



## Darbe Test Sıcaklıklarının Kompozit Levhaların Darbe Sonrası Bası Davranışına Etkisinin İncelenmesi

### Investigation of the Effect of Impact Test Temperatures on the Compression After Impact Behavior of Composite Plates

Melih Belevi <sup>1</sup>, Aidin Nejabati , Haşim Fırat Karasu <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye  
Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [firat.karasu@deu.edu.tr](mailto:firat.karasu@deu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 13.12.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 15.12.2021

DOI:10.21205/deufmd.2022247213

Atıf şekli/How to cite:BELEVİ, M., NEJABATI, A.,KARASU, H.F.(2022). Darbe Test Sıcaklıklarının Kompozit Levhaların Darbe Sonrası Bası Davranışına Etkisinin İncelenmesi.DEÜ FMD 24(72), 835-843.

#### Öz

Bu çalışmanın amacı darbe testi sıcaklığının ve levha malzemesinin, kompozit levhaların darbe sonrası bası dayanımına etkisini tespit etmektir. Testler için her biri 3 tabakalı olan biaxial cam elyaf/epoksi, karbon elyaf/epoksi ve kevlar elyaf/epoksi plakalar hazırlanmıştır. Farklı sıcaklıklarda (-20 °C, 20 °C ve 60 °C'de) 50 J'lük darbe uygulanmış olan numunelere sıkıştırma (Darbe sonrası bası "CAI") testleri yapılmıştır. Testler INSTRON 1114 test makinesinde, ASTM D7137 standardına göre hazırlanan Boeing test aparatı ve yük hücresi kullanılarak uygulanmıştır. Numunelerin kalınlık ve genişliğine göre küçük ayarlamalar yapılabilen aparat ile numuneler üzerine bası uygulanarak hasar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yük hücresinden elde edilen bilgileri kullanarak her numune için kuvvet-deplasman eğrisi oluşturulmuş ve numunelerin taşıyabileceği maksimum kuvvet elde edilmiştir. Hasar mekanizmasının anlaşılması için hasar gözlemi yapılmıştır. Test sonuçları, sıcaklık değişimlerinin bütün numunelerde darbe sonrası bası davranışını etkilediğini göstermektedir. Levha malzemesinin de hasarın büyüklüğünde etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Darbe sonrası bası mukavemeti, Tabakalı kompozitler, Biaxial cam elyaf, Biaxial kevlar elyaf, Biaxial karbon elyaf

#### Abstract

The purpose of this study is to determine the effect of impact test temperature and plate material on the compressive strength of composite sheets after impact. 3-layer plates such as biaxial glass fiber/epoxy, carbon fiber/epoxy and kevlar fiber/epoxy were prepared for the tests. Compression after impact "CAI" tests were carried out on specimens exposed to 50 J impact at different temperatures (-20 °C, 20 °C and 60 °C). Tests were performed on the INSTRON 1114 test machine using the Boeing test apparatus prepared according to the ASTM D7137 standard and load cell. The effect of this force on the damage was investigated by applying the compression force with the apparatus, which can make small adjustments according to the thickness and width of the samples. Using the information obtained from the load cell, a force-displacement curve was created for each sample and the maximum force that the samples could bear was obtained. Damage observation was made to understand the damage mechanism. Test results show that temperature changes affect compression behavior after impact in all samples. It has been observed that the plate material has an effect on the extent of the damage.

**Keywords:** Compression after impact strength, Composite laminates, Biaxial glass fiber, Biaxial kevlar fiber, Biaxial carbon fiber

## 1. Giriş

Kompozitlerin ağırlıklarına göre üstün mekanik özelliklere sahip olmaları havacılık, denizcilik ve otomotiv sanayiinde sıkça kullanılmasına neden olmaktadır. Bu özellikler arasında rijitliğinin ve dayanımının yüksek olması, korozyona ve çevresel koşullara karşı yüksek direnci, daha uzun yorulma ömrü, potansiyel olarak işleme sürecinin az olması, üretim ve yaşam döngüsü maliyetinin düşük olması sayılabilir [1]. Çalışma şartlarında maruz kaldıkları zorlanmaların en önemlisi ise darbelerdir. Çünkü diğer tüm gerilmelerin aksine darbeler önceden hesaplanamaz. Uçağa uçuş esnasında kuş çarpması, dolu yağmuru, bakım sırasında bakım elemanının el aletini düşürmesi, kalkış ve iniş sırasındaki ani çarpmalar gibi önceden kestirilemeyecek şartlarda oluşan darbeler sonucu uçaklarda gizli hasarlar oluşur ve bu tip darbeler parçaların dayanımlarını düşürür. 1991 yılında yapılan bir araştırmada taş düşmesi ve dolu gibi düşük hızlı darbelerin bile çeşitli kompozit malzemelerde çeki ve basma dayanımlarını 2/3 oranına kadar düşürdüğünü ispatlanmıştır [2]. Bazı araştırmacılar fiber takviyeli kompozitlerde düşük hızlı darbelerin delaminasyon, fiber kırılması ve matris çatlaması gibi çeşitli hasarlar verebileceğini, enine yönde ve düşük hızlı darbelere karşı kompozitlerin zayıf olduğunu ve hasar tolerans değerlerinin düşük olduğunu göstermiştir. Bu hasarların kazara olabileceğini ve dikkatten kaçabileceğini belirtip kompozitlerin darbe mevcutmuş gibi tasarlanmasını önermişlerdir [3-6].

