

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT LEVHALARDA YÜZEY  
FORMUNUN VE ÇEVRESEL AŞINMANIN  
DARBE PERFORMANSINA ETKİSİ**

**Arif Yaşar Ozan YIRTIMCI**

**Temmuz, 2011**

**İZMİR**

# **KOMPOZİT LEVHALARDA YÜZEY FORMUNUN VE ÇEVRESEL AŞINMANIN DARBE PERFORMANSINA ETKİSİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı**

**Arif Yaşar Ozan YIRTIMCI**

**Temmuz, 2011**

**İZMİR**

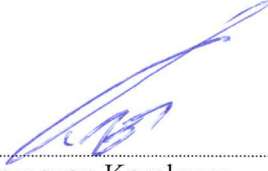
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ARİF YAŞAR OZAN YIRTIMCI, tarafından YRD. DOÇ. DR. MELİH BELEVİ yönetiminde hazırlanan “KOMPOZİT LEVHALARDA YÜZEY FORMUNUN ve ÇEVRESEL AŞINMANIN DARBE PERFORMANSINA ETKİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



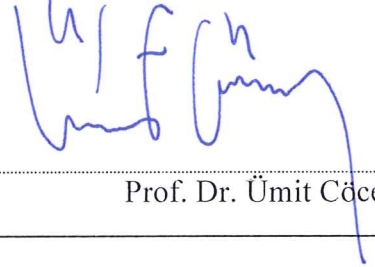
Yrd. Doç. Dr. Melih Belevi

Yönetici



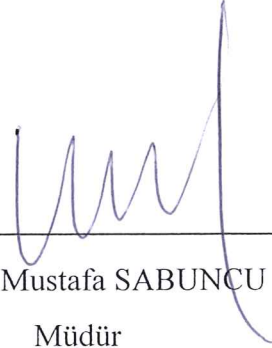
Prof. Dr. Ramazan Karakuzu

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ümit Cöcen

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŐEKKÖR

Bu tezimde bana rehberlik eden değerli danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Melih BELEVİ' ye ve Araő. Gör. Cemal Koęhan' a, deney numunelerinin yapımında emeiği geğen İZOREEL firması ęalıőanlarına, deney aparatlarını hazırlanmasında yardımcı olan YIRTIMCI LTD. firması ęalıőanlarına ve kurucusu babam Mehmet Zeki Yırtımcı' ya, deney ęalıőmalarında her türlü desteği veren Araő. Gör. Mehmet Emin Deniz' e ve düzenlemede yardımcı olan arkadaşlarım Makine ve Kaynak Mühendisi Sinan Ervüz ve Hakan ęaęlaroęlu' na teőekkörü borę bilirim.

Arif Yaşar Ozan YIRTIMCI

# KOMPOZİT LEVHALARDA YÜZEY FORMUNUN VE ÇEVRESEL AŞINMANIN DARBE PERFORMANSINA ETKİSİ

## ÖZ

Bu çalışmada tuzlu suda 50 santigrat derece sıcaklıkta bir hafta boyunca bekletilerek yaşlandırılmış E-glass/epoksi tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe altındaki dinamik cevabı deneysel olarak araştırılmıştır. Tek yönlü takviyelendirilmiş tabakalar [55/55/90]<sub>s</sub> şeklinde düzenlenerek 4 tabakalı numuneler elde edilmiştir ve bu numunelere hızlandırılmış yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Darbe testleri düşey ağırlık düşürme test cihazı ile yapılmıştır. Darbe testlerinde kullanılan vurucu 24 mm çapında, yarı küresel uçlu bir geometriye sahiptir. Vurucu kütlesi 4,926 kg' dır. Testler 4,58 m/s' lik çarpma hızı ve 20 J enerji seviyesinde yapılmıştır. Çalışmalarda 100 mm x 100 mm ebatlarındaki 4 farklı yüzey formuna sahip numuneler, özel imal edilen aparatlar yardımıyla darbe testlerine tabi tutulmuşlardır. Testlerin sonunda numuneler tarafından yutulan enerji değerleri, hasar modları, temas kuvvetleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Plastik matrisli kompozitler, düşük hızlı darbe, ağırlık düşürme, yaşlandırma, eğrilik yarıçapı, sarım açısı.

# **EFFECTS OF THE SURFACE FORM AND AGING TO IMPACT PERFORMANCE OF THE COMPOSITE PLATES**

## **ABSTRACT**

In this study, it has been investigated that dynamic response of the aged composite of E-glass/epoxy layers under low-velocity impact with experimental. Single direction reinforced layers were put in order like to [55/55/0]<sub>s</sub> and 4 layers samples were obtained. Four different surface form samples were produced. The impact tests were conducted with a vertical drop weight testing machine. The impactor has 24 mm in diameter and its mass is 4.926 kg, and it has a geometric figure of a semi globe point. The impact speeds that tests were done with 4.58 m/s velocity and 20 j energy. In the studies, the samples that 100 mm x 100 mm dimensions and four different surface form had been tied to mould which have 100 mm diameters and were applied the impact tests. End of the experiments, It has been investigated absorbed energy, quantity of damage, power of contact and deformations.

**Keywords:** Plastic matrix composites, low-velocity impact, drop weight, aging, orientation, radius of curvature.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|                      |     |
|----------------------|-----|
| TEZ SONUÇ FORMU..... | ii  |
| TEŞEKKÜR.....        | iii |
| ÖZ.....              | iv  |
| ABSTRACT.....        | v   |

## **BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1**

## **BÖLÜM İKİ - KOMPOZİT MALZEMELER ..... 4**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....                | 4  |
| 2.1.1 Elyafli Kompozitler.....                                  | 4  |
| 2.1.2 Parçacıklı Kompozitler.....                               | 5  |
| 2.1.3 Tabakalı Kompozitler.....                                 | 5  |
| 2.1.3.1 Metal Tabakalı Kompozit Malzemeler.....                 | 7  |
| 2.1.3.2 Cam Tabakalı Kompozit Malzemeler.....                   | 7  |
| 2.1.3.3 Ahşap Tabakalı Kompozit Malzemeler.....                 | 8  |
| 2.1.3.4 Tabakalı Lifli Kompozit Malzemeler.....                 | 9  |
| 2.1.4 Karma (Hibrit) Kompozitler.....                           | 10 |
| 2.2 Kompozit Malzemelerin Temel Bileşenleri.....                | 10 |
| 2.2.1 Matris Malzemeleri.....                                   | 10 |
| 2.2.1.1 Epoksi Reçineler.....                                   | 12 |
| 2.2.1.2 Polyester Reçineler.....                                | 13 |
| 2.2.1.3 Metal Matrisli Kompozitler (MMK).....                   | 13 |
| 2.2.2 Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanları (Elyaf lar)..... | 14 |
| 2.2.2.1 Cam Elyaf lar.....                                      | 15 |
| 2.2.2.2 Karbon Elyafı.....                                      | 16 |
| 2.2.2.3 Bor Elyafı.....   | 16 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 2.2.1.1 Aramid Elyafı ..... | 17 |
|-----------------------------|----|

## **BÖLÜM ÜÇ - ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT PLAKALARIN ÜRETİMİ..... 18**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri..... | 18 |
| 3.1.1 Elle Yatırma.....                     | 18 |
| 3.1.2 Püskürtme .....                       | 18 |
| 3.1.3 Elyaf Sarma .....                     | 19 |
| 3.1.4 Reçine Transfer Kalıplama (RTM )..... | 19 |
| 3.1.5 Profil Çekme.....                     | 20 |
| 3.1.6 Hazır Kalıplama (SMC, BMC).....       | 21 |
| 3.1.6.1 Hazır Kalıplama Pestili.....        | 21 |
| 3.1.6.2 Hazır Kalıplama Hamuru.....         | 21 |
| 3.1.7 Vakum Bonding.....                    | 22 |
| 3.1.8 Otoklav Yöntemi .....                 | 23 |

## **BÖLÜM DÖRT - TABAKALI KOMPOZİT MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞI ..... 24**

|   |    |
|---|----|
| 4.1 Düşük Hızlı Darbenin Belirlenmesi .....                             | 25 |
| 4.2 Enine Darbe .....   | 26 |
| 4.3 Darbe Testleri .....  | 27 |
| 4.4 Tabakalı Kompozit Malzemede Darbe Sonucu Oluşan Hasar Modları ..... | 30 |
| 4.4.1 Matris Hasarı .....   | 31 |
| 4.4.2 Delaminasyon .....  | 31 |
| 4.4.3 Fiber Kopması .....   | 33 |
| 4.4.4 Nüfuziyet .....   | 34 |

## **BÖLÜM BEŞ - DENEY ÇALIŞMALARI..... 36**



|   |           |
|---|-----------|
| 5.1 Problemin Tanımı.....                 | 36        |
| 5.2 Ağırlık Düşürme Test Cihazı .....     | 36        |
| 5.3 Deney Numunelerinin Üretilmesi .....  | 37        |
| 5.4 Yaşlandırma İşlemi.....               | 40        |
| 5.5 Deney Aparatlarının Üretilmesi .....  | 41        |
| 5.6 Deneylerin Yapılması.....             | 44        |
| <b>BÖLÜM ALTI - DENEY SONUÇLARI .....</b> | <b>48</b> |
| <b>BÖLÜM YEDİ - DEĞERLENDİRME .....</b>   | <b>61</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                    | <b>63</b> |

## **BÖLÜM BİR**

### **GİRİŞ**

Dünyada artan insan ihtiyacını karşılamak için birçok yenilikler ortaya çıkmaktadır. Hemen hemen her alanda meydana gelen bu teknolojik yenilikler, malzeme alanında da yeni çalışmaları beraberinde getirmiştir.

Gelişen teknolojiyle birlikte doğada bulunan materyallerin özellikleri yetersiz kalmış, malzeme özelliklerini geliştirmeye ihtiyaç duyulmuştur. Elde bulunan malzemelere oranla daha ekonomik, dayanıklı, hafif, ergonomik, kolay imal edilebilir malzeme türleri için çalışmalar hızla artmaktadır. Böylece değişik özelliklere sahip mevcut malzemeleri fiziksel yollarla birleştirilerek oluşturulan kompozit malzemeler büyük önem kazanmıştır.

Kompozit malzemeler istediğimiz özelliğe göre yeni malzeme oluşturmak amacıyla iki veya daha fazla malzemenin özel yöntemlerle birleştirilmesi sonucu oluşturulan yeni malzemelerdir. Birleştirilen malzemeler çıplak gözle veya büyüteçle rahatlıkla gözlenebilir ve birbiri içerisinde çözünmemektedir.

Kompozit malzeme genel anlamda matris ve takviye elemanı olarak iki ana bileşenden oluşur. Takviye elemanı olarak isimlendirilen bileşen; fiber, parçacık ya da ince levha şeklinde olabilir. Matris bileşeni ise takviye edilmiş olan ana kısımdır. Bu malzemelerin birleştirilmesi, bir takım çalışma karakteristiklerinin bu bileşenlerin tek olarak değerlendirildiği durumdakinden daha iyi olmasına imkân sağlar. Buna karşılık bu malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede bazı güçlüklerle karşılaşılabilir. Bu durumun temel nedeni ise kompozit malzemelerin diğer metal malzemelere nazaran daha karmaşık bir yapıda olmasından dolayıdır.

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek, bu malzemenin kullanılabilirliğinin belirlenmesi açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Her malzeme olduğu gibi kompozit malzemelerde ısıl özellikler mukavemet, elastikiyet, rijitlik, darbe davranışı gibi birçok özelliği vardır. Kompozit malzemeyi

oluşturan bileşenlerin bu ve buna benzer özellikleri genel olarak belli olmasına rağmen iki veya daha fazla malzemedan oluşan kompozit malzemenin özelliklerini önceden belirlemek oldukça zordur.

Bu çalışmada farklı yöntemlerle yaşlandırılmış tabakalı kompozit malzemenin dışarıdan gelen darbeye karşı cevabının; ne tür bir tepki vereceğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çünkü darbe davranışına karşı verilen cevaplar, oluşacak hasarın ne tür etkilerinin olacağına belirlenmesi ve malzemenin kullanılabilirliği hakkında önceden fikir edinebilmek için gereklidir.

Kompozit malzemeler birçok alanda kullanılmaktadır ve yabancı cisimler tarafından darbeye maruz kalmaktadır. Darbeden kaynaklanan hasar; bakım ve servis işlemleri sırasında, üretim anında ortaya çıkabilir. Bu darbe sonucunda malzemenin mukavemeti düşebilir.

Uygulama alanına göre malzemenin maruz kaldığı darbeler çok farklı biçimlerde oluşabilir. Genel anlamda darbeler iki farklı şekilde düşük ve yüksek hızlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bazı çalışmalarda düşük hızlı darbenin hedefin rijitliğine, malzemenin özelliklerine göre 1-10 m/s arasındaki hızlar arasında olabileceğini ifade etmektedir.

Bu çalışmada kullanılan örgülü termoset kompozitler birçok alanda kullanılmıştır ve bu alanlarda düşük hızlı ve düşük enerjili darbeler çok önemlidir çünkü bu darbeler yüzey hasarı oluşturmakta, matris mikro kırıklara neden olmakta ve ayrıca delaminasyona da sebep olmaktadır.

Geçmiş yıllarda kompozit malzemelerin darbe davranışı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bir çalışmada kendini onarabilen kompozit malzemeler üzerinde düşük hızlı darbe dayanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Deneyleri sonucunda eklenen cam pipetlerin kompozit malzemelerin darbeye verdikleri cevabı değiştirmedeğini görmüştür. Diğer bir çalışmada E-glass epoksi kompozitlerin düşük hızlı darbeden sonra sıkıştırılabilir performansını araştırılmıştır, sürekli cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemelerin pim-disk şeklindeki aşınma deneyi cihazı ile kuru

ortamda aşınma davranışlarını incelenmiştir. Kompozit malzemeyi, 10 mm çapındaki ve 200 mm uzunluğundaki E-glass demetlerini epoksi reçine içine koyarak presleyip üretmişlerdir. Saf epoksi reçine numunelerinde kayma hızının artmasıyla hızlı bir şekilde ağırlık azalması meydana gelirken, E-glass takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemede ise, kayma hızının artmasıyla numunelerde önce bir ağırlık azalması daha sonra hafif bir yükselme olduğunu tespit etmişlerdir. Surendra Kumar ve ark. (2007) E-glass epoksi kompozitlerin HCl' ye maruz kaldıktan sonra mekanik performansını incelemişlerdir. Elyaf sarma yöntemiyle üretilen numuneler 50 °C' ye kadar fırında ısıtılmıştır. Isıtılan numuneler 7 gün boyunca 0%, 5%, %40 HCl asit çözeltilerine bırakılmıştır. Daha sonra bu numunelere 3 noktalı bending testi uygulanmıştır. Muzaffar Khan ve ark. (2008) yaşlandırmanın kompozit malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Üretilen kompozit malzemeler düşük sıcaklıkta, atmosferde, kimyasal suda, %95 nemli ve çok ıslak ortama maruz bırakılmıştır.

Bu çalışmada ise, darbe davranışı ile ilgili özellikleri tespit edilmek üzere İzoreel firması tarafından E-glass epoksi bileşimiyle üretilen ve [55/55/90]<sub>s</sub> şeklinde açışal elyaf dizilimine sahip 4 tabakalı 100 mm, 125 mm, 160 mm eğrilik yarıçaplarında malzemeler kullanılmıştır. Elyaf sargı yöntemiyle üretilen numunelerin bir kısmına 50 °C tuzlu suda 1 hafta bekletilerek yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Test cihazında darbe esnasında numune üzerine etkiyen temas kuvveti elektronik sensör tarafından ölçülerek bilgisayara aktarılmış ve elde edilen kuvvet-zaman değişiminden de hız-zaman, yer değiştirme-zaman, kuvvet-yer değiştirme grafikleri çıkarılmıştır. Bu grafiklerden numune tarafından yutulan enerji değeri tespit edilmiştir.

## **BÖLÜM İKİ**

### **KOMPOZİT MALZEMELER**

Bu bölümde kompozit malzemeler hakkında temel bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Kompozit malzemelerin tipleri, karakteristikleri ve nerelerde kullanıldıkları temel hatlarıyla açıklanmıştır. Kompozit malzemelerle ilgili birçok tanım bulunmaktadır.

Bunlardan bazıları:

- Bir kompozit malzeme aralarında kabul edilebilir bir kesişim noktası bulunan iki veya daha fazla malzemenin birleşimidir.
- Kompozit malzemenin içerisindeki kompozit kelimesi iki veya daha fazla malzemenin makroskobik ölçüde bileşimini temsil etmektedir.

Genel mühendislik malzemeleri de (çelik, alüminyum vb.) farklı fazlarında içerisinde farklı yapılar oluşturmaktadırlar. Fakat bu fazlarda bu malzemeler kompozit olarak adlandırılmaz çünkü elastisite modülü ya da mukavemeti saf malzemeyle neredeyse aynıdır. Kompozit malzemenin tanımında esnek ve özel gereklilikleri donatmak için artırılabilir. Bu konuda bir kompozit malzeme iki ya da daha fazla malzeme içeren ve bu malzemeler arasında mikroskobik derecede uyum bulunan bir yapı olarak düşünülmüştür.

#### **2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

##### ***2.1.1 Elyafli Kompozitler***

Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf

takviyelerle her iki yönde eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflara ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.

Elyafın mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonunda elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.

### ***2.1.2 Parçacıklı Kompozitler***

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilir. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların sertlikleri ve sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler.

### ***2.1.3 Tabakalı Kompozitler***

Tabakalı kompozitler bilinen en eski kompozit malzeme şeklidir. En az iki değişik levha malzemenin tabakalar halinde dizilerek oluşturduğu malzemelere tabakalı kompozit malzemeler denir. Ayrıca; tabakalar halinde bulunması her tabakanın ayrı bir kompozit olmasına izin vermektedir. Tabakalı kompozitlerin tasarım, üretim, standartlaştırma ve kontrolü diğer kompozitlerden daha kolay olmaktadır. Bu kompozitlerde özel gereksinimleri karşılamak amacıyla birden çok tabaka birlikte kullanılabilir. Bunlara sandviç malzeme de denir. Tabakalama işlemiyle kompozit

malzemenin mukavemeti, katılığı, aşınma direnci, ısı yalıtım özellikleri iyileşirken çekiciliği de artar.

Tabakalı kompozit malzemeler en az iki tabakadan oluşurlar. Ancak, dayanım ve mekanik özelliklerin özellikle önem taşıdığı hallerde, malzemenin bu özelliklere sahip olabilmesi için en az üç veya daha fazla tabaka kullanılmaktadır. Bu tabakaları oluşturan malzemeler farklı olabileceği gibi, aynı tür malzemede de yapılabilmektedir.

Tabakalı kompozitlerin üretiminde, genel olarak tabaka niteliğindeki her türlü malzeme kullanılabilir. Burada ilke birbirlerinin özelliklerini olumlu yönde takviye edecek bir kompozisyonun oluşturulmasıdır. Tabakalı kompozitlerin üretiminde farklı türden veya tek türden malzeme kullanılabilir. Tabakalı kompozitleri, üretimde kullanılan malzemelerin türlerinden hareketle,

- Farklı malzemelerden oluşan tabakalı kompozit malzemeler,
- Tek tür malzemelerden oluşan tabakalı kompozit malzemeler, şeklinde iki grupta toplamak mümkündür.

Bunun yanı sıra tabakalı kompozit malzemeleri;

1. Metal Tabakalı Kompozit Malzemeler
2. Cam Tabakalı Kompozit Malzemeler
3. Polimer Esaslı Tabakalı Kompozit Malzemeler
4. Ahşap Tabakalı Kompozit Malzemeler
5. Tabakalı Lifli Kompozit Malzemeler

Olarak da 5 şekilde sınıflandırılabilir.

### *2.1.3.1 Metal Tabakalı Kompozit Malzemeler*

Bimetaller farklı ısı genleşme özelliğine sahip iki metal şeritten oluşmaktadır. Ortam sıcaklığının değişmesi sonucunda, bimetal oluşturulan metal tabakalar farklı oranlarda boyutsal değişiklik gösterirler. Belirli bir referans sıcaklığındaki şekli ve konumu bilinen bu kompozit malzemenin şekil değiştirme özelliğinden farklı alanlarda yararlanılmaktadır. Örneğin; termometre, termostat, termik şalter ve benzeri elemanlar bimetal malzeme kullanılarak ta üretilmektedir. Bimetaller sıcaklığın etkisiyle birbirine birleşik olan bu metallere daha az genleşme gösteren şeridin yönüne bükülmektedir. Sıcaklığın başlangıç sıcaklığına göre artması ve azalmasıyla deformasyonun yönü değişmektedir. Metal ve metal olmayan katmanlardan oluşan kompozitler de üretilmektedir. Bu malzemeye örnek olarak, genelde her iki yüzeyi de boyalı veya farklı bir yüzey işlemleriyle korunmuş alüminyum levhaların bir polimer malzemeyle birlikte oluşturdukları kompozit elemanlar gösterilebilir. Bunlar, yüzey kaplamada ve cephe boyası olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca su yalıtımında kullanılan metal tabakalı bitüm kompozitleri de yine böyle bir yapıya sahiptir.

### *2.1.3.2 Cam Tabakalı Kompozit Malzemeler*

Tabakalı kompozit malzemeler içinde cam tabakalarla üretilen kompozitler önemli bir gurubu oluşturur. Bilindiği gibi cam saydam olmasının yanı sıra, dış ve iç ortam koşullarına çok iyi dayanım gösteren bir malzemedir. Ancak kırılma riski yüksek olan yerlerdeki uygulamalarda sorun oluşturmakta ve çeşitli açılardan tehlike meydana getirebilecek olan bu özelliğın giderilmesi gerekmektedir. Cam tabakalı kompozit malzeme en basit biçimiyle, iki cam tabakası arasında bir PVB (polivinilbuteral) tabaka konularak, tabakaların belirli bir sıcaklıkta ve basınç altında yapıştırılmalarıyla elde edilmektedir. PVB kırılmaksızın çok yüksek oranda şekil değişikliği gösterebilen esnek bir malzemedir. Üretimin öncesinde yarı saydam plastik bir film olan PVB tabakası, uygulama sırasında sıcaklığın etkisiyle saydamlaşmakta ve her iki yanındaki cam tabakalarının yüzeyine



yapışmaktadır. Böylelikle, ortada PVB katmanı olan ve bu katmanla birbirine yapışmış, her iki yüzeyi cam olan kompozit malzeme elde edilmektedir.

Yüzeyleri oluşturan cam tabakaların dış atmosfer koşullarına dayanımını ve saydamlık özelliğini koruyan bu kompozit malzemenin, darbe etkisiyle kırılması halinde parçalar dağılmamakta ve dolayısıyla tehlikeli bir durum oluşturmamaktadır. Bu kompozit malzemenin üretiminde cam ve PVB tabakalarının sayıları çoğaltılarak kompozitin dayanımı da arttırılabilmektedir.

Kırılma sırasında camın dağılması veya yabancı cisimlerin geçişine karşı dirençli olması nedeniyle kullanılan tabakalı camlar, şeffaflık ve geçirgenlik polimer malzeme katmanlarının bir arada kullanılmasıyla çeşitli kompozit malzemeler üretilmektedir. Cam lifi veya asbest lifi dokumalara silikon emdirilmesiyle yüksek sıcaklığa dayanıklı tabakalı kompozitler de elde edilmektedir.

Ayrıca cam ve naylon elyaf dokumalar çeşitli reçinelerle tabakalar halinde birleştirilerek, çarpmaya, herhangi bir nesnenin batmasına veya benzer etkilere dirençli, çok hafif kompozitler üretilmektedir. Bu malzemeler çeşitli amaçlı zırh kalkan ve benzeri elemanların yapımında da kullanılmaktadır. Plastik esaslı tabakalı kompozit malzemelerin çok değişik türleri mevcuttur ve farklı alanlarda kullanılmaktadır.

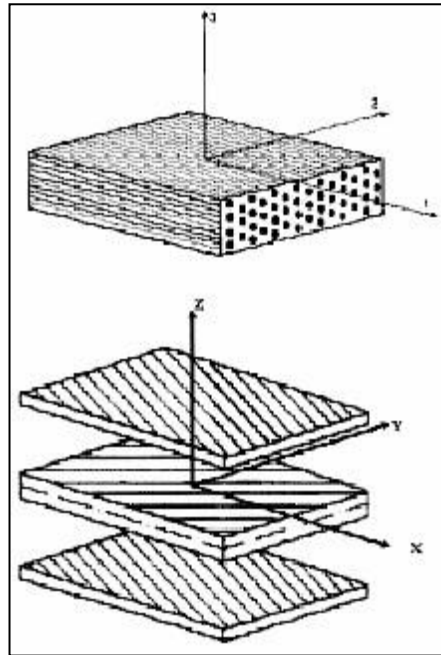
### *2.1.3.3 Ahşap Tabakalı Kompozit Malzemeler*

Ahşap, tabakalı malzeme üretiminde kullanılan en eski malzemelerden biridir. Bilindiği gibi ahşap organik bir malzeme olarak, lifli yapısıyla çeşitli yönlerden gelen mekanik etkilere değişik seviyede direnç göstermekte, genellikle su ve nemden aşırı ölçüde etkilenmektedir. Ayrıca doğal ahşaplardan büyük boyutlu levhalar ve panolar üretilmemektedir. Bu yüzden çeşitli işlemlerle ahşap malzeme, artıklarıyla birlikte değerlendirilebilmekte ve özellikle büyük boyutlu, doğal olarak elde edilmesi mümkün olmayan yapay ahşap levhalar üretilmekte, yapı elemanları

yapılabilmektedir. Ayrıca, bu tür ahşap malzemeler çoğu kez özel hammaddeler gerektirmediğinden, maliyetleri de düşük olabilmektedir.

#### 2.1.3.4 Tabakalı Lifli Kompozit Malzemeler

Tabakalı lifli kompozit malzemelerde, liflerle donatılı kompozit malzeme tabakaları, farklı yönlerde yer alan ve böylelikle çeşitli yönlerde, kompozite farklı dayanım özellikleri kazandıran lif donatıyı da içermektedir. Bu tabakalar genelde, lifli kompozit malzeme tabakasının matris malzemesi olan reçineyle veya daha farklı maddeler ve yöntemlerle özel şekillerde bir araya getirilmektedir. Tabakalı liflerle donatılı kompozit malzemeye örnek olarak, deniz tekneleri, çeşitli taşıtların kaporta bölümleri, su tankları, uçakların kanat panelleri ve gövde kısımları gösterilebilir.



Şekil 2.1 Elyaf takviyeli kompozit Malzemedeki tabakaların farklı açılarda dizilimi (Aran A. 1990)

### **2.1.4 Karma (Hibrit) Kompozitler**

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olayıdır. Bu tip kompozitlere hibrit kompozit denir. Örneğin kevlar ucuz ve tok bir elyaftır. Ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır.

Bu iki elyafın kompozit yapıda bir arada bulunması ile elde edilen hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitten daha iyi aynı zamanda maliyeti daha düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.

Farklı tiplerdeki kompozitler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

1. Matris içinde iki ya da daha fazla tabaka içerirler. Her tabaka belirli bir yöndeki takviyeleri içerir ve her bir tabakada belirli bir tip elyaf kullanılmıştır. Tabakalar amaca göre istenilen şekle göre yerleştirilirler.
2. İki ya da daha fazla elyaf karışım halinde aynı tabakada yer alır ve tabakalar istenilen şekilde birleştirilerek hibrit kompozit elde edilir.
3. Reçine matrisli tabakalar ve metal matrisli tabakalar gibi farklı kompozit yapıları içeren süper hibritler elde edilebilir. Süper hibritlerde tabakalar bir yapışkan malzeme ile birleştirilirler.

## **2.2 Kompozit Malzemelerin Temel Bileşenleri**

### **2.2.1 Matris Malzemeleri**

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra

elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir.

Kompozit malzemeyi oluşturan ana bileşenlerinden birisi olan matris malzemenin önemli özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- \* Matris, elyafları bağlar ve yükü elyaflara iletir. Yapıya, rijitlik kazandırır.
- \* Matris, elyafları bir arada tutarak, elyafların bağımsız davranmalarına yardımcı olur veya çatlakların ilerlemesini yavaşlatır.
- \* Matris, iyi bir yüzey kalitesi sağlar.
- \* Matris, takviye elamanlarını kimyasal etkilere ve mekanik hasarlara karşı korur.
- \* Matris malzemesi kompozit malzemenin darbe dayanımına önemli etkisi vardır.

Polimerik matrisli kompozitler (PMC), birçok mühendislik uygulamalarında tercih edilen malzeme özelliklerine sahiptir. Rijitlik, dayanım, darbe özellikleri ve aşınma dayanımı gibi faktörler, bu malzemeleri özellikle uçak sanayi, inşaat mühendisliği, gemi ve otomobil endüstrisi için cazip kılmaktadır. Uygulamaların birçoğu dinamik yükleme koşulları altında çalışmaktadır. Uçak endüstrisinde; kanatlar, türbin bıçakları gibi uçak yapılarında bu malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler kus çarpmaları veya yabancı maddelerden kaynaklanan yüksek hızda darbelere maruz kalmaktadır. Otomotiv, gemi ve inşaat yapıları da kullanım sırasında yabancı maddelerden dolayı yüksek hızlı darbelere maruz kalabilirler.

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

### *2.2.1.1 Epoksi Reçineler*

Epoksiler iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar. Polinefolün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Viskoz ve açık renkli bir sıvı halindedirler.

Epoksi reçineleri bifenol A ile epiklorhidridin reaksiyon ürünü olup sertleştirici ile karıştırıldığında sıcaklıkta veya fırımlandığında belli bir sürede sertleşir ve bir plastik görünümü alır. Önemli özellikleri olarak sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilmeleri, elektrik, ısı, kimyasal dirençleri ile mekanik özelliklerinin yüksek olması, hava şartlarından etkilenmemeleridir.

Epoksi reçineler, reçine türüne ve son kullanım yerine göre sıvı veya katı olarak temin edilebilir. Bu reçineler, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta kür edilerek termoset son ürün haline dönüştürülür. Epoksi reçineler termoset formunda mükemmel mekanik dayanıklılığa, yüksek dielektrik direncine, iyi boyutsal kararlılığa, kimyasal ve ısıl dirence sahiptirler. Sertleşme sırasında kendini çekme sorunu yoktur. Birçok elyaf ile iyi bağ oluşturur ve ayrıca kimyasal dayanımları da yüksektir.

### 2.2.1.2 Polyester Reçineler

Özellikle cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin üretiminde çok yaygın olarak kullanılırlar. Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Katı, sıvı termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir.

Polyester reçineler 100 °C sıcaklığın altında mekanik ve kimyasal dayanım bakımından iyi olup, fiyatları düşüktür. Polyesterin sertleşme öncesinde viskozitesi düşüktür ve cam elyafını çok iyi ıslatır. Kompozit malzemelerde matris olarak kullanılırken dolgu malzemeleri katılabilir.

Bunun yanında polyester reçinenin dezavantajları; sertleşme sırasında kendini çekme oranı (% 5–12) yüksektir. Bu durum elyafların basma gerilmesi altında burkulmasına neden olabilir. Bu nedenle malzemenin basma gerilmesi altındaki dayanımı düşüktür ve düzgün yüzey elde etmek güçtür. Özellikle alkali ve bazik ortamlarda korozyon dayanımı düşüktür. Bünyesine su alarak bozunur.

### 2.2.1.3 Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Hafif metaller, kompozitler için matris malzemesi olarak çok cazip olmaktadır. Bunlar plastiklerden daha yüksek elastiklik modülü, dayanım ve tokluğa sahip olup yüksek sıcaklıklardaki özellikleri de daha iyidir. Ancak metal matrisli kompozit üretimi daha zordur. Bunlar her elyafla iyi ara yüzey bağı oluşturamazlar. Metallerle en kolay bağ oluşturan SiC ile kaplanmış boron elyaftır. Fakat bunlar pahalıdır. MMK' lerde çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi; düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları, dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarında tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımlarının yüksek olması da bir diğer karakteristik özellikleridir. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn matris malzemesi olarak kullanılır (Yüce, 2007).

### ***2.2.2 Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanları (Elyaflar)***

Matris malzeme içerisinde yer alan elyaflar kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidirler. Takviye elemanı olarak kullanılan elyaflar cam, karbon, aramid ve bor elyaflarıdır. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaf tekolojide kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaf ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır.

1. Üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük olması ve küçük çapta üretilmeleri.
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyalara iletilen yük miktarının artması.
3. Elastite modülünün çok yüksek olması.

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan elyaflar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1. Cam elyafı
2. Karbon elyafı
3. Bor elyafı
4. Aramid elyaf
5. Yüksek sıcaklık elyafı (  $Al_2O_3$ , SiC elyafı)
6. Kılcal kristal (Whiskerler) elyaf.

Burada özellikle cam elyafı hakkında detaylı bilgi verilecektir.

### 2.2.2.1 Cam Elyafı

Cam elyaf esasen silis-kum ( $\text{SiO}_2$ )'den meydana gelmektedir. İçinde belirli oranlarda Na, Ca, Al, B ve Fe gibi elementlerin oksitleri bulunur. Takviye malzemesi olarak en geniş kullanılan ve en ucuz olanıdır. İyapıları amorf haldedir. Atmosfere karşı dirençleri iyidir. Su absorbe etmezler, fakat çekme mukavemetleri nemli ortamda azalır. Termal genişleme katsayısı birçok plastikten, alüminyum ve çelik alaşımlarından daha düşüktür (Yüce 2007).

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
5. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkân tanır. Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur:

*A (Alkali) Camı:* A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.

*C (Korozyon) Camı:* Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir. Özellikle depolama tanklarında kullanılırlar.



*E (Elektrik) Camı:* Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.

*S (Mukavemet) Camı:* Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar.

Cam elyafları polimer kompozitlerde en çok kullanım alanına sahip elyaflardır. Bugün termoset reçinelerle birlikte kullanılan takviye elyaflarının 2/3' ünden fazlası cam elyaflarıdır. Cam liflerinin erime noktaları yaklaşık 840 °C' dir. Cam elyaflarının ana maddesi silikadır.

#### 2.2.2.2 Karbon Elyafı

Karbon elyaflar cam elyafa nazaran yüksek çekme dayanımı, yüksek elastik modülü, daha iyi yorulma özellikleri, kırılma direnci ve daha düşük termal genleşme katsayısına sahiptir. Kompozit malzemelerde grafit elyaflar, sürekli lifler ve demetler, kırılmış elyaflar, örgü ve dokunmuş elyaflar olarak kullanılır.

#### 2.2.2.3 Bor Elyafı

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır. Yüksek dayanımlı elyaftır.

Bor elyafın yoğunluğu 2,6 gr/cm<sup>3</sup> ile camlara yakındır. Spesifik mukavemetleri camkinden 5 kat daha fazladır. Bor elyaf, oda sıcaklığında katı durumda olan hafif metallere biri olup, çok seyrek oluşu, oldukça sert ve kırılma direnci nedeniyle bor fiberlerin üretimi alışılmış, klasik yöntemlerin dışında yapılır. Bor, hidrojen ile

triklorür reaksiyonu ile elektriksel olarak 1300 °C' ye kadar, ısıtılmış tungsten teli veya karbon üzerinde çökeltilmesiyle elde edilir. (Yüce 2007)

#### 2.2.2.4 Aramid Elyafı

Aramid "aromatik polyamid" in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır (Schwartz, 1984). İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf eksenine doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yarısı kadardır. Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidir ancak asit ve alkalilerden etkilenir (Margolis, 1986).

Kevlar elyaflarının son derece yüksek, dayanım/yoğunluk oranına sahip olmaları, onların son derece geniş kullanım alanına sahip olmalarını sağlamıştır. Bugün uçak sanayisinde, yüksek performanslı kayış ve halat yapımında, yüksek basınca dayanıklı boruların yapımında, yüksek performanslı radyal tekerleklerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kevlar günümüzde zırh, sağlam halat yapımı, yanmadan koruyucu giysi yapımında kullanılmaktadır. Kevlar çok yüksek çekme gerilmesine dayanabilen elyaflardan oluşan iplikli bir yapıdır. Dokunabilir, kumaş haline getirilebilir, kesilebilir ve dikilebilir. Özellikle çelik yelek, miğfer, paraşüt ipi, fiber veya data kabloları için ek sağlamlık sağlayan halat, veya gemileri bağlamak için kullanılan hafif halatlar ve kompozit yapılar ile oluşturulan levha, boru veya özel taşıtların gövde veya kanat yapılarının yapımında kullanılmaktadır.

## BÖLÜM ÜÇ

### ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT PLAKALARIN ÜRETİMİ

#### 3.1 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

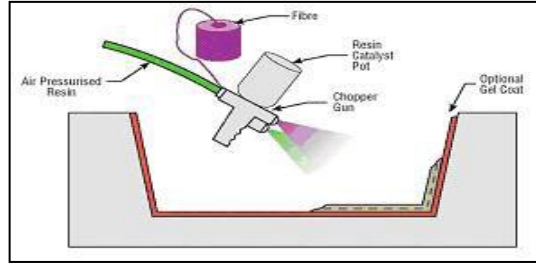
İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden yaygın olanları aşağıda sıralanmıştır.

##### *3.1.1 Elle Yatırma*

Dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine elyaf katmanlarına emdirilir. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu işlemde elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyster ve epoksinin yanı sıra vinil ester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir. Elle yatırma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur.

##### *3.1.2 Püskürtme*

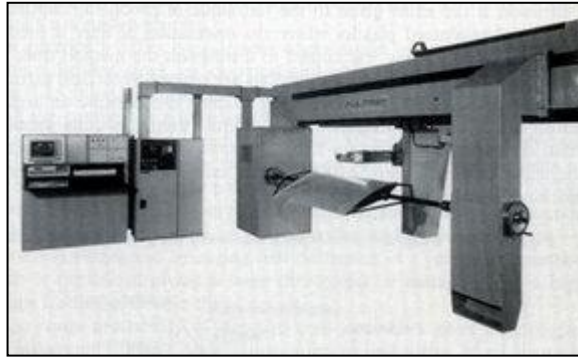
Püskürtme yöntemi elle yatırma yöntemini aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırıcı sayesinde yapılır. Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur.



Şekil 3.1 Püskürtme yöntemi

### 3.1.3 Elyaf Sarma

Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır.



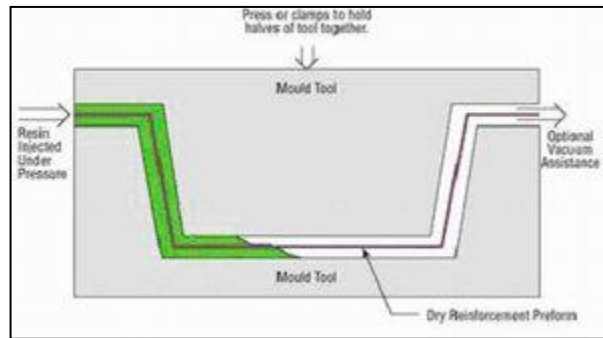
Şekil 3.2 Elyaf sarma makinesi

### 3.1.4 Reçine Transfer Kalıplama (RTM)

Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemlere daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır. RTM yöntemi çoğunluk jelkotlu veya jelkotsuz her iki yüzeyinde düzgün olması istenen

parçalarda kullanılır. Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır.

Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyaf lar matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80°C' ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işleme si için vakum kullanılabilir. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerektirmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır.



Şekil 3.3 RTM yöntemi

### 3.1.5 Profil Çekme

Pultruzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150 °C' ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir.

### **3.1.6 Hazır Kalıplama (SMC, BMC)**

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi karmaşık şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanması gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır. Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır.

#### **3.1.6.1 Hazır Kalıplama Pestili**

SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3 mm. kalınlığında üretilir.

#### **3.1.6.2 Hazır Kalıplama Hamuru**

BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir.

Hazır kalıplama bileşimlerinin avantajları;

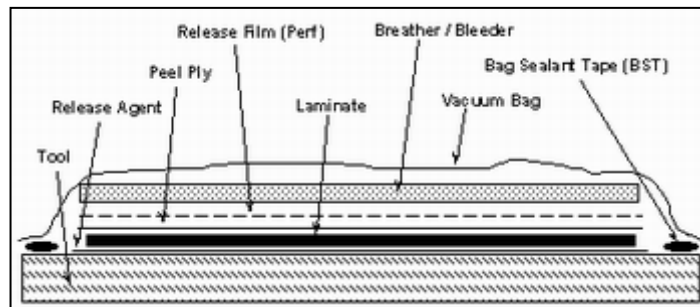
- Çok geniş tasarım esnekliği
- Düzgün yüzey

- Kolayca plaklanabilme, boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi
- Geri dönüştürülebilme ve hazırlığında geri dönüşümlü malzeme kullanabilme
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı
- Yüksek alev dayanımı
- Sıcaklık dayanımı
- Soğukta kırılma olmama, enjeksiyon kalıplama (injection moulding)

Bu yöntem RTM'ye benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine/elyaf karışımının kalıp dışarısında karışmış ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte ediliyor olmasıdır. Sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntemde kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar birçok ürün bu yöntemle üretilmektedir.

### 3.1.7 Vakum Bonding

Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine bir atmosferik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum bagging yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 3.4 Vakum bonding

### ***3.1.8 Otoklav Yöntemi***

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için elyaf/reçine oranını artırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeyi yüksek ısı ve basınca uygulayarak sağlanabilir. Vakum bagging yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmaya basınç uygulanabilir. Fakat 1 atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için dışsal basınca ihtiyaç duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve karmaşık şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir. Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vakum bagging yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır.



## **BÖLÜM DÖRT**

### **TABAKALI KOMPOZİT MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞI**

Mühendislik uygulamalarında, dışarıdan gelecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için, malzemenin gerekli en uygun cevabı veya davranışı verebilmesi istenir. Uygulama yerine göre malzemenin maruz kalabileceği darbeler çok çeşitli şekillerde olabilir. Buna karşılık darbeye karşı olan cevap da malzemenin kendisi tarafından belirlenir. Şöyle ki, metal ve metal alaşımları durumunda darbeye karşı malzemenin cevabı; elastik uzama ve plastik şekil değiştirme şeklinde meydana gelir ve darbe hasarı, çoğunlukla, çarpma yüzeyinde başladığı anda kolay bir şekilde tespit edilebilir. Darbe hasarı, metal malzemelerde genellikle bir tehlike işareti olarak kabul edilmez, çünkü metaller plastik şekil değiştirebilme kabiliyetlerinden dolayı, büyük miktarda enerjiyi absorbe edebilirler. Metaller sabit bir gerilme durumunda yapı sertleşmeden önce çok büyük uzamalarda akabilirler, bu nedenle oluşacak kopmalar ani ve beklenmedik olmaz. (Ceyhun V. ve Turan M., 2003)

Kompozit malzemelerde bir darbe sonucunda oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelebilir, içyapıda oluşan delaminasyonlar (tabakalar arasında ayrılma) şeklinde başlayabilir. Yukarıda da bahsedildiği gibi metallerde darbe cevabı, plastik şekil değiştirme sonucunda bir kopma şeklinde olmasına rağmen, kompozitler çok değişik modlarda hasara uğrayabilirler ve bu hasar modlarında parçanın yapısal bütünlüğünde ciddi bir değişiklik meydana gelmez. Genellikle gözle görülmeyen veya çok zayıf bir şekilde görülebilen hasarlar meydana gelir. Plastik matrisli kompozit malzemelerin hemen tamamı kırılındır, bu nedenle enerjiyi sadece elastik deformasyon ve bazı hasar mekanizmaları (matris kırılması, delaminasyon, fiber kopması vb.) sayesinde absorbe edebilirler, diğer bir deyişle enerjiyi soğurmada plastik deformasyonun katkısı hemen hemen hiç yoktur. Bu anlamda hasar direnç ifadesi, bir kompozit sistemde meydana gelen darbe hasarının miktarını ifade eder. 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 (Ceyhun V. ve Turan M., 2003).

Bu nedenle bir kompozit malzemenin enine hasar direnci nispeten 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 sönmleyebilmesi için oluşacak hasar modlarını belirleyecektir. Bu nedenle tabakalı bir kompozit malzemedeki darbenin oluşturacağı hasarı tahmin etmek için darbe hızının belirlenmesi çok büyük bir öneme sahiptir (Ceyhun V. ve Turan M., 2003).

#### **4.1 Düşük Hızlı Darbenin Belirlenmesi**

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 alanda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi 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. 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 darbeye, malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak soğurulur. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbe cevabı malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından hâkim olunur ki bu durumda malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olamaz ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur.

Cantwell ve Morton, kompozit malzemenin darbe davranışını belirlemek için Charpy ve Izod gibi bilinen darbe deneylerini kullanmışlar ve düşük hızı 10 m/s'ye kadar olan hızlar olarak sınıflandırmışlardır (Sjoblem,1988). Bununla birlikte Abrate, tabakalı kompozit malzemelerde darbe ile ilgili yapmış olduğu çalışmalarda düşük hızlı darbeleri 100 m/s' den düşük hızlarda oluşan darbeler olarak belirlemiştir. Darbe türünün, darbe hız sınırını belirleyerek tespit edilmeye caba gösterildiği bu çalışmaların yanı sıra sınıflandırmanın darbe sonucunda meydana gelen hasara göre yapılması gerektiği görüşü de savunulmaktadır. Bu nedenle yüksek hız, delinme şeklinde meydana gelmiş fiber kopması, düşük hız ise tabakalar arası ayrılma (delaminasyon) ve matris kırılması ile belirlenir. Davies ve Robinson düşük hızlı darbeyi kalınlık boyunca gerilme dalgasının gerilme dağılımında önemli bir rolü olmadığı bir darbe türü olduğunu belirtmekte ve yüksek hıza geçişi veren bir model önermektedir. Çarpan cismin altında dairesel bir bölge, gerilme dalgası tabaka boyunca yayılırken düzgün bir şekil değişikliğine uğrar. Sıkıştırma şekil değiştirmesi olarak aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\varepsilon_c = \frac{\text{Çarpma hızı}}{\text{Malzeme içindeki ses hızı}}$$

Bu değer % 0,5 ila 1 arasındaki kopma uzamaları için, epoksi kompozitler durumunda 10-20 m/s hızda gerilme dalgasının baskın olduğu duruma geçişi verir.

## 4.2 Enine Darbe

Kompozit malzemelerin en hassas oldukları yükleme durumu düzlem dışına doğru (tabaka veya fibere dik yükleme) olandır. Bunun sebebi; malzemeler, kalınlık doğrultusunda tabaka düzleminde olduğundan daha zayıftırlar. Sonuç olarak, enine darbeye maruz kalan kompozit malzemeler, toplam yük taşıma kapasitelerinde önemli düşüslere sebep olan hasarlara uğrarlar. Kompozit malzemelerin bu darbe yüklerine karşı göstermiş oldukları cevap çok karmaşıktır. Bu, kompozit malzemeyi meydana getiren her bir bileşenin kendi özellikleri kadar yapısal konfigürasyona da bağlıdır. Ayrıca, darbeye verilen cevap çarpan cismin geometrisine, hızına ve

kütlesine de bağlıdır. Her biri enine darbenin toplam etkisini karakterize etmede önemli bir rol oynar.

Darbe yüklemesi altında çarpan cismin gözle görülemeyen veya zayıf şekilde seçilebilen nüfuziyetine kadar değişebilen farklı şekillerde hasar modları mevcuttur. Düşük hızlı darbeler tabakalar üzerinde gözle görülen hasarlar oluşturmayabilirler fakat tabaka içerisinde, matris kırılması, delaminasyon ya da fiber kırılması şeklinde hasarlara sebep olabilirler. Bu hasarlar, mukavemette önemli derecede bir düşüşe sebep olur. Rijitlikte azalma da mümkündür. Yüksek hızlı çarpmada malzeme üzerinde oluşan hasar, çarpışma temas bölgesindeki küçük bir bölgede yoğunlaşır.

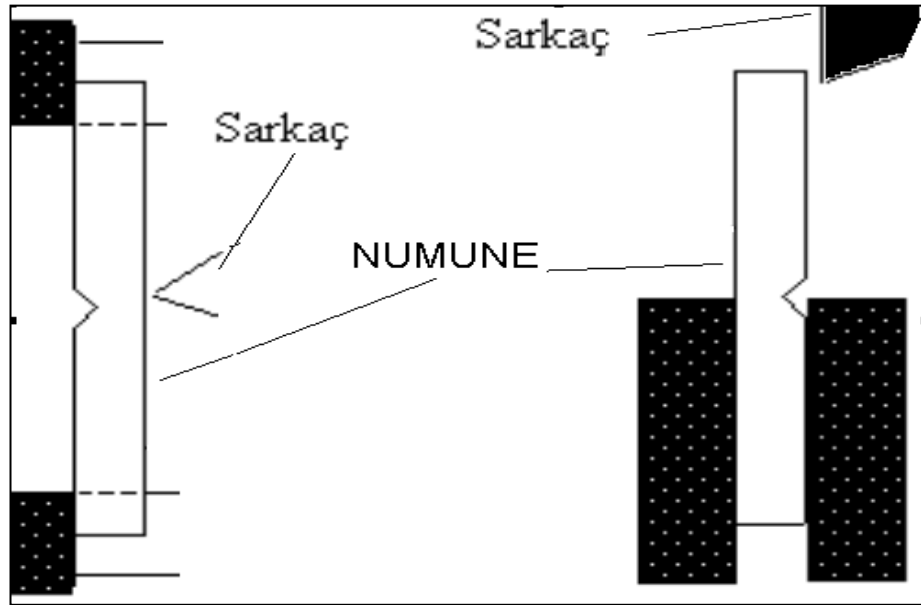
### 4.3 Darbe Testleri

Tabakalı kompozit malzemelerin darbe direncinin, bir cismin kompozit malzemenin enine doğrultusundaki darbesini simule eden testlerle karakterize edilebileceği açıktır. Birçok test tekniği darbe üretmek için kullanılırlar. Bununla birlikte kompozit malzemelerin darbe davranışını karakterize etmek için standart bir test tekniği veya farklı ülkeler, kuruluşlar ve araştırmacılar arasında yaygın bir şekilde kabul edilen herhangi bir teknik mevcut değildir. Bu durum, farklı kaynaklardan sonuçların karşılaştırılacağı zaman, kompozit malzemelerin darbe cevabı için uygun bir model geliştirme girişimleri için problem oluşturmaktadır. Bu olumsuzluklara rağmen kompozit malzemelerin darbe dirençlerinin belirlenmesi amacıyla günümüzde aşağıdaki test yöntem ve cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar genellikle uç kategoride sınıflandırılabilirler;

1. Sarkaç testleri (Izod ve Charpy).
2. Hava veya gaz silah testleri (düşük hız veya balistik testler).
3. Ağırlık düşürme testleri.

Bu testlerden Izod ve Charpy test düzenek şemaları Şekil 4.1' de görüldüğü gibidir. Charpy ve Izod darbe test yöntemlerinde çentik açılmış bir test numunesi, standart bir yükseklikten bırakılan bir sarkaç ile darbeye maruz bırakılır. Darbeden

sonra sarkacın çıktığı yükseklik tespit edilerek sarkacın ilk ve son konumdaki enerji farkı numune tarafından soğurulan darbe enerjisi olarak ölçülür. Darbeden sonraki sarkacın yüksekliği ne kadar az ise, soğurulan darbe enerjisi, dolayısıyla malzemenin darbe direnci veya tokluğu da o derece yüksektir. Charpy ve Izod test yöntemleri ufak farklılıklar dışında birbirine çok benzerler. Bu farklılıklardan en önemli olanı, numunenin desteklenme şekli ile çentiğin destek ve darbe noktalarına göre konumudur.



Şekil 4.1 Charpy ve Izod Darbe Test Düzenekleri (Ceyhun V. ve Turan M., 2003).

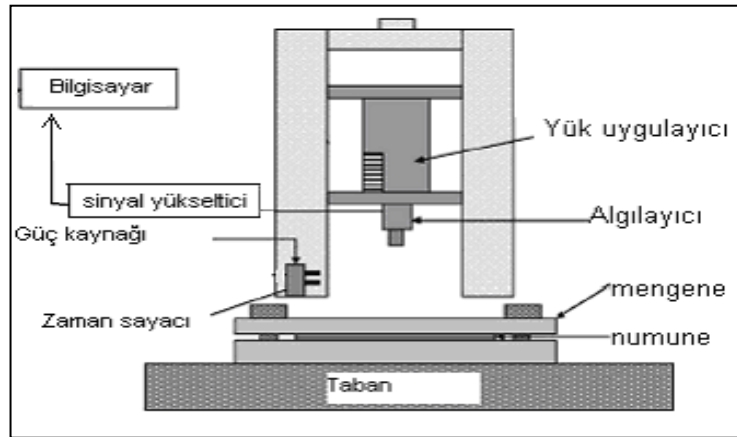
a ) Charpy

b ) Izod

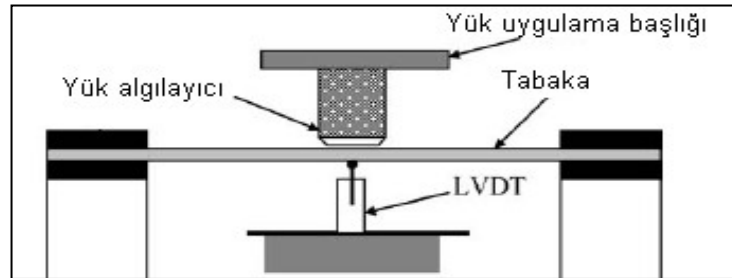
Son yıllarda kompozit malzemelerin düşük hızdaki darbe testlerini karakterize etmek için sarkaç veya ağırlık düşürme darbe test cihazlarının bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş darbe test cihazlarının kullanımı giderek artmaktadır.

Ağırlık düşürme test yöntemi, kompozit malzemelerin darbe testleri için tercih edilen yöntem olmaya başlamıştır. Bunun en önemli sebebi daha geniş bir alanda test parametrelerinin belirlenmesi mümkündür ve sonuçlar çok daha kolay analiz edilebilmektedir.

Bu cihazların bazıları yer değiştirmeyi veya ivmelenmeyi ölçmektedirler. Bu sayede yük, yer değiştirme ve ivmelenmenin çarpma anındaki değişimi kaydedilir. Bu sonuçlar, darbe yükü-zaman ve darbe enerjisi-zaman değişimlerine dönüştürülebilir. Bunlar sayesinde, en uç noktadaki yük ve soğurulan enerji gibi özellikler malzemede meydana gelen kırılma işlemiyle ilişkilendirilebilirler. Tipik bir ağırlık düşürme test cihazı Şekil 4.2’ de görüldüğü gibidir. Böyle bir cihazı meydana getiren ekipmanlar; platformları destekleyen numuneye veya tüp içerisinde yerleştirilen yük ölçme cihazları (yük hücresi), çarpışmadan hemen önceki tüp hızını ölçmeye yarayan fotoelektrik hücreler ve darbe olayını görüntülemek için kullanılan yüksek hız kamerasıdır. Balistik testler için yüksek hızlar gerektiğinden, kompozit malzemeye bu hızla bir cismi çarptırmak için tabanca veya silah sistemlerinden faydalanılır. Bu testlere ilişkin basit bir deney düzeneği Şekil 4.3’ de görülmektedir.



Şekil 4.2 Ağırlık Düşürme Test Düzeneği



Şekil 4.3 Ağırlık düşürme test düzeneğinde ağırlığın numuneye temas ettiği kısmın ayrıntılı görünümü

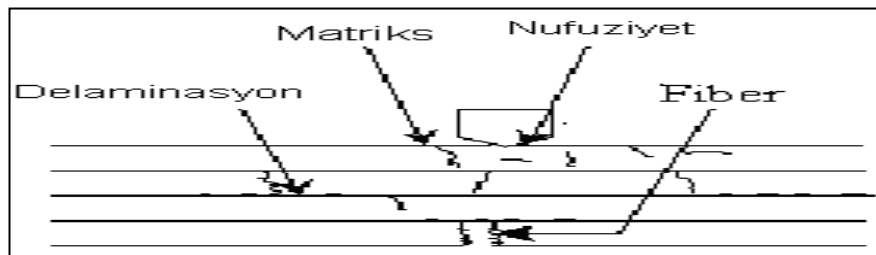
Kompozit malzemelerin darbe özelliklerini darbe test cihazı (serbest ağırlık düşürme, sarkaç, silah vb.), çarpan cismin karakteristiği (içi dolu veya boş, uç şekli ve boyutu vb.), çarpan cismin hızı ve kütlesi (veya enerjisi), numunenin konfigürasyonu (boyutu, geometrisi, numune ve destek noktalarındaki uçların sabitlenmesi vb.) etkilemektedir. Bu nedenle kompozit malzemelerin darbe özellikleri söz konusu olduğu zaman tüm bu kriterlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

#### 4.4 Tabakalı Kompozit Malzemede Darbe Sonucu Oluşan Hasar Modları

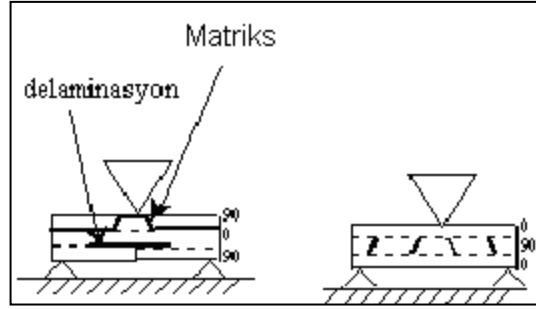
Fiber takviyeli plastik tabakalar, anizotropik ve heterojen yapılarından dolayı dört değişik önemli hasar modunun ortaya çıkmasına müsaittirler (bunların dışında daha birçok hasar modundan bahsetmek mümkündür). Bu modların tabakalı bir kompozit üzerindeki modeli Şekil 4.4' de görüldüğü gibidir.

- i. Matris hasarı : Kırılma fiberlere paralel meydana gelir. Bunun nedeni bası gerilmesi ve kesme gerilmeleridir.
- ii. Delaminasyon : Tabakalar arası eğilme cevabı uyumsuzluğundan ortaya çıkar.
- iii. Fiber kopması : Gerilme altındaki fiber kopar, sıkıştırma altındaki fiber eğilir.
- iv. Nüfuziyet : Çarpan cisim kompozit malzemeye tamamıyla nüfuz eder.

Yorulma modunun belirlenmesi sadece darbe olayı hakkında bilgi edinmek için değil, ayrıca yapının kalıcı mukavemeti hakkında fikir edinmeyi sağlaması açısından da çok önemlidir. Yorulma modları arasındaki etkileşmeyi anlamak, hasar modunun başlaması ve ilerlemesini anlamak açısından da çok önemlidir.



Şekil 4.4 Darbe sonucu kompozit malzemede oluşan hasar çeşitleri (Ceyhun V. ve Turan M. ,2003).



(a) Enine görüntü (b) Boyuna görüntü

Şekil 4.5 Matris kırılması ve delaminasyon hasarı oluşumu (Ceyhun V. ve Turan M., 2003).

#### 4.4.1 Matris Hasarı

Literatürde rapor edilen darbe testlerinin çoğunluğu, düşük enerjili testleri içerir. Bu enerji seviyesi yaklaşık olarak 1-5 J arasında değişmektedir. Matris hasarı, düşük hızlı enine darbenin oluşturduğu hasarın ilk tipidir ve genellikle matris kırılması şeklinde meydana gelir. Matris hasarı ayrıca fiber ve matris ara yüzeyi arasındaki bağın kopması şeklinde de oluşur. Matris kırılmaları, tek yönlü fiberlerden oluşmuş tabakalarda genellikle fiber doğrultusuna paralel düzlemlerde oluşur. Tipik bir matris kırılması ve delaminasyon modeli Şekil 4.4' deki gibi açıklanabilir. Üst ve orta katmanlardaki matris kırılmaları, çarpan cismin kenarının altında başlar (Şekil 4.5-b). Bu kesme gerilmeleri, malzeme boyunca oluşan çok yüksek enine kesme gerilmeleri tarafından oluşurlar ve genellikle 450 eğime sahiptirler. Enine kesme gerilmeleri, temas kuvveti ve temas alanıyla ilişkilendirilir. Alt katmanlardaki kırılmalar, eğilme kırılması olarak isimlendirilirler.

#### 4.4.2 Delaminasyon

Delaminasyon, aynı katman grubundaki tabakalar arasında değil, farklı elyaf oryantasyonlarına sahip tabakalar arasında matris bakımından zengin bölgede meydana gelen bir kırılmadır. Tabakalı kompozit malzemelerde katmanlar arasındaki farklı fiber yönlenmelerinden dolayı bu katmanların eğilme rijitlikleri farklılığı gösterir. Delaminasyonun en önemli sebebi; tabakalar arasındaki bu eğilme rijitlik farklılığı ve eğilme kaynaklı gerilmelerdir. Bu konudaki deneyler ve analizler



eğilmenin enine doğrultuda dışbükey olduğu ve fiber doğrultusu boyunca tabakanın konkav eğilmeye eğilimli olduğunu göstermektedir. Tabakalar arası eğilme rijitliğindeki uyumsuzluk ne kadar büyük olursa, delaminasyon alanı da o kadar büyük olur. Bunun yanı sıra delaminasyonu malzeme özellikleri, yığılma düzeni ve tabaka kalınlığı gibi diğer bazı faktörler de etkilemektedir. Delaminasyon hasarının olduğu noktada soğurulan elastik şekil değiştirme enerjisi, ( $E_k$ ), için basit bir ifade aşağıdaki gibidir.

$$(E_k) = \frac{2\tau^2 wL^3}{9E_f t}$$

Burada;

t: Kalınlık,

$\tau$  : Tabakalar arası kesme mukavemeti,

w: Genişlik, L: Desteklenmemiş uzunluk

$E_f$  : Eğilme modülü' dür.

Enine darbeden dolayı oluşan delaminasyon, belirli bir eşik (geçiş) enerji değerine ulaşıldıktan sonra ve sadece matris kırılması mevcut ise meydana gelir. Matris kırılması delaminasyonun başlaması açısından gerekli bir faktördür. Matris kırılması ve delaminasyon arasında sıkı sıkıya bir ilişki mevcuttur. Delaminasyonlar, tabakalar arası ara yüzey bölgesinde meydana gelirler fakat bu bölge her zaman tam olarak ara yüzey bölgesi olmamakla beraber ayrıca her iki tarafta da bir miktar olabilir. Enine darbeye maruz [55/55/0]<sub>s</sub> tabakaları için delaminasyon ve matris kırılması etkileşmesi göz önüne alındığında; üs katmanlardaki eğimlenmiş kırıklar ara yüzeye ulaştığı zaman durdurulur ve katmanlar arasında delaminasyon olarak ilerler. Oluşan kırıkların ara yüzeye ulaşınca durdurulması, fiber sarım açısındaki değişimden dolayıdır. Bu delaminasyon, ortadaki enine kırılma tarafından zorlanır.

Düşey eğilme kırığı büyümesi, zorlanmayan en alt ara yüzey delaminasyonunu başlatır. Delaminasyona önderlik eden matris kırılmaları, kritik matris kırılmalarıdır.

Delaminasyon, matris kırılmalarından dolayı meydana gelen yüksek mertebedeki düzlem dışı gerilmeler ve ara yüzey boyunca tabakalar arasındaki kesme gerilmelerinden dolayı Mod I kırılma olarak başlamaktadır. Hem eğilme kırılmaları hem de kesme kırılmaları delaminasyonu başlatabilir. Fakat kesme gerilmeleri nedeniyle oluşan delaminasyon, kararsız ve eğilme kırılması tarafından oluşan delaminasyon ise, kararlıdır ve uygulanan yük ile orantılıdır.

Kırılma mekaniği analizlerinde bir başlangıç çatlak ve kırılma boyutu tahmin etmek gerektiğinden, delaminasyonun başlaması ve büyümesine ilişkin bu analizleri uygulamak zordur. Bu amaçla, izotrop olarak kabul edilebilecek tabakalar için bir başlangıç çatlak boyutu tahmin etmeye gerek kalmadan eşik kuvvetini bulunabileceği basit bir eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$P_c^2 = \frac{8\pi^2 E h^3 G_{IIc}}{9(1 - \nu^2)}$$

Burada;

$P_c$  = Eşik ( geçiş ) yükü

$G_{IIc}$  = Kritik şekil değiştirme enerjisi azalma hızı,

$\nu$  = Poisson oranı,

$h$  = Tabaka kalınlığı

$E$  = Elastisite modülü' dür.

#### **4.4.3 Fiber Kopması**

Hasar modlarından bir diğeri olan fiber kopması, genellikle matris kırılması ve delaminasyondan çok daha sonra meydana gelir. Fiber kopmasına neden olan en önemli iki faktör:

1. Yüksek lokal gerilmeler ve nüfuziyetin oluşturduğu etkilerdir (esas olarak kesme kuvvetleri tarafından idare edilen etkiler). Bu olay çarpan cismin hemen altında gerçekleşir.

2. Yüksek eğme gerilmeleridir. Bu olay ise, darbeye maruz kalmayan yüzde meydana gelir. Fiberlerin yorulması nüfuziyetin başlamasında en önemli etkiyi gösterir. Çarpma olayının olmadığı, fakat yüksek eğme gerilmelerinin olduğu arka yüzdeki fiberlerin yorulması için gerekli olan enerjiyi ifade eden eşitlik aşağıdaki şekildedir;

$$Energy = ( \sigma^2 wtL ) \div ( 18E_f )$$

Burada;

$\sigma$  = Eğme gerilmesi

$E_f$  = Elastisite modülü

w = Genişlik

L = Desteklenmeyen uzunluk

t = Numunenin kalınlığı' dır.

#### 4.4.4 Nüfuziyet

Nüfuziyet, hasarın makroskobik bir modudur ve çarpan cismin malzemeye tamamıyla nüfuz etmesine müsaade eden, fiberin kritik bir uzamaya ulaştığı zaman meydana gelir. Nüfuziyetin meydana geldiği darbeler esas olarak balistik ve üzeri hız düzeylerindeki darbeleri oluşturmaktadır. Delme için gerekli olan darbe enerjisi eşiği karbon-fiber takviyeli plastik kompozit malzemeler (CFRP) için kalınlığın artmasıyla hızlı bir şekilde artmaktadır. Balistik hızda meydana gelen darbe olayında kompozit malzemedeki nüfuziyetin olduğu bölgeden (genellikle çarpan cismin büyüklüğünde bir bölgedir) bir parça kesilip dışarı çıkar. Malzemedeki bu parçanın kopup dışarı çıkartılmasıyla soğurulan enerji, toplam olarak soğurulan enerjinin büyük bir kısmını oluşturur (tabaka kalınlığına bağlı olarak %50-60).

Balistik darbeye fiber iyileştirmesi, delip geçmek için gerekli olan enerjiyi karşılamada matris malzemesinden çok daha büyük bir öneme sahiptir. Tek yönlü katmanlardan oluşan tabakalı bir kompozit malzemeyi delmek için gerekli olan soğurulan enerji aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunabilir.

$$Enerji = \pi \gamma t d$$

Burada,

$\gamma$  = Kırılma enerjisi,

t = Tabaka kalınlığı,

d = çarpan cismin çapı' dır.

Fiberlerin tek yönlü olduğu katmanlarda matris kırılmalarını tahmin etmek oldukça kolaydır.

## **BÖLÜM BEŞ**

### **DENEY ÇALIŞMALARI**

#### **5.1 Problemin Tanımı**

Bu çalışmada E-glass - epoksi malzemelerden üretilen kompozitlerin darbe davranışlarına eğrilik yarıçapının, takviye malzemesi sarım açısının ve yaşlandırma işleminin etkileri incelenmiştir. Eğrilik yarıçapı olarak; 100 mm, 125 mm, 160 mm ve sonsuz seçilmiştir. Sarım açısı olarak da  $\pm 55^\circ$  ve  $90^\circ$  seçilmiştir. Üretilen numunelerin yarısına TSE' de yaşlandırma işlemi uygulanmış diğer yarısına ise uygulanmamıştır.

#### **5.2 Ağırlık Düşürme Test Cihazı**

Darbe test cihazı ile yüksek hızlarda deney parçasının kırılmasında soğurulan enerji miktarı ölçülür. Darbe deneyi süresince soğurulan enerji, malzemenin mukavemetinin ve tokluğunun bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Bu testler için kullanılan cihaz 4,6 m/s darbe hızına ve 760 J darbe enerjisine ulaşabilmektedir.

Cihaz farklı darbe enerjilerinde, darbenin başlangıcından sonuna kadar, darbeyi kaydedebilen özel bir kabiliyete sahiptir. Bu testlerde kullandığımız vurucu 4.926 kg kütlelidir. Ağırlığın istenilen mesafeden bırakılabilmesi için kilit mekanizması vardır. Böylece değişik darbe hızlarında deney yapılabilir.

Cihaz üç ana elemandan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi bağlama aparatı, çelik raylar ve vurucu kütlelerini üzerinde tutan alt tabladır. İkincisi ise çelik ray vurucu kütlesi bağlantısı ve numune bağlama aparatı grubudur. Son elemanımız ise elektronik kontrol ünitesidir. Ağırlık düşürme test cihazı Şekil 5.1' de görülmektedir.

Ayrıca cihaz üzerinde vurucu kütlelerini istediğimiz yüksekliğe kaldırabileceğimiz bir palanga sistemi mevcuttur. Palanga halatının uç kısmında vurucu kütlelerini tutan bir mekanik kanca sistemi vardır. Bu sistemin üzerinde bulunan manüel kol

kaldırıldığı anda vurucu kütlesi serbest düşme ile çelik ray üzerinde düşeyde harekete geçer.

Kuvvet uygulandıktan hemen sonra olası bir delinme veya vurucunun aşırı miktarda aşağıya doğru hareket etmesi durumunda vurucunun zarar görmesini engellemek için vurucuyu durduran mekanik kilit sistemi bulunmaktadır. Vurucu kütlesinin her iki kenarına da kilit mekanizması yerleştirilmiştir. Vurucu numune üzerine ilk darbeyi yaptıktan sonra eğer çok fazla miktarda aşağıya inerse mekanik kilit sistemi vurucu kütlesinin hareketini durdurmaktadır. Böylece vurucunun tabana çarparak zarar görmesi engellenmektedir.



Şekil 5.1 Test cihazı

### 5.3 Deney Numunelerinin Üretilmesi

Numuneler üretilirken, Hexion markasına ait Epicikote 828 kodlu epoksi ve sertleştirici olarak da Epikure 875 kodlu reçine kullanılmıştır. Fiberler ise 1200 tex özellikli tek yönlü E-glass cam elyafıdır.

Cam takviyeli plastik (CTP) tabakalı kompozitler ile çok sayıda düşük hızlı darbe çalışması mevcuttur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde düşük hızlı darbe için

standart numune ölçülerinin olmadığı görülmektedir. Ayrıca farklı tabaka sayılarında olan farklı numuneler kullanılmıştır.

Örneğin bir çalışmada (Belingardi ve Vadori, 2002)  $[0/90]_s$ ,  $[0/+60/-60]_s$ ,  $[0/+45/-45]_s$  şeklinde tek yönlü, güçlendirilmiş 4, 6 ve 8 tabakalı 2 mm kalınlığında numune kullanılırken, başka bir çalışmada (Aslan ve ark. 2003) 150 mm×150 mm, 150 mm×100 mm ve 150 mm×50 mm boyutlarında  $(0/90/0/90)_s$  şeklinde yönlendirilmiş 8 tabakalı 4,8 mm kalınlığında E-camı/epoksi tabakalı kompozit numune kullanılmıştır. Başka bir çalışmada ise 215×215×1,66 ölçülerinde 8 tabakalı  $[0,+45,-45,90]_s$  grafit/epoksi kullanılmıştır. (Whittingham ve ark. 2004) Bir diğer çalışmada ise (Erbil, 2008) 100 mm×100 mm ebatlarında kare numuneler üzerindeki darbe hasarlarını incelemiştir.

Bu çalışmada kullanılan deney numuneleri ise 100 mm ×100 mm ebatlarında  $[55/55/90]_s$  şeklinde açısal elyaf dizilimine sahip 4 tabakalı 100 mm, 125 mm, 160 mm eğrilik yarıçaplarında ve düz levha şeklinde malzemelerdir. Deney numuneleri İZOREEL Kompozit İzole Malzemeler San. ve Tic. Ltd. şirketi tarafından üretilmiştir. Daha sonra bu numuneler belirlenen ölçülerde kesilerek hazırlanmıştır. Üretimde elyaf sargı yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5.2 Sırasıyla 320 mm (0°), 250 mm (55°), 200 mm (55°) numuneleri



Şekil 5.3 Elyafın sarım yöntemi (İZOREEL)



Şekil 5.4 100 ve 125 mm eğrilik yarıçapına sahip numuneler

Üretilen numunelerin kodlama sistematığı Tablo 5.1’ de verilmiştir.

Tablo 5.1 Numunelerin kodlanması

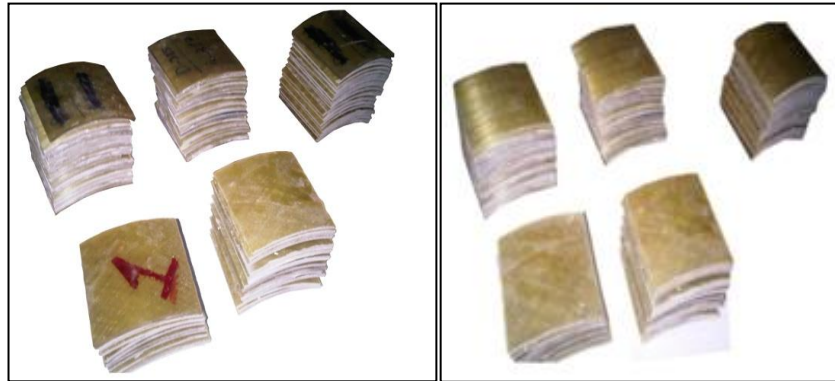
|          |                            |
|----------|----------------------------|
| <b>A</b> | Ø200                       |
| <b>B</b> | Ø250                       |
| <b>C</b> | Ø320                       |
| <b>D</b> | düz levha                  |
| <b>X</b> | ±55° sarım açılı           |
| <b>L</b> | 90° sarım açılı            |
| <b>K</b> | yaşlandırılmamış numuneler |
| <b>Y</b> | yaşlandırılmış numuneler   |



## 5.4 Yaşlandırma İşlemi

Yaşlandırma işlemi, elyaf takviyeli kompozit malzemeye etki eden olumsuz çevre şartlarının mekanik özelliklere etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Yaşlandırma işlemi sonucu akışkan çarpması (impingement) erozyonu olduğundan yaşlandırma işleminin etkilerini görmek önemlidir. Bu tür aşınmada akışkan parçacıklarının yüzeye çarpması sonucu aşındırma söz konusudur. Hasar sonucu çukurcuk, krater ya da mikro parçacıklarla birlikte kaplama kaybı, çözünme, korozyon vs. oluşabilmektedir. Oluşan bu hasarlar malzemenin darbe performansını etkilemektedir.

Darbe testi için uygun formda hazırlanan numunelerin yarısı yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş diğer yarısına ise hiçbir işlem uygulanmamıştır. Yaşlandırma işlemi TS EN – ISO 9227 standardına göre, yedi gün boyunca 50 °C derecede ve 50 g/l tuz konsantrasyonuna sahip düzenekte yapay atmosferde tuz sisi püskürtülerek uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemi sonrası parçalar temizlenmiştir.



(a)

(b)

Şekil 5.5 a) Tuzlu suda yaşlandırılmış kompozit numuneler

b) Yaşlandırılmamış numuneler



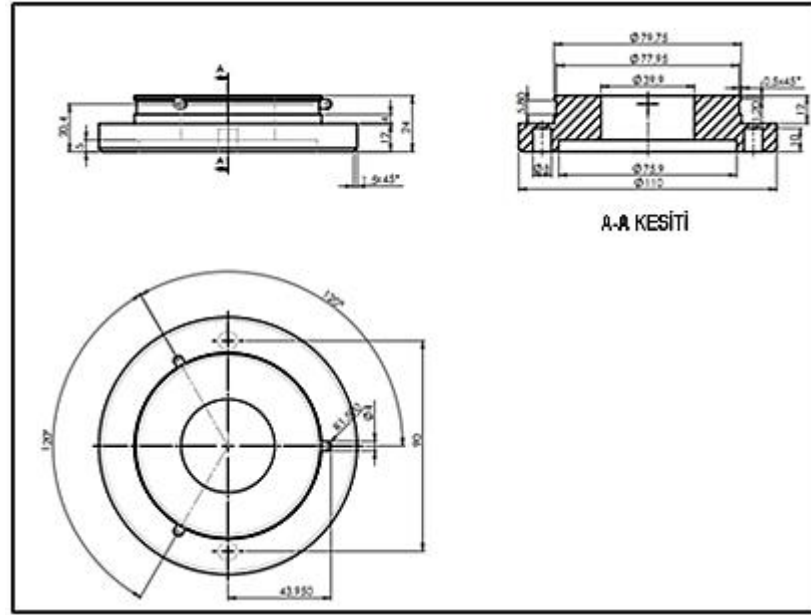
Şekil 5.6 Yaşlandırma Düzeneği (TSE).



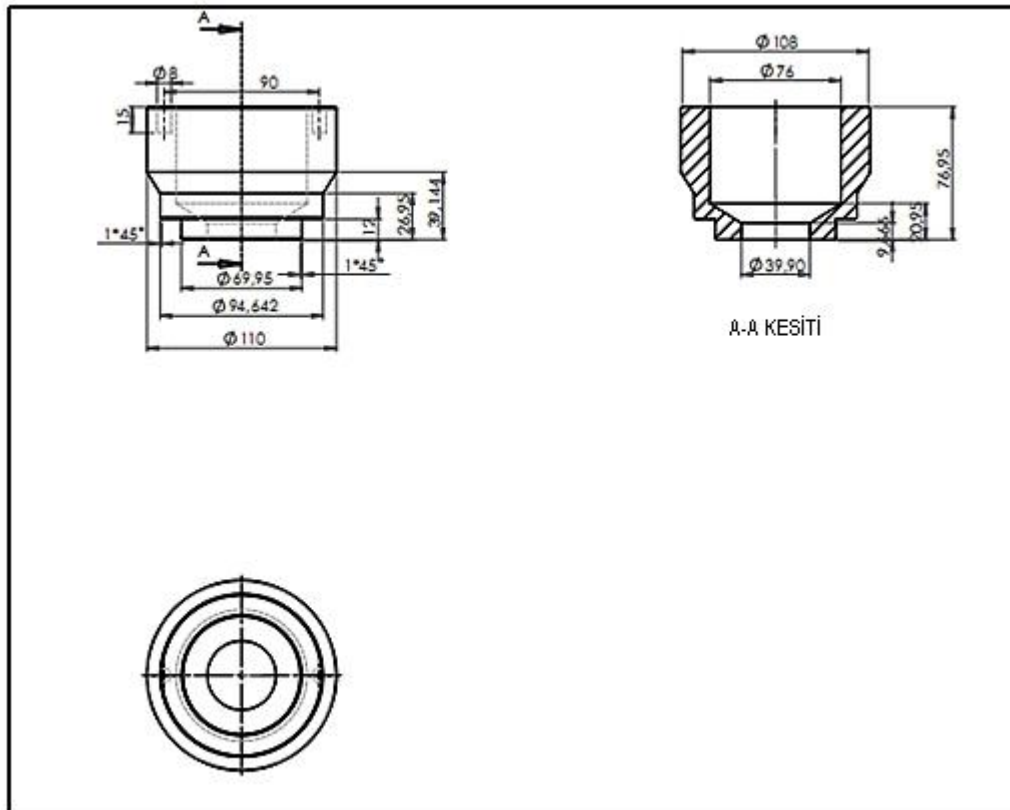
Şekil 5.7 Yaşlandırma işlemi.

### 5.5 DeneY Aparatlarının Üretilmesi

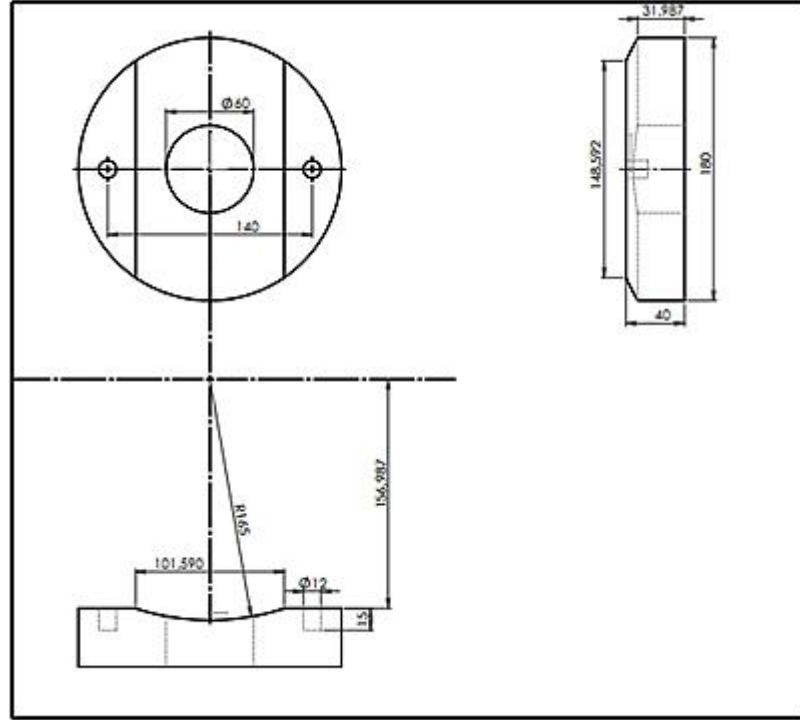
Numuneyi bağlamak için 200 mm, 250 mm, 320 mm eğrilik çaplarına sahip özel aparatlar üretilmiştir. Aparatların ortası serbest düşme testine izin verecek şekilde delinmiştir. Kalıp iç yüzeyleri, numuneye daha iyi temas etmesi ve daha rijit bir bağlama için CNC dik işlem tezgâhında işlenmiştir. Alt ve üst kalıba karşılıklı gelecek şekilde numuneyi tutmak için 2 adet 12 mm çapında ve kalıbı cihaza bağlamak için de 2 adet 10 mm çapında delik delinmiştir.



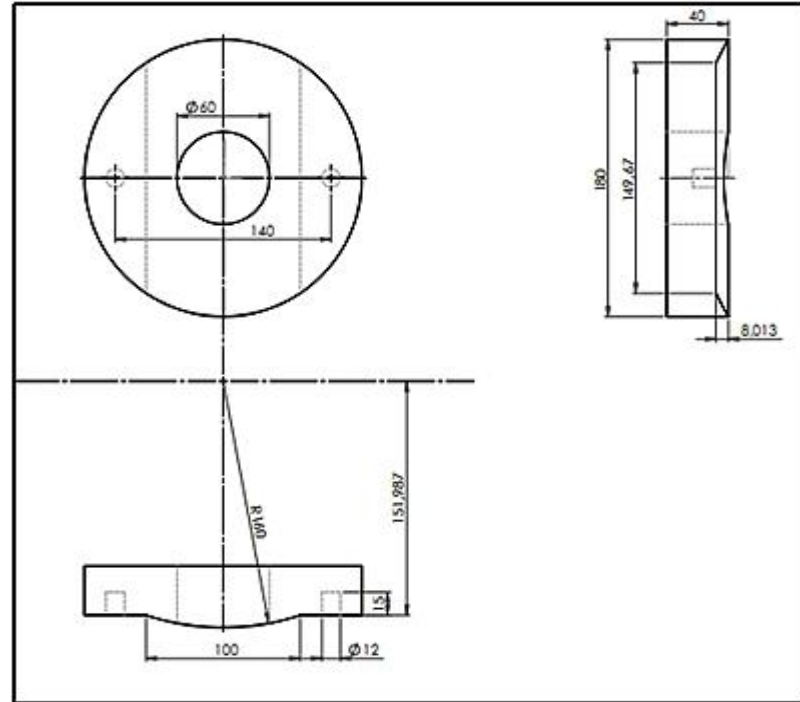
Şekil 5.8 Bağlantı aparatı üst parça teknik çizimi.



Şekil 5.9 Bağlantı aparatı alt parça teknik çizimi.



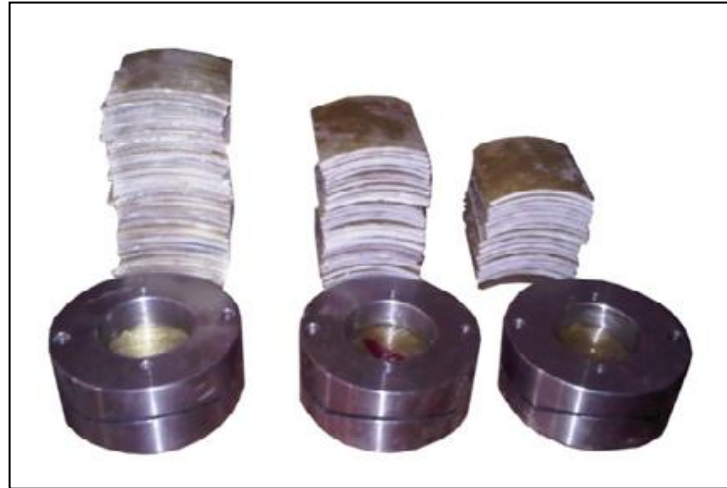
Şekil 5.10 Eğrilik yarıçapı 160 mm için üst aparat.



Şekil 5.11 Eğrilik yarıçapı 160 mm için alt aparat.



Şekil 5.12 Ağırlık düşürme deneyi için imal edilen aparatın katı modeli.



Şekil 5.13 Deney aparatları ve hazırlanmış test numuneleri.

## 5.6 Deneylerin Yapılması

Test cihazında darbe esnasında numune üzerine etkiyen temas kuvveti elektronik sensor tarafından ölçülerek bilgisayara aktarılmaktadır. Buradan elde edilen kuvvet - zaman değişimi kullanılarak kuvvet-deformasyon grafikleri çıkarılmaktadır. Bu grafikler numune tarafından yutulan enerji değerinin bulunmasında kullanılmaktadır. Yapılan deneylerde 4.58m/s hızında 4.926 kg ağırlığındaki impektör ile 20 J enerji

seviyesi kullanılmıřtır. Ađırlık dűřürme deneyinin uygulandıđı cihazın detayları Őekil 5.14' de gűrűlmektedir.



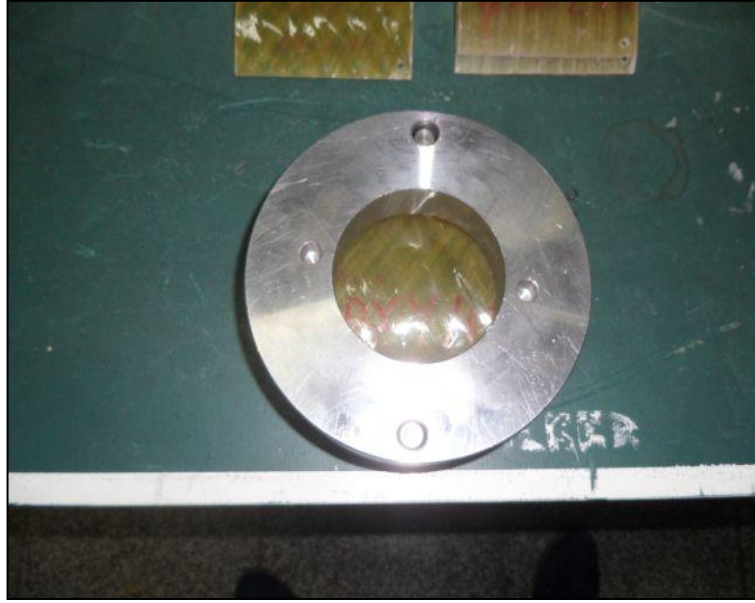
Őekil 5.14 Ađırlık dűřürme darbe deneyi test dűzeneđi.



Őekil 5.15 Deney test dűzeneđi.



Şekil 5.16 Deney aparatı ve örnek numunenin oturma şekli.



Şekil 5.17 Monte edilmiş deney aparatı.

Şekil 5.16' da deney aparatının demonte hali ve şekil 5.17 de ise deney aparatının monte edilmiş hali görülmektedir. Şekil 5.18' de deney için hazırlanan yaşlandırılmış numuneler görülmektedir.



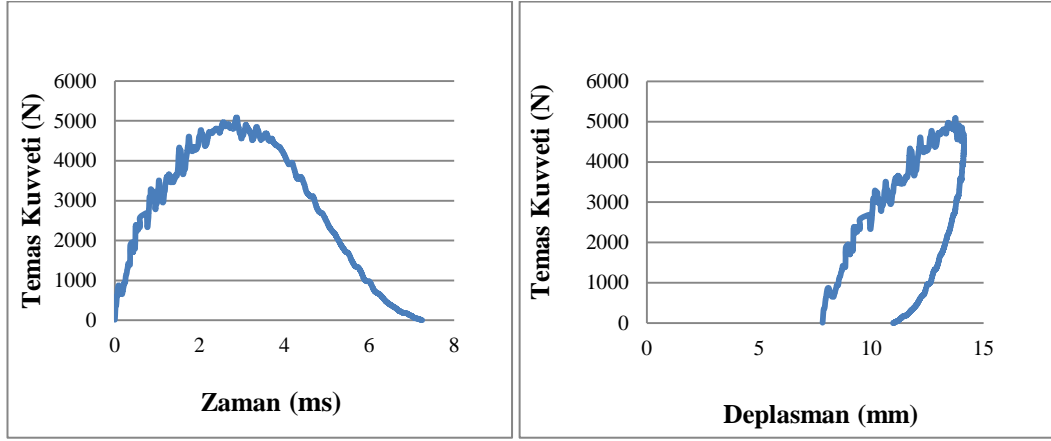
Şekil 5.18 Yaşlandırılmış deney numuneleri.



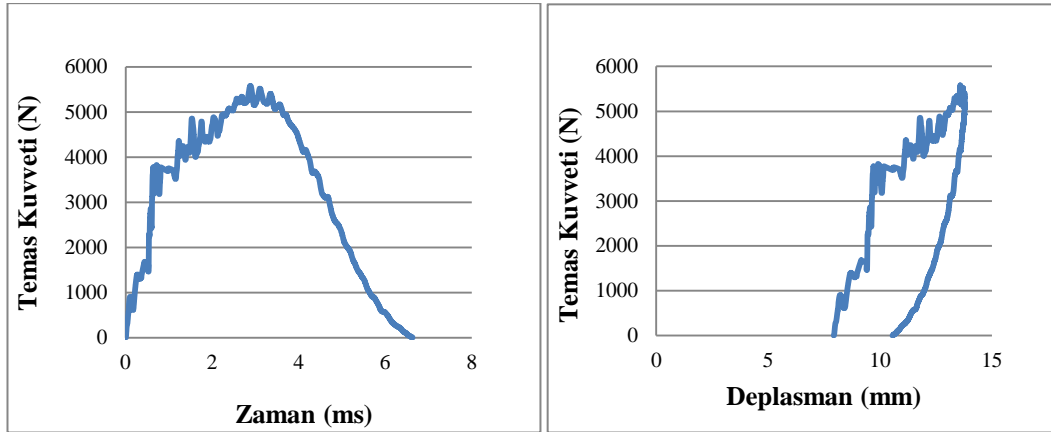
## BÖLÜM ALTI

### DENEY SONUÇLARI

Ağırlık düşürme darbe testi uygulanmış 7' si yaşlandırma işlemine tabi tutulan ve 7' si de yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış toplam 14 numunenin deney sonuçları, grafikler ve yüksek çözünürlükte çekilmiş fotoğraflar ile aşağıda verilmektedir.



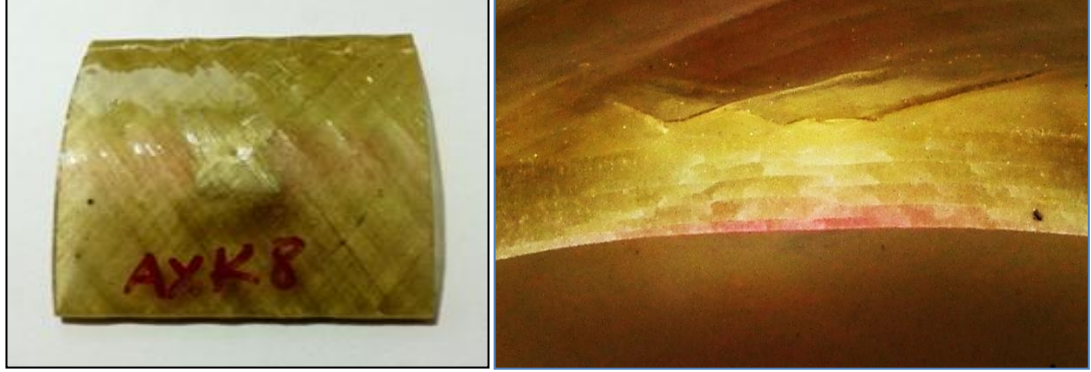
Şekil 6.1 100 mm eğrilik yarıçapına sahip  $\pm 55^\circ$  sarım açılı numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.



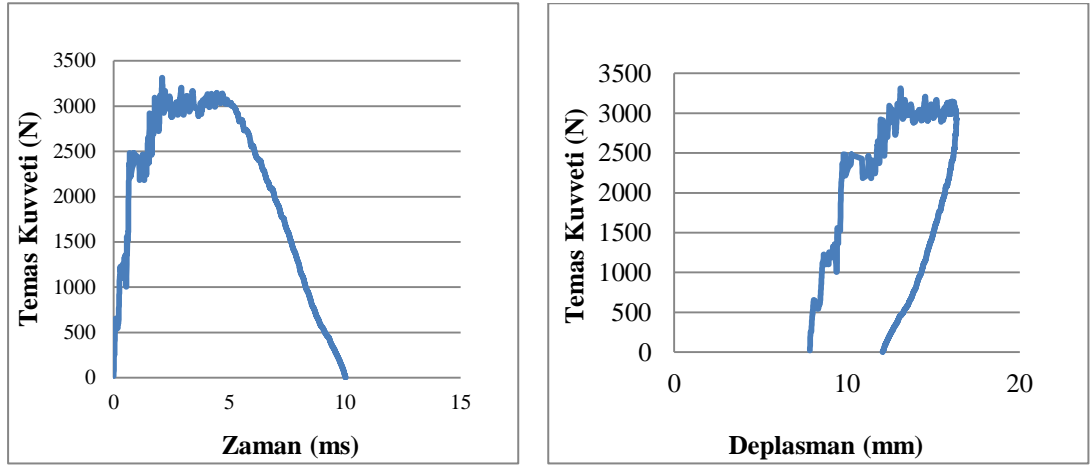
Şekil 6.2 100 mm eğrilik yarıçapına sahip  $\pm 55^\circ$  sarım açılı yaşlandırılmış numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 den görüldüğü üzere yaşlandırılmış numunede meydana gelen temas kuvveti yaşlandırılmamış numuneye göre daha fazladır. Yüksek çözünürlüklü fotoğraf görüntülerinde iki numune arasında hasar bölgelerinde belirgin bir fark görülmemektedir. Şekil 6.3' de yaşlandırılmamış numunenin test sonrası

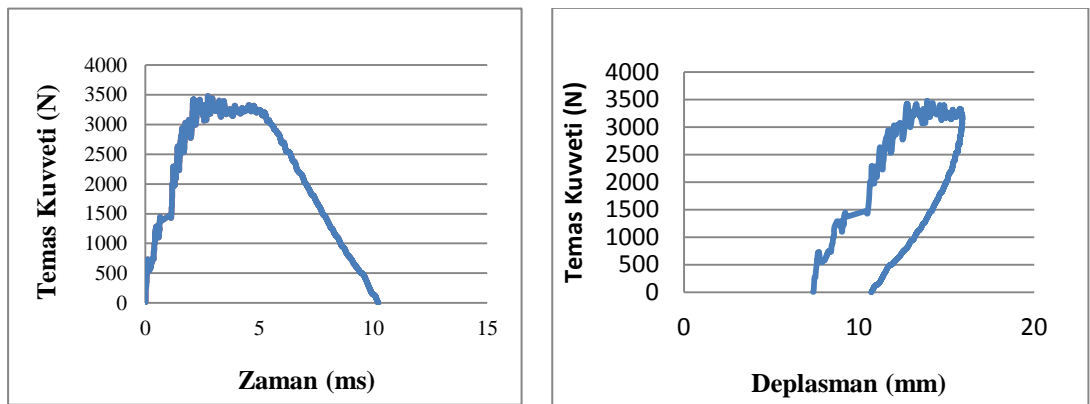
fotoğrafları görülmektedir. Açık renkli bölgeler matris hasarının olduğu bölgelerdir.



Şekil 6.3 AXK numunesi test sonrası.

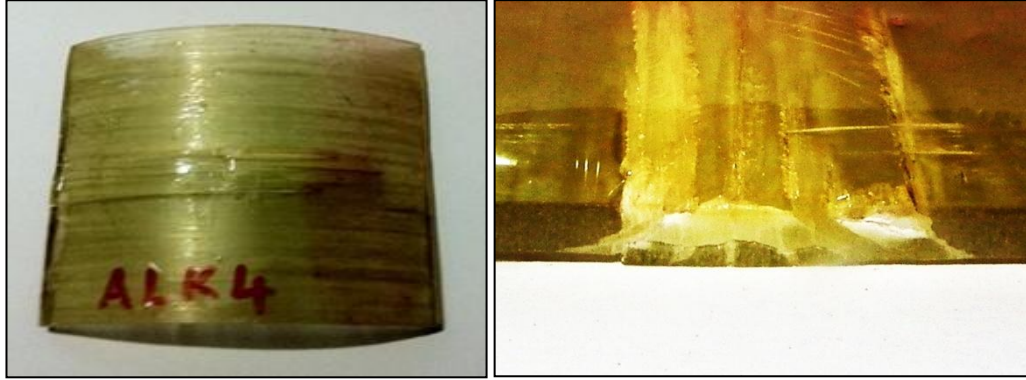


Şekil 6.4 100 mm eğrilik yarıçapına sahip 90° sarım açılı numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.

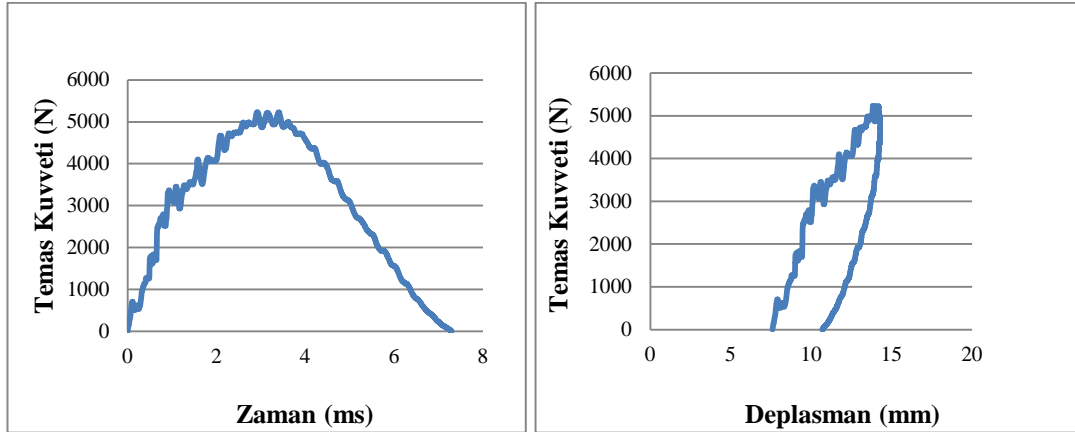


Şekil 6.5 100 mm eğrilik yarıçapına sahip 90° sarım açılı yaşlandırılmış numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 göz önünde bulundurulduğunda  $90^\circ$  sarım açısına sahip numunelerdeki temas kuvveti değerlerinin  $\pm 55^\circ$  sarım açısına sahip numunelere göre daha düşük olduğu belirgin bir biçimde görülmektedir. Bununla birlikte hasar bölgeleri karşılaştırıldığında ise  $90^\circ$  sarım açısına sahip numunelerde fiber yönüne paralel numune boyunca matris çatlakları meydana gelmektedir. (Şekil 6.3 ve 6.6)

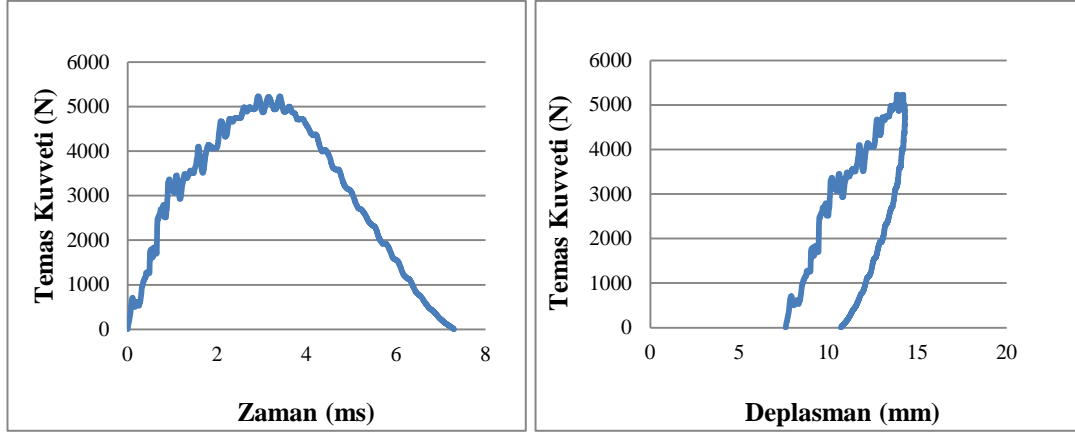


Şekil 6.6 ALK numunesi test sonrası.

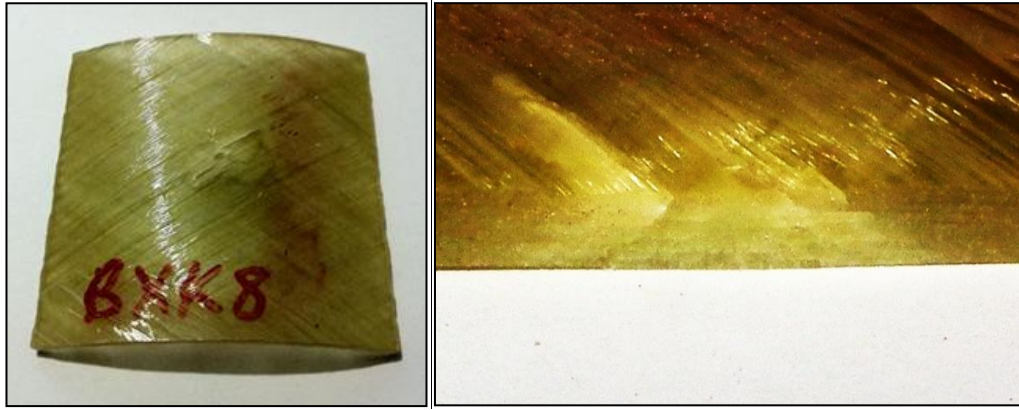


Şekil 6.7 125 mm eğrilik yarıçapına sahip  $\pm 55^\circ$  sarım açılı numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.

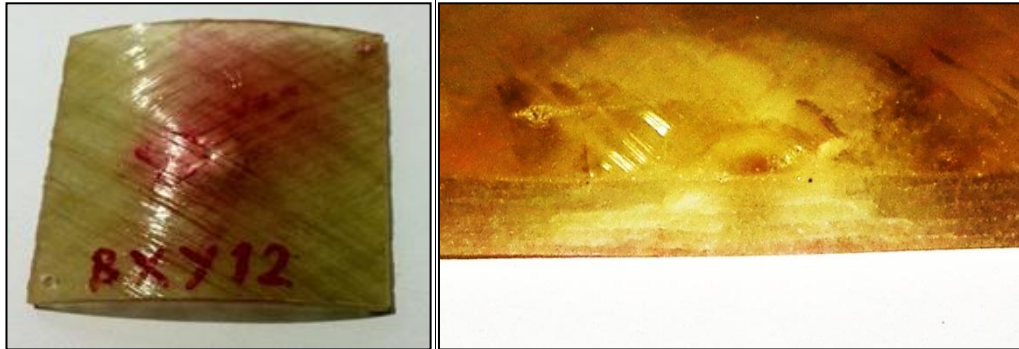
Şekil 6.7 ve 6.8 incelendiğinde 125 mm eğrilik yarıçapına sahip numunelerin temas kuvveti ve deplasman değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Yaşlandırma işleminin bu parametreler üzerinde belirgin bir etkisi yoktur.



Şekil 6.8 125 mm eğrilik yarıçapına sahip  $\pm 55^\circ$  sarım açılı yaşlandırılmış numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.

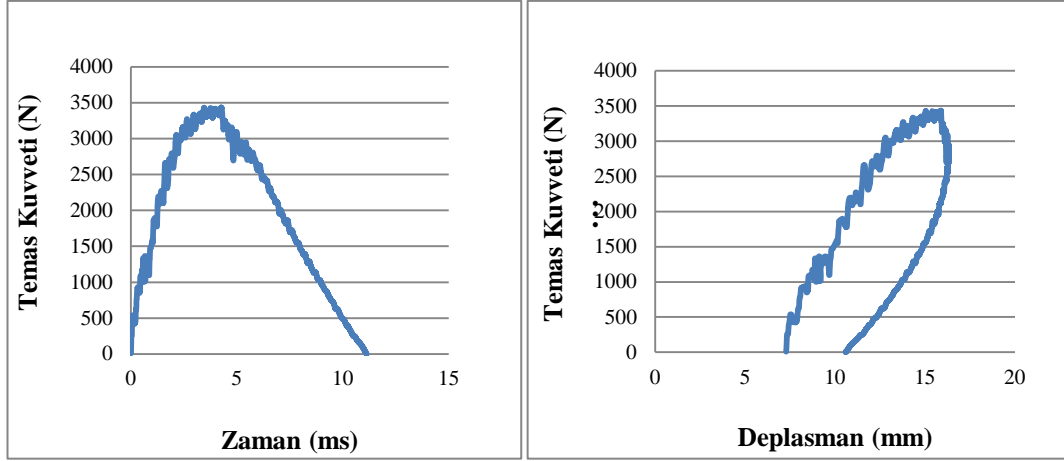


Şekil 6.9 BXX numunesi test sonrası.

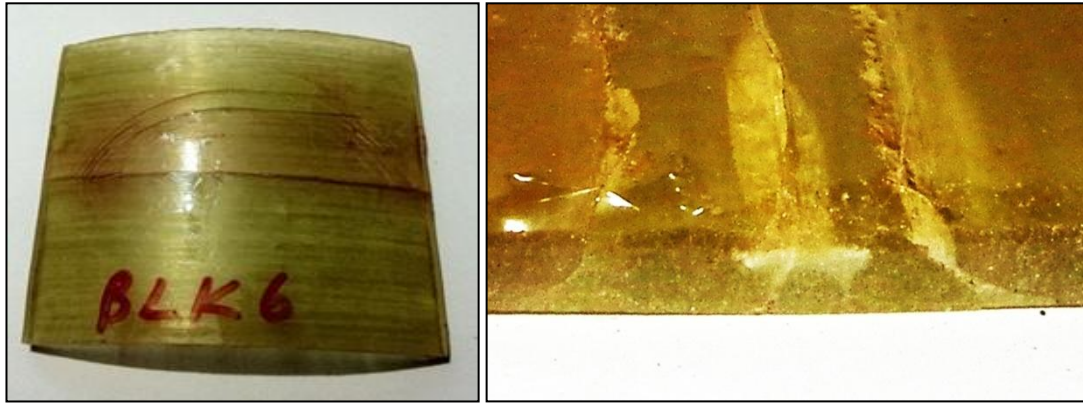


Şekil 6.10 BXY numunesi test sonrası.

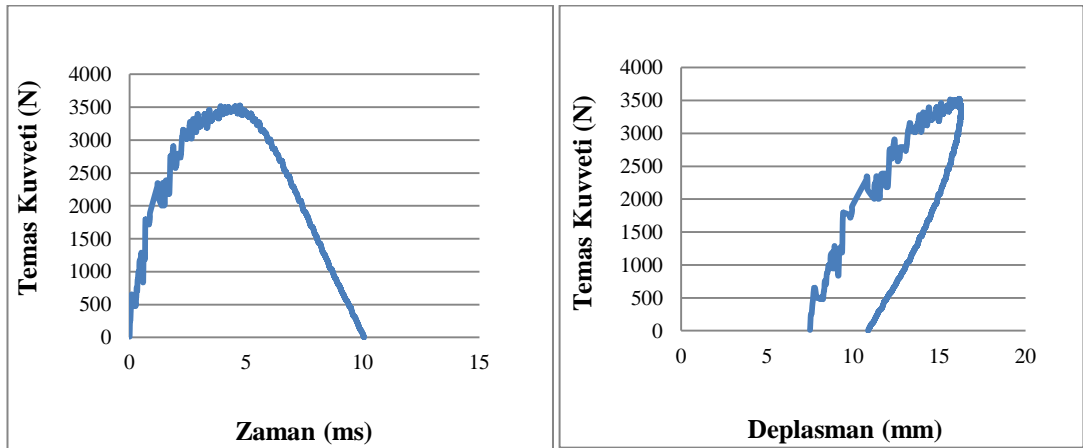
Şekil 6.9 ve 6.10 da test sonrası fotoğraflarından görüldüğü üzere yaşlandırılmış numune ve yaşlandırılmamış numunenin hasar bölgelerinde gözle görülür bir fark gözlemlenmemiştir.



