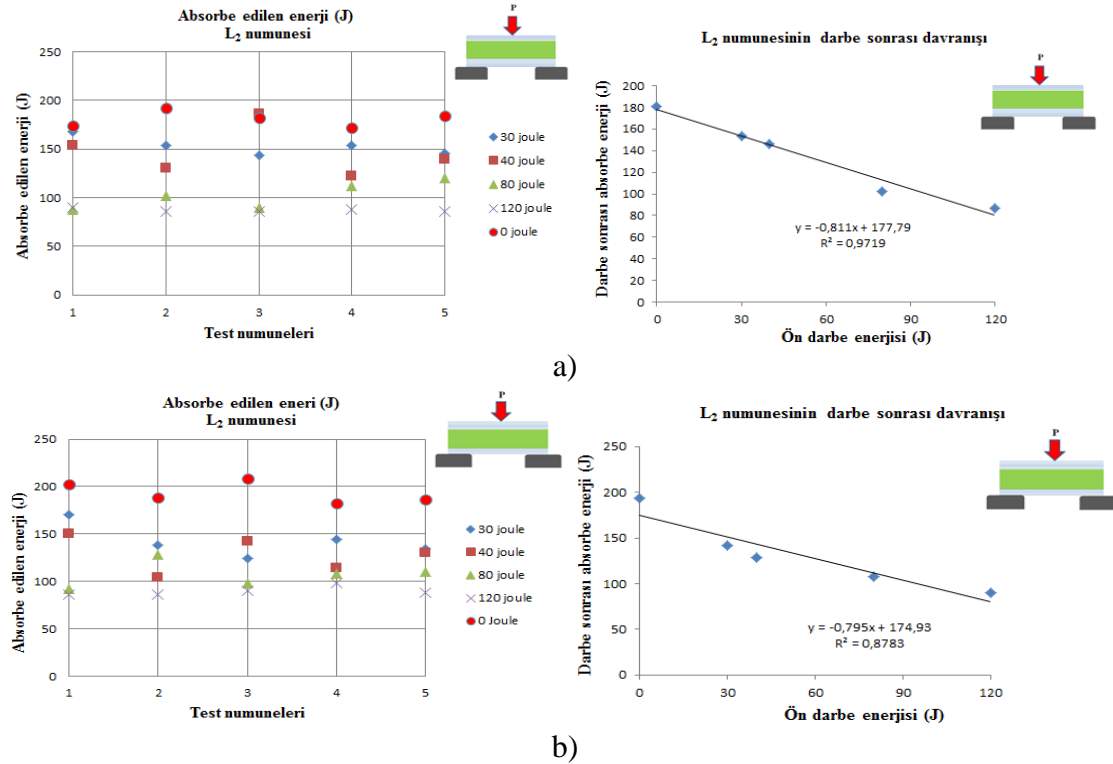


Şekil 9. Denizel sandviç kompozitlerin **120 J** ön darbe sonucu absorbe edilen enerji (J) a) darbe yönü borda içi, b) darbe yönü borda dışı

