



Araştırma Makalesi / Research Article

**CAM DOKUMA KUMAŞLA ÜRETİLMİŞ KOMPOZİTLERİN DARBE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Enver B. YALÇIN<sup>\*1</sup>, Müzeyyen MARŞOĞLU<sup>2</sup>, Volkan GÜNAY<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme Enstitüsü, Gebze-KOCAELİ

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Esenler-İSTANBUL

<sup>3</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ

Geliş/Received: 18.09.2012 Revised/Düzelme: 24.10.2012 Kabul/Accepted: 18.02.2013

---

**ÖZET**

Bu çalışmada, takviye malzemesi olarak, 0°/90° yönlü cam dokuma kumaş ve matriks malzemesi olarak polyester kullanılarak, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozitlere, Instron Dynatup 9250HV yüksek hızlı darbe test cihazı kullanılarak, farklı enerji seviyelerinde (100J, 250J, 350J, 500J, 750J) darbe yüklemeleri yapılmıştır. Darbe testlerinden sonra, kompozitlerdeki hasarlar, darbe test cihazının yazılımdan elde edilen grafiklerle incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, kompozit malzemenin darbe yüklemesi sırasında, enerji soğurma kabiliyetinin belirlenmesi ve elde edilen sonuçlar kullanılarak kompozit üretim prosesinin ve buna bağlı olarak malzemenin darbe dayanımının iyileştirilmesini sağlamaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Darbe testi, dokuma, polyester.

**INVESTIGATING THE IMPACT PROPERTIES OF COMPOSITES REINFORCED WITH WOVEN FABRICS**

**ABSTRACT**

In this study, composites were produced by “cold press moulding” method, using 0°/90° oriented woven glass and polyester matrix material. Impact tests were applied to composites in several impact energy levels (100J, 250J, 350J, 500J, 750J) by using Instron Dynatup 9250HV high velocity impact test machine. After impact tests, damages on the composites were examined by graphs which were achieved from the software of the impact test machine. Main objective of this work was to determine the energy absorption of the composite materials during impact tests. Results shall be used to enhance the composite production process and correspondingly achieve to enhance the impact resistance of the material.

**Keywords:** Impact test, woven, polyester.

---

**1. GİRİŞ**

Kompozitler, metallere göre hafif olmalarının yanı sıra yüksek mukavemete sahip olmalarından dolayı son zamanlarda mühendislikte geniş kullanım alanı bulmuştur. Özellikle fiber takviyeli kompozitler yüksek teknoloji gerektiren uçak ve savunma endüstrisinde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır [1].

---

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: enverylcn@gmail.com, tel: (262) 677 30 36

Fiber takviyeli kompozitlerin avantajlarından birisi olan yüksek mekanik özellikleri, mühendisliğin birçok alanında kullanımının artmasını sağlamıştır. Buna rağmen, bu malzemelerin darbe hasarına karşı, özellikle uçakların dış kısımlarına gelen düşük enerjilerdeki çarpmalara karşı bile hassas oldukları da bilinmektedir [2].

Gözle görülebilen hasarların dışında kompozitin arka yüzeyinde ve iç yapısında ortaya çıkan tabakalar arası ayrılmalar (delaminasyon) gibi hasarların da kompozitlerin dayanımını önemli derecede azalttığı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [3-6].

Klasik mühendislik malzemelerinin yerini günümüzde almaya başlayan kompozit malzemelerden beklenen diğer bir özellik, darbe yüklerini soğurarak emniyetli çalışma kabiliyetlerini kaybetmemeleridir [6].

Darbe testi, bir malzemenin enerji yüklemelerine karşı dayanım kabiliyetinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu test yardımıyla malzemenin hasarında soğurulan enerji belirlenebilmektedir. Darbe dayanımı da malzeme tasarımında kullanım ömrünün belirlenmesinde önemli parametrelerden ve zor tespit edilebilen özelliklerdendir.

Darbe testleri sonrası, kompozit tabakaları arasında darbe enerjisine bağlı olarak darbe ucu ilerlemesinin (penetration) tabakalar arası tutunma ile değiştiğini göstermektedir [6]. Darbe enerjisi malzemeye yüklenirken, hasar gelişimi seviyesinin belirlenmesinde enerji dengelerinin kullanılabildiği G. Belingardi ve diğ. tarafından belirlenmiştir [4,5]. Ayrıca darbe yüklemeleri sırasında darbe enerjisi ile soğurulan enerji arasındaki orandan saptanan hasar derecesi ile numunenin ne zaman tam delineceği konusunda, hasar derecesi oranı 1'e yaklaştıkça, yani soğurulan enerji değeri uygulanan darbe enerji seviyesine yaklaştığında numunenin tam delineceği (full penetration) saptanmıştır [7].