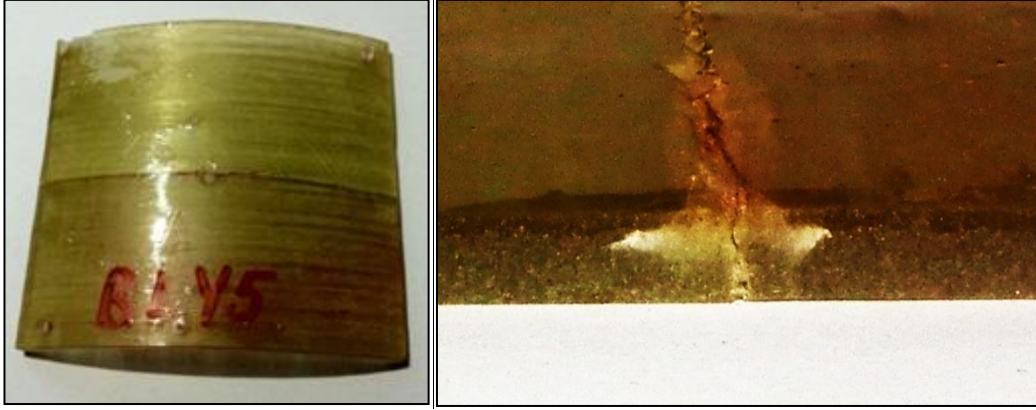
Şekil 6.11 125 mm eğrilik yarıçapına sahip 90° sarım açılı numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.



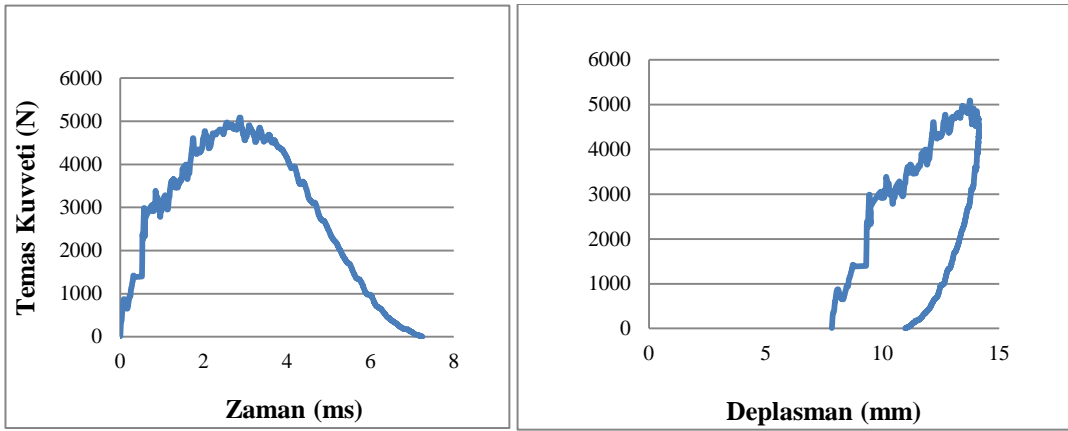
Şekil 6.12 BLK numunesi test sonrası.



Şekil 6.13 125 mm eğrilik yarıçapına sahip 90° sarım açılı yaşlandırılmış numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.



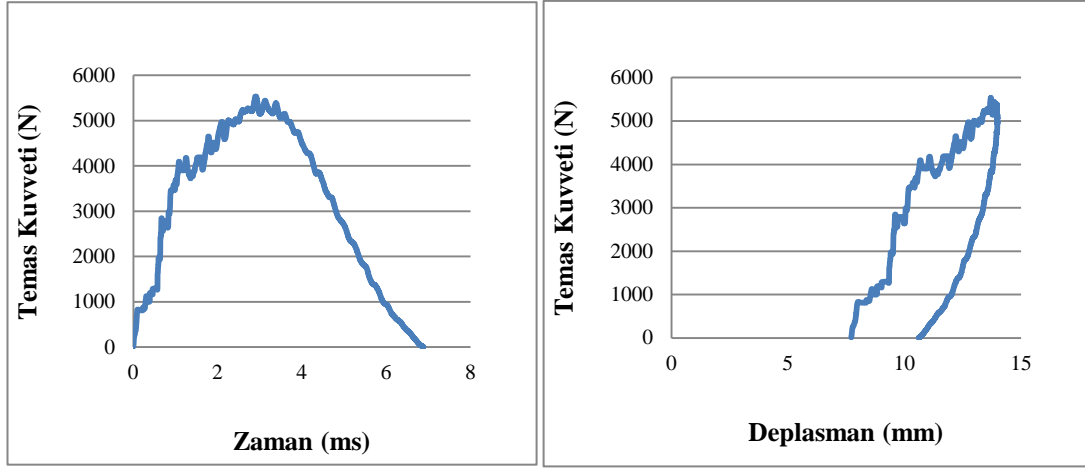
Şekil 6.14 BLY numunesi test sonrası.



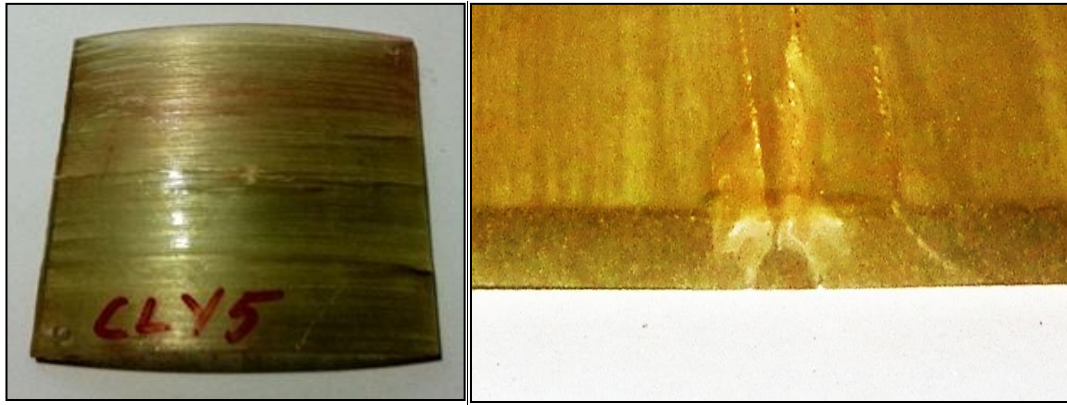
Şekil 6.15 160 mm eğrilik yarıçapına sahip 90° sarım açılı numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.



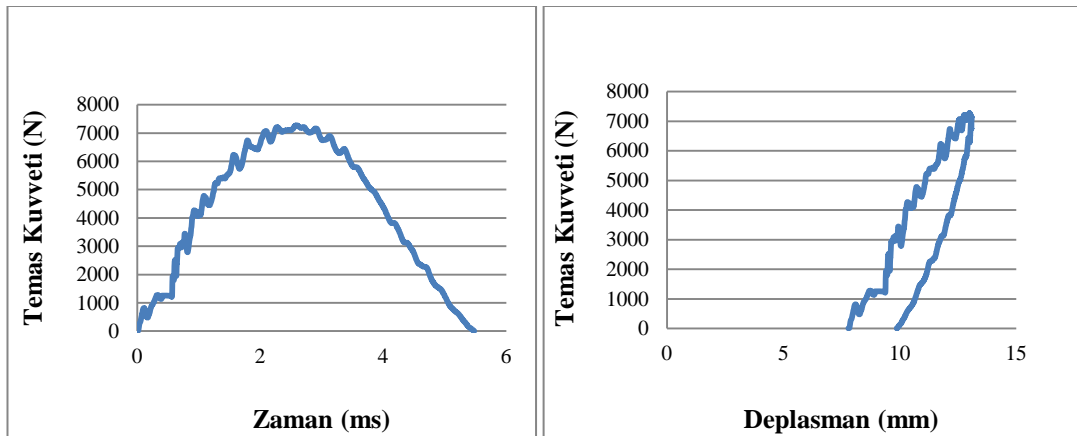
Şekil 6.16 CLK numunesi test sonrası.



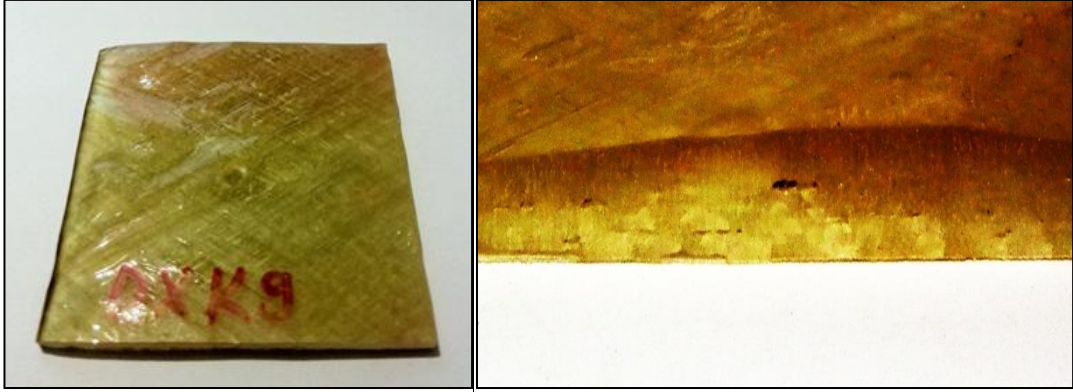
Şekil 6.17 160 mm eğrilik yarıçapına sahip  $90^\circ$  sarım açılı yaşlandırılmış numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.



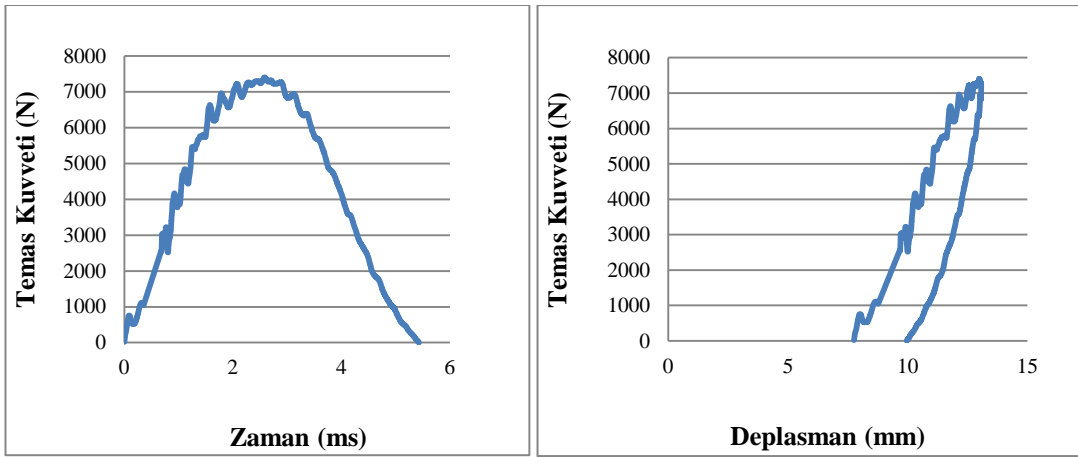
Şekil 6.18 CLY numunesi test sonrası.



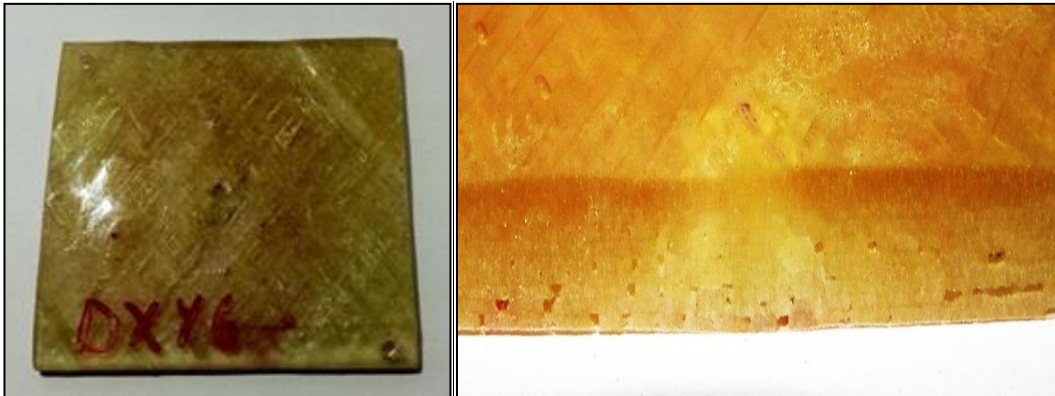
Şekil 6.19 Düz plaka şeklindeki ve  $\pm 55^\circ$  sarım açılı numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.



Şekil 6.20 DXXK numunesi.



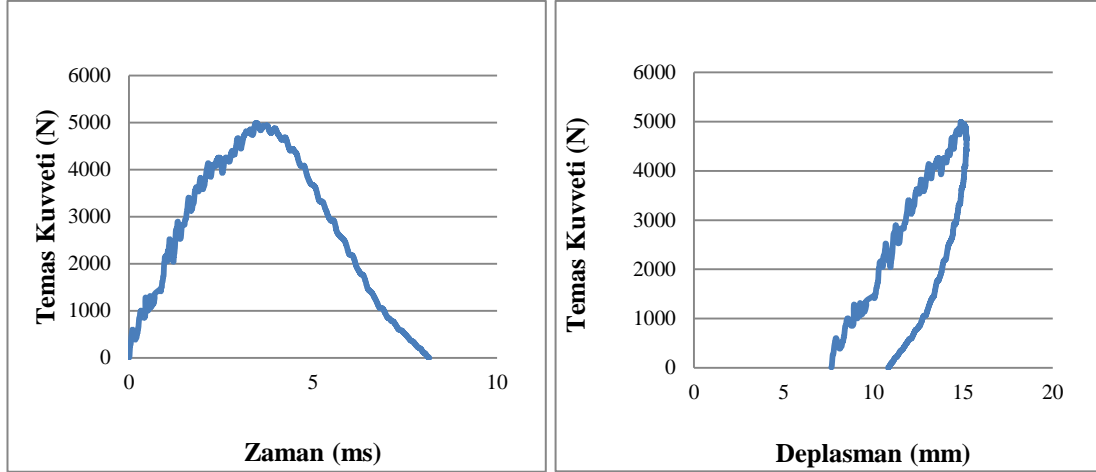
Şekil 6.21 Düz plaka şeklindeki ve  $\pm 55^\circ$  sarım açılı yaşlandırılmış numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.



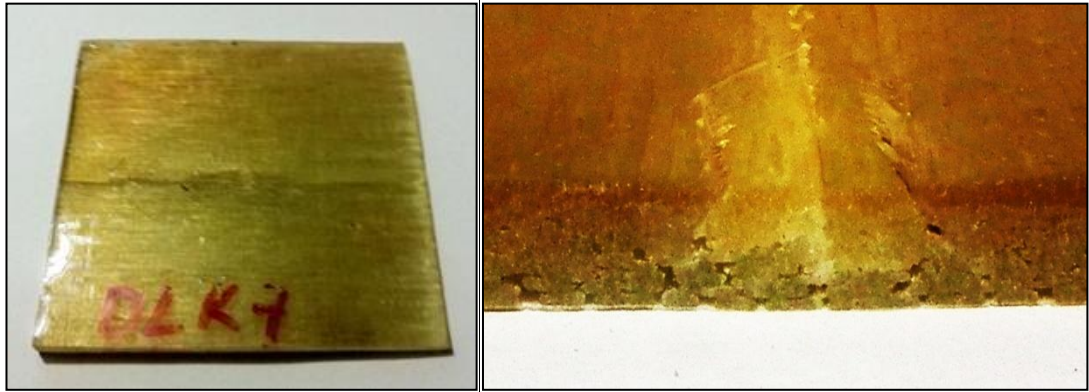
Şekil 6.22 DXY numunesi test sonrası.

Şekil 6.20 ve 6.22’ de malzemenin imalatında meydana gelen boşluklar ve darbe sonrası delaminasyonlar görülmektedir.



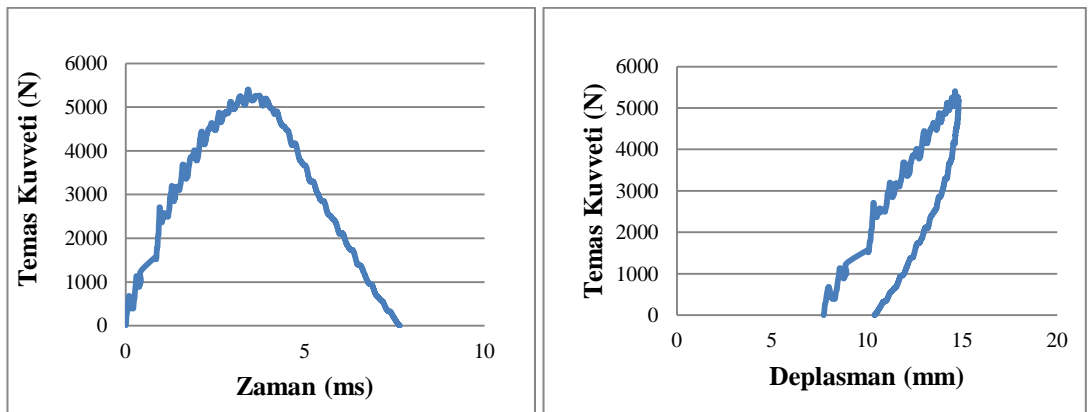


Şekil 6.23 Düz plaka şeklindeki ve 90° sarım açılı numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.

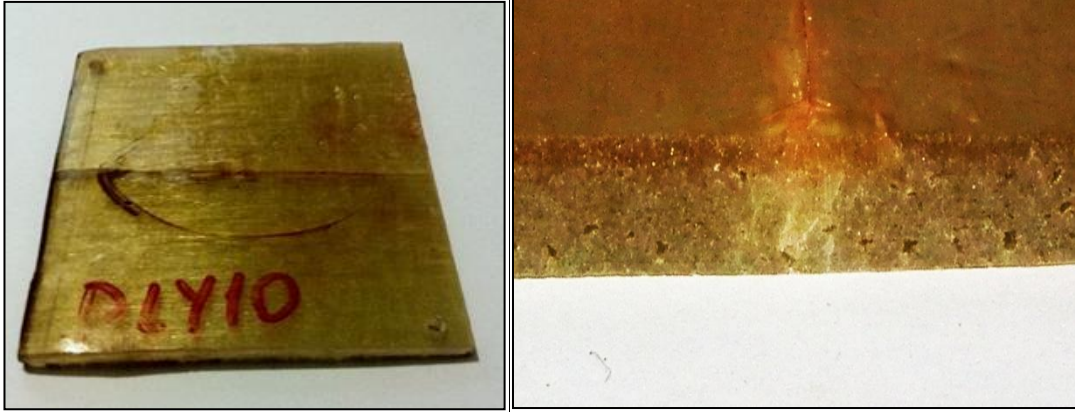


Şekil 6.24 DLK numunesi test sonrası

Matris çatlakları fiber boyunca ilerlemiştir.