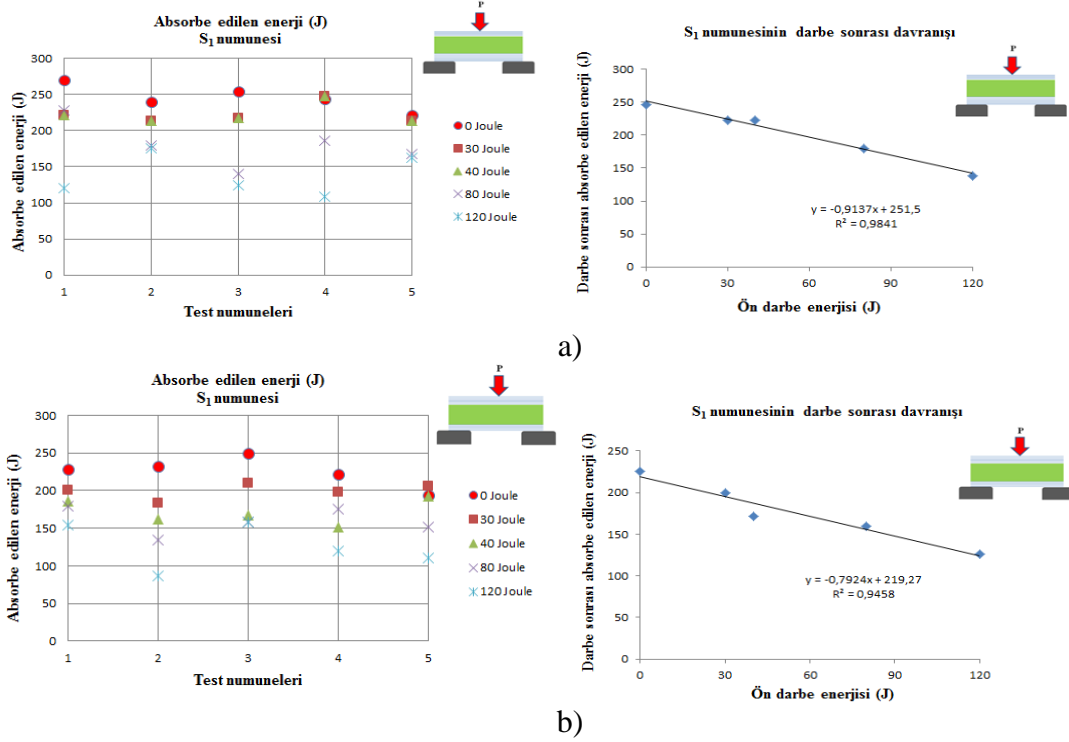
Şekil 10-13' de sandviç numunelerin farklı darbe enerjisi değerleri sonucu absorbe ettikleri enerji dağılımları verilmiştir. Ön darbe enerji miktarı artışı absorbe edilen enerji miktarlarının lineer olarak düşmesine neden olmuştur.



Şekil 10.  $L_1$  sandviç numunesinin ön darbesiz (0 J) ve ön darbe sonucu (30 J, 40 J, 80 J, 120 J) absorbe edilen enerji (J) miktarlarının dağılım grafikleri, a) **borda içi** enerji absorbe değerleri ve dağılımı (J), b) **borda dışı** enerji absorbe değerleri ve dağılımı (J)



Şekil 11.  $L_2$  sandviç numunesinin ön darbesiz (0 J) ve ön darbe sonucu (30 J, 40 J, 80 J, 120 J) absorbe edilen enerji (J) ve darbe sonrası davranışlarının dağılım grafikleri, a) **borda içi** enerji absorbe değerleri ve dağılımı (J), b) **borda dışı** enerji absorbe değerleri ve dağılımı (J)