Bu çalışmada, takviye malzemesi olarak 0°/90° yönlü cam dokuma kumaş ve matris malzemesi olarak polyester kullanılarak kapalı kalıpta, soğuk presleme yöntemiyle üretilen kompozitlere, Instron Dynatup 9250HV darbe test cihazı ile düşen ağırlık darbe testi (drop-test) uygulanarak kompozitin enerji soğurma kabiliyetinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Üretilen kompozitten elde edilen numuneler 100J, 250J, 350J, 500J ve 750J darbe enerjileri uygulanmış ve darbe test cihazının yazılımından elde edilen grafiklerle irdelemeler yapılmıştır.

## **2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Kullanılan Malzemeler ve Teçhizatlar**

Bu çalışmada, takviye malzemesi olarak kullanılan E-cam dokuma kumaş, METYX-Telateks Tekstil Ürünleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nden temin edilmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan "Polipol 3401 CTP tipi genel amaçlı polyester", kalıp ayırıcı malzeme olarak kullanılan "Polivaks" ve sertleştirici olarak kullanılan "Butanox M-60", Poliya Polyester Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nden temin edilmiştir. Reaksiyon hızlandırıcı olarak kullanılan "Akcobalt %6, AKPA Kimya Ambalaj Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nden temin edilmiştir.

E-cam dokuma kumaşın özellikleri Çizelge 1'de, Polipol 3401 kodlu polyesterin özellikleri Çizelge 2'de, kobaltın özellikleri Çizelge 3'te ve Butanox M60 sertleştiricinin özellikleri Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 1.** Metyx LTX000399 E-cam dokuma kumaşın özellikleri

<b>Kumaş Türü</b>	<b>Lif yönlenmesi</b>	<b>Birim Ağırlık [gr/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Metyx Kodu</b>
E-cam elyaf dokuma	0°/90°	800	LTX000399

Çizelge 2. Polipol 3401 kodlu polyesterin özellikleri

TEST	METOD	DEĞER	DURUM
Yoğunluk	ISO 1675	1.128 ±%5 gr/cm <sup>3</sup>	Sıvı
Kırılma İndisi	ISO 0489	1.547 ±%5	Sıvı
Asit Değeri	ISO 2114	23 ±%20 mg KOH/gr	Sıvı
Viskozite	ISO 2555	550 cp ±%30	Sıvı
Jelleşme Süresi	ISO 2535	11 dk ±%40	Sıvı
Eğilme Dayanımı	ISO 0178	117 ±%10 MPa	Sertleşmiş
Elastik Modülü	ISO 0178	4013 ±%10 MPa	Sertleşmiş
Kopmadaki Uzama	ISO 0178	3.4 % ±%10	Sertleşmiş
Çekme Dayanımı	ISO 0527	68 ±%10 MPa	Sertleşmiş
İzod Darbe Dayanımı	ISO 0180	13 ±%10 kJ/m <sup>2</sup>	Sertleşmiş

Çizelge 3. Kobalt (%6)'nın özellikleri

TEST	DEĞER	TOLERANS	DURUMU
Yoğunluk	0.92 gr/cm <sup>3</sup>	±%5	Sıvı
Katı madde	38 %	±%0,5	Sıvı
Renk	Koyu mavi		Sıvı
Depolanma	+5 +40°C arası		Sıvı

Çizelge 4. Butanox M60 sertleştiricinin özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER
Yoğunluk	1,17 gr/mol
Metil etil keton peroksit içeriği	36%
Renk	Renksiz parlak sıvı
Aktif oksijen içeriği	9,8-10%
Çözünürlük	Ftalatlarla karıştırılabilir
Alevlenme değeri	60°C üzerinde

## 2.2. Üretim

Kumaşlar, üretim sırasında kalıptan taşmaması için (595x595)mm olarak kesilmiştir. (600x600x6)mm boyutlarında hazırlanan kalıp için, cam dokuma kumaştan ve polyesterden ne kadar kullanılacağı kumaş/reçine oranı 65/35 alınarak hesaplanmıştır.

Kullanılan kumaşın alanı(A)=axb=59,5cmx59,5cm=3540,25 cm<sup>2</sup>=0,354m<sup>2</sup>,

Tek kat kumaşın ağırlığı(K)= c x A = 800 x 0,354 = 283,22 gr,

Kalıbın hacmi (H) = A x h = 3540,25 x 0,6 = 2124,15 cm<sup>3</sup>,

Kalıbın cam lifi dolu ağırlığı (D) = H x d = 2124,15 x 2,55 = 5416,58 gr,

% 65'lik kumaş ağırlığı (K65) = D x %65 = 5416,58 x %65 = 3451,744 gr,

Kumaş kat sayısı (Kx) = K65 / K = 3451,744 / 283,22 = 12,188 adet,

Reçine oranı (R) = D x %35 = 5310,375 x %35 = 1858,631 gr olarak hesaplanmıştır.

