

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KUMAŞ VE FARKLI YÖNTEMLERLE ÜRETİLMİŞ CTP
KOMPOZİTLERİN BALİSTİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

ENVER BÜLENT YALÇIN

**DOKTORA TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MÜZEYYEN MARŞOĞLU**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KUMAŞ VE FARKLI YÖNTEMLERLE ÜRETİLMİŞ CTP
KOMPOZİTLERİN BALİSTİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ

Enver Bülent YALÇIN tarafından hazırlanan tez çalışması 18/10/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr. Volkan GÜNAY
Kocaeli Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet EKERİM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Onuralp YÜCEL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cemalettin YAMAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Filiz ÇINAR ŞAHİN
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmamın her aşamasında, disiplinli yaklaşımıyla yanımda olan, beni yönlendiren ve teşvik eden danışmanım, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU'na minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın yürütülmesinde katkılarını esirgemeyen, bilgileriyle bana yol gösteren eş danışmanım Prof. Dr. Volkan GÜNAY'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarında fikirleriyle bana yardımcı olan, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Başkanı, değerli hocam Prof. Dr. Ahmet EKERİM'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımı izleyerek, fikirleriyle çalışmalarına katkıda bulunan, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Onuralp YÜCEL'e teşekkür ederim.

Araştırmalarımın laboratuvar ve test imkanı sağlayan, görüşleriyle çalışmalarına destek veren Doç. Dr. Tarık BAYKARA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarına katkıda bulunan tüm TÜBİTAK Malzeme Enstitüsü çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek veren ve her şartta yanımda olan anneme, babama ve kardeşim Cenk'e minnetlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince özveriyle yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen eşim Nevin'e ve canım oğlum Alper'e sevgilerimi sunarım.

Ekim, 2012

Enver Bülent YALÇIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	x
KISALTMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxii
ABSTRACT	xxiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin amacı.....	5
1.3 Hipotez.....	5
BÖLÜM 2.....	7
KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI	7
2.1 Takviye Türüne Göre Kompozitler	9
2.1.1 Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitler	9
2.1.1.1 Bor Elyaflar	10
2.1.1.2 Karbon Elyaflar	10
2.1.1.3 Aramid Elyaflar.....	11
2.1.1.4 Cam Elyaflar	11
2.1.2 Parçacık Takviyeli Kompozitler	13
2.1.3 Dokuma Elyaf Kumaş Takviyeli Kompozitler	13
2.1.4 Dikişli-Çok Eksenli Elyaf Kumaş Takviyeli Kompozitler	14
2.1.4.1 Tek Eksenli Örgülü Kumaşlar.....	14
2.1.4.2 İki Eksenli Örgülü Kumaşlar	15
2.1.4.3 Üç Eksenli Örgülü Kumaşlar	15
2.1.4.4 Dört Eksenli Örgülü Kumaşlar	15
2.2 Matriks Tipine Göre Kompozitler	16
2.2.1 Organik Reçine Matriksli Kompozitler	16
2.2.1.1 Epoksi Reçine Matriksli Kompozitler.....	16

2.2.1.2	Polyester Reçine Matriksli Kompozitler	17
2.2.1.3	Vinilester Reçine Matriksli Kompozitler	17
2.2.1.4	Fenolik Reçine Matriksli Kompozitler	17
2.2.2	Silikon Reçine Matriksli Kompozitler	17
2.2.3	Metal Matriksli Kompozitler	18
2.2.4	Seramik Matriksli Kompozitler	18
2.2.4.1	Silisyum Karbür Elyaf lar	18
2.2.4.2	Alümina	18
BÖLÜM 3	.....	19
KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	.....	19
3.1	El Yatırması Yöntemi	19
3.2	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemi	24
3.3	Vakum İnfüzyon Yöntemi	24
3.4	Pultrüzyon Yöntemi	25
3.5	Püskürtme Yöntemi	26
3.6	Filaman Sarma Yöntemi	28
3.7	Otoklav Kalıplama Yöntemi	28
3.8	Reçine Transfer Yöntemi (RTM)	29
BÖLÜM 4	.....	32
KOMPOZİT MALZEMELERE UYGULANAN MEKANİK TESTLER	.....	32
4.1	Darbe Testi	32
4.1.1	Darbe Testi Çeşitleri	33
4.1.1.1	Charpy Darbe Testi	34
4.1.1.2	İzod Darbe Testi	35
4.1.1.3	Ağırlık Düşürme Testi	35
4.1.1.4	Gaz Tabancası Darbe Testi	36
4.2	Çekme Testi	37
4.3	Üç Nokta Eğme Testi	38
4.4	Sertlik Testi	39
BÖLÜM 5	.....	40
DARBE MEKANİĞİ	.....	40
5.1	Giriş	40
5.2	Darbe Hasarına Etki Eden Parametreler	41
5.3	Darbe Hasarı Türleri	42
5.3.1	Matriks Hasarı	42
5.3.2	Elyaf Hasarı	43
5.3.3	Delaminasyon Hasarı	43
5.3.4	Delinme Hasarı	43
5.4	Kompozit Malzeme Bileşenlerinin Darbe Hasarına Etkileri	45
5.4.1	Elyaf lar	45
5.4.2	Matriks	45
5.4.3	Ara Yüzey	46
BÖLÜM 6	.....	47

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
6.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	47
6.2 Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	50
6.2.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres ve El Yatırması Yöntemiyle Üretimde Kullanılan Matriks ve Takviye Malzeme Miktarları	51
6.2.2 Farklı Kumaşlar Kullanılarak Kompozit Üretimi	52
6.2.2.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle Kompozit Üretimi	52
6.2.2.2 El Yatırması Yöntemiyle Kompozit Üretimi	54
6.3 Farklı Kumaşlar ve Farklı Yöntemlerle Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi	55
6.3.1 Yoğunluk Ölçümleri	56
6.3.2 Yakma Testi	56
6.3.3 Elyaf Hacim Oranı Ölçümleri	57
6.3.4 Sertlik Ölçümleri	58
6.3.5 Çekme Testleri	58
6.3.6 Üç Nokta Eğme Testleri	59
6.3.7 Darbe Testleri	59
6.3.8 Metalografik İncelemeler	60
BÖLÜM 7	61
DENEYSEL SONUÇLAR	61
7.1 Üretim Sonuçları	61
7.2 Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	62
7.3 Yakma Testi Sonuçları	63
7.4 Elyaf Hacim Oranı Ölçüm Sonuçları	63
7.5 Sertlik Ölçüm Sonuçları	64
7.6 Çekme Testi Sonuçları	65
7.7 Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları	68
7.8 Darbe Testi Sonuçları	71
7.8.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (C1) Uygulanan Darbe Test Sonuçları	72
7.8.2 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere Uygulanan (C2) Darbe Test Sonuçları	75
7.8.3 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitler (LT1) İçin Darbe Test Sonuçları	77
7.8.4 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (LT2) Uygulanan Darbe Test Sonuçları	79
7.8.5 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitler (XT1) İçin Darbe Test Sonuçları	81
7.8.6 El Yatırması Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (XT2) Uygulanan Darbe Test Sonuçları	83
7.8.7 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu	

	Polyesterle Üretilen Kompozitlere (Q1) Uygulanan Darbe Test Sonuçları	85
7.8.8	Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (Q2) Uygulanan Darbe Test Sonuçları	86
7.8.9	Karşılaştırmalı Darbe Test Sonuçları	88
7.8.9.1	Yük-Sapma Grafikleri.....	88
7.8.9.2	Zamana Bağlı Hız ve Enerji Grafikleri.....	90
7.9	Metalografik İncelemeler	94
7.9.1	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (C1) Makroyapı İncelemeleri	94
7.9.1.1	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (C2) Makroyapı İncelemesi.....	95
7.9.1.2	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (LT1) Makroyapı İncelemesi..	96
7.9.1.3	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Polyesterle Üretilen Kompozitin (LT2) Makroyapı İncelemesi.....	97
7.9.1.4	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol Polyesterle Üretilen Kompozitin (XT1) Makroyapı İncelemesi.....	97
7.9.1.5	El Yatırması Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Polyesterle Üretilen Kompozitin (XT2) Makroyapı İncelemesi	98
7.9.1.6	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (Q1) SEM Görüntüleri.....	99
7.9.1.7	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozit (Q2) İçin SEM Görüntüleri	99
7.9.2	Darbe Testleri Sonrasında Kompozitlerin Görüntüleri	100
7.9.2.1	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (C1) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri	100
7.9.2.2	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (C2) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri.....	102
7.9.2.3	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü - İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (LT1) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri	103
7.9.2.4	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (LT2) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri	105

7.9.2.5	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (XT1) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri	106
7.9.2.6	El Yatırması Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (XT2) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri	107
7.9.2.7	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (Q1) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri	109
7.9.2.8	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (Q2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri	110
7.9.3	Darbe Testleri Sonrasında Işık Mikroskobu Görüntüleri	111
7.9.3.1	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (C1) Işık Mikroskobu Görüntüleri	111
7.9.3.2	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (C2) Işık Mikroskobu Görüntüleri	111
7.9.3.3	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (LT1) Işık Mikroskobu Görüntüleri	112
7.9.3.4	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (LT2) Işık Mikroskobu Görüntüleri	113
7.9.3.5	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (XT1) Işık Mikroskobu Görüntüleri	113
7.9.3.6	El Yatırması Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (XT2) Işık Mikroskobu Görüntüsü	114
7.9.3.7	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (Q1) Işık Mikroskobu Görüntüsü	114
7.9.3.8	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (Q2) Işık Mikroskobu Görüntüsü	115
7.9.4	Darbe Testleri Sonrasında SEM Görüntüleri	115
7.9.4.1	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (C1) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri	115

7.9.4.2	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (C2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	116
7.9.4.3	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (LT1) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	118
7.9.4.4	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (LT2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	119
7.9.4.5	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (XT1) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	120
7.9.4.6	El Yatırması Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (XT2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	121
7.9.4.7	Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (Q1) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	122
7.9.4.8	El Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (Q2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	122
7.10	Darbe Test Sonuçlarının İrdelenmesi	123
7.11	Kurşungeçirmez Yelek Üretimi.....	125
7.11.1	Kurşungeçirmez Yeleğe Balistik Test Atışları	126
7.11.2	Balistik Atış Sonuçları	127
BÖLÜM 8.....		129
SONUÇ VE ÖNERİLER		129
KAYNAKLAR.....		132
ÖZGEÇMİŞ.....		136

SİMGE LİSTESİ

°	Derece
GPa	Gigapaskal
g	Gram
g/m ²	Gram/metrekare
g/cm ³	Gram/santimetreküp
kg/ms	Kilogram/metre.saniye
mm	Milimetre
N/mm ²	Newton/milimetrekare
°C	Santigrat derece
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society of Testing Materials
C1	Cam Dokuma Kumaş ve Pres Yöntemiyle Üretim
C2	Cam Dokuma Kumaş ve El Yatırmasıyla Üretim
CTP	Cam Elyaf Takviyeli Plastik
EN	European Norm (Avrupa Standartları)
GRP	Glass Reinforced Plastic (Cam elyaf takviyeli plastik)
HV	Yüksek Hızlı (High Velocity)
ISO	Uluslararası Standard Ofisi (International Organisation for Standardization)
LT1	Tek Eksenli Kumaş ve Pres Yöntemiyle Üretim
LT2	Tek Eksenli Kumaş ve El Yatırmasıyla Üretim
Maks.	En Yüksek (Maximum)
Q1	Dört Eksenli Kumaş ve Pres Yöntemiyle Üretim
Q2	Dört Eksenli Kumaş ve El Yatırmasıyla Üretim
RTM	Reçine Transfer Yöntemi
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
TS	Türk Standartları
VARIM	Vakum Destekli Reçine Enjeksiyon Sistemi
XT1	Üç Eksenli Kumaş ve Pres Yöntemiyle Üretim
XT2	Üç Eksenli Kumaş ve El Yatırmasıyla Üretim

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Kompozit malzemenin kesit görüntüsü 8
Şekil 2.2	Sürekli elyafların örgü çeşitlerinden örnekler 9
Şekil 2.3	0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş..... 13
Şekil 2.4	Dokuma kumaş (0°/90° yönlü) ve iki eksenli dikişli kumaş (0°/90° yönlü) karşılaştırılması [12] 14
Şekil 2.5	Tek eksenli (0° yönlü) kumaş görüntüsü [12] 14
Şekil 2.6	İki eksenli (0°/90°) kumaş görüntüsü 15
Şekil 2.7	Üç eksenli (45°/90°/-45°) kumaş görüntüsü [12] 15
Şekil 2.8	Dört eksenli (0°/45°/-45°/90°) kumaş görüntüsü [12]..... 15
Şekil 3.1	Reçinenin ruloyla kumaşa emdirilmesi 21
Şekil 3.2	Vakum infüzyon yöntemi 25
Şekil 3.3	Pultrüzyon yöntemi..... 26
Şekil 3.4	Püskürtme yöntemi [15] 27
Şekil 3.5	Filaman sarma yöntemi 28
Şekil 3.6	Otoklav cihazı..... 29
Şekil 3.7	Reçine transfer kalıplama yöntemi [15] 31
Şekil 4.1	Charpy darbe testi 34
Şekil 4.2	İzod darbe testi..... 35
Şekil 4.3	Düşen ağırlık darbe testi 36
Şekil 4.4	Gaz tabancası darbe testi düzeneği [29] 36
Şekil 5.1	Vurma testi yöntemleri [15] 44
Şekil 5.2	Minimum hasar kontrol alanı[15]..... 45
Şekil 6.1	Kompozit üretim kalıbı..... 48
Şekil 6.2	Üretimde kullanılan kumaşlar, a) 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş, b) 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş, c) 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş, d) 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş..... 50
Şekil 6.3	a)Kumaş kesilmesi, b) Kalıp ayırıcı tatbiki, c) Karışım hazırlanması, d) Kalıba karışımın dökülmesi, e) İlk kat kumaşın serilmesi, f) Son katın serilmesi, g) Kalıbın kapatılması, h) Kalıptan çıkan ürün, i) Üründen numune hazırlanması 53
Şekil 6.4	Yakma testinde kullanılan numune örnekleri 57
Şekil 6.5	Yakma testinin gerçekleştirildiği Carbolite etüv 57
Şekil 6.6	HPE II Barcol sertlik ölçüm cihazı..... 58
Şekil 6.7	Çekme ve Üç Nokta Eğme testlerinde kullanılan, Zwick Z250 universal test cihazı 58
Şekil 6.8	Instron 9250 HV darbe test cihazı 59

Şekil 6.9	Darbe testlerinde kullanılan, 16mm çaplı yarıküresel darbe ucu	59
Şekil 6.10	JEOL JSM-6510LV SEM tarama elektron mikroskobu.....	60
Şekil 6.11	Stemi SV6 ışık mikroskobu.....	60
Şekil 7.1	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle; a) 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla, b) 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla, c) 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla, d) 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitler	62
Şekil 7.2	El yatırması yöntemiyle; a) 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla, b) 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla, c) 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla, d) 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitler	62
Şekil 7.3	Çekme testi sonuçları, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretim; 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş (C1); 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (LT1), 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (XT1) ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşın (Q1) karşılaştırılması	66
Şekil 7.4	Çekme testi sonuçları; el yatırması yöntemiyle üretim; 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş (C2); 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (LT2), 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (XT2) ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşın (Q2) karşılaştırılması	66
Şekil 7.5	Çekme testi sonuçlarının üretim yöntemlerine göre karşılaştırılması, a)C1-C2, b)LT1-LT2, c)XT1-XT2, d) Q1-Q2.....	67
Şekil 7.6	Eğme testi sonuçları, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretim; (C1), (LT1), (XT1) ve (Q1) kompozitlerinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 7.7	Eğme testi sonuçları, el yatırması yöntemiyle üretim; 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş (C2), 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (LT2), 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (XT2) ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşın (Q2) karşılaştırılması	69
Şekil 7.8	Eğme testi sonuçlarının üretim yöntemlerine göre karşılaştırılması, a)C1-C2, b)LT1-LT2, c)XT1-XT2, d) Q1-Q2.....	70
Şekil 7.9	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (C1) için yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J	73
Şekil 7.10	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (C1) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J	74
Şekil 7.11	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (C1) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J.....	74
Şekil 7.12	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (C2) için yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-800J	75

Şekil 7.13	El yatırmasıyla, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitler (C2) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-800J	76
Şekil 7.14	El yatırmasıyla, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitler (C2) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-800J	76
Şekil 7.15	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (LT1) için, yük-zaman grafikleri, a) 25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J	77
Şekil 7.16	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (LT1) için, enerji-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J, c)500J-900J	78
Şekil 7.17	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (LT1) için, yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J	78
Şekil 7.18	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (LT2) için, yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J, c)500J-700J	79
Şekil 7.19	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (LT2) için, enerji-zaman grafikleri, a)25J-300J, b)400J-700J	80
Şekil 7.20	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (LT2) için yük-sapma grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J, c)500J-700J	80
Şekil 7.21	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (XT1) için yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J	81
Şekil 7.22	Kapalı kalıpta soğuk presle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-dikişli kumaşla üretilen kompozitler (XT1) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-200J, b)300-900J	82
Şekil 7.23	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (XT1) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J	82
Şekil 7.24	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT2) için yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J, c)500J-700J	83
Şekil 7.25	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT2) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-300J, b)400J-700J	84
Şekil 7.26	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen	

	kompozit (XT2) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J, c)500J-700J.....	84
Şekil 7.27	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q1) için yük-zaman grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J.....	85
Şekil 7.28	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (Q1) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J.....	86
Şekil 7.29	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q1) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J.....	86
Şekil 7.30	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q2) için yük-zaman grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J.....	87
Şekil 7.31	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q2) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J.....	87
Şekil 7.32	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (Q2) için yük-sapma grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J.....	88
Şekil 7.33	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitin (C1) 900J'de ve el yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitin (C2) 800J'de yük-sapma eğrileri.....	89
Şekil 7.34	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitin (LT1) 900J'de ve el yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitin (LT2) 700J'de yük-sapma eğrileri.....	89
Şekil 7.35	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozit (XT1) 900J'de ve el yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitin (XT2) 700J'de yük-sapma eğrileri.....	89
Şekil 7.36	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozit (Q1) 400J'de ve el yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitin (Q2) 400J'de yük-sapma eğrileri.....	90
Şekil 7.37	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (C1) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği.....	90
Şekil 7.38	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (C2) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği.....	91
Şekil 7.39	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (LT1) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği.....	91

Şekil 7.40	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (LT2) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği 92
Şekil 7.41	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (XT1) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği 92
Şekil 7.42	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (XT2) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği.... 93
Şekil 7.43	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (Q1) uygulanan darbe testinde hız-enerji zaman grafiği 93
Şekil 7.44	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (Q2) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği 94
Şekil 7.45	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C1) SEM görüntüleri, a)50X, b)50X, c)500X, d)1000X 95
Şekil 7.46	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2) SEM görüntüleri,a)50X,b)150X,c)500X,d)1000X 96
Şekil 7.47	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT1) SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X 96
Şekil 7.48	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT2),SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X 97
Şekil 7.49	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (XT1) SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X 98
Şekil 7.50	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (XT2), SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X 98
Şekil 7.51	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (Q1) SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X..... 99
Şekil 7.52	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (Q2) SEM görüntüleri, a)50X b)150X, c)500X, d)1000X 100
Şekil 7.53	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C1), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri uygulanması sonrası ön-arka görüntüleri..... 101
Şekil 7.54	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitlerin

	(C1), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri.....	101
Şekil 7.55	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitlerin (C1), a)600J, b)700J, c)800J ve d)900J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	102
Şekil 7.56	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	102
Şekil 7.57	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	103
Şekil 7.58	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2), a)600J ve b)700J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri.....	103
Şekil 7.59	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitlerin (LT1) , a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri.....	104
Şekil 7.60	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi polyesterle üretilen kompozitlerin (LT1), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	104
Şekil 7.61	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (LT1) , a)600J ve b)700J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri.....	104
Şekil 7.62	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (LT2) a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	105
Şekil 7.63	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (LT2) a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	105
Şekil 7.64	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (LT2), a)600J, b)700J ve c)800J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri.....	106
Şekil 7.65	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT1), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J, darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	106
Şekil 7.66	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi polyesterle üretilen	

	kompozitlerin (XT1), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	107
Şekil 7.67	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT1), a)600J, b)700J ve c)800J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	107
Şekil 7.68	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT2), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	108
Şekil 7.69	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT2), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J, darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	108
Şekil 7.70	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT2), a)600J ve b)700J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri.....	108
Şekil 7.71	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (Q1), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	109
Şekil 7.72	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (Q1), a)200J, b)300J ve c)400J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	109
Şekil 7.73	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (Q2), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	110
Şekil 7.74	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (Q2), a)200J, b)300J ve c)400J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri	110
Şekil 7.75	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C1) 900J darbe testinden sonraki görüntüsü.....	111
Şekil 7.76	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C2) 700J darbe testinden sonraki görüntüsü	112
Şekil 7.77	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT1) 700J darbe testinden sonraki görüntüsü.....	112
Şekil 7.78	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (LT2) 700J darbeden sonraki görüntüsü	113

Şekil 7.79	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (XT1) 700J darbe testinden sonraki görüntüsü.....	113
Şekil 7.80	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (XT2) 700J darbe testinden sonraki görüntüsü.....	114
Şekil 7.81	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (Q1) 400J darbe testinden sonraki görüntüsü.....	114
Şekil 7.82	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (Q2) 400J darbe testinden sonraki görüntüsü.....	115
Şekil 7.83	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozite (C1) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)50X, b)150X, c)150X, d)500X, e)1000X, f)1000X.....	116
Şekil 7.84	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (C2) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)25X, b)50X, c)100X, d)150X, e)500X, f)1000X.....	117
Şekil 7.85	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (LT1) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)22X, b)50X, c)100X, d)150X, e)500X, f)1000X.....	118
Şekil 7.86	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (LT2) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)25X, b)50X, c)100X, d)150X, e)500X, f)1000X.....	119
Şekil 7.87	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (XT1) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)50X, b)100X, c)150X, d)500X, e)1000X.....	120
Şekil 7.88	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (XT2) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)27X, b)100X, c)150X, d)500X, e)500X, f)1000X.....	121
Şekil 7.89	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (Q1) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)50X, b)100X, c)150X, d)1000X.....	122
Şekil 7.90	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (Q2) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama	

elektron mikroskobu görüntüleri, a)50X, b)100X, c)150X, d)500X, e)500X, f)1000X.....	123
Şekil 7.91 Kurşungeçirmez yelek üretimi için hazırlanan ısıtmalı kalıp sistemi.....	125
Şekil 7.92 Kurşungeçirmez kompozit malzeme üzerine yapılan balistik atış	126
Şekil 7.93 Balistik atışlarda kullanılan 9mm çaplı Parabellum mermileri	126
Şekil 7.94 Balistik atış poligonu, kullanılan silahlar ve mermiler	127
Şekil 7.95 Balistik atış sonrası kurşungeçirmez yeleğin önden görünüşü.....	128
Şekil 7.96 Balistik atış sonrası kurşungeçirmez yeleğin arkadan görünüşü.....	128

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	Kompozit malzemelerin genel avantaj ve dezavantajları	4
Çizelge 1.2	Kompozit malzemelerin kullanıldığı sektörler ve kullanım yerleri	4
Çizelge 2.1	Bazı karbon elyafının mekanik özellikleri	10
Çizelge 2.2	Bazı kevlarların mekanik özellikleri	11
Çizelge 2.3	Bazı kompozitler ve metallerin karşılaştırmaları	12
Çizelge 2.4	Cam çeşitlerinin % ağırlık olarak bileşenleri	13
Çizelge 6.1	Polipol 3401 CTP tipi genel amaçlı polyesterin özellikleri	48
Çizelge 6.2	Üretimde kullanılan cam elyaf kumaşların özellikleri	49
Çizelge 6.3	Butanox M-60 sertleştiricinin özellikleri	49
Çizelge 6.4	Akcobalt %6 reaksiyon hızlandırıcının özellikleri	49
Çizelge 6.5	Üretimde kullanılan kodlar ve üretilen kompozitlerin tanımları	51
Çizelge 6.6	Üretimde kullanılan kumaş türleri ve kullanılan malzeme miktarları ..	52
Çizelge 7.1	Üretilen kompozitlerin ağırlıkları	61
Çizelge 7.2	Üretilen kompozitlerin hesaplanan yoğunlukları	63
Çizelge 7.3	Üretilen kompozitlerin elyaf ağırlık oranları yüzdesi	63
Çizelge 7.4	Üretilen kompozitlerin elyaf hacim oranları	64
Çizelge 7.5	Üretilen kompozitlerin Barcol sertlik sonuçları	65
Çizelge 7.6	Çekme testi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin karşılaştırılması.	68
Çizelge 7.7	Eğme testi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin karşılaştırılması...	70
Çizelge 7.8	Farklı kumaşlar ve üretim yöntemlere bağlı olarak uygulanan enerji seviyelerinde ölçülen maksimum yükteki sapmalar (değişimler).....	124
Çizelge 7.9	MKEK üretimi 9mm çaplı parabellum mermisinin özellikleri	127

**FARKLI KUMAŞ VE FARKLI YÖNTEMLERLE ÜRETİLMİŞ CTP
KOMPOZİTLERİN BALİSTİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Enver Bülent YALÇIN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU

Eş Danışman: Doç. Dr. Volkan GÜNAY

Cam Elyaf Takviyeli Plastik (CTP), takviye malzemesi olarak cam elyaf ile matriks malzeme olarak bir reçinenin birlikte kalıplanmasıyla elde edilen kompozit bir malzemedir.

CTP kompozitlerin çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur. Üretimler el yatırması gibi basit yöntemlerle yapılabildiği gibi reçine transfer yöntemi gibi seri üretim amaçlı kullanılan kalıplama yöntemleriyle de yapılabilmektedir. CTP kompozitler alternatifleri oldukları malzemelere göre, hafiflik, montaj, tamir ve bakım kolaylığı gibi avantajları nedeniyle birçok sektörde uzun yıllardır artan bir şekilde kullanım alanları bulmaktadır.

Bu araştırmada, takviye malzemesi olarak, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar kullanılmıştır. Matriks malzemesi olarak, Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyester kullanılmıştır.

Kompozit üretimleri, kapalı kalıpta soğuk pres ve el yatırması yöntemleriyle, $600\text{mm} \times 600\text{mm} \times 6\text{mm}$ boyutlarında ahşap kalıp kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Takviye malzemesi olarak, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş, matriks

malzemesi olarak, Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyester kullanılarak, kapalı kalıpta soğuk pres ve el yatırması yöntemleriyle gerçekleştirilen 8 farklı üretimden elde edilen kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; yoğunluk ölçümü için (20×20)mm boyutlarında 40 adet, yakma testi, elyaf ve matriks hacim oranı belirlenmesi için (30×30)mm boyutlarında 40 adet, sertlik ölçümleri ve çekme testleri için (250×25)mm boyutlarında 40 adet, üç nokta eğme testleri için (110×15)mm boyutlarında 40 adet ve darbe testleri için (90×90)mm boyutlarında 96 adet numune hazırlanmış, testler gerçekleştirilerek kompozitlerin dayanım özellikleri ve makroyapıları incelenmiştir.

Darbe dayanımı, malzeme tasarlanırken kullanım ömrünün belirlenmesinde önemli ancak zor tespit edilebilen özelliklerdendir. Darbe testi, bir malzemenin yüksek enerji yüklemelerine karşı dayanımını ve darbe yüklemesiyle hasar gördüğünde soğurduğu enerjiyi belirlemede kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, dört farklı kumaş (0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş) ve iki farklı üretim yöntemi (kapalı kalıpta soğuk pres yöntemi ve el yatırması yöntemi) kullanılarak üretilen polyester matriksli, cam elyaf takviyeli kompozitlere darbe testleri uygulanmıştır. Darbe testleri, yüksek hızlı darbe test cihazı (Instron Dynatup 9250 HV) kullanılarak 12 farklı enerji seviyesinde (25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J, 700J, 800J ve 900J), 16mm çapında yarıküresel darbe ucuyla ve 25836g düşen ağırlık kullanılarak yapılmıştır.

Darbe testlerinden sonra numunelerde oluşan hasarlar, tarama elektron mikroskobu ve ışık mikroskobu fotoğraflarıyla ve yüksek hızlı darbe test cihazı yazılımından (Impulse Data Acquisition) elde edilen; yük-zaman, enerji-zaman, yük-sapma ve hız-enerji-zaman eğrileri yardımıyla incelenmiştir.

Mekanik testler ve darbe testleri sonuçlarına göre, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen elde edilen kompozitin en iyi dayanım değerlerine sahip olduğu belirlenerek; aynı üretim parametreleriyle, balistik amaçlı kurşungeçirmez yelek imalatının yapılabileceğine karar verilmiş ve kurşungeçirmez yelek üretimi gerçekleştirilmiştir.

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kurşungeçirmez yeleğe, 9mm kalibreli Parabellum mermisi ile balistik atışlar gerçekleştirilmiştir.

Balistik atışlar sonucunda, kurşungeçirmez yelek malzemesinde herhangi bir delinme olmamış ve atılan bütün mermiler kompozit malzeme içerisinde durdurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: CTP kompozit, balistik, darbe testi, cam elyaf kumaş.

**RESEARCHING THE BALLISTIC BEHAVIOUR OF GRP
COMPOSITES PRODUCED BY DIFFERENT FABRICS AND
DIFFERENT METHODS**

Enver Bülent YALÇIN

Metallurgical and Materials Engineering

Phd. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU

Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Volkan GÜNAY

Glass fiber reinforced plastic (GRP) is a composite material produced by molding the glass fiber as reinforcement material and a resin as a matrix together.

There are several production methods of GRP composites. The productions could be carried out with simple methods like hand-lay-up and also serial production methods like resin transfer molding. The advantages of GRP against the alternative materials such as, corrosion resistance, low weight, easy assembling, easy repairing and maintenance properties, makes it preferably used in several fields and the usage of it is being increased by the time.

In this research, $0^{\circ}/90^{\circ}$ oriented-biaxial-glass fiber woven fabrics, $0^{\circ}/90^{\circ}$ oriented-biaxial-stitched glass fiber fabrics, $+45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ oriented-triaxial-stitched glass fiber fabrics and $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ oriented-quadraxial-stitched glass fiber fabrics were used as reinforcing material. Polipol 3401-GRP type general purpose polyester was used as matrix material.

The composite productions were achieved by using cold press closed mold method and hand lay-up method with a wooden mold which has a dimension of $600\text{mm} \times 600\text{mm} \times 6\text{mm}$.

40 samples (20mm×20mm) for determining the density, 40 samples (30mm×30mm) for ignition loss, volume and matrix fraction tests, 40 samples (250mm×25mm) for tensile tests, 40 samples (110mm×15mm) for 3-point bending tests and 96 samples (90mm×90mm) for impact tests were prepared so as to determine the properties of composites which were produced by 8 different productions by using cold press closed mold method and hand lay-up method with 0°/90° oriented-biaxial-glass fiber woven fabrics, 0°/90° oriented- biaxial-stitched glass fiber fabrics, +45°/90°/-45° oriented-triaxial-stitched glass fiber fabrics and 0°/45°/-45°/90° oriented-quadraxial-stitched glass fiber fabrics and Polipol 3401-GRP type general purpose polyester as matrix material, and tests were achieved and macro structures of the composites were analysed.

Impact strength is an important parameter to determine the lifetime of the material while designing products but hard to define. Impact test is used to define the strength to impact loads in high velocity and energy absorbed after damaging with impact loads.

In this work, impact tests were applied to the glass fiber reinforced and polyester matrix composites produced by four different fabrics (0°/90° oriented-biaxial-glass fiber woven fabrics, 0°/90° oriented- biaxial-stitched glass fiber fabrics, +45°/90°/-45° oriented-triaxial-stitched glass fiber fabrics and 0°/45°/-45°/90° oriented-quadraxial-stitched glass fiber fabrics) and two different production methods (cold pres in closed mold method and hand lay-up method). Impact tests were achieved by the high velocity impact test machine (Instron Dynatup 9250 HV) at twelve energy levels (25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J, 700J, 800J and 900J) with an impactor which has a diameter of 16mm and drop weight was 25836g.

The damages on composites after the impact tests were analysed with the help of scanning electron microscope and stereo microscope photographs and load-time, energy-time, load-deflection and velocity-energy-time curves from the software (Impulse Acquisition) of the high velocity impact test machine.

According to the mechanical and impact test results, the composite produced by cold press in closed mold method with 0°/90° oriented-biaxial-glass fiber woven fabrics and Polipol 3401-GRP type general purpose polyester, has the best strength values and it was decided that a bulletproof vest could be produced by the same production parameters and the bulletproof vest has been produced.

Ballistic shots with Parabellum 9mm calibre bullets were applied to the bulletproof vest produced by cold press in closed mold method with Polipol 3401-GRP type general purpose polyester.

The result of the ballistic shots was, the bulletproof vest had no perforation on itself and all the bullets were stopped inside it by the composite material.

Key words: GRP composite, ballistics, impact test, glass fiber fabric.

1.1 Literatür Özeti

Kompozit malzemeler, farklı malzemelerin üstün özelliklerini aynı malzemede toplamak amacıyla iki veya daha fazla ana malzeme grubuna ait malzemelerin bir araya getirilmesiyle elde edilen malzeme grubudur. Genel olarak kompozitlerin üretiminde, takviye malzemesi olarak elyaf ve matriks malzemesi olarak reçine kullanılmaktadır. Takviye olarak kullanılan elyaflardan cam elyafı ve matriks malzemesi olarak reçine kullanılarak, katmanlı olarak üretilen kompozitler, savunma ve havacılık alanlarında yaygın olarak kullanım alanları bulmaktadır.

Klasik malzemelerle karşılaştırıldığında kompozit malzemelerin, ağırlıklarına oranla daha yüksek dayanım ve rijitliğe sahip oldukları bilinmektedir. Ayrıca, kompozitlerin korozyon ve çevre şartlarına karşı dayanımı ile yorulma ömürleri de yüksektir.

Yüksek darbe dayanımı beklenen uygulamalarda, kullanılacak olan malzemenin darbe davranışlarının belirlenmesi önemlidir. Darbenin hasar oluşturan etkisi genellikle düşük ağırlıklı-yüksek hızlı veya yüksek ağırlıklı-düşük hızlı çarpmalarla oluşmaktadır. Uçaklarda rastlanan kuş çarpması, dolu çarpması veya pistte ilerlerken fırlayıp üzerlerine gelen taş parçaları nedeniyle anlık darbe yüklerine maruz kalmaları, düşük ağırlıklı ve yüksek hızlı darbe etkisine örnek olarak verilebilir. Bunun gibi darbe yüklerine maruz kalan malzemelerde, gözle görünür veya mikro seviyede hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Bu hasarlar, kompozit malzemenin dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Emniyetli çalışma şartlarının oluşması ve kullanım ömrünün artması için zayıflayan yapının belirlenerek önlem alınması gerekmektedir.

Farklı kumaş ve farklı üretim yöntemleriyle, cam elyaf takviyeli kompozitlerle ilgili çok belirgin çalışmalar yoktur. Literatürde, iki eksenli kumaşların balistik davranışlarını,

çok eksenli kumaşlara cam lifi ve karbon lifi takviyesinin darbe davranışına etkisini, cam elyaf takviyeli atkılı örme kumaşların darbe ve darbe sonrası davranışlarını, üç boyutlu çok eksenli örme yapıların darbe davranışını ve enerji sönümleme kabiliyetlerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca, tek yönlü kompozit plakaların dikişle birleştirilerek mikroyapısında nasıl değişimler gerçekleştiğini, çok eksenli örgü tiplerinin kalınlık boyunca dikilmelerinin elastik davranışlarına etkilerini, karbon-epoksi malzemedan yapılmış kompozit plakaların kalınlık boyunca dikildiğinde mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğini araştıran çalışmalar da yapılmıştır.

Bazı araştırmalarda, vurucu hızının, kütesinin, enerjisinin ve şeklinin kompozit malzemelerin darbe davranışına etkileri incelenmiştir. Bazı araştırmacılar kompozit malzemenin elyaf hacim oranının, plaka kalınlığının, plaka lif yönlenme açılarının ve plaka boyutlarının darbe davranışına etkilerini incelemiştir. Ayrıca, cam elyaf/epoksi, karbon/epoksi ve cam elyaf/karbon/epoksi birleşmesiyle üretilmiş ince ve kalın sandviç kompozitlerin farklı darbe enerjileri altındaki hasar mekanizmalarının deneysel ve simülasyon programlarıyla araştırıldığı çalışmalar da yapılmıştır.

Literatürde, balistik amaçla kullanılan kompozitlerin üretim şartları belirlenirken, malzemenin soğurduğu darbe enerjisinin bilinmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Balistik koruma amacıyla zırh yapısında kullanılan cam elyafın enerji soğurma kabiliyeti çok önemlidir. Bir mermi zırhı delmediğinde, zırhın soğurduğu enerji, merminin zırhı delmek için harcadığı enerji kadardır. Merminin zırhı delip geçtiği durumlarda ise soğurulan enerji miktarı, merminin çarpma enerjisinden, zırhı delip geçtiği an sahip olduğu enerjinin farkından hesaplanır. Çarpma anında, cam elyaflar çarpma hızının büyüklüğüne göre ani ve sert darbe yüklemelerine maruz kalmaktadır ve bu şartlar altında, yüksek çekme dayanımına sahip olan cam elyaflar daha fazla enerji soğurabilmektedir [1].

Kompozit malzemelerde çoğunlukla kullanılan takviye malzeme türü cam elyaf kumaştır. Cam elyaf kumaşın etrafını hacimsel olarak kaplayan matriks malzemesi olarak da epoksi ya da polyester kullanılmaktadır. Bu sistemde elyaf kumaş; kompozit malzemenin dayanım ve yük taşıma kapasitesini artırırken matriks malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini ve hasarı önleyerek kompozit malzemenin darbe dayanımını artırmaktadır. Ayrıca matriks malzemesi, elyaf malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak

dağıtma görevini de üstlenmektedir. Böylece elyaf malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesinin de önüne geçilmiş olmaktadır [2].

Elyaf kumaşlar ve plastik esaslı matrisler kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerin balistik koruma özelliği, kullanılan elyafın özelliklerine ve elyaftan elde edilen malzemenin tasarımına göre değişiklikler göstermektedir. Balistik korumada, elyaflar genellikle dokuma veya çok eksenli (iki eksenli, üç eksenli, dört eksenli) dikişli kumaş olarak kullanılır. Dokuma kumaşlarda, dokuma sırasında elyaflar çeşitli gerilme ve sürtünmelere maruz kalmaktadır. Bu etkileşimler sırasında, elyaf yapılarında mikro kırılmalar olabilmektedir. Elyaflarda bu mikro kırılmalar ne kadar fazla ise dayanımdaki azalma da o kadar fazla olmaktadır. Kumaşın balistik dayanımı, elyaf özelliklerinin üretilen kumaşa ne oranda geçtiği ile yakından ilişkilidir [1]. Elastiklik modülü yüksek olan ipliklerde, dokuma ya da çözgü işlemi sırasında meydana gelen iplikler arası gerilim farklılıkları yüksek uzama özelliğiyle giderilebilmektedir. Ancak böyle bir mekanizma düşük elastiklik modüllü ipliklerde hemen hemen bulunmamaktadır [3].

Balistik dayanım ile ilgili yapılan çalışmalarda, gevşek ve dengesiz dokunmuş kumaşların balistik performansı düşürdüğü gözlenmiştir. Balistik koruma gerektiren yapılarda, genellikle düz dokuma veya sepet dokuma türü kullanılmaktadır. Gevşek dokunmuş kumaşlarda mermi enerjisi kumaşa geçmekte, iplikler birbiri üzerinde itilmekte ve iplikler arasında boşluk açılarak mermi boşluğa yerleşmektedir. Eğer bir mermi küçük ve/veya çarpma belli bir açıyla geliyorsa ve/veya mermiyi karşılayan ipliklerde kopukluk varsa, mermi iplikleri koparmak yerine onları kenarlara iterek kendine bir yol oluşturmakta ve iplikler arasına girmektedir. Bu olay, Montgomery, Kirkland ve Shim tarafından yapılan çalışmalarda belirlenmiştir [1].

Balistik performansı etkileyen kumaş özelliklerinden biri de kıvrımdır. Kıvrım, ipliklerin dokuma kumaş yapısındaki yerleşimlerinden kaynaklanan dalgalanmadır. Kumaşlar elyaf ipliklerle örülürken, birbirleri üzerinden geçirilerek, birbirlerine dik şekilde dizilirler. Bu ipliklerden 90° açıyla yönlenmiş olan iplik atkı ipliği, 0° açıyla yönlenmiş olan iplik ise çözgü ipliği olarak adlandırılmıştır. Chitrangad, yüksek kopma uzamasına sahip olan atkı ipliklerini kullanmayı tavsiye etmiştir. Çünkü atkı iplikleri daha az kıvrıma sahip oldukları için çözgü ipliklerine göre daha önce kopmaktadır. Çözgü iplikleri ise sahip oldukları yüksek kıvrımın açılması için zamana ihtiyaç duymaktadır. Deneysel çalışmalar, atkı ipliklerinin kullanılmasının balistik performansı artırdığını göstermiştir [4].

Kompozit malzemelerin en önemli avantajı, farklı bileşenlerin üstün özelliklerini tek bir malzeme sisteminde bir araya getirmesidir. Kompozit malzeme üretiminde, genelde Çizelge 1.1’de verilen avantajlardan birinin veya daha fazlasının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Çizelge 1.1 Kompozit malzemelerin genel avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek dayanım ve hafiflik	Eş dağılımlı olmayan mekanik özellikler
Tasarım esnekliği	Talaşlı imalat güçlüğü
Boyutsal kararlılık ve düşük yatırım maliyeti	Yüksek hammadde maliyeti
Yüksek dielektrik ve korozyon dayanımı	Standart kalite elde edilememesi
Tek parçada kalıplama imkanı	Gevrek ve kırılğan yapı
Renk uygulanabilme ve üretim yöntemi çeşitliliği	Sınırlı raf ömrü
Kalıplama boyutunun sınırlanmaması	Tamir zorluğu

Kompozitler düşük ağırlıklı olarak üretilibilmeleri sebebiyle, uzay ve havacılık endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde gıda, otomotiv, inşaat ve denizcilik gibi sektörlerde kullanım imkanları için araştırmalar devam etmektedir. Kompozit malzemenin kullanıldığı diğer sektörlerden bazıları elektrik, ısı ve kimya endüstrileridir. Kompozit malzemelerin genel olarak kullanıldığı bazı sektörler ve bu sektörlerdeki kullanım yerleri Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2 Kompozit malzemelerin kullanıldığı sektörler ve kullanım yerleri

Sektör	Kullanım yeri
Savunma sanayi	Kurşungeçirmez paneller, miğferler
Havacılık	Uçak ve helikopter gövde parçaları, uçak burun ve kanatları
Otomotiv	Otomobil kaportaları, kamyon ve otobüs yan panelleri
Denizcilik	Yelkenli ve motorlu tekneler, filikalar, şamandıralar, iskeleler
Elektrik	Sigorta kutuları, antenler, yalıtkan platformlar, izolatörler, elektrik direkleri, kablo taşıyıcılar, merdivenler, kablo kanalları
İnşaat ve yapı	Dış ve iç cephe kaplamaları, prefabrik binalar, çatı kaplama levhaları, dekoratif uygulamalar, beton kalıplar, taşıyıcı profiller
Isı	Güneş enerjisi sistemleri, yalıtımlı tanklar ve kaplar
Kimya	Asit tankları ve kaplamaları, kimyasal tesis zemin ızgaraları

1.2 Tezin amacı

Bu tezin amacı, takviye malzemesi olarak, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve matriks malzemesi olarak, Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyester kullanılarak, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemi ve el yatırması yöntemiyle balistik uygulamalarda kullanılabilir, darbe dayanımı yüksek ve üretim maliyeti düşük kompozit malzemenin belirlenmesi amacıyla, üretilen kompozitlerin darbe dayanımlarının yüksek hızlı darbe test cihazı yardımıyla karşılaştırmalı olarak araştırılmasıdır. Üretimler sonucunda, belirlenen en uygun üretim yöntemi ve kumaş türünden hareket edilerek pratikte kullanılabilir bir kompozit malzeme üretilecektir.

Üretimlerden sonra, karakterizasyon çalışmaları yapılacak ve darbe testleri yüksek hızlı darbe test cihazında (Instron Dynatup 9250 HV) gerçekleştirilecektir. Darbe yükleme testlerinde, farklı enerji seviyeleri olarak 25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J, 700J, 800J ve 900J enerji değerleri, darbe ucu olarak 16mm çapında yarıküresel darbe ucu ve darbe test cihazında gerekli enerji seviyelerine ulaşabilmek için 25863g toplam düşen ağırlık kullanılacaktır.

Üretilen kompozit malzemeler; darbe test sonuçları, elektron mikroskobu ve ışık mikroskobundan alınan görüntüler yardımıyla incelenecektir.

1.3 Hipotez

Üretilen kompozitlerden balistik etkilere karşı dayanım beklenmektedir. Balistik enerjinin malzemeye nüfuziyetini en iyi simüle eden darbe testlerinin, üretilen kompozitler üzerindeki etkilerini, değişik enerji seviyelerinde deneyerek, kompozitlerin darbe dayanımının ve enerji soğurma kapasitelerinin karşılaştırılması sonucunda, balistik etkilere karşı çözüm olabilecek malzeme belirlenebilir. Uygulanan darbe enerjilerinin, malzeme üzerindeki etkilerini inceleyerek, darbe etkilerine karşı malzeme üretimi yapılabilir.

Bu tez çalışmasında, farklı enerji seviyelerinde (25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J, 700J, 800J ve 900J), farklı üretim yöntemleriyle (kapalı kalıpta soğuk pres ve el yatırması yöntemi) ve farklı kumaşlar ($0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç

eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar) kullanılarak üretilen kompozitlerin darbe test cihazı kullanılarak karşılaştırmaları yapılarak balistik uygulamalarda kullanılabilme imkanları araştırılarak balistik etkiye karşı malzeme geliştirilebilir.