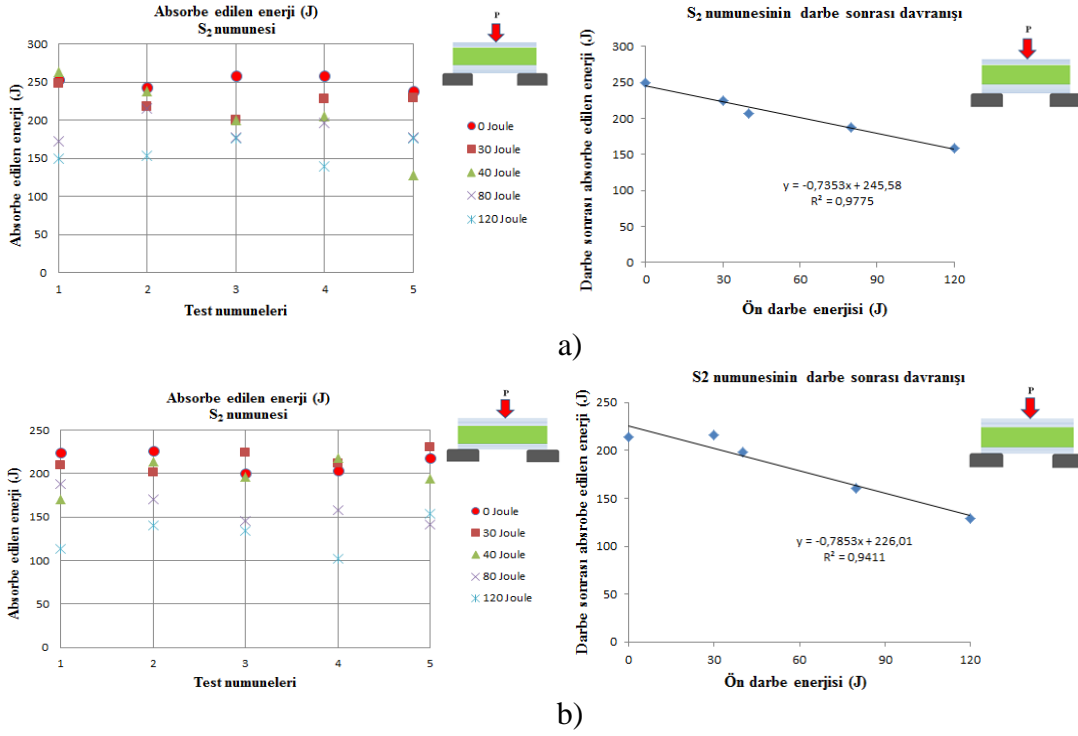


Şekil 12. S<sub>1</sub> sandviç numunesinin ön darbesiz (0 J) ve ön darbe sonucu (30 J, 40 J, 80 J, 120 J) absorbe edilen enerji (J) ve darbe sonrası davranışlarının dağılım grafikleri, a) **borda içi** enerji absorbe değerleri ve dağılımı (J), b) **borda dışı** enerji absorbe değerleri ve dağılımı (J)

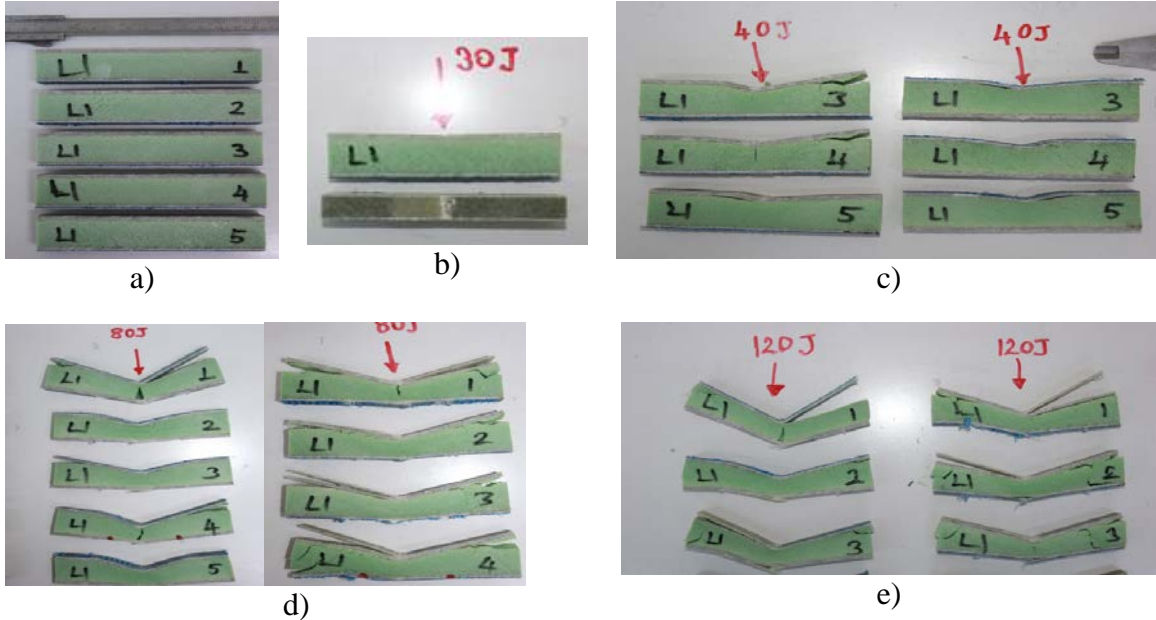
Tablo 1. Sandviç kompozitlerin absorbe ettikleri enerji miktarları (J)

