

EPOXY CAM ELYAF KOMPOZİT LEVHANIN  
DARBE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ceyla AKIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül - 2008

EPOXY CAM ELYAF KOMPOZİT LEVHANIN DARBE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ceyla AKIN

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL

Eylül - 2008

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Ceyla AKIN'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "EPOXY CAM ELYAF KOMPOZİT LEVHANIN DARBE ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../2008

Üye : Doç.Dr. Remzi GÖREN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mehmet ŞENEL (Danışman)

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mustafa AYDIN

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M.SabriÖZYURT  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## EPOXY CAM ELYAF KOMPOZİT LEVHANIN DARBE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ceyla AKIN

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2008

Danışman Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL

### ÖZET

Bu tezin amacı düşük hızlı darbe etkisi altında epoxy-cam elyaf kompozit levhaların davranışını incelemektir. Bu amaçla epoxy-cam fiber malzemenin farklı bağlantı şartlarında dinamik davranışlarının etkileri deneysel olarak elde edilen grafikler üzerinde değerlendirilmeleri yapılmıştır.

Deneysel TÜBİTAK kariyer projesi kapsamında tasarlanarak imal edilmiş düşey konumlu bir ağırlık düşürme test makinesinde Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Darbe test cihazının düşen ağırlık kısmı ile vurucu uç arasına yerleştirilen bir piezoelektrik kuvvet sensörü vasıtasıyla alınan veriler kuvvet-zaman grafiğine dönüştürülmüştür. Elde edilen bu veriler ile ayrıca hız-zaman, kuvvet-çökme ve enerji-çökme grafikleri hesaplanarak çizilmiştir. Darbe testleri sabit 3kg'lık ağırlıkta 0.5m, .75m, 1m, 1.5m ve 2m lik yüksekliklerde malzemenin delinme şartını göz önüne alarak yapılmıştır.

Deney numuneleri 0/90, -45/45 ve -30/30 fiber oryantasyonunda 8 simetrik tabakalı olarak, ortalama 2mm kalınlıkta üretilmiştir. Deneyler numunelerin dört taraftan ankastre ve iki taraftan ankastre bağlantı şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, zamana bağlı dinamik yük etkisi altındaki kompozit levhaların bağlantı koşullarına göre dinamik davranışları üzerine deneysel çalışmalar yapılarak bağlantıdan kaynaklanan farklılıklar grafiklerin yorumları ile ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük hızlı darbe, epoxy cam elyaf, dinamik davranış(deneysel yaklaşım).

# THE INVESTIGATION OF IMPACT BEHAVIOURS OF FIBERGLASS EPOXY COMPOSITE PLATES

Ceyla AKIN

Mechanical Engineering, MSc Thesis, 2008

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Mehmet ŞENEL

## SUMMARY

The purpose of this thesis is, to investigate the behaviours of fiberglass-epoxy composites that are under low-velocity impact effect. For this goal experiments of dynamical behaviors of fiberglass composite plates for different fixtures have been conducted and the results are plotted and analyzed for evaluation.

The tests have been performed on the vertical drop weight testing machine that is desined in Mechanics laboratory as part of our TÜBİTAK career Project. The parameters, accepted by the piezo electric force tranducer which is mounted between dropping weight and impactor, have been converted to force-time graphics. The velocity-time, sedimentation-force, energy –sedimentation graphichs have been drawn using the data şobtained in our experiment .

Impact tests have been performed under the limitation of a constant 3 kg weight and 0.5 m, 0.75m, 1m, 1.5m and 2m .heights. Because of the possibility of causing a crack fort he plate. The test examples have been manufactured ,0/90, -45/45 and -30/30 fiber orientatedioned 8 symmetrical layers and , 2 mm average thickness .And the tests were performed by the situation of four side fixtured examples and two side fixtured examples.

Finally, the experimental implications were performed with graphic interpretations about under the time related dynamic loading composite panels dynamic behaviors according to fixture position and the differences occurred from fixture.

**Keywords:** Low velocity impact, fiberglass-epoxy, dynamic behavior.

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında değerli katkılarını esirgemeyen tez danıőmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL'e , Dumlupınar Ünv. Makina Müh. Bölümü tüm sayın hocalarıma ve test düzeneğinin oluşmasında katkıda buluna TÜBİTAK'a teőekkürü bir borę bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	6
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	7
2.1.1.Fiber Takviyeli Kompozitler.....	8
2.1.2.Partikül Takviyeli Kompozitler.....	8
2.1.3.Pul Kompozitler.....	9
2.1.4.Dolgu Kompozitleri.....	9
2.1.5.Tabakalı Kompozitleri.....	9
2.2 .Cam Takviyeli Plastik Malzemeler .....	9
2.2.1 Cam Elyaf Takviye Malzemesi.....	11
2.2.2 Epoksi Reçine Matriks Malzemesi.....	13
2. DARBE TEST YÖNTEMLERİ.....	14
3.1. Çentik Darbe Testi.....	14
3.2. Charpy Darbe Testi.....	14
3.3. İzod Darbe Testi.....	17
3.4. Ağırlık Düşürme testleri.....	17
3.4.1 Düşük Hızlı Darbe.....	17
3.4.2 Yüksek Hızlı Darbe.....	18

<b>İÇİNDEKİLER DEVAM</b>		<b><u>Sayfa</u></b>
3.5. Darbe Hasarını Etkileyen Parametreler.....		19
3.5.1 Malzeme Özellikler.....		19
3.5.2. Hedef Sertliği.....		21
3.5.3. Çevresel Koşullar.....		21
3.6 Dinamik (Elasto Kinetik) Yükler.....		21
3.6.1 Atalet Kuvvetlerinden Doğan Gerilmeler.....		22
3.6.2 Dinamik Yüke Maruz Kalma Durumları.....		23
3.6.3 Ani Yükleme (Çarpma).....		26
3.7 Darbe Test Hesaplamaları.....		28
3.7.1. F(t), Ölçülen Kuvvet.....		28
3.7.2 E(t), Absorbe Edilen Enerji.....		29
3.7.3 $\delta(t)$ Çarpma ile Oluşan Yerdeğiştirme.....		30
4. DENEY NUMUNESİ VE TEST DÜZENEGİ.....		31
4.1 Deney Numunesi.....		33
4.2 Test Düzenegi.....		34
4.3 Deney Metodolojisi.....		38
4.4 Grafikselleştirilmesinin Çıkarılması.....		42
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....		44
5.1 Düşük Hızlı Darbe Test Grafiklerinin Yorumlanması.....		44
5.1.1 Batma ve Batma Başlangıcı.....		44
5.1.2 Temas (kontak) Kuvveti-Zaman Grafik Yorumu.....		45
5.1.3 Hız-Zaman Grafik Yorumu.....		46
5.1.4 Kuvvet-Çökme Grafik Yorumu.....		46
5.1.5 Enerji-Çökme Grafik Yorumu.....		47
5.2 Deneysel Sonuçlar.....		48
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		81
6.1 Sonuçlar.....		81
6.2 Öneriler.....		82
KAYNAKLAR DİZİNİ.....		83



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler.....	7
2.2 Cam Elyaf Üretimi.....	12
2.3 Denizcilikte Epoxy Malzeme kullanımı.....	13
2.4 Mirage 2000 Uçagında Cam Epoxy Kompozit Malzemelerin Kullanımı.....	14
3.1 Çentik darbe deneyinin şematik çalışma prensibi.....	15
3.2 Charpy deneyinde numune ve çekiç konum şeması.....	16
3.3 İzod deneyinde numune ve çekiç konum şeması.....	17
3.4 Ağırlık düşürme test düzeneği şematik gösterilimi.....	18
3.5 Gaz tabancası deney düzeneği şeması.....	19
3.6 Atalet kuvvetleri.....	23
3.7 Elastik bir sistemin dinamik yüklenme durumu.....	24
3.8 F kuvvetinin zamanla değişimi.....	24
3.9 Çarpışma öncesi ve sonrası elastik sistem davranışı.....	27
3.10 Kirişin Dinamik Yerdeğiştirmesi.....	31
4.1 [0/90] <sub>4s</sub> , [-30/30] <sub>4s</sub> [-45/45] <sub>4s</sub> Epoxy- Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler.....	33
4.2 [0/90] <sub>4s</sub> , [-45/45] <sub>4s</sub> [-30/30] <sub>4s</sub> Epoxy/Cam Elyaf Takviyeli Numuneler.....	35
4.3 Darbe Test Düzeneği .....	36
4.4 Deney düzeneğinin tasarım şekli ve elmanlar .....	37
4.5 Deneylerde Kullanılan Vurucu Uç Geometrisi.....	38
4.6 Deney Kodu Açıklamaları.....	43
4.7 Grafik Hesapları Yapılan Excel Dosyası.....	44
5.1 Kalın Ve İnce Numunelerde Batma Ve Delinme Olayı.....	45
5.2 Değişik Darbe Enerjileri İçin Kuvvet-Zaman Grafikleri.....	46
5.3 Hız-Zaman Grafik Örnekleri , Delinmeyen Numune , Delinen Numune .....	47
5.4 Oluşan İki Tip Kuvvet- Çökme Eğrileri, Açık Tip , Kapalı Tip.....	48
5.5 İki Tip Enerji-Zaman Eğrisi ,Delinmemiş Numune , Delinmiş Numune İçin.....	48

## ŞEKİLLER DİZİNİ DEVAM

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman, hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri.....	50
5.7 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	50
5.8 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	51
5.9 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	51
5.10 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	52
5.11 0/90 simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	52
5.12 [-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	53
5.13 [-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	53
5.14 [-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.7J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	54
5.15 [-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.7J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	54
5.16 [-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	55
5.17[30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; numuneönü, numune arkası hasar durumu.....	55
5.18 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	56
5.19 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	56
5.20 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	57
5.21 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	57

## ŞEKİLLER DİZİNİ DEVAM

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.22 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	
5.23 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	58
5.24 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman, hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	61
5.25 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	61
5.26 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	62
5.27 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	62
5.28 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	63
5.29 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	63
5.30 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	64
5.31 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	64
5.32 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	65
5.33 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	65
5.34 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	66
5.35 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	66
5.36 [0/90] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	67
5.37 [-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	67

5.38	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	68
5.39	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	68
5.40	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	69
5.41	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	69
5.42	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	70
5.43	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	70
5.44	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	71
5.45	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	71
5.46	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 51.5J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	72
5.47	[-30/30] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 51.5J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	72
5.48	[-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.71J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	73
5.49	[-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 14.71J darbe enerjisinde oluşan; numune önü,numune arkası hasar durumu.....	73
5.50	[-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	74
5.51	[-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	74
5.52	[-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	75
5.53	[-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	75
5.54	[-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	76
5.55	[-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; numune	76

**ŞEKİLLER DİZİNİ DEVAM**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.56 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	77
5.57 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	77
5.58 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; kuvvet-zaman,hız-zaman, kuvvet-çökme, enerji-zaman eğrileri .....	78
5.59 [-45/45] <sub>s</sub> simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; numune önü, numune arkası hasar durumu.....	78
5.60 Numunenin iki taraftan ankastre bağlantı durumu.....	79
5.61 Numunenin dört taraftan ankastre bağlantı durumu.....	79

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Cizelge</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
4.1	Deney Kodlaması.....	39
4.2	Malzeme kodlaması.....	40
4.3	Ağırlık kodlaması.....	40
4.4	Yükseklik kodlaması.....	41
4.5	Vurucu uç geometrisinin kodlaması.....	41
4.6	Numune bağlantı kodlaması.....	42

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Cizelge</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
4.1	Cam liflerine ait özellikler.....	31
4.2	Bazı elyaf türlerinin özelliklerinin karşılaştırılması.....	31
4.3	Malzeme kodlaması.....	37
4.4	Ağırlık kodlaması.....	38
4.5	Yükseklik kodlaması.....	38
4.6	Vurucu uç geometrisinin kodlaması.....	39
4.7	Numune bağlantı kodlaması.....	39

## 1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında özellikle imalat, montaj ve kullanım aşamasında dışarıdan gelebilecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçlar ortaya çıkabilir. Bunu engellemek için malzemenin bu tip etkiler karşısında davranışının nasıl olacağını bilmesi istenir. Bu sebeple darbe testleri malzemelerin hasar modlarının ve dinamik deformasyonlarının ölçülmesinde kullanılmaktadır. Darbe direnci, darbeye maruz kalan parçalarda tasarımcının göz önüne alması gereken en önemli faktörlerden biridir. Darbe direnci ile malzeme ömrü belirlenirken aynı zamanda malzeme güvenliğinin de belirlenmesi sağlanmaktadır.

Günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahip olan kompozit malzemelerde, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalan ve/veya kalmayan bölgede de genellikle gözle görülemeyen veya çok zayıf şekilde görülebilen hasarlar meydana gelebilir. Bu tür hasarlar daha sonra malzemenin dinamik yük etkisi altında çalışma durumunda büyüyerek daha geniş çaplı hasarlara meydan verebilir. Tabakalı kompozit malzemede, eğer kalınlık boyunca bir takviye söz konusu değil ise, en büyük darbe hasarı enine doğrultuda oluşacaktır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi, enine doğrultudaki malzeme elastik özelliğinin düşük olmasıdır. Bu nedenle bir kompozit malzemenin enine hasar direnci nisbeten zayıftır. Tabakalar arası gerilmeler (kesme ve normal), tabakalar arası mukavemetin düşük olmasından dolayı ilk kopmalara sebep olan gerilmelerdir. Darbe esnasında kompozit malzemeye aktarılacak enerjinin miktarı, malzemenin bu enerjiyi sönmüleyebilmesi için oluşacak hasar modlarını belirleyecektir. Bu nedenle tabakalı bir kompozit malzemede darbenin oluşturacağı hasarı tahmin etmek için darbe hızının belirlenmesi çok büyük bir öneme sahiptir.

Genel olarak, darbeler düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar, fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilemediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbedir ki bunlar statikmiş gibi düşünülebilir, hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır [1,2]. Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak kompozit malzeme üzerine imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın düşmesi verilebilir. Düşük hızlı darbeler normal olarak çarpışma temas anında malzeme içyapısında deformasyon oluşturan darbelerdir. Bazen düşük hızlı darbe, düşük enerjili darbe olarak da kullanılır. Düşük hızlı darbede, malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir.



Kompozit malzemelerin darbe davranış etkileri için, farklı bilimsel yaklaşım ve farklı malzemeler kullanılarak çalışıldığı literatürde görülmektedir. Darbe etkisi, bağlantı koşulları ve malzeme parametreleri tabakalı kompozitlerin darbe etkisi için çalışılan parametrelerden bazılarıdır. Bu tür parametreler çalışmanın şekline ve amacına göre çoğaltılabilir. Örneğin, darbe hızı, vurucu uç geometrisi, vurucu uç ağırlığı, numune geometrisi ve darbe enerjisi gibi.

Bu çalışmada numune olarak seçilen kompozit malzemelerin fiber oryantasyon açıları değiştirilmiştir. Ayrıca numunelerin bağlantı şartlarında değiştirilerek bu farklılıkların düşük hızlı darbe etkisi olayında oluşturacağı farklılıklar incelenmiştir. Veriler, vurucu ucun alt kısmına yerleştirilen bir sensör aracılığı ile bilgisayara aktarılmış oradan hesaplamalar ile grafiksel bilgilere dönüştürülmüştür. Ayrıca hasar yeri incelemesi için numunelerin ön ve arka kısımlarında resimler halinde ilgili deney sonuç kısımlarına koyulmuştur.

Malzemenin tarihindeki gelişim, değişim ve çeşitlenme süreci incelendiğinde, saf ve doğal malzemenin kullanımındaki payının zamanla azaldığı, buna karşılık gelişen teknolojiyle birlikte, birden fazla malzemenin değişik tekniklerle bir araya getirildiği, amaca uygun nitelikler taşıyan, bir anlamda kompozit malzemenin gitgide arttığı, yaygınlaştığı görülmektedir. Bu doğrultuda kompozit malzemeler, doğrudan doğruya tek başına istenilen amacı sağlamayan farklı özelliklerdeki iki ya da daha fazla malzemenin istenilen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak makro yapıda birleştirilmesi ile elde edilen malzemelerdir.

Kompozit malzemeler çok özel mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı değişik mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu malzemeler hava ve uzay uygulamalarının yanında inşaat, makine ve diğer mühendislik uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

En tipik örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve "fiberglas" olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam elyaf ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak bugün ileri kompozitler grubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastik modül ve yüksek tokluğa sahiptirler. İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak bu kırılğanlık özelliğinin giderilmesine çalışmışlardır. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllar boyu önemini koruyarak bu gün hala kullanılan bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir. Öte yandan, liflerle donatılı sentetik reçineler 1950'li yılların ortalarından itibaren endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemenin en tanınmış grubunu "cam lifi takviyeli polyester reçineli kompozit" oluşturmaktadır. Ülkemizde "fiberglas" diye tanınan bu malzeme 1960'lı

yılların basından itibaren Türkiye’de sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan Anadol’un kaportası bu malzemeden üretilmiştir. Cam lifleriyle donatılı sentetik reçine matrisli malzemeler için dilimizde “Cam Takviyeli Plastik (CTP)” adı yerleşmiştir. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, en çok kullanılan malzeme olan polyesterin yanı sıra, günümüzde, diğer termoset ve termoplastik reçinelerde kullanılmaktadır [3].

Teknolojinin gelişmesiyle beraber birçok alanda meydana gelen değişimler insan yaşamına getirdikleri kolaylıkların yanı sıra daha önce hiç karşılaşılmamış birçok problemi de beraberlerinde getirmiştir. Çalışan elemanlarda çalışma ömrünü azaltan dinamik yükler (özellikle darbe yükü) kompozit yapılarda da ciddi problemlere sebep olmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalara baktığımızda; Dinamik kuvvetlerin statik kuvvetlerden en önemli farklılığı etkidikleri cisim üzerinde, oluşturdukları gerilimlere ve şekil değişimlerine statik kuvvetler gibi kademeli olarak artarak değil, kendi koşullarının oluşturduğu karakterde bir etki göstermesidir. Bu nedenle dinamik gerilim ve şekil değişimi hesaplarında da başka prensipler uygulanır [4].

Yukarıda bahsi geçen yüklemelerin mühendislik malzemelerinin yanı sıra kompozit malzemeler üzerinde de önemli etkileri olmaktadır. Tabakalı kompozitler yüksek özellikli mekanik özelliklerinden dolayı günümüzde birçok mühendislik alanlarında kullanılmaktadırlar. Bu malzemeler uzay endüstrisinin yanında, inşaat, makine, spor ve diğer dallarda da isteğe göre tasarlanabilmesi yönüyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Darbe testleri genellikle günlük yaşamda karşılaştığımız çivi çakmak, çekiçle dövmek, otomobil çarpışmaları, araçların küçük tampon darbeleri, hareket halinde araca sıçrayan taş, yoldaki çukura hızla ve aniden düşen bir araba tekerleği ve kompozit bir kanat yapısı üzerine bakım esnasında düşürülen bir aletin darbe etkileri gibi gerçek olaylarla bir benzeşim yapılarak oluşturulmaktadır.

Düşük hızlı darbeler, oluşan hasar bakımından matris kırılması, delaminasyon (tabakalar arası ayrılma) oluşumu ve fiber kırılmalarının görüldüğü darbelerdir, çarpma hızı ve absorbe edilen enerji miktarı düşük düzeylerde oluşmaktadır (bu değerler serbest düşen kütlenin ağırlık ve düşme yüksekliğine göre değişebilir), fakat bu konuda literatürde bu yöntem için kesinleşmiş ölçüler ve değerler bulunmamaktadır. Birçok araştırmacı kompozit malzemelerin darbe hasarını değerlendirmek için deneysel ve nümerik yaklaşımlar kullanmışlardır [5–9].

Özellikle hava taşıtlarında kullanılan kompozit malzemeler üzerindeki araştırmalar bu malzemelerin eksene dik doğrultulardaki darbe yüklerine (imalat, bakım ve onarım esnasındaki küçük çaplı çarpma, alet düşürme vb.) karşı çok hassas olduklarını ortaya koymuştur. Bunun sebebi enine doğrultuda takviye elemanı olmayan tabakalı kompozitlerde (plak vb yapılarda),

malzemenin elastik özelliğinin enine doğrultuda düşük olmasıdır. Düşük hızlı darbeler genel olarak tabakalar arası ayrılma (delaminasyon), elemanlarda oluşan artık gerilmeler ve malzeme performansının düşmesi gibi belirli konularla ilgilidir [10–12].

Bu çalışmada farklı oryantasyon açılarında seçilen kare numunelerin iki farklı bağlantıda (dört ve iki taraftan ankastre), aynı enerji değerlerinde düşük hızlı darbe etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Düşük hızlı darbe testleri mekanik laboratuvarında bulunan test cihazında gerçekleştirilmiştir. Numune olarak Epoxy-E-cam lif (E-glass/epoxy) kompoziti kullanılmıştır. Numuneler İzmir’ de bulunan İzoreel firması tarafından çalışmanın isteğine göre imal ettirilmiştir. Çalışmada bağlantı şartları incelenirken diğer şartlar sabit tutulmuştur. Yani vurucu uç geometrisi, vurucu uç ağırlığı ve numune geometrisi sabit tutulmuştur. Her bir parametrenin değiştirilmesi işleri çok daha karmaşık ve zor duruma sokacaktır. Bu çalışmada da aynı şartlarda üçer deney yapılarak değerler elde edilmiştir.

Seçilen hedefler üzerinde düşük hızlı darbe deneyleri farklı oryantasyon açlarına sahip numuneler üzerinde gerçekleştirilerek oluşan farklılıkları göstermek amacı ile grafiksel sonuçlar yorumlanmıştır. Vurucu uç ile numune arasındaki transvers (numune düzlemine dik) temas kuvveti, kuvvet etkisiyle numune üzerinde oluşan çökme ve temas süresince oluşan enerji değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca oluşan hasarlar numune ön ve arka kısımları için ayrı ayrı incelenmiştir.

## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Teknolojinin gelişimi, son yüzyılda bilgisayarların da devreye girmesiyle beraber büyük bir ivme kazanmıştır. Doğadan elde ettiğimiz malzemelerin sınırlı olmasından dolayı, özellikleri bu büyük gelişime ayak uyduramamış ve sanayi için temel bir girdi olan malzeme ve malzeme biliminde gelişme kaçınılmaz bir duruma gelmiştir.

En geniş anlamda, bir kompozit malzeme iki veya daha fazla bileşenden meydana gelen malzemedir. Bu bileşenler makroskobik seviyede bir araya getirilirler ve birbirleri içinde çözünmezler. Takviye eleman olarak adlandırılan bileşen; fiber, partikül veya ince levha şeklinde olabilir. Diğer bileşen ise matris fazıdır. Bu malzemelerin bir araya getirilmesi, bir takım çalışma karakteristiklerinin bu bileşenler tek olarak değerlendirildiği durumdakinden daha iyi olmasına müsaade eder. Buna karşılık bu malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede bazı güçlükler mevcuttur. Bu durum kompozit malzemelerin metalik malzemelere nazaran daha karmaşık bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Bilim adamlar çağın yenilikleri ile birlikte bilimin gelişmesi paralelinde ekonomik, yüksek mukavemetli ve hafif malzemeleri imal etme yolunu seçmişlerdir. Bu şekilde kompozit malzemeler imalat sanayisinde ve yeni teknoloji ürünlerinde çok önemli bir rolü üstlenmiştir.

Kompozit malzemenin oluşum aşamasında doğa ve insan yapıları örnek olmuştur. İnsan vücudundaki çoğu dokular yüksek eğilme kabiliyeti gösteren liflerden meydana gelmiştir ve bu lifler zorlanma ve yüklenmelere karşı koyabilmek için düzene konmuş ve birbirlerinin üstünde kayarak dokunun dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bambu ve odun yapısı incelendiği takdirde liflerden oluştuğu görülmektedir. Buda aslında kompozit malzemelerin çok eski yıllardan beri kullanılmakta olduğunu ortaya çıkarıyor. En basit olarak çam ağacı örnek olarak verilebilir. Çam ağacının gövdesi içindeki, yaz ve kış mevsimlerinde meydana gelen yaş halkalar içice bir görünümde ve kış halkalar sert fakat kırılğan, yaz halkalar ise daya yumuşak fakat esnektir. Bu kompozit özelliği çam ağacına bu yapıda olmayan diğer ağaçlara göre daha yüksek bir mukavemet sağlamıştır.

Genel bir tanım yapacak olursak; kompozit malzeme, kimyasal bileşenleri farklı birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir. Makroskobik muayene ile yapı bileşenlerinin ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına karşılık mikroskobik muayene ile mikro ölçüde heterojen olduğu görülür.

Kompozit malzemelerde yapı bileşenlerinin makro boyutta oldukları kabul edildiğinden bu kavram karışıklığı, bazı kuraldışı durumlar olmakla beraber ortadan kalkmaktadır.

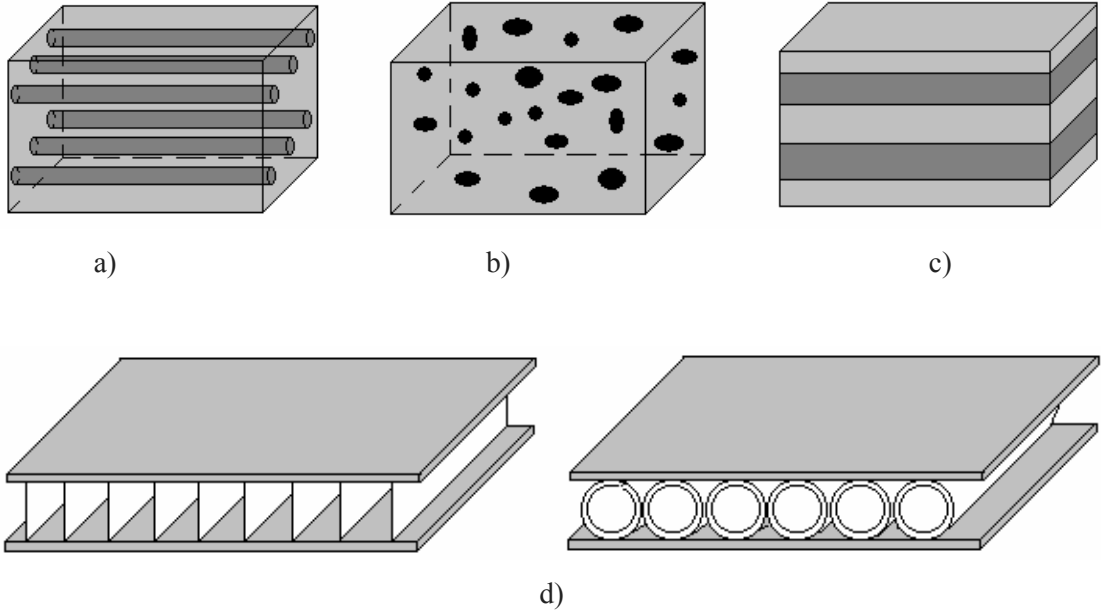
Kompozit malzemelerin kullanılmasındaki bir diğer önemli noktada ekonomikliktir. Kimya endüstrisinde çeşitli reaktif veya çözeltilerin depolanmasında, taşınmasında çözeltilere karşı inert davranan, reaksiyon vermeyen malzemelerin seçilmesi gerekir. Bu iş için en uygun malzemeler paslanmaz çelikler ve plastiklerdir. Tamamen plastik bir malzeme mukavemetsiz, tamamen paslanmaz çelikten yapı ise çok pahalıdır. Paslanmaz çeliğe göre çok daha ucuz olan düşük karbonlu çeliğin kimyasal maddeyle temas yüzeyinin plastik malzeme ile kaplanması hem yüksek mukavemetli hem de ucuz bir çözüm olacaktır.

Zırhlı araçlar gibi bazı uygulamalarda, malzemenin yüksek bir sertliği yanı sıra yüksek tokluk özelliğine de sahip olması ve darbe enerjilerini absorbe etmesi istenebilir. Klasik mühendislik malzemelerinde bu özelliklerin birlikte kazanılması oldukça zordur. Yüksek sertlikteki malzemelerle, yumuşak, sünek malzemelerin kompozit şeklinde tasarımlar bu tür uygulamalar için de bir çözüm yolu olabilir. Yüksek sertlik ve mukavemetteki çelik saçlarla yumuşak, sünek özelliğe sahip saçlar kaynakla birleştirildiğinde, dıştaki sert tabaka zırhın delinmesini önlerken, içerideki yumuşak tabaka deforme olarak darbe enerjisini absorbe eder. Buna benzer bir örnek emniyet camıdır.

Mühendislik uygulamalarında kompozit malzemelerin yeri gün geçtikçe artmaktadır. Saçtan, tahtadan yapılan tekneler, yatlar, kotralar yerlerini polyester cam elyaftan yapılan benzerlerine bırakmaktadır. Bakım-onarım yönünden daha avantajlı olan kompozit malzemenin yapılan tekneler aynı zamanda hafif, uzun ömürlü ve süratli olmaları nedeniyle de tercih edilmektedir.

