



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

**Cam Lifi Takviyeli Polipropilen Kompozitlerde Kalınlığın ve Sıcaklığın Darbe Davranışına Etkileri**

**Thickness and Temperature Effects on the Impact Behavior of Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites**

Okan ÖZDEMİR, Halis KANDAŞ  
Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Haziran 2018 (30 June 2018)

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Okan ÖZDEMİR, Halis KANDAŞ (2018): Cam Lifi Takviyeli Polipropilen Kompozitlerde Kalınlığın ve Sıcaklığın Darbe Davranışına Etkileri, Tekstil ve Mühendis, 25: 110, 103-112.

**For online version of the article:** <https://doi.org/10.7216/1300759920182511005>

**Sorumlu Yazara ait Orcid Numarası (Corresponding Author's Orcid Number) :**

<https://orcid.org/0000-0003-4055-6874>



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## CAM LİFİ TAKVİYELİ POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERDE KALINLIĞIN VE SICAKLIĞIN DARBE DAVRANIŞINA ETKİLERİ

Okan ÖZDEMİR\*  
Halis KANDAŞ

Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 22.11.2017

Kabul Tarihi / Accepted: 10.05.2018

**ÖZET:** Bu çalışmada, uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granüllerden oluşan termoplastik kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışını iyileştirmek amacıyla cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit prepregler kullanılarak sandviç yapıda yeni bir dizilime sahip kompozitler üretilmiştir. Kalınlığın ve sıcaklığın düşük hızlı darbe davranışına olan etkilerini incelemek amacıyla 4 ve 6mm kalınlığa sahip kompozitlerin oda sıcaklığında ve 50°C'de deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, iki farklı dizilime sahip kompozitlerin kalınlığının artmasıyla maksimum temas kuvvetinin arttığı, sıcaklığın yükselmesiyle ise düştüğü gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Cam lifi takviyeli polipropilen, düşük hızlı darbe, kalınlık etkisi, sıcaklık etkisi

### THICKNESS AND TEMPERATURE EFFECTS ON THE IMPACT BEHAVIOR OF GLASS FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE COMPOSITES

**ABSTRACT:** In this study, the low velocity impact behaviors of glass fiber reinforced polypropylene thermoplastic composites were investigated experimentally. In order to improve the low velocity impact behavior, sandwich composites having new orientation were manufactured by using glass fiber reinforced polypropylene composite lamina. Impact tests of composites having thickness of 4 and 6mm were carried out at room temperature and 50°C so as to investigate the thickness and temperature effects on the low velocity impact behavior. According to the obtained results, maximum contact force of the specimens with two different orientations is enhanced by increasing thickness as it declines by increasing temperature.

**Keywords:** Glass fiber reinforced polypropylene, low velocity impact, thickness effect, temperature effect

\* Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: ozdemir.okan@deu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4055-6874>

DOI: 10.7216/1300759920182511005, [www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler son yıllarda havacılık, otomotiv ve gemi sanayinde yaygın olarak kullanılmakta ve kullanım alanları da her geçen gün artmaktadır. Bu alanlarda kullanılan kompozit malzemeler, diğer izotropik malzemelere (çelik, alüminyum vb.) kıyasla daha yüksek eğilme rijitliği, düşük özgül ağırlık, yüksek termal yalıtım ve kolay tamir edilebilme gibi eşsiz özelliklere sahiptirler. Bununla birlikte, bu gibi önemli özelliklere sahip olan kompozit malzemeler kullanım yerlerinde çeşitli enerji seviyelerine sahip darbelere maruz kalabilmektedir. Bu darbelere kuş çarpmaları, tamir esnasında alet düşmesi, dolu fırtınası gibi durumlar örnek olarak verilebilir. Kompozit malzemelerin kullanım esnasında maruz kaldıkları bu darbeler neticesinde dayanımları düşebilmekte ve buna bağlı olarak da kullanım ömürleri önemli oranda azalabilmektedir. Bu sebeple kompozit malzemelerin çeşitli enerji seviyelerindeki darbe davranışları karşımıza önemli bir konu olarak çıkmakta ve son yıllarda bu konuda yapılmış çalışma sayısı çoğalarak artmaktadır [1-4].

Termoplastik kompozitler, geri dönüştürülebilirlik ve termoset kompozitlere oranla daha kısa işlem sürelerine sahip olmalarından dolayı başta otomotiv sektörü olmak üzere havacılık, uzay endüstrisinde ve denizcilik sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [5]. Bunun yanı sıra yüksek titreşim sönümleme, üstün yorulma davranışı, tokluk, aşınma direnci, düşük özgül ağırlık, uzun raf ömrü gibi özelliklere sahip olması da tercih edilme nedenleri arasındadır. Ancak termoplastik kompozitlerin literatürde ve uygulamadaki kullanımı ile ilgili en büyük sorunlardan bir tanesi maksimum güvenli kullanım sıcaklığının düşük olmasıdır. Termoplastik kompozitlerin çalışma esnasında kullanım yerine bağlı olarak ömürleri boyunca yüksek sıcaklıklara maruz kalabilecekleri göz önüne alındığında ve yüksek sıcaklıklarda termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli ölçüde azalma meydana geleceği düşünüldüğünde bu konuda araştırma yapılmasının önemi anlaşılmaktadır [6]. Sıcaklık etkisinin yanı sıra, uygulamada karşılaşılabilecek darbe dayanımları göz önünde bulundurulduğunda, benzer elyaf takviyeli termoset kompozitlerde termoplastik kompozitlere kıyasla daha fazla delaminasyon meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple, aynı elyaf takviyeli fakat ayrı matrise (termoset ve termoplastik) sahip kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışı yer değiştirme açısından karşılaştırıldığında, termoplastik kompozitlerin daha iyi darbe performansı sergilediği görülmüştür [7,8].

Polipropilen termoplastik reçinesi çok geniş kullanım alanına sahip üç genel plastikten bir tanesidir [9-12]. Polipropilenin teknik amaçlı kullanımının sebepleri düşük maliyete ve yüksek çekme mukavemetine sahip olmasıdır. Bu sebeplerle teknik amaçlı kullanım açısından en hızlı büyüyen malzemelerden bir tanesi olarak düşünülebilir [12]. Polipropilen, işleme ve pratik uygulamalarda iyi bir performansa sahip olsa da [13] alev geciktirme özelliğinin düşük olması [14], termal etkiler sebebi ile mekanik özelliklerinin düşmesi (güvenli kullanım sıcaklığının 100°C olduğu kabul edilmektedir) bu malzemenin kullanım yelpazesini kısıtlamaktadır [15].