Corum ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada iki tip karbon fiber ve bir tip rasgele yerleştirilmiş kesik lifli cam elyaf ile üretilmiş kompozit malzemeyi büyük kütleli küçük hızlı (alet düşmesi gibi) ve küçük kütleli büyük hızlı (tekerlekten fırlayan taş gibi) darbe deneylerine maruz bırakmışlardır. Rasgele yerleştirilmiş kesik fiberler içeren cam elyafın darbeler sonrası bası dayanımının düştüğünü, ancak fiber kırılmasının örgü fiberlere göre daha az olmasından dolayı çekme dayanımında bir düşüş olmadığını gözlemlemişlerdir. Karbon fiber ile yapılmış darbe deneyleri sonrasında ise numunelerin darbe sonrası çeki ve bası dayanımlarının etkilendiğini ancak çeki dayanımının az bir miktar daha fazla etkilendiğini bulmuşlardır [7].

Kompozit malzemelere etkiyen kuvvetlerle birlikte uygulama şartları da önemlidir. Çünkü uygulamaya göre malzemeler çok büyük sıcaklık değişimlerine maruz kalabilmekte ve farklı iklimlerde (çöl, kutup bölgeleri, uzay gibi) çalışabilmektedirler. Sıcaklık kompozit malzemenin özelliklerini değiştirecektir ve bu değişimleri anlamak önemlidir [8]. Bazı araştırmacılar karbon, kevlar veya cam elyaf takviyeli kompozitlere yüksek sıcaklıklarda uygulanan darbelerin hasar mekanizması üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir [9, 10]. Bu çalışmalarda sıcaklıkla darbeden etkilenen alan arasındaki ve darbe enerjisi ile delaminasyon arasındaki ilişkiler kurulmuştur. Bir başka çalışmada kevlar ve cam elyaf kompozitler ile -50 °C ile 120 °C arasındaki sıcaklıklarda darbe deneyleri yapılmış ve tabaka ayrılmasının sıcaklık ve darbe enerjisinin bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur [11]. Sıralanan çalışmalardan sıcaklık ile darbe dayanımı arasında doğru orantı olduğu ve sıcaklık düştükçe darbe dayanımının düştüğü, darbe sonucu oluşan ve kompozit malzemenin dayanımını büyük ölçüde düşüren delaminasyonun düşük sıcaklıklarda daha kolay olduğu sonuçları çıkmaktadır. Bu nedenle uzayda, kutup bölgelerinde ya da çöl ortamında kullanılacak kompozit malzemelerin tasarımında sıcaklık çok önemli bir faktördür ve tasarım yapılırken olası darbelerle birlikte mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Kompozit yapıların tasarım sürecinde malzemenin hasar toleransı bilgilerinin öğrenilmesi önemlidir. CAI (compression after impact), önceki darbe yüklemesinden sonra kompozit plakanın bası yüklemesi altındaki bozulmasını belirleyen bir yöntemdir. Bu tip yükleme altında, mukavemet azalması çok fazladır [1, 12]. CAI problemi uzun zamandır önemli bir araştırma alanı olmuştur. Bu nedenle literatürde bir dizi çalışma bildirilmiştir. Deneysel araştırmalar iki ana hedefe odaklanmıştır. Birincisi, darbe sonucunda malzeme özelliklerini belirlemek, ikincisi ise bası dayanıklılığın azalması ile darbeden meydana gelen hasar arasında olgusal bir bağlantı kurmaktır [13]. Yapılmış araştırmalara göre on dört farklı parametre, kompozit yapıların darbe performansını etkilemektedir. Bunların bazıları darbe almış yapının özelliklerine (malzeme elemanları, tabaka dizilişi, tabaka kalınlığı, yapı tasarımı) bağlıdır, diğerleri ise darbe vuran nesnenin özelliklerine (darbe vuran elemanın