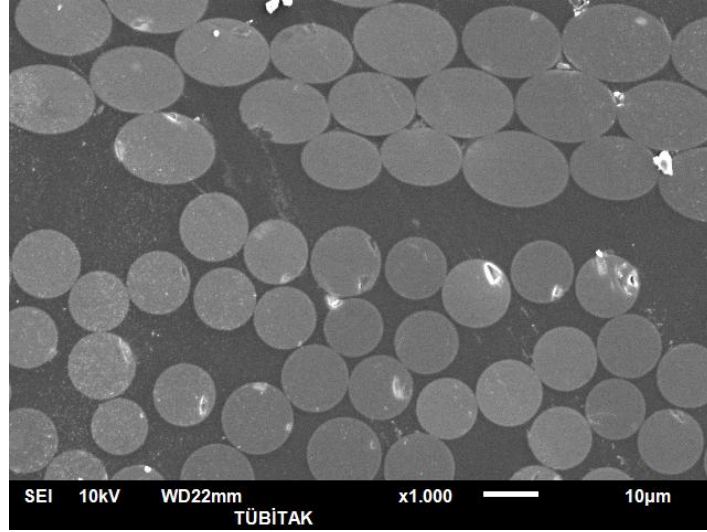
KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozitlerin yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabildiği için gruplandırmada kesin sınırlar çizmek zordur fakat matrikslere ve takviye elemanlarına göre sınıflandırma yapılabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan takviye malzemeleri, cam, karbon, aramid, bor ve alüminadır. Takviye amacıyla kullanılan elyafların türüne göre; sürekli elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, cam elyaf dokuma kumaş takviyeli ve cam elyaf dikişli çok eksenli kumaş takviyeli kompozitler olarak sınıflandırma yapılabilir [5]. Matriks malzeme ise genelde polimer esastır. Polimerler, termoset ve termoplastik olarak iki kısma ayrılır. En çok kullanılan termoset reçineler epoksi, polyester ve vinilesterdir. En çok kullanılan termoplastikler ise naylon ve polieterketondur. Kompozit malzemeler matrikse göre; organik esastı, metal ve seramik matriksli olarak üçe ayrılarak sınıflandırılabilir.

Kompozit malzemelerin özellikleri, bileşenlerinin özelliklerinin hacimsel oranları toplamı olabilir ancak bileşenler birbirini negatif olarak etkilerse, elde edilen kompozit malzemenin özellikleri, bileşenlerinin özelliklerinin hacimsel oranları toplamı ile elde edilemeyebilir. Bu nedenle, kompozit malzemeyi bir sistem olarak tanımlarken, bileşenleri ve bileşenlerinin özelliklerini belirtmenin yanında, takviye malzemesinin geometrisinin de sistem için bir değişken olarak belirtilmesi gereklidir. Takviye malzemesinin geometrisi, şekil, boyut ve boyut dağılımı ile tanımlanabilir [6].

Temel olarak takviye ve matriks malzemesinin hacimsel veya kütle oranından bahsetmek mümkündür ve karışımın ölçüsü genellikle hacimsel ya da kütle oran ile belirlenir. Matriks malzeme kompozit bir malzemede sistemi oluşturan elyafların arasına girerek elyafları bir arada tutmaktadır. Böylece plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini ve hasarı önlemektedir. Matriks malzeme kompozit

üzerine gelen yükü elyaflara homojen olarak dağıtma görevini üstlenmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Kompozit malzemenin kesit görüntüsü

Kompozit malzemedeki takviye malzemesinin ve matriks malzemesinin toplam kesit alanları, kompozitin kesit alanına eşittir. Elyaf hacim oranı, elyafların kesit alanının kompozitin kesit alanına oranıyla, aynı şekilde matriks hacim oranı da matriksin kesit alanının kompozitin kesit alanına oranıyla bulunur.

Bir bileşenin kompozit malzeme özelliklerine olan katkısı, bu hacimsel oran parametresi ile belirlenir. Konsantrasyon, genelde kompozit malzeme özelliklerini en çok etkileyen parametredir ve aynı zamanda kompozit malzemenin özelliklerini değiştirmek için kolaylıkla kontrol edilebilen bir üretim değişkenidir [6].

Konsantrasyon dağılımı, sistemin homojenliği ve üniform oluşunun bir ölçüsüdür. Homojenlik, örnek bir hacimdeki fiziksel ve mekanik özelliklerin, malzemenin ortalama değerlerinden farkının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Üniform olmayan bir sistemden kaçınılmalıdır çünkü bu özellikler malzemedeki en zayıf bağlar tarafından belirlendiğinden, mekanik özellikler düşmektedir. Mesela, üniform olmayan bir malzemede hasarlar en düşük dayanıma sahip bölgelerde başlamaktadır ki, bu da malzemenin toplam dayanımını azaltmaktadır [7].

Kompozit malzemelerin bileşenleri incelendiğinde, ortak bir dayanım mekanizması olduğu görülmektedir. Dayanım mekanizması, takviyenin geometrisine çok sıkı şekilde bağlıdır. Bu nedenle kompozit malzemeler, örnek takviye birimin geometrisi göz önüne alınarak sınıflandırılabilir.

2.1 Takviye Türüne Göre Kompozitler

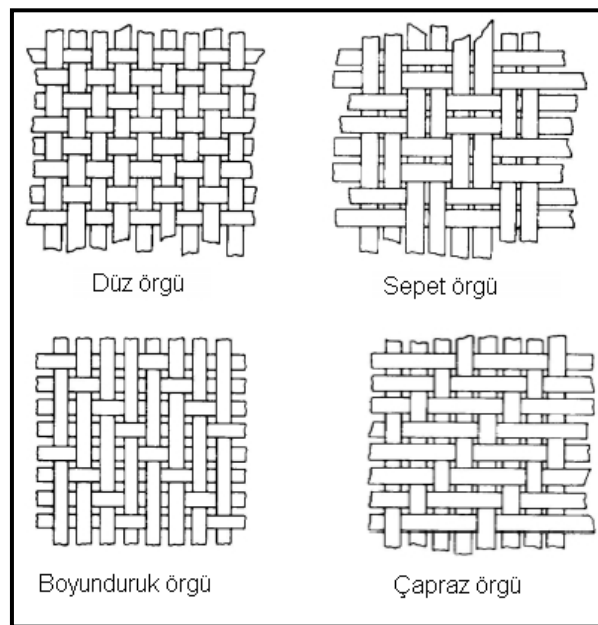
Matriksin içerisinde, yüksek dayanım sağlanması istenen yönlerde kuvvetlendirici takviye elemanı kullanılır. Kompozit malzemeler, takviye elemanlarının tip ve geometrilerine göre; sürekli elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, dokuma elyaf kumaş takviyeli, ve dikişli çok eksenli elyaf kumaş takviyeli kompozitler olmak üzere gruplara ayrılmıştır [8].

2.1.1 Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitler

Elyaf lar matriks malzeme içinde yer alıp kompozit malzemelerin en önemli dayanım elemanı olarak rol oynarlar. Malzemeler elyaf halinde üretildiklerinde, kütle halindeyken sahip oldukları dayanım değerleri çok daha yüksek değerlere çıkmaktadır. Mesela, karbon elyafların çekme dayanımı kütle halindeki grafitten elli kat, rijitliği ise üç kat daha yüksektir [5].

Elyaf şekli, uygulama alanına ve kompozit malzeme üretim yöntemine göre seçilir. Yapısal uygulamalar için filaman veya uzun elyaflar önerilir, yapısal olmayan uygulama alanlarında ise kısa lifler tavsiye edilmektedir. Enjeksiyon ve baskı kalıplamada kesikli elyaflar kullanılırken; elyaf sarma, profil çekme ve rulo sarımında ise filaman elyaflar kullanılmaktadır [6,9].

Sürekli elyaflar kullanım yerlerindeki ihtiyaca göre olarak değişik şekillerde örülebilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Sürekli elyafların örgü çeşitlerinden örnekler

2.1.1.1 Bor Elyaf lar

Bor elyaf lar, 1960'lı yıllarda üretilmeye başlanmıştır. Yüksek dayanımlı ancak pahalı bir malzeme olan bor lifi, günümüzde özellikle metal matriks elemanlarıyla birlikte kullanılmaktadır. Oldukça kalın lif özelliği gösteren bor lifi, yüksek çekme dayanımına ve yüksek elastiklik modülüne sahiptir. Bor elyaf ların silisyum karbür veya bor karbür ile kaplanmasıyla, yüksek sıcaklıklara dayanımı da artar. Özellikle bor karbür kaplanmasıyla, çekme dayanımı önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyaf ların ergime sıcaklıkları 2040°C civarındadır [10].

Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaf lar, genelde uçak yapılarında kullanılmaktadır ancak maliyetinin çok yüksek olması nedeniyle yerini karbon elyaf lara bırakmıştır.

2.1.1.2 Karbon Elyaf lar

Karbon elyaf ların en önemli özellikleri, düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek darbe dayanımı ve tokluk değerleridir. Sürünme, aşınma ve yorulma dayanımları da yüksektir. Askeri ve sivil uçakların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon elyaf lar, çeşitli plastik matrikslerle ve genel olarak da epoksi reçinelerle birlikte kullanılır. Ayrıca, alüminyum ve magnezyum gibi metal matrikslerle de kullanım imkanı bulunmaktadır [6, 10].

Yüksek sıcaklıklara dayanıklı karbon elyaf larının özellikleri, üretimdeki son işlem sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uygulamada (6-10)mm arasında değişen çaptaki elyaf ların 1000-1500 adetlik demetlerinden oluşan fitiller kullanılmaktadır. Bazı karbon elyaf ların mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [11].

Çizelge 2.1 Bazı karbon elyaf ların mekanik özellikleri

Ürün Kodu	Çekme Dayanımı [N/mm ²]	Elastiklik Modülü [GPa]	Yoğunluk [g/cm ³]
T300 3K	3650	231	1,76
T650/35 3K	4550	241	1,77
Thornel P25	1400	160	1,90
Thornel P75	930	320	1,70

Dezavantaj olarak, karbon elyaf liflerinin sınırlı uzama özellikleri, darbe dayanımı sorunlarına neden olmaktadır. Bu açığı kapatmak amacıyla daha yüksek uzama özellikli elyaf ürünleri geliştirilmektedir.

2.1.1.3 Aramid Elyaf lar

Camdan daha hafif ve daha rijit olan aramid elyaf, fiyat açısından da cam elyafları dışında kalan birçok elyaf türünden daha ucuzdur.

Aramid elyaflar; düşük basma dayanımları nedeniyle, karbon elyaflarla birlikte uçak imalatında hibrit kompozit olarak da kullanılmaktadır. Basma dayanımlarının düşük olmasının yanı sıra kevlar takviyeli, epoksi matrisli kompozitlerin nem tutma özellikleri de düşüktür [10]. Yaygın kullanılan bazı kevlarlara ait mekanik özellikler Çizelge 2.2’de verilmiştir [11].

Çizelge 2.2 Bazı kevlarların mekanik özellikleri

Aramid Türü	Çekme Dayanımı [N/mm ²]	Elastik Modül [GPa]	Uzama [%]	Yoğunluk [g/cm ³]
Kevlar 29	2920	70	3,6	1,44
Kevlar 49	3000	112	2,4	1,44
Kevlar 149	3450	179	2	1,47

2.1.1.4 Cam Elyaf lar

Cam elyafın esasını silisyum dioksit (SiO₂) oluşturmakla birlikte belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerini de içermektedir. Plastik esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılan ve ucuz olan bir takviye malzemesidir [9].

Çeşitli matris malzemeleriyle kullanılmış olmasına karşın, temel kullanım alanı cam takviyeli plastik (CTP) endüstrisidir. Cam elyafların ticari anlamda üretimi 1930’lu yıllarda İngiltere’de başlamış, 1950’lerin başından itibaren de plastik malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Cam elyafın çekme dayanımı ve birim ağırlık başına düşen dayanımı çelikten daha yüksektir. Isıl dayanımları ise çeliklerden düşüktür. Kimyasallara karşı dayanımları

yüksektir. Nem alma özellikleri düşüktür ancak cam elyaf takviyeli kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilmektedir. Elektrik iletkenliklerinin düşük olması nedeniyle elektrik yalıtımının gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

Başlangıçta, cam elyafların üretiminde alkali cam (A-camı) kullanılmıştır. Daha sonra çok az alkali içeren ve çok üstün elektriksel ve mekanik özelliklere sahip bir borsilikat camı olan E-camı kullanılmaya başlamıştır. E-camı, uygulamalarda en çok kullanılan takviye malzemelerinden biridir.

Yapılan araştırmalar sonucunda, matris malzemelerinin değişik amaçlara yönelik kullanılması sonucu birçok cam elyaf türü geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan S-camı, alüminyum ve magnezyum oksit miktarı E-camına göre daha yüksek olan bir türdür ve mekanik özellikleri de diğerlerinden daha yüksektir. Epoksi matrisli, S-cam elyaf ve E-cam elyaf takviyeli kompozitlerin, epoksi matrisli başka elyaf malzeme takviyeli kompozitlerle ve bazı metal malzemelerle karşılaştırmaları Çizelge 2.3'te, cam çeşitlerinin %ağırlık olarak bileşenleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Camın türü, işlem sıcaklığı, vizkozitesi ve çekme hızı gibi etkenler değiştirilerek, farklı çaplarda cam elyaflar üretilmektedir.

Çizelge 2.3 Bazı kompozitler ve metallerin karşılaştırmaları

	Epoksi /S-cam Elyaf	Epoksi /E-cam Elyaf	Epoksi /Karbon Elyaf	Alüminyum (7075T6)	Titanyum (6Al-4V)	Çelik (4130)
Çekme Dayanımı [N/mm²]	1751	1103	1482	572	1103	1300
Elastiklik Modülü [GPa]	59	52	145	69	114	207
Yoğunluk [g/cm³]	1,99	1,99	1,55	2,76	4,43	8,01

Çizelge 2.4 Cam çeşitlerinin % ağırlık olarak bileşenleri

Bileşen	E-cam (%)	C-cam (%)	S-cam (%)
SiO ₂	52,4	64,4	64,4
Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	14,4	4,1	25,0
CaO	17,2	13,4	-
MgO	4,6	3,3	10,3
Na ₂ O.K ₂ O	0,8	9,6	0,3
Ba ₂ O ₃	10,6	4,7	-

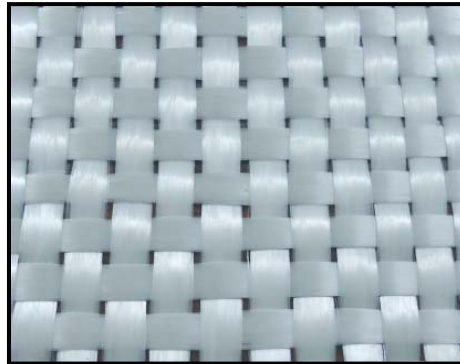
2.1.2 Parçacık Takviyeli Kompozitler

Öncelikle rijitlikte, kısmen de dayanımda artış sağlayan küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle şekillendirilerek üretilir. Bir veya iki boyutlu makroskobik veya mikroskobik büyüklükteki parçacıkların, matriks fazı ile bir araya gelerek oluşturdukları kompozit sistemlerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller, kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkiler [5].

Kompozitin dayanımı parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tipi, plastik matriks içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar, ısı ve elektrik iletkenliği sağlar. Metal matriks içinde seramik matriks içeren yapıların (cermet) sertlikleri ve sıcaklığa dayanımları üst seviyelerdedir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedir.

2.1.3 Dokuma Elyaf Kumaş Takviyeli Kompozitler

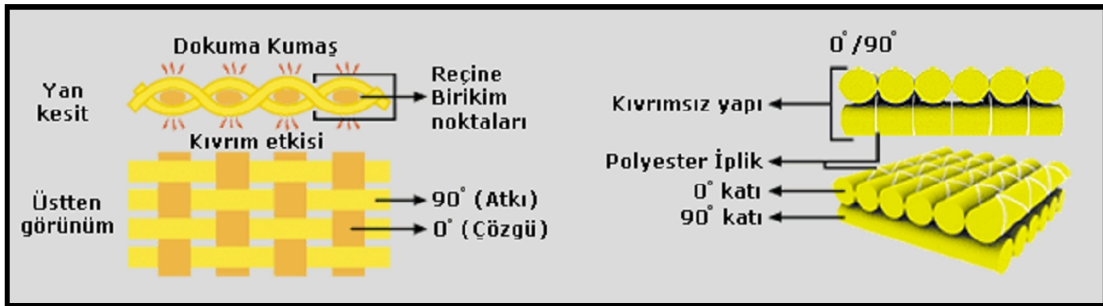
Cam elyaf dokuma kumaşlar, 0°/90° yönlü olarak üretilebilmektedir. Kıvrım etkisi nedeniyle, reçinenin biriktiği boşluklar oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş

2.1.4 Dikişli-Çok Eksenli Elyaf Kumaş Takviyeli Kompozitler

Dikişli, çok eksenli elyaf kumaşlar, elyafların dokunarak veya dikişle bir araya getirilmesiyle üretilirler. Farklı yönlerde, elyafların üst üste serilmesi, ardından dikişle birleştirilmesiyle elde edilirler. Genelde kullanılan elyaf yönleri, 0° , 45° , -45° , 90° gibi açılarda olmaktadır. Özel kullanım yerlerine göre bu açılar $\pm 30^\circ$ ve $\pm 60^\circ$ gibi yönlerde çeşitlenebilmektedir. Dikişli ve çok eksenli (multi-axial) kumaşlarda kıvrımlı yapı yoktur. Kıvrımlı yapılarda, reçine birikme boşlukları oluşmaktadır. Dikişli çok eksenli kumaşlarda, reçinenin birikebileceği boşluklar oluşmamaktadır (Şekil 2.4) [12].

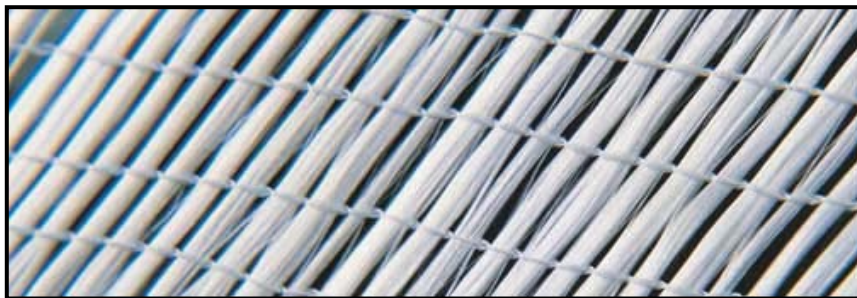


Şekil 2.4 Dokuma kumaş ($0^\circ/90^\circ$ yönlü) ve iki eksenli dikişli kumaş ($0^\circ/90^\circ$ yönlü) karşılaştırılması [12]

Çok eksenli kumaşlar, tek eksenli, iki eksenli (biaxial), üç eksenli (triaxial) ve dört eksenli (quadraxial) olarak dikişle birleştirilerek üretilmektedir. Üst üste konulan kumaşların dikilerek birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Bu tür kumaşlarda, yapı düzdür ve aralarda reçinenin birikeceği boşluklar oluşmaz.

2.1.4.1 Tek Eksenli Örgülü Kumaşlar

Tek eksenli örgülerde, elyaf yoğunluğu ağırlıklı olarak veya tamamen bir eksende toplanan yapıdadır (Şekil 2.5). Tek eksenli örgülerde yapıyı daha kararlı hale getirmek için ana fiber yönüne dik yönde elyaflar eklenebilir. Ana elyaf yönü 0° olan bir tek eksenli ürüne 90° yönlü elyaflarla takviye yapılabilir.



Şekil 2.5 Tek eksenli (0° yönlü) kumaş görüntüsü [12]

2.1.4.2 İki Eksenli Örgülü Kumaşlar

İki eksenli örgülerin başlıca iki tipi vardır. 0° ve 90° doğrultularında, $+45^\circ$ ve -45° yönlü elyaf dizilimine sahip iki katlı yapıdan oluşmaktadır (Şekil 2.6)



Şekil 2.6 İki eksenli ($0^\circ/90^\circ$) kumaş görüntüsü

2.1.4.3 Üç Eksenli Örgülü Kumaşlar

Üç eksenli örgülerin de başlıca iki türü vardır. $+45^\circ$, 90° , -45° ve $+45^\circ$, -45° , 0° yönlü elyaf dizilimine sahip üç katlı yapıdan oluşmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Üç eksenli ($45^\circ/90^\circ/-45^\circ$) kumaş görüntüsü [12]

2.1.4.4 Dört Eksenli Örgülü Kumaşlar

Dört eksenli örgülerde, dört ana eksenle elyaf dizilimi bulunmaktadır ($+45^\circ$, 90° , -45° , 0°). $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ yönlü elyaf dizilimiyle dört katlı yapıdan oluşmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Dört eksenli ($0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$) kumaş görüntüsü [12]

2.2 Matriks Tipine Göre Kompozitler

Katılaştığında içine yerleştirilmiş takviye malzemesini belli bir doğrultuda tutacak ve toplam dayanımda artışı sağlayacak, üniform dolgu malzemesine matriks denir. Matriksler, elyaflara göre genellikle düşük yoğunluk, rijitlik ve dayanıma sahiptir. Matriksler, kırılğan, elastik veya plastik özelliklerde olabilir [13].

Matriks, kompozit sistem içinde elyafları bir arada tutar, malzeme üzerine gelen yükleri elyaflara dağıtır ve elyafları çevresel etkilerden korur.

Kompozit malzemelerde yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matriksin mekanik özelliklerinin rolü önemlidir. Mesela, matriks malzemesi olmadan bir elyaf demeti düşünüldüğünde, yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınır. Matriksin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit dağılımını sağlamaktadır.

Matriksin dayanımı ve matriks ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise, elyaf ya da matrikste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ dayanımı çok düşükse, elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranarak kompozit malzeme zayıflamaktadır. Orta seviyede bir bağ dayanımında ise, elyaf veya matriksten enlemesine başlayan bir çatlak elyaf/matriks ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerlemektedir. Bu durumda kompozit, sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan organik matrikсли malzeme tipleri genel ve yaygın olarak; epoksi, polyester, vinilester ve fenolik reçinelerdir. Bunlar dışında silikon ve metal matriksler de kullanılmaktadır.

2.2.1 Organik Reçine Matrikсли Kompozitler

2.2.1.1 Epoksi Reçine Matrikсли Kompozitler

Epoksiler, iki veya daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşur. Epoksilere uygulanan kür işlemleri ile yüksek sıcaklıklara dayanımları artırılabilir. Çekmesi %2'den azdır. Epoksi reçinelerin avantajları olarak, elyaf yapılarda yüksek bağ dayanımı sağlamaları, yüksek aşınma direncine sahip olmaları, uçucu olmamaları ve kimyasal dayanımlarının yüksek olması, kopma dayanımlarının yüksek olması, geniş bir sıcaklık aralığında

sertleşebilme özellikleridir. Dezavantajları ise, polyesterlere göre maliyetlerinin yüksek olması ve polyesterlere oranla yüksek viskoziteye çok uygun olmamasıdır.

Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerle birlikte kullanılabilme serbestliği nedeniyle, özellikle uçak endüstrisinde, genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılmaktadır.

2.2.1.2 Polyester Reçine Matrisli Kompozitler

Polyester reçineler, cam elyaf takviyeli plastiklerin üretiminde yaygın olarak kullanılan matris malzemelerindedir. Kür işlemine tabi tutularak, matrisin esnekliği iyileştirilerek kopma dayanımı artırılabilir. Polyester reçinelerin ana avantajları olarak, takviye malzemelerin nemini dışarı kolayca atabilmesini sağlayan düşük viskozite, düşük maliyet, iyi çevresel dayanımları ve çeşitli uygulamalarda geniş kullanım alanı ve kolay üretim şartları sayılabilir.

2.2.1.3 Vinilester Reçine Matrisli Kompozitler

Epoksi reçinelerin avantajları ile doymamış polyesterlere özgü kolay üretim ve hızlı sertleşme özelliklerini bir araya getirebilmek üzere geliştirilmiştir. En önemli avantajları elyaf ve matris arasında iyileştirilmiş bir bağ dayanımına sahip olmalarıdır. Bu plastikler, kimyasal dayanım gerektiren kimya tesislerinde, borularda ve depolama tanklarında kullanılmaktadır.

2.2.1.4 Fenolik Reçine Matrisli Kompozitler

Fenolik reçineler, uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Kompozit malzeme içinde sertleşme ısı enerjisiyle gerçekleşmekte olup laminasyon ve kalıplamada basınç gerekmektedir. Fenolik reçinelerin ısı stabiliteyi, elektrik özellikleri, suya ve alkaliler dışındaki kimyasal maddelere dayanımları iyidir.

2.2.2 Silikon Reçine Matrisli Kompozitler

Silikon reçineler, diğerlerinden farklı olarak yapılarında karbon yerine inorganik esaslı silikonlar bulunduran malzemelerdir. Mekanik ve elektriksel özelliklerini çok az değişikliklerle 250°C sıcaklığa kadar koruyabilen silikon esaslı reçinelerin kullanımları, mekanik dayanımlarının diğer reçinelere göre daha düşük ve maliyetinin de genelde daha yüksek olması nedeniyle kısıtlıdır. Süpersonik arabalarda kullanım imkanı vardır.

2.2.3 Metal Matriksli Kompozitler

Metaller, kompoziti sürekli bir arada tutan ve bu bütünlük içinde elyafla birlikte malzemenin özelliklerini belirleyen matriks malzemesi olarak, taşıyıcılık açısından, özellikle plastik matriks malzemesine kıyasla yüksek dayanıma sahiptir. Üretimleri zor olup maliyeti yüksek olmasına karşın, metal matriks malzemesi kompozitin tokluğunu önemli ölçüde arttırmakta ve yüksek sıcaklık etkisindeki uygulamalara imkan tanımaktadır. Metallerin matriks malzemesi olarak kullanılması, yine metal olan ince elyafların üretimiyle başlamıştır.

Kompozit üretiminde, metal matriks malzemesi olarak bakır, alüminyum, titanyum, nikel ve gümüş gibi metaller başta gelmektedir. Matriks malzemesi ergimiş halde, moleküler yapıda, levha veya ince tabaka şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kaplama ve haddeleme yöntemleriyle birleştirilmektedir. Metal matriks içinde en kolay kullanılabilen elyaf ise bor elyafıdır.

2.2.4 Seramik Matriksli Kompozitler

2.2.4.1 Silisyum Karbür Elyafı

Silisyum karbür elyaflar; silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile (0,1-0,14)mm çap aralığında üretilebilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri, bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaflar, 1370°C sıcaklıkta dayanımının sadece %30'unu kaybeder. Bor elyaf için ise bu sıcaklık 640°C'dir. Genellikle jet motoru parçalarında, titanyum ve alüminyum alaşımli matriks ile birlikte kullanılırlar. Silisyum karbür elyaflar, bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptir [10,14].

2.2.4.2 Alümina

Alümina, alüminyum oksittir (Al_2O_3). Elyaf formundaki alümina 0,02 mm çapındaki alümina flamanın silisyum dioksit (SiO_2) ile kaplanmasıyla elde edilir. Bu malzemeler, yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadır [10].

KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Beklenen özelliklere uygun kompozit malzeme tasarımında, üretim maliyeti ilk düşünülmesi gereken parametrelerden biridir. Üretim maliyetini, performans, tasarım, malzeme seçimi ve şekil verme yöntemi doğrudan etkilemektedir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin uygun şekilde seçimi, üretim maliyetini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Tasarım ile maliyetin düşürülmesi her zaman geçerli bir yöntem olup, göz önünde bulundurulmalıdır. Dayanım ve tokluk, düşük ağırlık, yüksek sıcaklıkta kullanılabilirlik, yorulma dayanımı, düşük bakım masrafı, korozyon dayanımı ve tamir kolaylıkları gibi etkenler birlikte düşünülerek; en düşük maliyetle, en kolay üretilen bir kompozit üretim planı yapılmalıdır.

Kompozit malzemelerin üretiminde, el yatırması, kapalı kalıpta soğuk/sıcak pres, vakum infüzyon, pultrüzyon, püskürtme, filaman sarma, otoklav ve reçine transfer gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

3.1 El Yatırması Yöntemi

Basınç uygulaması olmadan reçinenin elyaflara yedirilmesi ile altındaki kalıbın şeklinin verilmesi işlemidir. Bu işlem birkaç aşamada yapılır. Bunlar genel olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Uygun malzemelerin seçilmesi,
- Gerekli miktarların hesaplanması,
- Kalıbın hazırlanması,
- Jelkot uygulaması (isteğe bağlı),

- Elyafın yeterli reçineyle ıslatılması,
- Kalıptaki kompozitin k rleşmesi için uygun şartlarda bekletilmesi,

olarak sıralanabilir.

El yatırması yöntemi ile üretilcek kompozitteki bileşenleri oluşturan malzemelerin miktarları ve eşitleri belirlendikten sonra gerekli olan kalıp hazırlama işlemine geçilir.

Üretimde, kalıbın temiz olması çok önemlidir. Kalıp yüzeyinde çizik, toz ya da yağ kalıntısı bulunmamalıdır. Eğer kalıp daha önce kullanılmışsa üzerindeki kalıp ayırıcı kalıntılarında da arındırılmalıdır. Kalıp ayırıcı, üreticinin verdiği kullanım kılavuzuna göre yumuşak bir sünger veya fırça yardımıyla kalıp yüzeyine uygulanabilir. Sürme işlemi bittikten sonra kullanma kılavuzundaki bekleme süresine bağlı kalınarak kurumaya bırakılmalıdır. Aksi taktirde gerektiği gibi bir yüzey oluşmaz ve ürün kalıba yapışabilir.

Çalışma şartları olarak ideal ortam sıcaklığı en az 10°C olmalıdır. Eğer sıcaklık bu değerin altındaysa, katalizör veya sertleştirici oranı artırılmalıdır. Eğer sıcaklık 5°C veya altındaysa, ortam şartları iyileşince üretime başlamak gereklidir. Üretim sırasında havanın yeteri kadar kuru olması gereklidir. Havadaki nemden dolayı bulunan su zerrecikleri, reçinenin tam olarak görevini yapmasını engellemektedir. Bu durumun oluşturacağı hatalar kimyasal katkılarla bile iyileştirilemez.

Jelkot uygulamasında, ürünün kalıptan istenilen renkte çıkması sağlanır. Böylece kalıplama işleminden sonra ürün hazır olur. Bunun için özel jelkot reçinesi kullanılmalıdır. Eğer renksiz bir ürün elde edilmek isteniyorsa sadece bu reçine kalıba sürülür. Ancak renkli bir ürün isteniyorsa reçine uygun renk pigmentiyle hava kabarcıklarını önleyecek şekilde karıştırılır. Eklenen pigmentler reçineye iyice karıştırılmalıdır. Reçine katalizör kullanarak aktif hale getirildikten sonra jelkot geniş ve yumuşak bir fırça ile kalıp üzerine tek yönde tek kat şeklinde sürülmeli, fırça aynı anda hem ileri hem de geri yönde kullanılmamalıdır. Yatay yüzeylerde jelkot yüzey üzerine dökülerek fırça ile dağıtılabilir. Sonuç olarak ulaşılması geren kalınlık (0,25-0,50) mm arasında olmalıdır. İlk kat atıldıktan sonra ikinci kata geçilmeden önce alttaki jelkotun donması veya dokunulduğunda yapışkanlık özelliğini kaybetmiş olması gereklidir. Ayrıca bu dokunma testi, ürünün kullanılmayacak kısmında yapılmalıdır; aksi taktirde jelkot donmamışsa üründe parmak izi çıkabilir. Bundan sonraki işlemlere geçmeden jelkotun donduğundan emin olunması gerekir.

Kompozit üretiminde kullanılacak olan matriks malzemesi üreticiden alındığında beraberinde genelde hızlandırıcı da verilir. Fakat olmadığı durumlarda; ilk önce üreticinin tavsiye ettiği oranda hızlandırıcı reçineye karıştırılır. Bu malzemeler reçineye katıldıktan sonra çok iyi karıştırılmalı ancak bu işlem sırasında reçine kabının çalkalanmaması gerekir. Çünkü hava kabarcıkları tekrar matriks malzemesine girebilir. Eğer gerekiyorsa, reçine kabı bir süre durgun olarak bekletilerek hava kabacıklarından arındırılmalıdır.

Katalizör (sertleştirici), reçine sürülmeye hazır hale geldikten sonra eklenmelidir. Çünkü katalizör eklendikten sonra reçinenin sınırlı bir raf ömrü kalır. Katalizörün katılma oranı çok kritik değildir, fakat üreticinin tavsiye ettiği oranı kullanmak gerekir. Hızlı bir jelleşme zamanı isteniyorsa ya da üretim yapılan ortam sıcaklığı düşük ise katalizör malzeme oranı artırılabilir; ya da jelleşme zamanı uzatılmak isteniyor veya ortam sıcaklığı yüksek ise katalizör malzeme oranı azaltılabilir.

Jelkot jelleştikten sonra, gerekli miktarda matriks malzemesi ve sertleştirici karıştırılarak bir kat reçine, jelleşmiş jelkot üzerine sürülür. Daha sonra bunun üzerindeki yüzeye uygun kesilmiş takviye malzemesi yatırılır. Sert fırça ile yatırılmış takviye malzemesi üzerine, nokta vuruş hareketleri yapılarak takviye malzemesinin matriks malzemesiyle ıslanması sağlanır. Daha sonra rulo kullanılarak, takviye malzemesinin matriks malzemesini iyice emmesi sağlanır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Reçinenin ruloyla kumaşa emdirilmesi

Son olarak, üretim bittikten sonra, kenarlara taşmış reçine, jelleşmeden keskin bir bıçak ile alınabilir. Burada dikkat edilmesi gereken iki önemli konu vardır:

İlk olarak, tüm takviye malzemesinin matriks malzemesini emdiğinden emin olunmalıdır. Bu durum takviye malzemesi üzerindeki beyazımsı rengin şeffafa dönmesi ile anlaşılır. Dolayısıyla kompozit üzerinde beyazımsı bir renk kalmamalıdır.

İkinci olarak takviye malzemesi, matriks malzemesi içine iyice bastırılmış olmalıdır. Laminasyon içinde hiç hava kalmamalıdır. Aksi halde, hava kalan kısımlarda kompozit zayıflık gösterir.

Üretimlerde takviye malzemesi olarak cam elyaf kumaş çeşitleri ve matriks malzemesi olarak reçine çeşitleri kullanılmaktadır. Cam elyafın, kıvrımlı yüzeylere yatırılması sorun çıkarmaz, ancak sert köşeleri olan kalıplarda elyafın istenilen şekilde yatmaması halinde, elyaflar şerit halinde kesilip yatırılabilir.

İlk kat cam elyaf kumaşını kullandıktan sonra diğer kata geçmek için reçinenin donmasını beklemeye gerek yoktur. Hatta katları, reçine ıslakken atmak daha iyidir. Sonuçta üretimin daha homojen olması sağlanır. Buna karşılık bazı istisnalara da dikkat etmek gerekir. Mesela üst üste fazla elyaf kullanılan durumlarda malzeme özelliğine bağlı olarak kalınlıkta yaklaşık (5-7)mm ulaşacak üretime izin verilir. Aksi takdirde ortaya ekzotermik bir reaksiyon çıktığından ürün aşırı ısınır ve bu da istenmeyen sonuçlara yol açar. Bu gibi kalın kompozitlerde, ilk katların jelleşmesi beklenip ya da kürleşmesinden sonra tekrar işe devam edilebilir.

Kürlenmeden önce kalıptan çıkarılan üründe çarpılmalar meydana gelebileceğinden dolayı ürün, kalıptan çıkarılmadan önce yeterince beklenmelidir. Kritik olmayan laminasyonlarda bile en az 24 saat beklenmelidir ve ürünün önemine göre bu süre iki katına kadar çıkarılabilir.

Ürünün kalıptan çıkarılması işleminde ise, kalıp ayırıcı ne kadar iyi kullanılmış olursa olsun, ürün kalıptan kolay bir şekilde çıkmaz. Genellikle kalıp, kenarlarından ucu sivri bir malzeme ile zorlanarak açılır. Fakat bu işlemi yaparken çok özenli davranılmalı, ürün ve kalıp yüzeylerine zarar verilmemelidir. Bunun için kama veya benzeri sivri uçlu bir alet, ürün ile kalıp arasına sokulup bütün kenarların açılması sağlanır ve bu sırada ürün yavaş yavaş kalıptan kurtulur. Bazen ayırmak için kullanılan aleti tüm kenar boyunca gezdirmek gerekirken, kalıp şekline bağlı olarak birkaç harekette de ürün kalıptan ayrılabilir. Bununla birlikte, ürünün kalıba tamamen yapışmış olma ihtimali de söz konusudur. Bu durumda ürünü kalıptan ayırmak için kalıba ve ürüne en az hasarı

verecek şekilde çalışma yapılmalıdır. Durum daha da kötü ise şartlar gözden geçirilip ürün ya da kalıptan birini feda etmek gerekebilir.

Ürün kalıptan çıkarıldıktan sonra kürlenip kürlenmediğini basit bir test ile kontrol edebiliriz. Madeni bir parayı, çıkan ürünün üzerine hafifçe vurduğumuzda çıkan ses yankılanıyorsa ürün kürlenmiştir. Ancak düzgün bir ses çıkmıyorsa, mümkünse tekrar kalıbın içine konulup çarpılmadan kürlenmesi sağlanmalıdır. Eğer ürün dışarıda kürlenirse, çarpılmalar meydana gelebilir.

Reçineler içinde polyesterler epoksilere göre düşük maliyetlidir. Epoksiler daha fazla formülasyon gerektirir. Polyesterler, birçok farklı ayırıcı tarafından kalıptan kolaylıkla çıkartılabilir. Epoksilerin kalıptan çıkabilmesi için ise yüksek yapışma özelliğinden dolayı özel ayırıcı ve teknikler gerektirir.

Her iki reçine de yüksek renk seçeneğine sahip olmakla birlikte hafif ve yüksek dayanımlı malzemelerdir. Düşük maliyetli kalıplar üzerinde, geniş parçalarda üretimleri kolaydır.

Diğer yöntemler, çok yüksek maliyetli ya da parça boyutu büyük olmasından dolayı uygulanamadığı durumlarda, büyük ve az üretilen parçaların imalatında el yatırması yönteminin bu özellikleri ön plana çıkar. El yatırması yöntemi, cam elyaf takviyeli reçine matrisli kompozitleri üretmenin en etkili ve kolay yoludur.

El yatırması yönteminin avantajları olarak; uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan bir yöntem olması ve tecrübe edinilmiş olması, üretimde kolaylık sağlamaktadır. Üretim tekniğinin öğrenilmesi kolaydır. Eğer oda sıcaklığında kür olan reçine kullanılıyorsa kalıplama maliyeti düşüktür. Çok geniş malzeme ve tedarikçi seçeneğine sahip olması da diğer bir avantajıdır. Dezavantaj olarak ise; reçine karışımının uygunluğu, tabakaların içeriği ve kalitesi işlemi yapan kişinin tecrübesine bağlıdır.

Üretimde, reçineyle ilgili sağlık ve güvenlik önlemlerini almak gereklidir. Reçinenin düşük moleküler ağırlığa sahip olması onun daha zararlı olduğu anlamına gelir. Polyester ve vinilesterden zehirli sitren gazı açığa çıkmaktadır ve sitren miktarını yasal oranlara çekmek, pahalı çekme sistemleri olmaksızın oldukça zordur.

Tipik kullanım alanları, standart rüzgar türbin pervaneleri, imalat tekneleri ve mimari kalıplama işleridir [15].

3.2 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemi

Soğuk pres veya "ıslak pres yöntemi" takviye malzemelerin cam elyaf keçelerin ve/veya cam dokumaların parça şekline göre kesilerek kuru kalıp içine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilen bir yöntemdir.

Bu yöntemde genellikle hidrolik pres kullanılarak, kalıp içerisine el yatırmasıyla uygulanan reçine ve takviye malzemeleri, belirli bir basınç altında tutularak, kalıp boşluğunda malzemenin şekil bozulması olmadan kürleşmesini hedeflemektedir. Üretim sonrasında yapılan son kürlenme aşamasından sonra malzemede dayanım değerleri artmaktadır.

3.3 Vakum İnfüzyon Yöntemi

Vakumlanmış ortam içerisinde reçinenin ilerlemesi prensibiyle çalışan bu yöntemde, üretim için hazırlıkların tamamlanmasının ardından üretimin el değmeden gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu üretim yönteminde reçine sarfiyatı kontrol altında tutulabilmektedir. Aynı şartlar altında üretilen ürün için her seferinde aynı miktar reçine sarfiyatı olmaktadır. El yatırmasındaki gibi kişiye bağlı olarak farklı miktarlarda reçine sarfi olmamaktadır. Reçinenin elyaf yüzeyine dağılımı ve kumaş tarafından emilmesi her yerde aynı olduğundan, malzeme üzerinde reçine birikintisi veya kumaşların katlanması problemleri olmamaktadır. Böylece ürünün yüzey kalitesinde ve yapısında homojen bir dağılım elde edilebilir. Üretim sırasında vakum naylonu altından reçine ilerlediği için dışarıyla herhangi bir temas olmaz. Ayrıca reçineden dışarı çıkan zehirli gazların da etrafa yayılması önlenmiş olmaktadır.

Vakum uygulamasıyla fazla reçinenin dışarı çekilerek kompozit yapı içindeki elyaf/reçine oranının daha yüksek olması sağlanmaktadır. Ayrıca vakum uygulaması sayesinde reçinenin bütün katmanlar içine tam olarak nüfuz etmesi sağlanabilmekte, bu şekilde hava kabarcıklarından arınmış katmanlı bir yapı üretimi mümkün olmakta ve bütün bölgelerin reçineyle ıslatılmış olması garanti edilebilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Vakum infüzyon yöntemi

Bu yöntemin avantajları olarak; geleneksel el yatırması yönteminden daha yüksek elyaf oranlı lamineler üretilmektedir. El yatırması yöntemine göre daha az boşluğa sahip parçalar elde edilir. Elyaflar boyunca, basınç ve reçine akışına bağlı olarak daha iyi elyaf/reçine oranı sağlanır. Vakum torbası kurlenme sırasında ortaya çıkan zararlı gazları tuttuğu için sağlık ve güvenlik açısından daha kullanışlıdır.

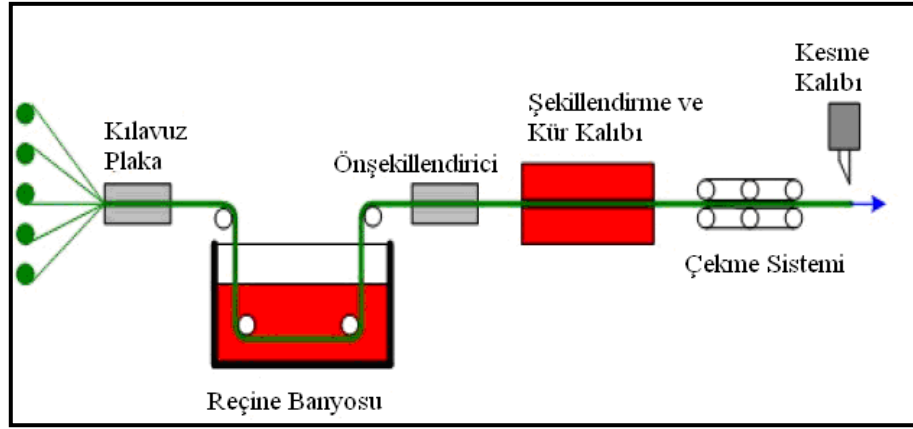
Yöntemin dezavantajı olarak ise, ek işlemler hem yapılan işin, hem de kullanıldıktan sonra atılabilen torbalama malzemelerinin maliyetini artırmaktadır. Çalışan kişinin yapılan iş ile ilgili ustalığa sahip olması gerekir. Reçine içeriğinin kontrolü ve karıştırma işlemi ancak usta operatörler tarafından sağlanabilmektedir [15].

3.4 Pultrüzyon Yöntemi

Pultrüzyon, üniform kesit alanında takviye edilmiş malzemenin sürekli üretim yöntemidir. Takviye, her bir elyafın iyice ıslanması için sıvı reçine banyosuna yönlendirilir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi, reçine banyosundan geçirildikten sonra (120-150)°C arası sıcaklıkta ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleşmesi sağlanır. Malzeme ısıtılmış kalıba ilerlerken reçine jel formuna ve daha sonra da kurlenmiş rijit bir plastiğe dönüşür.

Kalıplar genellikle krom kaplanmış çelikten yapılmaktadır. Kalıp, elyafların emdirilmesini sağlar ve reçine içeriğini kontrol eder ve son olarak da malzemenin kurlenmesini sağlar. Bir çekme cihazı kurlenmiş malzemeyi tutarak kalıptan tamamen çıkarır.

Ürün çekiciden geçtikten sonra istenilen uzunlukta kesilir. Pultrüzyon, oldukça ekonomik bir yöntemdir ve uzun, üniform şekiller için ideal bir üretim yöntemidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Pultrüzyon yöntemi

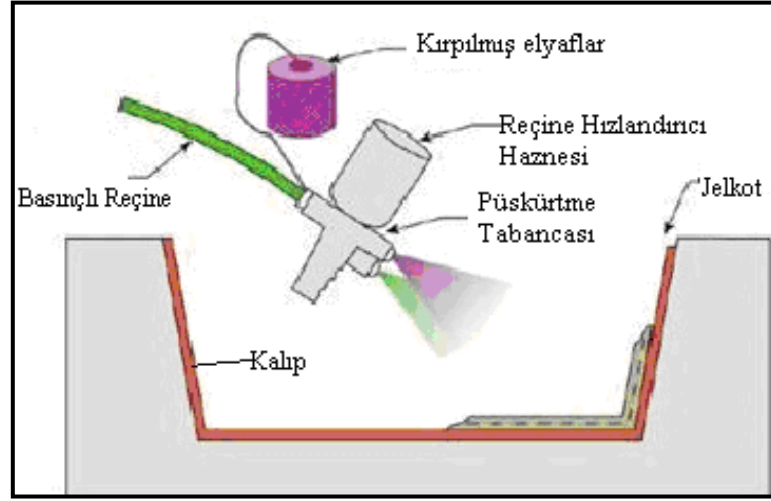
Bu yöntemle; kompozit borular, profiller, levhalar gibi malzemeler üretilir ve bu malzemeler istenilen uzunluklarda kesilerek olta kamışı, golf sopası, pencere kasası, merdiven, parmaklık gibi ürünler elde edilir. Bu yöntemde epoksi, vinilester, polyester ve fenolikler en yaygın kullanılan matris malzemeleridir. Sürekli elyaflar kullanıldığı için kompozitlerin, elyafların yönlendirildiği doğrultuda mekanik özellikleri çok iyidir. Dokuma kumaşlar kullanılarak tek yöndeki mekanik özellikler de iyileştirilebilir.

3.5 Püskürtme Yöntemi

Bu yöntemde kırılmış elyaflar ve reçine kalıp içine ya da dışına düzgün bir şekilde püskürtülür. Elyafları kırmak ve kırılmış elyafları, reçine-katalizör püskürtme akımına ilave etmek için özel bir aparat kullanılır. Reçine ve katalizör tek bir tabanca içerisinde karıştırılabilir ya da iki farklı tabancadan düzgün bir akım içerisinde püskürtülebilir. Püskürtme işleminden sonra, elyaf ve reçine karışımı içinde kalan hava, rulo yardımıyla alınır. Düzgün bir yüzey elde etmek için kumaşlar aşağıya doğru yatırılır. Kürleme oda sıcaklığında gerçekleşir ya da ısı ile hızlandırılabilir. Püskürtme yönteminde, polyester ya da epoksi reçineler kullanılır (Şekil 3.4).