Son yıllarda doğal fiberlerle (keten, jüt vb.) termoplastiklerin kompozit olarak üretimi gerçekleştirilmiş olsa da yapısal olarak bu kompozitler halen önemli engellere sahiptir. Doğal fiberlerle üretilen termoplastik kompozitlerde mekanik dayanım istenilen seviyeye çıkamadığı için bu kompozitlerin yüksek mukavemet gerektiren otomotiv sektöründe kullanılması mümkün olamamaktadır [16]. Bu sebeple, araştırmacılar mekanik dayanımı daha yüksek olan farklı elyaflardan oluşan takviye malzemeleriyle (karbon, cam, vb.) termoplastik üretimine yönelmişlerdir. Üretilen bu termoplastik kompozitler başta otomotiv sektörü olmak üzere inşaat ve elektrik/elektronik alanlarında kendilerine yer bulmaktadırlar [16,17].

Tabakalı kompozitlerin en büyük zayıflıkları düşük hızlı darbe esnasında tabakalar arasında ayrılmanın meydana gelmesidir [18]. Kısa fiber takviyeli termoplastik kompozitler, tabakalı termoplastik kompozitlerin tabakaları arasında oluşan mekanik boşluğu doldurarak düşük mekanik dayanıma sahip termoplastiklerin mekanik dayanımını iyileştirmek üzere geliştirilmiş mühendislik malzemelerinden bir tanesidir. Bu kompozitlerin üretimi hızlı ve diğer kompozit malzemelerin üretim maliyetinden düşük olması nedeniyle başta otomotiv sektörü olmak üzere yoğun bir şekilde uygulamada kullanılmakta ve uygulama alanları her geçen gün artmaktadır [19]. Yapılan literatür araştırmalarından şu ana kadar pultruzyon yöntemiyle üretilmiş kısa ve/veya uzun cam fiber takviyeli polipropilen kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışının incelenmesine rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada, 4 ve 6mm kalınlığına sahip uzun cam fiber takviyeli polipropilen termoplastik kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerde kalınlığın düşük hızlı darbe davranışına olan etkileri, 30J, 50J, 70J ve 90J'lük enerji seviyelerinde temas kuvveti – yer değiştirme, enerji – zaman grafikleri yardımıyla detaylı olarak incelenmiştir. Bu kompozitlerin düşük hızlı darbe dayanımlarını iyileştirmek için sandviç yapıda kompozitler aynı kalınlıklarda üretilerek darbe dayanımlarının değişimi incelenmiştir. Bununla birlikte, üretilen tüm farklı termoplastik kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyleri ortam sıcaklığının etkisini gözlemleyebilmek amacıyla oda sıcaklığında ve 50°C'de gerçekleştirilmiştir. Son olarak hasarlı numuneler gözle muayene edilerek hasar çeşitleri incelenmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Malzemeler

Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş, %50 uzun cam elyaf takviyeli homopolipropilen kompozit granüller (Duramax LFT50-PP) ve aynı elyaf oranına sahip cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit prepregler Nuh Kompozit San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Granül boyutu yaklaşık olarak 12mm uzunluğundadır. Kompozit üretimi esnasında granüller herhangi bir ön işleme maruz bırakılmadan firmadan alındığı haliyle kullanılmıştır.

### 2.2 Numune Üretimi

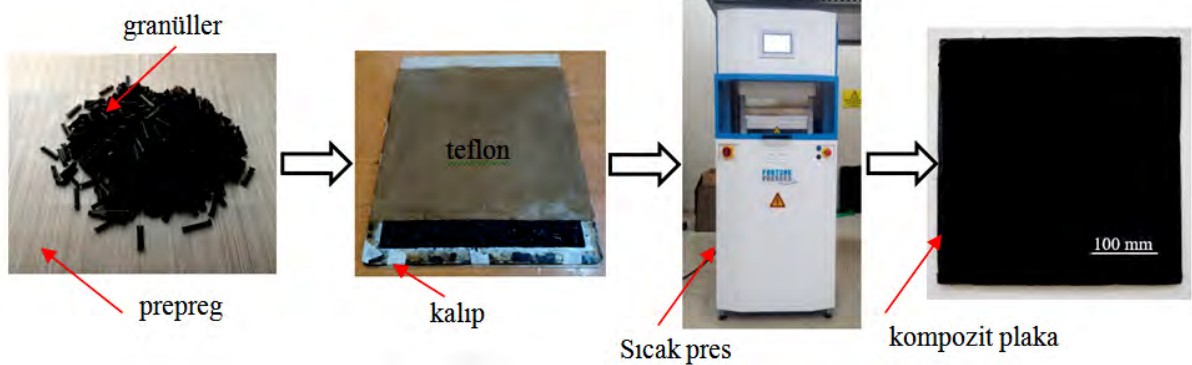
Bu çalışmada, kompozit malzemelerdeki dizilimin düşük hızlı darbe davranışına olan etkisini inceleyebilmek amacıyla iki farklı

dizilime sahip termoplastik kompozitler Fontijne Presses - LabEcon600 isimli pres makinası ile üretilmiştir. 400x400mm boyutlarında pres çenelerine sahip olan makina maksimum 600kN kuvvet uygulayabilmektedir. Presin alt çenesi hareketli olup üst çenesi ise sabittir. Alt ve üst çeneleri maksimum 300°C'ye ısıtılabilen presin, sıcaklık ve basınç değerleri manuel olarak kontrol edilmektedir. Çalışmada kullanılan termoplastik kompozitlerden ilki yalnızca granüllerin kompozit forma dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle 660 ve 990gr granül tartıldıktan sonra sırasıyla 4 ve 6mm kalınlığa sahip kalıpların arasına homojen olarak yerleştirilmiştir. Kalıbın prese yapışmaması ve presten kolay çıkarılabilmesi için kalıbın üst ve alt bölümüne teflon yerleştirilmiştir. Daha sonra kalıp çeneler arasına yerleştirilmiştir. 250°C ve 100kN altında 1 saatlik süre boyunca preslenmiştir. 1 saatlik sürenin sonunda ısıtıcı kapatılıp kompozitin çarpılmaması amacıyla 100kN'luk yük altında soğumaya bırakılmıştır. 6 saatin sonunda kompozit 350x350mm ebatlarındaki kalıptan çıkartılmıştır. İkinci tip termoplastik kompozitin üretimi sırasında kalıba öncelikle 0° ve 90° dizilime sahip cam elyaf takviyeli prepregler yerleştirilmiştir. Daha sonra, yine aynı ağırlıkta granüller tartılıp prepreglerin üstüne homojen olarak yerleştirilmiştir. Sandviç yapıyı oluştur-

mak için en son aşamada sırasıyla 90° ve 0° dizilime sahip prepregler kalıba yerleştirildikten sonra aynı sıcaklık ve kuvvet altında termoplastik kompozitler üretilmiştir. Sandviç kompozitin oryantasyonu [0/90/Granül/90/0] olarak özetlenebilir. Bu oryantasyonda granüller ortaya konulup, sandviç kompozitteki çekirdek malzemesi olarak düşünülmüştür. Granüllerin kullanımındaki amaç, sadece prepreglerden oluşan aynı kalınlıktaki granülsüz kompozitlere kıyasla daha hafif, daha ucuz ve darbe anında delinmeye karşı daha mukavim yapının elde edilmek istenmesidir. Aynı zamanda simetrik bir sandviç kompozitin elde edilmesi de amaçlanmıştır. Üretim işlemi 4 ve 6mm kalınlığa sahip sadece granülden oluşan termoplastik ve sandviç termoplastik kompozitler için tekrarlandıktan sonra kompozit levhalar 100x100mm boyutlarına sulu testere yardımıyla kesilerek getirilmiştir. Kompozit üretiminin işlem sırası Şekil 1'de verilmiştir.

