



MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELYAF TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT
MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ABDULSAMET GÖR
OCAK 2018
UŞAK

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELYAF TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN DARBE
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULSAMET GÖR

**OCAK 2018
UŞAK**

Abdulsamet GÖR tarafından hazırlanan "Elyaf Takviyeli Hibrit Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi" adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Osman ASİ
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Osman ASİ
Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ
Makine Mühendisliği, Pamukkale Üniversitesi

Prof. Dr. Mevlüt TERCAN
Tekstil Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Prof. Dr. Halit GÜN
Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Abdullah YILDIZ
Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Tarih:/...../.....

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Abdulsamet GÖR

**ELYAF TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN DARBE
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Abdulsamet GÖR

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2018

ÖZET

Bu çalışmada el yatırma yöntemi ile üretilmiş cam, karbon elyaf takviyeli ve hibrit kompozit malzemelerin mekaniksel özelliklerini belirlemek için izod çentik darbe testi, çekme testi, üç nokta eğilme testi ve pin bearing testleri uygulanmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre, üretimi yapılan kompozit malzemelerin mekaniksel özelliklerinin üretimde kullanılan takviye elemanı olan elyaf türüne, dokuma kumaş yoğunluğuna önemli oranda bağlı olduğu tespit edilmiştir. Sadece cam dokuma kumaşların takviye elemanı olarak kullanılan kompozit malzemeler arasında en yüksek mekaniksel özelliklerin dokuma kumaş yoğunluğu 300 gr/m² olan malzemelerde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca darbe dayanımı düşük olan karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin 300 gr/m² lik cam elyaf ile hibritleştirildiğinde darbe dayanımında yaklaşık %51'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hibrit malzemedeki cam elyafı darbe dayanımını arttırırken, karbon elyafı çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve pin bearing dayanımı gibi mekanik özellikleri arttırdığı gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 625.03.01.

Anahtar Kelimeler : İzod çentik darbe deneyi, mekanik özellikler, hibrit kompozit, elyaf

Sayfa Adedi : 58

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Osman ASİ

**THE INVESTIGATION OF IMPACT BEHAVIORS OF FIBER
REINFORCED HYBRID COMPOSITE MATERIALS**

(M.Sc. Thesis)

Abdulsamet GÖR

**UŞAK UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2017

ABSTRACT

In this study, izod notch impact test, tensile test, three point bending test and pin bearing tests were applied to determine the mechanical properties of glass, carbon fiber reinforced and hybrid composite materials produced by hand lay-up method. According to the test results, it has been determined that the mechanical properties of the produced composite materials depend strongly on the density of the woven fabric, which is the reinforcing element used in production. It has been determined that the highest mechanical properties of the composite materials used as reinforcing elements of glass woven fabrics are in the materials having a woven fabric density of 300 gr/m². In addition, when the carbon fiber reinforced composite material with low impact resistance is hybridized with glass fiber of 300 gr/m², an increase of about %51 is observed in impact strength. According to the obtained results, while the glass fiber increase the impact strength, the carbon fiber increase the mechanical properties such as tensile strength, bending strength and pin bearing strength in the hybrid material.

ScienceCode : 625.03.01.

KeyWords : Izod impact test, mechanical properties, hybrid composite, fiber

PageNumber: 58

Adviser : Prof. Dr. Osman ASİ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının her aşamasında engin bilgi ve desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Osman ASI'ye çok teşekkür ederim. Ayrıca, çalıŐmalarım esnasında katkılarından dolayı değerli hocam ArŐ. Gör. Önder YEŐİL'e teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan deney malzemelerinin üretimini yapmış olduğum İzoreel Kompozit İzole Malzemeler San. ve Tic. Ltd. ve deneysel çalışmaları yapmış olduğum Pull Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San. Tic. A.Ő. firmaları çalıŐanlarına teşekkür ederim.

Son olarak hayatımda olduğu andan itibaren desteğini esirgemeyen kıymetli eŐime ve ailemizin yeni üyesi biricik kızıma göstermiş oldukları sabır ve anlayıŐlarından dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Özgünlüğü	6
2. KOMPOZİT MALZEMELER	7
2.1 Matris Malzeme Cinsine Göre Kompozit Malzemeler	7
2.1.1 Metal matrisli kompozitler (MMK).....	7
2.1.2 Seramik matrisli kompozitler (SMK).....	7
2.1.3 Polimer matrisli kompozitler (PMK).....	8
2.2 Takviye Elemanlarının Yerleştirilmesine Göre Kompozit Malzemeler	8
2.2.1 Tabakalı kompozitler	9
2.2.2 Partikül takviyeli kompozitler.....	9
2.2.3 Karma (hibrit) kompozitler	10
2.2.4 Elyaf takviyeli kompozitler.....	10
2.2.4.1. Cam elyafı	11
2.2.4.2. Karbon elyafı.....	11
2.2.4.3. Aramid elyafı.....	12
3. DARBE TEST METODLARI VE HASAR DEĞERLENDİRMELERİ.....	13
3.1 Düşük Hızlı Darbe Test Metotları.....	13
3.1.1 Izod ve Charpy darbe test metotları	13
3.1.2 Pendulum (sarkaç) darbe test metodu	14
3.1.3 Ankastre edilmiş kiriş darbe test metodu.....	15
3.1.4 Ağırlık düşürmeli darbe test metodu.....	15
3.2 Yüksek Hızlı Darbe Test Metotları	16
3.2.1 Basınçlı hava ile darbe test metodu	16
3.2.2 Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu	17
3.3 Darbe Sonucu Meydana Gelen Hasar Türleri	17
3.3.1 Matriks kaynaklı hasar türleri	18

3.3.2	Delaminasyon hasar türleri (Tabakalar arası ayrılmalar).....	19
3.3.3	Elyaf kaynaklı hasar türleri.....	21
3.3.4	Elyaf-matriks arayüzü hasar türleri.....	21
3.3.5	Tabaka dizilim sırası kaynaklı hasar türleri.....	21
4.	MATERYAL VE METOD	23
4.1	Kompozit Plakaların Üretim Aşamaları.....	23
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
5.1	Kalsinasyon Deneyleri	27
5.1.1	Kalsinasyon deney sonuçları ve değerlendirmeler	28
5.2	Mekanik Özellikleri Belirleme Deneyleri	30
5.2.1	Çekme deneyi.....	30
5.2.1.1	Çekme deneyi sonuçları ve değerlendirmeler	32
5.2.2	Üç nokta eğilme deneyi	35
5.2.2.1	Üç nokta eğilme deneyi sonuçları ve değerlendirmeler	36
5.2.3	Pin bearing deneyi.....	38
5.2.3.1	Pin bearing deneyi sonuçları ve değerlendirmeler	40
5.3	Darbe Dayanımlarını Belirleme Deneyleri	43
5.3.1	Çentik darbe deneyi	43
5.3.1.1	Çentik darbe deneyi sonuçları ve değerlendirmeler	45
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
	KAYNAKLAR	52
	ÖZGEÇMİŞ	58

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 4.1 Reçine ve sertleştirici özellikleri	24
Çizelge 4.2 Üretimde kullanılan elyafların özellikleri.....	24
Çizelge 5.1 Deney sonucunda elde edilmiş yüzde elyaf hacim oranları.....	29
Çizelge 5.2 Deney sonucunda elde edilmiş çekme dayanımları.....	32
Çizelge 5.3 Deney sonucunda elde edilmiş eğilme dayanımları	36
Çizelge 5.4 Deney sonucunda elde edilmiş pin bearing dayanımları	40
Çizelge 5.5 Deney sonucunda elde edilmiş darbe dayanımları ve darbe enerjileri ..	46
Çizelge 6.1 Üretilen kompozit malzemelerin üretim ve mekaniksel özellikleri.....	49



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1 Termoset matris atomları (a) Termoplastik matris atomları (b)	8
Şekil 2.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	9
Şekil 2.3 Bir grafit kristalindeki karbon atomlarının düzenlenmesi	12
Şekil 2.4 Aramid ürününün kimyasal yapısı	12
Şekil 3.1 (a) Charpy darbe test sistemi ve numuneye darbe uygulanış şekli (üstten görünüm), (b) Izod darbe test sistemi ve numuneye darbe uygulanış şekli (yan görünüm).....	14
Şekil 3.2 Pendulum darbe test sisteminin şematik resmi	14
Şekil 3.3 Ankastre edilmiş kiriş darbe test sisteminin şematik resmi, 1) numune ve 2) vurucu	15
Şekil 3.4 Ağırlık düşürme test cihazının şematik bir resmi	16
Şekil 3.5 Basınçlı hava ile darbe test düzeneğine ait şematik resim.....	17
Şekil 3.6 Split-Hopkinson basınçlı çubuk test düzeneği şematik resimi	17
Şekil 3.7 Çeşitli hasar çeşitli hasar evreleri şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.8 (a) Çeki çatlağı, (b) Kayma çatlağı.....	19
Şekil 3.9 (a) Düz çamağacına benzer şekilde çatlak ilerlemesi, (b) Ters çam ağacına benzer şekilde çatlak ilerlemesi	19
Şekil 3.10 Köşe yarıçapı delaminasyonu	20
Şekil 3.11 Matris çatlağı ile delaminasyon oluşumu	20
Şekil 3.12 Tabaka ve alt tabaka arayüzeylerinde elyaf açıklarına göre oluşan delaminasyonlu alanlar	20
Şekil 3.13 Dokuma kumaşlarda gerilme hasarı	21
Şekil 3.14 Elyaf -matriks arayüzey hasarı	21
Şekil 5.1 Çekme numunesi şematik gösterimi.....	31
Şekil 5.2 Kompozit malzemelerin çekme dayanımı-uzama grafiği.....	33
Şekil 5.3 Üç nokta eğilme deneyi numunesinin şematik gösterimi	35
Şekil 5.4 Kompozit malzemelerin kuvvet-sehim grafiği	37
Şekil 5.5 Pin bearing numunesi şematik gösterimi	40
Şekil 5.6 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği	41
Şekil 5.7 Çentik darbe numunesi şematik gösterimi.....	44
Şekil 5.8 Kompozit malzemelerin darbe dayanımlarının grafiksel gösterimi	46



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 4.1 Üretimde kullanılacak dokuma kumaşlar	23
Resim 4.2 Elyatırma yöntemiyle cam-elyaf/epoksi (1-2-3) ve karbon elyaf/epoksi (4) Hibrit kompozit (5-6-7) malzemelerin preslenmeden önceki görünüşleri.....	25
Resim 4.3 Piton serisi KP2 pres.....	25
Resim 4.4 Presleme sonucunda elde edilmiş olan plakalar	26
Resim 5.1 Hassas terazi cihazı a) Genel görünümü b) Tartım işlemi yaparken görünümü	27
Resim 5.2 Kül fırını cihazı a) Kapalı görünüm b) Açık görünüm	28
Resim 5.3 Kalsinasyon deneyi sonucunda reçinlerinden arındırılmış 7 farklı numunenin görünüşü.....	29
Resim 5.4 Universal çekme cihazı.....	31
Resim 5.5 Çekme numunesinin çekme testi cihazında çenelerde bağlanmış görünümü a) Önden görünüş b) Yandan görünüş	32
Resim 5.6 Çekme testi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü	34
Resim 5.7 Üç nokta eğilme deneyi numunesinin eğilmeye zorlanması	36
Resim 5.8 Üç nokta eğme deneyi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü a) Önden görünüş b) Yandan görünüş	37
Resim 5.9 Sanayi tipi matkap	39
Resim 5.10 4mm'lik matkap ucu ile deliklerin delinmesi işlemi görünüşü	39
Resim 5.11 Pin bearing numunesinin çekme testi cihazında çenelerde bağlanmış görünümü a) Önden görünüş b) Yandan görünüş.....	40
Resim 5.12 Pin bearing deneyi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü ..	42
Resim 5.13 Çentik açma cihazı.....	44
Resim 5.14 Çentik darbe test cihazı.....	44
Resim 5.15 3 ve 5 nolu üretim için 5 farklı çentik açılmış test numunesi	45
Resim 5.16 Numunenin çentik darbe test cihazının çenelerine bağlanmış görünümü	45
Resim 5.17 Çentik darbe testi sonucunda hasara uğramış kompozit numuneler.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
gr	Gram
mm	Milimetre
m²	Metre kare
J	Joule
SiC	Silisyum karbür
PA6,6	Poliyamid
Ti	Titanyum
Gr	Grafit
b	Genişlik
h	Yükseklik
D	Çap
t	Et kalınlığı

Kısaltmalar	Açıklama
SEM	Scanning electron microscope
SGF	Kısa cam elyaf
EWf	Essential working fracture
MMK	Metal matrisli kompozitler
SMK	Seramik matrisli kompozitler
PMK	Polimer matrisli kompozitler
SMA	Shape memory alloys

vd

Ve diđerleri

vb

Ve benzeri



1. GİRİŞ

Modern dünyada malzemeye ve bu malzemelerin kullanılmasıyla elde edilmiş olan ürünlere olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Kompozit malzemeler bu malzemelerin başında gelmektedir. Kompozit malzeme, belirli bir amaca yönelik, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme grubu olarak tanımlanır. Kompozit malzemeler günümüzde özellikle hafifliğin, yüksek dayanımın, korozyonun ve aşınma dayanımının yüksek olması istenilen alanlardan savunma, sanayi, uçak, otomobil, denizcilik, inşaat vb. sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler imal edilirken farklı takviye elemanları ve farklı matris malzemeleri kullanılarak farklı özelliklerde kompozit malzemeler elde edilebilmektedir. Burada üretimler tek çeşit elyaf takviyesi ile de yapılabilirken iki veya daha fazla elyaf çeşidi katkısı ile de yapılabilir. Bu şekilde üretilmiş olan malzemelere hibrit kompozit malzemeler denilmektedir. Bu çalışmada hibritleşmenin malzemenin mekanik özelliklerine nasıl etki edeceği incelenecektir.

1.1 Literatür Taraması

Yapılan literatür çalışmaları cam ve karbon takviyeli hibrit kompozit malzemelerle ilgili birçok çalışma yapılmış olduğunu göstermiştir.

Safri vd [1] son zamanlarda yayımlanan araştırmaların, doğal fiber esaslı polimer kompozitlerinin düşük etki performansı nedeniyle gelişmiş yapısal sistemlerde sınırlı uygulamaları olduğunu belirtmiştir. Çalışmada bu malzemelerin yapısal özelliklerini iyileştirmek amacıyla üretilen hibrit bileşiklerin özelliklerini incelenmiştir. Özellikle doğal ve sentetik takviyeli hibrit kompozitlerin darbe direnci ve penetrasyon davranışı bakımından modern yapısal uygulamalara uygunluğu olduğunu belirtilmiştir.

Zhang vd [2] düşük maliyetli olmasını sağlamak amacıyla otomotiv sektöründe cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin kullanımını araştırmıştır. Çalışmada farklı materyalleri içeren hibrit kompozitlerin dayanımına sertlik ve kuvvet değerlerine yönelme sırasının etkileri araştırılmıştır. Hibrit kompozit malzemeler farklı cam oranlarına göre üretilmiştir. Çekme ve basma gibi statik deneyler ve üç noktalı eğme deneyi çeşitli oranlarda karbon içeren kompozit numuneler için yapılmıştır. Sonuçlarda ise %50 karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerin en iyi eğilme özelliklerini sağladığı görülmüştür.

Swolfs vd [3] elyaf takviyeli kompozitler yapısal uygulamalarda hızla artmasına rağmen tokluk değerlerinin düşük olması nedeniyle çalışmada hibrit üretim tercih etmiştir. Çalışmada hibrit kompozitler üzerine gerilme, eğilme-darbe, darbe ve yorulma özelliklerine genel olarak bakılmış ve hibrit olmayan kompozitlerle kıyas yapılmıştır. Sonuç olarak teknik özelliklerde iyileşme gözlemlenmiştir.

Bilge vd [4] yüzey reaktif P (St-co-GMA) ve P (St-co-GMA)/MWCNT elyafları, ara katman takviye edici malzeme olarak geleneksel bir karbon fiber/epoksi üzerine yerleştirmiştir. Nanokompozit ara tabakalar entegre edildiğinde mekanik özelliklerde iyileşmenin %17 olduğu gözlemlenmiştir. Arıza yüzeylerinin SEM analizleri, ara tabakaların delaminasyona karşı dayanımı arttırdığı gösterilmiştir. Ayrıca delaminasyon direnci için çentikli direnç (ENF) testleri uygulanmıştır. Mod II gerinim enerji boşaltım hızında %70'e kadar moment artışı kaydedilmiştir. Çentik darbe testleri, darbe enerji emiliminde %20, darbe dayanımında ise % 27 oranında

artış olduğu gösterilmiştir. Genel olarak, test sonuçları, tabakaların mekanik davranışlarının, nanofiber ara tabakalarla arttığını ortaya koymuştur.

Onal vd [5] delikli kompozitlerin mekanik özelliklerine istif dizisinin etkisi düşük hız darbeleri ile incelemiştir. Testler, çeşitli açılarda takviye edilen hibrit kompozitler için yapılmıştır. Cam elyafların karbon takviyeli yapılara dahil edilmesi, darbe özelliklerini geliştirdiğini ve hasara karşı direnci arttığını gösterilmiştir. Buna ek olarak, karbon fiberlerinin cam takviyeli kompozitler yüzeyi hasar görmemiş numuneler için eğilme modülünü arttırdığı gözlemlenmiştir.

Bandaru vd [6] hibritleşmenin kompozit zırhlar üzerindeki etkisini, balistik etki altında hidrokod simülasyonları kullanılarak araştırmıştır. Hibrit kompozit zırh, spesifik olarak yüksek özgül-modül/yüksek özgül mukavemetli kevlar fiber, dayanıklı, yüksek gerilime karşı dayanıklı fiber ve yüksek mukavemetli yüksek sertlikte karbon fiber olmak üzere çeşitli kombinasyonlar ve dizilim sıraları kullanılarak inşa edilmiştir. Bu makalede, sonlu elemanlar modelinden elde edilen sonuçlar, deneysel tahminler literatürde enerji absorbe edilen enerji değerleri rapor edilmiştir ve iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, dizilim, mermi geometrisi ve hedef kalınlığın, hedef tarafından absorbe edilen enerji üzerindeki etkisi, hibrit kompozit zırhların farklı kombinasyonları için sunulmuştur. Yapılan simülasyonlar, hibrit kompozit zırhın sabit bir kalınlığında hibrit katmanın dizilim sırasının balistik performans üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Sonuçlar aynı zamanda enerji emiliminin ve balistik sınır hızının mermi geometrisine etki ettiğini göstermiştir. Spesifik olarak, arka tarafta aramid fiber katmanı, ön tarafta cam fiber katmanı ve ön tarafta karbon fiber katmanı bulundurma'nın iyi balistik darbe direnci sağladığı görülmüştür.

Boria vd [7] deneysel araştırmasında, kısmen biyolojik bazlı bir vinilester reçinesi ile keten ve bazalt elyafları kullanılarak üretilen ısıyla sertleştirilmiş kompozitlerin düşen ağırlık etkisi ile özelliklerini modellemeyi ve bunları her ikisini de hibrit konfigürasyonda kullanmayı ve böylece elle imal edilen üç farklı malzemeyi incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada sertleştirme işlemleri otoklavda ısı ve basınç uygulanarak hızlandırılmış ve kontrol edilmiştir. Çekme ve eğilme verilerinin elde edilmesinden sonra ağırlık düşürmeli darbe testleri, 40J'ye kadar çeşitli enerjiler altında gerçekleştirilmiştir. Bazalt demetleri arasında keten lif katmanlarının kullanılması, düşük gerilme davranışını sergilemiştir.

Adams vd [8] çalışmasında bir hibrit bileşik darbe yüklemesine tabi tutulduğunda absorbe edilen enerjinin analizi bir üçüncü faz malzemesinin katlarını barındıran bir grafit/epoksi birleşimi sunmuştur. Çalışmada üçüncü faz malzemesinin katlarını barındıran bir grafit/epoksi birleşiminin maksimum darbe yükünde hesaplanan elastik gerinim enerjileri ile ölçülen kırılma başlatma enerjileri karşılaştırılmıştır.

