



## Yanal Yüzeylerinden Çentik Kanal Açılan Sandviç Kompozitlerin Eksenel Darbe Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Sermet Demir\*, Uğur Kemiklioğlu

Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

sdemir@dogus.edu.tr , ukemiklioglu@dogus.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 10.09.2022, Makale kabul tarihi: 27.02.2023

### Öz

Sandviç kompozitler darbe dayanımlarına karşı yüksek mekanik performans göstermeleri sebebiyle hafiflik gerektiren birçok alanda tercih edilmektedir. Sandviç kompozitleri oluşturan elyaflar arasındaki çekirdek (kor) malzemenin hafif olmasının yanı sıra darbe sönümlenme özelliğinin fazla olması bu tür malzemelerin kullanımını etkin hale getirmektedir. Bu çalışma kapsamında çentik kanallı sandviç kompozit panellere uygulanan eksenel darbenin malzeme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Sandviç kompoziti oluşturan yapıda; 3D Core Firması (Herford, Almanya) tarafından temin edilen hegzagonal şeritli bal peteği formundaki polietilen tereftalat (PET) malzeme çekirdek malzeme olarak kullanılmıştır. Çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine simetrik olacak şekilde cam elyaflar istiflenerek vakum infüzyon yöntemi ile kompozit plakalar oluşturulmuştur. Bu plakalar test numunesini oluşturacak belirli boyutlarda kesildikten sonra, plakaların elyaflarının olduğu yüzeylerden tek taraflı ve çift taraflı olmak üzere, sırasıyla 0.35 ve 0.7 mm derinlikte çentik kanalları açılmıştır. Çentik kanalların açıldığı numunelere, özel olarak tasarlanmış eksenel yönlü darbe test cihazında 5, 10, 15 ve 20 Joule enerji seviyelerinde darbe testleri uygulanmıştır. Darbe testleri uygulanan tüm numuneler, sonrasında universal mekanik test cihazında üç nokta eğme deneyine tabi tutulmuştur.

Elde edilen test sonuçları incelendiğinde, en yüksek eğilme gerilmesinin tek taraftan 0.7 mm çentik açılmış numunede olduğu görülmüştür. En yüksek şekil değiştirmenin ise çift taraftan 0.7 mm çentik açılmış numunede meydana geldiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bal peteği, çentik, eksenel darbe, sandviç kompozit, üç nokta

## Investigation of Mechanical Properties of Sandwich Composites with Notched Grooves on Lateral Surfaces Under Axial Loads

### Abstract

Sandwich composites are preferred in many areas that require lightweight due to their high mechanical performance against impact resistance. The lightness of the core (core) material between the fibers that make up the sandwich composites and the high-impact damping feature make using such materials effectively. Within the scope of this study, the effect of axial impact applied to sandwich composite panels with notch channels on material properties was investigated.

In the sandwich composite structure, Polyethylene terephthalate (PET) material in the form of honeycomb with hexagonal strips supplied by 3D Core Company (Herford, Germany) was used as the core material. The composite plate was formed by vacuum infusion method by stacking glass fibers symmetrically to the lower and upper surfaces of the core material. After this plate was cut in specific dimensions to form the test sample, notched channels were opened at a depth of 0.35 and 0.7 mm, one-sided and double-sided, respectively, from the surfaces of the fibers of the plates. Impact tests at 5, 10, 15 and 20 Joule energy levels were applied to the samples in which the notched channels were opened in a specially designed axial directional impact test device. All specimens subjected to impact tests were then subjected to a three-point bending test in a universal mechanical testing device.

When the test results were examined, it was seen that the highest bending stress was in the sample with a 0.7 mm notch on one side. It was observed that the highest deformation occurred in the specimen with a 0.7 mm notch from both sides.