### 2.3 Deneysel Çalışma

Düşük hızlı darbe testleri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nde bulunan ağırlık düşürme prensibi ile çalışan CEAST Fractovis Plus darbe cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Kompozit üretimi işlem sırası



Şekil 2. Düşük hızlı darbe cihazı

Cihazın üst kısmında bulunan iki yayın yardımıyla maksimum darbe enerjisi 1800J'e kadar çıkabilmektedir. Cihaza bağlı bulunan iklimlendirme kabini yardımıyla darbe deneyleri -100°C ile 150°C arasında yapılabilir. Çalışmada kullanılan yarım küre şeklindeki vurucu uç 626 gr ağırlığa sahiptir ve 12,7mm çapındadır. Vurucu uca bağlı kuvvet dönüştürücünün yük kapasitesi 22,4kN'dur. Kuvvet dönüştürücü bu değere kadar numunelerdeki tepki kuvvetini ölçebilmektedir. Cihaza bağlı bulunan veri okuyucu yardımıyla deney süresince cihazdan veriler alınmıştır. Düşük hızlı darbe deneyleri, vurucu ucun numuneye çarpma hızının değiştirilmesi ile 30J, 50J, 70J ve 90J'lük darbe enerjisi seviyelerinde ASTM D3763 standardına uygun olarak yapılmıştır. Düşük hızlı darbe deneyleri oda sıcaklığında (23°C) ve 50°C'de cihazdaki kabinin sıcaklığının ayarlanması ile gerçekleştirilmiştir. Her deney en az 5 kere tekrarlanmıştır. Deneylerde vurucu ucun numuneye tek bir vuruş olarak çarpması yani tekrarlı darbenin gerçekleşmemesi cihazdaki geri sekmeyi önleyici sistem ile sağlanmıştır. Darbe cihazına bağlı olan veri toplama cihazından alınan veriler ışığında numunelerin temas kuvveti - yer değiştirme ve enerji – zaman grafikleri çizilerek termoplastik kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışları değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 12mm uzunluğa sahip uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granüller kullanılarak kalınlığı 4 ve 6mm olan kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen bu kompozitlerin düşük hızlı darbe dayanımlarının iyileştirilmesi için sadece granülden üretilen kompozitlerin üst ve alt yüzeyine 0° ve 90° dizilime sahip cam elyaf takviyeli prepreglerin simetrik olarak yerleştirilmesiyle sandviç yapıda kompozitler aynı kalınlıklarda üretilmiştir. Ortam sıcaklığının düşük hızlı darbe dayanımına olan etkilerini incelemek için deneyler oda sıcaklığında ve 50°C'de gerçekleştirilmiştir. 4 farklı (30J, 50J, 70J ve 90J) enerji seviyesinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testleri sonraki bölümlerde temas kuvveti – yer değiştirme, enerji – zaman grafikleri olarak incelenmiştir. Son bölümde ise numunelerin düşük hızlı darbe deneylerinden sonra üst ve alt yüzeylerinin hasar şekilleri görsel muayene ile incelenmiştir.

#### 3.1. Temas Kuvveti – Yer Değiştirme Grafikleri

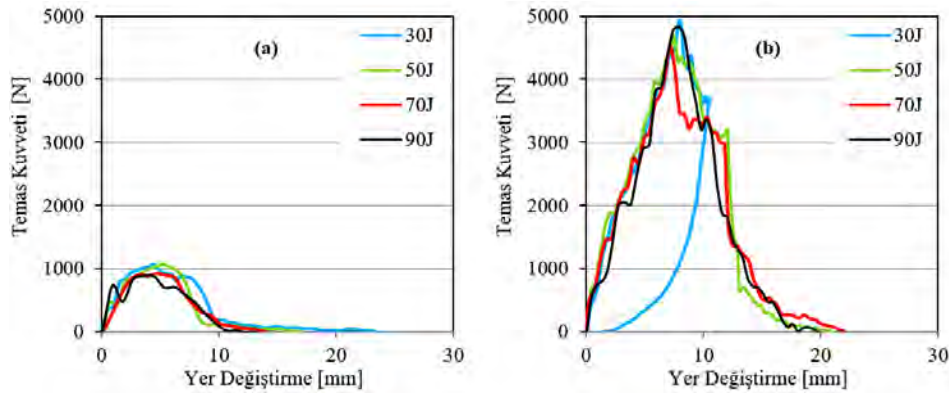
Temas kuvveti – yer değiştirme grafikleri kompozit malzemelerin darbe davranışlarını incelemek ve yorumlamak için kullanılan en önemli grafiklerden bir tanesidir. Bu grafiklerde eğri yükselen ve alçalan kısım olmak üzere iki bölgeye ayrılmaktadır. Eğrinin yükselen kısmı, vurucu ucun test numunesi ile temas ettiği andaki tepkiyi göstermektedir. Diğer bir deyişle temas kuvveti – yer değiştirme grafiklerinde yükselen kısmın eğimi eğilme rijitliği olarak adlandırılmaktadır. Eğrinin alçalan kısmı ise darbe enerjisinin seviyesine bağlı olarak 3 farklı şekilde olabilmektedir. Bunlar, vurucu ucun numuneden geri sekmesi, numuneye saplanması ve numuneyi delip geçmesidir [20,21].

Şekil 3 a-b'de sırasıyla 4mm kalınlığa sahip sadece polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin ve aynı kalınlığa sahip

