

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI ÇEVRESEL KOŞULLARA MARUZ**  
**KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARI**

**Akar DOĞAN**

**Haziran, 2014**  
**İZMİR**

# **FARKLI ÇEVRESEL KOŞULLARA MARUZ KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı**

**Akar DOĞAN**

**Haziran, 2014**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AKAR DOĞAN, tarafından DOÇ. DR. CESİM ATAŞ yönetiminde hazırlanan “FARKLI ÇEVRESEL KOŞULLARA MARUZ KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç Dr. Cesim ATAŞ

Yönetici



Doç Dr. Yusuf ARMAN

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIKANAT

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŐEKKÖR

Bu tez çalıŐmasının baŐından sonuna kadar her aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen değerli tez danıŐmanım Doç. Dr. Cesim ATAŞ'a tÖm kalbimle teŐekkÖrlerimi sunarım.

Yapılan testler sırasında benden yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. BÖlent M. İTEN hocama Őukranlarımı sunarım. Aynı zamanda Kompozit malzemelerin üretilimi ve hazırlanması sırasında yoğun alıŐma Őartlarına rağmen yardımlarından dolayı AraŐ. Gör. Volkan ARIKAN'a teŐekkÖrlerimi sunarım. Bu proje Dokuz Eylöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiŐtir (Proje No. 2012.KB.FEN.071). Bu vesile ile Dokuz Eylöl Üniversitesi RektÖrlÖğü'ne ve BAP Koordinasyon Birimi çalıŐanlarına teŐekkÖr ederim.

Son olarak, sıkıntılı ve yorgun anlarımda beni anlayan ve varlığıyla bana destek olan sevgili eŐime teŐekkÖrlerimi sunarım.

Akar DOğAN

# FARKLI ÇEVRESEL KOŞULLARA MARUZ KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARI

## ÖZ

Bu çalışmada termal yaşlanmanın cam-epoksi kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin ve darbe davranışı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kompozit malzemeler vakum destekli reçine infüzyonu yöntemi ile üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde, tek yönlü 300 gram bölü metrekare alansal yoğunluğa sahip E-cam takviye malzemesi ve bir reçine sistemi (Araldite LY 564/Aradur 3487 BD) kullanılmıştır.

Elastisite modülü, fibere dik ve fiber yönündeki çekme mukavemeti, kayma mukavemeti ve Poisson oranı gibi mekanik özellikleri belirlemek için ASTM standartlarına göre kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Daha sonra numuneler sabit bir sıcaklık (95 santigrat derece) ve sabit nem (yüzde 70) altında 0'dan 1300 saate kadar farklı periyotlarda bir iklimik test kabini içinde bekletilmiştir. Üretilen kompozitin camsı geçiş sıcaklığı yetmiş sekiz santigrat derece olarak bulunmuştur ve bundan dolayı ortam sıcaklığı doksan beş santigrat derece olarak seçilmiştir. Sonuç olarak kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde ve delinme eşiğinde saklama süresinin artışı ile yüzde 0,52 ile yüzde 41,32 arasında değişen oranlarda düşme olmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Termal yaşlandırma, E-cam/epoksi kompozit, mekanik özellikler, darbe davranışı

# MECHANICAL BEHAVIOR OF COMPOSITES SUBJECTED TO DIFFERENT ENVIRONMENTAL EFFECTS

## ABSTRACT

In this study, the effects of thermal aging on the mechanical properties and impact behavior of glass-epoxy composites were investigated experimentally. The vacuum assisted resin infusion method (VARIM) was used to manufacture composites. In manufacturing of composites, unidirectional e-glass fabrics with areal density of 300 grams per square meter and a resin system (Araldite LY 564/Aradur 3487 BD) were used.

In order to determine mechanical properties such as modulus of elasticity, longitudinal and transverse strengths, shear strength and Poisson's ratio, the composite samples were prepared according to the ASTM standards. Then, the samples were conditioned in a climatic test cabin at a constant temperature (95 centigrade Celsius) and a constant humidity (70 percent) for different period of times; ranging from 0 h to 1300 hours. The conditioning temperature was chosen due to the glass-transition temperature of the intact composites which is determined as 78 centigrade Celsius. It is concluded that the mechanical properties and perforation threshold of the composite decrease with increase of conditioning time in the range of 0.52 percent - 41.32 percent.

**Keywords:** Thermal aging, E-glass/epoxy composite, mechanical properties, impact behavior.

## İÇİNDEKİLER

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....                             | ii           |
| TEŞEKKÜR.....  | iii          |
| ÖZ .....   | iv           |
| ABSTRACT .....   | v            |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....   | viii         |
| TABLolar LİSTESİ.....  | xi           |
| <br>   |              |
| <b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>   | <b>1</b>     |
| <br>   |              |
| <b>BÖLÜM İKİ – DENEYSEL YÖNTEM.....</b>                                | <b>7</b>     |
| <br>   |              |
| 2.1 Kompozit Malzemelerin Üretimi .....                                | 7            |
| 2.2 Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....              | 10           |
| 2.2.1 Giriş .....  | 10           |
| 2.2.2 Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi .....                          | 10           |
| 2.2.3 Bası Özelliklerinin Belirlenmesi.....                            | 14           |
| 2.2.4 Kayma Özelliklerinin Belirlenmesi .....                          | 15           |
| 2.3 Darbe Testleri .....   | 18           |
| <br>   |              |
| <b>BÖLÜM ÜÇ – KOMPOZİTLERİN YAŞLANDIRILMASI .....</b>                  | <b>20</b>    |
| <br>   |              |
| 3.1 Giriş.....   | 20           |
| 3.2 Çevresel Etkilerin Cam Elyaf Üzerindeki Etkisi.....                | 21           |
| 3.3 Çevresel Etkilerin Matris Üzerindeki Etkisi .....                  | 21           |
| 3.4 Çevresel Etkilerin Matris Fiber Ara Yüzeyi Üzerindeki Etkisi ..... | 22           |
| 3.5 Yaşlandırma Koşullarının Belirlenmesi .....                        | 22           |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>BÖLÜM DÖRT - TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER .....</b> | <b>24</b> |
| 4.1 Mekanik Özellik Testlerinin Sonuçları .....              | 24        |
| 4.1.1 Çekme Özelliklerinin Değerlendirilmesi .....           | 24        |
| 4.1.2 Kayma Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....            | 31        |
| 4.1.3 Bası Özelliklerinin Değerlendirilmesi .....            | 34        |
| 4.1.4 Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi .....           | 36        |
| 4.2 Darbe Testlerinin Sonuçları.....                         | 37        |
| 4.2.1 Tek Darbeli Testlerin Değerlendirilmesi .....          | 37        |
| 4.2.2 Tekrarlı Darbe Testlerinin Değerlendirilmesi .....     | 55        |
| <b>BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR .....</b>                            | <b>61</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                       | <b>64</b> |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 2.1 Vakum destekli reçine infüzyon metodu şematik gösterimi.....                               | 7            |
| Şekil 2.2 Üretim masasının sıcaklık-zaman grafiği.....   | 8            |
| Şekil 2.3 Üretimde kullanılan malzemeler .....   | 9            |
| Şekil 2.4 Vakum altına alınmış malzeme.....  | 9            |
| Şekil 2.5 ASTM standartlarına göre üretilmiş numuneler .....   | 10           |
| Şekil 2.6 ASTM D3039 Standardına göre numune geometrisi.....   | 11           |
| Şekil 2.7 Shimadzu çekme cihazı.....   | 13           |
| Şekil 2.8 Strain gauge bağlanmış numunenin şematik gösterimi.....                                    | 13           |
| Şekil 2.9 Poisson oranının bulunması için hazırlanmış test düzeneği.....                             | 14           |
| Şekil 2.10 Bası test aparatı. ....   | 14           |
| Şekil 2.11 Bası numunesini şematik gösterimi. ....   | 15           |
| Şekil 2.12 Şematik kayma testi numunesi.....   | 16           |
| Şekil 2.13 Kayma test aparatı.....   | 17           |
| Şekil 2.14 Strain-gauge bağlanmış kayma test numunesi .....  | 17           |
| Şekil 2.15 CEAST Fractovis Plus darbe cihazı.....  | 18           |
| Şekil 2.16 Numune sabitleme aparatı.....   | 19           |
| Şekil 3.1 İklimlendirme kabini.....  | 23           |
| Şekil 4.1 Farklı yaşlandırma zamanları için fiber yönündeki kuvvet-uzama eğrileri<br>.....           | 24           |
| Şekil 4.2 Fiber yönündeki elastisite modülünün yaşlanma süresine göre dağılımı.                      | 25           |
| Şekil 4.3 Fiber yönündeki kopma mukavemetinin yaşlanma süresi ile dağılımı....                       | 26           |
| Şekil 4.4 Farklı yaşlandırma süreleri sonunda çekme testi yapılmış fiber yönündeki<br>numuneler..... | 26           |
| Şekil 4.5 Farklı yaşlandırma süreleri için fibere dik yöndeki kuvvet- uzama eğrileri<br>.....        | 27           |
| Şekil 4.6 Fibere dik yöndeki elastisite modülünün yaşlanma süresine göre dağılımı<br>.....           | 28           |
| Şekil 4.7 Fiber yönündeki kopma mukavemetinin yaşlanma süresi ile dağılımı ....                      | 29           |
| Şekil 4.8 Farklı yaşlandırma süreleri sonunda fibere dik yönündeki numuneler ...                     | 29           |
| Şekil 4.9 Poisson oranının yaşlanma süresi ile değişim.....  | 30           |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.10 Farklı yaşlandırma süreleri için kayma testi kuvvet-uzama diyagramları .....                 | 32 |
| Şekil 4.11 Kayma mukavemetinin yaşlanma süresi ile değişimi .....                                       | 32 |
| Şekil 4.12 Kayma modülünün yaşlanma süresi ile değişimi.....  | 33 |
| Şekil 4.13 Farklı yaşlanma süreleri sonunda V çentik kayma testi yapılmış numuneler.....                | 33 |
| Şekil 4.14 Fiber yönündeki bası mukavemetinin yaşlanma süresi ile değişimi .....                        | 34 |
| Şekil 4.15 Fibere dik yöndeki bası mukavemetinin yaşlanma süresi ile değişimi ....                      | 35 |
| Şekil 4.16 Farklı yaşlanma sürelerindeki 100 Joule'lük darbe enerjisi için kuvvet çökme eğrileri.....   | 38 |
| Şekil 4.17 Çökme, Maksimum temas kuvveti ve absorbe edilen enerjini yaşlanma süresi ile değişimi.....   | 39 |
| Şekil 4.18 a), b) Farklı yaşlandırma süresi ve farklı darbe enerjileri için kuvvet çökme eğrileri.....  | 40 |
| Şekil 4.18 c), d) Farklı yaşlandırma süresi ve farklı darbe enerjileri için kuvvet çökme .....          | 41 |
| Şekil 4.19 Farklı yaşlandırma süreleri için enerji profili diyagramı .....                              | 42 |
| Şekil 4.20 20 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 400 saat yaşlandırılmış numuneler.....      | 45 |
| Şekil 4.21 20 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler ..... | 46 |
| Şekil 4.22 40 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 700 saat yaşlandırılmış numuneler.....      | 47 |
| Şekil 4.23 40 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler ..... | 48 |
| Şekil 4.24 60 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 700 saat yaşlandırılmış numuneler.....      | 49 |
| Şekil 4.25 60 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler ..... | 50 |
| Şekil 4.26 80 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 700 saat yaşlandırılmış numuneler.....      | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.27 80 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler .....                    | 52 |
| Şekil 4.28 100 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 700 saat yaşlandırılmış numuneler.....                        | 53 |
| Şekil 4.29 100 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler. ....                   | 54 |
| Şekil 4.30 Yaşlandırılmamış numune için farklı darbe sayılarındaki kuvvet çökme eğrileri .....                             | 55 |
| Şekil 4.31 100 saat yaşlandırılmış numune için farklı darbe sayılarındaki kuvvet çökme eğrileri.....                       | 56 |
| Şekil 4.32 700 saat yaşlandırılmış numune için farklı darbe sayılarındaki kuvvet çökme eğrileri.....                       | 56 |
| Şekil 4.33 1300 saat yaşlandırılmış numune için farklı darbe sayılarındaki kuvvet çökme eğrileri.....                      | 57 |
| Şekil 4.34 Absorbe edilen enerjinin darbe sayısı ile değişimi .....  | 58 |
| Şekil 4.35 Maksimum temas kuvvetini darbe sayısı ile değişimi .....  | 58 |
| Şekil 4.36 Delinmeye yol açan darbe sayısının yaşlandırma süresi ile değişim .....   | 58 |
| Şekil 4.37 Farklı yaşlanma sürelerine maruz kompozitlerin 5, 10, 15 ve 20inci darbe sayılarındaki hasar fotoğrafları ..... | 59 |

## TABLULAR LİSTESİ

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Tablo 2.1 Bir orthotropic malzemenin sabitleri ve tanımları .....                                  | 11           |
| Tablo 2.2 ASTM D3039 standardına göre numune için boyut ölçüleri .....                             | 12           |
| Tablo 4.1 Yaşlanma süresine göre mukavemet değerleri.....  | 37           |
| Tablo 4.2 Yaşlanma süresi ile elastisite modülünün, Poisson oranının değişimi.....                 | 37           |
| Tablo 4.3 Farklı yaşlandırma süreleri ve darbe enerjileri için elde edilen veriler....             | 43           |
| Tablo 4.4 Yaşlanmamış ve 1300 saat yaşlandırılmış numunelerin darbe testi sonrası hasar alanı..... | 44           |
| Tablo 4.5 Yaşlandırma süresi ve darbe sayısı ile hasar alanının değişim .....                      | 60           |

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla malzemenin makroskobik seviyede bir araya gelerek oluşturdukları yeni yapıya denir. Meydana gelen yeni malzeme bileşenlerine göre daha üstün özelliklere sahiptir. Kompozit malzemeler üç ana fazdan oluşmaktadır. Bunlar takviye, matris ve ara yüz fazlarıdır. Takviye fazı yükü taşıyan, matris fazı yapıyı bir arada tutan ve yükü homojen olarak paylaştıran fazdır. Ara yüzey fazı ise takviye ile matris arasındaki yapışmayı belirleyen fazdır. Burada takviye elemanı genellikle yükü taşıyan, matris ise yapıyı bir arada tutan ve yükü lifler arasında homojen olarak yayan elemandır. Günümüzde kompozit malzemeler inşaat, askeri ve havacılık gibi birçok alanda geleneksel malzemelerin yerini almışlardır.

Kompozit malzemeler matrise ve takviye elemanına göre iki ana sınıfa ayrılabilirler. Matrise göre, genel olarak polimer matris kompozitler, metal matris kompozitler ve seramik matris kompozitler olmak üzere üçe ayrılırlar. Takviye elemanına göre ise, elyaf takviyeli, parçacık takviyeli ve tabaka takviyeli olmak üzere yine üç sınıfta incelenirler. Kompozit malzemeler, yüksek dayanım, yüksek rijitlik, düşük ağırlık, yüksek yorulma dayanımı, yüksek aşınma direnci, yüksek korozyon direnci, estetik görünüm gibi birçok avantaj sunmaktadır.

Kompozit malzemeler geleneksel malzemelere göre yukarıda bahsedildiği gibi birçok avantaj sağladığı için günümüzde birçok mühendislik alanında kullanılmaktadırlar. Yüksek mukavemet ağırlık oranı, kimyasal etkilere karşı dayanım bu avantajlardan bir kaçıdır. Yirminci yüzyılın sonlarında birçok endüstri alanında bu malzemelerin kullanımında önemli bir büyüme görülmüş ve bu büyüme yirmi birinci yüzyılda devam etmektedir. Yüksek mukavemete sahip olmaları bu malzemelerin havacılık pazarı, rüzgâr tribün kanatlarında kullanılmasını sağlamıştır. Bir diğer özelliği olan aşındırıcı ortamlara karşı olan direnci sayesinde petrokimya sanayisi gibi yüksek aşınmaların görüldüğü sektörlerde kullanılmasını sağlamıştır. Kompozit yapıların 20 ile 30 yıl arasında servis ömrü beklenir. Bununla birlikte uzun

süre çevresel koşullara maruz kalan polimer matris kompozitlerin mekanik özelliklerinde değişimler meydana geldiği gözlenmiştir. Mekanik özelliklerindeki bu değişim süreci yaşlanma olarak tanımlanmaktadır. Yaşlanma üç ana kategori altında toplanabilir. Bunlar, kimyasal, fiziksel ve mekanik yaşlanmadır. Bu üç kategori arasındaki ilişki, malzeme karakteristiğine ve yaşlanma çevresi gibi iki değişkene yüksek derecede bağlıdır (Martin, 2008). Malzemelerdeki bu değişiklik kritik görevi olan yapılarda gerçekleşerek büyük bir yıkıma neden olabilir. Bu nedenle çevresel koşullara maruz kompozit malzemelerin özelliklerindeki değişim iyi bilinmelidir.

Fakat kompozit malzemelerin uzun çevresel koşullar altında, mekanik özelliklerindeki değişim tüm detayları ile tanımlanamamıştır. Başlıca çevresel yaşlanma faktörleri olan sıcaklık, nem, ultraviyole ışık (UV), tuzlu su, dış yükler ve bunların birleşimi gibi durumlar altında kompozit malzemeler bozulabilir ve mekanik özelliklerinde bir değişim meydana gelebilir. Bu değişim sonucunda yapının çalışma ömründe bir düşüş meydana gelebilir. Bundan dolayı, literatürde kompozit malzemelerin yaşlanma eğilimlerinin araştırılması üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları hidrotermal yaşlanma üzerine odaklanmıştır (Deroine ve ark, 2014; Mula, Bera, Ray ve Ray, 2006; Sharma, Surendra, Kumar ve Ray, 2008; Thwe ve Liao, 2002).

Vieille, Aucher ve Taleb (2012), çevresel koşullara maruz kalmış termoplastik ve termoset kompozitlerin mekanik özelliklerindeki değişimi incelemişlerdir. Numuneler 120°C de hidrotermal yaşlandırmaya maruz bırakılmıştır. Yaptıkları bu araştırma sonucunda hidrotermal yaşlanmanın ve sıcaklığın kompozit malzemelerin servis ömrü üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu gözlemlemişlerdir.

Boubakri, Haddar, Eleuch ve Bienvenu (2010), çevresel yaşlanma koşulların termoplastik poliüretanın mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Saf su içinde 25, 70 ve 90°C de bekletilen numuneler üzerinde çekme ve dinamik mekanik termal analiz testleri yapılmıştır. Bu testler sonunda, mekanik özelliklerin bozulduğu ve bu bozulmanın büyük oranda sıcaklık ve yaşlandırma süresine bağlı olduğu gösterilmiştir.

Liao, Schultheisz ve Hunston (1999), çevresel yaşlanmanın cam-fiber takviyeli vinilester kompozitler üzerindeki etkisini çalışmışlardır. Numuneler oda sıcaklığındaki ve 75°C deki su ve tuzlu su içinde çeşitli sürelerde bekletildikten sonra eğilme ve çekme testlerine tabi tutulmuşlardır. Yapılan testler sonucunda, malzemenin hem mukavemet değerinin hem de elastisite modüllerinin düştüğü gözlenmiştir.

Soykok, Sayman ve Pasinli (2013), hidrotermal yaşlandırmanın cam-fiber epoksi kompozitlerin mekanik bağlantıları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Numuneler 50, 70 ve 90°C deki su içinde 1 ve 2 hafta süreyle bekletildikten sonra testleri yapılmıştır. Yaptıkları bu araştırma sonucunda hem suda bekletilme süresinin hem de artan sıcaklığın mekanik bağlantının dayanımını negatif yönde etkilediği görülmüştür. Aynı zamanda kompozit malzemelerin nem tutmasından dolayı ağırlıklarının arttığı gözlenmiştir.

Arıcı (2007), hidrotermal yaşlanmanın polieterimid kompozitlerin termo-mekanik ve statik davranışları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Hızlandırılmış yaşlanma bir iklimlendirme kabininde gerçekleştirilmiştir. İklim döngüsü minimum -40°C ve maksimum 90°C arasında dakikada 5°C değişecek şekilde ayarlanmıştır. Bağıl nem pozitif sıcaklıkta %90 seçilmiştir. Bu döngü 108 dakikada gerçekleşmiştir ve 976,6 saat test devam etmiştir. Çekme testleri sonucunda hidrotermal döngünün kompozit malzemeyi etkilediği tespit edilmiştir. Özellikle akma kırılma enerji değerinde önemli bir düşüş meydana gelmiştir.

Hammiche, Boukerrou, Djidjelli, Corre ve Grohens (2013), hidrotermal yaşlanmanın Alfa fiber takviyeli polivinil klorür kompozit üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Hidrotermal yaşlanma 100°C deki su içinde 120 saatlik periyotlar ile gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırma sonrasında yapılan testler sonucunda malzemenin Young modülünde, fiber hasarından ve matris-fiber ara yüz yapışmasındaki düşüşten dolayı bir azalma meydana gelmiştir.

Bir diğer önemli yaşlanma faktörü ise ultraviyole ışınım ve diğer faktörler ile olan bileşimidir. Martins, Borges ve D'Almedia (2011), polimer kompozit malzemelerin ultraviyole radyasyona ve su buharına maruz kaldıktan sonraki davranışını incelemiştirler. Bu çalışmada çekme ve sürünme testleri yapılmıştır. Kompozit malzemedeki önemli değişimler uzun süre yaşlandırılmadan sonra gözlenmiştir.

Shin, Kim ve Hong (2003), evresel koşulların kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. T300/AD6005 grafit-epoksi kompozitler beş yıl boyunca doğal evre koşullarına maruz bırakılmışlardır. Aynı zamanda, ultraviyole ışınım, sıcaklık ve nem içeren çevresel koşulda 2000 saat boyunca hızlandırılmış yaşlandırılmaya maruz tutulmuşlardır. Bu araştırma sonucunda eğilme özelliklerinin çevresel etkilere karşı çok hassas olduğu gözlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde, yaşlandırılmış numunelerin yüzeyinde matris çatlakları ve matris kaybı görülmüştür. Daha kısa sürede bir tahmin yapabilmek için bir hızlandırma faktörü tanıtılmış ve belirlenmiştir.

Mouzakis, Zoga ve Galiotis (2008), sıcaklık, nem ve ultraviyole radyasyonun polimer kompozitler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada çevresel yaşlanma döngüsü kurulmuş ve test edilmiştir. Bu evrim sonunda çekme, üç nokta eğilme ve dinamik mekanik analiz yapılmıştır. Çevresel yaşlanmanın süresi arttığında çekme mukavemetinin ve kopma uzamasının düştüğü elastisite modülünde ise küçük bir artmanın meydana geldiği görülmüştür.

Kompozit yapılar çalışma süreleri boyunca yüksek ve düşük sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar. Günümüzde birçok çalışmada, kompozit malzemelerin yüksek sıcaklıklardaki davranışını incelenmiştir. Bası mukavemeti ve çekme mukavemeti gibi matris dominant özelliklerde düşüş gözlenmiştir (Hale ve Gibson, 1997; Soutis ve Turkmen, 1997).

Boccaccini ve ark. (1998), termal döngü altındaki SiC-Nikalon cam fiber kompozit malzemenin davranışını incelemişlerdir. Numuneler oda sıcaklığı ile 700°C



arasında bir sıcaklık döngüsüne maruz bırakılmışlardır. Döngü sayısının artması ile eğilme ve Young modülünde düşüş gözlemlenmiştir.

Shen ve Springer (1977), 200 K'den 380 K'e kadar olan sıcaklık değişiminde fiber yönündeki çekme mukavemetinde bir değişim olmadığını, sıcaklığın 380 K'den 450 K'e yükseltildiğinde ise çekme mukavemetinde hafif bir düşmenin meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Nem oranı sıcaklık ile yükseldiğinde ise çekme mukavemetinde düşüşün arttığı gözlemiştir.

Kim, Lee ve Tsai (2002), termo plastik polimer ve gelişmiş polimerden üretilmiş kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin farklı sıcaklıklarda yapılan yaşlandırılmadan nasıl etkilendiğini incelemiştir. Yaşlandırılmış numunelerin eğilme özellikleri dört nokta eğilme testi ile bulunmuştur. Sıcaklığın ve zamanın bir fonksiyonu olan uygun bir matematiksel denklem önerilmiştir. Yapılan testler sonucunda sıcaklığın ve yaşlanma süresinin artması ile mekanik özelliklerde düşüş olmuştur.

Kompozit malzemeler geleneksel malzemelere karşı olan avantajlarından dolayı havacılık, rüzgâr türbini ve denizcilik endüstrisinde geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu malzemeler bölgesel çatlağa, delaminasyona ve matris kırığı gibi hasarlara yol açan enine darbe yüklerine karşı hassastırlar (Atas, Icten ve Kucuk, 2013). Bu nedenle farklı çevresel koşullara maruz kalmış kompozit malzemelerin darbe direncindeki değişiminin incelenmesi de önem arz etmektedir.

Parvatareddy, Tsang ve Dillard (1996), çevresel koşullara maruz kalmış iki yüksek performans polimer kompozit sistemin darbe hasar direncini ve toleransını incelemiştir. Numuneler 150°C sıcaklıkta iki farklı ortamda (atmosferik hava ve azot gazlı ortam) 18 aya kadar yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma ortamının hasar direnci üzerinde önemli bir etkisi olduğunu bulmuşlardır.

Mokhtar, Sicot, Rousseau, Aminanda ve Aivazzadeh (2011), çevresel koşulların karbon epoksi kompozit malzemelerin darbe direnci üzerindeki etkisini

araştırmışlardır. Testlerden sonra, absorbe edilen enerjinin yaşlanma sũresinin artışı ile arttığı gũzlenmiřtir.

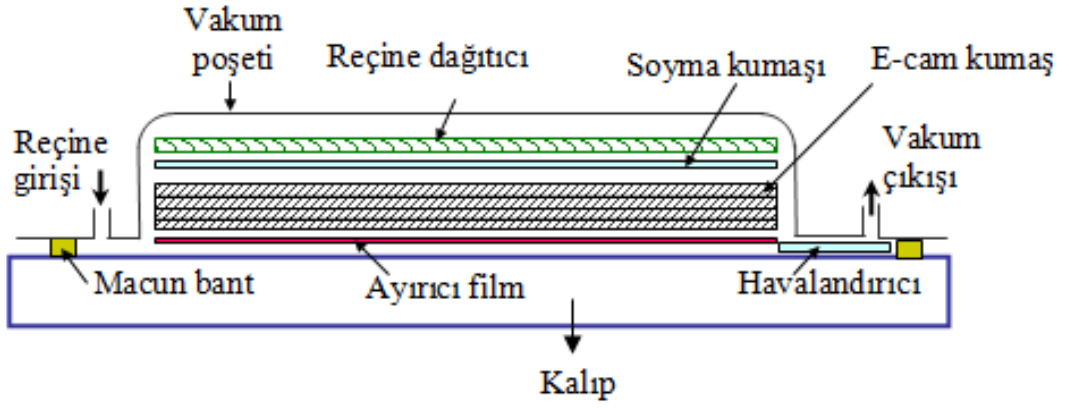
Bu tez kapsamında, sıcaklık ve nemin kompozit malzemelerin mekanik ۆzellikleri ve darbe davranışı ۆzerindeki etkisi incelenmiştir. Kompozit malzemeler vakum destekli reçine infũzyon yũntemi ile ۆretilmiřtir. Kompozit malzeme ۆretiminde E-cam fiber ve bir epoksi reçine sistemi kullanılmıştır. ۆretilen plakadan ASTM standartlarına uygun numuneler çıkarılarak iklimlendirme kabininde yaşlandırılmıştır. Numuneler 90°C ve %70 nemde, mekanik ۆzellikler için 1000 saat, darbe testleri için 1300 saat bekletilmiş ve 100 saatlik aralıklarda testler yapılmıştır. Bu testlerden, kompozit malzemelerin mekanik ۆzelliklerinde ve darbe yũkũne karşı direncinde meydana gelen değişimlere ilişkin ۆnemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar daha çok grafikler yardımı ile sunulmuştur. Ayrıca, hasarsız numunelerle deney sonucunda hasara uğrayan numune fotoğrafları paylaşılmıştır. Numune fotoğrafları ile sũzũ edilen grafiklerde kullanılarak çeşitli değerlendirme ve tartışmalara yer verilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar tezin sonunda ۆzetlenmiřtir.

## BÖLÜM İKİ

### DENEYSEL YÖNTEM

#### 2.1 Kompozit Malzemelerinin Üretimi

Bu çalışmada kullanılacak olan kompozit malzemeler vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Vakum destekli reçine infüzyon metodu şematik olarak Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

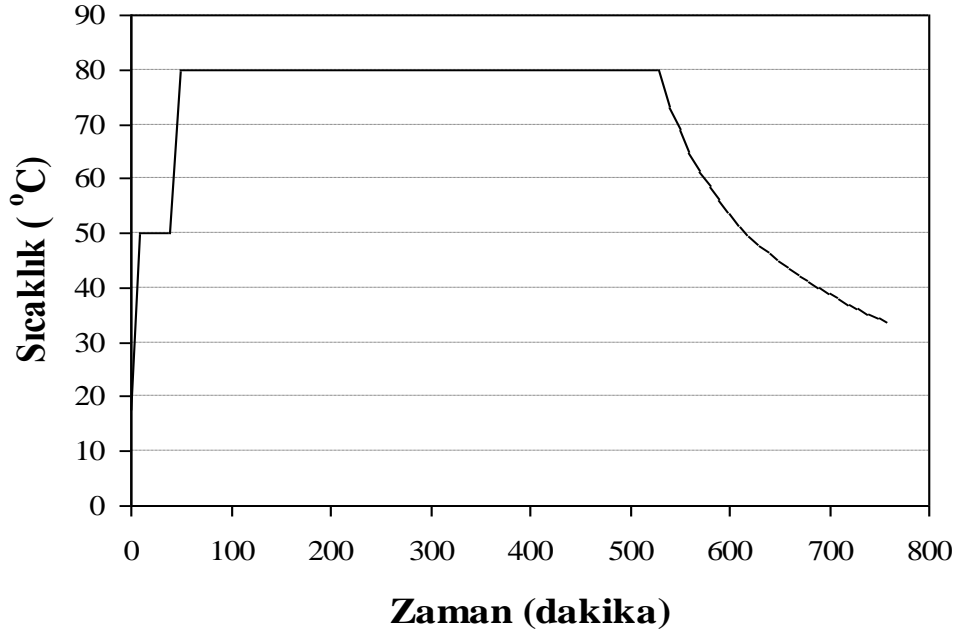


Şekil 2.1 Vakum destekli reçine infüzyon metodu şematik gösterimi

Takviye malzemesi olarak 300 gr/m<sup>2</sup> yoğunluğa sahip tek yönlü E-cam fiber ve matris malzemesi olarak Huntsman firması tarafından üretilen Araldite LY 564/Aradur 3487 BD sıcak kürleşmeli epoksi sistemi kullanılmıştır. Matris malzemesi epoksi ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Bu iki bileşenin karıştırma oranı yüzde 35 sertleştirici olacak şekilde ayarlanmıştır. Kürleşme işlemi Dokuz Eylül Üniversitesi makine mühendisliği bölümü kompozit üretim laboratuvarında bulunan özel bir masada 30 dakika 50°C’de ve 8 saat 80°C’de gerçekleştirilmiştir. Masanın zamana bağlı sıcaklığını gösteren grafik Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Bu çalışma için farklı çevresel koşullara maruz kalmış kompozitlerin mekanik özelliklerini ve darbe karakteristiğini incelemek üzere farklı kalınlıklarda kompozit

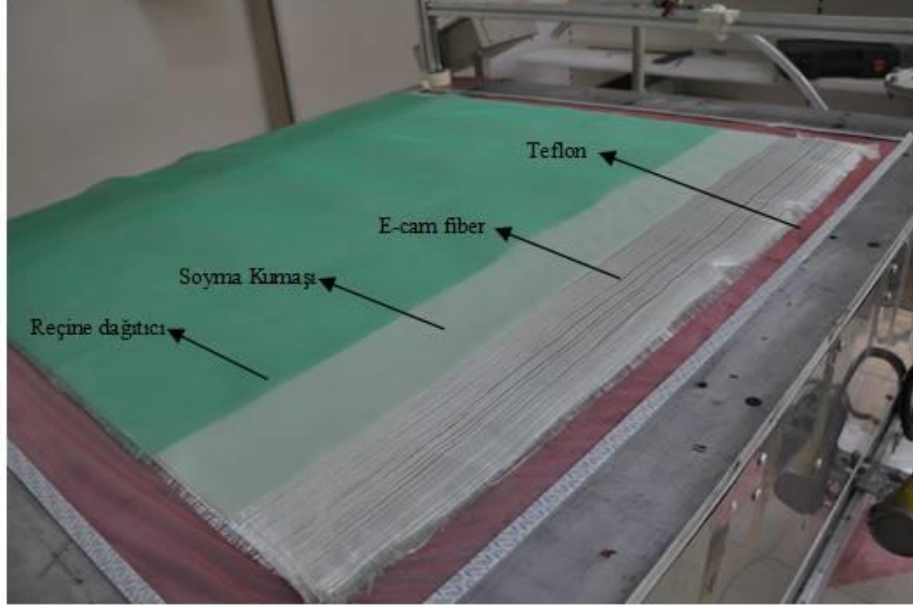
plakalar üretilmiştir. Mekanik özellikleri belirlemek için kullanılacak plakalar fiber yönündeki çekme testleri için  $[0^{\circ}]_8$  oryantasyona sahip 8 tabakadan, fibere dik yöndeki ve kayma testleri için  $[0^{\circ}]_{12}$  oryantasyona sahip 12 tabakadan, darbe numuneleri için ise  $[0^{\circ}/90^{\circ}]_{4S}$  oryantasyona sahip 16 tabakadan meydana gelecek şekilde üretilmiştir.



Şekil 2.2 Üretim masasının sıcaklık-zaman grafiği

Üretim aşamasında öncelikle masanın üzerine epoksinin yapışmaması için masa bir teflon film ile kaplandıktan sonra köşelerden yarısı teflonun diğer yarısı masanın üzerinde olacak şekilde çift taraflı yapışkan sızdırmaz macun kullanılmıştır. Daha sonra teflonun üzerine istediğimiz oryantasyondaki kumaşlar koyulur. Fiberlerin vakum poşeti ve reçine dağıtıcısına yapışmaması için üzerine soyma kumaşı koyulduktan sonra reçinenin iyi bir şekilde dağılması için reçine dağıtıcı koyulur, Şekil 2.3. Son olarak her iki tarafa spiral hortumlar koyulur ve vakum poşeti ile kaplandıktan sonra vakum altına alınıp kaçak olup olmadığı kontrol edilir, Şekil 2.4. Kaçak yok ise reçine hazırlanır. Epoksi reçine oranı bir bölü üç olacak şekilde karışım hazırlanır ve yavaş bir şekilde karıştırılır. Eğer hava kabarcıkları oluşmuş ise bunların yok olması için beklenir. Daha sonra reçine verilip kürleşmeye bırakılır. Bu

Üretim süreci sonunda 8, 12 ve 16 tabakalı plakaların kalınlıkları sırası ile 2,2, 3,3 ve 4,22 mm olarak llmtr.



Şekil 2.3 retimde kullanılan malzemeler

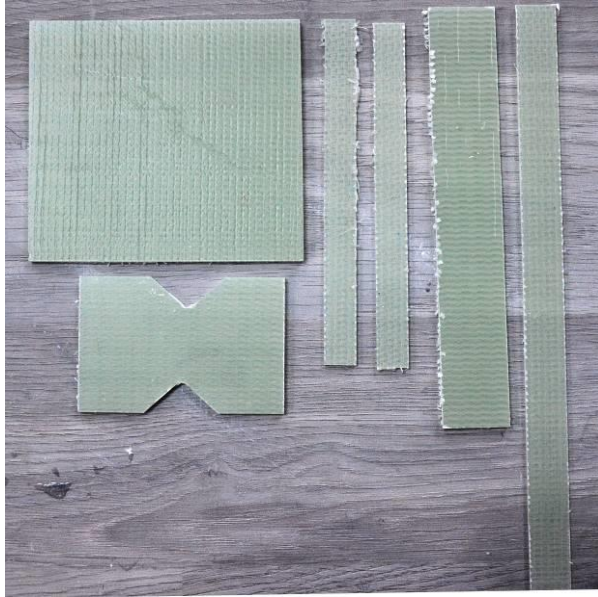


Şekil 2.4 Vakum altına alınmış malzeme

## 2.2 Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

### 2.2.1 Giriş

Geleneksel metalik malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan mekanik testler kompozit malzemeler için uygun olmadığından, ASTM (American Society for Testing and Materials) tarafından kabul edilen uygun test metotları geliştirilmiştir. Bu testler sonucunda toplanan bilgiler ile bir kompozit malzemenin karakteristiği belirlenir. Üretilen ortotropik tabakaya ait mekanik özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir. Şekil 2.5’de aşağıda anlatılan ASTM standartlarına göre hazırlanmış numuneler gösterilmiştir.



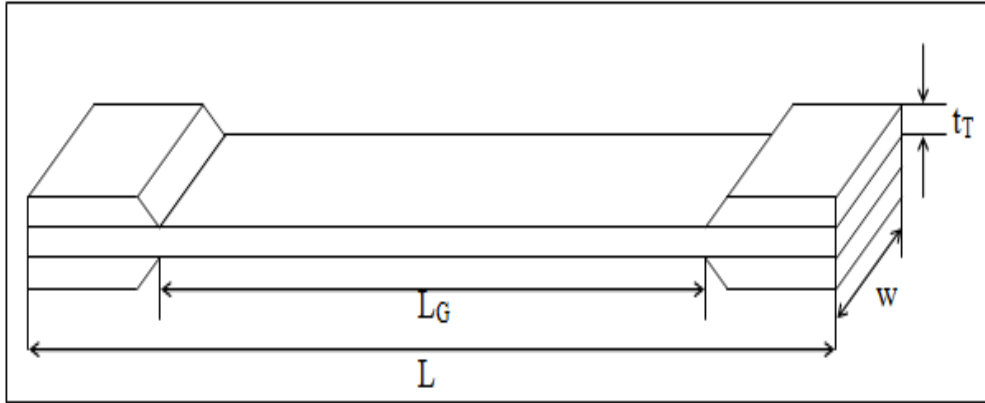
Şekil 2.5 ASTM standartlarına göre üretilmiş numuneler

### 2.2.2 Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi

En temel mekanik test çekme testidir. Çoğu yapı malzemeleri için, çekme özellikleri tasarım için gerekli uygun özellikleri belirler. Çekme testi, elastisite modülünü, Poisson oranını, çekme mukavemetini ve maksimum şekil değiştirmeyi belirlemek için kullanılır. Bu test ASTM D3039 standart test metoduna göre yapılmış ve Şekil 2.6’da, kompozit malzeme için kullanılan test malzeme geometrisi gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Bir orthotropic malzemenin sabitleri ve tanımları

| Sembol     | Tanımı                                      |
|------------|---|
| $E_1$      | Fiber Yönündeki Elastisite Modülü           |
| $E_2$      | Fibere Dik Yöndeki Elastisite Modülü        |
| $\nu_{12}$ | Poisson Oranı                               |
| $X_t$      | Fiber Yönündeki Maksimum Çekme Gerilmesi    |
| $Y_t$      | Fibere Dik Yöndeki Maksimum Çekme Gerilmesi |
| $X_c$      | Fiber Yönündeki Maksimum Basma Gerilmesi    |
| $Y_c$      | Fibere Dik Yöndeki Maksimum Basma Gerilmesi |
| $S$        | Maksimum Kayma Gerilmesi                    |
| $G_{12}$   | Kayma Modülü                                |



Şekil 2.6 ASTM D3039 Standardına göre numune geometrisi

Kompozit malzemelerde fiberin oryantasyonuna göre malzeme özellikleri değiştiği için aynı şekilde test numunesinin de boyutları değişmektedir. Tablo 2.2’de fiber ve fibere dik yöndeki test numuneleri için boyut ölçüleri verilmiştir.

Tablo 2.2 ASTM D3039 Standardına göre numune için boyut ölçüleri

| Fiber Açısı     | L (mm) | L <sub>G</sub> (mm) | t <sub>T</sub> (mm) | w  |
|-----------------|--------|---------------------|---------------------|----|
| 0 <sup>0</sup>  | 250    | 138                 | 1,5                 | 15 |
| 90 <sup>0</sup> | 175    | 125                 | 1,5                 | 25 |

Çekme testleri Dokuz Eylül Üniversitesi makine mühendisliği bölümündeki kompozit araştırma test laboratuvarında bulunan ve Şekil 2.7’de gösterilen 100 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu AG-100 çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi hızı 1mm/dakika olarak seçilmiştir. Yük hasar oluşuncaya kadar adım adım artırılırken aynı anda video ekstansometre yardımı ile numunedeki uzama ölçülmüştür. Cihaza bağlı olarak çalışan Trapezium programına kesit alanı girerek aşağıdaki formüller yardımı ile elastisite modülü otomatik olarak program tarafından bulunmuştur. Aynı şekilde, Trapezium programında okunan maksimum yük değerleri aşağıdaki formüllerde kullanılarak fiber ve fibere dik yöndeki maksimum çekme mukavemetleri bulunmuştur.

Poisson oranını bulmak için kompozit numuneye fiber ve fibere dik yönde olmak üzere 2 yönlü bir strain gauge bağlanmış ve çekme deneyi yapılmıştır. Şekil 2.8’de strain gauge bağlanmış bir kompozitin şematik gösterimi verilmiştir. Yük artarken aynı anda strain gageden bir veri toplama cihazı ile veriler toplanmıştır. Şekil 2.9’da Poisson oranını bulmak için hazırlanmış test düzeneği gösterilmiştir. Formül 2.4 yardımı ile Poisson oranı bulunmuştur

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.1)$$

$$X_t = \frac{F_{1maks}}{A} \quad (2.2)$$

$$Y_t = \frac{F_{2maks}}{A} \quad (2.3)$$

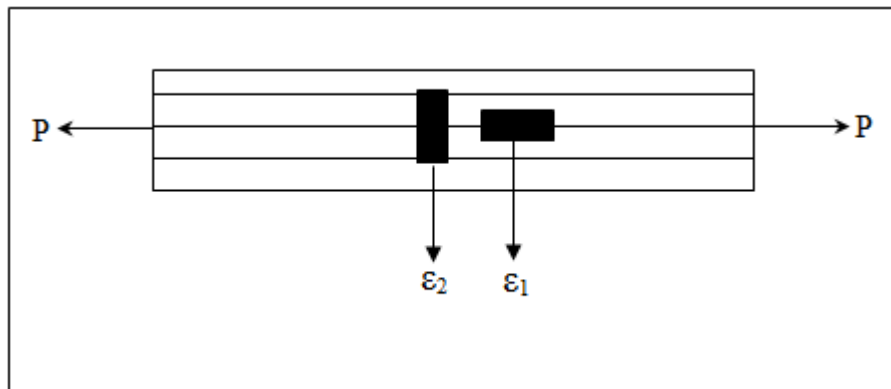


Burada  $F_{1\text{maks}}$  fiber yönündeki,  $F_{2\text{maks}}$  ise fibere dik yöndeki maksimum kuvvettir.  $A$  ise numunenin kesit alanıdır.

$$\nu_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (2.4)$$



Şekil 2.7 Shimadzu çekme cihazı



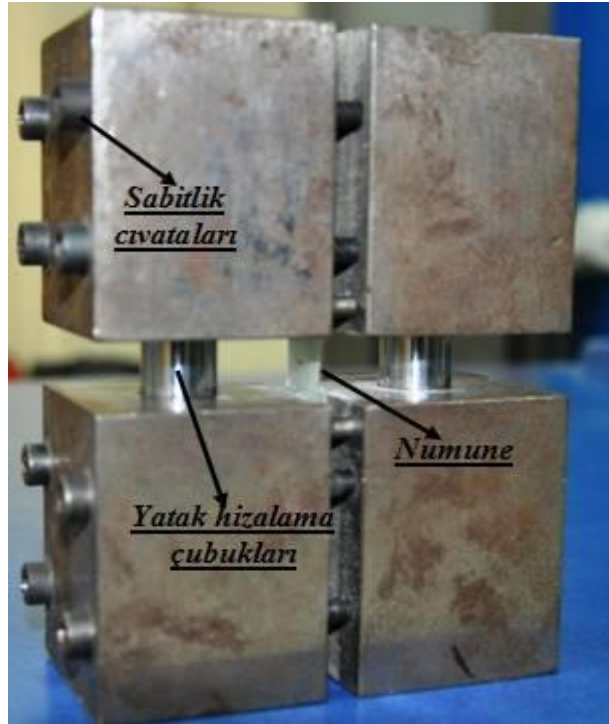
Şekil 2.8 Strain gauge bağlanmış numunenin şematik gösterimi



Şekil 2.9 Poisson oranının bulunması için hazırlanmış test düzeneği

### 2.2.3 Bası Özelliklerinin Belirlenmesi

Bası testi sayesinde kompozit malzemenin bası özellikleri bulunmuştur. Bu test için ASTM D6641/D6641M-09 standart test metodu kullanılmıştır. Test aparatı Şekil 2.10 da ve dikdörtgen kesite sahip kompozit numunenin şematik gösterimi Şekil 2.11 da verilmiştir.

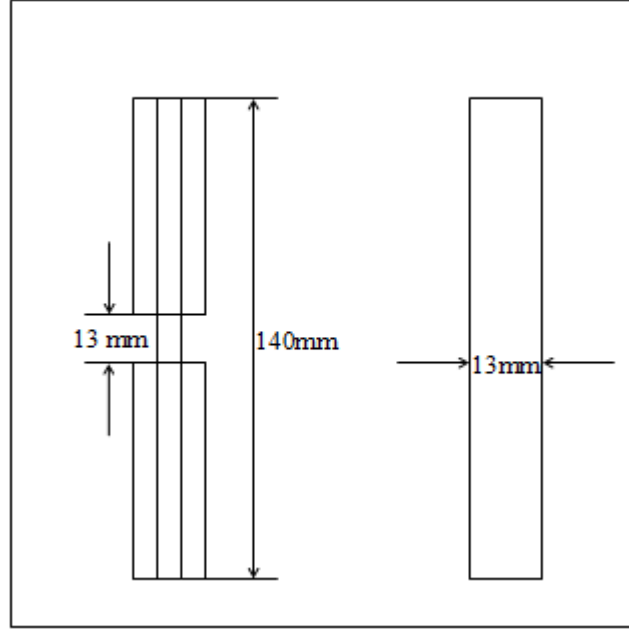


Şekil 2.10 Bası test aparatı

Kompozit numuneler standartta uygun olarak 140 mm uzunluğunda ve 13 mm genişlikte olacak şekilde üretilmiştir. Her bir destek arasında standartlarda verilen değer olan 13 mm boşluk bırakılmıştır. Bası testi Shimadzu AG-100 çekme cihazında yapılmış, kuvvet ve yer değiştirme değerleri elde edilmiş ve aşağıda verilen formül 2.5 ve 2.6 yardımı ile maksimum bası gerilmeleri elde edilmiştir.

$$X_c = \frac{F_{1maks}}{A} \quad (2.5)$$

$$Y_c = \frac{F_{2maks}}{A} \quad (2.6)$$



Şekil 2.11 Bası numunesini şematik gösterimi

#### 2.2.4 Kayma Özelliklerinin Belirlenmesi

Kayma özelliklerinin bulunması için ASTM D7078/D7078M V-çentik kayma testine (V-Notched Rail Shear Method) göre numuneler hazırlanmıştır. Boyutlar ve şematik gösterim Şekil 2.12 de gösterilmiştir. Kayma Test aparatı Şekil 2.13 gösterilmiştir. Bu test sayesinde kayma modülü ve maksimum kayma gerilmesi bulunmuştur. Testler Shimadzu çekme cihazında yapılarak, kuvvet değerleri çekme

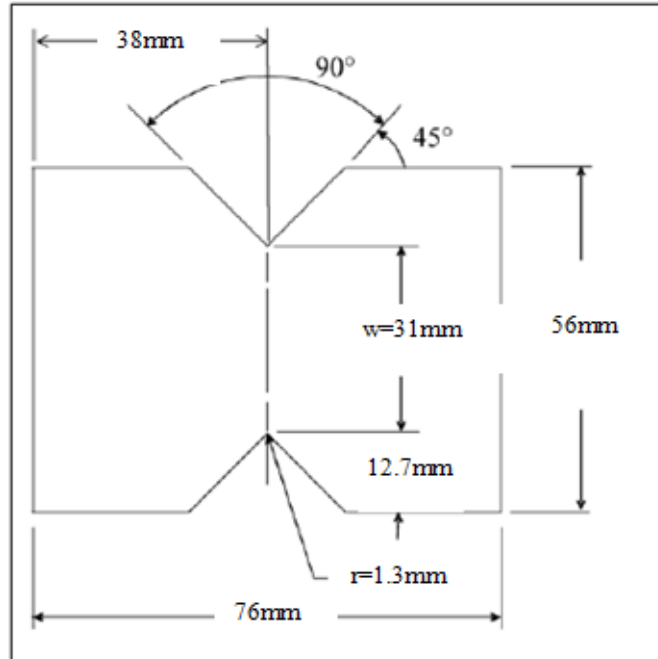
cihazından okunmuştur. Formül 2.7 yardımı ile maksimum kayma gerilmesi değeri bulunmuştur. Burada t numunenin kalınlığını, w ise çentikler arasındaki mesafeyi göstermektedir.

$$S = \frac{F_{maks}}{A} = \frac{F_{max}}{wt} \quad (2.7)$$

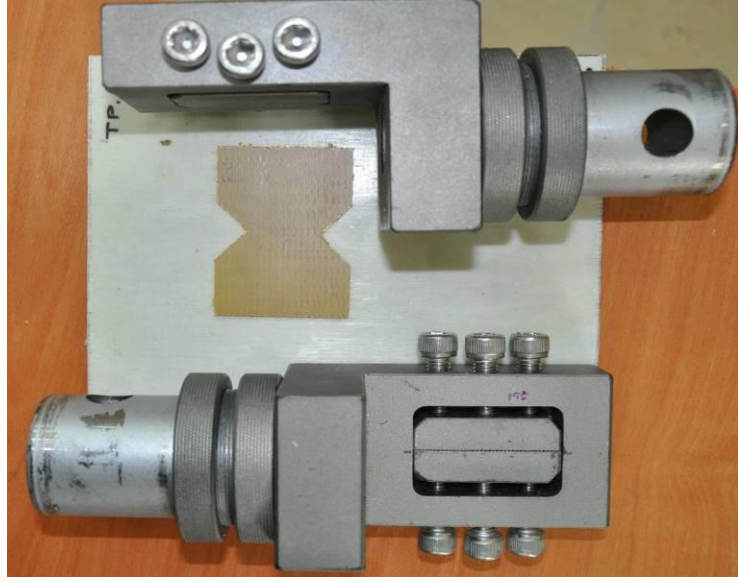
Kayma modülünü (G) bulmak için ise denklem 2.8 kullanılmıştır. Burada kayma birim şekil değiştirmesini ( $\gamma_{12}$ ) bulmak için Şekil 2.14 de gösterildiği gibi 45°'lik bir açı ile strain-gage bağlanmıştır. Buradan okunan strain değeri kayma birim şekil değiştirme değerinin yarısına eşittir.

$$G = \frac{\tau_{12}}{\gamma_{12}} \quad (2.8)$$

$$\gamma_{12} = 2\varepsilon \quad (2.9)$$

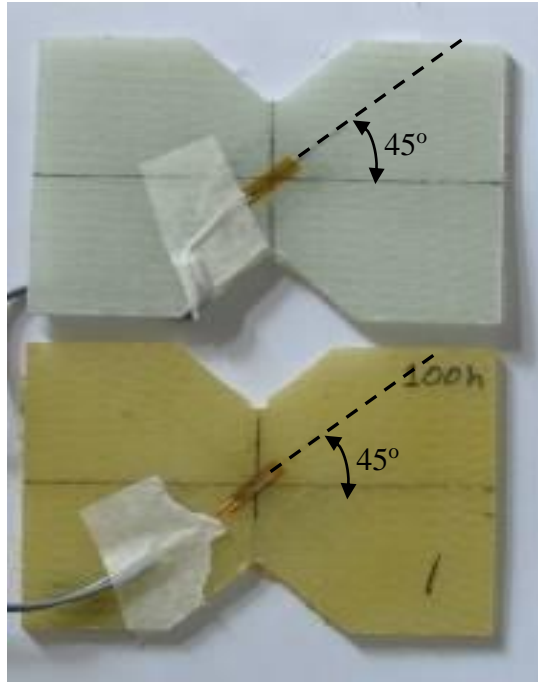


Şekil 2.12 Şematik kayma testi numunesi



Şekil 2.13 Kayma test aparatı

Strain-gauge bir veri toplayıcıya bağlanarak, çekme test cihazı ile paralel olarak çok kısa aralılarla kuvvete karşı gelen birim uzama değeri ölçülür. Daha sonra her kuvvet değeri alana bölünerek kayma gerilmesi değerleri ve strain-gauge'den okunan değerlerin iki katı alınarak  $\gamma$  değerleri bulunur. Daha sonra  $\tau - \gamma$  grafiği çizdirilir ve eğrinin eğimi kayma modülüne eşittir. Test hızı dakikada 0,25 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 2.14 Strain-gage bağlanmış kayma test numunesi

### 2.3 Darbe Testleri

Darbe testleri, Dokuz Eylül Üniversitesi makine mühendisliği bölümündeki kompozit araştırma test laboratuvarında bulunan ve Şekil 2.15’de gösterilen ağırlık düşürme prensibi ile çalışan CEAST Fractovis Plus darbe cihazı kullanılarak yapılmıştır. Darbe ucu olarak 12,7mm çapa sahip yarım küre şeklindeki ve 22,4kN yük kapasitesine sahip kuvvet sensörü olan bir vurucu uç kullanılmıştır. Darbe cihazı iki yay sayesinde maksimum 1800 Joule darbe enerjisine kadar çıkabilmektedir. Vurucu ucun maksimum hızı 24m/s hıza ulaşabilmektedir. Darbe cihazı DAS 16000 isimli gelişmiş bir veri toplayıcı sisteme sahiptir. Bu veri toplama sistemi ile darbe testi sırasında 10 milisaniyede 20000 adet veri alınabilmektedir. Veri toplama cihazı bir bilgisayara bağlanmıştır. Böylece bilgisayardaki yazılım ile temas kuvveti, temas süresi, çökme, absorbe edilen enerji değerleri elde edilmektedir.



Şekil 2.15 CEAST Fractovis Plus darbe cihazı

Vurucu ucun numuneye çarpmadan önceki hızını ölçmek ve geri sekme sırasında tekrarlı darbenin olmaması sağlayan anti-rebound sistemini çalıştıran optik bir sensör bulunmaktadır. Darbe cihazında ayrıca -100°C ile 150°C arasında ortam sunan bir kabin mevcuttur. Bu kabinde dışarıdan bağlanan bir tank yardımı ile sıvı azot kullanarak sıcaklığın düşürülmesi sağlanır. Isıtma rezistansları yardımı ile de kabin ısıtılmaktadır.

Darbe testleri için 100 mmx100 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler darbe cihazının alt tarafında bulunan ve pnömatrik olarak çalışan 76 mm çapa sahip dairesel bir sıkma aparatı ile sabitlenmektedir. Bu aparat yardımı ile darbe sırasında numunelerin sabit kalması sağlanmıştır, Şekil 2.16.



Şekil 2.16 Numune sabitleme aparatı

Bu çalışmada yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numuneler 20, 40, 60, 80 ve 100 Joule'lük darbe enerjilerine maruz bırakılmıştır. Testler sonucunda maksimum temas kuvveti, temas süresi, maksimum çökme ve absorbe edilen enerji değerleri karşılaştırılmıştır.

## BÖLÜM ÜÇ

### KOMPOZİTLERİN YAŞLANDIRILMASI

#### 3.1 Giriş

Havacılık sektöründe kullanılan malzemelerin dayanıklılığı araçların işletme maliyeti ile doğrudan ilişkilidir. Aracın işletme ömrü süresince işletme masraflarının minimum seviyede tutulmasına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda güvenlik açısından bu malzemelerin işletme ömürleri bilinmelidir. En iyi dizayn metotlarının kullanılmasına rağmen ileri polimer matris kompozitlerin uzun süre çevresel koşullara maruz kalması ile orijinal özelliklerinde geri dönüşü olmayan değişimler meydana gelmektedir.

Zamanla polimer matris kompozitlerin özelliklerindeki bu değişim sürecine ‘yaşlanma’ denir. Çevresel etkilerin kompozit malzemeler üzerindeki etkisi tasarım sırasında göz önünde bulundurulmalıdır. Başarısız ve tekrarlanan bir tasarım zaman, para ve enerji kaybına neden olacaktır. Kompozit yapıların çevresel koşullara karşı duyarlılığı kendi içinde farklıdır. Örneğin rüzgâr türbini tasarımında sıcaklık ve nem göz önünde bulundurulması gerek önemli çevresel etkenlerdir. Petrokimya sanayinde kullanılan kompozit malzemeler ise aşındırıcı kimyasallara maruz kalırlar. Yapılan araştırmalar sonucunda sıcaklık ve nemin birlikte olan etkisi tek başlarına iken olan etkiden çok daha fazladır (Thwe ve Liao, 2002). Kompozit malzemelerde çevresel etkiler kompozitin her bir bileşeni için farklılık gösterir. Örneğin, fibere dik yöndeki çekme mukavemeti matris ağırlıklı bir özellik olduğu için buradaki yaşlanma matrisin çevresel etkiye karşı olan duyarlılığına bağlıdır.

Kompozitler servis ömürleri boyunca düşük veya yüksek sıcaklıklara maruz kalabilirler. Günümüzde birçok çalışma, yüksek sıcaklıklara maruz kalmış kompozitlerin davranışını incelemiştir. Bası mukavemeti, çekme mukavemeti gibi özelliklerin sıcaklık artışı ile düştüğü gözlenmiştir (Hale ve Gibson, 1997; Soutis ve Turkmen, 1997). Su molekülleri kompozit malzemeye nüfuz ederek bağları etkilemektedirler. Shen ve Springer (1977), fibere dik yöndeki elastisite modülünün



ve kopma mukavemetinin nem içeriğinin artması ile düştüğünü gözlemlemiştirler. Bu tez çalışmasında sıcaklık ve nemin polimer matris kompozit malzemeler üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Takviye malzemesi olarak E-cam elyaf, matris malzemesi olarak ise epoksi kullanılmıştır.

### **3.2 Çevresel Etkilerin Cam Elyaf Üzerindeki Etkisi**

Cam elyaf yüksek performans-fiyat oranı sağladığı için günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Cam elyaf, hem iyi bir mekanik özelliğe hem de kimyasal dirence sahip bir çeşit düşük alkali içerikli borosilikat camdır. Cam elyaflar bir reçine içerisinde olduğu için birçok çevresel etki bunları etkilemez. Bununla birlikte su gibi küçük moleküllü maddeler matrise nüfus ederek cam elyafı etkileyebilirler fakat cam elyaftaki yaşlanma polimer matris kadar yüksek değildir. Shen ve Springer (1977) yaptıkları çalışmada, nemin düşük olduğu bir ortamda sıcaklık 200 K'den 380 K'e çıktığında fiber yönündeki düşüşün ihmal edilecek kadar düşük olduğunu bulmuşlardır.

### **3.3 Çevresel Etkilerin Matris Üzerindeki Etkisi**

Matrisin amacı takviye elemanlarını istenilen oryantasyonda bir arada tutmak, yük transferi sağlamak ve takviye malzemesini çevresel etkilere karşı korumaktır. Matris genellikle çalışma ortamını belirleyen bileşendir. Bu nedenle matris malzemesinin çalışacağı ortamlar daha önceden bilinmelidir. Matris malzemelerindeki bozulmalar geri dönüşümlü ve dönüşümsüz olmak üzere iki ayrılır. Schwartz (1996), camsı geçiş sıcaklığının ( $T_g$ ), polimer matrisin su nüfuzu ile plastikleşmesi nedeniyle ve polimer bağlardaki bozulma ile düştüğünü gözlemlemiştir. Malzeme tekrar kurutulduğunda eski haline döndüğü için bu süreç geri dönüşümlüdür. Uzun süre neme maruz kalma matriste mikro çatlak gibi geri dönüşümü olmayan bozulmalarada neden olabilir. Bu nedenle kompozit malzemenin fibere dik yöndeki mukavemeti gibi özellikle matris baskın olan özelliklerinde bir düşüş meydana gelebilir.

### 3.4 Çevresel Etkilerin Matris Fiber Ara Yüzeyi Üzerindeki Etkisi

Kompozit malzemeler farklı özelliklere sahip takviye elemanı ve matristen oluşmaktadırlar. Fiber ve matris arasındaki yapışma yüzeyi olan ara yüz kompozitin makroskobik özelliğini belirleyen fazdır. Ara yüzey yapışması güçlü olursa yüksek kaliteli kompozit elde edilir. Çevresel koşullar altında kompozitin özelliklerinin korunabilmesi için fiber matris ara yüzeyi çevresel koşullara karşı iyi bir dirence sahip olmalıdır. Genellikle sıcaklık ve nemin artması ile ara yüzey yapışmasında bir düşüş gözlenmiştir. Grant ve Bradley (1995), deniz suyuna maruz bırakılmış grafit/epoksi kompozitin yaşlanmasını incelemiştirler. Yapılan testler sonucunda fibere dik yöndeki kopma mukavemetinde %17 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ile yaptıkları incelemede bu düşüşün ara yüzeyin bozulması ile ilişkisi olduğunu bulmuşlardır.

### 3.5 Yaşlandırma Koşullarının Belirlenmesi

Bu çalışmada camsı geçiş sıcaklığının ( $T_g$ ) üstündeki bir sıcaklık için 100'er saat ara ile toplam 1300 saat yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Bu nedenle ortam sıcaklığını belirlemeden önce DSC analizi ile kompozit malzemenin camsı geçiş sıcaklığı bulunmuştur. DSC analiz sonucunda, camsı geçiş sıcaklığı  $78^{\circ}\text{C}$  olarak tespit edilmiştir. Ortam sıcaklığı  $95^{\circ}\text{C}$  ve nem oranı % 70 olarak seçilmiştir.

Yaşlandırma işlemleri ATT Discovery DY110 C iklimlendirme kabinde gerçekleştirilmiştir. İklimlendirme kabini  $-70$  ile  $180^{\circ}\text{C}$  aralığında deney yapmaya imkân sağlarken aynı anda  $100^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki pozitif sıcaklık değerleri için nem oranını seçmeye olanak sağlayabilmektedir.  $10$  ve  $40^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklar arasında ultraviyole lamba da kullanılabilir. Şekil 3.1'de numuneler ve iklimlendirme kabini gösterilmiştir. Kabin içindeki farklılığı minimuma indirmek için numuneler karışık bir şekilde istiflenmiştir ve çıkarılırken rasgele kabinden çıkarılmıştır.

Mekanik özelliklerdeki yaşlanmayı anlamak için her bir test için 3 adet numune  $100$ 'er ara ile  $1000$  saat bekletilmiştir. Darbe testleri için ise yaşlandırma süresi  $1300$

saat olarak belirlenmiştir. İklimlendirme kabininden çıkarılan numuneler bir gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra testlere tabi tutulmuştur.



Şekil 3.1 İklimlendirme kabini

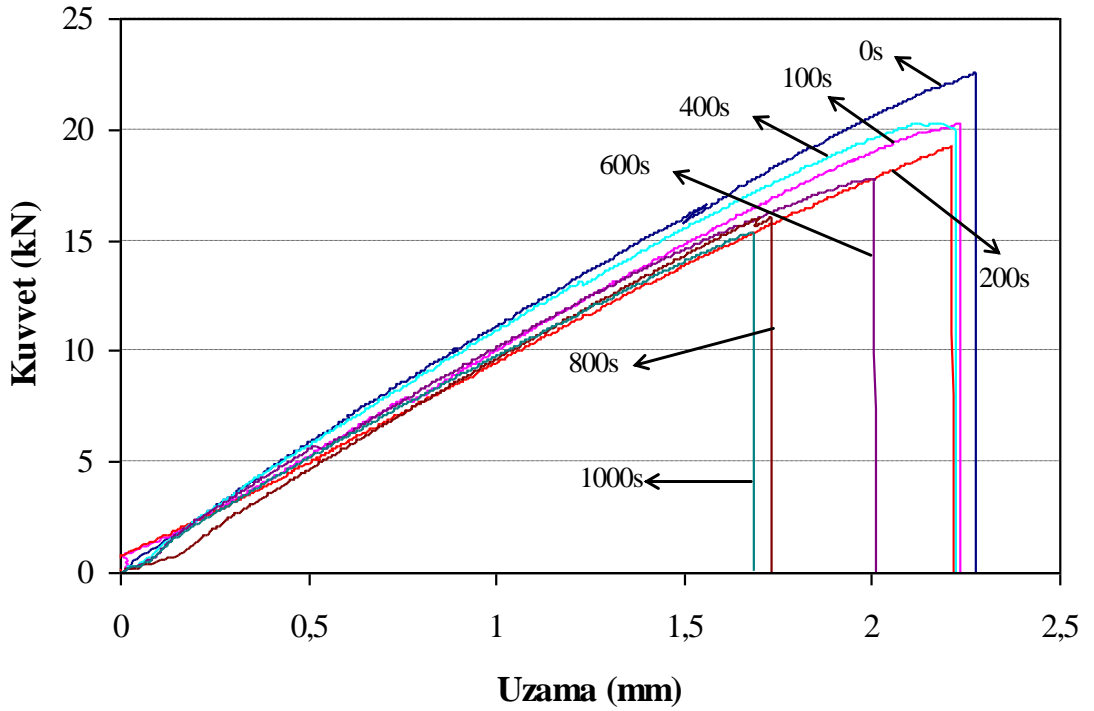
## BÖLÜM DÖRT

### TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

#### 4.1 Mekanik Özellik Testlerinin Sonuçları

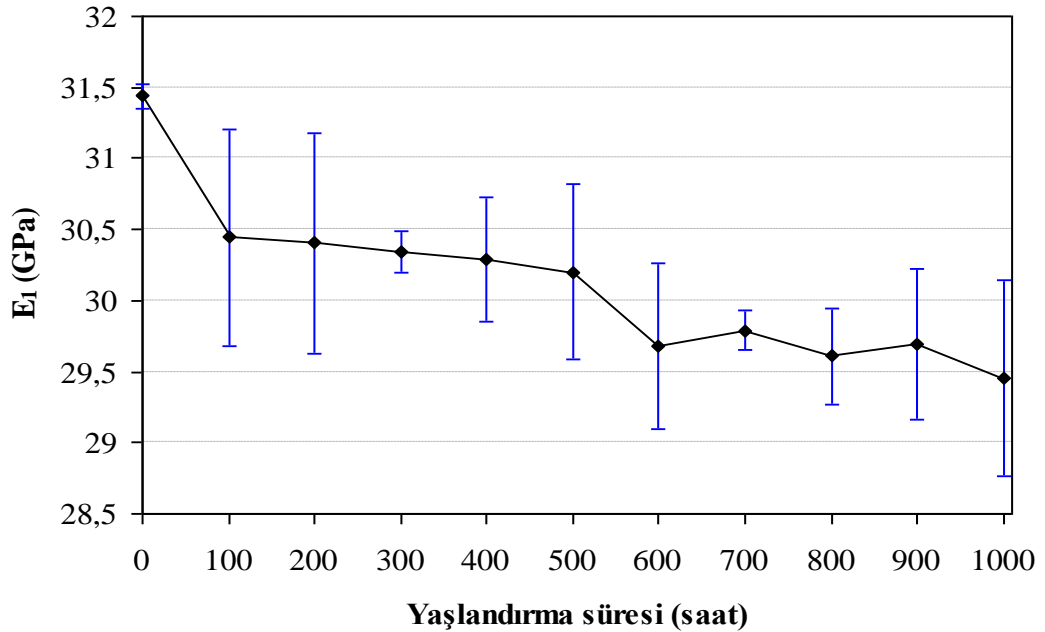
##### 4.1.1 Çekme Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, termal yaşlanmanın E-cam/epoksi kompozitlerin mekanik özellikleri ve darbe davranışı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yaşlanmanın zamana bağlı değişimini karşılaştırmak için 100'er saat aralıklar ile numuneler yaşlandırma kabinden alınıp testlere tabi tutulmuştur. Her bir test ve koşul için en az üçer deney yapılmıştır. Farklı yaşlanma sürelerine maruz bırakılmış fiber yönündeki kuvvet uzama eğrileri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Fiber yönünde, takviye elemanı kompozitin özelliği üzerinde dominant bir davranış gösterir. Takviye elemanı gevrek bir malzeme olduğu için kuvvet-uzama eğrilerine bakıldığında lineer bir davranış gözlenir.



Şekil 4.1 Farklı yaşlandırma zamanları için fiber yönündeki kuvvet-uzama eğrileri

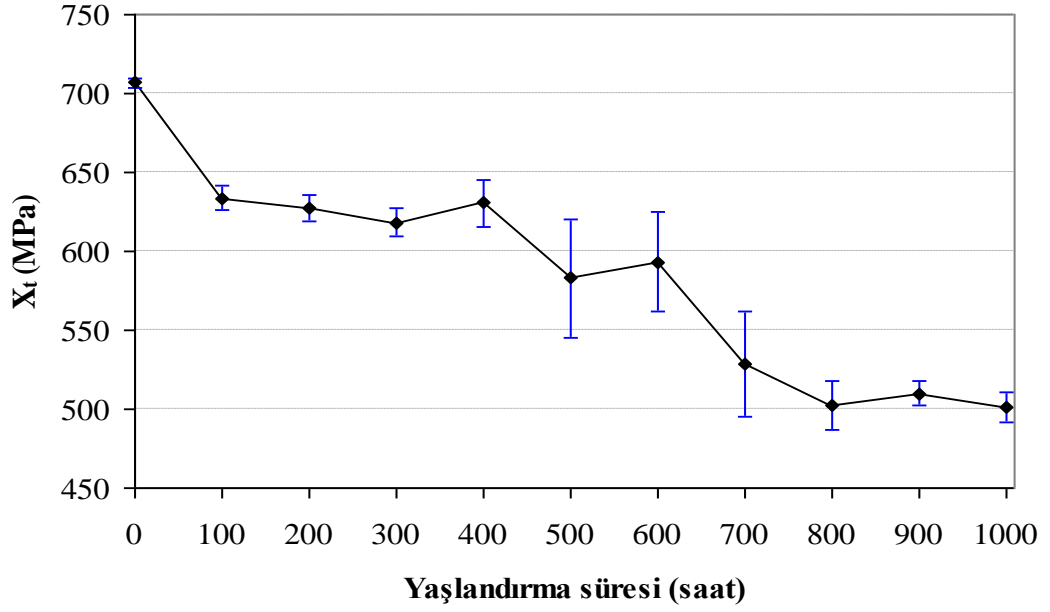
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, 400 saat hariç, yaşlanma süresinin artması ile kopma kuvveti ve maksimum uzama değerleri düşmektedir. Aynı şekilde eğrilerin eğiminde de bir düşüş görülmektedir. Eğimde ki bu düşüş malzemenin elastisite modülündeki düşüş anlamına gelmektedir. Uzama değerlerinde de aynı şekilde bir azalma olmuştur. Bu durum malzemenin yaşlandıkça daha gevrek bir yapıya dönüştüğüne işaret etmektedir. Şekil 4.2’de yaşlanma süresine karşılık gelen fiber yönündeki elastisite modülünün ortalama değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Yaşlanmamış numunenin elastisite modülü 31,44 GPa iken 1000 saat sonunda 29,46 GPa olmuştur. Yaklaşık olarak %6 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ilk 100 saat sonunda sert bir düşüş meydana gelmiş ve daha sonra bu düşüşün eğimi azalmıştır.



Şekil 4.2 Fiber yönündeki elastisite modülünün yaşlanma süresine göre dağılımı

Şekil 4.3’de fiber yönündeki kopma mukavemetinin ( $X_t$ ) yaşlanma süresine bağlı ortalama değerlerinin ve standart sapmalarının dağılımı verilmiştir. Yaşlanmamış numunenin kopma mukavemeti 706 MPa iken 1000 saat sonunda 487 MPa olmuştur, yaklaşık olarak %31 oranında bir düşüş gerçekleşmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3’e bakıldığında ilk 100 saat sonunda hem elastisite modülünde hem de kopma

mukavemetinde ani bir düşüşün gerçekleştiği, daha sonra 500 saate kadar değişimin nispeten sabit kaldığı görülmektedir. Bu süreden sonra tekrar sert bir düşüş meydana gelmiş ve düşüş devam etmiştir. Farklı yaşlandırma süreleri sonunda çekme testi yapılmış ve numuneler Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

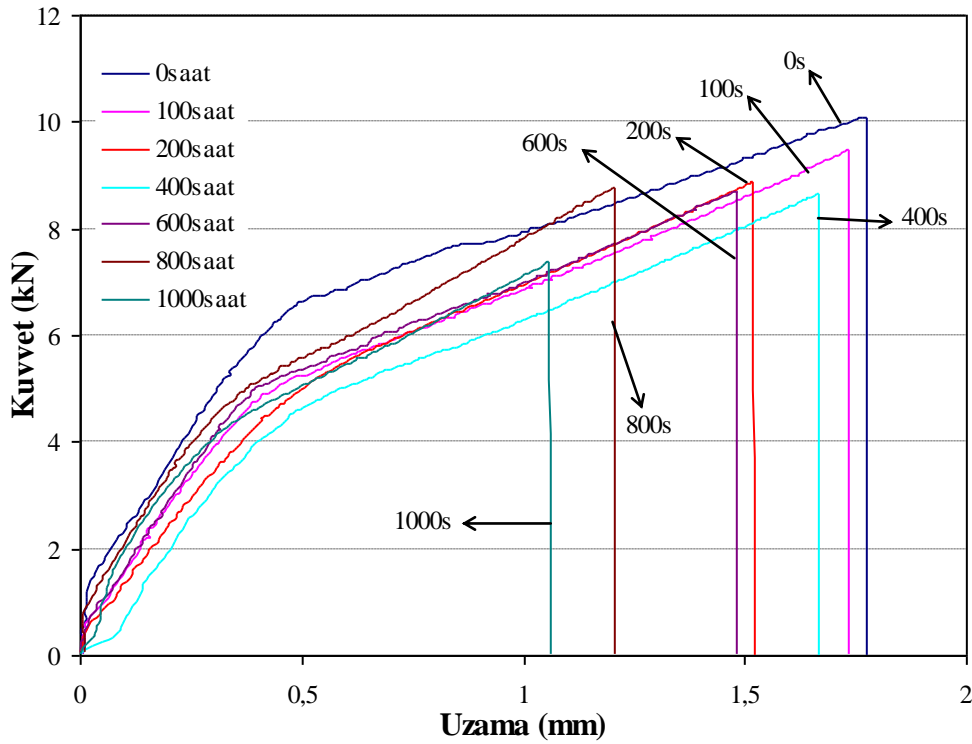


Şekil 4.3 Fiber yönündeki kopma mukavemetinin yaşlanma süresi ile dağılımı



Şekil 4.4 Farklı yaşlandırma süreleri sonunda çekme testi yapılmış fiber yönündeki numuneler

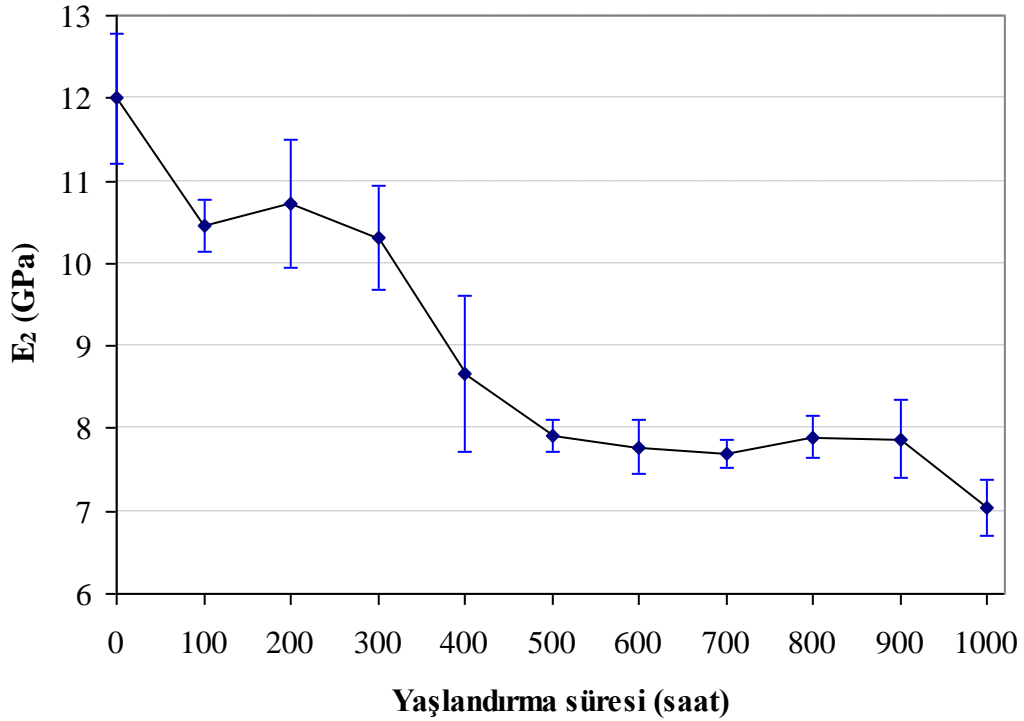
Farklı yaşlandırma süreleri için fibere dik yöndeki kuvvet uzama diyagramları Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu eğriler ortalama değerlere en yakın olan testlere ait verilerden elde edilmiştir. Fibere dik yönde matris malzemesi kompozitin özelliği üzerinde baskındır. Genellikle matris malzemeleri sünek karakteristiğe sahip oldukları için, kuvvet uzama eğrileri neredeyse iki çizgi şeklinde görülürler. Plastik bölgeyi gevrek bir kopma izlemiştir. Şekilde görüleceği üzere hem kopma kuvvetinde hem de kopma uzamasında zaman ile düzenli bir uyum gözlenmemiştir. Örneğin 400 saat için kopma uzaması 200 saatten fazla olduğu halde 200 saat yaşlandırılan numunenin kopma kuvveti daha büyüktür. Bununla birlikte yaşlandırma süresi 1000 saate ulaştığında kopma uzaması ve kopma kuvvetinde açık bir şekilde büyük bir düşüş görülmektedir. 200 ve 600 saat yaşlandırılan numunelerin kopma uzaması ve kopma kuvvetleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Yaşlanma süresi 1000 saate ulaştığında kopma uzamasında yaklaşık olarak %39 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. Bunun anlamı kompozit malzeme yaşlandıkça daha da gevrek bir hale dönüşmüştür.



Şekil 4.5 Farklı yaşlandırma zamanları için fibere dik yöndeki kuvvet-uzama eğrileri

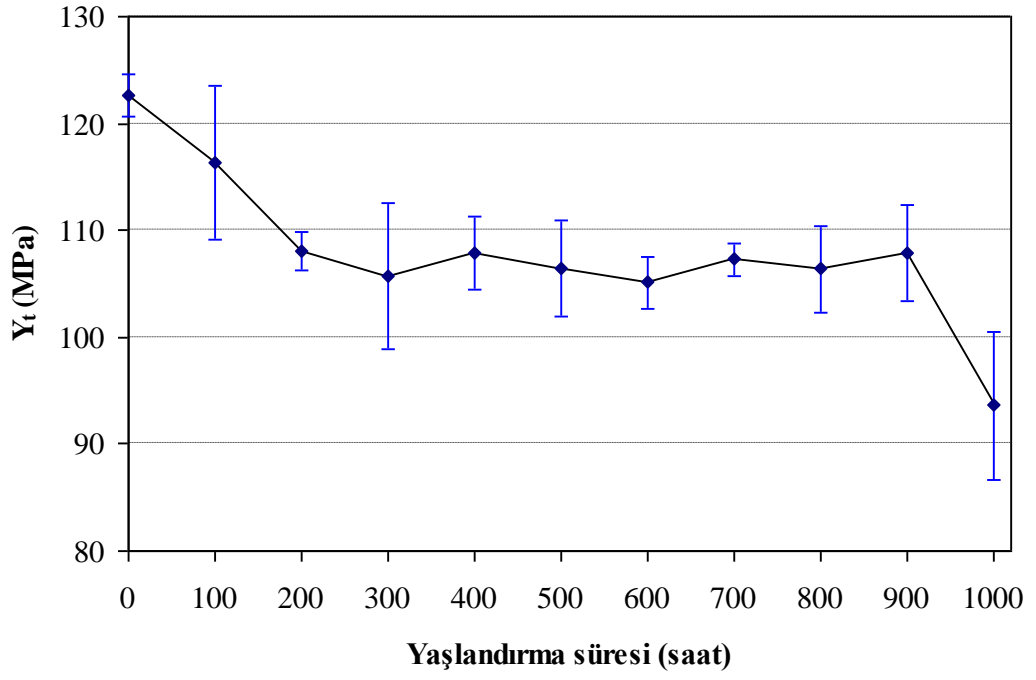
Şekil 4.6’da fibere dik yöndeki elastisite modülünün ( $E_2$ ) yaşlanma süresine bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Burada ortalama değerler ve standart sapmaların aralıkları gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ilk 100 saat sonunda bir düşüş meydana gelmiş daha sonra 300 saate kadar bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu noktadan sonra 500 saate kadar hızlı bir düşüş meydana gelmiş ve 900 saate kadar yeniden yatay bir yol izlemiştir. 1000 saat sonunda en düşük noktasına gerilemiştir. Şekilde görüleceği üzere 1000 saat sonunda elastisite modülü 12 GPa’dan 7 GPa’a kadar gerilemiştir. Bu da yaklaşık olarak %41 oranında bir düşüşe denk gelmektedir. En büyük standart sapma aralığı da 400 saat için görülmektedir.

Şekil 4,7’de fibere dik yöndeki kopma mukavemetinin ( $Y_t$ ) yaşlanma süresine göre değişimi verilmiştir. 300 saate kadar bir düşüş, daha sonra 900 saate kadar yatay bir durum görülmektedir. 1000 saatte ise elastisite modülünde grafikte gösterildiği gibi sert bir düşüş meydana gelmiştir. 1000 saat sonunda yaklaşık olarak %24’lük bir düşüş meydana gelmiştir.

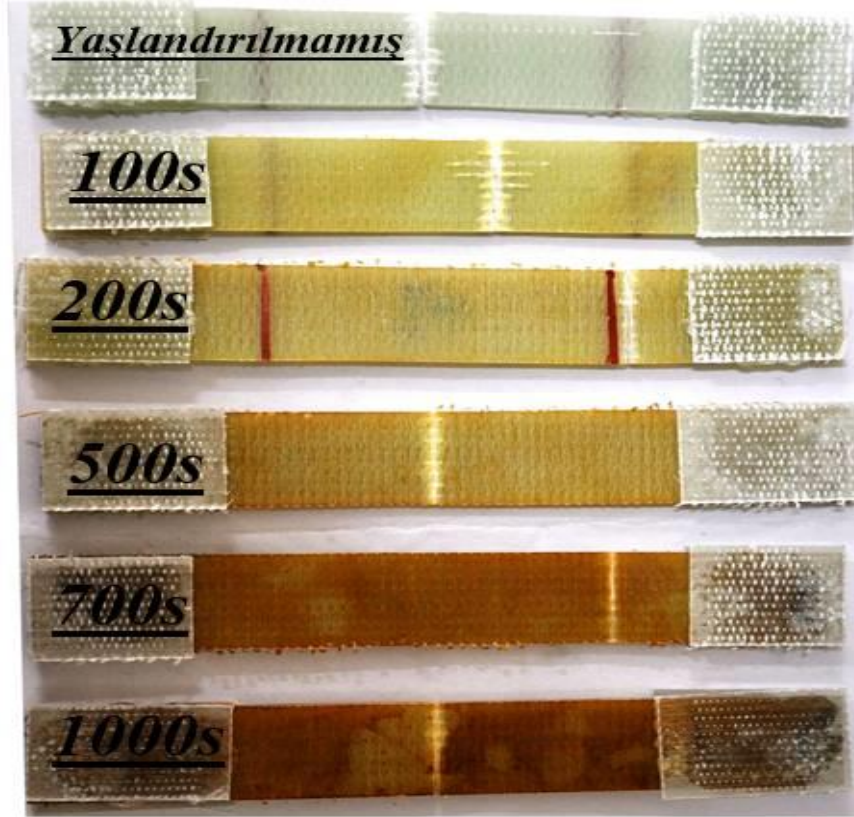


Şekil 4.6 Fibere dik yöndeki elastisite modülünün yaşlanma süresine göre dağılımı





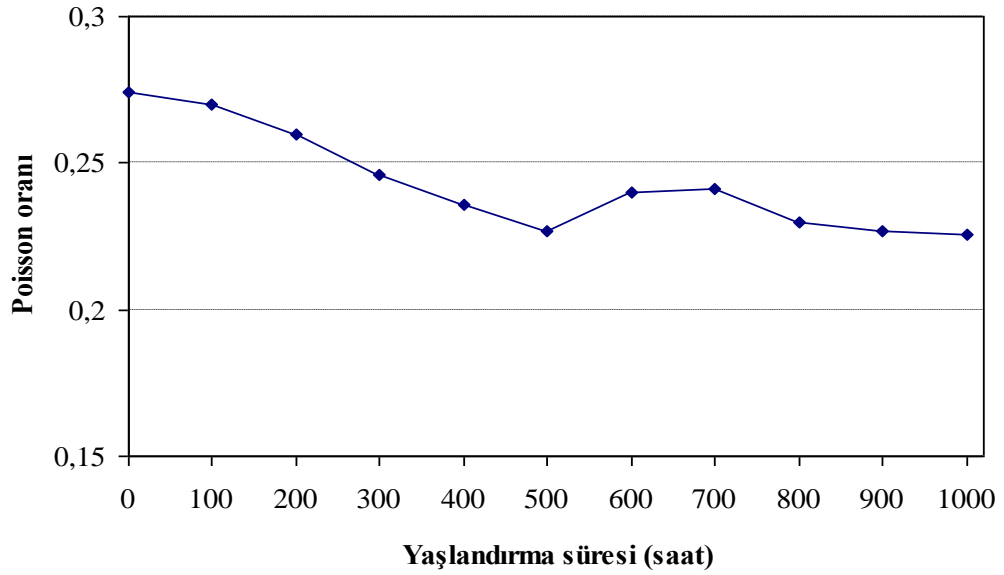
Şekil 4.7 Fiber yönündeki kopma mukavemetinin yaşlanma süresi ile dağılımı



Şekil 4.8 Farklı yaşlandırma süreleri sonunda fibere dik yönündeki numuneler

Farklı yaşlandırma sürelerine maruz bırakıldıktan sonra çekme testi yapılan fibere dik yöndeki çekme numuneleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yaşlanma süresi arttıkça numunelerin renginde değişim meydana gelmiştir. Epoksi malzemeler uzun süre sıcaklık altında kaldıklarında oksidasyon ile renklerinde değişim meydana gelmektedir.

Çekme testleri sonunda bulunan bir diğer özellik ise Poisson oranıdır. Poisson oranı çekme testi sırasında enine kısalmanın boyuna uzamaya oranıdır. Bu çalışmada fiber yönünde çekme testi yapılırken bir strain-gauge fiber yönünde bir tanede fibere dik yönde yapıştırılmıştır ve çekme testi sırasında bir veri toplayıcı ile değerler kaydedilmiştir. Yani bu çalışmada  $\nu_{12}$  değeri tespit edilmiştir. Şekil 4.9’da Poisson oranının yaşlanma süresi ile değişimi verilmiştir.



Şekil 4.9 Poisson oranının yaşlanma süresi ile değişimi

Şekilde görüldüğü gibi Poisson oranı yaşlanma süresinin artması ile düşmüştür. Bilindiği üzere gevrek malzemelerin Poisson oranı sünek malzemelere göre daha düşüktür. Grafikten de anlaşılacağı üzere yaşlanma süresinin artması ile malzeme daha da gevrekleşmiştir. Poisson oranındaki düşüş ilk 500 saat boyunca düşmüştür. Daha sonra 1000 saate kadar nispeten düşüşün eğimi azalmıştır. 500 saat için Poisson

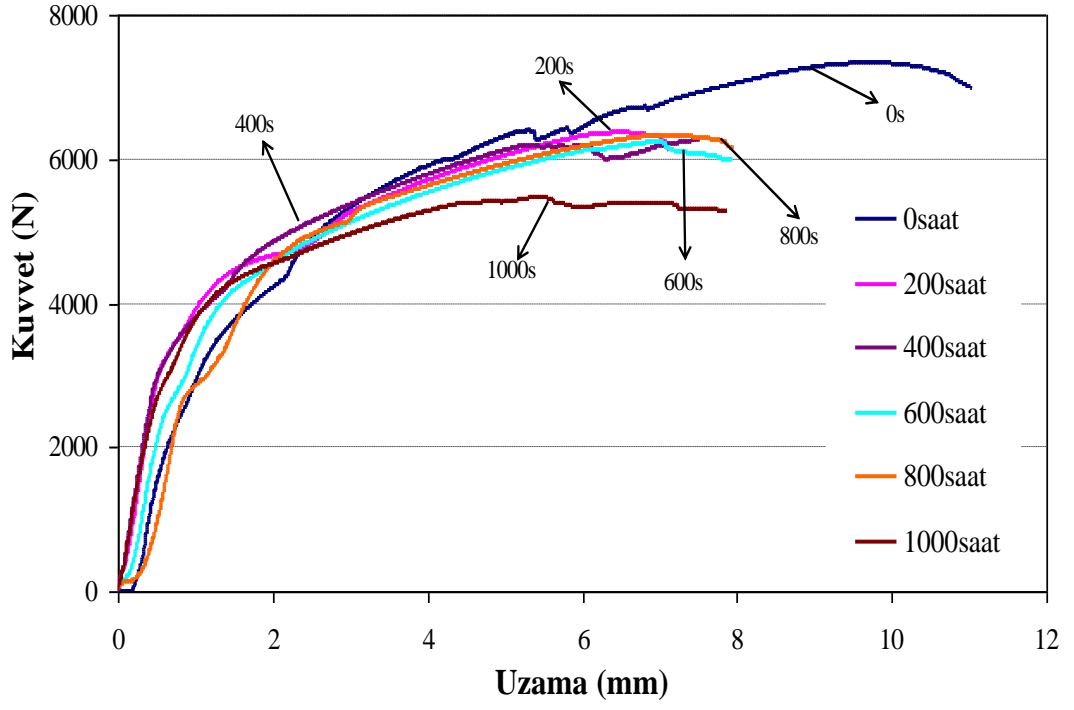
oranındaki düşüş %17,15 iken, 1000 saat sonundaki düşüş %17,74 olarak gerçekleşmiştir.

#### ***4.1.2 Kayma Özelliklerinin Değerlendirilmesi***

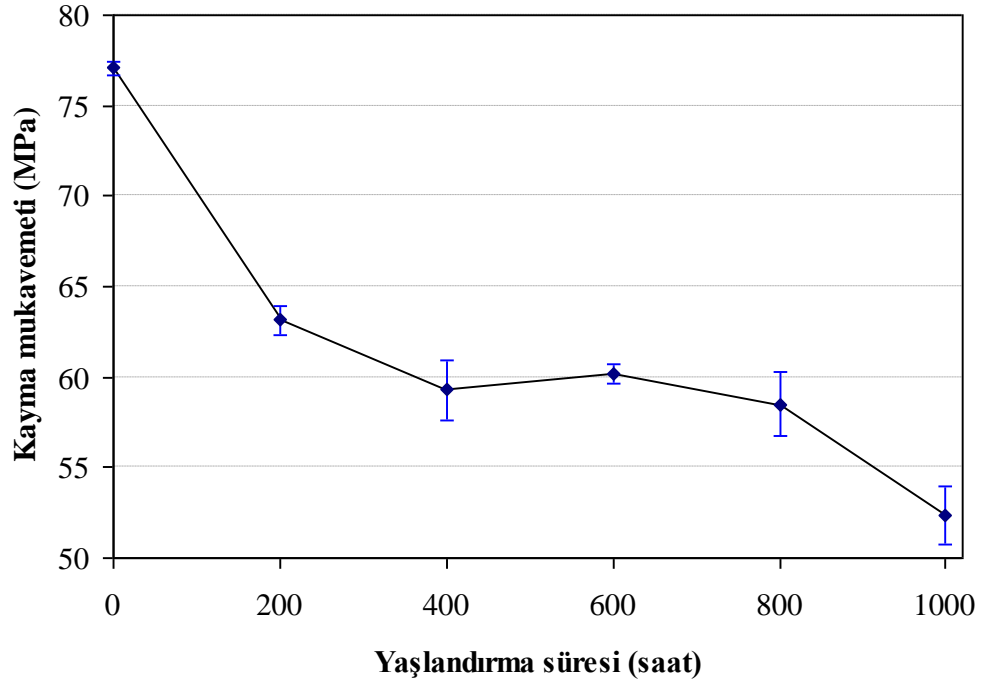
Kompozit malzemelerin karakteristiğini belirleyen bir önemli özelliği ise kayma özellikleridir. Kayma özelliklerinin yaşlanma süresi ile değişimini belirlemek için 200 saat'lik aralıklar ile iklimlendirme kabininden çıkarılan numuneler ile V çentik kayma testi yapılmıştır. Kayma testi için kuvvet uzama eğrileri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere maksimum kopma kuvveti yaşlanmamış numuneye, minimum kopma kuvveti de 1000 saat yaşlandırılmış numunelere aittir. Diyagramlar lineer ve lineer olmayan iki kısımdan oluşmaktadır. Lineer kısmın eğimi malzemenin direngenliğini yani kayma modülü ( $G_{12}$ ) hakkında bir bilgi vermektedir. Şekilde görüldüğü gibi lineer kısımların eğimi bir birine çok yakındır. Yaşlanma süreleri arttıkça kopma uzamalarında azalma görülmektedir. Bu da daha önce bahsedildiği gibi malzemenin daha gevrek bir yapıya dönüşmesinden kaynaklanmaktadır.

Kayma mukavemetinin (S) ortalama değeri ve standart sapmanın yaşlanma süresi ile değişimi Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Kayma testleri 1-2 düzlemine göre yapılmıştır. Yaşlanmamış numunenin kayma mukavemet değeri 77 MPa iken 1000 saat sonunda bu değer 52 MPa'a kadar düşmüştür. Yaklaşık olarak %32 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ilk 200 saat sonunda sert bir düşüş gözlenmiştir. Daha sonra değişimin 800 saate kadar nispeten sabit kaldığı görülmüştür. 1000 saat sonunda ise yine sert bir düşüş olmuştur.

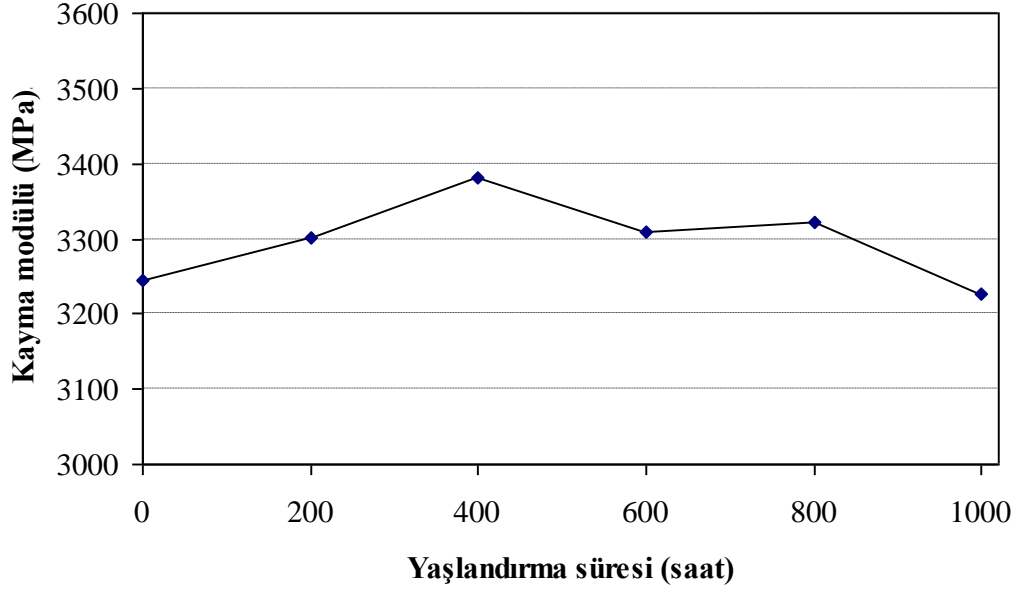
Şekil 4.12'de kayma modülünün ( $G_{12}$ ) yaşlanma süresi ile olan değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere kayma modülü ilk 400 saate kadar artarken daha sonra düşmeye başlamıştır. Maksimum değişim yaklaşık olarak %4 olmuştur. Kayma modülündeki değişim diğer özelliklere göre nispeten sabit kalmıştır.



Şekil 4.10 Farklı yaşlandırma süreleri için kayma testi kuvvet-uzama diyagramları

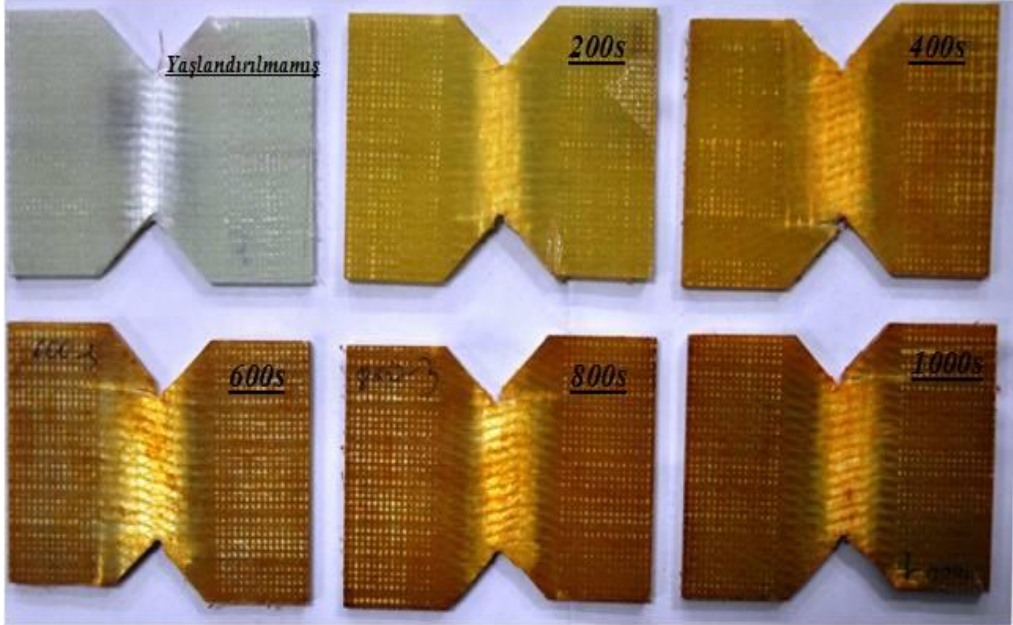


Şekil 4.11 Kayma mukavemetinin yaşlanma süresi ile değişimi



Şekil 4.12 Kayma modülünün yaşlanma süresi ile değişimi

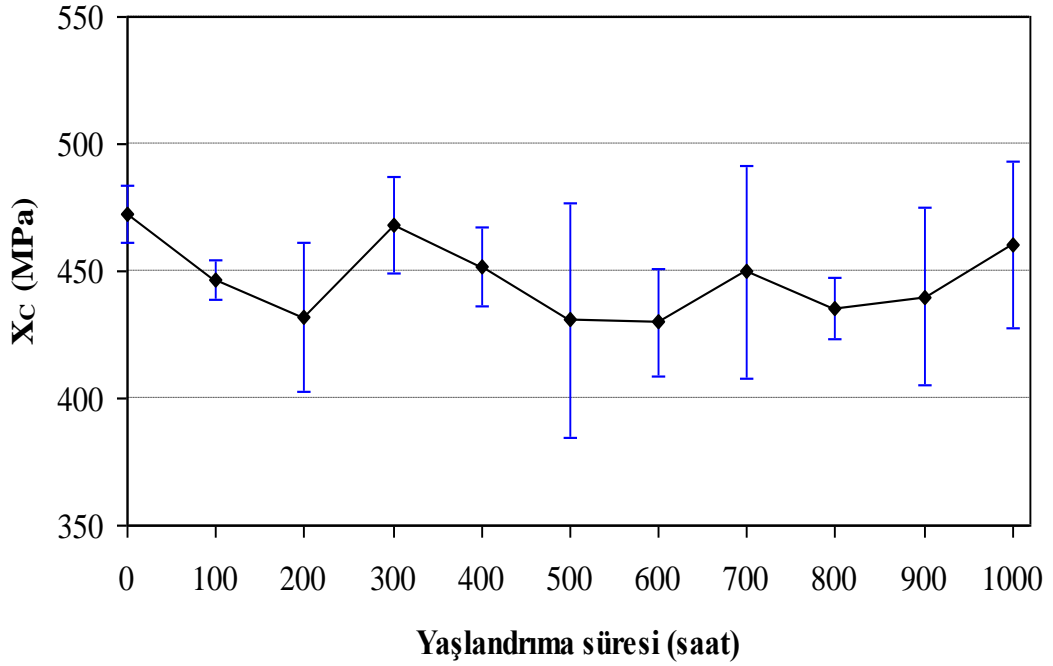
Şekil 4.13’de farklı yaşlandırma süreleri sonunda V çentik kayma testi yapılan numuneler verilmiştir. Daha önceden bahsedildiği gibi oksidasyon sonucunda numunelerin rengi değişmiştir.



Şekil 4.13 Farklı yaşlanma süreleri sonunda V çentik kayma testi yapılmış numuneler

### 4.1.3 Bası Özelliklerinin Değerlendirilmesi

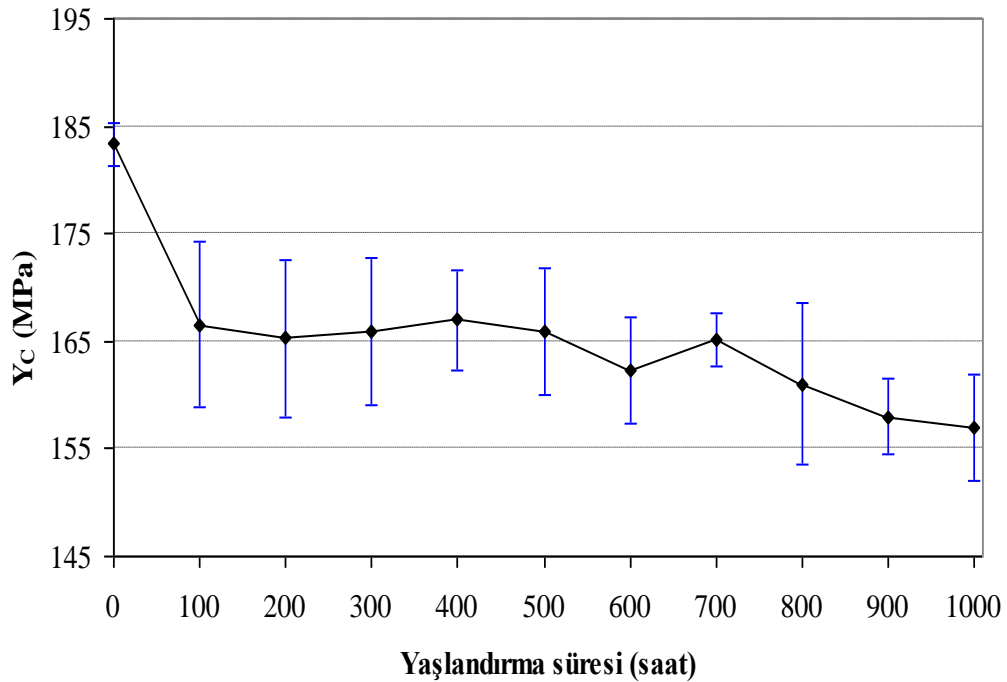
Kompozit malzemeler kullanıldıkları birçok alanda bası yüklerine maruz kalmaktadır. Fiber yönündeki bası mukavemetinin ( $X_c$ ) ortalama değerini ve standart sapmasının yaşlanma süresi ile değişimini gösteren eğri Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yaşlanma süresinin artması ile standart sapma değerlerinde bir artış gözlenmiştir. Bası mukavemetinin yaşlanma süresi ile değişimi diğer özelliklere nispeten yok denecek kadar az olmuştur. Bası mukavemetindeki maksimum değer yaşlanmamış numunededir ve değeri 472 MPa'dır. 1000 saat sonundaki değeri ise 460 MPa'dır. Bin saat sonundaki düşüş sadece %2 civarındadır. Fiber yönündeki yük taşımayı büyük oranda takviye elemanı gerçekleştirmektedir ve bununla birlikte yaşlanma sürecinde daha çok matris malzeme özelliğini kaybettiği için büyük bir düşüş meydana gelmemiştir.



Şekil 4.14 Fiber yönündeki bası mukavemetinin yaşlanma süresi ile değişimi

Şekil 4.15'de fibere dik yöndeki bası mukavemetinin ( $Y_c$ ) yaşlanma süresi ile değişimini gösteren grafik verilmiştir. Bu grafikte ortalama değerler ve standart

sapma değerleri verilmiştir. şekilde görüldüğü gibi ilk 100 saat sonunda sert bir düşüş meydana gelmiştir. Yüksek sıcaklıkta ve nemli ortamda kompozit malzemeler daha çok nemi emer. Emilen su moleküllerinin kompozit yapıları etkilediği bilinmektedir ( Mokhtar, Sicot, Rousseau, Aminanda ve Aivazzadeh, 2011). Bundan dolayı ilk 100 saat sonunda hızlı bir su molekülü emilmiş ve kompozit malzemenin özelliğinde düşüş meydana gelmiştir. İlk 100 saatten sonra daha küçük düşüşler meydana gelmiştir. Yaşlanmamış numunenin fibere dik yöndeki bası mukavemeti 183 MPa iken bu değer 500 saat sonunda 166 MPa ve 1000 saat sonunda 157 MPa'a kadar dşmştir. 1000 saat sonunda yaklaşık olarak %15 düşüş meydana gelmiştir. Fiber yönündeki bası mukavemetine göre nispeten büyük bir düşüş meydana gelmiştir. Bunun nedeni daha önce bahsedildiği gibi yaşlanma süreci sonunda bozulmanın daha çok matriste meydana geldiği ve fibere dik yönde yükü taşıyan elemanın matris olmasıdır.



şekil 4.15 Fibere dik yöndeki bası mukavemetinin yaşlanma süresi ile değişimi

#### ***4.1.4 Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi***

Takviye elemanı cam fiber ve matris malzemesi epoksi olan kompozit malzeme 95°C sıcaklığa ve %70 neme sahip olan bir ortamda yaşlandırıldıktan sonra mekanik özelliklerinde düşüş gözlenmiştir. Mekanik özelliklerdeki bu düşüş polimer malzemelerin camsı geçiş sıcaklığını geçecek şekilde ısıtıldığında, termal bozulma sonucunda kompozitin yapısında meydana gelen bağların kopması, matrisin içine oksijen difüzyonu, oksijenin matris ile reaksiyonu ve matrisin bozulmasına sebep olan maddelerin difüzyonu neden olmaktadır (Martin, 2008; Tsotsis, Keller, Lee, Bardis ve Bish, 2001). Bunun nedeni kompozit malzemelerde kullanılan termoset polimerler sıcaklığa bağlıdır. Termoset polimerler termo-oksidatif ortama maruz kaldığında malzemede mikro çatlaklar ve yüzeylerinde yaşlanma olduğu gözlenmiştir (Mlyniec ve Uhl, 2012). Malzemenin hem mukavemeti hem de elastisite modülü daha önce bahsedildiği gibi malzemenin kesit alanına bağlıdır. Bahsedilen bu nedenlerden dolayı malzemenin kesit alanında bir düşüş meydana gelebilir veya aynı şekilde ara yüzeyde ki yapışmada da bir zayıflama meydana geldiğinden, malzemenin taşıyacağı yük azalır. Bu nedenle hem malzemenin mukavemetinde hem de elastisite modülünde düşüş gerçekleşmiştir. Yukarıda verilen şekillerde görüldüğü gibi standart sapmalar yükselmiştir ve bunun sonucunda güven aralığı düşmüştür. Bunun nedeni numunelerin kabin içindeki dağılımları ve fiberlerin malzeme içindeki dağılımı olabilir (Mlyniec ve Uhl, 2012).

Kompozit malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim ve değişim yüzdeleri Tablo 4,1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablolarda ortalama değerler alınmıştır. Tablolarda görüldüğü gibi en büyük düşüş %41,32 ile fibere dik yöndeki elastisite modülünde meydana gelmiştir. En az düşüş ise %0,52 ile kayma modülünde meydana gelmiştir. Kayma modülünde kayda değer bir düşüş gözlenmemiştir. Poisson oranında %17,74, fiber yönündeki elastisite modülünde ise %6,31’lik bir düşüş meydana gelmiştir. Mukavemet değerlerinde en büyük düşüş %32,47 ile kayma mukavemetinde meydana gelmiştir.



Tablo 4.1 Yaşlanma süresine göre mukavemet değerleri

| Yaşlandırma süresi | Xt  |       | Yt    |       | Xc  |      | Yc  |       | S   |       |
|--------------------|-----|-------|-------|-------|-----|------|-----|-------|-----|-------|
|                    | Mpa | %     | Mpa   | %     | Mpa | %    | Mpa | %     | Mpa | %     |
| 0                  | 706 |       | 122,5 |       | 472 |      | 183 |       | 77  |       |
| 100                | 633 | 10,34 | 116,3 | 5,11  | 446 | 5,51 | 166 | 9,16  |     |       |
| 200                | 627 | 11,19 | 108,0 | 11,88 | 431 | 8,69 | 165 | 9,82  | 63  | 18,18 |
| 300                | 618 | 12,46 | 105,0 | 14,33 | 468 | 0,85 | 165 | 9,51  |     |       |
| 400                | 630 | 10,76 | 107,0 | 12,70 | 451 | 4,45 | 167 | 8,91  | 59  | 23,38 |
| 500                | 583 | 17,42 | 106,1 | 13,51 | 430 | 8,90 | 166 | 9,45  |     |       |
| 600                | 593 | 16,01 | 105,0 | 14,33 | 430 | 8,91 | 162 | 11,45 | 60  | 22,08 |
| 700                | 529 | 25,02 | 107,2 | 12,70 | 449 | 4,87 | 165 | 9,90  |     |       |
| 800                | 502 | 28,89 | 106,3 | 13,51 | 435 | 7,84 | 161 | 12,18 | 58  | 24,68 |
| 900                | 510 | 27,76 | 107,4 | 12,70 | 440 | 6,78 | 158 | 13,82 |     |       |
| 1000               | 487 | 31,01 | 93,1  | 24,12 | 460 | 2,54 | 157 | 14,36 | 52  | 32,47 |

Tablo 4.2 Yaşlanma süresi ile elastisite ve kayma modülünün , Poisson oranının değişim

| Yaşlandırma süresi | E <sub>1</sub> |      | E <sub>2</sub> |       | V <sub>12</sub> |       | G <sub>12</sub> |       |
|--------------------|----------------|------|----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|                    | Gpa            | %    | Gpa            | %     |                 | %     | Gpa             | %     |
| 0                  | 31,44          |      | 12,00          |       | 0,274           |       | 3,24            |       |
| 100                | 30,44          | 3,17 | 10,46          | 12,86 | 0,270           | 1,46  |                 |       |
| 200                | 30,41          | 3,29 | 10,73          | 10,56 | 0,260           | 5,11  | 3,30            | -1,76 |
| 300                | 30,34          | 3,49 | 10,32          | 14,01 | 0,246           | 10,22 |                 |       |
| 400                | 30,29          | 3,66 | 8,67           | 27,71 | 0,236           | 13,87 | 3,38            | -4,19 |
| 500                | 30,20          | 3,94 | 7,92           | 33,98 | 0,227           | 17,15 |                 |       |
| 600                | 29,68          | 5,59 | 7,78           | 35,18 | 0,240           | 12,41 | 3,31            | -2,03 |
| 700                | 29,79          | 5,26 | 7,70           | 35,83 | 0,241           | 12,04 |                 |       |
| 800                | 29,61          | 5,82 | 7,91           | 34,17 | 0,230           | 16,06 | 3,32            | -2,37 |
| 900                | 29,70          | 5,55 | 7,88           | 34,36 | 0,227           | 17,19 |                 |       |
| 1000               | 29,46          | 6,31 | 7,04           | 41,32 | 0,225           | 17,74 | 3,23            | 0,52  |

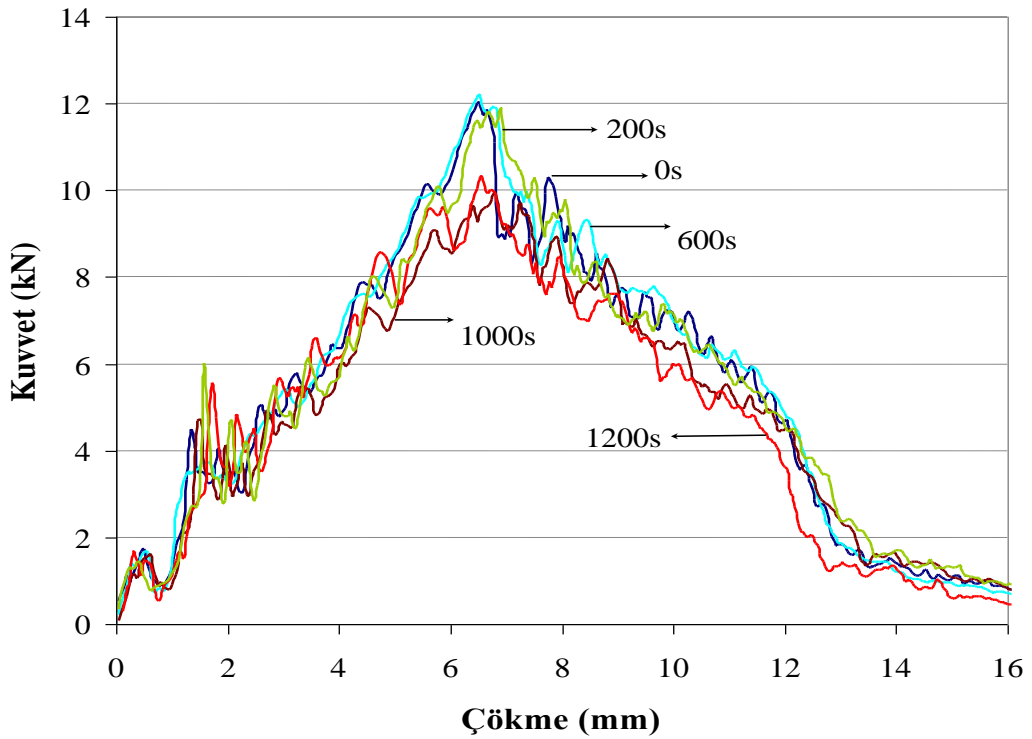
## 4.2 Darbe Testlerinin Sonuçları

### 4.2.1 Tek Darbeli Testlerin Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında farklı yaşlanma sürelerine maruz kalmış kompozit malzemelerin darbe testleri de yapılmıştır. Darbe testleri için üretilen kompozit malzemeler tek yönlü E-cam elyaf ve epoksi kullanılarak üretilmiştir. Kompozit malzeme [0/90]<sub>8s</sub> oryantasyonuna sahiptir. Üretim sonunda numunelerin yaklaşık kalınlığı 4,21 mm olarak ölçülmüştür. Kompozit malzemeler, geleneksel

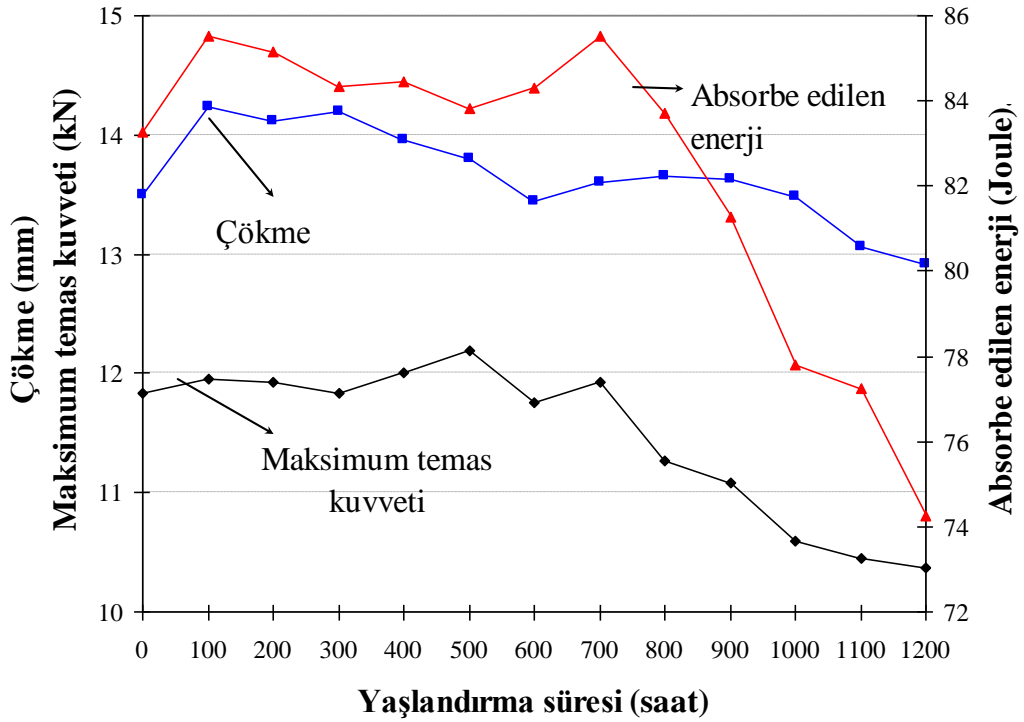
malzemelere göre yüksek mukavemet ağırlık oranı gibi birçok avantaja sahip oldukları için özellikle havacılık ve denizcilik sektörleri gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu malzemeler yüzeysel gelen darbelerle karşı oldukça hassastırlar. Bu darbeler tek veya tekrarlı bir şekilde olabilmektedir. Bu bölümde tekrarlı ve tek darbe yüklerine maruz kompozitler incelenmiştir. Tek darbe deneyleri için 20, 40, 60, 80 ve 100 Joule, tekrarlı darbe testleri için ise 20 Joule darbe enerjileri seçilmiştir.

Şekil 4.16’da farklı yaşlanma süreleri sonunda 100 Joule darbe enerjisi için kuvvet çökme eğrileri görülmektedir. Eğriler görüldüğü gibi yükselen ve inen olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Yükselen kısım malzemenin direngenliği hakkında bilgi vermektedir. Şekilde görüldüğü gibi eğriler geri kapanmamıştır. Bunun anlamı delinmenin meydana geldiğidir. Grafiklerin altında kalan kısım absorbe ettikleri enerjileri göstermektedir. Yaşlanma süresi arttıkça grafiklerin tepe noktası da azalmaktadır ve bundan dolayı grafiklerin altında kalan kısım azalmaktadır bu nedenle absorbe ettikleri enerji de azalmaktadır.



Şekil 4.16 Farklı yaşlanma sürelerindeki 100 Joule’lük darbe enerjisi için kuvvet çökme eğrileri

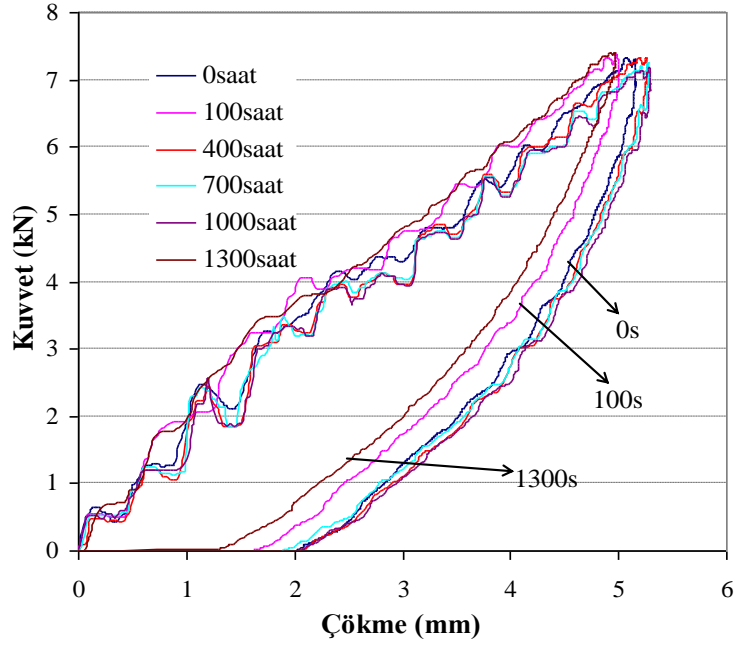
Şekil 4.17’de 100 Joule darbe enerjisi için çökme, maksimum temas kuvveti ve absorbe edilen enerjinin yaşlanma süresi ile değişimi gösterilmiştir. absorbe edilen enerjiye bakıldığında ilk 200 saat sonunda 83,25 Joule’den 85,55 Joule’e yükselmiştir ve daha sonra 700 yüz saate kadar yatay bir eğim izlemiştir. Bu noktadan sonra absorbe edilen enerjide sert bir düşüş meydana gelmiştir. 1200 saate kadar bu düşüş devam etmiştir. Maksimum temas kuvveti şekilde görüldüğü gibi aynı davranışı sergilemiştir. Çökme ise ilk 100 saat sonunda artmış daha sonra düşmeye başlamıştır. Üç eğriye de bakıldığında çökme, maksimum temas kuvveti ve absorbe edilen enerjinin en düşük değerleri 1200 saat sonunda elde edilmiştir.



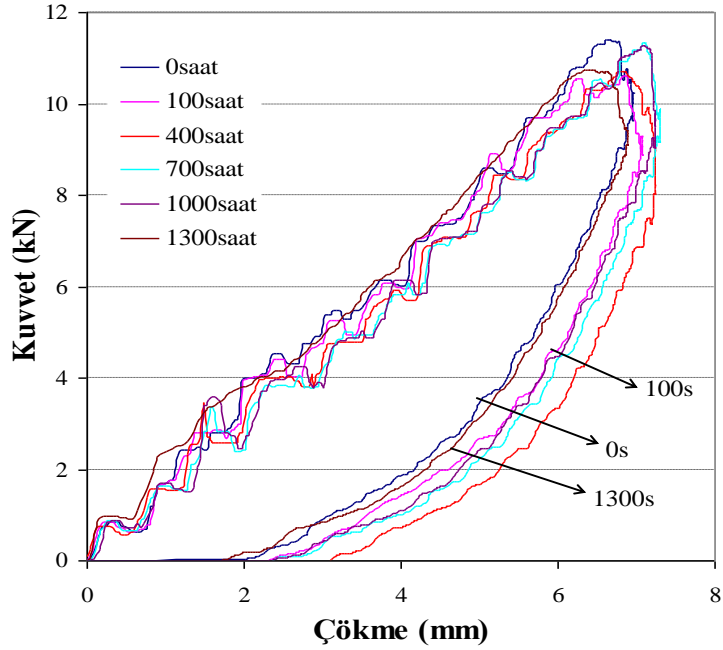
Şekil 4.17 Çökme, Maksimum temas kuvveti ve absorbe edilen enerjini yaşlanma süresi ile değişimi

Darbe enerji profilinin ve tekrarlı darbe davranışını yaşlanma süresi ile değişimini incelemek için yeni bir kompozit plaka üretilmiş ve 100, 400, 700, 1000 ve 1300 saat süre ile yaşlandırarak farklı darbe enerjilerinde testler yapılmıştır. Şekil 4.18’de 20, 40, 60 ve 80 Joule darbe enerjileri için 0, 100, 400, 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numunelerin kuvvet çökme eğrileri verilmiştir. 20, 40 ve 60 Joule’luk darbe enerjileri için eğrilerden anlaşılacağı üzere herhangi bir delinme olmamıştır. Eğrilerin davranışı birbirine çok yakın çıkmıştır. 80 Joule’lük darbe enerjisi için

bakarsak yaşlanmamış ve 100 saat yaşlanmış numunelerde delinme olmamasına karşın 400, 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numunelerde delinme gerçekleşmiştir.

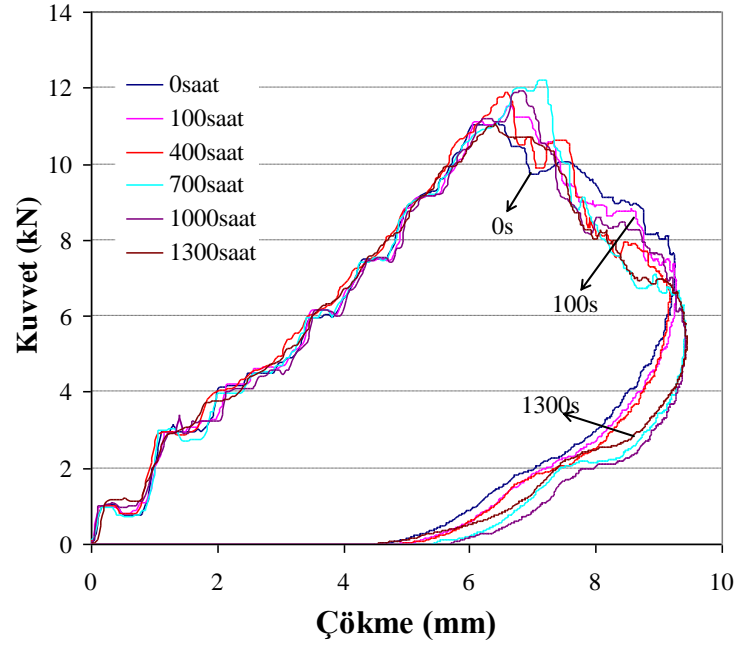


a) 20 Joule

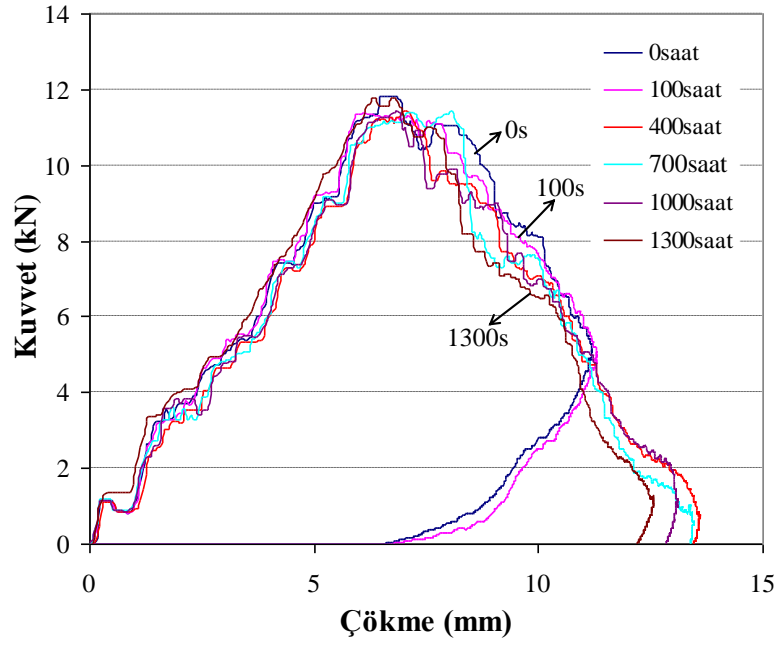


b) 40 Joule

Şekil 4.18 a), b) Farklı yaşlandırma süresi ve farklı darbe enerjileri için kuvvet-çökme eğrileri



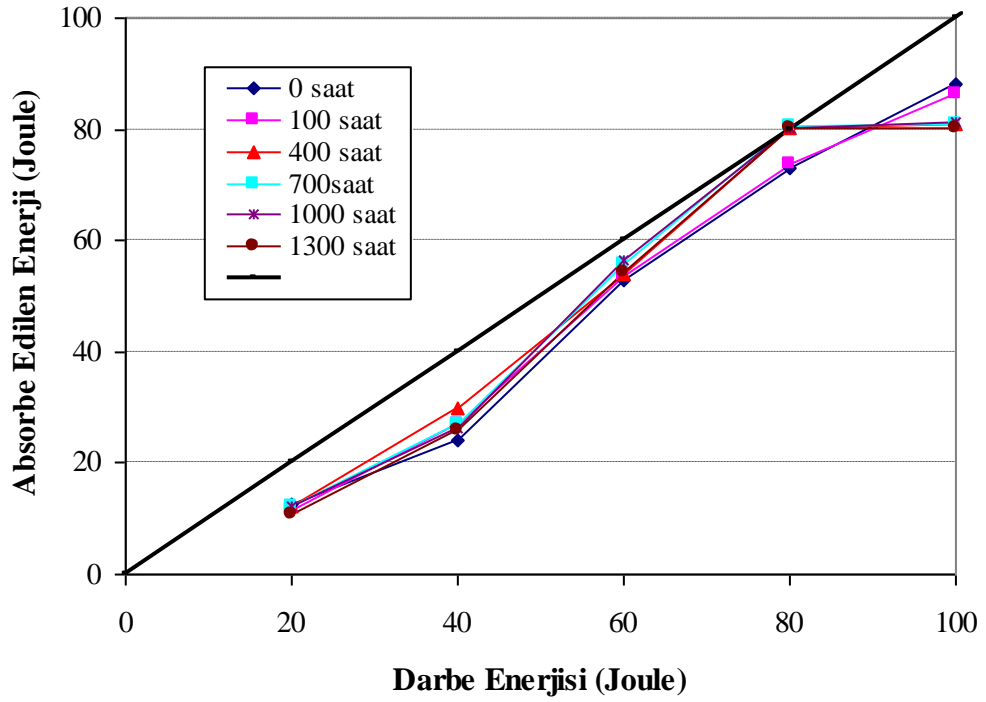
c) 60 Joule



d) 80 Joule

Şekil 4.18 c), d) Farklı yaşlandırma süresi ve farklı darbe enerjileri için kuvvet-çökme eğrileri

Yaşlandırma süreleri için çizilen enerji profil diyagramları Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere 400, 700, 1000 ve 1300 yaşlandırılmış numuneler için ilk delinme enerjileri 80 Joule iken yaşlandırılmamış ve 100 saat yaşlandırılmış numuneler için 80 Joule'ün üzerindedir. Yaşlandırılmamış numunelerin delinme enerjisi yaklaşık 88 Joule iken 100 saat için 86 Joule olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.19 Farklı yaşlandırma süreleri için enerji profili diyagramı

Tablo 4.3'de farklı yaşlanma süreleri ve darbe enerjileri için elde edilen veriler yer almaktadır. Her bir koşul ve darbe enerjisi için üç test yapılmıştır ve tabloda ortalama değerleri verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi yaşlanmamış numunenin 100 Joule'deki absorbe ettiği enerji 88 Joule iken bu değer 1300 saat yaşlandırıldıktan sonra 80 Joule'e kadar düşmüştür. Absorbe edilen enerji değerinde yaklaşık olarak %6 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. 80 Joule darbe testlerine baktığımızda ise yaşlanmamış numunenin absorbe ettiği enerji 72,92 Joule iken bu değer 1300 saat yaşlandırılmış numunede 80 Joule olmuştur. Bu artışın nedeni yaşlanmış numunenin delinme enerjisinin eşliğinin düşmesidir.

Tablo 4.3 Farklı yaşlandırma süreleri ve darbe enerjileri için elde edilen veriler

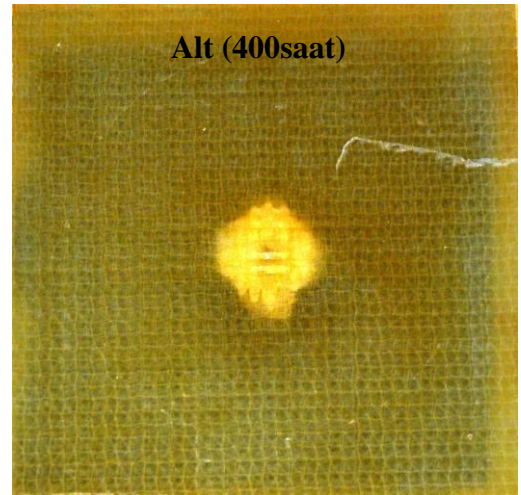
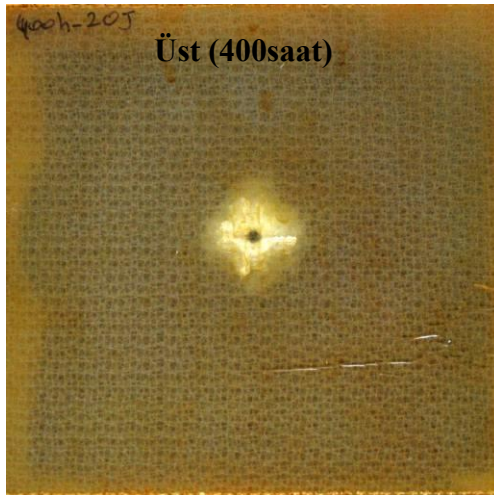
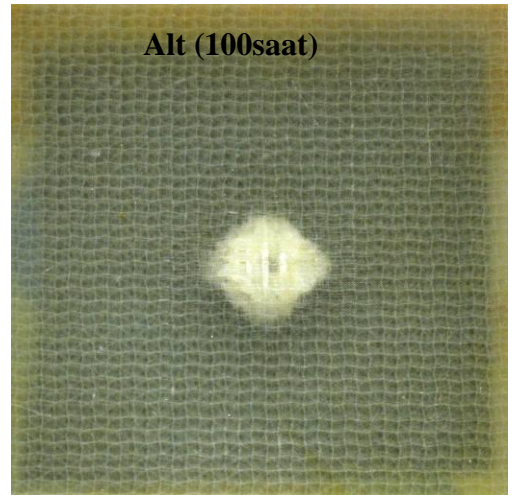
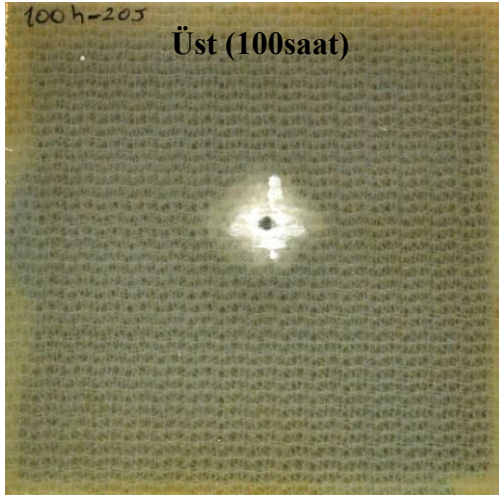
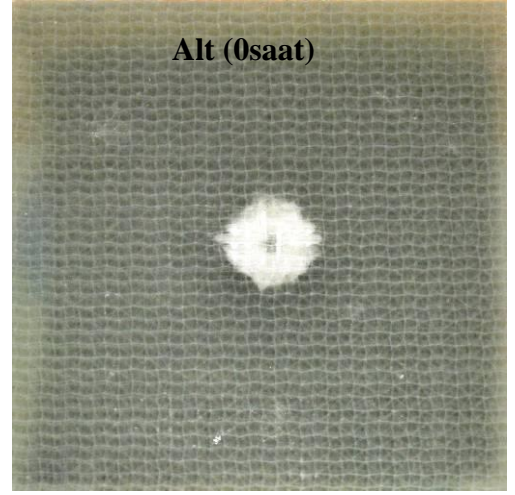
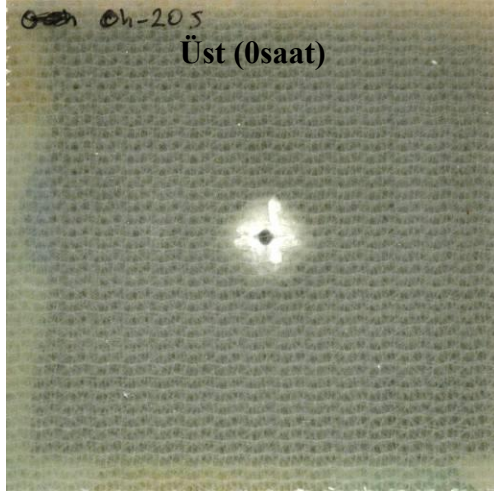
| <b>Yaşlandırılmamış</b>          |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Uygulanan Darbe Enerjisi (Joule) | 20J   | 40J   | 60J   | 80J   | 100J  |
| Maksimum Darbe Enerjisi (Joule)  | 20,61 | 40,48 | 62,71 | 80,25 |       |
| Absorbe Edilen Enerji (Joule)    | 12,61 | 24,24 | 52,74 | 72,92 | 88,02 |
| Maksimum Çökme (mm)              | 5,16  | 6,95  | 9,25  | 11,06 | 18,17 |
| Temas süresi (ms)                | 5,51  | 5,61  | 6,65  | 7,63  | 5,37  |
| Maksimum Temas Kuvveti (N)       | 7333  | 11412 | 11103 | 11840 | 11675 |
| <b>100 saat</b>                  |       |       |       |       |       |
| Uygulanan Darbe Enerjisi (Joule) | 20J   | 40J   | 60J   | 80J   | 100J  |
| Maksimum Darbe Enerjisi (Joule)  | 20,21 | 40,49 | 62,45 | 80,26 |       |
| Absorbe Edilen Enerji (Joule)    | 11,67 | 26,87 | 53,64 | 73,69 | 86,34 |
| Maksimum Çökme (mm)              | 5,03  | 7,07  | 9,27  | 11,26 | 18,22 |
| Temas süresi (ms)                | 5,51  | 5,71  | 6,70  | 7,86  | 5,14  |
| Maksimum Temas Kuvveti (N)       | 7370  | 10610 | 11542 | 11389 | 11942 |
| <b>400 saat</b>                  |       |       |       |       |       |
| Uygulanan Darbe Enerjisi (Joule) | 20J   | 40J   | 60J   | 80J   | 100J  |
| Maksimum Darbe Enerjisi (Joule)  | 20,22 | 40,31 | 61,93 | 80,37 |       |
| Absorbe Edilen Enerji (Joule)    | 12,29 | 29,74 | 54,12 | 80,37 | 81,03 |
| Maksimum Çökme (mm)              | 5,26  | 7,28  | 9,16  | 13,55 | 16,51 |
| Temas süresi (ms)                | 5,57  | 5,76  | 6,78  | 8,72  | 3,94  |
| Maksimum Temas Kuvveti (N)       | 7330  | 10720 | 11902 | 11434 | 11800 |
| <b>700 saat</b>                  |       |       |       |       |       |
| Uygulanan Darbe Enerjisi (Joule) | 20J   | 40J   | 60J   | 80J   | 100J  |
| Maksimum Darbe Enerjisi (Joule)  | 20,36 | 40,51 | 64,47 | 80,62 |       |
| Absorbe Edilen Enerji (Joule)    | 12,11 | 26,83 | 55,79 | 80,59 | 81,15 |
| Maksimum Çökme (mm)              | 5,28  | 7,29  | 9,41  | 13,33 | 15,97 |
| Temas süresi (ms)                | 5,67  | 5,76  | 7,09  | 8,75  | 3,71  |
| Maksimum Temas Kuvveti (N)       | 7256  | 11347 | 12200 | 11449 | 12027 |
| <b>1000 saat</b>                 |       |       |       |       |       |
| Uygulanan Darbe Enerjisi (Joule) | 20J   | 40J   | 60J   | 80J   | 100J  |
| Maksimum Darbe Enerjisi (Joule)  | 20,23 | 40,31 | 62,51 | 80,26 |       |
| Absorbe Edilen Enerji (Joule)    | 12,34 | 26,11 | 56,62 | 80,26 | 81,37 |
| Maksimum Çökme (mm)              | 5,29  | 7,24  | 9,41  | 13,04 | 16,18 |
| Temas süresi (ms)                | 5,62  | 5,68  | 7,11  | 7,91  | 3,87  |
| Maksimum Temas Kuvveti (N)       | 7191  | 11281 | 11916 | 11451 | 11819 |
| <b>1300 saat</b>                 |       |       |       |       |       |
| Uygulanan Darbe Enerjisi (Joule) | 20J   | 40J   | 60J   | 80J   | 100J  |
| Maksimum Darbe Enerjisi (Joule)  | 20,21 | 40,49 | 62,25 | 80,18 |       |
| Absorbe Edilen Enerji (Joule)    | 10,65 | 25,79 | 54,47 | 80,18 | 80,21 |
| Maksimum Çökme (mm)              | 4,94  | 6,88  | 9,43  | 12,28 | 16,01 |
| Temas süresi (ms)                | 5,56  | 5,73  | 7,41  | 7,91  | 3,97  |
| Maksimum Temas Kuvveti (N)       | 7400  | 10748 | 11089 | 11789 | 11950 |

Numunelerin hasar biçimi görmek için farklı darbe enerjilerine (20, 40, 60, 80 ve 100 Joule) ve farklı yaşlanma sürelerine maruz kalmış (0, 100, 400, 700, 1000, 1300 saat) numunelerin fotoğrafları Şekil 4.20-4.29’ da verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi fiber kırığı, matris kırığı ve delaminasyon hasarları meydana gelmiştir. Toplam hasar miktarının yaşlanma süresinin artması ile arttığı gözlenmiştir. Tablo 4.4’de yaşlandırılmamış ve 1300 saat yaşlandırılmış numunelerin darbe testi sonrası toplam hasar alanları verilmiştir. Numunelerin resmi çekildikten sonra Solidworks programı yardımı ile bu değerler bulunmuştur. Tablo da görüleceği üzere yaşlandırma süresi ve darbe enerjisi arttıkça toplam hasar alanı da artmıştır. Hasar alanındaki bu artış verilen resimlerde görülmektedir. Örneğin 20 Joule darbe enerjisi için yaşlandırılmamış numunenin toplam hasar alanı 302 mm<sup>2</sup> iken 1300 saat yaşlandırılmış numunedeki toplam hasar alanı 429 mm<sup>2</sup> olmuştur. Yaklaşık olarak %42 oranında bir artış meydana gelmiştir. Aynı şekilde bütün darbe enerjileri için yaşlandırılmış numunelerin hasar alanında artış meydana gelmiştir.

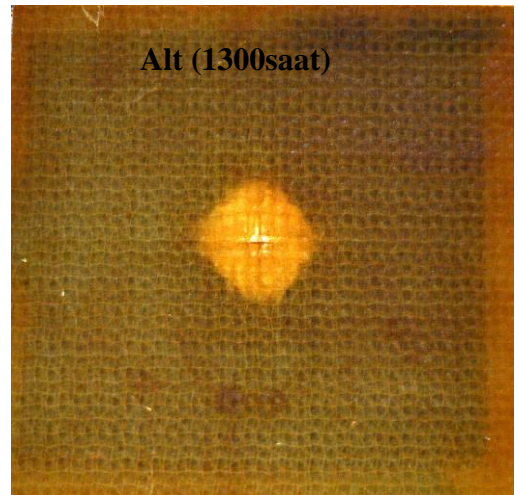
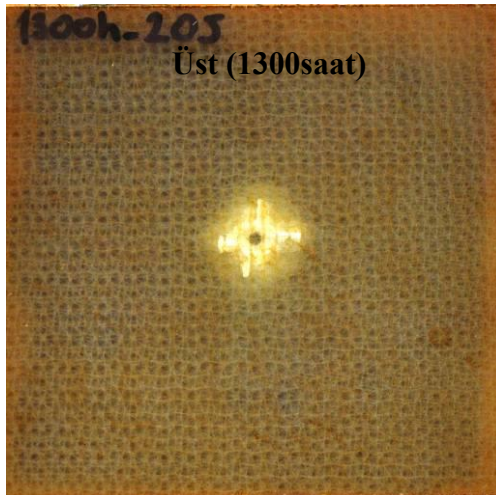
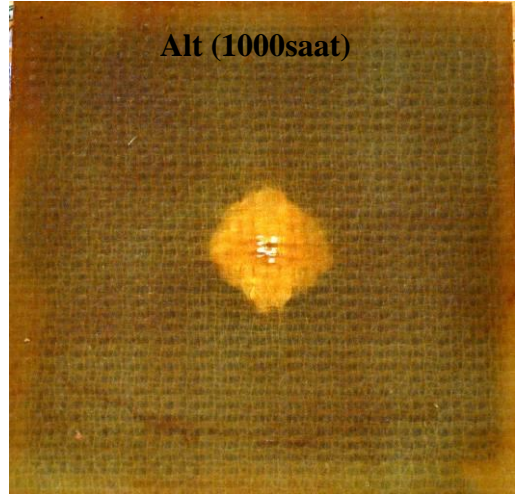
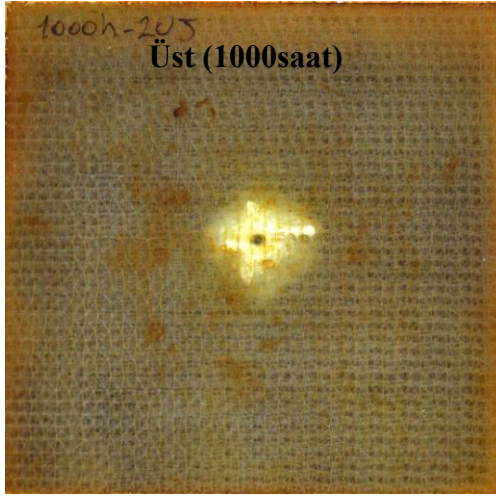
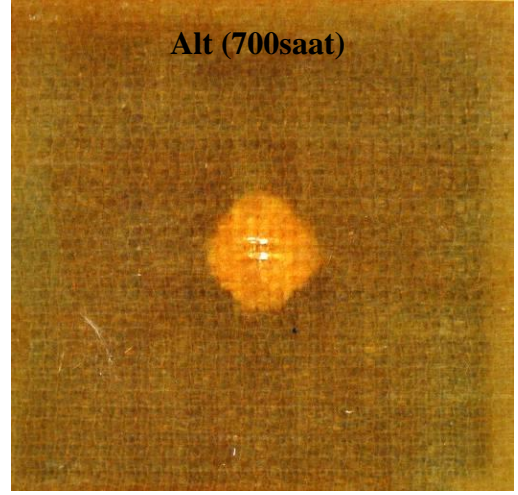
Tablo 4.4 Yaşlanmamış ve 1300 saat yaşlandırılmış numunelerin darbe testi sonrası hasar alanı

| Darbe enerjisi | Yaşlanma süresi        |                        |
|----------------|------------------------|------------------------|
|                | 0 saat                 | 1300 saat              |
| 20J            | 302 (mm <sup>2</sup> ) | 429(mm <sup>2</sup> )  |
| 40J            | 462(mm <sup>2</sup> )  | 697(mm <sup>2</sup> )  |
| 60J            | 1197(mm <sup>2</sup> ) | 1597(mm <sup>2</sup> ) |
| 80J            | 1562(mm <sup>2</sup> ) | 1845(mm <sup>2</sup> ) |
| 100J           | 1702(mm <sup>2</sup> ) | 1865(mm <sup>2</sup> ) |

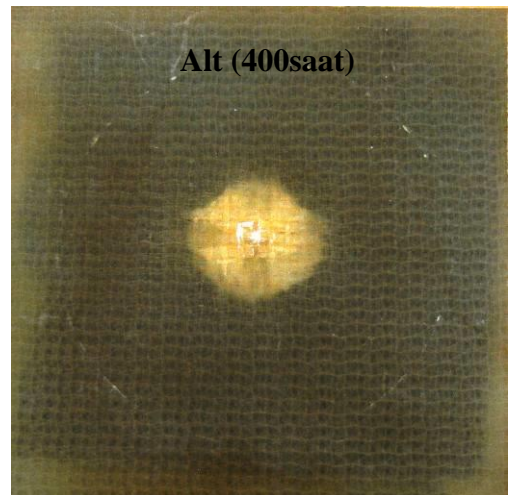
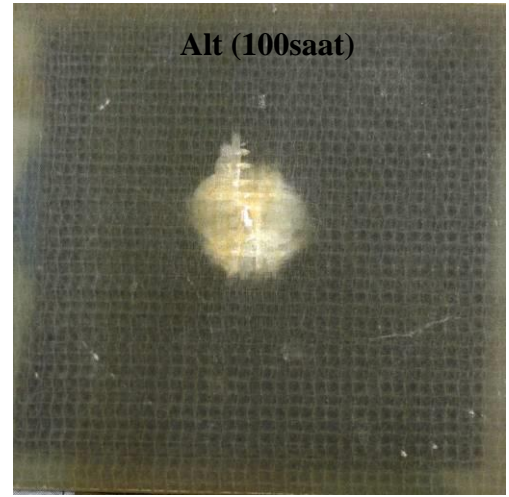
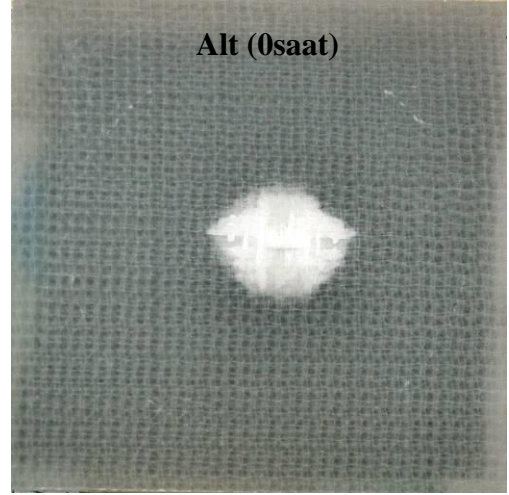
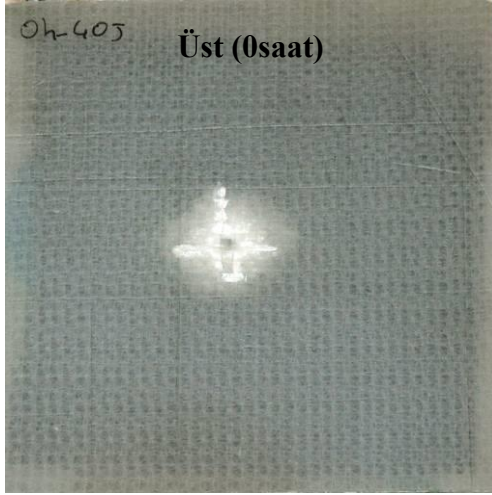




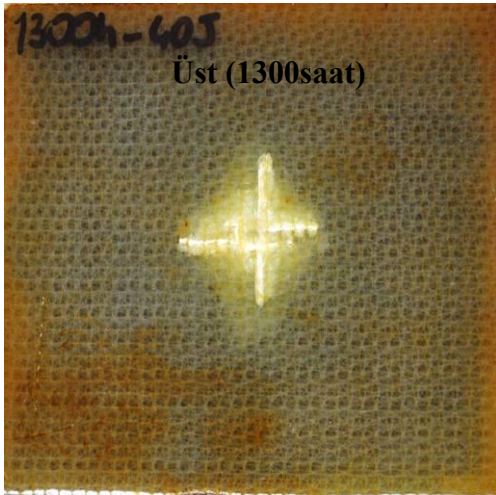
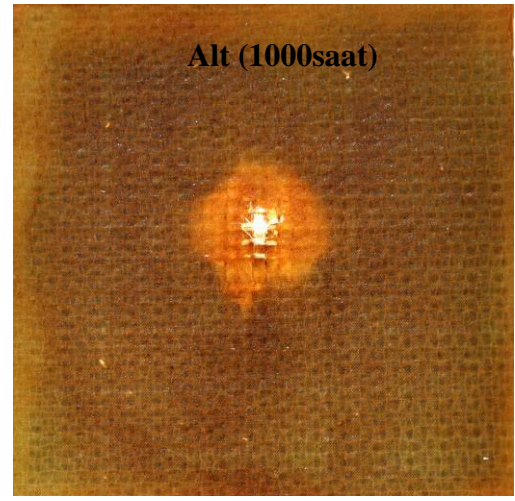
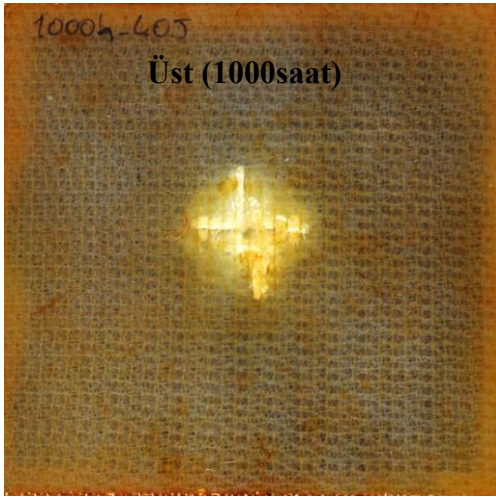
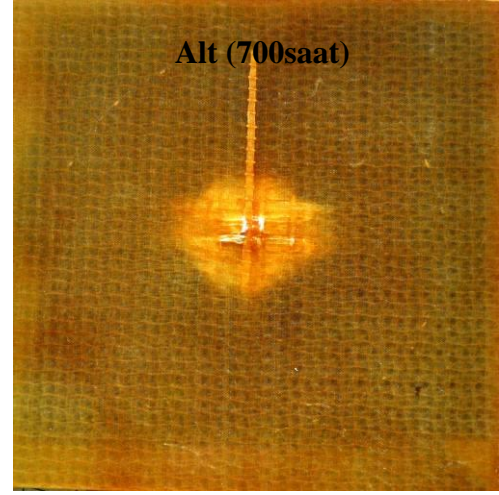
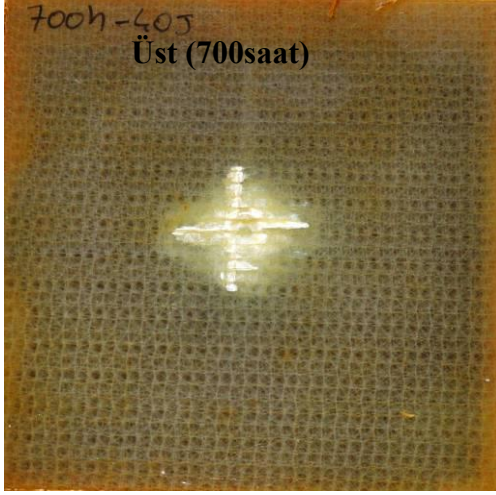
Şekil 4.20 20 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 400 saat yaşlandırılmış numuneler



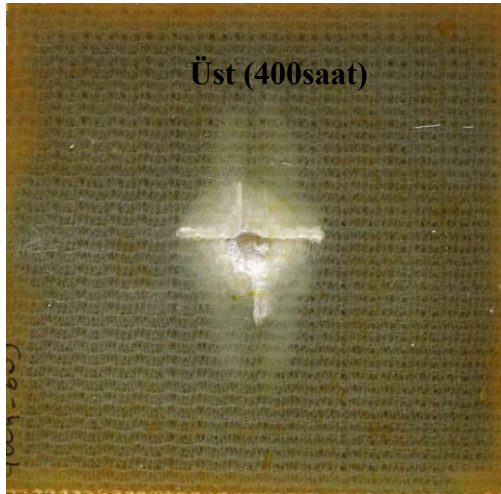
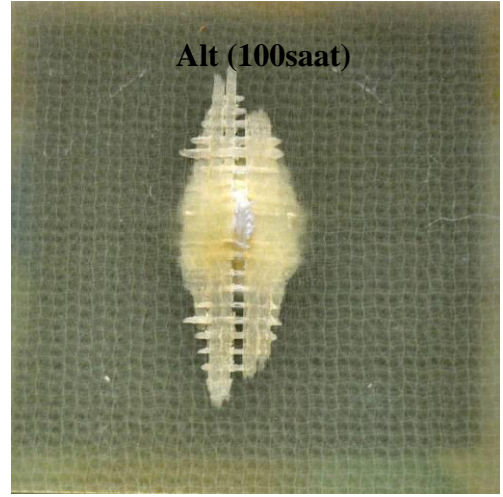
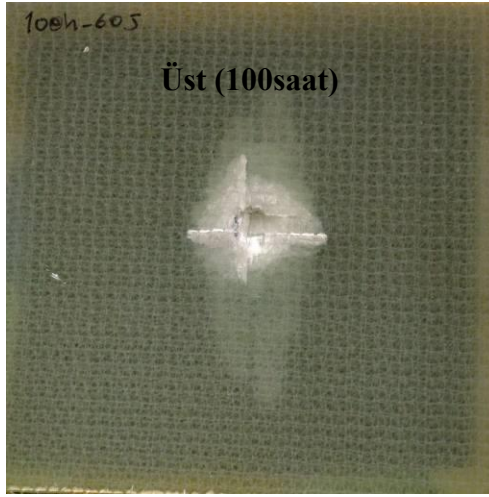
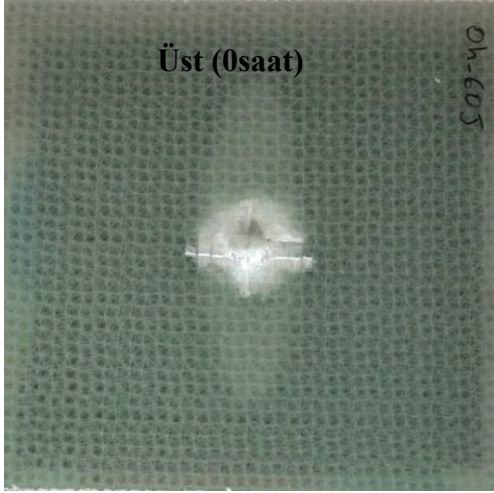
Şekil 4.21 20 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler



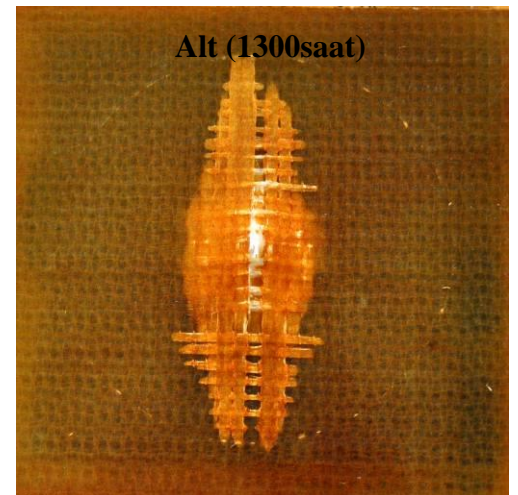
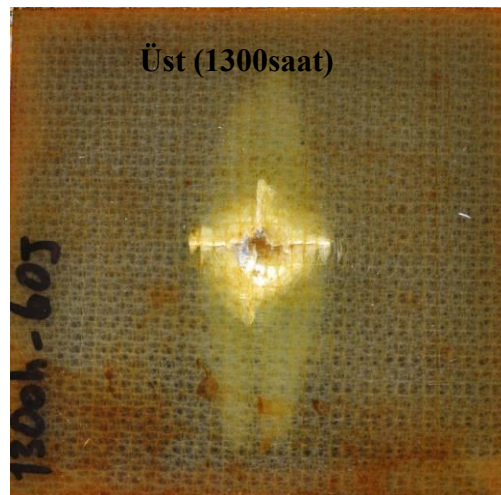
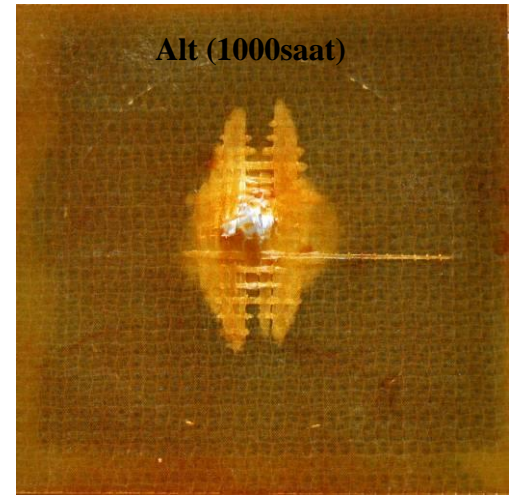
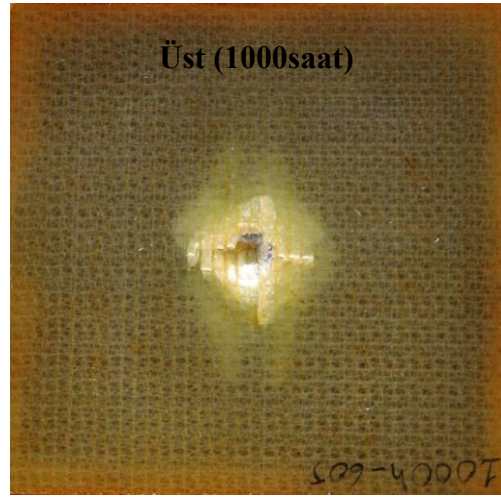
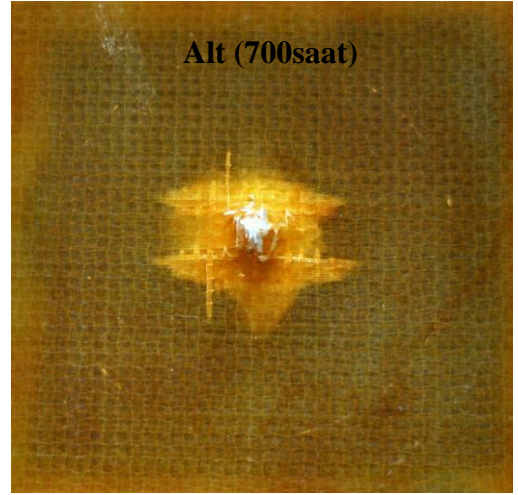
Şekil 4.22 40 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 400 saat yaşlandırılmış numuneler



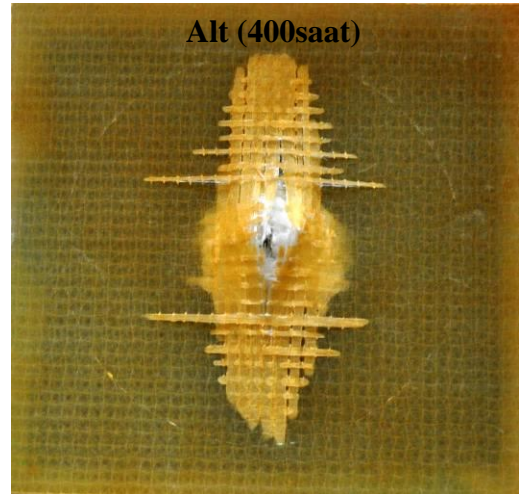
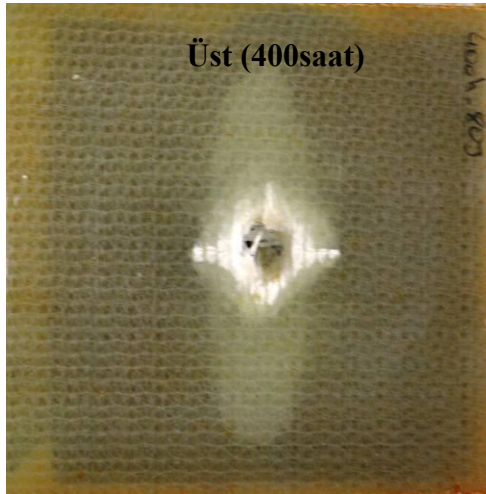
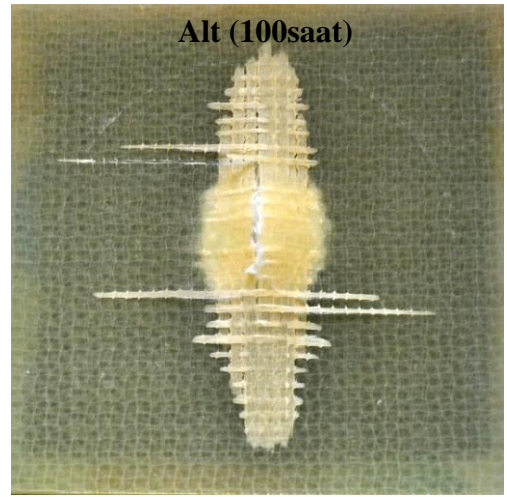
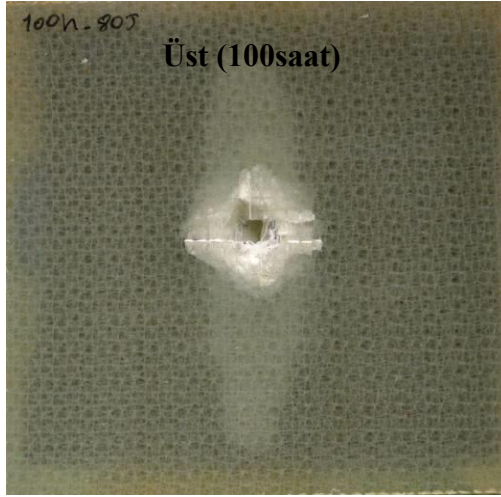
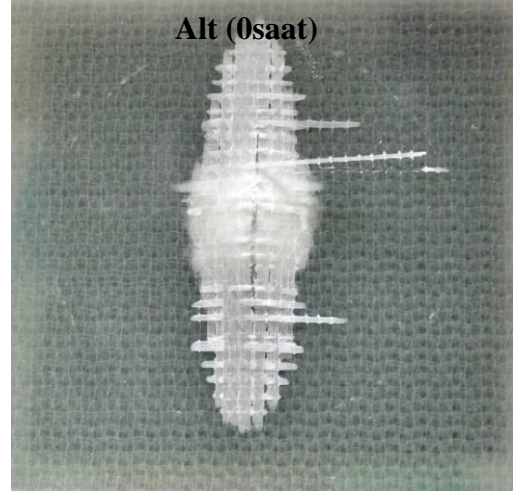
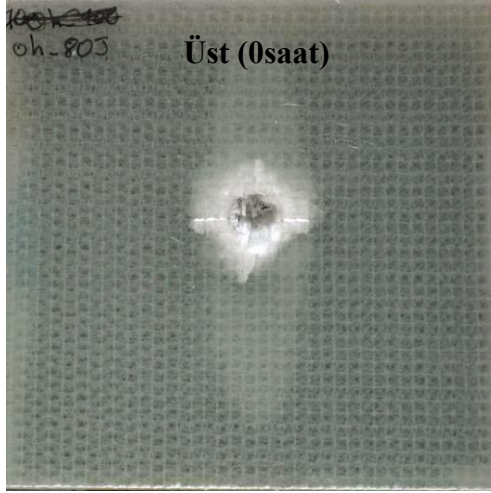
Şekil 4.23 40 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler



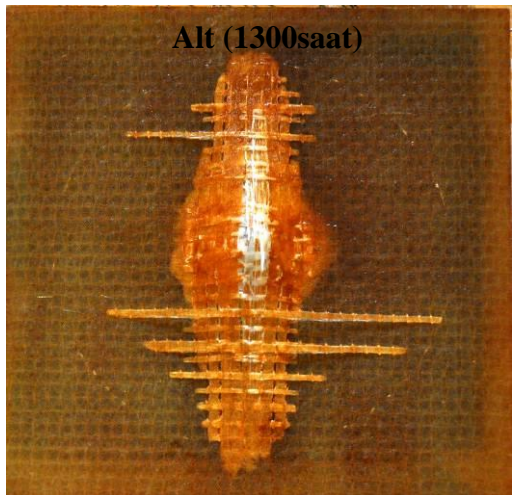
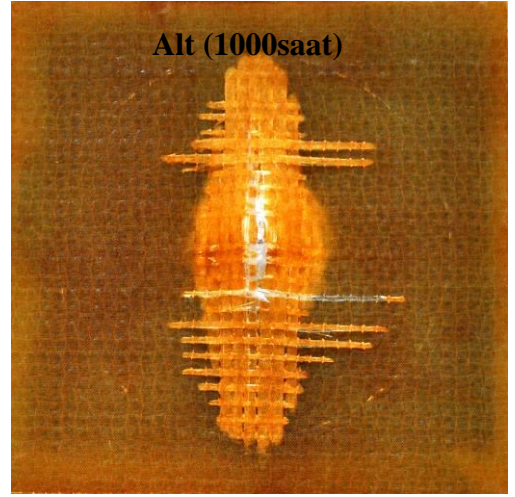
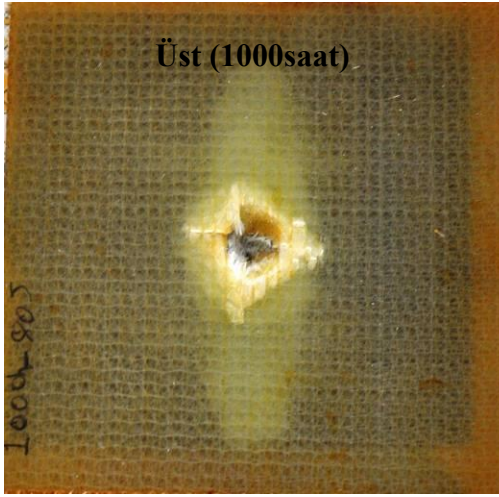
Şekil 4.24 60 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 400 saat yaşlandırılmış numuneler



Şekil 4.25 60 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler

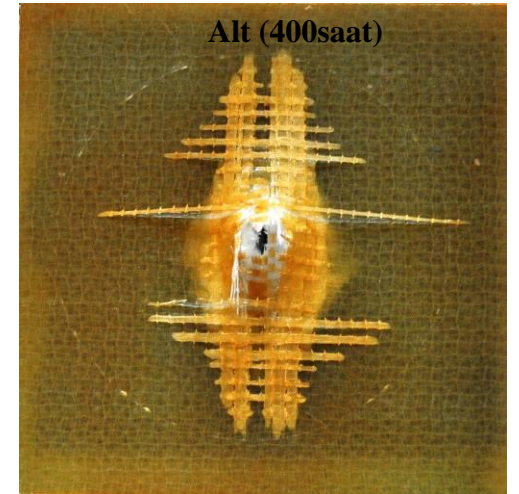
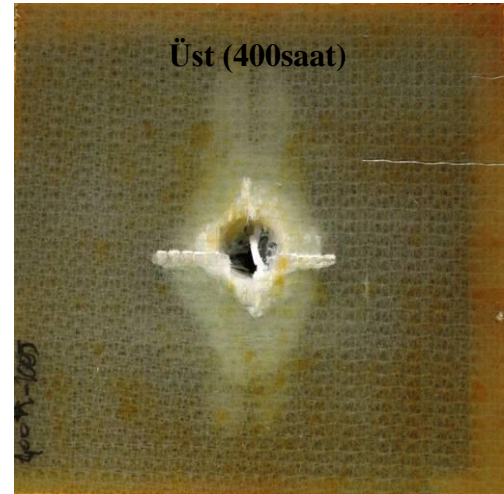
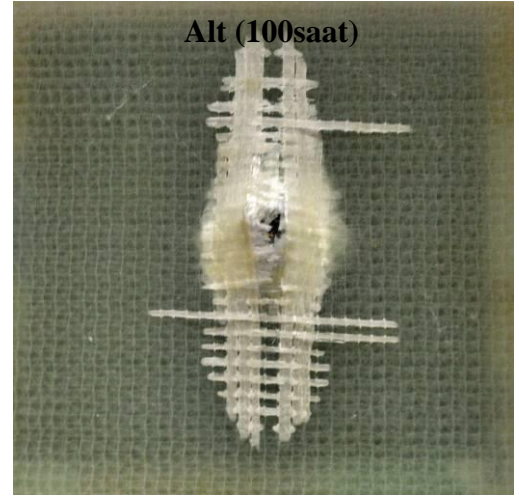
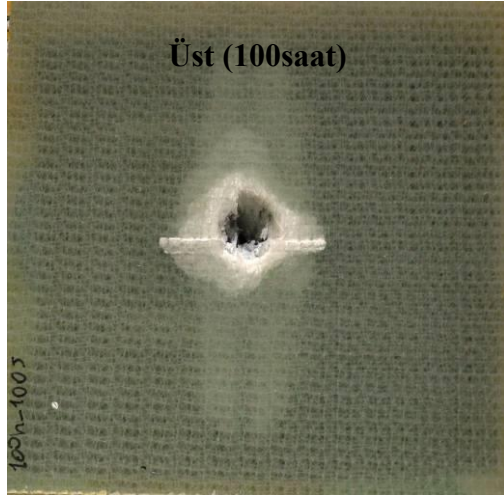
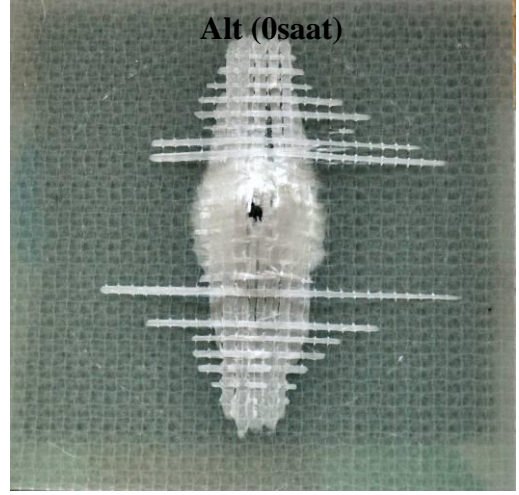


Şekil 4.26 80 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 400 saat yaşlandırılmış numuneler

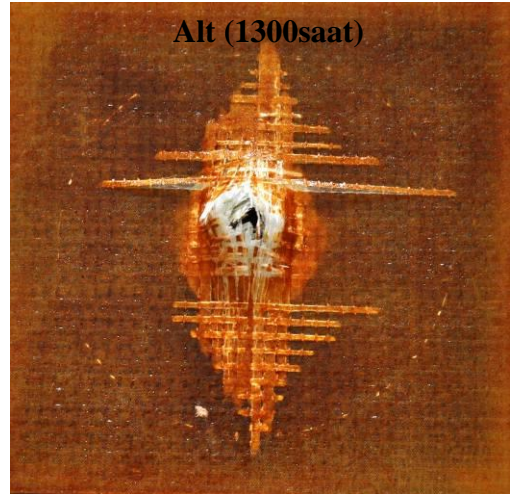
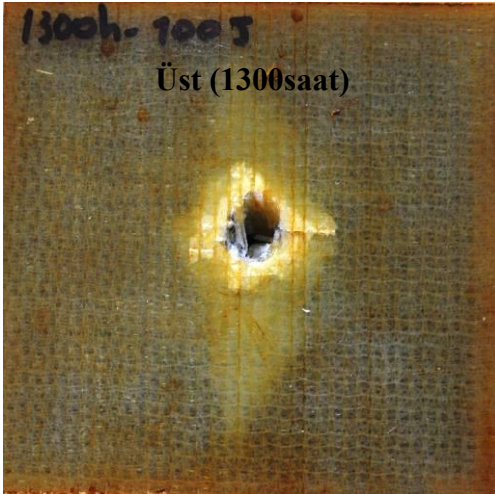
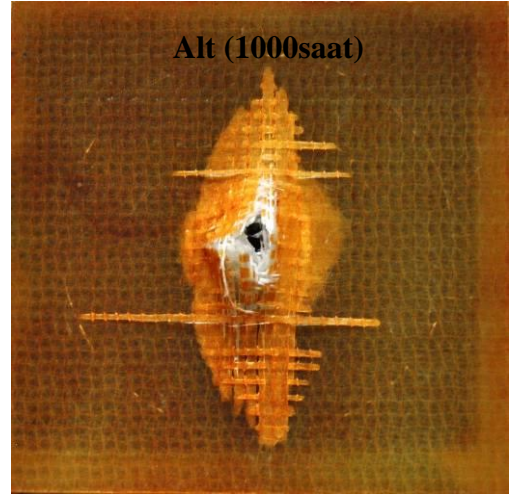
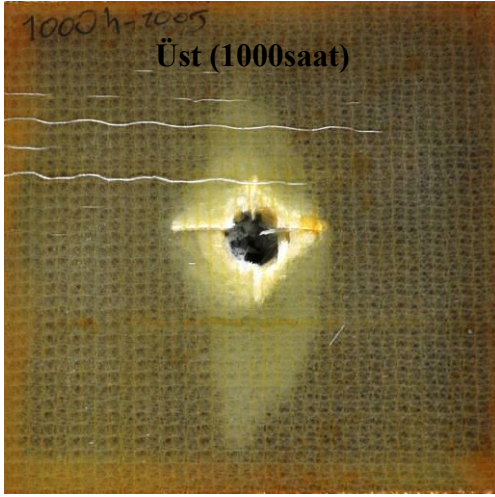
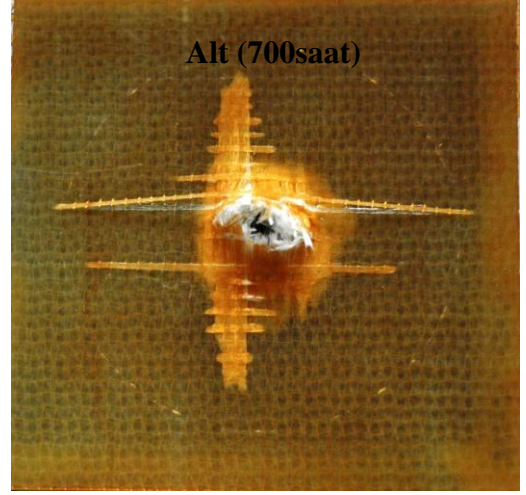


Şekil 4.27 80 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler





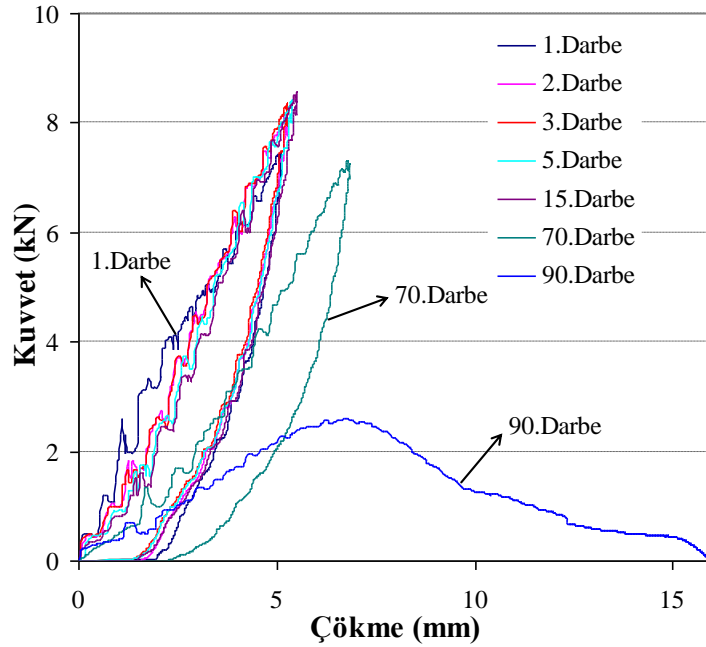
Şekil 4.28 100 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 0, 100 ve 400 saat yaşlandırılmış numuneler



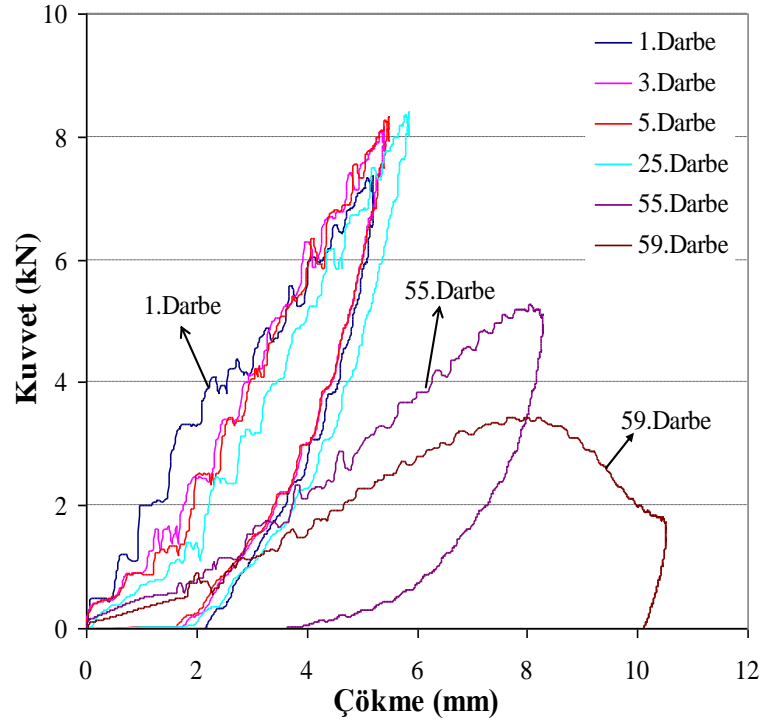
Şekil 4.29 100 Joule darbe enerjisine maruz kalmış 700, 1000ve 1300 saat yaşlandırılmış numuneler

#### 4.2.1 Tekrarlı Darbe Testlerinin Değerlendirilmesi

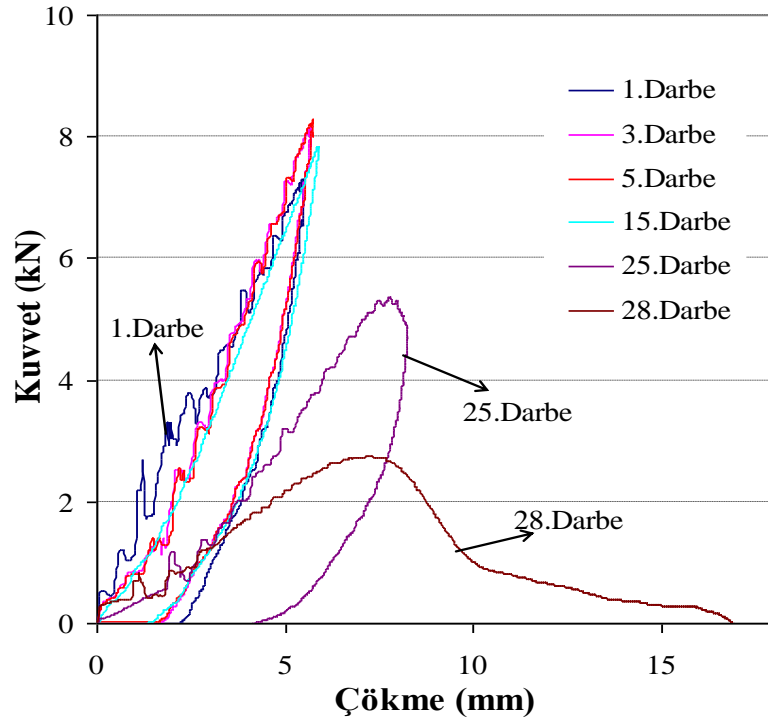
Bu bölümde, farklı yaşlandırma sürelerine maruz bırakılmış kompozit malzemelerin tekrarlı darbe yükü altındaki davranışı incelenmiştir. Darbe enerjisi 20 Joule olarak seçilmiş ve 0, 100, 400, 700, 1000, 1300 saatlik süreler için yaşlandırılmış numuneler kullanılmıştır. Her bir durum için üçer adet test yapılmış ve verilerde ortalama değerler kullanılmıştır. Şekil 4.30-4.33'te farklı sürelerde yaşlandırılmış kompozitlerin tekrarlı yük altındaki kuvvet-çökme eğrileri verilmiştir. Eğriler artan ve azalan olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Artan kısmın eğimi darbe eğilme direngenliği olarak adlandırılmaktadır (Atas , Icten ve Kucuk, 2013). Şekillerde görüldüğü üzere darbe sayısı arttıkça eğrilerin eğimi azalmaktadır buda darbe eğilme direngenliğinin azaldığı anlamına gelmektedir. Kapanan ve açık olmak üzere iki farklı eğri tipi bulunmaktadır. Kapalı eğrilerin anlamı delinmenin olmadığı, açık eğrilerin anlamı ise delinmenin olduğunun işaretidir. İlk darbe eğrilerine bakıldığında artan kısımda iki farklı eğim görülmektedir. Eğri ilk kısımda bir tepe noktasına geldikten sonra ikinci kısımda eğimi düşmektedir.



