Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Cilt 22, Sayı 1, 207-215, 2018

Süleyman Demirel University
Journal of Natural and Applied Sciences
Volume 22, Issue 1, 207-215, 2018

DOI: 10.19113/sdufbed.72732

# Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi

**Ümran ESENDEMİR*[1], Ali Yasin CANER[2]**

[1] Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. 32260, Isparta
[2] Bosch Rexroth GmbH, 16159, Bursa

(Alınış / Received: 28.07.2016, Kabul / Accepted: 22.05.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 17.06.2017)

**Anahtar Kelimeler**
Tabakalı kompozitler,
Darbe davranışı,
Düşük hızlı darbe,
Tabaka kalınlığı

**Özet:** Kompozit malzemeler kullanım yerlerine bağlı olarak çeşitli darbelere maruz kalabilirler. Darbe nedeniyle malzemede oluşan hasar artan darbe enerjisine bağlı olarak artmaktadır. Fiberlerin kırılması, matris çatlağı, fiber matris arayüzey hasarı, delinme ve delaminasyon genel olarak darbe sonrası kompozit malzemede oluşan hasar türleridir. Bu çalışmada, iki farklı kalınlık ve darbe enerjisi için cam elyaf takviyeli epoksi kompozit plakaların darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, 100x100 mm boyutlarında; iki farklı kalınlıkta (2 ve 4 mm), 8 ve 16 tabakalı kompozit numuneler vakum infüzyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen numuneler 20J ve 60J' luk iki farklı darbe enerjisi altında test edilmiştir. Kuvvet çökme eğrileri, darbe enerjisi- maksimum kuvvet enerji eğrileri, darbe enerjisi -çökme eğrileri, hız zaman eğrileri, kuvvet zaman eğrileri ve absorbe edilen enerji-zaman eğrileri çizilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda 20J darbe enerjisine maruz kalan 8 tabakalı numunelerde delinme hasarı oluşmazken, 60J darbe enerjisine maruz kalan numunelerde delinme hasarı oluşmuştur. 16 tabakalı kompozit numunelerde ise her iki darbe enerjisi için de delinme hasarı oluşmamıştır.

# Experimental Investigations on the Impact Behavior of Laminated Composite Materials

**Keywords**
Laminated composites,
Impact behavior,
Low velocity impact,
Plate thickness

**Abstract:** Composite materials may be exposed to various loads and impact loading depending on the application. The material damage increases with increased impact energy levels. Fiber breakage, matrix cracking, fiber-matrix interface damage, perforation and delamination are damage modes for composite materials subjected to impacts. In this study, impact behaviors of glass fiber/epoxy composite plates have been experimentally investigated for two different thicknesses and impact energies. For this purpose, composite samples have been manufactured in dimensions of 100x100 mm, and with layers of 8 and 16 which yielded two different thicknesses (2 and 4 mm). Fabricated samples were tested under 20J and 60J impact energies. After impact tests, force- deflection curves, impact energy- deflection, velocity-time, force-time and absorded energy-time curves have been plotted. As a result of experimental studies, no-perforation occurred in 8-layered specimens under 20 J impact enegy while perforation was observed under 60J impact energy. Perforation was observed neither at 20J nor at 60J impact energy conditions for 16-layered composite specimens.

## 1. Giriş

Kompozit malzemelerde darbe deneyi; düşük, orta veya yüksek hızlarda çok kısa bir süre içinde, bir malzeme veya yapı üzerine uygulanan anlık bir dış kuvvet olarak tanımlanabilir. Malzeme veya yapı üzerine gelen darbeleri başlıca düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılabiliriz. Darbe hızı düşük hızlı darbelerde 1 ile 10 m/s arasında değişmektedir [1]. Düşük hızlı darbeler düşük enerjili darbe olarak da adlandırılabilir. Yüksek hızlı darbeler ise balistik limitte olan darbelerdir [2]. Kompozit malzemelerin darbe davranışı birçok çalışmada incelenmiştir.

Aktaş ve diğerleri iki farklı tip cam/epoksi kompozitin çeşitli darbe enerjilerinde darbe testlerini yaparak kompozitlerde meydana gelen hasar modlarını belirlemişlerdir. Buna göre matris çatlağı ile başlayan hasar modunun, darbe enerjisinin

*İlgili yazar: umranesendemir@sdu.edu.tr

artmasıyla birlikte cam elyafın gevrek yapısından dolayı fiber kırılmalarının baskın olduğu bir hasara dönüştüğünü bildirmişlerdir [3]. Baucom ve Zikry cam elyaf takviyeli kompozit numunelerde tekrarlı yapılan düşük hızlı darbede hasar durumunu incelemişler, elyafların belli darbe tekrarı sonrası uğradığı hasar üzerinde çalışmışlardır [4]. Belingardi ve Vadori karbon/epoksi kompozit malzemelerde plaka kalınlığının darbe davranışına etkilerini araştırmışlardır. Üç farklı kalınlıktaki deney numunelerine yarı statik ve dinamik darbe yüklemesi yapılarak kuvvet-yer değiştirme eğrileri çıkartılmıştır [5]. Türkmen ve Köksal yaptıkları çalışmada, cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzemelerde elyaf katman sayısının artmasıyla malzemelerin absorbe ettikleri enerji değerlerinde yaklaşık lineer bir artışın meydana geldiğini belirtmişlerdir [6]. Uyaner ve diğerleri düşük hızlı darbeye maruz E camı/epoksi tabakalı kompozitlerde plaka boyutlarının darbe davranışına olan etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada 180x50 mm, 180x100 mm ve 180x150 mm boyutlarında levhalar kullanılmıştır. Numune genişliği büyüdükçe malzeme üzerindeki kalıcı yer değiştirme miktarının azaldığını belirtmişlerdir [7]. Im ve diğerleri karbon/epoksi ve karbon/PEEK kompozit plakaların düşük ve yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında matris çatlağı ve arayüzey delaminasyonları (tabaka ayrışması) üzerine sıcaklık değişimlerinin etkisini ve optik mikroskop ve taramalı akustik mikroskop (SAM) kullanılarak darbe sonrası oluşan hasarları incelemişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda delaminasyon alanlarının artan sıcaklıkla azaldığını belirtmişlerdir [8]. Datta ve diğerleri cam epoksi kompozit plakaların darbe davranışına tabaka kalınlığı ve farklı enerjilerin etksini incelemişlerdir [9]. Hosur ve diğerleri düşük hızlı darbe yüklerinde dört farklı hibrit laminadan oluşan laminatların darbe davranışını dört farklı darbe enerjisi için deneysel olarak incelemişlerdir [10]. Aktaş ve diğerleri cam elyaf epoksi kompozit plakaların yüksek sıcaklıklardaki darbe davranışını incelediler. Delinme sınırının artan sıcaklıkla arttığını belirtmişlerdir [11]. Fidan ve diğerleri cam fiber takviyeli polyester kompozitte tekrarlı düşük hızlı darbe testleri sonrası ortaya çıkan içyapı hasarlarını incelemişlerdir. Tekrarlı darbelerin malzeme iç yapısında matris çatlağı, delaminasyon ve fiber kırılmaları olmak üzere üç farklı hasar oluştuğunu belirtmişlerdir [12].