sandviç kompozitlerin oda sıcaklığında (23°C) 4 farklı darbe enerji seviyesindeki (30J, 50J, 70J ve 90J) temas kuvveti- yer değiştirme grafikleri verilmiştir. Ayrıca Tablo 1'de farklı enerji seviyeleri için maksimum temas kuvvetleri özetlenmiştir. Granülden üretilmiş kompozitlerde eğrinin alçalan kısmı incelendiğinde açık formda olduğu görülmektedir. Bu durum numunelerin hepsinden vurucu ucun delip geçtiğini göstermektedir. Arıkan ve arkadaşları [7] tarafından yapılan çalışmada termoplastik numunelerde artan darbe enerjileriyle birlikte maksimum temas kuvvetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar granülden üretilmiş kompozitlerde de görülmüştür (Tablo 1). Şekil 3-b'deki grafik incelendiğinde 30J'lük enerji seviyesinde eğrinin kapalı formda olduğu görülmektedir. Bu da, vurucu ucun numuneden geri sektiğini göstermektedir. Ancak, enerji seviyesinin 50, 70 ve 90J'e artırılmasıyla birlikte bu numuneler için delinmenin meydana geldiği görülmektedir. Şekil 3 a-b birlikte düşünüldüğünde granüllerin prepregler ile takviye edilerek sandviç yapıda üretilmesiyle temas kuvvetleri her enerji seviyesinde önemli oranlarda artmıştır. Sandviç kompozitlerin temas kuvvetinin önemli oranlarda artması prepreglerin içindeki cam elyafının sürekli olmasından ve 0 ve 90° olmak üzere granüllerin üst ve alt yüzeylere konulmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle granüllerdeki fiberler arasındaki boşluk prepregler ile doldurulmuş ve granüllerden üretilen kompozitlerin vurucu uca karşı gösterdiği direnç artırılmıştır. Prepreg takviyesi kompozitlerdeki cam elyaflarının sürekliliği arttırdığından tüm enerji seviyelerinde yaklaşık %400 oranında temas kuvvetinde artış meydana gelmiştir. Maksimum temas kuvveti 4952N ile 30J'lük enerji seviyesinde meydana gelmiştir (Şekil 3-b). Ayrıca granülden üretilmiş kompozitlerin eğilme rijitlikleri yani eğrinin maksimum temas kuvvetine kadar olan kısmının eğimi 275,3N/mm iken sandviç kompozitlerde bu değer 628,2N/mm'dir.

4mm kalınlığa sahip sadece polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin ve aynı kalınlığa sahip sandviç kompozitlerin 50°C'de 4 farklı darbe enerji seviyesindeki (30J, 50J, 70J ve 90J) temas kuvveti- yer değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 4 a-b'de verilmiştir. Ayrıca farklı enerji seviyeleri için maksimum temas kuvvetleri Tablo 2'de özetlenmiştir. Şekil 4-a'daki numuneler için alçalan kısmın şekline bağlı olarak delindiği görülmektedir. Granülden üretilmiş kompozitlerin tüm enerji seviyelerinde ve sandviç kompozitlerin 30J hariç enerji seviyelerinde oda sıcaklığından (Şekil 3) 50°C'ye (Şekil 4) geçişte maksimum temas kuvveti açısından önemli ölçülerde değişiklik olmamıştır. Ancak 30J'de sandviç kompozitlerin maksimum temas kuvvetinde sıcaklık artışına bağlı olarak yaklaşık %27 oranında azalma meydana gelmiştir. Maksimum temas kuvvetindeki azalma sıcaklık artışının rijitliği düşürmesiyle açıklanabilir. Daha sünek davranış gösteren numuneler vurucu uca karşı yeterli oranda direnç gösteremediği için temas kuvvetleri azalmıştır. Ayrıca, daha yüksek enerji seviyelerinde de sıcaklık artışı numunelerin rijitliğini düşürmesine rağmen sıcaklık etkisinin yanı sıra delinme de meydana geldiği için sıcaklık artışı maksimum temas kuvvetini çok fazla etkilememiştir [22].

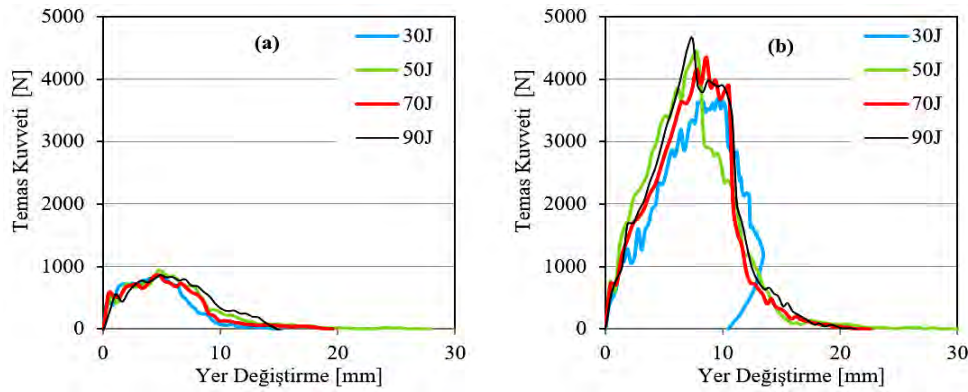




**Şekil 3.** Oda sıcaklığında 4mm kalınlığa sahip a) Sadece granülden oluşmuş ve b) sandviç kompozitlerin farklı enerji seviyelerinde, Temas kuvveti – yer değiştirme grafikleri

**Tablo 1.** Oda sıcaklığında 4mm kalınlığa sahip kompozitlerin farklı enerji seviyelerindeki maksimum temas kuvvetleri (N)

	30J	50J	70J	90J
Granül	1022±97	1004±84	921±75	879±88
Sandviç	4952±124	4677±99	4513±134	4730±102



**Şekil 4.** 50°C sıcaklıkta 4mm kalınlığa sahip a) Sadece granülden oluşmuş ve b) sandviç kompozitlerin farklı enerji seviyelerinde, Temas kuvveti – yer değiştirme grafikleri

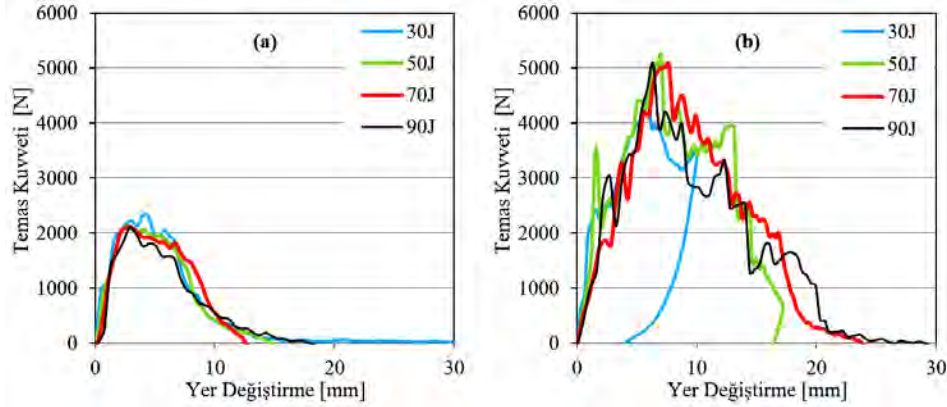
**Tablo 2.** 50°C 'de 4mm kalınlığa sahip kompozitlerin farklı enerji seviyelerindeki maksimum temas kuvvetleri (N)

	30J	50J	70J	90J
Granül	992±45	982±38	884±68	864±74
Sandviç	3645±129	4445±201	4351±187	4649±175

Şekil 5 a-b'de sırasıyla 6mm kalınlıktaki sadece polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin ve aynı kalınlıktaki sandviç kompozitlerin oda sıcaklığında (23°C) 4 farklı darbe enerji seviyesindeki (30J, 50J, 70J ve 90J) temas kuvveti-yer değiştirme grafikleri gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 3'te farklı enerji seviyeleri için maksimum temas kuvvetleri verilmiştir. Bu iki grafik incelendiğinde sandviç yapıdaki numunelerin darbe dayanımlarının granülden üretilmiş kompozitlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kalınlığın 4mm'den (Şekil 3) 6mm'ye yükseltilmesiyle (Şekil 5) beraber darbe dayanımları granülden üretilen ve sandviç yapıdaki kompozitlerde önemli oranlarda artmaktadır. Düşük hızlı darbe deneylerinde numune kalınlığının önemli bir parametre olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, kalınlığın artmasına bağlı olarak numunelerdeki hasar

tipleri de değişmektedir. 50J'lük enerji seviyesinde (Şekil 3-b) delinme meydana gelmişken kalınlığın 6mm'ye çıkartılmasıyla vurucu uç numuneye saplanmıştır (Şekil 5-b).