Azouaoui vd [9] cam/epoksi kompozit malzemenin tekrarlı yükleme etkisi altında vermiş olduğu tepkiyi belirlemek için deneysel araştırmalar yapmıştır. Hasar, görsel ve SEM mikroskobu ile değerlendirilmiştir. 280 mmx180 mm boyutlarında ve nominal kalınlığı 5,4 mm olan dikdörtgen kompozit malzemeler, iki enerji seviyesinde (4J ve 5J) düşük hız darbesi ile yorulma yüklemesine maruz bırakılmıştır. Delaminasyonlar, hasar parametresinin artırılmasında ana faktör olarak bulunmuştur.

Sayer [10] cam-elyaf/epoksi ve hibrit kompozit plakalar olan aramid elyaf-cam elyaf/epoksi, aramid elyaf-karbon elyaf/epoksi ve karbon elyaf-cam elyaf/epoksi plakaların artan darbe enerjilerindeki darbe davranışlarını oda sıcaklığında deneysel olarak araştırmıştır. Fiber takviye açısının da darbe davranışları üzerine etkisini gözlemlenmek üzere, farklı sıcaklık şartlarında da deneyler yapılmıştır. Hibrit

kompozitler için oda sıcaklığında, karbon tabaka sayısının arttırılmasının delinme sınırı değerinin yükselmesine çok az etkisi olduğu anlaşılmıştır.

Sevencan [11] karbon ve cam elyaflardan rib yapısında farklı sıklıklara sahip örme kumaşlar üretmiş ve üretilen kumaşlar farklı dizilimlerle birleştirerek hibrit kompozit yapılar elde etmiştir. Üretilen kompozit yapıların mekanik özellikleri belirlemek için çekme ve kayma deneyleri uygulanmıştır. Uygulanan testlerde kompozit malzemelere örme kumaşın çubuk ve sıra yönü olmak üzere iki farklı yönde kuvvet uygulanmıştır. Sonuçlarda sıklık, kumaş dizilimi ve uygulanan kuvvet yönünün birbirleriyle olan ilişkileri ve kompozit malzemenin mekanik özelliklerine olan etkileri açıklanmıştır.

Güneş [12] üzerinde yüzey çatlağı bulunan hibrit kompozit levhaların dinamik ve hasar davranışlarını incelemiştir. Kullanılan malzemeler hibrit kompozit malzeme olup e-cam/epoksi ve karbon/epoksi kompozit tabakalardan oluşmaktadır. Tabakalanmanın mekanik özelliklere etkisinin gözlemlenebilmesi için farklı dizilim sıralamalarıyla üretimler gerçekleştirilmiştir. Malzemelere farklı parametrelerde yüzey çatlakları açılarak darbe davranışlarına olan etkisi gözlenmiştir. Düşük hızlı darbe deneyleri, geliştirilen ağırlık düşürme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Farklı darbe hızlarında ve farklı yüzey çatlağı geometrilerinde gerçekleştirilen deneyler sonrasında levhaların dinamik davranışları ve oluşan hasarlar incelenmiştir.

Esendemir [13] iki farklı kalınlık ve darbe enerjisi için cam elyaf takviyeli epoksi kompozit plakaların darbe davranışları deneysel olarak araştırmıştır. Numuneler 20J ve 60J'luk iki farklı darbe enerjisi ile teste tabi tutulmuştur. Kuvvet çökme eğrileri, darbe enerjisi-maksimum kuvvet enerji eğrileri, darbe enerjisi-çökme eğrileri, hız-zaman eğrileri, kuvvet-zaman eğrileri ve absorbe edilen enerji-zaman eğrileri gösterilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda 20J darbe enerjisine maruz kalan 8 tabakalı numunelerde delinme hasarı meydana gelmezken, 60J darbe enerjisine maruz kalan numunelerde delinme hasarı oluşmuştur. 16 tabakalı kompozit numunelerde ise her iki darbe enerjisi sonucunda delinme hasarı oluşmamıştır.

Sohn vd [14] darbe ve yüksek gerinim oranı altında karbon fiber epoksi kompozitlerinin delaminasyon mekanizmaları ve enerji dağılımı koşulları deneysel olarak incelemiştir. Test düzeneği, Mod I, Mod II ve karışık mod delaminasyon direncini belirlemek için tasarlanmıştır. Darbe enerji dağılımları kaydedilmiş ve dinamik bir delaminasyon tokluğu ölçümü yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile detaylı delaminasyon yüzey incelemeleri, dinamik ve yarı-statik delaminasyon süreçlerinde farklı hasar mekanizmalarının bulunduğunu göstermiştir. Akın vd [15] düşük hızlı darbe deneyi uygulanan e-cam elyaf/epoksi tabakalı plakaların darbe davranışlarını incelemiştir. Darbe testleri, özel olarak tasarlanmış düşey ağırlık düşürme test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada 8 kat simetrik olarak tabakalanmış kompozit malzemeler kullanılmıştır. Bu kompozitler, $[0/90]_{2s}$, $[-30/30]_{2s}$, $[-45/45]_{2s}$ olarak üç farklı şekilde dizilmiş ve sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Hasar oluşumları batma hasarından başlayarak tam delinme durumuna kadar kademeli olarak gözlemlenmiştir.

Fu vd [16] kısa cam elyaf takviyeli ve kısa karbon elyaf takviyeli polipropilen kompozitleri, Work of fracture(Kırılma işi teorisi)'a göre incelemiştir. Çalışmada v-çentikli numunelere charpy çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Tek ve hibrit kısa fiber kompozitlerde cam ve karbon fiber hacim oranlarının uzunlukları üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Kırılma işi teorisini kullanarak elyaf uzunluğu dağılımlarının etkilerini göz önüne alarak sayısal olarak incelenmiştir. Darbe dayanımının elyaf uzunluğuna bağlı olduğu gösterilmiştir.

Tjong vd [17] çalışmasında stiren/etilen butilen/stiren (SEBS-g-MA) ile sertleştirilmiş ve %5, %10, %15, %20 ve %30 kısa cam elyaf (SGF) ile takviye edilmiş poliamid 6,6 (PA6,6) hibrit kompozitlerinin darbe kırılma direnci araştırmıştır. Charpy darbe deneyi, hibritlerin çeşitli test hızlarında PA6,6 polimerinden çok daha yüksek çentikli darbe mukavemeti sergilediği gösterilmiştir. Charpy testi, sert polimer harmanının darbe kırılma davranışını karakterize etmek için iyi bir teknik olmadığı anlaşılmıştır.

Gatti vd [18] uçak imalatı için geliştirilen konvansiyonel ve gelişmiş kompozit malzemeler olan karbon-epoksi (C-Ep) ve TiGr (Titanyum-Grafit) elyaf metal tabakaların Charpy darbe testine göre karşılaştırmasını yapmıştır. Uçaklarda hizmet içi koşulları taklit etmek için 5 mm kalınlığında üç noktalı viraj örnekleri -70 ile 180°C sıcaklık aralığında test edilmiştir. Charpy darbe test cihazında 2.25 ve 5.52 m/s olmak üzere iki farklı hız oranında yapılmıştır. Tek yönlü çapraz tabakalı C-Ep tabakalar doğrudan TiGr hibrit materyali ile rekabet ederken, iki yönlü kumaş C-Ep materyalleri düşük bir performans göstermiştir.

Yapıcı vd [19] düşük hızlı darbeye maruz kalmış e-camı/epoksi kompozit levhaların dinamik davranışlarını sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırmıştır. Kullanılan kompozit levha dört tarafı ankastre olarak ve üzerine uygulanan darbe levhanın merkezine gelecek şekilde ayarlanmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda; hız-zaman, ivme-zaman, kuvvet-zaman, yer değiştirme-zaman ve kinetik enerji-zaman değişimleri grafikler halinde verilmiştir.

Hristov vd [20] polibütadien stiren kauçuk olarak darbe modifiye edici olarak polipropilen ile modifiye edilmiş PP/ağaç elyaf kompozitlerinin darbe kırılma davranışını, Charpy darbe deneyi ile incelemiştir. Çatlak başlatma enerjisi çoğunlukla malzemeye bağlı iken, çatlak yayılım enerjisi morfolojiden kaynaklanmıştır.

Deng vd [21] elyaf enine boy oranının Mod I ve Mod II üzerindeki etkisini değerlendirmek için farklı enine şekilleri (yuvarlak, fıstık şekli ve oval) olan cam elyaf/epoksi kompozitlerin üzerinde sistematik bir deneysel araştırma yapmıştır. Fiber üst üste binme ile uyarılan büyük elyaf temas alanlarından dolayı, geleneksel yuvarlak elyaflar ile takviye edilmiş bir kompozit sisteme kıyasla, düşük bir delaminasyon direnci gözlemlenmiştir. Çentik darbe ve kayma deneylerinden elde edilen sonuçlar, lif kesitsel en-boy oranlarının artmasıyla delaminasyona direncin azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, büyük enine kesitli en-boy oranı ile cam elyafı ile takviye edilen hibrit malzeme, geleneksel yuvarlak elyaflarla takviye edilen hibrit malzemedan daha iyi enerji absorbe özelliklerine sahip olduğu görülmüştür.

Gustin vd [22] karbon elyaf ve kevlar kombinasyonlu sandviç kompozitlerinin darbe, darbe sonrası sıkışma ve gerilme dayanımı davranışlarını araştırmıştır. Alt yüz plakalar, sandviç kompozitin genel bükülme sertliğini korumak için tamamen karbon elyaf yapılmıştır. Çalışmada asıl amaç karbon elyafın çarpma yüzeyi katmanlarının kevlar veya hibrit ile değiştirilmesi sonucunda çarpma özelliklerinde herhangi bir iyileşmenin olup olmadığını tespit etmektir. Karbon elyaf tabakalarının kevlar veya hibrit tabakalarla yer değiştirmesinden kaynaklanan sertliğin azaltılmasını karakterize etmek için kullanılmıştır. Deneysel bilgiler, karbon elyaf tabakalarının kevlar veya hibrit ile değiştirilmesinin avantajlarını ve dezavantajlarını tanımlamaya yardımcı olmuştur.

Singh vd [23] C/C-SiC kompozitin mekanik özelliklerini Izod ve Charpy darbe testleri uygulanarak incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, darbe yükü ve numune tutma koşullarındaki değişkenler nedeniyle, Charpy darbe testi altında dinamik kırılma tokluğunun Izod darbe testine göre 5 kat fazla, statik kırılma tokluğunun ise

dinamik kırılma tokluğundan daha fazla olduğunu gösterilmiştir. Ayrıca, SEM sonuçları elyaf ve matris arasındaki termal genişleme katsayılarının uyumsuzluğundan kaynaklanan güçlü arayüzey bağlantısının ortaya çıktığı gösterilmiştir.

Doğan [24] yapıştırma ile birleştirilmiş tek bindirmeli cam elyaf takviyeli kompozitlerin darbe davranışları incelemiştir. Kompozit plakalar 20mm, 40mm ve 60mm bindirme uzunluklarında 5J, 10J, 15J, 20J, 25J ve 30J enerjili darbe testlerine tabi tutulmuş ve sonuçları incelenmiştir. Bu deneyler sonucunda ve darbe davranışları incelendiğinde; darbe enerjisinin artmasına paralel olarak numunede absorbe edilen enerjinin toplam enerjiye oranının da arttığı, bunun sonucu olarak da meydana gelen hasar miktarında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca bindirme mesafesinin artışı ise plakaların daha az çökmeye uğradığı ve kuvvet dayanımının da bir o kadar fazlaştığı görülmüştür.

Dong vd [25] Terahertz görüntülemeyi elyaf takviyeli hibrit kompozit tabakanın karakterize edilmesi için uygulamıştır. Darbeye bağlı iç ve dış tabakalardaki hasarlar başarıyla tespit edilmiş ve kalınlık boyunca hasar gelişimi de değerlendirilmiştir. Terahertz kutuplaşması ile karbon-fiber yönelimi arasındaki etkileşim ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Terahertz C ve B tarama görüntüleri hasarın üstten alt üst yüzeyine üç boyutlu bir şekilde yayılmasını açıkça göstermiştir.

Ranganathan vd [26] hibrit polipropilen viskoz elyafı kompozitlerin darbe tokluğunu ve viskoelastik davranışını incelemiştir. Kompozitlerin tokluğu geleneksel Charpy darbe testleriyle incelenmiştir. Kompozitlerin viskoelastik özellikleri dinamik mekanik analiz ile araştırılmıştır. Sonuçlar, viskoz elyafların bir araya getirilmesinin darbe mukavemetini ve tokluğunu PP kompozitlerine kıyasla %134 ve %65'e yükselttiğini göstermiştir. Darbe modifiye edilmiş kompozite ağırlıkça %2 polipropilen (MAPP) ilave edilerek darbe mukavemeti vetokluk sırasıyla %144 ve %93'e yükseldiği gözlemlenmiştir. Kırılma yüzeyinin fiber-matris morfolojisi ve Fourier dönüşümü kızıl ötesi spektrumları, arayüzey bağlarının türünün varlığını saptamak için kullanılmıştır. Mikroyapısal analiz, viskoz liflerin daha PP kompozitlerine kıyasla bağlarının dayanımın daha iyi olduğunu göstermiştir.

Altun [27] plastik esaslı kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirmiştir. Malzeme olarak PP ve PE malzemelere talaş tozu, cam elyaf, karbon elyaf, kil tozu, sabun tozu ve saman eklenerek oluşturulan levha şeklindeki deney numuneleri kullanılmıştır. Bu numunelerin çekme ve darbe davranışları araştırılmıştır.

Khalili vd [28] alaşım telleri ile gömülü aktif ince duvarlı hibrit kompozit plakaların düşük hızlı darbe dayanımına bazı parametrelerin etkisini araştırmıştır. SMA (şekil hafızalı alaşım) telleri kompozit katmanları içine gömülmüştür. Alaşım tellerinin kontakt kuvveti geçmişi, eğriliği, düzlem gerilmeleri ve yapının gerilmeleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Choi'nin doğrusallaştırılmış Hertz temas modeli, laminasyonlu hibrit kompozit plakanın etki analizi için kullanılmıştır. Alaşım tellerinin hacim oranı, kompozit orta liflerin yönlendirilmesi, darbe kuvveti, çarpma hızı ve plakanın kalınlık oranına (a/h oranı) geometrik ve fiziksel parametreleri etkileyen önemli faktörler olduğu gösterilmiştir.

Park vd [29] yapısal geometrinin aramid elyaf/polietilen (PE) hibrit kompozitlerin darbe performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla tek katmanlı ve iki katmanlı hibrit kompozitleri açık sızdırmaz kalıp yöntemini kullanarak imal etmiştir. L tabakası, PE elyaflarının büyük deformasyonu ile eliptik hasar şekli ile darbe enerjisinin çoğunu absorbe etmiştir. Öte yandan, R tabakası yüksek darbe enerjisi göstermiş, çünkü aramid ve PE elyafları darbe enerjisinin yuvarlak hasar bölgesi ile

sönümlenmesine katkıda bulunmuştur. İki katmanlı kompozitlerde, birleştirme hibrit kompozitleri, hibrit kompozitlerden daha yüksek darbe enerjisi sergilemektedir. Khojin vd [30] değişken sıcaklıklardaki darbeli yüklemeye tabi tutulan kevlar/camelyaf kompozit tabakalarda yapılan deneysel bir çalışmanın sonuçlarını göstermiştir. Sıcaklığın azami enerji, elastik enerji, maksimum sapma, maksimum darbe kuvveti, süneklik ve darbe sonrası sıkıştırma üzerine etkisi birkaç düşük hız darbe enerji seviyesinde (8J,15J ve 25J) incelenmiştir. Uygulanmış olan sıcaklıklar - 50 ile 120°C aralığında alınmıştır. Sonuçlar, bu kompozitlerin mekanik performansının, sıcaklıktan etkilendiğini göstermiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Özgünlüğü

Bu çalışmada amaç, farklı dokuma kumaş yoğunluğuna sahip cam elyaf takviyeli, karbon elyaf takviyeli ve cam/karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemeler üreterek, üretim konfigürasyonunun kompozit malzemelerin çekme, eğilme, pin bearing ve darbe dayanımlarına etkisini araştırmaktır.

Yapılan araştırmalar sonucunda literatürde karbon ve cam elyaflarını kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin ve hibrit kompozit malzemelerin mekaniksel özelliklerini inceleyen pekçok bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. Ancak cam elyafı ile karbon elyafının beraber kullanıldığı hibrit kompozit malzemeler arasında dokuma kumaş yoğunluğu farklı olan dokuma cam ve karbon kumaşlarla elde edilmiş olan hibrit kompozitlere rastlanmamıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit kavramı, iki veya daha fazla malzemenin makroskobik boyutta bir araya gelerek üçüncü bir faydalı malzeme meydana getirmesini ifade etmektedir. Kompozit malzemelerin en önemli avantajı, iyi tasarlanmış olmaları halinde kendilerini oluşturan bileşenlerin en iyi özelliklerine ya da daha da önemlisi iki bileşenin de sahip olmadıkları özelliklere sahip olabilmesidir. Kompozit malzeme meydana getirerek isteğe bağlı olarak mukavemet, rijitlik, korozyon ve aşınma dayanımı, ağırlık, yorulma ömrü vb. gibi birçok malzeme özelliklerinin iyileştirilebilirliği görülmüştür [31].

2.1 Matris Malzeme Cinsine Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme yapılarında matris malzemesinin mekanik özellikleri çok büyük önem taşır. Matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağların kuvveti genel kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin belirleyicisi olacaktır. Buradaki önemli bir husus matris malzemesinin elyafa göre dayanımının düşük ve daha esnek olmasının malzeme tasarımında göz ardı edilmemesi gerçeğidir.

Matrislerin birçok faydalı özelliği vardır. Matris, elyafları birbirlerine bağlamakta ve yükü elyaflara iletimini ve yapıya rijitlik sağlamaktadır. Ayrıca elyafları bir arada tutar ve elyafların bağımsız davranmalarına katkıda bulunur ve çatlakların ilerlemesini yavaşlatır. Diğer yandan malzemenin yüzey kalitesine de olumlu katkıları vardır ve takviye elamanlarını kimyasal ve mekanik hasarlara karşı korumada etkindir. Matris malzemesi özellikle malzemenin darbe dayanımına önemli etkisi vardır [32].

2.1.1 Metal matrisli kompozitler (MMK)

Metaller, polimerlere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek işlem sıcaklığı sağlayabilmektedirler. Bu daha yüksek sıcaklıklarda, elyafın metal matris malzemesiyle reaksiyona girebileceği anlamını taşır. Al, Ti, Mg, Pb, Fe, Ag, Ni, Zn, Cu, Sn ve süper alaşımlar matris malzemeleri olarak kullanılmaktadır, Al, Ti ve Mg alaşımları diğerlerine kıyasla daha fazla kullanım alanlarına sahiptir. Metal matris kompozitler genellikle toz metalurjisi tekniği veya difüzyon bağı (vakumda presleme) yöntemi ile imal edilmektedir. Üretim yöntemleri diğer yöntemlere göre biraz daha maliyetlidir; fakat özellikle aşınma dayanımının istendiği yerlerde çok fazla tercih edilmektedirler.

20. yüzyılın sonlarına doğru yaşanan teknolojik gelişmeler özellikle gelişmiş motorlar, havacılık ve uzay teknolojisi gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelere gereksinimi artırmıştır. Bu nedenle bu malzemelerin kullanımı her geçen gün artmaktadır [33].

2.1.2 Seramik matrisli kompozitler (SMK)

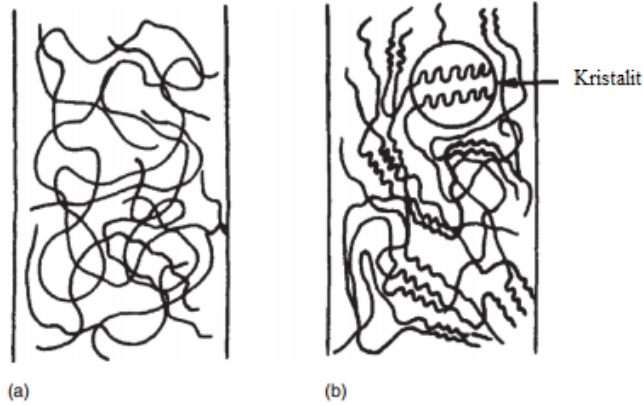
Polimer matrisli kompozitlerin yüksek sıcaklıklarda kullanılamamasından dolayı seramik matrisli kompozit malzemeler, yüksek yoğunluğu olan metallere alternatif olarak kullanılmaktadır. Yüksek oksidasyon dirençleri sayesinde yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya oldukça elverişli malzemelerdir. Fakat saf seramik malzemeler yüzey çatlaklarına karşı dayanıksızdır. Bu dezavantajından dolayıdır ki onu birçok kullanım alanı olan savunma sanayi ve havacılık uygulamaları gibi büyük pazar paylarına sahip alanlarda kullanımını kısıtlamaktadır. Seramik matrisli

kompozitlerin üretim yöntemleri, ergitilmiş matrisin sızdırılması ve sıcak preslenmesi, kimyasal buhar kaplama ve sızdırmadır [34].