ağırlığı ve yüzey şekli, darbenin hız ve enerjisi) bağlıdır [14]. Khojin vd. 50 °C ila 120 °C sıcaklık aralığında düşük hız etkisine maruz kalan kevlar /cam tabakalı kompozit plakalar üzerindeki CAI etkisini araştırmışlardır. Enerji seviyeleri penetrasyonsuz, kompozit plakaların orta seviye penetrasyonu ve tam penetrasyonu olarak seçilmiştir. Sonuçlar, dikkate alınan sıcaklık aralığının bu kompozitlerin darbe sonrası bası mukavemet performansını etkilediğini göstermektedir [3]. Ibeke vd. düşük sıcaklıklarda (-20 °C, -10 °C ve 0 °C) tek yönlü ve çapraz katlı cam/epoksi tabakalı kompozit kırımların CAI dayanımını elde ederek tüm sıcaklıklarda çapraz katlı olanların tek yönlü olanlara göre daha yüksek dayanıma sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca düşük sıcaklıklarda darbe almış numunelerin, yüksek sıcaklıklarda darbe almış numunelere göre daha yüksek oranda enerji absorbe ettiği, bu nedenle de -20 °C ve -10 °C'de darbe alan numunelerin daha fazla hasara uğradığı görülmüştür. Bunun nedeni, sıcaklık azaldığı zaman reçinenin kırılma başlangıcına başlamasına ve malzeme rijitliğinin artmasına bağlanmıştır [15]. Gao ve Kim, karbon/PEEK kompozitlerde soğutma hızının darbe hasarı ve darbe sonrası sıkıştırma performansının üzerindeki bileşik etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, CAI mukavemet azaltma oranının, hızlı soğutulan numunelerde eşdeğerleri olan yavaş soğutulmuş numunelere göre daha düşük olduğudur [16]. Tay ve Shen, dokunmuş ve dokunmamış tabakalı kompozit kolonlarda ısıl artı gerilmelerin burkulma üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar ısıl kalıntı gerilmelerinin burkulma başlangıcı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ancak dağılımı üzerindeki etkinin ihmal edilebilir olduğunu göstermektedir [17].

Literatür araştırmasında görüldüğü gibi araştırmalar genellikle oda sıcaklığında veya ayrı ayrı düşük ve yüksek sıcaklıklarda ve sınırlı sayıda malzeme çeşidi için yapılmıştır. Bu çalışma, farklı malzeme ve sıcaklık parametrelerinde kompozitlerin davranışlarını

incelemek için yapılmıştır. Bu sayede düşük sıcaklıkta (-20 °C), oda sıcaklığında (20 °C) ve yüksek sıcaklıkta (60 °C) kompozitlerin darbe sonrası bası davranışları incelenmiştir.

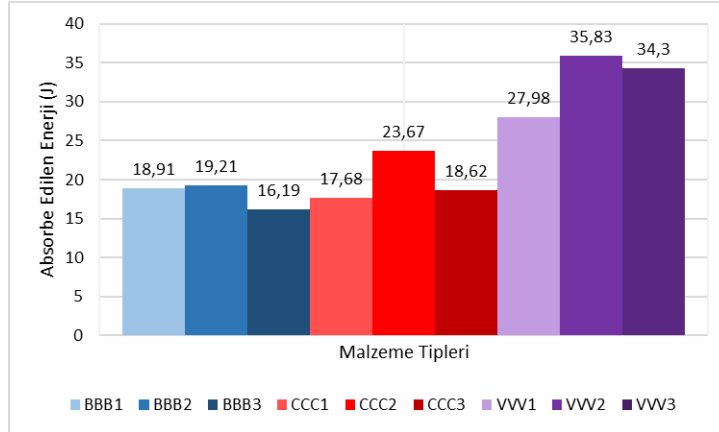
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Numune hazırlama

Bu çalışmada kullanılan fiber takviyeli tabakalı kompozit plakaların üretiminde kullanılan kumaşlar Metyx firmasından temin edilmiş olup plakaların üretimi vakum infüzyon yöntemi ile yapılmıştır. Kullanılan hammaddeler: Metyx AX500 E10a-45/45 biaxial aramid (500 g/m<sup>2</sup>); Metyx CX400 E05a-45/45 biaxial karbon fiber (400 g/m<sup>2</sup>); Metyx X400 E05b-45/45 biaxial cam elyaf (400 g/m<sup>2</sup>), Poliya Polipol 337 reçine ve hızlandırıcı olarak %0,1 kobalt oktoat ve %1 Butanox M60'tur. Üretim sürecinde kumaşlar üst üste aynı yüzleri aynı tarafa gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Tablo 1'de gösterilen karbon "CCC", biaxial cam "BBB" ve kevlar "VVV" üç tabakalı numuneler üretilip belirtilen boyutlarda Eurolaser M1600 plastik kesim lazer tezgâhında kesilmiştir.