Numune	Darbe yüklenme durumu	Ön-darbesiz Ön darbe enerji değerleri				
		300 J	30 J-300j	40 J-300J	80J-300J	120J-300J
L <sub>1</sub>	Borda içi, ince	198	164	152	120	104
	Borda dışı, kalın	189	183	154	115	99
L <sub>2</sub>	Borda içi, ince	181	153	146	102	87
	Borda dışı, kalın	193	142	128	107	90
S <sub>1</sub>	Borda içi, ince	246	223	223	180	138
	Borda dışı, kalın	225	200	172	160	126
S <sub>2</sub>	Borda içi, ince	250	225	207	188	159
	Borda dışı, kalın	214	212	198	161	129

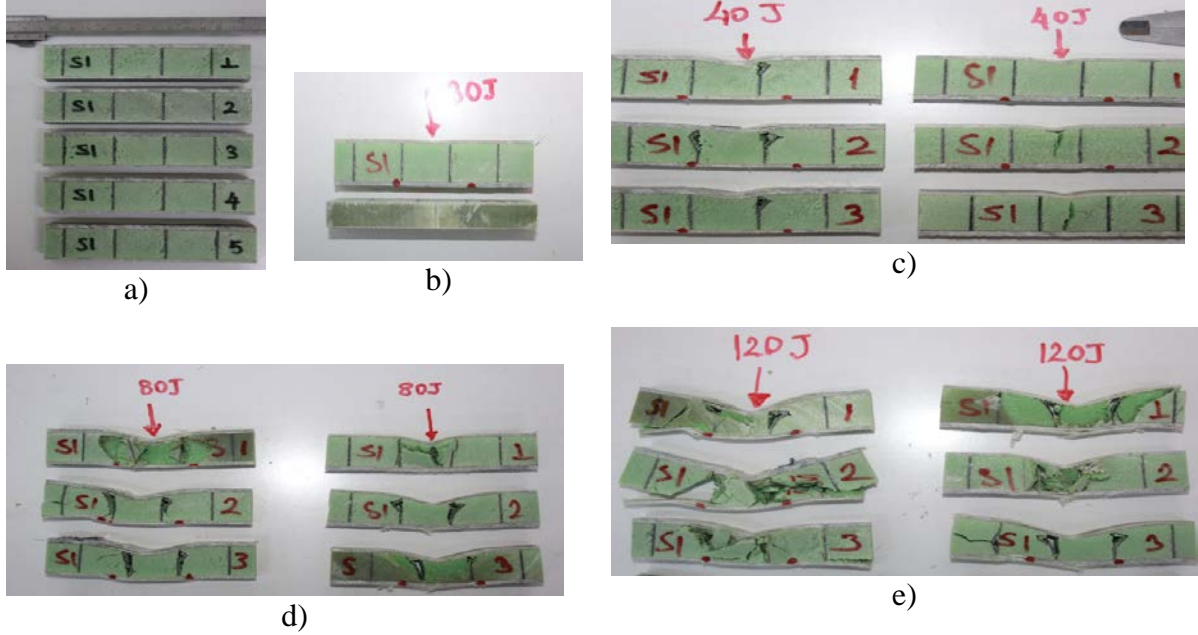




Şekil 13. S<sub>2</sub> sandviç numunesinin ön darbesiz (0 J) ve ön darbe sonucu (30 J, 40 J, 80 J, 120 J) absorbe edilen enerji (J) ve darbe sonrası davranışlarının dağılım grafikleri, a) **borda içi** enerji absorbe değerleri ve dağılımı (J) b) **borda dışı** enerji absorbe değerleri ve dağılımı (J)