Birçok açıdan püskürtme yöntemi el yatırması yöntemine benzerdir. Her iki işlemde de içeride kalan hava tamamıyla dışarı çıkartılmalı, reçine ve katalizör çok dikkatli bir şekilde karıştırılmalı ve kürlenmelidir. Bununla birlikte püskürtme yönteminde önceden şekil verilmiş yapılara veya benzer güçlendiricilere ihtiyaç duyulmaz ve ana takviye

olarak sadece kırılmış elyaflar kullanılır. Bunun anlamı, elyaf ve reçine oranının püskürtme yöntemindeki en büyük değişken olmasıdır [15].



Şekil 3.4 Püskürtme yöntemi [15]

Püskürtme yönteminin önemli avantajları, uzun yıllardır yaygın olarak kullanılması ve düşük maliyetli kalıplama gerektirmesidir [15].

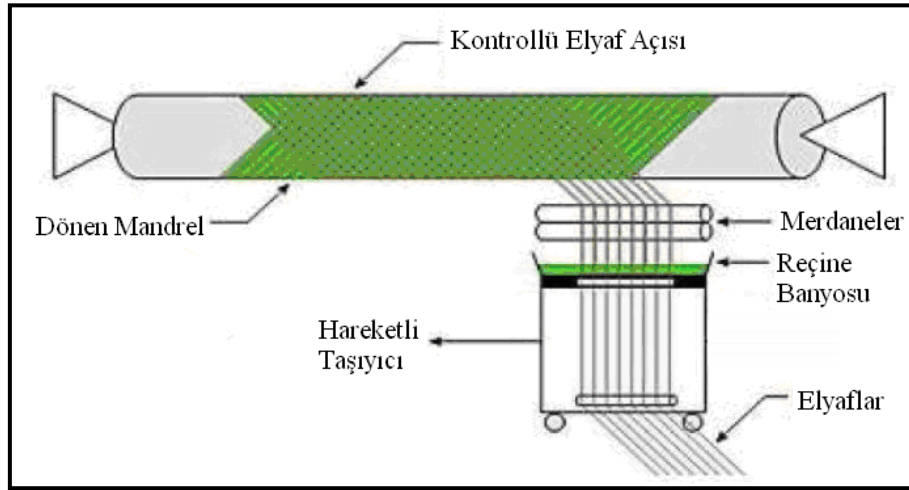
Bu yöntemin dezavantajları olarak da, laminelerin daha fazla reçine emmesi ile birlikte daha ağır olması ve işlem esnasında sınırlı mekanik özelliklere sahip olan kırılmış elyafların kullanılmasıdır. Kullanılan reçinenin püskürtülebilecek yoğunluğa sahip olması gereklidir. Püskürtme yönteminde kullanılan reçinelerin yüksek sitren içermesi onları daha zararlı yapar ve düşük viskoziteleri ile malzemeleri delme eğilimleri daha fazladır. Sitren kullanımını yasal seviyelere çekme işlemi de zordur [15].

Tipik kullanım alanları basit duvarlar, hafif yüke maruz kalan yapısal paneller, karavan gövdeleri ve buna benzer alanlardır.

El yatırması ile püskürtme işlemleri arasındaki en büyük fark güçlendirme yönüdür. El yatırması yönteminde genellikle yönlendirilmiş güçlendirme kullanılırken nadiren rastgele güçlendirme kullanılır. Püskürtme yöntemindeki güçlendirme ise kullanılan kırılmış elyafların doğal haline bağlı olarak rastgele gerçekleşir. Kısacası el yatırması yöntemi püskürtme yöntemine göre daha fazla kontrol sağlar. Verilen yön ya da yönler ile ürün, daha güçlü yapılabilir aynı zamanda önceden şekil verilmiş kumaşların kullanılmaya başlanmasından bu yana ürün kararlılığı yükselmeye başlamıştır. Püskürtme yönteminde malzeme kararlılığı büyük oranda işlemi gerçekleştiren personelin tekniğine ve kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır [15].

3.6 Filaman Sarma Yöntemi

Filaman sarma yöntemi özel şekle sahip ürünlerin seri üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntem, belirli şablonlarda dönen mil üzerine reçine emdirilmiş elyafların sarılması esasına dayanır. Üniform yapı ve elyaf yerleşimi konusunda yüksek kontrol imkanı sağlar. Islak yöntemde, elyaf düşük viskoziteli bir reçineye daldırılır. Kuru yöntemde ise takviye elemanı ön emdirilmiş formda kullanılır. Takviye sarıldıktan sonra kür işlemi gerçekleştirilir ve kompozit malzeme milden çıkarılır. Polyester, vinilester, epoksi ve fenolikler gibi reçineler filaman sarma yönteminde kullanılan reçinelerdir. Sürekli elyafların farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Filaman sarma yöntemi

Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri ve dairesel basınç tankları gibi malzemelerdir.

3.7 Otoklav Kalıplama Yöntemi

Otoklav kalıplama, vakum infüzyon yönteminin bir modifikasyonudur. Bu gelişmiş kompozit malzeme üretim yöntemi, yoğun ve boşluksuz kalıplama yapılmasını sağlamaktadır. Sebebi ise, kürlenme için yüksek sıcaklık ve basınç kullanılıyor olmasıdır. Bu üretim yöntemi; uçak, uzay aracı ve füze gibi araçlar için ön emdirilmiş yüksek dayanımlı elyaflardan yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip malzemeler üretmek için oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Otoklavlar; basınç ve sıcaklığın kür çevrimi için gerekli olduğu, kalıpta vakum torbası olan ısıtılmış basınçlı kaplardır. Kür basıncı, işlemlere göre değişebilmekle birlikte

genellikle (3,4-6,8)atm. arasındadır ve kür çevrimi genellikle uzun zaman alır. Bu yöntemde, epoksi gibi yüksek sıcaklık matriks reçineleri kullanılır. Otoklav boyutu, üretilecek parça boyutunu sınırlamaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Otoklav cihazı

3.8 Reçine Transfer Yöntemi (RTM)

Reçine transfer yöntemi (RTM), sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde kullanılan sıvı kompozit kalıplama yöntemidir. RTM, diğer ileri kompozit üretim yöntemlerine göre çeşitli avantajlara sahiptir. Yöntemin en büyük avantajları, ürünün pürüzsüz yüzeyle bitmesi ve üniform kalınlık imkanı tanınmasıdır. Bu yöntemde; kompozit malzeme boyutları, şekli ve kalitesi üzerinde iyi bir kontrol sağlanır. Kalıbı kapalı tutmak için uygulanan sıkıştırma kuvveti, üretim sırasındaki diğer kalıp basınçlarına göre daha düşüktür. RTM yönteminin en büyük avantajı, tekrarlanabilir sayıda karmaşık şekilli parçaların üretilebilmesidir. Teçhizatlar ve işleme maliyetleri, kalıp tasarımı ve üretim işleminden dolayı diğer kompozit üretim yöntemlerine göre daha pahalıdır. RTM yöntemiyle üretilen kompozitler, havacılık ve otomotiv uygulamaları gibi kritik mühendislik uygulamalarında kullanılır. RTM prosesi ile üretilen hafif ürünler, yakıt tüketiminin azalmasına da katkıda bulunur. Bu kompozitler yüksek mekanik performans ve yapısal güç özelliklerine sahiptir. Ayrıca RTM prosesi ile montaj için daha az parçaya gerek duyulduğundan, daha entegre parçalar üretilebilmektedir.

RTM yönteminde sürekli elyaf takviyeli kumaş katmanları veya sürekli elyaf keçeleri, ürünün son şeklini önceden verir ve bu şekle preform denir. Genellikle cam ve karbon elyaflar, takviye malzemesi olarak tercih edilir. Isı ile sertleşen reçinelerden epoksiler ileri uygulamalarda kullanılmaktadır.

RTM çoğunlukla plastik kompozitlerde kullanılır, fakat seramik kompozitlerin üretimi için de kullanımı mümkündür.

Lifli preform olarak adlandırılan lifli kumaşın tabakaları, son ürün şeklinde kesilerek kalıp boşluğuna yerleştirilir. Lifli preform yerleştirildikten sonra kalıp kapatılır. Kalıp boşluğuna reçine enjeksiyonu yapılmaya başlanır.

Sürekli akış hızı ya da sürekli kapak ağız basıncı ile, giriş kapısından enjeksiyon uygulanır. Enjeksiyon tamamlandığında, lif reçine ile emdirilmiştir. Plastik moleküllerinin çapraz bağlanma ile sertleşmesi sonucu reçine kürlenir ve son kompozit ürün oluşur. Kürlenme süresini azaltmak için emdirilmiş preform, kalıp içinde aynı süre bekletildikten sonra fırına konur ve buna post-kür denir. RTM kalıp teçhizat maliyetlerinden dolayı pahalı bir işlemdir ve bu yüzden bazı parametreler göz önüne alınarak gerçekleştirilmelidir.

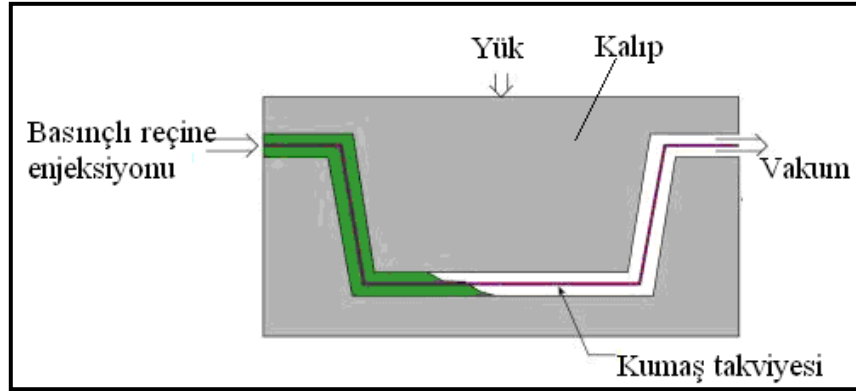
Kalıp imalatında havalandırma ve giriş kapısı konumunun belirlenmesi gereklidir. Takviye malzemesi parametreleri olarak, kalıp boşluğuna göre elyafların hacmi, hizalama, takviye elemanı türü ve alanın geçirgenliği önemlidir. Akış parametrelerinde ise reçinenin malzeme özellikleri, enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncı kontrol edilmelidir.

Deneme yapılmayla bu işlem parametrelerinin belirlenmesi yüksek maliyetli değildir fakat zaman almaktadır. Bu işlemin simülasyon çalışmalarını gerçekleştirmek daha avantajlıdır. Literatürde RTM prosesi pek çok açıdan incelenmiştir. Reçine emdirilmesi için pek çok güvenilir bilgisayar simülasyonu vardır. Simülasyonlar işlem parametrelerinde bilgi edinmek ve bu bilgiyle en iyi üretimi sağlamak için preformun reçineyle etkili dolununu sağlamak için yapılmaktadır.

Preformun doyurulması sırasındaki deformasyonun gözlemlenmesi, son ürünün kalitesi açısından önemlidir. Preformdaki deformasyonlar homojen olmayan parça özelliklerine ve mekanik özellikleri zayıf kompozit üretimlerine yol açmaktadır.

Kumaşlar, önceden hazırlanmış olan dişi kalıp içerisine gerekli olan kat miktarı kadar yığın halinde yerleştirilir. Bazen, kalıbın şeklini alması için önceden preslenir ve toplu halde kalmaları için tutkal ile birbirlerine tutturulur. Daha önceden hazırlanan ikinci erkek kalıp, dişi kalıp üzerine yerleştirilir ve mingeneler ile sıkılır ve iki kalıp arasında kalan boşluğa reçine gönderilir. Reçinenin kalıp içerisindeki kumaşlar tarafından daha iyi emilmesini sağlamak için vakum uygulanabilir. Bu işlem “vakum destekli reçine

enjeksiyon sistemi” (VARIM) olarak bilinir. Tüm kumaşlar reçine ile emdirildikten sonra reçine girişi kapatılır ve laminenin kurlenmesi sağlanır. Enjeksiyon ve kurlenme hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir (Şekil 3.7) [15].



Şekil 3.7 Reçine transfer kalıplama yöntemi [15]

Genellikle epoksi, polyester, vinilester ve fenolik reçineler kullanılır. İlmik sistemi ile birbirine bağlanmış olan malzemeler aralarında bulunan boşluklar sebebi ile daha hızlı reçine transferine izin verdiği için bu işlemde daha iyi sonuç verir. Hücreler reçine ile dolduğu ve kalıp basıncı hücreye zarar verdiği için “bal peteği yapısı” kullanılmaz [15].

RTM yönteminin avantajları olarak, az boşluğa sahip fakat yüksek elyaf hacmine sahip lamineler elde edilebilmesidir. Ayrıca, reçine kapalı bir ortamda kaldığı için sağlık ya da güvenlik açısından bir problem oluşturmaz. Daha az iş yüküne ihtiyaç duyulur ve üretilen kompozitin her iki tarafı da düzgün kalıp yüzeyine sahip olur [15].

Dezavantajları olarak da, erkek ve dişiden oluşan kalıp, basınç sistemine dayandığı için ağırdır ve yüksek maliyete sahiptir. Genellikle küçük bileşenlerin üretiminde kullanılır. Kalıp içerisinde reçinenin ulaşamadığı bir alan kalırsa bu parçalar kullanılmadığından üretim maliyetlerinin artmasına neden olur [15].

KOMPOZİT MALZEMELERE UYGULANAN MEKANİK TESTLER

Kompozitlerin dayanım özelliklerini tespit etmek amacıyla mekanik testler uygulanmaktadır. Bu testler yardımıyla; üretilen kompozitlerin, beklenen özellikleri taşıyıp taşımadığı hakkında bilgiler elde edilir. Elde edilen veriden faydalanılarak üretimin devamlılığı sağlanır, ya da uygulanan üretim yöntemi, kullanılan malzemelerin türü ve miktarları gibi parametreler değiştirilerek beklenen mekanik özelliklere sahip malzemeler üretilmeye çalışılmaktadır.

Genel olarak kompozit malzemelere uygulanan mekanik testler, darbe testi, çekme testi, üç nokta eğme testi ve sertlik testidir.

4.1 Darbe Testi

Kompozit malzemelerin avantajlarının yanında bazı kullanım sınırlamaları da bulunmaktadır. Bu sınırlamalardan en önemlisi çalışma şartları altında yabancı maddelerin çarpmasıyla maruz kaldıkları bölgesel darbelere karşı gösterdikleri tepkilerdir. Geçmiş yıllarda kompozit malzemelerin darbe tepkilerini ölçmek için birçok araştırma yürütülmüştür [10,16]. Bu çalışmaların temelinde darbe hasarının sıkça ortaya çıkabildiği askeri ve sivil uçak yapıları gibi yüksek performanslı sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin kullanıldıkları uygulamalar bulunmaktadır.

Kompozit malzemelerin darbeye karşı verdiği tepki ve darbe ucunun kinetik enerjisini karşılama şekli metallere çok farklıdır. Düşük ve orta seviyedeki darbe enerjilerinde metallere, enerji soğurulmasını elastik ve plastik deformasyonla gerçekleştirirler [17].

Her ne kadar darbe, daha sonra yapıda bir miktar kalıcı deformasyona sebep olsa da; yapının yük taşıma kapasitesi genellikle düşüktür [18].

Yüksek darbe enerjilerinde, hedef malzemede delinme gerçekleşebilir ve darbe ucunun geçişi genellikle hedefte yapraklanma, çatlama ve pullanmayla sonuçlanır. Her ne kadar bu tür hasar, malzemenin yük taşıma kapasitesini azaltsa da, etkileri genellikle kırılma mekaniği prensipleri kullanılarak açıklanmaktadır [19]. Diğer taraftan kompozitlerde plastik deformasyona uğrama özelliği çok sınırlı olduğundan, kompozit malzeme enerjiyi büyük kırılma bölgeleri oluşturarak soğurur ve bunun sonucu olarak da sırasıyla önce kompozitin dayanımı ardından da sertliğinde azalmalar ortaya çıkar [10,20]. Ayrıca, kompozitlerde hasar bölgesinin yapısı karmaşık ve tanımlanması zor olduğundan, hasarlı kompozit malzemenin darbe sonrası yük taşıma kabiliyetleri hakkında yorum yapmak metal malzemelere göre daha zordur [19]. Kompozit malzemelerde darbe hasarı için standart test yöntemlerinin belirlenmemiş olması ve mevcut standartlardaki eksikler sebebiyle bu tanımlamaların yapılması daha karmaşık bir hal almaktadır. Literatürde yapılan çalışmaların çoğunda, amaca yönelik üretilmiş cihazlar ve uygun malzeme geometrileri kullanılmıştır. Sonuçta, farklı malzeme sistemlerini karşılaştırmak ve hızlı sonuç elde etmek zorlaşmaktadır.

4.1.1 Darbe Testi Çeşitleri

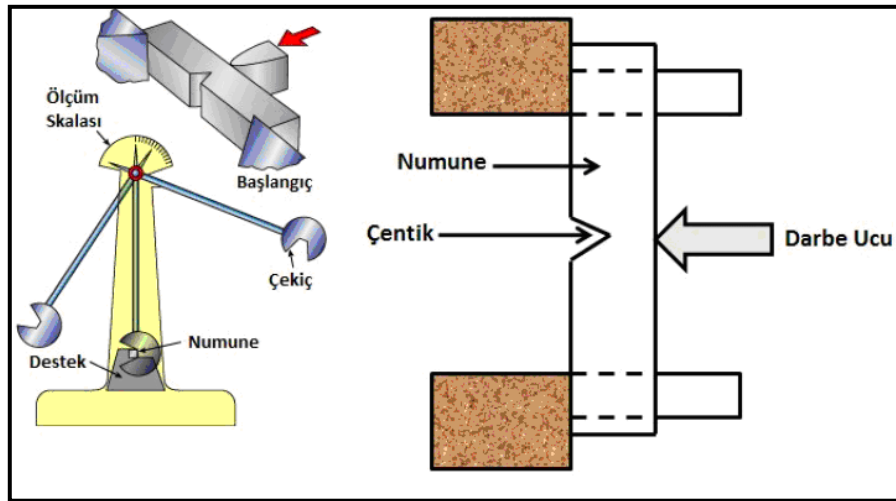
Darbe testinde kullanılan deneysel düzeneklerin, kompozitlerin çalışma şartları altında maruz kalacakları yükleme koşullarını simüle etmesi ve böylece gerçekte ortaya çıkacak hasar türlerini oluşturması gerekir. Darbe olayı iki temel biçimde ortaya çıkabilir. Bunlardan biri, ağır bir parçanın düşmesi gibi büyük bir kütleyle oluşan düşük hızlı darbeler, diğeri ise yoldan sıçrayan taşlar, tabanca mermisi gibi küçük bir kütleyle oluşan yüksek hızlı darbelerdir. Düşük hızlı darbeler, genellikle düşen ağırlık veya sarkaç sistemiyle oluşturulurken; yüksek hızlı darbe için gaz tabancası veya balistik test düzeneği kullanılmaktadır. Bununla birlikte deneysel standartlardaki eksikler nedeniyle takviyeli plastiklerin darbe davranışlarını incelemek için, çok farklı türde test düzenekleri vardır ve bu nedenle malzemeler arasında doğru bir karşılaştırma yapmak zorlaşmaktadır [18,21,22,23].

Kompozitlerin darbe yüküne tepkilerini ölçmek için kullanılan test düzenekleri Charpy ve İzod sarkaçları, Gardner gibi düşen ağırlık test düzenekleri ve 10 m/sn hıza kadar

darbeleri örnekleyen hidrolik kumandalı bilgisayar kontrollü düzlem içi ve düzlem dışı testlerde kullanılan test cihazlarıdır.

4.1.1.1 Charpy Darbe Testi

Kompozit malzemelerde darbe çalışmalarının ilk aşamalarında, esasen metaller için tasarlanmış Charpy test düzeneği kullanılmıştır [24,25,26]. Bu düzeneğin kullanılmasındaki temel iki sebep, basit olması ve ayarlanabilir olmasıdır. Böylece kompozitlerdeki enerji soğurma ve uzaklaştırma mekanizmaları hakkında bilgi verebilmektedir. Test numunesi genellikle kalın bir kiriştir ve bazen tam orta kısmında bir çentik açılmıştır. Numune yatay bir düzlemde desteklenir ve çentiğin tam zıt tarafından salınım yapan bir çekiçle darbe yüklemesine maruz bırakılır (Şekil 4.1). Darbe esnasında harcanan enerji test cihazı üzerinde bulunan ölçekli bir kadran vasıtasıyla okunur.



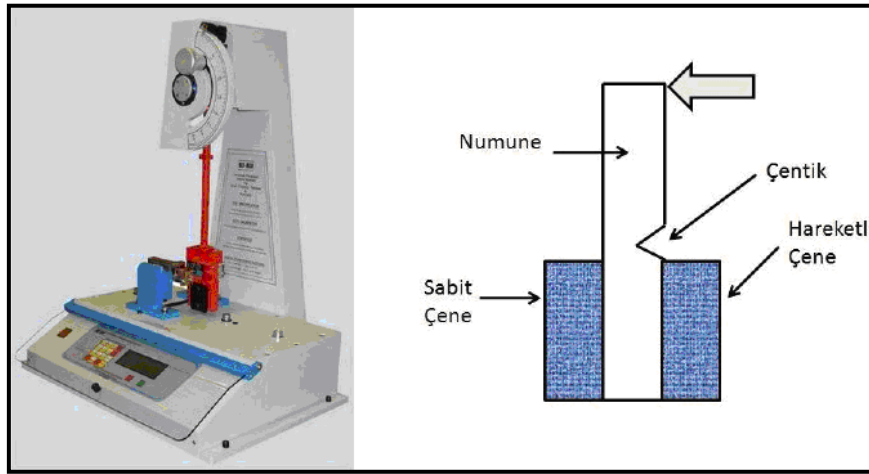
Şekil 4.1 Charpy darbe testi

Test düzeneğinin, kuvvet zaman eğrilerinde darbe ucunun doğal tepkisiyle oluşan yüksek frekanslı harmonik salınımlar ortaya çıkarması gibi dezavantajları vardır. Bu etkiler farklı malzemelere ait harmonik salınımların belirlenmesiyle ortadan kaldırılabilir [27]. Test numunesi kısa ve kalın bir kiriş şeklindedir. Bu yüzden tipik mühendislik parçaları gibi düşünülemez. Ayrıca test tahribatlıdır ve malzemelerde normal çalışma şartları altında ortaya çıkmayacak olan hasar türlerinin de ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bader ve Ellis karbon elyaf takviyeli plastiklerde Charpy enerjisinin numune geometrisiyle değiştiğini görerek test şeklinin uygunluğundan şüphelenmişlerdir [28]. Charpy testi yalnızca sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin darbe

performanslarını ölçmek ve ilk basamakta bu malzemelerin dinamik tokluklarını tanımlamak için kullanılabilir.

4.1.1.2 İzod Darbe Testi

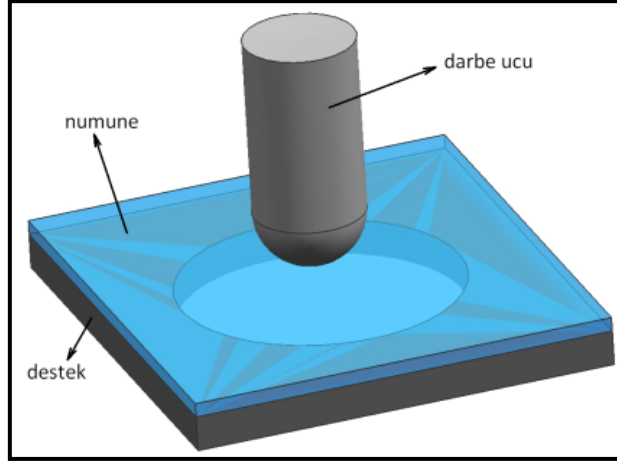
İzod darbe testinde test düzeneği ve işlem basamakları Charpy testinde bahsedilenlerle benzerdir. İzod testinde, numune düşey düzleme bir ucundan sabit bir kiriş olarak bağlanır ve desteksiz ucundan salınan bir sarkaçla darbe yüküne maruz bırakılır. Charpy testinde bahsedilen dezavantajların aynısı İzod testi için de geçerlidir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 İzod darbe testi

4.1.1.3 Ağırlık Düşürme Testi

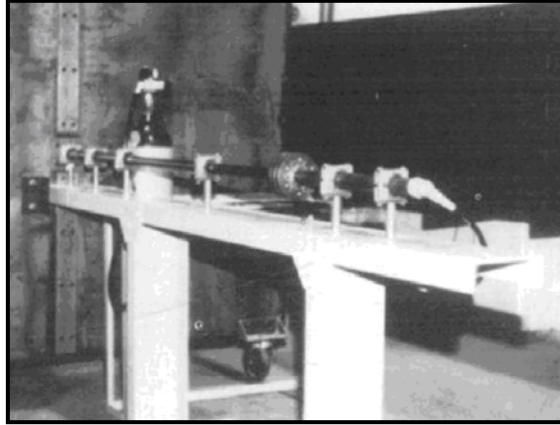
Ağırlık düşürme testinde, yatay düzlemde sabitlenmiş numuneye belirli bir yükseklikten ağırlık bırakılarak numuneye çarpıtılır (Şekil 4.3). Darbe numunenin tamamen deformasyona uğramasına sebep olmaz, fakat istendiğinde ölçülebilecek artık enerjinin kalmasına izin vererek bir miktar geri döner. Darbe ucunun çarpma anındaki hızı, hareket denklemlerinden ya da numunenin hemen üzerine yerleştirilen optik algılayıcılar yardımıyla ölçülebilir. Genelde darbe ucu kuvvet-zaman özelliklerini belirleyebilecek şekilde tasarlanmıştır ve darbe olayı boyunca enerji dağılımını ölçebilecek bir yer değiştirme dönüştürücüsüne sahiptir. Charpy ve İzod testlerine göre bu testin avantajı, farklı geometride numunelere uygulanabilir olması sebebiyle daha karmaşık malzeme sistemlerini test edebilmesidir. Çoğunlukla yarıküresel geometrili darbe ucu kullanılmasına rağmen düz ve sivri uç geometrili uçlar gibi farklı geometrilerde uçlar gibi farklı geometrilerde uçlar kullanılabilir.



Şekil 4.3 Düşen ağırlık darbe testi

4.1.1.4 Gaz Tabancası Darbe Testi

Balistik hızlarda darbe testi Şekil 4.4'te gösterilen gaz tabancası test düzenekleri kullanılarak gerçekleştirilir [29].



Şekil 4.4 Gaz tabancası darbe testi düzeneği [29]

Düzenekte namlunun bir ucunda bulunan hazneye azot ya da benzeri bir gaz doldurulur. Burada gaz plastik bir diyafram yardımıyla tutulur. Diyafram, kullanılan gaz belirlenen basınca ulaştığında patlar ve namlu içinde bulunan darbe ucunu hızlandırarak dikey olarak diğer uca sabitlenmiş test numunesine çarpmasını sağlar. Darbe ucunun numuneye çarpma anındaki hızı ya optik algılayıcılar yardımıyla ya da basit bir tel koparma düzeneğiyle ölçülür [30,31]. Genelde test tamamen tahribatlı değildir, fakat çoğunlukla büyük ölçekli hasar ve/veya numunede nüfuziyetle sonuçlanır. Son zamanlara kadar bu tip deneylerin en büyük dezavantajı deney sonunda çok az bilgi edinilebilmesiydi. Diğer taraftan enstrümanede edilmiş gaz tabancası test düzenekleri, günümüzde geliştirilerek ve ölçülmesi gereken kuvvet-sapma grafikleri elde edilmiş ve darbe olayı detaylı olarak analiz edilebilir hale gelmiştir [32,33]. Gaz tabancası testleri

büyük parçaların test edilmesinde kullanılabilir ve bu yüzden kompozit malzemelerin yüksek hızlı darbe davranışlarını ölçmede kullanılabilir.

Günümüzde standart olarak kabul edilebilecek bir darbe testi prosedürü henüz geliştirilememiştir. Sonuç olarak çok farklı türde uygulanan test prosedürleri, numune geometrileri ve darbe sonuçlarının sınıflandırılmasındaki çeşitlilik bu standardın oluşmasına engel olmuştur. Charpy ve İzod gibi sarkaç darbe deneyleri, belirlenmiş numune geometrilerinde ve ölçülerinde yapıldığı için bütün kompozit yapının darbe tepkisini göstermede yetersiz kalmaktadır. Düşen ağırlık ve gaz tabancası testleri tüm kompozit yapının darbe davranışı hakkında daha detaylı bilgi verebilmektedir. Enstrümanite edilmiş darbe test düzenekleri ise enerji sönümleme ve uzaklaştırma mekanizmalarının derinlemesine anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

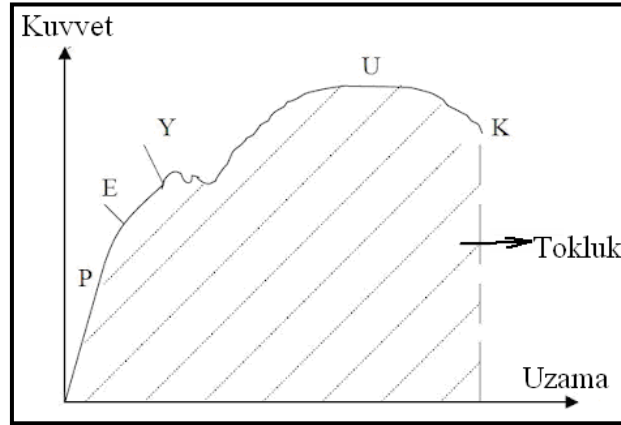
4.2 Çekme Testi

Çekme testinin amacı; malzemelerin sabit yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, aksenal ve değişken kuvvetler uygulanır.

Çekme cihazı esasen birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen birimlerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir [34].

Şekil 4.5'te tipik kuvvet-uzama eğrisinde gelişen olaylar aşamalı olarak gösterilmiştir. Düşük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış içindedir; yani kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanır. Bu karakter P noktasına kadar devam eder. Orantı limiti P noktasından sonra doğrusal fonksiyon eğimini değiştirir. Ancak elastik davranış devam eder. Elastik davranış elastik limit noktasında (E) sona erer. E noktasından sonra kalıcı, yani plastik deformasyon başlar. Kuvvet azaltıldığında doğrusal fonksiyona paralel bir yol izler. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır. Malzeme yüklenmeye devam edilirse Y noktasında akar. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akan malzeme çalışma sertleşmesine uğrar ve daha mukavim ve daha fazla kuvvet alabilir hale gelir. Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da artırılarak U noktasına ulaşılır. Maksimum gerilme noktasında (U)

malzeme kesitinde bölgesel daralmalar başlar. Buna malzemenin “boyun vermesi” denir. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olur ve malzeme daha fazla gerilme karşılayabilir, ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından taşıdığı net kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde K noktasına ilerler ve orada kopar. Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi deformasyona uğratmak için gereken enerjiye eşittir ve tokluk olarak adlandırılır [34].



Şekil 4.5 Çekme testinde tipik kuvvet-uzama eğrisi [34]

Kuvvet-uzama eğrisi daha sonra yeniden ölçeklendirilir. Uzamalar malzemenin ilk uzunluğuna bölünerek “birim-uzama” ya çevrilir. Aynı şekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek “gerilme” hesaplanır ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilir. Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona uğradıysa “sünek”, az deforme olmuşsa “gevrek” yapıya sahiptir[34].

4.3 Üç Nokta Eğme Testi

Üç nokta eğme testi, iki destek üzerinde serbest biçimde yerleştirilen daire veya dikdörtgen kesitli bir deney numunesinin ortasına kuvvet uygulandığında numunede meydana gelen şekil değişimi olarak tanımlanabilir. Prensip olarak numunenin kuvvet etkisi ile belirli bir çapta olan mandrel etrafında eğilmesi esasına dayanır. Eğer bu eğme esnasında numune kırılmazsa 180° eğilme için gerekli kuvvet ölçülür.

Numune kırılırsa, kırılma esnasında uygulanan yük ölçülür. Eğme deneyinin numuneleri yuvarlak kesitli veya dikdörtgen kesitli olabilir. Numunelerin cihaza bağlanma sorunu yoktur. Eğme deneyi numunenin mesnetlere temas noktaları ve yük uygulama noktalarının toplam sayısına göre üç nokta eğme veya dört nokta eğme testi gibi değişik gruplara ayrılır. Eğme testinin yapılmasının esas amacı malzemelerin soğuk halde çatlamadan katlanabilme özelliklerinin belirlenmesidir. Eğmeye tabi tutulan numunenin

enine kesitinde basma ve çekme gerilmeleri meydana gelir. Eğme deneyi sonunda gerilme-uzama eğrileri çizilir, malzemelerin şekil değiştirme özellikleri belirlenerek, eğilme dayanımı, eğilme miktarı ve elastiklik modülü gibi değerler hesaplanabilir [35].

4.4 Sertlik Testi

Kompozit malzemelere uygulanan Barcol sertlik testi ile üretimi yapılan numunelerin sertlik özelliklerinin standartlara uygun olup olmadığı belirlenmektedir. Bu test için Barcol sertlik ölçüm cihazı kullanılır. Doğru değerlerin alınabilmesi için numune yüzeyinin düzgün olması gerekmektedir. Ölçme işlemi, sertliği ölçülecek malzeme düz bir zemine konulduktan sonra cihazın iğneli kısmı, numune üzerine dengeli bir şekilde bastırılarak yapılır. Test sırasında test cihazının ayaklarının, test yapılacak yüzeye aynı düzlemde olması gereklidir. Ayaklar ile iğne bölümü arasından tutulan Barcol sertlik ölçme cihazı, düzgün bir şekilde ve giderek artan kuvvet ile numunenin yüzeyine bastırılır. Cihaz üzerindeki göstergede, numune yüzeyi için maksimum değere ulaşılan kadar kuvvet yüzeye uygulanır ve gösterge bölümünde numune yüzeyi için sertlik değeri okunur. Sertlik ölçme işlemi numunenin en az beş farklı noktasından yapılmalıdır. Bu değerlerin aritmetik ortalaması, numune için Barcol sertliği olarak kabul edilir. Barcol sertlik ölçme cihazı ile kuvvet uygulanırken, cihazın numune yüzeyi üzerinde kaymaması ve yüzeyin cihaz iğnesi ile çizdirilmemesine dikkat edilmelidir. Barcol sertlik ölçme cihazı, numune sertliklerinin kontrolü için uygun ve portatif bir cihazdır. Barcol sertlik testi çok pratik ve kolay uygulanabilen bir testtir.

DARBE MEKANIĞI

5.1 Giriş

Kompozit malzemelerden, üzerlerine gelen darbe enerjilerini olabildiğince soğurup, azaltarak ve yok ederek emniyetli çalışma kabiliyetlerini kaybetmemeleri beklenmektedir. Darbe yükleri uygulanmasıyla ortaya çıkan hasarların incelenmesiyle ilgili, darbe sonrası malzemede oluşan fiber kırılması, tabakalar arası ayrılma (delaminasyon) gibi hasar türleriyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Düşük hızlı darbe yüklerinin uygulanmasından sonra, kompozit malzemelerin dayanımlarını azaltan faktörlerin belirlenmesi ve bunlara önlem alınmasıyla ilgili çalışmalara devam edilmektedir. Darbe mekaniği farklı açılardan bakılarak sınıflandırmalara tabi tutulmuştur. Bazı çalışmalarda hız seviyesine göre sınıflandırma yapılmasına rağmen, darbe ucunun ağırlığının göz önünde bulundurulduğu sınıflandırmalar da bulunmaktadır. Yüksek hızlı darbe yüklemesinde, malzeme darbeye karşı tepki verecek yeterli süreyi bulamadığından bölgesel hasarlar ortaya çıkmaktadır. Gerilim enerjisi malzemenin uç kısımlarına ulaşmadan darbe olayı tamamlanmaktadır. Düşük hızlı darbede ise malzemenin dinamik tepkisi önem arz etmektedir. Çünkü darbe ucunun temas süresi hedef malzemenin tepkisi için yeterince uzun olduğunda elastik olarak daha fazla enerji soğurulabilmektedir.

Kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe yüklemelerine verdikleri tepkiyle ilgili birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır. Düşük hızlı darbe yüklemeleri sonrasında, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü cam elyaf takviyeli polyester matriksli kompozitlerde ortaya çıkan hasar miktarını inceleyen çalışmalarda, hasar miktarı ile darbe enerjisiyle ortaya çıkan hasar konisi arasında bir bağıntı kurulmuştur. Oluşan hasar konisi içerisinde elyafların kırılması ve

tabakalar arası ayrılmaların ortaya çıktığı belirlenmiştir [36]. Cam elyaf takviyeli polyester kompozite, tekrarlı düşük hızlı darbe testleri sonrası ortaya çıkan içyapı hasarları incelenmiştir. Tekrarlı darbelerin malzeme içyapısında üç farklı tip hasar (matris çatlağı, delaminasyon ve fiber kırılmaları) ortaya çıkardığı görülmüştür [37].

Aslan ve Karakuzu, düşük hızlı darbeye maruz fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin dinamik davranışını değerlendirmişlerdir [32]. Belingardi ve Vadori, kompozit plaka kalınlığının düşük hızlı darbe davranışına etkilerini incelemişlerdir. Yük-sapma eğrileri çıkarılarak numunelerin enerji soğurma kabiliyetlerini incelemişlerdir [38]. Mitrevski ve ark., yük-zaman değişimini ve numunelerin soğurduğu enerji miktarlarını deneysel olarak belirleyerek vurucu uç şekillerinin etkilerini incelemişlerdir [39]. E-camı/epoksi tabakalı kompozit plakaların darbeye karşı davranışı, Mili ve Necip tarafından araştırılmıştır ve ağırlık düşürme darbe cihazı kullanarak vurucu uç hızlarının ve kompozit tabakalarının sırasının kompozitin davranışına etkilerini de incelemişlerdir [40]. Kompozitlerin düşük hızlı darbe cevabına vurucu şekillerinin etkisi araştırılmıştır. Ağırlık düşürme test cihazı kullanılarak yapılan bir çalışmada 90° ve 120° konik, 24mm ve 12mm çaplı yarı-küresel ve piramit uca sahip vurucu uçlarla numuneler üzerine düşük hızlı darbeler uygulanmıştır [41]. Belingardi ve Vadori, cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit plakaların düşük hızlı darbe davranışlarını incelemişlerdir. Darbe enerjisi-hasar değeri, temas kuvveti-zaman değişimleri elde edilerek farklı özellikleri olan numunelerin darbe davranışını araştırmışlardır [42].

5.2 Darbe Hasarına Etki Eden Parametreler

Kompozitlerde oluşan matris kırılması, elyaf kırılması, tabakalar arası ayrılma (delaminasyon) ve delinme gibi hasarlar genelde bölgesel gerilme birikimleri nedeniyle meydana gelerek malzemenin rijitliğini ve dayanımını dolayısıyla da ömrünü azaltmaktadır. Eğer darbe yüklemesi sonucu, darbe enerjisi malzemenin elastiklik sınırını aşmazsa malzemedeki hasar meydana gelmemektedir.

Katmanların elyaf yön açıları darbe hasarına etkisi tabaka kalınlığının etkisinden daha fazladır. Tek eksenli kompozit malzemedeki elyaflar aynı yöndedir ve yönler değişmediğinden delaminasyon meydana gelmez. Eğer birbirine komşu iki tabakanın elyaf yön açıları farklıysa ara yüzeylerinde tabakaların eğilme rijitlikleri farkından dolayı delaminasyon meydana gelmektedir [43].

Darbe ucunun elastikliğinin yüksek olması daha yüksek yük değerleri oluşturmaktadır ve darbe ucu ile malzeme arasındaki temas yüzey alanının azalmasına neden olarak hasarı artırmaktadır. Ayrıca, darbe ucunun ağırlığı arttıkça yük ve temas süresi artmaktadır. Böylece kinetik enerjileri aynı olan, hafif ve yüksek hızlı darbe ucu ile ağır ve düşük hızlı ucun neden olacağı hasarın boyutları farklı olmaktadır.

5.3 Darbe Hasarı Türleri

Kompozitlerde darbe hasarı türünün tespit edilmesi çok önemlidir. Hasar türünün tespiti, sadece darbe olayı hakkında değil aynı zamanda darbeye uğrayan malzemenin kalıntı dayanımının belirlenmesinde de yardımcı olmaktadır. Ayrıca hasar türleri arasındaki bağıntının anlaşılması da önem arz etmektedir çünkü bu hasar başlangıcı ve yayılımı hakkında detaylı bilgi vermektedir [44].

Elyaf takviyeli katmanlı kompozitlerde esasen dört tipte hasara rastlanır. Bunlar matriks hasarı, elyaf hasarı, delaminasyon hasarı ve delinme (perforation) hasarıdır.

Matriks hasarında, çekme, basma veya kesilmeye bağlı çatlaklar elyaflara paralel yönde oluşur. Elyaf hasarı; çekme sırasında elyaf kırılmasıyla ve basma esnasında elyaf eğilmesiyle meydana gelmektedir. Delaminasyon hasarı, tabakalar arası gerilmelere bağlı olarak ortaya çıkar. Delinme hasarı ise darbe ucunun malzemeyi delmesiyle ortaya çıkmaktadır.

5.3.1 Matriks Hasarı

Tabakalı kompozit malzemelerde en çok görülen hasar türü matriks kırılmasıdır. Matriks kırılması gevrek olan malzemelerde görülür. Kompozit malzemelerdeki matriks, takviye malzemesinden daha gevrek yapıda olduğundan darbe yüküyle kırılma matrikste başlar. Matriks hasarı lif yönlerine paralel şekilde yayılır. Literatürde çekme gerilmelerinin ve kayma gerilmelerinin neden olduğu iki tip matriks kırığı söz konusudur.

Literatürde yapılan çalışmaların çoğunluğunu, düşük enerji seviyelerinde, düşük hızlı darbe çalışmaları oluşturmaktadır. Bu tür çalışmalar, matriks çatlakları ve delaminasyon başlangıçlarıyla ilgili bilgiler veren çalışmalardır.

5.3.2 Elyaf Hasarı

Elyaf hasarı, genelde delaminasyon ve matriks çatlağı oluştuktan sonra meydana gelmektedir ama yapılan araştırmalar daha çok düşük enerjili uygulamaları içermektedir. Elyaf hasarı, darbe ucunun altında bölgesel gerilme ve basma etkileri nedeniyle oluşurken, darbeye maruz kalmayan bölgelerde yüksek eğme gerilmeleriyle oluşmaktadır. Elyaf hasarı, delinmeden hemen önce gerçekteşen bir hasar mekanizması olarak bilinmektedir.

5.3.3 Delaminasyon Hasarı

Delaminasyon hasarı, farklı dizilimlerdeki elyaf tabakaları arasında iki tabakanın birbirinden ayrılması sonucu meydana gelmektedir. İki tabakada matris çatlaklarıyla başlayan gerilmeler delaminasyonun başlatılması için ilk itici gücü oluşurmaktadır. Delaminasyon sonucunda malzemenin yük taşıma kapasitesi azalmaktadır.

Tabakalı bir kompozitte komşu tabakalar arasındaki eğme dayanımı farklılıkları tabakalardaki gerilme dağılımını düzensizleştirecektir [43]. Ayrıca eğilme yükleri nedeniyle oluşan gerilmelerin delaminasyonların temel sebebi olduğu ve deneysel çalışmalarında elyaf yönündeki plakanın içbükey olarak eğilmeye meyilliyken, eğilmenin enine kesitte dışbükey olduğu belirlenmiştir. Büyük açılarda uyumsuzluğun daha büyük delaminasyon alanı anlamına geleceği ve delaminasyon alanının ayrıca malzeme özellikleri, tabakaların üst üste konma biçimi ve tabaka kalınlığı ile de etkilendiği belirlenmiştir [45].

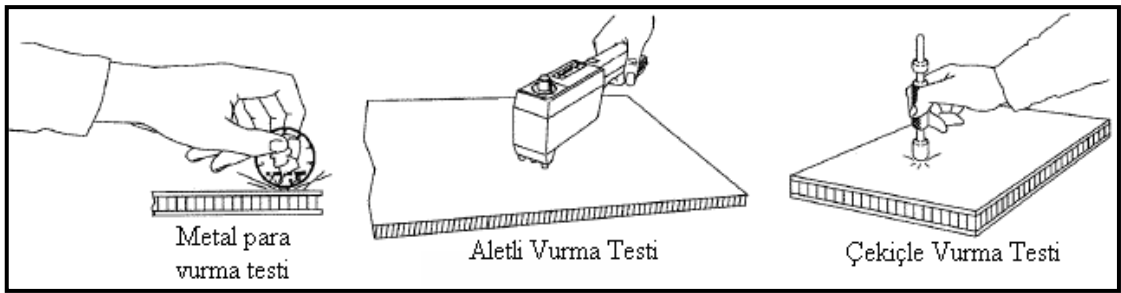
5.3.4 Delinme Hasarı

Elyaf kırılması malzemenin eğilmesi sonucu en alt tabaka yüzeyinde gözle görülebilir, ayrıca matriks kırılması sonucu malzemenin iç kısımlarında da görülebilir. Elyaf kırılması elyaf/matriks ara yüzeyinin birleşme dayanımının azalması ile artar. Bir tabakanın tamamen hasarlanması için tüm elyafların kırılması gerekmektedir. Elyaf kırılması başladığında kompozitin yük taşıma kapasitesi tam olarak bitmemiştir. Çünkü plakanın diğer tabakalarında yükü taşıyabilecek elyaflar da bulunmaktadır. Yük taşıma kapasitesinin tamamen bitmesi, tüm elyafların hasarlanması ile gerçekteşir.

Elyafların tek yönlü dizildiği katlarda matriks çatlağının yönü kolaylıkla bulunabilir fakat elyaflar düzensiz yönlendiğinde bu durum zorlaşmaktadır. Bu karmaşık yapı

kompozitlerin hasar türlerini tanımlamak için farklı yöntemler kullanılması gerekmektedir. Kompozit hasarları genellikle göz ile makroskobik olarak görülemez. Metal yapılarda hasar sonrası çökme tarzında hasarlar oluşurken, kompozitlerde katmanlar arasında ayrılma olsa da hasar görülmeyebilir.

