

Tabakalı Kompozit Plakların Darbe Davranışı Üzerine Deniz Suyu Etkisinin Araştırılması

Ramazan KARAKUZU¹, İsmail Cihan ÇALIK², Mehmet Emin DENİZ³

¹Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, ramazan.karakuzu@deu.edu.tr

²Makine Yük.Müh., Fen Bilimleri Enstitüsü, engemin72@yahoo.com

³Yrd. Doç. Dr., Batman Üniversitesi, mehmetemin.deniz@batman.edu.tr

Geliş Tarihi/Received:

27.04.2017

Kabul Tarihi/Accepted:

27.04.2017

Yayın Tarihi/Published:

31.05.2017

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, $[0^\circ/30^\circ/60^\circ/90^\circ]_s$ oryantasyonuna sahip cam lifi-epoksi tabakalı kompozit plakların darbe davranışı üzerine deniz suyunun etkisini araştırmaktır. Bu sebeple 100 x 100 mm boyutlarında 2,9 mm kalınlığında 135 adet numune hazırlanmıştır. Numunelerin darbe deneyleri Fractovis Plus darbe test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma beş aşamadan oluşmaktadır. Her bir aşamada 27 numune kullanılmıştır. İlk aşamada deniz suyu görmemiş (kuru) numunelerin testi yapılmış daha sonra geri kalan dört aşamada deniz suyunda bekletilmiş numunelerin testleri yapılmıştır. Numunelerin deniz suyunda bekletilme zamanları 1, 3, 6 ve 9 ay olarak seçilmiştir. Darbe testleri, 10 J, 20 J, 30 J enerjilerinde ve 5 kg, 10 kg, 15 kg vurucu kütlelerinde gerçekleştirilmiştir. Testlerin sonucunda, absorbe edilen enerji, maksimum çökme miktarları ve hasar alanlarının deniz suyunda bekletilme zamanına bağlı olarak değişimleri grafikler yardımıyla verilmiştir. Elde edilen sonuçlar kompozit plakların darbe davranışı üzerine deniz suyundaki tuzun, darbe enerjisinin ve darbe ucu kütlelerinin önemli etkisinin olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Cam lifi-epoksi kompozit plaka, deniz suyu etkisi, darbe davranışı

Investigation of Seawater Effect On Impact Behavior of Laminated Composite Plates

ABSTRACT

The aim of study was investigated effect of seawater on on behavior of glass fiber-epoxy laminated composite plates under transverse impact loading. Therefore, 135 pieces of specimens with thickness of 2,9 mm were prepared in dimensions of 100 x 100 mm. Impact tests of specimens were conducted using the Fractovis Plus Impact Test Machine. The study consists of five stages. In each stage 27 specimens were used. In first stage, un-immersed (dry) specimens were used and in last four stages, seawater immersed specimens were used. In these specimens, seawater immersion times were chosen as 1, 3, 6, 9 months. Impact tests were conducted at impact energies, 10 J, 20 J and 30 J and impactor masses, 5 kg, 10 kg and 15 kg. After tests the absorbed energy, maximum deflection and damage areas were given by graphs according to the seawater immersion time. Obtained results show that moisture absorption, salt in seawater, impact energy and impactor mass have significant effect on impact behavior of composite plates.