2.1.3 Polimer matrisli kompozitler (PMK)

Polimer, aşırı kuvvetli kovalent bağlarla bir araya getirilmiş bir molekül olarak tanımlanır. Polimer malzemeler endüstride ve günlük yaşantımızda hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Polimer malzemelerin de demir esaslı malzemeler ve diğer konvansiyonel malzemeler gibi kullanım alanları artmaktadır. Burada istenen en az metaller kadar sağlam olabildiğince hafif, yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve diğer malzemelere göre ekonomik üretilmesinin sağlanmasıdır. Kompozitlerde kullanılan plastik matrisler, termoset ve termoplastik olmak üzere ikiye ayrılır. Polimer matrisli kompozitlerde, matris malzemesi için en çok kullanılan malzeme termoset esaslı malzemelerdir. Bu malzemeler üretilirken sadece bir defa ısıtılıp biçim verilmesi gereklidir, daha sonra malzemeye tekrar ısı verilip tekrar şekil verilmesi mümkün olmayacaktır. Geri dönüşümü olmadığından tekrar kullanılamazlar. Bunun asıl nedeni termoset matrisli malzemelerin molekülleri birbirlerine çapraz şekilde bağlı olmasıdır (Şekil 2.1 a). Bu moleküller ısıyı maruz kaldığında atomlar birbirlerinin üzerine kaymazlar. Termoset plastikler mukavemeti ve sıcaklığa karşı dayanımları yönünden termoplastiklerden daha üstündür.

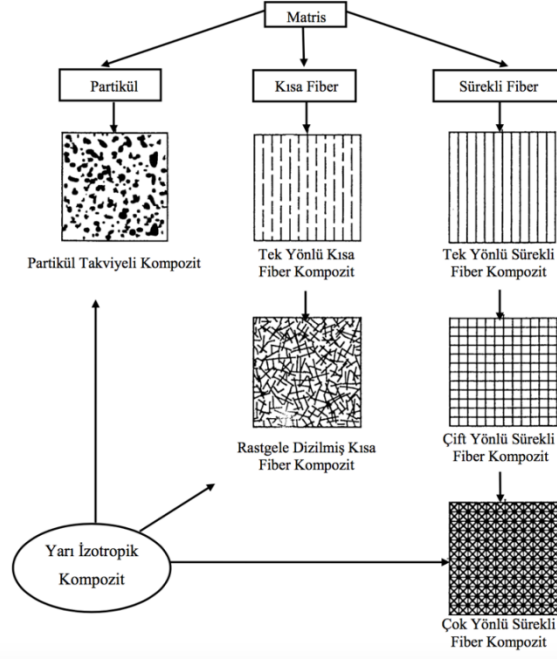
Termoplastik matrisler termoset plastik matrislerin aksine geri dönüşümü mümkün olan malzemelerdir. Isıtma, soğutma işlemlerinde de termoplastik matrislerin sadece fiziki özellikleri değişir, kimyasal özelliklerinde bir değişiklik meydana gelmez. Termoplastik matrislerin bu özellikleri moleküllerin yapısından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.1 b). Bu malzemelerin molekülleri düz zincirli polimerlerdir. Bundan dolayı termoplastik matris malzeme ısıtıldığında yapısındaki atomlar birbirlerinin üzerine kayarlar [35].



Şekil 2.1 Termoset matris atomları (a) Termoplastik matris atomları (b) [35]

2.2 Takviye Elemanlarının Yerleştirilmesine Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler çok farklı fazlarda birçok şekilde oluşturulabilir. Bu oluşumları sınıflandırmak istenirse matris ve elyaf fazlarının tiplerine, geometrisine (Şekil 2.2) bağlı olarak dört farklı başlıkta incelenebilir.



Şekil 2.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması [36]

2.2.1 Tabakalı kompozitler

Bu kompozitler en az iki levha malzemesinin tabakalar şeklinde dizilerek yeni bir malzeme oluşturması ile elde edilmektedir. Tabakalar halinde olması her tabakanın farklı bir kompozit malzeme olmasını sağlamaktadır. Tabakalı kompozitlerin tasarımı ve üretim aşamaları diğer kompozit malzemelere göre daha kolay gerçekleşmektedir. Bu kompozitlerde farklı özelliklerde kompozit malzeme özelliğini karşılamak amacıyla birden çok tabaka beraber kullanılabilir. Bunlara sandviç malzeme de denilmektedir. Tabakalama işlemiyle kompozit malzemenin mekanik özellikleri artırılabilir. Tabakalı kompozit malzemeler en az iki tabakadan oluşmalıdır. Ancak, dayanım ve mekanik özelliklerin daha fazla önem taşıdığı durumlarda, malzemenin bu özelliklere sahip olabilmesi için en az üç veya daha fazla tabaka kullanılmasında fayda vardır. Bu tabakaları oluşturan malzemeler aynı tür malzeme olabileceği gibi, farklı türde de olabilmektedir. Tabakalı kompozitlerin üretiminde, her türlü malzeme tabaka olarak kullanılabilir. Burada önemli olan husus bu takviye tabakanın genel malzeme oluşumunu olumlu yönde etkiliyor olmasıdır[37].

2.2.2 Partikül takviyeli kompozitler

Bu malzemeler bir matris malzeme içinde farklı bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile oluşturan kompozit malzemelerdir. Yapının mukavemeti parçacıkların mekanik özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Eğer polimer matris içinde metal partiküller kullanılırsa ısıl ve elektrik iletkenlik artarken, seramik partiküller kullanıldığında sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları artmaktadır. Parçacık takviyeli malzeme genel performansına etki eden birçok faktör vardır. Bunların başlıcaları parçacık boyut ve bu boyutların dağılımları, yüzey enerjileri, hacimsel miktarlar, homojenlik, eksen oranları ve yönlendirme miktarlarıdır [38].

2.2.3 Karma (hibrit) kompozitler

İki veya daha fazla, farklı elyafın aynı matris içinde oluşturduğu hibrit kompozitlerin kullanımı yaygındır. Genel olarak hibrit kompozitler tek tür kompozitlere göre daha iyi özelliklere sahiptir. Cam ve karbon elyafların birleşimiyle hibrit kompozit malzemeler oluşturulabilir. Cam elyaflar ısıl dirençleri düşük iken karbon elyaflarda ısıl dirençler çok daha iyidir. Cam elyaflar yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Çünkü cam elyaflar elektriği iletmezler; fakat karbon elyaflar elektriği iyi iletir bu yüzden kullanıldığı alanlarda kısa devre oluşturabilir. Karbon elyafın maliyeti cam elyaf eklenmesi ile düşürülebilir. Optimum özellikleri barından malzemeye ulaşmak için farklı elyaflar birleştirilerek ideal bir hibrit kompozit malzeme elde edilebilmektedir.

2.2.4 Elyaf takviyeli kompozitler

Bu tür kompozit malzemeler elyafların matris içinde yer almasıyla oluşurlar. Elyafların matris içindeki yerleşim şekli kompozit yapının mekanik özelliklerini etkiler. Elyafların matris içinde birbirlerine paralel yerleştirilmeleri ile elyaf doğrultusunda yüksek dayanım elde edilirken, elyaflara dik doğrultuda daha düşük dayanım sağlanmaktadır. Çift yönde yerleştirilmiş elyaflar iki yönde de daha iyi dayanım sağlamaktadır. Elyafların kendi mukavemet değerleri ve elyaf dizilimi kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından elyaflara binen yük miktarı artmaktadır.

Elyaf ile matris arasındaki oluşan bağ kompozit malzemenin genel malzeme dayanımını doğrudan etki etmektedir. Matris elyaf arayüzeyinde boşluklu alanlar varsa elyaflarla matrisin temas alanları azalacak ve kompozitin mekanik özellikleri olumsuz etkilenecektir [39].

Sürekli veya kısa elyafli kompozitler: Takviye elemanı olarak kısa veya kırılmış elyaflar barındırırlar. Kısa elyaflar matris içinde tek yönde ve gelişigüzel sıralanabilir [39].

Sürekli elyaf kompozitler: Bu tür kompozitler sürekli elyaf içermektedirler. Mukavemetleri ve rijitlikleri oldukça yüksektir. Sürekli elyaflar tek yönde yerleşebilecekleri gibi birbirlerine dik yönde ve farklı yönlerde yerleşebilirler [39].

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

- Cam elyafi
- Karbon elyafi
- Aramid elyafi
- Bor elyafi
- Oksit elyafi
- Polyetilen elyafi
- Poliamid elyafi
- Polyester elyafi
- Doğal organik elyaflar

Bu elyaf türlerinden cam, karbon ve aramid en çok kullanılan elyaflardır.

2.2.4.1. Cam elyafı

Cam elyaf, elyaf takviyeli kompozitler arasında en fazla kullanılan malzemedir. Cam elyaflar, birçok çeşidini görmek mümkündür. Cam amorf bir malzeme olup polimerik ve moleküler yapıdadır. İçinde barındırdığı doğada genelde oksijenle beraber (SiO_2 şeklinde) bulunan silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir. Cam elyafların çekme mukavemeti (birim ağırlık başına) çeliğin mukavemetinden daha yüksektir, ısı dirençleri düşüktür. Yanmazlar, fakat yüksek sıcaklıkta erimekte-dirler. Kimyasal malzemelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde yalıtımın ihtiyaç olduğu durumlarda kullanılabilirler.

Cam elyaf imalinde silis kumuna eğer farklı katkı malzemeleri eklenirse cam elyaf yapısı farklı özellikler kazanmaktadır. Bu cam elyaflar A-C-E-S olarak adlandırılır [38].

A (alkali) camı: A camı yüksek oranda alkali içermektedir. Bu sebeple elektriksel yalıtkanlık özelliği iyi değildir. Kimyasal direnci yüksektir ve en yaygın kullanılan cam tipidir.

C (korozyon) camı: Kimyasal çözeltilere direnci çok iyidir. Özellikle depolama tanklarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

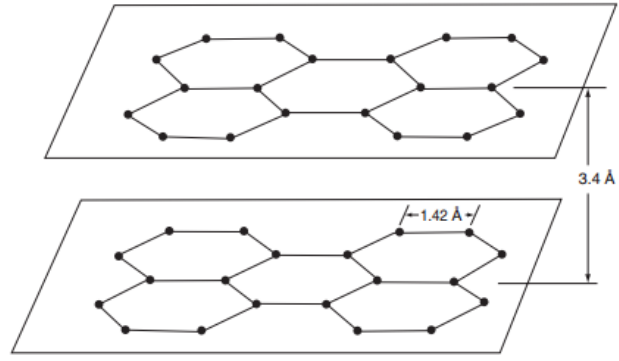
E (elektrik) camı: Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Sıvı ile maruz kalınan ortamlar için genellikle E camı kullanılmaktadır.

S (mukavemet) camı: Çekme mukavemeti E camına oranla yaklaşık %30 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda yorulma dayanımları yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle genellikle havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılmaktadırlar.

Cam elyaflarının özellikleri farklı malzemelerle kullanımı sonucunda farklı performans gösterebilirler. Düşük maliyeti, yüksek gerilim mukavemeti, yüksek kimyasal direnci ve yalıtım özellikleri cam elyaflarının avantajları arasında gösterilirken; düşük gerilim modülü, yüksek yoğunluğu, kullanım esnasında aşınmaya karşı olan hassasiyeti, düşük yorulma direnci de dezavantajları arasında gösterilebilir. Ayrıca, düşük absorpsiyon (nem çekme) özelliğinden dolayı bu özelliği iyi boyutsal stabilite ve iklim koşullarına karşı yüksek dayanım sağlamaktadır. Cam elyaflarının başlıca kullanım alanları kayıklar, yarış botları, helikopter gövde ve kanatları, otomobil panelleri, sıvı tanklarıdır [38].

2.2.4.2. Karbon elyafı

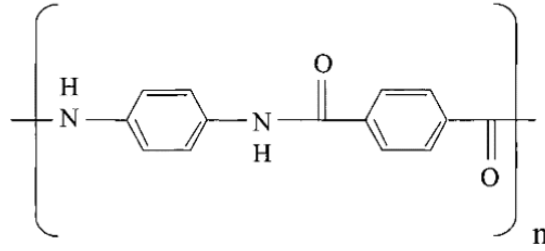
Karbon elyaflar cam elyaflardan sonra kullanılmaya başlanan bir elyaf türüdür. Karbon elyaflar gibi grafit elyaflar da aynı esaslı malzemedir üretilmiştir. Şekil 2.3'te karbon atomlarının düzenli altıgen yapısıyla görülmektedir. Epoksi reçine ve polyester reçineler ile beraber kullanımları çok yaygındır. Karbon elyafların göze çarpan en önemli özelliği çeliğe göre mukavemeti yüksek olmasına rağmen yoğunluk olarak düşük olmasıdır. Yüksek çekme dayanımları, yüksek yorulma dayanımı ve yüksek ısı iletkenliği avantajları arasında gösterilebilir. Dezavantajlarından bazıları ise maliyet olarak yüksek olması, darbe dayanımlarının düşük olması ve yüksek elektrik iletkenliğinden kaynaklanan önlem alınmamış bazı elektrikli makinalarda kısa devreye neden olabilmesidir. Özellikle maliyetin gözardı edilebileceği havacılık endüstrisinde kullanımı yaygındır [35].



Şekil 2.3 Bir grafit kristalindeki karbon atomlarının düzenlenmesi [35]

2.2.4.3. Aramid elyafı

Du Pont firmasının geliştirmiş olduğu iki tip Kevlar 29 ve Kevlar 49 aramid elyaf vardır. Aramid elyaflar düşük yoğunluk, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Bu malzemelerin kimyasal yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir. Darbe dirençleri ise yüksektir. Doğal kimyasallara dirençlidirler ancak asit ve alkalilerden etkilenirler.



Şekil 2.4 Aramid ürününün kimyasal yapısı [39]

Aramid elyaflar çok düşük yoğunluğa sahip olmasına rağmen, yüksek dayanım değerlerine sahip olduğundan dolayı havacılık ve uçak sanayisinde, zırh, miğfer, halat ve paraşüt aksesuarları gibi birçok kullanım alanına sahiptir [38].

3. DARBE TEST METODLARI VE HASAR DEĞERLENDİRMELERİ

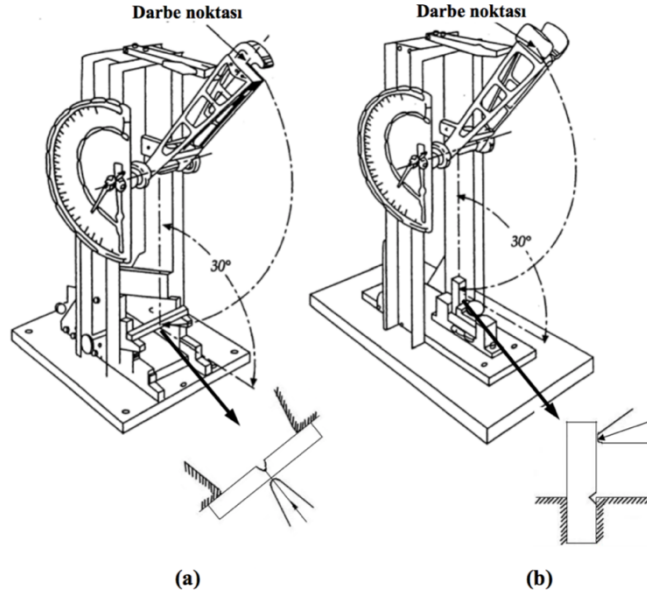
Darbe, belirli bir hızda kısa bir sürede, bir malzeme veya yapı üzerine uygulanan anlık bir dış kuvvet olarak açıklanabilir. Darbe sırasında çarpışan bu iki cismin yüzeyleri yüzyüze geldiğinde bu temas alanının küçük bir kısmında basınç yükselir. Temas boyunca temas alanındaki basınç, yerel bir deformasyon ve ardından bir nüfuziyet oluşur. Darbe sırasında çarpışan iki cisimde zıt doğrultularda etki veya tepki bileşke kuvveti meydana gelmektedir. Bundan dolayı cisimler birbirine geçmez. En başta nüfuziyet arttığından dolayı kuvvet de artar ve bu kuvvet birbirine yaklaşmakta olan cisimlerin hızını azaltır. Darbe olayı esnasında belirli bir anda temas kuvvetleri iki cismin hızının sıfır olmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak bu sıkışma sırasında toplanan enerji iki cismi ayırmak için zorlar ve bu iki cisim belirli bir hızda ayrılırlar [40].

3.1 Düşük Hızlı Darbe Test Metotları

Malzemelerin darbe dayanımlarını belirlemek için uygulanan düşük hızlı darbe test yöntemleri; Izod ve Charpy darbe test metotları, Pendulum darbe test metodu, ankastre edilmiş giriş darbe test metodu ve ağırlık düşürmeli darbe test metotlarıdır.

3.1.1 Izod ve Charpy darbe test metotları

Izod ve Charpy darbe test yöntemleri, yıllarca özellikle çentik duyarlılığına göre metallerin darbe performansını araştırmak için kullanılmıştır. Izod darbe testi genellikle polimer malzemeler için de kullanılmaktadır. Izod testinde, belirli bir ölçüdeki numune, çeneler vasıtasıyla bağlanır ve bir sarkaç ile numunenin tepe kısmına vurulur. Charpy testi için ise numune iki örs üzerine konulur ve numunenin merkezinden bir sarkaç yardımıyla vurulur.

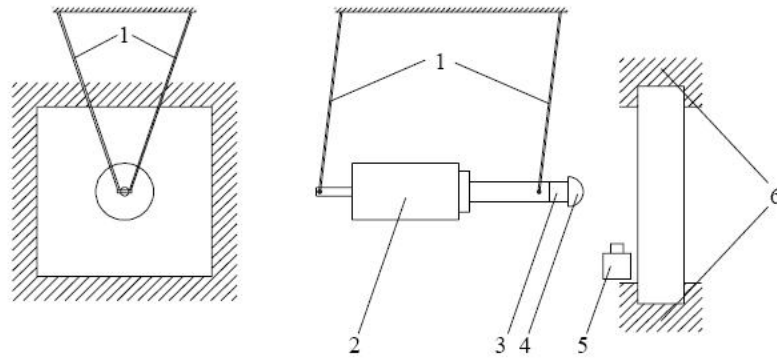


Şekil 3.1 (a) Charpy darbe test sistemi ve numuneye darbe uygulanış şekli (üstten görünüm), (b) Izod darbe test sistemi ve numuneye darbe uygulanış şekli (yan görünüm) [10]

Uygulanmış olan bu darbelerden sonra sarkacın çıkmış olduğu yükseklik belirlenir ve sarkacın ilk ve son konumu arasındaki potansiyel enerji farkı numune tarafından absorbe edilen enerji denkliğinden malzemenin darbe dayanımı elde edilebilir [41].

3.1.2 Pendulum (sarkaç) darbe test metodu

Bu sistem çok küçük darbe enerjilerini elde etmek için kullanılabilir. Bu yöntem de darbe hızı ve geri sekme hızıda ölçülebilmektedir. Bu hız ölçümleri ağırlık düşürmeli darbe testlerinden elde edilen hız ölçümlerinden daha hassas ölçüm yapmaktadır. Pendulum darbe test sisteminin şematik resmi Şekil 3.2’de görüldüğü gibidir [42].