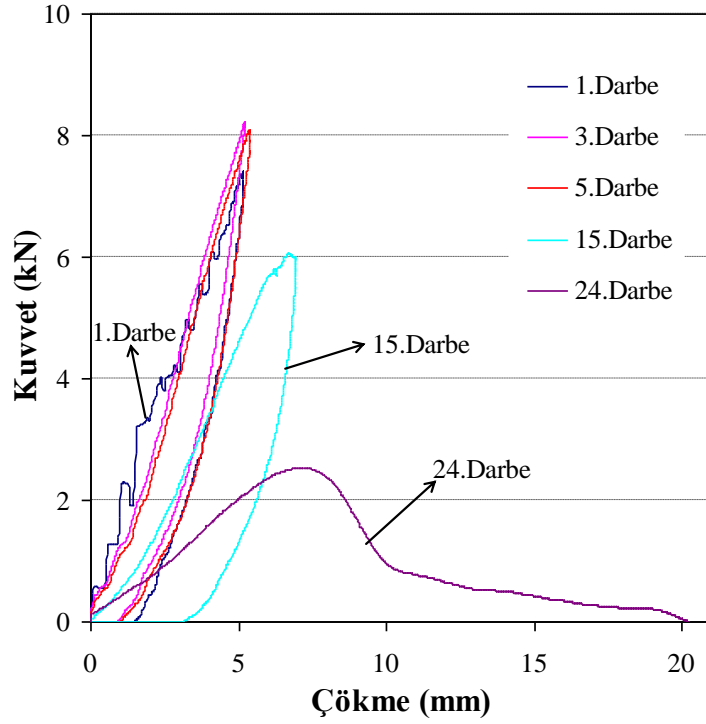
Şekil 4.30 Yaşlandırılmamış numune için farklı darbe sayılarındaki kuvvet çökme eğrileri



Şekil 4.31 100 saat yaşlandırılmış numune için farklı darbe sayılarındaki kuvvet çökme eğrileri

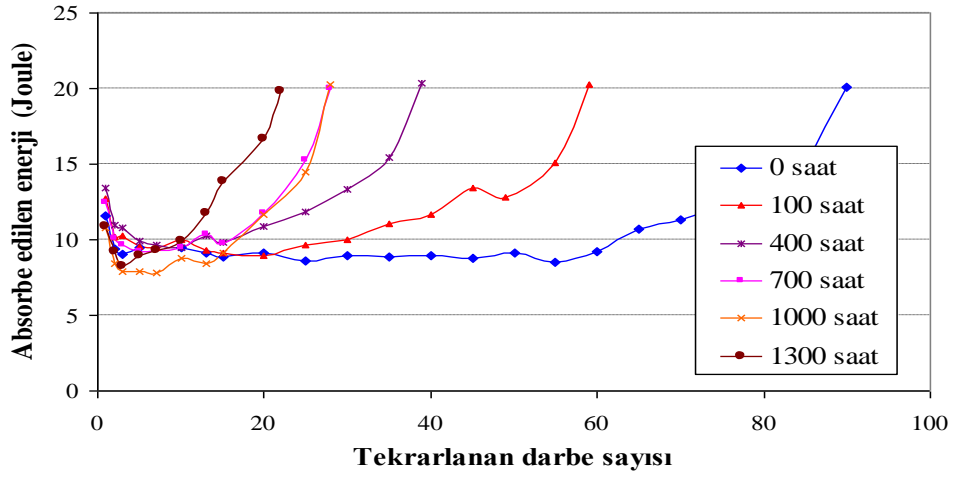


Şekil 4.32 700 saat yaşlandırılmış numune için farklı darbe sayılarındaki kuvvet çökme eğrileri

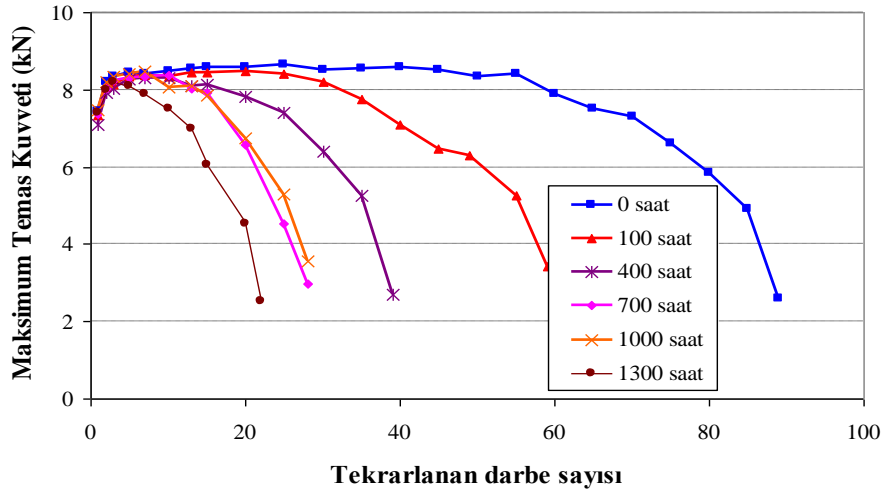


Şekil 4.33 1300 saat yaşlandırılmış numune için farklı darbe sayılarındaki kuvvet çökme eğrileri

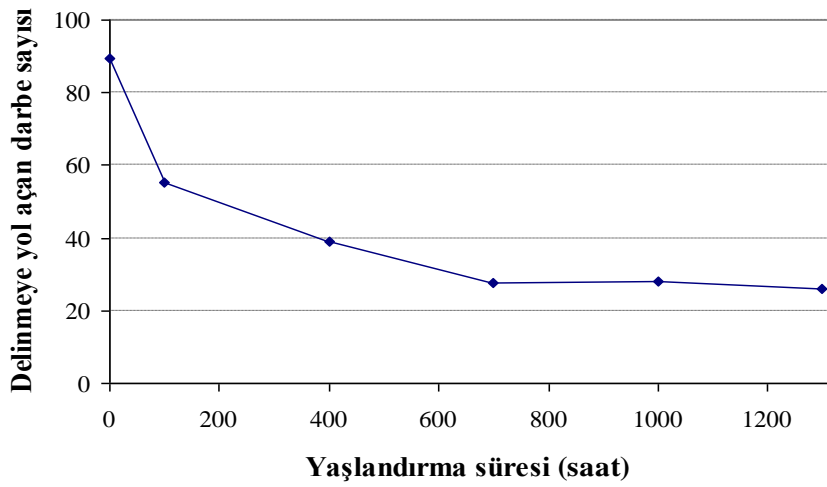
Şekil 4.34 ve 4.35'te sırasıyla tekrarlanan darbe sayısı ile delinme gerçekleşene kadar absorbe edilen enerji ve maksimum temas kuvvetinin değişimi verilmiştir. Şekil 34'e bakıldığında absorbe edilen enerjinin miktarında ilk önce ani bir düşüş, daha sonra sabit ve delinmeye yaklaştıkça arttığı gözlenmiştir. Yaşlanma süresi arttıkça sabit kısmın uzunluğunda düşüş gözlenmiştir. Bu da kompozit yaşlandıkça her bir katmanın darbeye karşı direncinin düştüğü anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, maksimum temas kuvveti tam tersi bir davranış göstermiştir. Şekil 4.36'da delinmeye yol açan darbe sayısının yaşlanma süresi ile değişimi verilmiştir. Darbe sayısında, 700 saatlik yaşlandırma süresine kadar hızlı bir düşüş olmuştur. Yaşlandırılmamış numunenin delinme darbe sayısı 90 iken bu değer 700 saat yaşlandırılmış numunede 28'e düşmüştür. 700 saatten sonra delinmeye yol açan darbe sayısı nispeten sabit kalmıştır. 1300 saat sonunda delinmeye yol açan darbe sayısı 26'ya düşmüştür. Yaklaşık olarak %69 oranında bir düşüş gözlenmiştir.



Şekil 4.34 Absorbe edilen enerjinin darbe sayısı ile değişimi

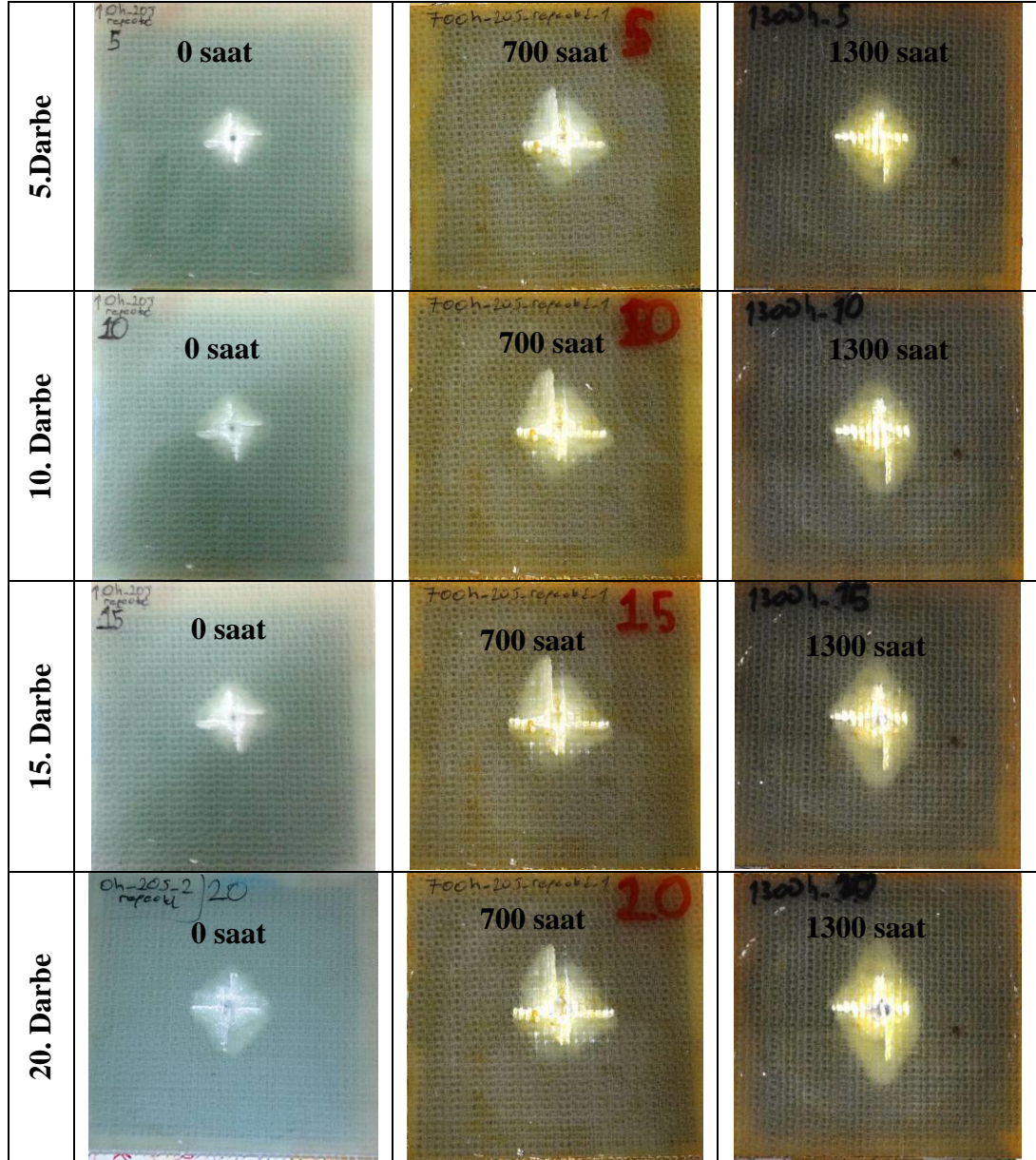


Şekil 4.35 Maksimum temas kuvvetini darbe sayısı ile değişimi



Şekil 4.36 Delinmeye yol açan darbe sayısının yaşlandırma süresi ile değişim

Şekil 4.37'de yaşlandırılmamış, 700 ve 1300 saat yaşlandırılmış kompozitlerin 5, 10, 15 ve 20inci darbelerindeki hasarların fotoğrafları gözükmemektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere hasar alanı yaşlanma ve darbe sayısının artması ile artmaktadır.



Şekil 4.37 Farklı yaşlanma sürelerine maruz kompozitlerin 5, 10, 15 ve 20inci darbe sayılarındaki hasar fotoğrafları

Tablo 4.5 Yaşlandırma süresi ve darbe sayısı ile hasar alanının değişimi

| Darbe sayısı | Yaşlandırma süresi (saat) |                        |                         |
|--------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|
|              | 0                         | 700                    | 1300                    |
| 5            | 205 (mm <sup>2</sup> )    | 700 (mm <sup>2</sup> ) | 708 (mm <sup>2</sup> )  |
| 10           | 402 (mm <sup>2</sup> )    | 851 (mm <sup>2</sup> ) | 864 (mm <sup>2</sup> )  |
| 15           | 470 (mm <sup>2</sup> )    | 917 (mm <sup>2</sup> ) | 946 (mm <sup>2</sup> )  |
| 20           | 638 (mm <sup>2</sup> )    | 950 (mm <sup>2</sup> ) | 1065 (mm <sup>2</sup> ) |

Tablo 4.5'te yaşlandırma süresi ve darbe enerjisi ile değişen toplam hasar alanının değerleri verilmiştir. Fotoğrafları çekilen numunelerin daha sonra Solidworks programı yardımı ile hasar alanları bulunmuştur. Örneğin, yaşlandırılmamış numunenin 5. darbe sayısındaki hasar alanı 205 mm<sup>2</sup> iken 1300 saat yaşlandırılmış numunenin aynı darbe sayısındaki hasar alanı 708 mm<sup>2</sup> olmuştur. Hasar alanı yaklaşık olarak yüzde 250 oranında artmıştır. Aynı davranış diğer darbe sayılarında da devam etmiştir.

Yapılan testler sonucunda yaşlandırılmış kompozitlerin hem tekrarlı hem tekli darbe yüklerine karşı olan dirençleri düşmüştür. Yaşlanma süresinin artması ile absorbe edilen enerji ve maksimum temas kuvvetinde düşme gözlenmiştir. Aynı şekilde tekrarlı darbe testleri için delinmeye yol açan darbe sayısında da büyük bir düşüş meydana gelmiştir. Hasar alanları incelendiğinde yaşlanma süresinin artması ile oluşan toplam hasarda da büyük bir artış gözlenmiştir.



## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında sabit sıcaklık ve nem altında farklı sürelerde yaşlandırılmış kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ve darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Kompozit malzemeler E-cam takviye elemanı ve bir epoksi reçine sistemi kullanılarak üretilmiştir. Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi kullanılarak üretim yapılmıştır. Yaşlandırma ortamı, 90°C ve %70 nem olacak şekilde seçilmiştir. Yaşlandırma işlemi klimatik test kabini içinde gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikler için 1000 saat, darbe davranışı için 1300 saat yaşlandırma işlemi sürdürülmüştür.

Yaşlandırma işlemi sonunda malzemenin mekanik özelliklerinde düşüş meydana gelmiştir. Mekanik özelliklerdeki bu düşüşe polimer malzemelerin camsı geçiş sıcaklığını geçecek şekilde ısıtıldığında, termal bozulma sonucunda kompozitin yapısında meydana gelen bağların kopması, matrisin içine oksijen difüzyonu, oksijenin matris ile reaksiyonu ve matrisin bozulmasına sebep olan maddelerin difüzyonu neden olmaktadır (Martin, 2008; Tsotsis, Keller, Lee, Bardis ve Bish, 2001). Mekanik özelliklerde 1000 saatlik yaşlandırma süreci sonunda;

- Mekanik özelliklerdeki en büyük düşüş %42,37 ile fibere dik yöndeki elastisite modülünde meydana gelmiştir.
- Fiber yönündeki elastisite modülünde %6,31'lik bir düşüş gözlenmiştir.
- Mekanik özelliklerdeki en küçük düşüş %0,52'lik bir düşüş ile kayma modülünde meydana gelmiştir.
- Poisson oranında %17,74'lik düşüş gözlenmiştir. Bu da malzemenin daha gevrek bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir.
- Fiber yönündeki çekme mukavemet değerinde %31,01'lik düşüş gözlenmiştir.
- Fibere dik yöndeki çekme mukavemet değerinde %24,12'lik düşüş gözlenmiştir.
- Kayma mukavemetinde %32,47'lik düşüş gözlenmiştir.
- Fibere dik yöndeki bası mukavemetinde %14,36'lık düşüş gözlenmiştir.

- Fiber yönündeki bası mukavemetinde %2,54'lik bir düşüş gözlenmiştir.

Yukarıda verilen değerlere bakıldığında, malzemenin yaşlanma süreci sonunda direngenliğinin düştüğünü ve daha gevrek bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Fiber yönündeki yük taşımayı büyük oranda takviye elemanı gerçekleştirmektedir ve bununla birlikte yaşlanma sürecinde daha çok matris malzeme özelliğini kaybettiği için fiber yönündeki bası mukavemetinde büyük bir düşüş meydana gelmemiştir.

Bu tez çalışmasında farklı yaşlanma sürelerine maruz kalmış kompozit malzemelerin darbe testleri de yapılmıştır. Yukarıda bahsedilen ortam şartına maruz kompozitin darbe davranışı hem tek darbe hem de tekrarlı darbe yükleri altında araştırılmıştır. Tek darbe deneyleri için 20, 40, 60, 80 ve 100 Joule, tekrarlı darbe testleri için ise 20 Joule darbe enerjileri seçilmiştir. Darbe testleri sonunda;

- 80 Joule'lük darbe enerjisi için 0 ve 100 saat yaşlanmış numunelerde delinme olmamasına karşın 400, 700, 1000 ve 1300 saat yaşlandırılmış numunelerde delinme gerçekleşmiştir.
- Yaşlanma süresinin artması ile 100 Joule darbe enerjisi için absorbe edilen enerji ve maksimum temas kuvvetinde düşme gözlenmiştir.
- Yaşlanmamış numunenin 100 Joule'deki absorbe ettiği enerji 88 Joule iken bu değer 1300 saat yaşlandırıldıktan sonra 80 Joule'e kadar düşmüştür.
- 80 Joule darbe enerjisi için yaşlanmamış numunenin absorbe ettiği enerji 72,92 Joule iken bu değer 1300 saat yaşlandırılmış numunede 80 Joule olmuştur.
- Yaşlanmış numunelerin delinme enerjisi eşiği düşmüştür.
- Aynı darbe enerjisi için toplam hasar alanlarında yaşlandırma süresinin artması ile artış gerçekleşmiştir.
- 20 Joule'lük tekrarlı darbe testlerinde yaşlandırılmamış numune 90. darbeye delinirken 1300 saat yaşlandırılan numuneler 26. darbeye delinmiştir. Delinmeye yol açan darbe sayısı yaklaşık olarak %69 düşmüştür.
- Yaşlandırma süresi arttıkça aynı darbe sayısındaki toplam hasar alanı büyümüştür. Yaşlandırılmamış numunenin 5. darbe sayısındaki hasar alanı

205 mm<sup>2</sup> iken 1300 saat yaşlandırılmış numunenin aynı darbe sayısındaki hasar alanı 708 mm<sup>2</sup> olmuştur. Hasar alanı yaklaşık olarak %250 oranında artmıştır.

Yukarıda maddeler halinde verilen sonuçlara bakıldığında yaşlandırma süreci sonunda kompozit malzemenin darbe yüklerine karşı olan direncinde düşüş meydana gelmiştir.

## KAYNAKLAR

- Arıcı, A. A. (2007). Effect of hydrothermal aging on polyetherimide composites. *Journal. of Reinforced Plastics and Composites*, 26, 1937-1942.
- Atas, C., Icten, B. M. ve Kucuk, M. (2013). Thickness effect on repeated impact response of woven fabric composite plates. *Composite Part B: Engineering*, 49, 80-85.
- Boccaccini, A.R., Strutt, A.J., Vecchio, K.S., Mendoza, D., Chawla, K.K., Ponton, C.B. ve diğer. (1998). Behavior of Nicalon<sup>TM</sup>-Fiber-reinforced glass-matrix composites under thermal cycling conditions. *Composites: Part A*, 29, 1343-1352.
- Boubakri, A., Haddar, N., Eleuch, K. ve Bienvenu, Y. (2010). Impact of aging conditions on mechanical properties of thermoplastic polyurethane. *Materials and Desing*, 31, 4194-4201.
- Deroine, M., Duigou, A., Corre Y. M., Le Gac, P. Y., Davies P, Cesar, G. ve diğer. (2014). Accelerated ageing of polylactide in aqueous environments: Comparative study between distilled water and seawater. *Polymer Degradation and Stability* Doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.020.
- Grant, S.T. ve Bradley, L.W. (1995). In-situ observations in SEM of degradation of Graphite/Epoxy composite materials due to seawater immersion. *Journal of Composite Materials*, 29 (7), 853-867.
- Hale, J. M. ve Gibson, G. A. (1997). Strength reduction of GRP composites exposed to high temperature marine environments. *Proceedings of ICCM, 1-18*, 411-420.
- Hammiche, D., Boukerrou, A., Djidjelli, H., Corre, Y. M., Grohens, Y. ve Pillin I. (2013). Hydrothermal ageing of alfa fiber reinforced polyvinylchloride composites. *Construction and Building Materials*, 47, 291-300.

- Kim, J., Lee, W. I. I. ve Tsai, S. W. (2002). Modeling of mechanical property degradation by short-term aging at high temperatures. *Composites: Part B*, 33, 531-543.
- Liao, K., Schultheisz, C. R. ve Hunston, D., L. (1999). Effects of environmental aging on the properties of pultruded GFRP. *Composites: Part B*, 30, 485-493.
- Martin, R. (2008). *Ageing of composites* (1. Baskı). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Martins, S., Borges, L. ve D'Almeida J., R. (2011). Effects of Accelerated Ageing in a PTFE matrix polymer composite. *Macromolecular Symposia*, 299-300, 92-98.
- Mlyniec, A. ve Uhl, T. (2012). Modelling and testing of ageing of short fibre reinforced polymer composites. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: *Journal of Mechanical Engineering Science*, 226, 16-31.
- Mokhtar, H., Sicot, O., Rousseau, J., Aminanda, Y. ve Aivazzadeh, S. (2011). The influence of ageing on the impact damage of carbon epoxy composites. *Procedia Engineering*, 10, 2615-2620.
- Mouzakis, D. E., Zoga, H. ve Galiotis, C. (2008). Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites. *Composites: Part B*, 39, 467-475.
- Mula, S., Bera, T., Ray, P. K. ve Ray, B. C. (2006). Effects of hydrothermal aging on mechanical behavior of sub-zero weathered GFRP composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25, 673-680.
- Parvatareddy, H., Tsang, P. H. W. ve Dillard, D. A. (1996). Impact damage resistance and tolerance of high-performance polymeric composites subjected to environmental aging. *Composites Science and Technology*, 56, 1129-1140

- Schwartz, M. M. (1996). The influence of environmental effects. *Composite Materials, Properties, Nondestructive, Testing and Repair*, 117-119.
- Sharma, N., Kumar, M. S. ve Ray, B. C. (2008). Study of the effect of hydrothermal ageing on glass/epoxy micro-composites by ftir-imaging and Alternating DSC Techniques. *Journal. of Reinforced Plastics and Composites*, 27, 1625-1634.
- Shen, C. ve Springer, S.G. (1977). Effects of moisture and temperature on the tensile strength of composite materials. *Journal of Composite Materials*, 11, 2-15.
- Shin, K. B., Kim, C. G. ve Hong, C. S. (2003). Correlation of accelerated aging test to natural aging test on graphite-epoxy composite materials. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22 (9), 849-866
- Soutis, C. ve Turkmen, D. (1997). Moisture and temperature effects of the compressive failure of CFRP unidirectional laminates. *Journal of Composite Materials*, 31, 833-848.
- Soykok, I. F., Sayman, O. ve Pasinli, A. (2013). Effects of water aging on Failure behavior of mechanically fastened glass fiber/epoxy composites joints. *Composites: Part B*, 54, 59-70.
- Thwe, M. M. ve Liao, K. (2002). Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Composites: Part A*, 33, 43-52.
- Tsotsis, T. K., Keller, S., Lee, K., Bardis, J. ve Bish, J. (2001). Aging of polymeric composite specimens for 5000 hours at elevated pressure and temperature. *Composite Science and Technology*, 61, 75-86.

Vieille, J., Aucher, J. ve Taleb, L. (2012). Comparative study on the behavior of woven-ply reinforced thermoplastic or thermosetting laminates under severe environmental conditions. *Materials and Desing*, 35, 707-719.