**Tablo 1.** Numune bilgileri.

Malzeme Kodu	BBB Biaxial Cam Elyaf	VVV Biaxial Kevlar Elyaf	CCC Biaxial Karbon Elyaf
Uzunluk (mm)	150	150	150
Genişlik (mm)	100	100	100
Ortalama Kalınlık (mm)	3	3	3



**Şekil 1.** Malzeme tiplerine göre farklı sıcaklıklarda yapılmış darbe deneylerinde absorbe edilen enerji miktarları

## 2.2. Darbe sonrası bası (CAI) testleri

Öncelikle darbe test sistemi farklı sıcaklıklarda ve farklı darbe enerjilerinde test yapmaya uygun olan Fractovis Plus darbe test makinesi kullanılarak darbe testleri yapılmıştır. Sistemde yarım küre şeklindeki 12.7 mm çapında çarpma tertibatı, 22.24 kN kapasiteli kuvvet ölçer bulunmaktadır. Kullanılan çarpma tertibatı 4.926 kg'dır. Darbe enerjisi olarak 50 J seçilmiştir. 50 J ile yapılan darbe deneylerinde darbe ucunun ilk çıkış hızı 4.5 m/s'dir. Deney sıcaklıkları olarak kompozitlerin maruz kalacağı sıcak ortam için çöl ortamı şartlarını canlandırmak amacıyla 60 °C, soğuk ortam şartlarını canlandırmak amacıyla -20 °C ve malzemelerin oda sıcaklığındaki davranışlarını anlamak için 20 °C seçilmiştir. Enerji seviyesi seçimi yapılırken, çok düşük darbe seviyelerinden başlanarak denemeler yapılmış ve tüm numunelerde, düşen ağırlığın komple penetre ettiği enerji seviyesinin 50 J olduğu tespit edilmiştir. Testlerin güvenilirliğini sağlamak amacı ile tüm parametrelerdeki deneylerden 5'er adet yapılmış ve bu deney sonuçlarının ortalamaları alınmıştır. Darbe numunelerini istenen sıcaklıkta dengeli duruma getirmek için Fractovis Plus hücresi yaklaşık 20 dakika gerekli sıcaklıkta tutulmuştur. Tüm darbe etkileri numune merkezinde meydana gelmiş ve çoklu çarpma, sistemdeki geri tepme önleme mekanizması ile engellenmiştir. Darbe ortam sıcaklığı ve kompozit malzeme tiplerine göre absorbe edilen enerji miktarları Şekil 1'de

verilmiştir. Burada 1, 2 ve 3 sırasıyla -20 °C, 20 °C ve 60 °C deki sonuçları göstermektedir.

Darbeden sonra bası testini gerçekleştirerek numune üzerine bası yüklemek amacıyla INSTRON 1114 model çekme test cihazı kullanılmıştır. Bu makinede hız 2 mm/dk ayarlanarak sıkıştırıcı yük, strok kontrolü ile uygulanmıştır. Deney sırasında numuneleri tutmak için Şekil 2'de gösterilen ASTM D7137 standardına göre hazırlanmış olan Boeing aparatı kullanılmıştır. Tamamen ayarlanabilir şekilde yapılan aparat, numune genişliği ve kalınlığındaki küçük değişiklikleri karşılayabilmektedir. CAI testleri sırasında, numuneler üst ve alt kenarlardan sıkıştırılmaktadır. Numunenin bası yükü altında bükülmesini önlemek için yanal bir destek sağlanmıştır. Kuvvet-deplasman bilgilerini elde etmek için 50 kN'luk bir yük hücresi kullanılmıştır. Darbe sonrası bası testleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.** ASTM D7137 Boeing Test Aparatı [1]