**Keywords:** 3-point bending, axial impact, honeycomb, notch, sandwich composite

## GİRİŞ

Kompozit malzemeler makroskopik ölçekte birleştirilen ve birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenden oluşan yapılardan oluşmaktadır (Kaw, 2006). Sandviç yapılı kompozitler; iki ince sert kabuğun nispeten hafif ancak kalın bir ana (kor) malzemeye eklenmesiyle üretilen özel bir kompozit malzeme sınıfı olarak açıklanabilmektedir. Ana malzemenin normalde düşük mekanik özellikte olmasına rağmen içerisine eklenen çekirdek malzemenin sağlamış olduğu düşük yoğunlukla birlikte, bu malzemenin kalınlığı sandviç panele eğilmeye karşı yüksek mukavemet özelliği kazandırmaktadır (Etili, 2021; Potoglu U., 2012). Sandviç kompozitlerin katmanları arasındaki elastik modül ve açılarının farklılığından dolayı yüzey ile çekirdek arasında katmanlar arası gerilmeler oluşur. Burada oluşan kesme ve normal gerilmeler ayrılmaya (delaminasyon) sebebiyet verebilir (Lagunegrand et al., 2005; Pipes ve Pagano, 1970). Bu nedenle sandviç yapının mekanik performans ömrü kısıtlanabilmektedir. Ayrıca, kompozit yapının imalatı sırasında yanlış veya eksik yapılan kürlenme, malzemelerin arasına yabancı cisimlerin girmesi ya da panel üzerinde oluşan deformasyonlara bağlı olarak da ayrılma gerçekleşebilir (Chen et al., 2022). Sandviç panellerin hasara uğramalarına sebep olan başlıca nedenler yüzeyde gerçekleşen maksimum gerilme kriteri ya da çekirdek malzeme ezilme kriteri olarak belirtilmiştir (Atas ve Sevim, 2010; Pıhtılı ve Tanyol, 2022). Bu nedenle yüzeyde oluşan kalıcı hasarların çalışılması büyük önem arz etmektedir.

Ataş ve Sevim PVC köpük çekirdekli ve balsa ahşap çekirdekli sandviç kompozit panellerin darbe tepkisi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çeşitli darbe enerjileri altında sandviç panellerin hasar süreci ve yük-uzama eğrileri analiz edilmiştir. Gözlenen birincil hasar çeşitleri alt ve üst yüzeyde fiber kırılmaları, cam elyaf katmandaki ayrışma, çekirdekte oluşan kırılmalar ve fiber malzeme ile çekirdek malzemenin ayrışması olarak belirtilmiştir. Yüksek enerji darbe testi uygulanmış numunelerde her iki kompozit için de yük-deformasyon eğrisi iki tepeli dağ şeklinde çıkmıştır. Darbe uygulanmamış yüzde ayrışma yüzeyi küçük olmasına karşın, enerji seviyesi arttıkça bu alanın arttığı gözlenmiştir (Atas ve Sevim, 2010).

Berk ve ark. cam ve aramid epoksi plakaların düşük hızlı, farklı enerji seviyelerinde darbe tepkisi üzerine deneysel ve sayısal bir araştırma yapmışlardır (Berk et al., 2016). Darbe test sonuçlarına göre aramid plaka cam plakadan daha fazla enerji absorbe etmiştir. Absorbe edilen enerji delaminasyon, matris çatlaması, fiber kırılması vb. formlarda dağıldığı belirtilmiştir. Plakanın kullanım ömrünü doğrudan etkileyen bu tür faktörlerin etkisinin araştırılmasının önemi vurgulanmıştır.

Önal ve Temiz balsa çekirdekli sandviç kompozitlerin darbe davranışlarının deneysel olarak incelemiştir (Önal ve Temiz, 2020). Vakum infüzyon yöntemi ile balsa çekirdek üzerine cam elyaf kaplanarak sandviç plaka imalatı yapılmıştır. Üretilen numunelere farklı enerji seviyelerinde düşük hızda darbe testleri uygulanmıştır. Elde edilen neticelere göre dış yüzey tabaka sayısı arttırıldıkça, temas kuvvetinin arttığı absorbe edilen enerjinin azaldığı belirtilmiştir. Bunun yanında çekirdek kalınlığının arttırılması absorbe edilen enerjiyi arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple yüzeyde oluşacak hasarlar ya da çekirdek malzeme ile kabuk arasındaki bağlantı zayıflığı ve bozukluğu malzemenin enerji absorbe etme kabiliyetini doğrudan etkilemektedir.

Özen ve Ürkmez Taşkın, alüminyum köpük malzemelerde takviye oranına bağlı darbe davranışını incelemiştir. Darbe enerjisinin, numunenin kırılma yüzeyindeki gözeneklilik oranına, takviye oranına ve alaşımın kimyasal birleşimine göre değiştiği gösterilmiştir (Özen ve Ürkmez Taşkın, 2021). Sandviç kompozit yapının iç formunu oluşturan malzemenin özellikleri kadar kabuk yapının özellikleri ve alabileceği farklı hasarlara karşı darbe enerji emişinin nasıl değişeceğinin incelenmesi yararlı olacaktır. Metin (Metin, 2008) kabuk yapı ile benzer özelliklere sahip cam/epoksi tabakaların düşük hızlı darbe hasarının burkulma özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu deneyler sonucu elde edilen bilgilere göre, düşük hızla darbe uygulanmış numunelerde delaminasyon için gerekli olan enerjinin bir bölümü delinme işlemi sırasında harcandığı için toplam delaminasyon miktarında bir azalma gözlemlenmiştir. Delinme işlemi sonrası delaminasyon miktarındaki azalma numune mukavemetindeki düşüşü daha küçük seviyelerde etkilemiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1173536