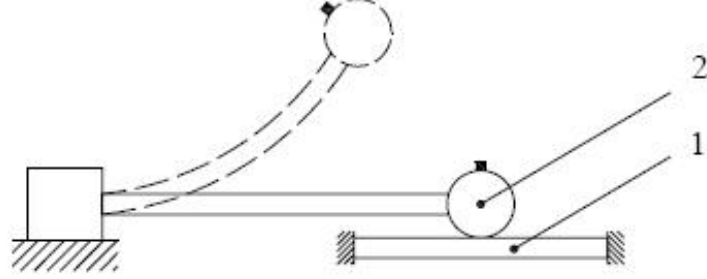


Şekil 3.2 Pendulum darbe test sisteminin şematik resmi [43]

Pendulum darbe test sistemini oluşturan parçaların isimleri şekilden görüldüğü üzere sırası ise şöyledir; 1) Sarkacı tutan ipler, 2) Ağırlık, 3) Ağırlık ve kütle arasındaki kuvveti ölçmek için kullanılan yük hücresi, 4) Uç, 5) Hız sensörü ve 6) Sabitleyici [43]

3.1.3 Ankastre edilmiş kiriş darbe test metodu

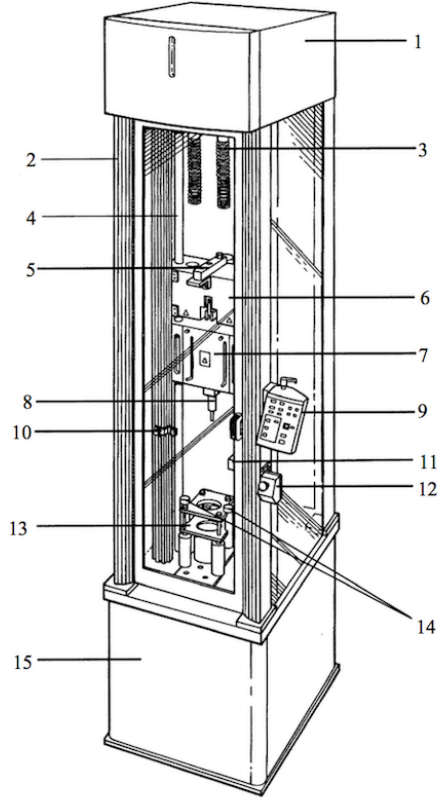
Şekil 3.3'te ankastre edilmiş kiriş darbe test sistemi görülmektedir. Bu test metodunda 1 inch çapında olan çelik bir kütle, bir kirişin ucuna monte edilir. Bu kütle çekilip bırakılır ve bu darbe numuneyi hasara uğratar [45].



Şekil 3.3 Ankastre edilmiş kiriş darbe test sisteminin şematik resmi, 1) numune ve 2) vurucu [45]

3.1.4 Ağırlık düşürmeli darbe test metodu

Belirli bir kütleyi belirli bir yükseklikten serbest düşmeye bırakıp veya yukarıdan aşağıya dikey atış yöntemiyle atarak, bu kütlelerin kazanmış olacağı kinetik enerjiyi malzeme üzerine aktaran ve malzemenin darbe dayanım testini yapan darbe test makinalarıdır. Düşen kütlelerin başlangıç hareket şartları bilgisayarlı kontrol sistemiyle yapılır. Bu sistemde istenilen ağırlıkta kütleler kullanılabilir ve farklı yüksekliklerden atış yapılabilme imkanı vardır. Ayrıca çarpma hızı ve darbe enerjisi istenilen şekilde ayarlanabilmektedir. Bu metod ile numuneye saplanma, delinme ve tekrarlı darbe testleri gibi testlerde yapılabilir. Darbe test cihazı Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4 Ağırılık düşürme test cihazının şematik bir resmi; 1- Cihazın üst kısmı, 2- Köşe şasi, 3- Yay, 4- Mil, 5- Yük hücresi, 6- Ağırlık kaldırma ve tutma bloğu, 7- Ek ağırlık bloğu, 8- Vurucu, 9- Kontrol paneli, 10- Blok seviye ayar düğmesi, 11- Hız detektörü, 12- Acil stop düğmesi, 13- Pnömatik numune sabitleyici, 14- Pnömatik geri sekme frenleri, 15- Cihaz alt zemini [10]

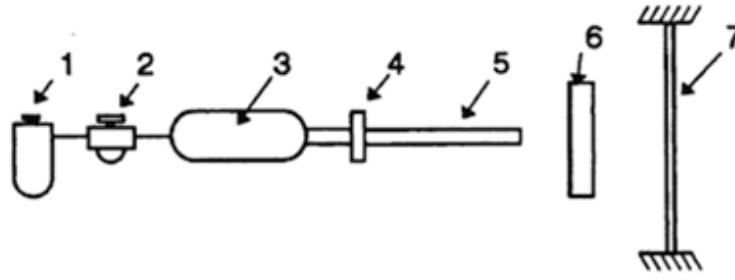
Malzemeye uygulanan darbeden sonra vurucu yük sinyallerini oluşturur ve bu yük sinyalleri bilgisayara veri toplama kartına kaydedilir. Veri toplama kartındaki veriler veri elde etme yazılımına aktarılarak elde edilir. Bu darbe test cihazının en önemli avantajı ise isteğe bağlı çevresel ısıtma ve soğutma kabinidir. Bu kabin sayesinde deneyler istenilen sıcaklıkta yapılabilmektedir [44].

3.2 Yüksek Hızlı Darbe Test Metotları

Malzemelerin darbe dayanımlarını belirlemek amacıyla yapılan yüksek hızlı darbe test yöntemleri; basınçlı hava ile darbe test metodu ve Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodlarıdır.

3.2.1 Basınçlı hava ile darbe test metodu

Bu test metodu, kütlesi 250 gramdan daha az ve hızı 100 m/s'den daha fazla vurucular için uygulanabilmesi mümkündür [46]. Bu sistemin test düzeneği Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

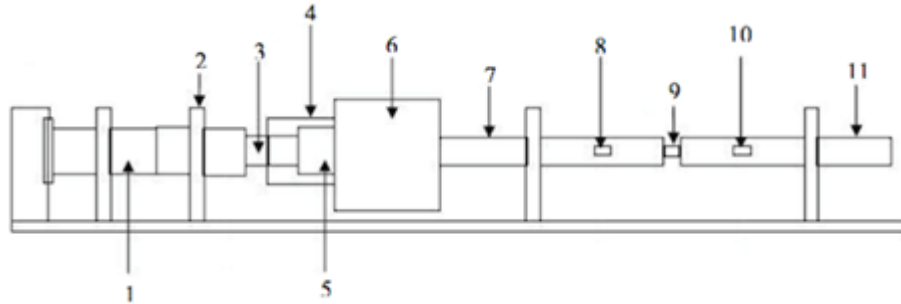


Şekil 3.5 Basınçlı hava ile darbe test düzeneğine ait şematik resim;1- Hava filtresi, 2- Basınç regülatörü, 3- Hava tankı, 4- Selenoid valf, 5- Vurucu, 6- Hız sensörü, 7-Test numunesi [45]

Yüksek basınçlı sıkıştırılmış hava, basınç kontrollü bir şekilde verilmek üzere bir hava tankının içine gönderilir. Basınç bir solenoid valf tarafından serbest bırakılır. Vurucu daha sonra namlunun üzerinden geçer. Bilinen bir uzunluğa sahip vurucu, ışık demetini keser ve iki sensör arasındaki sürüş süresi bir dijital sayıcı kullanılarak belirlenir ve mermi hızını hesaplamak için kullanılır [45].

3.2.2 Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu

Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu, balistik, çarpma gibi olaylar test edilebilmek için kullanılır. Bu test metodunda gaz tankından salınmış olan hava ve tüp tarafından itilmiş olan vurucu ile darbe meydana getirilir. Cihazda bulunan strain gaugelerden alınan bu veriler, veri kartında depolanır. Bu depolanan verilerle yük, darbe hızı, toplam yerdeğiştirme gibi değerler hesaplanılabilmektedir [47]. Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu düzeneğine ait şematik resim Şekil 3.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.6 Split-Hopkinson basınçlı çubuk test düzeneği şematik resimi;1- Absorbe çubuğu, 2- Destek parçası, 3- Giriş çubuğu, 4- Tüp, 5- Vurucu, 6- Hava tankı, 7- Girişçubuğu, 8 ve 10- Strain gaugeler, 9- Numune ve 11- Çıkışçubuğu [48]

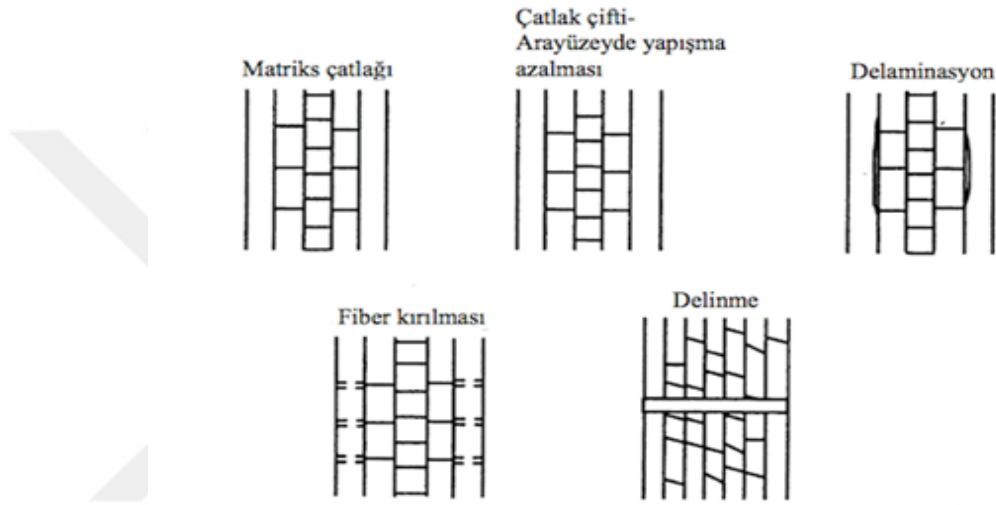
3.3 Darbe Sonucu Meydana Gelen Hasar Türleri

Kompozit malzemelerde çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalan bölgede hasarlar meydana gelebilmektedir. Deneysel tekniklerin gelişmesi ile beraber, hasar değerlendirmelerinde kullanılan teknikler tahribatlı ve tahribatsız muayene teknikleri olarak iki başlıkta incelenebilmektedir.

Tahribatlı teknikler: Kompozit malzemelerde yapılan tahribatlı hasar muayenelerinde çekme testi, yorulma testi, sertlik testi, çentik darbe testi, burulma testi, eriksen çökertme ve metalografi testi gibi birçok yöntem kullanılmaktadır.

Tahribatsız teknikler: Bu teknikler optik mikroskobiyi temel alan X-ışınları, Ultrasonik, Akustik emisyon ve Lazer optik gibi yöntemlerdir. Bu tekniklerle hasar noktası ve büyüklüğü tespit edilebilir.

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin hasar türleri birçok etkene bağlıdır. Bunlar; matriks ve elyaf özellikleri, elyaf-matriks arayüzü özellikleri, elyaf dizilim sırası ve elyaf oryantasyon açıları, ortam koşulları, numune rijitliği, vurucu şekli ve boyutudur. Genellikle kompozit malzemelerde oluşan darbe hasarları matriks çatlakları, delaminasyonlar ve elyaf hasarlarını içerir. Şekil 3.7’de, bu hasarların, çeşitli hasar evreleri gösterilmiştir [10].



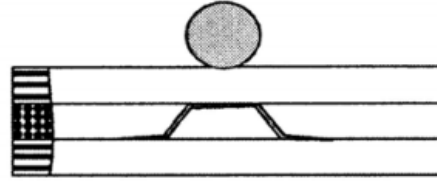
Şekil 3.7 Çeşitli hasar çeşitli hasar evreleri şematik gösterimi [10]

Meydana gelmiş bu hasarlar, matriks ve elyaf özelliklerine bağlıdır. Buna göre matriks ve elyaf özelliklerine ve bunlardan kaynaklanan hasarlara değinilmiştir.

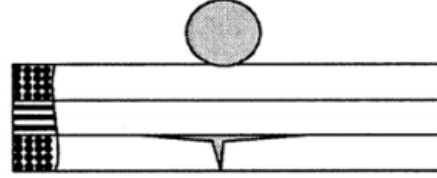
3.3.1 Matriks kaynaklı hasar türleri

Darbe görmüş kompozit malzemede reçinenin tokluk özelliği, kompozit malzemenin genel mekanik özelliklerinin belirleyicisi olmuştur.

Matriks çatlakları, genellikle numunenin darbe uygulanan yüzeyinde gerilmelerden dolayı başlar. Darbe meydana geldiği andan itibaren malzemede matriks çatlakları meydana gelir. Bu matriks çatlaklarının oluşması tabakalar arasında delaminasyonlar oluşturur. Bu da Şekil 3.8 (a)’da görüldüğü gibi çeki ve Şekil 3.8 (b)’de kayma çatlakları meydana getirir [45].



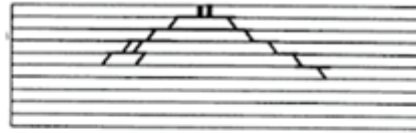
(a)



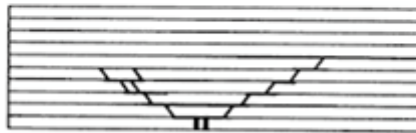
(b)

Şekil 3.8 (a) Çeki çatlağı, (b) Kayma çatlağı [45]

Darbeye maruz kalan numune kalın bir parça ise vurucu tarafında matriks çatlakları oluşur. Çatlak ilerlemesi ise numunenin üst tabakasından alt tabakasına doğru çam ağacı şeklinde meydana gelir (Şekil 3.9(a)). Darbeye maruz kalan numune ince bir parça ise bu seferde vurucu tarafının tam karşısında matriks çatlakları oluşur. Çatlak ilerlemesi ise numunenin alt tabakasından üst tabakasına ters çam ağacı şeklinde meydana gelir (Şekil 3.9 (b)).



(a)

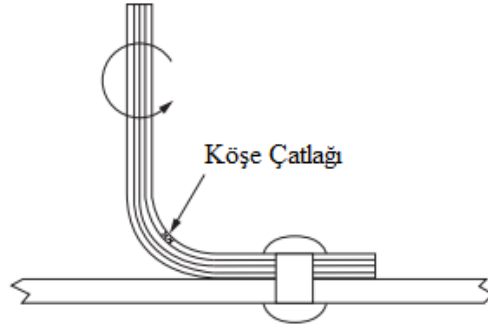


(b)

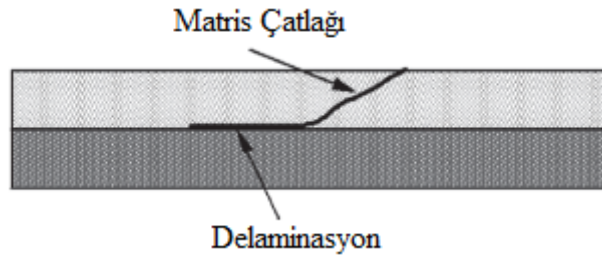
Şekil 3.9 (a) Düz çamağacına benzer şekilde çatlak ilerlemesi, (b) Ters çam ağacına benzer şekilde çatlak ilerlemesi [45]

3.3.2 Delaminasyon hasar türleri (Tabakalar arası ayrılmalar)

Delaminasyonlar, kompozit malzemelerde en sık meydana gelen hasar türlerinden biridir. Delaminasyonlar bir matris kaynaklı kusurdur. Burada matriks çatlakları, bir bir tabaka içinde, çatlakların elyaf yönüne paralel şekilde uzamasıyla meydana gelmektedir. Bir delaminasyon örneği Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Delaminasyonlar, aralıksız gerilmelerin yüksek olduğu serbest kenarlar (geometrik sınırlar, mikro çatlaklar veya boşluklar) veya Şekil 3.11'de gösterildiği gibi arayüze paralel olarak sürmesinden kaynaklanabilmektedir [49].

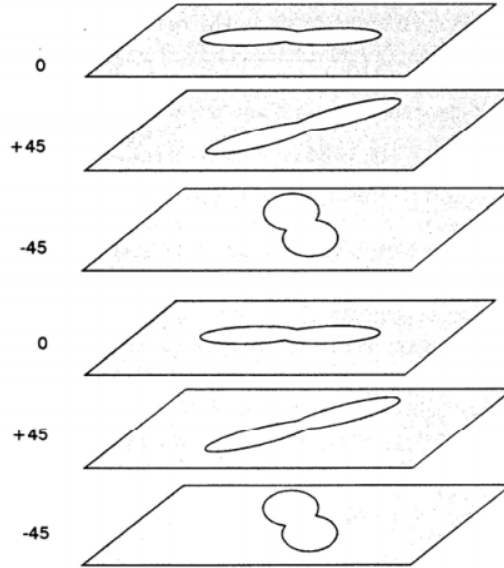


Şekil 3.10 Köşe yarıçapı delaminasyonu [49]



Şekil 3.11 Matris çatlağı ile delaminasyon oluşumu [49]

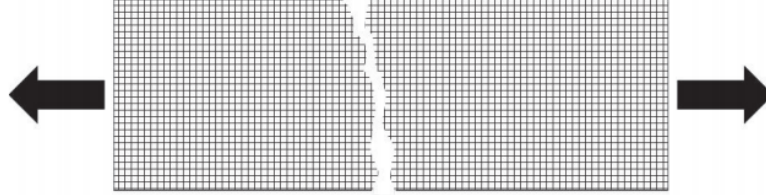
Farklı elyaf oryantasyon açılarının da tabaka ve alt tabaka arayüzlerinde elyaf açlarına göre oluşan delaminasyonlu alanlar Şekil 3.12’de verilmiştir [45].



Şekil 3.12 Tabaka ve alt tabaka arayüzlerinde elyaf açlarına göre oluşan delaminasyonlu alanlar [45]

3.3.3 Elyaf kaynaklı hasar türleri

Elyafların elastisite modülü genellikle matriksin elastisite modülünden yüksektir. Bu nedenle oluşan hasarın nedeni genelde elyaftan kaynaklı olmaz fakat darbe enerjisi yüksek bir darbeye elyafların mekanik özellikleri göz önüne alınmalıdır [45]. Dokuma kumaşlarda gerilme hasarı, tek yönlü katlardaki ile aynıdır. Kırılma yolu, Şekil 3.13'de gösterildiği gibi verilmiştir [49].

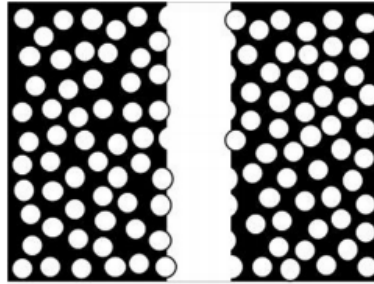


Şekil 3.13 Dokuma kumaşlarda gerilme hasarı [49]

3.3.4 Elyaf-matriks arayüzü hasar türleri

Elyaf matriks arayüzü bağ oluşumu mekanik özelliklerin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Bağ kuvvetini artırıcı özelliği olan arayüzeydeki yapışma; arayüzeydeki malzeme yapılarına, temas noktası basınçlarına, yüzeylerdeki kalan elementlere, kalıntı gerilmelerine ve çalışma sıcaklıklarına bağlıdır. Şekil 3.14'de elyaf-matriks arayüzey bağlantısından kaynaklanan hasar türü gösterilmiştir. Arayüzey bağ kuvvetleri istenilen mukavemette olmuyorsa aşağıdaki özellikler kullanılabilir;

- Takviye malzemesinin yüzeyi pürüzlendirilerek, sürtünme enerjisi ile bağ kuvveti artırılabilir.
- Takviye malzemesinin yüzeyindeki istenmeyen elementler temizlenebilir.
- Bağ kuvvetini artırıcı ilave maddeler eklenebilir.
- Kimyasal buhar yöntemi tercih edilebilir.
- Matriks değiştirilebilir [50].



Şekil 3.14 Elyaf -matriks arayüzey hasarı [49]

3.3.5 Tabaka dizilim sırası kaynaklı hasar türleri

Kompozit malzemelerde tabakaların dizilim sırası kompozitin hasar davranışları için belirleyici bir etkidir. Tabaka dizilimleri levha boyunca homojen olarak dağıtılmalıdır. Bu durum tabaka ayrılması gibi hasarları engellemektedir.

Düzlem gerilmelerin etkisini minimize etmek için simetrik levhalar oluşturulabilir. Bunun için de aynı kalınlık, aynı malzeme özelliği ve aynı oryantasyon açısı düşünölmelidir. Üretim aşamasında tabakaların her iki yönde eşit çekilmesi ve bu sayede tabakanın düz kalması sağlanabilmelidir [51].