Kompozit katmanlı malzemelerin hasar tespitinde sıkça kullanılan bir yöntem olan vurma testinde çeşitli araçlar kullanılmaktadır. Bu araçlar vurma testi teknikleridir ve kontrol edilecek bölgeye vurma testi aparatı ile vurulduktan sonra duyulan ses farkına dayanır. Hasarlı ve hasarsız bölge arasında ses farkı incelenerek hasarlı bölgenin nerede olduğu bulunabilmektedir (Şekil 5.1).

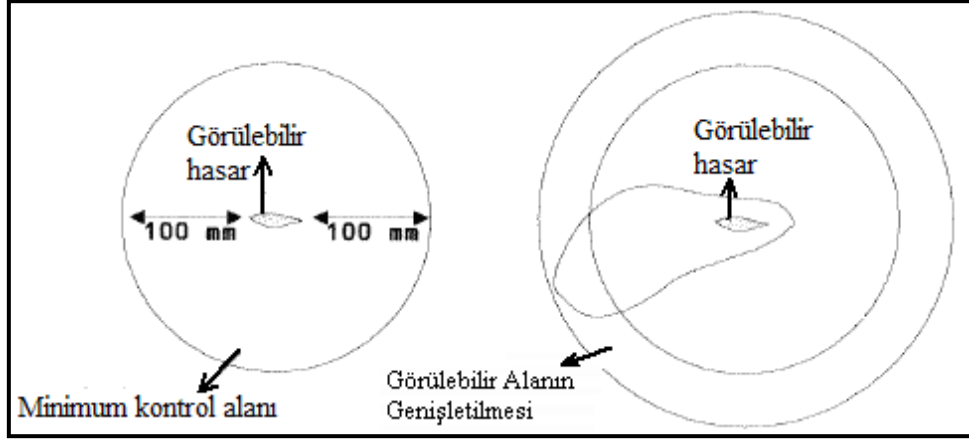


Şekil 5.1 Vurma testi yöntemleri [15]

Vurma testi ile kontrol yapılırken, hasarın tam yerini bulmak için kompozit üzerinde belirli bir hattın takip edilmesi gerekir. Eşit aralıklarda yapılan bu kontrol ile hasarlı bölgenin gözden kaçması engellenmiş olur [15].

Kompozit bileşenlerde gözle görülebilen hasarın çevresinde göz ile görülemeyen ayrılma hasarları meydana gelebilir. Bu tip hasarların tespit edilebilmesi için görülen hasarın çevresi minimum kontrol alanı olarak incelenmelidir. Minimum kontrol alanı göz ile görülen hasarı dairesel olarak çevreler.

Kontrol, göz ile görülen hasarın ucundan 100 mm daha geniş yarıçapa sahip bir daireyi kapsar. Eğer bulunan ayrılma minimum kontrol alanının daha ötesine taşıyorsa hasarın tam ölçülerine ulaşabilmek için kontrol alanı büyütülmelidir (Şekil 5.2) [15].



Şekil 5.2 Minimum hasar kontrol alanı[15]

İki ya da daha fazla hasar birbirine yakın olduğunda bu iki yakın hasarın tek hasar alanı olarak değerlendirilmesi de gerekebilir.

5.4 Kompozit Malzeme Bileşenlerinin Darbe Hasarına Etkileri

Elyaf takviyeli kompozit, elyaf ve matriks olmak üzere iki temel bileşenle bu ikisi arasında kalan birleşme ara yüzeyinden oluşur. Bu bileşenlerin özellikleri, kompozitin darbeye bağlı oluşan hasarlarda gerekli olan kritik gerilme veya enerji değerlerini etkilemektedir.

5.4.1 Elyaflar

Elyaf, kompozitin sertlik ve dayanımını sağlayan temel yük taşıyıcı unsurlardır. En sık kullanılan elyaf türleri cam, karbon ve kevlar'dır. Karbon, en yüksek sertlik ve dayanım değerlerine sahip olduğundan, havacılık endüstrisinde yapısal elemanlarda kullanılmasına rağmen diğer taraftan çok kırılmandır ve %0,5 ile %2,4 arasında uzama değerlerinde hasara uğrar. Cam elyaf, daha düşük dayanım ve sertliğe sahiptirler fakat daha yüksek uzama değerlerinde hasara uğrarlar (%3,2) ve karbon elyaf, göre daha ucuzdur. Kevlar elyafın, mekanik özellikleri cam ve karbon elyaf arasında bir değerdedir.

5.4.2 Matriks

Bir elyaf takviyeli plastikte, matriksin işlevleri yükün elyaf, elyaf, elyafın kendilerine zarar vermelerini önlemesi ve yapı içinde yönlenmelerini veya sabitlenmelerini sağlamasıdır. Yapısal uygulamalarda epoksi reçineler ana malzeme

olarak kullanılırlar çünkü sıcak ve ıslak basma dayanımı ihtiyacı vardır. Diğer taraftan epoksi malzeme kırılmalıdır ve çatlak büyümesine karşı dayanımları düşüktür.

Termoplastik reçinelerin, pratikte termoset reçinelere oranla daha fazla tercih edilmelerinin sebebi, yüksek kırılma tokluğuna sahip olmalarıdır. Yeni üretim tekniklerine olan ihtiyaç, termoplastiklerin kullanımını sınırlandırmaktadır fakat bu problemin üstesinden gelinirse termoplastik esaslı kompozitlerin kullanımı daha yaygın hale gelecektir.

5.4.3 Ara Yüzey

Kompozit yapısında elyaf ve matriks arasındaki birleşme bölgesi çok önemlidir. Cam elyaflar bir bağlantı vasıtasıyla birleştirilmektedir. Elyaf ve matriks arasındaki birleşme bölgesi belirli yüklerde meydana gelen hasar türünü etkileyebilir. Mesela zayıf yapışma geride temiz elyaflar bırakarak düşük enine gerilmelerde hasarla sonuçlanabilir. Bağlanma dayanımı, elyaf ve matriks ara yüzeyinden enerji soğurularak tokluğun artırılması yoluyla yükseltilebilir; diğer taraftan bu mekanik özellikleri azaltmaktadır [13].

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, takviye malzemesi olarak, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve matriks malzemesi olarak Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyester kullanılarak, kapalı kalıpta soğuk pres ve el yatırması yöntemleriyle CTP kompozit üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Üretilen kompozitlerin özellikleri belirlenmiş, darbe dayanımı en yüksek olan kompozitten kurşungeçirmez yelek üretimi yapılmış ve test edilmiştir.

6.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Bu araştırmada, takviye malzemesi olarak kullanılan $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, METYX-Telateks Tekstil Ürünleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nden temin edilmiştir.

Matriks 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.

Polipol 3401 CTP tipi genel amaçlı polyesterin özellikleri Çizelge 6.1’de; 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşların özellikleri Çizelge 6.2’de, Butanox M-60’ın özellikleri Çizelge 6.3’te, Akcobalt %6 reaksiyon hızlandırıcının özellikleri ise Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Bu araştırmada kullanılan kompozit üretim kalıbı, (600×600×6)mm ölçülerinde ve ahşaptan imal edilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Kompozit üretim kalıbı

Çizelge 6.1 Polipol 3401 CTP tipi genel amaçlı polyesterin özellikleri

Özellik	Standart	Değer	Tolerans	Durum
Yoğunluk	ISO 1675	1,128 g/cm ³	±%5	Sıvı
Viskozite	ISO 2555	0,55 kg/m.s	±%30	Sıvı
Parlama noktası	Abel-Pernsky	33 °C	-	Sıvı
Eğme dayanımı	ISO 0178	117 N/mm ²	±%10	Katı
Elastiklik modülü	ISO 0178	4013 N/mm ²	±%10	Katı
Kopma uzaması	ISO 0178	3,4 %	±%10	Katı
Çekme dayanımı	ISO 0527	68 N/mm ²	±%10	Katı
Toplam hacimsel çekme	ISO 2114	8,17 %	±%10	Katı
Barcol sertliği	ASTM-D 2583	45	±%10	Katı

Çizelge 6.2 Üretimde kullanılan cam elyaf kumaşların özellikleri

Cam elyaf kumaş türü	Cam elyaf yönleri	Birim ağırlık [g/m ²]	Birim ağırlık toleransı	METYX kodu
Dokuma	0°/90°	800	±%3	LTX000399
İki eksenli	0°/90°	600	±%3	LT600E10B
Üç eksenli	+45°/90°/-45°	805	±%3	XT800E05A
Dört eksenli	0°/45°/-45°/90°	641	±%3	Q625E10C

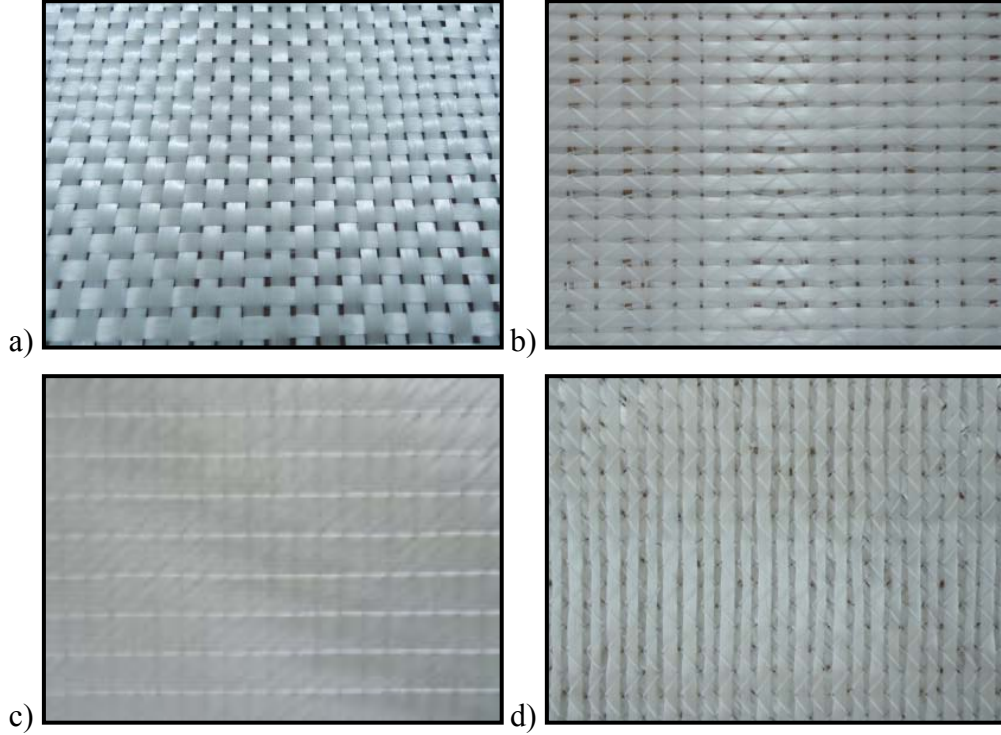
Çizelge 6.3 Butanox M-60 sertleştiricinin özellikleri

Ürün Tanımı	Durumu	Metil etil keton peroksit oranı	Dimetil ftalat oranı	Metil etil keton oranı	Kullanım şartları
Metil etil keton peroksit	Dimetil ftalat içinde çözeltili halinde	%30-39 (ağırlık)	%55-70 (ağırlık)	%1-5 (ağırlık)	Yangın ve patlama tehlikesi

Çizelge 6.4 Akcobalt %6 reaksiyon hızlandırıcının özellikleri

Ürün Tanımı	Yoğunluk (20°C'de)	Kobalt içeriği (ağırlıkça)	Katı madde miktarı	Kullanım şartları
Kobalt oktoat	0,92 g/cm ³	% 6	% 38 ±0,5	Organik peroksitlerle direk temas etmemelidir, ayrı yerde (+5+40°C)'de depolanmalıdır).

Üretimde kullanılan kumaşlar Şekil 6.2'de görülmektedir.



Şekil 6.2 Üretimde kullanılan kumaşlar, a) $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş, b) $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş, c) $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş, d) $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş

6.2 Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozitlerin üretiminde, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemi ve el yatırması yöntemi kullanılmıştır. Farklı kumaşlar olarak, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar kullanılmıştır. Üretimlerde kullanılan kalıp; $(600 \times 600 \times 6)$ mm boyutlarında iki parçalı olarak imal edilmiştir. Kapalı kalıpta soğuk pres ve el yatırması yöntemleriyle üretimlerde, karışımların jelleşme süresi, 100g “Polipol 3401 CTP tipi genel amaçlı polyester” matriks malzemesi, 0,12g “Akcobalt %6 reaksiyon hızlandırıcı” ve 0,5g “Butanox M-60” sertleştirici karıştırılarak, ortam sıcaklığında bekletilerek belirlenmiştir. Üretimlerde, kumaş türlerine ve üretim yöntemlerine göre üretim kodlamaları yapılmıştır (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5 Üretimde kullanılan kodlar ve üretilen kompozitlerin tanımları

ÜRETİM KODU	ÜRETİLEN KOMPOZİTLERİN TANIMI
C1	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit
LT1	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit
XT1	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit
Q1	Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit
C2	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit
LT2	El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit
XT2	El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit
Q2	El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit

6.2.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres ve El Yatırması Yöntemiyle Üretimde

Kullanılan Matriks ve Takviye Malzeme Miktarları

Kapalı kalıpta soğuk pres ve el yatırması yöntemiyle gerçekleştirilen üretimlerde, takviye malzemesi olarak 600×600mm boyutlarında kesilerek üretime hazırlanan; 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşların, matriks malzemesi olarak kullanılan Polipol 3401 CTP tipi genel amaçlı polyesterin, reaksiyon hızlandırıcı olarak kullanılan Akcobalt'ın ve sertleştirici olarak kullanılan Butanox M-60'ın miktarları; kumaşların birim ağırlıklarından ve üretici firmaların önerilerinden

faýdalanılarak belirlenmiştir. Kullanılan polyester miktarının %0,12 si kadar Akcobalt ve polyester miktarının %0,5'i kadar Butanox M-60 kullanılmıştır (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6 Üretimde kullanılan kumaş türleri ve kullanılan malzeme miktarları

Kumaş türü	Polyester miktarı (g)	Akcobalt % 6 (g)	Butanox M-60 miktarı (g)
0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar	3000	3,6	15
0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar			
45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar			
0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar			

6.2.2 Farklı Kumaşlar Kullanılarak Kompozit Üretimi

Kompozit üretimlerinde, takviye malzemesi olarak; 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar kullanılmıştır.

6.2.2.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle Kompozit Üretimi

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, takviye malzemesi olarak 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve matriks malzemesi olarak Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyester kullanılarak yapılan dört adet CTP kompozit üretiminin hepsinde aşağıdaki adımlar uygulanarak üretimler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 a)Kumaş kesilmesi, b) Kalıp ayırıcı tatbiki, c) Karışım hazırlanması, d) Kalıba karışımın dökülmesi, e) İlk kat kumaşın serilmesi, f) Son katın serilmesi, g) Kalıbın kapatılması, h) Kalıptan çıkan ürün, i) Üründen numune hazırlanması

Üretim aşamaları aşağıdaki şekildedir:

- Elyaf kumaş kesimi, dikkat gerektiren ve zaman alan bir iş olduğu için üretime başlamadan önce kumaşlar (600×600)mm ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır.
- Alt ve üst kalıbın iç kısımlarına, sünger yardımıyla “Polivaks” kalıp ayırıcı sürüldükten sonra, kuruması için beklemeye alınmıştır.
- Matriks malzemesi olarak kullanılan Polipol 3401 CTP tipi genel amaçlı polyester içerisine Akcobalt %6 reaksiyon hızlandırıcı katılmıştır. Karışımın rengi homojen olana kadar karıştırılmış, homojen renk sağlanınca içerisine Butanox M-60 sertleştirici eklenmiştir.
- Kalıp ayırıcı sürülmüş olan alt kalıba, bir miktar polyester karışımı dökülerek spatulayla kalıba yayılmıştır. Kalıp içerisine, (600×600)mm ölçülerinde kesilen kumaşlardan bir kat serilerek, spatula yardımıyla kumaşın polyesterle ıslanması sağlanmıştır.

- Bir kat kumaş daha serilerek, tekrar bir miktar polyester kumaş üzerine dökülerek, kumaşın polyesterle iyice ıslanması ve hava boşluklarını olabildiğince kalıp içinden uzaklaştırmak için spatula ve rulo yardımıyla kalıp içine yayılmıştır.
- Kalıp boşluğu, kumaş ve polyester karışımı ile dolana kadar, kumaş ve polyester kalıp içine serilmeye devam edilmiştir.
- Son kat kumaş da kalıp içerisine serilerek, tekrar bir miktar polyester, kumaş üzerine dökülmüş, kumaşın iyice ıslanması ve hava boşluklarının kalıp içinden uzaklaştırılması için polyester, spatula ve rulo yardımıyla kalıp içine yayılmıştır.
- Üst kalıp kapatılmış ve 30 bar basınç altında kalıp preslenmiştir.
- Kalıp preslenmiş durumda 48 saat bekletildikten sonra, basınç düşürülerek kalıp presten alınmış ve üst kalıp açılarak kompozit malzeme kalıptan çıkarılmıştır.
- Kalıptan çıkan kompozit, etüvde üç aşamalı olarak; 50°C (1 saat), 80°C (1 saat) ve 110°C (1 saat) sıcaklıkta bekletilerek kurlenme işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.2.2.2 El Yatırması Yöntemiyle Kompozit Üretimi

El yatırması yöntemiyle, takviye malzemesi olarak 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve matriks malzemesi olarak Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyester kullanılarak yapılan dört adet CTP kompozit üretiminin hepsinde; aşağıdaki adımlar uygulanarak üretimler gerçekleştirilmiştir.

- Üretime başlamadan önce kumaşlar (600×600)mm ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır.
- Alt ve üst kalıbın iç kısımlarına, sünger yardımıyla “Polivaks” kalıp ayırıcı sürüldükten sonra, kuruması için beklemeye alınmıştır.
- Matriks malzemesi olarak kullanılan Polipol 3401 CTP tipi genel amaçlı polyester” içerisine Akcobalt %6 reaksiyon hızlandırıcı katılmıştır. Karışımın rengi homojen olana kadar karıştırılmış, homojen renk sağlanınca içerisine Butanox M-60 sertleştirici eklenmiştir.

- Kalıp ayırıcı sürülmüş olan alt kalıba, bir miktar polyester karışımı dökülerek spatulayla kalıba yayılmıştır. Kalıp içerisine, (600×600)mm ölçülerinde kesilen kumaşlardan bir kat serilerek, spatula yardımıyla kumaşın polyesterle ıslanması sağlanmıştır.
- Bir kat kumaş daha serilerek, tekrar bir miktar polyester kumaş üzerine dökülerek, kumaşın polyesterle iyice ıslanması ve hava boşluklarını olabildiğince kalıp içinden uzaklaştırmak için spatula ve rulo yardımıyla kalıp içine yayılmıştır.
- Kalıp boşluğu, kumaş ve polyester karışımı ile dolana kadar, kumaş ve polyester kalıp içine serilmeye devam edilmiştir.
- Son kat kumaş da kalıp içerisine serilerek, tekrar bir miktar polyester, kumaş üzerine dökülmüş, kumaşın iyice ıslanması ve hava boşluklarının kalıp içinden uzaklaştırılması için polyester, spatula ve rulo yardımıyla kalıp içine yayılmıştır.
- Kalıp açık olarak ortamda 48 saat bekletildikten sonra, kompozit malzeme kalıptan çıkarılmıştır.

Kalıptan çıkan kompozit, etüvde üç aşamalı olarak; 50°C (1 saat), 80°C (1 saat) ve 110°C (1 saat) sıcaklıkta bekletilerek kurlenme işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.3 Farklı Kumaşlar ve Farklı Yöntemlerle Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi

Takviye malzemesi olarak, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlarla, kapalı kalıpta soğuk pres ve el yatırması yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen üretimler sonunda, kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; yoğunluk ölçümü, yakma testi, elyaf hacim oranı ölçümü, sertlik ölçümleri, çekme testleri, üç nokta eğme testleri ve darbe testleri gerçekleştirilerek; metalografik incelemeler yapılmıştır.

6.3.1 Yoğunluk Ölçümleri

Yoğunluk ölçümleri, ASTM/D792-08 standardına [46] göre gerçekleştirilmiştir.

ASTM/D 792-08 standardında, numune ağırlıklarının en az (1-5)g arasında olması istendiği için minimum (30×30)mm ölçülerinde hazırlanan numuneler, ölçümler için yeterli ağırlık şartını sağlamıştır. Her üretimden, beşer adet numunede yapılan ölçümlerin ortalamaları alınarak yoğunluk değerleri bulunmuştur. Ölçümlerde, kompozit numunenin havadaki ve sudaki ağırlıkları tartılmış, bu değerler kullanılarak üretilen kompozitlerin yoğunlukları;

$H_y = y_s \times \frac{A_h}{A_h - A_s}$ bağıntısı kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Bağıntıdaki parametreler aşağıda verilmiştir.

H_y : Kompozitin hesaplanan yoğunluğu (g/cm^3)

y_s : Saf suyun 23°C'de yoğunluğu ($0,9975 g/cm^3$)

A_h : Kompozitin havadaki ağırlığı (g)

A_s : Kompozitin sudaki ağırlığı (g)

6.3.2 Yakma Testi

Yakma testi, matriks malzemesi olarak kullanılan Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyester ve takviye malzemesi olarak kullanılan 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşların oranlarının ağırlıkça bulunması amacıyla, ASTM/D2584-11 standardına [47] göre yapılmıştır.

En az (30×30)mm ölçülerinde hazırlanan numuneler (Şekil 6.4) tartıldıktan sonra 565°C ± 28°C sıcaklıktaki etüvde (Şekil 6.5) 6 saat bekletilmiştir. Daha sonra kontrollü olarak oda sıcaklığına soğutulmuştur. Çıkan numuneler yeniden tartılarak, yakma öncesi ve sonrası farklar belirlenmiştir. Elyaf ağırlık oranları yüzdesi;

$EAO(\%) = \frac{A_e}{A_e + A_m}$ bağıntısı kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Bağıntıda;

EAO(%): Elyaf Ağırlık Oranı Yüzdesi

Ae: Elyaf ağırlığı (g)

Am: Matriks ağırlığı (g), olarak verilmiştir.



Şekil 6.4 Yakma testinde kullanılan numune örnekleri



Şekil 6.5 Yakma testinin gerçekleştirildiği Carbolite etüv

6.3.3 Elyaf Hacim Oranı Ölçümleri

Elyaf hacim oranı yüzdesi, yakma testinden elde edilen veri kullanılarak, karışımlar kuralına göre;

$$EHO(\%) = \frac{A_e/Y_e}{(A_e/Y_e) + (A_m/Y_m)}$$
 bağıntısı kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Bağıntıdaki

parametreler;

EHO(%): Elyaf hacim oranı %

A_e : Elyaf ağırlığı (g)

A_m : Matriks ağırlığı (g)

Y_e : Elyaf yoğunluğu (g)

Y_m : Matriks yoğunluğu (g), olarak verilmiştir.

6.3.4 Sertlik Ölçümleri

Barcol sertlik deneyi, ASTM/D 2583-07 standardına [48] göre, HPE II Barcol test cihazı ile yapılmıştır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 HPE II Barcol sertlik ölçüm cihazı

6.3.5 Çekme Testleri

Çekme testleri, Zwick Z250 üniversal test makinesinde, TS/EN/ISO 527-4 standardına [49] göre, her üretimden 5'er adet numune kullanılarak, 5mm/dakika($\pm 20\%$) deney hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Çekme ve Üç Nokta Eğme testlerinde kullanılan, Zwick Z250 üniversal test cihazı

6.3.6 Üç Nokta Eğme Testleri

TS/EN/ISO 14125 standardına [50] göre, Zwick Z250 üniversal test makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğme testi numuneleri; standartta belirtildiği üzere; mesnetler arası mesafe numune kalınlığının 16 katı olacak şekilde hazırlanmıştır. Testler 3mm/dakika ($\pm 20\%$) deney hızında gerçekleştirilmiştir.

6.3.7 Darbe Testleri

Darbe testleri; Instron Dynatup 9250HV, düşen ağırlık sistemiyle çalışan darbe test cihazında (Şekil 6.8), 16mm çapında yarı küresel darbe ucuyla (Şekil 6.9), farklı enerji seviyelerinde (25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J, 700J, 800J ve 900J) gerçekleştirilmiştir. Testlerde, (90×90)mm ölçülerinde hazırlanan darbe test numuneleri kullanılmıştır. Darbe yüklemesi için düşen ağırlık sistemi üzerinde toplam 25836 g. ağırlık kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Darbe yüklemelerinden sonra, darbe test cihazına bağlı olan “Impulse Data Acquisition” yazılımından grafikler elde edilmiştir.



Şekil 6.8 Instron 9250 HV darbe test cihazı



Şekil 6.9 Darbe testlerinde kullanılan, 16mm çaplı yarıküresel darbe ucu

6.3.8 Metalografik İncelemeler

Hazırlanan numunelerin yapıları, JEOL JSM-6510LV SEM (Şekil 6.10) ve Stemi SV6 ışık mikroskobu (Şekil 6.11) ile incelenmiştir.



Şekil 6.10 JEOL JSM-6510LV SEM tarama elektron mikroskobu



Şekil 6.11 Stemi SV6 ışık mikroskobu

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR

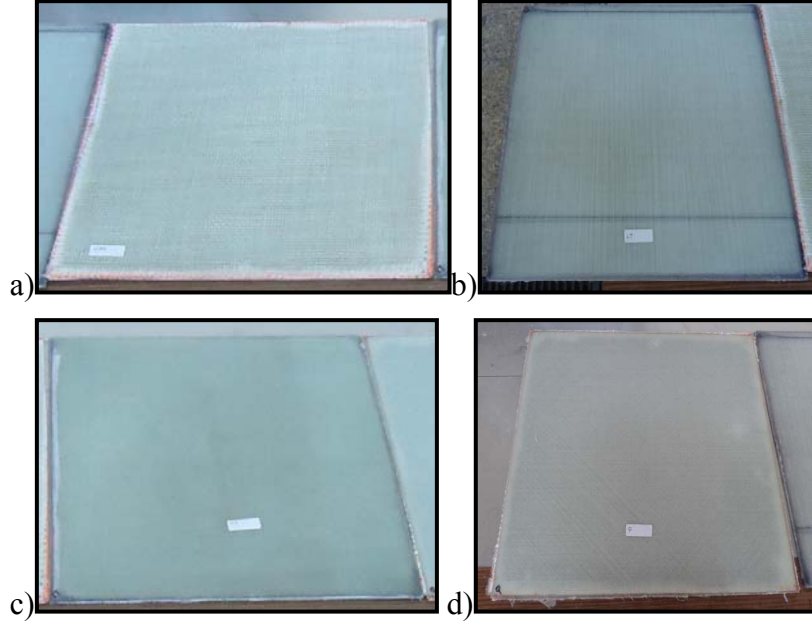
7.1 Üretim Sonuçları

Takviye malzemesi olarak, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve matriks malzemesi olarak, Polipol 3401-CTP tipi polyester kullanılarak, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemi ve el yatırması yöntemiyle kompozitler üretilmiştir. Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretilen kompozitlerin ağırlıklarının, el yatırması yöntemiyle üretilen kompozitlerin ağırlıklarından düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.1).

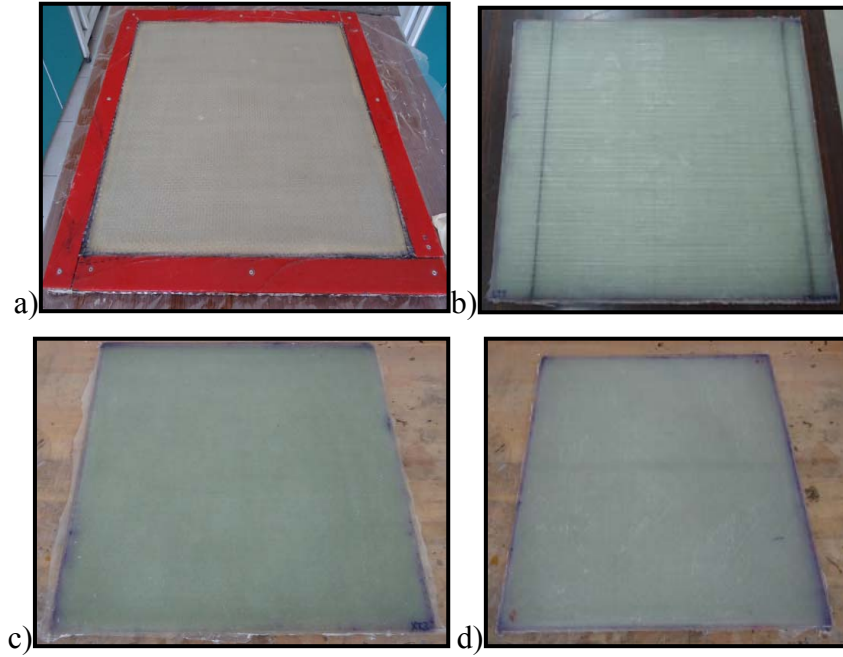
Çizelge 7.1 Üretilen kompozitlerin ağırlıkları

KOD	C1	C2	LT1	LT2	XT1	XT2	Q1	Q2
Kumaş Türü	$0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş		$0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		$45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		$0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş	
Üretim Yöntemi	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması
Ağırlıklar [g]	4155	4460	4305	4958	4145	5100	4393	4560

Üretilen kompozitlerin resimleri Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de görülmektedir.



Şekil 7.1 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle; a) $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla, b) $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla, c) $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla, d) $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitler



Şekil 7.2 El yatırması yöntemiyle; a) $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla, b) $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla, c) $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla, d) $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitler

7.2 Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Yoğunluk ölçüm sonuçları beşer adet numunede yapılan ölçümlerin ortalamaları alınarak elde edilmiştir (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2 Üretilen kompozitlerin hesaplanan yoğunlukları

KOD	C1	C2	LT1	LT2	XT1	XT2	Q1	Q2
Kumaş Türü	0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş		0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş	
Üretim Yöntemi	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması
Yoğunluk (Hesaplanan)	1,96	1,74	1,79	1,61	1,88	1,70	1,92	1,62

7.3 Yakma Testi Sonuçları

Yakma testleri, % elyaf ağırlık oranının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3 Üretilen kompozitlerin elyaf ağırlık oranları yüzdesi

KOD	C1	C2	LT1	LT2	XT1	XT2	Q1	Q2
Kumaş Türü	0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş		0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş	
Üretim Yöntemi	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması
Elyaf Ağırlık Oranı (%)	74	60	66	49	67	57	75	50

7.4 Elyaf Hacim Oranı Ölçüm Sonuçları

Üretilen kompozitlerdeki elyaf ağırlıkları yakma testinde belirlendikten sonra; elyafın yoğunluğu $2,55 \text{ g/cm}^3$ ve polyesterin yoğunluğu $1,128 \text{ g/cm}^3$ olmak üzere, elyaf hacim oranı, karışımlar kuralına göre planlanmıştır. Üretilen kompozitlerin elyaf hacim oranı

yüzdeleri karşılaştırıldığında, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle gerçekleştirilen üretimlerde oranın daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 7.4).

Çizelge 7.4 Üretilen kompozitlerin elyaf hacim oranları

KOD	C1	C2	LT1	LT2	XT1	XT2	Q1	Q2
Kumaş Türü	0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş		0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş	
Üretim Yöntemi	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması
Elyaf Hacim Oran (%)	56	40	47	30	47	37	57	30

7.5 Sertlik Ölçüm Sonuçları

Barcol sertlik değerleri, numuneler üzerinde on ayrı yerden alınan ölçümlerin ortalamasıyla belirlenmiştir.

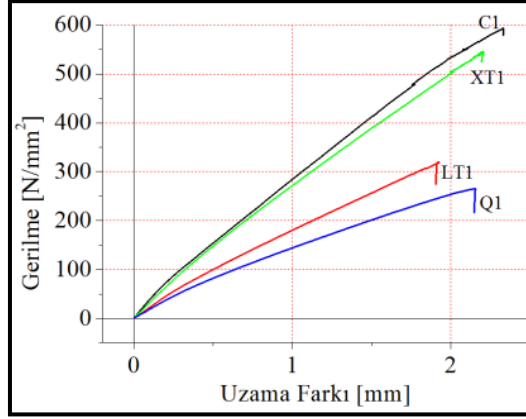
Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretilen kompozitlerin sertliklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değeri 69 Barcol sertlik değeri ile kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, polyester matrisli cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitte (C1) ölçülmüştür (Çizelge 7.5).

Çizelge 7.5 Üretilen kompozitlerin Barcol sertlik sonuçları

KOD	C1	C2	LT1	LT2	XT1	XT2	Q1	Q2
Kumaş Türü	0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş		0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş	
Üretim Yöntemi	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması	Kapalı kalıpta soğuk pres	El yatırması
Barcol Sertlik	69	57	56	52	63	59	61	59

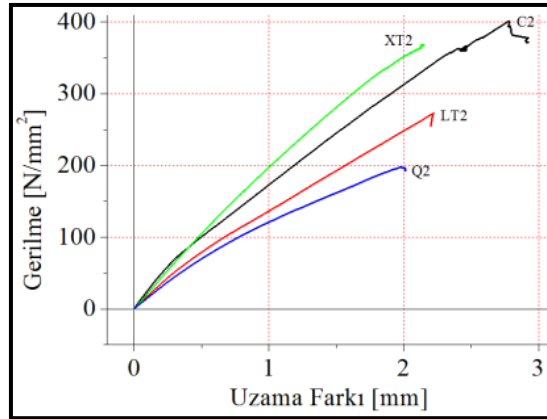
7.6 Çekme Testi Sonuçları

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretilen kompozitlere uygulanan çekme testlerinden elde edilen gerilme-uzama eğrileri incelendiğinde; kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin çekme dayanımı 594 N/mm², kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin çekme dayanımı 544 N/mm², kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin çekme dayanımı 319 N/mm² ve kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin çekme dayanımı 265 N/mm² olarak belirlenmiştir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Çekme testi sonuçları, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretim; 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş (C1); 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (LT1), 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (XT1) ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşın (Q1) karşılaştırılması

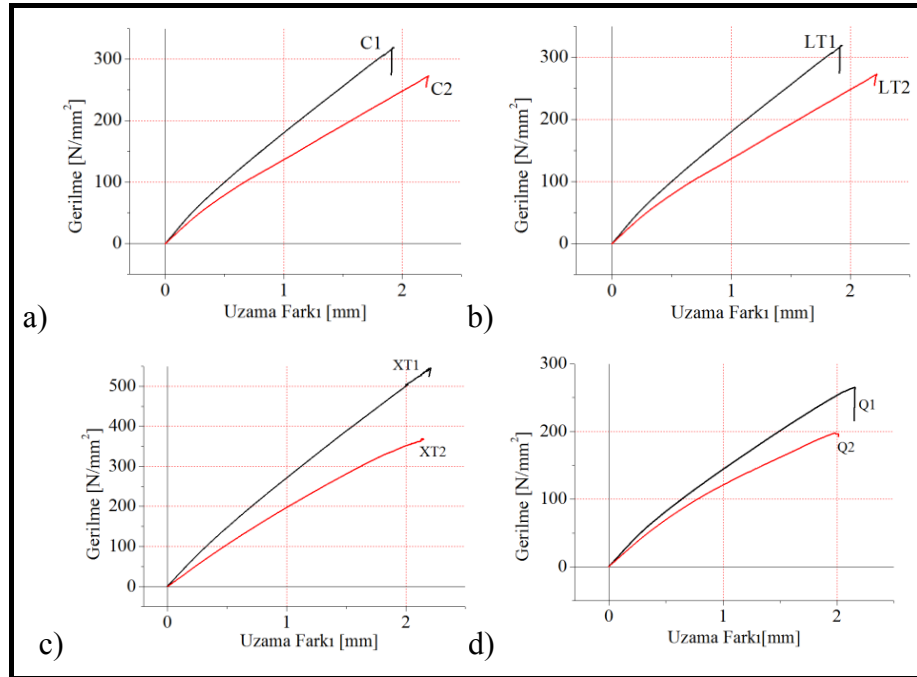
El yatırması yöntemiyle üretilen kompozitlere uygulanan çekme testlerinden elde edilen gerilme-uzama eğrileri incelendiğinde; el yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C2) çekme dayanımı 401 N/mm², el yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (XT2) çekme dayanımı 368 N/mm², el yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT2) çekme dayanımı 272 N/mm² ve el yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (Q2) çekme dayanımı 201 N/mm² olarak belirlenmiştir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 Çekme testi sonuçları; el yatırması yöntemiyle üretim; 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş (C2); 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (LT2), 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (XT2) ve 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşın (Q2) karşılaştırılması

Üretim yöntemlerine göre çekme dayanımları karşılaştırmalı olarak incelendiğinde; kapalı kalıpta soğuk presle yapılan üretimlerde elde edilen gerilme değerlerinin, el yatırması yönteminde elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitteki (C1) gerilme değerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Karşılaştırmalı olarak bakıldığında, el yatırması yöntemiyle, $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitteki (Q2) gerilme değerinin en alt seviyede olduğu görülmektedir. El yatırması yöntemiyle, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (C2) ve el yatırması yöntemiyle, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitteki (LT2) uzama değerlerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. XT1, XT2, Q1 ve Q2 üretimleri incelendiğinde, benzer şekilde kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretim değerleri el yatırması değerlerinden daha yüksek elde edilmiştir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 Çekme testi sonuçlarının üretim yöntemlerine göre karşılaştırılması, a)C1-C2, b)LT1-LT2, c)XT1-XT2, d) Q1-Q2

Üretim yöntemlerine ve kumaş türlerine göre yapılan kompozit üretimleri için gerçekleştirilen çekme testlerinden elde edilen dayanım değerlerine göre, kapalı kalıpta

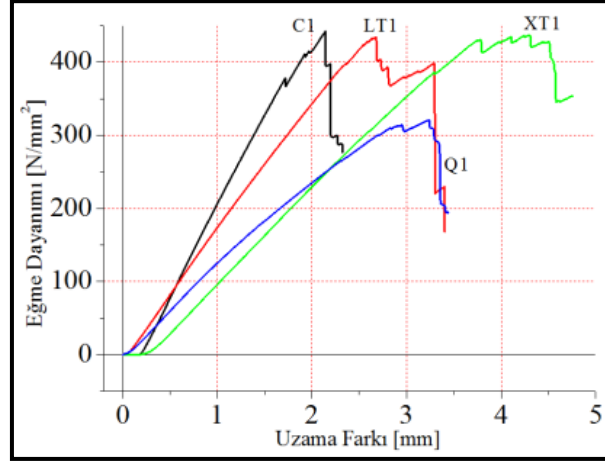
soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin diğer sonuçlara göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür (Çizelge 7.6).

Çizelge 7.6 Çekme testi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin karşılaştırılması

KOD	C1	C2	LT1	LT2	XT1	XT2	Q1	Q2
Üretim Yöntemi	0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş		0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş	
Çekme Dayanımı (N/mm²)	594	401	319	272	544	368	265	201

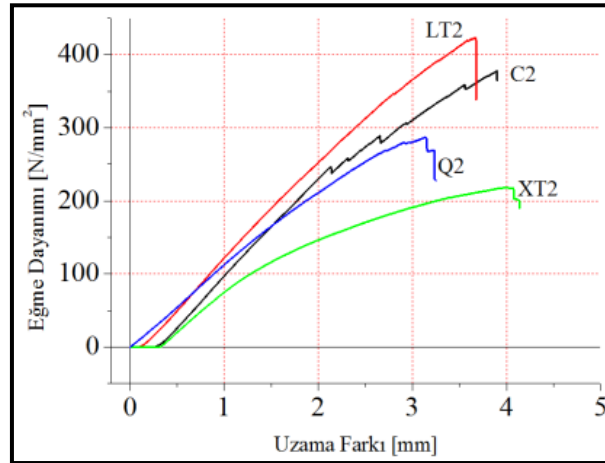
7.7 Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle ve 0°/90° yönlü cam elyaf dokuma kumaşlar, 0°/90° yönlü cam elyaf dikişli kumaşlar, 45°/90°/-45° yönlü cam elyaf dikişli kumaşlar ve 0°/45°/-45°/90° yönlü cam elyaf dikişli kumaşlar kullanılarak üretilen kompozitlere uygulanan eğme testleri incelendiğinde; kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C1) dayanım değeri N/mm², 45°/90°/-45° yönlü cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (XT1) eğme dayanımı değeri 437 N/mm², 0°/90° yönlü cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT1) eğme dayanımı değeri 434 N/mm² ve 0°/45°/-45°/90° yönlü cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (Q1) eğme dayanımı 321 N/mm² olarak belirlenmiştir (Şekil 7.6).



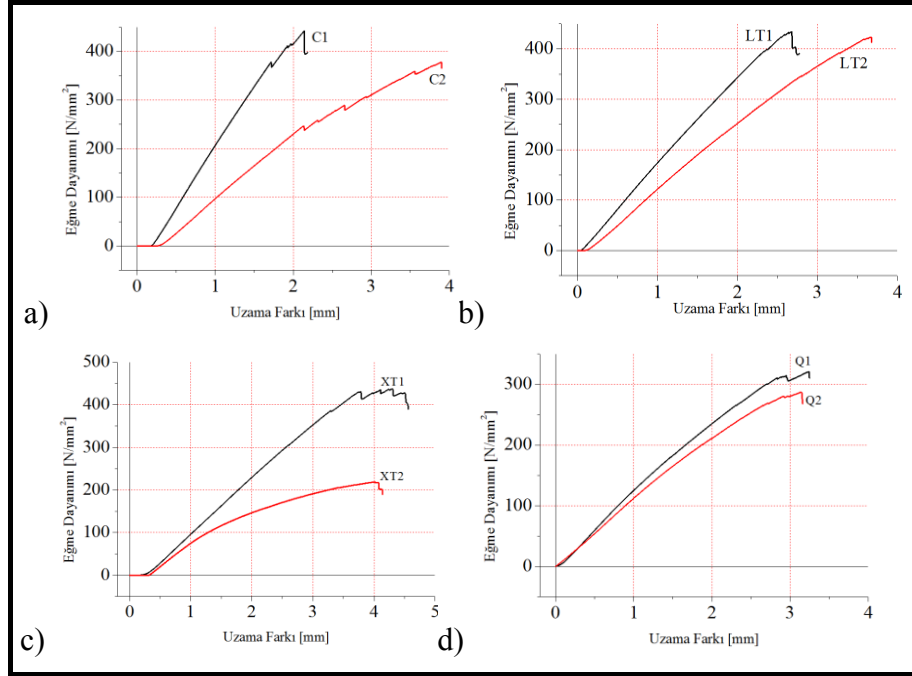
Şekil 7.6 Eğme testi sonuçları, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretim; (C1), (LT1), (XT1) ve (Q1) kompozitlerinin karşılaştırılması

El yatırması yöntemiyle üretilen kompozitlere uygulanan eğme testleri incelendiğinde; $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT2) eğme dayanımı N/mm^2 , $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C2) eğme dayanımı $378 N/mm^2$, $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (Q2) eğme dayanımı $287 N/mm^2$ ve $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (XT2) eğme dayanımı $218 N/mm^2$ olarak belirlenmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7 Eğme testi sonuçları, el yatırması yöntemiyle üretim; $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş (C2), $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (LT2), $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş (XT2) ve $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşın (Q2) karşılaştırılması

Üretim yöntemlerine göre eğme dayanımları karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, kapalı kalıpta soğuk presle yapılan üretimlerde elde edilen çekme dayanımı değerlerinin, el yatırması yöntemine göre yapılan üretimlerde elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 7.8).



Şekil 7.8 Eğme testi sonuçlarının üretim yöntemlerine göre karşılaştırılması, a)C1-C2, b)LT1-LT2, c)XT1-XT2, d) Q1-Q2

Eğme testlerinden elde edilen eğme dayanımı değerleri Çizelge 7.7’de verilmiştir.

Çizelge 7.7 Eğme testi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin karşılaştırılması

KOD	C1	C2	LT1	LT2	XT1	XT2	Q1	Q2
Üretim Yöntemi	0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaş		0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaş		0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaş	
Eğme Dayanımı (N/mm²)	442	378	434	423	437	218	321	287

7.8 Darbe Testi Sonuçları

Darbe testlerinde, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (C1) ve el yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (C2), kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (LT1) ve el yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (LT2), kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT1) ve el yatırması yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT2) ve kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q1) ve el yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q2) kullanılarak üretilen kompozitlerden alınan numunelere yapılan darbe testleri sonrasında alınan veriden elde edilen eğriler yardımıyla sonuçlar incelenmiştir.

Darbe testleri sonuçları incelendiğinde, darbe ucunun geri sekmesi (rebounding), nüfuziyet (penetration) ve delip geçme (perforation) olarak üç çeşit hareket görülmektedir. Darbe ucu ile kompozit malzeme arasındaki yük kuvvetinin darbe enerjisiyle doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Geri sekme durumunda, darbe ucu numuneye çarptıktan sonra geri dönmekte ve darbe olayı sonunda yük sıfır olmaktadır. Nüfuziyet durumunda, darbe ucu malzemeye gömülerek hızı sıfıra inmiştir. Darbe enerjisi elyafların tamamını kırarak kadar büyük olduğunda kompozitte delinme gerçekleşmiştir. Kompozitin delinmesinden sonra yük sıfıra inmemiştir ve bu durum kompozit malzeme ile darbe ucu arasında meydana gelen sürtünme kuvvetinden ileri gelmektedir. Yük-sapma eğrisinin altında kalan alanın miktarı soğurulan enerji miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Geri dönüş durumunda darbe enerjisi soğurulan enerjiden büyük olduğu için kompozit malzeme darbe ucunun sahip olduğu tüm enerjiyi karşılayamamıştır. Nüfuziyet durumunda, kompozit malzeme darbe ucunun enerjisinin

tamamını karşılamış ve darbe ucu kompozit malzeme içine gömülerek hızı sıfıra inmiştir.

Darbe testleri sonucunda elde edilen yük-sapma eğrileri incelendiğinde; iki tip eğri elde edilmiştir. Bu eğriler kapalı ve açık eğriler olarak adlandırılmaktadır [51].

Kapalı eğrilerde yük değeri arttıkça sapma miktarı artmaktadır. İlk aşamada matriks kırılması gerçekleşerek eğride bir pik oluşturmuştur. Bu aşamada eğilme yükleri devrede olduğu için malzemenin arka kısmında elyaflar kırılmıştır. Daha sonra matriks kırılması meydana gelmiştir. Burada oluşan hasarlar esasen elyaf kırılmalarından ileri gelmektedir. Daha sonra yük değerleri ani yükselişle devam etmiştir. Daha sonra nüfuziyet ve delinme bölgeleri oluşmuştur.

