

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERDE (CTP) ELYAF TABAKA SAYISINA BAĞLI MEKANİK ÖZELLİKLERİN VE DARBE DAYANIMININ İNCELENMESİ

İlyas TÜRKMEN^{1*}, N. Sinan KÖKSAL²

¹ Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

² Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

Özet: Otomotiv, havacılık, uzay ve savunma endüstrilerindeki hızlı gelişim hafif ve yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımını gerekli kılmıştır. Bu amaçla cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu malzemeler, ağırlıklarına oranla daha yüksek mukavemete ve rijitliğe sahip olduğundan geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışmada; farklı cam elyaf katman sayısına sahip, el yatırması üretim yöntemiyle üretilmiş kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin çekme ve üç nokta eğme testleri yapılarak ortalama mukavemet değerleri elde edilmiştir. Ayrıca düşük hızlı darbe testi (impact test) yapılarak malzemelerin darbe dayanımları incelenmiştir. Test öncesi ve sonrası numunelerden makro ve mikro fotoğraflar alınmış, numuneler metalografik açıdan karakterize edilmiştir. Reçine ve cam elyaf malzemedeki hasar bölgeleri görüntülerde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Cam elyaf takviyeli (CTP) kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelendiğinde elyaf katman sayısına bağlı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Impact test sonuçlarına bakıldığında elyaf katman sayısı artışı ile malzemelerin absorbe ettiği enerji değerleri (hasar enerjisi) yaklaşık lineer bir artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler (CTP), el yatırma, mekanik özellikler, darbe testi.*

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND IMPACT STRENGTH DEPENDING ON THE NUMBER OF FIBRE LAYERS IN GLASS FIBRE REINFORCED POLYESTER MATRIX COMPOSITE MATERIALS

Abstract: Rapid development of automotive, aviation, aerospace and defense industries are necessitated the use of lightweight and high strength materials. For this purpose, glass fiber reinforced plastic composite materials are began to be produced and widely used. These materials are in proportion to weight have higher strength and rigidity so that has found wide usage. In this study, glass fibre reinforced plastic composite materials were produced with hand lay-up as different number of layers of glass fibre. Mechanical properties of produced composite materials were investigated. Avarage strength values of produced composite materials are obtained with three point bending and tensile tests. In addition to these tests, impact strength of materials were investigated by low speed impact test. Macro and micro photographs of samples were taken before and after the tests. Samples were characterized by metallographic respect. The damage zones of resin and glass fibre materials were examined in detail in the test images. The variation of mechanical properties depending on the number of fibre layers were identified considering the experimental results. Mechanical properties of GFRP materials were investigated; mechanical properties of fibre composite materials had a good outcome, depending on the number of layers. When impact test results are examined, between the number of fibre layers and the values of the energy absorbed by GFRP were observed approximately linearity.

Keywords: *Glass fibre reinforced plastic (GFRP), hand lay-up, mechanical properties, impact test.*

* İlyas TÜRKMEN
ilyas.turkmen@cbu.edu.tr

1. GİRİŞ

Otomotiv, havacılık, uzay ve savunma gibi endüstrilerdeki hızlı teknolojik gelişim ve artan rekabet, yüksek performansa sahip ürünlerin tasarlanmasına, bu durum da hafif ve yüksek mukavemetli malzemeleri gerekli kılmıştır. Bu ihtiyaca cevap vermek üzere, 1950 yılından itibaren kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve gün geçtikçe kullanım alanları giderek yaygınlaşmıştır.

Kompozit bir malzeme, kimyasal bileşenleri farklı birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin, kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir. Kompozit malzemelerde ana malzeme genelde metaller, seramikler, cam ve polimerler olmak üzere dört sınıfa ayrılabilirler. Fiber takviyeli kompozit malzemeler bu dört grup malzemedenden herhangi birinin fiberle takviye edilmesiyle elde edilirler. Fiberlerin gömüldüğü ana malzemeye matris malzemesi denir. Kompozit malzemelerde matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, fiberleri bir arada tutmak, yükü fiberlere dağıtmak ve fiberleri çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi, düşük viskoziteli yapıda iken daha sonra fiberleri sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir [1].

Kompozit malzemeler klasik malzemeler ile karşılaştırıldığında ağırlıklarına oranla daha yüksek mukavemete ve rijitliğe sahiptirler. Bunun yanında kompozitlerin korozyon dayanımları, çevre şartlarına karşı dirençleri, yorulma ömürleri daha yüksektir. Bu üstün

avantajlarının aksine tabakalı kompozitlerin düzlem dışı yük taşıma kapasiteleri oldukça düşüktür. Bu nedenle tabakalı kompozit plaklara düzlem dışı yönde gelebilen şok yüklemeler (darbe) ile ilgili oldukça fazla araştırma yapılmaktadır [2,10-18].

Mühendislik uygulamalarında özellikle imalat, montaj ve kullanım aşamasında dışarıdan gelebilecek herhangi bir darbeye karşı malzemeler üzerinde beklenmedik sonuçlar ortaya çıkabilir. Bunu engellemek için malzemenin bu tip etkiler karşısında davranışının nasıl olacağını bilmesi istenir. Darbe testleri malzemelerin hasar modlarının ve dinamik deformasyonların ölçülmesinde kullanılmaktadır. Darbe direnci, darbeye maruz kalan parçalarda tasarımcının göz önüne alması gereken en önemli faktörlerden biridir. Darbe direnci ile malzeme ömrü belirlenirken aynı zamanda malzeme güvenliğinin de belirlenmesi sağlanmaktadır. Günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahip olan kompozit malzemelerde, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalan ve/veya kalmayan bölgede genellikle gözle görülemeyen veya çok zayıf şekilde görülebilen hasarlar meydana gelebilir. Bu tür hasarlar daha sonra malzemenin dinamik yük etkisi altında çalışma durumunda büyüyerek daha geniş çaplı hasarlara yol açabilir. Bu sebeple, tabakalı kompozit bir yapıda darbe etkisinin oluşturacağı hasarı önceden tahmin etmek üretim, tasarım ve kullanım açısından büyük önem arz etmektedir [3-5].