Castanie ve ark. (Castanie et al., 2020) havacılık uygulamalarında kullanılan sandviç yapılarla ilgili çalışmaların bir incelemesini sunmuşlardır. İncelenen çalışmalarda panel üzerine uygulanan hasarların etkileri ve toleransları incelenmiş ve önemi vurgulanmıştır. Uçuş sırasında yüzey hasarlarının aerodinamiğe etkisi ve büyük, küçük hasarların toleransları ile tamir edildikten sonra kullanım ömürlerinde oluşan değişiklikler gösterilmiştir. Bir sandviç kompozit yapının tasarımı, karmaşık kompozit yapıların tasarımının genel zorluğunun bir parçası olduğu belirtilmiştir. Özellikle, sadece malzeme seçimi değil, aynı zamanda yapısal tasarımında çok geniş olduğu ve tam bir metodolojinin olmadığı söylenmiştir. Böylelikle, farklı tasarım ve uygulamaları çalışmanın önemi vurgulanmıştır.

Güven, hasarlı kompozit yapı elemanlarının basma kuvveti altındaki mekanik özelliklerini incelemiştir (Güven, 2021). Düşük hızlarda uygulanan darbeler ile malzemelerde hasar oluşturulmuştur. Uygulanan basma deneyleri neticesinde hasarın mekanik özelliklere etkisi ve yükleme altındaki davranışları incelenmiştir. Elde edilen neticelere göre tabaka sayısının artışıdan ziyade sarım açısının daha etkili bir faktör olduğu belirtilmiştir. Düşük dereceli açılarda darbe etkisi gözlenirse de basma kuvveti altında hasar farklı bölgelerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. 55 ve üzeri derece açılarda darbe ön hasarlarında, özellikle delaminasyonun etkin olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple dik açılı kabuk yapının incelenmesi diğer değerlerden daha önemlidir.

Bu çalışma kapsamında, yüksek oranda enerji absorbe edebilme özelliğine sahip bal peteği formundaki kor malzeme kullanılarak oluşturulan cam elyaf takviyeli sandviç yapılara farklı kalınlıklarda, tek ve çift yönlü olmak üzere, yüzeysel çentik kanalları açılmış ve aksenel darbelerin numunelere etkimesi sonrasında meydana gelen hasar durumları karşılaştırılmıştır. Burada, farklı enerji değerlerindeki darbe kuvvetlerinin çentik kalınlığının etkisine bağlı olarak irdelenen hasar kuvvetleri, darbe alan numunelere uygulanan üç nokta eğme deneyi ile tespit edilmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında numunelerin hazırlanması için kullanılan malzemeler ve üretim yöntem, malzeme ve yöntem bölümünde verilmiştir. Ayrıca darbe test cihazı ve testlerin uygulanış biçimleri de aynı bölümde sunulmuştur.

Yapılan üç nokta eğme testleri sonucu elde edilen neticeler sonuçlar bölümünde verilmiştir. Son olarak, araştırmanın sonuçları tartışılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Sandviç Kompozit Malzemelerin Üretimi

Test numunesinin üretiminde çekirdek malzeme olarak 3D-Core firması tarafından temin edilen, Şekil 1'de gösterilen 10 mm kalınlığa sahip bal peteği formunda hegzagonal şeritli PET malzeme kullanılmıştır. Sandviç yapının kabuk yüzeylerinin imalatı için 200 gr/m<sup>2</sup> ağırlığında dokuma cam elyaf tercih edilmiştir. Alt ve üst yüzeye simetrik olarak 4 katlı elyaf istiflenmiştir ve bu elyaflardan 1 mm kalınlığa sahip kabuk eleman oluşturulmuştur. Çentik etkisinin en fazla görüleceği elyaf açısı, daha önceki çalışmalar göz önüne alındığında  $\pm 90^\circ$  olduğu görüldüğünden dokuma açısı bu değerde seçilmiştir (Güven, 2021). Özel olarak imal edilmiş bir kompozit üretim masasında, vakum infüzyon yöntemi ile epoksi reçine nüfuz ettirilerek sandviç kompozit panel imal edilmiştir. Reçine malzemesi olarak Huntsman Firmasından (Teksas, ABD) temin edilen Araldite LY 1564, sertleştirici olarak Aradur 2954 malzemeleri kullanılmıştır. Reçine ve sertleştirici karışım oranları ağırlıkça 100:33 olarak ayarlanmıştır. Plakaların üretimi sırasında vakum infüzyon işlemi sonrasında kürleşmenin hızlı olabilmesi için 100°C sıcaklığında 2 saat tutulmuş, sonrasında plakalar vakum altında tutularak masa sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi beklenmiştir. Plakanın kenar kısımları tesfiye edilerek her noktada elde edilebilecek en yüksek homojenlik sağlanmaya çalışılmıştır.