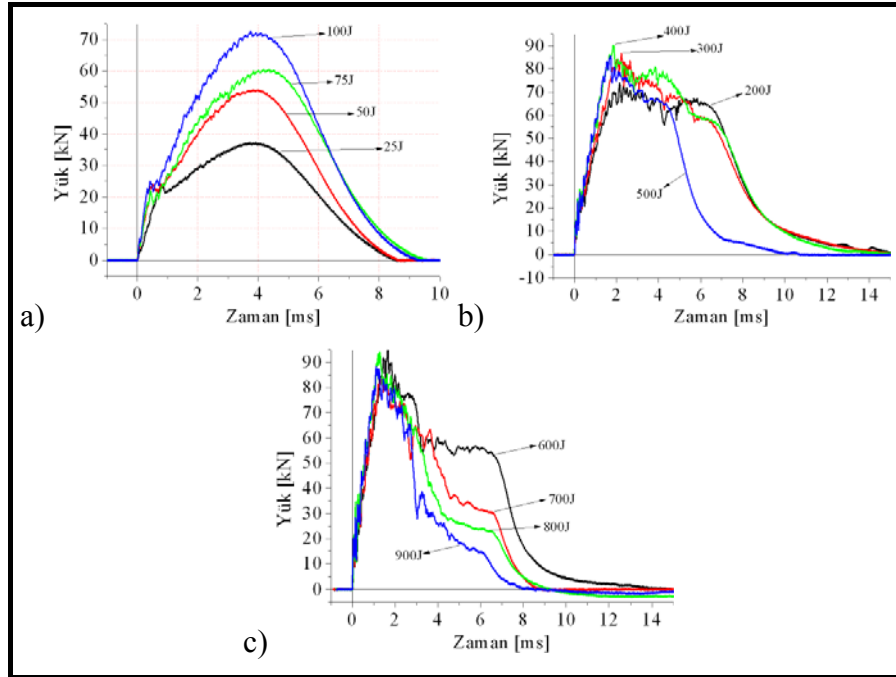
Farklı enerjilerdeki yük-sapma eğrileri, kompozit malzemenin darbe yüklemelerine karşı tepkilerini göstermektedir. Düşük enerji seviyelerinde kapalı tip eğri elde edilirken bundan sonra oluşan kısımlar geri sekme (rebounding) bölgeleridir. Bu bölgede hem yük hem de sapma azalmaktadır.

Hız-zaman eğrileri incelendiğinde, darbe ucu belirli bir potansiyel enerjiyle kompozit malzemeye çarptıktan sonra kompozitin ucu engellemesinden dolayı hızı düşmektedir. Geri dönüş durumunda darbe ucunun hızı çarpma yönüne ters olduğundan dolayı negatif değerler oluşmuştur. Nüfuziyet durumunda vurucunun numuneye saplanması suretiyle hızı sıfıra düşmüş ve malzemede meydana gelen sapma miktarı maksimum değere ulaşmıştır. Delinme durumunda, darbe ucu numuneye çarptıktan sonra kompozit malzeme ucun sahip olduğu enerjinin tamamını soğuramamış ve darbe ucu hareketine devam etmiştir.

7.8.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (C1) Uygulanan Darbe Test Sonuçları

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (C1) uygulanan darbe testlerinde; 25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J, 700J, 800J ve 900J enerji değerlerinde, kompozit malzemede delinme gerçekleşmemiştir. Yük-zaman eğrileri incelendiğinde, malzemeye nüfuziyetin var olduğu belirlenmiştir.

Yük değerleri darbe yüklemesi sonuna doğru zaman eksenine paralel konuma gelmiştir. (Şekil 7.9).

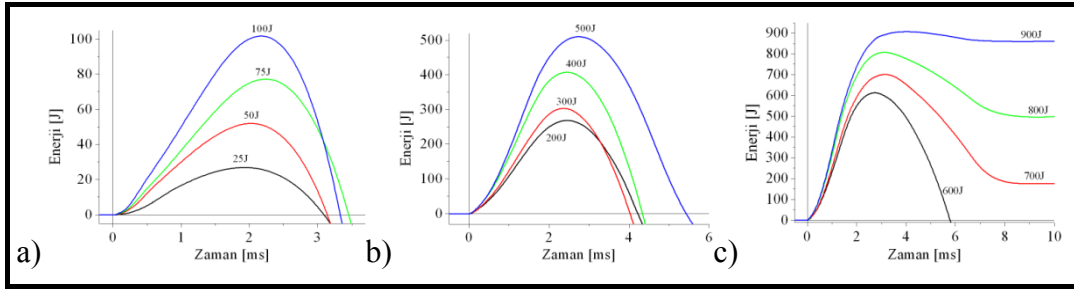


Şekil 7.9 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (C1) için yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J

Enerji seviyesi arttıkça yük değerleri artmaktadır. 25J enerji yüklemesinde yaklaşık 38kN civarındaki maksimum yük değeri 900J enerji yüklemesinde yaklaşık 90 kN değerlerine ulaşmıştır. Enerji seviyesi arttıkça tepki süresinin azaldığı da belirlenmiştir. 25J enerji seviyesinde yaklaşık 9ms gibi bir tepkime süresi verdiği halde, 900J enerji seviyesinde yaklaşık 8ms'ye düşmüştür.

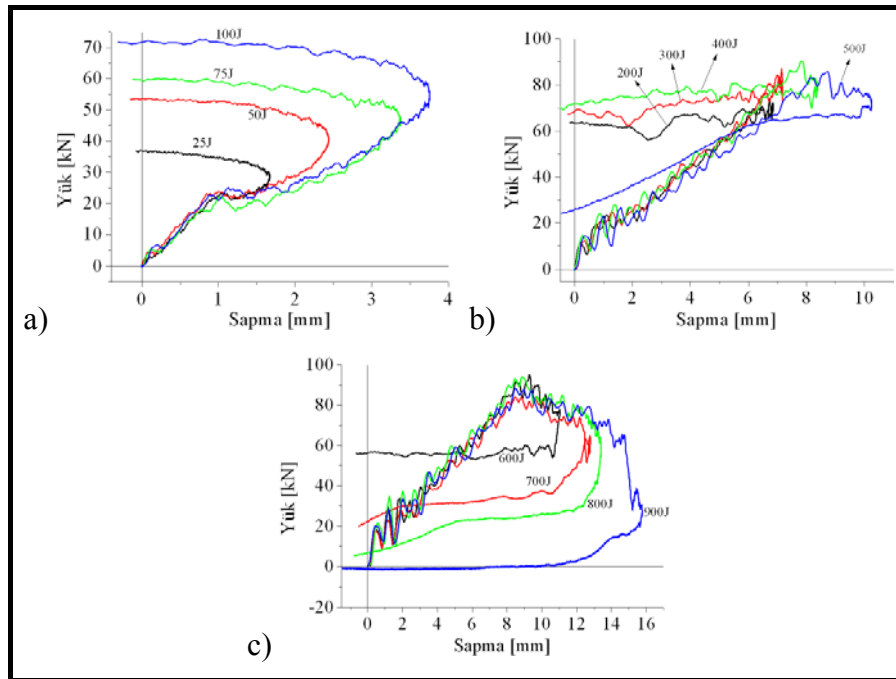
Enerji-zaman grafikleri incelendiğinde, 25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J seviyelerinde enerjinin zamanla arttığı ve bir maksimum değere ulaştıktan sonra yaklaşık aynı eğimle azaldığı görülmektedir. Bu durum darbe ucunun malzeme yüzeyine çarptıktan sonra geri teptiğini (rebounding) ve malzemeye nüfuz edemediğini göstermektedir. Enerji seviyelerinin 700J, 800J ve 900J olduğu durumlarda, delinme gerçekleşmemiştir ancak nüfuziyet durumu görülmektedir. 700J-900J enerji yüklemeleri arasında durum değişerek, enerjinin tamamının geri dönmeyerek 700J enerji uygulandığında 200J'de, 800J uygulandığında 500J'de ve 900J uygulandığında yaklaşık 900J civarında sabit bir seviyede kalarak ve sapma eksenine paralel hareket etmektedir. Bu paralel hareketin anlamı, penetrasyonun oluşmasının ardından darbe ucu ile

malzeme arasındaki sürtünme kuvvetlerinin devam etmesidir. Darbe yüklemesi sonuna doğru enerji değerinin sıfıra düştüğü görülmektedir. (Şekil 7.10).



Şekil 7.10 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (C1) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J

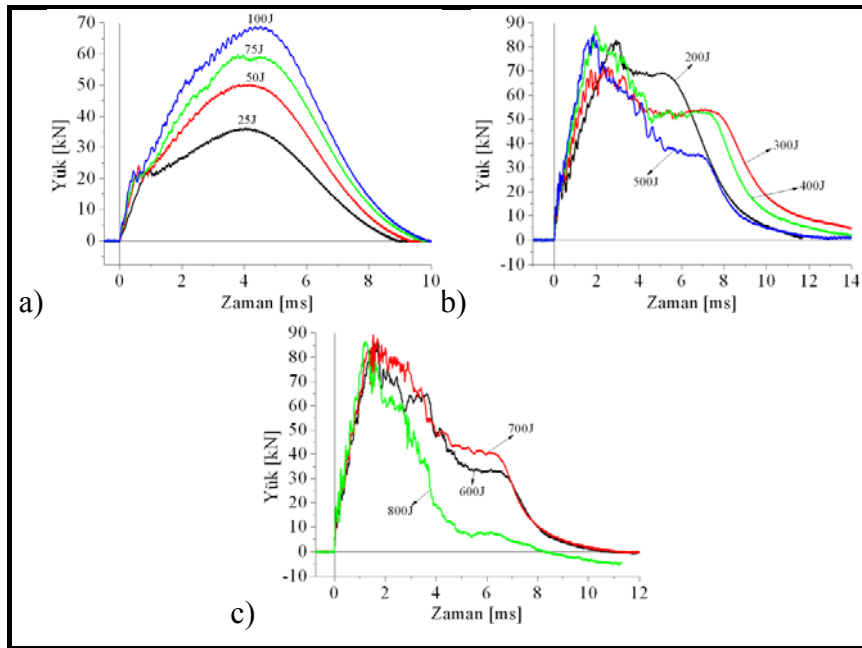
Elde edilen yük-sapma grafiklerinde eğriler kapalı eğrilerdir ve yük belli değerlere çıktıktan sonra yük eksenini kesecek şekilde geri dönüp sapma değerinin sıfır olduğu seviyeye inmektedir. Bu kapalı eğri durumu, delinmenin olmadığını göstermektedir (Şekil 7.11).



Şekil 7.11 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (C1) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J

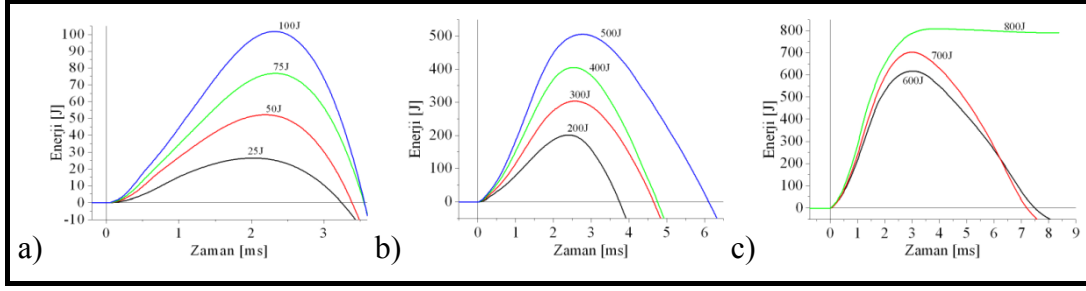
7.8.2 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere Uygulanan (C2) Darbe Test Sonuçları

El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (C2) yapılan darbe testlerinde; 25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J ve 700J enerji değerlerinde, kompozit malzemede delinme gerçekleşmemiştir. Yük değerleri darbe yüklemesi sonuna doğru zaman eğrisine yaklaşmış ve paralel konuma gelmiştir. Bu durum malzemeye nüfuziyetin varlığını göstermektedir (Şekil 7.12).



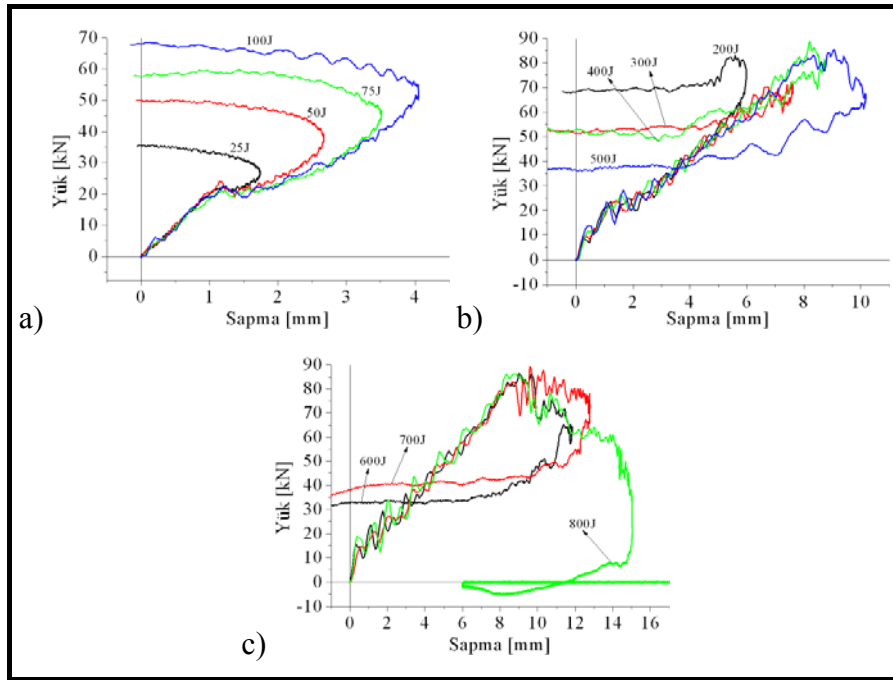
Şekil 7.12 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (C2) için yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-800J

Enerji-zaman grafikleri incelendiğinde, (25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J ve 700J) seviyelerinde enerjinin zamanla arttığı ve darbe yüklemesi sonuna doğru enerji değerinin sıfıra düştüğü görülmektedir. Bu durum darbe ucunun malzeme yüzeyine çarptıktan sonra geri sektiğini, malzemeye nüfuz edemediğini göstermektedir. Enerji seviyesi 800J olduğunda ise delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.13).



Şekil 7.13 El yatırmasıyla, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitler (C2) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-800J

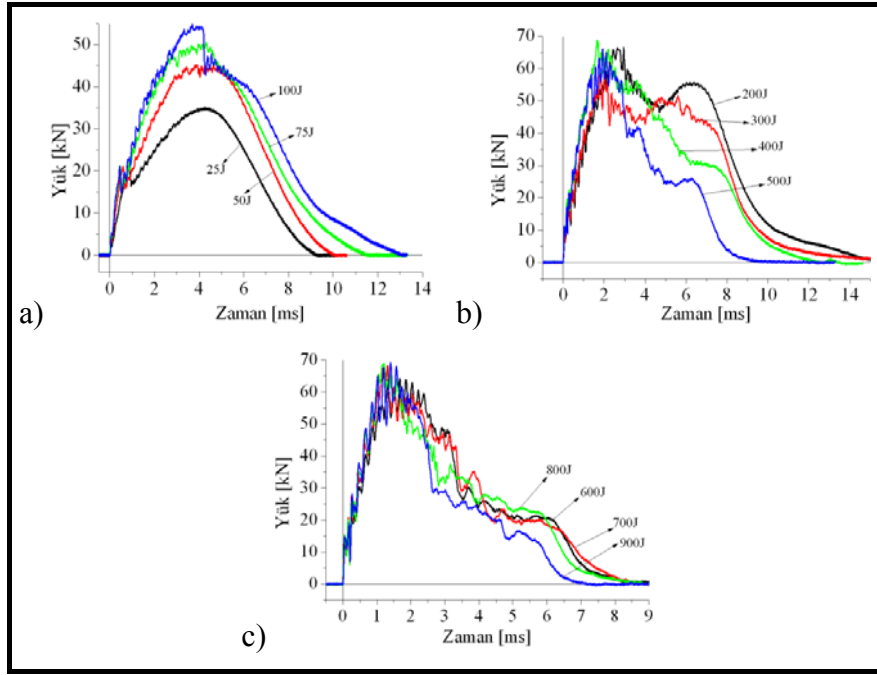
Elde edilen yük-sapma grafiklerinde eğriler kapalıdır ve yük yükseldikten sonra yük eksenini kesecek şekilde geri dönüp sapmanın sıfır olduğu seviyeye inmektedir. Bu durum, delinme olmadığını göstermektedir. 800J'de eğri açık eğri durumuna gelmek üzere geri dönüşüne başlamış, daha sonra tekrar geri dönerek sapma eksenine paralel olarak hareket etmiştir. Bu durum malzemede kısmi delinmenin gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 7.14).



Şekil 7.14 El yatırmasıyla, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitler (C2) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-800J

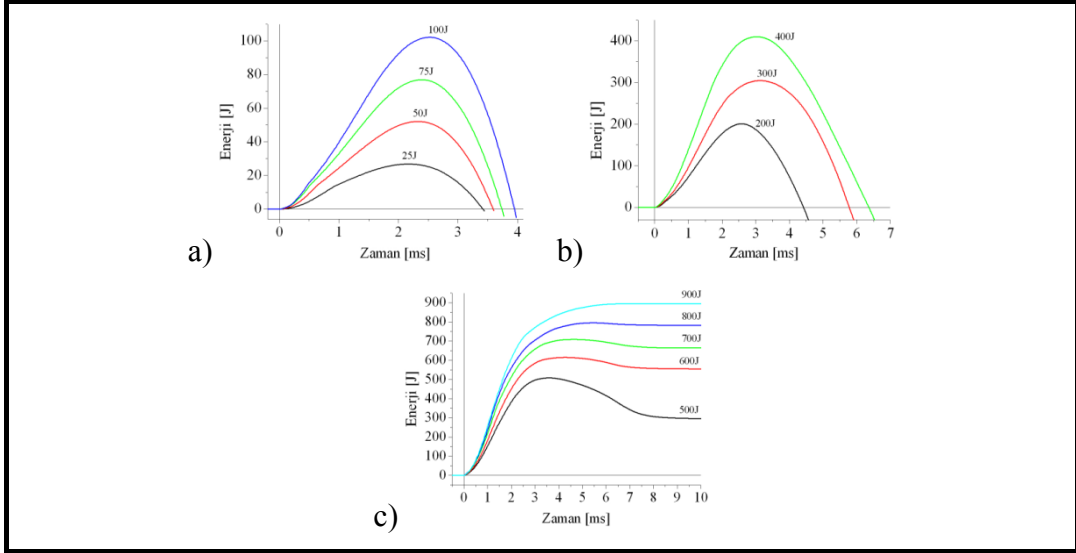
7.8.3 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitler (LT1) İçin Darbe Test Sonuçları

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (LT1) uygulanan darbe testleri sonucu, 25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J, 400J, 500J, 600J, 700J ve 800J enerji değerlerinde, kompozit malzemede delinme gerçekleşmemiştir. Yük-zaman eğrileri incelendiğinde, darbe ucunun malzemeye nüfuziyetinin gerçekleştiği görülmüştür. Yük değerleri darbe yüklemesi sonuna doğru zaman eğrisine yaklaşmış ve paralel konuma gelmiştir. Bu durum malzemeye nüfuziyetin varlığını göstermektedir (Şekil 7.15).



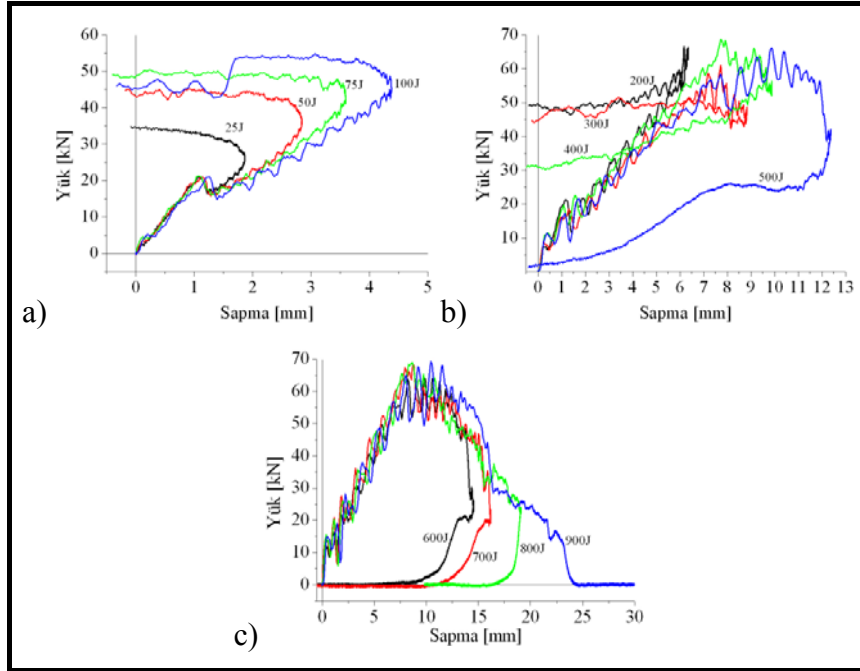
Şekil 7.15 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (LT1) için, yük-zaman grafikleri, a) 25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J

Enerji-zaman grafikleri incelendiğinde, 25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J ve 400J seviyelerinde enerjinin zamanla arttığı ve darbe yüklemesi sonuna doğru enerji değerinin sıfıra düştüğü görülmektedir. Bu durum darbe ucunun malzeme yüzeyine çarptıktan sonra geri teptiğini (rebounding) ve malzemeye nüfuz edemediğini göstermektedir. Enerji seviyesi 500J, 600J, 700J ve 800J olduğunda delinme gerçekleşmemiştir, ancak nüfuziyet görülmektedir. 900J enerji seviyesinde ise delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.16).



Şekil 7.16 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (LT1) için, enerji-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J, c)500J-900J

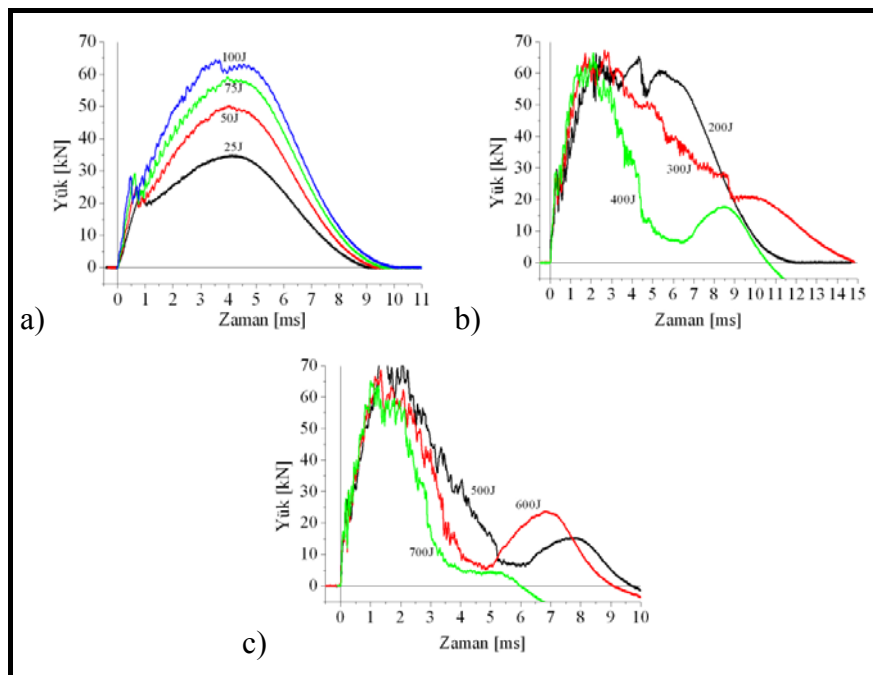
Elde edilen yük-sapma grafiklerinde 800J enerji seviyesine kadar eğriler kapalı eğrilerdir ve yük belli değerlere çıktıktan sonra yük eksenini kesecek şekilde geri dönüp sapma değerinin sıfır olduğu seviyeye inmektedir. Bu durum, delinmenin olmadığını göstermektedir. Ancak darbe enerjisi 900J olduğunda eğri diğerlerinden farklı bir şekilde açık eğri durumuna gelmiştir. Bu durum malzemede delinmenin gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 7.17).



Şekil 7.17 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (LT1) için, yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J

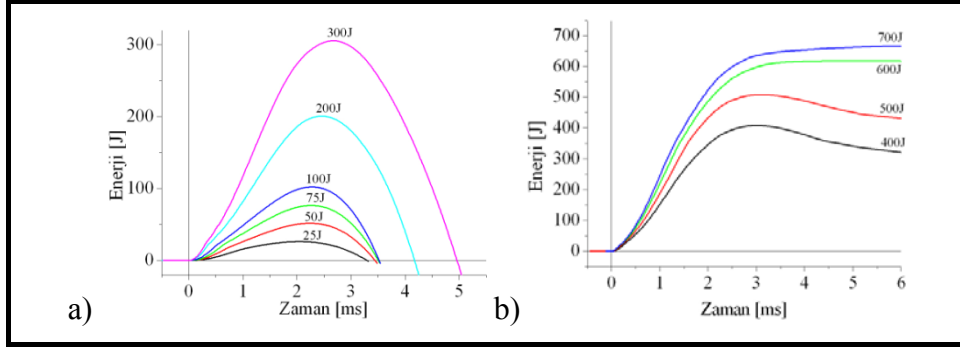
7.8.4 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (LT2) Uygulanan Darbe Test Sonuçları

İki eksenli dikişli kumaşla, el yatırması yöntemiyle üretilen (LT2) kompozit malzemeye yapılan darbe testleri sonuçlarına göre, 25J, 50J, 75J, 100J, 200J ve 300J enerji değerlerinde, kompozit malzemede delinme gerçekleşmemiştir. Yük-zaman eğrileri incelendiğinde, malzemeye nüfuziyetin var olduğu belirlenmiştir. Yük değerleri darbe yüklemesi sonuna doğru zaman eğrisine yaklaşmış ve paralel konuma gelmiştir. Bu durum malzemeye nüfuziyetin varlığını göstermektedir (Şekil 7.18).



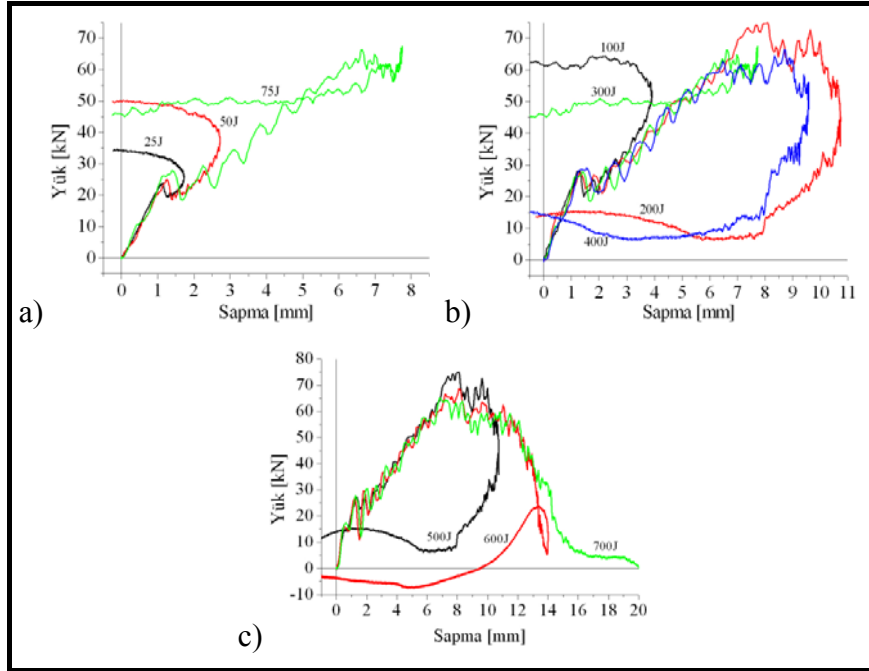
Şekil 7.18 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (LT2) için, yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J, c)500J-700J

Enerji-zaman grafikleri incelendiğinde, 25J, 50J, 75J, 100J, 200J ve 300J seviyelerinde enerjinin zamanla arttığı ve darbe yüklemesi sonuna doğru enerji değerinin sıfıra düştüğü görülmektedir. Bu durum darbe ucunun malzeme yüzeyine çarptıktan sonra geri teptiğini (rebounding) ve malzemeye nüfuz edemediğini göstermektedir. Enerji seviyesi 400J, 500J ve 600J olduğunda delinme gerçekleşmemiştir, ancak nüfuziyet görülmektedir. 700J enerji seviyesinde ise delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.19).



Şekil 7.19 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (LT2) için, enerji-zaman grafikleri, a)25J-300J, b)400J-700J

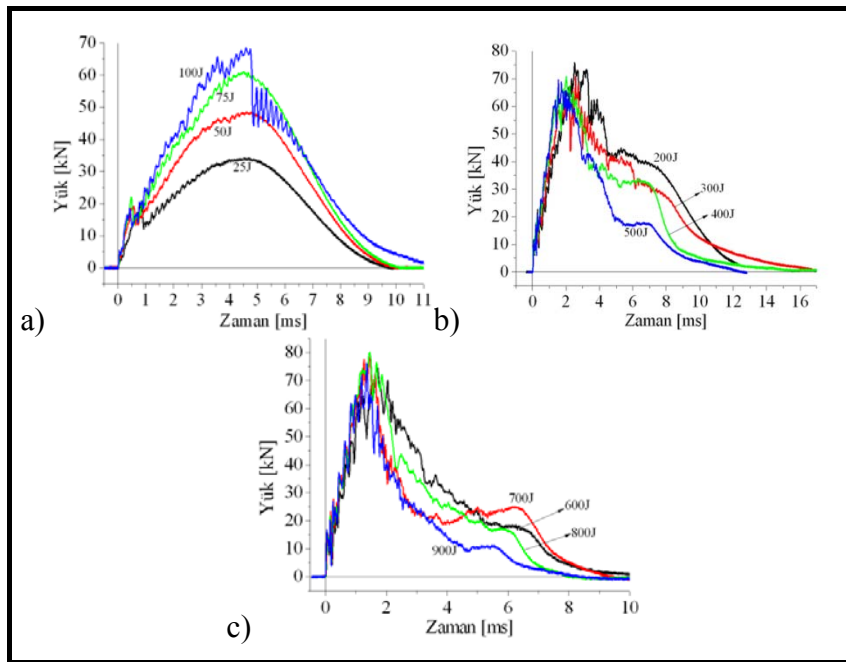
Elde edilen yük-sapma grafiklerinde 700J enerji seviyesine kadar eğriler kapalı eğrilerdir ve yük belli değerlere çıktıktan sonra yük eksenini kesecek şekilde geri dönüp sapma değerinin sıfır olduğu seviyeye inmektedir. Bu durum, delinmenin olmadığını göstermektedir. Ancak darbe enerjisi 700J olduğunda eğri diğerlerinden farklı bir şekilde açık eğri durumuna gelmiştir. Bu durum malzemede delinmenin gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 7.20).



Şekil 7.20 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (LT2) için yük-sapma grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J, c)500J-700J

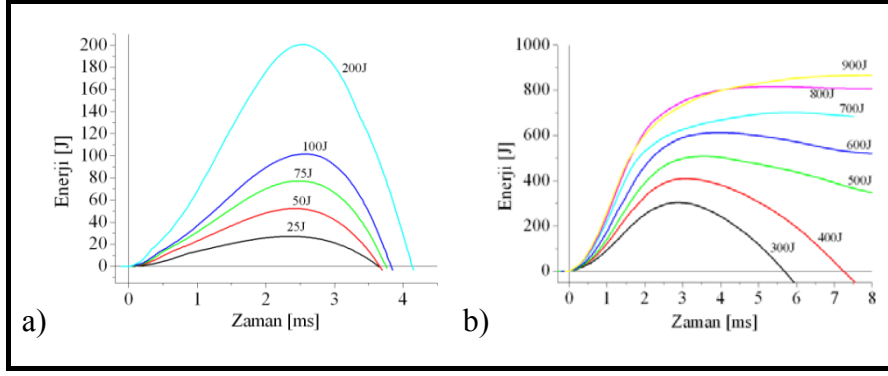
7.8.5 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitler (XT1) İçin Darbe Test Sonuçları

Üç eksenli dikişli kumaşla, el yatırması yöntemiyle üretilen (XT1) kompozit malzemeye 25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J ve 400J enerji değerlerinde, uygulanan darbe testlerinde kompozit malzemede delinme gerçekleşmemiştir. Yük-zaman eğrileri incelendiğinde, malzemeye nüfuziyetin var olduğu belirlenmiştir. Yük değerleri darbe yüklemesi sonuna doğru zaman eğrisine yaklaşmış ve paralel konuma gelmiştir. Bu durum malzemeye nüfuziyetin varlığını göstermektedir (Şekil 7.21)



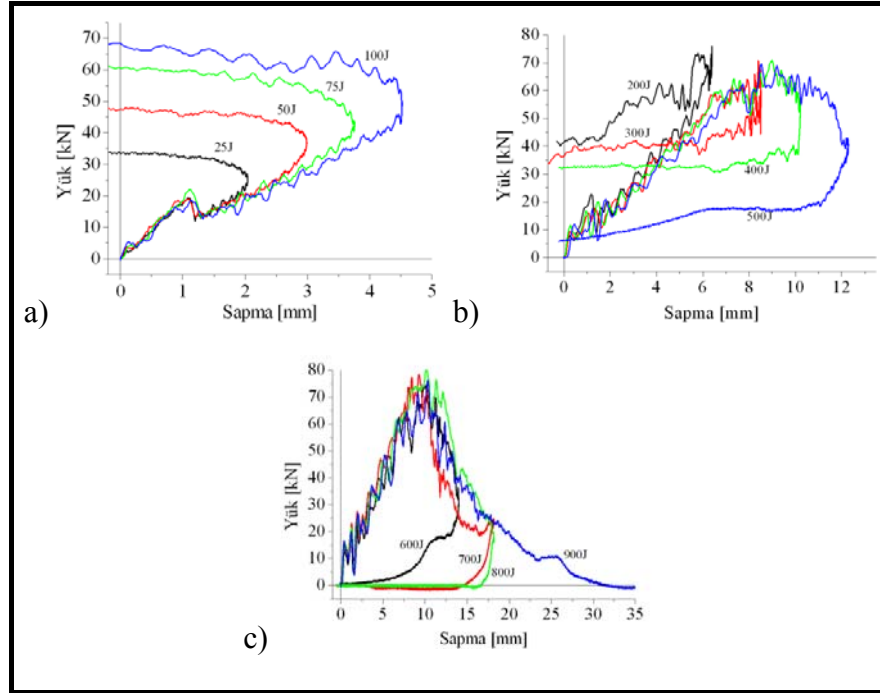
Şekil 7.21 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (XT1) için yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J

Enerji-zaman grafikleri incelendiğinde, 25J, 50J, 75J, 100J, 200J, 300J ve 400J seviyelerinde enerjinin zamanla arttığı ve darbe yüklemesi sonuna doğru enerji değerinin sıfıra düştüğü görülmektedir. Bu durum darbe ucunun malzeme yüzeyine çarptıktan sonra geri teptiğini (rebounding) ve malzemeye nüfuz edemediğini göstermektedir. Enerji seviyesi 500J, 600J, 700J ve 800J olduğunda delinme gerçekleşmemiştir, ancak nüfuziyet görülmektedir. 900J enerji seviyesinde ise delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.22).



Şekil 7.22 Kapalı kalıpta soğuk presle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-dikişli kumaşla üretilen kompozitler (XT1) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-200J, b)300J-900J

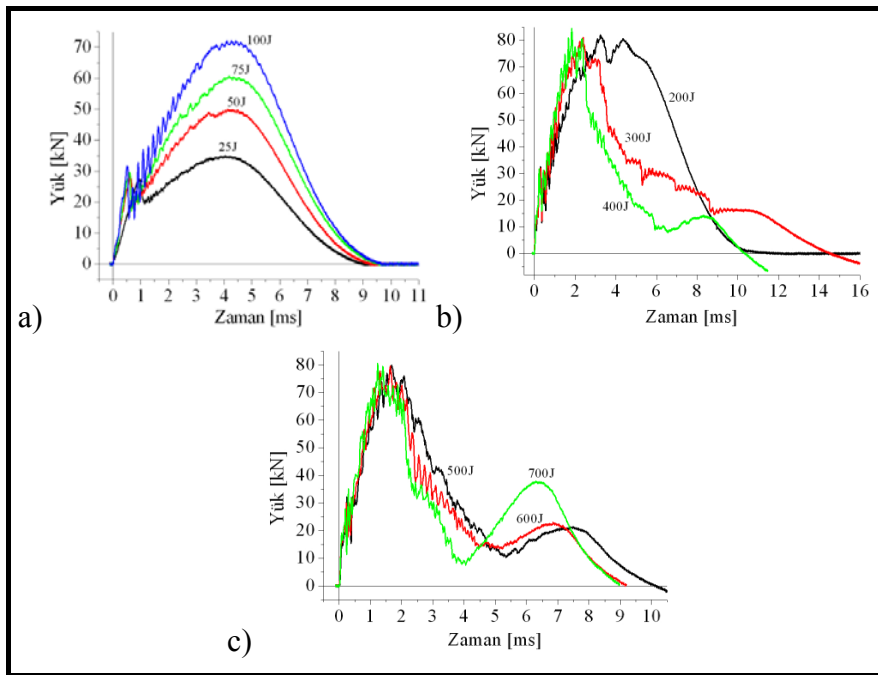
Yük-sapma grafiklerinde 800J'e kadar eğriler kapalıdır ve yük belli değerlere çıktıktan sonra y-eksenini kesecek şekilde geri dönüp sapma değerinin sıfır olduğu seviyeye inmektedir. Bu durumun sebebi, delinmenin olmamasıdır. Ancak 900J'de eğri açık hale gelmiştir. Bu durum malzemenin delindiğini göstermektedir (Şekil 7.23).



Şekil 7.23 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (XT1) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-500J, c)600J-900J

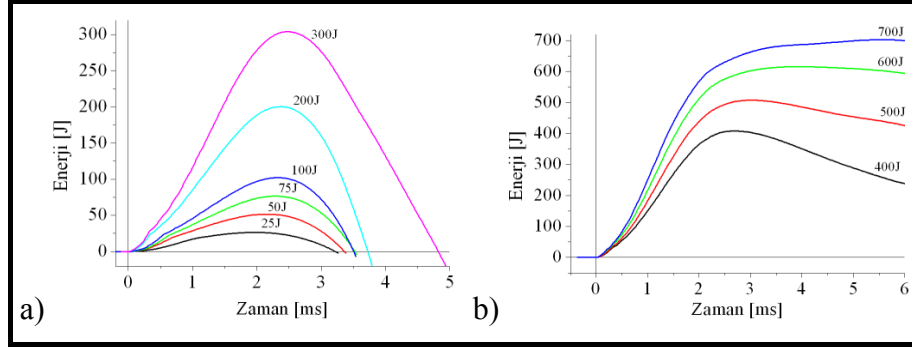
7.8.6 El Yatırması Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (XT2) Uygulanan Darbe Test Sonuçları

Üç eksenli dikişli kumaşla, el yatırması yöntemiyle üretilen (XT2) kompozit malzemeye yapılan darbe testlerinde 25J, 50J, 75J, 100J, 200J ve 300J enerji değerlerinde, kompozit malzemede delinme gerçekleşmemiştir. Yük-zaman eğrileri incelendiğinde, malzemeye nüfuziyetin var olduğu belirlenmiştir. Yük değerleri darbe yüklemesi sonuna doğru zaman eğrisine yaklaşmış ve paralel konuma gelmiştir. Bu durum malzemeye nüfuziyetin varlığını göstermektedir (Şekil 7.24)



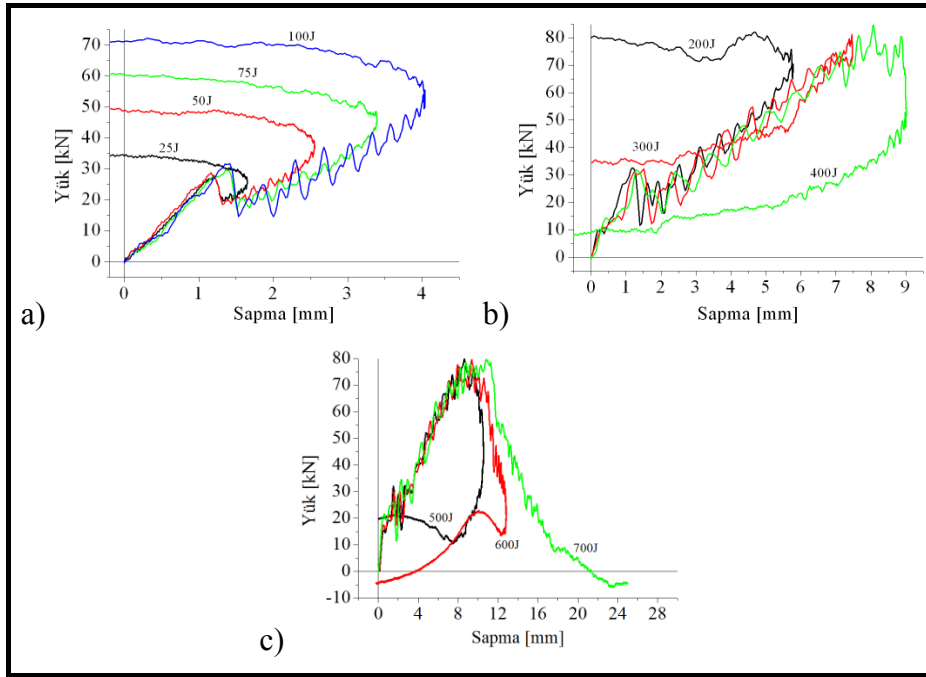
Şekil 7.24 El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT2) için yük-zaman grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J, c)500J-700J

Enerji-zaman grafikleri incelendiğinde, 25J, 50J, 75J, 100J, 200J ve 300J seviyelerinde enerjinin zamanla arttığı ve darbe yüklemesi sonuna doğru enerji değerinin sıfıra düştüğü görülmektedir. Bu durum darbe ucunun malzeme yüzeyine çarptıktan sonra geri teptiğini (rebounding) ve malzemeye nüfuz edemediğini göstermektedir. Enerji seviyesi 400J, 500J ve 600J olduğunda delinme gerçekleşmemiştir, ancak nüfuziyet görülmektedir. 700J enerji seviyesinde ise delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.25).



Şekil 7.25 El yatırması yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT2) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-300J, b)400J-700J

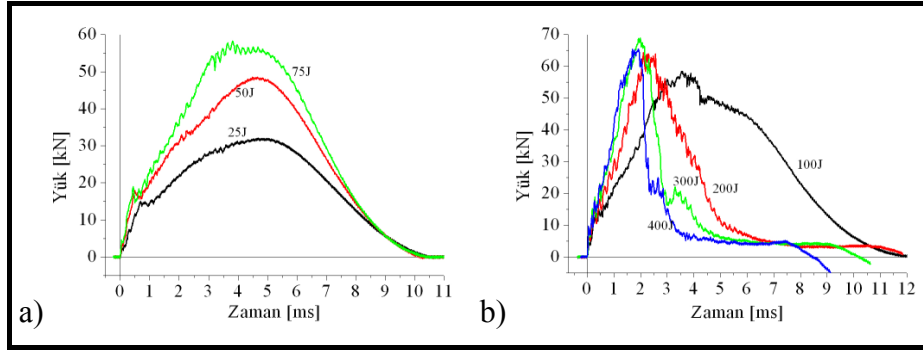
Yük-sapma grafiklerinde 600J'e kadar eğriler kapalı ve yük belli değerlere çıktıktan sonra y-eksenini kesecek şekilde sapma değerinin sıfır olduğu seviyeye inerek delinmenin olmadığını göstermektedir. 700J'de eğri açık haldedir ve delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.26).



Şekil 7.26 El yatırması yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT2) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J, c)500J-700J

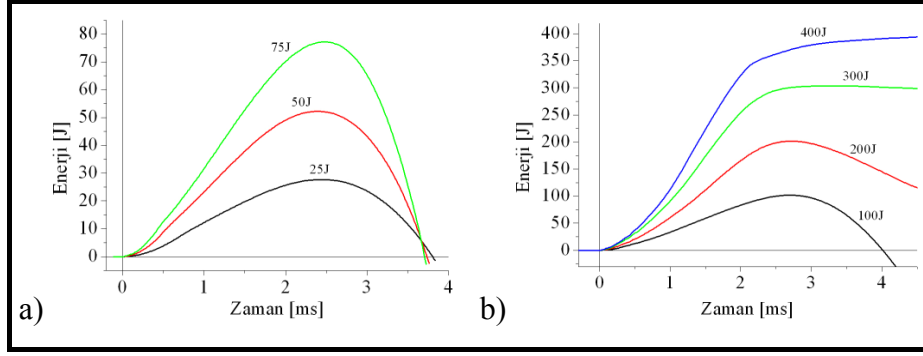
7.8.7 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (Q1) Uygulanan Darbe Test Sonuçları

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit malzemeye (Q1) yapılan darbe testlerinde 25J, 50J, 75J ve 100J enerji değerlerinde, kompozit malzemede delinme gerçekleşmemiştir. Yük-zaman eğrileri incelendiğinde, malzemeye nüfuziyetin var olduğu belirlenmiştir. Yük değerleri darbe yüklemesi sonuna doğru zaman eğrisine yaklaşmış ve paralel konuma gelmiştir. Bu durum malzemeye nüfuziyetin varlığını göstermektedir (Şekil 7.27)



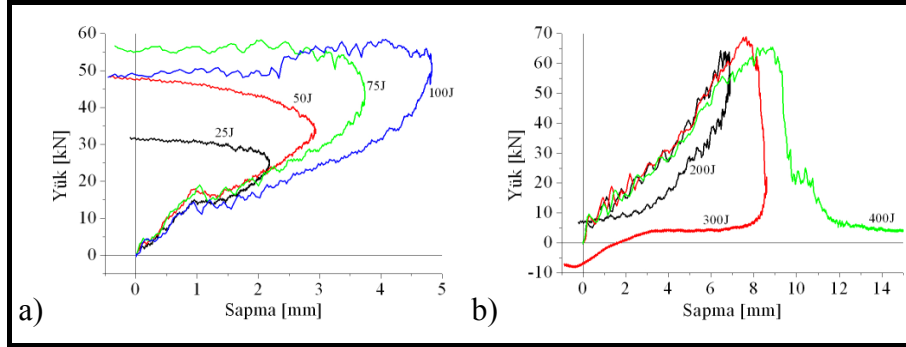
Şekil 7.27 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q1) için yük-zaman grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J

Enerji-zaman grafikleri incelendiğinde, 25J, 50J, 75J ve 100J seviyelerinde enerjinin zamanla arttığı ve darbe yüklemesi sonuna doğru enerji değerinin sıfıra düştüğü görülmektedir. Bu durum darbe ucunun malzeme yüzeyine çarptıktan sonra geri sekme (rebounding) yaptığını ve malzemeye nüfuz edemediğini göstermektedir. Enerji seviyesi 200J ve 300J olduğunda delinme gerçekleşmemiştir, ancak nüfuziyet görülmektedir. 400J enerji seviyesinde ise delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.28).



