

XV. Ulusal Mekanik Kongresi, 3-7 Eylül 2007, ISPARTA

TABAKALI KOMPOZİT PLAKLARIN AĞIRLIK DÜŞÜRME TESTİ SONRASI BASİ MUKAVEMETLERİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Aktaş, Yusuf Arman, Ramazan Karakuzu

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü
35100, Bornova, İzmir

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; oda sıcaklığında ve farklı enerji değerlerinde ağırlık düşürme testlerine maruz bırakılmış tabakalı kompozit plakalarda darbe sonrası bası (DSB) mukavemetlerinin deneysel olarak belirlenmesidir. Kompozit plakalar farklı lif yönlenme açılarında ($[0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}]_S$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}/+45^{\circ}/-45^{\circ}]_S$) sahip sekiz tabakadan oluşmaktadır. Darbe deneyleri 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 J enerji değerlerinde yapılmıştır. Darbeye uğramış ve uğramamış numunelerin darbe sonrası bası mukavemetleri belirlenmiştir. Deneyler sonucunda; enerji seviyesi arttıkça numunelerin darbe sonrası bası mukavemetleri azalmaktadır. Bununla birlikte, darbe sonrası bası mukavemeti $[0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}]_S$ lif yönlenme açısına sahip numunelerde daha yüksektir.

ABSTRACT

The purpose of this study is determining the compression after impact (CAI) strength of laminated composite plates subjected to drop weight tests under various energy values and at room temperature, experimentally. Composite plates are composed of eight layer which has different orientation ($[0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}]_S$ and $[0^{\circ}/90^{\circ}/+45^{\circ}/-45^{\circ}]_S$). Impact tests have done at energy levels of 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70 J. Compression after impact strength of damaged and undamaged specimens was determined. As a result of experiments; compression after impact strength decrease by increasing energy level. Nevertheless, the compression after impact strength of specimens which have $[0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}]_S$ is higher than others.

1.GİRİŞ

Kompozit malzemeler düzlemsel yüklere karşı direnmede iyi davranış gösterirler. Fakat kompozit malzemelerde düzleme dik yönde fiber olmadığından bu yöndeki darbe yüklerine

karşı direnci zayıftır. Bundan dolayı darbeye maruz kompozitlerde tabakalar arasında ayrılmalar (delaminasyon), fiber ve matriks hasarları meydana gelebilir. Kompozit malzemelerin bası yükleri taşıdığı bir yapıda darbeye uğradığı düşünülürse böyle bir yapı çok tehlikeli bir durum arz edecektir. Bundan dolayı son yıllarda darbe sonucu hasara uğramış kompozit malzemelerde bası mukavemetlerinin araştırılması literatürde önemli bir yer edinmiştir.

Reis ve Freitas [1] darbeye uğramış karbon/epoksi kompozitlerin DSB deneyleri esnasında kompozitin hasara uğrama sınır değerini belirleyerek hasar yayılım mekanizmasını incelemişlerdir. Schubel ve arkadaşları [2] iç kısmı PVC köpükten dış kısmı ise karbon/epoksiden imal edilmiş sandviç kompozitlerin darbeye uğraması ve uğramaması durumları için DSB mukavemetlerini belirlemişlerdir.

Short ve çalışma arkadaşları [3] cam lifi/epoksiden imal edilmiş düz levhaların ve belirli bir eğrilik yarıçapına sahip levhaların DSB mukavemetlerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda; eğrilik yarıçapının DSB mukavemetlerini çok fazla değiştirmemesine rağmen hasar boyutunu arttırdığı gözlenmiştir. Cartie ve Irving [4] karbon lifi ve epoksi reçineden imal edilmiş kompozitlerde reçine ve lif özelliklerinin DSB mukavemetine etkisini araştırmışlardır.

Habib [5] darbeye uğramış karbon/epoksi kompozitlerde burkulma yükünü ve DSB mukavemetlerini belirlemek için yeni bir metot geliştirmiştir. Deneysel ve geliştirilen yeni metottan elde edilen sonuçların % 9 hatayla birbirine yakın olduğu ifade edilmiştir. Naik ve arkadaşları [6] örgü tipi kompozitlerin DSB mukavemetlerini belirlemek için NASA tarafından üretilen DSB aparatını kullanmışlardır. Düşük kütle ve yüksek hızlı vurucunun neden olduğu darbe hasarı veya yüksek kütle ve düşük hızın neden olduğu darbe hasarları sonucu elde edilen DSB mukavemetleri karşılaştırıldığında, düşük kütle ve yüksek hızlıdan elde edilen DSB mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Gustin ve çalışma arkadaşları [7] ise cam lifi ve kevlar lifi içeren sandviç kompozitlerin hasara uğraması ve uğramaması durumları için DSB mukavemetlerini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada ise; farklı enerjilerde darbe testlerine maruz bırakılmış kompozit plakalarda darbe sonrası bası mukavemetleri deneysel olarak belirlenmiştir. Kompozit plakalar $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ ve $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$ lif açılına sahiptir. Darbeye uğramış ve uğramamış numunelerin darbe sonrası bası mukavemetleri belirlenmiştir.