A: kullanılan kumaşın alanı(m<sup>2</sup>), K: Tek kat kumaşın ağırlığı(gr), D: Kalıbın cam lifi dolu ağırlığı (gr), H: Kalıbın dolu hacmi (cm<sup>3</sup>), Kx: Kumaş kat sayısı (adet), K65: %65 oranında kumaş ağırlığı (gr), R: Reçine oranı, h: Kalıbın derinliği, a: Kalıbın eni (m) , b: Kalıbın boyu (m),

c: Kumaşın birim ağırlığı (gr/ m<sup>2</sup>), d: Cam lifi yoğunluğu 2.55 (gr/cm<sup>3</sup>) olarak alınmıştır. (Bu hesaplamalara göre, üretimde 12 kat kumaş ve presleme sırasında dışarıya çıkan fazla reçine hesaba katılarak 2000 gr polyester reçine kullanılmıştır.)

Öncelikle kalıbın iç boşluğuna ve üst kalıba vaks sürülüp kuruması için beklemeye bırakılmıştır. Ortam sıcaklığı 24 °C, nem oranı %25 olarak belirlenmiştir. Matriks için 595 x 595 mm boyutlarında 12 kat cam elyaf örgü kumaş kesilmiştir. Plastik bir kap içerisine 2000 gr. polyester reçineye, 20 gr. metil-etil-keton-peroksit ve polyester içerisinde hızlandırıcı bulunmadığı için jelleşmeyi hızlandırmak için yaklaşık 5 gr. kobalt katılarak karışım hazırlanmıştır. Karışımın rengi homojen olana kadar karıştırıldı. Alt kalıpta bulunan boşluğa bir miktar polyester takviye karışımı dökülerek kalıp ıslatılmış ve her kat kumaş konulduğunda üzerine bir miktar karışımdan eklenerek geniş spatula yardımıyla karışım kumaş üzerine yayılarak takviye karışımı kumaşa emdirilmiştir. Daha sonra diğer kumaşlar aynı şekilde katların tamamı bitene kadar tek tek kalıba yerleştirilmiş, kumaşların tamamı kalıba yerleştirildikten sonra, kalan karışım da kalıp içine dökülerek geniş spatulayla reçine kumaşlar üzerine yayılmıştır. Kalıbın üst kısmı yerleştirildikten sonra üründe oluşması muhtemel sehimi engellemek amacıyla üst kalıp üzerine artı şeklinde metal bir parça yerleştirilmiştir. Daha sonra kalıp alt-üst kısımları birbirine oturacak şekilde yaklaşık 10 bar basınç altına alınmıştır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Kalıbın soğuk pres altına yerleştirilmesi

Jelleşme kontrolü için karışımdan bir miktar bekleme alınmıştır. Bu reçine izlendiğinde jelleşmenin 24. dakikada başladığı tespit edilmiştir. Kalıptaki karışımın katılaşması sonucunda (jelleşme süresi sonu) kalıp açılmış ve çıkan ürün dışarıya alınmıştır. Poliya Polyester San. Ve Tic. Ltd.Şti.'den alınan reçinelerle ilgili, kürlenme bilgileri ilgili firma tarafından alınarak, 72 saat oda sıcaklığında bekletilerek kürendikten sonra, 80°C sıcaklıkta 3 saat beklemek üzere etüve konulmuştur (post-cure). Bu üründen test numuneleri kesilerek hazırlanmıştır. Üretim aşamaları Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Üretim aşamaları a)Kumaş kesimi, b)Kalıp vakslama, c)Matriks karışımı hazırlama, d)Karışımın kalıba dökülmesi, e)Tek kat kumaşın yerleştirilmesi, f)Son kat kumaşın yerleştirilmesi, g)Üst kalıbın kapatılması, h)Ürün, i)Üründen numunelerin kesilmesi

### 2.3. Numune Hazırlama

Üretilen kompozit malzemeden kesilerek hazırlanan numunelerle ilgili bilgiler, uygulanacak testler, numunelerin boyutları ve sayıları Çizelge 5'te verilmiştir.

**Çizelge 5.** Test numunelerinin sayıları ve numune hazırlamada uyulan standartlar

Test	Şartlar	Numune Sayısı (adet)
Darbe	Ø16mm yarıküresel uç	5
Sertlik	ASTM D 2583 [8]	1
Yoğunluk	ASTM D 792 [9]	3
Cam elyaf oranı	ASTM D 5630 [10]	3
Üç nokta eğme	TS EN ISO 14125[11]	5
Çekme	TS EN ISO 527-4 [12]	5

### 2.4. Sertlik, Yoğunluk ve Elyaf Oranı Tayini

Barcol sertlik deneyi, ASTM D 2583 standardına göre, HPE II Barcol test cihazı (Şekil 3) ile yapılmıştır.