Şekil 7.28 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (Q1) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J

Elde edilen yük-sapma grafiklerinde 300J enerji seviyesine kadar eğriler kapalı eğrilerdir ve yük belli değerlere çıktıktan sonra y-eksenini kesecek şekilde geri dönüp sapma değerinin sıfır olduğu seviyeye inmektedir. Bu durum, delinmenin olmadığını göstermektedir. Ancak darbe enerjisi 400J olduğunda eğri diğerlerinden farklı bir şekilde açık eğri durumuna gelmiştir. Bu durum malzemede delinmenin gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 7.29).

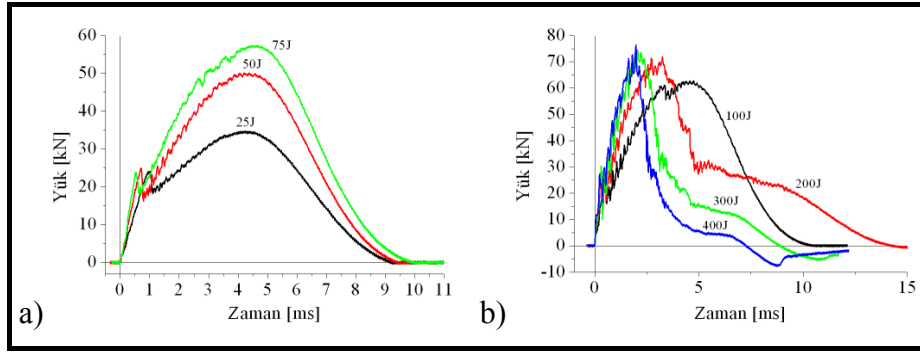


Şekil 7.29 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q1) için yük-sapma grafikleri, a)25J-100J, b)200J-400J

7.8.8 Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (Q2) Uygulanan Darbe Test Sonuçları

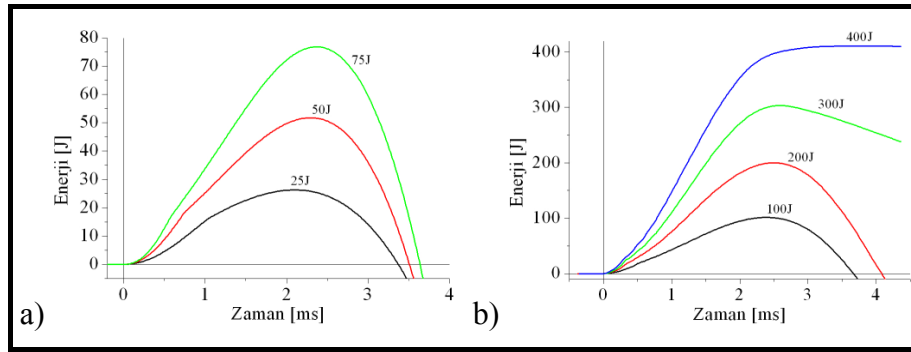
El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit malzemeye (Q2) uygulanan darbe testleri sonuçlarına göre 25J, 50J, 75J, 100J ve 200J enerji değerlerinde, kompozit malzemede delinme gerçekleşmemiştir. Yük-zaman eğrileri incelendiğinde, malzemeye nüfuziyetin var olduğu belirlenmiştir. Yük değerleri darbe

yüklemesi sonuna doğru zaman eğrisine yaklaşmış ve paralel konuma gelmiştir. Bu durum malzemeye nüfuziyetin varlığını göstermektedir (Şekil 7.30)



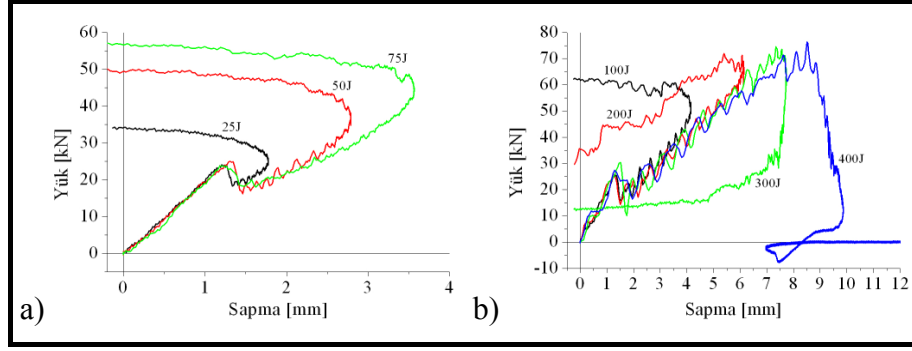
Şekil 7.30 El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q2) için yük-zaman grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J

Enerji-zaman grafikleri incelendiğinde, 25J, 50J, 75J, 100J ve 200J seviyelerinde enerjinin zamanla arttığı ve darbe yüklemesi sonuna doğru enerji değerinin sıfıra düştüğü görülmektedir. Bu durum darbe ucunun malzeme yüzeyine çarptıktan sonra geri teptiğini (rebounding) ve malzemeye nüfuz edemediğini göstermektedir. Enerji seviyesi 300J olduğunda delinme gerçekleşmemiştir, ancak nüfuziyet görülmektedir. 400J enerji seviyesinde ise delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.31).



Şekil 7.31 El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q2) için enerji-zaman grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J

Elde edilen yük-sapma grafiklerinde 300J enerji seviyesine kadar eğriler kapalı eğrilerdir ve yük belli değerlere çıktıktan sonra y-eksenini kesecek şekilde geri dönüp sapma değerinin sıfır olduğu seviyeye inmektedir. Bu durum, delinmenin olmadığını göstermektedir. Ancak darbe enerjisi 400J olduğunda eğri diğerlerinden farklı bir şekilde açık eğri durumuna gelmek üzere geri dönüşüne başlamış fakat daha sonra tekrar geri dönerek sapma eksenine paralel olarak hareket etmiştir. Bu durum malzemede kısmi delinmenin gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 7.32).



Şekil 7.32 El yatırması yöntemiyle, $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (Q2) için yük-sapma grafikleri, a)25J-75J, b)100J-400J

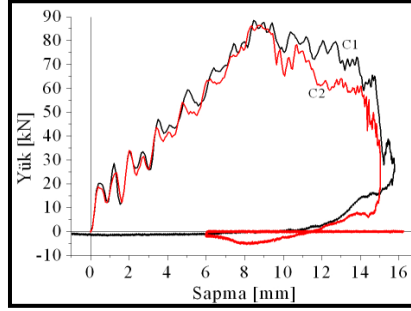
7.8.9 Karşılaştırmalı Darbe Test Sonuçları

Darbe test sonuçlarından elde edilen veri yardımıyla, yük-zaman, yük-sapma ve zamana bağlı olarak enerji ve hız grafikleri incelenmiştir.

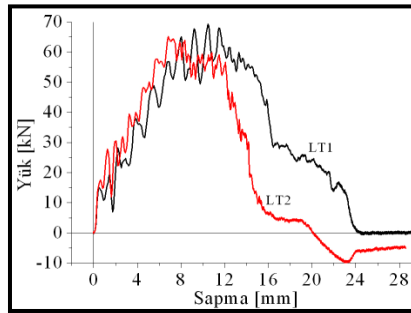
7.8.9.1 Yük-Sapma Grafikleri

Yük-sapma grafikleri incelendiğinde, 900J enerji seviyesinde kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (C1) ve 700J enerji seviyesinde el yatırması yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT2) üretimlerinden elde edilen veriden, yük maksimum (yaklaşık 70 kN) değerine çıktıktan sonra eğri geri dönerek yük eksenini kesmektedir. Ancak $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (C2), kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (LT1), el yatırması yöntemiyle, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (LT2), kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT1), kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q1) ve el yatırması yöntemiyle, $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (Q2) üretimlerinde sapma

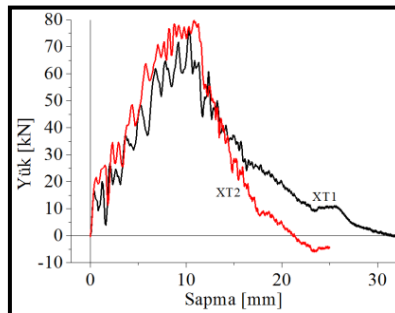
eksene paralel ilerlemektedir. Bu grafiklerden delinmenin olup olmadığı ile ilgili kolay bir karşılaştırma yapılabilmektedir. Eğriler karşılaştırmalı olarak incelendiğinde C1 ve XT2 üretimlerinden elde edilen numunelere yapılan testlerde her ikisinin de delinmeye uğramadığı, diğer kompozitlerde delinmenin gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 7.33, Şekil 7.34, Şekil 7.36).



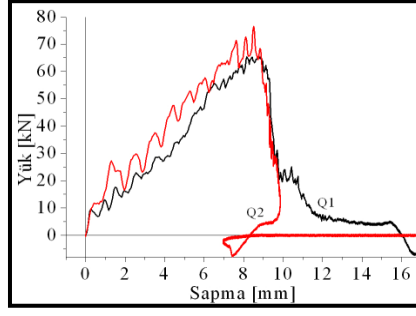
Şekil 7.33 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitin (C1) 900J'de ve el yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla üretilen kompozitin (C2) 800J'de yük-sapma eğrileri



Şekil 7.34 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitin (LT1) 900J'de ve el yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitin (LT2) 700J'de yük-sapma eğrileri



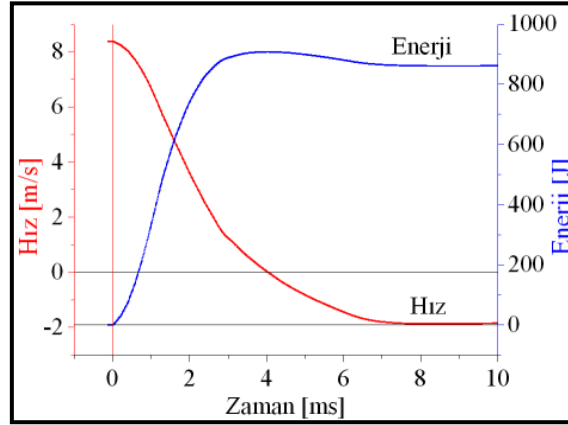
Şekil 7.35 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozit (XT1) 900J'de ve el yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitin (XT2) 700J'de yük-sapma eğrileri



Şekil 7.36 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozit (Q1) 400J'de ve el yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla üretilen kompozitin (Q2) 400J'de yük-sapma eğrileri

7.8.9.2 Zamana Bağlı Hız ve Enerji Grafikleri

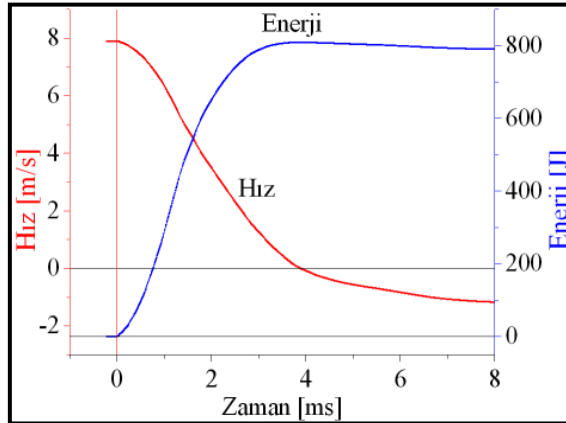
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (C1) uygulanan darbe testleri sonucunda, hız eğrisi yaklaşık 8 m/s hız değerinden, 0 m/s hızın altına 4ms içinde düşmüştür. Ayrıca, enerji 900J değerlerine çıktıktan sonra azalmaya başlamıştır. Kompozit malzeme, üzerine yüklenen 900 J enerjii soğurmuştur ve delinme gerçekleşmemiştir (Şekil 7.37).



Şekil 7.37 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (C1) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği

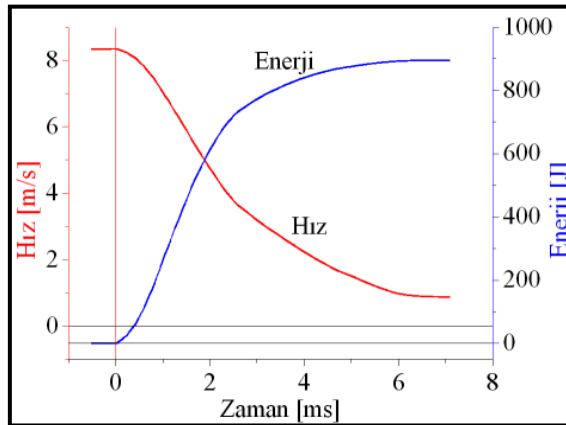
El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (C2) uygulanan darbe testleri sonucunda, hız eğrisi yaklaşık 8 m/sn hız değerinden, 0 m/s hızın altına 4 ms civarında düşmüştür ve bir geri sekme olmasına rağmen bu durum yük-sapma grafiği ile doğrulanmak üzere incelendiğinde, eğrinin kapalı duruma gelmek üzere yük eksenine doğru hareketine başlayıp daha sonra tekrar dönerek sapma eksenine paralel olarak

hareketine devam etmiştir, bu durum kısmi delinmenin gerçekleştiğini, kompozit malzemenin bütünlüğünün bozulduğunu göstermektedir (Şekil 7.33 ve Şekil 7.38).



Şekil 7.38 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (C2) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği

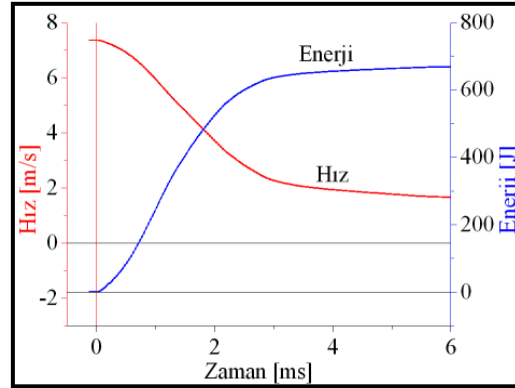
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (LT1) uygulanan darbe testleri sonucunda, hız eğrisi yaklaşık 8 m/s değerinden aşağı doğru inerek azalmış, fakat 0 m/s değerinin üzerinde kalmıştır, burada bir geri sekmenin olmadığını ve delinmenin gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca enerji 900J değerlerine çıktıktan sonra sapsmadan doğrusal ilerlemiştir. Bu durum da aynı şekilde delinmenin gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 7.39).



Şekil 7.39 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (LT1) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği

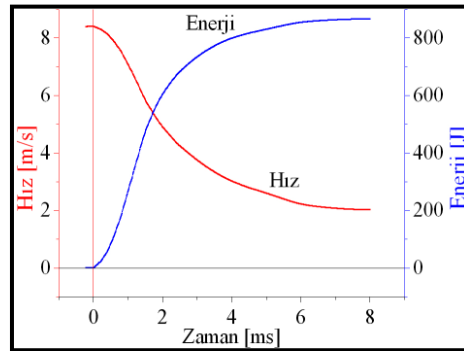
El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (LT2) uygulanan darbe testleri sonucunda, hız eğrisi yaklaşık 8 m/sn değerlerinden aşağı doğru inerek azalmış,

fakat 0 m/s değerinin üzerinde kalmıştır. Ayrıca enerji 600J değerlerine çıktıktan sonra sabit kalmayıp 6 ms değerlerine kadar artmıştır. Bu durum delinmenin gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 7.40).



Şekil 7.40 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (LT2) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği

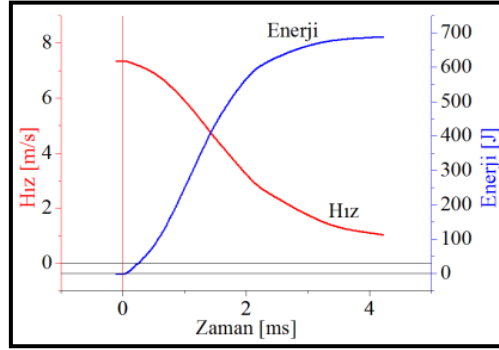
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (XT1) yapılan darbe testleri sonucunda, hız eğrisi yaklaşık 8 m/sn değerlerinden aşağı doğru inerek azalmış, fakat 0 m/s değerinin üzerinde kalmıştır, bu durum geri sekmenin olmadığını ve delinmenin gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca enerji 800J değerlerine çıktıktan sonra sabit kalmayıp 8 ms değerlerine kadar artmıştır. (Şekil 7.41).



Şekil 7.41 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (XT1) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği

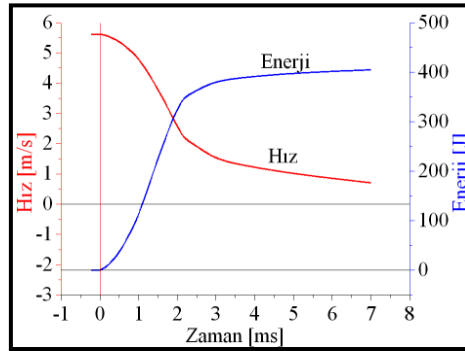
El yatırması yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit malzemeye (XT2) yapılan darbe testleri sonucunda, hız eğrisi yaklaşık 8 m/sn hız değerinden aşağı doğru inerek azalmış ve 2 m/s hız civarına inmiştir, geri sekme olmamıştır. Ayrıca enerji 700J değerlerine çıktıktan sonra 8 ms değerlerine kadar artış göstermiş ve kompozit

malzemenin enerjisi soğurmadığını ve delinmenin gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 7.42).



Şekil 7.42 El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (XT2) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği

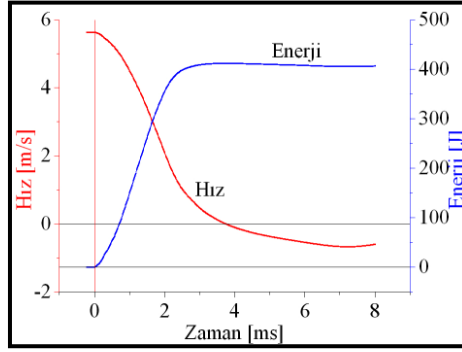
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit malzemeye (Q1) uygulanan darbe testleri sonucunda, hız eğrisi yaklaşık 6 m/sn değerlerinden aşağı doğru inerek azalmış fakat 0 m/s değerinin altına inmemiştir. Ayrıca enerji 400J değerlerine çıktıktan sonra sabit kalmayıp 8 ms değerlerine kadar artmıştır. Bu durum delinmenin gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 7.43).



Şekil 7.43 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (Q1) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği

El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit malzemelere (Q2) uygulanan darbe testleri sonucunda, hız eğrisi yaklaşık 6 m/s değerlerinden aşağı doğru inerek azalmış 0 m/s değerinin altına inmiş ve tekrar bir yükselme meydana gelmiştir. Bu durum bir geri sekmeyi göstermektedir ancak bu durum yük-sapma grafiği ile doğrulanmak üzere incelendiğinde, eğrinin kapalı duruma gelmek üzere yük eksenine doğru hareketine başlayıp daha sonra tekrar dönerek sapma eksenine paralel olarak

hareketine devam ettiğini ve kısmi delinmenin gerçekleştiğini, kompozit malzemenin bütünlüğünün bozulduğunu göstermektedir (Şekil 7.36 ve Şekil 7.44).



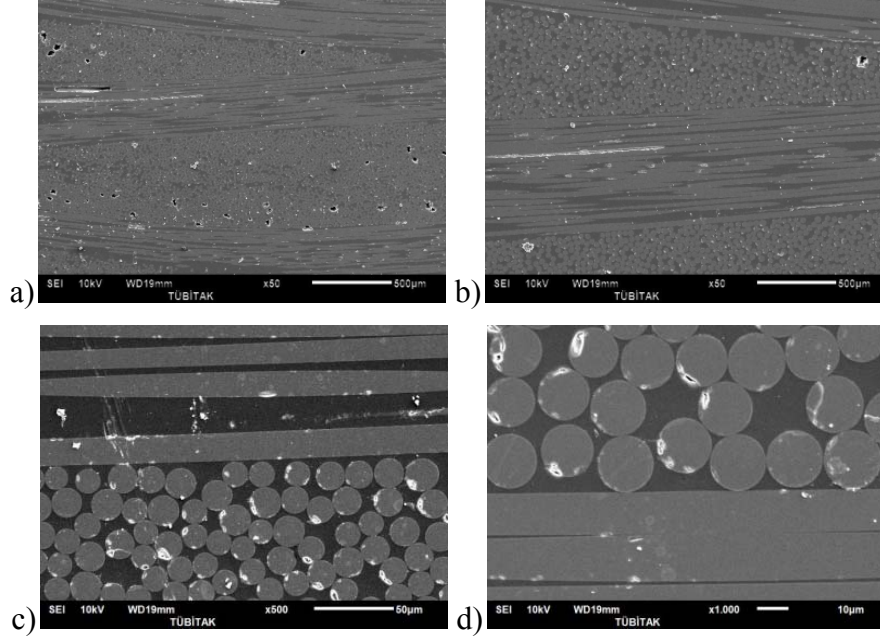
Şekil 7.44 El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (Q2) uygulanan darbe testinde hız-enerji-zaman grafiği

7.9 Metalografik İncelemeler

Makroyapılar, tarama elektron mikroskopunda ve ışık mikroskopunda incelenmiştir.

7.9.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (C1) Makroyapı İncelemeleri

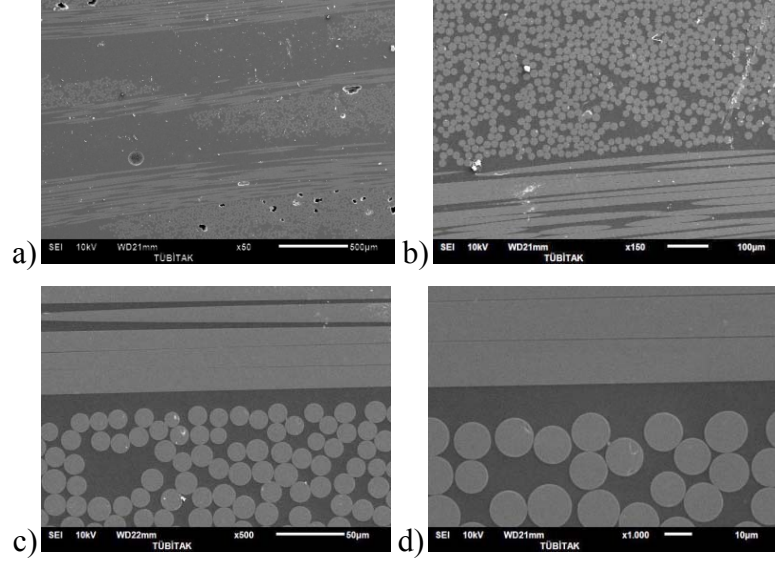
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit üretimi sonrasında elyafların dizilimi ve matriksin aralardaki görünümü, sıkı bir yapının varlığını ve homojen bir dağılımı göstermektedir. Elyafların dokuma şeklinde birleştirilmesi sonucu oluşan ve matriks ile elyaf arasında oluşan boşluklar görülmektedir (Şekil 7.45).



Şekil 7.45 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C1) SEM görüntüleri, a)50X, b)50X, c)500X, d)1000X

7.9.1.1 El Yatırması Yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (C2) Makroyapı İncelemesi

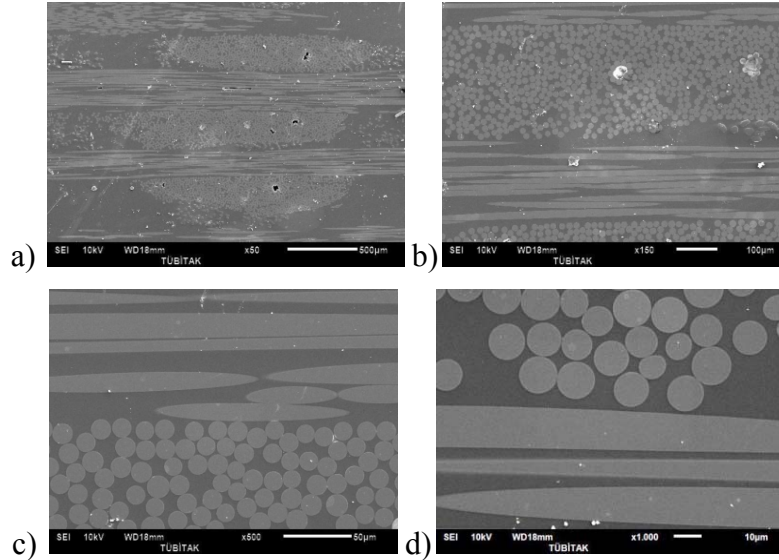
El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2) tarama elektron mikroskobu görüntülerine göre kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere göre daha gevşek bir yapı görülmektedir. Elyafların homojen olmayan şekilde dağıldığı görülmektedir. (Şekil 7.46).



Şekil 7.46 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2) SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X

7.9.1.2 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (LT1) Makroyapı İncelemesi

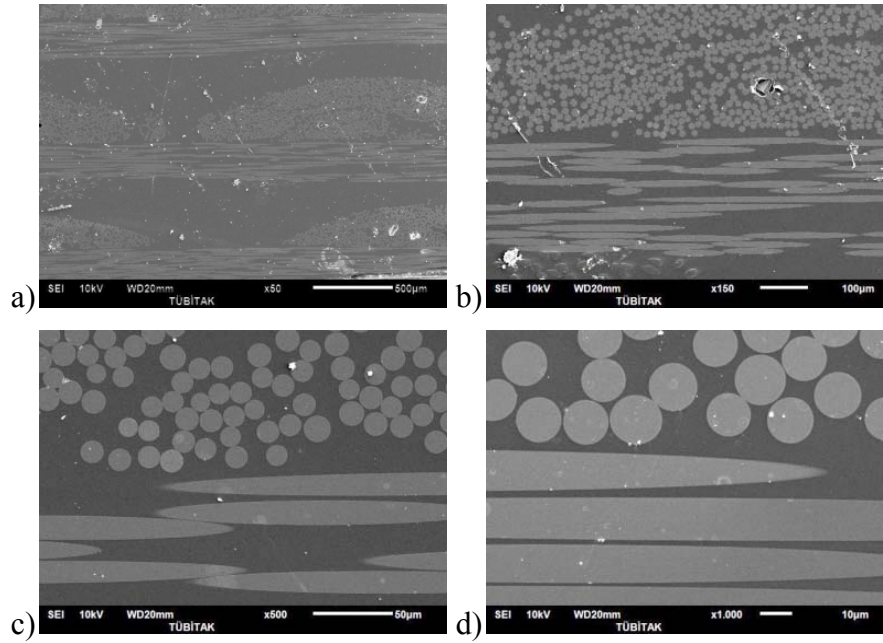
LT1 kompozitleri için, elektron mikroskobu fotoğrafları incelendiğinde elyaflar dikişli şekilde birleştirildiği için matris ile elyaf arasında oluşan boşluklar yoktur. Elyafların daha yayvan bir şekilde kompozit malzeme içinde dağıldığı görülmektedir (Şekil 7.47).



Şekil 7.47 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT1) SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X

7.9.1.3 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Polyesterle Üretilen Kompozitin (LT2) Makroyapı İncelemesi

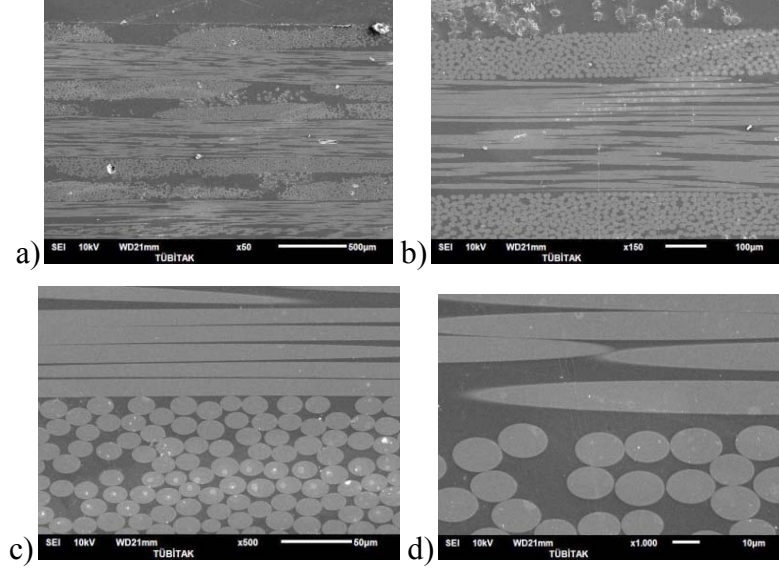
El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin tarama elektron mikroskobu görüntülerine göre kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretilen kompozitlere göre daha gevşek bir yapı görülmektedir. Elyafların yapı içinde dağınık olarak yerleştiği görülmektedir. (Şekil 7.48).



Şekil 7.48 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT2),SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X

7.9.1.4 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol Polyesterle Üretilen Kompozitin (XT1) Makroyapı İncelemesi

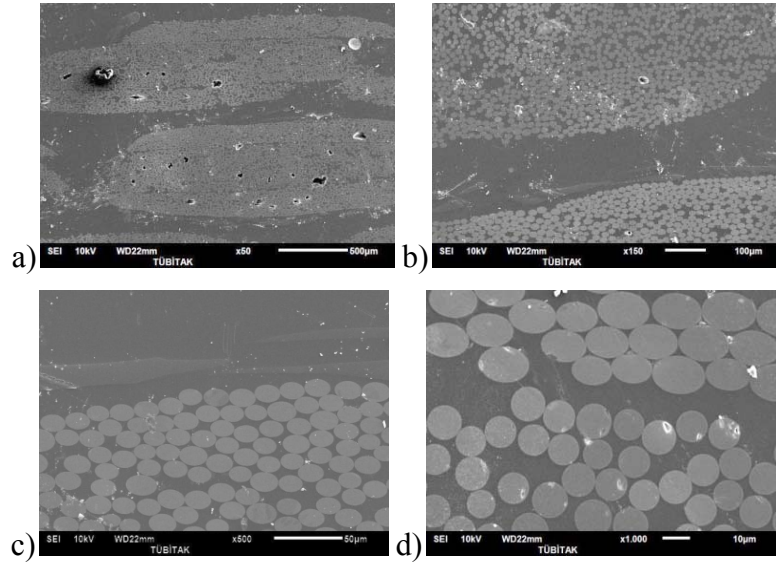
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (XT1) için, elektron mikroskobu fotoğrafları incelendiğinde elyafların dikişle birleştirilmesi sonucu matriks ile elyaf arasında oluşan boşluklar yoktur. Diğer üretilmelere göre elyaf ve matriks yoğunluğu fazladır ve daha sıkı bir şekilde kompozit malzeme içinde dağıldığı görülmektedir. (Şekil 7.49).



Şekil 7.49 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (XT1) SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X

7.9.1.5 El Yatırması Yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Polyesterle Üretilen Kompozitin (XT2) Makroyapı İncelemesi

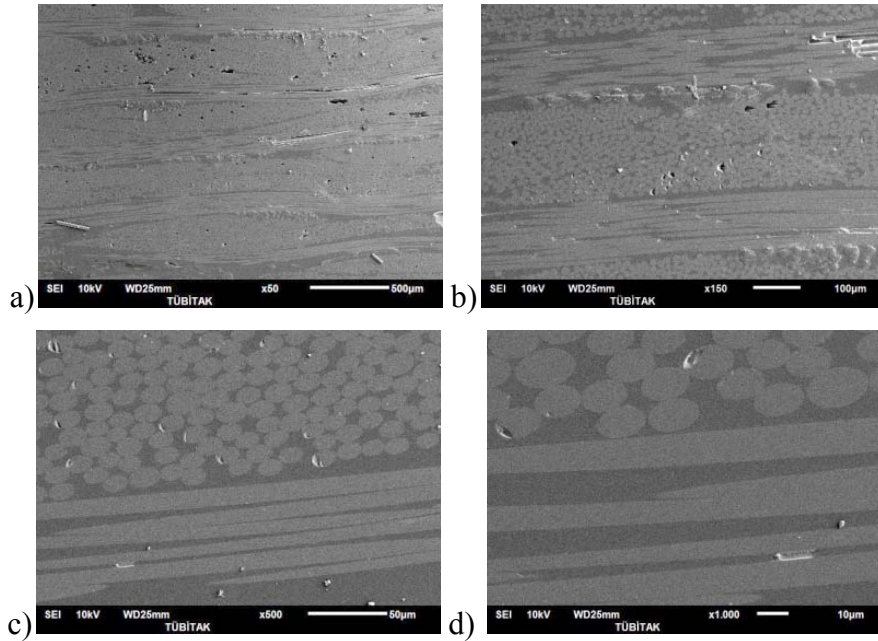
XT2 kompozitleri için, elektron mikroskobu fotoğrafları incelediğinde elyafların dikişle birleştirilmesi sonucunda matriks ile elyaf arasındaki boşluklar azalmıştır. Elyafların ve matriksin daha sıkı bir şekilde dağıldığı görülmektedir (Şekil 7.50).



Şekil 7.50 El yatırması yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (XT2), SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X

7.9.1.6 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (Q1) SEM Görüntüleri

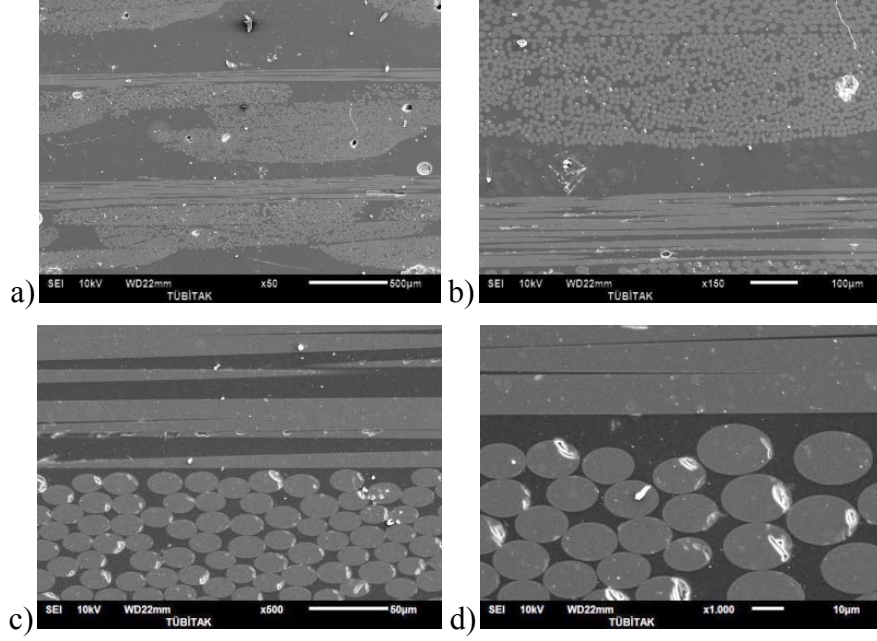
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (Q1) için, elektron mikroskobu fotoğrafları incelediğinde elyaflarla matriks arasında boşlukların azaldığını, yoğunluğun arttığını ve daha sıkı bir şekilde kompozit malzeme içinde dağıldığı görülmektedir (Şekil 7.51).



Şekil 7.51 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (Q1) SEM görüntüleri, a)50X, b)150X, c)500X, d)1000X

7.9.1.7 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozit (Q2) İçin SEM Görüntüleri

El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitler (Q2) için, elektron mikroskobu fotoğrafları incelediğinde elyafların dikişle birleştirilmesi sonucu matriksin elyafa oranla miktarının arttığı, elyafların kendi aralarında daha sıkı bir şekilde birleştiği görülmektedir (Şekil 7.52).



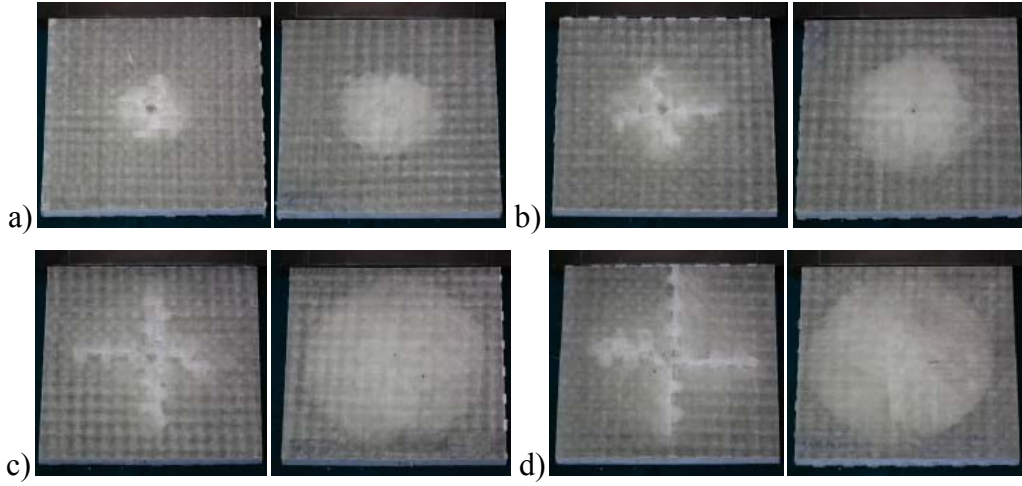
Şekil 7.52 El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (Q2) SEM görüntüleri, a)50X b)150X, c)500X, d)1000X

7.9.2 Darbe Testleri Sonrasında Kompozitlerin Görüntüleri

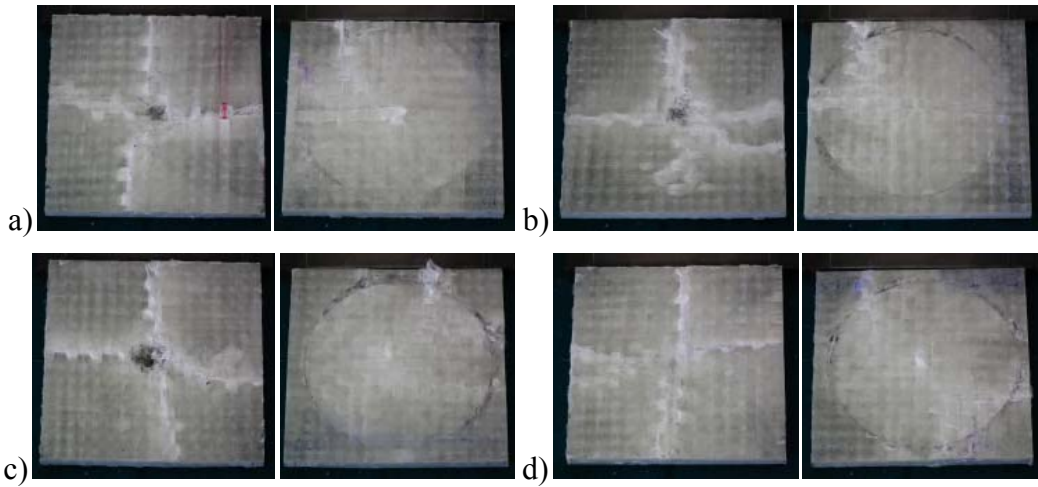
7.9.2.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (C1) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C1) darbe testlerinde, 25J enerji seviyesinden itibaren enerji seviyesi arttıkça, malzeme içinde soğurulan enerji miktarı artmıştır. Numunelerin arka kısımlarında oluşan beyaz bölge, malzeme içinde soğurulan enerjinin miktarının bir göstergesidir. 900J enerji seviyesine kadar delinme gerçekleşmemiştir. Enerjinin tamamı, elyafların kırılması, matriks çatlaklarının oluşumu ve sonunda tabakalar arası ayrılmaların dahil olduğu hasar mekanizmalarıyla soğurularak delinme engellenmiştir. Düşük enerji seviyelerinde kompozitin darbe yönünün tersi taraftaki yüzeyinde oluşan beyaz bölge genişleyerek artmıştır. Enerji seviyesi 100J üzerine çıktığında beyaz bölge tamamen malzeme yapısına yayılmıştır. Enerjinin soğurulması açısından oluşan beyaz bölgenin miktarının artmasının önemli bir parametredir ve bu bölge arttıkça darbe enerjisinin soğurulma miktarı artmaktadır. Enerji miktarı arttıkça ve artık malzeme içerisinde elyafların

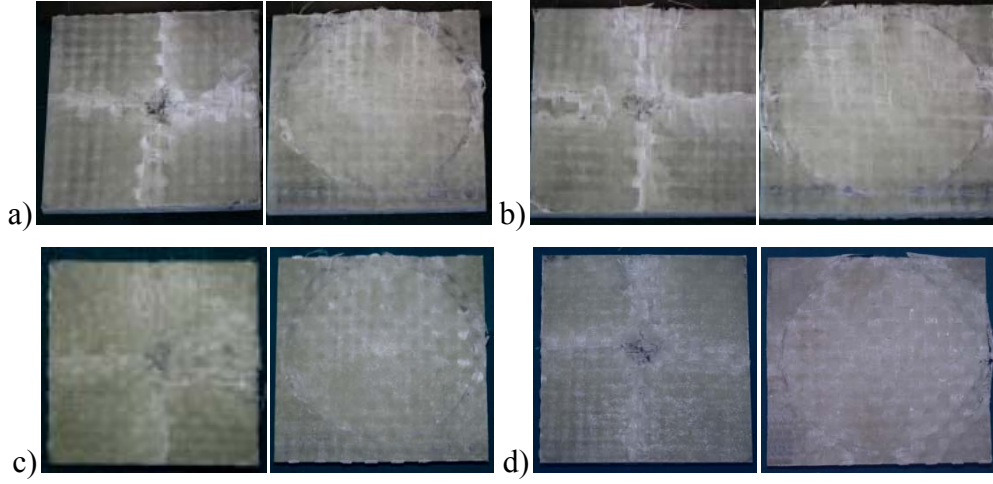
kırılarak enerjinin soğurulması mümkün olmadığı aşamada kompozitin en zayıf bölgeleri olan kenarlarına doğru enerjinin yönlendiğini ve eğilme yüklerinin etkisiyle, delinme olmasa da kompozit tabakaların ayrılmaktadır (Şekil 7.53, Şekil 7.54, Şekil 7.55).



Şekil 7.53 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C1), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri uygulanması sonrası ön-arka görüntüleri



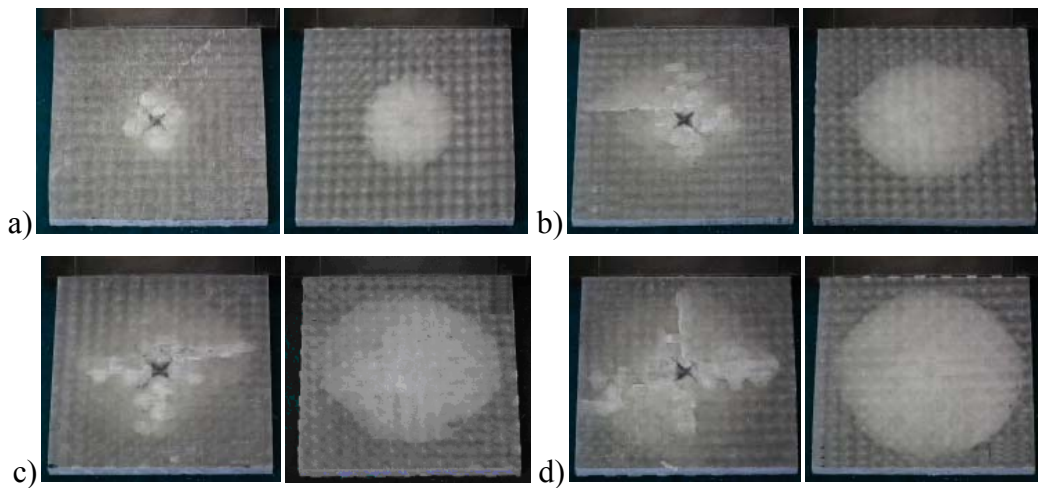
Şekil 7.54 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitlerin (C1), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



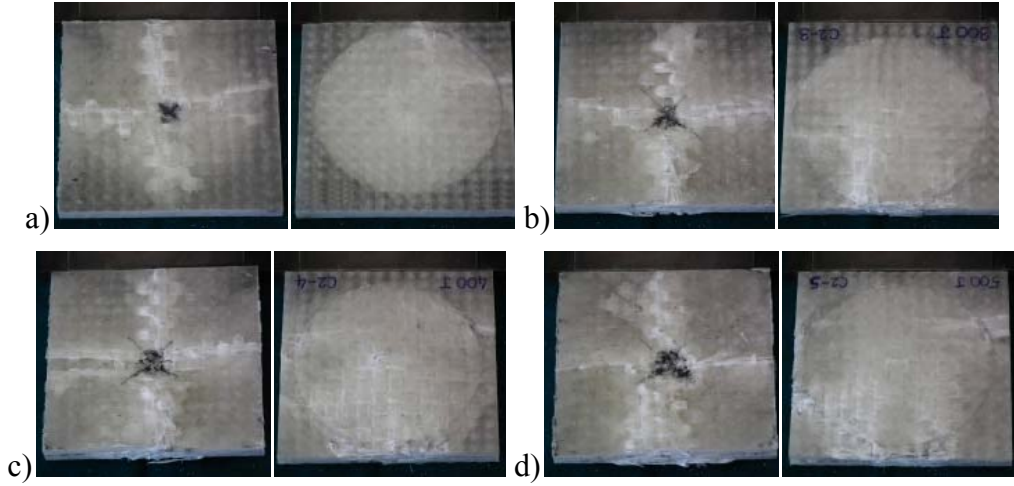
Şekil 7.55 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitlerin (C1), a)600J, b)700J, c)800J ve d)900J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

7.9.2.2 El Yatırması Yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (C2) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri

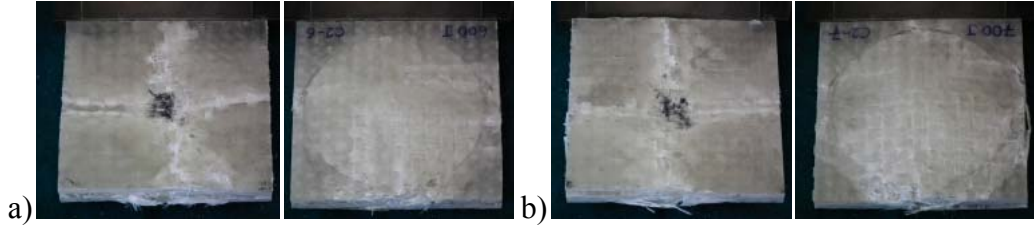
C2 kodlu numunelerin darbe testlerinde, 25J enerjiden itibaren enerji seviyesi arttıkça, malzeme içinde soğurulan enerji miktarı artmıştır. Numunelerin arka kısımlarında soğurulan enerjiyi gösteren beyaz bölge görülmektedir. 800J'e kadar delinme yoktur ve 700J enerjinin tamamı, elyafların kırılması, matriks çatlaklarının oluşumu ve tabakalar arası ayrılmalar gibi hasarlarla emilerek delinme engellenmiştir. 800J'de kısmi delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.56, Şekil 7.57, Şekil 7.58).