## **2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeleri değişik şekilde sınıflandırmak mümkündür. Matris malzemesinin türüne göre metalik kompozitler, polimerik kompozitler, seramik kompozitler vb. gibi gruplandırma yapılabildiği gibi yapı bileşenlerinin şekillerine göre de sınıflandırma şu şekilde yapılabilir; fiber kompozitler, partikül kompozitler, pul kompozitler, dolgu kompozitler, ve tabakalı kompozitler şekil 3.1.



**Şekil 2.1** En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler; a) fiber takviyeli, b) partikül takviyeli, c) tabakalı kompozitler, d) dolgu kompozitler

### 2.1.1 Fiber Takviyeli Kompozitler

Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinde mukavemet ve rijitlikleri kütle hallerindeki değerlerinden çok üstünde olabilmektedir. Birçok özelliklerde artış sağlayan, yüksek etkinliği olan liflerin ilavesiyle elde edilir. Karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksektir.

### 2.1.2 Partikül Takviyeli Kompozitler

Rijitlik ve mukavemete artışı sağlayan küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle şekillendirilerek üretilir. Bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Partikül kompozitler; dispersiyonla sertleştirilmiş kompozit

malzemeler ve büyük ölçekli partikül kompozit malzemeler olarak iki gruba ayrılabilir.

### **2.1.3 Pul Kompozitler**

Yüksek yük taşıma kabiliyeti olan büyük uzunluk/çap oranında dolgu maddesi ilave edilerek üretilir. Matris içinde yer alan pulların konsantrasyonu düşük olabileceği gibi birbiri ile temas etmelerini sağlayacak derecede yüksek değerlerde olabilir. Düzlemsel yapıya sahip pullarla sıkı bir paketleme elde edilebilir. Pul esaslı sistemin maliyeti biraz daha fazla, ancak mukavemet özellikleri iyidir.

### **2.1.4 Dolgu Kompozitleri**

Üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine üç boyutlu dolgu maddesi ile doldurulması veya emprenye edilmesi ile oluşan malzemelerdir. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Optimum özelliklere sahip olabilmesi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir. Bu tür kompozitler sandviç kompozitleri olarak da bilinir.

### **2.1.5 Tabakalı Kompozitler**

Çok değişik kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

## 2.2 Cam Takviyeli Plastik Malzemeler

Cam takviyeli plastic (CTP), camelyafi ile taşıyıcı bir matriks reçinenin birleştirilmesinden elde edilen kompozit bir malzemedir. Camelyafi takviyeli plastik, ortam koşullarına dayanıklı, esnek ama yeterli mekanik dayanıma sahip olmayan plastik(ör: polyester reçine) ile yüksek mekanik dayanımlı cam elyafının bir araya getirilmesi ile elde edilen üstün nitelikli bir kompozit mühendislik malzemesidir. CTP malzemenin iki ana hammaddesi bulunmaktadır. Doymamış polyester reçine ve cam elyafı. CTP üretiminde en yaygın olarak kullanılan doymamış polyester reçineler, takviyeli plastikler içinde termoset gurubunda yer alan reçinelerdir.(Epoxy) Elyatırması gibi basit kalıplama tekniklerden en karmaşık makineleşmiş kalıplama tekniklerine kadar her tür kalıplama tekniğine hitap eder. Polyester reçineler, çok geniş bir kimyasal aileyi kapsar ve genel olarak dibazik asitlerle polihidrik alkollerin kondensasyon reaksiyonu sonucunda elde edilirler. Kullanılan dibazik asit türüne bağlı olarak, doymamış polyester reçineler, kompozitingenel amaçlı, kimyasal dayanımlı veyayüksek kimyasal dayanımlı olmasını sağlayacak şekilde “ortoftalik”, “izoftalik” veya “bisfenolik” olarak adlandırılır. CTP üretiminde kullanılan camelyafi, kum, alumina, kireç taşı, kolemanit, kaolen gibi geleneksel hammaddeler kullanılarak üretilmektedir.

Çok ince öğütüldükten ve homojen olarak karıştırıldıktan sonra, karışım yaklaşık 1600 oC sıcaklıktaki ergitme fırınına verilmekte ve burada yavaş yavaş sıvı hale dönüşen cam eriyiği, platin / rodyum alaşımli kovanlardan, bir sarma sistemi ile, yüksek hızda çekilmekte ve 10–25 mikron çapında elyaf olarak bobin haline getirilmektedir. CTP, takviye malzemesi (camelyafi) ve taşıyıcı matriks'in (reçine) birlikte kalıplanması ile elde edilmektedir. Bu işlem, çok farklı metodlarla yapılabilirse de, prensip, camelyafının, taşıyıcı reçine ile uygun bir şekilde ıslatılmasıdır. Polyester reçineler, kimyasal bir reaksiyon ile polimerize edilerek, sert, çözülmeyen, ergimeyen bir madde haline dönüştürülmektedir. CTP malzemenin kalitesi, (performansı), cam elyafı / reçine arasındaki bağın kuvveti ile doğru orantılıdır. Fiziksel performans, takviye malzemesi olan cam elyafının,

- CTP içindeki oranına
- CTP içindeki dağılımına
- CTP içindeki yönüne bağlıdır



CTP malzemenin en önemli avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek özgül mukavemet ve ısı özellikler
- Mükemmel elastikiyet
- Hafiflik
- Yüksek korozyon dayanımı
- Mükemmel dielektrik nitelikler
- Üstün boyutsal stabilite
- Tasarım esnekliği
- Kalıplama esnekliği (değişik metodlarla üretilebilme esnekliği )
- Bakım gerektirmeme
- Çalınmazlık (hurda değeri yoktur)
- Kolay tamir edilebilirlik
- Yüksek kimyasal dayanım
- Kendinden renklendirilebilme olanağı
- Alev geciktirici katkıları ile alev direnci niteliği
- İstenildiğinde ışık geçirgenlik özelliği sağlanması
- Düşük araç-gereç maliyeti
- Yüksek amortisman süreleri (sonsuz ömür)

şeklinde ifade edilebilir.

### **2.2.1 Cam Elyaf Takviye Malzemesi**

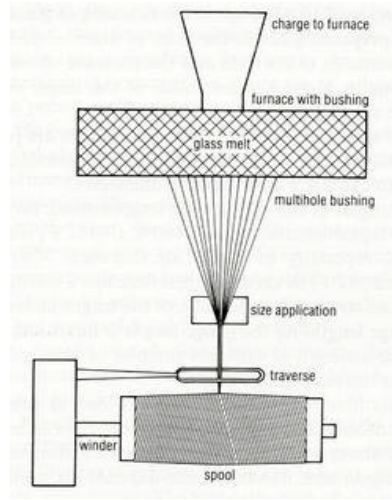
Cam elyaf lifleri polimer kompozitlerde en çok kullanım alanına sahip liflerdir. Bugün termoset reçinelerle birlikte kullanılan takviye liflerinin 2/3' ünden fazlası cam lifleridir. Cam liflerinin erime noktaları yaklaşık 840°C'dir.

Cam liflerinin ana maddesi silikadır. Lif içinde  $\text{SiO}_2$  şeklinde bulunur. Cam liflerinin özellikleri değişik malzemelerin eklenmesi ile değişik performans seviyelerine ayarlanabilir. Düşük maliyeti, yüksek gerilim mukavemeti, yüksek kimyasaldirenci ve mükemmel yalıtma özellikleri cam liflerinin avantajları arasındadır. Düşük gerilim modülü, yüksek yoğunluğu, kullanım esnasında aşınmaya karşı olan duyarlılığı, düşük yorulma direnci ve yüksek sertliği de dezavantajlarıdır. Cam lifleri oldukça fazla ve kolay bulunabilmektedir. Aramid ve karbon liflerine göre oldukça ucuzdur. En çok kullanılan 3 tipi E-cam, S-cam ve S2- cam' dır. Cam liflerinin tipik örnekleri A, C, E ve S tipi cam lifleridir, çizelge 4.1. En çok kullanılan E tipi camdır. Esas olarak elektrik amaçlı düşünülmesine rağmen iyi mekanik özelliklere ve ısı dirence sahip olduğu için bugün birçok sanayi dalında kullanılmaktadır. C tipi cam lifleri kimyasal direnci yüksek olduğu için kimyasal korozyona dayanıklı olması istenen yerlerde kullanılır [4].

S tipi cam lifi yüksek modüle ve mukavemete sahip olmasına karşın yüksek maliyetinden dolayı ancak özel kullanım alanlarına uygundur. Bazı elyaf türlerinin özelliklerinin karşılaştırılması çizelge 4.2 de verilmiştir. Cam lifleri diğer takviye liflerinden farklı olarak izotropik yapıya sahiptirler. Çünkü camın yapısında üç boyutlu network bir yapı bulunur. Cam lifleri birbirlerine sürtünme ile zarar görürler. Cam liflerini bu hasardan koruyabilmek için hasıl tipi bir maddeyle kaplamak gerekir. Cam lifleri kayıkların, yarı botlarının, helikopter gövde ve kanatlarının, otomobil panellerinin, sıvı tanklarının yapımında kullanılmaktadır.

Elyaf takviyeler, kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastik modüle ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidirler. Günümüzde kompozitlerin donatılmasında boyutsal ve şekilsel özellikleri çok farklı lifler (elyaflar) kullanılmaktadır. Şekil 2.2 de görüldüğü gibi cam lifleri gibi lifler üretim sırasında demetler halinde hazırlanmaktadır.

Kompozitlerin donatılmasında kullanılan lifler, E-modülü değerleri, kullanılan matris malzemesinin E-Modülü ile kıyaslanarak, matristen daha düşük ya da daha yüksek E-Modülü değerine sahip lifler olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Ancak, kompozitlerin özellikleri içinde önemli olan bu ayrım, sabit matris malzemesi için anlam taşımaktadır. Teller milimetrik boyutta metal malzemelerdir. Çapları diğer donatı malzemelerine kıyasla daha büyük olup genellikle beton ve harçların donatılmasında kullanılır.



Şekil 2.2 Cam Elyafı Üretimi

Çizelge 2.1 Cam liflerine ait özellikler

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modülü (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033.3	3033.3	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı (m/m <sup>0</sup> Cx10 <sup>6</sup> )	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727	749	841	970

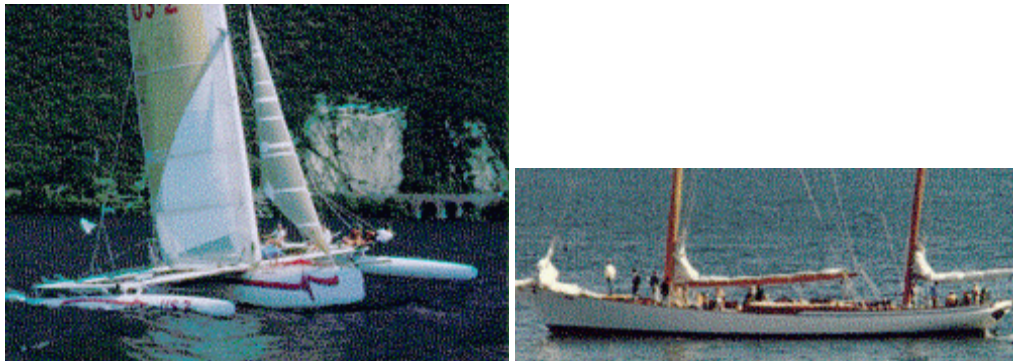
Çizelge 2.2 Bazı elyaf türlerinin özelliklerinin karşılaştırılması

Malzeme	Yogunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Modül(GPa)
E-Cam	2.55	2000	80
S-Cam	2.49	4750	89
Alum.oksit	3.28	1950	297
Karbon	2.00	2900	525
Kevlar 29	1.44	2860	64
Kevlar 49	1.44	3750	136

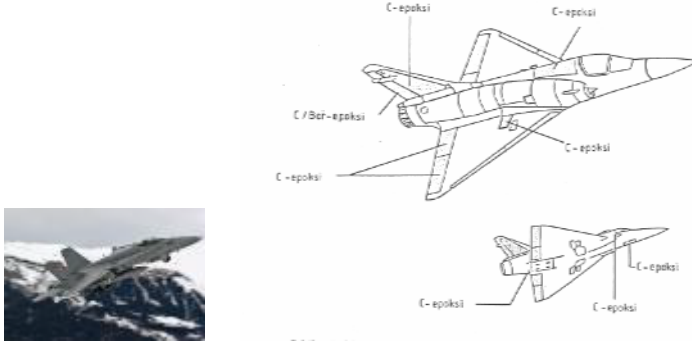
### 2.2.2 Epoxy Reçine Matriks Malzemesi

Epoxy Reçine, gelişmiş kompozitlerde genellikle tercih edilen ve her tür elyaf ile kullanılabilen bir reçinedir. Epoxy grubunun polimerizasyonu ile elde edilir. Farklı formüller kullanılarak özelliklerini büyük ölçüde değiştirmek mümkündür. Epoxy reçinenin genel başlangıç malzemesi Bis-fenol A Diglisidil Eter' dir. Diğer malzemeler başlangıç çözeltisine karıştırılabilir. Mesela sulandırıcı maddeler viskoziteyi düşürmek, plastikliği arttırmak ve Epoxy reçinenin darbe mukavemetini arttırmak için kullanılabilirler. Reaktif katılaştırma maddesi (mesela di etilentriamin) takviye lifleri ile reçine karışmadan önce, reçine sıvı haldeyken ilave edilir.

Epoxy reçineler, reçine türüne ve son kullanım yerine göre sıvı veya katı olarak temin edilebilir. Bu reçineler çeşitli ajanlar varlığında, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta kür edilerek termoset son ürün haline dönüştürülür. Epoxy reçineler termoset formunda mükemmel mekanik dayanıklılığa, yüksek dielektrik direncine, iyi boyutsal kararlılığa, kimyasal ve ısı dirence sahiptirler. Sertleşme sırasında kendini çekme sorunu yoktur. Birçok elyaf ile iyi bağ oluşturur ve ayrıca kimyasal dayanımları da yüksektir. Bu özelliklerin yanı sıra sahip olabilecekleri formülasyonların çeşitliliği ve çok yönlü işlenebilirlik özellikleri nedeniyle Epoxy termosetler, birçok uygulama alanı bulmuştur. Çok değişik Epoxyler geliştirilmiştir. Uygun bir seçim yapmak çok önemlidir. Kullanılan sertleştiricinin türü, ortaya çıkan kompozit malzemenin özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Sertleşme süresi 1 saat dolayında olup, 127 °C ve 177 °C sıcaklıklarda ve genellikle basınç altında gerçekleştirilir. Ayrıca Epoxylerin 250 °C' ye kadar ısı kararlı türleri de geliştirilmiştir [4]. Şekil 4.2 ve şekil4.3 de epoxy malzemenin deniz ve hava endüstrisinde kullanılan örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.3 Denizcilikte C-Epoxy Malzeme kullanımı



Şekil 2.4 Mirage 2000 Uçağında Cam Epoxy Kompozit Malzemelerin Kullanım

### 3. DARBE TEST YÖNTEMLERİ

Darbe testleri genel olarak iki şekilde yapılır; bunlar, çentik darbe ve ağırlık düşürme testleridir. Çentik darbe testleri Charpy ve İzod darbe testleri, ağırlık düşürme testleride düşük hızlı ve yüksek hızlı darbe testleri olarak yapılmaktadır.

#### 3.1 Çentik Darbe Testleri

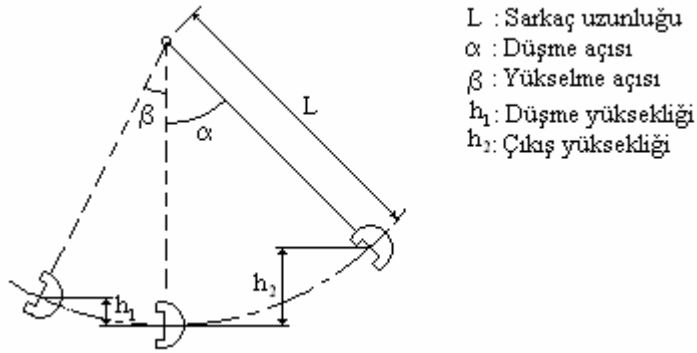
Çentik darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesinde muhtemel bulunacak bir gerilim konsantrasyonunun (gerilim birikiminin) darbe esnasında çentik tabanında suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir. Bazı durumlarda örneğin, gri dökme demir numunelerinde, malzemenin bünyesindeki grafit levhacıklar çentik gibi etki yapacaklarından, ayrıca çentik açmağa lüzum yoktur.

Çentikli bir numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanına dik bir gerilim meydana gelir. Kırılmanın başlaması, bu gerilimin etkisi ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilimin, kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımdan fazla olması gerekir. Numune, plastik biçim değiştirmeye fırsat bulamadan bu hal meydana gelirse, buna gevrek kırılma denir. Burada kırılan yüzey, düz bir ayrılma yüzeyidir.

Deney esnasında, numune kırılmadan önce çoğu zaman plastik biçim değiştirme meydana gelir. Uygulanan kuvvet etkisi ile normal (dik) gerilime ilaveten, bununla yaklaşık olarak  $45^\circ$  farklı bir kayma gerilimi etki etmeye başlar. Kayma gerilimi, kayma dayanımını

(kritik kayma gerilimi) aştığı an, elastik (esnek) özellik sona erer ve plastik biçim değiştirme başlar. Bu durumda önce plastik biçim değiştirme, daha sonra kırılma meydana gelir. Buna sünek kırılma hali denir ve kırılma yüzeyi girintili çıkıntılı bir görünüştür.

Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır. Bu deneylerde, Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilen sarkaç tipi cihazlardan faydalanılır.



Şekil 3.1 Çentik darbe deneyinin şematik çalışma prensibi

Ağırlığı G olan sarkaç, h yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi ( $G \times h$ ) mertebesindedir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette  $h_1$  yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ( $G \times h_1$ ) mertebesindedir demektir.

Sarkacın, numune ile temas haline geldiği andaki potansiyel enerji ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi başka bir deyimle, darbe direncini verir. Bu enerji aşağıdaki formülle de gösterilebilir:

$$\text{Kırılma enerjisi} = G (h - h_1) = G.L. (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (3.1)$$

G = Sarkacın ağırlığı (kg)

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m),

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

$h_1$  = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

$\alpha$  = Düşme açısı (derece),

$\beta$  = Yükseliş açısı (derece),

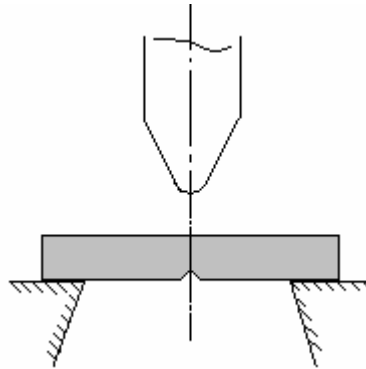
Darbe direnci (kg-m) veya ( $\text{kg-m/cm}^2$ ) cinsinden ifade edilmektedir.

Bu deney tamamen ampirik olduğu ve şartlar değiştikçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi, doğru sonuç alma yönünden önemlidir.

Deney esnasında önce sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune, uygun bir şekilde yerleştirilir. Örneğin, en çok uygulanan Charpy deneyinde numune, mesnetlere tam yaslanacak şekilde ve çekicinin salınım düzlemi ile entidin simetri düzlemi 0,5 mm içinde birbirine çakışacak şekilde yerleştirilir. Bu durum cihaza bağlı, yardımcı bir aletle sağlanabilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç, deneyden sonra kadrandan okunur [13].

### 3.2 Charpy Darbe Testi

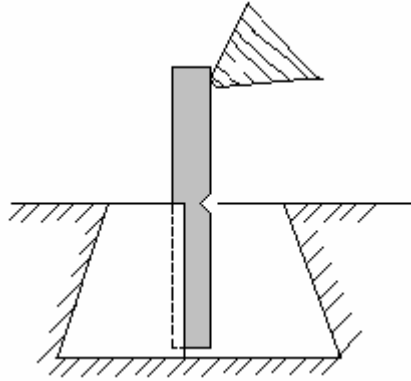
Charpy darbe deneyi, yatay ve basit kiriş halinde iki mesnete yaslanan numunenin çentik tabanına, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile numunenin kırılması için harcanan enerjiyi tespit etme işlemidir, şekil 3.2.



şekil 3.2 Charpy deneyinde numune ve eki konum şeması

### 3.3 İzod Darbe Testi

İzot darbe testi, dikey ve konsol kiriş halinde bir kavrama çenesine tespit edilen numunenin yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikte, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler etkisi ile numunenin kırılması için sarf edilen enerjiyi tayin işlemidir, şekil 3.3.



Şekil 3.3 İzod deneyinde numune ve çekiç konum şeması

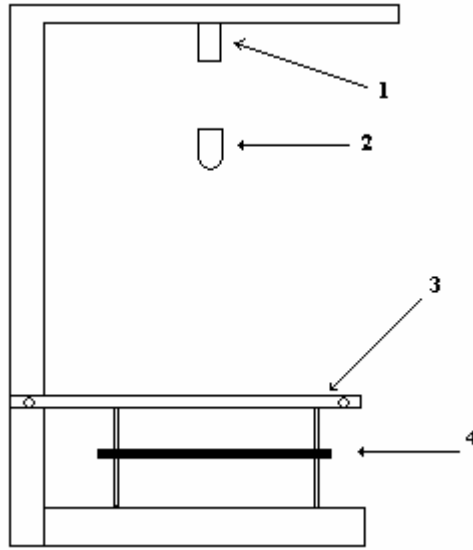
### 3.4 Ağırlık Düşürme testleri

#### 3.4.1 Düşük hızlı darbe

Genel olarak, darbeler düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar. Fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilmediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi, hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak tanımlamışlardır [14]. Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak kompozit malzeme üzerine imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın düşmesi verilebilir. Düşük hızlı darbeler normal olarak çarpışma temas anında malzeme içyapısında deformasyon oluşturan darbelerdir. Bazen düşük hızlı darbe düşük enerjili darbe olarak ta tanımlanır. Düşük hızlı darbeye malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji



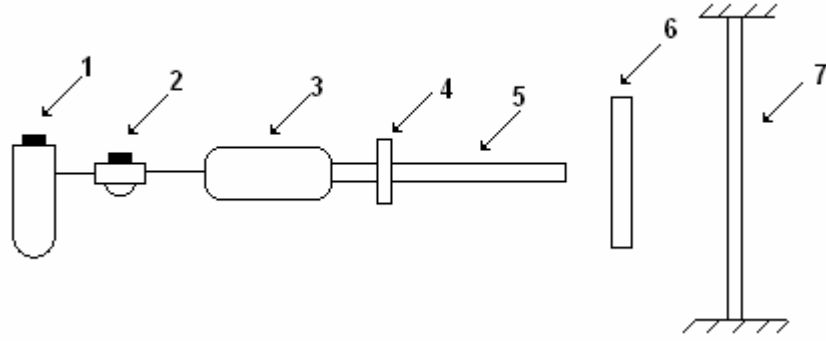
elastik olarak absorbe edilir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbe tepkisi malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından hakim olunur ki bu durumda malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olamaz ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur. Bu tip deneye ait şematik gösterilim şekil 3.4 de gösterilmiştir.



**Şekil 3.4** Ağırlık düşürme test düzeneği şematik gösterilimi 1) magnet, 2) ağırlı ve vurucu uç, 3) numune tutucu, 4) numune

### 3.4.2 Yüksek Hızlı Darbe

Yüksek hızlı darbelerde yukarıda belirtilen 10m/s nin üzerindeki hızlar için sınıflandırılabilir. Genellikle balistik deneylerde mermi kullanılarak deneyler yapılmaktadır. Özellikle askeri alanda bu çalışmalar yapılmış olup, çelik yelekler ve zırhlı araç malzemeleri üzerinde testler gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında uçakların iniş ve kalkışı esnasında pist üzerinde bulunan küçük taş vb maddelerin tekerleklerden fırlayarak uçak gövdesine veya kanatlarına çarpması da hasar oluşturacağından bu şekilde modellemeler yapılabilir. Bu deneyler gaz tabancası kullanılarak yapılmaktadır, şekil 3.5.



**Şekil 3.5** Gaz tabancası deney düzeneği şeması; 1)hava filtresi, 2) basınç regülatörü, 3)hava tankı, 4)vana, 5) boru, 6) hız ölçüm cihazı, 7) örnek

### 3.5 Darbe Hasarını Etkileyen Parametreler

Yaygın olarak kullanılan deneysel çalışmalar hangi parametrelerin darbe hasarı başlangıcı ve gelişimine etkidiğini ortaya çıkarmak için yapılmaktadır. Malzeme özellikleri yapının dinamik cevabında önemli etkiye sahip olacağından baştanbaşa yapının sertliği ve temas sertliğini etkiler. Biz ayrıca darbe hasar başlangıcını ve gelişimini kontrol eden matriks fiberler ve fiber\_matrikslerin ara yüzey özellikleriyle de ilgilenmekteyiz. Hedefin sertliğini kontrolden başlayarak, tabaka kalınlığı, boyutları, sınır şartları etkenlerinin tümü darbe dinamiklerini etkilerler. Mermi ilk hızı, elastik özellikler, şekli ve çarpma açılarını kapsayan mermi karakteristikleri de göz önünde tutulan bir başka parametre grubudur. Yatık ve dik durum, ön yükleme ve deneysel şartlar da farklı önem derecelerinde kabul edilen etkenlerdir.

#### 3.5.1 Malzeme Özellikleri

Darbe hasarında doğrudan etkiye sahip olan malzeme özelliklerinin tanımlanması, gelişmiş malzeme sistemleri ve darbe dayanımlı kompozit yapı tasarımının ilerleyişi için büyük bir öneme sahiptir. Literatürde birçok materyal sisteminin göz önünde tutulmasının yanında büyük kısmında, gerçek uygulamalarda enine yayılımı yansıtan karbon\_Epoxy tabakalarına da değinilmiştir. Kimi kompozitin malzeme özellikleri: takviyeli ve ara yüzlerinin darbe dayanımında farklı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yüksek zorlamaya maruz kalan fiberlerde daha sert reçine sistemleri ve bazı plakalar arasındaki yumuşak tabakalarla dikişli yada örgülü tabakaların önderliğinde darbe dayanımında üstünlükler gözlenmiştir.

Tabaka planıyla birlikte malzemenin elastik özellikleri ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\nu_{12}$ ,  $G_{12}$ ) temas kuvveti değişimini büyük ölçüde etkileyen tüm tabaka rijitliklerini belirler. Daha önce de tartışıldığı gibi  $E_1/E_2$  oranı değişik fiber bileşimlerine sahip tabakalar arasındaki sertlik uyumsuzluğu katsayısı değişimleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. Kayma modülü  $E_2$  temas sertliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bükülmede darbeleyici altındaki gerilimleri önemli ölçüde etkileyen temas sertliğini azaltmak da temas kuvvetlerini düşürür ve temas alanını büyütür. Sürecin ilerleyişi esnasında artık gerilimlerin ortaya çıkmasından dolayı elastik özelliklerdeki anizotropi ve ısıl genişleme sabitleri darbe dayanımını etkiler. Darbe hasar başlangıcı önceden tam olarak tayin edilmesi için çözümler içinde termal gerilmeler de hesaba katılmalıdır[15]. Layup, örgülü yada örgüsüz tabakalar kullanılsa da başlangıç kinetik enerjisi matriks özelliklerinden güçlükle etkilenir, fiber özelliklerindense zaten bağımsızdır. Hasar başlangıcının matriks hâkimiyetinde olduğunu belirten, benzer matriks malzeme ve beş değişik tip fiber takviyeli ile yapılan deneyler, hasar başlangıç enerjisinin bu beş kompozit için de aynı olduğunu göstermiştir [16]. yapılan deneyler, yeni başlayan hasarın matriks yada ara yüzey idaresi altında olduğunu doğrulamaktadır. Dizilme sırası ve takviyeli fiber özelliklerinin, hasar başlangıcı için gereken üzerinde ölçülebilir hiçbir etkisi yoktur. Hasar matriks kırılmaları tarafından başlatılır; matriks kırıkları değişik fiber bileşimli tabakalar arasında bir ara yüze ulaştığında delaminasyon başlatılır. Takviyeli fiberlerin elastisite modülü genellikle matrisinkinden çok daha yüksektir. Bu matriksler zaten rijit görünür. Bu yüzden kullanılan fiber tipleri matriks kırılmaları ve delaminasyonların başlangıcına etkimiyor gibi görünmektedir. Daha yüksek darbe enerji seviyeleri için, dizilme sırası ve fiberlerin özellikleri önemli olmaktadır.