2.KOMPOZİT PLAKALARIN ÜRETİMİ

İzoreel firmasında cam lifi ve epoksi reçine kullanılarak el yatırma yöntemi ile hazırlanan tabakalı kompozit plakalar 120 °C sıcaklık ve 15 MPa basınç altında 2 saat bekletilmiş ve daha sonra aynı basınç altında oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Plakalar üretildikten sonra darbe deneyine uygun olabilmesi için 150 mm x 150 mm boyutlarında kesilmiştir. Bu boyutlarda kesilen deney numunelerinin kalınlığını belirlemek için; elektronik kumpas kullanılarak numunelerin dörtkenarından ölçümler alınmış ve ortalama kalınlık 3 mm olarak belirlenmiştir. Fiber hacim oranı % 63 olarak hesaplanmıştır. Tabakalı kompozitin lif yönlenme açılarının DSB mukavemetine etkisini belirlemek için plaka $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ ve

$[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]$ açılara sahip olacak şekilde iki farklı yönlenme açısı seçilmiştir. Plakanın üretimi sonrası, DSB test numuneleri ASTM standartlarına da (ASTM D7137) girmiş olan Boeing basma test aparatına uygun olarak [8] elmas uçlu testere ile kesilmiştir. Standartta yer alan DSB numunesi 150 mm x 100 mm boyutlarında ve 3 mm kalınlığındadır.

3.DARBE TESTLERİ

Darbe deneyleri CEAST Fractovis Plus ağırlık düşürme test makinesinde yapılmıştır. Cihaz vurucu uç ve düşen ağırlık arasında yer alan kuvvet okuyucu yardımıyla ağırlığın sahip olduğu enerjiyi zamana bağlı olarak bilgisayara aktarmaktadır. Kuvvet okuyucu kapasitesi 22,24 kN olup bu değere kadar kuvvet verisi alınabilmektedir. Yarım küre şeklindeki bir uca sahip olan vurucu çelik malzemeden üretilmiş olup 12,7 mm çapa sahiptir. Toplam düşme kütlesi 5,02 kilogram olarak alınmıştır. Darbe enerjileri düşme ağırlığının içinde bulunduğu kutunun yükseltilmesi ile ayarlanabilmektedir. Yükseklik yeterli olmadığında ise ek bir yay sistemi ile enerji arttırılabilmektedir.

Darbeye maruz kalan numuneler vurucunun sahip olduğu enerjinin tamamını sönmüleyemedikleri zaman vurucu geri sıçrar. Bu enerji geri sıçrama enerjisi olarak adlandırılır. Sönümleme enerjisi ile vurucu enerjisi birbirine eşit olduğunda ise vurucu uç numuneye saplanır ve vurucu hareketine devam edemez bu duruma nüfuziyet adı verilir. Eğer vurucu numunenin sönümleme enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip ise numune delinir ve vurucu hareketine devam eder. Bu nedenle darbe enerjileri geri sıçrama, nüfuziyet ve delip geçme enerjilerini içerecek şekilde 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 J olarak seçilmiştir.

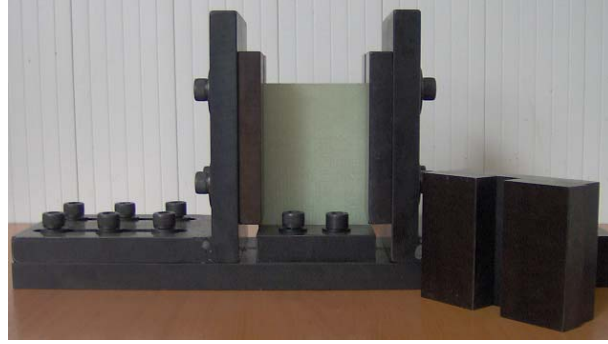
4.DARBE SONRASI BASI MUKAVEMETLERİN BELİRLENMESİ

Darbeye uğramış ve uğramamış numunelerin bası mukavemetlerinin belirlenmesinde kullanılan bası test düzeneği Şekil 1.a'da görülmektedir. DSB düzeneği Ç 1040 çeliğinden imal edilmiştir. ASTM D7137 standardına göre basma deneyi yapılacak numunenin alt ve üst kenarlarının ankastre sınır şartlarına sahip olması gerekmektedir. Basma test düzeneği bu şartları sağlayacak şekilde üretilmiştir.