Şekil 7.56 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



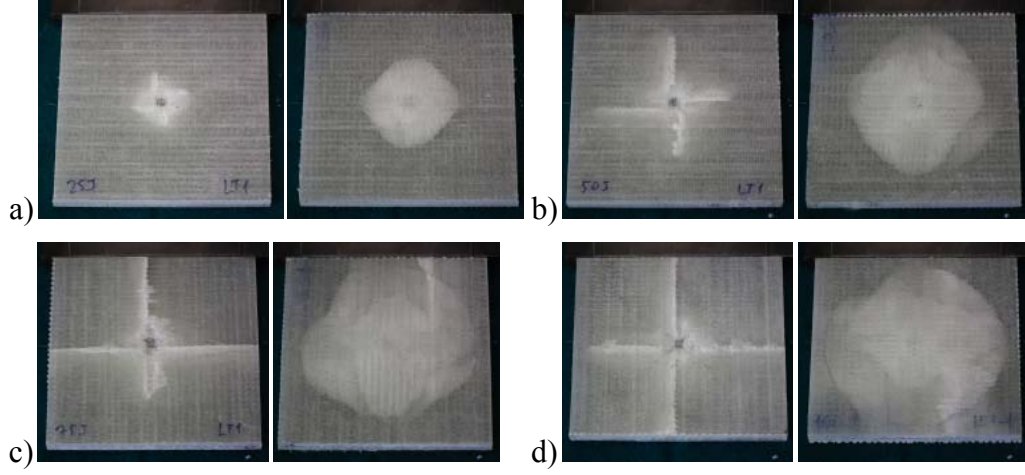
Şekil 7.57 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



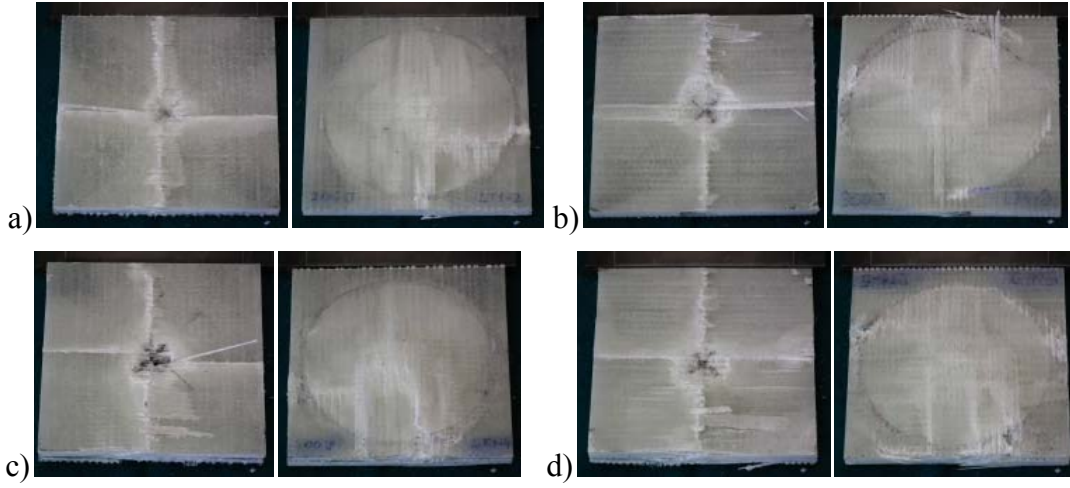
Şekil 7.58 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (C2), a)600J ve b)700J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

7.9.2.3 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ Yönlü - İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (LT1) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri

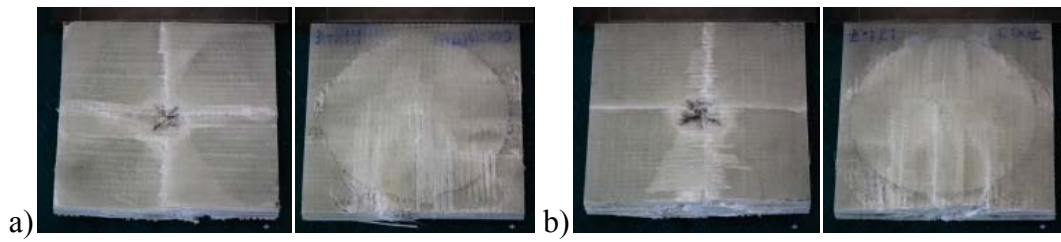
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlere (LT1) uygulanan darbe testlerinde, 25J enerji seviyesinden itibaren enerji seviyesi arttıkça, malzeme içinde soğurulan enerji miktarı artmıştır. Numunelerin arka kısımlarında oluşan beyaz bölge, malzeme içinde soğurulan enerjinin miktarını göstermektedir. 900J enerji seviyesine kadar delinme gerçekleşmemiştir. Enerjinin tamamı, malzeme tarafından soğurulmuştur. 900J enerji seviyesinde delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.59, Şekil 7.60, Şekil 7.61).



Şekil 7.59 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitlerin (LT1), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



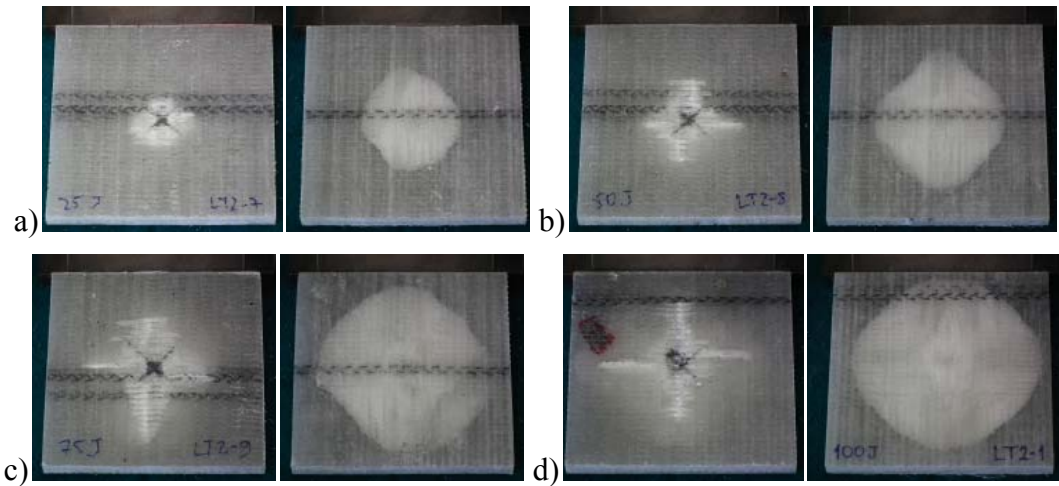
Şekil 7.60 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi polyesterle üretilen kompozitlerin (LT1), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



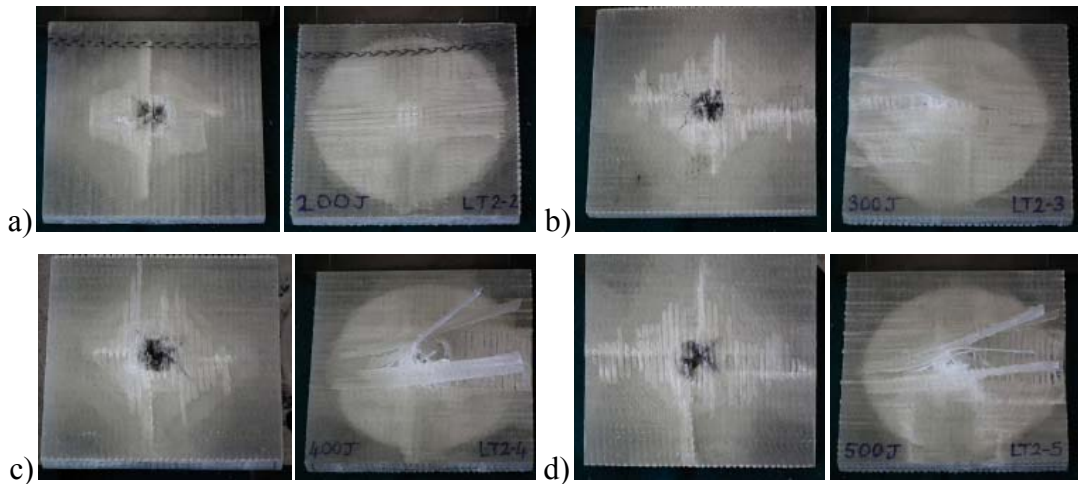
Şekil 7.61 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (LT1), a)600J ve b)700J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

7.9.2.4 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (LT2) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri

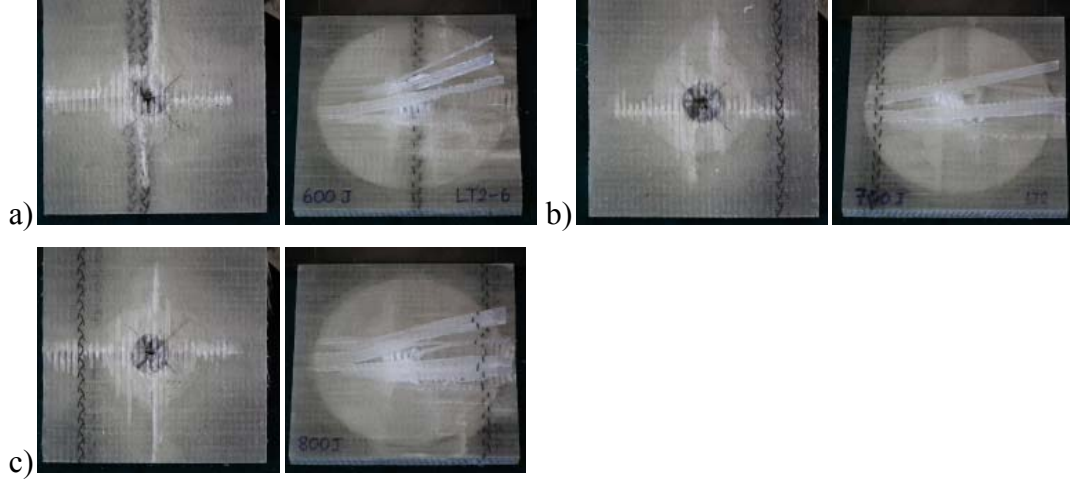
700J enerji seviyesine kadar delinme gerçekleşmemiştir. 700J enerji seviyesinde delinmenin gerçekleştiği veri alınmıştır. 300J enerji seviyesinden itibaren, 90° yönlü olan elyaflar kompozit yapısından ayrılmıştır. Bu durum, örgü tipinin malzemenin üzerindeki enerji miktarı arttıkça önemli rol oynadığını göstermektedir (Şekil 7.62, Şekil 7.63, Şekil 7.64). LT2 kodlu kompozitler darbe testleri sonrası incelendiğinde 25J'de malzeme içinde soğurulan enerjinin boyutunun, artan enerjiyle genişlediği görülmüştür.



Şekil 7.62 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (LT2) a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



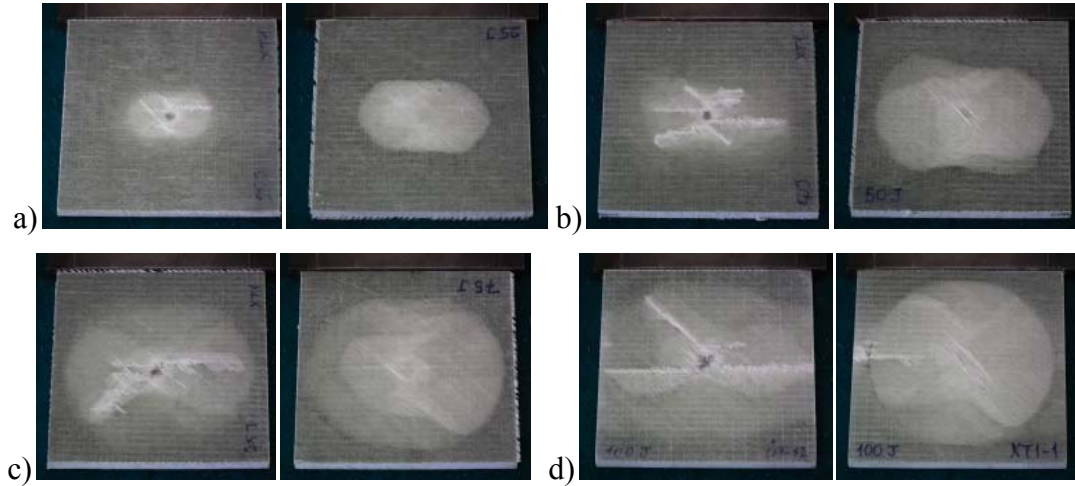
Şekil 7.63 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (LT2) a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



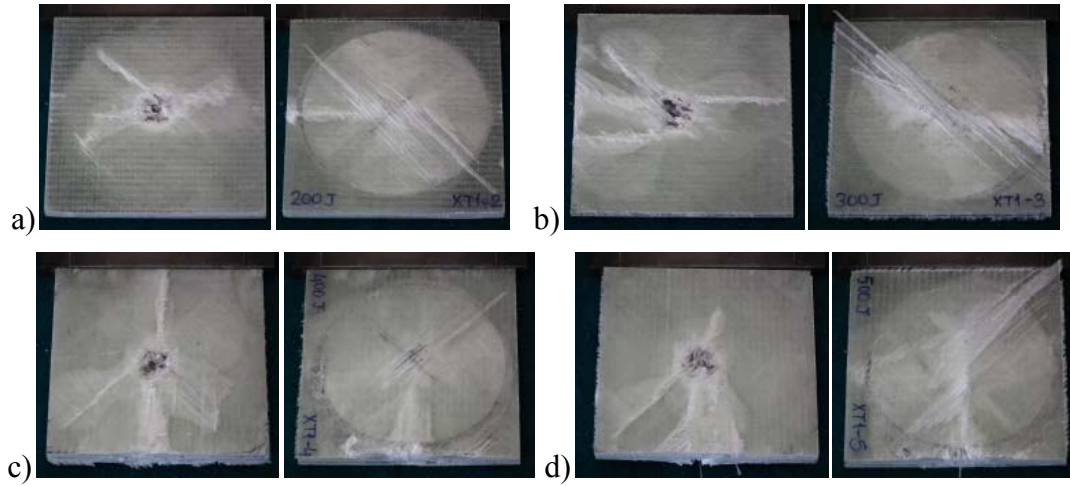
Şekil 7.64 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (LT2), a)600J, b)700J ve c)800J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

7.9.2.5 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (XT1) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri

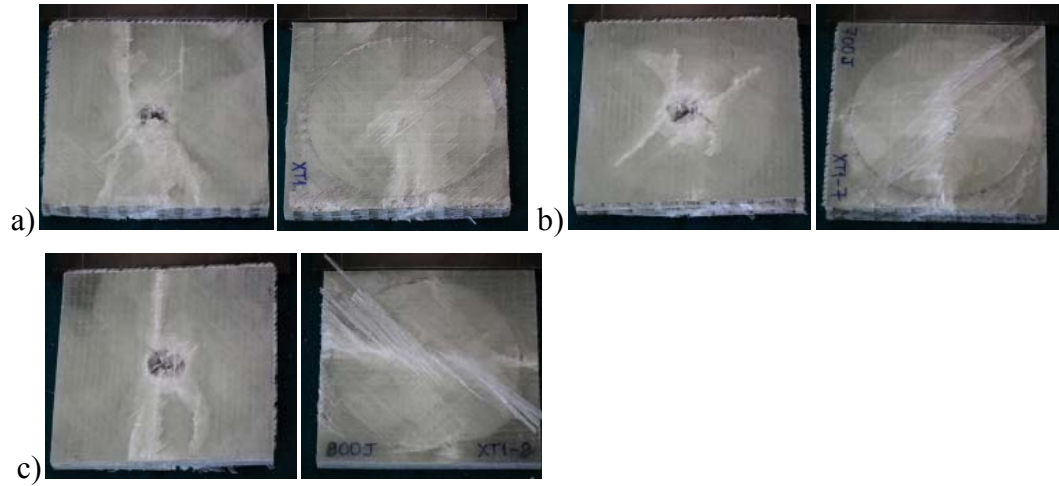
(XT1) kodlu kompozitlerin darbe testlerinde 25J'den itibaren 900J'e kadar delinme gerçekleşmemiştir. 900J'de delinme gerçekleşmiştir. 200J'den itibaren, eksenlerden 45° açılı olan kısımdaki elyaflar dışarı atmıştır (Şekil 7.65, Şekil 7.66, Şekil 7.67).



Şekil 7.65 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT1), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J, darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



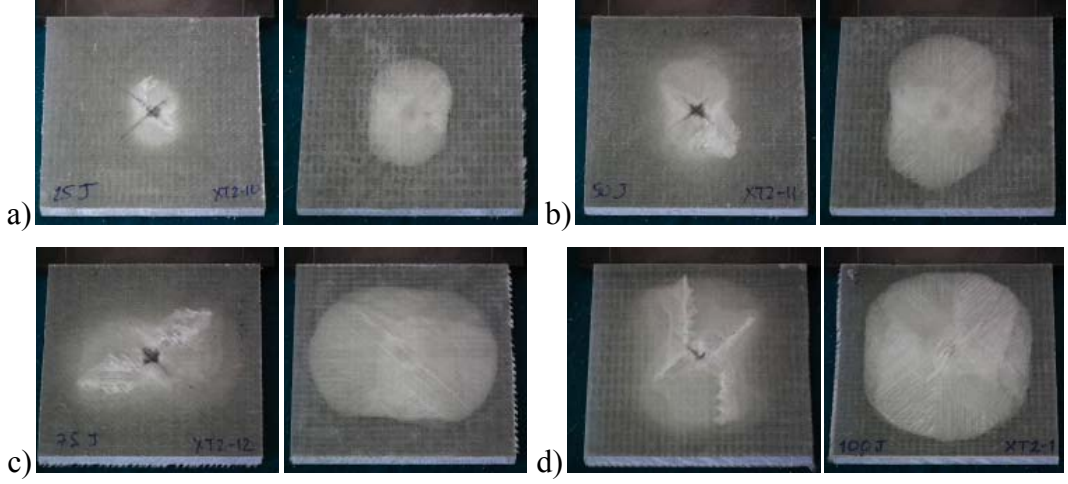
Şekil 7.66 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi polyesterle üretilen kompozitlerin (XT1), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



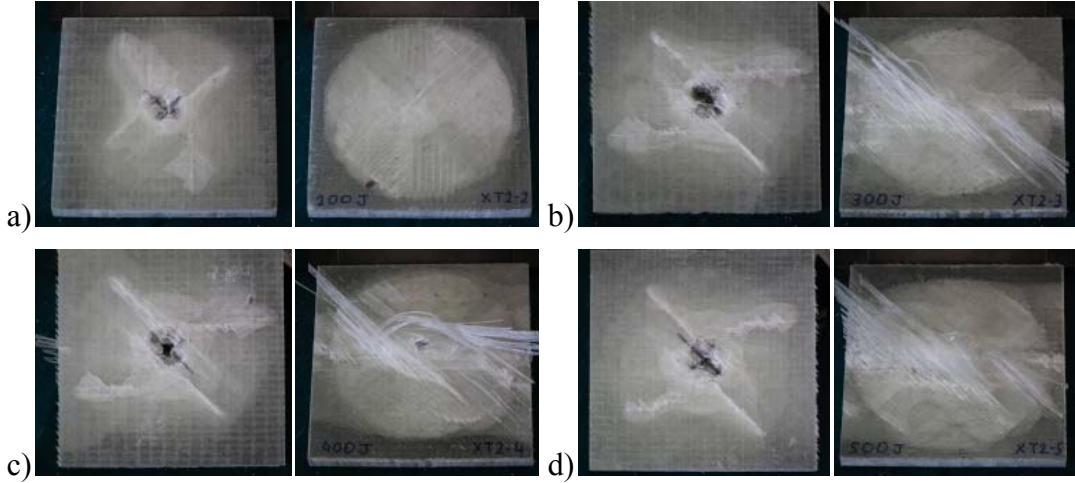
Şekil 7.67 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT1), a)600J, b)700J ve c)800J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

7.9.2.6 El Yatırması Yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (XT2) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri

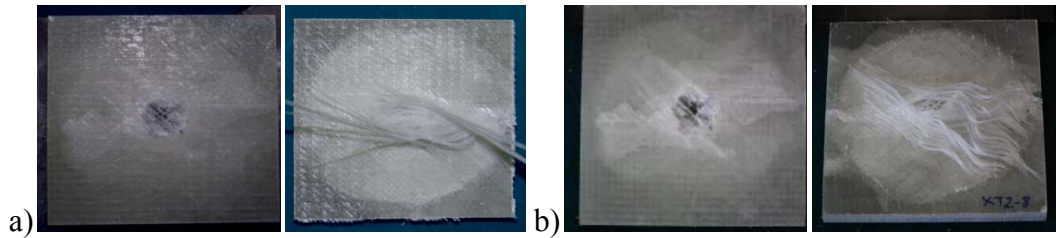
El yatırması yöntemiyle, $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT2) darbe testlerinde 25J enerji seviyesinden itibaren 700J enerji seviyesine kadar delinme gerçekleşmemiştir. 700J enerji seviyesinde delinmenin gerçekleştiği veri alınmıştır. 300J enerji seviyesinden itibaren, eksenlerden 45° açılı olan kısımdaki elyaflar kompozit yapısından ayrılmıştır (Şekil 7.68, Şekil 7.69, Şekil 7.70).



Şekil 7.68 El yatırması yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT2), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



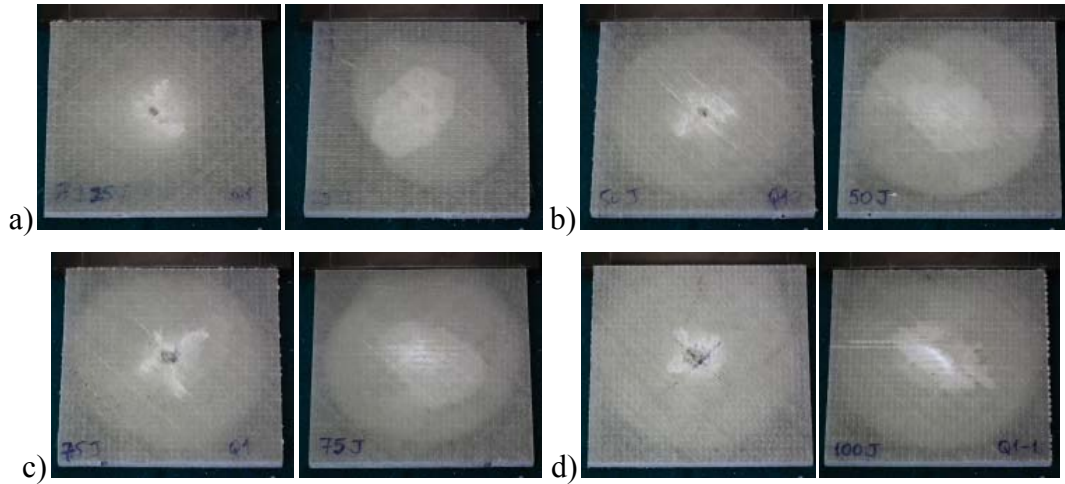
Şekil 7.69 El yatırması yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT2), a)200J, b)300J, c)400J ve d)500J, darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



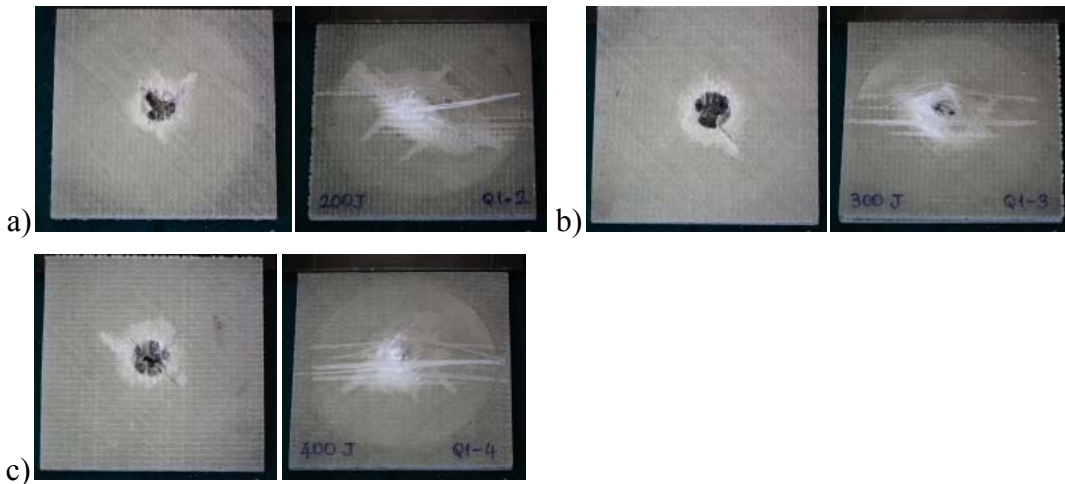
Şekil 7.70 El yatırması yöntemiyle, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (XT2), a)600J ve b)700J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

7.9.2.7 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlerin (Q1) Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri

(Q1) için uygulanan darbe testleri sonrasında 25J'den itibaren malzemenin soğurduğu enerji 400J'e kadar artmıştır. Kompozit arka tarafında oluşan beyaz bölge enerjinin soğurulma oranını göstermektedir ve 400J enerji değerinde delinme gerçekleşmiştir. 200J'den itibaren, eksenlerden 90° açılı olan kısımdaki elyaflar kompozitten dışarı çıkmıştır (Şekil 7.71, Şekil 7.72).



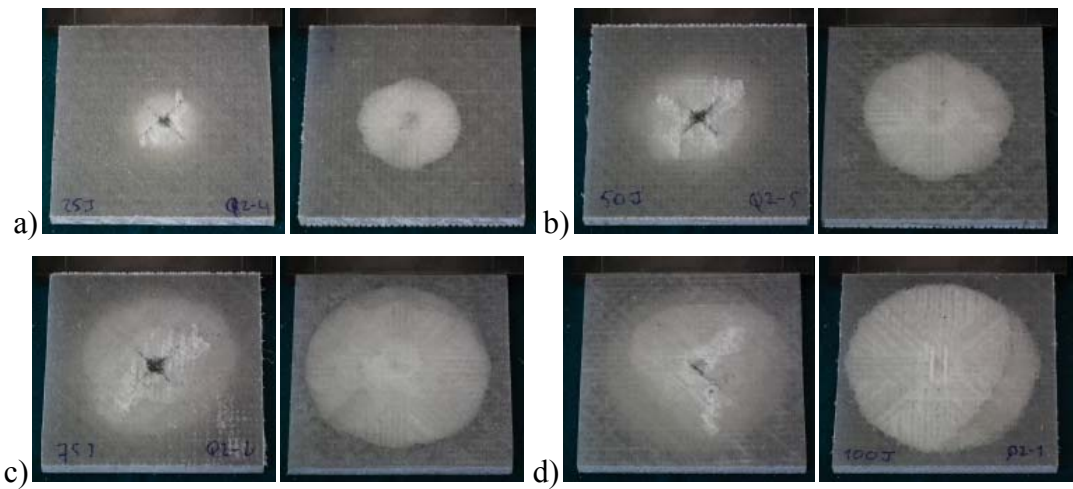
Şekil 7.71 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (Q1), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri



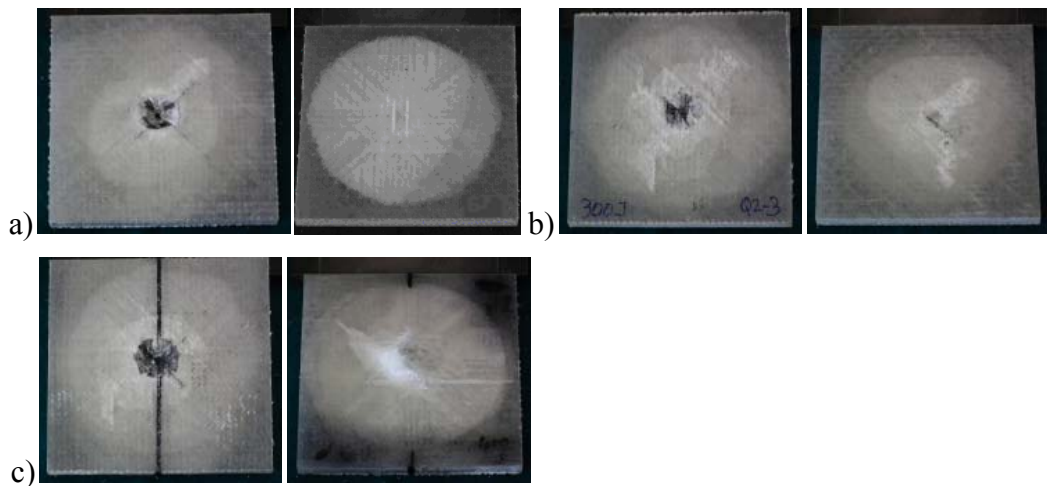
Şekil 7.72 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (Q1), a)200J, b)300J ve c)400J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

7.9.2.8 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitlere (Q2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrası Görüntüleri

El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitlerin (Q2) darbe testlerinde 25J enerji seviyesinden 400J enerji seviyesine kadar delinme gerçekleşmemiştir. 400J enerji seviyesinde kısmi delinme gerçekleşmiş ve elyaflar kompozit yapı içerisinde dışarı atılmıştır. Darbe yönünün tersindeki yüzeyde, arka tarafta oluşan soğurulan enerjinin neden olduğu hasar bölgesi bu kumaşta daha belirgindir (Şekil 7.73, Şekil 7.74).



Şekil 7.73 El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (Q2), a)25J, b)50J, c)75J ve d)100J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

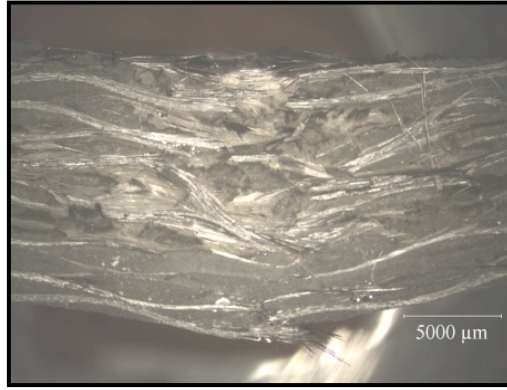


Şekil 7.74 El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitlerin (Q2), a)200J, b)300J ve c)400J darbe testleri sonrası ön-arka görüntüleri

7.9.3 Darbe Testleri Sonrasında Işık Mikroskobu Görüntüleri

7.9.3.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (C1) Işık Mikroskobu Görüntüleri

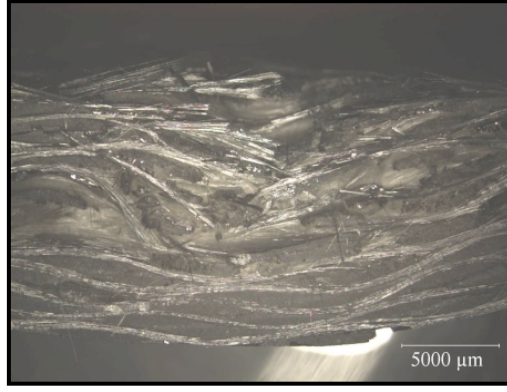
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitte (C1) uygulanan en yüksek enerji seviyesi olan 900J enerjide, tabakalar arası ayrılmalar olmuş, elyaflar kopmuş, ve nüfuziyet (penetrasyon) gerçekleşmiş fakat delinme (perforation) görülmemiştir. Alt tarafa yakın tabakalarda ayrılma olmamıştır ve hasarın etkileri azalmıştır (Şekil 7.75).



Şekil 7.75 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C1) 900J darbe testinden sonraki görüntüsü

7.9.3.2 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (C2) Işık Mikroskobu Görüntüleri

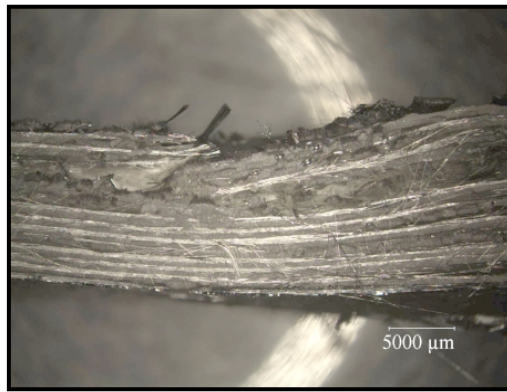
El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitte (C2) uygulanan en yüksek enerji seviyesi olan 700J enerjide, tabakalar arası ayrılmalar oluşmuştur, elyaflar kapalı kalıpta soğuk pres yöntemindekine göre daha fazla kopmuştur ve kısmi delinme durumu gerçekleşmiştir (Şekil 7.76).



Şekil 7.76 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (C2) 700J darbe testinden sonraki görüntüsü

7.9.3.3 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (LT1) Işık Mikroskobu Görüntüleri

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitte (LT1) uygulanan en yüksek enerji seviyesi olan 700J enerjide, tabakalar arası ayrılmalar kenarlara yakın olan kısımlarda çok artmıştır, elyaflar kopmuş, ve nüfuziyet (penetrasyon) gerçekleşmiştir. Alt tarafa yakın tabakalarda ayrılmalar azalmıştır ancak üst kısımlarda özellikle kenara yakın kısımlarda tabakalar tamamen birbirinden ayrılmış ve dolayısıyla yapı zayıflamış, kompozitin enerji soğurma kapasitesi kalmamıştır (Şekil 7.77).



Şekil 7.77 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin (LT1) 700J darbe testinden sonraki görüntüsü

7.9.3.4 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (LT2) Işık Mikroskobu Görüntüleri

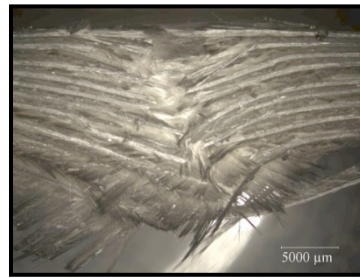
El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitte (LT2) uygulanan en yüksek enerji seviyesi olan 700J enerjide, tabakalar tamamen ayrılmış, elyaflar tamamen kopmuş ve tam delinme gerçekleşmiştir. Darbe ucunun karşı yüzeyde çıkışı oluşturduğu hasarlı bölgeyi artırmış, kırılan elyafların dışarı doğru çıkmasına neden olmuştur (Şekil 7.78).



Şekil 7.78 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (LT2) 700J darbeden sonraki görüntüsü

7.9.3.5 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (XT1) Işık Mikroskobu Görüntüleri

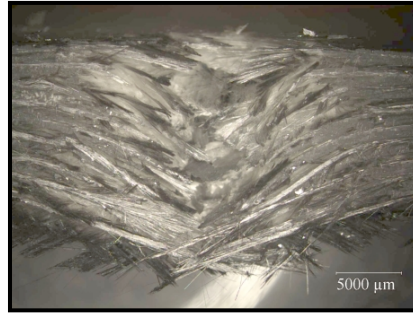
Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitte (XT1) uygulanan en yüksek enerji seviyesi olan 800J enerjide, tabakalar tamamen ayrılmış, elyaflar tamamen kopmuş ve delinme gerçekleşmiştir. Darbe ucunun karşı yüzeyden çıkışıyla elyaflar kırık bir şekilde dışarı çıkmıştır (Şekil 7.79).



Şekil 7.79 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (XT1) 700J darbe testinden sonraki görüntüsü

7.9.3.6 El Yatırması Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (XT2) Işık Mikroskobu Görüntüsü

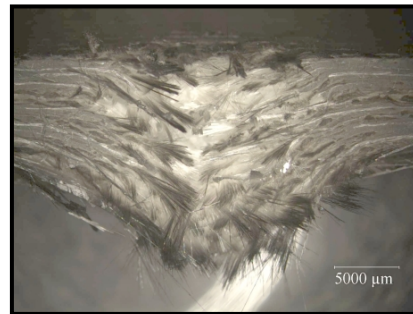
El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitte (XT2) uygulanan en yüksek enerji seviyesi olan 700J enerjide, tabakalar tamamen ayrılmış, elyaflar tamamen kopmuş ve delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.80).



Şekil 7.80 El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (XT2) 700J darbe testinden sonraki görüntüsü

7.9.3.7 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (Q1) Işık Mikroskobu Görüntüsü

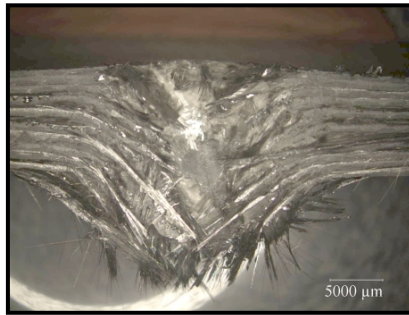
(Q1)'e uygulanan en yüksek enerji seviyesi olan 400J enerjide, tabakalar tamamen ayrılmış, elyaflar tamamen kopmuş ve tam delinme gerçekleşmiştir (Şekil 7.81).



Şekil 7.81 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (Q1) 400J darbe testinden sonraki görüntüsü

7.9.3.8 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozitin (Q2) Işık Mikroskobu Görüntüsü

El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitte (Q2) uygulanan en yüksek enerji seviyesi olan 400J'de, tabakaların tamamı ayrılmış, elyaflar kopmuş ve delinme gerçekleşmiştir. Enerji seviyesi diğer kompozitlere göre daha düşük olmasına rağmen elyafların kopması ve tabakaların birbirinden ayrılması, daha belirgin ve hasarın miktarı daha fazladır (Şekil 7.82).

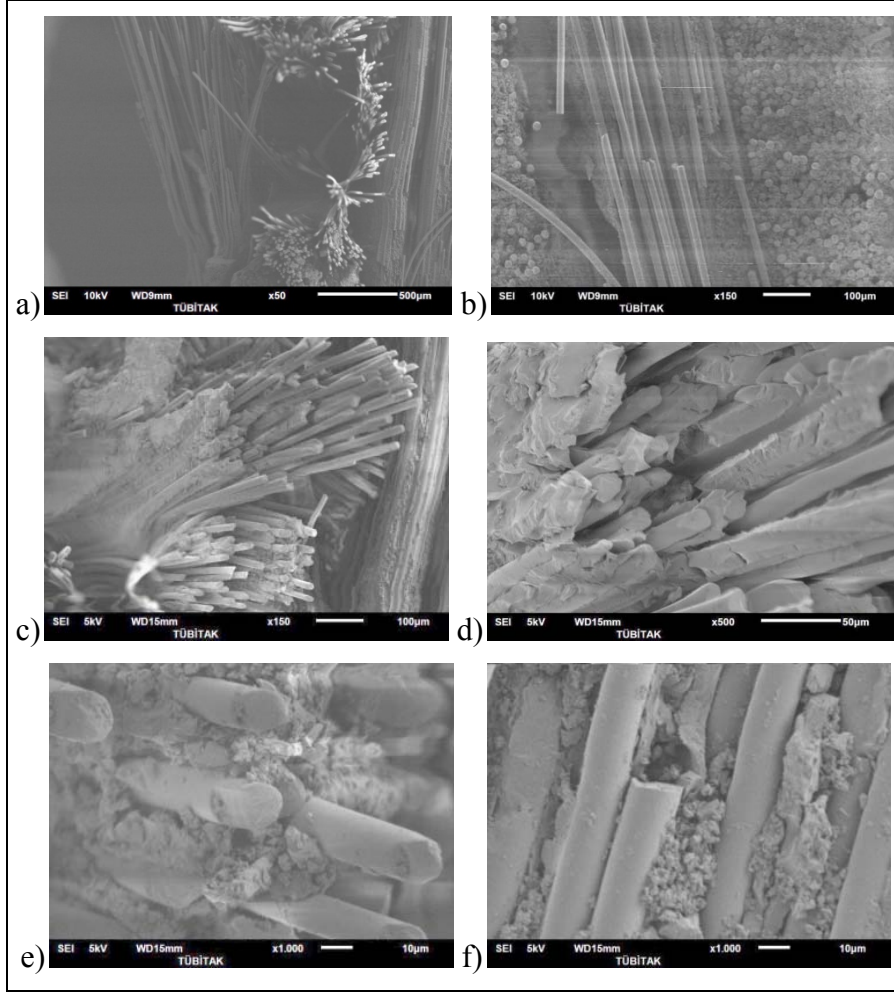


Şekil 7.82 El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozitin (Q2) 400J darbe testinden sonraki görüntüsü

7.9.4 Darbe Testleri Sonrasında SEM Görüntüleri

7.9.4.1 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (C1) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri

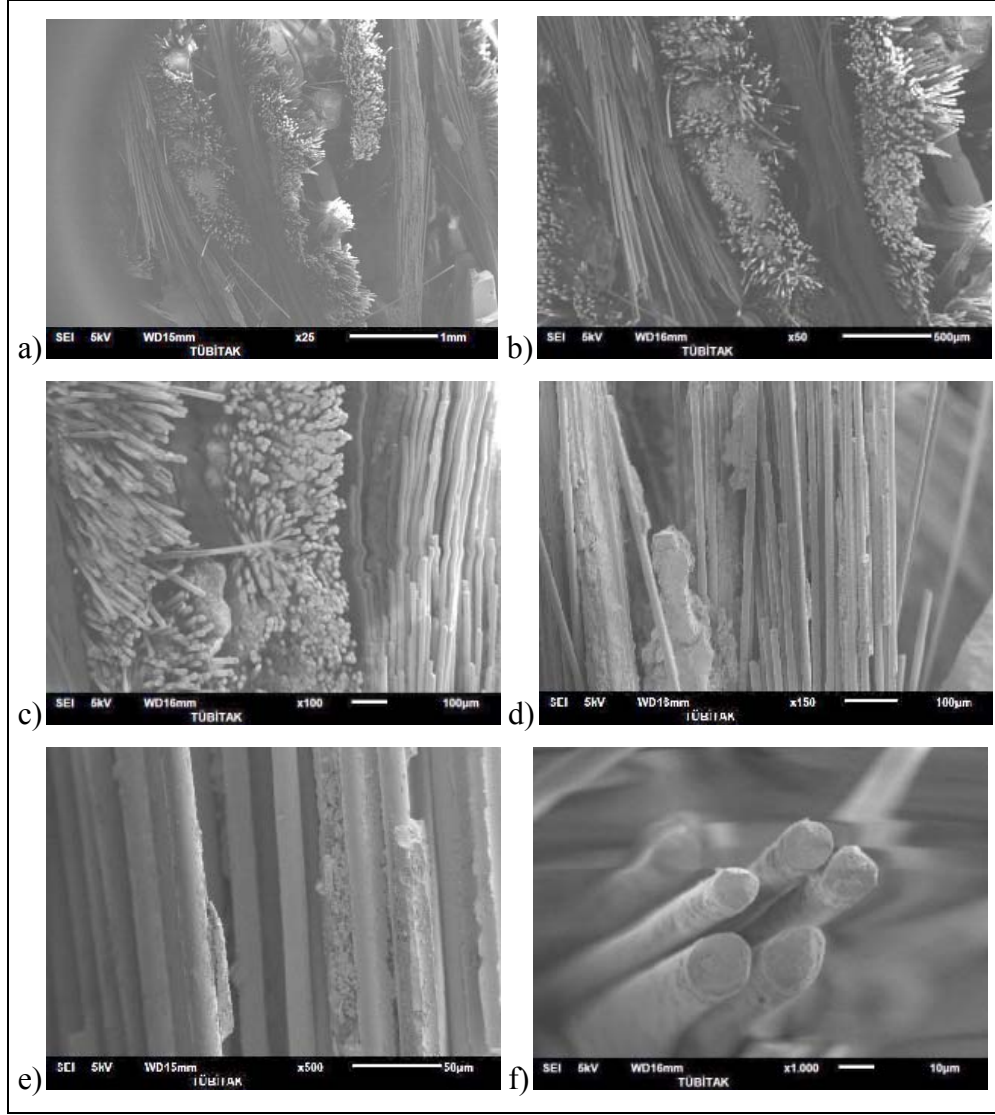
Kompozit malzemede tabakalar arası ayrılmalar çok azdır, elyaflar tamamen kopmamıştır ve matriksteki kırılmaların seviyesi azdır. Elyaflar matriks içerisinde sağlam olarak tutunmuştur (Şekil 7.83).