Yüksek enerji seviyeleri için kompozitin darbe dayanımını geliştirmek üzere fiberlerin daha yüksek hasar gerilimlerine sahip olmaları ümit edilir. Belirli bir ara yüzeydeki çok yüksek sertlik ve yüksek kayma gerilimli reçinenin ayrı bir plakası ‘interleaving’ ara ayrılma adıyla anılır ve darbe dayanımını yükselttiği deneysel olarak gösterilmiştir. Ara tabakanın tipik kalınlığı  $\frac{1}{2}$  mil dir. Tabakanın ara yüzeyleri boyunca yerleştirilen adhezif plakaların, tabakalar arası kayma gerilimlerini ve beraberinde delaminasyonları azalttığı gözlenmiştir. Biten tabakanın modülünü ve basma dayanımını düşürmeyecek etkiye sahip ekstra reçineler kullanılır.

Cam fiberler rijit Epoxy matriks arasında kauçuklu bir ara yüzey oluşturarak, cam/epoxy kompozitlerin darbe dayanımını önemli ölçüde geliştirebilmektedir. Oksijen plazma davranışıyla sonuçlanan fiber/ matriks adhezyonunun, darbe esnasında delaminasyon ve bunun yanında tabakanın enerji absorpsiyon yeteneğini de azalttığı belirlenmiştir. Ara tabaka deneyleri, nispeten sert fiberlerin varlığından kaynaklanan gerilim yoğunluğu etkileri nedeniyle, saf reçinenin spall (akış) hızının aynı reçine malzemeli kompozitinkinden önemli ölçüde yüksek

olduğu göstermiştir. Takviyeli tipin etkilerinin küçük olduğu bulunur ancak spall hızdaki ara yüzeylerin dayanımı etkileri dikkat çekmektedir.

### 3.5.2 Hedef Sertliği

Hedef sertliği önceden de bahsedildiği gibi, malzeme özelliklerine bağlıdır fakat tabaka kalınlığına, boyutuna, sınır şartlarına ve yığılmasına da bağlıdır. Maksimum temas kuvveti büyüklüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip tabaka sertliği, elbette, hasarın kapsamının da etkilenmesine neden olacaktır. Ağırlık düşürme test cihazı kullanarak CTP tabakalarındaki düşük hızlı darbe hasarında hedef eğilme sertliği etkisi araştırılmışdır. Düşük hızlarda, esnek hedefler ilkin, en alttaki plakada gerilim şiddetlerine neden olan eğilmeyle cevaplanırlar. Daha sert hedefler için, hasar yüksek temas şiddetleriyle başlatılır ve bir çam görünüşü vererek aşığıya, aynı matriks/delaminasyon kırılmasının içine doğru yayılır. Tabaka sertliğinin, hasar alanını baştanbaşa belirlediği, ancak ara yüzeyde verilen bu delaminasyon şeklinin söz konusu ara yüzeydeki yerel yığılan dizilerden ibaret olduğu tespit edilmiştir.

### 3.5.3 Çevresel Koşullar

Sıcaklık ve nem değişimlerinin kompozitlerin sertlik ve mukavemetlerini etkilediği bilinmektedir. Darbe dayanımının da çevresel etkenlerden etkilenmesini beklemek mantıklı olacaktır. Cam fiber takviyeli kompozitler deniz suyuna uzun vadede göz önüne alındığında darbe öncesi ilk kinetik enerjinin önemli ölçüde yükseldiğini göstermiştir. Bu yüzden, darbe esnasında tepe yük değeri ve toplam absorbe edilen enerji önemli ölçüde düşürülür. Nem absorpsiyonu ve donmanın, şekillendirilmiş Cam/Vinil-ester reçine kompozitlerin darbe dayanımlarındaki etkisi üzerine çalışmışlar, ancak çalışmaların sonuçları genel kararlar vermek için çok sınırlı kalmıştır.

### 3.6 Dinamik (Elasto Kinetik) Yükler

İvmeli hareketlerden doğan atalet kuvvetleri, dinamik çarpışmalardan doğan kuvvetler ve zamanla değişen kuvvetler daima dinamik yükler olarak kabul edilmektedir. Dinamik etkenlerden doğan kuvvetler ve şekil değiştirmeler ile statik yüklemelerden oluşan kuvvet ve şekil değiştirmeler birbirinden farklıdır ve dinamik etkenlerden şartıcı sonuçlar elde edilmektedir.

Dinamik etkiler şu şekilde sınıflandırılabilirler:

- 1) İvmeli hareketteki atalet kuvvetleri
- 2) Ani yükleme ve çarpışma problemleri
- 3) Elastik titreşim problemleri

Elastik sistemlerin dinamik etkiler altındaki davranışlarına elasto-kinetik denir. Dinamik etkilerden doğan gerilmeler ve şekil değiştirmelerle, statik etkilerden doğan gerilme ve şekil değiştirmeler karşılaştırıldığında nümerik bir çarpan elde edilir, buna “ dinamik çarpan” veya “çarpma katsayısı” adı verilir ve şu şekilde tanımlanır;

$$\frac{\sigma_{\text{dinamik}}}{\sigma_{\text{statik}}} = \phi \quad \text{veya} \quad \sigma_{\text{dinamik}} = \phi \cdot \sigma_{\text{statik}} \quad (3.2)$$

#### 3.6.1 Atalet Kuvvetlerinden Doğan Gerilmeler

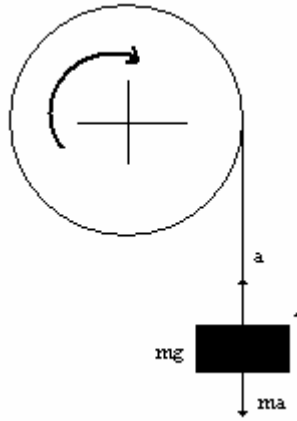
Şekil 3.6 de görülen cisim V hızıyla düşerken bir iple bağlı olduğu makaranın dönmesi engellenirse ipte bir S kuvveti doğar ve bu da aslında statik olarak ele alınırsa sadece cismin ağırlığına eşit olmalıdır. Ama cismin ilk halini koruma isteğinden kaynaklanan ataleti sebebiyle bu kuvvet " $mg+(mg/g)a$ " ifadesine eşittir. Dinamik kuvvet ile statik kuvvet arasındaki ilişkide  $\phi$  dinamik çarpan ile gösterilir. Burada  $G=mg$  ağırlık,  $g$  de yerçekimi ivmesi,  $m$  kütedir. Buna göre dinamik çarpan;

$$\begin{aligned} \text{(dinamik kuvvet)} \quad F_{\text{dinamik}} &= mg + ma, \\ \text{(statik kuvvet)} \quad F_{\text{statik}} &= mg \end{aligned} \quad (3.3)$$

olacak şekilde;

$$\text{(dinamik çarpan)} \quad \phi = \frac{F_{\text{dinamik}}}{F_{\text{statik}}} = \frac{mg + ma}{mg} = 1 + \frac{a}{g} \quad (3.4)$$

Bu formülden anlaşılacağı üzere yük ne kadar hızlı düşerse ivem değeri o kadar artacaktır. Bu durumda cisme etkiyen dinamik kuvvette artmış olur.



Şekil 3.6 Atalet kuvvetleri

### 3.6.2 Dinamik Yüke Maruz Kalma Durumları

Bir sistem statik ve dinamik olarak yüklendiğinde hangi sonuçların oluşacağı şu şekilde gözlemlenir; bunun için  $k$  yaylanma katsayısına sahip bir yay ile  $m$  kütleli bir cismi yaylandıracak basit bir elastik sistem elde göz önüne alınır. D'Alembert ilkesine uygun olması için, cismin ağırlığının ağırlık merkezine yoğunlaşmamış olduğu varsayılırsa, sistem  $x = 0$

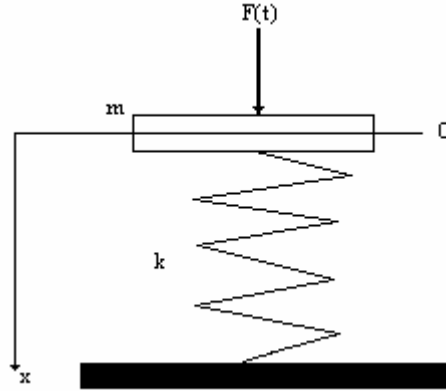
konumunda dengededir. Cismin üzerine zamanla değişen bir  $F$  kuvveti etki ettiğini düşünürsek (Şekil 3.8) bu kuvvetin etkisiyle sistemin yaptığı hareketin denklemi şu şekilde oluşur:

$$m\ddot{x} + kx = F(t) \quad (3.5)$$

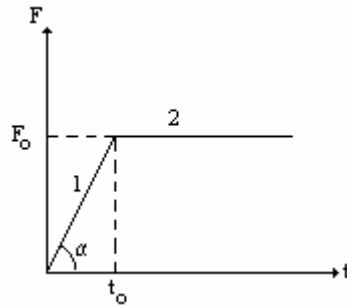
İlk anda konumun ve hızın sıfır olduğu kabul edilerek,

$$\delta(t) \quad x_1(0) = \dot{x}_1(0) = 0 \quad (3.6)$$

yazılır. Burada sağlıklı bir analiz yapılabilmesi için kuvvetin karakteristiği hakkında bir fikir sahibi olunması gerekir.  $F(t)$  kuvveti zamanla şekil 3.7 deki gibi değişen bir davranış gösterirse;



Şekil 3.7 Elastik bir sistemin dinamik yüklenme durumu



Şekil 3.8  $F$  kuvvetinin zamanla değişimi

Grafiğe göre;

$$1. \quad 0 < t < t_0 \text{ zaman aralığında } F(t) = \left( \frac{F_0}{t_0} \right) t \quad (3.8)$$

$$2. \quad t \geq t_0 \text{ zaman aralığında } F(t) = F_0 \quad (3.9)$$

olmaktadır.

Hareket denklemi başlangıç koşulları ve hareket karakteristiği dikkate alınarak çözüldüğünde ilk kısımda yolu veren denklem şu şekilde oluşur;

$$x_1 = \frac{F_0}{k} \left( \frac{t}{t_0} - \frac{\sin \omega t}{\omega t_0} \right) \quad (3.10)$$

Burada,  $\frac{F_0}{k}$  değeri cismin statik yerdeğiştirmesidir ve

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (3.11)$$

Cisme etkiyen kuvvetin sabit olduğu ikinci kısımda yerdeğiştirmeyi hesaplamak için başlangıç şartları verilen grafikten;

$$x_1(t_0) = x_2(t_0) \quad (3.12)$$

$$\dot{x}_1(t_0) = \dot{x}_2(t_0)$$

Bu başlangıç şartları ile hareket eden denklem çözüldüğünde,

$$x_2 = \delta_{\text{statik}} \left[ 1 - \left( \frac{1 - \cos \omega t_0}{\omega t_0} \right) \sin \omega t + \left( \frac{\sin \omega t_0}{\omega t_0} \right) \right] \quad (3.13)$$



elde edilir.

Yolu veren denklemden görüleceği üzere sistemin cismin sinüs ve kosinüs trigonometrik fonksiyonlarının neden olduğu bir dalgalanma göstermektedir. Bu nedenle yol denkleminin türevi alınarak en büyük  $x$  sapması bulunur. Çünkü bu tip dinamik problemlerde dinamik çarpan, cismin üzerine etkiyen dinamik kuvvetin maksimum olduğu an için hesaplanır.

$$x_2 = \delta_{\text{statik}} \left[ 1 + \left( 1 - \frac{\cos wt_0}{wt_0} \right)^2 + \left( \frac{\sin wt_0}{wt_0} \right) \right] \quad (3.14)$$

burada dinamik çarpan;

$$\phi = \frac{x_{2\text{max}}}{\delta_{\text{statik}}} = 1 + \sqrt{\left[ 2 \left( \frac{1 - \cos wt_0}{wt_0} \right) \right]} \quad (3.15)$$

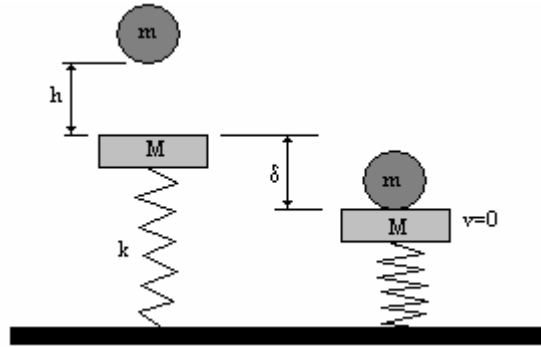
Burada limit durumuna da dikkat etmek gerekir. Dinamik çarpan  $t_0$  yükleme süresine bağlıdır. Yükleme süresi teorik olarak sıfır olduğunda yani ani yükleme durumunda  $\phi=2$  dir, yani bir ani yükleme durumunda dinamik yükleme statik yüklemenin iki katına eşittir.

Diğer bir limit durum ise, yükleme süresinin çok uzun olduğu, teorik olarak sonsuz olan durumdur. Buna statik yükleme adı verilir ve burada  $\phi=1$  dir.

Buradan çıkarılacak sonuç ani yükleme durumunda dinamik yük statik yükün iki katı olduğudur.

### 3.6.3 Ani Yükleme (Çarpma)

Şekil 3.9 daki gibi modellenmiş elastik bir sisteme  $m$  kütleli yabancı bir cisim belirli bir hızla çarpması durumunda çarpan cisim sahip olduğu enerjisinin bir kısmını elastik sisteme aktararak harekete geçirir.



Şekil 3.9 Çarpışma öncesi ve sonrası elastik sistem davranışı

Çarpışma anındaki hız değeri  $m$  kütleli cismin sahip olduğu potansiyel enerjinin çarpışmadaki kinetik enerjiye olan eşitliğinden çıkartılır;

$$\frac{1}{2}mV_0^2 = mgh \Rightarrow V_0 = \sqrt{2gh} \quad (3.16)$$

olur. Çarpışma anında temas noktasında plastik şekil değişimi olduğu varsayılarak çarpışmadan sonra  $m$  ve  $M$  kütlelerinin beraber bir  $V$  hızı ile hareketi oluşacaktır ki bu çarpışmaya plastik çarpışma adı verilir.

Momentumun korunumundan,

$$mV_0 + 0 = (m + M)V \quad (3.17)$$

$$V = \frac{mV_0}{m + M}$$

bulunur. Bundan sonra bu kütleler bir  $\delta$  mesafesi kadar hareket ederek bütün enerjilerini yaya aktarırlar ve ortak hızları sıfır olur. Yaydaki potansiyel enerji  $\frac{1}{2}k\delta^2$  olduğuna göre enerji bağıntısı,

$$\frac{1}{2}(m + M)V^2 + mg\delta = \frac{1}{2}k\delta^2 + Mg\delta \quad (3.19)$$

$$\frac{1}{k}(m + M)V^2 + \frac{2mg\delta}{k} = \delta^2 + \frac{2Mg\delta}{k}$$

$mg\delta$  çok küçük bir değere sahip olacağı için ihmal edilebilir. Eğer m cismi sonsuz bir zaman aralığında M cismine etkiseydi, statik yerdeğiştirme  $\delta_{\text{statik}} = \frac{mg}{k}$  olurdu.

$$\frac{1}{k}(m + M)V^2 + 2\delta_{\text{statik}}\delta_{\text{dinamik}} = \delta_{\text{dinamik}}^2 + \frac{2Mg\delta_{\text{dinamik}}}{k} \quad (3.20)$$

bu durumda dinamik çarpan  $\phi = \frac{\delta}{\delta_{\text{statik}}}$  olur.

m cisminin M cismine çarpması durumunda ortaya çıkan enerji,

$$w_0 = \frac{1}{2}mW^2 = mgh \quad (3.21)$$

bu değer ile çarpan cismin statik olarak etkimesi durumunda aktarılan enerji,

$$U = \frac{1}{2}k\delta_{\text{statik}}^2 = \frac{(mg)^2}{2k} \quad (3.22)$$

olur. Her iki denklemin ortak çözümünden,

$$\frac{w_0}{U} = \frac{kh}{\delta_{\text{statik}}} = \frac{V_0^2}{g\delta_{\text{statik}}} \quad (3.23)$$

buradan dinamik çarpan,

$$\phi = 1 + \sqrt{1 + \left[ \eta \frac{V_0^2}{g\delta_{\text{statik}}} \right]} = 1 + \sqrt{1 + \left[ \eta \frac{2h}{\delta_{\text{statik}}} \right]} \quad (3.24)$$

elde edilir. Burada  $\eta$  çarpışmadaki enerji kaybını gösteren 1'den küçük bir katsayı olarak alınır.

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{M}{m}} \quad (3.25)$$

$\eta=1$  olarak alınırsa M kütlesi m'nin yanında ihmal edilecek kadar küçük ve çarpışma sırasında bir enerji kaybı yok demektir.

M ihmal edildiğinde oluşacak dinamik çarpan,

$$\phi = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{\text{statik}}}} \quad (3.26)$$

olur. Bu durumda yaydaki dinamik çökme  $\delta_d = \phi \cdot \delta_{\text{statik}}$  ve kuvvet ile yaydaki çökme arasındaki bağıntı lineer olduğundan;

dinamik kuvvet;  $P_d = \phi \cdot P_s$

ve dinamik gerilme  $\sigma_d = \phi \cdot \sigma_s$  olur.

### 3.7 Darbe Test Hesaplamaları

Birkaç farkın olmasına rağmen sarkaç ve ağırlık düşürme test sisteminde, ihtiyaç duyulan hesaplamalar hemen hemen aynıdır. Sarkacın yatay ve ağırlık düşürme testinin düşey olması hesaplamaları etkilemez. İlk aşamada, plak ile temas halinde olan tüpün potansiyel enerjisini ihmal edecek kadar, defleksiyon vardır. İkinci aşamada, yerçekimine bağlı ivme, darbe kuvvetinin meydana getirdiği ivme ile mukayese edildiğinde küçük olduğu kabul edilir. Bu kabullerin ikisi de ağırlık düşürme hesapları üzerinde daha etkilidir. Dinamik darbe testi için önemli hesaplamalar (6.2) ve (6.3) denklemleri ve yer değiştirmelerdir. Belirli olan yerdeğişimi tüpün hareket denkleminin zamana göre integre edilmesi ile zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilir. Koordinat sistemi, tüpün başlangıçtaki yer değişimi  $\delta(t)$ ,  $V_{tüp}(t)$ 'nin integrasyonundan denklem (6.1) 'deki hesaplanır.

$$\delta(t) = \int_0^t V(t) dt + \delta(0) \quad (3.27)$$

Darbe testi hesaplamalarında  $F(t)$  ölçülen,  $E(t)$  absorbe edilen enerjiyi ve  $\delta(t)$  yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

### 3.7.1 F(t), Ölçülen Kuvvet

Ağırlık düşürme darbe test cihazında (Drop Weight Test System ) temas kuvvetini ölçmek için bir kuvvet sensörü. Ayrıca ivmeyi ölçmek için bir de ivmemetre vardır. Analiz yapabilmek için deney boyunca bu iki aygıtın okuduğu değerler bir bilgisayara transfer edilir.

### 3.7.2 E(t), Absorbe Edilen Enerji

Darbe testinde, darbe enerjisi ve numunenin absorbe ettiği enerji sık olarak olayı karakterize eder. Darbe enerjisi vurucu ucun numuneye çarptığı andaki kinetik enerjisidir. Darbe enerjisi tüp kütlelerinin büyüklüğü ile ve düşme yüksekliği ile kontrol edilir. Böylece kütlelerin bırakılmadan önceki potansiyel enerjisi, darbe anındaki kinetik enerjisi için üst sınırdadır. Tüpün ivmelenmesi esnasındaki enerji kayıpları (kılavuz raylardaki kayma

sürtünmesi, hava direnci gibi ) darbeden hemen önceki tüp hızının ölçülmesiyle  $V_{tup}(0)$  hesaplanabilir.

$$\text{Darbe enerjisi} = \delta \frac{M_{imp}}{2} V_{imp}(0)^2 \quad (3.28)$$

Darbe olayı başlangıçta sabit olan numune ile hareketli olan tüp arasındaki enerji transferidir. Numunenin absorbe ettiği enerji demek, numuneye transfer olan darbe enerjisi demektir. Bu enerji numunenin şekil değiştirme enerjisini ve kinetik enerjisini içermektedir. Darbe olayı esnasında kılavuz raylardaki sürtünme kayıpları ve hava direncinin küçük olduğu farz edilir. Fakat gerçekte absorbe edilen enerji içindedir. Absorbe edilen enerji Newton'un ikinci kanununa göre  $F(t)$  temas kuvvetinin integre edilmesiyle  $V_{imp}(t)$  hızının bulunmasıyla (6.2) 'deki denklemlerle bulunur.

$$V_{imp} = V_{imp}(0) - \frac{1}{M_{imp}} \int_0^t F(t) dt \quad (3.29)$$

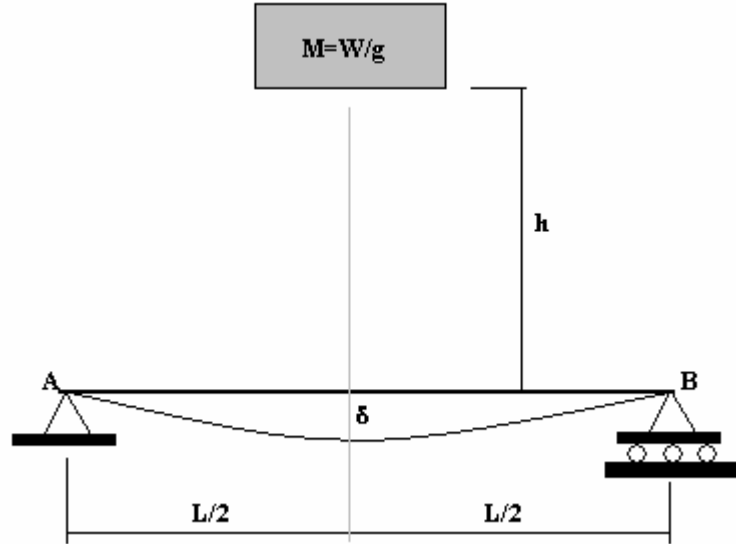
$$E(t) = \frac{M_{imp}}{2} [V_{imp}(0)^2 - V_{imp}(t)^2]$$

$E(t)$  kinetik enerji kayıpları ile absorbe edilen enerjiyi içermektedir. Absorbe edilen enerji direkt olarak ölçülen bir büyüklük değildir. Absorbe edilen enerjinin doğruluğu,  $M_{imp}$  kütesinin ölçülmesinin, temas kuvveti  $F(t)$ 'nin ölçülmesinin,  $V_{tup}(0)$  hızının ölçülmesindeki doğruluğa bağlıdır. Ve darbe olayı esnasındaki sürtünme kayıplarının ihmaline bağlıdır.

### 3.7.3 $\delta(t)$ Çarpma ile Oluşan Yerdeğiştirme

Şekil 3.10 daki gibi çarpma yüküne maruz bırakılmış bir kirişin dinamik yer değiştirmesi, belli bazı basitleştirilmiş şartlar altında ve yüklerin de eşit sayılması durumunda kirişte depo edilmiş gerilme enerjisiyle belirlenebilir. Burada yapılan kabuller; düşen kütle kirişe yapışır ve onunla birlikte hareket eder, enerji kayıpları meydana gelmez, kiriş lineer elastiktir, kirişin yerdeğiştirmiş biçimi, dinamik yük altında statik yük altındakiyle aynıdır ve kirişin potansiyel enerjisinin neden olduğu pozisyondaki değişim ihmal edilebilir. Genel olarak

bu kabuller, eğer düşen objenin kütlesi çok büyük ise, ki bu kütle, kirişin kütlesi ile karşılaştırılır, o zaman makuldür. Aksi takdirde bu basitleştirilmiş analizler geçerli değildir ve daha ilerlemiş analizlere ihtiyaç duyulur.



Şekil 3.10 Kirişin Dinamik Yerdeğiştirmesi

Örnek olarak şekil 3.10 'deki AB kirişini göz önüne alalım. Bu kirişin ortasına W ağırlığında bir cisim düşürülüyor. Yapılan kabullere dayanarak tüm işin cisim tarafından yapıldığını söyleyebiliriz. Bu iş cismin düşüşü boyunca olup, kirişin elastik gerilme enerjisine dönüştürülür. Bu işlem, objenin bir uçtan bir uca aldığı mesafe ( $h + \delta$ ) olana kadar sürer. Burada,  $h$  kirişin üzerindeki kütlenin başlangıç mesafesi,  $\delta$  ise kirişin maksimum yer değiştirmesidir. Bu durumda yapılan iş gerilme enerjisi olarak,

$$U = W(h + \delta) \quad (3.30)$$

olur. Eğer  $W$  yükü bırakılırsa, yükün uyguladığı  $P$  kuvvetinin kirişin, yer değiştirmenin maksimum olduğunda etki ettiği söylenir. Bu durumda  $P$  ile  $\delta$  arasındaki ilişki;

$$U = \frac{P\delta}{2} = \frac{24EI\delta^2}{L^3} \quad (3.31)$$

olur.

Yapılan iş düşen kütle ile gerilme enerjisi arasında eşitlenirse,

$$W(h + \delta) = \frac{24EI\delta^2}{L^3} \quad (3.32)$$

olarak elde edilir. Bu eşitlik  $\delta$  için 2. derecedendir ve bunun pozitif kökleri için çözülür. kirişin dinamik yer değıştirmesi;

$$\delta_{dinamik} = \frac{WL^3}{48EI} + \left[ \left( \frac{WL^3}{48EI} \right)^2 + 2h \left( \frac{WL^3}{48EI} \right) \right]^{1/2} \quad (3.33)$$

burada kirişin statik yer değıştirmesi

$$\delta_{statik} = \frac{WL^3}{48EI} \text{ dir.} \quad (3.34)$$

bu durumda dinamik yer değıştirme daha sadeleştirilerek yazılır;

$$\delta_{dinamik} = \delta_{statik} + \left( \delta_{statik}^2 + 2h\delta_{statik} \right)^{1/2} \quad (3.35)$$

Bu denklemden dinamik yer değıştirmenin her zaman statik yer değıştirmeden büyük olduğu anlaşılır. Eğer  $h=0$  ise, ki bu yükün ansızın ve serbest düşmesi olmadan tatbik edildiği anlamına gelir. Dinamik yer değıştirme statik yer değıştirmenin iki katıdır. Eğer  $h$  yüksekliği,  $\delta$  yer değıştirme miktarı ile kıyaslandığında, çok büyük ise o zaman  $h$  terimi içeren (6.9) denklemi ağır basar ve bu denklem basitleştirilerek;

$$\delta = \sqrt{2h\delta_{statik}} \quad (3.36)$$

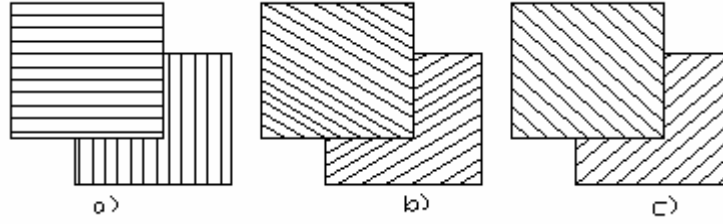
durumunu alır. Denklemlerden hesaplanan  $\delta$  yer değıştirme miktarı genellikle bir üst limiti gösterir. Çünkü çarpma boyunca bir enerji kaybının olmadığını kabul edilmiştir. Daha doğru bir analiz, kinetik enerji kaybı faktörünün de hesaba katılmasıyla yapılabilir.



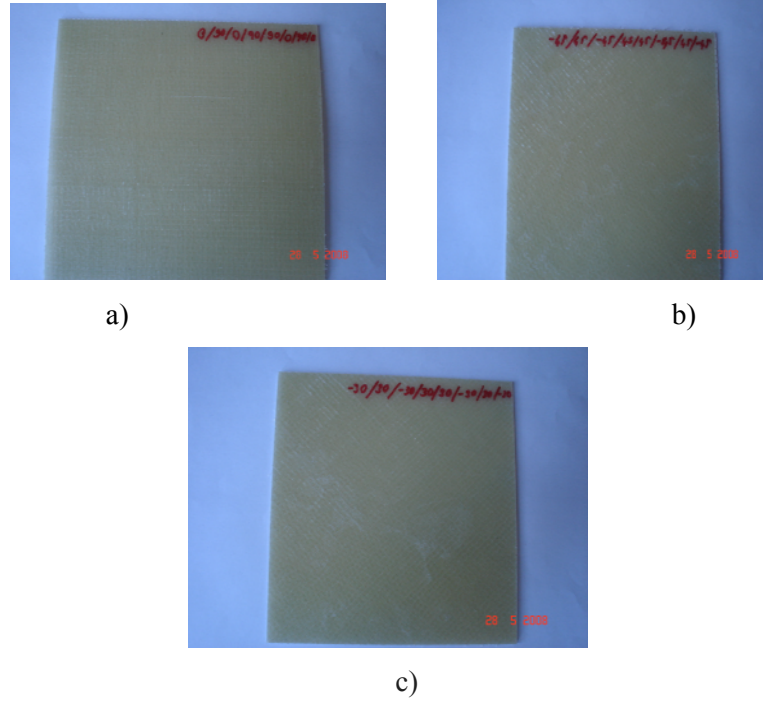
## 4. DENEY NUMUNESİ VE TEST DÜZENEGİ

### 4.1. Deney Numunesi

Deney numunesi olarak Epoxy/E cam elyaf kompozit malzemesi seçilmiştir. Numuneler İzmir’ de bulunan İzoreel firması tarafından çalışmanın isteğine göre  $[0/90]_{4s}$ ,  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  oryantasyon açılarında imal ettirilmiştir.Şekil 4.1. Numune 8 kat simetrik tabaka olarak hazırlanmış olup ortalama kalınlığı 2mm dir. Boyutları 140x140mm olarak alınmıştır. Deneylerde  $[0/90]_{4s}$ ,  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  oryantasyon açılarında numuneler kullanılmıştır şekil4.2.



Şekil 4.1. a)  $[0/90]_{4s}$ , b)  $[-30/30]_{4s}$  ve c)  $[-45/45]_{4s}$  Epoxy- Cam Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Model Olarak Gösterimi

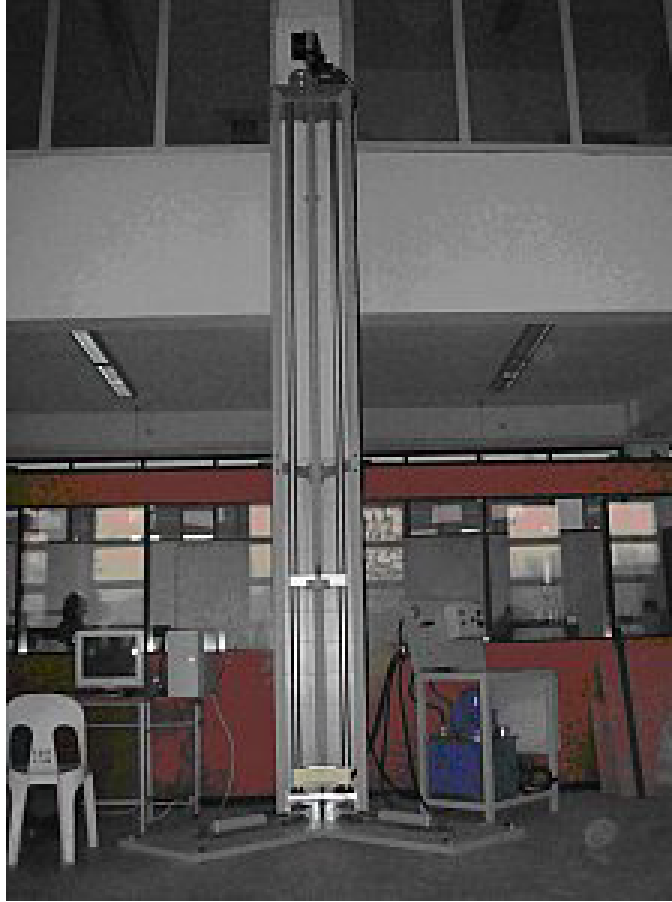


**Şekil 4.2.** a)  $[0/90]_{4s}$ , b)  $[-45/45]_{4s}$  ve c)  $[-30/30]_{4s}$  Epoxy/Cam Elyaf Takviyeli Kompozitli Deney Numuneleri

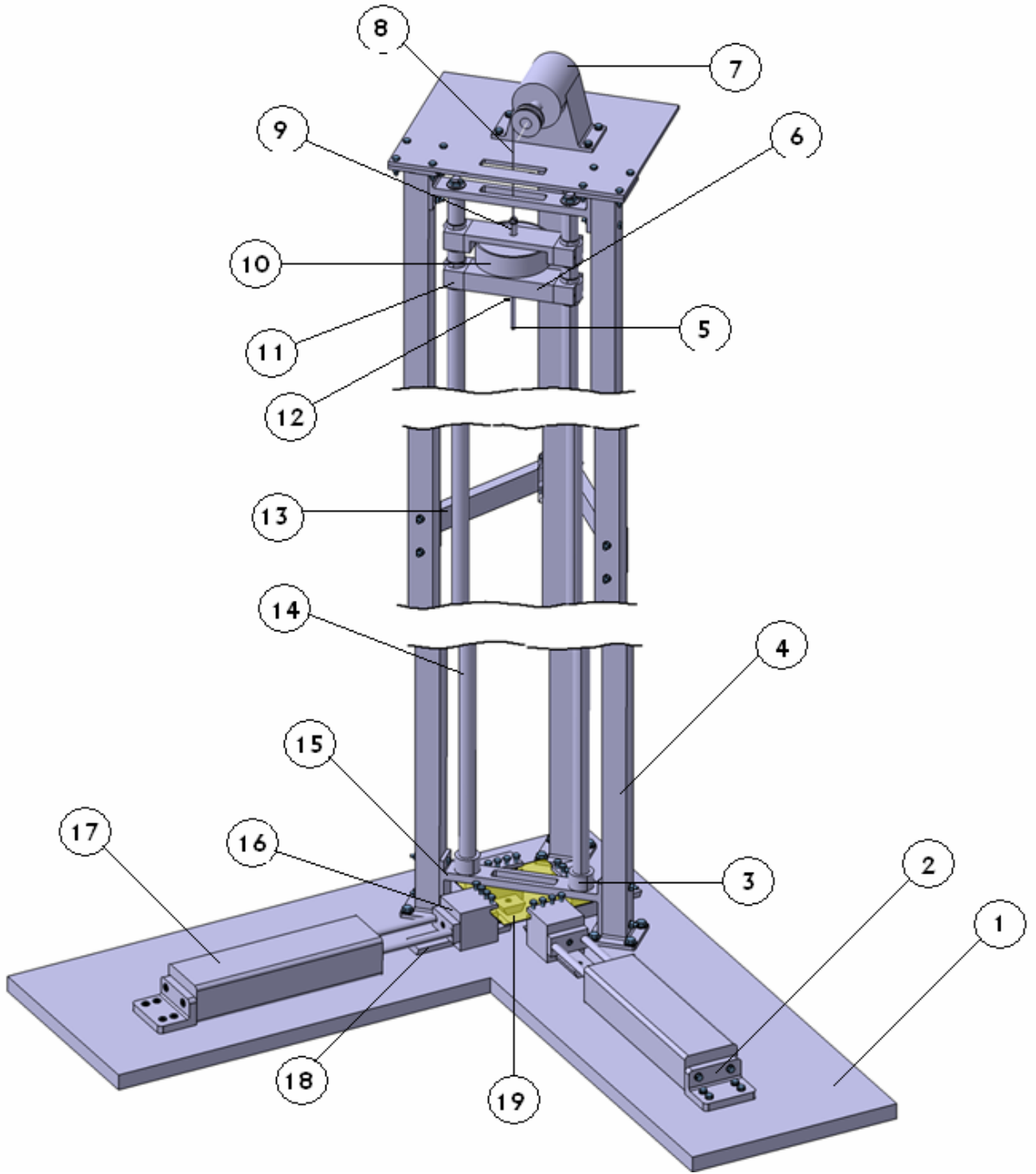
### 4.3 Test Düzeneği

Düşük hızlı darbe testleri maksimum 10m/s hızında ve istenilen değişik ağırlık yüklerinde uygulanacak şekilde tasarlanmıştır. 10m/sn lik hız sınırı düşük hızlı darbeler için öngörülen hız olduğundan 5m lik bir düşme yüksekliğine karşılık gelmektedir [17]. Bu hızın üzerindeki darbeler, yüksek hızlı darbe olarak literatürde geçmektedir [18].

Ağırlık düşürme cihazının yarı küresel uçlu kafa kısmına yerleştirilmiş bir piezoelektrik kuvvetölçer darbe esnasındaki kuvvet-zaman diyagramını verir. Veriler sensörlerden bilgisayar ortamına aktarılarak grafiksel sonuçlar oluşturulur. Deney düzeneğinin taşınabilir olabilmesi ve montaj kolaylığı açısından tüm bağlantılar civata bağlantılı olarak tasarlanmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen parçalar ile standart parçalar hakkında gerekli bilgiler ile teknik özellikleri aşağıda açıklanmıştır. Mekanik Laboratuvarında bulunan darbe test düzeneği şekil 4.3 de görülmektedir. Şekil 4.4 de deney düzeneğinin tasarım şekli ve üzerinde bulunan elemanlar gösterilmiştir.



**Şekil 4.3** Darbe Test Düzeneği



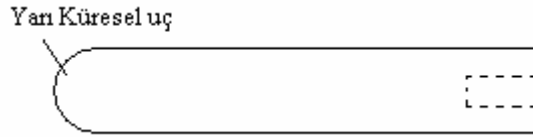
- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. Alt tabla                  | 11. Lineer rulman (4 adet)       |
| 2. Piston tutucu              | 12. Piezoelektrik kuvvet sensörü |
| 3. Plastik tampon (2 adet)    | 13. Ara destek                   |
| 4. Kare profil (3 adet)       | 14. Silindirik kolon (2 adet)    |
| 5. Vurucu uç                  | 15. Mil Tutucu                   |
| 6. Vurucu uç ağırlığı         | 16. Çene (4 adet)                |
| 7. DC motor                   | 17. Hidrolik piston (2 adet)     |
| 8. Tel halat                  | 18. Kırılmaç kızak (4 adet)      |
| 9. Tel halat bağlantı parçası | 19. Numune                       |
| 10. Elektro mıknatıs          |                                  |

**Şekil 4.4**Deney düzeneğinin tasarım şekli ve elmanlar

Deney düzeneğini oluşturan ana elemanlar elamanlar şu şekilde tanımlanabilir:

1. Piezoelektrik Kuvvet Sensörü: Ağırlık düşürme testinde temas kuvvetini ölçmeye yarayan kuvvet sensörüdür. Analizi yapabilmek için elektronik veriler bilgisayara aktarılarak okunur. Kit halinde standart olarak satılmaktadır.
2. Vurucu uç:

Deneylerde kullanılan vurucu uç geometrisi şekil 4.5 de gösterilmiştir. Genel olarak vurucu uçlar yarı küresel bir geometriye sahiptir .



Şekil 4.5 Deneylerde Kullanılan Vurucu Uç Geometrisi

3. **Ara Destek:** Profilden yapılmış olup profil kolonların yüksek olmasından dolayı rijitliği sağlamak amaçlı düşünülmüştür. Ayrıca arka kolon duvara bir profil yardımıyla tutturulacaktır.
4. Silindirik Sütun: İki adettir. Elektromıknatıs ve vurucu uç bu sütunlara lineer rulmanlarla yataklanacaktır. Bu sütunlar numune boyutlarını engellememesi açısından alt ve üst mil tutucular arasında monte edilecektir. Silindirik sütunlar minimum sürtünme kuvveti için yüzeyi düzgün işlenmiş St 52 malzemedен yapılmış transmisyon millerinden yapılmıştır.
5. Silindirik Sütun Tutucu: İki adet olup, silindirik sütunların üst ve alt kısımlarına yerleştirilecektir. Özellikle alttaki tutucu numune boyutlarında kısıtlamaları engellemek için tasarlanmıştır. Sütunlar bu tutucuların üzerine yerleştirilmiş ve numune boyutları değişkenliği arttırılmıştır.
6. Çene: Dört adet olarak düşünülmüştür. İkiisi pistonlara bağlı olarak hareket edebilirken diğer ikisi de ayarlanabilecektir, fakat sabit olarak monte edilecektir. Çeneler kırılma tip kızaklar üzerinde kaymaktadırlar. Sabitleme işi arka kısımlarındaki civatalar yardımı ile yapılacaktır.
7. Hidrolik Piston: İki adettir. Bu pistonlar numune üzerinde ön gerilme oluşturmak için yerleştirileceklerdir. Alt tablaya ve iki hareketli çeneye bağlanacaktır.

8. Kırılmaç Tip Kızak: Dört adet olup ikisi hareketli ikisi sabit çeneleri tutacaktır. Alt tablaya monte edilecektir.
9. Numune: Projede, numuneler kompozit plaklar olarak düşünülmüştür. Fakat bunun yanında metalik malzemeler ve seramik malzemelerinde darbe testleri yapılabilecektir. Yani numuneler kompozit, metalik ve seramik olarak seçilebilir. Ayrıca özellikle plastik numunelerin çenelere bağlantılarında numune ezilmesini ve kaymasını önlemek için çene bağlantı kısımlarında alüminyum plakalar kullanılacaktır. Çenelerin hareketli olması numunelerde farklı boyutta kullanıma izin verecektir.

#### 4.4 Deney Metodolojisi

Deney numune, ağırlık ve vurucu uç geometrisi sabit tutulup, yüksekliğin değişken olması durumlarında sağlıklı bir test takibinin yapılabilmesi için deneysel kodlamanın yapılması, tüm bu işlemlerin test aşamasında verilerin saklanması ve numunelerin arşivlenmesi açısından sıhhatli bir takip için kodlamaya gerek duyulmaktadır. Kodlama için aşağıdaki yöntem seçilerek uygulanmıştır.

<b>Kodlama:</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>Y</b>	<b>G</b>	<b>B</b>
	<b>Deney No</b>	<b>Malzeme Türü</b>	<b>Düşen Ağırlık</b>	<b>Düşme Yüksekliği</b>	<b>Vurucu Uç Geometrisi</b>	<b>Bağlantı Şekli</b>

**Çizelge 4.1** Deney Kodlaması

**D: Deney no:** Her bir değişken için 3 deney yapılması öngörülmüştür. Buna ait kodlama D1, D2 ve D3 şeklindedir. (Di; i=1,2,3)

**M: Malzeme türü Kodu:** Kullanılacak malzeme türü sayısı çokluğundan dolayı sınırlamaya gidilmesi kaçınılmazdır. Çizelge 4.2 de görüldüğü gibi belirlenen malzeme türleri için kodlama uygulanacaktır.

**Çizelge 4.2** Malzeme kodlaması.

Malzeme Kodu	M	Malzeme Açık Adı
1		Cam/epoxy (0/90) plak
2		Cam/epoxy (30/-30) plak
3		Cam/epoxy (45/-45) plak

**A: Düşen ağırlık Değeri:** Test düzeneğinde ağırlık miktarı en düşük değeri 3kg olup Çizelge 4.3 de belirtilen ek ağırlıklar ile farklı değerlerde vurucu uç ağırlıkları oluşturulabilir.

**Çizelge 4.3.** Ağırlık kodlaması.

Ağırlık Kodu	(A)	Ağırlık (gr)
1		3000
2		3600
3		3700
4		3800
5		3900
6		4000

**Y: Ağırlığın düşmeye bırakıldığı yükseklik:** Malzemelerin cinsine göre tam hasar oluşumu,yani vurucu ucun malzemeyi delerek geçmesi malzemedan malzemeye değişiklik göstermektedir.Belirli yükseklik aralıklarında düşme sağlanacaktır. Bu aralıklar değişken olarak alınacak ve tabloya eklemeler yapılabilecektir.

Çizelge 4.4 de ağırlığın bırakılacağı yükseklik, kodları ile birlikte verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Yükseklik kodlaması.

Yüksekli Kodu	(Y)	Yükseklik (m)
1		0.25
2		0.50
3		0.75
4		1.00
5		1.25
6		1.50
7		1.75
8		2

**G: Vurucu uç geometrisi;** Vurucu uç geometrisinin kodlanması Çizelge 4.5 de verilmiştir.

**Çizelge 4.5** Vurucu uç geometrisinin kodlaması.

Geometri Kodu	(Y)	Uç geometrisi
1		Düz
2		Yarı küresel
3		Konik-yuvarlak
4		Konik

**B: Bağlantı Şekli;** Numunenin test cihazına bağlantı şekli olarak tanımlanmaktadır. Çizelge4.6 de bağlantı şekli kodlaması verilmektedir.

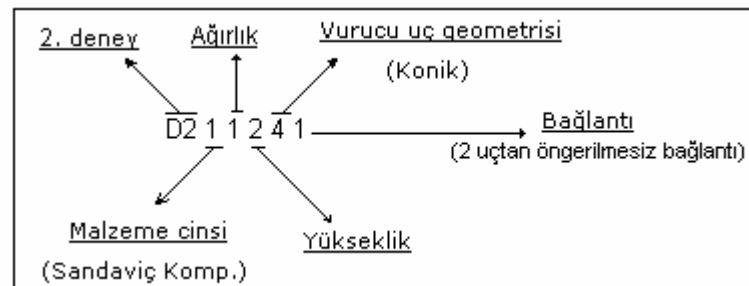
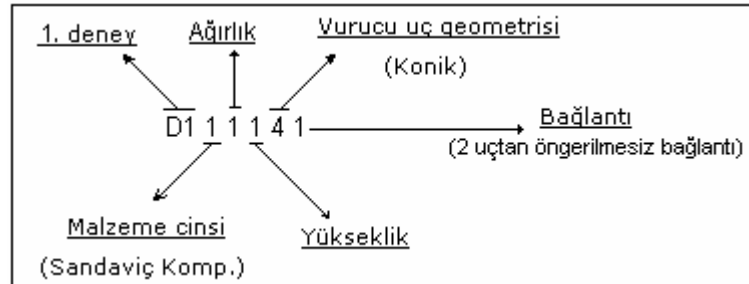


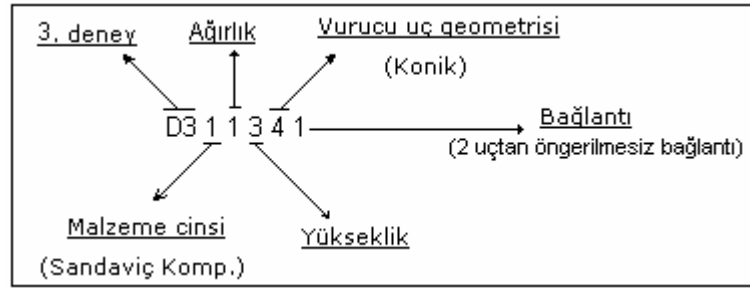
**Çizelge 4.6** Numune bağlantı kodlaması.

Bağlantı Kodu (B)	Bağlantı durumu
	<b>iki uçtan bağlantı</b>
1	Ön gerilme uygulamadan
2	Çeki ön gerilmesi uygulayarak
3	Bası ön gerilmesi uygulayarak
	<b>Dört uçtan bağlantı</b>
4	Ön gerilme olmadan
5	Çeki-çeki ön gerilmesi uygulayarak
6	Bası-bası ön gerilmesi uygulayarak
7	Çeki-bası (kayma) ön gerilmesi uygulayarak

**Örnek Kodlama:** Deney için, numune çeşidi Sandaviç kompozit plak seçilmiş olup, iki uçtan öngerilme uygulanmadan bağlanmıştır. Üzerine 3000gr ağırlıkta vurucu uç (Konik) düşürülecektir. Tam hasar oluşumu için kademe sayısı 3 olarak seçilmiştir. Deneyde değişken olarak sadece yükseklik kullanılacaktır. Buna göre oluşturulacak deney kodu şekil 4.6 da gösterilmiştir:

Not: Her yükseklik kademesi için üç deney yapılacaktır.





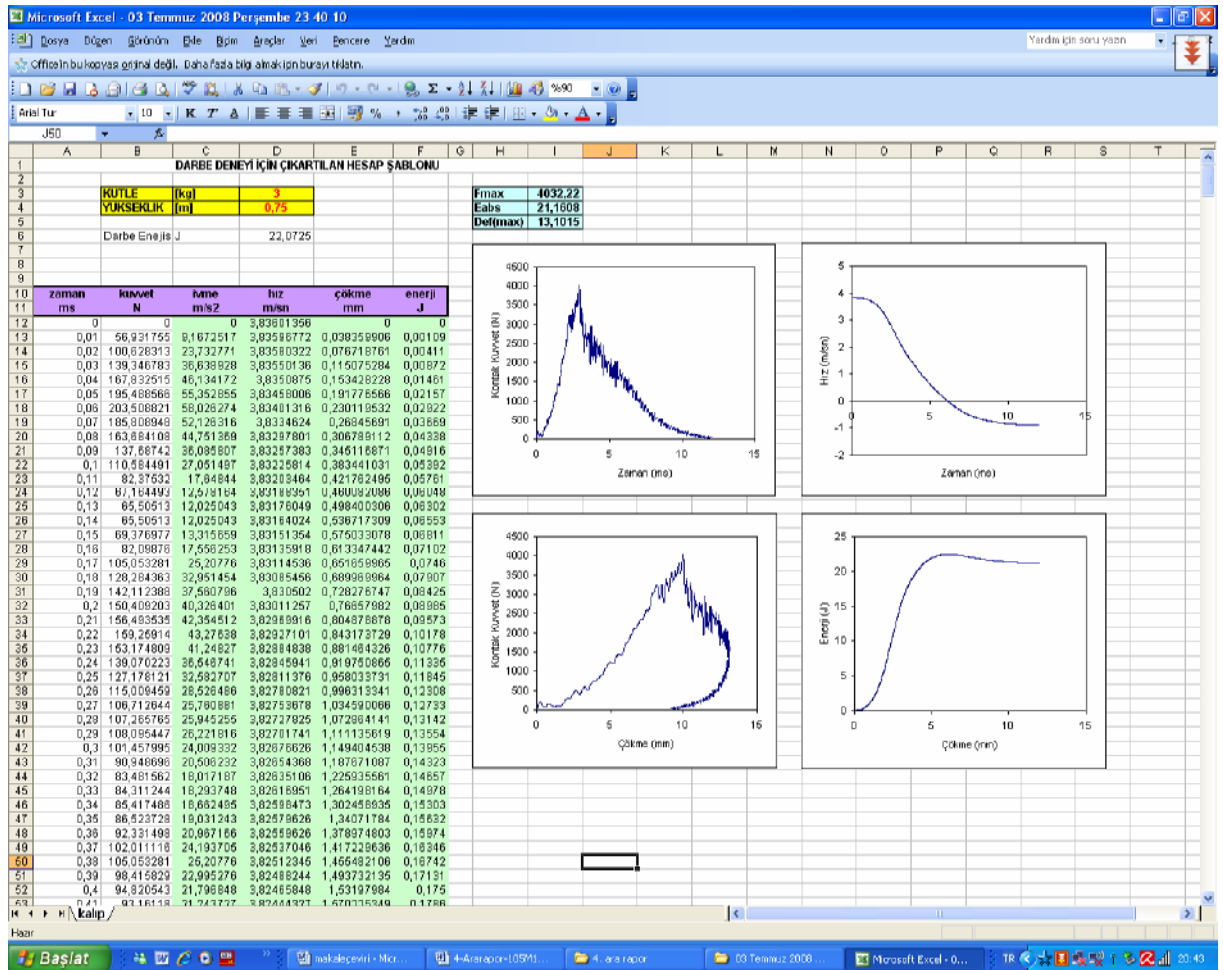
**Şekil 4.6 Deney Kodu Açıklamaları**

#### 4.5 Grafikselleştirilmenin Çıkarılması

Temel olarak dört grafik elde edilmiş olup bu grafiklerden konu ve isteğe göre farklı grafiklerde elde edilebilmektedir. Temelde elde edilen grafikler şunlardır:

1. Kuvvet- Zaman Grafiği: Numunenin vurucu uca uyguladığı tepki kuvvetinin zamanla değişimini veren grafiğdir.
2. İvme-Zaman Grafiği: Değişik darbe enerjilerinde hızın zamanla değişimini veren grafiğdir.
3. Kuvvet-Çökme Grafiği: Temas kuvvetine göre numunedeki çökmeyi veren grafikten absorbe edilen enerjiyi görebiliriz.
4. Enerji -Zaman Grafiği: Darbe enerjisini ve absorbe edilen enerjiyi veren grafiklerdir.

Deney başlangıcında bilgisayarda proje kapsamında alınan Labview programı kullanılarak veriler kuvvet sensöründen bilgisayara aktarılmıştır. Alınan veriler daha sonra Excel programı kullanılarak gerekli grafiklerin oluşturulması sağlanmıştır. Şekil 4.7 de verilerin kullanıldığı Excel örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Grafik hesapları yapılan Excel dosyası

İlk iki veri sütunu sensörden okunan değerleri, diğer dört sütun ise formülize edilmiş değerleri göstermektedir. Bu değerlere göre grafikler çıkartılmıştır.

Aşağıda, oluşturulan grafik ve numune hasar resimleri gösterilmiştir. Her şart için üçer deney yapıp ortalamalar alınmıştır. Öncelikle elde edilen grafikler ve hasar resimleri teker teker gösterilmiş daha sonra grafikler aynı grup içinde bir araya getirilerek yorumu yapılmıştır.

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

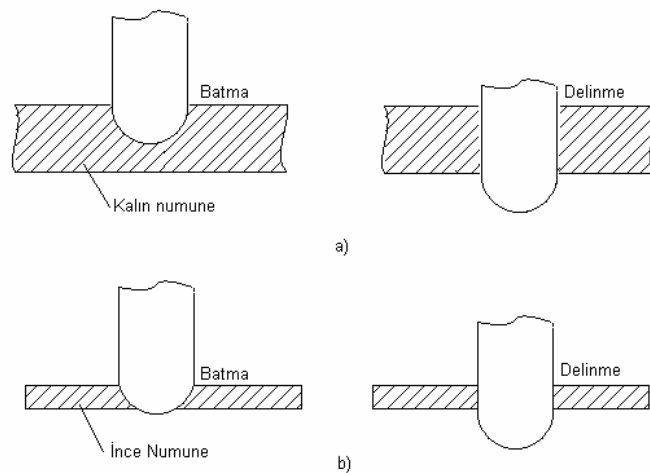
### 5.1 Düşük Hızlı Darbe Test Grafiklerinin Yorumlanması

Deneysel sonuçlarda elde edilen grafiksel değerlerin yorumlanabilmesi için öncelikle darbe esnasında oluşan olayların tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla aşağıda darbe olayları ve grafiklerin ne anlam taşıdığı ifade edilmiş olup, daha sonra değerlendirmelere geçilmiştir.

#### 5.1.1 Batma ve Batma Başlangıcı

Bu kısımda elde edilen verilerle oluşturulmuş grafiklerin genel anlamda nasıl yorumlanacağı açıklanacak, ardından deney yorumlarına geçilecektir. Genelde, delinme başlangıcı; vurucu ucun uç kısmının numune arka yüzeyine yaklaştığındaki absorbe enerjisi delme başlangıcı da vurucu ucun ilk anda geri sekmesinden elde edilen darbe enerjisi olarak tanımlanabilir.

Batma olayı, yarı küresel ucun numuneye tamamen girmesi olarak alınmalıdır, bu durumda numune şekil 5.1a da görüldüğü gibi yeterince kalın olmalıdır. Bununla birlikte numune kalınlığının yarı küresel uca göre ince olması durumunda da batmanın incelenmesi oldukça zorlaşacaktır. Bu çalışmada numune ortalama kalınlığı 2.0mm iken vurucu uç burnu 6mm yarıçapında yarıküresel olarak seçilmiştir.



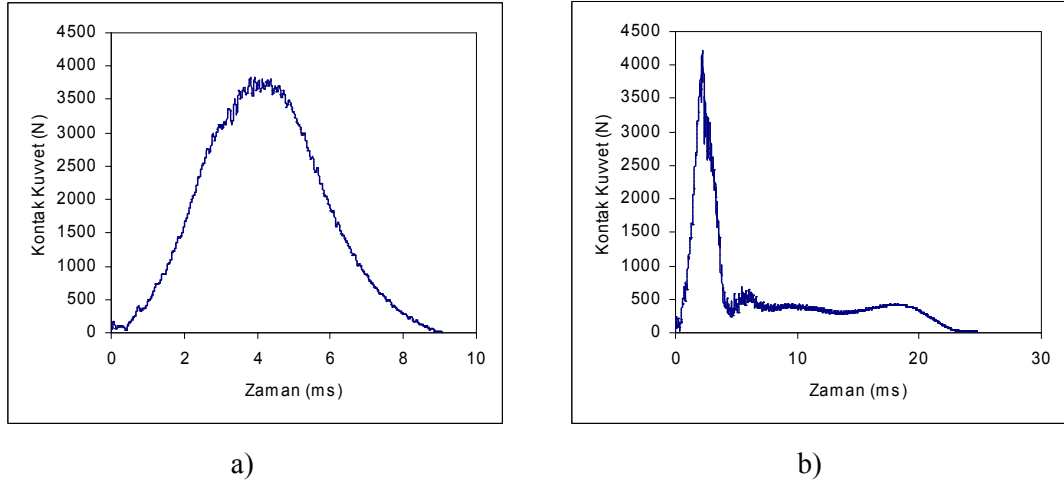
Şekil 5.1 Kalın ve ince numunelerde batma ve delinme olayı [19].

### 5.1.2 Temas Kuvveti-Zaman Grafik Yorumu

Temas kuvveti numunenin vurucu uca uyguladığı tepki kuvvetidir İlk belirtide, temas zamanına göre temas kuvvetinin değişmesi bir veri toplama sistemi ile incelenmiştir.

Şekil 5.2 da genel itibarı ile karşılaşılabileceğimiz iki farklı kuvvet-zaman eğrisini gösterilmiştir. Şekil 5.2a daki gibi darbe enerjisi düştüğünde yük zaman eğrisi parabolik şekildedir ve maksimum temas kuvveti darbe enerjisinin artmasıyla artar. Numune içerisinde önemli hasarlara sebep olan en yüksek darbe enerjilerinde temas kuvveti tüm durumlarda yaklaşık olarak sabit bir üst değerdedir, bu çalışmada bu değer yaklaşık 4-4.3kN civarındadır.

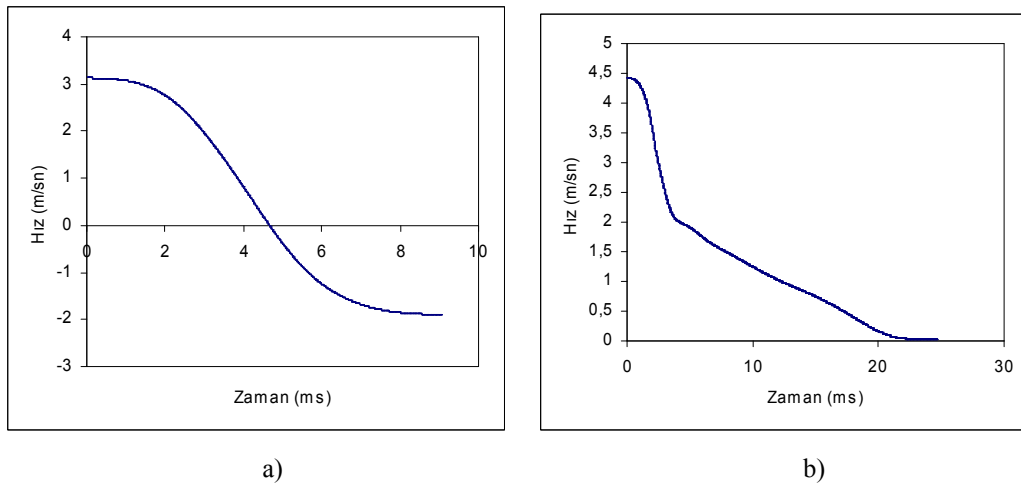
Şekil 5.2b de görülen temas kuvveti aniden düşen benzer yük-çökme eğrileri, numunenin darbeden etkilenmeyen alt yüzeydeki fiberlerin eğilmeden kaynaklanan kırılmanın sebep olduğu numune ve vurucu uç arasındaki anlık temas kaybını gösterir.



**Şekil 5.2** a) Delinme Olayı Gerçekleşmeyen (teorik )Kuvvet Zaman Grafiği b) Delinme Olayı Olduğundaki Kuvvet-Zaman Grafiği

### 5.1.3 Hız-Zaman Grafik Yorumu

Değişik darbe enerjilerinde gerçek zamanla hız değişimi deney sonuçlarında gösterilmiştir. Zamanın sıfır olduğu anda yani darbe başlangıcında her bir eğri en yüksek değerdedir. Delinmeyen numunelerde, hız zaman göre azalır ve maksimum çökme anında sıfır olur. Daha sonra negatif değerler geri sekme durumunu gösterir şekil 5.3a. Bunun yanında delinen numunelerde geri sekme olmadığı için negatif kısımlar yoktur şekil 5.3b.



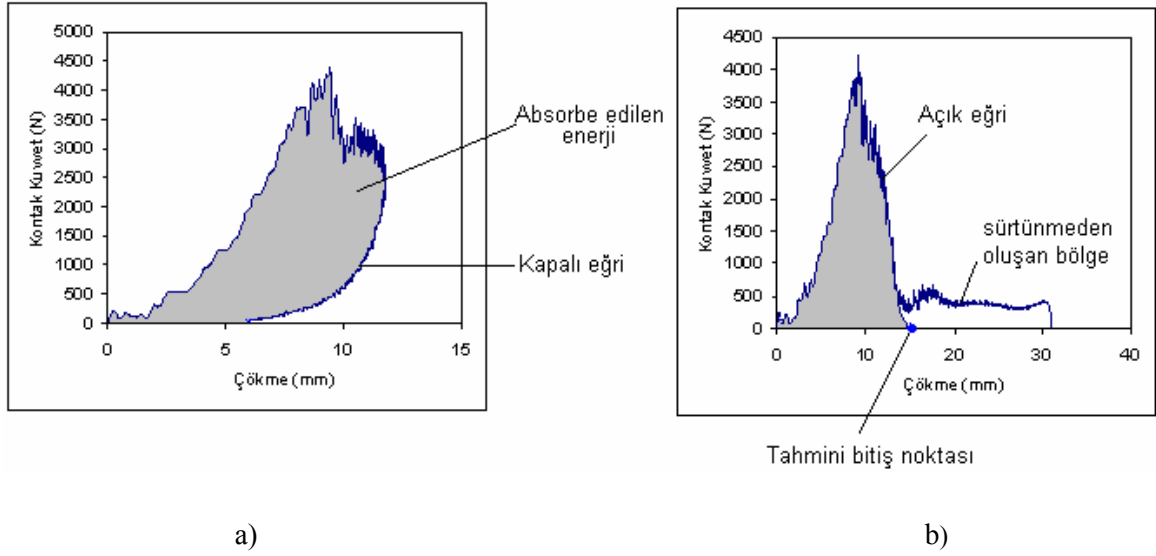
Şekil 5.3 a) Delinmenin Gerçekleşmediği Durumdaki Hız-zaman Grafiği b) Delinmenin Gerçekleştiği Durumdaki Hız-zaman Grafiği

### 5.1.4 Kuvvet-Çökme Grafik Yorumu

Şekil 5.4 'de bir darbe olayındaki iki çeşit yük-çökme eğrisi karşılaştırılmıştır. Şekil 5.4a ve 5.4b deki taralı alanlar, darbe testi esnasında sonuçlanan açık ve kapalı iki tip eğride numune tarafından absorbe edilen enerjiler görülmektedir. Açık tip yük-çökme eğrisinin son kısmında yatay giden çizgi numunenin delindiğini ve vurucu ucun yüzeye sürtündüğünü göstermektedir. Bu durumda absorbe edilen enerji değerini tam olarak tanımlayabilmek için sürtünmeye ait kısım eğriden çıkartılmalıdır. Bu amaçla yük-çökme eğrisinin sağ tarafında azalan kısmı çökme eksenine doğru indirilir. Bu tip eğriler numunenin delindiği durumda çıkmaktadır şekil 5.4 b.

Vurucu ucun geri sektiği (sıçrama yaptığı) numunelerde kapalı tip eğriler çıkmaktadır. Vurucu uç numuneye batmakta fakat delmemektedir. Bu tip eğrilerde absorbe edilen enerji, başlangıç ve sekme hızlarının kullanıldığı başlangıç kinetik enerjisinden sekme kinetik

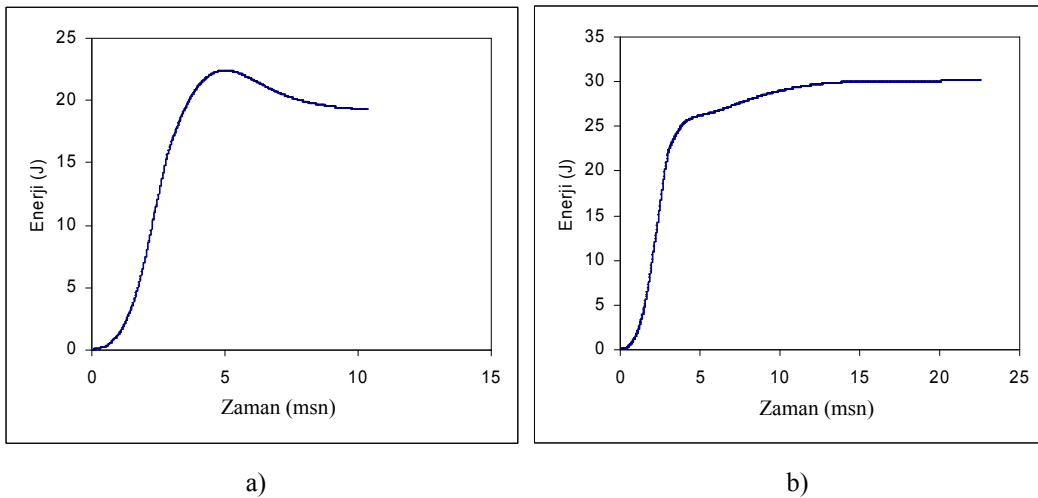
enerjisinin çıkartılması ile hesaplanabilir. Yük-çökme eğrisinden hesaplanan absorbe enerjisi ve kinetik enerji metotları arasındaki fark oldukça küçüktür.



Şekil 5.4 Oluşan iki tip kuvvet- çökme eğrileri, a) açık tip b) kapalı tip

### 5.1.5 Enerji-Zaman Grafik Yorumu

Enerji-zaman grafiği genel itibarı ile şekil 5.5 deki gibi çıkmaktadır. Burada en üst nokta darbe enerjisini, eğrinin uç noktası da absorbe edilen enerji değerini göstermektedir. Numunenin delinmediği durumlarda şekil 5.5a, numunenin delindiği durumlarda da şekil 5.5b deki gibi oluşmaktadır.



Şekil 5.5 İki tip enerji-zaman eğrisi a) delinmemiş numune b) delinmiş numune için.

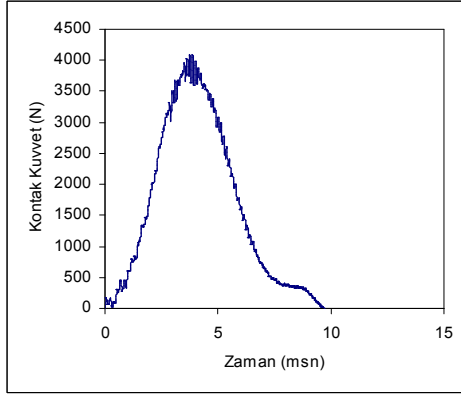
## 5.2 Deneysel Sonuçlar

Aşağıdaki şekillerden; şekil 5.6 -5.11 arası  $[0/90]_s$  8 tabakalı epoxy/cam elyaf kompozit malzemenin dört taraftan ankastre bağlı şekilde deney sonuçları olup üç faklı darbe enerjisinde (14.7J, 22.07J ve 29.43J), 3kg sabit ağırlıkta yapılmıştır. şekil 5.12 -5.17 arası  $[-30/30]_s$  8 tabakalı epoxy/cam elyaf kompozitin, şekil 5.18-5.23 arası  $[-45/45]_s$  8 tabakalı epoxy/cam elyaf kompozitin aynı şartlar için deney sonuçlarını göstermektedir.

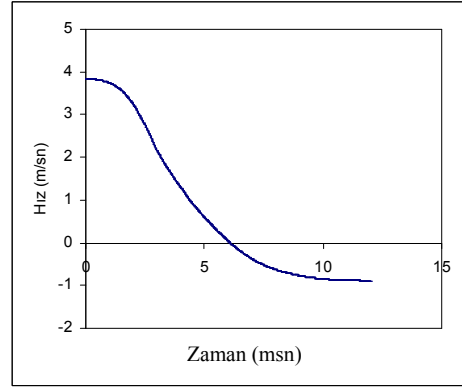
Benzer durumda, şekil 5.24- 5.35 arası  $[0/90]_s$  8 tabakalı epoxy/cam elyaf kompozitin, şekil 5.36- 5.45 arası  $[-30/30]_s$  kompozitin, 5.46-5.59 arası  $[-45/45]_s$  kompozitin iki taraftan ankastre bağlı şekilde deney sonuçlarıdır. Malzemelerin ortalama kalınlığı 2.0mm, ebatlar 140x140mm dir.



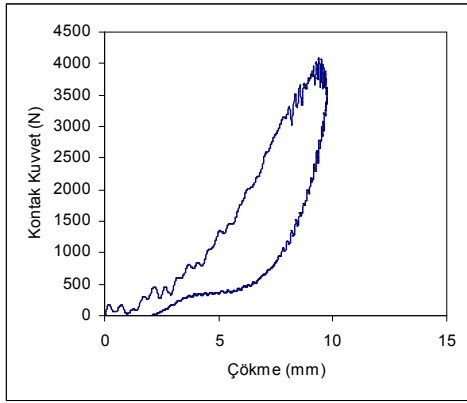
**Deney adı : D1-1-1-2-2-4**



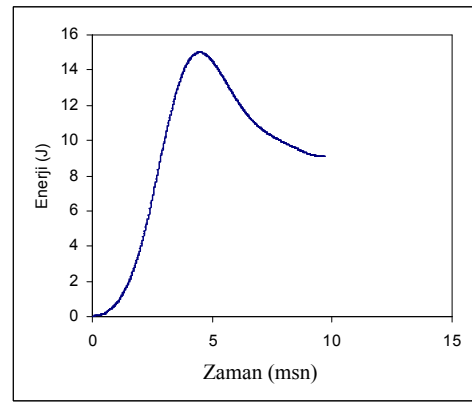
a)



b)



c)



d)

**Şekil 5.6**  $[0/90]_{4s}$  kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet - çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



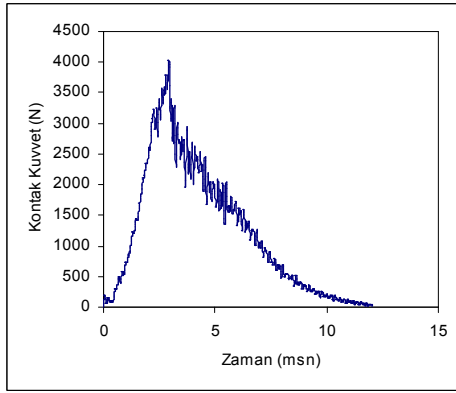
a)



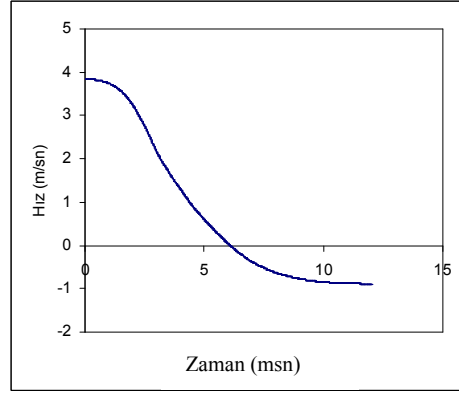
b)

**Şekil 5.7**  $[0/90]_{4s}$  kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

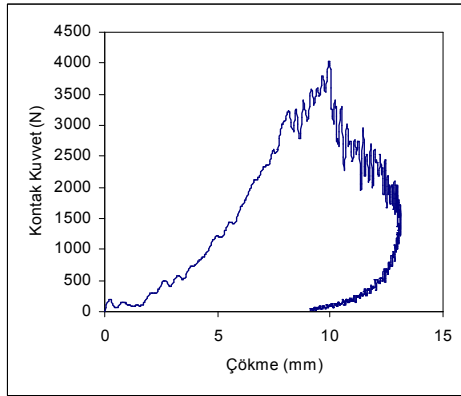
**Deney adı : D1-1-1-3-2-4**



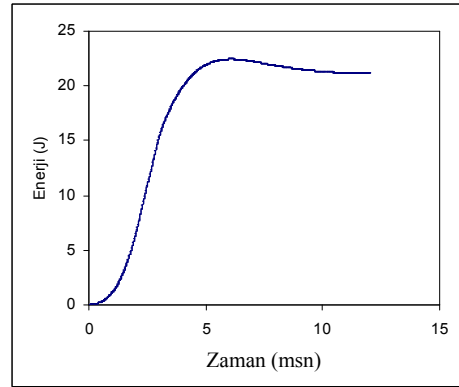
a)



b)



c)



d)

**Şekil 5.8**  $[0/90]_{4s}$  kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



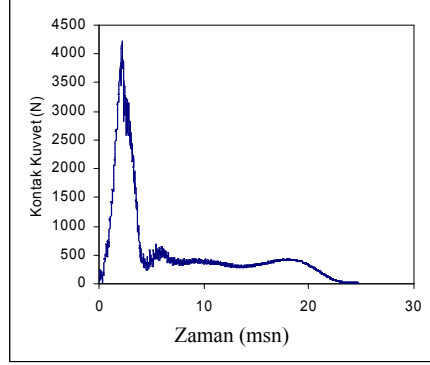
a)



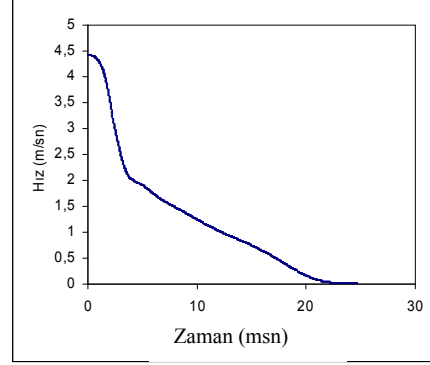
b)

**Şekil 5.9**  $[0/90]_{4s}$  kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

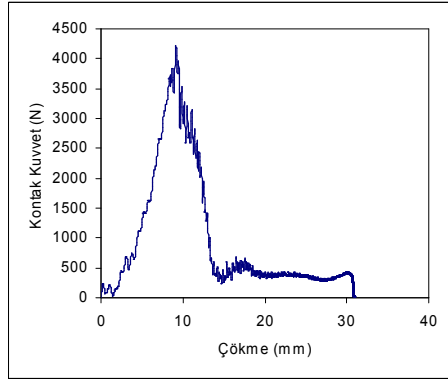
**Deney adı : D1-1-1-4-2-4**



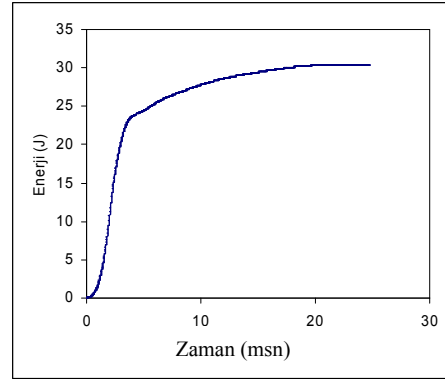
a)



b)



c)



d)

**Şekil 5.10**  $[0/90]_{4s}$  kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



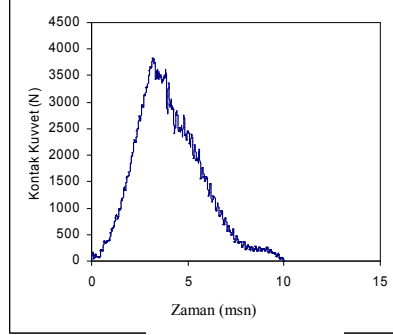
a)



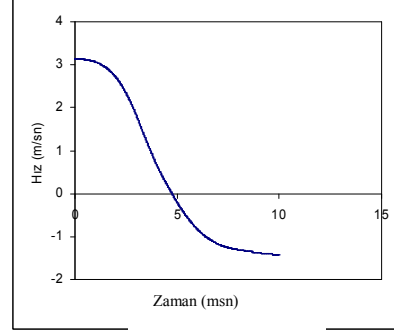
b)

**Şekil 5.11**  $[0/90]_{4s}$  kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

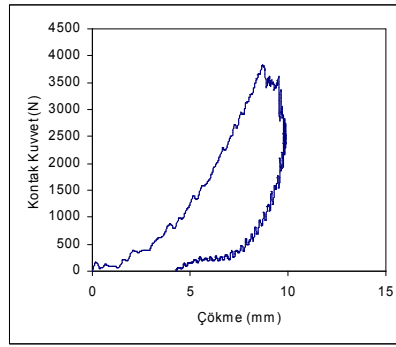
**Deney adı : D2-2-1-2-2-4**



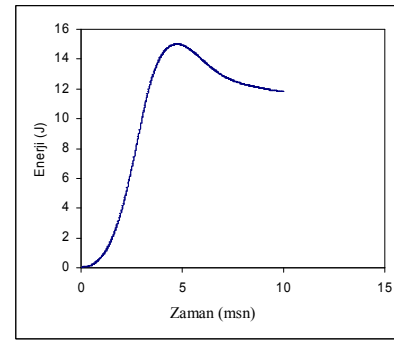
a)



b)

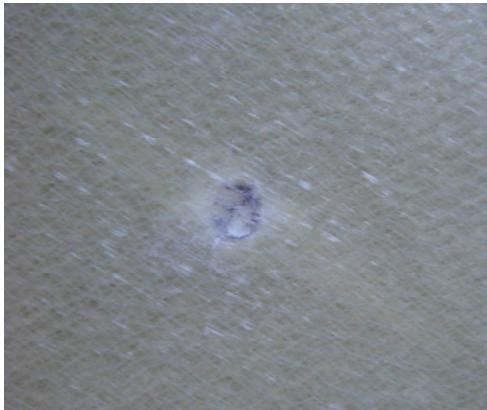


c)



d)

**Şekil 5.12** [-30/30]<sub>4s</sub> kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



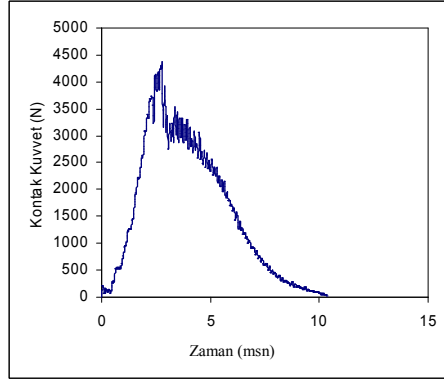
a)



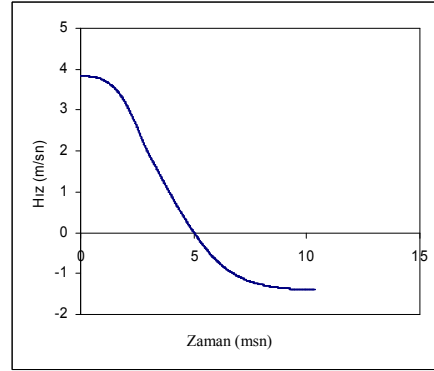
b)

**Şekil 5.13** [-30/30]<sub>4s</sub> kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

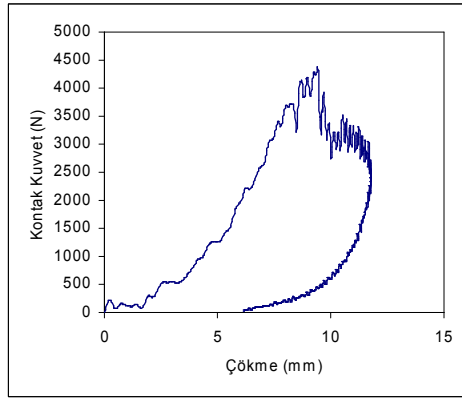
**Deney adı : D2-2-1-3-2-4**



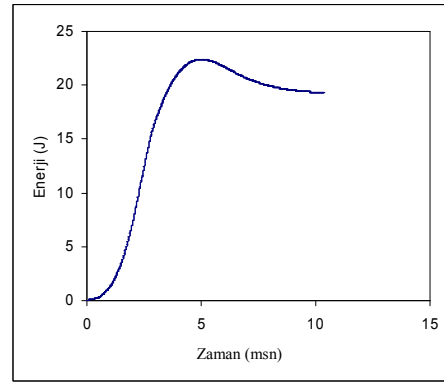
a)



b)

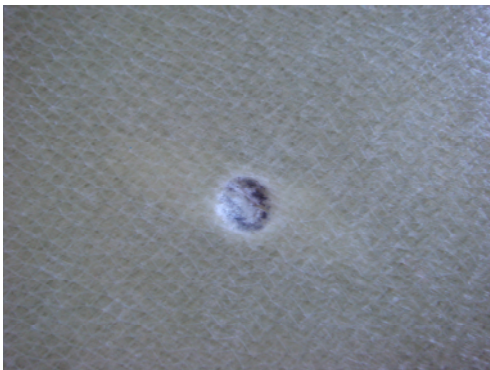


c)

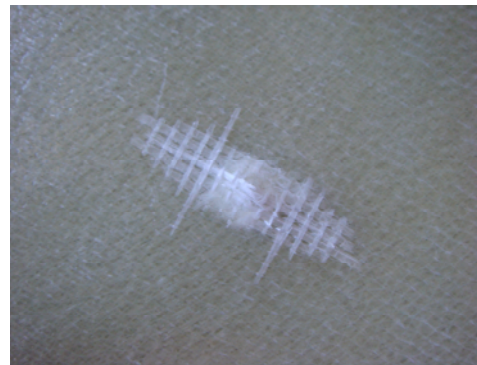


d)

**Şekil 5.14**  $[-30/30]_{4s}$  kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



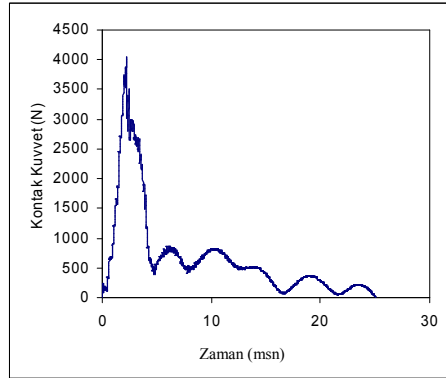
a)



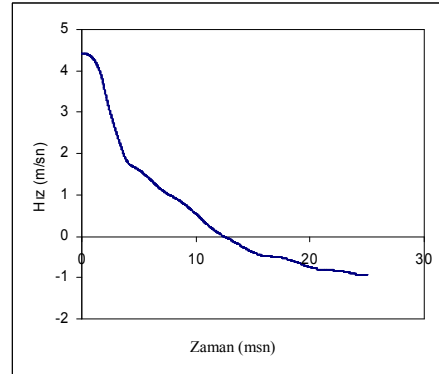
b)

**Şekil 5.15**  $[-30/30]_{4s}$  kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

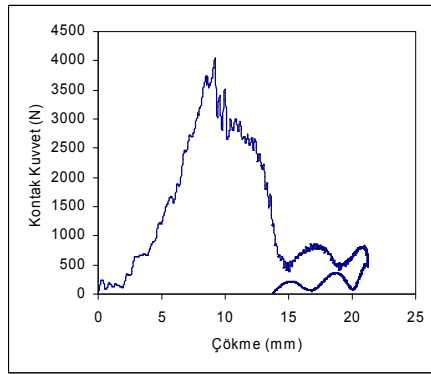
**Deney adı : D2-2-1-4-2-4**



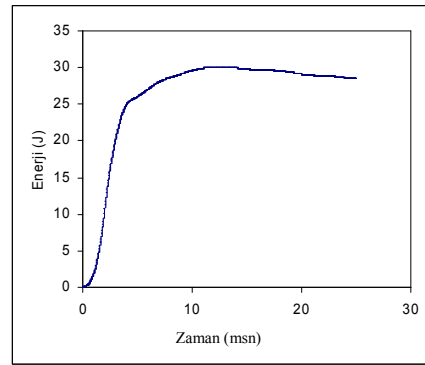
a)



b)

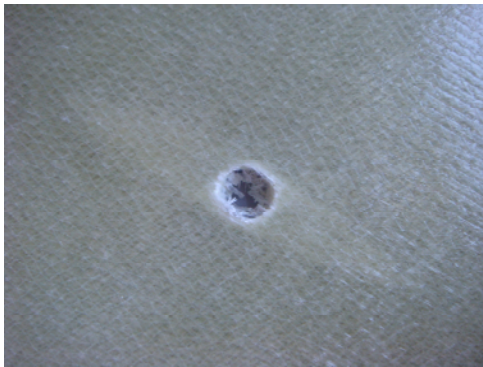


c)

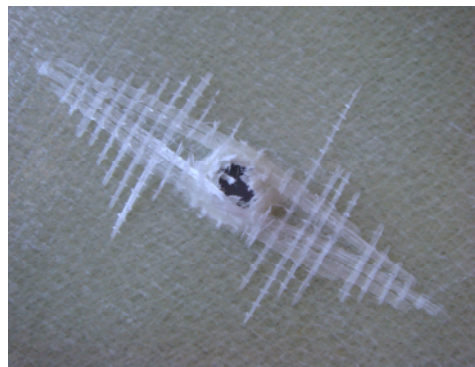


d)

**Şekil 5.16**  $[-30/30]_{4s}$  kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



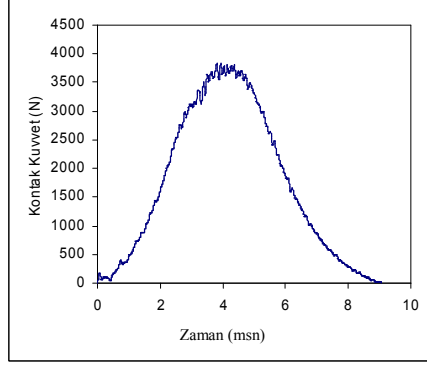
a)



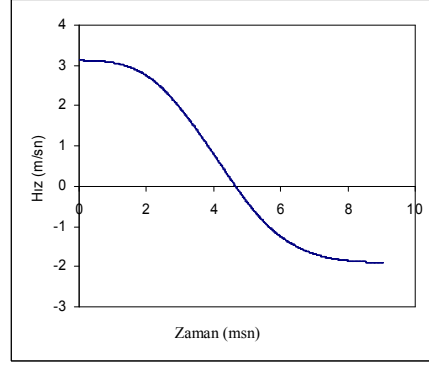
b)