Uysal ve arkadaşları [6], endüstride kullanılan türbin kanat malzemelerinden seçilen cam fiber keçe takviyeli kompozit malzemelerin çekme karakteristiklerini incelemişler ve cam fiber keçe miktarı arttırıldıkça, üretilen kompozit malzemelerin matris

malzemesinden bağımsız olarak dayanım değerlerinin arttığını belirlemişlerdir. Yazıcı ve arkadaşları [7], iki boyutlu rasgele dağılı e-cam lifi/polyester matris kompozitlerde yükleme hızının mukavemet üzerine etkisinin incelemişler, tabakalı yapılarda tabakalar arası bölge kompozit mukavemetinin olması gerektiğinden daha düşük değerlerde olmasına neden olduğunu saptamışlardır. Lee ve arkadaşları [8], %10, %20 ve %30 oranında fiber içeriğine sahip cam elyaf keçe/polipropilen kompozit malzemelerin çekme ve eğme dayanımlarını incelemişler, fiber içeriği arttıkça çekme ve eğme modüllerinin lineer bir artış gösterdiğini saptamışlardır. Jang ve arkadaşları [9], cam elyaf içeriği arttıkça eğilme modülü değerlerinin arttığı böylece elyaf içeriğine bağlı olarak eğilme modülü değerinin yaklaşık lineer bir artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Dinamik yükleme altındaki kompozit malzemeleri karakterize etmek için ilk çalışmalar Rotem ve Lifshitz [10], Lifshitz [11] ve Sierakowski ve arkadaşları [12] tarafından yapılmıştır. Sierakowski ve Chaturvedi [13] ve Abrate [14] çeşitli darbe modeli ve muayene yöntemlerinde ilerlemeler kaydetmişlerdir [15]. Baucom ve Zikry [16], e-camı kompozit sistemlerde düşük hızlı darbedeki hasar ilerlemelerini incelemişlerdir. Numunede delinme oluşuncaya kadar aynı enerji seviyesinden düşük hızlı darbeler yapılmış ve buna bağlı olarak en büyük temas kuvveti-darbe sayısı ve enerji dağılımı-darbe sayısı grafikleri elde ederek incelemişlerdir. Aslan ve arkadaşları [17] ile Aslan ve Karakuzu [18], düşük hızlı darbeye maruz fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin dinamik davranışını değerlendirmişlerdir. Cam fiber/epoksi kompozitin zamana bağlı analizi üzerine deneysel ve nümerik araştırma

yapmışlardır. Nümerik olarak hesaplanan temas kuvveti-zaman değerleri, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Düşük hızlı darbeye maruz tabakalı kompozitlerde darbe hızının, darbe kütesinin, kompozit plağın boyutlarının ve kalınlığının önemini belirlemişlerdir. Jang ve arkadaşları [9], ürettikleri hacimce %5-%30 oranında cam elyaf içeren kompozit malzemelerde emilen darbe enerjisi değerinin elyaf içeriğine bağlı olarak hemen hemen lineer bir artış gösterdiğini saptamışlardır. Bu çalışmada, polyester reçine esaslı cam elyaf takviyeli, üç farklı kompozit malzeme incelenmiştir. Elyaf ve reçine aynı kalmak suretiyle, el yatırması üretim metoduyla üretilen 1, 2 ve 3 kat cam elyaf malzeme ile takviye edilmiş kompozit malzemelere uygulanan testler sonucunda mekanik özellikler incelendiğinde genellikle elyaf katman sayısı başka bir ifadeyle cam elyaf keçe miktarı arttıkça kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Impact test sonuçlarına bakıldığında ise elyaf katman sayısı artışı ile malzemelerin absorbe ettiği enerji değerleri (hasar enerjisi) yaklaşık lineer bir artış göstermiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada kullanılmış olan cam elyaf kompozit malzemedan üretilmiş levhalar; el yatırması yöntemiyle 500x500x2 mm, 500x500x2,5 mm ve 500x500x3,5 mm boyutlarında olmak üzere Polkima A.Ş.'de üretilmiştir. Üretimde matris malzemesi olarak; Polipol™ 315-DT el yatırması polyester reçinesi, Polijel™ 212 ortoftalik jelkot ve takviye malzemesi olarak da Ahlstorm M501 E sınıfı cam elyaf malzeme (chopped strand mat-cam keçe) kullanılmıştır.

Şekil 1'de üretimi tamamlanmış cam elyaf keçe görülmektedir [19]. Üretilen kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak, 450'lik cam elyaf keçe (450 gr/m²) ve polyester reçine kullanılmıştır. Kompozit malzemeleri oluşturan reçine ve jelkota ait mekanik özellikler Çizelge 1-2'de verilmiştir.



Şekil 1. Üretimde kullanılan cam elyaf keçe[19]

Çizelge 1. Numunelerde kullanılan jelkotun mekanik özellikleri [20].