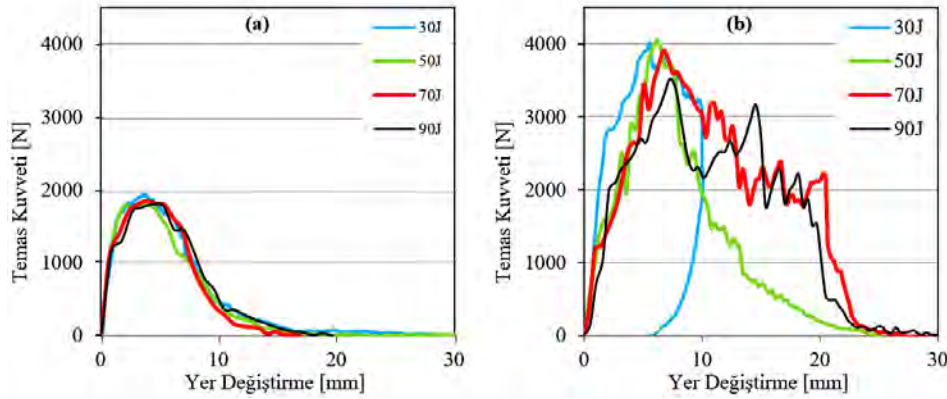
6 mm kalınlıktaki sadece polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin ve aynı kalınlığa sahip sandviç kompozitlerin 50°C'de 4 farklı darbe enerjisindeki (30J, 50J, 70J ve 90J) temas kuvveti-yer değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 6 a-b'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 4'te farklı enerji seviyelerindeki maksimum temas kuvvetleri özetlenmiştir. Sandviç yapıdaki kompozitlerin darbe dayanımları granülden oluşmuş kompozitlerden daha yüksektir. Şekil 5-b ve Şekil 6-b birlikte düşünüldüğünde, sıcaklığın 6mm kalınlığa sahip numunelere olumsuz etkisi olduğu yani darbe dayanımlarını düşürdüğü gözlemlenmektedir.



**Şekil 5.** Oda sıcaklığında 6mm kalınlığa sahip a) Sadece granülden oluşmuş ve b) sandviç kompozitlerin farklı enerji seviyelerinde, Temas kuvveti – yer değiştirme grafikleri

**Tablo 3.** Oda sıcaklığında 6mm kalınlığa sahip kompozitlerin farklı enerji seviyelerindeki maksimum temas kuvvetleri (N)

	30J	50J	70J	90J
Granül	2223±95	2128±126	2115±117	2103±74
Sandviç	4476±136	5224±121	5097±172	5050±151



**Şekil 6.** 50°C sıcaklıkta 6mm kalınlığa sahip a) Sadece granülden oluşmuş ve b) sandviç kompozitlerin farklı enerji seviyelerinde, Temas kuvveti – yer değiştirme grafikleri

**Tablo 4.** 50°C 'de 6mm kalınlığa sahip kompozitlerin farklı enerji seviyelerindeki maksimum temas kuvvetleri (N)

	30J	50J	70J	90J
Granül	1925±204	1802±187	1795±169	1717±54
Sandviç	4017±169	4051±54	3912±137	3520±85

### 3.2. Darbe Enerjisi – Zaman Grafikleri

Temas kuvveti – yer değiştirme grafiklerinin yanı sıra kompozit malzemelerin darbe dayanımlarını incelemek için enerji – zaman grafikleri de sıklıkla kullanılmaktadır. Bu grafik uygulanan darbe enerjisi altında numunelerin ne kadar enerji absorbe ettiği hakkında bilgiler vermektedir. Absorbe edilen enerji, aynı zamanda temas kuvveti – yer değiştirme grafiğinin altında kalan alana eşittir [20,21].

Şekil 7 a-b'de sırasıyla 30J'lük enerji seviyesinde farklı kalınlıklara sahip olan ve farklı ortam sıcaklıklarına maruz bırakılan,

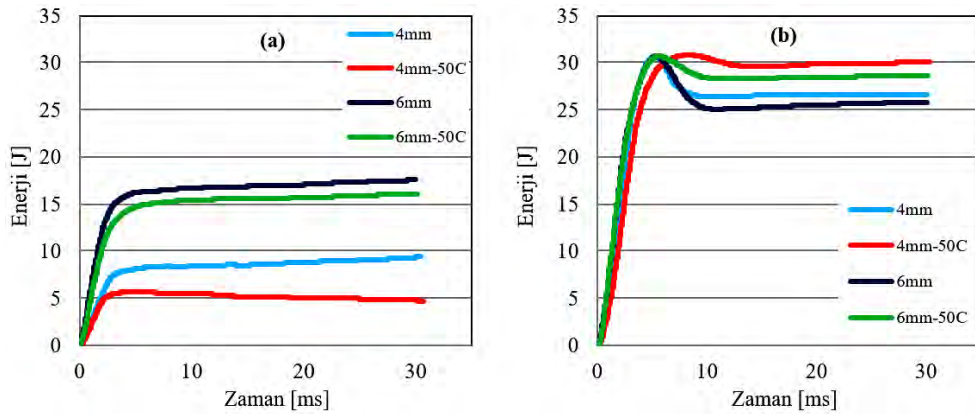
sadece polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin ve sandviç kompozitlerin enerji – zaman grafikleri verilmiştir. Ayrıca Tablo 5'te 30J'lük enerji seviyesinde farklı kalınlıklar ve sıcaklıklar için absorbe edilen enerji değerleri verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde granülden üretilmiş kompozitlerde maksimum absorbe edilen enerji eğrinin yatay kısmında yani yaklaşık olarak 18J ile 6mm kalınlığa sahip kompozitlerde meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 7-a). Bu enerji seviyesinde granül ve sandviç yapıdaki kompozitlerin enerji – zaman grafikleri incelendiğinde sandviç yapıdaki kompozitlerin farklı kalınlık ve ortam sıcaklıklarında daha fazla enerji absorbe

ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 7-b’de görüldüğü üzere sandviç yapı kompozitlerde kalınlığın artmasıyla birlikte elastik enerjinin arttığı görülmektedir. Numune kalınlığının artmasının darbe dayanımına olumlu etki yaptığı bu sonuçtan da görülmektedir.