Şekil 3. HPE II Barcol Sertlik Ölçme Cihazı

Yoğunluk ölçümü ASTM D792 standardına göre ve cam elyaf oranı tayini ASTM D 5630 standardına göre yapılmıştır. Sertlik, yoğunluk ve cam elyaf oranı ölçüm sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Sertlik, yoğunluk ve elyaf oranı ölçümleri

DENEY	DEĞER	TOLERANS
Sertlik	66	± 6
Yoğunluk	1.84	± %5
Elyaf Oranı	63	± 2

## 2.5. Çekme ve Üç Nokta Eğme Deneyleri

Çekme ve üç nokta eğme deneyleri, Zwick Z250 üniversal test cihazında (Şekil 4), 23°C sıcaklıkta %55 nem şartlarında yapılmıştır. Çekme deneyi TS EN ISO 527-4 standardına göre 10mm/dk deney hızında, eğme deneyi ise mesnetler arası 64 mm olacak şekilde TS EN ISO 14125 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 4. Zwick Z250 test cihazı

Çekme ve üç nokta eğme deneyi sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Çekme ve üç-nokta eğme deneyi sonuçları

Test	Numune No	Değer (MPa)	Test	Numune No	Değer (MPa)
Çekme	1	437	Üç nokta eğme	1	461
	2	460		2	456
	3	474		3	428
	4	460		4	438
	5	521		5	411

## 2.6. Darbe Testleri

Darbe testleri, Instron Dynatup 9250 HV (High Velocity-Yüksek Hızlı) darbe test cihazı (Şekil 5) kullanılarak; (100, 250, 350, 500 ve 750) J enerji seviyelerinde yapılmıştır. Kompozitleri hasara uğratabilecek darbe sisteminin toplam ağırlığı 100 J enerji seviyesi için yaklaşık 10089 gr.'dır. 250 J ve daha yukarı enerji seviyelerine çıkabilmek için sisteme ek ağırlıklar eklenmiştir ve 250J-750J enerji aralığında darbe sisteminin toplam ağırlığı 25836 gr. olmuştur. Darbe testlerinde 16 mm çapında yarı küresel şekilli darbe ucu kullanılmıştır (Şekil 6).

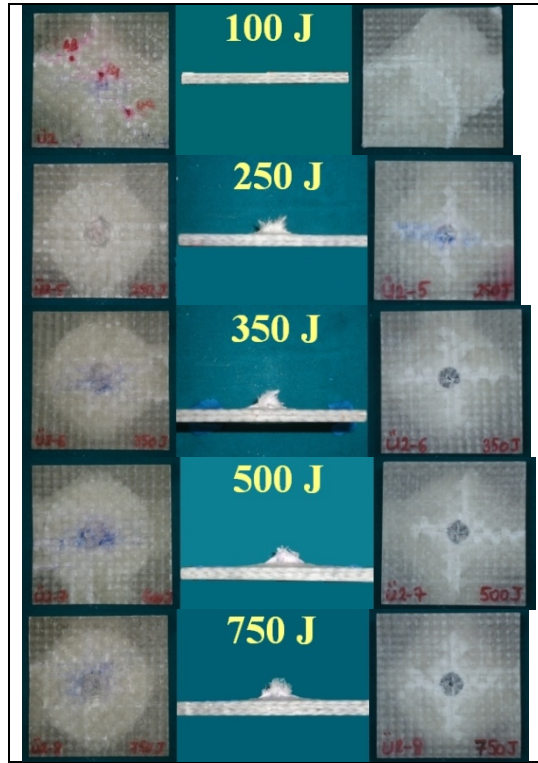


Şekil 5. Instron Dynatup 9250HV(High Velocity) darbe test cihazı



Şekil 6. Darbe testlerinde kullanılan 16mm çaplı yarıküresel darbe ucu

(100, 250, 350, 500 ve 750) J enerji uygulanan darbe testleri sonrası numunelerin görüntüleri Şekil 7'de görülmektedir.



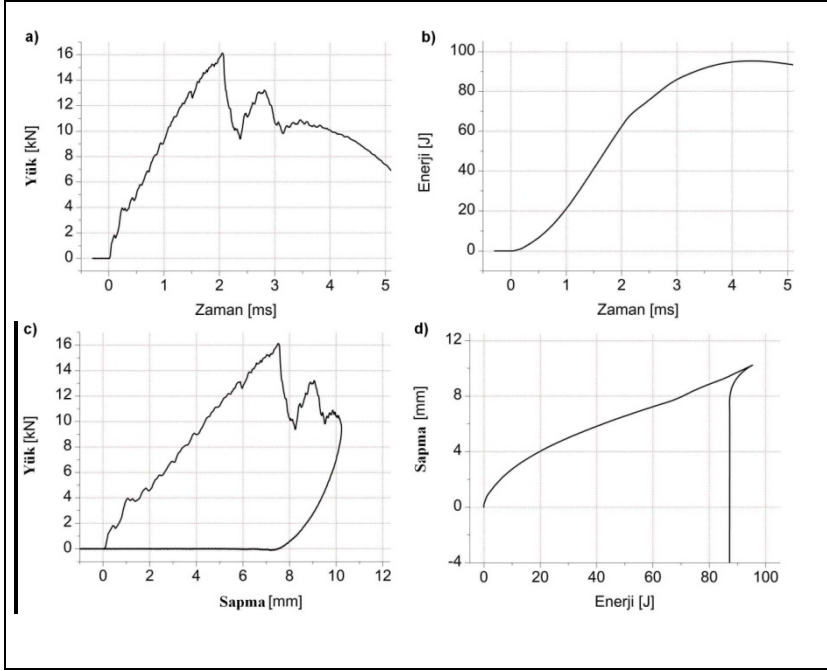
Şekil 7. (100,250,350,500,750) J enerjiyle darbe testleri sonrası numunelerin görüntüleri