Darbe sonrası meydana gelen hasarların yüklem eksenine dik veya yatay durumda olmalarının bası mukavemetine etkilerini incelemek için numuneler yatay ve dikey olarak yerleştirilmiştir (Şekil 1.b-c). Standartta yer alan 150 mm x 100 mm lik boyutları hasar sonrası elde etmek için başlangıçta numuneler 150 mm x 150 mm olarak plakadan kesilmiştir. Daha sonra numuneler darbe deneyine tabi tutulmuş ve bası testleri için hasarın yönlenme durumuna göre kenarlarından 25 mm kesilmiştir (Şekil 2 a-b). DSB testlerinde burkulmayı engellemek için test düzeneğinde burkulma önleyici bloklar kullanılmıştır (Şekil 2.c).

Darbe sonrası bası deneyleri 50 kN kapasiteye sahip universal bir çekme-basma test cihazında yapılmıştır. Bası yükleri esnasında çene hızı dakikada 1 mm olarak seçilmiştir. DSB testleri sırasında data kaydediciden yük-çökme eğrisi grafiği elde edilebilmektedir. Kritik bası yükünü belirlemek için yük-çökme eğrisinin lineer kısmına bir doğru çizilir. Çizilen lineer doğru ile yük-çökme eğrisinin ayrıldığı yük değeri bize kritik bası yükünü verir. Bası yükleri

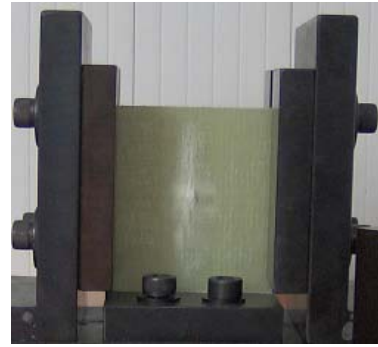
numunenin kesit alanına bölünerek darbeye uğramış kompozit plakaların bası mukavemetleri hesaplanmış olur.



(a)

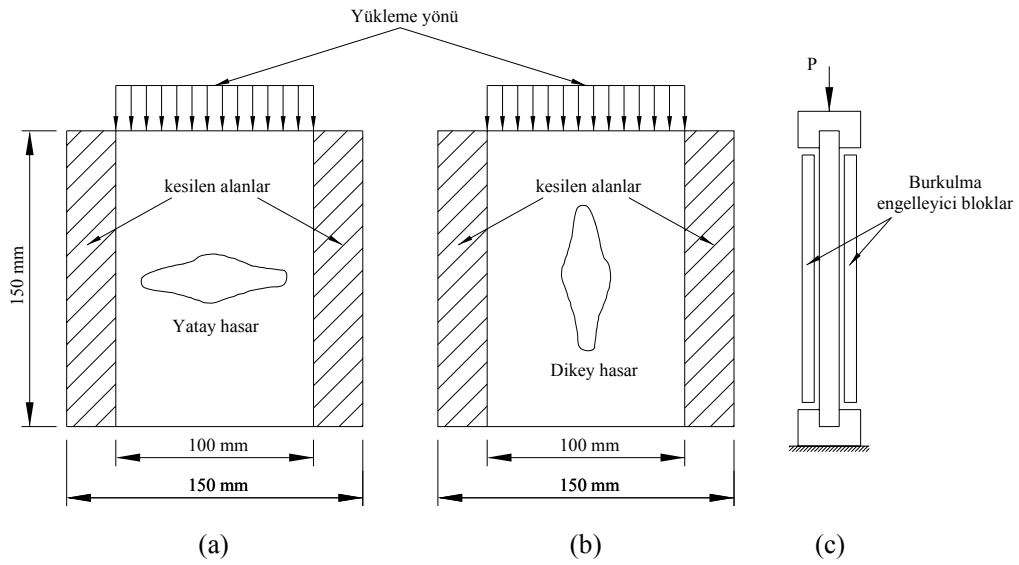


(b)



(c)

Şekil 1 (a) Darbeye uğramış ve uğramamış numunelerin bası mukavemetlerinin belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği ve hasarlı numunenin (b) yatay veya (c) dikey olarak yerleştirilmesi

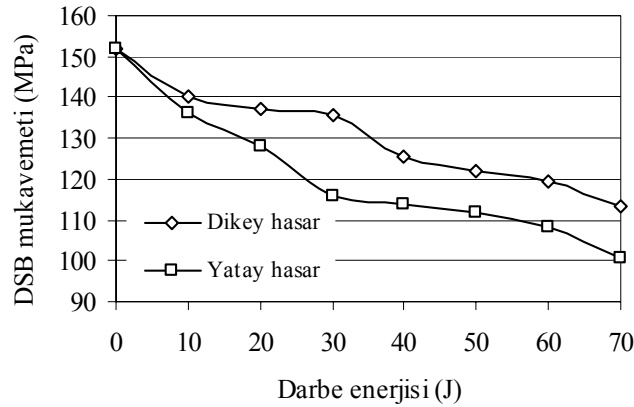


Şekil 2 Yüklemeye yönüne göre (a) yatay, (b) dikey darbe hasarı ve (c) burkulma engelleyici bloklar

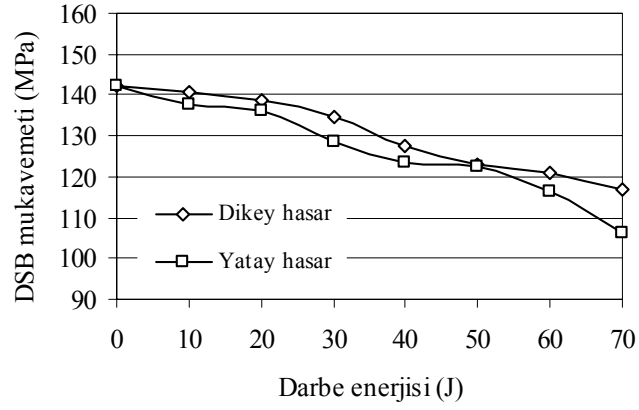
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda darbe enerjisine bağı olarak bası mukavemetinin değışimi Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ ve $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$ lif yönlenme açılarına sahip kompozitler için verilmiştir. Bu grafiklerde 0 (sıfır) J olarak gösterilen enerji seviyesi numunenin darbeye maruz kalmamış (hasarsız numune) olduğunu ifade etmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü gibi enerji seviyesi arttıkça numunelerin bası mukavemetlerinin azalmakta olduğu görülmektedir.

$[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ ve $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$ lif yönlenme açılarında sahip kompozitlerde, dikey darbe hasarına sahip numunelerin DSB mukavemetleri yatay darbe hasarına sahip numunelerden daha yüksektir. Ancak, $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$ oryantasyonunda dikey ve yatay darbe hasarına sahip numunelerin DSB mukavemetleri birbirine yaklaşmıştır. Hasarsız (0 J) numunelerde $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ yönlenme açısına sahip kompozitin eğilme rijitliği daha yüksek olduğundan DSB mukavemetleri de yüksek çıkmıştır (Şekil 3 ve Şekil 4).

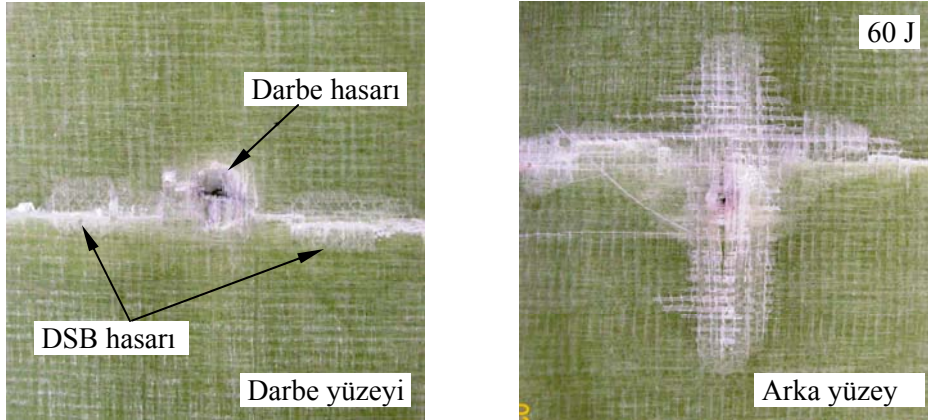
Darbeye uğramış numunelerin DSB testleri sonrası hasarın nasıl yayıldığını görmek için numunelerin fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 5). $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ ve $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$ lif yönlenme açılarında sahip numunelerde darbe hasarının şeklinden bağımsız olarak DSB hasarı darbe hasarından başlayarak devam etmektedir. Yani hasar merkezden başlayarak numune kenarlarına doğru ilerlemektedir. Bununla birlikte, DSB hasarı numunenin lif yönlenme açılarında bağı olarak ilerlemektedir. Örneğin $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ oryantasyonuna sahip numunede ilerleme yatay (0°) olurken (Şekil 5.a), $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$ lif yönlenme açılarında sahip numunelerde hasar ilerlemesi yaklaşık 45° dir (Şekil 5.b).



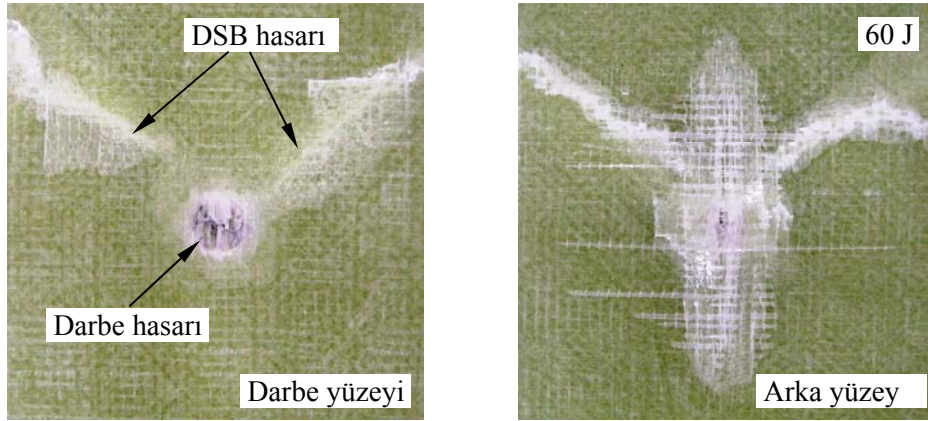
Şekil 3 $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ lif yönlenme açısına sahip numunelerde darbe enerjisine bağı olarak DSB mukavemetinin değışimi



Şekil 4 $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$ lif yönlenme açısına sahip numunelerde darbe enerjisine bağlı olarak DSB mukavemetinin değişimi



(a)



(b)

Şekil 5 DSB testi sonrası (a) $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$ ve (b) $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$ lif yönlenme açılarında meydana gelen DSB hasarı

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada; hasarlı veya hasarsız tabakalı kompozit plakların ağırlık düşürme testi sonrası bası mukavemetlerini belirlemek için ASTM D7137 standardına uygun olarak DSB testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Darbe enerjisi arttıkça darbe sonrası bası mukavemeti azalmaktadır.
- Dikey darbe hasarına sahip numunelerin darbe sonrası bası mukavemetleri yatay darbe hasarına sahip numunelerden daha yüksektir.
- Darbeye uğramış numunelerde DSB testleri sonrası hasar şekli numunenin sahip olduğu lif yönlenme açlarına bağlıdır.

6.TEŞEKKÜR

Bu çalışma 104M426 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında yapılmış olup desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Reis, L. and Freitas, M., “Damage Growth Analysis of Low Velocity Impacted Composite Panels” *Composite Structures* 38(1-4) 509-515, 1997.
- [2] Schubel, P.M., Luo, J.J. and Daniel, I.M., “Impact and Post Impact Behavior of Composite Sandwich Panels” *Composites: Part A* 38 1051-1057, 2007.
- [3] Short, G.J., Guild, F.J. and Pavier, M.J., “Post-Impact Compressive Strength of Curved GFRP Laminates” *Composites: Part A* 33 1487-1495, 2002.
- [4] Cartie, D.D.R. and Irving, P.E., “Effect of Resin and Fibre Properties on Impact and Compression after Impact Performance of CFRP” *Composites: Part A* 33 483-493, 2002.
- [5] Habib, F.A., A New Method for Evaluating the Residual Compression Strength of Composites after Impact” *Composite Structures* 53 309-316, 2001.
- [6] Naik, N.K., Borade, S.V., Arya, H., Sailendra, M. and Prabhu, S.V., “Experimental Studies on Impact Behaviour of Woven Fabric Composites: Effect of Impact Parameters” *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 21(15) 1347-1362, 2002.
- [7] Gustin, J., Joneson, A., Mahinfalah, M. and Stone, J. “Low Velocity Impact of Combination Kevlar/Carbon Fiber Sandwich Composites” *Composite Structures* 69(4) 396-406, 2005.
- [8] Aktaş, M. ve Karakuzu, R., “Kompozit Plakaların Ağırlıklı Düşürme Testi Sonrası Basma Mukavemetlerinin Belirlenmesi” *Machinery MakinaTek* 118 78-80, 2007.