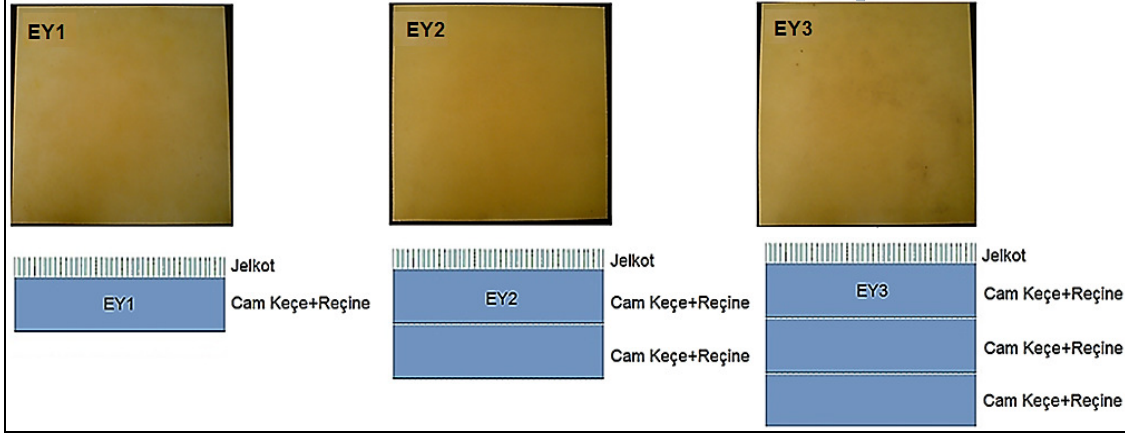
Polipol™ 315-DT Tiksotropik El Yatırması Polyester Reçinesi	Mekanik Özellikler
	Sek Reçine Değerleri
Eğilme Dayanımı	60 MPa
Eğilme Modülü	5,5 GPa
Çekme Dayanımı	30 MPa
Çekme Modülü	4 GPa
Kopmadaki Uzama	%1
İzod Darbe Dayanımı	5 kJ/m ²
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı	56-70°C

Çizelge 2. Numunelerde kullanılan reçinenin mekanik özellikleri[21]

Polijel™ 212 Ortoftalik Tiksotropik Jelkot	Mekanik Özellikler
	Sek Reçine Değerleri
Çekme Dayanımı	61 MPa
Kopmadaki Uzama	%2,4
Eğilme Dayanımı	119 MPa
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı	86-97°C

Çizelge 3. Numuneleri oluşturan elyaf, reçine malzemeleri ve numunelerin fiziksel özellikleri

Numune Grupları	Üretim Metodu	Elyaf Çeşidi	Reçine Çeşidi	Jelkot	Elyaf Katmanı Sayısı	Ortalama Kalınlık (mm)	Yoğunluk Değerleri (ρ) (gr/cm ³)
		E-CAMI					
EY1	El Yatırması	METYCORE-450M/250PP1/450M	Polipol™ 315-DT	Polijel™ 212	1	2	1,361
EY2					2	2,5	1,377
EY3					3	3,5	1,400



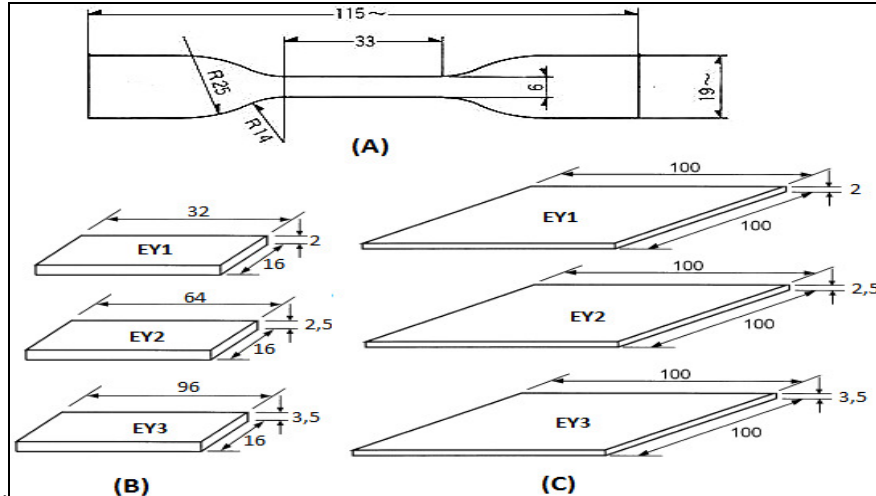
Şekil 2. Üretilen cam elyaf kompozit levhalar

Üretilmiş olan levhalar (Şekil 2), lazer kesim tezgâhı ile çekme, eğme ve darbe testleri için standart test boyutlarında kesilmiştir.

2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Cam elyaf kompozit levhalardan çekme testi için ASTM D 638, üç nokta eğme testi için ASTM D 790 ve düşük hızlı darbe testi için ASTM D 7136 standartları doğrultusunda

deney numuneleri elde edilmiştir[22-24]. Şekil 3'de standartlara uygun çekme, üç nokta eğme ve darbe testi numuneleri ölçüleri ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3. Çekme (A), üç nokta eğme (B) ve darbe testi (C) numuneleri

2.2. Çekme Deneyi

Çekme deneyleri; Shimadzu AG- IS (100 kN) marka çekme deney cihazı ve ekstansiyometre kullanılarak oda sıcaklığında ve 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Her çekme testi numune tipine göre en az 3 kere tekrarlanmış olup, ortalama değer çekme dayanımı olarak alınmıştır.

2.3. Üç Nokta Eğme Deneyi

Farklı elyaf tabaka sayılarında üretilen numunelerdeki yapı değişikliklerinden dolayı eğilme dayanımı değeri değişimlerini ve bu deney sonucunda numunelerde oluşacak hasarları saptamak amacıyla üç nokta eğme deneyi yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin eğme deneyleri, Shimadzu AG- IS 100 kN cihazında, destekler arası açıklık ASTM D

790 standardında belirtilen değerde ve makine basma hızı 1mm/dakika ile yapılmıştır.