### 3. Bulgular

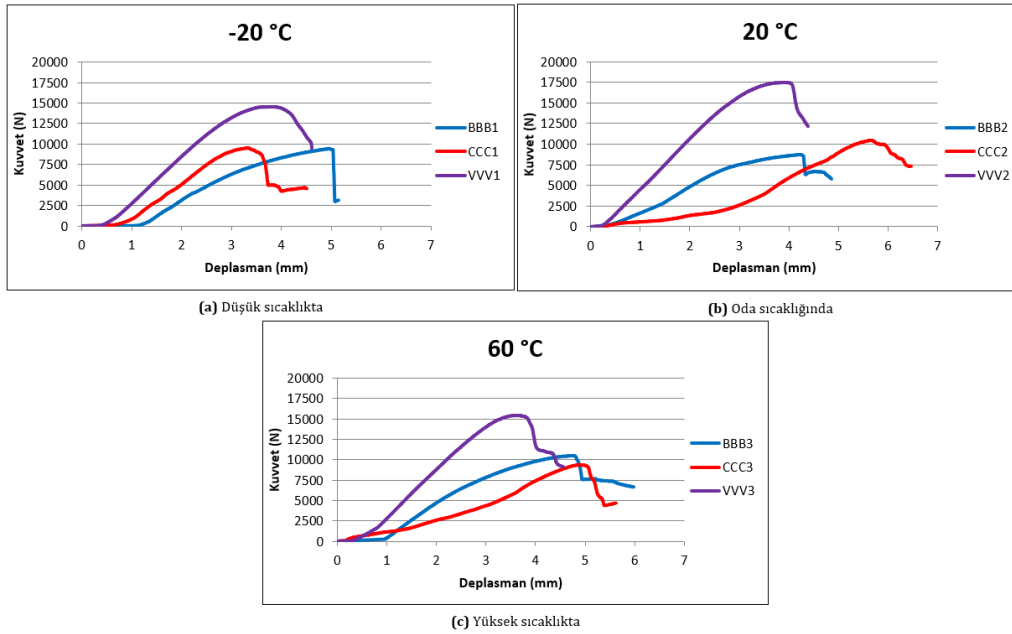
Kuvvet ve yer değiştirme bilgileri yük hücresi tarafından veri toplama sistemine aktarılmış ve bu bilgilerle Şekil 3'te gösterilen kuvvet-deplasman eğrileri çizdirilmiştir. Başlangıç aşamasında aparatın ağırlığı nedeni ile oluşan küçük kuvvetler ihmal edilebilir. Bu aşamadan sonra uygulanan kuvvet lineer olarak hidrolik silindirin deplasmanı ile artar. Bası ideal bir kırılma meydana gelene kadar ve kuvvet-deplasman eğrisinde düşüş gerçekleşene kadar devam eder. Sonrasında bası numune üzerinden kaldırılır. Test sırasında her numune için her an yüklenen kuvvete karşı oluşan yer değiştirme ölçülerek çizilen kuvvet-deplasman eğrisinden hasar yükü belirlenir. Her numuneye ait CAI mukavemet değeri  $\sigma_c$  denkleminde (1) elde edilmiştir "Tablo 2, Şekil 4". Bu denklemde  $\sigma_c$  bası gerilmesi,  $F_{max}$  yüklenen maksimum kuvvet,

b numune genişliği ve t numune kalınlığıdır. Şekil 5'te de tabakalı kompozitlerin CAI testindeki kuvvet-deplasman eğrilerinin her bir malzeme için farklı sıcaklıklardaki değişimi görülmektedir.

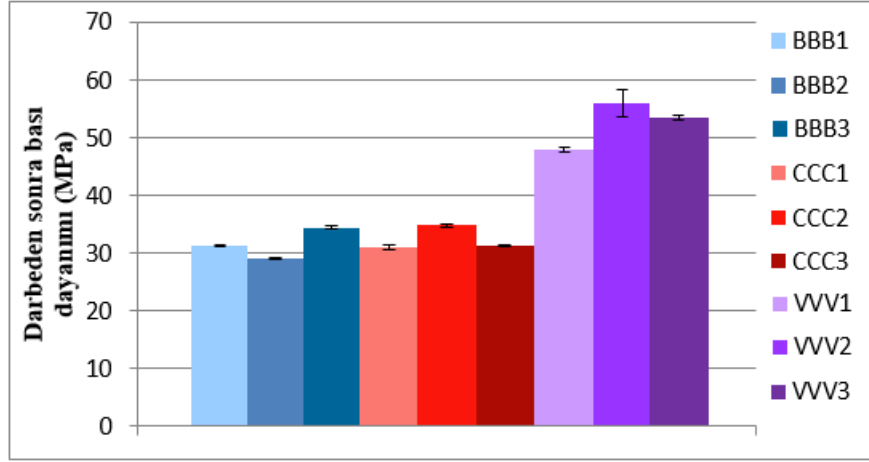
$$\sigma_c = \frac{F_{max}}{b.t} \quad (1)$$

**Tablo 2.** Malzeme tipi ve sıcaklığa bağlı olarak CAI mukavemeti bilgileri.

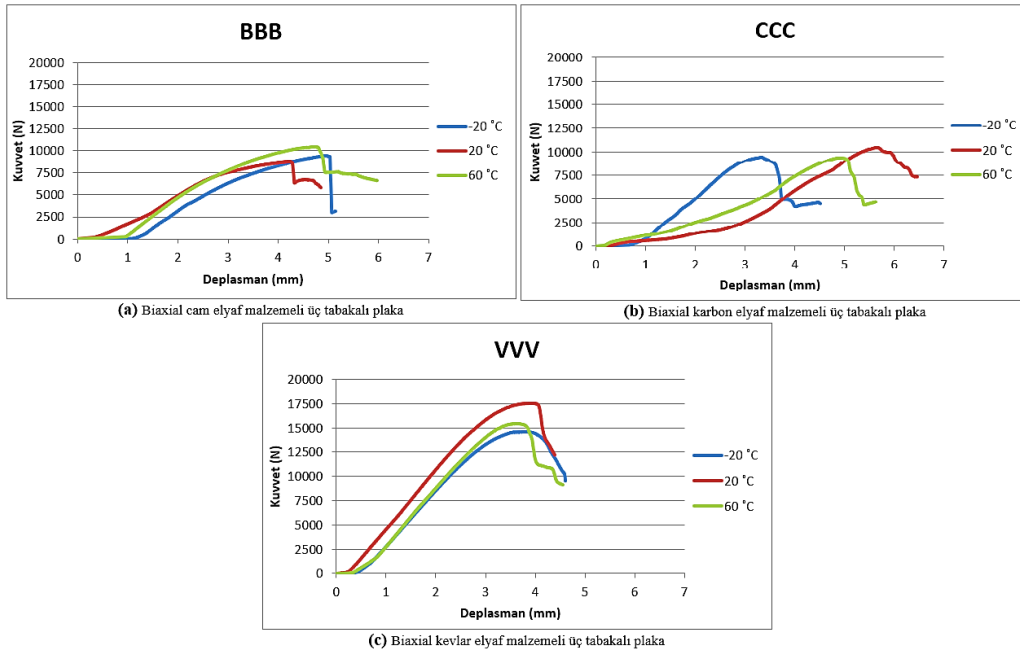
Malzeme	$\sigma_c$	$\sigma_c$	$\sigma_c$
	(GPa) -20 °C	(GPa) 20 °C	(GPa) 60 °C
BBB	31.35	29	34.51
CCC	31.08	34.82	31.24
VVV	48.01	56.01	53.57