Keywords: Glass fiber-epoxy composite plate, seawater effect, impact behavior

1. GİRİŞ

Cam/epoksi kompozitler, otomotiv uzay endüstrisi gibi pek çok mühendislik alanında yüksek dayanım, düşük yoğunluk, iyi yorulma ömrü ve iyi korozyon direnci özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra cam/epoksi kompozitler darbe davranışı mühendislikte önemli bir ilgi konusu olmuştur. Servis esnasında operatörün elinden bir aletin düşmesi, bir kuşun veya buz parçasının çarpması gibi durumlarda kompozit üzerinde darbe hasarları oluşur. Darbe hasarı çıplak gözle tespit edilemeyebilir. Hasar malzeme içinde başlar ve küçük delaminasyonlar şeklinde gelişerek büyür. Darbe olayında genellikle matriks çatlakları, delaminasyon ve fiber kırılması gibi hasar tipleri oluşur (Çalık, 2010: 1). Kompozit malzemelerin darbe yükü altında mekanik özelliklerinde önemli bir azalma görülmekte ve bundan dolayı yapısal elemanların tasarımında çok önemli olmaktadır. Ayrıca kompozit malzemelerin deniz suyu, rüzgar, güneş gibi çevresel koşullarda gösterdikleri performans diğer yapısal malzemeler ile kıyaslandığında genellikle daha iyidir. Deniz suyu kompozitlerde iki makroskopik etkiye sahip olmaktadır. Bunlar mekanik özelliklerin düşümü ve yapının ağırlık kazanmasıdır (Shenoi, 1993: 2). Bu etkiler fiber matriks ara yüzüne yerleşen tuzlu suyun beklenmedik hasarlar oluşturmasıdır. Genellikle kompozitler hidrofilite davranışlarından dolayı nemli ortamda nem ve su ortamında su emerler (Chow, 2007: 3). Bu emilen su malzemenin şişmesi, kalıcı şekil değiştirmesi gibi sayısız istenmeyen etkilere sebep olurlar. Böyle durumlarda malzemenin mekanik davranışı önemli şekilde etkilenir (Nogueira vd., 2001: 4; Cabanelas vd., 2003: 5; Zhou vd., 1999: 6; Barkoula vd., 2009: 7; Xiao vd., 1997: 8; Xiao vd., 1998: 9). (Deniz vd., 2013: 10; Deniz ve Karakuzu, 2012: 11)' e göre deniz suyu polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışını ve hasar basınçlarını önemli şekilde etkilemiştir. Cam/epoksi kompozit plakların darbe karakterizasyonu hem deneysel hemde numerik olarak araştırılmıştır (Karakuzu vd., 2010, 12). (Liu vd., 2000: 13) yazarları farklı kalınlık ve eğilme rijitliklerine sahip tabakalı kompozit plakların çökme miktarlarını belirlemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda çökme miktarının numune kalınlığından dolayı daha fazla etkilendiği görülmüştür. Karbon lifi takviyeli kompozitlerin darbe hasar davranışında yüksek ve düşük hızın etkisi (Symons, 2000: 14) tarafından araştırılmıştır. Yazarın elde ettiği sonuçlarda aynı darbe enerjisi için yüksek ve düşük hızlardaki delaminasyon alanları birbirlerine yakın elde edildi. Fakat kalıcı çökme miktarı yüksek hızlı darbe durumunda daha yüksek belirlendi. (Aktaş vd., 2009: 15) enerji diyagramları ve yük-çökme grafikleri yardımıyla tek yönlü cam lifi epoksi esaslı tabakalı kompozit plakların darbe direnci deneysel olarak araştırılmıştır. Yazarlar çalışmalarında test sonuçlarını mukayese etmek için $[0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}]_s$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}/+45^{\circ}/-45^{\circ}]_s$ gibi iki farklı oryantasyon açısı seçmiştir. (Sankar, 1992: 16) darbe yüküne maruz bırakılan malzemelerin maksimum kuvvet, temas süresi ve çökme miktarı gibi darbe karakteristiklerini belirlemeye çalışmıştır. Kompozit plakların darbe davranışında hasarın ilerlemesini incelemek için (Olsson, 1992: 17) analitik bir yaklaşım geliştirmiştir. Düşük hızlı darbeye maruz kompozit tabakalardaki delaminasyonun deneysel olarak (Jih ve Sun, 1993: 18) tarafından belirlenmiştir. (Zheng

ve Binienda, 2007: 19) tabakalı kompozitlerin küçük darbe kütleleri için delaminasyon hasarı üzerine çökme miktarının etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar literatürde sunulan sonuçlarla uyumluluk göstermiştir. Örgülü (woven) cam-epoksi ve aramid-epoksi kompozitlerin darbe davranışı üzerine su absorpsiyonunun etkisi (Imielinska ve Guillaumat, 2004: 20) tarafından araştırılmıştır.

Bu çalışmada, cam lifli epoksi esaslı tabakalı kompozit plakaların darbe davranışına deniz suyunun etkisi araştırılmıştır. Numunelerin bir kısmı kuru diğerleri ise 1, 3, 6 ve 9 ay deniz suyunda bekletildikten sonra dört farklı darbe enerjisi ve dört farklı darbe ucu (impactor) kütlesi için darbe testlerine maruz bırakılmıştır. Toplam 135 kompozit numune test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları kendi içerisinde mukayese edilerek benzerlikler ve farklılıklar ortaya konulmuştur.

2. YÖNTEM

2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan cam-elyaf takviyeli epoksi kompozit malzeme İZOREEL (Kompozit İzole Malzemeler, İzmir) Firmasında üretildi. 509 g/m² yoğunluğuna sahip E-cam lifli takviyelendirici olarak kullanıldı. CY225 epoksi ve HY225 hızlandırıcı 90 °C sıcaklıkta karıştırıldıktan sonra E-cam liflere sürüldü. Sonra 150 kPa basınçta ve 120 °C sıcaklıkta 2 saat boyunca pres altında bekletildi. Kompozit plakalar 8 tane [0°/30°/60°/90°]_s oryantasyonuna sahip tabakacıktan oluşmaktadır. Üretilen kompozit plakaların kalınlığı yaklaşık 2,9 mm ölçülmüştür. Daha sonra bu kompozit plakalardan 100 x 100-mm boyutlarında kare şeklinde numuneler hazırlanmıştır (Şekil 1). Numuneler, herbir test parametresi için 3'er tane hazırlanmış olup toplam 135 tanedir.