Şekil 14. Farklı ön darbe enerji seviyelerinde hasara uğrayan L<sub>1</sub> numunelerinin görüntüleri; a) Orijinal numune, b) 30 J darbe enerji etkisi, c) 40 J darbe enerjisi etkisi d) 80 J darbe enerjisi etkisi, e) 120 J darbe enerjisi etkisi



Şekil 15. Farklı ön darbe enerji seviyelerinde hasara uğrayan S<sub>1</sub> numunelerinin görüntüleri, a) Orijinal numune, b)30 J darbe enerji etkisi, c)40 J darbe enerjisi etkisi d) 80 J darbe enerjisi etkisi, e)120 J darbe enerjisi etkisi

### 3. Sonuçlar ve tartışma

- Oluklu PVC içeren sandviç kompozitlerin darbe yükü altında performanslarında artış sağlanmıştır.
- Oluklu PVC içeren numunelerde reçineler kalınlık doğrultusunda sütun gibi davranarak sandviç yapıya destek olmuşlardır.
- 30, 40, 80, 120 J enerjiye sahip ön darbe testleri ile sandviç numunelerin tekrarlı darbe yükleri altında performansları belirlenmiştir.
- Ön darbe testleri sonrasında absorbe edilen enerji miktarlarının lineer olarak azaldığı rapor edilmiştir (Şekil 10-13).
- Borda içi (ince) 300 J darbe yüklemesi sonucunda düz PVC içeren L<sub>1</sub> ve L<sub>2</sub> numunelerine kıyasla, S<sub>1</sub> numunesi % 24, S<sub>2</sub> numunesi ise % 38 daha fazla enerji absorbe etmiştir.
- Borda dışı (kalın) 300 J darbe yüklemesi sonucunda düz PVC içeren L<sub>1</sub> ve L<sub>2</sub> numunelerine kıyasla, S<sub>1</sub> numunesi % 19, S<sub>2</sub> numunesi ise % 11 daha fazla enerji absorbe etmiştir.
- ±45 e-cam elyaf ara tabaka içeren L<sub>1</sub> ve S<sub>1</sub> sandviç numunelerinin darbe performansları, sadece 0/90 elyaf içeren L<sub>2</sub> ve S<sub>2</sub> numunelerine kıyasla ön darbesiz testlerde yakın, ön darbeleri testlerde ise yüksek değerler almıştır.
- Ön darbe yükünün borda dış kısmından (kalın tabaka) uygulanması, borda içi (ince) tabakadan uygulanan yüklemelere kıyasla absorbe edilen enerji miktarlarının daha fazla düşmesine neden olmuştur. Borda dışı (kalın)tabakadan alınan ön darbe hasarın daha etkili olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 1).
- Farklı enerji seviyelerinde uygulanan darbe yükleri farklı hasarlara neden olmuştur (Şekil 14, 15).