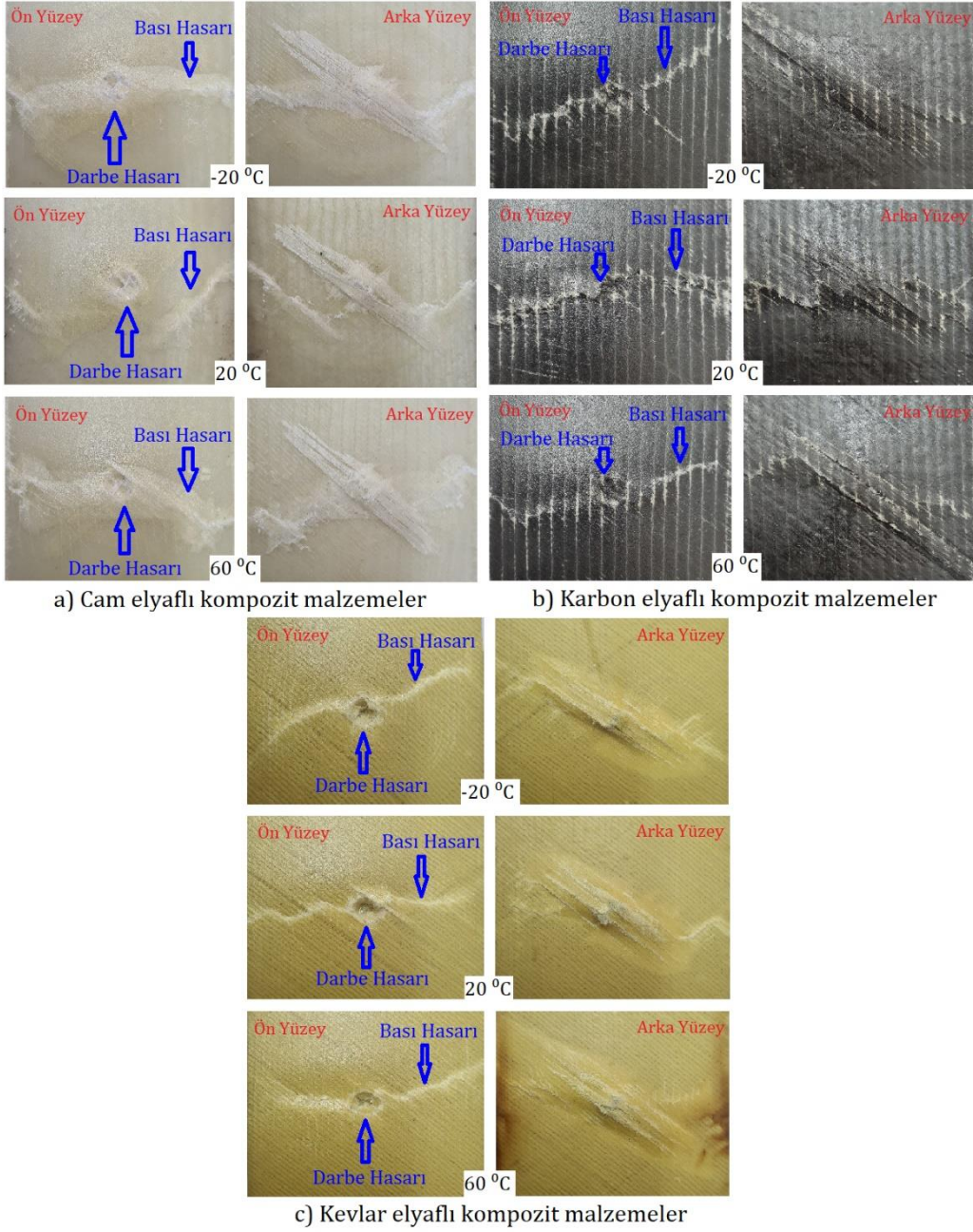
**Şekil 3.** Darbe ortam sıcaklığına (-20 °C, 20 °C, 60 °C) göre tabakalı kompozitlerin CAI testindeki kuvvet-deplasman eğrileri