Şekil 1. Tabakalı kompozit numune (Çalık, 2010: 1)

2.2 Numunelerin deniz suyunda bekletilmesi

Numuneler, kuru, 1, 3, 6 ve 9 ay deniz suyunda bekletme şeklinde 5 gruba ayrılır. Numuneler, laboratuvar şartlarında yaklaşık %3.5 tuz oranına sahip Ege Denizi suyunda bekletilmiştir. Bu numuneler 1, 3, 6 ve 9 ay suda bekletme sürelerinin sonunda sudan çıkartılarak darbe testlerine maruz bırakılmıştır. Çalışmanın ana amacı kompozit plakların darbe davranışı üzerine deniz suyunun etkisinin araştırılmasıdır.

2.3 Darbe testleri

Tüm darbe testleri, CEAST 9350 Marka Fractovis Plus darbe test cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2). Testlerde 5,02 kg kütleli 12,7 mm çapına sahip yarı küresel çelik bir darbe ucu kullanılmıştır. Testler sırasında numune üzerine çoklu darbe olmaması için anti-rebounding sistemi kullanılmıştır.



Şekil 2. CEAST 9350 (Fractovis Plus) darbe test cihazı

Testler, oda sıcaklığında 5, 10 ve 15 kg gibi üç farklı darbe ucu kütlesi ve 10, 20 ve 30 J gibi üç farklı darbe enerjisinde gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Böylece kütlenin, darbe enerjisinin ve darbe ucu hızının etkisi incelenmiştir. Tablodan da anlaşılacağı gibi 9 tane darbe parametresi için testler yapılmıştır. 5 kg darbe ucu kütlesi için 10, 20 ve 30 J darbe enerjilerinde darbe ucu (impactor) hızı sırasıyla 2 m/s, 2,83 m/s ve 3,46 m/s olarak hesaplanmıştır. 10 kg darbe ucu kütlesi için darbe ucu hızı sırasıyla 1,41 m/s, 2 m/s ve 2,45 m/s ve 15 kg için ise 1,15 m/s, 1,63 m/s ve 2 m/s olarak bulunmuştur.

Her bir test parametresi en az üç kez tekrarlanmıştır. Yani ortalama değer en az üç başarılı testin sonucu alınarak belirlenmiştir.

Table 1. Darbe testi parametreleri

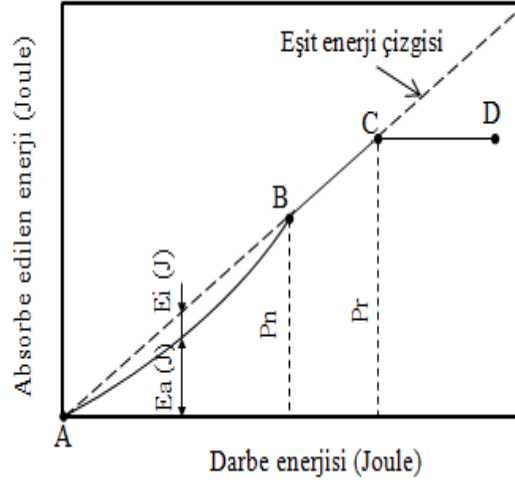
	10 J	20 J	30 J
5 kg	2,00 m / s	2,83 m/s	3,46 m/s
10 kg	1,41 m/s	2,00 m / s	2,45 m/s
15kg	1,15 m/s	1,63 m/s	2,00 m / s

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, deniz suyu etkisinin belirli zaman periyotlarında deniz suyuda bekletilen numunelerin darbe testleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Darbe testleri için numune boyutları 100 mm x 100-mm olarak seçildi. Darbe testlerinde genellikle darbe ucu hızına veya kütlesine bağlı olarak geri sekme (rebounding), nüfuziyet (penetraion) ve delinme (perforation) şeklinde hasar durumlarıyla karşılaşılmaktadır. Testlerde, darbe ucu numunenin tam ortasına düşey olarak serbest düşme şeklinde bırakılmaktadır. Her bir test için numune tarafından emilen (absorbe edilen) enerji temas kuvveti-deplasman eğrisi altında kalan toplam alanın hesaplanması ile elde edilmiştir.