Şekil 7.83 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401 polyesterle üretilen kompozite (C1) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)50X, b)150X, c)150X, d)500X, e)1000X, f)1000X

7.9.4.2 El Yatırması Yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dokuma Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (C2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri

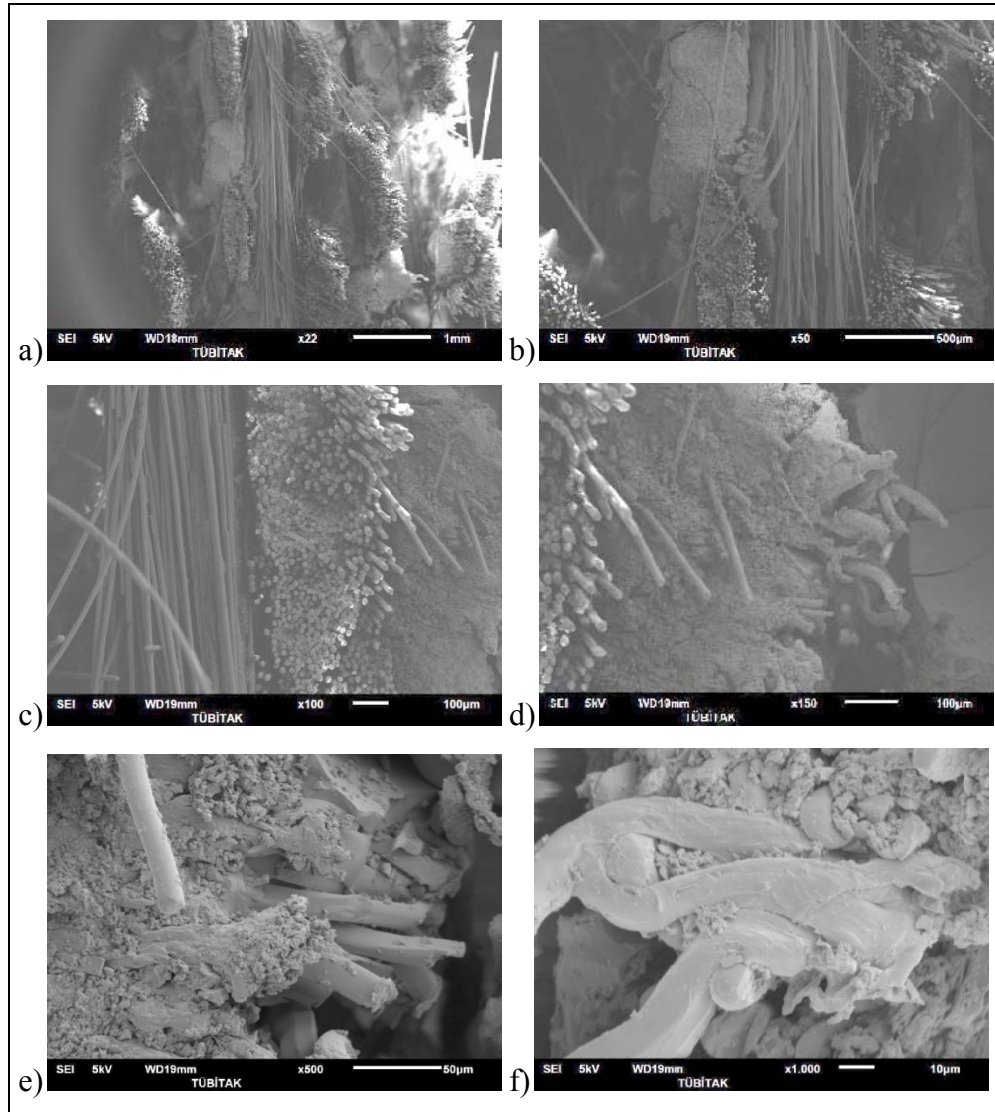
Elyafların matriks içinde daha sağlam görünmektedir, elyaflar kopmamasına rağmen tabakalar arası ayrılmalar oluşmuştur (Şekil 7.84).



Şekil 7.84 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (C2) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)25X, b)50X, c)100X, d)150X, e)500X, f)1000X

7.9.4.3 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (LT1) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri

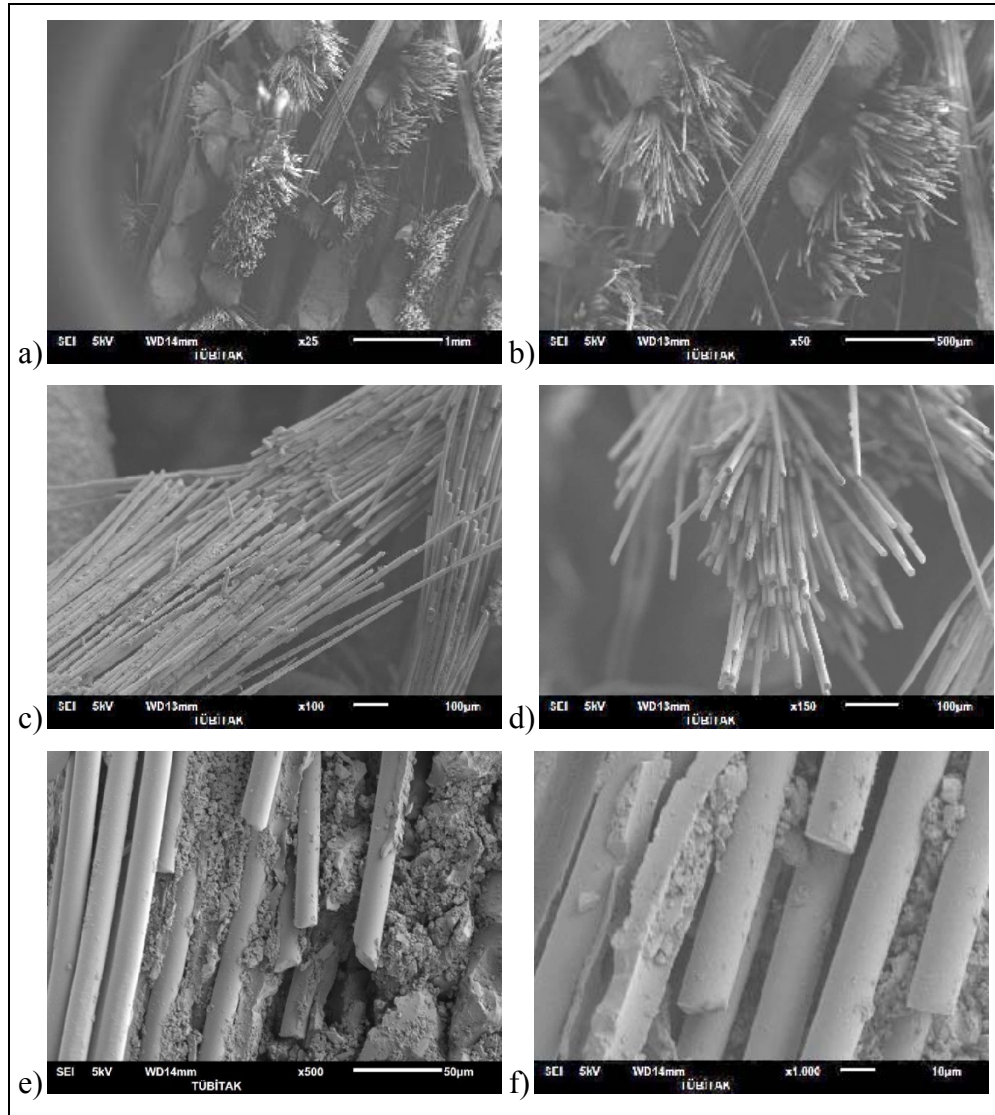
Tarama elektron mikroskobu incelemelerinde, elyafların birbirinden ayrılmış olduğunu, matrikste hasarların arttığını görmekteyiz. Elyaflarda kopmalar gerçekleşmiş ancak elyaflar matrikste tutunmuş ve tamamen kopmamıştır (Şekil 7.85).



Şekil 7.85 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (LT1) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)22X ,b)50X, c)100X, d)150X, e)500X, f)1000X

7.9.4.4 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/90° Yönlü-İki Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (LT2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri

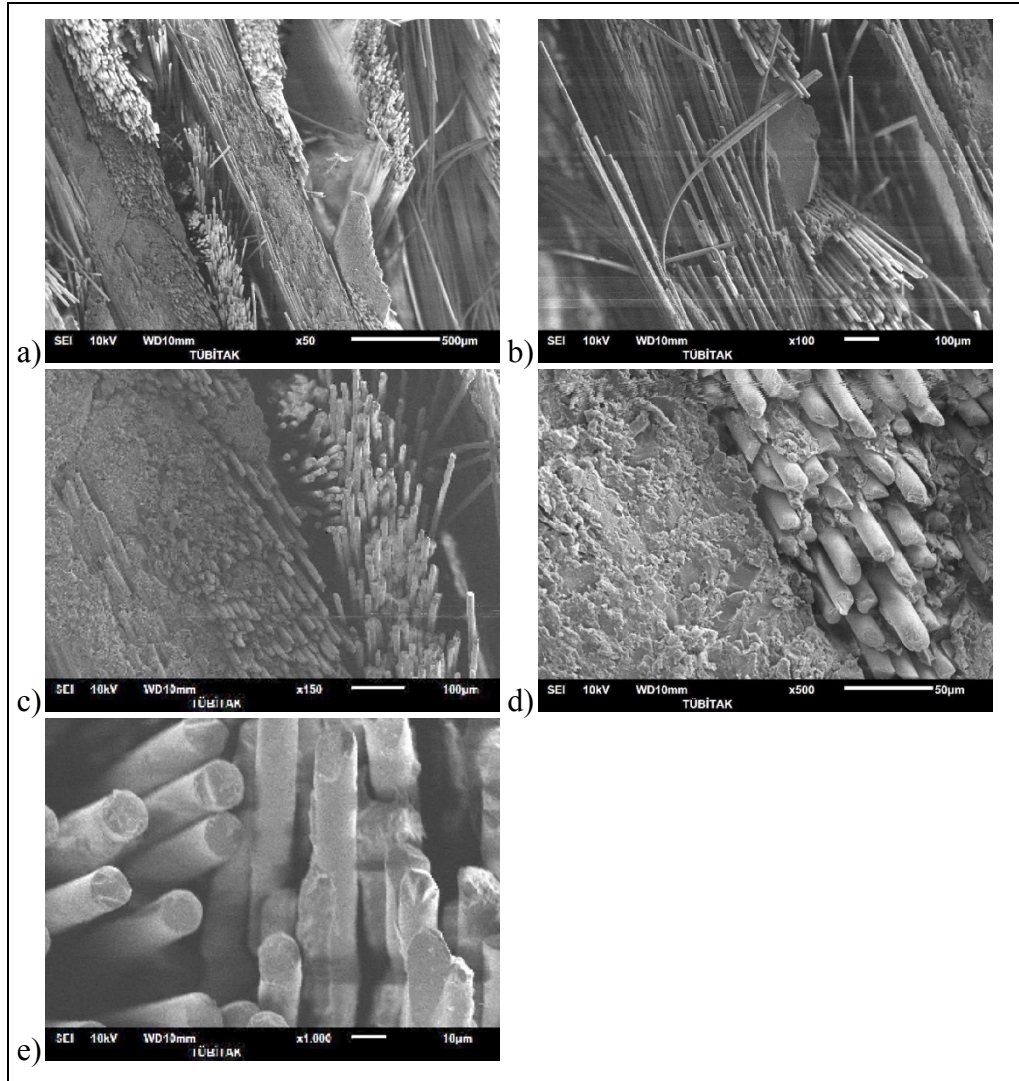
Tarama elektron mikroskobu incelemelerinde, elyafların birbirinden ayrıldığını, matrikste hasarların arttığını görmekteyiz. Elyaflarda kopmalar gerçekleşmiş ancak elyaflar matriksten ayrılmış ve kopma seviyeleri artmıştır (Şekil 7.86).



Şekil 7.86 El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (LT2) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)25X, b)50X, c)100X, d)150X, e)500X, f)1000X

7.9.4.5 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (XT1) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri

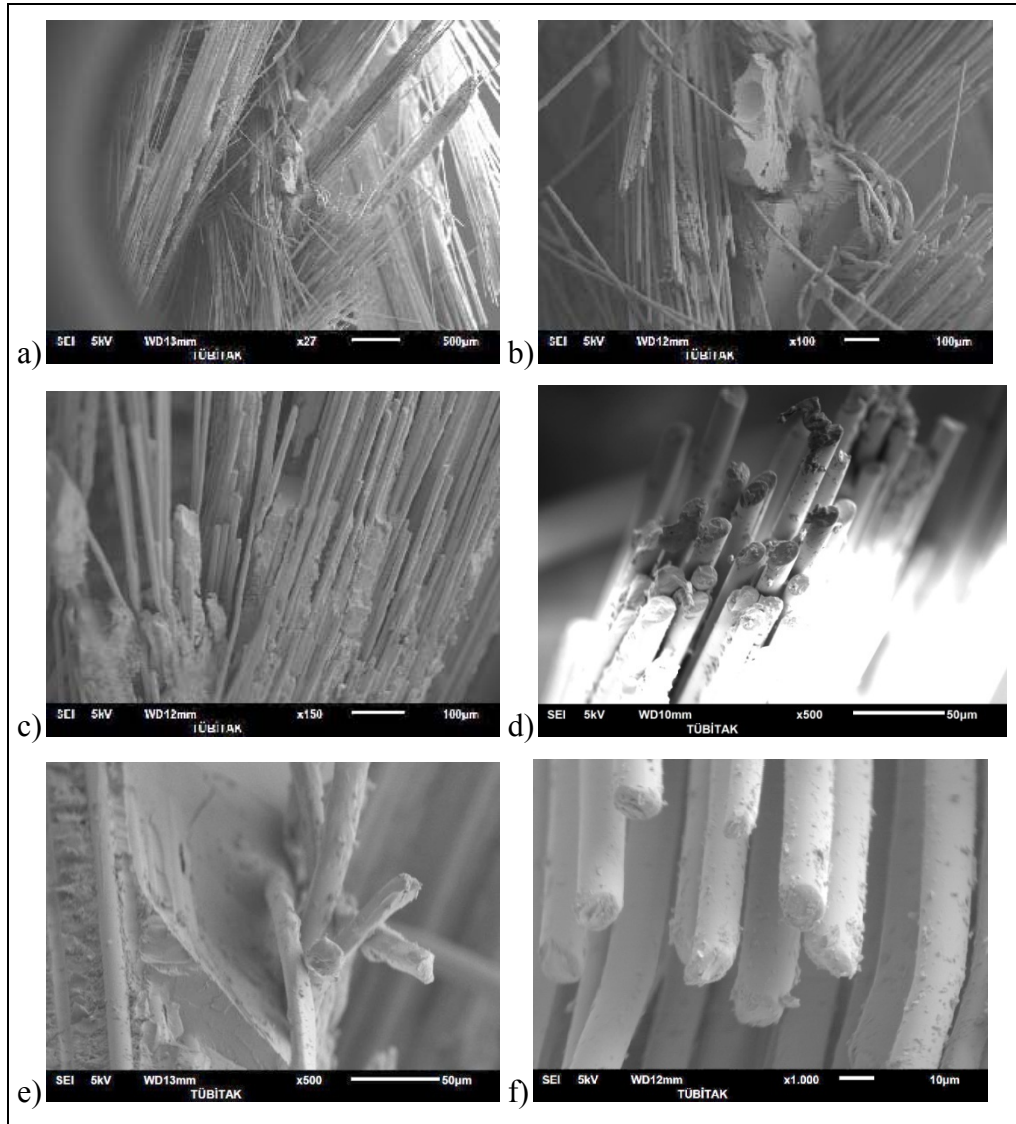
Tarama elektron mikroskobu incelemelerinde, elyafların birbirinden ayrıldığını, matrikste hasarların arttığını görmekteyiz. Elyaflarda kopmalar gerçekleşmiş ve tabakalar arasında ayrılmalar oluşmuştur, elyaflardaki kopma seviyesi artmıştır (Şekil 7.87).



Şekil 7.87 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (XT1) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)50X, b)100X, c)150X, d)500X, e)1000X

7.9.4.6 El Yatırması Yöntemiyle, 45°/90°/-45° Yönlü-Üç Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (XT2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri

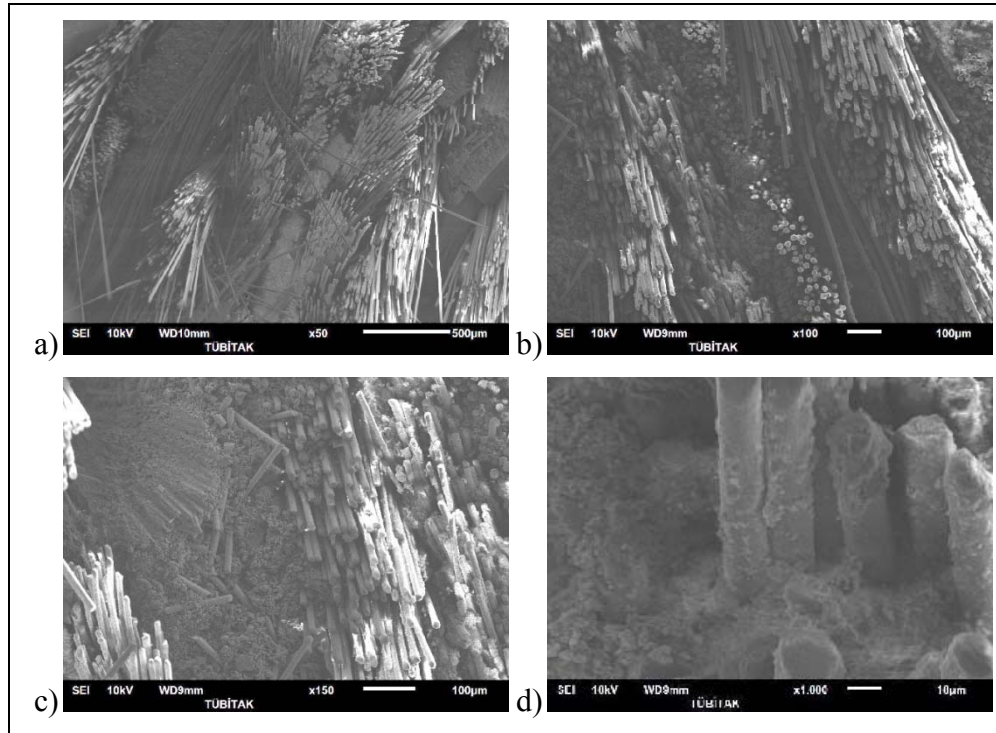
Tarama elektron mikroskobu incelemelerine göre, elyaflar tamamen birbirinden ayrılmış, matrikste hasarlar artarak elyaflarda kopmalar gerçekleşmiştir. Tabakalar arasında ayrılmaların seviyesi artmıştır (Şekil 7.88).



Şekil 7.88 El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (XT2) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)27X, b)100X, c)150X, d)500X, e)500X, f)1000X

7.9.4.7 Kapalı Kalıpta Soğuk Pres Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (Q1) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri

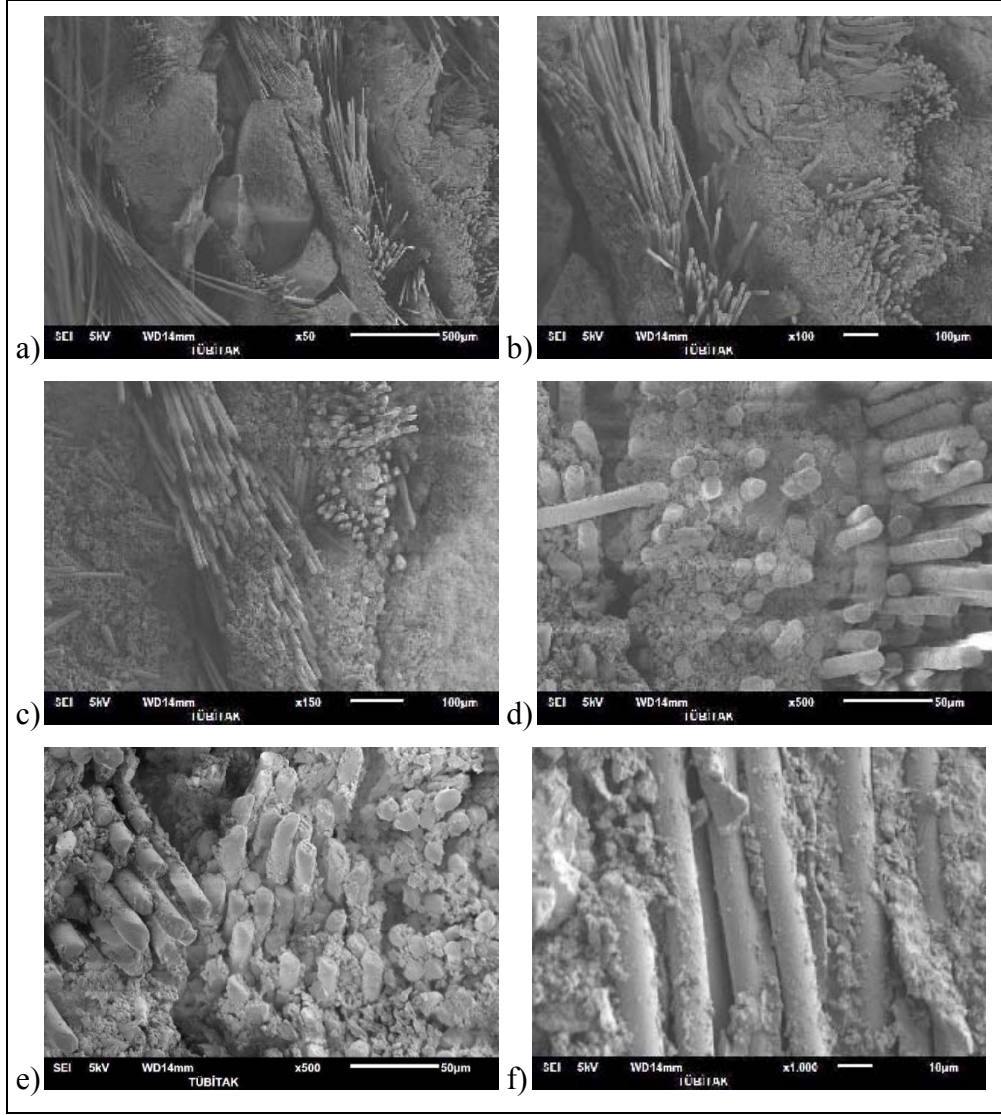
Tarama elektron mikroskobu incelemelerine göre, elyaflardaki kopmalar artmasına rağmen, elyaflar matriks içinde tutunmaktadırlar. Elyafların matriks içindeki dağılımı yoğunlaşmıştır (Şekil 7.89).



Şekil 7.89 Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (Q1) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)50X, b)100X, c)150X, d)1000X

7.9.4.8 El Yatırması Yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° Yönlü-Dört Eksenli-Cam Elyaf Dikişli Kumaşla ve Polipol 3401 Kodlu Polyesterle Üretilen Kompozite (Q2) Uygulanan Darbe Testleri Sonrasında Tarama Elektron Mikroskobu Görüntüleri

Tarama elektron mikroskobu incelemelerine göre, elyaflardaki kopmalar artmasına rağmen, elyaflar matriks içinde tutunmaktadır. Elyafların matriks içinde dağılımı yoğunlaşmıştır (Şekil 7.90).



Şekil 7.90 El yatırması yöntemiyle, $0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozite (Q2) uygulanan darbe testleri sonrasında tarama elektron mikroskobu görüntüleri, a)50X, b)100X, c)150X, d)500X, e)500X, f)1000X

7.10 Darbe Test Sonuçlarının İrdelenmesi

Darbe testleri sonucunda, delinme durumunun incelenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biri olan “maksimum yükteki sapma” miktarını Çizelge 7.8’de görmekteyiz. Çizelgeden de görüldüğü üzere; C1 kodlu kompozit 900J enerji seviyesine kadar delinmemiştir. C2, LT1, XT2 kodlu kompozitler 700J enerji seviyesinde, LT2 ve XT1 kodlu kompozitler 800J’de, Q1 ve Q2 kodlu kompozitler ise 400J enerji seviyesinde delinmişlerdir.

Çizelge 7.8 Farklı kumaşlar ve üretim yöntemlere bağlı olarak uygulanan enerji seviyelerinde ölçülen maksimum yükteki sapmalar (değişimler)

Enerji [J]	Maksimum Yükteki Sapma (Değişim) Miktarı (mm)							
	C1	C2	LT1	LT2	XT1	XT2	Q1	Q2
25	-0,34	-0,65	-0,66	-0,68	-0,62	-0,80	-0,54	-0,83
50	-1,03	-0,60	0,93	0,15	-0,97	-0,66	-1,02	-0,20
75	-0,40	1,43	0,24	0,51	-0,29	-0,16	2,04	-0,69
100	0,75	-0,61	3,07	2,25	-0,13	-0,43	4,07	-1,06
200	6,74	5,59	6,17	5,89	6,40	4,70	6,45	5,40
300	7,14	7,55	7,73	7,74	8,40	7,46	7,63	7,34
400	7,85	8,21	7,72	8,72	9,00	8,08	8,80	8,51
500	8,75	9,06	9,87	8,10	8,53	8,63	-	-
600	9,28	9,68	9,87	8,10	10,08	9,38	-	-
700	8,48	9,59	8,76	6,83	9,26	8,12	-	-
800	8,88	-	-	7,27	10,20	-	-	-
900	8,46	-	-	-	-	-	-	-

Yukarıdaki tabloda bulunan kodlamalar:

C1: Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle

C2: El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit

LT1: Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit

LT2: El yatırması yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit

XT1: Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit

XT2: El yatırması yöntemiyle, 45°/90°/-45° yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit

Q1: Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit

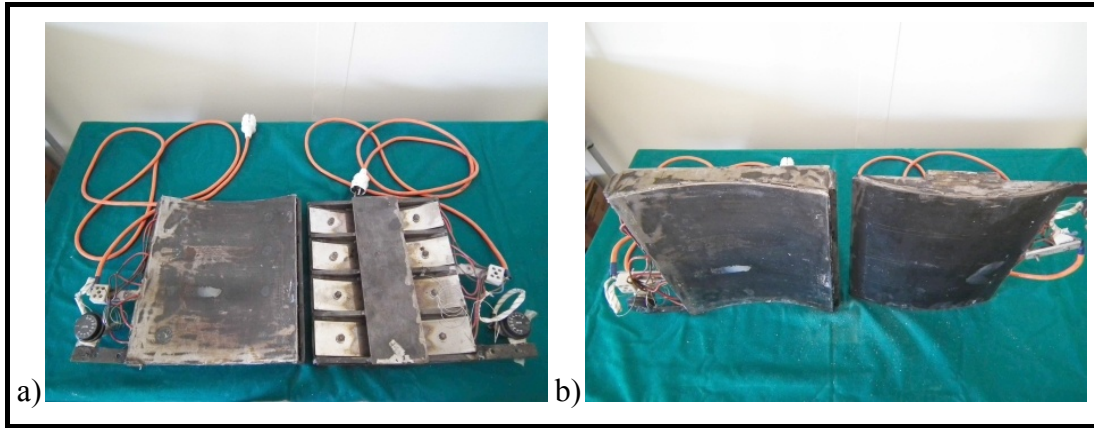
Q2: El yatırması yöntemiyle, 0°/45°/-45°/90° yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit,

olarak verilmiştir.

7.11 Kurşungeçirmez Yelek Üretimi

Mekanik özellikler açısından ve darbe testleri sonrasında, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozitin üretiminde elde edilen sonuçların genel olarak en üstün özellikleri gösterdiğini belirledik. Bu veriden yola çıkarak, kurşungeçirmez yelek üretimi; kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle ve $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü cam dokuma kumaş kullanarak gerçekleştirilmiştir.

Kurşungeçirmez yelek üretiminde kullanılan kalıp; $303\text{mm} \times 238\text{mm} \times 10\text{mm}$ olarak imal edilmiştir. Kurşungeçirmez yelek kalıbı; kalıptan çıkacak üründe çarpılmalar olmaması için, yaklaşık 400 mm yarıçapında açılarak ve ürünün kalıptan çıkmadan kürlenmesini gerçekleştirmek için de, kalıba ısıtma sistemi adapte edilmiştir (Şekil 7.91).



Şekil 7.91 Kurşungeçirmez yelek üretimi için hazırlanan ısıtmalı kalıp sistemi

Üretimde kullanılan polyester ve katkı malzemeleri, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit (C1) üretimindeki miktarlarla kullanılmıştır. 1000g polyester, 1,2g kobalt oktoat ve 5g Butanox M-60 (metil etil keton peroksit) karışımı kullanılmıştır.

Kalıbın içi vakslandıktan sonra $303\text{mm} \times 238\text{mm}$ boyutlarında kesilen kumaşlar, tek tek kalıp içine yerleştirilmiş, her kat kumaşın üzerine bir miktar karışımdan eklendikten sonra spatula ve rulo yardımıyla karışım geniş bir alana yayılmıştır. Bütün kumaşlar kalıp içine yerleştirildikten sonra kalıp kapatılarak 48 saat, 30 bar pres altında bekletilip, presten alınmış ve kalıp açılmıştır. Kalıptan çıkartılan ürün kürlenmek üzere, etüvde üç aşamalı olarak; 50°C sıcaklıkta 1 saat, 80°C sıcaklıkta 1 saat ve 110°C sıcaklıkta 1 saat

bekletilerek kürlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen CTP kompozit malzemenin ağırlığı 1488g'dır.

7.11.1 Kurşungeçirmez Yeleğe Balistik Test Atışları

Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşla ve Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyesterle üretilen kompozit malzemedен üretilen kurşungeçirmez yelek; balistik davranışının pratikte incelenmesi amacıyla atış testine tabi tutulmuştur. Cansız mankenin ön tarafında bulunan, özel hazırlanmış olan bölüme konulan kurşungeçirmez yelek üzerine, dört adet MKEK retimi, 9mm çapında Parabellum mermisi atılmıştır (şekil 7.92).



şekil 7.92 Kurşungeçirmez kompozit malzeme üzerine yapılan balistik atış

Atışlarda kullanılan 9mm çaplı Parabellum mermiler Makine Kimya Endüstrisi Kurumu tarafından üretilmiştir (şekil 7.93).



şekil 7.93 Balistik atışlarda kullanılan 9mm çaplı Parabellum mermileri

Balistik atış denemelerinde kullanılan 9mm Parabellum mermisinin bazı özellikleri izelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.9 MKEK üretimi 9mm çaplı parabellum mermisinin özellikleri

Hız	370± 10 m/s (16 metre mesafede)
Dağılım	≤ 7,6 cm (46 metre mesafede)
Mermi Ağırlığı	8 ± 0,075 g
Kullanıldığı Silahlar	9mm Belçika Browning, Alman Walther, İtalyan Beretta, MP-5

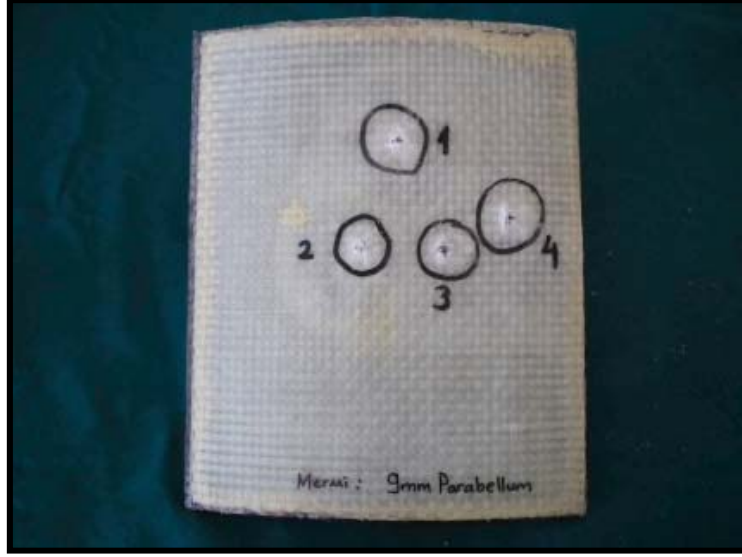
Atışlar sertifikalı bir atış poligonunda (Şekil 7.94) atış uzmanı tarafından gerçekleştirilmiştir. Kurşungeçirmez yeleğin orta kısmına gelecek şekilde dört adet atış yapılmıştır.



Şekil 7.94 Balistik atış poligonu, kullanılan silahlar ve mermiler

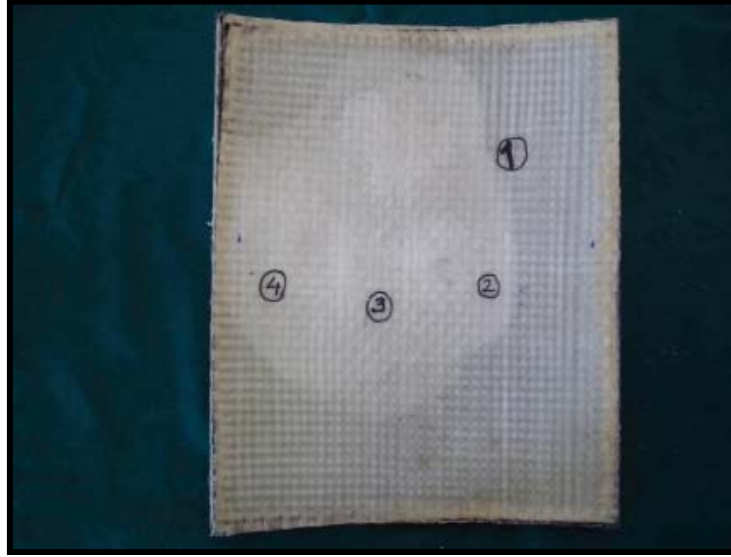
7.11.2 Balistik Atış Sonuçları

Balistik atışlar sonrasında numunede herhangi bir delinme olmamıştır. Mermilerin tamamı kompozit malzeme içinde tutulmuştur. Numunenin ön tarafında mermi girişleri görülmektedir (Şekil 7.95).



Şekil 7.95 Balistik atış sonrası kurşungeçirmez yeleğin önden görünüşü

Numunenin arka tarafında herhangi bir delinme yoktur ve mermilerin oluşturduğu enerjinin tutulmasıyla ilgili oluşan beyaz bölge görülmektedir (Şekil 7.96).



Şekil 7.96 Balistik atış sonrası kurşungeçirmez yeleğin arkadan görünüşü

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dokuma kumaşlar, $0^\circ/90^\circ$ yönlü-iki eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar, $45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ yönlü-üç eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ yönlü-dört eksenli-cam elyaf dikişli kumaşlar ve matriks malzemesi olarak Polipol 3401-CTP tipi genel amaçlı polyester kullanılarak, kapalı kalıpta soğuk pres ve el yatırması yöntemleriyle üretilen cam takviyeli plastik (CTP) kompozitlere, balistik davranışlarının incelenmesi amacıyla darbe testleri uygulanmıştır.

1. Üretilen malzemelerin yoğunlukları $1,61-1,96 \text{ g/cm}^3$ değerleri arasında ölçülmüştür. Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^\circ/90^\circ$ yönlü cam elyaf dokuma kumaş kullanılarak üretilen cam takviyeli plastik (CTP) malzemenin yoğunluğunun, $1,96 \text{ g/cm}^3$ değeriyle en yüksek değer olduğu belirlenmiştir.
2. Kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle üretilen kompozitlerin ve el yatırması yöntemiyle üretilen kompozitlerden daha hafif olduğu tespit edilmiştir.
3. Sertlik değerleri açısından, kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle $0^\circ/90^\circ$ yönlü cam elyaf dokuma kumaş kullanılarak üretilen (CTP) malzemenin sertliğinin, 69 Barcol değeriyle en yüksek değer olduğu belirlenmiştir.
4. Çekme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, maksimum değer 594 N/mm^2 ile kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, $0^\circ/90^\circ$ yönlü cam elyaf dokuma kumaş kullanılarak üretilen (CTP) malzeme olduğu görülmüştür.

5. Üç nokta eğme dayanımları incelendiğinde, en yüksek değer 442 N/mm² ile kapalı kalıpta soğuk pres yöntemiyle, 0°/90° yönlü cam elyaf dokuma kumaş kullanılarak üretilen kompozitte olduğu belirlenmiştir.
6. Darbe dayanımı açısından karşılaştırıldığında, 900J enerji değerine kadar 0°/90° yönlü cam elyaf dokuma kumaş kullanılarak üretilen kompozitte herhangi bir delinme olmamıştır.
7. Çok eksenli kumaşlarda, kıvrım etkisinin olmamasının dayanım değerlerini yükselteceği beklenmesine rağmen, kıvrım etkisinin olduğu cam elyaf dokuma kumaşın dayanım özellikleri çok eksenli kıvrımsız yapılardan daha yüksek değerlerde çıkmıştır.
8. Darbe testlerinde delinme olmadığı durumda, malzeme enerjinin hemen hemen tamamını soğurarak, arka tarafta delinme belirtileri vermemektedir. Ancak enerji seviyesi arttıkça malzemenin enerjisi yan taraftan dışarı doğru uzaklaştırmak isteyerek tabakalar arası ayrılmalara neden olduğu görülmüştür.
9. Çok eksenli kumaşlardan, dört eksenli (quadraxial) kumaşta elde edilen dayanım değerleri diğer kumaşlara göre düşük çıkmıştır. Delinme etkisinin olduğu uygulamalarda çok eksenli kumaşlar yerine cam dokuma kumaş kullanılması daha iyi sonuçlar verecektir.
10. Üç eksenli kumaşlarla üretilen kompozitlere yapılan darbe testleri sonrasında, kapalı kalıpta soğuk presle üretilen kompozitlerdeki elyaflar keskin şekilde dışarı atıldığı halde, el yatırması yönteminde elyaflar dışarı atılırken, şekilleri de bozularak numuneden ayrılmaktadır.
11. Mekanik testler ve darbe testleri sonrasında 0°/90° yönlü cam elyaf dokuma kumaş kullanılarak üretilen kompozit malzemenin en iyi özelliklere sahip olduğu göz önüne alınarak, aynı üretim parametreleri kullanılarak, balistik amaçlı kullanılmak üzere kurşungeçirmez yelek imalatının yapılabileceğine karar verilmiş ve üretim gerçekleştirilmiştir. 9mm çaplı Parabellum mermisi ile yapılan balistik testler sonrasında, 0°/90° yönlü cam elyaf dokuma kumaş kullanılarak üretilen kurşungeçirmez yelek, atış testlerinde başarılı olmuştur. Kurşungeçirmez yelek, üzerine atılan 4 adet mermiyi delinme olmadan yapısında tutmuştur. Kurşungeçirmez yelek arka kısmında oluşan sehim miktarı, 4mm değerinin altında kalmıştır.

12. Kurşungeçirmez yelek üretiminde kullanılan, $0^{\circ}/90^{\circ}$ yönlü cam elyaf dokuma kumaş ve polyesterin teminindeki kolaylıklar, maliyetinin ucuz olması ve elde edilen darbe özelliklerine bakıldığında; balistik uygulamalarda altlık olarak da kullanılabilceği ve yüksek kalibreli mühimmatlara karşı dayanım özelliklerinin incelenmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] Temiz, S., (2005). Balistik Kumaş ve Test Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [2] Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluğu, Kompozit Malzemeler, www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme_bilgisi/kompozit%20malzemeler.pdf, 02/02/2012
- [3] Cheeseman, B.A. ve Bogetti, T.A., (2003). “Balistic Impact into Fabric and Compliant Composite Laminates”, Composite Structures, 61:161-173.
- [4] Çerkez, D., (2007). Kolloidal Silika Dispersiyonunun Polietilen Kumaşların Balistik Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [5] Eren, Y., (2007). Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [6] Rouchan,J., (1987). Materiaux composites pour d’aeronefs, National Higher School of Aeronautical Constructions, 95.
- [7] Mallick, P.K., (1988). Fiber Reinforced Composites, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.
- [8] Zweben C., (1988). Composite Materials and Mechanical Design, Mechanical Engineer's Handbook, 2nd edition, New York.
- [9] Şahin, Y., (2006). Kompozit Malzemelere Giriş, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara
- [10] Kayrak, M.A., (1999). “Havacılık Kompozitleri ve Dayanım-Maliyet Analizleri”, Havacılık Yüksek Okulu Yayınları, 9:1,12-13,69.
- [11] Matweb Material Property Data, www.matweb.com, 05/06/2012.
- [12] Metyx Kompozit, www.metyx.com/Turkish/Reinforcements/Multiaxial.html, 15/08/2012
- [13] Fidan, S., (2011). Polimer matriksli kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi ve oluşan hasarların mikro-tomografi yöntemiyle incelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [14] Anonim, (1984). A.S.M. International, Composite Materials I-The basics, Materials Engineering Institute, Ohio.
- [15] T.H.Y. Teknik A.Ş. Kompozit Tamir Notları.

- [16] Kara, M., (2006). Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [17] Karaca, D., (2010). Farklı Kalınlık ve Oryantasyon Yüzdelerindeki Tabakalı Kompozit Levhaların Düşük Hızlı Darbe Enerjileri Altında Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [18] Mmders, P.W. ve Harris, W.C., (1986). "A parametric study of composite performance in compression-after-impact testing", SAMPEJournal, 22:47-51
- [19] Almy, M., (1987). "Post damage capability of carbon fibre reinforced matrices", Proc Int. Conf. on Polymers for Composites, İngiltere
- [20] Stellbrink, K.K.U., (1987). "Improved impact damage tolerance", Proceedings of European Syrup on Damage Development and Failure Processes in Composite Materials", Belçika.
- [21] Curson, A.D., Leach, D.C. ve Moore, D.R., (1990). "Impact failure mechanisms in carbon fiber/PEEK composites", Thermoplastic Composite Materials, 3:24-31.
- [22] Rea, C.A. ve Sierakowski, R.L., (1973). "Studies on the impact resistance of composite plates", Composites, 4:157-161.
- [23] Husmn, G.E., Whitney,J.M. ve Halpin,J.C., (1974). "Residual strength characterization of laminated composites subjected to impact loading", Foreign Object Impact Damage to Composites, 92-113.
- [24] Bradshaw, F.J., Derey, G. ve Skley, G.R., (1972). "Impact resistance of carbon reinforced plastics".
- [25] Beaumont, P.W.R., Riewald, P.G. ve Zweben, C., (1975). "Methods for improving the impact resistance of composite materials", 568:134-158.
- [26] Novak, R.C. ve deCrescente, M.A., (1972). Composite Materials: Testing and Design (Second Conference), ASTM STP 497:311-323.
- [27] Cheresch, M.C. ve McMichael, S., (1987). "Instrumented impact test data interpretation", Instrumented Impact Testing of Plastics and Composite Materials", ASTM STP 936 edited by S.L. Kessler, G.C. Adams, S.B. Driscoll ve D.R., İrlanda:9-23.
- [28] Bader, M.G. ve Ellis, R.M., (1974). "The effect of notches and specimen geometry on the pendulum impact strength of uniaxial CFRP", Composites, 5:253-258.
- [29] Cantwell, W.J., (1985). Impact damage in carbon fibre composites, Doktora Tezi, University of London, UK.
- [30] Cantwell, W.J., (1985). Impact damage in carbon fibre composites, PhD thesis, University of London, UK.
- [31] Marvin D. Rhodes, Jerry G. Williams ve James H. Starnes Jr., (1979). "Low velocity impact damage in graphite-fiber reinforced epoxy laminates", Polymer Composites, 2: 36–44.

- [32] Aslan, Z. ve Karakuzu, R., (2002). “Transient Dynamic Analysis of Laminated Composite Plate Subjected to Low-Velocity Impact”, *Mathematical and Computational Applications*, 7:73-82.
- [33] Degrieck, J. ve Dechaene, R., (1987). “Real time recording of transverse impact experiments on composite laminates”, *Composites evaluation; Proceedings of the Second International Conference on Testing, Evaluation and Quality Control of Composites-TEQC 87*, Guildford, 87:61-68
- [34] <http://metalurjistiz.blogspot.com/2012/01/cekme-basma-testi.html>, 21/08/2012
- [35] Savaşkan, T., (2009). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, 5. Baskı, Derya Kitabevi, Trabzon.
- [36] <http://www.belgeler.com/blg/29ie/dk-hizli-darbe-yklemeler-sonrasi-cam-fiber>, 30/09/2012
- [37] Fidan S., Avcu E. ve Sınmazçelik T., (2011). “Cam fiber takviyeli kompozitte tekrarlı darbe yüklemeleriyle oluşan hasar mekanizmaları”, *I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu*”.
- [38] Belingardi, G. ve Vadori, R., (2003). “Influence of Laminate Thickness in Low Velocity Impact Behavior of Composite Material Plate”, *Composite Structures*, 61:27-38.
- [39] Mitrevski, T., Marshall, I.H., Thomson, R., Jones, R. ve Whittingham, B., (2004). “The Effect of Impactor Shape on the Impact Response of Composite Laminates”, *Composite Structures*, 67:139-148.
- [40] Mili, F., ve Necip, B., (2001). “Impact Behavior of Cross-Ply Laminated Composite Plates under Low Velocities”, *Composite Structures*, 51:224-237.
- [41] Kara, M. ve Uyaner M., (2007). “Tabakalı Kompozitlerin Darbe Cevabına Vurucu Şeklinin Etkisi”, *8.Uluslararası kırılma konferansı bildirileri*.
- [42] 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.
- [43] Liu, D., (1988). “Impact-induced delamination-a view of bending stiffness mismatching”, *J. Compos. Mater.*, 22:674-692.
- [44] Liu, D. ve Malvem, L.E., (1987). “Matrix cracking in impacted glass/ epoxy plates”, *J.Compos. Mater.*, 21:594-609.
- [45] Finn, S.R., He, Y.-F. ve Springer, G.S., (1993). “Delaminations in composite plates under transverse impact loads-experimental results”, *Compos. Struct.*, 23:191-204.
- [46] ASTM/D 792-08, (2008). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*, ASTM, Philadelphia.
- [47] ASTM/D 2584-11, (2011). *Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins*, ASTM, Philadelphia.
- [48] ASTM/D 2583-07, (2007). *Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor*, ASTM, Philadelphia.

- [49] 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.
- [50] TS/EN/ISO 14125, (1998). Fibre-reinforced plastic composites-Determination of flexural properties, ISO, Philadelphia.
- [51] Schulz Peter J. ve Liu R., Dahsin, (2009). "Effects of camber height and boundary condition on energy absorption of arched composite laminates", Composites Science and Technology, 69: 718-724.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Enver Bülent YALÇIN
Doğum Tarihi ve Yeri : 02-06-1971 Kayseri
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : enverylcn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	YTÜ	1995
Lisans	Metalurji Mühendisliği	YTÜ	1993
Lise	Yabancı Dille Eğitim	TED Kayseri Koleji	1989

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
1999-Halen	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi	Araştırmacı
1999-2000	Argonne National Laboratory-Amerika	Burslu Araştırmacı
1997-1999	Şişecam – Ferro Döküm San.veTic.A.Ş.	Döküm Tasarım Müh.

YAYINLARI

Makale

1. E.B. Yalçın, V. Günay, M. Marşoğlu, Impact Behaviour Of Composite Materials By Using Low and High Speed Impact Tests, Advanced Materials Research, Vol 445:189, İstanbul/Türkiye, (2011)
2. L. Turhan, Ö. Eksik, E.B. Yalçın, A. Demirural, T. Baykara, V. Günay, Computational simulations and ballistic verification tests for 7.62 mm AP and 12.7 mm AP bullet impact against ceramic-metal composite armours, Wessex Ins. Vol 98:379-388, Southampton/United Kingdom, (2008)

Bildiri

1. L.Turhan, E.B.Yalçın, Ö.Eksik, , A.Demirural, V.Günay, T.Baykara, Seramik-Metal Zırhlarda Balistik Performans Testleri ve Ls-Dyna Simülasyonları, 12th. FİGES Computer Aided Engineering and System Modeling with Exhibition, Antalya/Türkiye, (2007)
2. L.Turhan, Ö.Eksik, E.B.Yalçın, A.Demirural, T.Baykara, V.Günay Computational simulations and ballistic verification tests for 7.62mm AP and 12.7mm AP bullet impact against ceramic metal composite armours, Computational Ballistics, 2007 Wessex Institute, Southampton-United Kingdom, (2007)

Proje

1. Gemi için NBC Filtre Sistemi Geliştirme, Dz. Kuv. K.lığı, Proje Yöneticisi, (2006-2009)
2. CAD/CAM Uygulamaları ve CNC ile Malzemelerin Geliştirilmesi, Proje Yöneticisi, (2003-2006)
3. Elektronik Güç Kutusu İçin CNC Programı Geliştirme, Proje Yöneticisi, (2004)