Darbe testlerinde uygulanan her enerji değeri için cihaz yazılımından elde edilen grafiklerden alınan “Zaman–Yük–Soğurulan Enerji–Sapma (Deflection)” değerleri Çizelge 8’de verilmiştir.

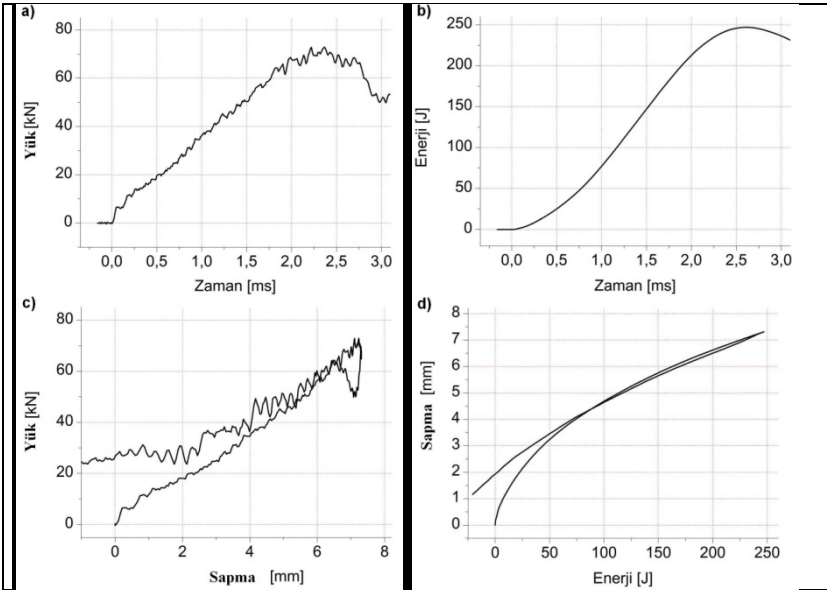
Çizelge 8. Uygulanan enerji değerleri için Yük-Enerji-Sapma-Zaman değerleri

Uygulanan Enerji J [Joule]	Zaman ms [milisaniye]	Yük kN [kiloNewton]	Sapma (Deflection) mm [milimetre]	Soğurulan Enerji J [Joule]
100	2.80	15.88	10.22	65
250	2.34	71.52	7.31	240
350	1.91	82.89	8.47	295
500	1.51	74.73	-	321
750	1.51	77.27	-	464

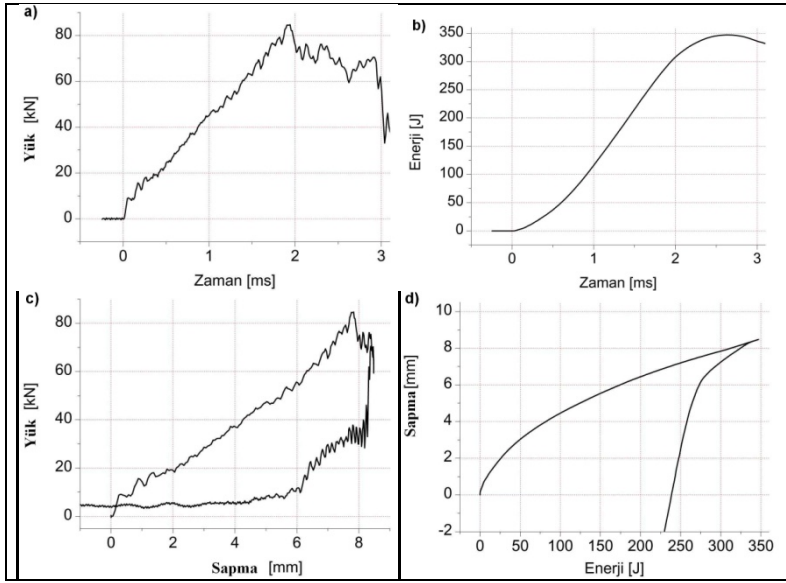




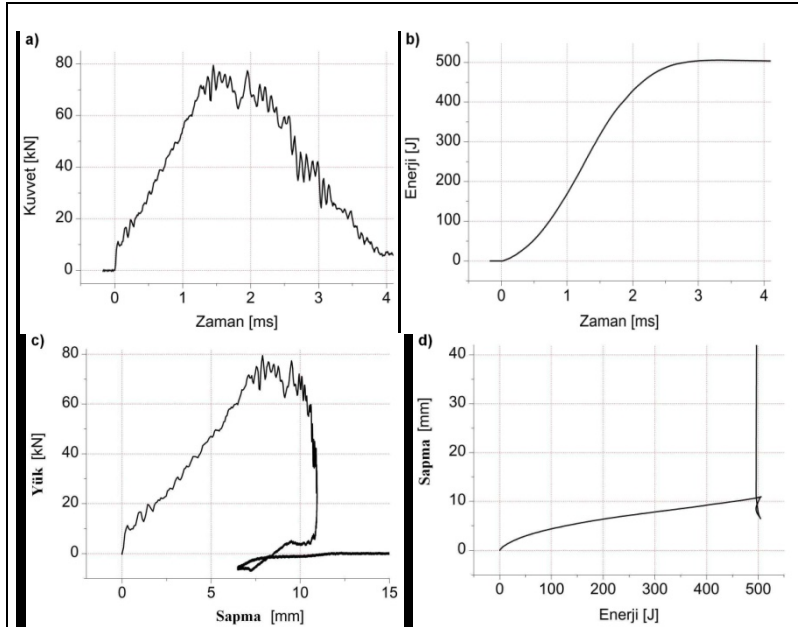
Şekil 8. 100 J darbe, a)Yük-Zaman,b)Enerji-Zaman,c)Yük-Sapma,d)Sapma-Enerji) grafikleri



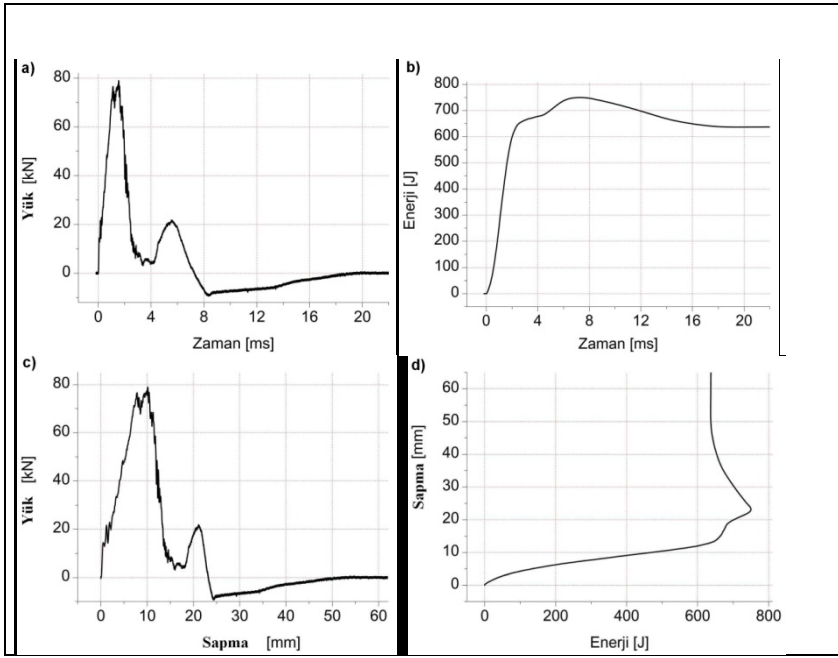
Şekil 9. 250 J darbe, a)Yük-Zaman,b)Enerji-Zaman,c)Yük-Sapma,d)Sapma-Enerji) grafikleri



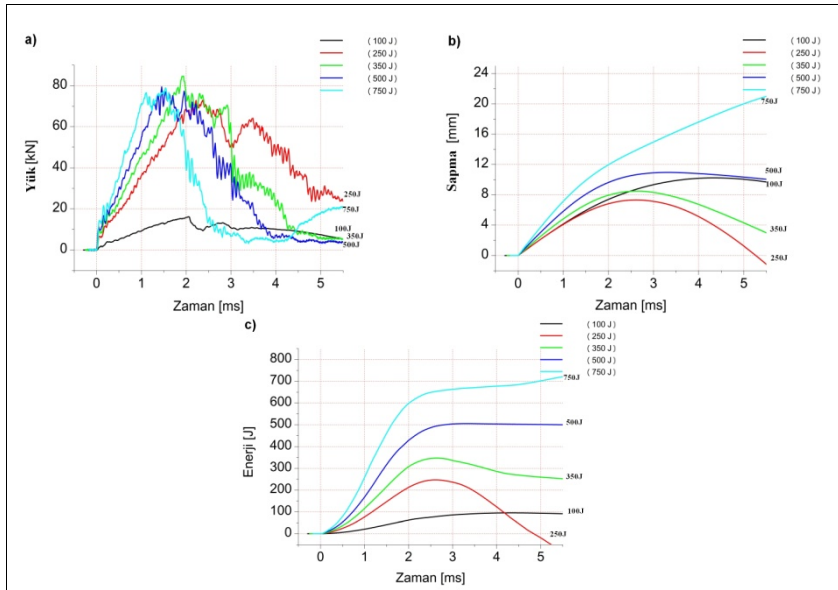
Şekil 10. 350 J darbe, a)Yük-Zaman,b)Enerji-Zaman,c)Yük-Sapma,d)Sapma-Enerji) grafikleri



Şekil 11. 500 J darbe, a)Yük-Zaman,b)Enerji-Zaman,c)Yük-Sapma,d)Sapma-Enerji) grafikleri



Şekil 12. 750 J darbe, a)Yük-Zaman,b)Enerji-Zaman,c)Yük-Sapma,d)Sapma-Enerji) grafikleri



Şekil 13. Toplu halde grafikler a)Yük-Zaman, b) Sapma-Zaman c) Enerji-Zaman

### 3. DENEYSSEL SONUÇLAR

1) 100J'de kompozit malzemede tam nüfuziyet olmamıştır. 100J enerjisi malzeme soğurmuştur. Malzeme içinde delaminasyon hasarlarından kaynaklanan bölgeler oluşmuştur. 2,8ms civarında yük 15,88kN olarak en yüksek değerine çıkmıştır (Şekil 8a). Bu değer ilk matris kırılmasının başladığı noktadır. Burada malzemede oluşan sapma miktarı 10,22 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 8d). Bu durum malzemede oluşan deformasyona rağmen delinmenin gerçekleşmediğini gösterir. Sapma en yüksek değerine ulaştıktan sonra yaklaşık 95J enerji değerlerinde azalmaya başlamıştır. Bu azalma darbe ucunun geri sekmesinden kaynaklanmaktadır. Delinme olmadığı için darbe ucu numuneye çarpıp geri dönmüştür (Şekil 8d). Bu durum 100J enerjinin emildiğini göstermektedir. Malzemede oluşan hasarın artmasıyla kuvvet önce 15,88kN'a kadar yükselmiş, sonra malzemede delaminasyon hasarının oluşmasıyla, kuvvet yaklaşık 12kN'a inmiştir (Şekil 8a). Ayrıca, delaminasyon hasarı oluştuğundan sonra, darbe enerjisinin malzemeyi hasara uğratma süresi kısalmıştır. Sapma en yüksek değerine çıktıktan sonra dönerek eğri kuvvet eksenini kesmektedir (Şekil 8c). Yükün en yüksek olduğu 2,8 ms civarında verilen 100J enerjinin yaklaşık 65J kısmı soğurulmuştur (Şekil 8b).

2) 250J darbe enerjisi ile uygulanmış kompozit malzemede test sonrası malzeme içinde delaminasyon hasarlarından kaynaklanan bölgeler oluşmuştur. Arka kısımda alt tabakada bulunan tabakalar zarar görmüş fakat malzemede tam nüfuziyet olmamıştır (Şekil 7). 2,34ms ilk matris kırılmasının başladığı değerdir (Şekil 9a). Malzemede oluşan deformasyona rağmen tam nüfuziyet olmamıştır. Malzeme üzerine uygulanan 250J enerjinin yaklaşık 246J'lük kısmını soğurmuştur (Şekil 9d). Sapma en yüksek değerine ulaştıktan sonra yaklaşık 240J enerji değerinde hızlı bir geri dönüş gerçekleştirmiştir (Şekil 9c). Bu azalma, darbe ucunun geri sekmesinden kaynaklanmaktadır. Malzemede oluşan hasarlarla verilen enerjinin büyük bir kısmı soğurulmuştur.

3) 350J darbe enerjisi uygulanmış kompozit malzemenin arka yüzeyinde hasar oluşmuştur. Arka yüzeydeki hasar görüntüsü beyaz bir bölge olarak görülmektedir. Malzemeye tam nüfuziyet (full-penetration) yoktur. 1,91ms civarında yük 82,89kN olarak en yüksek değerine çıkmıştır (Şekil 10a). Bu nokta ilk matris kırılmasının başladığı noktadır. Malzemede oluşan deformasyona rağmen tam nüfuziyet gerçekleşmemiştir. Numune üzerine uygulanan 350 J enerjinin yaklaşık 347 J'lük kısmını soğurmuştur. Sapma en yüksek değerine ulaştıktan sonra yaklaşık 295 J enerji değerlerinde azalmaya başlamıştır. Bu azalmanın sebebi, delinme olmadığı için darbe ucunun geri sekmesinden kaynaklanmaktadır. Malzemede oluşan hasarlarla verilen 350 J enerji soğurulmuştur (Şekil 10d).

4) 500J darbe enerjisi uygulanmış kompozit malzemenin arka yüzeyinde hasar oluşmuştur. Malzeme içinde delaminasyon hasarlarından kaynaklanan bölgeler oluşmuştur. 1,51ms civarında yük 74kN olarak en yüksek değerine çıkmıştır (Şekil 11a). Bu nokta ilk matris kırılmasının başladığı noktadır. Pik oluşmama sebebi verilen enerjinin soğurulamamış olması ve 500 J enerjinin malzemeye tam nüfuz etmesidir. 500 J civarında sapma değeri alınamamıştır. Numune üzerine uygulanan 500 J enerjisi malzeme soğuramamıştır (Şekil 11d). Bu durum darbe ucunun geri sekmemesi ve numuneyi hasara uğratmasından kaynaklanmaktadır.

5) 750J darbe enerjisi uygulanmış kompozit malzemenin arka yüzeyinde hasar oluşmuştur. 1,51ms civarında yük 77,27kN olarak en yüksek değerine çıkmıştır (Şekil 12a). Bu nokta ilk matris kırılmasının başladığı noktadır. Malzemeye uygulanan 750 J enerji soğurulamamıştır ve sapmayla ilgili artık bir veri alınmadığı için tam nüfuziyet gerçekleşmiştir. Sapma en yüksek değerlerine çıktıktan sonra eğri kuvvet eksenini kesmemiştir ve değeri ölçülememiştir (Şekil 12c). Darbe ucunun numuneye çarptıktan sonra geri sekmemesi ve malzemeyi hasara uğratmasıyla malzemeye uygulanan 750 J enerji soğurulamamıştır.

## GENEL SONUÇLAR VE İRDELEME

- 100 J enerji seviyesinde artan darbe enerjisiyle yük değerleri artmış, daha sonra kompozit malzemede delaminasyon hasarının oluşmasıyla yük değerleri hızla düşmüştür.
  - (100,250,500)J enerji değerleri malzemeye tam nüfuziyet için yeterli olmamıştır.
  - Bütün enerji seviyelerinde delaminasyon hasarı oluşana kadar geçen süre, bu noktadan sonra darbe enerjisi arttığında tekrar hasar oluşturma süresinden uzun olmuştur.
  - (100,250,500)J enerji seviyelerinde soğurulan enerji değerleri artmıştır.
  - 500J ve 750J’dehasar derecesi oranı 1’e yaklaştığı için tam nüfuziyet gerçekleşmiştir.
  - Darbe özelliklerini iyileştirmek için üretimde kullanılan matriks ve takviye oranları belirlerken dikkat edilmelidir.
  - Kumaşların kesilirken ve kalıp içerisine yerleştirilmesi sırasında, kumaşın zarar görmeden konulmasına dikkat edilmesi üretimin kalitesini artıracaktır.
- Fiber/hacim oranının ideale yakın oranlarda olabilmesi darbe özelliklerinin iyileşmesini sağlayacağı için üretim öncesi hesaplamalar dikkatli yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR / REFERENCES

- [1] Abrate S., “Impact on laminated composite materials”, “Appl Mech Rev”, 44(4):155–90, 1991.
- [2] Sutherland L.S., Soares C.Guedes, “Impact tests on woven-roving E-glass/polyester laminates”, Composites Science and Technology, 59, 1553-1567), 1999.
- [3] Yalçın, E.B., Günay, V., Marşoğlu, M., “Impact Behaviour of Composite Materials by Using Low and High Speed Impact Tests”, Advanced Materials Research, Vol.445, 189-194, 2012.
- [4] Belingardi G., Grasso F., Vadori R., “Proceedings of the international conference experimental mechanics” (XI ICEM), Oxford, UK; 279, 1998.
- [5] Belingardi, G. ve Vadori, R., (2002). “Low Velocity Impact Tests of Laminate Glass-Fiber-Epoxy Matrix Composite Material Plates”, International Journal of Impact Engineering, 27:213-229.
- [6] Belingardi, G. ve Vadori, R., (2003). “Influence of Laminate Thickness in Low Velocity Impact Behavior of Composite Material Plate”, Composite Structures, 61:27-38.
- [7] Hebert M., Rousseau C.E., Shuka A., (2008), “Shock loading and drop weight impact response of glass reinforced polymer composites”, “Composite Structures”, 84(3):199-208.
- [8] TS EN 59, (1996). Cam Elyaf Takviyeli Plastikler-Barcol Sertlik Cihazıyla Sertlik Tayini, TSE.
- [9] ASTM/D 792-08, (2008). Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM, West Conshohocken.
- [10] ASTM/D 5630, (2006). Standard Test Method for Ash Content in Plastics, ASTM, Philadelphia.
- [11] TS/EN/ISO 14125, (1998). Fibre-reinforced plastic composites-Determination of flexural properties, ISO, Philadelphia.
- [12] TS/EN/ISO 527-4, (1997). Plastics-Determination of tensile properties -Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites, ISO, Switzerland.