Test sonuçlarını grafikler ile vermeden önce bu üç hasar tipini açıklamak önemlidir. Darbe hasarı üç şekilde meydana gelir. Birinci hasar tipi geri sekme (rebounding) olarak adlandırılır. Bu durumda numune darbe enerjisinin tümünü absorbe etmez bir kısmını geri verir ve bu enerji darbe ucunun numune yüzeyinden geri sekmesine harcanır. Yani başlangıçta darbe ucu numuneye çarptıktan sonra kısa bir süre için hızı sıfır olur sonra geliş yönünün tersi yönde hızlanarak numune yüzeyinden uzaklaşır. İkinci hasar tipi nüfuziyet (penetration) olarak adlandırılır. Bu durumda, darbe ucu enerjisinin yaklaşık tümünü numuneye aktarır ve numune ile beraber hareket eder. Yani darbe ucu hızı yaklaşık sıfır olur. Üçüncü durum delinme (perforation) ise temas kuvveti maksimum değere yükselir sonra minimum değerine düşer. Yani numune bu hasar tipinde nihai hasar tipi olan delinme hasarına ulaşır. Bu çalışmada, ilk iki hasar tipi (rebounding ve penetraion) meydana gelmiştir.

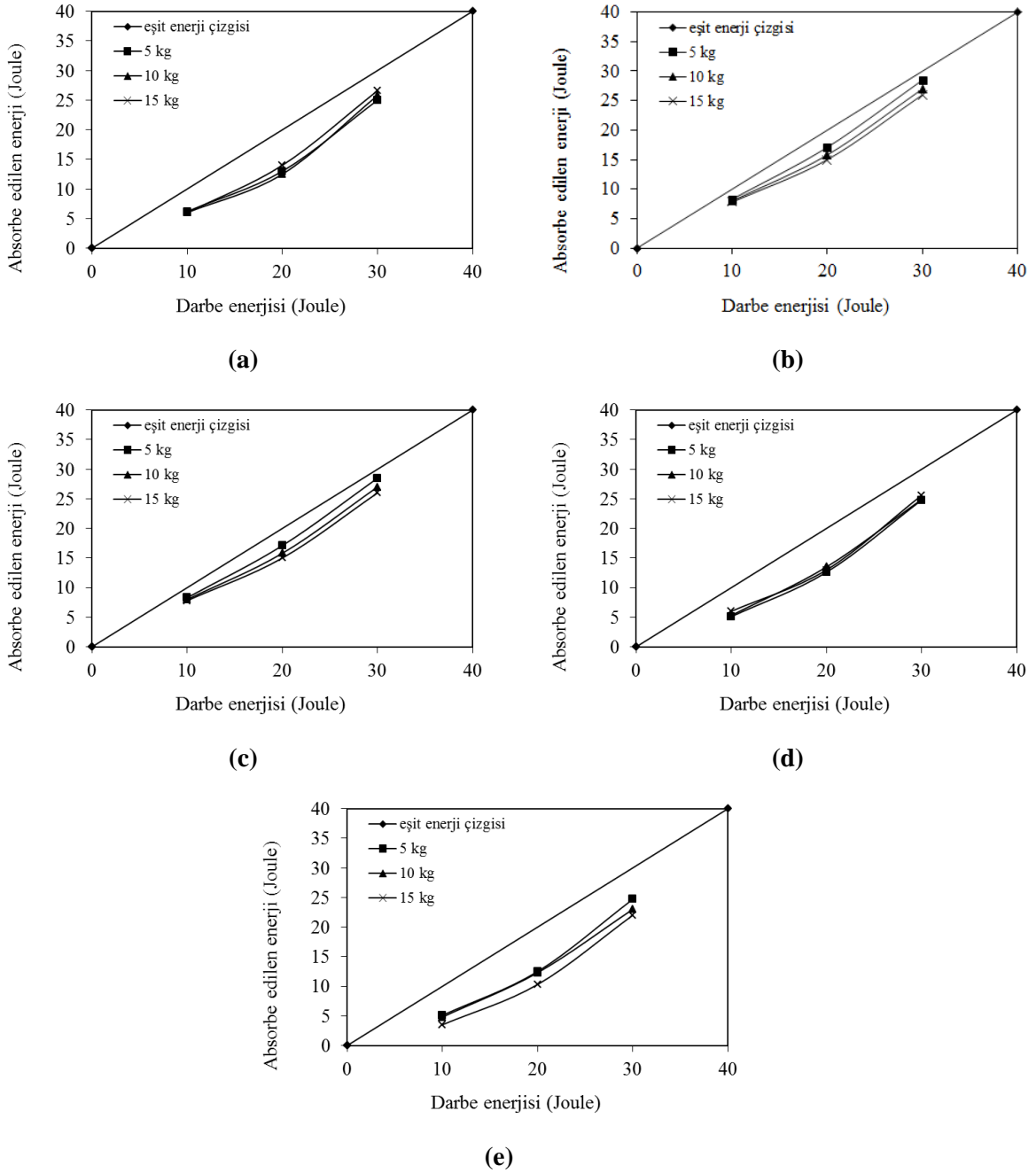
Enerji profil diyagramı yardımıyla penetration ve perforation hasar durumları daha açık bir şekilde yorumlanabilmektedir. Şekil 3'te verilen grafikte AB bölgesi rebounding durumu, BC bölgesi penetration durumu ve CD bölgesi ise perforation durumu temsil etmektedir.