2.4. Darbe Testi

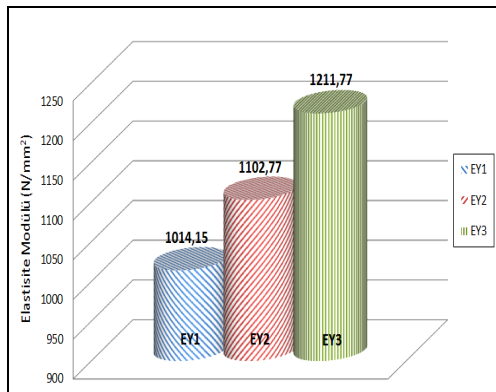
Darbe testleri ağırlık düşürme mantığıyla çalışan Fractovis Plus test cihazında yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin hangi enerji değerlerinde tamamen hasara uğradığı yani absorbe ettikleri enerji değerlerinin ne kadar olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için EY1 numunesine 10 joule, EY2 numunesine 15 joule ve EY3 numunesine 30 joule'lük darbe enerjisi değerleri uygulanarak darbe testi yapılmıştır. Her bir kompozit malzeme için beşer adet deney yapılmış olup içlerinden anlamlı olan dört sonuç seçilip incelenmiştir.

3. SONUÇLAR

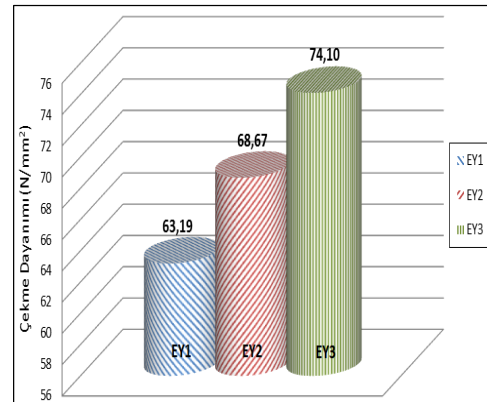
3.1. Çekme Deneyi Sonuçları

EY1,EY2 ve EY3 kompozit malzemelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen

elastisite modülü, çekme dayanımı, özgül elastisite modülü ve özgül çekme dayanımı değerleri Şekil 4-7'de görülmektedir.

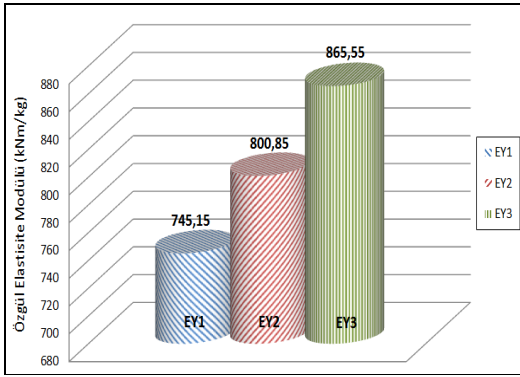


Şekil 4. Çekme deneyi sonucunda elde edilen ortalama elastisite modülü değerleri

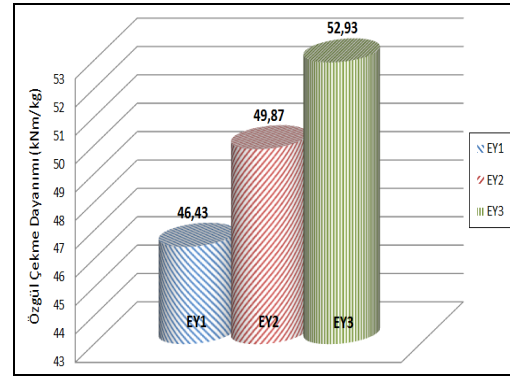


Şekil 5. Çekme deneyi sonucunda elde edilen Malzemelerin özellikleri, onların performansını etkilemektedir. Ancak, parçanın performansının tek bir özelliğe bağlı olması durumu çok nadirdir. Malzemenin performansı diğer bir deyişle verimi, hemen hemen her zaman özelliklerinin kombinasyonudur. Örneğin mukavemet /

ortalama çekme dayanımı değerleri ağırlık oranının (σ/ρ) ve rijitlik / ağırlık oranını (E/ρ) kombinezonudur. Her iki özelliğe ortak nokta hafifliktir[25]. Bu bağlamda üretilen kompozit malzemelerin özgül dayanım ve özgül modül değerleri hesaplanarak Şekil 6-7’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Üretilen kompozit malzemelerin özgül elastisite modülü değerleri



Şekil 7. Üretilen kompozit malzemelerin özgül çekme dayanımı değerleri

3.2. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

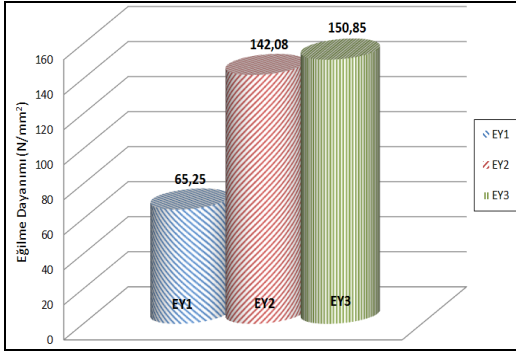
Malzemelere ait numunelerin üç nokta eğme deneyi sonucundaki gerilme ve kırılma kuvveti değerleri Şekil 8-9’da verilmiştir.

Örneklerin kırılma kuvveti değerleri (P_{max})’a bağlı olarak gerilme değerleri formül (1) ile hesaplanmıştır.