Şekil 4. Tabakalı kompozitlerin darbe sonrası bası dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 5. Malzeme cinsine göre tabakalı kompozitlerin CAI testindeki kuvvet-deplasman eğrileri



**Şekil 6.** 50 J Darbe almış tabakalı kompozit numunelerde darbe sonrası bası uygulamasında hasar gelişimi

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Cam, karbon ve kevlar elyafli kompozitlerin darbe sonrası bası uygulamasındaki hasar gelişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Darbe ile başlayan hasar opak olmayan materyalin ön yüzünde yaklaşık dairesel bir çökme ve arka yüzünde çıkıntı şeklinde görülmektedir. Darbe noktasında fiber kırıkları ve darbe çukurunun kenarından itibaren delaminasyon oluşmuştur. Çökme olmayan bölgede de büyük çaplı daireler halinde darbe etkisi görülmektedir. Delaminasyon hasarının genel özelliği uzun bir eliptir. Darbe sonrası bası etkisi ile delaminasyon kademe kademe büyüyerek hem alt tabakalara hemde kenarlara doğru yayılarak kesme çatlağına dönüşmektedir. Delaminasyonun ön tabakayı takip eden ara tabakalarda ve arka yüzeyde fiber doğrultusunu takip ederek yayıldığı ışık geçiren numunelerde gözlenebilmektedir (Şekil 6a). Hasar, çarpma yüzünde küçük olmakla birlikte genellikle laminatın arka yüzünde büyümektedir.

Tahribatlı veya tahribatsız muayene yöntemleri ile tüm numune tiplerinde delaminasyon oluşunun ve gelişmesinin tespiti mümkündür.

Tabakalı kompozitlerin CAI test sonuçları Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar değişen darbe sıcaklığının CAI dayanımı üzerinde etken olduğunu göstermektedir.

Tablo 2, Şekil 4 ve Şekil 5'a'da görüldüğü gibi düşük ve yüksek sıcaklıklarda darbe almış biaxial cam numunelerin darbe sonrası bası (CAI) mukavemetleri artmıştır. -20 °C'taki mukavemet değerinde oda sıcaklığındaki değere göre % 8 ve 60 °C'taki mukavemet değerinde ise % 19 artış görülmüştür.

Karbon fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin CAI mukavemetleri ise düşük sıcaklıkta da yüksek sıcaklıkta da azalmıştır (Şekil 4 ve Şekil 5b). Oda sıcaklığındaki mukavemetlerine göre mukavemet kayıpları düşük (-20 °C) sıcaklıklarda %10.7, yüksek (60 °C) sıcaklıklarda ise %10.27 olmuştur.

Kevlar fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin darbe sonrası bası mukavemetleri karbon fiber takviyelilerde olduğu gibi oda sıcaklığına göre düşmüştür. Şekil 4 ve Şekil 5c deki grafiklerden mukavemet kaybının düşük sıcaklıklarda % 14.87 yüksek sıcaklıklarda ise %4.25 olduğu belirlenmiştir.

Düşük darbeye maruz kompozit plakaların hasar davranışları darbe enerjisi ve test sıcaklığına bağlı değişiklik göstermektedir. Düşük darbe enerjilerinde daha çok matris hasarları ve delaminasyonlar meydana gelirken, darbe enerjisi arttıkça fiber hasarları da meydana gelmekte önce darbe ucunun plakaya nüfuz edip saplanması devamında da delinme gerçekleşmektedir. Bulent Murat İcten ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2009) cam elyaf-epoksi kompozit plakaların sıcaklığa (-60 °C, -20 °C ve 20 °C) bağlı darbe davranışı incelenmiştir. Çalışmada, düşük darbe enerjilerinde yani delinme enerjisinden küçük değerlerde sıcaklık arttıkça absorbe edilen enerjinin arttığı tespit edilmiştir. Buna karşılık delinme eşiğinin üzerindeki enerjilerde tam tersi eğilim not edilmiştir. Çarpma ucunun numuneye saplanıp kaldığı bölgede ise darbe enerjisinin değerine bağlı olarak her iki eğilimi gözlemek de mümkündür.