Şekil 3. Enerji profil diyagramı

Bu grafikte (E_i) geri sekme enerjisini ve (E_a) ise absorbe edilen enerjiyi temsil eder. Grafikte bir de P_n nüfuziyet (penetration) ve P_r delinme (perforation) enerjisi eşik değerlerini ifade etmektedir.

Test sonuçları kullanılarak Şekil 4'te verilen grafikler oluşturuldu. Grafik eğrilerinden görülebileceği gibi numunelerde ilk hasar tipi olan rebounding durum daha çok meydana gelmiştir. Hiçbir numunede nüfuziyet (penetration) durumu görülmemiştir. Maksimum penetrasyon durumu darbe ucu toplam kütlelerinin arttığı durumlarda oluşmuştur (Şekil 4-b). Bundan dolayı tüm testlerde darbe enerjisinden sonra en önemli parametre darbe ucunun toplam kütleleridir. Fakat diğer yandan, en küçük kütle için absorbe edilen enerji eğrileri ile darbe enerjisi 10 J'den 30 J'e artındığında elde edilen enerji eğrileri ile hemen hemen yakınlık göstermektedir. Daha yüksek enerji seviyelerinde eşit kütle ve eşit hız eğrileri arasındaki fark aniden artmaktadır. Fakat sabit enerji seviyesi için genellikle küçük kütle ve yüksek hızda darbe ucu geri sekmesi (rebounding) büyük kütle ve düşük hızdaki geri sekmeden daha fazladır.

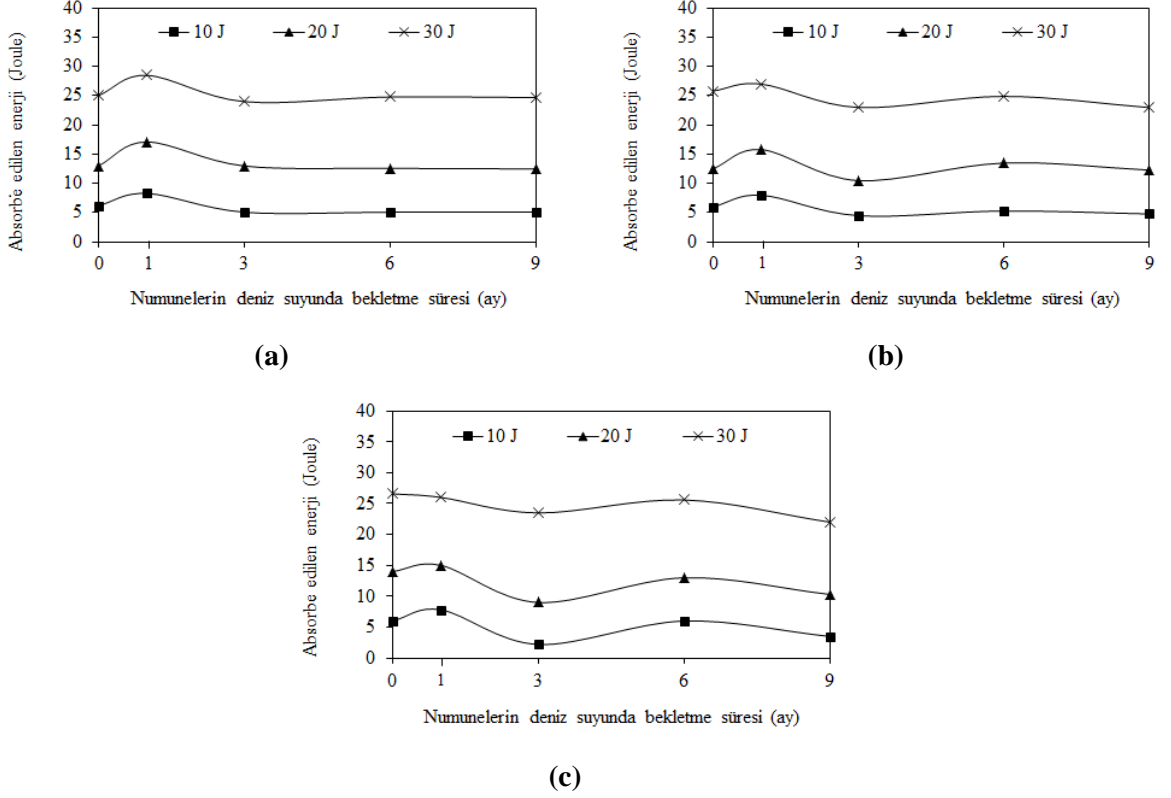


Şekil 4. Darbe testi sonuçlarının enerji profil diyagramında gösterimi (a) kuru ortam ve deniz suyu bekletilme durumu (b) 1-ay, (c) 3-ay, (d) 6-ay ve (e) 9-ay