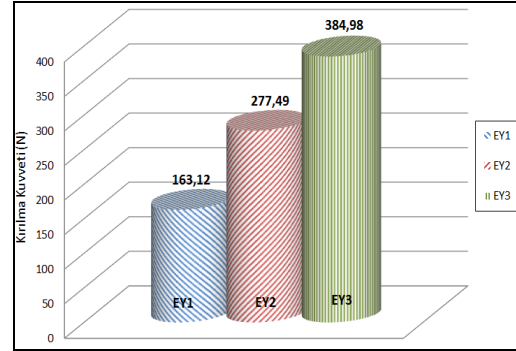
$$\sigma_{max} = \frac{3}{2} * \frac{P_{max} * L}{b * h^2} \quad (1)$$

σ : Eğilme dayanımı (veya kırılma modülü)
 P : Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet
 L : Mesnet merkezleri arası açıklık
 b : Numune genişliği
 h : Numune kalınlığı

(MPa)
(N)
(mm)
(mm)
(mm)



Şekil 8. Üç nokta eğme deneyi sonucunda elde edilen ortalama eğilme dayanımı değerleri

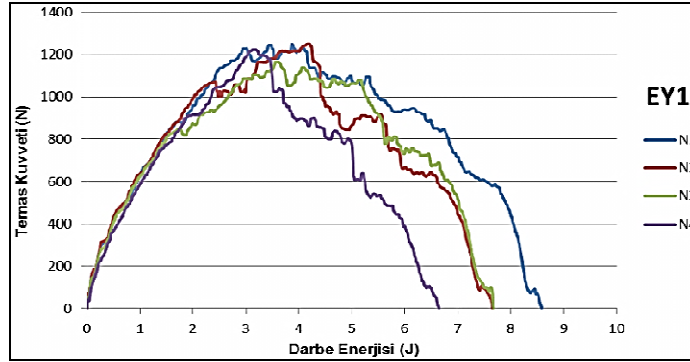


Şekil 9. Üç nokta eğme deneyi sonucunda elde edilen ortalama kırılma kuvveti değerleri

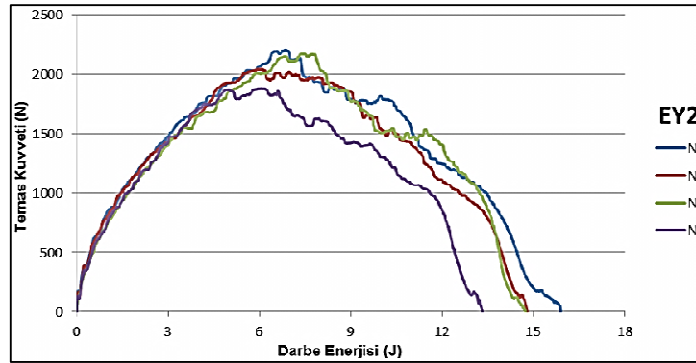
3.3. Darbe Testi Sonuçları

Darbe testi sonucunda elde edilen EY1, EY2 ve EY3 numunelerine ait temas kuvveti-

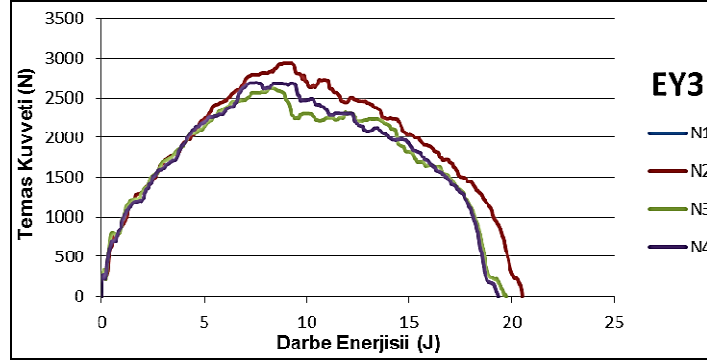
darbe enerjisi grafikleri ile ortalama hasar enerjisi değerleri Şekil 10-13'de verilmiştir.



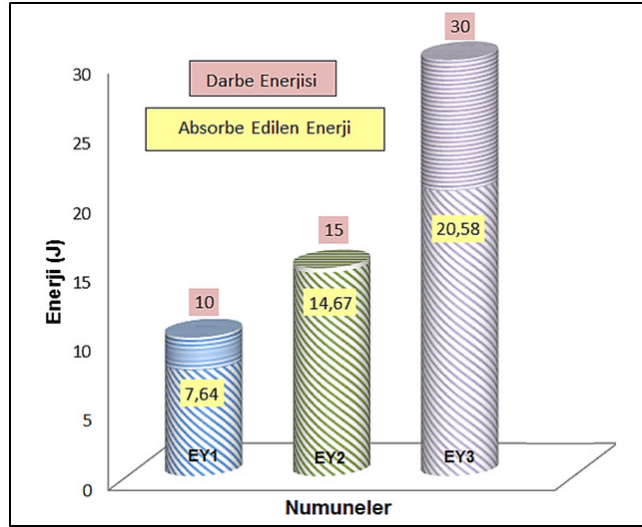
Şekil 10. Darbe testi sonucunda elde edilen EY1 numunelerine ait temas kuvveti-darbe enerjisi grafiği



Şekil 11. Darbe testi sonucunda elde edilen EY2 numunelerine ait temas kuvveti-darbe enerjisi grafiği



Şekil 12. Darbe testi sonucunda elde edilen EY3 numunelerine ait temas kuvveti-darbe enerjisi grafiği