- 30 J darbe enerji seviyesi hasara uğrayan tabakalarda delaminasyona neden olmuştur (Şekil 14,15b).
- 40 J enerji seviyesinde, düz PVC içeren numunelerde darbe alan tabakada fiber kırılması (ince tabaka) ve tabaka-PVC köpük ayrılması (kalın tabaka), oluklu PVC içeren numunelerde ise darbe alan tabakada delaminasyon ve korkırılması hasarları gözlenmiştir (Şekil 14,15c).
- 80 J enerji seviyesinde, düz PVC içeren numunelerde üst/alt tabakalarda fiber kırılması, oluklu PVC numunelerde ise köpük ezilmesi ve kalınlık doğrultusunda dikey reçine olukların kırıldığı gözlenmiştir (Şekil 14, 15d).
- 120 J enerji seviyesinde, darbe yükü düz ve oluklu PVC içeren numunelerde üst/alt tabakalarda fiberlerin kopmasına ve kor kırılması hasarlarına neden olmuştur (Şekil 14,15e).
- 300 J darbe enerjisi sonucunda numuneler tamamen hasara uğramıştır.
- $L_1$  ve  $L_2$  numunelerinde kalınlık değerlerinin 15 mm den 20 mm yükseltilmesi absorbe edilen enerji miktarlarında sırasıyla % 20 ve % 35 oranında artış sağlamıştır (Şekil 5). 30 mm kalınlığa sahip düz ve oluklu PVC içeren numuneler ise darbe enerjisini tamamen absorbe etmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Vinson, J.R., Sandwich structures. **Applied Mechanics Reviews**, 54, 3, 201–14, (2001).
- [2] Abrate, S., Localized impact on sandwich structures with laminated facings. **Applied Mechanics Reviews**, 50, 2, 69–82, (1997).
- [3] Abrate S., **Impact on composite structures**. Cambridge UK: Cambridge Press, (1998).
- [4] Srivastava, V. K., Impact behaviour of sandwich GFRP-Foam-GFRP, **Journal of Composite Materials**, 2, 4, 63-66, (2012).
- [5] Sevkati, E., Liaw, B., ve Delale, F., Drop-weight impact response of hybrid composites impacted by impactor of various geometries, **Materials and Design**, 52, 67-77, (2013).
- [6] Wang, J., Waas, A.M., ve Wang, H., Experimental study on the low-velocity impact behavior of foam-core sandwich panels. **53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference**, 1701, (2012).
- [7] Mitrevski, T., Marshall, I.H., ve Thomson, R., The influence of impactor shape on the damage to composite laminates, **Composite Structures**, 76 ,1–2, 116-122, (2006).
- [8] Anderson, T., ve Madenci, E., Experimental investigation of low-velocity impact characteristics of sandwich composites, **Composite Structures**, 50, 3, 239-247, (2000).
- [9] Wu, X.Q., ve Xia, F., Work on low-velocity impact properties of foam sandwich composites with various face sheets, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 29, (2009).
- [10] Xia, F., ve Wu, X.Q., Work on impact properties of foam sandwich composites with different structure, **Journal of Sandwich Structures and Materials**, 12, 1, 47-62, (2010).

- [11] Atas, C., ve Potoğlu, U., The effect of face-sheet thickness on low-velocity impact response of sandwich composites with foam cores, **Journal of Sandwich Structures and Materials**, 18, 2, 215-228, (2016).
- [12] Gustin, J., Joneson, A., Mahinfalah, M., ve Stone, J., Low velocity impact of combination Kevlar/carbon fiber sandwich composites, **Composite Structures**, 69, 4, 396-406, (2005).
- [13] Jedari S.S., Sadighi, M., Shakeri, M., ve Moeinfar M., An investigation on low velocity impact response of multilayer sandwich composite structures, **The Scientific World Journal**, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/175090>, (2013).
- [14] Jiang, D., ve Shu, D., Local displacement of core in two-layer sandwich composite structures subjected to low velocity impact, **Composite Structures**, 71, 1, 53-60, (2005).
- [15] Mamalis, A.G., Spentzas, K.N., Pantelelis, N.G., Manolakos, D.E., ve Ioannidis, M.B., A new hybrid concept for sandwich structures, **Composite Structures**, 83, 4, 335-340, (2008).
- [16] Hazizan, Md. A., ve Cantwell, W.J., The low velocity impact response of foam-based sandwich structures, **Composites Part B: Engineering**, 33, 3, 193-204, (2002).
- [17] Atas, C., ve Sevim, C., On the impact response of sandwich composites with cores of balsa wood and PVC foam, **Composite Structures**, 93, 1, (2010).
- [18] Torre L., ve Kenny, J.M., Impact testing and simulation of composite sandwich structures for civil transportation, **Composite Structures**, 50, 3, 257-267, (2000).
- [19] Schubel, P.M., Luo, J.J., ve Daniel, I.M., Low velocity impact behavior of composite sandwich panels, **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, 36, 10, 1389-1396, (2005).