3.1 Darbe enerjisi, darbe ucu hızı ve darbe ucu kütlesi etkileri

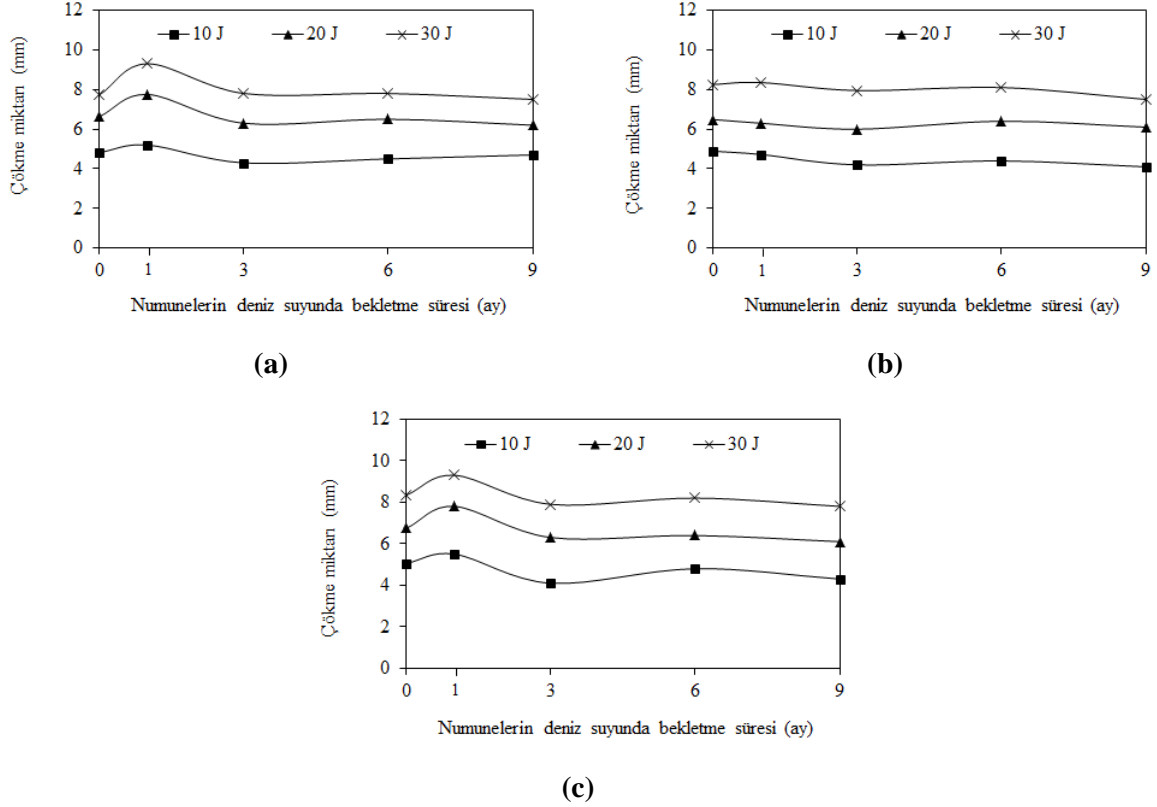
Test sonuçları üç ana başlıkta verilmiştir. Sonuçlar her bir parametre için iki durumda tekrar verildi. Birinci durumda, sabit darbe ucu kütlesi için darbe enerjisinin etkisi araştırıldı. İkinci durumda ise sabit darbe ucu hızı için darbe enerjisinin etkisi araştırılmıştır. Şekil 5'te verilen eğrilerden de anlaşılacağı gibi birinci ayda numuneler tarafından absorbe edilen darbe enerjisi miktarı diğer aylardan daha fazla

olmuştur. Absorbe edilen enerji miktarı darbe ucu kütlesi 5 kg ve 10 kg için yaklaşık aynı iken 15 kg durumunda ise biraz farklı olmuştur. Bunun yanısıra kuru ve dokuzuncu ay ortamları için değerler hemen hemen aynı elde edilmiştir.



Şekil 5. Farklı darbe ucu kütleleri için absorbe edilen enerjinin deniz suyunda bekletilme zamanlarına bağlı değişimi (a) 5-kg, (b) 10-kg ve (c) 15-kg

Şekil 6'da verilen grafiklerden anlaşılacağı gibi en fazla çökme darbe ucu kütlesi 15 kg iken 30 J darbe enerjisinde meydana gelmiştir. Yani en fazla absorbe edilen enerji miktarı 15 kg ve 30 J darbe enerjisinde olmuştur. Çökme miktarı birinci ay için 5 kg ve 15 kg kütlelerinde maksimum değerine ulaşırken 10 kg kütle için kuru ortama göre diğer aylarda düşüşler görülmüştür. Genel itibarı ile çökme miktarı, tüm kütleler için kuru ve dokuzuncu ay ortamlarının değerleri ile yaklaşık aynı olmuştur.