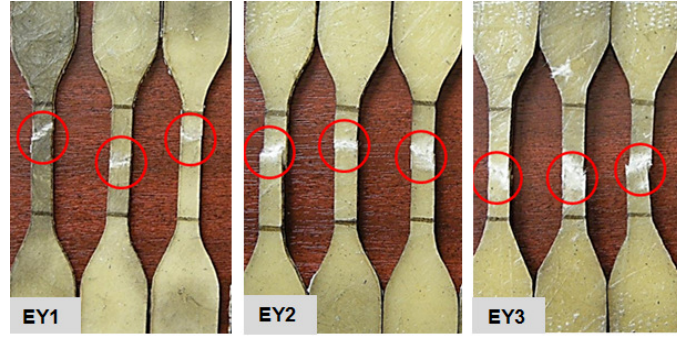


Şekil 13. Kompozit malzemelere ait ortalama hasar enerjisi değerlerinin karşılaştırmalı grafiği

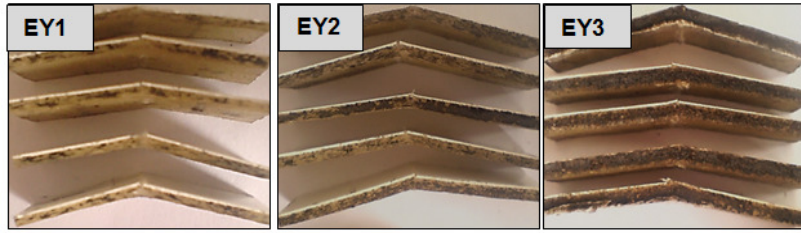
4. KOMPOZİT MALZEMELERE AİT MAKRO VE MİKRO GÖRÜNTÜLER

Kompozit malzemeler üzerinden alınan makro görüntüler Nikon SMZ 1000 Stereo mikroskop, mikro görüntüler ise Nikon

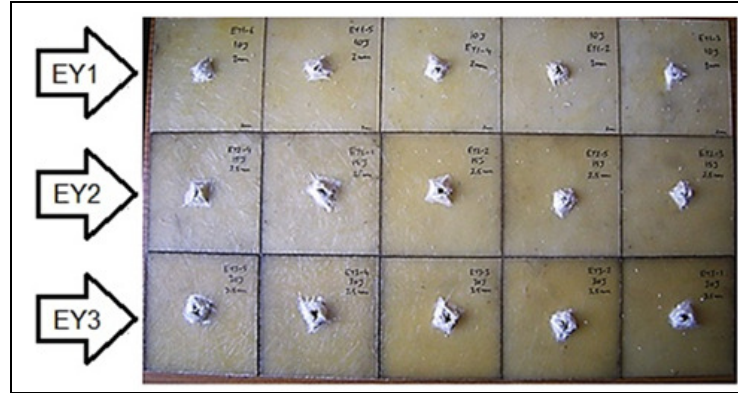
Eclipse LV100 marka mikroskop ile alınmıştır. Numunelerin çekme, üç nokta eğme ve darbe testleri öncesi ve sonrası makro ve mikro fotoğrafları çekilmiştir. Deneyler sonucunda numune üzerindeki hasar bölgelerinin fotoğrafları alınarak bu bölgeler incelenmiştir



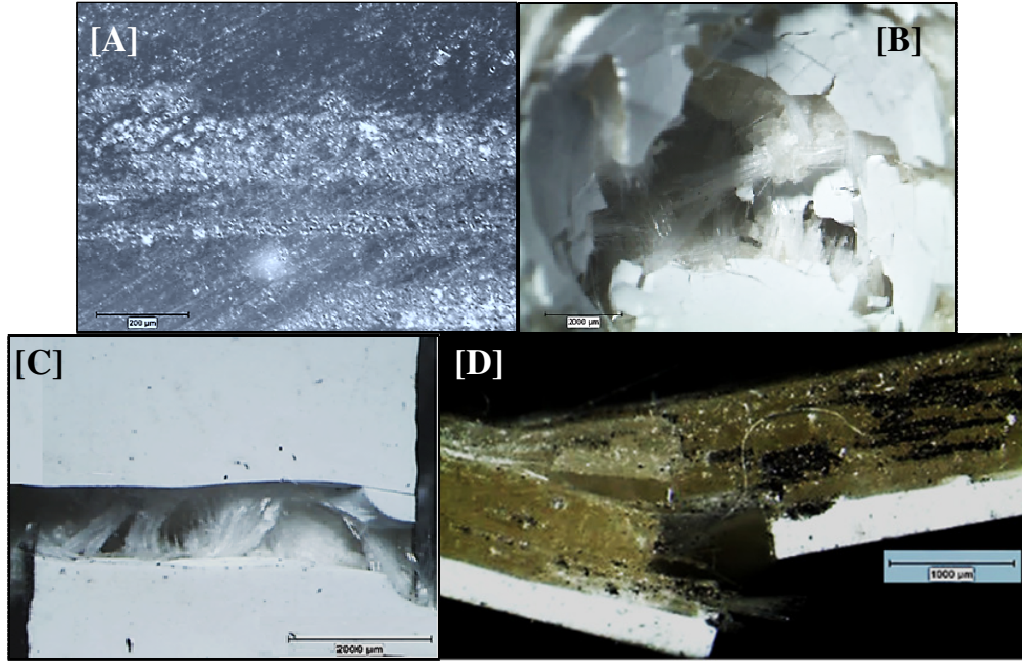
Şekil 14. Çekme deneyi sonrası numune fotoğrafları