**Şekil 5.17**  $[-30/30]_{4s}$  kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

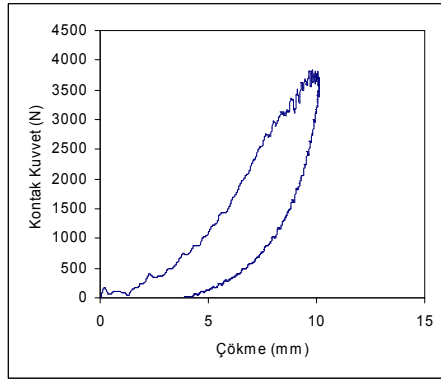
**Deney adı : D3-3-1-2-2-4**



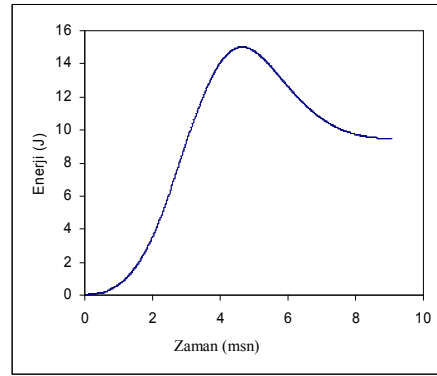
a)



b)

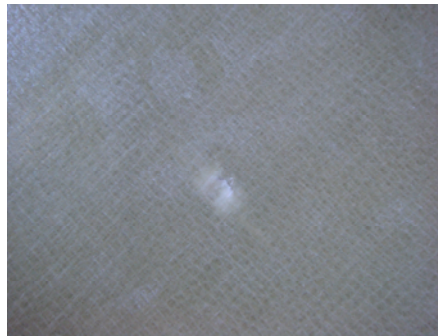


c)



d)

**Şekil 5.18**  $[-45/45]_{4s}$  kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



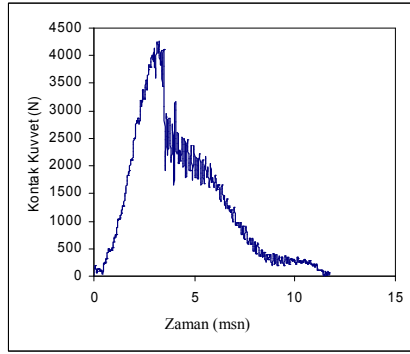
a)



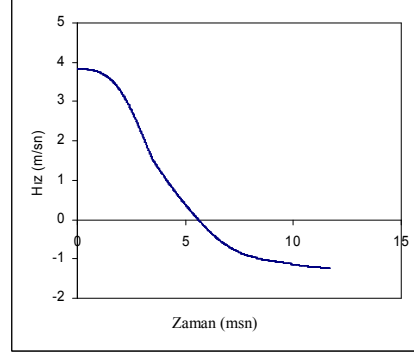
b)

**Şekil 5.19**  $[-45/45]_{4s}$  kompozit plak için 14.7J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

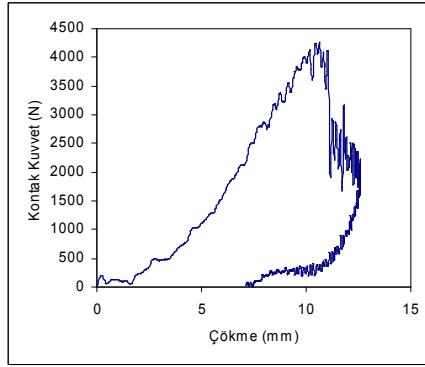
**Deney adı: D3-3-1-3-2-4**



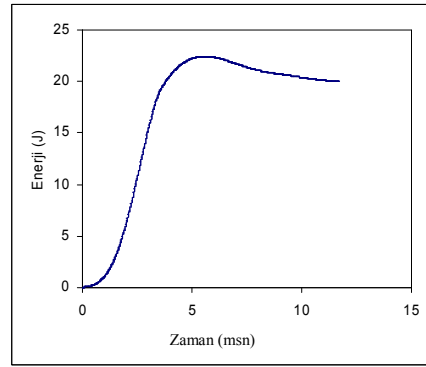
a)



b)

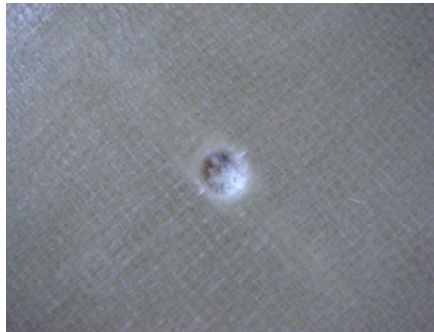


c)



d)

**Şekil 5.20**  $[-45/45]_{4s}$  kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



a)

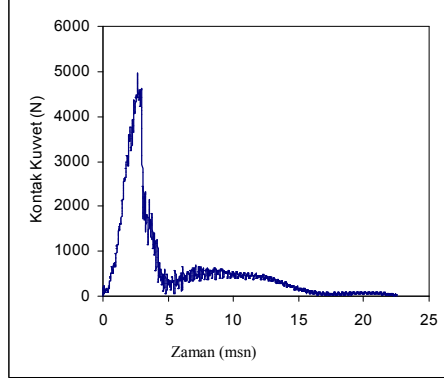


b)

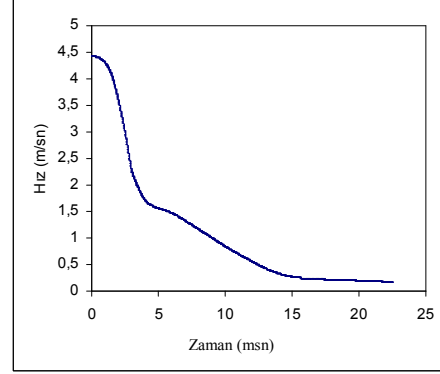
**Şekil 5.21**  $[-45/45]_{4s}$  kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu



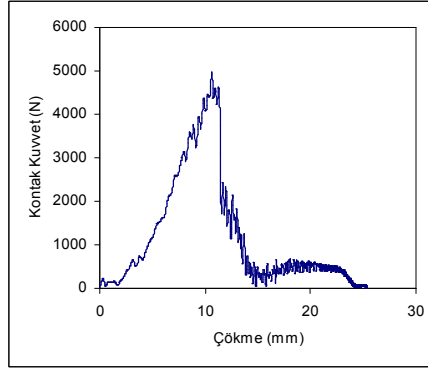
**Deney adı: D3-3-1-4-2-4**



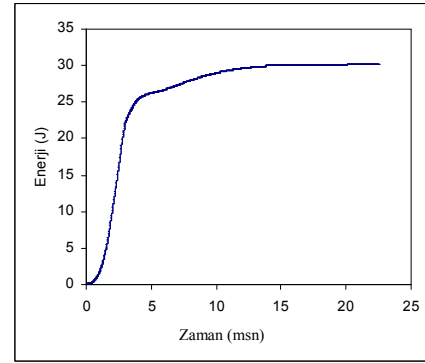
a)



b)

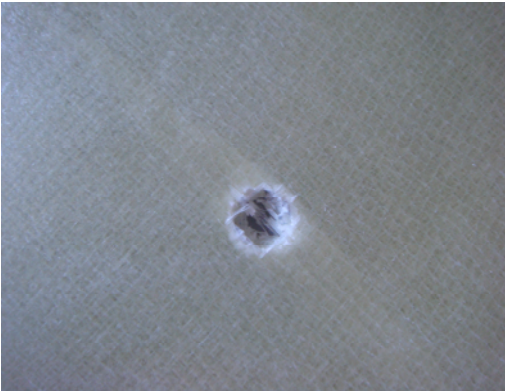


c)



d)

**Şekil 5.22**  $[-45/45]_{4s}$  kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



a)



b)

**Şekil 5.23**  $[-45/45]_{4s}$  kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

Yukarıda verilmiş olan şekil 5.6 ile şekil 5.23 arası  $[0/90]_{4s}$ ,  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  kompozit için dört taraftan ankastre bağlı durumunda yapılan test sonuçlarıdır. Elde edilen grafiklerin yanında numunede oluşan hasar durumlarını göstermek amacı ile darbe sonucu numunenin ön ve arka kısımlarında oluşan hasar resimleri her test grafiği altında gösterilmiştir.

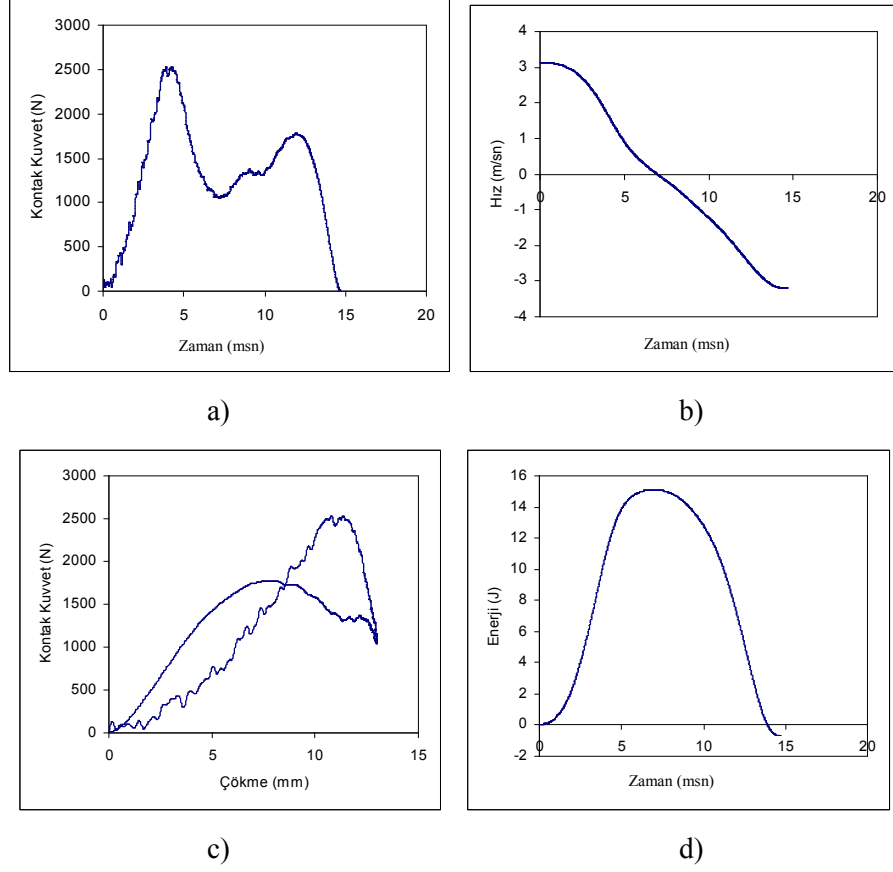
$[0/90]_{4s}$ ,  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  numuneleri için 14.7J, 22.07J ve 29.43J darbe enerji değerlerinde tetstler yapılmıştır.

14.7J lik darbe enerji değeri 50cm mesafeden 3kg ağırlıklı yarı küresel vurucu uç düşürülerek elde edilmiştir. Bu enerji değerinde numunelere bakıldığında numunelerin delinmediği gözlenmiştir. Vurucu uç numuneye batmış ama tam delinme olmamıştır. Her üç tür numunenin ön ve arka yüzeyleri incelendiğinde en az hasarın  $[0/90]_{4s}$  numunede olduğu gözlenmiştir. Arka yüzeye bakıldığında, tabakalar birbirine dik liflerden olduğundan hasar çok fazla dağılmadan kalmıştır şekil 5.7b.  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  numuneler incelendiğinde bir önceki numuneye göre hasarın  $[0/90]_{4s}$  numune ya göre daha fazla olduğu görülmüştür. Arka yüzeylerde ise liflerde meydana gelen hasar başlangıcı oryantasyon açısı doğrultusunda yani lif yönlerinde olduğu gözlenmiştir şekil 5.13b ve şekil 5.19b. Her üç numunede batma olayı gerçekleştiğinden kuvvet zaman grafikleri yaklaşık olarak parabol şeklinde oluşmaktadır, şekil 5.6a, 5.12a ve 5.18a. Şekil 5.6b, 5.12b ve 5.18b de hız zaman grafiklerine bakıldığında zaman başlangıcında maksimum hız değerleri görülmektedir. Bu eğrilerde maksimum çökme anında numuneler tam olarak delinmediğinden hız sıfıra inmiştir. Grafiğin negatif kısımları ise vurucu ucun geri sekme olayından kaynaklanmaktadır.  $[0/90]_{4s}$  numunede şekil 5.6b de görüldüğü gibi hız 5.25ms de sıfırlanırken diğer numunelerde  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  de 5ms de hız sıfırlanmaktadır şekil 5.12b ve şekil 5.18b. Bu durum yukarıda belirtilen hasarların en az hangi numunede oluştuğunda açıklamaktadır. Sıfırlama süresinin fazla olduğu  $[0/90]_{4s}$  malzemenin, diğer malzemelere göre daha esnek olduğunu göstermektedir. Çünkü maksimum çökme süresi daha fazladır. Kuvvet-çökme grafikleri incelendiğinde ise her üç numunede oluşan grafik kapalı olarak sonuçlanmıştır. Bunun sebebi numunenin delinmemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Eğrinin altında kalan alanlar absorbe edilen enerji değerini vermektedir. Bu üç numuneye eşit enerji değeri uygulandığından aynı grafiklerin oluştuğu görülmektedir şekil 5.6c, 5.12c ve 5.18c. Enerji-zaman grafiklerine bakıldığında benzer grafik şekilleri görülmektedir. Çünkü bu tip şekiller numunenin delinmediği durumlarda oluşmaktadır. Şekil 5.6d-5.12d ve 5.18d de en üst nokta darbe enerjisini eğrinin uç noktası ise absorbe edilen enerji değerini göstermektedir.

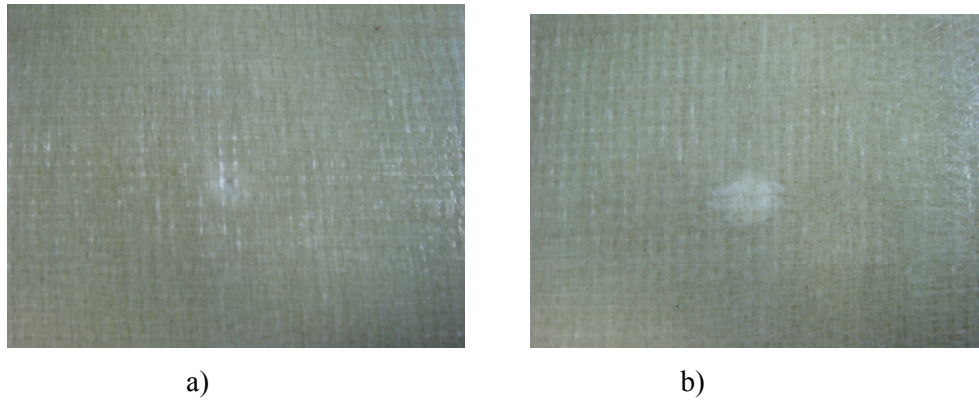
22.07J lik darbe enerji değeri 100cm mesafeden 3kg ağırlıklı yarı küresel vurucu uç düşürülerek elde edilmiştir. Bu enerji değerinde numunelere bakıldığında numunelerin yine delinmediği gözlenmiştir. Ancak bu numunelerde alt yüzeylerde fiber kırılmaları başlamıştır. Vurucu uç numuneye batmış, tam delinme olmamış fakat vurucu ucun çok az bir kısmı dışarı çıkarak fiberleri kırmıştır. Bu enerji değerinde de her üç tür numunenin ön ve arka yüzeyleri incelendiğinde en az hasarın şekil 5.9b de görüldüğü gibi  $[0/90]_{4s}$  numunede olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.15b ve 5.21b de  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  numuneler incelendiğinde fiber kırılmaları daha açık bir şekilde görülmektedir. Kırılmalar fiber takviye yönlerinde olduğu görülmektedir. Her üç numunede batma olayı gerçekleştiğinden kuvvet zaman grafikleri şekil 5.8a, 5.14a ve 5.20a da biraz daha keskin bir şekilde çıkmaya başlamıştır. Şekil 5.8b–5.14b ve 5.20b de hız zaman grafiklerine bakıldığında zaman başlangıcında maksimum hız değerleri görülmektedir. Burada da tam delinme olmadığından eğri önce zaman olarak sıfırlanmış yani maksimum çökme noktasına gelmiş geri sekme olayı ile grafik negatif değere ulaşmıştır. Şekil 5.8c–5.14c ve 5.20c de kuvvet-çökme grafikleri bir önceki enerji değerine göre daha fazla alan kapsamaktadır. Bunun sebebi daha önce belirtildiği gibi eğri altında kalan alanın absorbe edilen enerji değerini vermesidir ki burada daha fazla enerji absorbe edilmiştir. Vurucu uç yüksekliği artırıldığından potansiyel enerji değeri de artmış olması bunu göstermektedir. Enerji-zaman grafiklerine bakıldığında Şekil 5.8d–5.14d ve 5.20d de grafiklerde yavaş yavaş darbe enerjisi ile absorbe edilen enerji değeri birbirine yaklaşmaktadır. Çünkü tam delinme olayına yaklaşılmıştır.

29.43J lik darbe enerji değeri 150cm mesafeden 3kg ağırlıklı yarı küresel vurucu uç düşürülerek elde edilmiştir. Bu enerji değerinde numunelere bakıldığında numunelerin tam delindiği gözlenmiştir, şekil 5.11b, 5.17b ve 5.23b. Tam delinme neticesinde numunelerde fiber kırılmaları olmuştur. Her üç numunede tam delinme olayı gerçekleştiğinden kuvvet-zaman grafikleri şekil 5.10a, 5.16a ve 5.22a da daha keskin bir şekilde çıkmaya başlamıştır. Yani eğri altında kalan alan daha daralmıştır. Şekil 5.10b, 5.16b ve 5.22b de hız-zaman grafiklerinde artık geri sekme olayı olmadığından grafik negatif bölgeye inmemektedir. Şekil 5.10c, 5.16c ve 5.22c de kuvvet-çökme grafikleri tam delinme olayı gerçekleştiğinden kapalı tip eğriler vermektedir. Grafiklerdeki sağa doğru oluşan uzantılar sürtünmeden kaynaklanan verileri göstermektedir. Enerji-zaman grafiklerine bakıldığında şekil 5.10d, 5.16d ve 5.22d de grafiklerde darbe enerjisi ile absorbe edilen enerji değeri tam delinme olayından dolayı aynı değerlere yaklaşılmıştır.

Deney adı : D1-1-1-2-2-1

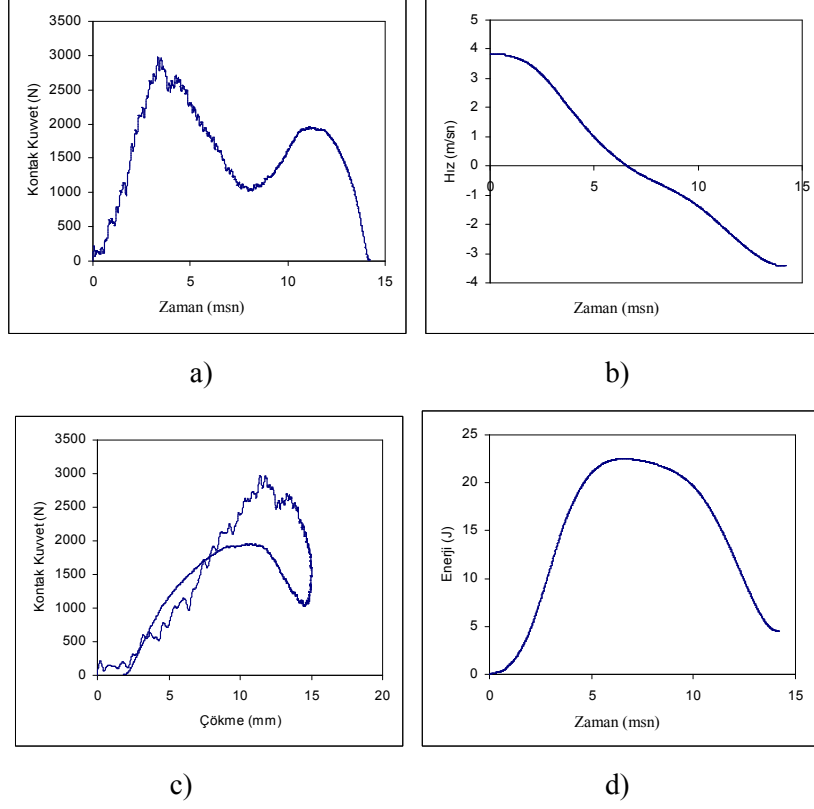


Şekil 5.24  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 14.71J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.

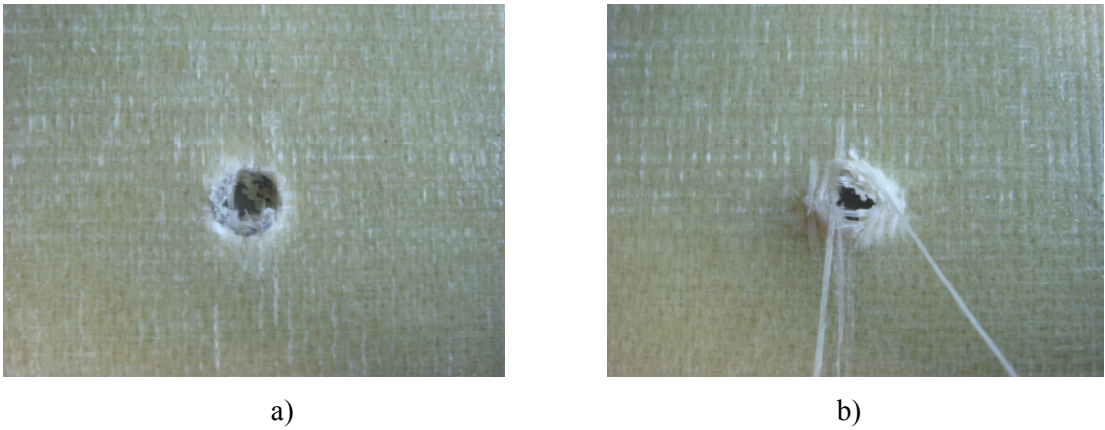


Şekil 5.25  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 14.71J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

Deney adı : D1-1-1-3-2-1

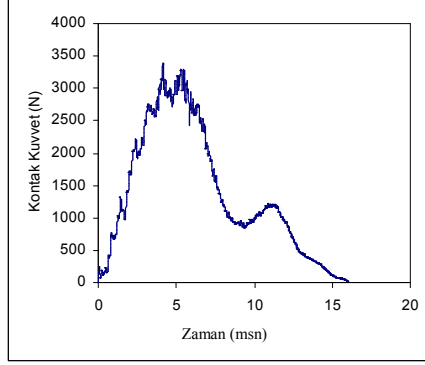


Şekil 5.26  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.

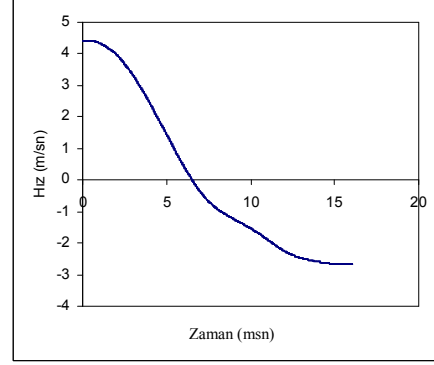


Şekil 5.27  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

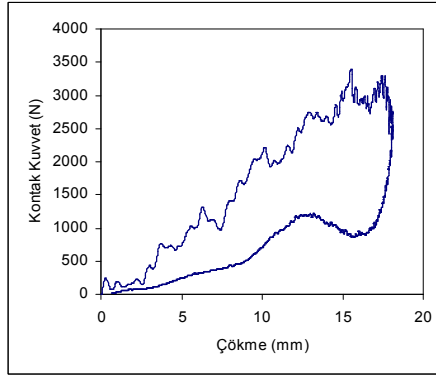
**Deney adı : D1-1-1-4-2-1**



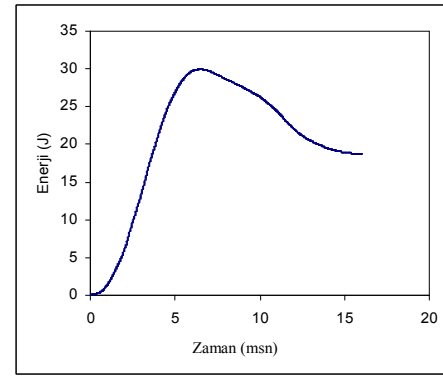
a)



b)



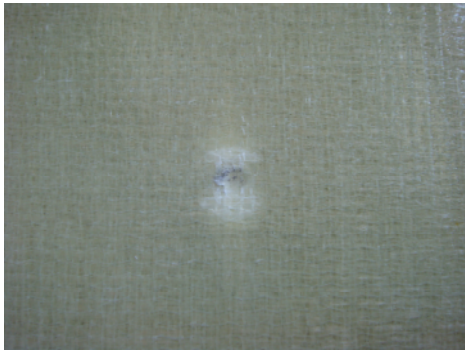
c)



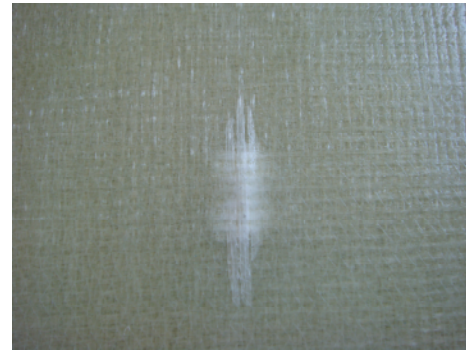
d)

**Şekil 5.28**  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan;

a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



a)

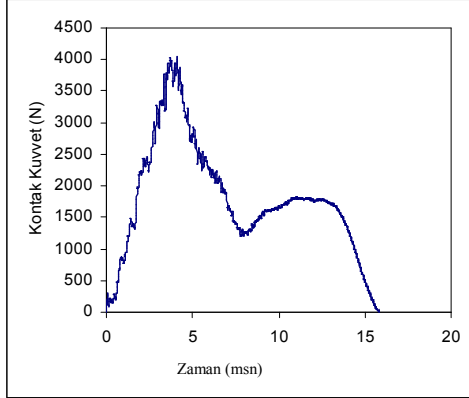


b)

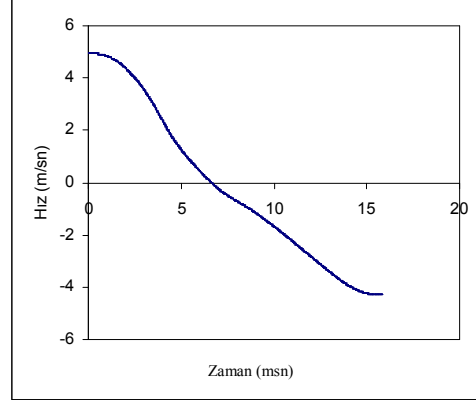
**Şekil 5.29**  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önu,

b) numune arkası hasar durumu

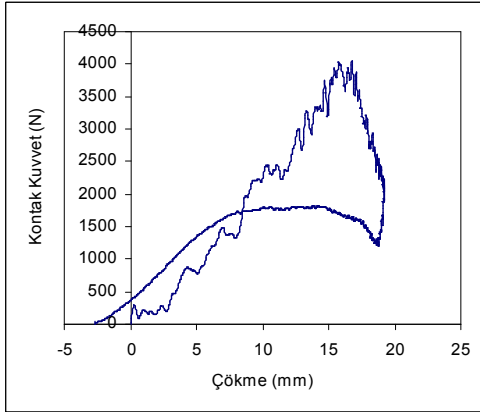
**Deney adı : D1-1-1-5-2-1**



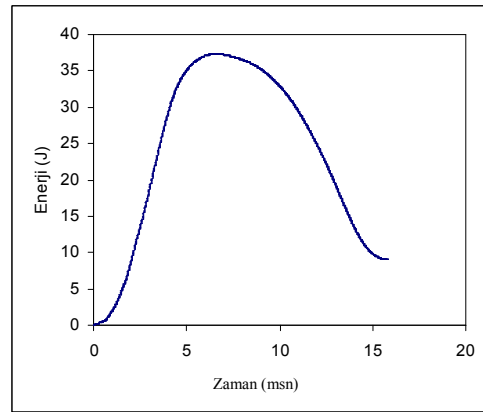
a)



b)



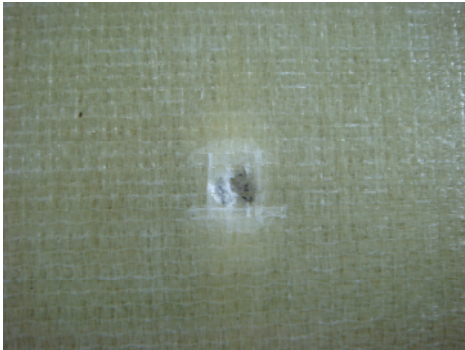
c)