Başta uçak, uzay ve otomobil sanayinde olmak üzere çok farklı kullanım alanları olan kompozit malzemelerin farklı şiddette ve yönlerden gelen darbelere dayanımı büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla bu çalışmada farklı oryantasyon açıları ile üretilen iki farklı kalınlıktaki cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemenin iki farklı darbe enerjisine maruz kaldığındaki davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Kompozit malzemelerde darbe sonrasında delaminasyon, fiber kırılması, matris çatlağı, fiber –matris ara yüzey hasarı ve delinme şeklinde hasar modları görülebilir. Bu hasar modlarına bağlı olarak darbe davranışı kuvvet-çökme eğrileri, absorbe edilen enerji-zaman eğrileri, darbe enerjisi-kuvvet eğrileri, darbe enerjisi- çökme eğrileri yardımlarıyla da gözlemlenebilir. Bu amaçla kuvvet çökme eğrileri, darbe enerjisi- maksimum kuvvet enerji eğrileri, darbe enerjisi -çökme eğrileri, hız zaman eğrileri, kuvvet zaman eğrileri ve absorbe edilen enerji-zaman eğrileri oluşturulmuştur.

## 2. Deneysel Çalışma

### 2.1. Numune üretim parametreleri

Darbe deneyleri için $[+45/-45/0/90]_s$ oryantasyon açısına sahip 8 tabakalı (ince) ve $[(+45/-45)_2/(0/90)_2]_s$ oryantasyon açısına sahip 16 tabakalı (kalın) kompozit malzeme ve ayrıca malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile $[0]_8$ tabakalı kompozit malzeme 9 Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Kompozit Üretim Laboratuvarında üretilmiştir. Fiber malzeme olarak E-cam 300 gr/m$^2$ tek yönlü kumaş kullanılmıştır. Kullanılan fiber malzeme Metyx markadır. Reçine olarak Huntsman Epoxy Resin XB 3585 ve sertleştirici olarak ise Hardener XB 3486 kullanılmıştır. Hacimsel olarak epoksi ve sertleştirici olarak 100 birim epoksiye 32 birim sertleştirici kullanılmıştır. Kompozit malzeme üretim yöntemi olarak vakum infüzyon yöntemi kullanılmıştır. Kürleme işlemi 5 saat boyunca 100 $^0$C' de yapılmıştır. Bu malzemenin mekanik özellikleri (Elastisite modülü, kayma modülü ve Poisson oranı) ASTM standartlarına uygun olarak tespit edilmiştir. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri statik yük altında, çekme, basma ve kayma deneyleri yapılarak bulunmuştur. Çekme deneyi sonucunda $E_1$, $E_2$, $\upsilon_{12}$ ve $X_t$ , $Y_t$ değerleri, basma deneyi sonucunda $X_c$ , $Y_c$ ve kayma deneyi sonucunda ise $G_{12}$ ve S değerleri bulunmuştur. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1' de verilmiştir [13]. Şekil 1'de ise çekme cihazının genel görüntüsü ve numunenin test cihazına bağlanması görülmektedir.

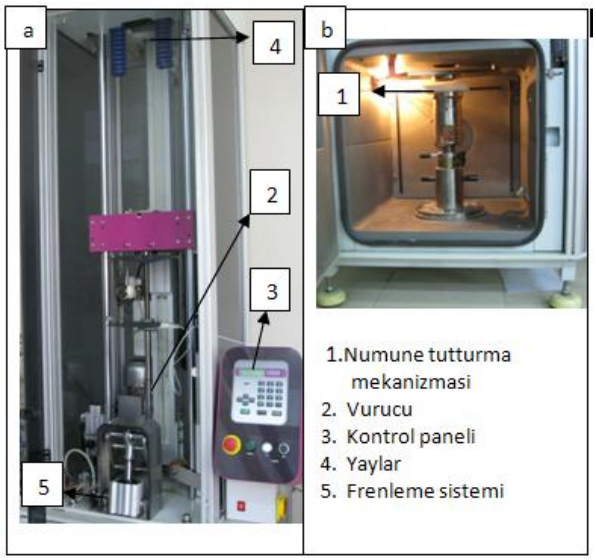
### 2.2. Darbe testleri

Darbe testleri Fractovis Plus darbe test cihazında yapılmıştır. Şekil 2'de test numunesinin test cihazına yerleştirilmesi ve test cihazı gösterilmiştir. Test cihazı, serbest ağırlık düşürme prensibine göre çalışan yer tipi, yüksek hızlı ve sistem kontrollü bir darbe cihazıdır. İmpuls sinyal şartlandırma birimine, impuls veri toplama kartına ve veri elde etme yazılımına sahip olması cihaza sistem kontrollü özelliği sağlamaktadır. Ayrıca test cihazı; numune üzerine düşürülen ağırlığın, yükseklik, hız ve enerji gibi parametrelerin kontrollü olarak değiştirilebilmesine imkan vermektedir. Vurucu, 12.7 mm çapında küresel uçlu olup 4.926 kg kütleye sahiptir. Deneyler oda sıcaklığında (20°C) gerçekleştirilmiştir. Vurucunun numunelere çarpma hızı 20J için 2. 85 m/s; 60J için 4.94 m/s'dir.