50J’lük enerji seviyesinde farklı kalınlıklara sahip olan ve farklı ortam sıcaklıklarına maruz bırakılan, sadece polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin ve sandviç kompozitlerin enerji – zaman grafikleri sırasıyla Şekil 8 a-b’de verilmiştir. Ayrıca 50J’lük enerji seviyesinde farklı kalınlıklar ve sıcaklıklar için absorbe edilen enerji değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Granülden üretilmiş kompozitlerin bu enerji seviyesi altında absorbe ettiği enerji değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu enerji seviyesinde 6mm kalınlığa sahip sandviç kompozitin ise uygulanan enerji seviyesinin tamamını absorbe ettiği eğrinin

yatay kısmındaki enerji değerinin okunmasıyla görülmektedir. Diğer bir deyişle dışarıdan uygulanan 50J’lük enerji seviyesinin tamamını numune absorbe etmiştir ve vurucu uç numunede saplanıp kalmıştır.

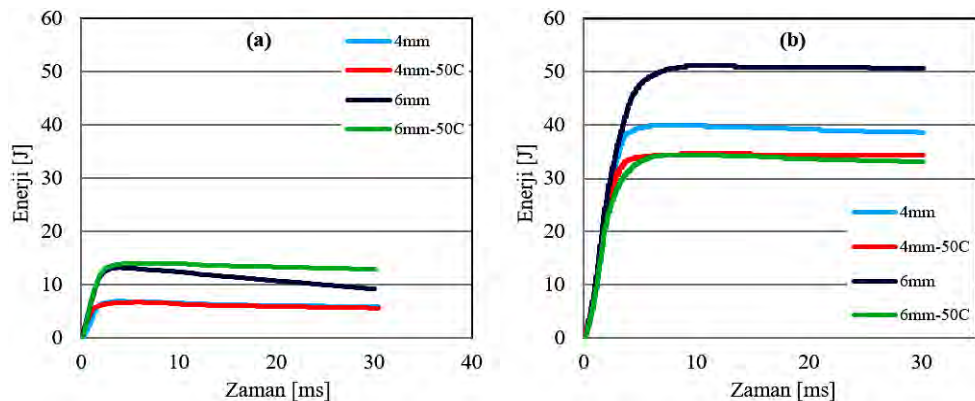
Şekil 9 a-b’de sırasıyla 70J’lük enerji seviyesinde farklı kalınlıklara sahip olan ve farklı ortam sıcaklıklarına maruz bırakılan, sadece polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin ve sandviç kompozitlerin enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 7’de 70J’lük enerji seviyesinde farklı kalınlıklar ve sıcaklıklar için absorbe edilen enerji değerleri özetlenmiştir. Sandviç kompozitlerin davranışları incelendiğinde 6mm kalınlığa sahip 50°C’lik sıcaklık altında darbe dayanımının 50,1J olduğu ve oda sıcaklığındaki değerinden (54J) düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 30J enerji seviyesinde a) Sadece granülden oluşmuş ve b) sandviç kompozitlerin farklı kalınlık ve sıcaklıklar için Enerji – zaman grafikleri

Tablo 5. 30J enerji seviyesinde kompozitlerin farklı kalınlık ve sıcaklıklar için absorbe edilen enerji değeri (J)

	4mm - oda sıcaklığı	4mm – 50°C	6mm - oda sıcaklığı	6mm – 50°C
Granül	9,4±0,7	4,8±0,4	17,6±1,3	16,1±0,9
Sandviç	26,4±1,4	29,5±1,6	25,2±2,1	28,3±2,4

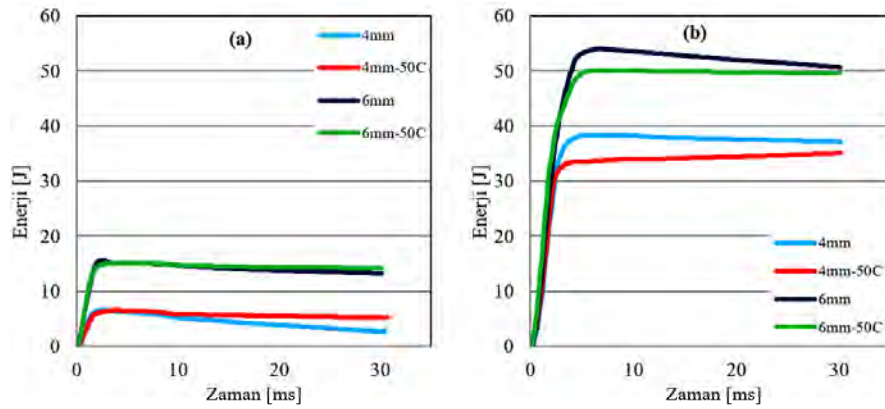


Şekil 8. 50J enerji seviyesinde a) Sadece granülden oluşmuş ve b) sandviç kompozitlerin farklı kalınlık ve sıcaklıklar için Enerji – zaman grafikleri

Tablo 6. 50J enerji seviyesinde kompozitlerin farklı kalınlık ve sıcaklıklar için absorbe edilen enerji değeri (J)

	4mm - oda sıcaklığı	4mm – 50°C	6mm - oda sıcaklığı	6mm – 50°C
Granül	6,9±1,1	6,7±0,8	13,9±1,2	13,7±0,7
Sandviç	39,9±3,0	34,6±2,7	50,0±3,4	34,3±4,1





Şekil 9. 70J enerji seviyesinde a) Sadece granülden oluşmuş ve b) sandviç kompozitlerin farklı kalınlık ve sıcaklıklar için Enerji – zaman grafikleri

Tablo 7. 70J enerji seviyesinde kompozitlerin farklı kalınlık ve sıcaklıklar için absorbe edilen enerji değeri (J)

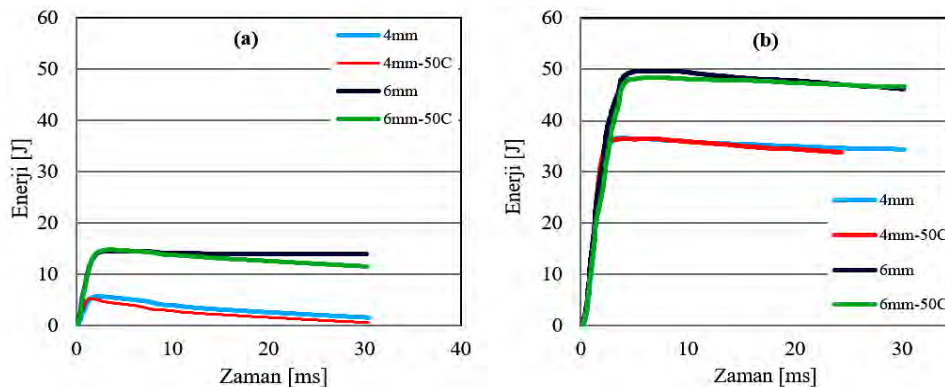
	4mm - oda sıcaklığı	4mm – 50°C	6mm - oda sıcaklığı	6mm – 50°C
Granül	6,5±1,3	6,4±0,9	15,6±1,1	15,1±1,2
Sandviç	38,3±3,4	35,1±3,9	54,0±4,2	50,1±4,3