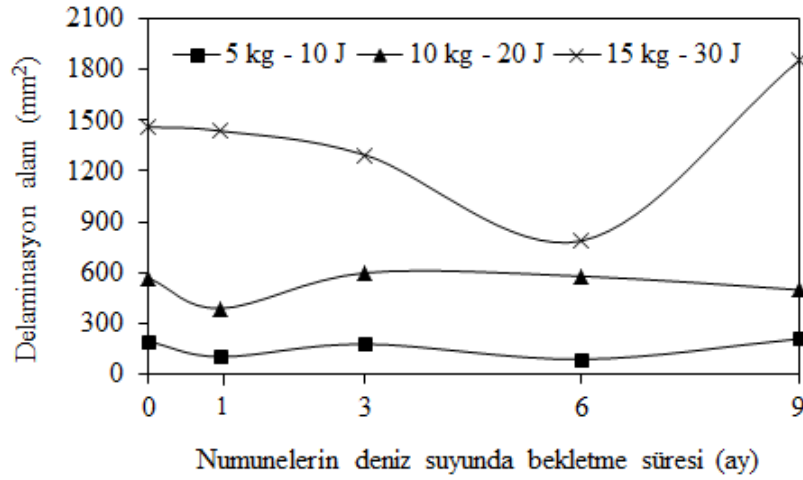


Şekil 6. Farklı darbe ucu kütleleri için çökme miktarlarının deniz suyu bekletilme zamanlarına bağlı değişimi (a) 5-kg, (b) 10-kg ve (c) 15-kg

3.2 Darbe testi sonrası numunenin üzerindeki hasar alanı

Hasar alanlarını yorumlamak için hasar mekanizmasının verilmesi önemlidir. Darbe yüküne maruz bırakılan kompozitlerde birkaç hasar modu oluşur. Bu hasar modları matriks çatlağı, delaminasyon ve fiber kırılmasıdır. Bir veya daha fazla hasar modu darbe parametrelerine bağlı olarak oluşabilmektedir. Bu çalışmada, yüksek darbe enerjilerinde ve büyük darbe ucu kütlelerinde fiber kırılması ile fiber ve matriks arasındaki ayrılma etkin hasar modları olarak belirlenmiştir. Bunun yanısıra delaminasyon hasarı en alt tabakada tabakalar arası ayrılmadan dolayı daha büyük oluşmaktadır.

Bu çalışmada sabit hız (2 m/s) için 45 tane numune seçildi. Hasarlı numunelerin fotoğrafları AutoCAD programı kullanılarak hasar bölgesi işaretlenmiştir. Daha sonra işaretlenen bu bölgenin alanı program kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 7’te verilen grafikler elde edilmiştir. Hasar alanı 15 kg kütle ve 30 J darbe enerjisi için dokuzuncu ayda maksimum değere ulaşmıştır. Ancak en düşük değerini de altıncı ayda almıştır. Hasar alanları, 10 kg – 20 J durumunda kuru ve dokuzuncu ay ortamları için yaklaşık aynı olurken en düşük değerini birinci ayda almıştır. 5 kg – 10 J durumunda ise hasar alanları kuru, üçüncü ay ve dokuzuncu ay ortamları için yaklaşık aynı iken birinci ay ve altıncı ay ortamlarında daha düşük oluşmuştur.



Şekil 7. Sabit darbe hızı (2 m/s ve 45 numune) için delaminasyon hasarının deniz suyunda bekletilme süresine bağlı olarak değişimi

4. DEĞERLENDİRME

Tabakalı kompozit plakların darbe davranışı üzerine deniz suyunun etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Numuneler, kompozit plakalardan kesim cihazı kullanılarak 100 x 100 mm boyutlarında kesilmiştir. Hazırlanan numunelerin bir kısmı (kuru numuneler) darbe parametrelerinde testlere maruz bırakılmıştır. Diğerleri ise laboratuvar ortamında deniz suyunda bekletilmiştir. Numuneler 1, 3, 6 ve 9 uncu aylarda deniz suyundan çıkarılarak kuru numunelerin test parametrelerinde darbe testlerine maruz bırakılmıştır. Tüm darbe testleri 5 kg, 10 kg ve 15 kg gibi üç farklı darbe ucu kütlesi ile 10 J, 20 J ve 30 J darbe enerjilerinde gerçekleştirilmiştir. Testlerin sonucunda elde edilen veriler birbirleri ile yukarıda da verildiği gibi tablo ve grafiklerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde verilebilir:

- Darbe kütlesi sabit bırakıldığında absorbe edilen enerji miktarı birinci ayda maksimum olmuştur. Daha sonraki aylarda dalgalı bir değişim görülse de özellikle üçüncü ayda önemli bir düşüş görülmüştür.
- Maksimum nüfuziyet durumu darbe ucu kütlesinin arttığı durumlarda oluşmuştur. Bundan dolayı tüm testlerde darbe enerjisinden sonra en önemli parametre darbe ucunun toplam kütlesidir.
- Numunelerde meydana gelen en fazla çökme darbe ucu kütlesi 15 kg iken 30 J darbe enerjisinde olmuştur. Yani absorbe edilen enerji miktarı 15 kg ve 30 J darbe enerjisinde maksimum değerini almıştır.
- Hasar alanı 15 kg kütle ve 30 J darbe enerjisi için dokuzuncu ayda maksimum değerini almıştır.

5. KAYNAKÇA

1. Çalık, I. C. (2010). *Investigation of Sea Water Effect on Impact Behavior of Laminated Composite Plates. (MSc Thesis)*. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
2. Shenoi, R. A., Wellicome, J. F. (1993). *Composite materials in maritime structures. (Fundamental Aspects, vol. 1)*. Cambridge University Press.
3. Chow, W. S. (2007). Water absorption of epoxy/glass fiber/organo-montmorillonite nanocomposites. *eXPRESS Polymer Letters*, 1, 104-108.
4. Nogueira, P., Ramirez, C., ve Torres, A. (2001). Effect of water absorption on the structure and mechanical properties of an epoxy resin system. *Journal of Applied Polymer Science*, 80, 71-80.
5. Cabanelas, J. C., Prolongo, S. G., ve Serrano, B., (2003). Water absorption in polyamino siloxane–epoxy thermosetting polymers. *Journal of Materials Processing Technology*, 144, 143-144.
6. Zhou, J., ve Lucas, J. P. (1999). Hygrothermal effects of epoxy resin. *Polymer*, 40(20), 5505-5512.
7. Barkoula, N. M., Paipetis, A., ve Matikas, T. (2009). Environmental degradation of carbon nanotube-modified composite laminates: a study of electrical resistivity. *Mechanics of Composite Materials*, 45(1), 21-32.
8. Xiao, G. Z., Delamar, M., ve Shanahan, M. E. R. (1997). Irreversible interactions between water and DGEBA/DDA epoxy resin during hygrothermal ageing. *Journal of Applied Polymer Science*, 65, 449-458.
9. Xiao, G.Z., ve Shanahan, M. E. R. (1998). Swelling of DGEBA/DDA epoxy resin during hydrothermal ageing. *Polymer*, 39, 3253-3260.
10. Deniz, M. E., Özdemir, O., Özen, M., ve Karakuzu, R. (2013). Failure pressure and impact response of glass-epoxy pipes exposed to seawater. *Journal of Composites Part B: Engineering*, 53, 355-361.
11. Deniz, M. E., Karakuzu, R. (2012). Seawater effect on impact behavior of glass-epoxy composite pipes. *Journal of Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1130-1138.
12. Karakuzu, R., Erbil E., Aktas, M., (2010). Impact characterization of glass/epoxy composite plates: An experimental and numerical study. *Journal of Composites Part B: Engineering*, 41(5), 388-395.
13. Liu, D., Raju, B.B., Dang, X. (2000). Impact perforation resistance of laminated and assembled composite plates. *International Journal of Impact Engineering*, 24(6), 733-746.
14. Symons, D. D. (2000). Characterisation of indentation damage in 0/90 lay-up T300/914 CFRP. *Composites Science and Technology*, 60(3), 391-401.

15. Aktas, M., Atas, C., İcten, B.M., ve Karakuzu, R. (2009). An experimental investigation on impact response of unidirectional composite laminates. *Composite Structures*, 87(4), 307-313.
16. Sankar, B. V. (1992). Scaling of low-velocity impact for symmetric composite laminates. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 11, 297-305.
17. Olsson, R. (1992). Impact response of orthotropic composite plates predicted from a one parameter differential equation. *The American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 30, 1587-1596.
18. Jih, C. J., ve Sun, C. T. (1993). Prediction of delamination in composite laminates subjected to low velocity impact. *Journal of Composite Materials*, 27, 684-701.
19. Zheng, D., Binienda, W. K. (2007). Effect of permanent indentation on the delamination threshold for small mass impact on plates. *International Journal of Solids and Structures*, 44, 8143-8158.
20. Imielinska, K., Guillaumat, L. (2004). The effect of water immersion ageing on low-velocity impact behaviour of woven aramid-glass fibre/epoxy composites. *Composite Science and Technology*, 64: 2271-2278.