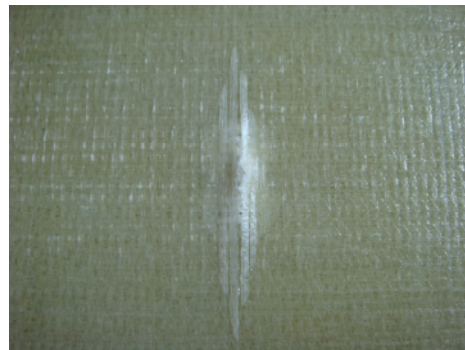
d)

**Şekil 5.30**  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan;

a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



a)

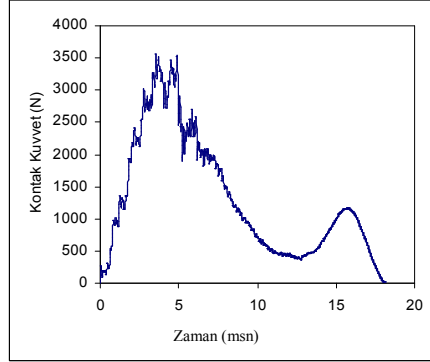


b)

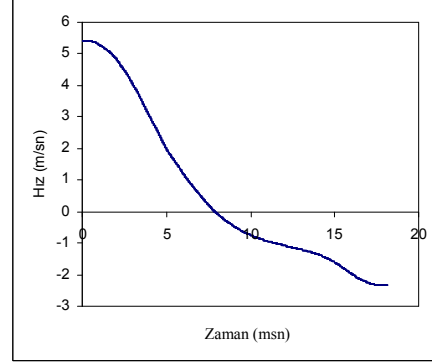
**Şekil 5.31**  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü,

b) numune arkası hasar durumu

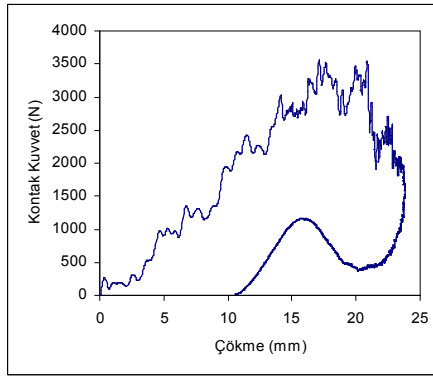
**Deney adı : D1-1-1-6-2-1**



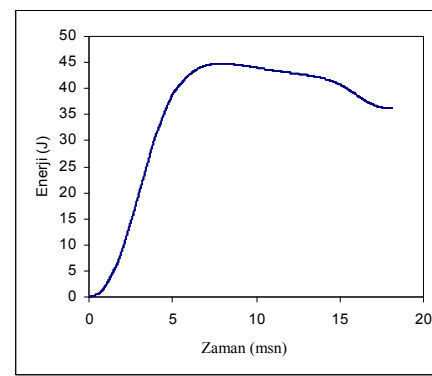
a)



b)

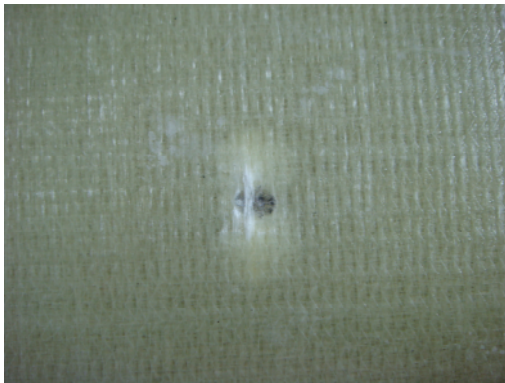


c)



d)

**Şekil 5.32**  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



a)

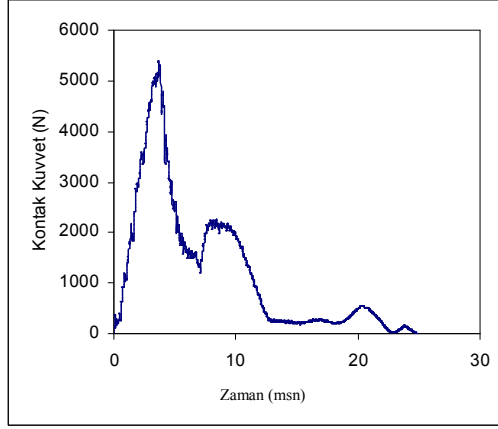


b)

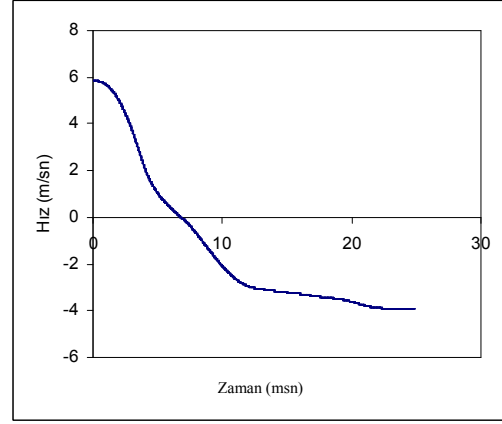
**Şekil 5.33**  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu



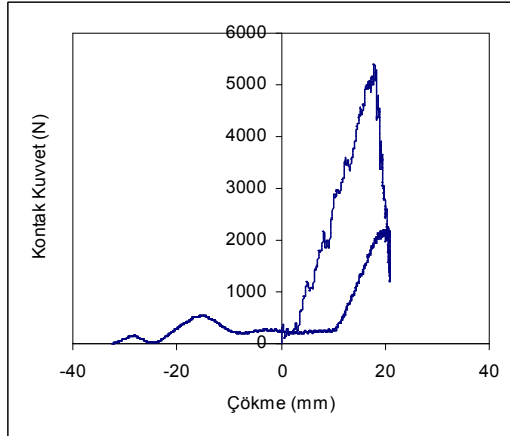
**Deney adı : D1-1-1-7-2-1**



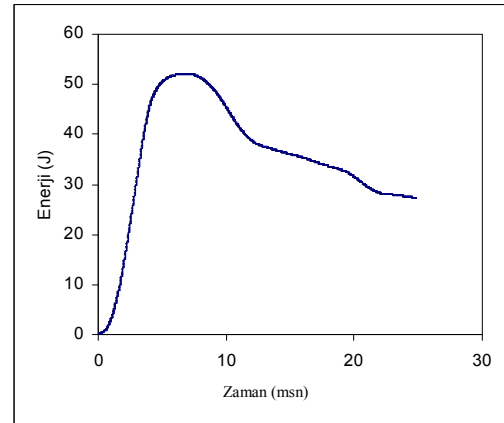
a)



b)

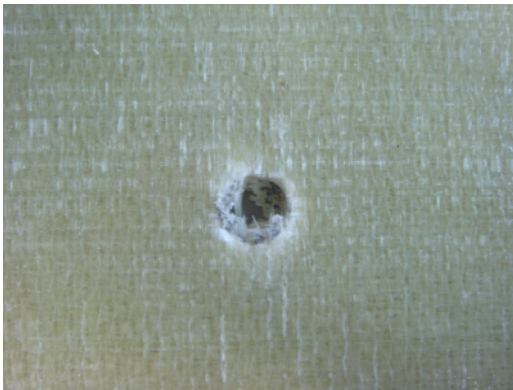


c)



d)

**Şekil 5.34**  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



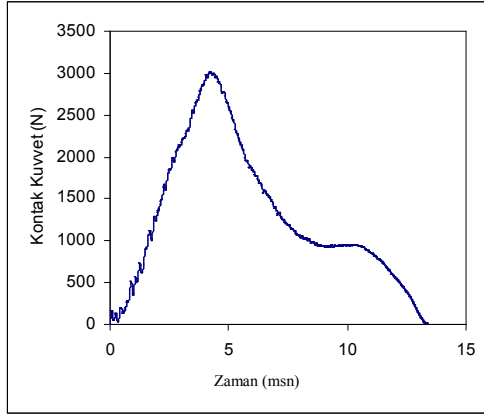
a)



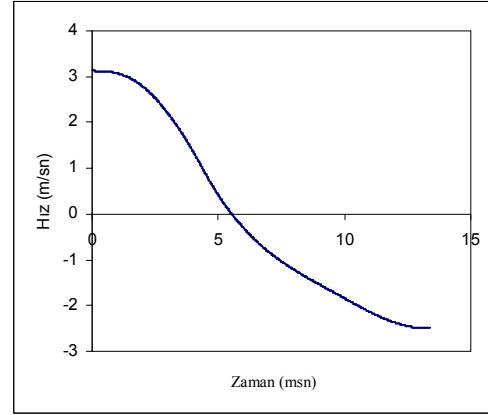
b)

**Şekil 5.35**  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; a) numune öni, b) numune arkası hasar durumu

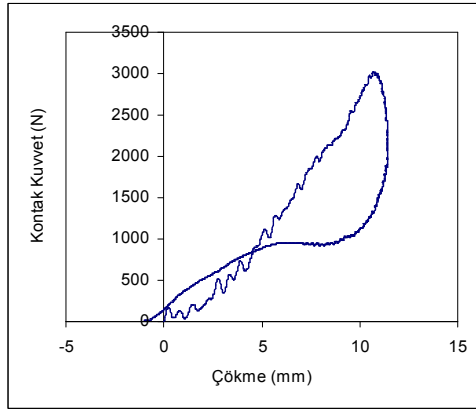
**Deney adı : D2-2-1-2-2-1**



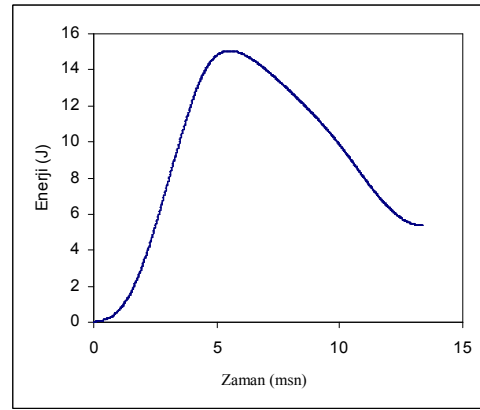
a)



b)



c)

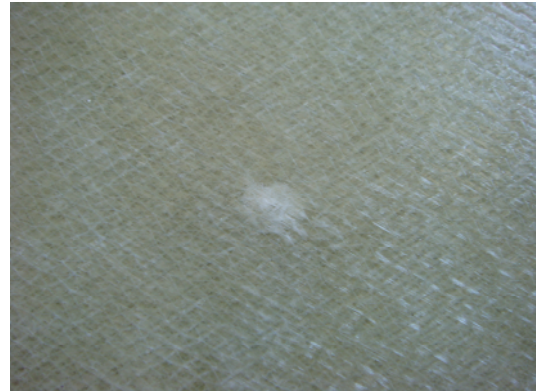


d)

**Şekil 5.36**  $[-30/30]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 14.71J darbe enerjisininde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



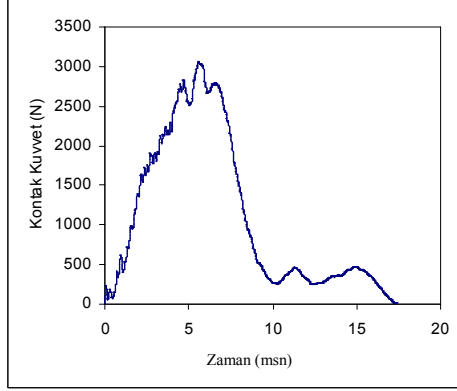
a)



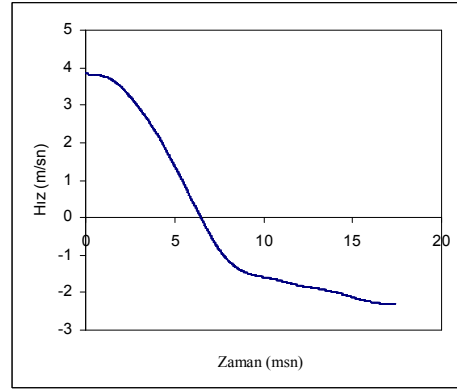
b)

**Şekil 5.37**  $[-30/30]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 14.71 J darbe enerjisininde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

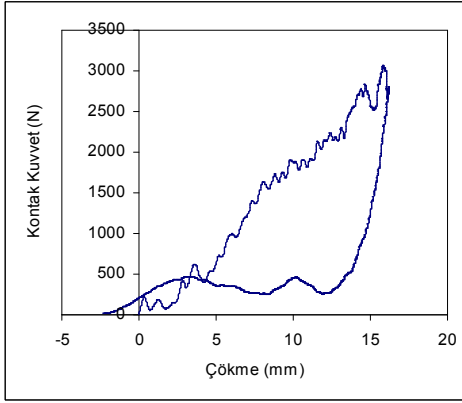
**Deney adı : D2-2-1-3-2-1**



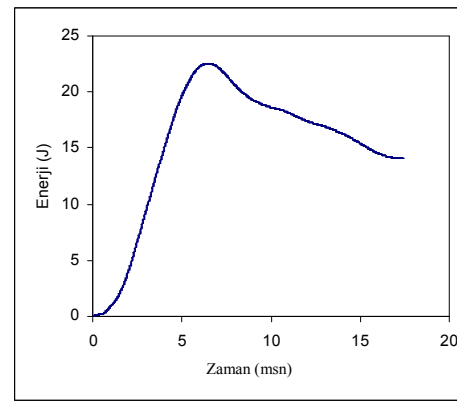
a)



b)



c)



d)

**Şekil 5.38**  $[-30/30]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-çökme eğrileri.



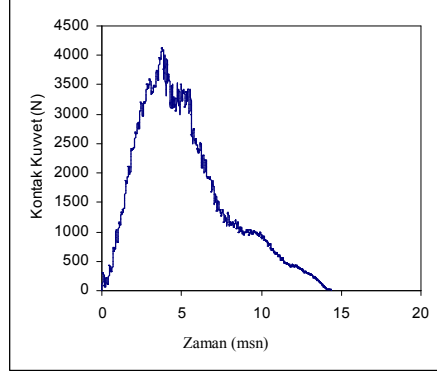
a)



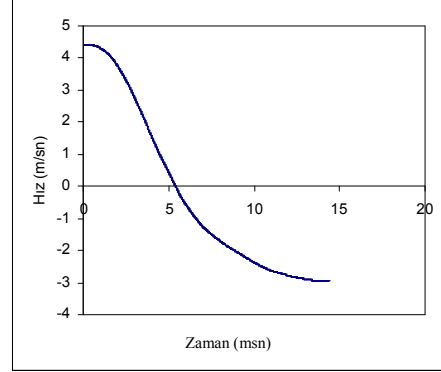
b)

**Şekil 5.39**  $[-30/30]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 22.07 J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

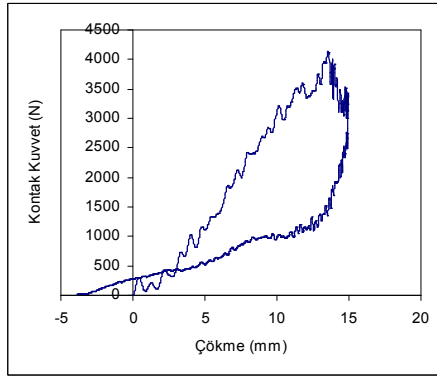
Deney adı : D2-2-1-4-2-1



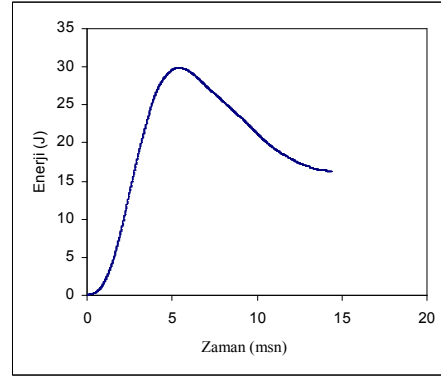
a)



b)

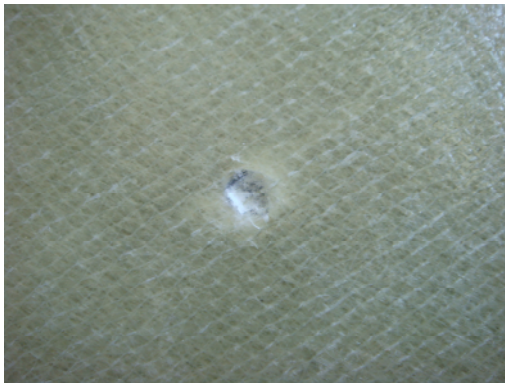


c)



d)

Şekil 5.40  $[-30/30]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



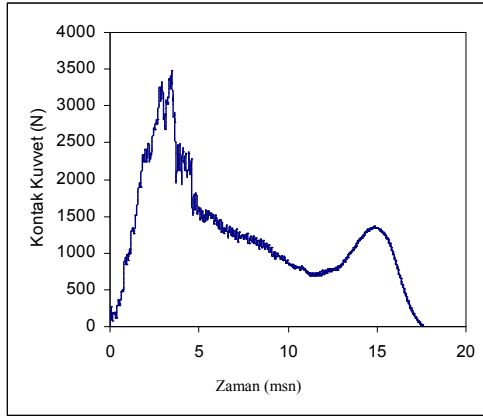
a)



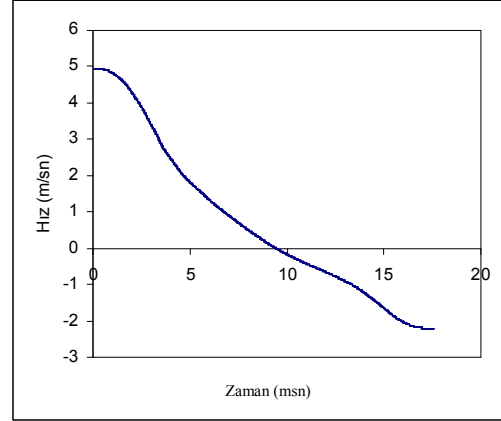
b)

Şekil 5.41  $[-30/30]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 29.43 J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

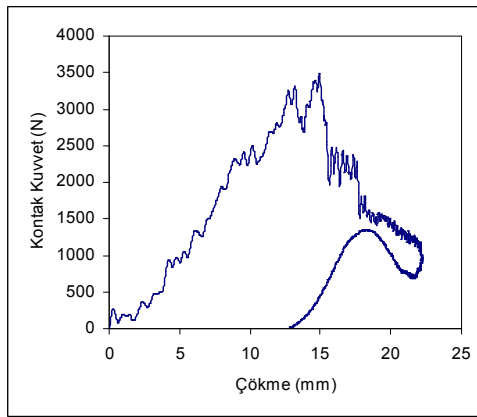
**Deney adı : D2-2-1-5-2-1**



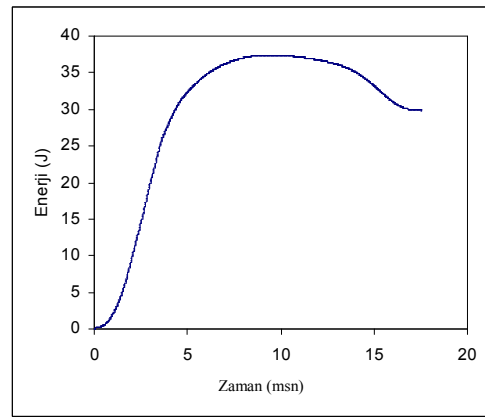
a)



b)



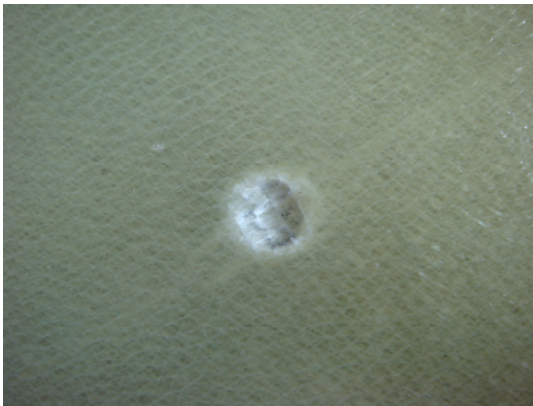
c)



d)

**Şekil 5.42** [-30/30]<sub>4s</sub> simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan;

a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



a)

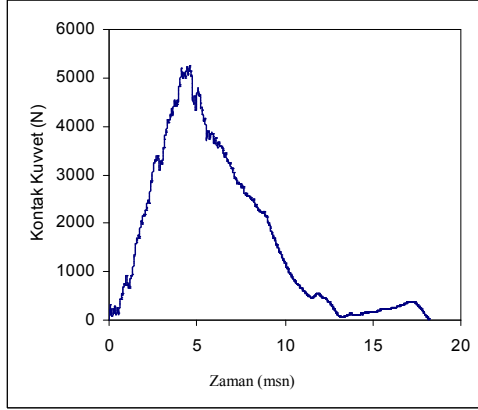


b)

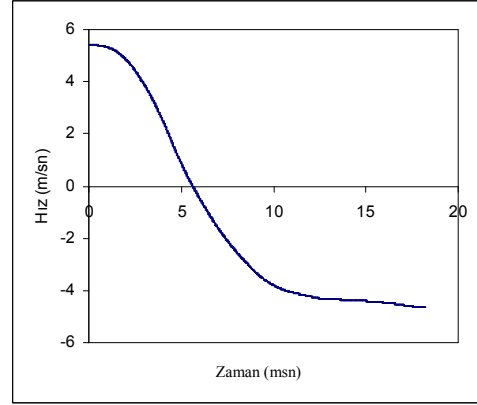
**Şekil 5.43** [-30/30]<sub>4s</sub> simetrik kompozit plak için 36.78 J darbe enerjisinde oluşan; a) numune

önü, b) numune arkası hasar durumu

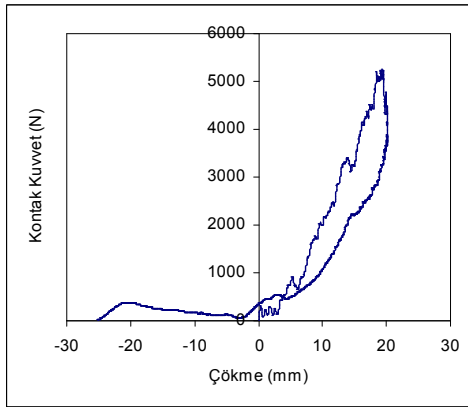
**Deney adı : D2-2-1-6-2-1**



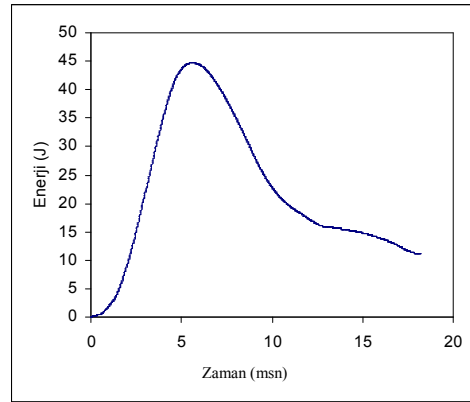
a)



b)



c)



d)

**Şekil 5.44**  $[-30/30]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



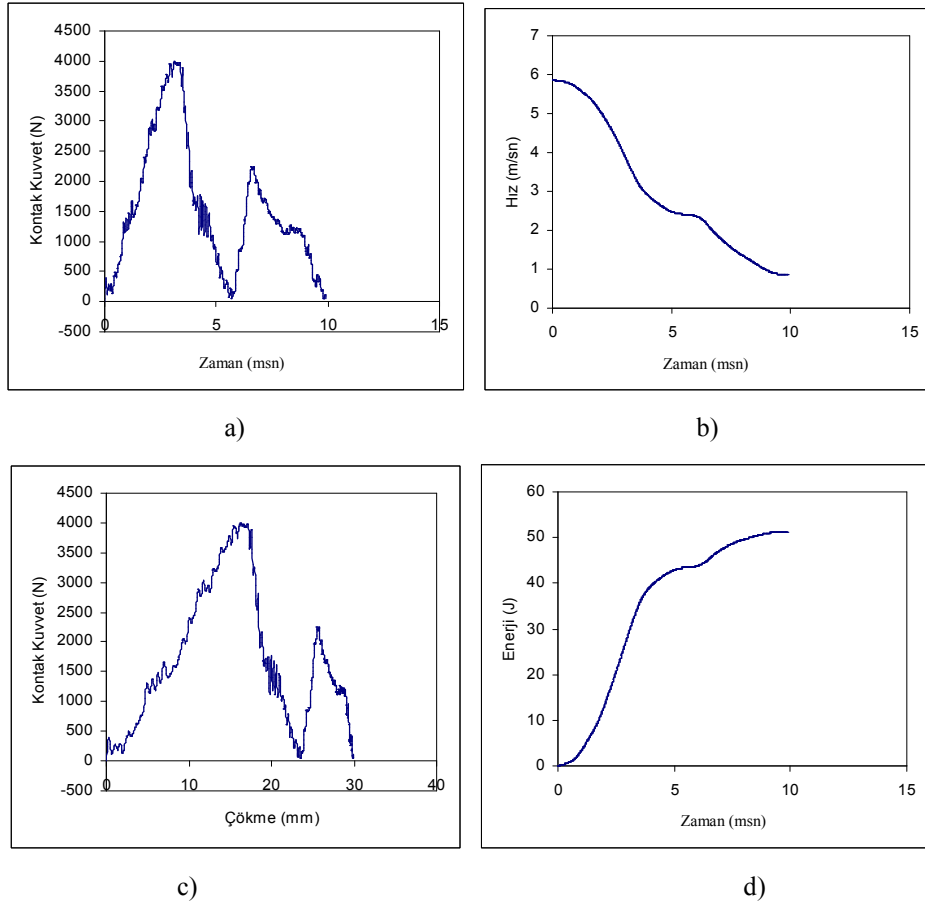
a)



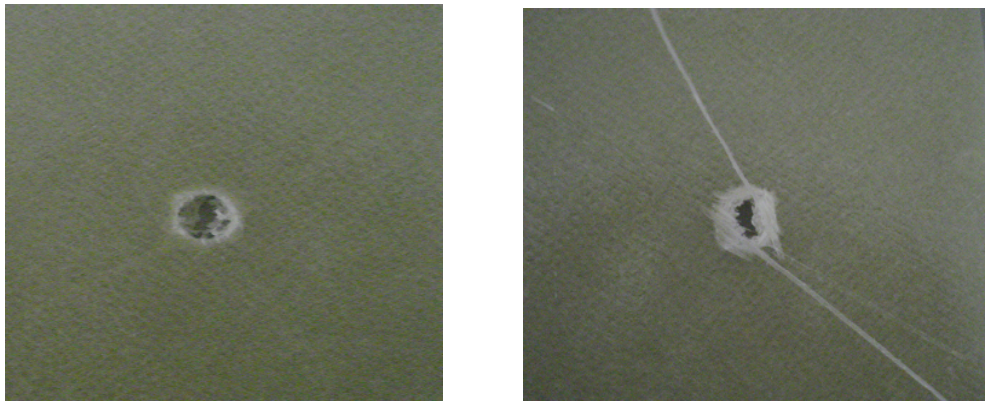
b)

**Şekil 5.45**  $[-30/30]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 44.14 J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

**Deney adı : D2-2-1-7-2-1**



**Şekil 5.46** [-30/30]<sub>4s</sub> simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.

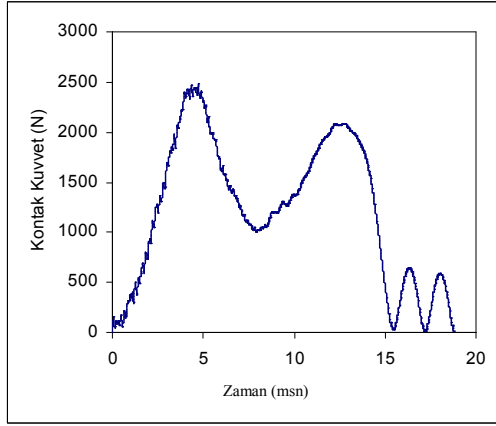


a)

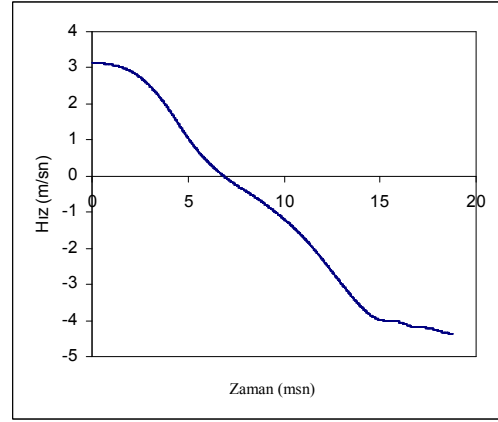
b)