Sıcaklığın malzemenin gevrek ve sünek davranışına etkisi vardır. Dolayısı ile sıcaklıkla birlikte kompozit malzemenin hasar mekanizmaları ve darbe davranışları da farklılık göstermektedir. Bu durum bazı deneysel çalışma sonuçlarını yorumlamayı zaman zaman zorlaştırabilmektedir. Bu çalışmada 50 J'luk enerji ile darbe testleri yapılmış cam-elyaf, karbon ve kevlar takviyeli numunelerin -20 °C, 20 °C ve 60 °C'deki darbe davranışı ile darbe sonrası bası dayanımı (CAI) incelenmiştir. 50 J'luk darbe enerjisi numunelerin delinme eşiğine yakın bir değer olarak gözlenmiştir. Yani darbe deneyleri darbe ucunun çoğunlukla numunelere saplanması ile sonuçlanmıştır. Bu nedenle, malzemelerin dinamik darbe yüküne cevabı ile ilgili sıcaklığa bağlı bir yönde artma veya azalmadan söz etmek zordur. Deney sonuçlarımız da bu durumu desteklemektedir.

#### Kaynakça

- [1] Aktaş, M., Karakuzu, R. ve Arman, Y. 2009. Compression-After Impact Behavior of Laminate Composite Plates Subjected to Low Velocity Impact in High Temperatures, Composite structures, Cilt. 89, s. 77-82.
- [2] Poe, C. C., Portnova, M. A., Sankar, B. V. ve Jackson, W. C. 1991. Comparison of Impact Results for Several Polymeric Composites Over A Wide Range of Low Impact Velocities, NASA Conference Publication, 3104, Part 1.
- [3] Short, G. J., Guild, F. J. ve Pavier, M. J. 2002. Post-Impact Compressive Strength of Curved Gfrp Laminates, Composites Part A, Cilt. 33, s. 1487-1495.



- [4] Lal, K. M. 1982. Prediction of Residual Tensile Strength of Transversely Impacted Composite Laminates, Research in Structural and Solid Mechanics, NASA Conference Publication, s. 2245.
- [5] Irving, P. E. ve Cartie, D. D. R. 2002. Effect of Resin and Fiber Properties on Impact and Compression After Impact Performance of CFRP, Composite, Part A, Cilt. 33, s. 483-493.
- [6] Sanchez-Saez, S., Barbero, E. ve Navarro, C. 2008. Composite Residual Strength at Low Temperatures of Composite Laminates Subjected to Low-Velocity Impacts, Composites Structure, Cilt. 85, s. 226-232.
- [7] Corum, J. M., Battiste, R. L. ve Ruggles, M. B. 2003. Low-Energy Impact Effects on Candidate Automotive Structural Composites, Composites Science and Technology, Cilt. 63-6, s. 755-769.
- [8] Halvorsen, A., Salehi-Khojn, A., Mahinfalah, M. ve Nakhaei-Jazar, R. 2006. Temperature Effects on The Impact Behavior of Fiberglass and Fiberglass/Kevlar Sandwich Composites, Applied Composite Materials, Cilt. 13-6, s. 369-383.
- [9] Levin, K. 1986. Effect of Low Velocity Impact on Compression Strength of Quasi-Isotropic Laminate, Proceedings of American Society For Composites: First Technical Conference, s. 313-325.
- [10] Kwang-Hee, I., Cheon-Seok, C., Sun-Kyu, K., In-Young, Y. 2001. Effects of Temperature on Impact Damages in CFRP Composite Laminates, Composite Part B, Cilt. 32-669, s. 82.
- [11] Khojin, A. S., Bashirzadeh, R., Mahinfalah, M., Jazar, R. K. 2006. The Role of Temperature on Impact Properties of Kevlar/Fiberglass Composite Laminates, Composites: Part B, Cilt. 37(7-8), s. 593-602.
- [12] Icten, B. 2009. Repeated Impact Behavior of Glass/Epoxy Laminates, ProQuest Polymer, Composites, s. 1562 -1569.
- [13] Oskay, C., Yan. H., Krishnan, A. ve Xu, L. 2010. Compression-After-Impact Response of Woven Fiber-Reinforced Composites, Composites Science and Technology, Article in press.
- [14] Kan, H. P. 1988. Enhanced Reliability Prediction Methodology for Impact Damaged Composite Structure. Report, DOT/FAA/AR-97-79.
- [15] Ibekwe, S. I., Mensah, P. F., Li, G., Pang, S. S., Stubblefield, M. A. 2007. Impact and Post Impact Response of Laminated Beams at Low Temperatures, Compos Struct, Cilt. 79(1):12-7.
- [16] Gao, S. L., Kim, J. K. 2001. Cooling Rate Influences in Carbon Fibre/PEEK Composites, Part III: Impact Damage Performance, Composites: Part A, Cilt. 32:775-85.
- [17] Tay, T. E., Shen, F. 2002. Analysis of Delamination Growth in Laminated Composites with Consideration for Residual Thermal Stress Effects, J Compos Mater, Cilt. 36(11):1299-320.
- [18] Icten, B. M., Atas, C., Aktas, M. ve Karakuzu, R. (2009). Low temperature effect on impact response of quasi-isotropic glass/epoxy laminated plates. Composite Structures, 91(3), 318-323.