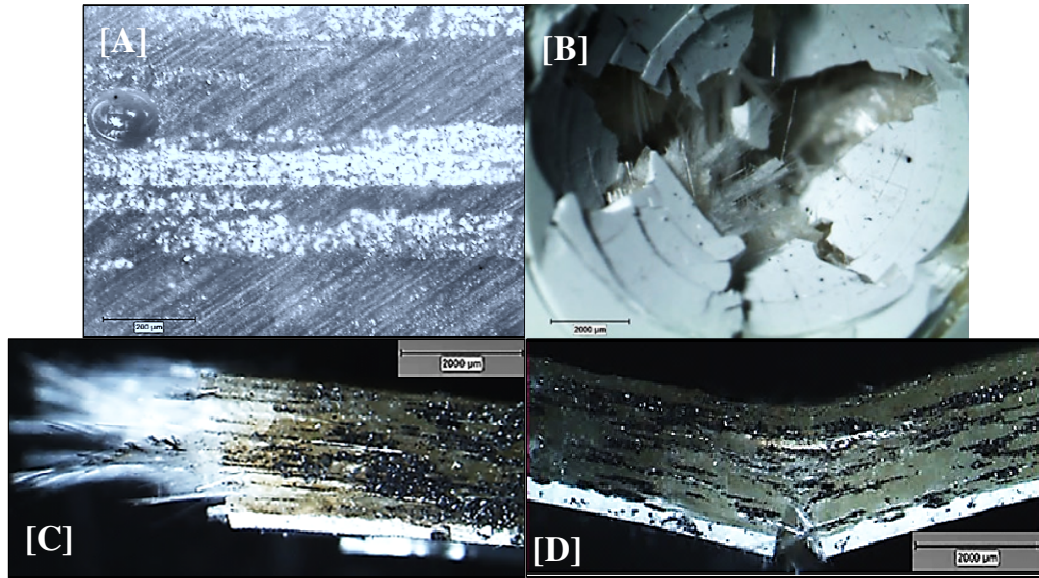
Şekil 15. Üç nokta eğme deneyi sonrası numune fotoğrafları



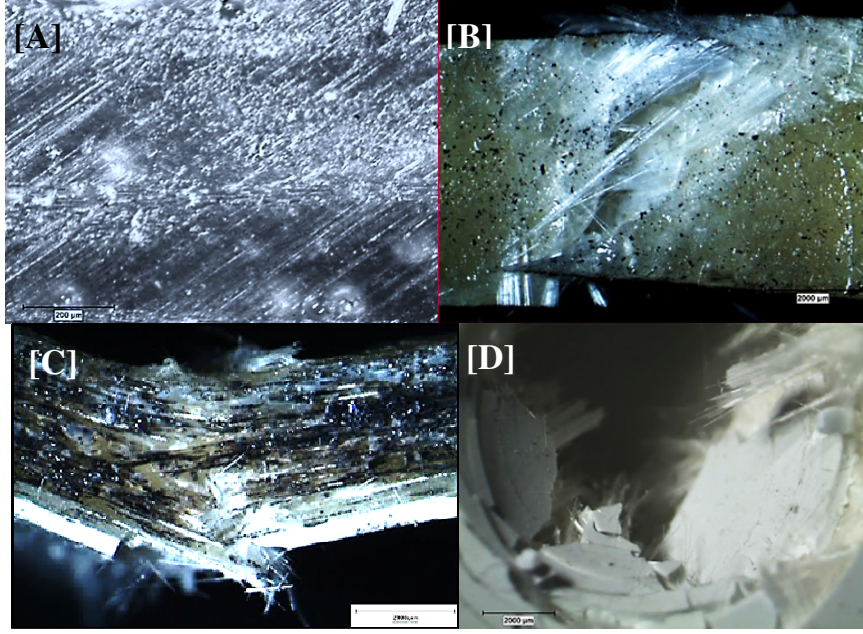
Şekil 16. Darbe testi sonrası numune fotoğrafları



Şekil 17. EY1 kompozit numunesinin; kesit mikroyapı görüntüsü [A] (x100), darbe testi sonrası hasar bölgesi ön yüzey makro görüntüsü [B] (x10), çekme testi sonrası hasar bölgesi makro görüntüsü [C] (x10), üç nokta eğme testi sonrası hasar bölgesi kesit makro görüntüsü [D] (x20)



Şekil 18. EY2 kompozit numunesinin; kesit mikroyapı görüntüsü [A] (x100), darbe testi sonrası hasar bölgesi ön yüzey makro görüntüsü [B] (x10), çekme testi sonrası hasar bölgesi makro görüntüsü [C] (x10), üç nokta eğme testi sonrası hasar bölgesi kesit makro görüntüsü [D] (x10)



Şekil 19. EY3 kompozit numunesinin; kesit mikroyapı görüntüsü [A] (x100), çekme testi sonrası hasar bölgesi makro görüntüsü [B] (x10), üç nokta eğme testi sonrası hasar bölgesi kesit makro görüntüsü [D] (x10), darbe testi sonrası hasar bölgesi ön yüzey makro görüntüsü [C] (x10)

5. GENEL SONUÇLAR

1. EY1, EY2 ve EY3 cam elyaf kompozitlerin çekme deneyi sonucunda çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri cam elyaf tabaka sayısına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu artışta elyaf takviyesi ve reçine kalınlığının da bir miktar etkisi görülmektedir.

2. EY1, EY2, EY3 cam elyaf kompozitlerin üç nokta eğme deneyleri sonucunda eğilme dayanımı ve kırılma kuvveti değerleri de elyaf tabaka sayısına bağlı olarak artış göstermiştir.

3. Üretilen kompozit malzemelerin özgül mukavemet değerleri, çekme deneyi sonucunda elde edilen mukavemet

değerlerinin malzemelerin ölçülmüş yoğunluk değerlerine bölünmesi ile elde edilmiş olup EY1, EY2, EY3 cam elyaf kompozitlerde cam elyaf tabaka sayısına bağlı olarak artış göstermiştir.

Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerinin mekanik özellikleri incelendiğinde genellikle elyaf katman sayısı başka bir ifadeyle cam elyaf keçe miktarı arttıkça kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Tabakalar arası bölge kompozit mukavemetinin olması gerektiğinden daha düşük değerlerde olmasına neden olduğu için belli bir elyaf katmanı sayısından sonra mukavemet artışı elyaf katman sayısının

artışına bağlı olarak istenilen artış sağlanamamaktadır.

4. Impact test sonuçlarına bakıldığında elyaf katman sayısı artışı ile malzemelerin absorbe ettiği enerji değerleri (hasar enerjisi) yaklaşık lineer bir artış göstermiştir. Elyaf katman sayısı (elyaf yoğunluğu) arttıkça absorbe edilen enerji değeri artmaktadır.

5. Malzemeler üzerinden alınan mikro ve makro fotoğraflar ışığında el yatırması yöntemiyle üretilen bu malzemelerde reçine oranının ayarlanamaması sonucu oluşan ağırlık artışı ve yapı içerisinde oluşan büyük ve çok sayıdaki hava boşluğu da dayanım açısından negatif etki etmektedir[26].

Kaynaklar

- [1] Tolun C., "Dikdörtgen Elasto-Plastik Kompozit Plakların Dinamik Analizi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1, Ankara, (2008).
- [2] Karakuzu R., İçten B. M., Aktaş M., Toparlı M., Ataş C., Arman Y., "Kompozit Plaklarda Sıcaklığın Darbe Davranışına Etkisi", TÜBİTAK-Proje No: 104M426, 1, (2007).
- [3] Shivakumar K.N., Elber W., IllgW., "Prediction of Low-velocity Impact Damage in Thin Circular Laminates ", AIAA J., 23(3), 442-449, (1988).
- [4] Sjoblem P.O., Hartness J.T., Cordell T.M., "On Low Velocity Impact Testing of Composite Materials", J Compos. Matei, 22, 30-52, (1988).
- [5] Şenel M., "Ön Gerilmeli Kompozit Plakların Düşük Hızlı Darbe Yüğü Etkisi Altında Davranışlarının İncelenmesi", TÜBİTAK-Proje No:105M195,1,(2009).
- [6] Uysal A., "Rüzgar Türbini Kanat Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" ,Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2008).
- [7] Yazıcı M., Ülkü S., "İki Boyutlu Rasgele Dağılı E-Cam Lifi/Polyester Matris

Kompozitlerde Yükleme Hızının Mukavemet Üzerine Etkisinin İncelenmesi", Uludağ Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak. Dergisi, 8 (1), (2003).

[8] Lee N. J., Jang J., "The effect of fibre content on the mechanical properties of glass fibremat/polypropylene composites", Composites Part A, 815-822, (1999).

[9]Jang J., Han S., "Mechanical properties of glass-fibre mat/PMMA functionally gradient composite", Composites Part A, 1045-1053, (1999).

[10] Rotem A., & Lifshitz J.M., "Longitudinal Strength Of Unidirectional Fibrous Composite Under High Rate Of Loading", Proc. 26th Annual Tech. Conf. Soc. Plastics Industry Reinforced Plastics, Composites Division, Washington, DC, Section 10-G: 1-10, (1971).

[11] Lifshitz J.M., "Impact Strength of Angle Ply Fiber Reinforced Materials, Journal of Composite Materials", 10: 92-101, (1976).

[12] Sierakowski R.L., Nevil G.E., Ross A., Jones E.R., "Dynamic Compressive Strength and Failure of Steel Reinforced Epoxy Composites", Journal of Composite Materials, 5: 362-377, (1971).

[13] Sierakowski R.L., Chaturvedi S.K., "Dynamic Loading and Characterization of Fiber-Reinforced Composites", Wiley, New York, (1997).

[14] Abrate S., "Impact on Composite Structures", Cambridge University Press, Cambridge, (1998).

[15] Kara M., "Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2006).

[16] Baucom J.N., Zikry M.A., "Low Velocity Impact Damage Progression in Woven E-glass Composite Systems", Composites Part A, Applied Science and Manufacturing, 36: 658-664, (2005).

[17]: Aslan Z., Karakuzu R., Okutan B. "The Response of Laminated Composite Plates

- Under Low-Velocity Impact Loading”, Composite Structures, 59: 119-127, (2003).
- [18] Aslan Z., Karakuzu R., “Transient Dynamic Analysis of Laminated Composite Plate Subjected to Low-Velocity Impact”, Mathematical & Computational Applications, 7 (1): 73-82, (2002).
- [19]<http://w1.asianproducts.com/images/pmiimage/6/P12619719833989439m.jpg> (13.06.2012)
- [20] Poliya Poliester Şti.,”Polijel 212 Jelkot Ürün Teknik Bülteni”, 2004.
- [21] Poliya Poliester Şti.,”Polipol 315-DT Polyester Ürün Teknik Bülteni”, (2004).
- [22] American Society for Testing and Materials, ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, (2004).
- [23] American Society for Testing and Materials, ASTM D790, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, (2004).
- [24] American Society for Testing and Materials, ASTM D7136 / D7136M – 07, Standard Test Method for Measuring the Damage Resistance of a Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite to a Drop-Weight Impact Event, (2005).
- [25] Eker A. A., “Mühendislik Malzemeleri ve Özellikleri”, Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, (2008).
- [26] Türkmen İ., ”Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde Elyaf Tabaka Sayısına ve Üretim Yöntemine Bağlı Mekanik Özelliklerin ve Darbe Dayanımının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, (2012).

Geliş Tarihi: 25.06.2012

Kabul Tarihi:22.11.2012