**Şekil 5.47** [-30/30]<sub>4s</sub> simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

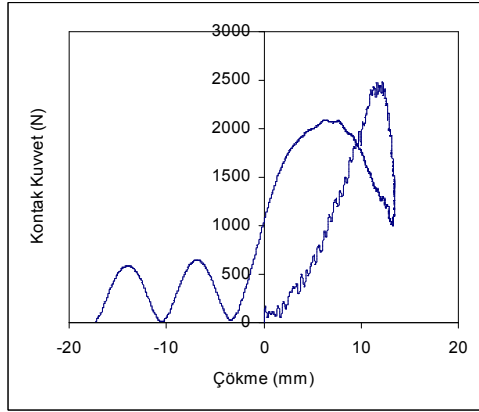
**Deney adı : D3-3-1-2-2-1**



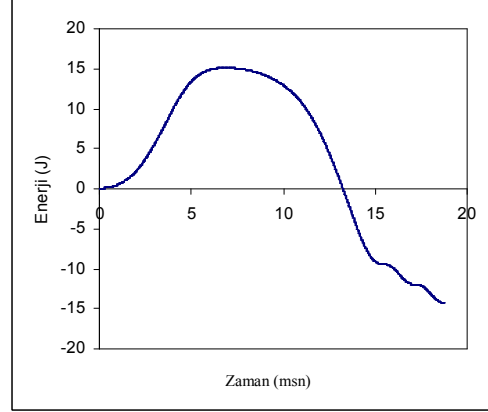
a)



b)

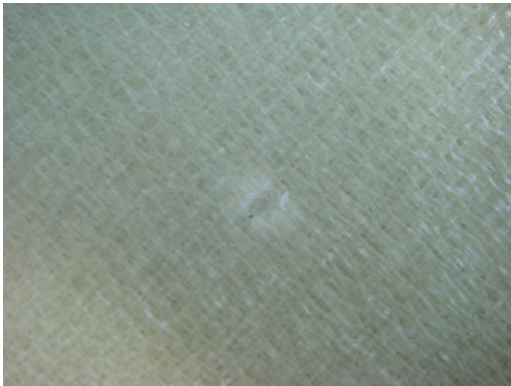


c)

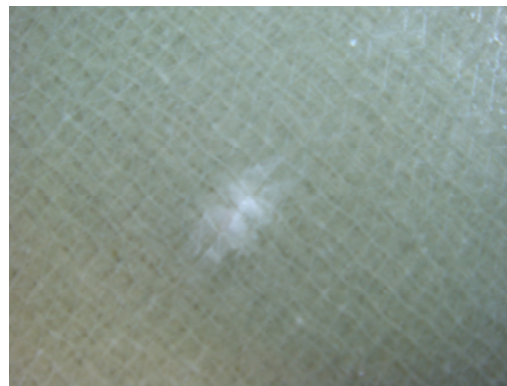


d)

**Şekil 5.48**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 14.71 J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



a)

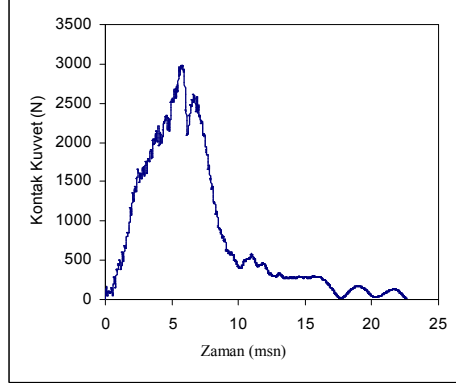


b)

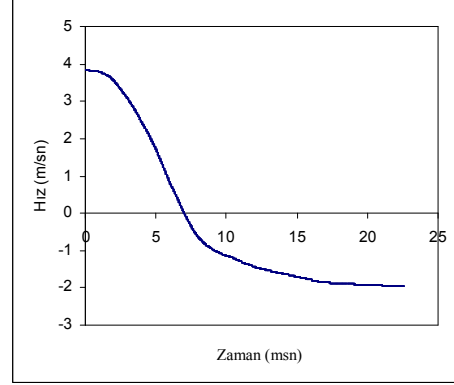
**Şekil 5.49**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 14.71J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu



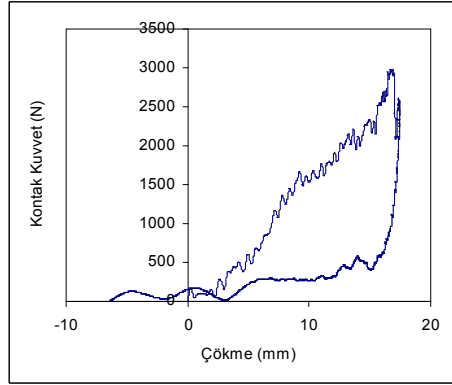
**Deney adı : D3-3-1-3-2-1**



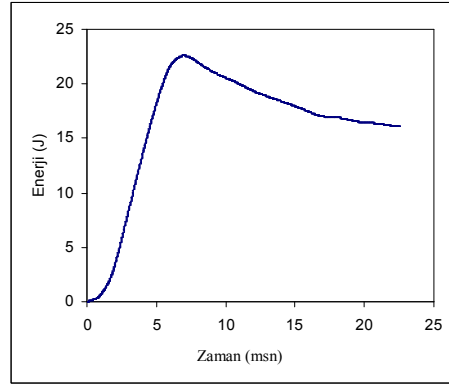
a)



b)

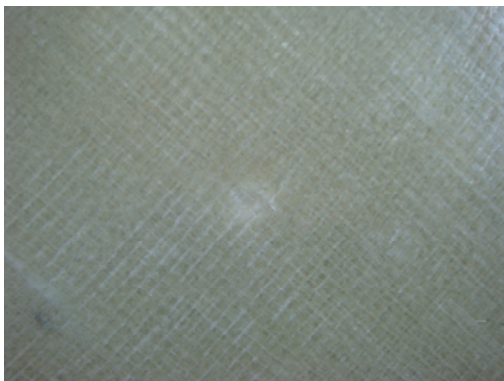


c)

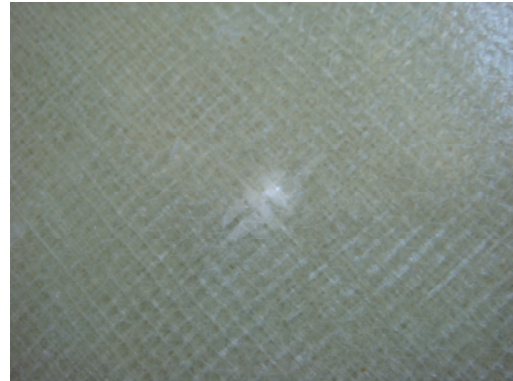


d)

**Şekil 5.50**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



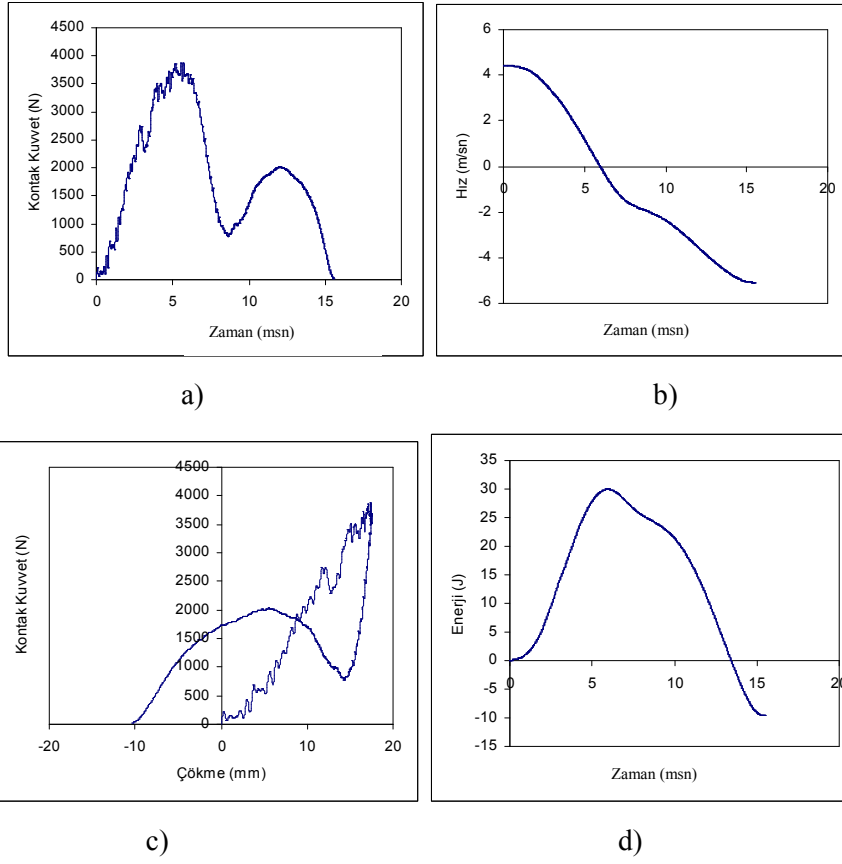
a)



b)

**Şekil 5.51**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 22.07J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

**Deney adı : D3-3-1-4-2-1**

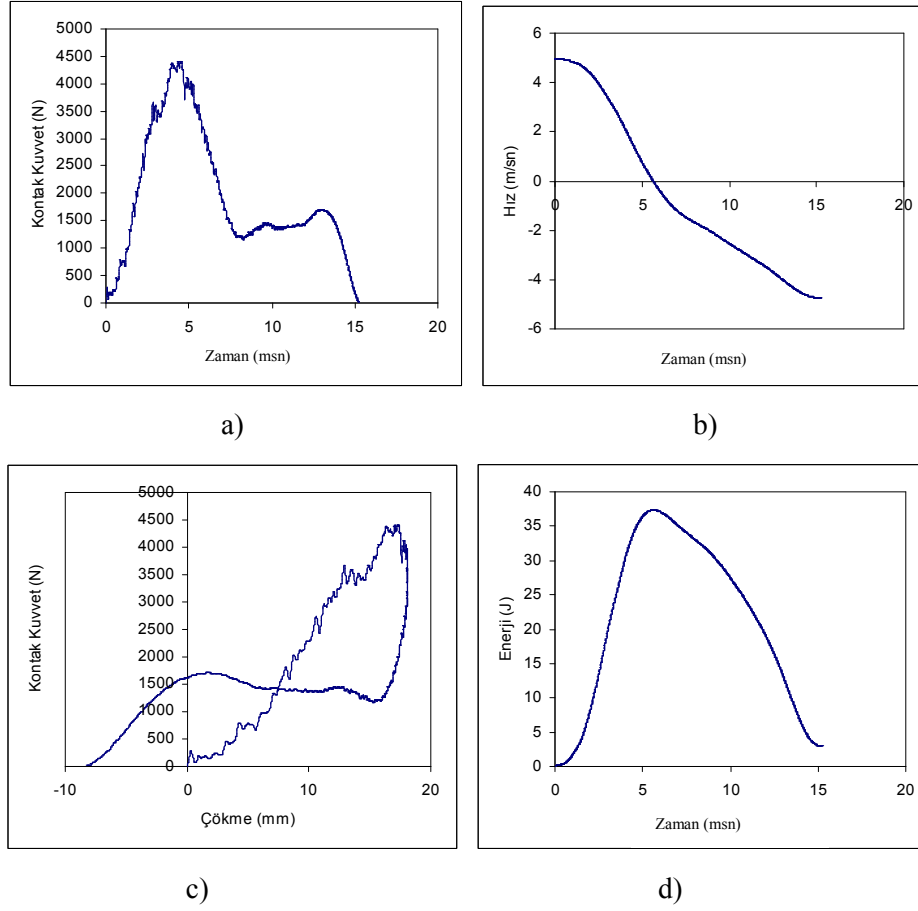


**Şekil 5.52**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.

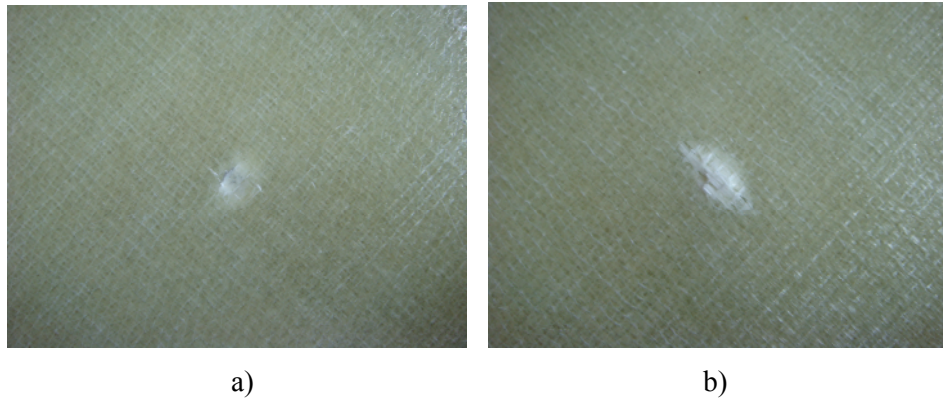


**Şekil 5.53**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 29.43J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

**Deney adı : D3-3-1-5-2-1**

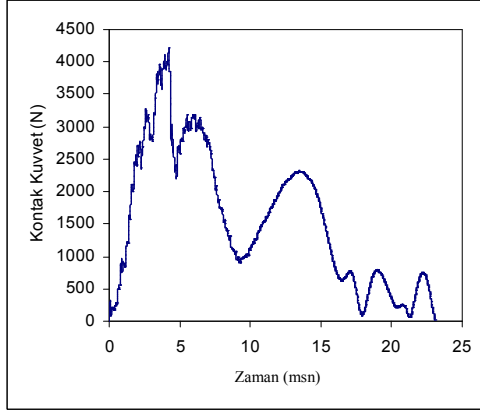


**Şekil 5.54**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.

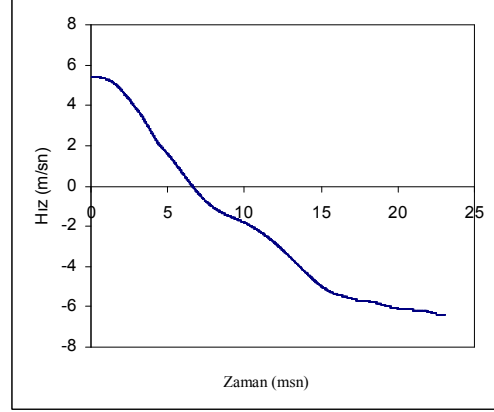


**Şekil 5.55**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 36.78J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü, b) numune arkası hasar durumu

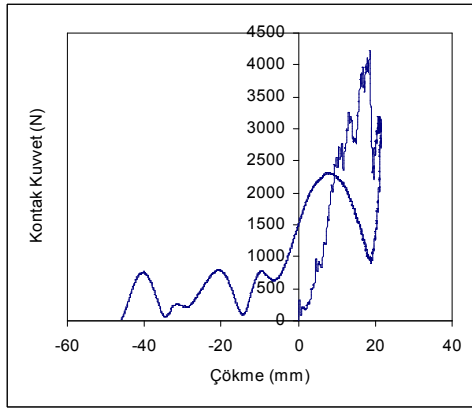
**Deney adı : D3-3-1-6-2-1**



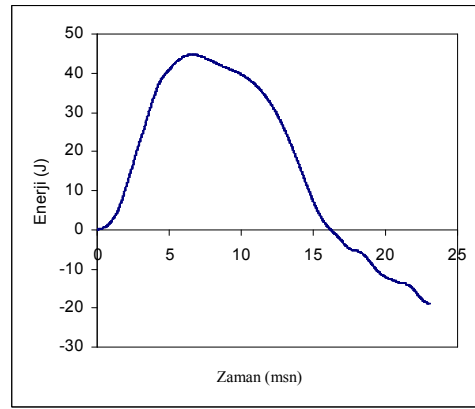
a)



b)

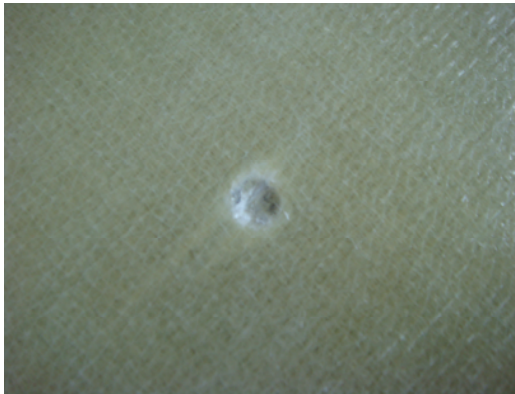


c)



d)

**Şekil 5.56**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



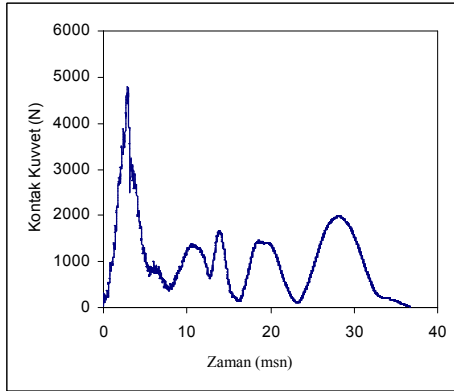
a)



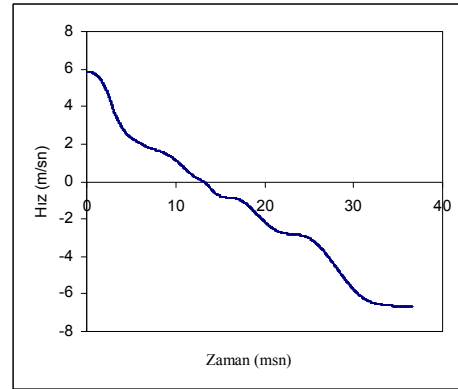
b)

**Şekil 5.57**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 44.14J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü b) numune arkası hasar durumu

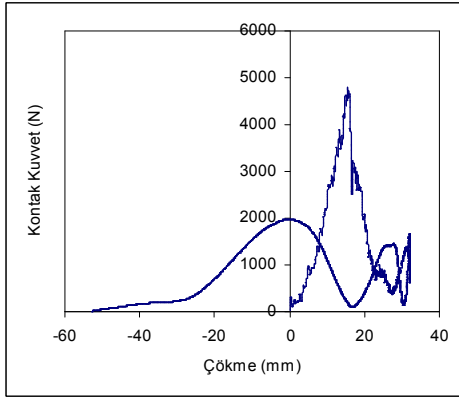
**Deney adı : D3-3-1-7-2-1**



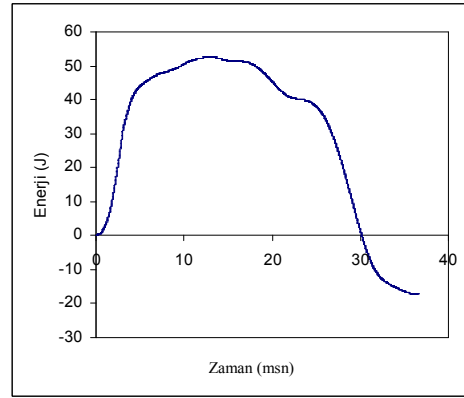
a)



b)



c)



d)

**Şekil 5.58**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; a) kuvvet-zaman, b) hız-zaman, c) kuvvet-çökme ve d) enerji-zaman eğrileri.



a)

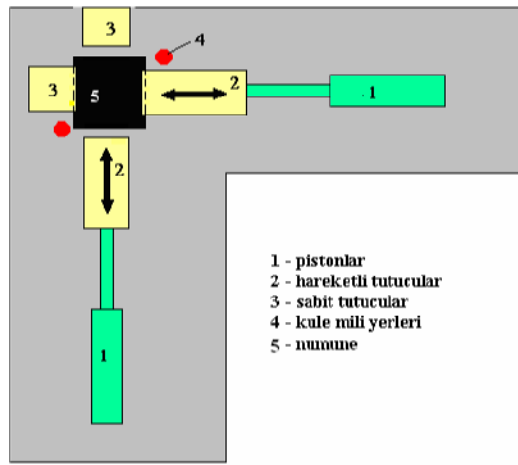


b)

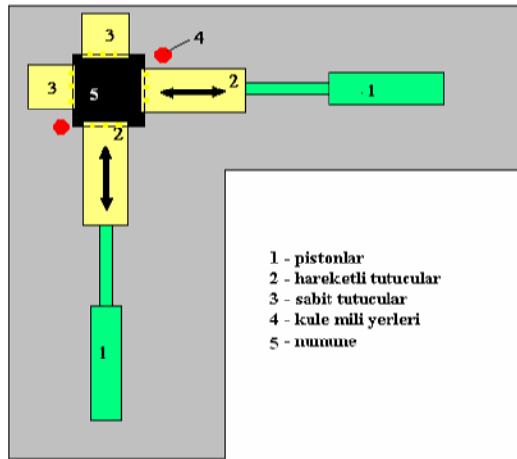
**Şekil 5.59**  $[-45/45]_{4s}$  simetrik kompozit plak için 51.50J darbe enerjisinde oluşan; a) numune önü b) numune arkası hasar durumu

Şekil 5.24 ile şekil 5.59 arası  $[0/90]_{4s}$ ,  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  kompozit için iki taraftan ankastre bağlı durumda yapılan test sonuçlarıdır. Elde edilen grafiklerin yanında numunede oluşan hasar durumlarını göstermek amacı ile darbe sonucu numunenin ön ve arka kısımlarında oluşan hasar resimleri her test grafiği altında gösterilmiştir.

$[0/90]_{4s}$ ,  $[-30/30]_{4s}$  ve  $[-45/45]_{4s}$  numunelerde sadece iki uçtan bağlantı olduğundan malzemelerde esneme fazlaşmış bunun neticesinde tam delinme olayı daha büyük enerjilerde oluşmuştur. Numunelerde 14.7J, 22.07J, 29.43J, 36.8J 44.14J ve 51.5J lük darbe enerji değerlerine çıkmıştır.



Şekil.5.60. Numunenin iki taraftan ankastre bağlantı durumu.



Şekil.5.61 Numunenin dört taraftan ankastre bağlantı durumu.

Şekil 5.60 'da gösterildiği gibi İki uçtan ankastre olarak tutturulmuş numunelerde yapılan deneylerde tam delinme enerjilerinin yükselmesi numunelerin daha esnek olduğunu esneme ile beraber darbe enerjilerinin dolayısı ile absorbe edilen enerji değerlerindeki artışı gözlenmektedir. Bu bölümde çıkarılan her numuneye ait grafik şekilleri hemen hemen benzerlik göstermekle beraber kuvvet-çökme eğrilerinde aşırı derecede sapmalar olduğu, bununda bağlantı şeklinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu durum aynı zamanda numune boyutlerinada bağlıdır. Numune boyutları küçüldüğünde rijitliğin artacağı tabiidir. Kuvvet-çökme grafikleride aşırı esneklik yüzünden sapmalar göstermektedir ki, literatürde de yapılan yayınlarda bu durumlar gösterilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Düşük hızlı darbe deneyleri, Tübitak Kariyer Projesi kapsamında özgün bir çalışma olarak tasarlanan ve imal edilen, mekanik laboratuvarında bulunan test düzeneği üzerinde yapılmıştır.

Deney numunesi olarak seçilen Epoxy/cam elyaf kompozit malzemesi İzmir’de bulunan İzoreel firmasında istekler doğrultusunda üretilmiştir. Numuneler  $[0/90]_s$ ,  $[-30/30]_s$  ve  $[-45/45]_s$  oryantasyon açılarındaki 8 tabakalı ve simetrik olarak ortalama 2mm kalınlığında olup ebatlar 140x140mm olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada, Epoxy/cam elyaf kompozit malzemenin düşük hızlı darbe etkisi değişik enerji değerleri altında, numunelerin dört ve iki taraftan ankastre bağlantı şartlarında incelenmiştir.

### 6.1 Sonuçlar

- Dört taraftan ankastre bağlantı durumunda en az hasar oluşumu aynı enerji altında  $[0/90]_{4s}$  simetrik kompozit numunede meydana gelmiştir. Bu durumda fiber oryantasyon açıları hasar oluşumunda etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Dört taraftan ankastre bağlantıda numunelerde rijitlik daha fazla olduğundan iki taraftan ankastre bağlantıya göre hem darbe enerjisi hemde absorbe edilen enerji değeri daha düşük gerçekleşmiştir. Bu durumda bağlantı şartları numunenin dayanıklılığına ve üzerindeki enerji miktarına doğrudan etki etmektedir.
- Tabakalı kompozitlerde numunelerin istiflenmesi ve fiber oryantasyon açıları arka yüzeyde oluşacak hasar durumlarının oluşumunu belirlemektedir. Delinme olayında en alt tabakadaki fiber oryantasyon açısına göre hasar oluşumu görülmektedir. Tabii ki bu durum iç tabakalarda da oryantasyon açısına göre oluşmaktadır. Bu durumda tabakalı kompozitlerde her bir tabakanın farklı fiber açılarından dolayı hasar oluşumu yavaşlamakta emilen enerji değeride buna göre artmaktadır.
- İki taraflı bağlantılarda numunelerde daha fazla esneme ve buna bağlı olarak enerji artışı görülmektedir. Bu durum tabi olarak numune boyutlarına da bağlıdır.



- Grafiklerde zaman zaman görülen bir takım sapmalar vurucu ucun geri sekmesinde ve delinme olayında vurucu ucun numune ile arasında oluşan sürtünmelerden meydana gelmektedir.

## 6.2 Öneriler

- Numune bağlantı şartlarının oluşan enerjiler ve çökme açısından farklılıklar meydana getirdiği gözlenmiştir. Bu durum göz önüne alınarak malzemenin çalışma şartlarına göre seçim yapılabilir. Tabi ki dört taraflı bağlantılarda mukavemet açısından çökmelerin önemli olduğu durumlarda tercih edilmelidir.
- Burada ara tabakalardaki fiber kırılmaları incelenmemiştir. Ara tabakalarda hasar oluşumunda önemli olduğundan antisimetrik istiflenme ayrıca incelenebilir.
- Numune boyutları ve vurucu uç ağırlığı hem darbe hemde absorbe edilen enerji değeri için önemli olduğundan bu değerler üzerinde değişiklikler yapılabilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Sjoblem, P.O., Hartness, J.T. and Cordell, T.M. (1988). On low velocity impact testing of composite materials J Compos. Matei , 22, 30-52
- [2] Shivakumar, K.N., Elber, W. and IUG, W. (1988). Prediction of low-velocity impact damage in thin circular laminates, AIAA J, 23(3), 442-449
- [3] Altinel, Ertuğ.,(2006).Kompozitlerin Darbeye Karşı davranışına İmpektör Geometrisi ,Plaka Boyutu Ve Kalınlığın Etkisi.
- [4] Mehmet Sabri Ersoy; yüksek lisans tezi (2005);Kahramanmaraş sütçü imam üniv.
- [5] Ceyhun, V., & Turan, M., (2003). Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı. Mühendis ve Makine, Sayı 516.
- [6] Kim, J.K., & Sham, M.L. (2000). Impact and delamination failure of woven-fabric composites. Composites Science and Technology, Vol:60, p:745–761.
- [7] Naik, N.K., Sekher, Y.C., & Meduri, S. (2000). Damage in woven-fabric composites subjected to low-velocity impact. Composites Science and Technology, Vol:60, p:731–744.
- [8] Hou, J.P., Petrinic, N., Ruiz, C., & Hallett, S.R. (2000). Prediction of impact damage in composite plates.Composites Science and Technology, Vol:60, p:273-281.
- [9] Davies, G.A.O., Hitchings, D., & Zhou, G. (1996). Impact damage and residual strengths of woven fabric glass/polyester laminates. Composites: Part A, Vol.:27A, p:1147–1156.
- [10] Sohn, M.S., Hu, X.Z., Kim, J.K., & Walker, L. (2000). Impact damage characterisation of carbon fibre/epoxy composites with multi-layer reinforcement. Composites: Part B, Vol:31, p:681–691.
- [11] Sjögren, A., Krasnikovs, A., & Varna, J. (2001). Experimental determination of elastic properties of impact damage in carbon fibre/epoxy laminates. Composites: Part A, Vol:32, p:1237–1242.
- [12] Abrate, S. (1991). Impact on laminated composites. Appl. Mech. Rev.Vol:44(4), p:155–90.
- [13] Zukus, JA. (1982). Penetration and perforation of solids. Impact dynamics. New York, John Wiley;. p:155–214.
- [14] Robinson P, Davies G. (1991). Impactor mass and specimen geometry effects in low velocity impact of laminated composites. Int J.of Impact Eng.12(2):189–207.
- [15] Hong, S., & Liu, D. (1989). On the relationship between impact energy and delamination area. Exp. Mech., p:115–20.
- [16] Griffin C.F., 1987. damage tolerance of toughened resin graphite epoxy composites. ASTM STP 937;23-33
- [17] Aslan, Z., Karakuzu, R., ve Okutan, B. 2003. “The Response of Laminated Composite Plates Under Low-Velocity Impact Loading”, Composite Structures, Vol:59 119–127.
- [18] Luo RK, Gren ER, Morrison CJ. 1999.” Impact Damage Analysis of Composite Plates. Int. J. Impact” Eng. Vol 22(5), p:435–47.

- [19] C. Ataş and O. Sayman (2008), An Overall View on Impact Resposnse of Woven FABric Composite Plates, *Composite Structures* 82, 336-345.