Şekil 6.25 Düz plaka şeklindeki ve 90° sarım açılı yaşlandırılmış numunenin 20 J enerji seviyesindeki temas kuvveti – zaman ve temas kuvveti – deplasman grafikleri.



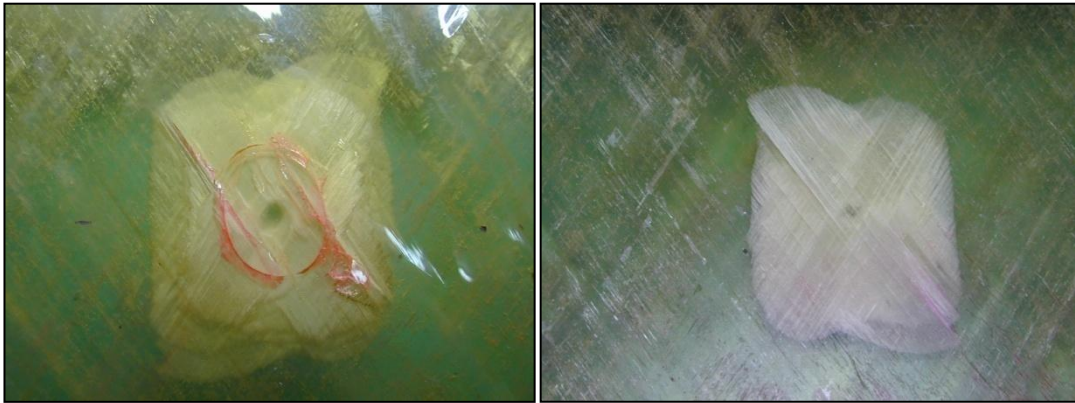
Şekil 6.26 DLY numunesi test sonrası

Şekil 6.24 ve 6.26' da 90° sarım açılı numunelerde oluşan hasarlar görülmektedir. Matris çatlakları fiberlerin sarım açısı yönünde meydana gelmiştir.

## 6.6 Stereo Mikroskop Görüntüleri

Darbe testlerinden sonra numunelerin stereo mikroskop altındaki görüntüleri aşağıda incelenen parametrelere göre verilmiştir. Mikroskop, Metkon marka PST 901 model olup 6,7x ile 45x arasında büyütme yapabilmektedir.

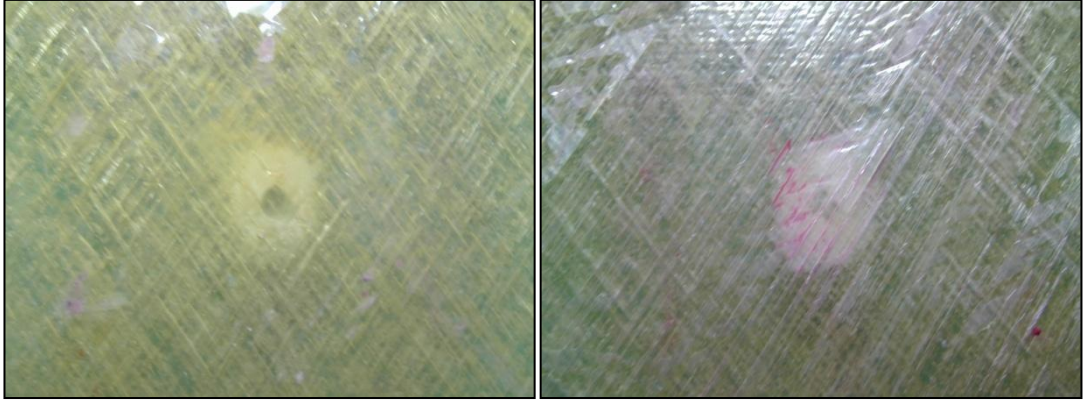
### 6.6.1 Eğrilik Faktörü



a) Ön yüzey

b) Arka yüzey

Şekil 6.27 AXK numunesinin test sonrası görüntüsü



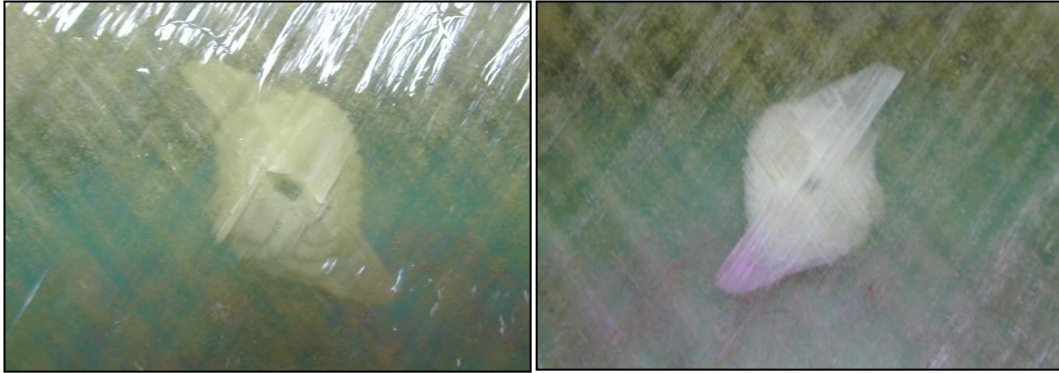
a) Ön yüzey

b) Arka yüzey

Şekil 6.28 DXK numunesinin test sonrası görüntüsü

Yapılan inceleme sonucunda eğrilik yarıçapı arttıkça, numunede oluşan hasarın büyüklüğünün azaldığı görülmektedir. Her iki numunede de ön yüzeylerdeki hasarlar arka yüzeydeki hasarlara göre daha küçüktür. Bunun sebebi; eğrilik yarıçapı arttıkça malzemenin çeki gerilmelerine karşı dayanımının artmasıdır.

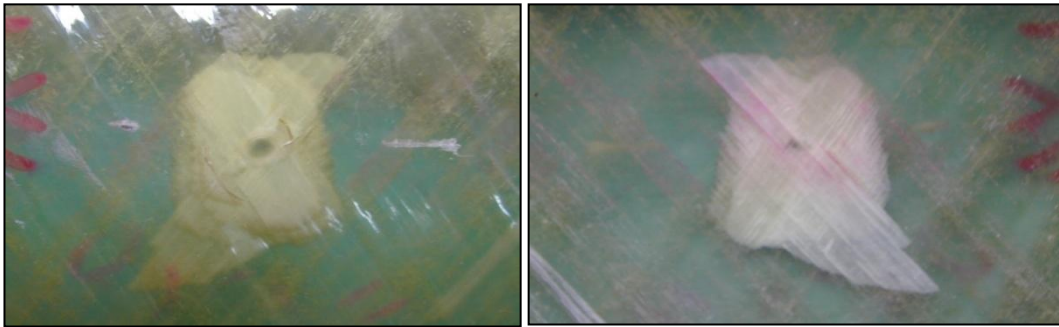
### 6.6.2 Yaşlandırma Etkisi



a) Ön yüzey

b) Arka yüzey

Şekil 6.29 BXK numunesinin test sonrası görüntüsü



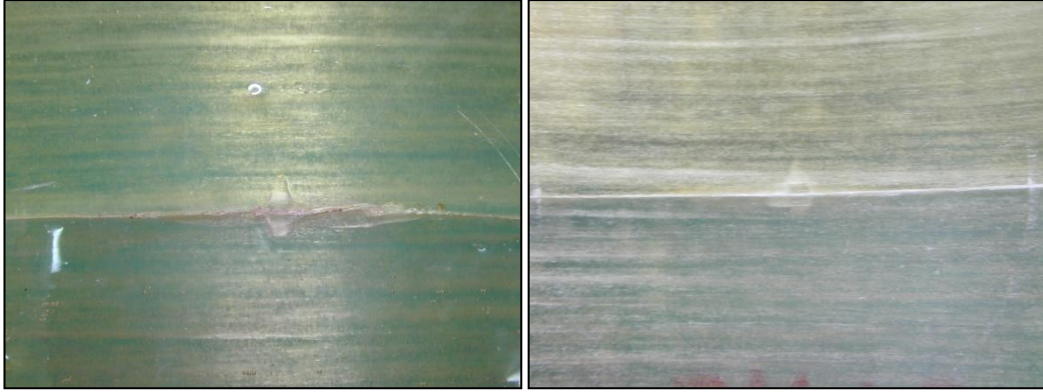
a) Ön yüzey

b) Arka yüzey

Şekil 6.30 BXY numunesinin test sonrası görüntüsü

Yapılan incelemelerde yaşlandırmanın, numunelerdeki hasar boyutları üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmemiştir.

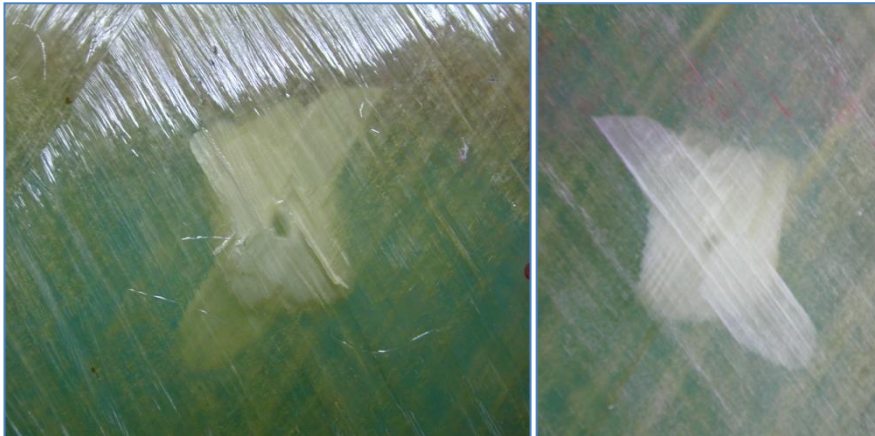
### 6.6.3 Sarım Açısı Faktörü



a) Ön yüzey

b) Arka yüzey

Şekil 6.31 BLK numunesinin test sonrası görüntüsü



a) Ön yüzey

b) Arka yüzey

Şekil 6.32 BXX numunesinin test sonrası görüntüsü

Yapılan inceleme sonucunda 90° sarım açılı numunede oluşan hasar fiberler boyunca ilerlemiştir, numune sınırlarının dışına çıkmış ve malzemede çatlak oluşturmuştur fakat hasar alanı küçüktür.  $\pm 55^\circ$  sarım açısına sahip numunelerde ise hasar alanı daha büyük fakat hasar numunenin sınırları içinde kalmıştır.

Tablo 6.1' de numunelerin maksimum temas kuvveti değerleri Newton cinsinden verilmiştir.

Tablo 6.1 Maksimum temas kuvveti değerleri

|        | Ø200 mm | Ø250 mm | Ø320 mm           | Düz levha |
|--------|---------|---------|-------------------|-----------|
| ±55° K | 5088    | 5237    | Numune üretilmedi | 7273      |
| ±55° Y | 5578    | 5470    | Numune üretilmedi | 7402      |
| 90° K  | 3313    | 3435    | 5088              | 4997      |
| 90° Y  | 3478    | 3526    | 5533              | 5405      |

Tablo 6.2' de numunelerin toplam deplasman değerleri mm cinsinden verilmiştir.

Tablo 6.2 Toplam deplasman değerleri

|        | Ø200 mm | Ø250 mm | Ø320 mm           | Düz levha |
|--------|---------|---------|-------------------|-----------|
| ±55° K | 11.1    | 10.7    | Numune üretilmedi | 9.9       |
| ±55° Y | 10.7    | 10.4    | Numune üretilmedi | 10.0      |
| 90° K  | 12.1    | 10.6    | 11.1              | 10.9      |
| 90° Y  | 10.7    | 10.9    | 10.7              | 10.4      |

Tablo 6.3' de numunelerin absorbe ettikleri toplam enerji değerleri Joule cinsinden verilmiştir.

Tablo 6.3 Toplam absorbe edilen enerji değerleri

|        | Ø200 mm | Ø250 mm | Ø320 mm           | Düz levha |
|--------|---------|---------|-------------------|-----------|
| ±55° K | 16.5    | 14.76   | Numune üretilmedi | 11.77     |
| ±55° Y | 15.22   | 14.48   | Numune üretilmedi | 12.47     |
| 90° K  | 15.9    | 14.92   | 16.5              | 10.9      |
| 90° Y  | 14.47   | 13.42   | 14.88             | 10.4      |

## **BÖLÜM YEDİ**

### **DEĞERLENDİRME**

Yapılan bu çalışmada eğrilik yarıçaplarındaki değişikliklerin ve tuzlu su yaşlandırmasının fiber destekli kompozit malzemelerin darbe performansındaki etkileri gözlenmiştir. Bu parametrelerin yanında fiberlerin sarım açılarının da malzemelerin darbe performansına etkileri incelenmiştir. Bu incelemelerden sonra aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

İlk olarak sarım açısı faktörünün numuneler üzerindeki etkileri incelendiğinde;

- $\pm 55^\circ$  sarım açısına sahip numunelerin maksimum tepki kuvveti değerlerinin  $90^\circ$  sarım açısına sahip numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür.
- Toplam deformasyon değerlerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir.
- $\pm 55^\circ$  sarım açısına sahip numunelerin absorbe ettikleri toplam enerji değerlerinin  $90^\circ$  sarım açısına sahip numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Sarım açısının enerji absorpsiyonu üzerindeki bu etkisi şu şekilde yorumlanabilir; fiberler; etki eden kuvvetin matris dışına çıkmasına karşı direnmektedir ve bu da malzemenin enerji absorpsiyonunu arttırmaktadır.

Yapılan testlerde eğrilik yarıçapının darbe performansına etkileri incelendiğinde;

- Eğrilik yarıçapındaki artış toplam deformasyon değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir.
- Eğrilik yarıçapı arttıkça numunelerin maksimum tepki kuvveti değerleri de artmıştır. Bundan dolayı toplam absorbe edilen enerji değeri eğrilik yarıçapındaki artışla ters orantılıdır.

Sonuçlar eğriliğin darbe kuvvetini düşürme etkisi olduğunu göstermiştir. Bunun sebebi eğri yüzeye sahip numunelerdeki fiberlerin etki eden kuvvetin doğrultusuna

yaklaşmasıdır. Benzer bir çalışmada; düz kompozit plakanın ve eğrilik yarıçapları 75 mm, 125 mm olan kompozit plakaların farklı enerji seviyelerinde darbe performansları karşılaştırılmış bunun sonucunda eğrilğin darbe kuvvetini azaltma eğiliminde olduğunu gözlemlemişlerdir (G.J. Short ve ark. 2002).

Son olarak yaşlandırma işleminin darbe performansına etkileri ise şu şekildedir;

- Toplam deformasyon değerlerindeki değişiklikler göz ardı edilebilir nitelikte sonuç vermiştir.
- Yaşlandırılmış numunelerdeki maksimum tepki kuvveti değerleri yaşlandırılmamış numunelere göre daha fazladır. Buna bağlı olarak yaşlandırılmamış numunelerin absorbe ettikleri toplam enerji değeri yaşlandırılmış numunelere göre daha fazladır.

Tuzlu suda yaşlandırma işlemi sonrasında yaşlandırılmış numunelerin aldıkları neme bağlı olarak malzeme yapılarında bozulma eğilimi olduğunu ve darbe dayanımlarının düştüğünü görülmektedir. Yaşlandırma işlemi ile elde edilen sonuçlar literatürdeki E. P. Gellert ve ark. (2002)'nin yaptıkları çalışmadan elde ettikleri sonuçlar ile de uyusmaktadır.

**KAYNAKLAR**

- Aran A., (1990). "*Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler*", İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- A.S.M. International, (1984). *Composite materials I the basics*, Materials Engineering Institute, Ohio, 10.15 p.
- Belevi M. ve İnançer G. (2008). *Darbe ve ortam şartlarının kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkileri*, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2008 (4) 19-31.
- Bunsell, A.R., (1982). *Characteristics and selection of fibres for aerospace laminates*, Agard LS-124, Technical Editing and Reproduction Ltd., London, 11 p.
- Carlson, L.A ve Gillspie, J.W., (1977). *Composite design studies*, Technomic Publishing Company, Lancaster, 283 p.
- Chamis, C.C., (1975). *Structural design and analysis of composite materials*, Academic Press, New York Inc., 283 p.
- Ceyhun, V. ve Turan, M. (2003). *Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışı*. Mühendis ve Makine, 516, 35-41.
- Donaldson, B.K., (1993). *Analysis of aircraft structures*, McGraw-Hill Inc, 930 p.
- Gay, D., (1989). *Matériaux composites*, HERNES, Paris, 506 p.
- Maritime Platforms Division, P.O. Box 4331, Melbourne, Victoria 3001, Australia.
- Halpin, J.C., (1984). *Primer on composite materials analysis*, Technomic Publishing Co. Inc., 187 p.



Hoskin, B.C. and Baker, A.A., (1986). *Composite materials for aircraft structures*, American Institute of Astronautics Inc., 17 p.

Hull, D., (1981). *An Introduction to composite materials*, Cambridge University Press, 92 p.

İzoreel Kompozit İzole Malzemeler San. ve Tic. Ltd. Şti.

Jones R. M., (1999). "*Mechanics of Composite Materials*." Taylor & Francis, Philadelphia, USA.

Jones, B., (1985). *Design fabrication and mechanics of composite structures*, Techromic Publishing Company Inc., 460 p.

Jones R.M, (1975). *Mechanics of composite materials*, Publishing Corporation, New York, 354 p.

Mallick P.K., (1993). "*Fiber Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design*." Second Edition. Marcel Dekker, New York, USA.

Pipes,R.B., (1982). *Introduction to thin laminate theory*, Agard LS-124, Technical Editing and Reproduction Ltd., London, 11 p.

Reyne , M., (1990). *Technologie des composites*, Hermes,Paris,165 p.

Rouchan, J., (1987). *Materiaux composites pour d'aeronefs*, Ecole Nationale Superieure d'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques, 95 p.

Schwartz, M.M., (1984). *Composite materials handbook*, McGraw-Hill Inc.,8-26 p.

Sih G.C. and Sukudra A.M., (1987). *Failure mechanics of composites*, Elsevier Sciences Publishing Company, 805 p.

Short G. J., Guild F. J., Pavier M. J. (2002). *Post-impact compressive strength of curved GFPR laminates*, Composites: Part A 33 (2002) 1487-1495.

Rouchan, J., (1987). *Materiaux composites pour d'aeronefs*, Ecole Nationale Superieure d'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques, 95 p.

Yüce İ. (2007). *Dairesel Kompozit tabakalarda darbe hasarının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.