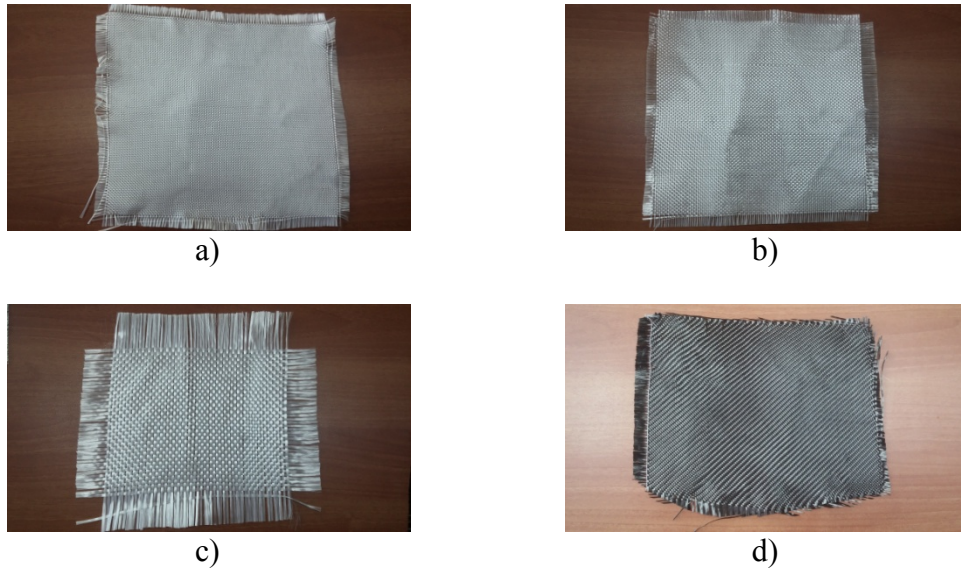


4. MATERYAL VE METOD

Elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerin darbe davranışlarını belirlemek için cam-elyaf/epoksi, karbon/epoksi ve bu iki malzemenin karışımı şeklinde hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları ve uygulanan metod aşağıda başlıklar halinde anlatılmıştır.

4.1 Kompozit Plakaların Üretim Aşamaları

Elyaf takviyeli ve hibrit kompozit malzemelerin üretimi için aşağıdaki Resim 4.1’de resimleri verilen ağırlığı 200, 300 ve 500 gr/m² cam elyafları ile ağırlığı 245 gr/m² karbon elyaf kumaşlar kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin üretimi için reçine ve sertleştirici olarak Çizelge 4.1’de özellikleri verilmiş olan reçine malzemesi olarak Resin 828 Lvel epoksi reçine ve sertleştirici olarak da Curing Agent 866 kullanılmıştır. Matris malzemenin hazırlanması esnasında reçinenin sertleştiriciye oranı 100:80 olarak alınmıştır. Üretimde kullanılan elyafların özellikleri ve görüntüleri ayrıntılı bir şekilde Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kompozit plakaların üretimi el yatırma metodu kullanılarak İzmir’de faaliyet göstermekte olan İzoreel Kompozit İzole Malzemeler San. ve Tic.Ltd.’de gerçekleştirilmiştir. Dokuma kumaşlar 50x50 cm ölçülerinde kesilmiştir. Kesilen bu kumaşlar üretim sonunda 2mm et kalınlığı elde edebilmek amacıyla kalınlıklarına göre tabaka sayıları belirlenmiş ve Çizelge 4.3’te verildiği gibi tabakalar halinde konulmuştur. Bu tabakaların arasına ve dış kısımlarına reçine ve sertleştirici nüfuz ettirilmiştir. Resim 4.2’deki hazırlanmış olan bu malzemeler Piton serisi KP2 pres (Resim 4.3) ile 120 °C’de ortalama 3 saat boyunca, 0,3 MPa pres basıncı altında bekletilmiş ve üretim sıcaklığından oda sıcaklığına ulaşınca kadar soğumaya bırakılmıştır. Presleme sonucunda elde edilmiş olan plakalar Resim 4.4’te verilmiştir.



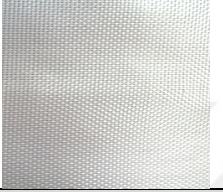
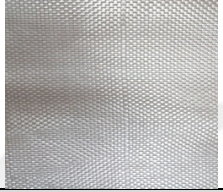


Resim 4.1 Üretimde kullanılacak dokuma kumaşlar

a) 200 gr/m² Cam Elyafı, b) 300 gr/m² Cam Elyafı, c) 500 gr/m² Cam Elyafı,
d) 245 gr/m² Karbon Elyafı

Çizelge 4.1 Reçine ve sertleştirici özellikleri

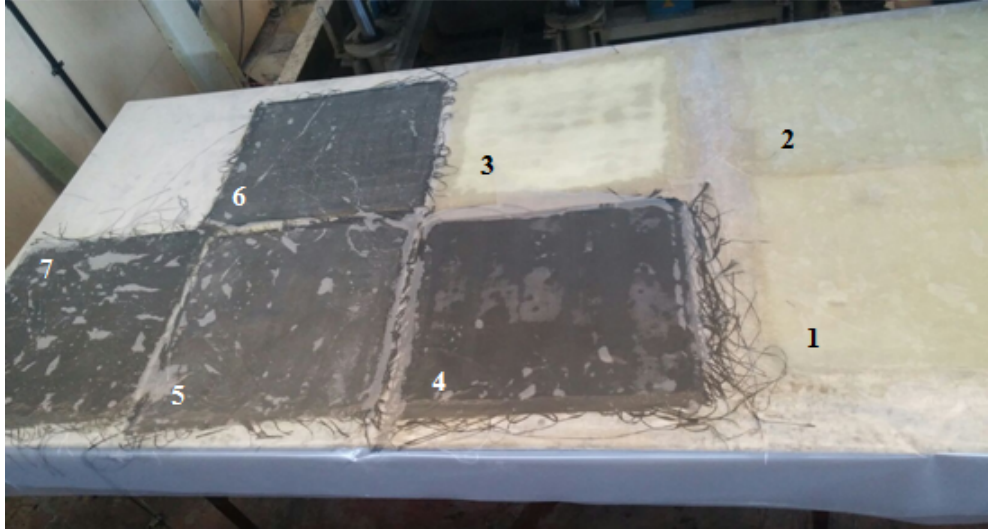
Özellikler	Resin 828 Lvel	Curing Agent 866
25 °C de Vizkosite mPa.s	10000±2000	60±5
40 °C de Vizkosite mPa.s	950±50	25±5
60 °C de Vizkosite mPa.s	175±25	7±3
20 °C de Yoğunluk g/cm ³	1,16±0,02	1,21±0,02

Çizelge 4.2 Üretimde kullanılan elyafların özellikleri

Elyaf Çeşidi	Cam	Cam	Cam	Karbon
Elyaf Kodu	G ₂	G ₃	G ₅	C ₂
Dokuma Kumaşların Fotoğrafları				
Ağırlık (g/m ²)	200	300	500	245

Çizelge 4.3 Üretimi Yapılacak Plakaların Katman Sayıları ve Dizilimleri
 G₂: 200 gr/m² Cam Elyafı, G₃: 300 gr/m² Cam Elyafı, G₅: 500 gr/m² Cam Elyafı,
 C₂: 245 gr/m² Karbon Elyafı

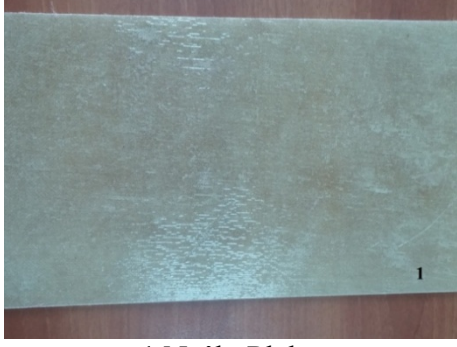
Üretim No	Katman Sayısı	Katman Dizilim Şekli
1	10	G ₂ G ₂ G ₂ G ₂ G ₂ G ₂ G ₂ G ₂ G ₂ G ₂
2	10	G ₃ G ₃ G ₃ G ₃ G ₃ G ₃ G ₃ G ₃ G ₃ G ₃
3	8	G ₅ G ₅ G ₅ G ₅ G ₅ G ₅ G ₅ G ₅
4	10	C ₂ C ₂ C ₂ C ₂ C ₂ C ₂ C ₂ C ₂ C ₂ C ₂
5	11	G ₂ C ₂ G ₂ C ₂ G ₂ C ₂ G ₂ C ₂ G ₂ C ₂ G ₂
6	11	G ₃ C ₂ G ₃ C ₂ G ₃ C ₂ G ₃ C ₂ G ₃ C ₂ G ₃
7	9	C ₂ G ₅ C ₂ G ₅ C ₂ G ₅ C ₂ G ₅ C ₂



Resim 4.2 Elyatırma yöntemiyle cam-elyaf/epoksi (1-2-3) ve karbon elyaf/epoksi (4) Hibrit kompozit (5-6-7) malzemelerin preslenmeden önceki görünüşleri



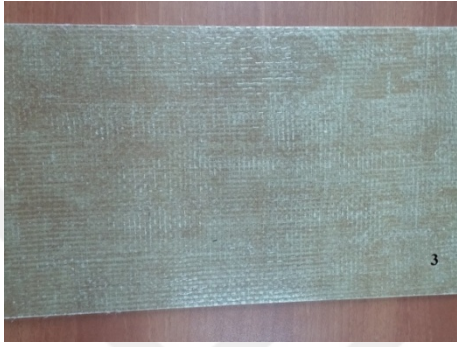
Resim 4.3 Piton serisi KP2 pres



1 No'lu Plaka



2 No'lu Plaka



3 No'lu Plaka



4 No'lu Plaka



5 No'lu Plaka



6 No'lu Plaka



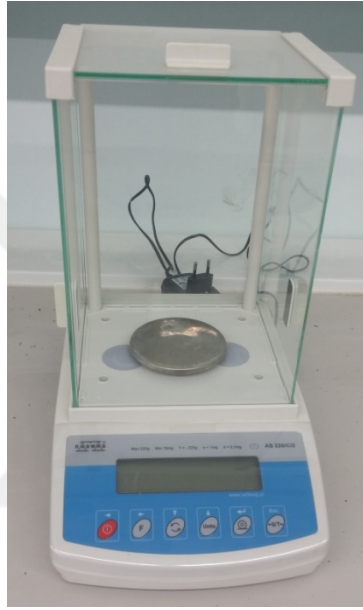
7 No'lu Plaka

Resim 4.4 Presleme sonucunda elde edilmiş olan plakalar

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Kalsinasyon Deneyleri

Elyaf hacim oranını elde edebilmek için TS 1177 EN İSO 1172 [52] standartına göre Uşak Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarında yapılmıştır. Herbir numune ağırlıkları, Resim 5.1’te verilen Radwag Marka AS220/C/2 model hassas terazi ile belirlenmiştir. Ağırlıkları belirlenmiş olan 7 farklı malzeme türünün herbiri için 1 adet numune, Resim 5.2’te verilmiş olan Mikrotest marka MKF 04 model kül fırını cihazına konularak ile sıcaklık 600 °C’ye kademeli olarak çıkarılmış, 600 °C’ye ulaşıldığında ise aynı sıcaklıkta 45 dk süre ile bekletilerek reçinelerinden arındırılmıştır (Resim 5.3).



a)

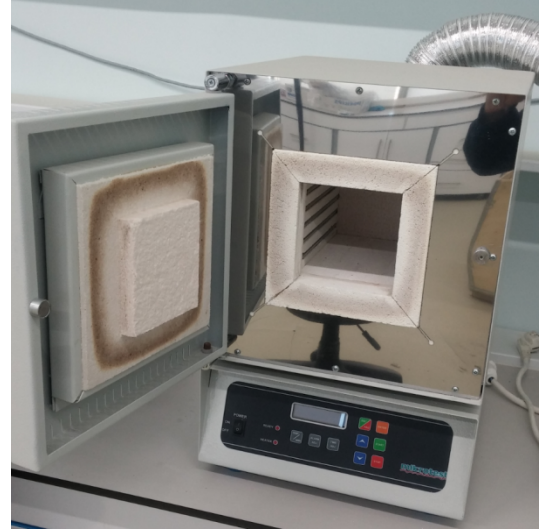


b)

Resim 5.1 Hassas terazi cihazı a) Genel görünümü b) Tartım işlemi yaparken görünümü



a)



b)

Resim 5.2 Kül fırını cihazı a) Kapalı görünüm b) Açık görünüm

5.1.1 Kalsinasyon deney sonuçları ve değerlendirmeler

Reçinelerinden arındırılmış numuneler tekrar hassas terazide tartılarak,elyaf hacim oranları yüzde olarak Çizelge 5.1’de ve deney sonucunda reçinelerden arındırılmış numune görünüşleri Resim 5.3’te verilmiştir. Buna göre 1,2 ve 3 no’lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere bakıldığında en yüksek elyaf hacim oranı %64 ile 2 no’lu malzemenin olduğu görülmüştür. Ayrıca 4 nolu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemesinin elyaf hacim oranının %41,2 olduğu görülmüştür. 5,6 ve 7 no’lu hibrit kompozitlerin içinde en yüksek elyaf hacim oranına sahip malzeme 5 no’lu malzemedir. 5 no’lu malzemenin elyaf hacim oranı ise %49,7’dir.



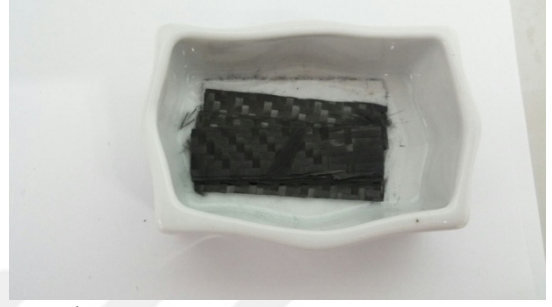
1 no'lu Numune



2 no'lu Numune



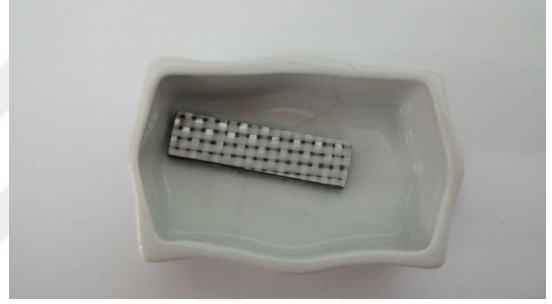
3 no'lu Numune



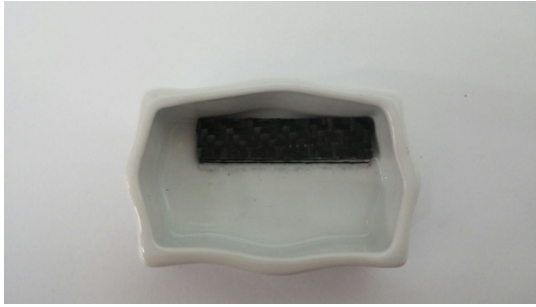
4 no'lu Numune



5 no'lu Numune



6 no'lu Numune



7 no'lu Numune

Resim 5.3 Kalsinasyon deneyi sonucunda reçinlerinden arındırılmış 7 farklı numunenin görünüşü

Çizelge 5.1 Deney sonucunda elde edilmiş yüzde elyaf hacim oranları

Numune No	1	2	3	4	5	6	7
Elyaf Hacim Oranı(%)	58,7	64	58	41,2	49,7	44,8	46,9

5.2 Mekanik Özellikleri Belirleme Deneyleri

5.2.1 Çekme deneyi

Kuvvet ve şekil değiştirme değerlerini belirlemek ve yorumlamak amacıyla kullanılan en yaygın deney çekme deneyidir. Çekme deneyi; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını yani mekanik özelliklerini elde etmek amacıyla yapılmaktadır. Çekme deneyinde asıl amaç ve birim şekil değiştirme değerlerini hesaplayabilmektir. Gerilme “ σ ” işareti ile temsil edilir. Bu ifade birim alana düşen yük miktarını ifade eder ve yük–uzama eğrisindeki herhangi bir yük değerinin, deney numunesinin orijinal (deney başlamadan önceki ölçü) kesit alanına bölünmesiyle elde edilmektedir (Eşitlik 5.1). Bu değerler elde edildikten sonra elastise modülü hesaplanabilmektedir.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1’de σ : Gerilme, F: Numuneye uygulanmış olan herhangi bir andaki yük miktarı, A_0 : Deney numunesinin ilk kesit alanı olarak tanımlanabilir.

Birim şekil değişimi “ ε ” ile gösterilir, çekme deneyi esnasında numunede meydana gelmiş olan uzamanın, numunenin orijinal uzunluğuna oranını temsil etmektedir (Eşitlik 5.2).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (5.2)$$

Eşitlik 5.2’de ε : Birim şekil değiştirme, L: Deney numunesinin herhangi bir andaki uzunluğu, L_0 : Deney numunesinin ilk uzunluğu tanımlanabilir.

Bu değerler elde edildikten sonra Elastise modülü hesaplanabilmektedir. Elastise modülü “E” ile gösterilir, birim uzama başına meydana gelen gerilme olarak tanımlanabilir ve Eşitlik 5.3’te verildiği gibi elde edilir.

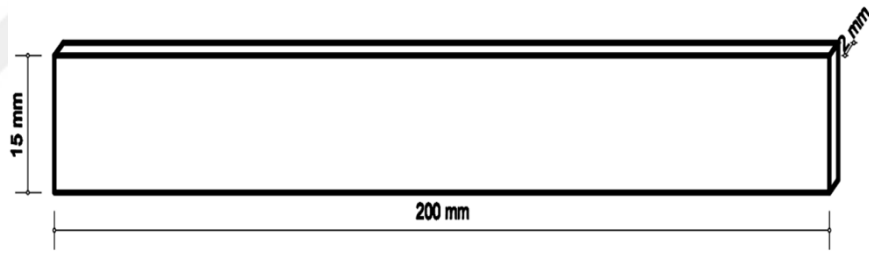
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5.3)$$

Hesaplanmış olan tüm gerilmeler, malzemenin mukavemetiyle ilgiliyken, birim şekil değiştirme değerleri ise malzemenin sünekliği ile alakalıdır. Çekme deneyinde elde edilen verilerle yapılacak hesaplamalarda gerilme ve birim şekil değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Elde edilmiş tüm numunelerin çekme deneyi ASTM D3039-76 [53] standardında Uşak’ta faaliyet göstermekte olan Pull Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San. Tic. A.Ş.’de Resim 5.4’de gösterilen Universal Utest marka 7013 model çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde 7 farklı malzeme türünün her biri için 5 adet numune kullanılmıştır. Ölçüleri verilmiş olan deney numunesinin şematik gösterimi Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Tüm Çekme deneyleri 1 mm/dk şekil değiştirme hızında (20 ± 1 °C)’de yapılmıştır. Deney esnasında numunelerin çekme cihazının çenelerine bağlanmış görünümü Resim 5.5’te verilmiştir.