**Tablo 1.** Kompozit Malzemenin Mekanik Özellikleri

| Özellikler | Sembol | Değer |
|---|---|---|
| Lif doğrultusundaki Elastisite modülü | $E_1$ | 33230 MPa |
| Lif doğrultusuna dik doğrultudaki Elastisite modülü | $E_2$ | 11400 MPa |
| Kayma modülü | $G_{12}$ | 2500 MPa |
| Poisson oranı | $\upsilon_{12}$ | 0.277 |
| Lif doğrultusundaki çekme dayanımı | $X_t$ | 566.4 MPa |
| Lif doğrultusundaki basma dayanımı | $X_c$ | 448 MPa |
| Lif doğrultusuna dik doğrultudaki çekme dayanımı | $Y_t$ | 98 MPa |
| Lif doğrultusuna dik doğrultudaki basma dayanımı | $Y_c$ | 166 MPa |
| Kayma dayanımı | S | 78 MPa |

**Şekil 1.** Çekme cihazının genel görüntüsü ve çekme testi numunesinin test cihazına bağlanması




**Şekil 2.** Darbe test cihazı (a) üst parçası, (b) alt parçası

## 3. Bulgular

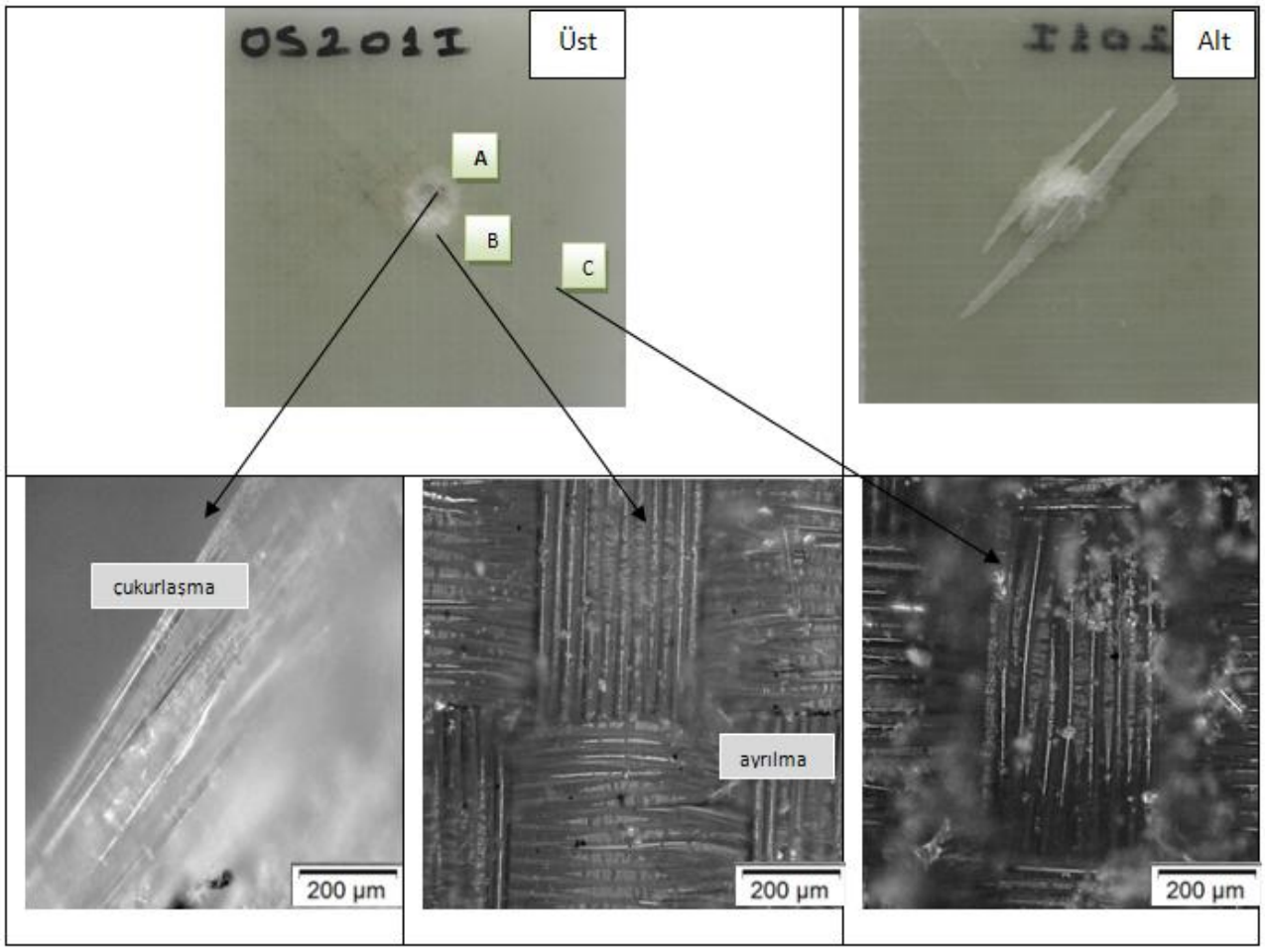
Şekil 3'te 20J darbe enerjisindeki 8 tabakalı kompozit numunenin üst ve alt yüzeylerindeki fotoğrafları ve üst yüzeyin optik mikroskop görüntüleri verilmektedir. Darbeye uğrayan numunenin fotoğraf görüntülerinde, üst yüzeyde, delaminasyon, görülürken, alt yüzeyde delaminasyon, ve fiber kırılmaları görülmektedir. Darbenin uygulandığı bölgede meydana gelen çatlağın ucundan (A) alınan optik mikroskop görüntülerinde çukurlaşmanın olduğu ve matris yapısının bozulduğu görülmektedir. Delaminasyon (B) bölgesinde alınan görüntüde ise fiber matris ayrılmaları görülmektedir. Şekil 4'te 8 tabakalı 60J darbe enerjisindeki kompozit numunenin üst ve alt yüzeylerindeki fotoğrafları ve üst yüzeyin optik mikroskop görüntüleri verilmektedir. Darbeye uğrayan numunenin fotoğraf görüntülerinde, üst yüzeyde delinme hasarı ve delaminasyon oluşmuş, alt yüzeyde ise fiber ayrılmaları, fiber kırılmaları ve delinme hasarı meydana gelmiştir. Darbenin uygulandığı bölgede meydana gelen çatlağın ucundan (A) alınan optik mikroskop görüntülerinde liflerin ovalleştiği, delaminasyon (B) bölgesinde alınan görüntüde ise numunede renk farklılığı meydana geldiği için matris malzemede ezilme oluştuğu, numunenin çekmeye zorlandığı görülmektedir. 16 tabakalı kompozit numunenin üst ve alt yüzeylerindeki fotoğrafları ve üst yüzeydeki optik mikroskop görüntüleri Şekil 5'te 20J, Şekil 6'da 60J için verilmiştir.

Şekil 5'den görüleceği üzere 20J için darbeye uğramış numunenin fotoğraf görüntülerinde üst yüzeyde delinme hasarı, delaminasyon ve matris çatlağı oluşmuş, alt yüzeyde ise delaminasyon oluşmuştur. Darbenin uygulandığı bölgede meydana gelen delinmenin ucundan alınan (A) optik mikroskop görüntülerinde fiber-matris ayrılmaları görülürken, delaminasyon (B) bölgesinden alınan görüntüde çatlak görülmektedir. 60J için ise üst yüzeyde delinme, fiber kırılması ve deleminasyon görülürken;

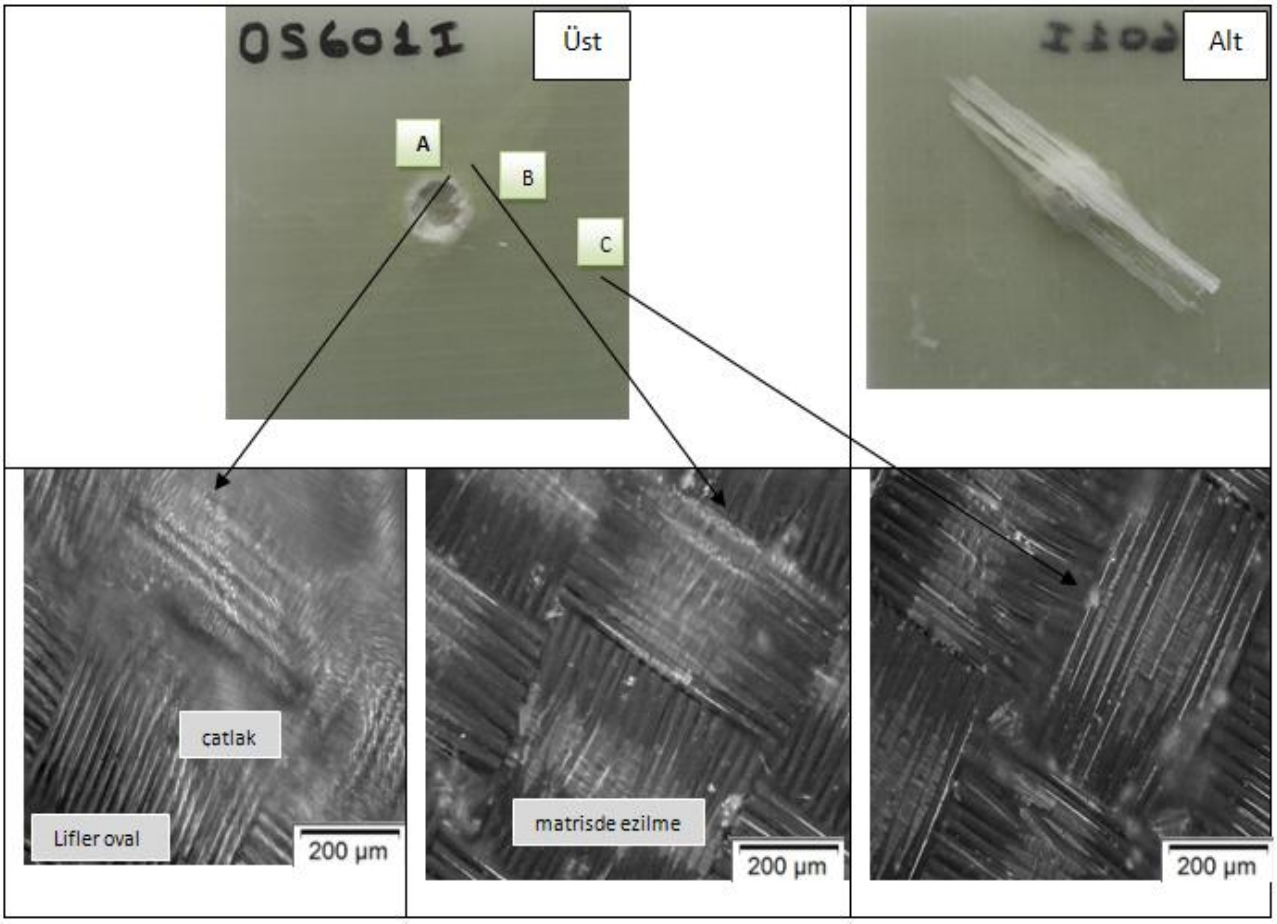
alt yüzeyde delinme, fiber kırılmaları ve ayrılmaları görülmüştür. Darbenin uygulandığı bölgede meydana gelen delinmenin ucundan (A) alınan optik mikroskop görüntülerinde matris parçalanması, çatlak ve çukurlaşma olduğu görülmektedir. Delaminasyon (B) bölgesi üzerinden alınan optik mikroskop görüntülerinde ise matris malzemenin geçirgenliğini yitirdiği, lif ayrılması olduğu görülmektedir. Şekil 3-6 daki hasarlı bölgenin uzağındaki (C) bir bölgeden çekilen optik mikroskop görüntülerinde ise matris malzemenin heterojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca; Şekil 3-6 daki hasarlı numuneye ait görüntülerden görüleceği üzere; darbe uygulanan numunenin üst yüzeydeki hasar alanı, darbe uygulanmayan alt yüzeydeki hasar alanından daha küçüktür. Darbe enerjisi arttıkça hasar alanı büyümektedir. Yine plaka kalınlığı arttıkça numunelerin üst ve alt yüzeylerindeki hasar alanı azalmaktadır. Bu sonuçlar mevcut literatürle uyum içindedir. Mathivanan ve Jerald düşük darbe hızlarında farklı enerji seviyelerinde örgü cam fiber takviyeli epoksi kompozit malzemenin darbe davranışını incelemişlerdir. Kompozit numunelere 3.14J, 4.71J, 6.28J, 7.8J ve 15.7J enerji seviyelerinde darbe uygulanmıştır. Darbe enerjisi attıkça kompozit numunenin hasarının arttığını rapor etmişlerdir. En yüksek darbe enerjisi olan 15.7J'de kompozit numunede delinme meydana gelmiştir [13].

Kuvvet-zaman eğrilerinde kapalı ve açık eğri olarak iki tip eğri biçimi bulunmaktadır. Kapalı eğri biçiminde uygulan darbe enerjisi; numuneyi tam penetrasyon(girinim) hasarına uğratamadığı için darbe ucu numuneden geri sekmektedir. Darbe ucunun numuneden geri sekmesi ile kuvvet-yer değiştirme eğrisi kapanır. Kısacası numune uygulanan darbe enerjisinin bir kısmını elastik enerji olarak harcayabilmektedir. Açık eğri biçiminde ise uygulanan darbe enerjisi numunenin tam penetrasyonuna neden olabilecek bir enerji seviyesidir ki bu enerjisi seviyesinde darbe yüklemesi sonrası darbe ucu numuneden geri dönemez [14]. Şekil 7.'de iki farklı kalınlıktaki kompozit numunelerin kuvvet-çökme eğrileri gösterilmiştir. [15].

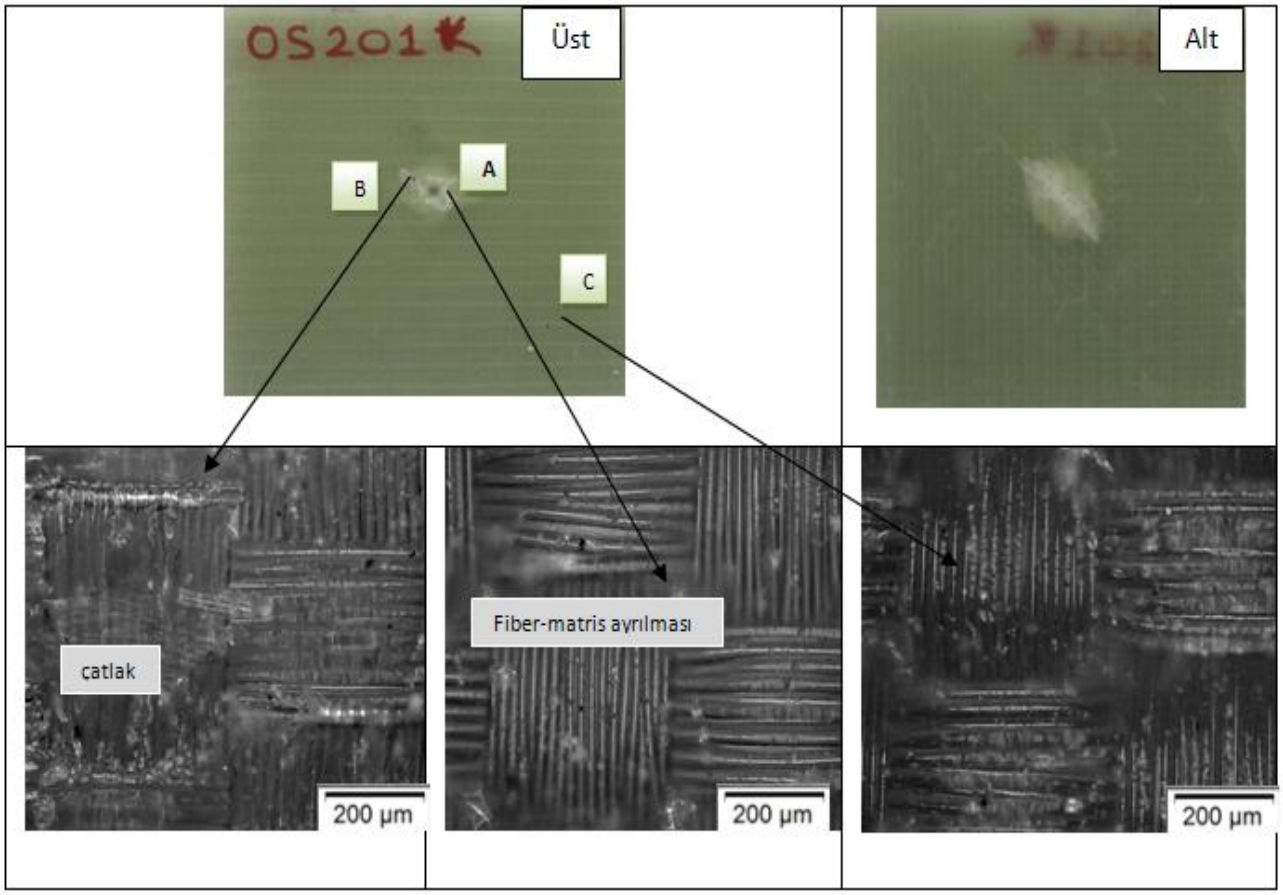
Şekil 7'den görülebileceği gibi 8 tabakalı numunelerde 20J için kapalı eğri görülürken, 16 tabakalı numunelerde ise hem 20J hem de 60J değerlerinde kapalı eğri oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu da 8 tabakalı numunelerin daha çok hasara uğradığının göstergesidir. Ayrıca, 16 tabakalı numunelerin daha çok kuvvet taşıdığı da görülmektedir. Eğrinin kapalı olması vurucunun kompozit numune yüzeyinden geri sekme yaptığının ve numunenin daha az hasara uğradığının göstergesidir.



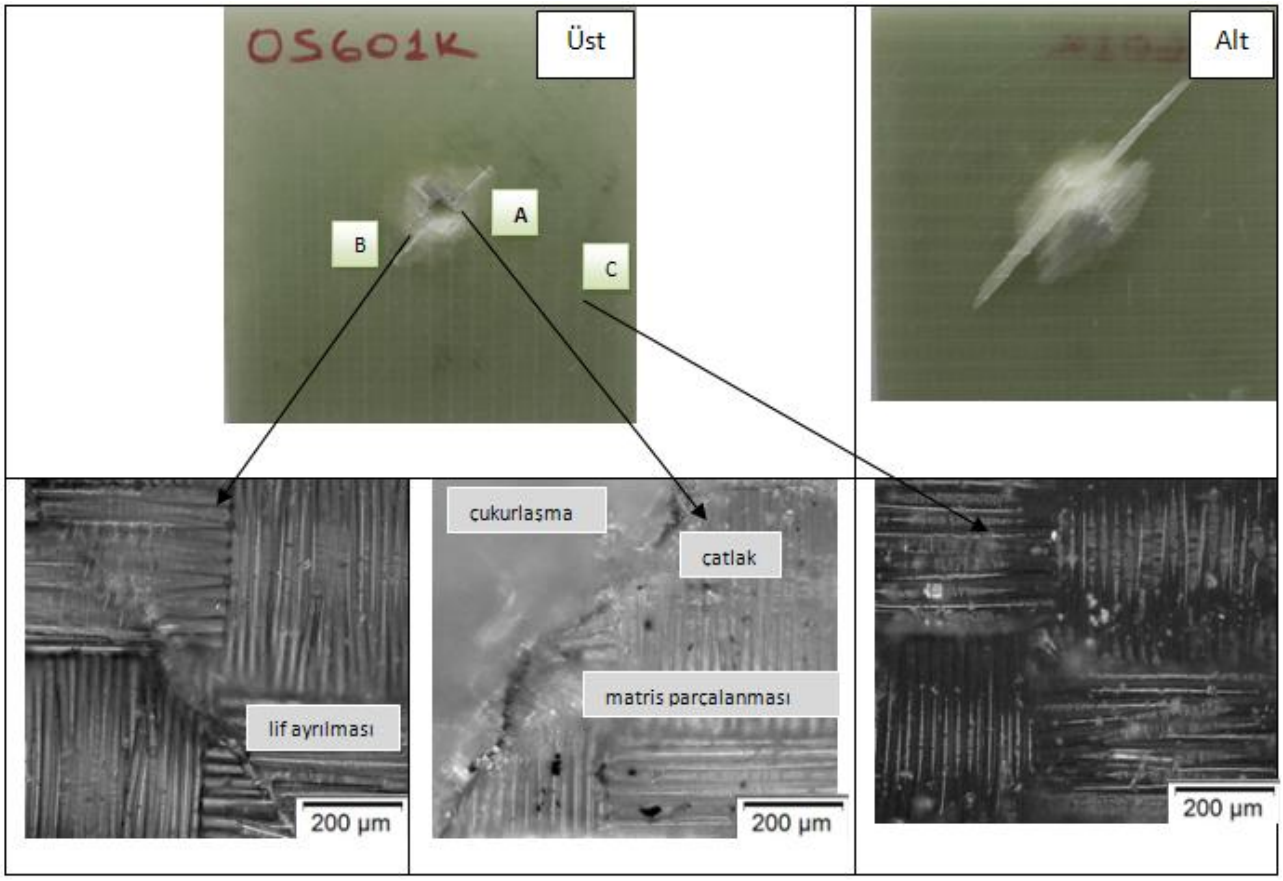

**Şekil 3.** 8 tabakalı numunenin 20J darbe enerjisindeki hasarının fotoğraf ve optik mikroskop görüntüleri



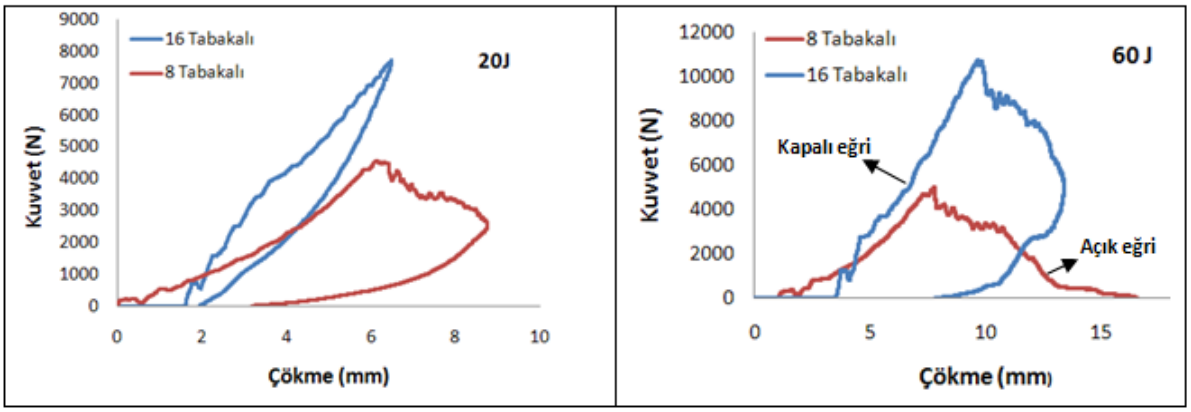

**Şekil 4.** 8 tabakalı numunenin 60J darbe enerjisindeki hasarının fotoğraf ve optik mikroskop görüntüleri



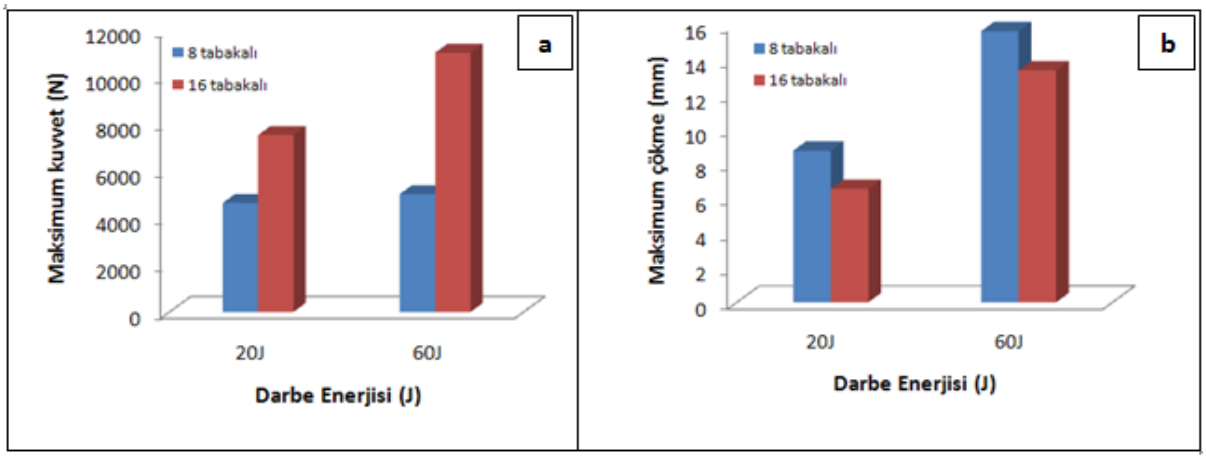

**Şekil 5.** 16 tabakalı numunenin 20J darbe enerjisindeki hasarının fotoğraf ve optik mikroskop görüntüleri




**Şekil 6.** 16 tabakalı numunenin 60J darbe enerjisindeki hasarının fotoğraf ve optik mikroskop görüntüleri




**Şekil 7.** 8 tabakalı ve 16 tabakalı numunelerin kuvvet-çökme eğrileri



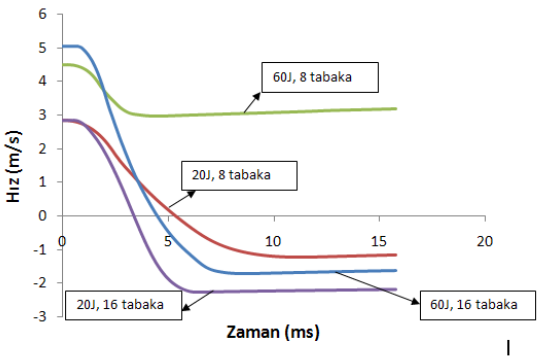

**Şekil 8.** 8 ve 16 tabakalı kompozitlerin farklı iki darbe enerjisine karşı (a) maksimum kuvvet, (b) maksimum çökme değerleri

Şekil 8'de 8 ve 16 tabakalı kompozitlerin darbe enerjisine karşı (a) maksimum çökme, (b) maksimum kuvvet değerleri verilmiştir. Şekil 8 (a) dan görüleceği üzere darbe enerjisi artışının maksimum kuvvet değerini artırdığı ve 16 tabakalı numunelerin yük taşıma kapasitelerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca darbe enerjisi arttıkça çökme değerleri artmaktadır (Şekil 8(b)). 8 tabakalı numunelerin çökme değerinin 16 tabakalı numunelere göre daha fazladır. Bu sonuçlar da literatürle uyum içindedir. Naik ve arkadaşları düşük darbe hızlarına maruz polimer matris kompozitlerin darbe davranışına plaka kalınlığının etkisini incelemişlerdir [16]. Plaka kalınlığı olarak 4.5 mm ile 8 mm arasında değişen kalınlıklar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda plaka kalınlığı arttıkça çökmelerin azaldığını, yük taşıma kapasitesinin (maksimum kuvvet) arttığını belirtmişlerdir.

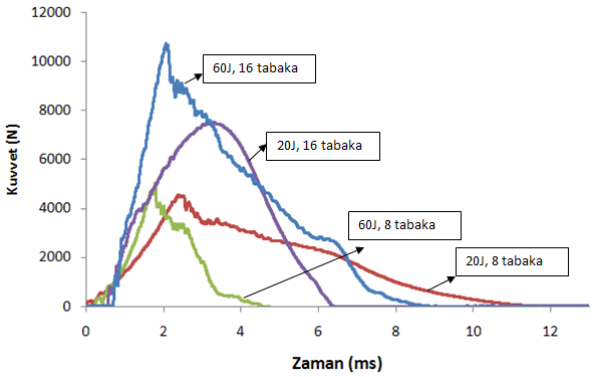
Şekil 9'da 20J ve 60J darbe enerjileri ve 8 ile 16 tabakalı numunelerin hız _ zaman eğrisi verilmiştir. Hız _ zaman değişimleri incelendiğinde zaman başlangıcında hızın maksimum olduğu ve zaman ilerledikçe hızın azaldığı görülmektedir. Maksimum çökme anında hız sıfırlanır. Eğer geri sekme varsa vurucunun hızı çarpma yönüne ters olduğu için negatif değer alır. Geri sekme olmazsa bu vurucunun numuneye saplandığını gösterir [17]. Buna göre 8 tabakalı numunelerde 20J için 16 tabakalı numunelerde ise 20J ve 60 J için geri sekme oluştuğu söylenebilir. 8 tabakalı numunelerde 60J için vurucunun belli bir hız ile kalınlık boyunca ilerlediği ve delinme durumunu göstermektedir. Şekil 10'da 20J ve 60J darbe enerjileri ve 8 ile 16 tabakalı numunelerin kuvvet _ zaman eğrileri verilmiştir.

Kuvvet zaman grafikleri incelendiğinde, kuvvet eğrileri zamanla parabolik bir görüntü çizmektedir. Uygulanan darbe enerjisinin artmasıyla numuneye etkiyen kuvvet de artmaktadır.

Absorbe edilen enerji, kuvvet-çökme (F-d) eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda vurucunun sahip olduğu enerjinin hepsi numune tarafından absorbe edilemez. Absorbe edilemeyen darbe enerjisi de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için harcanır. Vurucunun numuneye saplanması durumunda ise vurucunun sahip olduğu darbe enerjisinin hepsi numune tarafından absorbe edilir ve eğrinin son kısmı hemen hemen yatay olarak devam eder. Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda ise, vurucu ile numune arasındaki sürtünme kısmının altında kalan alanın da darbe cihazının programı tarafından hesaplanan absorbe edilen enerji miktarına katılmasından dolayı eğri yukarı doğru yönlenmektedir. Bu sürtünme kısmının altında kalan alanın toplam absorbe edilen enerji miktarından çıkarılması gerekir [18].




**Şekil 9.** 20J, 60J darbe enerjileri ve 8 tabakalı ve 16 tabakalı numuneler üzerinde gerçekleştirilen çarpma testleri için hız-zaman eğrileri



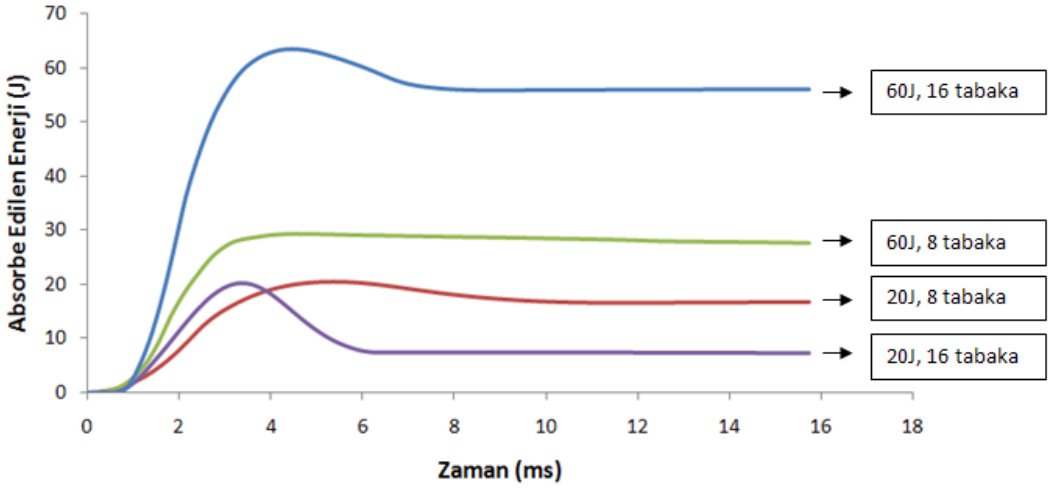

**Şekil 10.** 20J, 60J darbe enerjileri ve 8 tabakalı ve 16 tabakalı numunelerin kuvvet -zaman eğrileri

Şekil 11'de 20J ve 60J darbe enerjileri ve 8 ile 16 tabakalı numunelerin absorbe edilen enerji-zaman eğrisi verilmiştir. Şekil 11'den görüleceği üzere 8 tabakalı numunelerde 20J için 16 tabakalı numunelerde ise 20J ve 60 J için geri sekme oluştuğu anlaşılmaktadır. 8 tabakalı numunelerde 60J için delinme ortaya çıkmaktadır.

## 4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli epoksi kompozit plakaların darbe davranışına plaka kalınlığının etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Darbe enerjisinin artması fiber kırılmalarına ve ayrılmalarına sebep olmaktadır.
- Düşük darbe enerjisinde matris çatlağı ve delaminasyon ana hasar modlarıdır.
- Plaka kalınlığı arttıkça kompozit malzemenin darbe dayanımı artmaktadır.
- Azalan plaka kalınlığı ve artan darbe enerjisinde açık eğri oluşmaktadır.
- 16 tabakalı kompozit numunelerin çökme değeri 8 tabakalı numunelere göre 20J darbe enerjisi için yaklaşık % 25; 60J darbe enerjisi için ise % 14 daha düşüktür. Plaka kalınlığı arttıkça yük taşıma kapasitesi artmakta ve çökme değerleri azalmaktadır.




**Şekil 11.** 20J ve 60J darbe enerjileri altında 8 ve 16 tabakalı numunelerde absorbe edilen enerji -zaman eğrisi

- Darbe enerjisi artıkça maksimum kuvvet (8 tabakalı numuneler için yaklaşık %8; 16 tabakalı numuneler için %46) ve çökme miktarı (8 tabakalı numuneler için yaklaşık % 79; 16 tabakalı numuneler için %100) artmaktadır.
- Numunenin darbe uygulanan üst yüzeyindeki hasar alanı darbe uygulanmayan alt yüzeyin hasar alanından daha küçüktür.
- 2 mm kalınlığındaki 8 tabakalalı kompozit numune 60J darbe enerjisine maruz kaldığında delinme gözlemlenirken diğer durumlarda [20J, 80J (16 tabakalı); 20J (8 tabakalı)] delinme gözlemlenmemiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma, BAP 4210-YL1-14 "Zamana Bağlı Olarak Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışına Soğuk Ortamın Etkisi" başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynakça

[1] Mili, F., Necib, B., 2001. Impact Behaviour of Cross-Ply Laminated Composite Plates Under Low Velocities. Composite Structures, 51, 273-244.

[2] Jenq, S.T., Mo, J.J., 1996. Ballistic Impact Response for Two-Step Braided Three Dimensional Textile Composites. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 34 (2), 375-384.

[3] Aktaş, M., Ataş, C., İçten, B.M., Karakuzu, R., 2009. An Experimental Investigation of the Impact Response of Composite Laminates. Composite Structures, 87, 307-313.

[4] Baucom, J.N., Zikry, M.A. 2005. Low Velocity Impact Damage Progression in Woven E-glassComposite Systems. Composites, 36, 658-664.

[5] Belingardi, G., Vadori, R. 2003. Low Velocity Impact Tests of Laminate Glass- Fiber-Epoxy MatrixComposite Material Plates. International Journal of Impact Engineering, 27, 213-229.

[6] Türkmen, İ., Köksal, N.S. 2013. Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde (CTP) Elyaf Tabaka Sayısına Bağlı Mekanik Özelliklerin ve Darbe Dayanımının İncelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 8(2): 17-30.

[7] Uyaner, M., Kara, M., Ataberk, N. 2007. E camı/epoksi Tabakalı Kompozitlerin Düşük Hızlı darbe Davranışına Numune Boyutlarının Etkisi, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, , 7-9 Kasım, İstanbul, 361-368.

[8] Im, K.H., Cha, C.S., Kim, S.K, Yang, I.Y., 2001. Effects of Temperature on Impact Damages in CFRP Composite Laminates, Composites: Part B., 32, 669-682.

[9] Datta S., Krishna, A.V., Rao, R.M.V.G.K., 2004. Low Velocity Impact Damage Tolerance Studies on Glass-Epoxy Laminates-Effects of Material, Process and Test Parameters, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 23 (3), 327-345.

[10] Hosur, M.V., Adbullah, M., Jeelani, S., 2005. Studies on the Low-Velocity Impact Response of Woven Hybrid Composites, Composite Structures, 67, 253-262.

[11] Aktaş, M., Karakuzu, R., İçten, B.M., 2010. Impact Behavior of Glass/Epoxy Laminated Composite Plates at High Temperatures, Journal of Composite Materials, 44 (19), 2289-2299

[12] Fidan, S., Avcu, E., Sınmazçelik, T. 2011. Cam Fiber Takviyeli Polyester Kompozitte Tekrarlı Darbe Yüklemeleriyle Oluşan Hasar Mekanizmaları, I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, 17-19 Kasım, İzmir, 1-12.

[13] Mathivanan, N.R., Jerald, J. 2010. Experimantal Investigation of Woven E-Glass Composite Laminates Subjected to Low-Velocity Impact at Different Energy Levels, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 9(7): 643-652.

[14] Fidan, S., Sınmazçelik, T., Bora, M.Ö., Çoban, O. 2010. Düşük Hızlı Darbe Yüklemeleri Sonucu Kompozit Malzemelerde Ortaya Çıkan Hasar Mekanizmaları, Mühendis ve Makine, 51 (611), 1-8.

[15] Caner, A.Y., 2016. Zamana Bağlı Olarak Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışına Soğuk Ortamın Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Isparta.

[16] Naik, N.K., Meduri, S., Sekher, Y. C. 2000. Polymer Matrix Woven Fabric Composites Subjected to Low Velocity Impact: Part II-Effect of Plate Thickness, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 19 (13), 1031-1055.

[17] Yapıcı, İ., Yapıcı, A., 2012. E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerde Düşük Hızlı Darbe Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(2):48-60.

[18] Sayer, M., 2009. Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Denizli.