90J'lük darbe enerjisinde farklı kalınlıklara sahip olan ve farklı ortam sıcaklıklarındaki, sadece polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin ve sandviç kompozitlerin enerji – zaman grafikleri sırasıyla Şekil 10 a-b'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 8'de 90J'lük darbe enerjisindeki farklı kalınlıklar ve sıcaklıklar için absorbe edilen enerji değerleri verilmiştir. Her iki farklı dizilime sahip kompozitlerin davranışları incelendiğinde darbe enerjisinin artmasına bağlı olarak numunelerin bu enerji seviyesine yeterli oranda tepki veremedikleri diğer bir deyişle absorbe ettiği enerji miktarlarının uygulanan darbe enerjilerinden önemli oranlarda düşük olduğu, bu oranın da granülden üretilmiş kompozitlerde kendini önemli derecede gösterdiği görülmüştür.

### 3.3. Hasarlı Numune Şekilleri

Bu bölümde darbe sonrası numunelerdeki hasar yüzeyleri görsel muayene ile incelenmiştir. Şekil 11'de, örnek olması açısından 4mm kalınlığa sahip 30J ve 90J'lük enerji seviyelerindeki sadece sandviç yapıdaki kompozitlerin üst ve alt yüzeylerinin dijital resimleri numunelerden eşit mesafede çekilmiştir. Buna göre, oda sıcaklığında 30J'lük enerji seviyesi altında vurucu uca yakın olan yüzeyde yani üst yüzeyde hasar meydana gelirken alt yüzeyde herhangi bir hasar görülmemiştir. Darbe enerjisinin

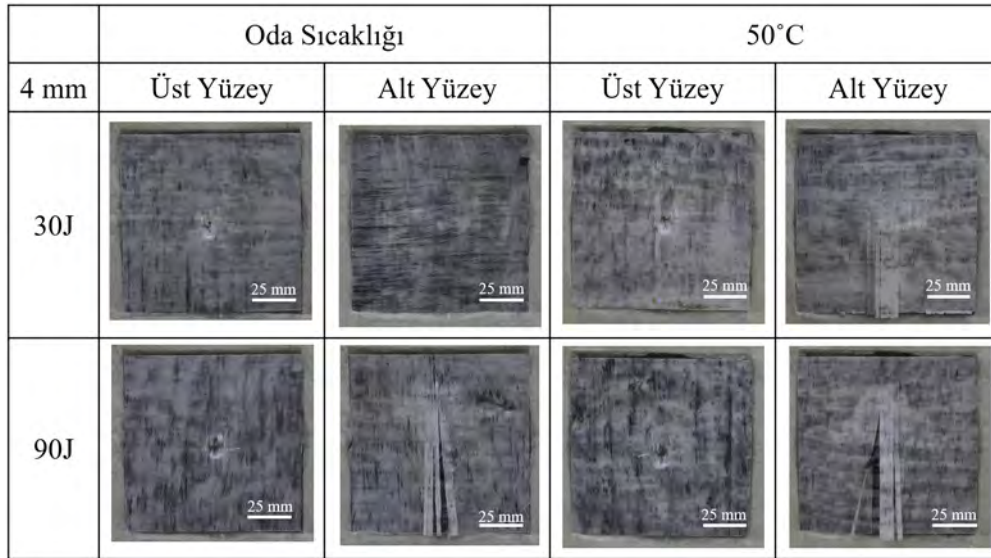
90J'e çıkartılmasıyla birlikte oda sıcaklığında üst ve alt yüzeylerde hasar meydana gelmiştir. Her iki darbe enerjisinde üst yüzeyde fiber ve matris kırıkları meydana gelirken 90J'de alt yüzeyde delinme meydana gelmiştir. Şekil 3-b'de darbe enerjisinin 30J'den artırılmasıyla birlikte 50J, 70J ve 90J'lük darbe enerjilerinde eğrinin açık formda olmasından delinme durumunun meydana geldiği görülmektedir. Burada delinme durumunda gözlemlenen hasar tipleri farklıdır. 50J ve 70J'lük darbe enerjilerinde granüllerin delinmesiyle birlikte alt yüzeyde bulunan prepreglerle granül arasında ayrışma meydana gelmiştir (yüzey/çekirdek ayrışması). Darbe enerjisinin 90J'e yükseltilmesiyle birlikte sandviç yapıyı oluşturan prepreglerin dayanımı yüksek olduğundan prepreglerde delinmeyle birlikte delaminasyon yani tabakalar arası ayrılmalar gözlemlenmiştir (ara yüzey ayrışması). Sıcaklığın 50°C'ye artırılmasıyla numunelerdeki hasar yüzeyleri incelendiğinde yine benzer şekilde üst yüzeyde fiber ve matris hasarları gözlemlenmiştir. Fakat sıcaklığın artması numunelerin rijitliklerini düşürdüğünden 30J'de alt yüzeyde bulunan prepregler arasında ayrılmalar yani delaminasyonlar meydana gelmiştir. 90J'de vurucu ucun numuneyi delip geçtiği, granüllerde fiber ve matris hasarları aynı zamanda prepreglerde delaminasyonların meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 10. 90J enerji seviyesinde a) Sadece granülden oluşmuş ve b) sandviç kompozitlerin farklı kalınlık ve sıcaklıklar için Enerji – zaman grafikleri

**Tablo 8.** 90J enerji seviyesinde kompozitlerin farklı kalınlık ve sıcaklıklar için absorbe edilen enerji değeri (J)

	4mm - oda sıcaklığı	4mm – 50°C	6mm - oda sıcaklığı	6mm – 50°C
Granül	5,6±0,4	5,2±0,5	14,7±1,1	14,6±1,0
Sandviç	36,7±2,3	36,4±2,8	49,7±3,3	48,5±3,5

**Şekil 11.** 4mm kalınlığa sahip sandviç kompozitlerin 30J ve 90J'de darbe sonrası hasar şekilleri

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı kalınlığa ve dizilime sahip cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışları deneysel olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda sıcaklığın düşük hızlı darbe davranışına olan etkileri oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda (50°C) çalışılmış ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenmektedir.

Granülden üretilen kompozitlerin üst ve alt yüzeylerine konulan 0 ve 90° oryantasyona sahip prepregler ile sadece granüllerden üretilen kompozitler karşılaştırıldığında prepreglerin düşük hızlı darbe dayanımını tüm enerji seviyelerinde önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür.

Numune kalınlığının 6mm'ye artırılmasıyla birlikte sadece granülden oluşmuş ve sandviç yapıdaki kompozitlerin tüm enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe dayanımlarının yükseldiği gözlemlenmiştir.

Sıcaklığın 50°C'ye yükselmesiyle birlikte farklı dizilime sahip numunelerin rijitliklerinin azalması sonucu sıcaklık artışının düşük hızlı darbe davranışına olumsuz etki yaptığı ortaya konulmuştur.

Farklı darbe enerjileri altında enerji – zaman grafiğinin yatay olduğu kısımlar dikkate alındığında, sandviç yapıdaki kompozitler ile granülden oluşmuş kompozitler karşılaştırıldığında sandviç yapıdaki kompozitlerin daha yüksek enerji absorbe ettiği görülmüştür. Ayrıca artan enerji seviyelerinde temas kuvveti –

yer değiştirme grafiklerinde ikinci bir tepenin oluştuğu bunun da numunenin alt kısmında bulunan prepreglerden kaynaklandığı görülmüştür. Granülden oluşmuş kompozitlerde ikinci bir tepeye rastlanılmamıştır.

Darbe sonrası hasarlı numune resimleri incelendiğinde, darbe enerjisinin artmasına bağlı olarak sadece üst yüzeyde oluşan hasarın alt yüzeylerde de meydana geldiği ve fiber ve matris hasarlarının yanı sıra delaminasyonların da oluştuğu görülmüştür.

#### KAYNAKLAR

1. Abrate, S., (2005), *Impact on composite structures*, Cambridge university press.
2. Guillaud, N., Froustey, C., Dau, F., Viot, P., (2015), *Impact response of thick composite plates under uniaxial tensile preloading*, Composite Structures, 121, 172–181.
3. Mitrevski, T., Marshall, I.H., Thomson, R., Jones, R., Whittingham, B., (2005), *The effect of impactor shape on the impact response of composite laminates*, Composite Structures, 67, 139–148.
4. Kurşun, A., Şenel, M., Enginsoy, H.M., (2015), *Experimental and numerical analysis of low velocity impact on a preloaded composite plate*, Advances in Engineering Software, 90, 41–52.
5. Yudhanto, A., Lubineau, G., Wafai, H., Mulle, M., Pulungan, D., Yaldiz, R., Verghese, N., (2016), *Monotonic and cyclic responses of impact polypropylene and continuous glass fiber-reinforced impact polypropylene composites at different strain rates*, Polymer Testing, 51, 93-100.
6. Russo, P., Langella, A., Papa, I., Simeoli, G., Lopresto, V., (2017), *Thermoplastic polyurethane/glass fabric composite laminates: Low*

- velocity impact behavior under extreme temperature conditions, *Composite Structures*, 166, 146–152.
7. Arıkan, V., Sayman, O., (2015), *Comparative study on repeated impact response of E-glass fiber reinforced polypropylene and epoxy matrix composites*, *Composites Part B*, 83, 1-6.
  8. Vieille, B., Casado, V.M., Bouvet C., (2013), *About the impact behavior of woven-ply carbon fiber-reinforced thermoplastic- and thermosetting-composites: A comparative study*, *Composite Structures*, 101, 9-21.
  9. Feng, C., Liang, M., Jiang, J., Huang, J., Liu, H., (2016), *Synergistic effect of a Novel triazine Charring Agent and ammonium polyphosphate on the flame retardant properties of Halogen-Free Flame Retardant Polypropylene composites*, *Thermochimica Acta*, 627, 83-90.
  10. Lv, P., Wang, Z., Hu, K., Fan, W., (2005), *Flammability and thermal degradation of flame retarded polypropylene composites containing melamine phosphate and pentaerythritol derivatives*, *Polymer Degradation and Stability*, 90, 523-534.
  11. Shen, H., Wang, Y., Mai, K., (2008), *Effect of compatibilizers on thermal stability and mechanical properties of magnesium hydroxide filled polypropylene composites*, *Thermochimica Acta*, 483, 36–40.
  12. Lin, H., Yan, H., Liu, B., Wei, L., Xu, B., (2011), *The influence of KH-550 on properties of ammonium polyphosphate and polypropylene flame retardant composites*, *Polymer Degradation and Stability*, 96, 1382-1388.
  13. Yang, J., Liang, J.Z., Tang, C.Y., (2009), *Studies on melt flow properties during capillary extrusion of PP/Al(OH)<sub>3</sub>/Mg(OH)<sub>2</sub> flame retardant composites*, *Polymer Testing*, 28, 907–911.
  14. Chen, L., Wang, Y., (2009), *A review on flame retardant technology in China. Part I: development of flame retardants*, Wiley InterScience, 22 September.
  15. Rault, F., Pleyber, E., Campagne, C., Rochery, M., Giraud, S., Bourbigot, S., Devaux, E., (2009), *Effect of manganese nanoparticles on the mechanical, thermal and fire properties of polypropylene multifilament yarn*, *Polymer Degradation and Stability*, 94, 955–964.
  16. Dhakal, H.N., Zhang, Z.Y., Bennett, N., Reis, P.N.B., (2012), *Low-velocity impact response of non-woven hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites: Influence of impactor geometry and impact velocity*, *Composite Structures*, 94, 2756–2763.
  17. Garcı́a-Castillo, S.K., Sańchez-Sańez, S., Lońpez-Puente, J., Barbero, E., Navarro, C., (2009), *Impact behaviour of preloaded glass/polyester woven plates*, *Composites Science and Technology*, 69, 711–717.
  18. Saghafi, H., Brugo, T., Minak, G., Zucchelli, A., (2014), *The effect of pre-stress on impact response of concave and convex composite laminates*, *Procedia Engineering*, 88, 109 – 116.
  19. Garcia-Gonzalez, D., Rodriguez-Millan, M., Rusinek, A., Arias, A., (2015), *Low temperature effect on impact energy absorption capability of PEEK composites*, *Composite Structures*, 134, 440–449.
  20. Al-Shamary, A.K.J., Karakuzu, R., Özdemir, O., (2016), *Low-velocity impact response of sandwich composites with different foam core configurations*, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 18(6), 754-768.
  21. Özdemir, O., Karakuzu, R., Al-Shamary, A.K.J., (2015), *Core-thickness effect on the impact response of sandwich composites with poly(vinyl chloride) and poly(ethylene terephthalate) foam cores*, *Journal of Composite Materials*, 49(11), 1315-1329.
  22. Boumbimba, R.M., Coulibaly, M., Khabouchi, A., Kinvi-Dossou, G., Bonfoh, N., Gerard, P., (2017), *Glass fibres reinforced acrylic thermoplastic resin-based tri-block copolymers composites: Low velocity impact response at various temperatures*, *Composite Structures*, 160, 939-951.