Resim 5.4 Universal çekme cihazı



Şekil 5.1 Çekme numunesi şematik gösterimi



a)



b)

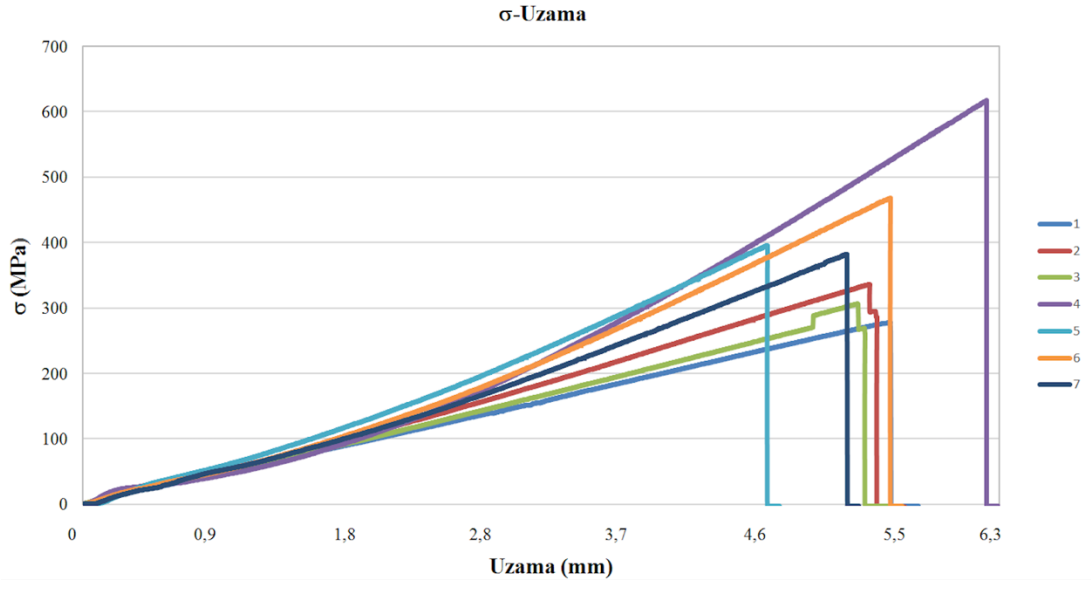
Resim 5.5 Çekme numunesinin çekme testi cihazında çenelerde bağlanmış görünümü
a) Önden görünüş b) Yandan görünüş

5.2.1.1 Çekme deneyi sonuçları ve değerlendirmeler

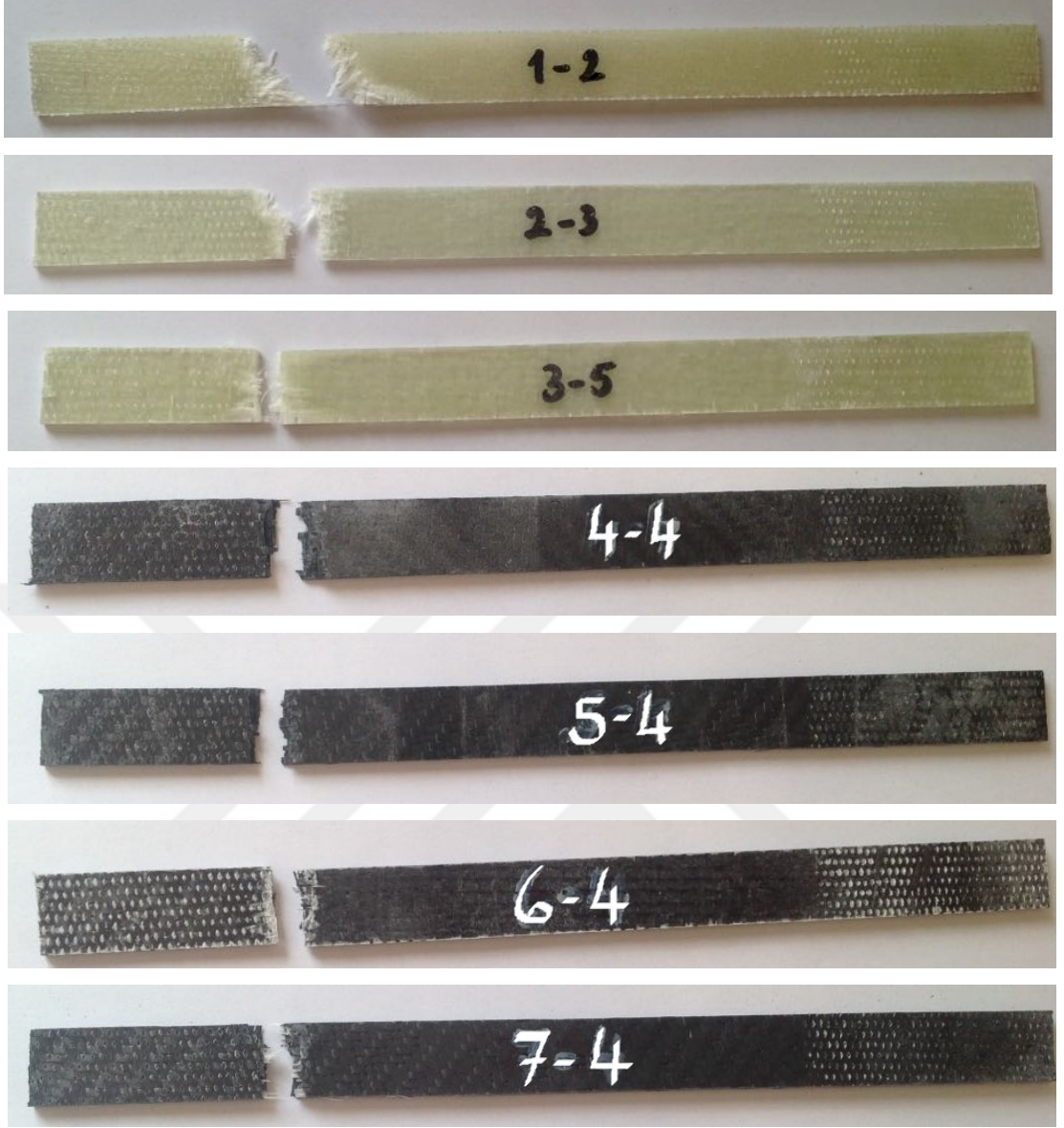
Çekme deneyi sonucunda numunelerin yüklenmesi esnasında yük, uzama, gerilme ve şekil değiştirme gibi veriler kaydedilmiş ve bu deneysel verilerle çekme dayanımı hesaplanmıştır. Çizelge 5.2’de 7 farklı malzeme türü için yapılmış deneyler sonucu elde edilen çekme dayanımlarının ortalamaları yer almaktadır. Ayrıca elde edilen çekme dayanımları-uzamaları grafikte gösterimi Şekil 5.2 ile verilmiştir. Deney sonucunda hasara uğramış numunelerin görüntüleri Resim 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.2 Deney sonucunda elde edilmiş çekme dayanımları

Numune No	1	2	3	4	5	6	7
Çekme Dayanımı(MPa)	274	317	272	625	395	468	393



Şekil 5.2 Kompozit malzemelerin çekme dayanımı-uzama grafiği



Resim 5.6 Çekme testi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü

Çekme deneyi sonuçlarına göre; 1, 2 ve 3 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere bakıldığında en yüksek çekme dayanımının 317 MPa ile 2 no'lu malzemenin olduğu görülmüştür. Ayrıca 4 nolu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemesinin çekme dayanımının 617 MPa olduğu ve en yüksek cam elyaf takviyeli kompozitin çekme dayanımının yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. 5, 6 ve 7 no'lu hibrit kompozitlerin içinde en yüksek çekme dayanımına sahip malzeme 6 no'lu malzemedir. 6 no'lu malzemenin çekme dayanımı ise 468 MPa'dır. Buna göre cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin çekme dayanımının düşük olduğu görülmektedir. Çekme dayanımı çok iyi olmayan bu cam elyaf çeşitlerinin karbon elyaf ile hibritleştirildiğinde yeni oluşan bu hibrit kompozit malzemenin çekme dayanımının da artış olduğu görülmektedir. 200 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (5 no'lu numune) yaklaşık %44, 300 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (6 no'lu numune) yaklaşık %48, 500 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (7 no'lu numune) yaklaşık %45 oranlarında çekme dayanımlarında artış olduğu görülmüştür.

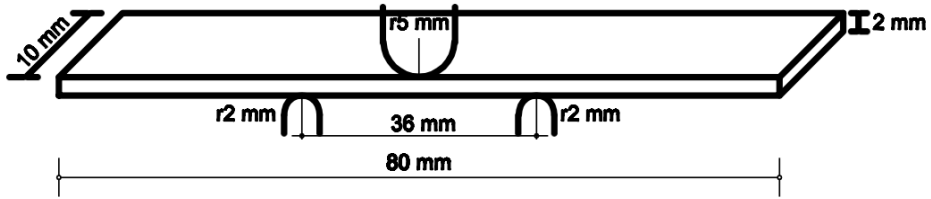
5.2.2 Üç nokta eğilme deneyi

Üç nokta eğilme deneyi, malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Deney düzeneğinde iki adet mesnet üzerinde numune konulur ve orta noktasından eğilmeye zorlanır. Deney numunesine kuvvet uygulandığında, numunenin iç yüzeye yakın kısımlarında basma gerilmeleri, dış yüzeye yakın kısımlarında ise çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Burada esas hesaplanmak istenen maksimum eğilme gerilmesi hesabıdır. Maksimum eğilme gerilmesi hesaplamak için Eşitlik 5.4 kullanılır.

$$\sigma = \frac{2 F L}{3 b h^2} \quad (5.4)$$

Eşitlik 5.4 'te σ : Eğilme gerilmesi (N/mm²), F: Kuvvet (N), L: İki destek arası mesafe (mm), b: Genişlik (mm), h: Yükseklik (mm)

Şekil 5.3'te ölçüleri verilmiş olan deney numunesinin eğilme deneyleri TSE EN İSO 178:2010 [54] standardında Uşak'ta faaliyet göstermekte olan Pull Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San. Tic. A.Ş.'de Universal Utest marka 7013 model çekme cihazı (Bkz. Resim 5.4) kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde 7 farklı malzeme türünün her biri için en az 5 adet numune kullanılmıştır. Tüm deneyler 2 mm/dk şekil değiştirme hızında (20±1 °C)'de yapılmıştır. Resim 5.7'te Numunenin deney anında eğilmeye zorlanması gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Üç nokta eğilme deneyi numunesinin şematik gösterimi



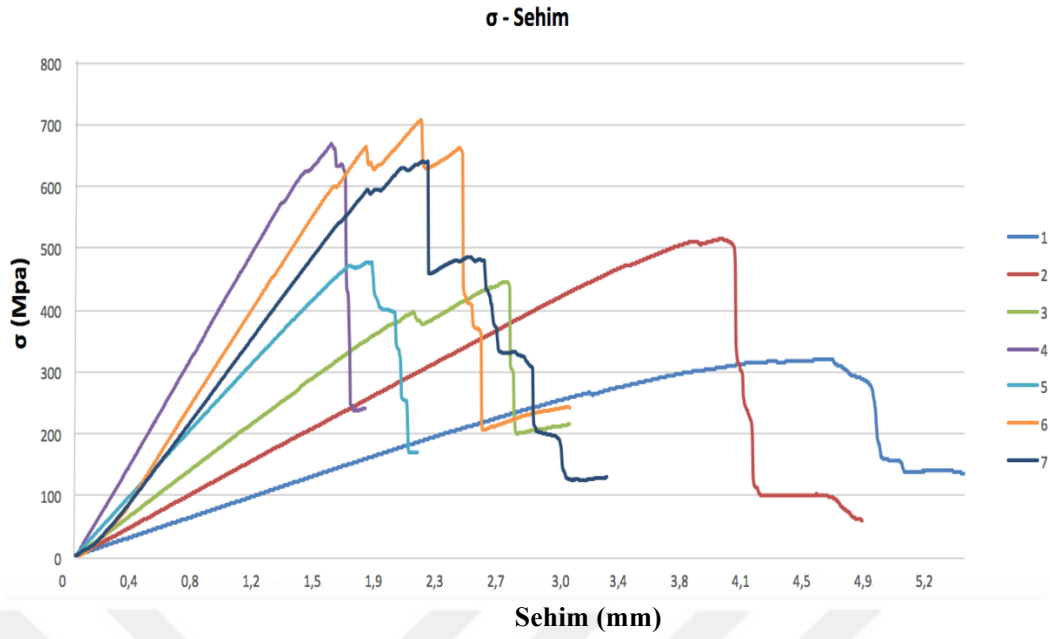
Resim 5.7 Üç nokta eğilme deneyi numunesinin eğilmeye zorlanması

5.2.2.1 Üç nokta eğilme deneyi sonuçları ve değerlendirmeler

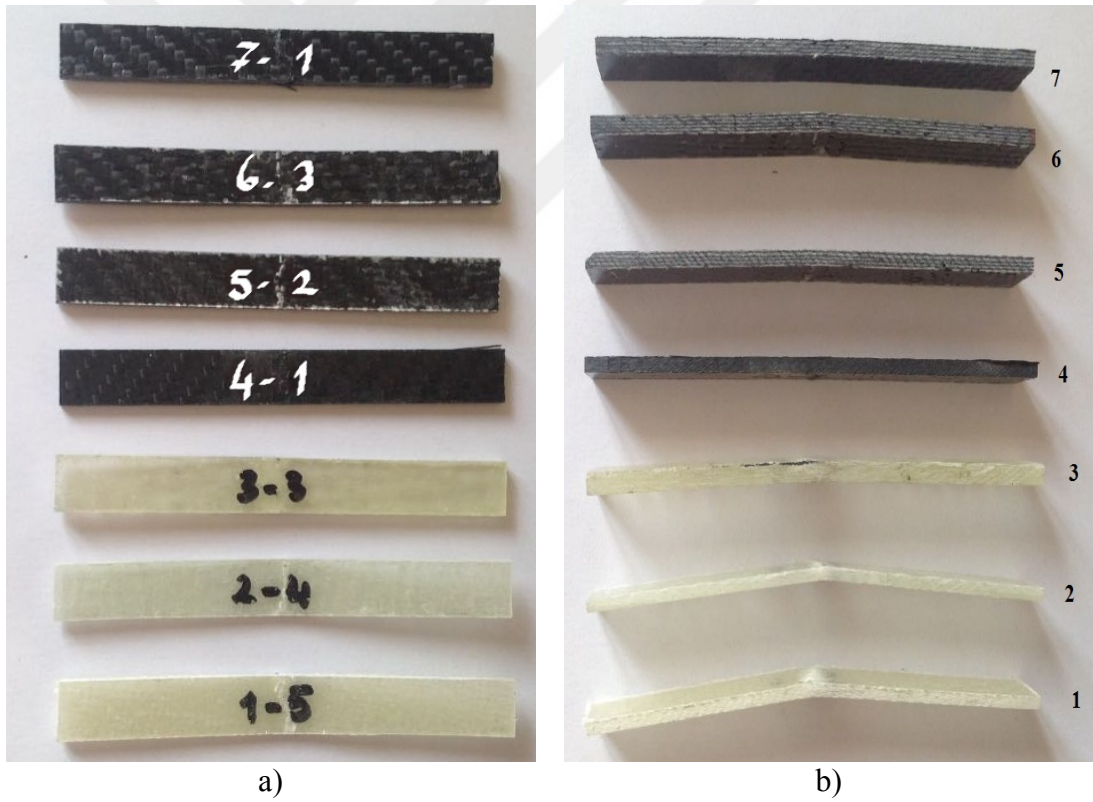
Üç nokta eğilme deneyi sonucunda malzemelerin eğilme dayanımları hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda Çizelge 5.3'te 7 farklı malzeme türü için yapılmış deneyler sonucu elde edilen eğilme dayanımlarının ortalamaları yer almaktadır. Şekil 5.4'te ise kuvvet-sehim grafiği verilmiştir. Malzemelere uygulanan kuvvet sonucunda malzemelerde bir hasar türü olan sehim oluşmaktadır (Resim 5.8).

Çizelge 5.3 Deney sonucunda elde edilmiş eğilme dayanımları

Numune No	1	2	3	4	5	6	7
Eğilme Dayanımı(MPa)	339	504	424	690	473	787	641



Şekil 5.4 Kompozit malzemelerin kuvvet-sehim grafiği



Resim 5.8 Üç nokta eğme deneyi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü
a) Önden görünüş b) Yandan görünüş

Üç nokta eğilme deneyi sonuçlarına göre; 1, 2 ve 3 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere bakıldığında en yüksek eğilme dayanımının 504 MPa ile 2 no'lu malzemenin olduğu görülmüştür. 4 no'lu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemesinin eğilme dayanımının 690 MPa olduğu ve en yüksek cam elyaf takviyeli

kompozitin eğilme dayanımından fazla olduğu görülmektedir. 5,6 ve 7 no'lu hibrit kompozitlerin içinde en yüksek eğilme dayanımına sahip malzeme 6 no'lu malzemedir. 6 no'lu malzemenin eğilme dayanımı ise 787 MPa dır. Buna göre cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin eğilme dayanımının düşük olduğu görülmektedir. Eğilme dayanımı daha düşük olan cam elyafının karbon elyaf ile hibritleştirildiğinde yeni oluşan bu hibrit kompozit malzemenin eğilme dayanımının da artış olduğu görülmektedir. 200 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (5 no'lu numune) yaklaşık %40, 300 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (6 no'lu numune) yaklaşık %56, 500 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (7 no'lu numune) yaklaşık %51 oranlarında eğilme dayanımlarında artış olduğu görülmüştür. Özellikle 1 ve 2 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin sehimleri diğer 3 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemeye göre yüksek çıkmıştır. 3 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin elyaf hacim oranı 1 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzeme ile aynı olmasına rağmen 3 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin fitillerinin daha kalın olmasından dolayı sehimi düşük çıkmıştır.

5.2.3 Pin bearing deneyi

Tasarım yapılırken civata, perçin vb tutturucu yapılarda malzeme üzerine etki eden kuvvetler dikkate alınmalıdır. Bu yüzden malzemeler pin bearing deneyine tabi tutulmalıdır. Deney düzeneğinde bağlantı noktasına pin geçirilir. Malzeme pin bağlanmış olan yerden çekme deneyine tabi tutulur. Burada esas hesaplanmak istenen maksimum Pin bearing gerilmesi hesabıdır. Maksimum pin bearing gerilmesini hesaplamak için Eşitlik 5.5 kullanılır.

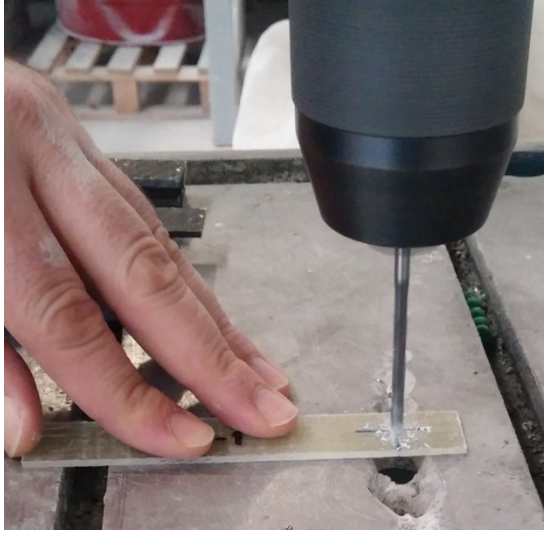
$$\sigma = \frac{F}{D.t} \quad (5.5)$$

Eşitlik 5.5 'te σ : Pin Bearing gerilmesi (N/mm²), F: Kuvvet (N), D: Pin bağlantısı yapılan delik çapı (mm), t: Numunenin et kalınlığı (mm)

Üretilmiş olan plakalar test için deney numunesi durumuna getirilmek için 2mm et kalınlığında 20 mmx120 mm olacak şekilde kesilmiştir. Kesilmiş olan numunelere 4mm çapında delik açılmak üzere Uşak'ta faaliyet göstermekte olan Pull Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San. Tic. A.Ş.'de Resim 5.9'te gösterilmiş olan Sanayi tipi Morgon marka MDP-38 Model matkap ile 4mm çapında delik açılmak üzere Resim 5.10'da gösterildiği gibi uygulanmıştır.



Resim 5.9 Sanayi tipi matkap



a)

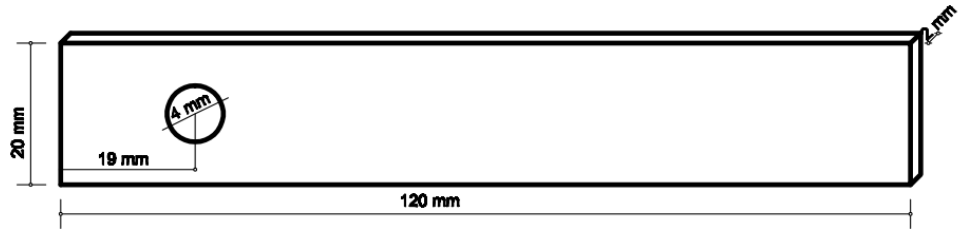


b)

Resim 5.10 4mm'lik matkap ucu ile deliklerin delinmesi işlemi görünüşü a) Cam Elyaf takviyeli kompozit numunenin delinmesi b) Hibrit kompozit malzemenin delinmesi

Şekil 5.5'te ölçüleri verilmiş olan deney numunesinin deneyleri ASTM D953-95 [55] standardında Uşak'ta faaliyet göstermekte olan Pull Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San. Tic. A.Ş.'de Universal Utest marka 7013 model çekme cihazı (Bkz Resim 5.4) Resim 5.11'de görüldüğü şekilde yapılmıştır. Deneylerde 7 farklı

malzeme türünün her biri için en az 5 adet numune kullanılmıştır. Tüm deneyler 1 mm/dk şekil değiştirme hızında (20 ± 1 °C)'de yapılmıştır.