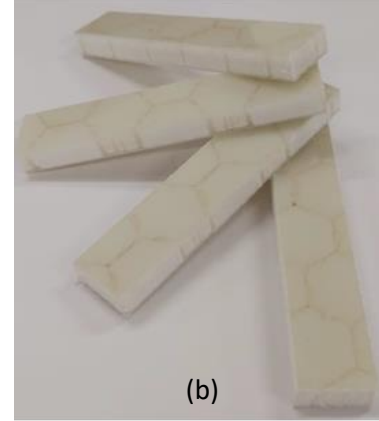
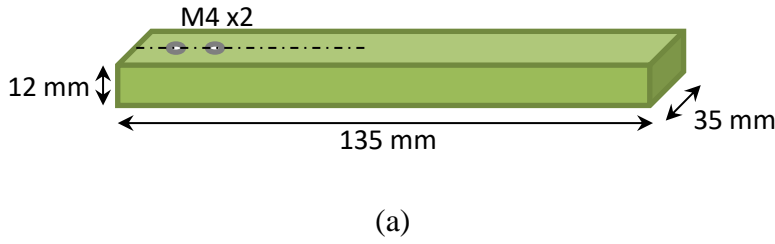


Şekil 1. Sandviç yapı üretiminde kullanılan çekirdek malzeme.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1173536

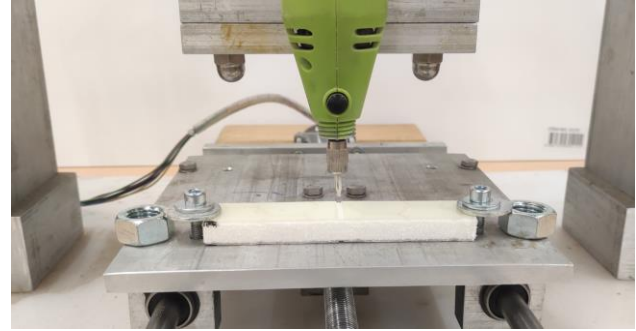
Sulu kesme cihazı ile 135 mm x 35 mm ölçülerinde 40 adet numune hazırlanmıştır. Numune sayısı her bir parametre için 3 tekrar olacak şekilde belirlenmiştir. Numuneleri test cihazına monte

edebilmek için üzerine 4 mm çapında delikler açılmıştır. Örnek bir numune ve ölçüleri Şekil 2 de gösterilmektedir.



Şekil 2. Numune görselleri: (a) Numune ölçüleri (b) Kesilmiş numune örnekleri

Numunelerde çentikli kanalların oluşturulması için, numunenin yüzeyine 0.35 mm ve 0.70 mm derinliğinde çentik kanalları açılmıştır. Ayrıca tek ve simetrik çift yüzey olmak üzere iki parametre daha eklenerek 4 farklı numune tipi oluşturulmuştur. Çentik kanalların açılmasında masaüstü hobi CNC makinası kullanılmıştır. Yüksek devirli el motoru z-eksenine paralel bir şekilde sabitlenmiştir. Numuneler CNC tablasına yerleştirildikten sonra üst yüzeyinden sıfırlama işlemi yapılmıştır. Çentik kanallarını oluşturmak için 3 mm çapa sahip küresel freze uç kullanılmıştır. Motor devri 15000 devir/dakikaya ayarlandıktan sonra z-ekseni ilgili uzunluk ölçüsünden aşağıya doğru hareket ettirilmiştir. Çentik kanallar y-ekseni sabit hızda ilerleme verilerek açılmıştır. Yüzeyinde çentik açılmış bir numune örneği Şekil 3 de gösterilmiştir. Bu işlem tüm numuneler için ayrı ayrı tekrar edilmiştir.



Şekil 3. Çentik açma sistemi ve çentik açılmış numune

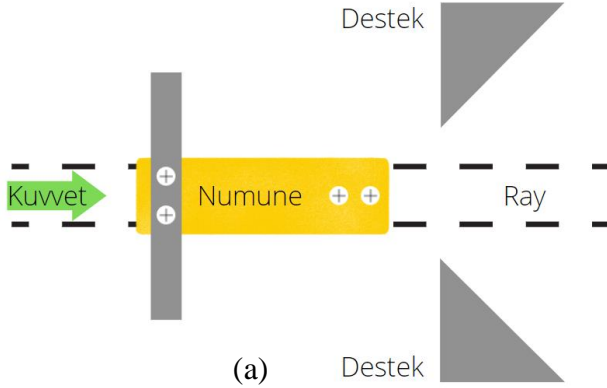
### Darbe Testleri

Darbe testini gerçekleştirebilmek için özel olarak bir sistem tasarlanıp imal edilmiştir. Charpy (ISO 179) ve izod (ISO 180) standart darbe test metodlarında numuneler yan yüzeylerinden darbe almaktadır. Bu çalışmada standart test metodlarından farklı olarak numuneler dik çekme eksenini boyunca darbeye maruz bırakılmıştır. Yatay yönde hareket eden düşük sürtünmeli bir araba ile buna karşılık gelen durdurucular yerleştirilmiştir. Numune mekanik bağlantı ile bir ucundan arabaya sabitlenmiştir (Şekil 4). Numunenin diğer ucuna ise eksenine dik olacak şekilde alüminyumdan imal edilmiş bir çubuk mekanik olarak sabitlenmiştir. Araba yatay ekseninde hareket ederken bu çubuğun desteklere çarpması ile darbe işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle izod ve charpy test

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1173536

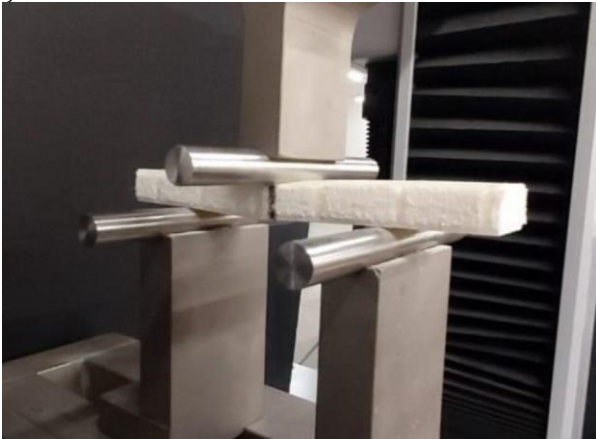
sistemlerinden farklı olarak numuneye uzunlamasına darbe uygulanmıştır. Darbe enerjisi arabaya halat ile bağlanan ağırlık ile sağlanmıştır. Farklı enerji değerlerini oluşturabilmek için halat ucuna farklı kütlelerde ağırlıklar asılmış ve bu kütleler düşey ekseninde 2 m yükseklikten serbest bırakılarak numunenin bağlı olduğu arabanın hareketi sağlanmış ve numune durduruculara çarptırılarak halattaki

enerji numuneye aktarılmıştır. Testler sırasında hiçbir numunede hasar gözlemlenmemiştir. Darbe uygulanan numunelerdeki mekanik özelliklerindeki değişimin gözlemlenebilmesi için darbe uygulanmayan numuneler de üç nokta eğme testine tabi tutulmuştur.



Şekil 4. Darbe test düzeneğinin (a) şematik gösterimi ve (b) kısmi fotoğrafı

Darbe testleri tamamlandıktan sonra tüm numuneler 30 kN yük hücreğine sahip Testmetric (Rochdale, İngiltere) üniversal mekanik test cihazında üç nokta eğme deneyine tabi tutulmuştur. Üç nokta eğme deneylerinde ASTM D790 test standardı göz önüne alınmıştır. Numune boyutları dikkate alınarak alt iki destek açıklığı 60 mm olarak ayarlanmış olup, test sırasında üst çeneye 1 mm/dak hızında aşağı yönde ilerleme hareketi tanımlanmıştır. Numunelerde hasar oluşana kadar üst çene hareketi devam ettirilmiştir. Böylelikle maksimum kuvvet ve yer değiştirme değerleri tüm numuneler için elde edilmiştir. Üç nokta eğme deneyine ilişkin test görseli Şekil 5'te verilmektedir.



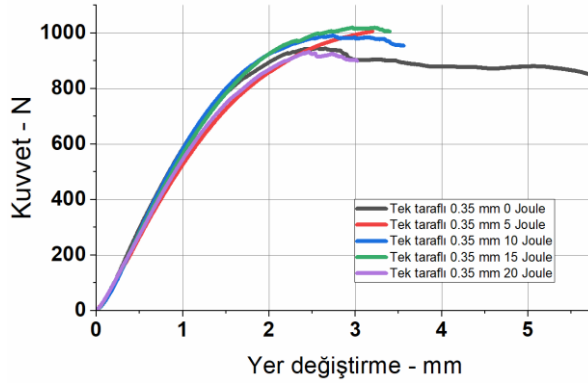
Şekil 5. Üç nokta eğme deneyi

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Üç nokta eğme deneyi uygulanan numunelerin bazılarında kırılma ve çatlamaya bağlı hasar gözlemlenirken, bazılarında delaminasyon, bazılarında ise hasarın meydana gelmeme durumu (esneme) gözlemlenmiştir.

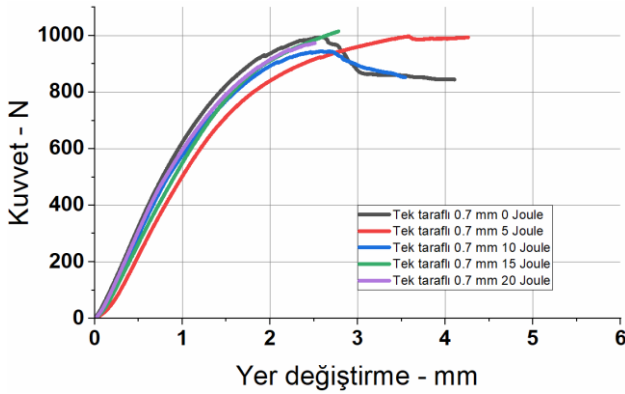
Elde edilen neticelere göre, tek yüzeyine 0.35 mm çentik açılmış numunelerde 20 J darbe uygulanmış ve darbe uygulanmamış örneklerde kırılma gözlenmemiştir. Orta noktada en yüksek gerilme 5 J darbe uygulanmış numunede, 251.60 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Dış yüzeyde maksimum şekil değiştirme miktarı 5.23 cm olarak 10 J darbe enerjisine maruz kalmış numunede gözlenmiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1173536



**Şekil 6.** Tek yüzeye 0.35 mm derinlikte kanal açılan numunelerin Kuvvet – Yer Değiştirme grafiği

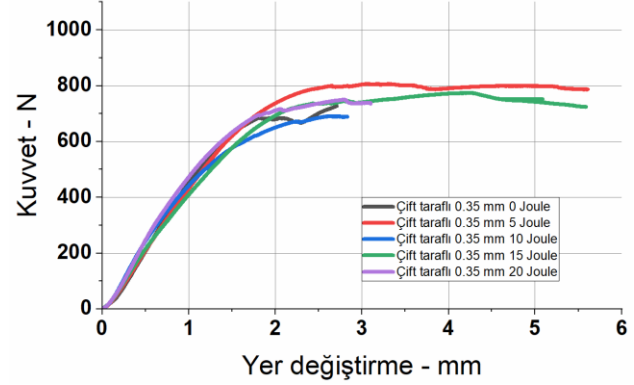
Tek yüzeyinden 0.70 mm derinlikte çentik eklenmiş numunelerde, sadece 10 J darbe enerjisi uygulanan numunede herhangi bir kırılma görülmemiştir. Kırılma görülen diğer dört numune arasında orta noktada oluşan maksimum gerilme, 15 J çarpma enerjisine maruz kalan numunede 253.80 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Dış yüzeydeki maksimum şekil değiştirme ise 10 J çarpma enerjisine maruz kalan numunede olduğu görülmüş ve bu numunenin maksimum şekil değiştirmesi 6.26 cm olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 7.** Tek yüzeye 0.7 mm derinlikte kanal açılan numunelerin Kuvvet – Yer Değiştirme grafiği

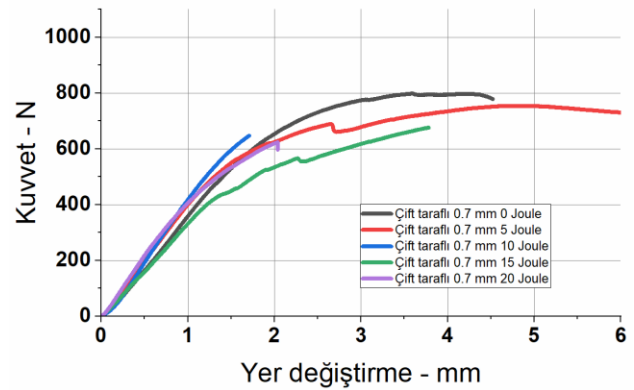
Her iki yüzeyinden 0.35 mm derinlikte çentik eklenmiş numunelerde, 5 J ve 15 J darbe enerjisi uygulanan numunelerde herhangi bir kırılma görülmemiştir. Kırılma görülen diğer üç numune arasında orta noktada oluşan maksimum gerilme, 20 J darbe enerjisine maruz kalan numunede 184.60 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Dış yüzeydeki maksimum şekil değiştirmenin ise yine 20 J çarpma enerjisine maruz kalan numunede olduğu görülmüş

ve bu numunenin maksimum şekil değiştirmesi 4.55 cm olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 8.** Çift yüzeye 0.35 mm derinlikte kanal açılan numunelerin Kuvvet – Yer Değiştirme grafiği

Her iki yüzeyinden 0.70 mm derinlikte çentik eklenmiş numunelerde, sadece 5 J darbe enerjisi uygulanan numunede kırılma görülmemiştir. Kırılma görülen diğer dört numune arasında orta noktada oluşan maksimum gerilme, darbe testi uygulanmamış numunede olduğu görülmüştür. Bu numunenin orta noktasında oluşan maksimum gerilmesi 194.55 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde dış yüzeydeki maksimum şekil değiştirme darbe testi uygulanmayan numunede 6.64 cm olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 9.** Çift yüzeye 0.7 mm derinlikte kanal açılan numunelerin Kuvvet – Yer Değiştirme grafiği

Üç nokta eğme deneyinden elde edilen bütün sonuçlar irdelendiğinde, tek taraftan çentik açılan numunelere 15 J darbe enerjisinin uygulanması durumunda çentik kalınlığı fark etmeksizin maksimum hasar kuvvetinin meydana geldiği görülmektedir. Çift taraftan çentik açılan

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1173536

numunelerde; 0.35 mm çentik kalınlığına sahip numunelere uygulanan 5 J darbe enerjisinde maksimum hasar kuvveti oluşmaktayken, çentik kalınlığı 0.7 mm'ye çıkarıldığında darbe enerjisi uygulanmayan numunelerde meydana gelen hasar maksimum seviyededir.

Tek taraflı ve çift taraflı çentik açılmış numuneler ayrı ayrı incelendiğinde çentik derinliğinin dayanım kuvvetine etkisi belirgin değildir. Yaklaşık olarak aynı maksimum dayanım kuvvetlerine sahiptir. Ancak, özellikle uzama ve hasar alma değerleri çentik derinliği fazla olan numunelerde daha düşük noktalarda gerçekleşmiştir. Örneğin çift taraflı çentik açılmış numunelerde kuvvet-yer değiştirme eğrisi 0.7 mm derinlik için daha düşüktür ve 0.35 mm derinlikli numunelere göre daha fazla test hasar alarak erken sonlanmıştır.

Atas araştırmasın darbe enerjisi arttıkça çekirdek ve kabuk arasındaki bağın kopması, elyaf bükülme kırıkları ile baskın hasar modları olduğunu belirtmiştir (Atas ve Sevim, 2010). Özellikle çift taraflı çentik açılmış test sonuçları incelendiğinde, darbe enerji artışının, hasar oluşum ihtimalini arttırdığı gözlemlenmiştir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, sandviç kompozitlerin dış yüzeylerinde meydana gelen çentiklerin farklı darbeli yüklemeler altındaki sergiledikleri mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Tek taraflı çentik açılmış numunelerde en uzun esneme darbe testi uygulanmamış örneklerde oluşurken, çift taraflı çentik açılan ve 5 J darbe uygulanmış numunelerde en fazla esneme görülmüştür. Diğer tüm enerji değerlerinde hasar meydana gelmiştir. Darbe enerji değerinin artması hasar oluşumuna bağlı olarak dayanım azalmalarına neden olmuştur. Tüm çentik türleri için kompozit levhalara uygulanan darbe testlerinde benzer sonuçlar başka bir çalışmada da elde edilmiştir (Çelik ve Turan, 2015).

Tek çentikli numunelerde ulaşılan en yüksek eğme kuvveti ortalama 950 N iken, bu değer çift çentikli durum için yaklaşık 750 N olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, çentik yüzeyinin artmasının bir fonksiyonu olarak numuneleri daha da zayıflatmıştır. Çentik etkisi, diğer referanslarda da belirtildiği gibi bu numuneler için de mekanik

dayanımı azaltıcı bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çift taraflı çentik açılan darbe vurulmuş numunelerin çökme değerleri diğerlerine göre daha az olmasına karşın, darbe uygulanmamış numunede bu çökme miktarı en yüksek olmuştur. Uygulanan darbe kuvvetleri sandviç kompozitlerin mekanik dayanımlarını azaltmaktadır. Çentik derinliğinin maksimum çekme dayanımına etkisi belirsiz olarak gözlemlenmiştir. Saylık, kenarlarına tek ve çift taraflı V-çentik açılmış alüminyum ve kompozit levhaların burkulma yükleri altındaki davranışını sayısal olarak incelenmiştir (Saylık ve Kaman, 2019). Tamir edilmiş levhalarda yapıştırıcı kalınlığının burkulma yükü üzerine önemli bir etkisi olduğu gözlemlenirken, çentik derinliği etkisinin işlem sonrası yok olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çentik hasarlarının darbe altındaki kompozit malzemelere etkisinin, burkulmaya göre daha yüksek olduğu söylenebilmektedir.

Çentik açma işleminde gerilim yoğunluğunun daha az oluşması için küresel kesici kullanılmıştır. Çentik geometrisinin hasar yükleri üzerinde önemli olduğu daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir (Dindar ve Ağır, 2021). Farklı kesici uç formları ile yapılacak bir çalışmanın yararlı olacağı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Doğuş Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi tarafından 2021-22-D1-B02 numaralı proje kapsamında desteklenmektedir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Atas, C. ve Sevim, C. (2010). On the impact response of sandwich composites with cores of balsa wood and PVC foam. *Composite Structures*, 93(1), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2010.06.018>
- Berk, B., Karakuzu, R., Murat İcten, B., Arikan, V., Arman, Y., Atas, C. ve Goren, A. (2016). An experimental and numerical investigation on low velocity impact behavior of composite plates. *Journal of Composite Materials*, 50(25), 3551–3559.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1173536

- <https://doi.org/10.1177/0021998315622805>  
 Castanie, B., Bouvet, C. ve Ginot, M. (2020). Review of composite sandwich structure in aeronautic applications. *Composites Part C: Open Access*, 1(July).  
<https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100004>  
 Çelik, A. ve Turan, K. (2015). Çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarının incelenmesi. *Mühendislik Dergisi*, 00(Tip 4), 73–82.  
 Chen, Y., Zeng, X., Deng, Y. ve Wei, G. (2022). Investigation on manufacturing and low-velocity impact performance of all-composite sandwich structure with S-type foldcore. *Composite Structures*, 290(October 2021), 115539.  
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115539>  
 Dindar, B. ve Ağır, İ. (2021). Karbon/epoksi ve E-cam/epoksi ile Onarılmış Çentikli Alüminyum 5754-H111 Charpy Darbe Tepkisi. *European Journal of Science and Technology*, 22, 352–356.  
<https://doi.org/10.31590/ejosat.844824>  
 Etli, S. (2021). Analytical Evaluation of Behavior of Composite Columns Under Axial Load. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(3), 526–536.  
<https://doi.org/10.29132/ijpas.991166>  
 Güven, Z. K. (2021). Darbe hasarlı filaman sargılı kompozit yapı elemanlarının basma kuvveti altındaki mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve hasar analizi. NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ.  
 Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of Composite Materials*. In Taylor and Francis Group (2nd ed.). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05224-9>  
 Lagunegrand, L., Lorriot, T., Harry, R. ve Wargnier, H. (2005). Design of an improved four point bending test on a sandwich beam for free edge delamination studies. *Composites Part B: Engineering*, 37(2–3), 127–136.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2005.07.002>  
 Metin, M. (2008). E-cam/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe hasarının burkulma özellikleri ne etkisi. Selçuk Üniversitesi.  
 Önal, T. ve Temiz, Ş. (2020). Balsa Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Darbe Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2021(1), 333–345.  
<https://doi.org/10.31202/ecjse.797049>  
 Özen, M. ve Ürkmez Taşkın, N. (2021). Alüminyum kompozit köpük malzemelerde takviye oranına bağlı olarak darbe davranışının incelenmesi. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 22(2), 87–95.  
 Pipes, R. B. ve Pagano, N. J. (1970). Interlaminar Stresses in Composite Laminates Under Uniform Axial Extension. *Journal of Composite Materials*, 4(4), 538–548.  
<https://doi.org/10.1177/002199837000400409>  
 Pıhtılı, G. ve Tanyol, M. (2022). Cevap Yüzey Metodolojisi Kullanılarak P(NIPAM-co-AN)/Kil Kompozit Üzerine İndigo Karmin Adsorpsiyonunun Modellenmesi ve Optimizasyonu. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(1), 71–80.  
<https://doi.org/10.29132/ijpas.1007938>  
 Potoglu U. (2012). Sandviç Kompozit Plakların Darbe Davranışları. Dokuz Eylül Üniversitesi.  
 Saylık, A. ve Kaman, M. O. (2019). Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş V-Çentikli Levhaların Burkulma Davranışı: Üç Boyutlu Sayısal Yaklaşım. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 561–570.