Şekil 5.5 Pin bearing numunesi şematik gösterimi



a)



b)

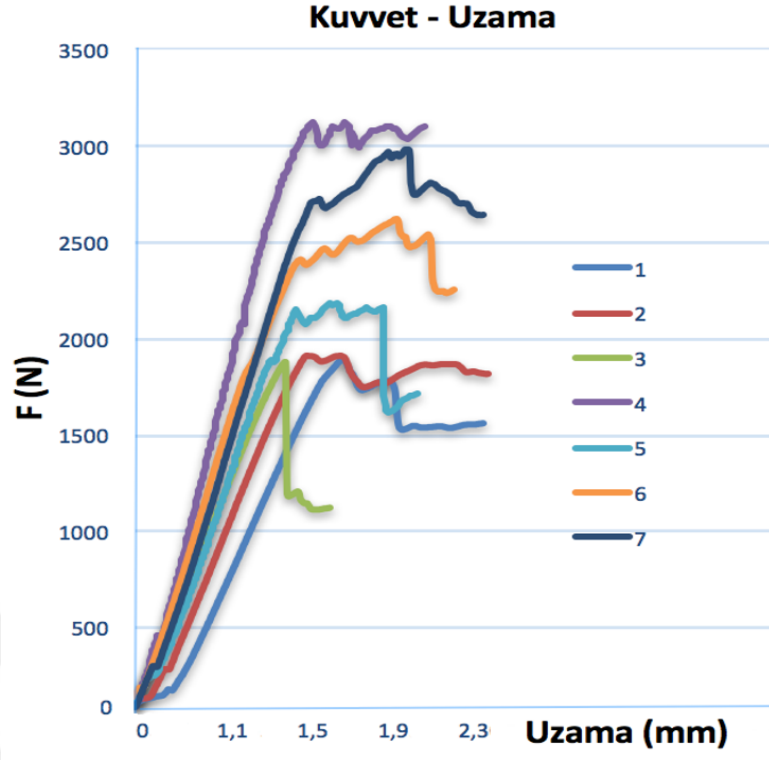
Resim 5.11 Pin bearing numunesinin çekme testi cihazında çenelerde bağlanmış görünümü a) Önden görünüş b) Yandan görünüş

5.2.3.1 Pin bearing deneyi sonuçları ve değerlendirmeler

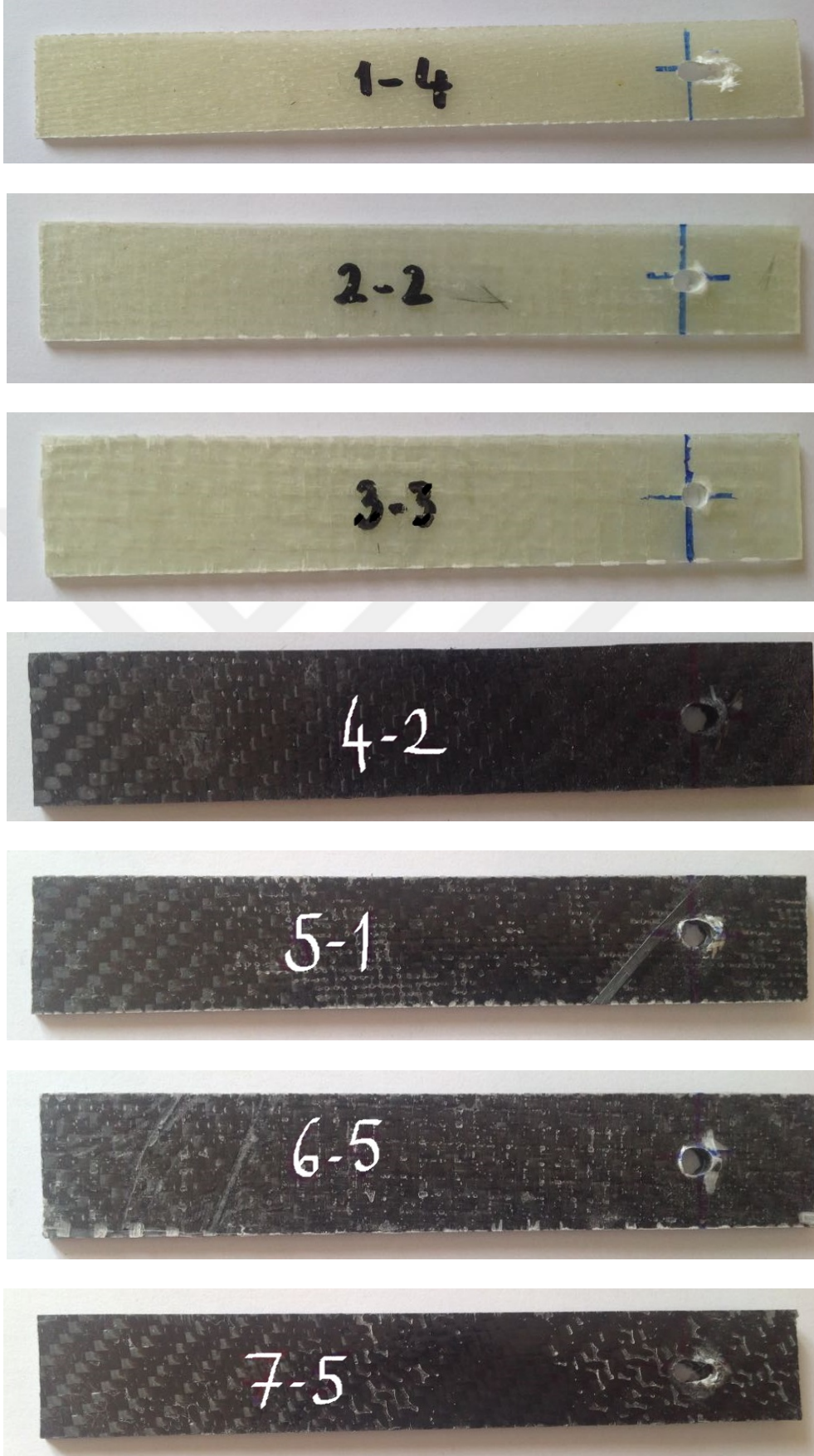
Pin bearing deneyi sonucunda malzemelerin pin bearing dayanımları hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda Çizelge 5.4'te 7 farklı malzeme türü için yapılmış deneyler sonucu elde edilen pin bearing dayanımlarının ortalamaları yer almaktadır. Pinli bağlantı noktasında uygulanan kuvvet sonucunda numunelerde bu bağlantı noktalarında hasarlar meydana gelmiştir (Resim 5.12). Tüm numunelere uygulanan kuvvet ve bu zorlamadan kaynaklanan uzama için, kuvvet-uzama grafiği Şekil 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.4 Deney sonucunda elde edilmiş pin bearing dayanımları

Numune No	1	2	3	4	5	6	7
Pin Bearing Dayanımı(MPa)	228	239	222	313	241	243	303



Şekil 5.6 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği



Resim 5.12 Pin bearing deneyi sonucunda hasara uğramış numunelerin görüntüsü

Pin bearing deneyi sonuçlarına göre; 1,2 ve 3 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere bakıldığında en yüksek pin bearing dayanımının 239 MPa ile 2 no'lu malzemenin olduğu görülmüştür. 4 no'lu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemesinin pin bearing dayanımının 313 MPa olduğu ve en yüksek cam elyaf takviyeli kompozitin pin bearing dayanımından fazla olduğu görülmektedir. 5,6 ve 7 no'lu hibrit kompozitlerin içinde en yüksek pin bearing dayanımına sahip malzeme 7 no'lu malzemedir. 7 no'lu malzemenin pin bearing dayanımı ise 303 MPa'dır. Pin bearing dayanımı daha düşük olan cam elyafının karbon elyaf ile hibritleştirildiğinde yeni oluşan bu hibrit kompozit malzemenin pin bearing dayanımının da artış olduğu görülmektedir. 200 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (5 no'lu numune) yaklaşık %6, 300 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (6 no'lu numune) yaklaşık %2, 500 gr/m²'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (7 no'lu numune) yaklaşık %36 oranlarında pin bearing dayanımlarında artış olduğu görülmüştür. Burada özellikle 5 ve 6 no'lu hibrit kompozit malzemelerde artış çok yüksek olmazken 7 no'lu hibrit kompozit malzemedeki artışın yüksek olduğu görülmektedir. Malzeme pin bearing kuvvetlere en fazla dış katmanda maruz kalmaktadır. 7 no'lu hibrit kompozit malzemenin dış katmanları karbon elyaf malzemedir. 7 no'lu hibrit kompozit malzemenin pin bearing dayanımının yüksek çıkması bu nedenledir.

5.3 Darbe Dayanımlarını Belirleme Deneyleri

5.3.1 Çentik darbe deneyi

Üretilmiş olan plakalar test için deney numunesi durumuna getirilmek için 2mm kalınlığında 10 mmx63 mm ölçülerinde kesilmiştir. Kesilmiş olan parçalar çentikleri açılmak üzere Resim 5.13'te gösterilmiş olan Uşak Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarındaki İnternasyonal marka SDR54 Model çentik açma cihazı ile standarta uygun ölçülerde açılmıştır.

Kompozit malzemelerin darbe dayanımlarına ait mekanik özelliklerinin tespiti amacıyla Resim 5.14'de görülen HST Marka XJXD-50 Model İzod çentik darbe test cihazı kullanılmıştır. Test cihazı serbest ağırlık düşürülerek yapılmaktadır ve tüm veriler sistem kontrollüdür. Test cihazı düşürülen sarkacın ağırlığını, yüksekliğini, hız ve enerji gibi birçok veriyi kontrol edebilme özelliklerine sahiptir. Test cihazı ile 5 ve 5.5 J olmak üzere darbe enerjisi yüklenebilmekte ve 2,9 m/s, 3,5m/s ve 3,8 m/s gibi farklı hız seçenekleri ile deneyler yapılabilmektedir. Test cihazının çalışma prensibine göre Resim 5.15'te verilmiş olan numuneler test bağlantı çenelerine bağlanır (Resim 5.16). Vurucu istenilen yüksekliğe çıkarılarak potansiyel enerji kazandırılır. Kazanılan potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşerek hızlanır ve numuneyi kırar. Kırılma meydana geldikten sonra vurucu tarafından üretilmiş bu yük sinyalleri yük verileri olarak bilgisayardaki veri toplama kısmına aktarılır. Buradaki veriler impuls veri elde etme yazılımı sayesinde düzenlenerek darbe enerjileri ve darbe dayanımları elde edilebilmektedir.

$$\alpha_{\text{ç}} = \frac{E_k}{A_0} 10^3 \quad (5.6)$$

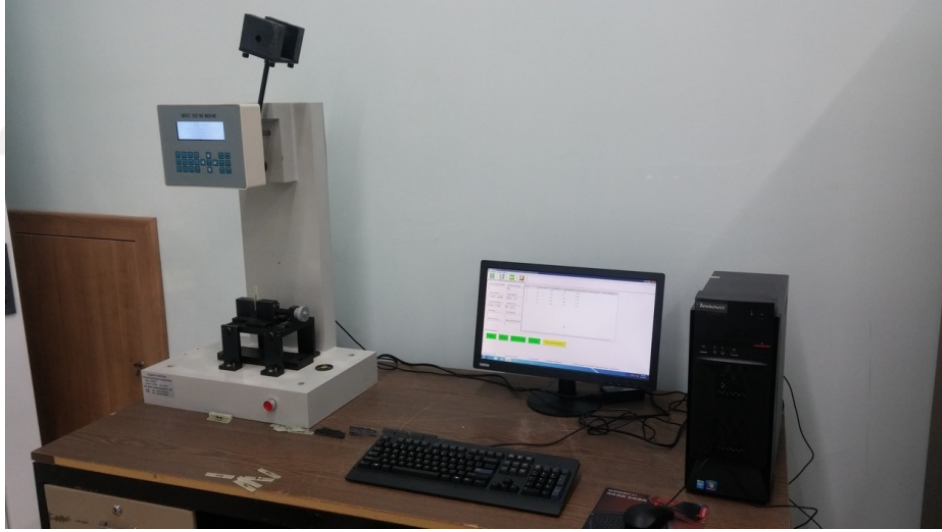
Eşitlik 5.6'da $\alpha_{\text{ç}}$: Darbe dayanımı, E_k : Kırılma enerjisi, A_0 : Çentik dibi kesit alanı olarak tanımlanabilir.

Şekil 5.7'de ölçüleri verilmiş olan numunelerin darbe davranışlarının belirlenmesi için çentik darbe deneyleri, TS EN İSO 180/A1 [56] standartına göre Uşak

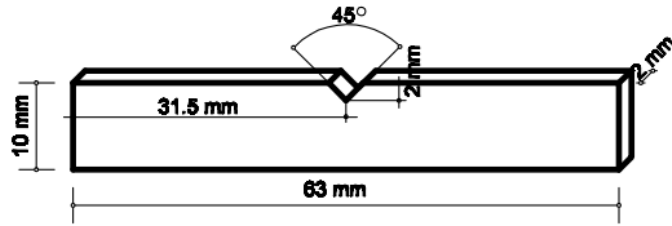
Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümü konstrüksiyon ve imalat laboratuvarındaki çentik darbe test cihazı ile (20 ± 1 °C)'de yapılmıştır.



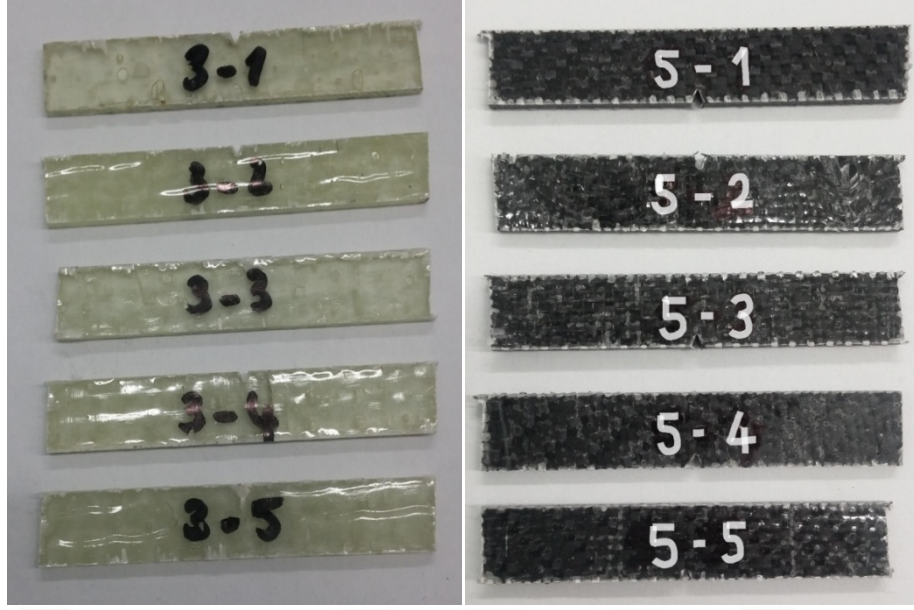
Resim 5.13 Çentik açma cihazı



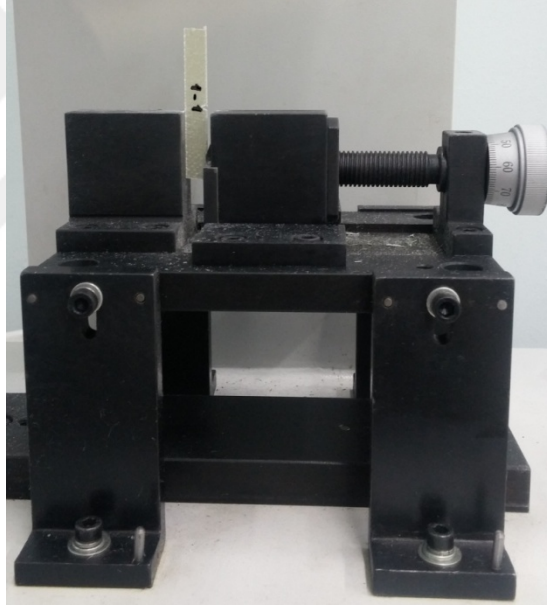
Resim 5.14 Çentik darbe test cihazı



Şekil 5.7 Çentik darbe numunesi şematik gösterimi



Resim 5.15 3 ve 5 nolu üretim için 5 farklı çentik açılmış test numunesi



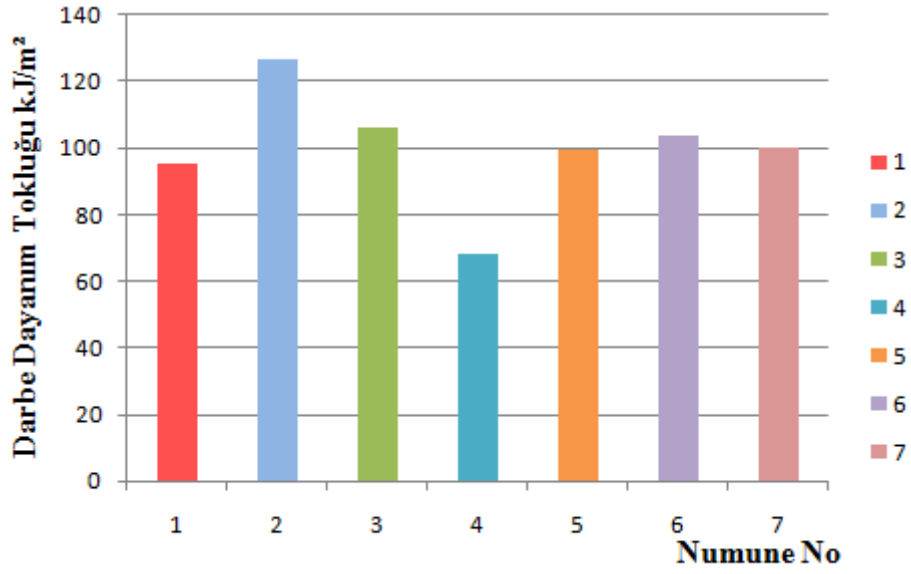
Resim 5.16 Numunenin çentik darbe test cihazının çenelerine bağlanmış görünümü

5.3.1.1 Çentik darbe deneyi sonuçları ve değerlendirmeler

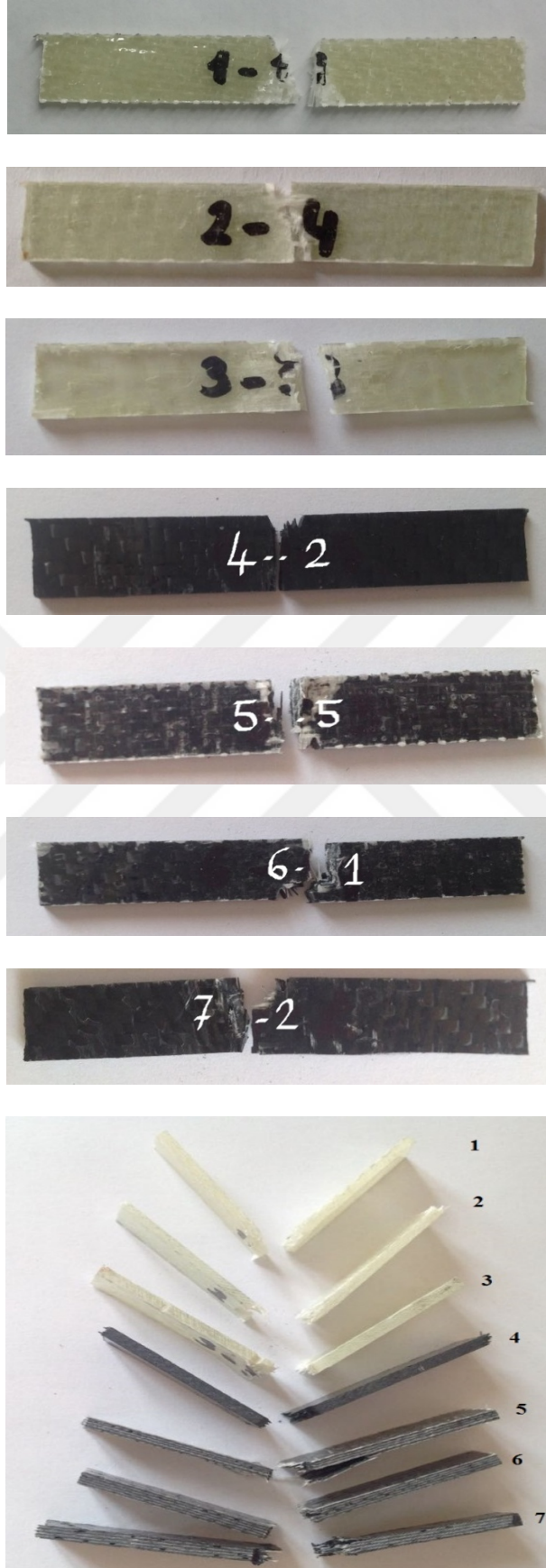
Çentik darbe deneyi sonucunda malzemelerin darbe dayanımları hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda Çizelge 5.5’de 7 farklı malzeme türü için yapılmış deneyler sonucu elde edilen darbe enerjilerinin, çentik dibi kesit alanlarının ve darbe dayanımlarının ortalamaları yer almaktadır. Darbe dayanımlarının sütun grafiği şeklinde gösterimi Şekil 5.8’de verilmiştir. Çentik darbe testi sonucunda hasara uğramış numuneler Resim 5.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 Deney sonucunda elde edilmiş darbe dayanımları ve darbe enerjileri

Numune No	1	2	3	4	5	6	7
Darbe Enerjisi (J)	1,4	2,1	2,1	1,3	2	2,3	2,3
A ₀ (mm ²)	14,9	16,4	19,5	18,9	19,8	22,2	22,6
Darbe Tokluğu (kJ/m ²)	96	127	106	68	99	104	100



Şekil 5.8 Kompozit malzemelerin darbe dayanımlarının grafiksel gösterimi



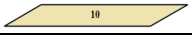
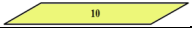


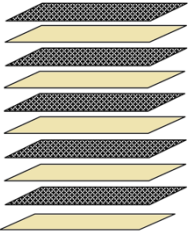
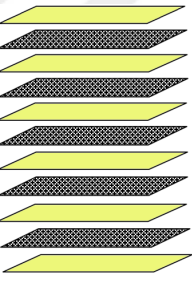
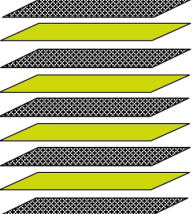
Resim 5.17 Çentik darbe testi sonucunda hasara uğramış kompozit numuneler

Çentik darbe deneyi sonuçlarına göre; 1, 2 ve 3 no'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere bakıldığında en yüksek darbe dayanımının 127 kJ/m^2 ile 2 no'lu malzeme en düşük darbe dayanımı ise 96 kJ/m^2 ile 1 no'lu malzeme olduğu görülmüştür. 4 no'lu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemesinin darbe dayanımının 68 kJ/m^2 olduğu ve en düşük cam elyaf takviyeli kompozitin darbe dayanımından bile düşük olduğu görülmektedir. 5, 6 ve 7 no'lu hibrit kompozitlerin içinde en yüksek darbe dayanımına sahip malzeme 6 no'lu malzemedir. 6 no'lu malzemenin darbe dayanımı ise 104 kJ/m^2 'dir. Buna göre karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin darbe dayanımının düşük olduğu görülmektedir. Darbe dayanımı daha düşük olan karbon elyafının çeşitli cam elyafı ile hibritleştirildiğinde yeni oluşan bu hibrit kompozit malzemenin darbe dayanımının da artış olduğu görülmektedir. 200 gr/m^2 'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (5 no'lu numune) yaklaşık %46, 300 gr/m^2 'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (6 no'lu numune) yaklaşık %51, 500 gr/m^2 'lik cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde (7 no'lu numune) yaklaşık %47 oranlarında darbe dayanımlarında artış olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

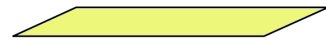
Tez çalışması kapsamında üretimi yapılan kompozit malzemelerin deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen elyaf hacim oranı, çekme dayanımı, eğme dayanımı, pin bearing dayanımı ve darbe dayanımı gibi deneysel sonuçlar aşağıdaki Çizelge 6.1’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 6.1 Üretilen kompozit malzemelerin üretim ve mekaniksel özellikleri

Üretim No	Dizilimleri	Elyaf Hacim Oranı (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Pin Bearing Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (Kj/m ²)
1		58,7	274	339	228	96
2		64	317	504	239	127
3		58	272	424	222	106
4		41,2	625	690	313	68
5		49,7	395	473	241	99
6		44,8	468	787	243	104
7		46,9	393	641	303	100



a)



b)



c)



d)

Şekil 6.1 (a) 200 gr/m² cam dokuma kumaş, (b) 300 gr/m² cam dokuma kumaş, c) 500 gr/m² cam dokuma kumaş, d) 245 gr/m² karbon dokuma kumaş

Üretimi yapılan kompozit malzemelerin ilgili standartlarına göre yapılan çekme deneyleri sonucunda 1, 2 ve 3 No'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çekme dayanımları 274, 317 ve 272 MPa olarak bulunmuştur. Bu sonuçlarda en yüksek çekme dayanımının 317 MPa ile 2 No'lu malzemenin olduğu görülmüştür. 4 No'lu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin çekme dayanımı ise 625 MPa olarak elde edilmiştir. 5, 6 ve 7 No'lu hibrit kompozit malzemelerin çekme dayanımları sırasıyla 395, 468 ve 393 MPa dır. Bu sonuçlara göre; çekme dayanımı karbon elyafına göre düşük olan cam elyafı, karbon elyafı ile hibritleştiğinde oluşan yeni malzemenin çekme dayanımları cam elyaf takviyeli kompozit malzemeye göre yaklaşık % 45 oranında artmış olduğu görülmüştür.

Burada karbon elyafının 3 nokta eğilme deneyleri sonucunda 1, 2 ve 3 No'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin eğilme dayanımları 339, 504 ve 424 MPa olarak bulunmuştur. Bu sonuçlarda en yüksek eğilme dayanımının 504 MPa ile 2 No'lu malzemenin olduğu görülmüştür. 4 No'lu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin eğilme dayanımı ise 690 MPa olarak elde edilmiştir. 5, 6 ve 7 No'lu hibrit kompozit malzemelerin eğilme dayanımları sırasıyla 473, 787 ve 641 MPa'dır. Bu sonuçlara göre; eğilme dayanımı karbon elyafına göre düşük olan cam elyafı, karbon elyafı ile hibritleştiğinde oluşan yeni malzemenin eğilme dayanımları cam elyaf takviyeli kompozit malzemeye göre yaklaşık %49 oranında artmış olduğu görülmüştür.

Pin bearing deneyi sonucunda 1, 2 ve 3 No'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin pin bearing dayanımları 228, 239 ve 222 MPa olarak elde edilmiştir. 4 No'lu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin pin bearing dayanımı 313 MPa ile 1, 2 ve 3 No'lu malzemelerden yüksek olduğu görülmüştür. 5,6 ve 7 No'lu hibrit kompozit malzemelerin pin bearing dayanımları sırasıyla 241, 243 ve 303 MPa dır. 1 No'lu cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde yaklaşık %6, 2 No'lu cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde yaklaşık %2, 3 No'lu cam elyafın karbon hibritleştirildiğinde yaklaşık %36 oranlarında pin bearing dayanımlarında artış olmuştur. Burada özellikle 5 ve 6 no'lu hibrit kompozit malzemelerde artış çok yüksek olmazken 7 no'lu hibrit kompozit malzemedeki artışın yüksek olduğu görülmektedir. Malzeme pin bearing kuvvetlere en fazla dış katmanda maruz kalmaktadır. 7 no'lu hibrit kompozit malzemenin dış katmanları karbon elyaf malzemedir. 7 no'lu hibrit kompozit malzemenin pin bearing dayanımının yüksek çıkması bu nedenledir.

Darbe deneyleri sonucunda ise tam tersi bir durumla karşılaşmıştır. 1, 2 ve 3 No'lu cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin darbe dayanımları sırasıyla 96, 127 ve 106 kJ/m² olarak bulunmuştur. 4 No'lu karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin darbe dayanımı ise 68 kJ/m² dir. Bu sonuçlar göstermiştir ki karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin darbe dayanımı daha düşüktür. 5, 6 ve 7 No'lu hibrit kompozit malzemelerin darbe dayanımları sırasıyla 99, 104 ve 100 kJ/m² dir. Bu sonuçlara göre karbon elyafı, cam elyaf ile hibritleştirildiğinde karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeye göre darbe dayanımlarında yaklaşık %48 oranında artış olduğu görülmüştür.

Elde edilen tüm sonuçlara göre, hibrit malzemedeki cam elyaf darbe dayanımını artırırken, karbon elyafı çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve pin bearing dayanımı gibi mekanik özellikleri arttırdığı gözlemlenmiştir [57, 58, 59, 60].

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretimi yapılırken üretimde kullanılan dokuma kumaş yoğunluğunun üretilen kompozit malzemelerin mekaniksel özelliklerini önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir.

Ayrıca hibrit kompozit malzemelerin sıcaklığa bağı olarak mekaniksel özelliklerinin nasıl değıştiğı incelenebilir.



KAYNAKLAR

1. Safri, S.N.A, Sultan, M.T.H., Jawaid, M., Jayakrishna, K., 2018, "Impact behaviour of hybrid composites for structural applications: A review", *Composites Part B*, 133: 112-121.
2. Zhang, J., Chaisombat, K., He S., Wang, C.H., 2012, "Hybrid composite laminates reinforced with glass/carbon woven fabrics for lightweight load bearing structures", *Materials and Design*, 36: 75-80.
3. Swolfs, Y., Gorbatiikh, L., Verpoest, I., 2014, "Fibre hybridisation in polymer composites: A review", *Composites: Part A*, 67 :181-200.
4. Bilge, K., Ozden Yenigun, E., Simsek, E., Menciloglu, Y.Z., Papila, M., 2012, "Structural composites hybridized with epoxy compatible polymer/MWCNT nanofibrous interlayers", *Composites Science and Technology*, 72:1639-1645.
5. Onal, L., Adanur, S., 2002, "Effect of stacking sequence on the mechanical properties of glass-carbon hybrid composites before and after impact", *Journal Of Industrial Textiles*, 31(4):255-271.
6. Bandaru, A.K., Vetiyatil, L., Ahmad, S., 2015, "The effect of hybridization on the ballistic impact behavior of hybrid composite armors", *Composites: Part B*, 76:300-319.
7. Boria, S., Pavlovic, A., Fragassa, C., Santulli, C., 2016, "Modeling of falling weight impact behavior of hybrid basalt/flax vinylester composites", *Science Direct*, 167:223-230.
8. Adams, D.F., Miller, A.K., 2016, "An analysis of the impact behavior of hybrid composite materials", *Materials Science And Engineering*, 19(2):245-260.
9. Azouaoui, K., Azari, Z., Pluvillage, G., 2010, "Evaluation of impact fatigue damage in glass/epoxy composite laminate", *International Journal of Fatigue*, 32:443-452.
10. Sayer, M., 2009, "Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi", Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 11-33.

11. Sevensan, G., 2011, “1x1 rib örgü yapısındaki karbon ve cam elyafından elde edilen hibrit kompozit yapıların mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak, 1-78.
12. Güneş, A., 2013, “Üzerinde yüzey çatlakları bulunan hibrid tabakalanmış kompozit levhaların dinamik davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-101.
13. Esendemir, Ü., Caner, A.Y., 2017, “Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışının deneysel olarak incelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1-9.
14. Sohn, M.S., Hu, X.Z., 1996, “Impact and high strain rate delamination characteristics of carbon fibre epoxy composites”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 25:17-29.
15. Akın, C., Şenel, M., 2010, “An experimental study of low velocity impact response for composite laminated plates”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21:77-90.
16. Fu, S.Y., Lauke, B., Mader, E., Hu, X., Yue, C.Y. 1999, “Fracture resistance of short glass fiber reinforced and short carbon fiber reinforced polypropylene under Charpy impact load and its dependence on processing”, *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90:501-507.
17. Tjong, S.C., Xu, S.A., Mai, Y.W., 2003, “Impact fracture toughness of short glass fiber-reinforced polyamide 6,6 hybrid composites containing elastomer particles using essential work of fracture concept”, *Materials Science and Engineering A*, 347:338-345.
18. Gatti, M. C. A., Tarpani, J. R. 2007, “Charpy impact toughness of conventional and advanced composite laminates for aircraft construction”, *19th International Congress of Mechanical Engineering*, 1-10.
19. Yapıcı, İ., Yapıcı, A., 2012, “E-Cam/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi”, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2):48-60.
20. Hristova, V.N., Lach, R., Grellmann W., 2004, “Impact fracture behavior of modified polypropylene/wood fiber composites”, *Polymer Testing*, 23:581-589.
21. Deng, S., Ye, L., Mai, Y.W., 1999, “Influence of fibre cross-sectional aspect ratio on mechanical properties of glass-fibre/epoxy composites II. interlaminar

- fracture and impact behaviour”, *Composites Science and Technology*, 59:1725-1734.
22. Gustin, J., Joneson, A., Mahinfalah, M., Stone, J., 2005, “Low velocity impact of combination Kevlar/carbon fiber sandwich composites”, *Composite Structures*, 69:396–406.
 23. Singh, S., Srivastava, V.K., Prakash, R., 2012, “Mechanical properties and morphological studies of C/C–SiC composites”, *Materials Science and Engineering A*, 534:707–710.
 24. Doğan, M., 2017, “Tek”, Tezsiz Yüksek Lisans Bitirme Projesi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 1-42.
 25. Dong, J., Locquet, A., Declercq, N. F., Citrin, D.S., 2016, “Polarization-resolved terahertz imaging of intra- and inter-laminar damages in hybrid fiber-reinforced composite laminate subject to low-velocity impact”, *Composites Part B*, 92:167–174.
 26. Ranganathan, N., Oksman, K., Nayak, S. K., Sain, M., 2016, “Impact toughness, viscoelastic behavior, and morphology of polypropylene–jute–viscose hybrid composites”, *Journal of Applied Polymer Science*, 133:1–11.
 27. Altun, M.S., 2016, “Yerçekimi basınçlı sıcak kalıplama ile plastik esaslı kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 1-55.
 28. Khalili S, M.R., Shokuhfar, A., Malekzadeh, F. K., Ghasemi, A., 2007, “Low-velocity impact response of active thin-walled hybrid composite structures embedded with SMA wires”, *Thin-Walled Structures*, 45:799–808.
 29. Park, R., Jang, J., 2000, “Effect of laminate geometry on impact performance of aramid fiber/polyethylene fiber hybrid composites”, *Journal of Applied Polymer Science*, 75:952–959.
 30. Salehi-Khojin, A., Bashirzadeh, R., Mahinfalah, M., Nakhaei-Jazar, R., 2006, “The role of temperature on impact properties of Kevlar/fiberglass composite laminates”, *Composites Part B*, 37:593–602.
 31. Jones, R.M., 1999, “Mechanics of composite materials”, *Blacksburg, Virginia*, 1- 5.
 32. Şahin, Y., 2006, “Kompozit malzemelere giriş”, *Ankara, Türkiye*, 29- 33.
 33. Agarwal, B. D., Broutman, L. J., Chandrashekhar K., 2006, “Analysis and performance of fiber composites”, *Wiley J., New Jersey, ABD*, 58- 59.

34. Ha, J., 1991, "Toughening mechanisms in weak matrix ceramic composites, doktora tezi, university of missouri-rolla", PhD Thesis, *United States of America*.
35. Mallick, P.K.,2007, "Fiber-reinforced composites materials manufacturing and design", *United States of America*, 60- 62.
36. Aktaş, M., 2003, "Düzlem dışı düzgün yayılı yüke maruz kompozit levhada elasto-plastik gerilme analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
37. Metin, M., 2008, "E-Camı/epoksitabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe hasarının burkulma özelliklerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-94.
38. Asi, D., 2008, "Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 1-62.
39. Arasan, Ş., 2014, "Hibrit kompozitlerin kırılma tokluğunun belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak, 1-85.
40. Stronge, W.J., 2000, *Impact Mechanics*, Cambridge *United Kingdom*, 1- 19.
41. Hancox, N. L., 2000, "An overview of the impact behavior of fibre reinforced composites", "Impact behaviour of fibre-reinforced composite materials and structures", Reid, S. R., Zhou, G., Cambridge *United Kingdom*, 9-13.
42. Palazotto, A.N., Gummadi, L.N.B., Vaidya, U.K., Herup, E.J., 1998, "Low velocity impact damage characteristics of Z-fiber reinforced sandwich panels an experimental study", *Composite Structures*, 43(4):275–288.
43. Aktaş, M., 2007, "Temperature effect on impact behavior of laminated composite plates", Doktora Tezi,*Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-136.
44. Durgut, Y., Sarıyerli, G.S., Turhan, L., Yalçın, E. B. ,Tuna, V., Aydemir, B., Bağcı, E., 2013, "Dinamik basınç dönüştürücülerin darbe test makinasıyla kalibrasyonlarının incelenmesi", VIII. Ulusal Ölçübilim Kongresi, Kocaeli, 1-9.
45. Abrate, S. ,1998, "Impact on composite structures", *Cambridge University Press*, United Kingdom, 1-289.
46. Mili, F., Necib, B., 2001,"Impact behaviour of cross-ply laminated composite plates under low velocities.", *Composite Structures*, 51: 237-244.

47. Ross, C.A., 1989, “Split hopkinson pressure bar tests”, Florida, USA, 6-12.
48. Shu, D. W., Zhou, W., Ma, G. W.,2007, “Tensile Mechanical Properties of AM50A Alloy by Hopkinson Bar”, *Key Engineering Materials*, (340-341): 247-254.
49. Heslehurst, R.B.,2014, “Defects and damage in composite materials and structures”, Florida,USA, 1-214.
50. Ulcay, Y., Akyol, M., Gemci, R., 2002, “Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, 7(1): 93-116.
51. Karaca, D., 2010, “Farklı kalınlık ve oryantasyon yüzdelilerindeki tabakalı kompozit levhaların düşük hızlı darbe enerjileri altında davranışlarının deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara. 1-136
52. Tekstil, cam takviyeli plâstikler, prepregler, kalıplama hamurları ve lâminantlar, tekstil, cam ve mineral dolgu muhtevasının tayini kalsinasyon metotları, 2004, TS 1177 EN ISO 1172, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye
53. ASTM standards and literature referances for composite materials, 1990, Standard test method for tensile properties of fiber-resin composites D 3039-76, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA.
54. Plastikler eğilme özelliklerinin tayini, 2011, TS EN ISO 178:2010, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye
55. ASTM Standards And Literature Referances For Composite Materials, 2002, Standard test method for bearing strength of plastics, D 953-95, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA.
56. Plastikler-Izod darbe mukavemetinin tayini, 2007, TS EN ISO 180/A1, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye
57. Di Franco, G., Fratini, L., Pasta, A., Ruisi, V. F., 2010, “On the self-piercing riveting of aluminium blanks and carbon fibre composite panels ”, *International Journal of Mater Form*, 3, 1:1035–1038.
58. Chang, M. S., 2010, “An investigation on the dynamic behavior and thermal properties of MWCNTs/FRP laminate composites”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (24), 3593-3599.

59. Asi, O., 2009, “Effect of different woven linear densities on the bearing strength behaviour of glass fiber reinforced epoxy composites pinned joints”, *Composite Structures*, 90, 43-52.
60. Iancu, H., Bere, P., Borzan, M., Hancu, I., Crai, A., 2008, “The influence of reinforced materials and manufacturing procedures on the mechanical characteristics of polymeric composite materials”, *Materiale Plastice*, 45,3.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖR, Abdulsamet
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.06.1988 Samsun
Medeni hali : Evli
e-mail : abdulametgor@hotmail.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kocaeli Üniversitesi	2013
Lise	Yahya Kaptan Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2014	Atak Isı	Proje Mühendisi
2014-2017	Adnan Menderes Üniversitesi	Makina Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce