



**ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERDE ÜRETİM
PARAMETRELERİNİN MALZEMENİN MEKANİKSEL VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Fadime Kübra DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr Osman ASİ

UŞAK,2019

**Bu çalışma , Uşak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi tarafından 2014 / TP018 numaralı proje ile desteklenmiştir.**

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERDE ÜRETİM
PARAMETRELERİNİN MALZEMENİN MEKANİKSEL VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fadime Kübra DEMİR

TEMMUZ 2019

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERDE ÜRETİM
PARAMETRELERİNİN MALZEMENİN MEKANİKSEL VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fadime Kübra DEMİR

UŞAK 2019

Fadime Kübra DEMİR tarafından hazırlanan "Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerde Üretim Parametrelerinin Malzemenin Mekaniksel Ve Fiziksel Özelliklerine Etkisinin 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 / oy çokluğu ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Osman ASİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Abdullah YILDIZ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Gökmen ATLIHAN
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi

Tarih: 12 / 07 /2019

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

Doç. Dr. Murat Kemal KARACAN

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 yapıldığını bildiririm.

Fadime Kübra DEMİR

**ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERDE ÜRETİM
PARAMETRELERİNİN MALZEMENİN MEKANİKSEL VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Fadime Kübra DEMİR

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2019

ÖZET

Bu tez çalışmasında el yatırma yöntemi ile üretimi yapılan elyaf takviyeli kompozit malzemelerde üretim parametrelerinin malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde 4 farklı dokuma kumaş yoğunluğuna sahip cam elyafli dokuma kumaşlar (200gr/m^2 , 300gr/m^2 , 500gr/m^2 , 800gr/m^2) ve epoksi reçine kullanılarak hibrit ve hibrit olmayan kompozit malzemelerin üretimleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin ve testlerin sonuçlarına göre; üretim parametrelerinin kompozit malzemelerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 625.02.05.

Anahtar Kelimeler : Kompozit malzeme, Epoksi reçine, Cam elyafı, Mekaniksel özellikler, Fiziksel özellikler

Sayfa Adedi :76

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Osman ASİ

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PRODUCTION PARAMETERS ON
THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF MATERIAL IN
FIBER REINFORCED COMPOSITE MATERIALS**

(M.Sc. Thesis)

Fadime Kübra DEMİR

UNIVERSITY OF UŞAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In this thesis, the effect of production parameters on the mechanical and physical properties of fiber reinforced composite materials produced by hand depositing method was investigated. In the production of composite materials, hybrid and non-hybrid composite materials were produced by using glass fiber woven fabrics (200g / m², 300g / m², 500g / m², 800 g / m²) and epoxy resin with 4 different woven fabric densities. According to the results of the experiments and tests; It has been determined that production parameters have a significant effect on the mechanical and physical properties of composite materials.

Science Code : 625.02.05.

Key Words : Composite material, epoxy resin, fiber glass, mechanical properties, Physical properties

Page Number:76

Adviser : Prof. Dr. Osman ASİ

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőması Uşak Üniversitesi 2014 / TP018 kodlu BAP projesi desteğiyle yapılmıştır.

Bu alıőma boyunca her aőamasında engin bilgi ve desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Osman ASİ'ye çok teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmada kullanılan deney malzemelerinin üretimini yapmıő olduğum İzoreel Kompozit İzole Malzemeler San. ve Tic.Ltd.ve deneysel çalışmaları yapmıő olduğum Pull- Tech Frp Kompozit Yapı Tekn.İmalat San.Tic.A.Ő.firmaları çalıőanlarına ve son olarak halen çalıőmakta olduğum Türk Havacılık ve Uzay Sanayii'ne tezimdaki görsellerden dolayı teőekkürü borç bilirim.

Son olarak hayatımda olduğu andan itibaren desteğini görmüő olduğum eőime ve ailemize yeni katılan biricik kızıma göstermiő oldukları sabır ve anlayıőlarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vi
RESİMLERİN LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Özgünlüğü.....	3
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	6
2.1.1 Islak Method (Wet Lay-Up).....	6
2.1.2 Püskürtme Yöntemi (Spray-Up)	8
2.1.3 Elyaf Sarma (Flament Winding).....	8
2.1.4 Pres Kalıplama (Pres Molding).....	8
2.1.5 Reçine Transfer Methodu (Resin Transfer Method).....	9
2.1.5 Profil Çekme (Pultrusion)	10
2.1.7 Eriyen Kalıp Yöntemi (Paraplast).....	11
2.2 Matris Malzeme Cinsine Göre Kompozit Malzemeler	13
2.2.1 Metal Matrisli Kompozitler (MMK).....	13
2.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler (SMK).....	14
2.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)	14
2.3 Takviye Elemanlarının Yerleştirilmesine Göre Kompozit Malzemeler	15
2.3.1 Tabakalı Kompozitler	16
2.3.2 Partikül Takviyeli Kompozitler	17
2.3.3 Karma (Hibrit) Kompozitler	17
2.3.4 Elyaf Takviyeli Kompozitler	18
3. MATERYAL VE METHOD	31
3.1 Kompozit Plakaların Üretim Aşamaları	31

4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	34
4.1	Kalsinasyon Deneyleri	34
4.1.1	Kalsinasyon deney sonuçları ve değerlendirmeler.....	37
4.2	Mekanik Özellikleri Belirleme Deneyleri	38
4.2.1	Çekme deneyi.....	38
4.2.2	Üç nokta eğilme deneyi.....	45
4.2.3	Çentik darbe dayanımlarını belirleme deneyleri	49
4.3	Fiziksel Özellikleri Belirleme Deneyleri.....	53
4.3.1	Yoğunluk Ölçümü.....	53
4.3.2	Kompozit Malzemelerin Porozite Değerlerinin Belirlenmesi	55
5	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57
	KAYNAKLAR.....	59
	ÖZGEÇMİŞ.....	61

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3-1 Reçine ve sertleştirici özellikleri	32
Çizelge 3-2 Üretimi yapılacak plakaların katman sayıları ve dizilimleri	32
Çizelge 4-1 Deney sonucunda elde edilmiş yüzde elyaf ağırlık oranları.....	38
Çizelge 4-2 Deney sonucunda elde edilmiş çekme dayanımları.....	40
Çizelge 4-3 Deney sonucunda elde edilmiş eğilme dayanımları	47
Çizelge 4-4 Deney sonucunda elde edilmiş darbe dayanımları ve darbe enerjileri ...	52
Çizelge 4-5 Kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri	54
Çizelge 4-6 Epoksi reçine, cam elyafı, seramik tozların firmadan alınan yoğunluk değerleri.....	55
Çizelge 4-7 Kompozit malzemelerin porozite değerleri	55
Çizelge 5-1 Kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel değerleri	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kompozit yapı gösterimi	4
Şekil 2.2 Kompozit yapı ile geliştirilen çekme-uzama özelliği [10].....	5
Şekil 2.3 Kompozitlerin gruplandırılması [11]	12
Şekil 2.4 Termoset matris atomları (a) Termoplastik matris atomları (b) [14].....	15
Şekil 2.5 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması [15].....	16
Şekil 2.6 Bir grafit kristalindeki karbon atomlarının düzenlenmesi [14].....	21
Şekil 2.7 Elyaf oryantasyonu gösterimi	21
Şekil 2.8 Aramid (kevlar) elyaf örneği	23
Şekil 4.1 Çekme deneyi numunesi şematik gösterimi	39
Şekil 4.2 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_2:200 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı .	40
Şekil 4.3 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_3:300 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı .	41
Şekil 4.4 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_5:500 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı .	41
Şekil 4.5 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_8:800 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı .	42
Şekil 4.6 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_2:200 \text{ gr/m}^2 + G_3:300 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı	42
Şekil 4.7 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_2:200 \text{ gr/m}^2 + G_5:500 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı	43
Şekil 4.8 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_3:300 \text{ gr/m}^2 + G_5:500 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı	43
Şekil 4.9 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_2:200 \text{ gr/m}^2 + G_3:300 \text{ gr/m}^2$ $+ G_5:500 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı	44
Şekil 4.10 Kompozit malzemelerin gerilme şekil değiştirme grafiği	45
Şekil 4.11 Eğme deney numunesi	46
Şekil 4.12 Kompozit malzemelerin kuvvet sehim grafiği.....	48
Şekil 4.13 Kompozit malzemelerin gerilme şekil değiştirme grafiği	48
Şekil 4.14 Çentik darbe numunesi şematik gösterimi	51
Şekil 4.15 Kompozit malzemelerin darbe dayanımlarının grafiksel gösterimi	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Sayfa

Resim 2-1 Islak serim aşamaları a)Fiber glass kesimi ve serimi b)Reçine ilavesi c)Farklı açılarda fiber serimi d)Vakumlama işlemi e)Kür ve demould işlemi	7
Resim 2-2 RTM molding örneği	10
Resim 2-3 Profil çekme şematik gösterimi	11
Resim 2-4 Pultrüzyonla üretilmiş kompozit örnekleri	11
Resim 2-5 Bir paraplast örneği	12
Resim 2-6 a) Karbon/cam b) Cam/aramid(kevlar).....	17
Resim 2-7 Fiber glass örnekleri	20
Resim 2-8 Karbon elyafı örneği	21
Resim 2-9 Warp side gösterimi.....	22
Resim 2-10 Weft Side Gösterimi	22
Resim 2-11 Honeycomb(balpeteği) örnekleri	24
Resim 2-12 Balpeteği işleme	25
Resim 2-13 Alüminyum balpeteği	25
Resim 2-14 Sandviç yapı örnekleri	26
Resim 2-15 a) Otoklav örneği b) Fırın örneği.....	27
Resim 2-16 Vakuma alınan kompozit malzemenin otoklava girişi ve otoklava bağlanması.....	27
Resim 2-17 Reçinesi az bölge örneği.....	28
Resim 2-18 Kırışma (wrinkle) örnekleri	29
Resim 2-19 Yanma hatası	30
Resim 3-1 Üretimde kullanılan cam elyaf takviyeli dokuma kumaşlar	31
Resim 3-2 Piton serisi KP2 pres.....	33
Resim 3-3 Presleme sonucunda elde edilmiş olan plakalar	33
Resim 4-1 Numunelerin kurutulmasında kullanılan etüvün genel görünüşü.....	34
Resim 4-2 Hassas terazi cihazı a) Genel görünümü b) Tartım işlemi yaparken görünümü	35
Resim 4-3 Kül fırını cihazı a) Kapalı görünüm b) Açık görünüm.....	36
Resim 4-4 Kalsinasyon deney numunelerinin genel görünüşü	36
Resim 4-5 Kalsinasyon deneyi sonucunda reçinelerinden arındırılmış 8 farklı numunenin görünüşü.....	37

Resim 4-6 Universal çekme cihazı.....	38
Resim 4-7 Çekme deneyi numunelerine örnekler.....	39
Resim 4-8 Çekme numunesinin çekme testi cihazında çenelerde bağlanmış görünümü	39
Resim 4-9 Çekme testi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü.....	44
Resim 4-10 Çekme deneyi cihazının genel görünüşü	46
Resim 4-11 Üç nokta eğilme deneyi numunesinin eğilmeye zorlanması	47
Resim 4-12 Üç nokta eğme deneyi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü	49
Resim 4-13 Çentik açma cihazı	50
Resim 4-14 Çentik darbe test cihazı	50
Resim 4-15 Numunenin çentik darbe test cihazının çenelerine bağlanmış görünümü	51
Resim 4-16 Çentik darbe testi sonucunda hasara uğramış kompozit numuneler.....	53
Resim 4-17 Yoğunluk ölçüm cihazının genel görünüşü	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

g

mm

m²

J

SiC

Li₂O₂

Al₂O₃

SiO₂

BaO

Si₃N₄

PA6,6

Ti

Gr

b

h

D

t

Açıklama

Gram

Milimetre

Metre kare

Joule

Silisyum karbür

Lityum peroksit

Alüminyum oksit

Silisyum oksit

Baryum oksit

Silisyum nitrür

Poliyamid

Titanyum

Grafit

Genişlik

Yükseklik

Çap

Et kalınlığı

Kısaltmalar

SGF

SCM

MMK

SMK

PMK

GMT

Açıklama

Kısa Cam Elyaf

Sheet Molding Compound

Metal Matrisli Kompozitler

Seramik Matrisli Kompozitler

Polimer Matrisli Kompozitler

Glass Mat Reinforced

Thermoplastic

RTM

PAN

BMC

Reçine Transfer Methodu

Poli-Akro-Nitril

Bulk Molding Compound



1. GİRİŞ

Kompozit kavramı temel olarak farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip, iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesiyle meydana gelen yeni ve kendini oluşturan malzemelerden daha üstün özelliklere sahip olan malzemelerdir. Bu tanımda, partikül veya elyaf / fiber şeklindeki güçlendirici bir malzeme ile bağlayıcı bir malzemenin karışımından söz edilmektedir. Güçlendirici, sertlik, sağlamlık gibi yapısal özellikleri, bağlayıcı ise, yükün güçlendirici yapı içinde dağılmasını ve kimyasal etkilerden korunmasını sağlar.

Kompozit malzemeler ve ürünler, günümüzde giderek daha fazla artan bir oranda hayatımızda yer almaktadır. Kompozit malzemeler günümüzde özellikle hafifliğin, yüksek dayanımın, korozyonun ve aşınma dayanımının yüksek olması istenilen alanlardan inşaat, spor, hobi , otomotiv, uzay ve havacılık, deniz araçları v.b. sektörlerde karşımıza çıkmaktadır. Fiberglass, karbon fiber, kevlar (aramid), hybrid plastik türevleri en çok kullanılan kompozit örnekleridir.

1.1 Literatür Araştırması

Literatür çalışmaları incelendiğinde Gözde Demircioğlu [1] tarafından yapılan çalışmada kırılmış cam elyafardan oluşan takviye sisteminin epoksi matrisle birleştirilmesiyle rastgele cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeler üretilerek; değişen cam elyaf boyunun ve oranının kompozit yapı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan mekanik karakterizasyon çalışmaları sonunda, artan elyaf boyu ve oranının kompozit malzemelerin çekme ve eğilme, dayanımlarını ve modüllerini artırıcı yönde etkilediği görülmüştür.

Amin Salehi-Khojin, Reza Bashirzadeh, Mohammad Mahinfalah, Reza Nakhaei-Jazar [2] Kevlar/Cam elyaf takviyeli kompozit plakayı farklı sıcaklıklarda darbe testine tabi tutmuşlardır. Yalnızca sıcaklık parametresinin yeterli olmadığını görmüşlerdir.

Bernd Lauke [3] takviyeli polyesterde partikül boyutunun kırılma tokluğu üzerine etkisini incelemiş ve enerji kriterinde partikül boyutunun etkisi olmadığı ancak yüzeyler arası kriterde partikül boyutunun kırılma tokluğunu etkilediğini görmüştür.

P. Mertiny, F. Ellyin [4] takviyeli kompozitlerde filaman sarımı çekme dayanımının mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisini incelemişlerdir.

Scott R. Dyer, Lippo V.J. Lassila, Mikko Jokinenb, Pekka K. Vallittu [5] fiber yönü ve oryantasyonun hasar başlangıcı ve sonu üzerine etkisini incelemişlerdir. En düşük değer çapraz oryantasyonda en yüksek değer ise tek yönlü takviyede meydana gelmiştir.

Sebastien Migneault, Ahmed Koubaa, Fouad Erchiqui, Abdelkader Chaala, Karl Englund, Michael P. Wolcott[6] ahşap kompozitlerde fiber boyutunun ve üretim methodlarının etkisini incelemişlerdir.

Shao-Yun Fu, Xi-QiaoFeng , Bernd Lauke , Yiu-Wing Mai[7] takviye elemanı boyutu, takviye elemanı matris adhezyonunun ve takviye yüklemesinin mekaniksel özelliklere etkisini incelemişlerdir. L.S. Sutherland , R.A. Shenoi , S.M. Lewis [8] kompozit malzemelerde gerilme dayanımında boyut ve oran faktörünün etkisini incelemişlerdir.

A.C.N. Singleton, C.A Baillie, P.W.R Beaumont, T. Peijs [9] el yatırması yöntemiyle üretilen plaka kompozitlerin darbe ve yük altındaki dayanımlarını incelemişlerdir. Fiber hacmindeki değişimlerle plakanın rijitliğinde ve dayanımında artış olduğunu görmüşlerdir. Literatürde olan yukarıdaki çalışmalar sayıca oldukça azdır ve üretim parametrelerinin etkisiyle ilgili sadece çalışılan malzemelerin özellikleri ortaya çıkarılmıştır.

İbrahim Yaşar, Fazlı Arslan[19] sürekli cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozitlerde elyaf hacim oran ve elyaf doğrultusunun tribolojik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda en iyi aşınma dayanımını elyaflara paralel doğrultuda ve % 15 elyaf hacim oranında elde edilmiştir.

Volkan Çeçen [20] polimer kompozitlerin termal özellikleri ve mekanik anizotropisini incelemiş ve 20°C'den 250°C'ye varan sıcaklık skalası bulunan polimer kompozitleri el yatırma yöntemiyle üretmiş ve farklı sıcaklıklardaki termal davranışlarını incelemiştir.

Ümran Esendemir, Remzi Varol [21] cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin eğilme yorulma davranışının belirlenmesini incelemişlerdir.

Kaushik, A., Singh, P., Kaushik, J.,[22] yaptıkları çalışmalarda artan elyaf oranıyla, hazırladıkları kompozitlerin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerlerinin arttığını belirtmişlerdir.

Ayrıca YÖK Tez Tarama sayfasında bu konuyla ilgili bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Yakın zamanda yapılan araştırmalar göstermiştir ki, yapılarda kullanılan malzemeler yapısal olarak iki gruba ayrılmıştır. Bunlardan ilki, malzemenin iç yapısı üniform olan alaşım malzemeler; diğeri ise, genel olarak yeni nesil malzemeler olarak adlandırılan ve içerisinde iki veya daha fazla homojen malzeme bulunan kompozit malzemelerdir. Günümüzde hem alaşım malzeme hem de kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi üzerinde geniş çaplı araştırmalar yapılmakta ve yapılan bu araştırmalar genellikle organik maddeler olan ve yaygın olarak plastik diye tanımlanan polimerler üzerine kaymıştır. Bu tez çalışması, elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi esnasında üretim parametrelerinin üretilen kompozit malzemelerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisinin incelenerek optimum üretim parametrelerinin

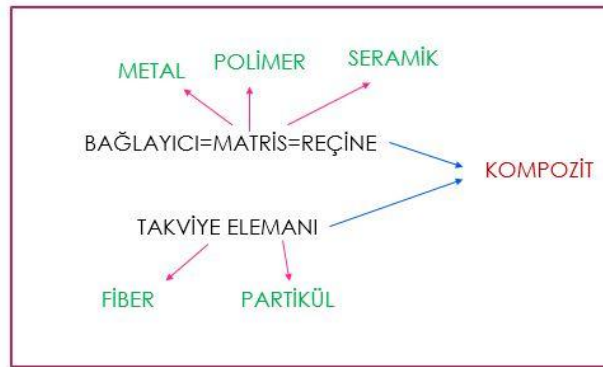
belirlenmesi sağlanacaktır. Bu nedenle bu çalışmanın sonuçları hem kompozit malzeme üreticileri için optimum üretim parametreleri belirlenerek işletmeye ekonomik fayda sağlayacak, hem de kullanıcıların optimum malzeme kullanmalarına yardımcı olacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Özgünlüğü

Yapılan araştırmalar sonucunda literatürde elyaf takviyeli kompozitlerin üretim parametrelerinin malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisi üzerine çalışma yapılmadığı görülmüştür. Yapılacak çalışmada üretilecek olan deney numuneleri için üretim parametreleri değiştirilerek kontrollü deneyler yapılacaktır. Değişen parametrelerin kompozit malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenecektir. Çalışmanın bu yüzden özgün olacağı düşünölmektedir.

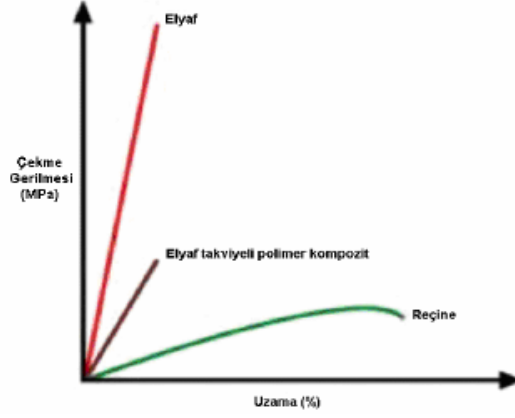
2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, bir amaca istinaden en az iki ya da daha fazla sayıdaki malzemelerin iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzeme toplayarak, bu malzemelerin makroskobik düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu malzemeler, mikroskobik olarak parçanın farklı bölgelerinde değişen özelliklerde heterojen ve yöne bağlı farklı özelliklere sahip anizotrop bir yapıdadır. Birçok durumda kompozit malzeme oluşturulmasında mukavemetli ve rijit bileşen (takviye), matris olarak adlandırılan ve takviye elemanına oranla daha yumuşak bileşenin içerisine yerleştirilmektedir. Matris bileşeni, kompozit yapı içerisinde bir sürekliliğe sahiptir ve çoğunlukla takviye miktarına göre daha fazla miktarda bulunmaktadır. Takviye bileşeni, parçacık veya elyaf şeklinde olabilmektedir ve matrisin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir.



Şekil 2.1 Kompozit yapı gösterimi

Kompozit malzemeleri diğer malzemelerden ayıran en önemli özellik, tıpkı alaşımlardaki gibi, kendilerini oluşturan bileşenlerin en iyi özelliklerine ya da daha da önemlisi iki bileşenin de sahip olmadıkları özelliklere sahip olabilmesidir. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak istenen gerekli özellikler artırılır, bu durumda ortaya çıkan kompozit malzemeler, bünyesindeki matris ve elyaf fazın özelliklerinin bileşimini bir arada bulunduracak şekilde elde edilir (Şekil 2.1) [10]. Şekil 2.2’de kompozit malzemenin çekme uzama özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kompozit yapı ile geliştirilen çekme-uzama özelliği [10]

Günümüzde yüksek mukavemet/ağırlık ve katılık/ağırlık oranlarına sahip olan fiber takviyeli reçine kompozitleri uçak ve uzay taşıtları gibi ağırlığa hassas uygulamalarda önemli kullanım sahaları bulmuşlardır. Uzun yıllardır saçtan, tahtadan yapılan tekneler, yatlar, kotralar yerini artık polyester-cam elyaftan yapılan benzerlerine bırakmaktadır. Bakım ve onarım açısından kolaylık sağlayan kompozit malzemeler bunun yanında hafif, uzun ömürlü ve süratli olmaları nedeniyle tercih sebebi olmaktadır. İmalat, savunma, havacılık alanları başta olmak üzere çoğu parça bu sebeplerden dolayı kompozit malzemeden yapılmaktadır [1].

Kompozit malzemelerin genel avantajları;

- Yüksek mukavemet; çekme, eğilme, darbe, elastikiyet ve basınç dayanımı gibi mekanik değerlerin sağlanmasına yönelik tasarlanabilmektedir.
- İhtiyaca yönelik her türlü basitten karmaşığa, büyükten küçüğe ve yapısal şekle sokulabilirler. Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı dizilimlerle farklı kompozit malzemeler elde edilebilir.
- Kompozit malzemeler korozyona, kimyasallara ve aşınmaya dayanıklılık gösterirler.
- Belli üretim yöntemleri sayesinde kompleks geometrideki parçaların yekpare olarak üretilmesinden dolayı detay parça sayısının azalmasını sağlar. Böylece bağlantı elemanı ve detay parçaların azalmasıyla üretim süresi kısalmakta dolayısıyla parça sayısı ve ağırlık azalmaktadır.
- Özgül mukavemet (dayanıklılık/yoğunluk oranı) mükemmeldir, hafiftir.
- Parçaların jelkotlu, boyanabilir jelkotlu veya kendiliğinden renklendirilebilme olanağı vardır.
- Hafif olduklarından servis ve bakım kolaylığı sağlar.

·Yatırım ve ilk maliyetleri düşüktür.

Kompozit malzemelerin dezavantajları;

·Üretim yöntemi ne kadar kaliteli ise malzeme kalitesi de o kadar iyi olur. Birden fazla kompozit malzeme üretim yöntemi olduğundan standartlaşmış bir kalite yoktur.

İleri kompozit ham malzemeleri pahalıdır ve tedarik sıkıntısı vardır. Bazılarının sınırlı raf ömürleri olduğundan soğutulmuş olarak saklanmaları gerekir. (Örnek vermek gerekirse uçaklarda kullanılan karbon elyafının bir metre karelik kumaşının maliyeti yaklaşık 50\$'dır). Ayrıca çoğu petrol kökenli olduğundan petrol fiyatlarına bağlı olarak da fiyatları göreceli artmaktadır.

·Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir; kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanıklılık özelliği bulunabilmektedir.

·Kompozitler kırılabilir (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görebilir ve bilinçsiz yapılan onarımları ise yeni problemler yaratabilir.

·Kompozitlerin kg başına düşen üretim maliyeti metallere göre daha yüksektir.

·Özellikle yeni geliştirilen matris ve elyaf malzemelerin bütün teknik karakteristikleri, davranışları, test verileri, kalifikasyon standartları ve ömür çevrim (life cycle) performansları metallere kadar bilinmediğinden, yeni uygulamalar için önce şüpheyle yaklaşmakta ve ürünün onayı uzun zaman alabilmektedir.

·Yeniden kazanımları (recycle) metallere kadar gelişmemiş ve metallere göre daha zordur.

2.1 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

2.1.1 Islak Method (Wet Lay-Up)

Kuru kumaş şeklindeki takviye malzemesinin kalıba elle yatırılması ve açık kalıp üzerine sıvı reçine uygulanması şeklindedir. Oda sıcaklığında serbest halde ve vakum torbasına alınarak kompozit malzeme kürlenir.



a) Fiberglass bezler parça boyutuna uygun kesilerek bir masa üzerine serilir.

Her fiberglass bez katmanına reçine sistemi uygulanır.



b) Sıvı reçine fibreglas üzerine boşaltılır. Fiberin tüm kısımlarına sıvı reçine dağıtılır ve emdirilir. Hava kabarcığı kalmaması gerekir.



c) Reçine emdirilmiş fiberglass bezler model üzerine istenilen açıda ve katta serilir. Fiber glass mukavemetini artırmak için 0° , 90° , $+45^\circ$, -45° gibi farklı açılarda serilebilir.



d) Vakum naylonu serilir ve kenarları sealanttape ile kapatılır. Islak serme yönteminde kullanılan reçineler oda sıcaklığında kür haline gelir. Dolayısıyla malzeme oda sıcaklığında uzun periyotlarda tutulabilir.



e) Parça oda sıcaklığında kür olduktan sonra üzerindeki vakum naylonu sökülür.

Resim 2-1 Islak serim aşamaları a)Fiberglass kesimi ve serimi b)Reçine ilavesi c)Farklı açılarda fiber serimi d)Vakumlama işlemi e)Kür ve demould işlemi

Islak serme yöntemiyle elde edilmiş özellikler, prepreg yöntemle elde edilen özelliklerden düşüktür.

2.1.2 Püskürtme Yöntemi (Spray-Up)

Bu yöntemin özü, çok uçlu fitil elyaf kırpma ünitesi olan bir reçine püskürtme tabancası marifeti ile kırılmış cam fitillerinin, sertleştirici ve reçinenin kalıp yüzeyine uygulanmasıdır. Takviye malzemesi olarak kullanılan çok uçlu fitiller tabanca üzerinde yer alan, hava ile çalışan kırpma ünitesi sayesinde istenilen uzunlukta kırılabilir. Bu püskürtme işlemi sonrasında laminatın tam olarak ıslanabilmesi ve içindeki hava kabarcıklarının uzaklaştırılması için hava alma ruloları ile ezme işlemi yapılır.

2.1.3 Elyaf Sarma (Flament Winding)

Filament sarma, kalıp olarak dönen bir milin kullanıldığı açık kalıp uygulamasıdır. Takviye malzemesi aktif hale getirilmiş reçine içeren bir havuzdan geçirilerek istenilen takviye kalınlığı sağlanana kadar çeşitli yöntemlerle bir mil üzerine sarılabilir. Nihai sertliğe ulaşan ürün kalıptan çıkarılır. Genellikle; silindirik kaplar, silolar, basınçlı kaplar, güç iletim şaftları ve roket motor kasaları bu yöntemle üretilir. Bu metotla daha yüksek kalite ve mukavemette ürün elde etmek mümkündür. Üretim bir mandrel üzerine elyaf sarılması şeklinde olduğundan iç yüzeyi pürüzsüz parçalar elde etmek mümkündür.

Polyester, epoksi ve silikon gibi reçineler kullanılabilir. Kuru ve yaş sarma gibi çeşitleri vardır.

2.1.4 Pres Kalıplama (Pres Molding)

Pres kalıplama yöntemi sıcak pres pestili (SMC-Sheet Molding Compound) ve hamur (BMC-Bulk Molding Compound) halindeki ve keçe şeklindeki takviye malzemesi (GMT- Glass Mat Reinforced Thermoplastic) kompozit bileşenlerin, parçanın şeklini verecek şekilde tasarlanmış uygun kalıplarda nihai ürün haline getirilmesinde kullanılır. Bu yöntem en çok yüksek üretim kapasitesi sağladığı için otomotiv sanayinde kullanılır.

2.1.4.1 SMC Kalıplama (Sheet Molding Compound)

Hazır kalıplama pestili (sıcak pres pestili); katkı malzemeleri, renklendirici pigmentler, kalıp ayırıcılar ve katalizörlü poliestere reçinesinin harmanlanması ile elde edilen macun kıvamındaki bileşim ve üzerine kırılan E-cam takviye malzemesinin, polietilen veya poliamid filmlerin arasında sıkıştırma rulolarından geçirilmesi ile elde edilir.

SMC ürünler hafiftir, yüksek sertlik ve dayanım özelliklerine sahiptirler. Yüksek boyutsal kararlılık gösterirler.

2.1.4.2 BMC Kalıplama (Bulk Moulding Compound)

Hazır kalıplama hamuru; uygun polyester reçinesi, dolgu malzemeleri, katalizörler, kırılmış E-cam fitilleri, renklendirici pigmentler ve diğer katkı malzemeleri harmanlanarak elde edilir. Elde edilen hamur pres veya transfer kalıplama, enjeksiyon gibi yöntemlerle uygulanabilir.

Otomobil farları, küçük boyutlu ev aletleri, savunma sanayi vb. birçok uygulama alanı bulunmaktadır.

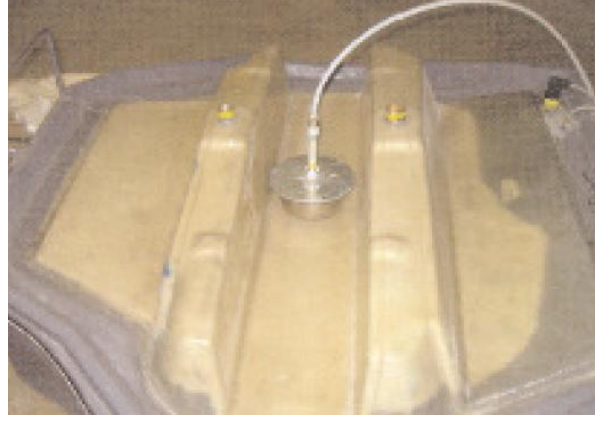
2.1.4.3 GMT Kalıplama (Glass Mat Thermoplastic)

Termoplastik reçine ile cam elyafı takviyesinin konsolidasyonu ile elde edilen takviyeli termoplastik levhalar rijit haldedirler. Levhalar daha sonra matris yumuşatma sıcaklığına kadar ısıtılarak kalıp boyutuna uygun şekilde kesilirler. Daha sonra prese bağlı olan kalıplar arasına yerleştirilen levhalar, kalıplar pres ile kapatıldıktan sonra şekillendirilir. GMT otomasyona uygun bir üretim yöntemidir.

2.1.5 Reçine Transfer Metodu (Resin Transfer Method)

Bu yöntemde erkek ve dişi olmak üzere iki çeşit kalıp kullanılır. RTM için özel üretilmiş olan takviye malzemeleri kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Malzemeye basınç altında reçine enjekte edilir. Bazı durumlarda reçine emilimini artırmak için vakum işlemi de uygulanır.

Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında ve F1 arabalarında bu yöntemle üretilen parçalar kullanılmaktadır. Resim 2.2'de RTM kalıp örneği görülmektedir.



Resim 2-2 RTM molding örneği

2.1.5 Profil Çekme (Pultrusion)

Pultrüzyon uygulaması boyuna yüksek mukavemet ve sertlik gösteren uniform kesitli kompozit ürünler üretmek için kullanılır. Basitçe ifade etmek gerekirse pultrüzyon; cam takviye malzemelerinin, katalistleri içeren aktif bir reçine banyosundan geçirilerek ısıtılması, şekillendirme kılavuzundan ve ısıtılmış kalıplardan geçirilip, çekilmesi ve istenilen uzunlukta kesilmesi şeklinde uygulanır.

Pultrüzyon uygulamalarında kürlenme sistemi olarak genellikle farklı özelliklerdeki peroksitlerin kombinasyonları kullanılır. Başlangıçta 'vurucu' olarak adlandırılan yüksek reaktif bir peroksit kullanılarak ön kürlenme sağlanır. Daha sonra orta ve düşük reaktiviteli peroksitlerin kombinasyonu ile ürünün daha yavaş kürlenmesi sağlanır. Bu ikili sistem, pultrüzyon ile çekilen profillerin düşük stiren kalıntısı ile optimum kürlenmesine imkan sağlarlar.

Pultrüzyon uygulamalarında kullanılan ekipman temel olarak; reçine banyoları, şekillendirme kılavuzları, ısıtılabilir kalıplar, sürecin sıcaklık, çekme hızı, kesme uzunluğu vb. özelliklerinin kontrolünün yapılabileceği bir kontrol paneli, çekme ünitesi ve malzemeleri istenilen uzunluklarda kesmeye yarayan bıçaklardan oluşmaktadır.

İnşaat, seracılık, karayolu uygulamaları, şehir mobilyaları ve yerel yönetimlerin bazı ihtiyaçlarına dönük ürünler yaygın kullanım alanlarıdır.



Resim 2-3 Profil çekme şematik gösterimi



Resim 2-4 Pultrüzyonla üretilmiş kompozit örnekleri

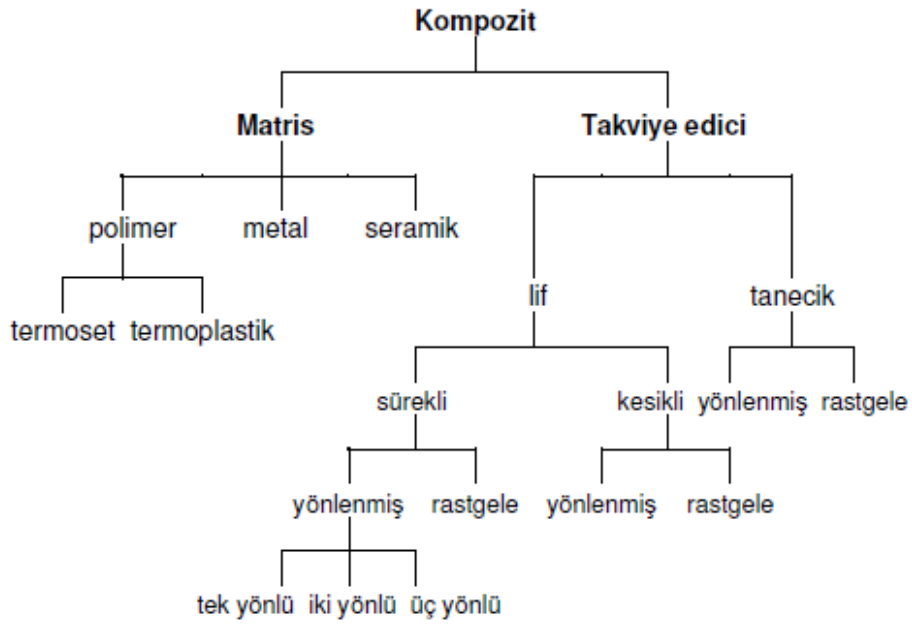
2.1.7 Eriyen Kalıp Yöntemi (Paraplast)

Bu yöntem genelde diğer üretim yöntemleri ile üretimi mümkün olmayan veya yüksek kalıp maliyeti gerektiren (genelde boru şeklindeki) parçaların üretiminde kullanılır. Yapılacak parçanın şeklini vermek üzere uygun malzemeden dişi kalıp yapılır. Fırında yaklaşık 180 – 200° C ‘de eritilmiş malzeme dişi kalıp içine dökülür. Bu erkek mandrel üzerine kompozit malzeme serilir ve vakum torbasına alınır. Otoklavda kür edilir. Üzerine kompozit malzemenin serildiği erkek mandrel su ile eritilerek parça (boru şeklinde) elde edilir.



Resim 2-5 Bir paraplast örneği

Üretim yöntemlerine değindikten sonra, kompozitler farklı yaklaşımlarla kendi içlerinde gruplandırılabilir, ancak bunlardan en yaygın kullanılanı Şekil 2.3’de gösterilen takviye malzemesi ve matris türüne göre yapılanıdır [11].



Şekil 2.3 Kompozitlerin gruplandırılması [11]

2.2 Matris Malzeme Cinsine Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemelerde matrisin mekanik özellikleri 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 bağlar ve yükün elyaflara iletilerek yapıda rijitlik sağlar. Aynı zamanda elyafları bir arada tutar ve elyafların bağımsız davranmalarına katkıda bulunur ve çatlakların ilerlemesini yavaşlatır. Öte yandan malzemenin yüzey kalitesine de olumlu anlamda katkıları vardır ve takviye elamanlarını kimyasal ve mekanik hasarlara karşı korur. Matris malzemesin özellikle malzemenin darbe dayanımına da önemli etkisi vardır [12].

2.2.1 Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Mühendislik uygulama alanlarında en yaygın olarak bilinen malzeme türü olan metaller, orta ve yüksek yoğunluğa sahip ancak tokluk ve dayanımını özellik çiftinin en uygun olduğu gruptur. Metaller, saf halde yumuşaktır ve dayanımları düşüktür. Ancak alaşımlama, soğuk biçimlendirme ve ısıtma işlemi dayanım ve sertlikleri artırılmaktadır. Metal malzemeler, yüksek zorlamalara maruz kaldığı zaman kırılmaz, sadece akar ve yükü bütün sisteme dağıtır bu da kullanımda güvenilirlik sağlar. Ayrıca metaller kolaylıkla dökülerek veya plastik deformasyon oluşturularak şekillendirilebilir ve tek parça üretilemeyen detaylı montajlarda kaynak, vida ile birleştirmeye elverişlidir. Ağır ve korozif olmaları kullanımda zorluk yaratan özellikleridir. Bazı metaller, liflerle veya taneciklerle takviyelendirilerek kompozit elde edilebilir. Örneğin, tungsten alaşımından yapılan liflerle takviye edilmiş metal alaşım kompozitleri 1000°C gibi yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Yüksek sıcaklıklara dayanabilmesinden dolayı jet motorlarında kullanılmaktadır. Metal matris malzemesi olarak alüminyum ise korozyona direnci arandığı alanlarda, alüminyum alaşımları ise birim kütle başına yüksek dayanımın arandığı alanlarda kullanılabilir. [12].

2.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)

Polimer matrisli kompozitler mikro yapısından dolayı yüksek sıcaklıklarda kullanılamamaktadır. Bu durumda seramik matrisli kompozit malzemeler, yüksek yoğunluğu olan metallere alternatif olarak devreye girer. Seramik kompozitler $\text{Li}_2\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, SiO_2 ve $\text{BaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Si}_3\text{N}_4$ (SiC ile) gibi seramik matrislerden hazırlanır. Takviye edici olarak ise daha çok Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 kullanılır [12]. Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesinin nedeni yüksek oksidasyon dirençleri olmasındandır. Sert olduklarından dolayı kırılma eğilimi gösterirler ve buna bağlı olarak düşük süneklik ve tokluğa sahiptirler. Bu nedenle genellikle liflerle takviye edilirler. Bu dezavantajından dolayı onu kullanım alanı fazla olan savunma sanayi ve havacılık sektörleri tercih etmemektedir. Seramik matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri, ergitilmiş matrisin sızdırılması ve sıcak preslenmesi, kimyasal buhar kaplama ve sızdırmadır [13].

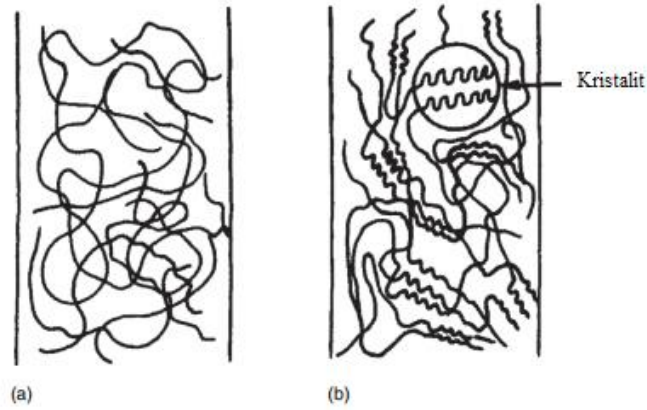
2.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Polimer matrisli kompozitler günümüzde petrokimya esaslı ürünlerdir ve en yaygın kullanım alanına sahiptir. Polimer, aşırı kuvvetli kovalent bağlarla bir araya getirilmiş moleküllerdir. Polimerik kompozitler korozyona dirençli, uzun süreli kullanıma uygun, işlenmesi kolay, şekillendirilebilen, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir (Vasiliev ve Morozov, 2001) Demir esaslı malzemeler ve diğer konvansiyonel malzemeler gibi kullanım alanları genişlemektedir. 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 2 çeşittir. Termoset matrisler; lif takviyeli kompozit yapımında daha fazla kullanılır ve sıvı halde bulunurlar, katılaştırıcı ilavesi ile önce jel haline gelir ve sonra da katılaşırlar. Bu malzemeler üretilirken sadece bir defa ısıtılıp biçim verilmesi gereklidir, daha sonra malzemeye tekrar ısı verilipte tekrar şekil verilmesi mümkün olmayacaktır. Geri dönüşümü olmadığından tekrar kullanılamazlar. Bunun asıl nedeni termoset matrisli malzemelerin molekülleri birbirlerine çapraz şekilde bağlı olmasıdır (Şekil 2.4 a) Bu moleküllerin atomları ısı altında birbiri

üzerinde kaymaz. Termoset plastikler mukavemeti ve sıcaklığa karşı dayanımları yönünden termoplastiklerden daha üstündür.

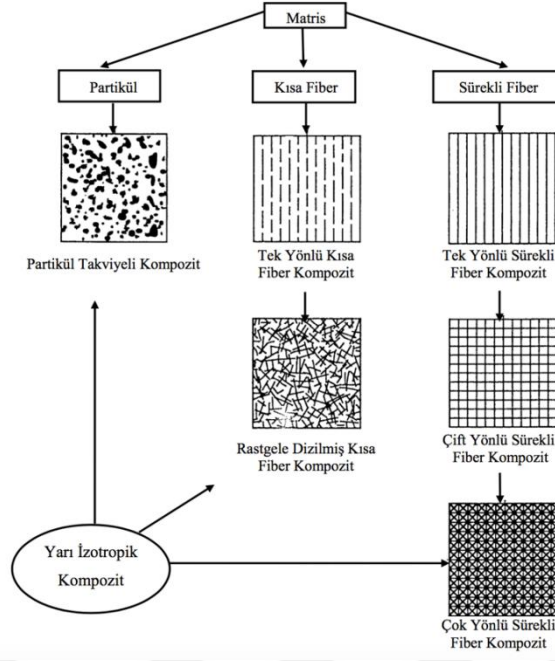
Çeşitleri çok fazla olmasına rağmen, matris olarak kullanılan termoplastikler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Termoplastik matrisler; sünek yapılarından dolayı ısı altında eritilebilir ve soğutma ile katılaştırılırlar. Bu da onlara tekrar şekil verdirilebilme kabiliyeti sağlar. Isıtma, soğutma işlemlerin de termoplastik matrislerin sadece fiziki özellikleri değişir, kimyasal özelliklerinde bir değişiklik meydana gelmez. Termoplastik matrislerin bu özellikleri moleküllerin yapısından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.4 b). Bu malzemelerin molekülleri düz zincirli polimerlerdir. Bu sebeple termoplastik matris malzeme ısıtıldığında yapısındaki atomlar birbirlerinin üzerine kayarlar[14].



Şekil 2.4 Termoset matris atomları (a) Termoplastik matris atomları (b) [14]

2.3 Takviye Elemanlarının Yerleştirilmesine Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler takviye elemanın yerleştirilmesine göre farklı fazlarda oluşturulabilir. Bu oluşumları sınıflandırmak istersek matris ve elyaf fazlarının tiplerine, geometrisine (Şekil 2.5) bağlı olarak dört farklı başlıkta inceleyebiliriz.



Şekil 2.5 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması [15]

2.3.1 Tabakalı Kompozitler

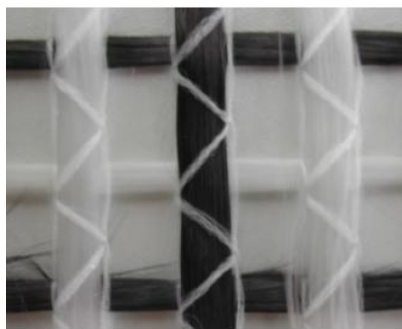
Tabakalı kompozitler en az iki levha malzemesinin üst üste tabakalar şeklinde dizilerek yeni bir malzeme oluşturmasıyla elde edilir. Tabakalar halinde olması her tabakanın farklı bir kompozit malzeme olmasını sağlamaktadır. Tabakalı kompozitlerin tasarımı ve üretim aşamaları diğer kompozit malzemelere 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 etkilemesidir. Tabakalı kompozitlerin farklı türleri incelenecektir[10].

2.3.2 Partikül Takviyeli Kompozitler

Partikül takviyeli kompozitler bir matris malzeme içinde farklı bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile oluşturan kompozitlerdir. Yapının mukavemeti parçacıkların mekanik özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Polimer matris içinde metal partiküller kullanılırsa ısı 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 [16].

2.3.3 Karma (Hibrit) Kompozitler

Adında da anlaşıldığı üzere en az 2 farklı elyafın aynı matris içinde oluşturduğu kompozit malzemelerdir. Meydana gelen hibrit yapı tek tür kompozitlere göre daha iyi özelliklere sahiptir. Cam-karbon (Resim 2-6.a) ya da cam-aramid (kevlar) (Resim 2-6.b) elyafların birleşimi hibrit kompozitlere örnek verilebilir. Cam elyaflar ısı dirençleri düşük iken karbon elyaflarda ısı dirençler çok daha iyidir. Cam elyaflar yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Cam elyaflar elektriği iletmezken karbon elyaflar elektriği iyi iletir bu yüzden kullanıldığı alanlarda kısa devre oluşturabilir. Kullanım yerine göre karbon elyafın maliyeti cam elyaf ekleyerek düşürülebilir. Optimum özellikleri barından malzemeye ulaşmak için farklı elyaflar da birleştirilerek ideal bir hibrit kompozit malzeme elde edilebilmektedir.



a)



b)

Resim 2-6 a) Karbon/cam b) Cam/aramid(kevlar)

2.3.4 Elyaf Takviyeli Kompozitler

Tıpkı diğer kompozit türlerindeki gibi elyaf takviyeli kompozitlerde de elyaflar matrisin içinde yer alır. Elyafların matris içinde nasıl yerleştiği kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkiler. Elyafların matris içinde birbirlerine paralel yerleştirilmeleri ile elyaf doğrultusunda yüksek dayanım elde edilirken, elyaflara dik doğrultuda daha düşük dayanım sağlanmaktadır. Bunun yanında her iki yönde yerleştirilmiş elyaflar, iki yönden gelen kuvveti karşılayacağından iki yönde de daha iyi dayanım sağlamaktadır. Elyafların kendi mukavemet değerleri ve elyaf oryantasyonu kompozit yapının mukavemetini doğrudan etkiler. Ayrıca elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından elyaflara binen yük miktarı artmaktadır.

Elyaf ile matris fazı arasındaki oluşan bağ, kompozit malzemenin malzeme dayanımına doğrudan etkiler. Matris elyaf ara yüzeyinde boşluklu alanlar varsa elyaflarla matrisin temas alanları azalacak ve kompozitin mekanik özellikleri olumsuz etkilenecektir [17].

Sürekli veya kısa elyafli kompozitler: Takviye elemanı olarak kısa veya kırılmış elyaflar barındırılırlar. Kısa elyaflar matris içinde tek yönde ve rastgele sıralanabilir[17].

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[17].

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

- Cam elyafı
- Karbon elyafı
- Aramid elyafı
- Bor elyafı
- Oksit elyafı
- Polietilen elyafı
- Poliamid elyafı
- Polyester elyafı
- Doğal organik elyaflar

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

2.3.4.1 Cam Elyafı

Cam lifler, kompozit malzemeden yapı elemanları ve kalıplama bileşikleri üretmek için kullanılır. Kompozit malzemelerin cam liflerinin üretiminde kullanılan yüksek dayanım camlarının çekme dayanımı 4.48 GPa' in üzerindedir ve esneklik modülü 85.5 GPa civarındadır. Cam lifler saydam, kimyasal maddelere dayanıklı, uzun ömürlü, yüksek elektriksel yalıtımı olan, yüksek yoğunluğu olan, bükülgenlik, hafiflik, işlenebilirlik ve düşük maliyet özelliklerine sahip takviye malzemesidir. Yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmesinin nedeni ısı iletim katsayıları düşük olmasıdır.

–Sentetik inorganik malzemelerdir

–Ağırlıkla Silika bazlı ve kalsiyum, sodyum, alüminyum, boron ve demir içeren malzemelerdir.

Cam Elyaf Çeşitleri

- A (Alkali) Cam: Pencere camı ve şişe yapımında kullanılır. Kompozitte pek fazla kullanılmaz.
- C (*Korozyon*)Cam: Yüksek kimyasal direnç gösterir. Depolama tankı yapımında kullanılır
- E (*Elektrik*) Cam: düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su emiş özelliklerine sahiptir. En çok kullanılan cam elyaf türüdür. Ülkemizde Şişe Cam tarafından üretilmektedir.
- S+R (*Mukavemet*)Cam: Yüksek performanslı ve yüksek maliyetli bir malzemedir. Elyaf içindeki tel çaplarının düşüklüğü (E cam'ın yarısı kadar) nedeniyle lif sayısı yüksek olduğundan daha yüksek birleşme özelliğine sahiptir. Kullanım amacına göre değişik katkılarla, elyaf çapı ve lif sayısı artabilir ve matris (reçine) ile yapışma özelliğini artırmak için özel kimyasallarla kaplanır. Bu özellikleri nedeniyle genellikle havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılmaktadırlar.

Cam elyafların özellikleri kullanıldıkları farklı malzemelere göre değişkenlik gösterir. Düşük maliyeti, yüksek gerilim mukavemeti, yüksek kimyasal direnci ve yalıtım özellikleri cam elyaflarının avantajları arasında gösterilebilirken; 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 elyafların başlıca kullanım alanları kayıklar, yarış botları, helikopter gövde ve kanatları, otomobil panelleri, sıvı tanklarıdır[16].

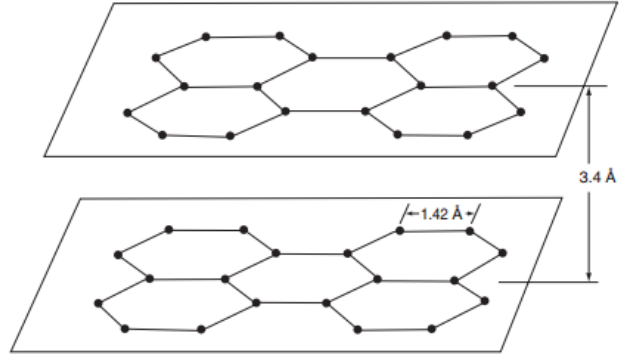


Resim 2-7 Fiber glass örnekleri

2.3.4.2 Karbon Elyafı

Organik fiber olarak da adlandırılır. Geçmişte cam elyaf kadar eski değildir. Yapı elemanlarını takviye amaçlı üretilen karbon fiber hegzagonal yapıda grafit kristaller halindedir. Hammade olarak Poli-akro-nitril(PAN) ve zift kullanılır. Düşük elyaf yoğunluğu, yüksek mukavemet, yüksek ısılarda özelliğini koruma, yorulma dayanımı özelliklerine sahiptir. Sentetik inorganik malzemelerdir, yoğunlukları oldukça düşüktür. (2 gr/cm³) Aynı dayanım değerlerine sahip sentetik organik fiberlerden daha pahalıdır. Cam elyafın metallere göre sertliğinin çok düşük oluşundan dolayı, sertliğin 3-5 kat artırılması amacıyla arayış başlamıştı bunun yanında çok iyi elektrik iletkenliği olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Karbon elyafları çok yüksek ısı uygulandığında tam anlamıyla karbonlaşır ve grafitte dönüşürler. Karbon elyafı epoksi matrisler ile birleştğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri göstermektedir. Üretimi çok pahalı olduğundan kullanımı nispeten kısıtlıdır. Uçak sanayiinde, tıbbi gereçlerde ve bazı spor gereçlerinde kullanılır. Piyasada kırılmış ve sürekli elyaf olarak bulunur. Diğer elyaflara göre en önemli avantajı yüksek modülüs özelliğidir.

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 göz ardı edilebileceği havacılık endüstrisinde kullanımı yaygındır [14]. Resim 2.8'de karbon elyafı örneği görülmektedir.

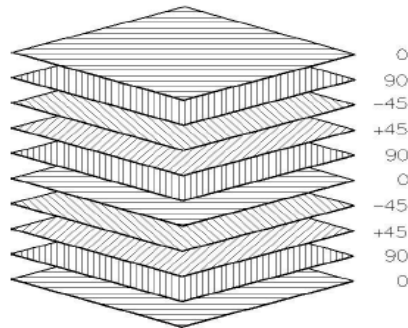


Şekil 2.6 Bir grafit kristalindeki karbon atomlarının düzenlenmesi [14]



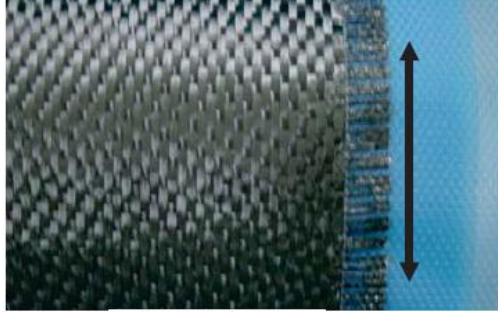
Resim 2-8 Karbon elyafı örneği

Kompozit yapılarda istenilen mekanik değerlere ulaşabilmek için, kumaş katmanları dokuma yönü 0° kabul edilerek değişik açılarda serilirler. Bunlar elle sermede 0° , 90° , $+45^\circ$, -45° olarak belirlenmiş ve kullanılmaktadır. Uygulama Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilmiştir.



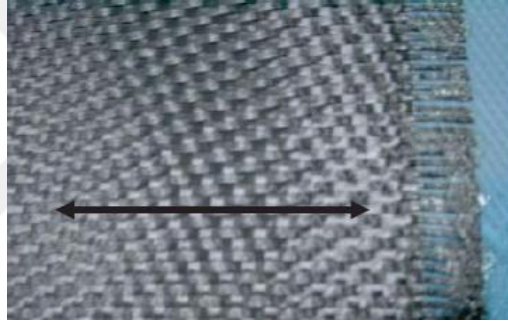
Şekil 2.7 Elyaf oryantasyonu gösterimi

Çözü İplikleri (Warp):Uzunlamasına fiberlere verilen isimdir. Fiberler kumaş kenarına paraleldir.



Resim 2-9 Warp side gösterimi

Atkı İplikleri (Weft): Kumaş kenarına 90 derecedir.



Resim 2-10 Weft side gösterimi

2.3.4.3 Aramid(Kevlar) Elyafı

Aramid, polimer esaslı malzemelerden elde edilmektedir.

Yoğunluğu 1.44 gr/cm^3 , metallere göre oldukça düşük olan aramid malzemedeki 3100 MPa çekme dayanımına sahip fiberler üretilir. Aramidler çok iyi çekme özelliklerine sahip olmasına karşın basma dayanımları düşüktür.

Elastikiyet modülleri 50GPa ile 130 GPa arasında değişir. Çeliğin yarısı kadar rijitliğe sahip iken yoğunluğu 8de biri kadardır.

En önemli özellikleri darbeleri sönmülemdeki başarısıdır fakat nem veya vakum ortamı malzemeyi olumsuz etkiler.

Düşük sıcaklık uygulamalarında uygundur çünkü $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda kendi yapılarını yeniden düzenleme eğilimindedirler. Sentetik organik malzemelerdir. (Aromatic Polyamid)

- Piyasada çoğunlukla Kevlar (Dupont) olarak bilinir.
- Yoğunluğu karbondan daha düşüktür. (1.44 gr/cm^3)
- Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özellikler gösterir. Zor yanar ve naylon gibi erimez. (Camsı geçiş sıcaklığı 360° C)
- Güneş ışığında bozunabilir, aşırı nem çekme özelliği vardır.
- Islanma kabiliyeti düşük, tamiri zordur.
- Termal genleşme katsayısı düşük, elektriksel iletkenliği ve ısı iletkenliği düşüktür.
- Çekme dayanımı yüksek, basma dayanımı düşüktür. Karbon basma dayanımı için daha güçlü iken aramid çekme dayanımı için daha iyi performans gösterir.



Şekil 2.8 Aramid (kevlar) elyaf örneği

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 [16].

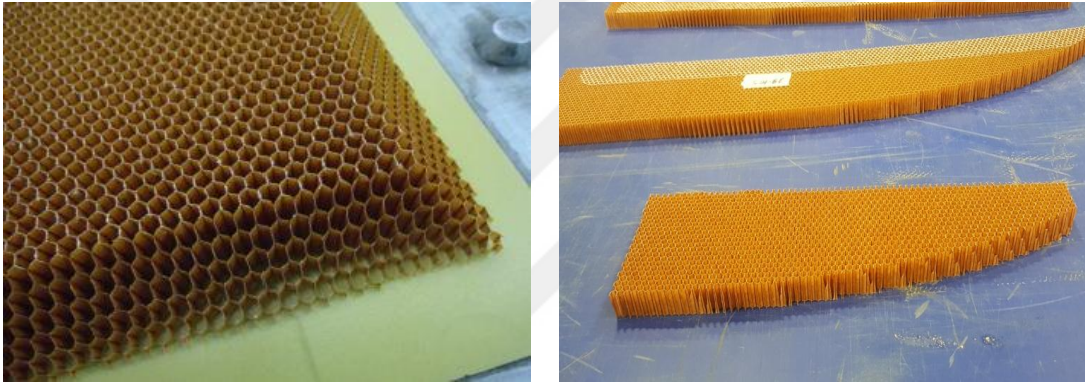
Lamine/Laminate Kompozitler

Lamine tek bir ply katmanına verilen addır.

Laminate ise laminelerin üst üste dizilmesiyle meydana gelir. Lamine ve laminate kompozitlerin tek yönlü ve çok yönlü olmak üzere çeşitli oryantasyonları bulunur.

Balpeteği (Honeycomb)

Kompozit yapılar içinde, yapıya kayda değer bir ilave ağırlık katmadan parçanın kalınlığını ve yük taşıma kabiliyetini artırmak amacıyla, destek elemanı olarak, balpeteğinden esinlenerek imal edilmiş malzemeler kullanılmaktadır. Balpeteği malzemeleri, metalik (alüminyum, titanyum) veya metal olmayan malzemelerden (Nomex, Fiberglass, Karbon, Kraft v.b) yapılabilmektedir. Form olarak da, altıgen (Hexagonal), dikdörtgen (Ox), mantar (Flex) şeklinde çeşitleri bulunmaktadır. Resim 2.11'da balpeteği örneklerinden bazıları görölmektedir.



Resim 2-11 Honeycomb(balpeteği) örnekleri

Balpeteği (Honeycomb) İşleme

Balpeteği istenilen geometriye göre uygun kenar açısı ve boşaltma yapılarak kesilebilir. Resim 2.12'da görölen tezgahta 30°, 45°, 60° gibi uygun açılarda kenar işlemesi yapılabilir.

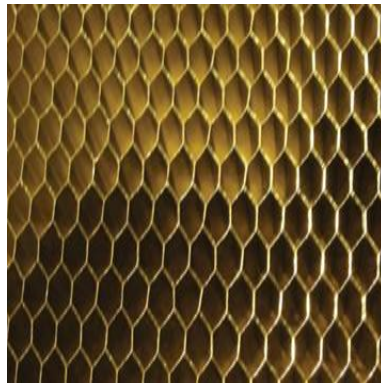


Resim 2-12 Balpeteği işleme

Alüminyum Petekler

Alüminyumdan yapılan peteklerin başlıca özellikleri;

- Herhangi bir yük altında emdiği enerji miktarı çok fazladır.
- Petek dokulu kompozitler içinde dayanım/ağırlıkoranı en iyi olan malzemedir.
- Hücre duvarları ince ve düz pürüzsüz bir görünüme sahiptir.
- Isıyı iyi bir şekilde iletir.
- İşlenebilirlik oranı yüksektir.

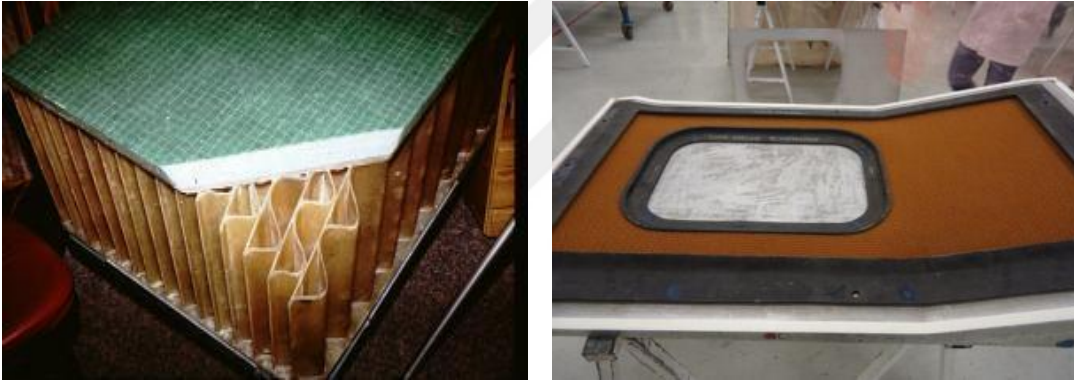


Resim 2-13 Alüminyum balpeteği

Sandviç Yapılar

Sandviç kompozit yapılar, iki laminat arasına balpetekli (honeycomb) bir yapının yerleştirilmesi ile elde edilir. Petek yapılı hücreler, sandviç yapıların iç (dolgu) malzemesini oluşturur. Balpeteği görünümüne benzemesinden dolayı honeycomb (balpeteği) adı da verilen sandviç yapı yüksek rijitlik, düşük ağırlık, yüksek dayanım özelliklerine sahiptir. Honeycomb'da yüzey alanı ne kadar artarsa mukavemet de o kadar artar.

Petekli yapılar özellikle çarpma sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği, yüksek mekanik dayanım gerektiren yerlerde kullanılır. Oldukça hafif sistemler elde etmek için sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasına bu petekli yapılar yerleştirilir. Honeycomb dış yüzeyi kompozit malzeme ya da metal plakalarla kaplanır. Tabakalar arasına petekli yapının yerleştirilmesi, yapının atalet momentinin ve eğilme dayanımının artmasını sağlar. Resim 2.14'da sandviç yapı örnekleri görülmektedir.



Resim 2-14 Sandviç yapı örnekleri

Otoklav (Autoclave)

Otoklav kalıplama , vakum torbası içindeki kompozit yapının, bir basınçlı tank olan otoklavda, sıcaklık , basınç ve vakum altında kür edilmesi yöntemidir. Resim 2.15.a'da otoklav örneği görülebilir. Bu yöntemle, yüksek fiber oranlı, hava boşluğu içermeyen, kesit mukavemeti yüksek, üstün kalitede yapısal parçalar elde edilir.

Havacılıkta en çok tercih edilen yöntemdir. İlk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti yüksek olduğundan, bu yöntemle üretilen parçaların maliyeti de yüksektir. Kür işleminden sonra, malzeme ve parçanın isterlerine göre ikincil kür (post cure) işlemi de uygulanabilir. Kür işlemleri, malzeme imalatçısı ve/veya parça tasarımcısının belirlediği sıcaklık, basınç, vakum

parametrelerinin zaman bağılı değişimleri ve birbirleriyle ilişkilerini tanımlayan reçetelerle uygulanır. Buna kür reçetesi (cure cycle) denir. Bazı kür veya post-kür işlemleri Resim 2.15.b’de görüldüğü gibi fırında da yapılabilmektedir.



a)



b)

Resim 2-15 a) Otoklav örneği b) Fırın örneği

Resim 2.16’de vakuma alınan kompozit malzemenin otoklava nasıl bağlandığını ve girişini görmek mümkündür. Isı ve basınç kontrolü için otoklav bağlantısı yapıldıktan sonra kompozit malzeme kür reçetesine (cure cycle) göre kür olacaktır.



Resim 2-16 Vakuma alınan kompozit malzemenin otoklava girişı ve otoklava bağlanması

Kompozit Malzemelerde Görülen Tipik Hatalar

·Gaz ve Hava Kabarcığı

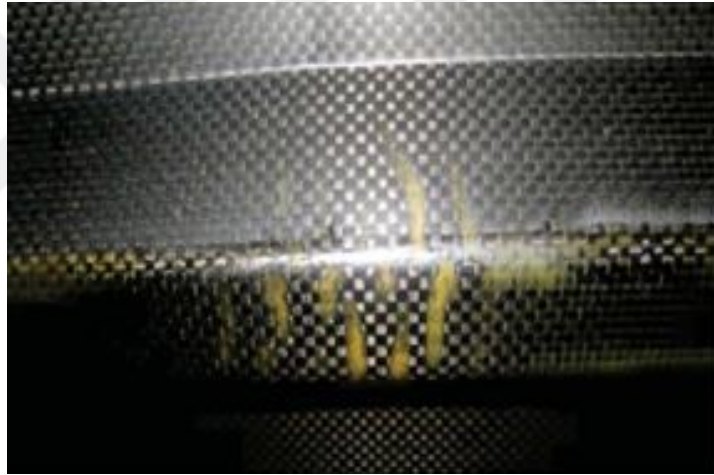
Lamine parçanın üretiminde katmanlar arasında oluşan gaz veya hava kabarcığıdır.

·Fazla Reçine Sürülmüş Bölgeler

Özellikle pahlı, meyilli ve kavisli bölgelerde görülen reçine fazlalığıdır.

·Reçinesi Az Bölgeler

Elyaf üzerindeki reçinenin tüm bölgeye eşit ve yeteri kadar sürülememesidir. Büyük kuruluk kabarık gözenek şeklinde görülür. Bu hata kür işlemi sırasında o bölgeye yeteri kadar basınç uygulanmamasından kaynaklanır.



Resim 2-17 Reçinesi az bölge örneği

·Çatlaklar

Kenarı boydan boya geçmeyen, birden fazla prepreg katına geçen kesikler, çatlaklar, yarılmalar veya derin çiziklerdir. Çatlağa yakın olan bölgenin rengi diğer bölgelerin renginden genellikle daha açık olarak görünür.

Kırışıklık Hatası

Parça yüzeyindeki girinti ve çıkıntı şeklindeki kıvrımlardır.

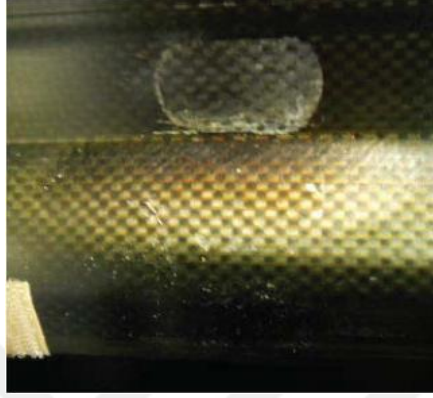
Fabriklerin döşenmesi sırasında bir veya daha fazla katın kırışıp üst üste gelmesi veya bükülmelerinden oluşur. Hata değerlendirilmesi Resim 2.18'de görüldüğü gibi maksimum çıkıntı yüksekliği "h" ve maksimum girinti derinliği "d" şeklinde ölçülerek yapılır.



Resim 2-18 Kırışma (wrinkle) örnekleri

Yanma Hatası (Burn Damage)

Yanma hatası , Resim 2.19’de görüldüğü gibi elyaf-reçine oran hatası veya otoklav kür reçetesi hatasından kaynaklı olabilmektedir ve daha çok kavisli ve radius olan bölgelerde karşımıza çıkar.



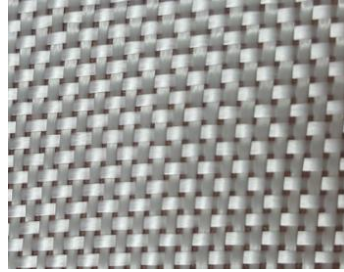
Resim 2-19 Yanma hatası

3. MATERYAL VE METHOD

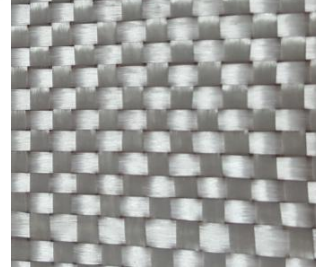
Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde üretim parametrelerinin malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisini belirlemek için farklı cam elyaf dokuma kumaş yoğunluğuna sahip takviye elemanları ile epoksi reçine matrisli malzemenin karışımı şeklinde hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları ve uygulanan methodlar aşağıda başlıklar halinde anlatılmıştır.

3.1 Kompozit Plakaların Üretim Aşamaları

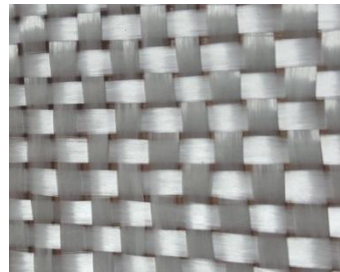
Tez çalışması kapsamında kompozit plaka üretimi için aşağıdaki resimde görülen ağırlıkları 200, 300, 500 ve 800 gr/m² olan elyaf kumaşlar kullanılmıştır. Reçine malzemesi olarak Resin 828 Lvel epoksi reçine, sertleştirici olarak da Curing Agent 866 kullanılmıştır. Reçine ve sertleştiricinin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Reçinenin sertleştiriciye oranı 100:80 olarak alınmıştır. Kompozit plakalar İzmir’de bulunan İzoreel Kompozit İzole Malzemeler San. Tic. Ltd. firmasında el yatırma metodu ile üretilmiştir. Dokunan kumaşlar 50x50 cm ölçülerinde kesilerek tabakalar arasına reçine ve sertleştirici ilave edilmiş, Resim 3.2’de verilen pres cihazında 120 °C sıcaklık altında 3 saat boyunca 0,3 MPa basınç altında bekletilmiş ve sonra oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır.



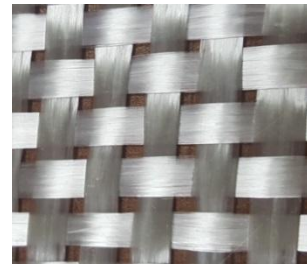
a) 200 gr/m²



b) 300 gr/m²



c) 500 gr/m²



d) 800 gr/m²

Resim 3-1 Üretimde kullanılan cam elyaf takviyeli dokuma kumaşlar

Çizelge 3-1 Reçine ve sertleştirici özellikleri

	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 3-2 Üretimi yapılacak plakaların katman sayıları ve dizilimleri

Malzeme Üretim Kodu	Katman Sayısı	Katman Dizilim Şekli
1	12	G ₂ G ₂ G ₂ 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	6	G ₈ G ₈ G ₈ G ₈ G ₈ G ₈
5	10	G ₂ G ₃ G ₂ G ₃ G ₂ G ₃ G ₂ G ₃ G ₂ G ₃
6	8	G ₂ G ₅ G ₂ G ₅ G ₂ G ₅ G ₂ G ₅
7	8	G ₃ G ₅ G ₃ G ₅ G ₃ G ₅ G ₃ G ₅
8	9	G ₂ G ₃ G ₅ G ₂ G ₃ G ₅ G ₂ G ₃ G ₅
G ₂ :200 gr/m ² Cam Elyafı G ₃ :300 gr/m ² Cam Elyafı G ₅ :500 gr/m ² Cam Elyafı G ₈ :800 gr/m ² Cam Elyafı		



Resim 3-2 Piton serisi KP2 pres



Resim 3-3 Presleme sonucunda elde edilmiş olan plakalar

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kalsinasyon DeneYleri

Üretimi yapılan kompozit malzemelerin elyaf ağırlık oranını elde edebilmek için Uşak Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarında bulunan cihazlar kullanılmıştır. Kalsinasyon deneyleri TS 1177 EN ISO 1172 [25] standardına göre yapılmıştır. Her bir numune öncelikle aşağıda Resim 4.1’de verilen etüvde 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra her bir numune ağırlıkları Resim 4.2’te verilen Radwag Marka AS220/C/2 model hassas terazi ile belirlenmiştir. Ağırlıkları belirlenmiş olan 8 farklı malzeme türünün her biri için 1 adet numune, Resim 4.3’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 4-1 Numunelerin kurutulmasında kullanılan etüvün genel görünüşü

Her numune için cam muhtevası M_{cam} , başlangıç kütlelerinin yüzdesi olarak aşağıdaki eşitlik 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

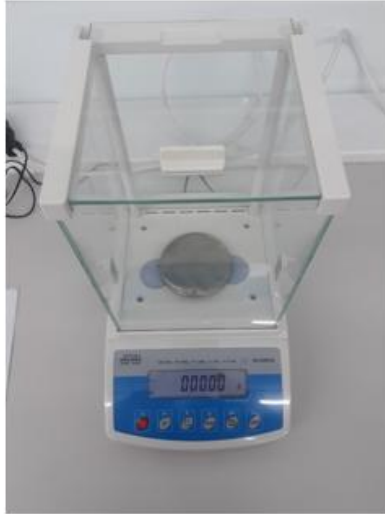
$$M_{cam} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (4.1)$$

Burada;

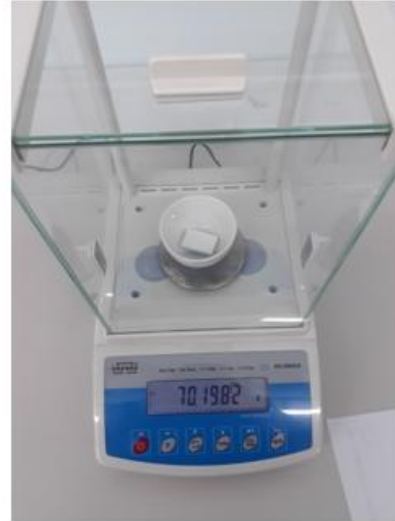
m_1 : Kuru kabın başlangıç kütlesi, (g)

m_2 : Kuru kabın ve kurutulmuş numunenin başlangıç kütlesi, (g)

m_3 : Kuru kabın ve kalsinasyon işleminden sonraki kalıntının son kütlesi, (g) dir.



a)



b)

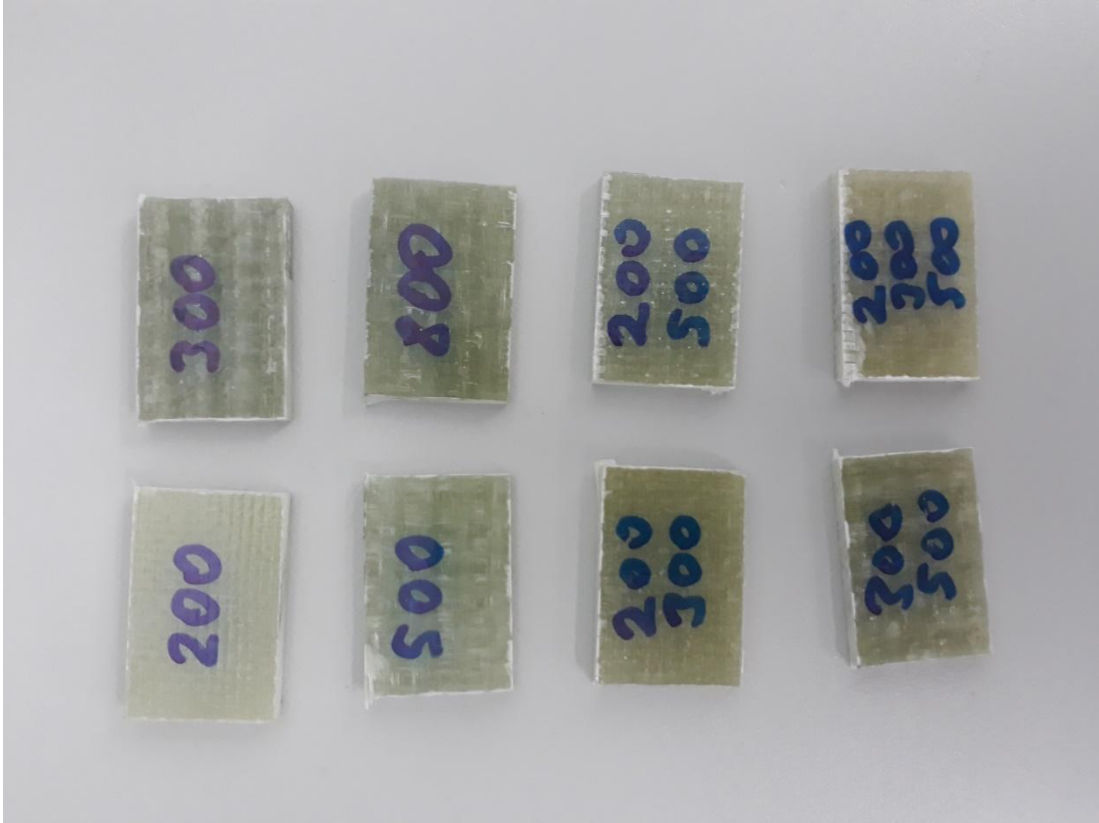
Resim 4-2 Hassas terazi cihazı a) Genel görünümü b) Tartım işlemi yaparken görünümü



a)

b)

Resim 4-3 Kül fırını cihazı a) Kapalı görünüm b) Açık görünüm



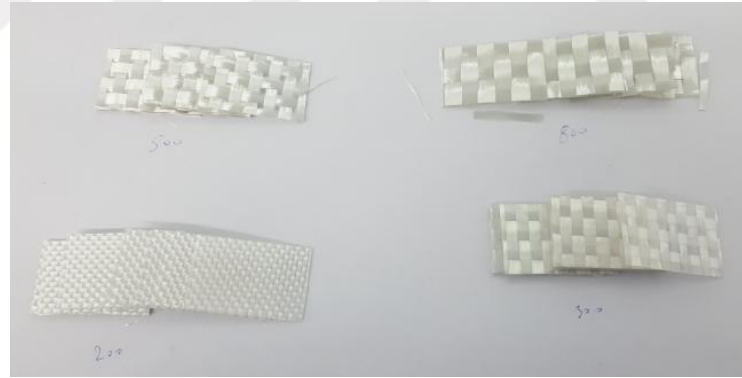
Resim 4-4 Kalsinasyon deney numunelerinin genel görünüşü

4.1.1 Kalsinasyon deney sonuçları ve değerlendirmeler

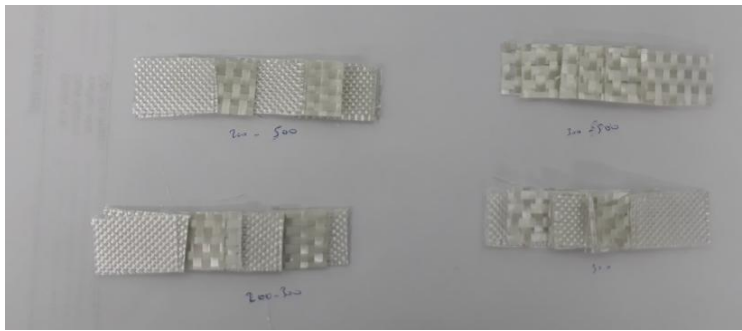
Reçinelerinden arındırılmış numuneler tekrar hassas terazide tartılarak, elyaf hacim oranları yüzde olarak Çizelge 4.1’de ve deney sonucunda reçinelerden arındırılmış numune görüşleri Resim 4.5’te verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Resim 4-5 Kalsinasyon deneyi sonucunda reçinelerinden arındırılmış 8 farklı numunenin görüşü

Çizelge 4-1 Deney sonucunda elde edilmiş yüzde elyaf ağırlık oranları

Malzeme Üretim Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8
Elyaf AğırlıkOranı(%)	77,8	76,6	75,5	75,6	76,3	74,4	77,8	73,5

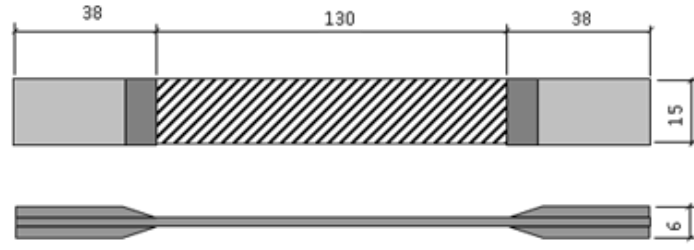
4.2 Mekanik Özellikleri Belirleme Deneyleri

4.2.1 Çekme deneyi

Üretimi yapılan kompozit malzemelerin mekaniksel özelliklerinden olan çekme dayanımı ve elastisite modüllerini elde edebilmek için çekme deneyleri yapılmıştır. Üretimi yapılan kompozit malzeme plakalarından hazırlanan çekme deneyi numunelerin çekme deneyi ASTM D3039-76 [26] standardına göre Uşak Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü konstrüksiyon ve imalat laboratuvarındaki Resim 4.6'de gösterilen çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde 8 farklı malzeme türünün her biri için 3 adet numune kullanılmıştır. Şekil 4.1'de deney numunesinin şematik gösterimi verilmiştir. Tüm Çekme deneyleri 1 mm/dk şekil değiştirme hızında oda sıcaklığında yapılmıştır. Deney esnasında numunelerin çekme cihazının çenelerine bağlanmış görünümü Resim 4.8'de verilmiştir.



Resim 4-6 Universal çekme cihazı



Şekil 4.1 Çekme deneyi numunesi şematik gösterimi



Resim 4-7 Çekme deneyi numunelerine örnekler



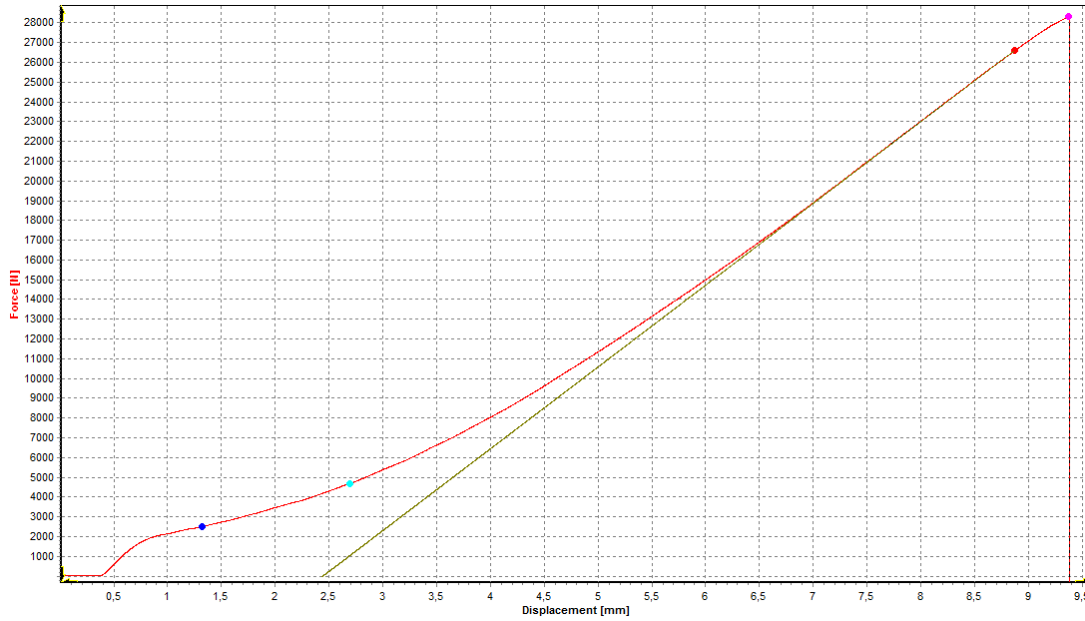
Resim 4-8 Çekme numunesinin çekme testi cihazında çenelerde bağlanmış görünümü

4.2.1.1 Çekme deneyi sonuçları ve değerlendirmeler

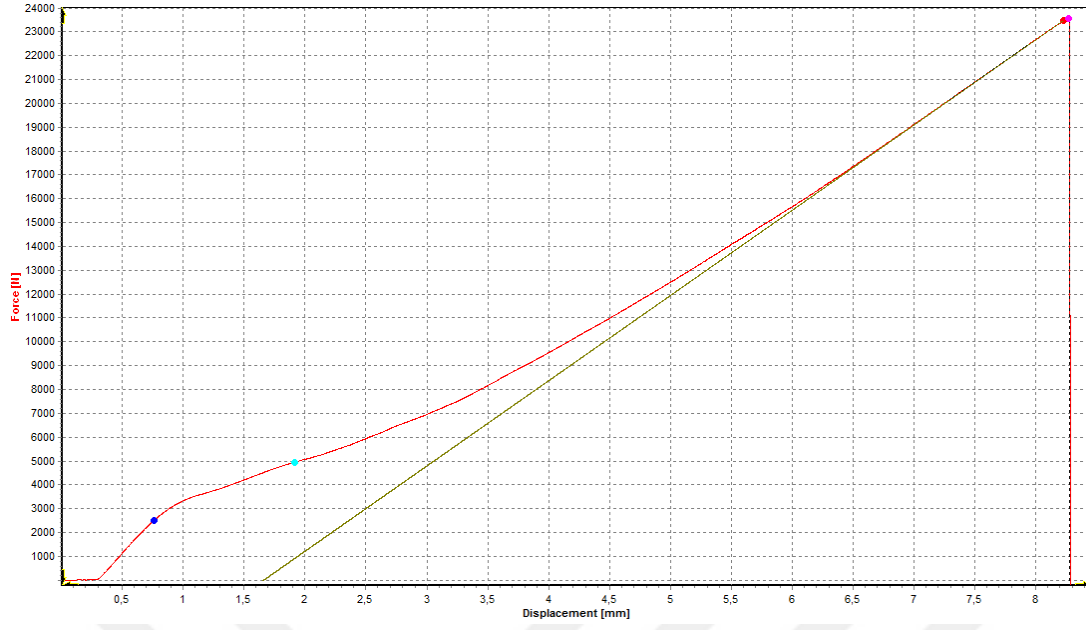
Çekme deneyi sonucunda kompozit malzemelerin çekme dayanımı değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ayrıca çekme deneyi esnasında elde edilen kuvvet-uzama grafikleri Şekil 4.2 - Şekil 4.9’da verilmiştir. Deney sonucunda hasara uğramış numunelerin görüntüleri Resim 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4-2 Deney sonucunda elde edilmiş çekme dayanımları

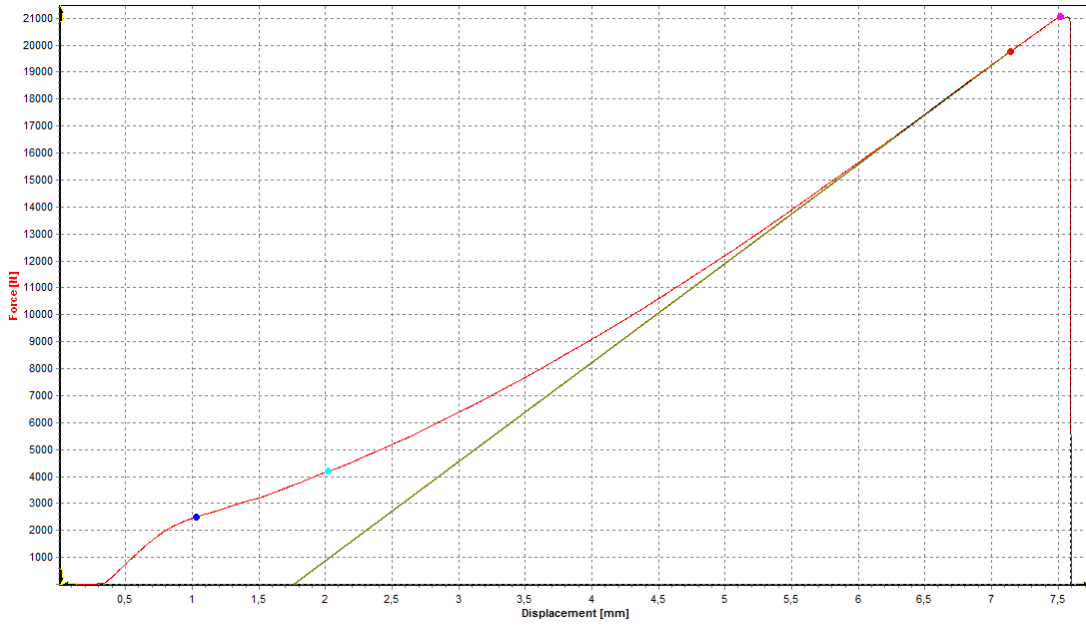
Malzeme Üretim Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8
Çekme Dayanımı (MPa)	463	429	405	331	459	427	427	387



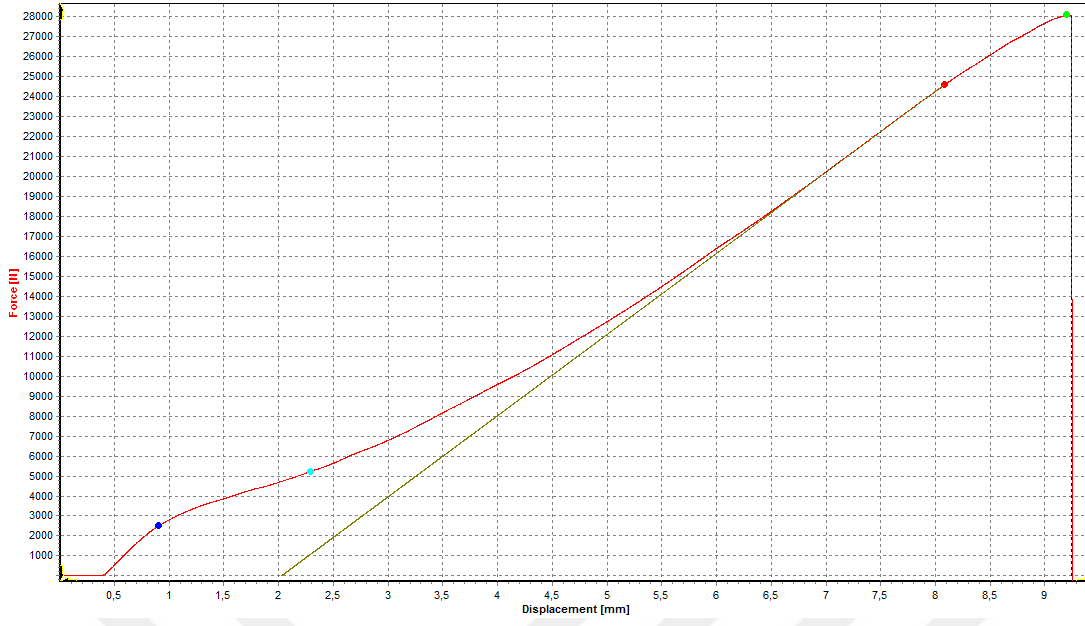
Şekil 4.2 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği G₂:200 gr/m² Cam Elyafi



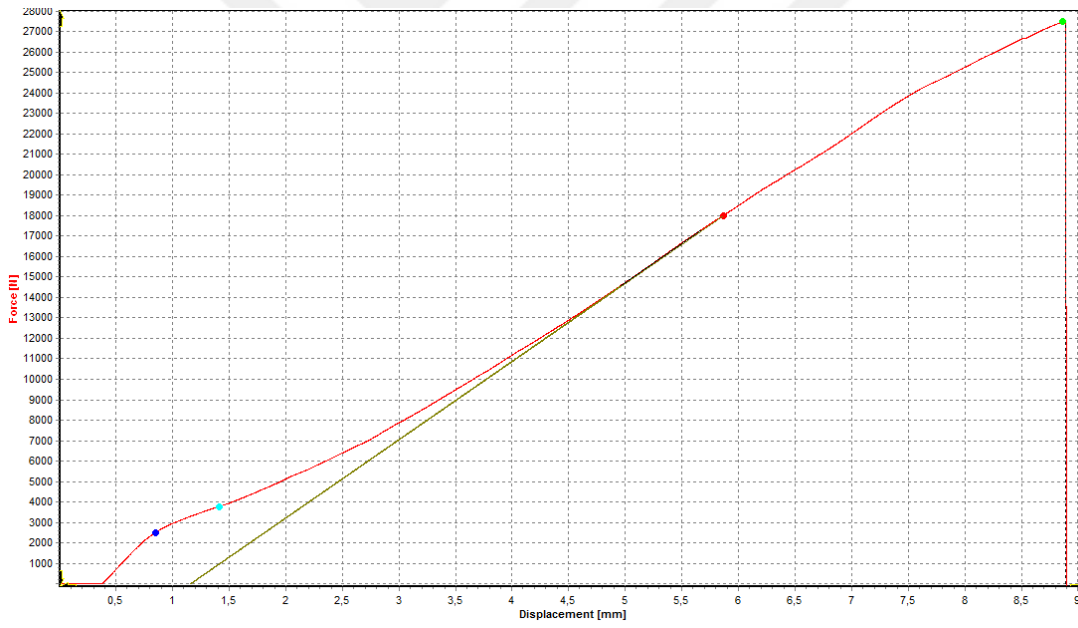
Şekil 4.3 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği G^3 :300 gr/m² Cam Elyafi



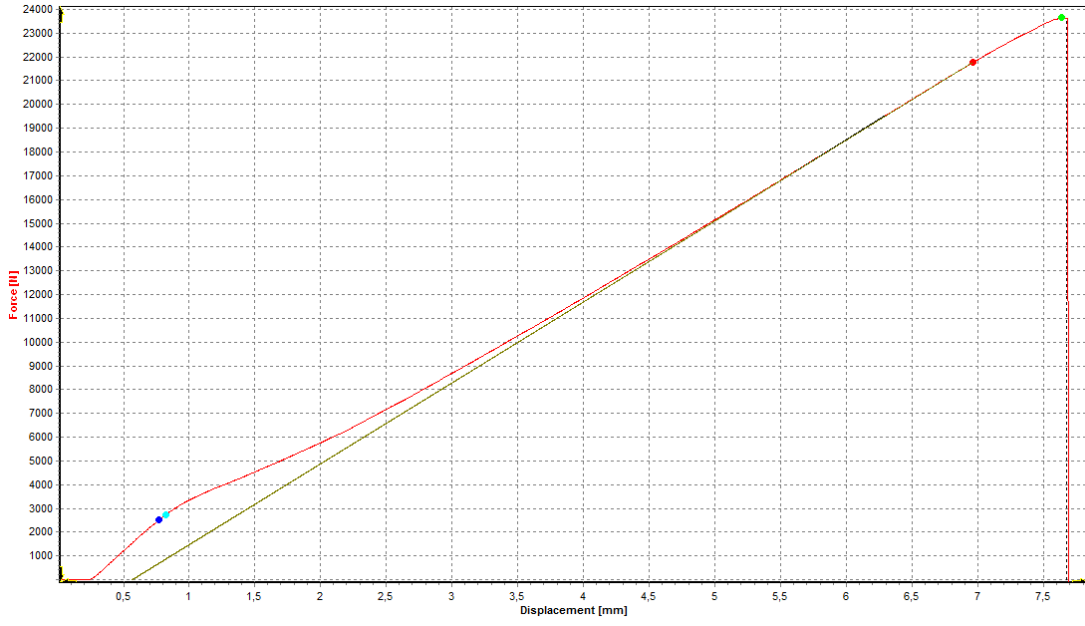
Şekil 4.4 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği G_5 :500 gr/m² Cam Elyafi



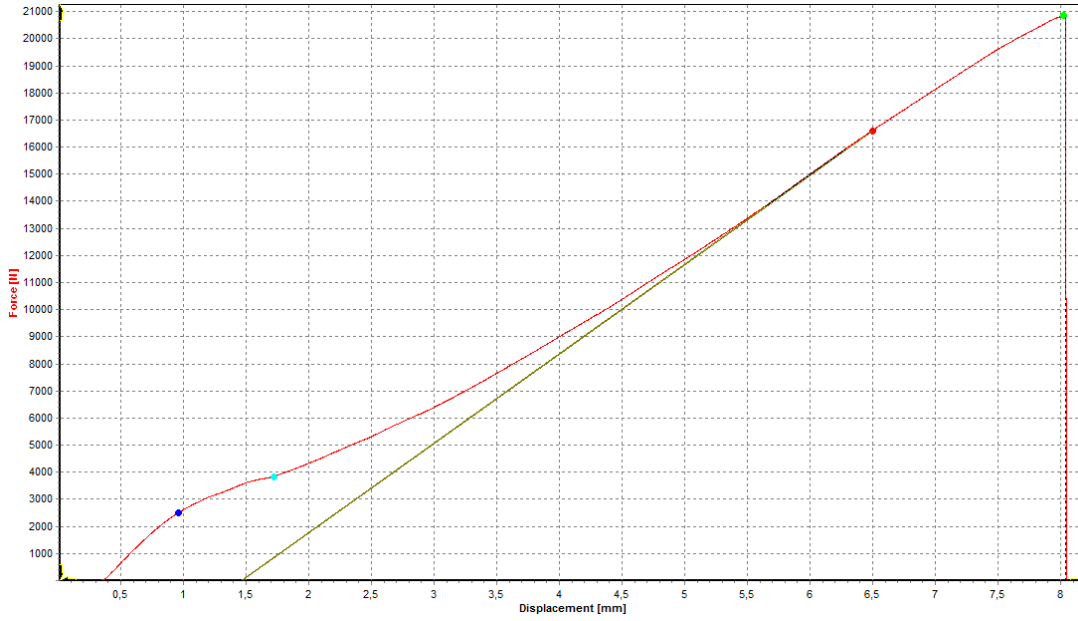
Şekil 4.5 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği G₈:800 gr/m² Cam Elyafi



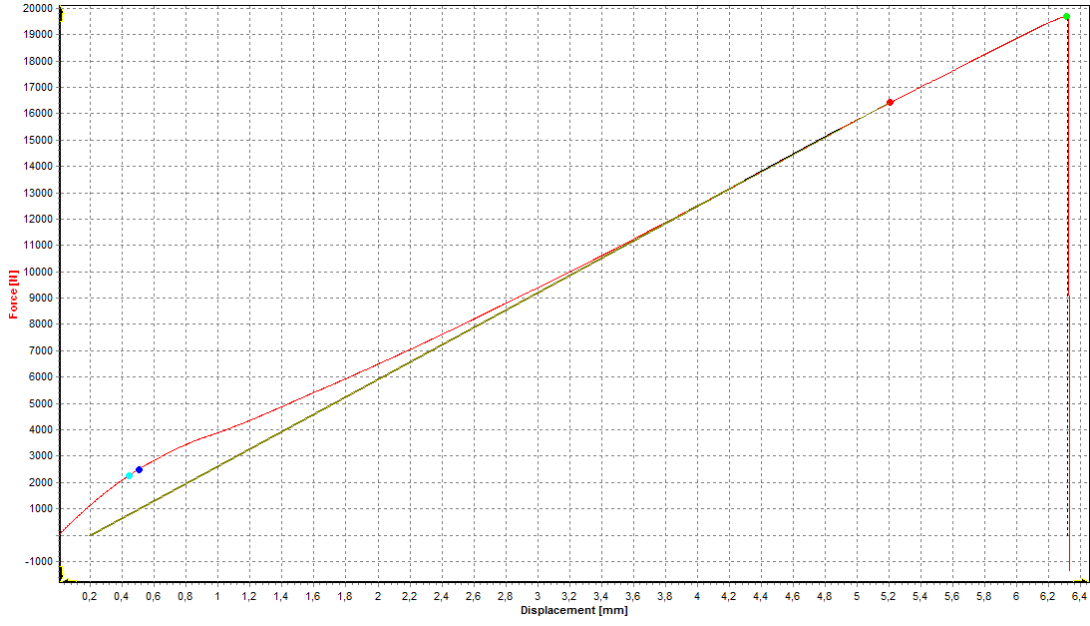
Şekil 4.6 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği G₂:200 gr/m² + G₃:300 gr/m² Cam Elyafi



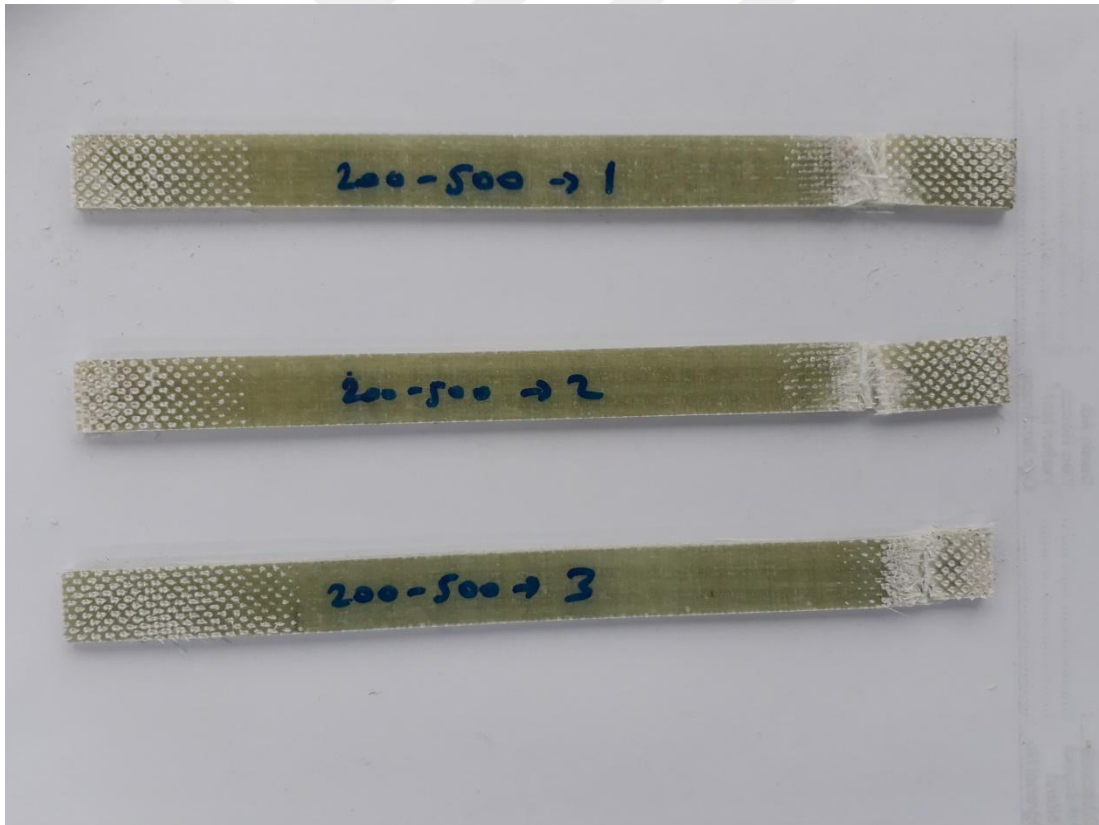
Şekil 4.7 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_2:200 \text{ gr/m}^2 + G_5:500 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı



Şekil 4.8 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_3:300 \text{ gr/m}^2 + G_5:500 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafı



Şekil 4.9 Kompozit malzemelerin kuvvet-uzama grafiği $G_2:200 \text{ gr/m}^2 + G_3:300 \text{ gr/m}^2 + G_5:500 \text{ gr/m}^2$ Cam Elyafi



Resim 4-9 Çekme testi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü



Şekil 4.10 Kompozit malzemelerin gerilme şekil değiştirme grafiği

Çekme deneyi sonuçlarına göre; üretimi yapılan kompozit malzemelerin üretimi esnasında kullanılan dokuma kumaş yoğunluklarının ve hibrit olanlar ile olmayanların çekme dayanımlarının sonuçlarını önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir. Kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme dayanımına sahip olan malzeme dokuma kumaş yoğunluğu 200gr/m^2 olan kompozit malzeme, en düşük çekme dayanımına sahip olan kompozit malzeme ise 800gr/m^2 olmaktadır.

4.2.2 Üç nokta eğilme deneyi

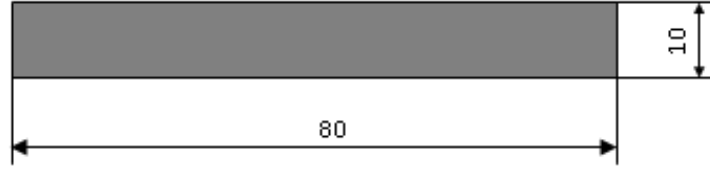
Tez çalışması kapsamında üretimi yapılan kompozit malzemelerin eğilme deneyleri ASTM D7264 [27] standardına göre yapılmıştır. Deney sonucunda kompozit malzemelerin eğilme dayanımı değerleri aşağıda verilen Eşitlik 4.1' e göre belirlenmiştir.

$$\sigma = \frac{3 F L}{2 b h^2} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'te σ :Eğilme gerilmesi (N/mm^2), F:Kuvvet (N), L:İki destek arası mesafe (mm), b:Genişlik (mm), h:Yükseklik (mm)

Deney numunesinin ölçüleri Şekil 4.11'te ve deneylerin yapıldığı üç nokta eğilme deneyi cihazının görünüşü Resim 4.10'da verilmiştir. Deneyler Uşak'ta faaliyet göstermekte olan Pull-Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San.Tic.A.Ş.'de Universal Utest marka 7013

model deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde 8 farklı malzeme türünün her biri için en az 3 adet numune kullanılmıştır. Deneyler 2 mm/dk şekil değiştirme hızında ve oda sıcaklığında (20 ± 1 °C)'de yapılmıştır. Resim 4.11'te kompozit numunenin deney esnasındaki durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Eğme deney numunesi



Resim 4-10 Çekme deneyi cihazının genel görünüşü



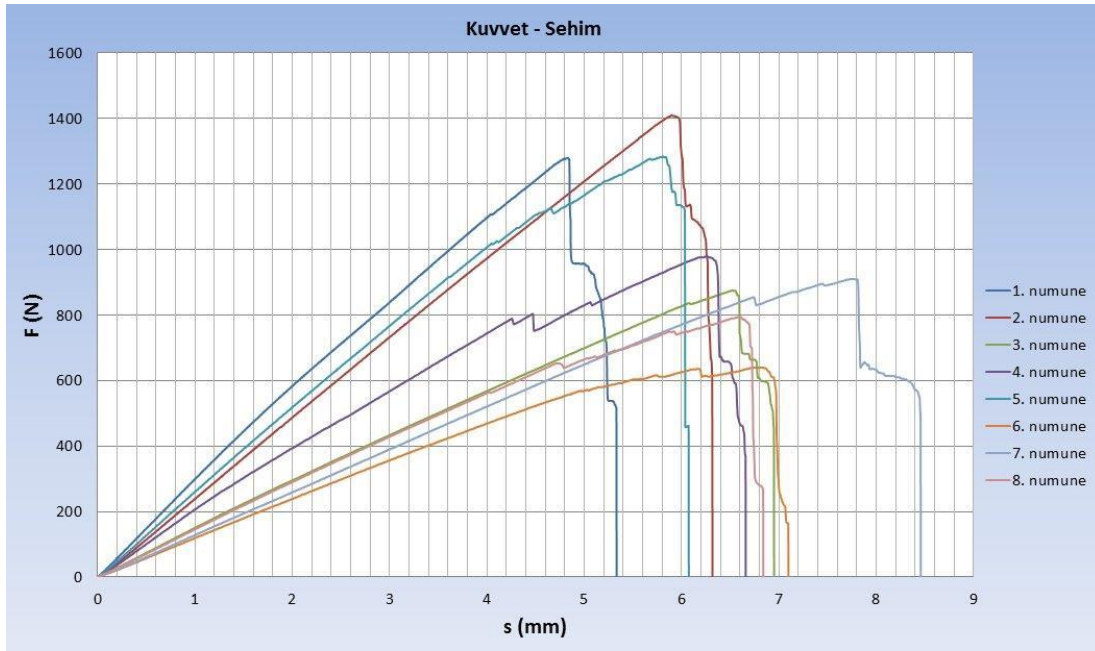
Resim 4-11 Üç nokta eğilme deneyi numunesinin eğilmeye zorlanması

4.2.2.1 Üç nokta eğilme deneyi sonuçları ve değerlendirmeler

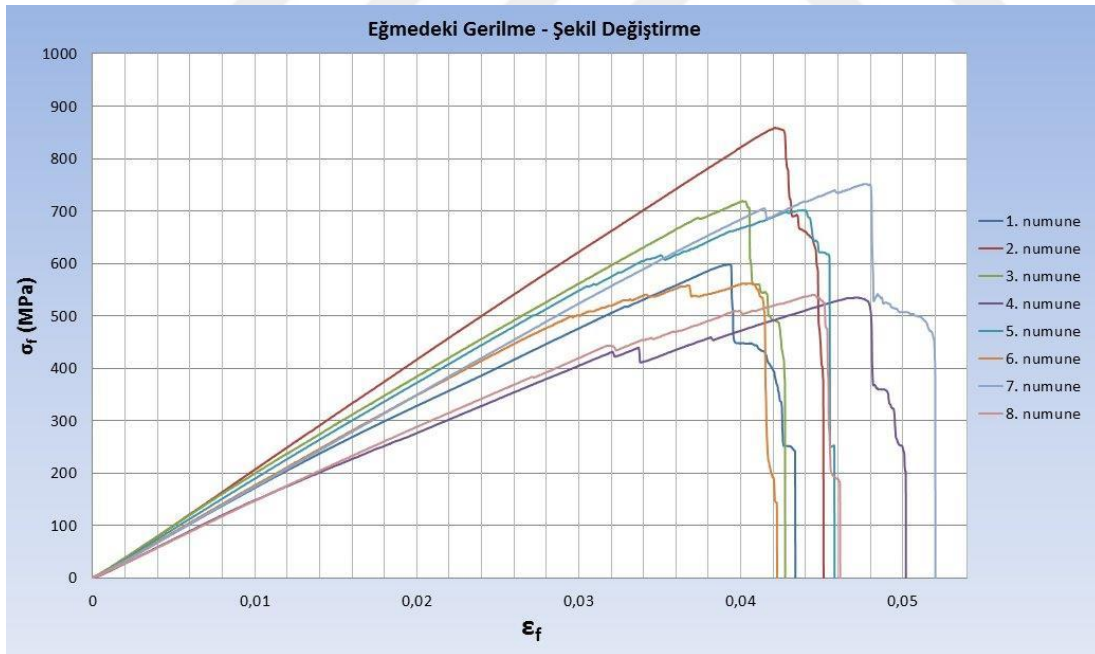
Yapılan eğilme deneyi sonucunda elde edilen ortalama eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.12'te ise numunelere ait kuvvet-sehim grafiği Şekil 4.13'te ise gerilme birim şekil değiştirme grafiği verilmiştir.

Çizelge 4-3 Deney sonucunda elde edilmiş eğilme dayanımları

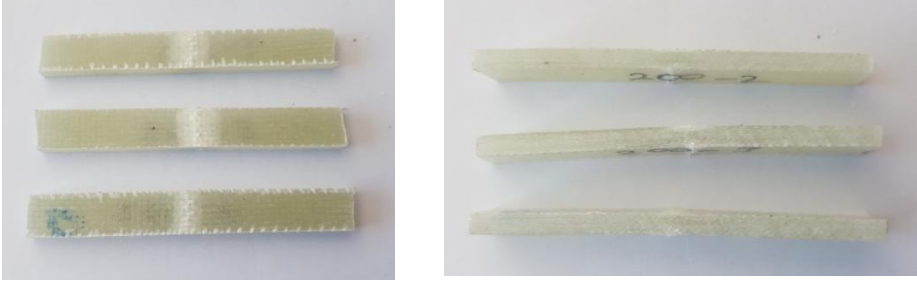
Malzeme Üretim Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8
Eğilme Dayanımı (MPa)	603	865	723	541	705	571	760	544



Şekil 4.12 Kompozit malzemelerin kuvvet sehim grafiği



Şekil 4.13 Kompozit malzemelerin gerilme şekil değiştirme grafiği



Resim 4-12 Üç nokta eğme deneyi sonucunda hasara uğramış numunelerin görünüşü

Eğilme deneyi sonuçlarına göre; üretimi yapılan kompozit malzemelerin üretimi esnasında kullanılan dokuma kumaş yoğunluklarının ve hibrit olanlar ile olmayanların eğilme dayanımlarının sonuçlarını önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir. Kompozit malzemeler arasında en yüksek eğilme dayanımına sahip olan malzeme dokuma kumaş yoğunluğu 300 gr/m² olan kompozit malzeme, en düşük eğilme dayanımına sahip olan kompozit malzeme ise 800gr/m² olmaktadır.

4.2.3 Çentik darbe dayanımlarını belirleme deneyleri

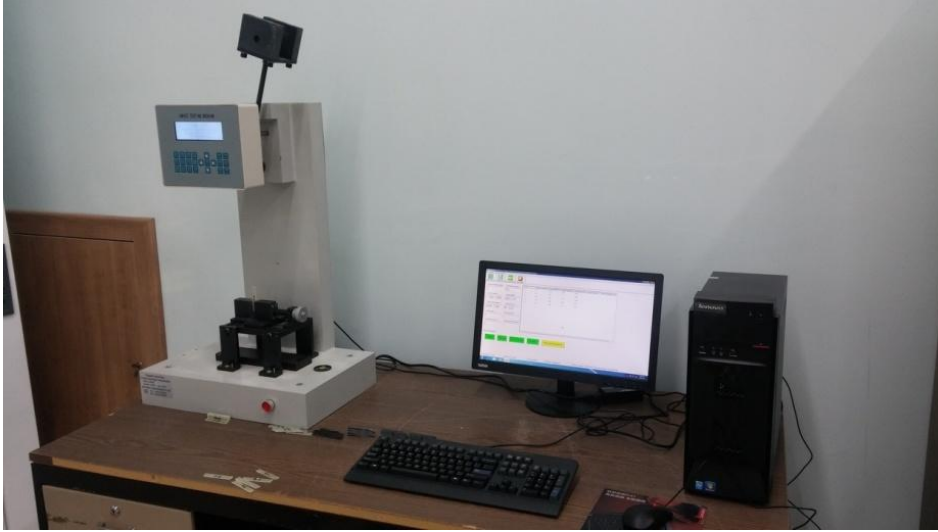
Üretimi yapılmış olan kompozit plaka malzemelerden TS EN ISO 180/A1 standardına göre 10mmx63mm ölçülerinde numuneler kesilmiştir. Numunelere çentikler Resim 4.14'te gösterilmiş olan Uşak Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarındaki çentik açma cihazı kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında yapılmıştır. Kompozit malzemelerin darbe dayanımlarına belirlemek için Uşak Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarındaki Resim 4.13'de görülen HST Marka XJXD-50 Model İzod çentik darbe test cihazı kullanılmıştır. Cihaz bilgisayar desteklidir. Darbe deneyi sonucunda numuneleri çentik darbe dayanımı değerleri aşağıda verilen Eşitlik 4.2'ye göre hesaplanmaktadır.

$$a_{\text{ç}} = \frac{E_k}{A_0} 10^3 \quad (4.2)$$

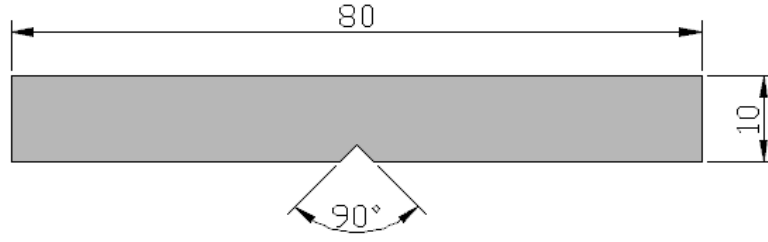
Burada $a_{\text{ç}}$: Darbe dayanımı, E_k : Kırılma enerjisi, A_0 : Çentik dibi kesit alanı olarak tanımlanabilir.



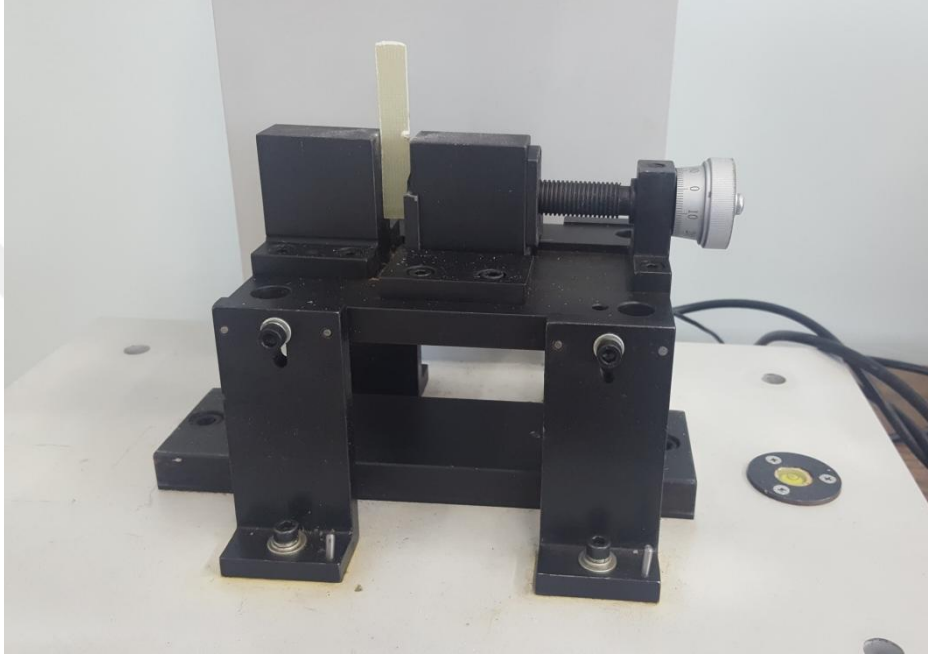
Resim 4-13 Çentik açma cihazı



Resim 4-14 Çentik darbe test cihazı



Şekil 4.14 Çentik darbe numunesi şematik gösterimi



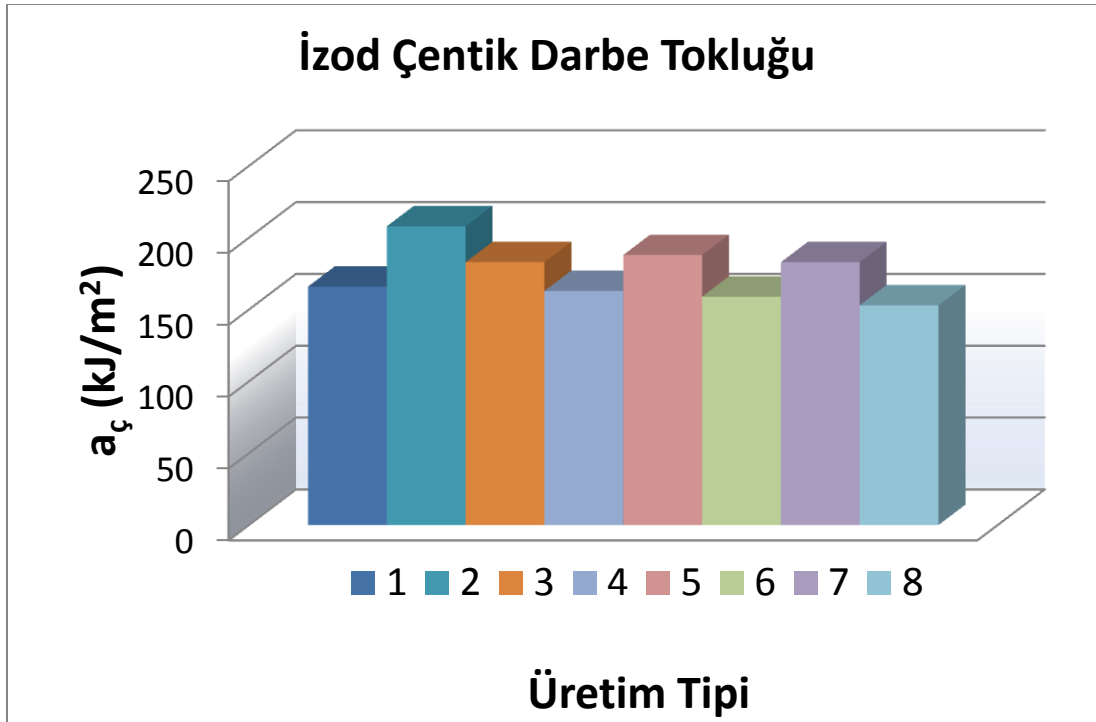
Resim 4-15 Numunenin çentik darbe test cihazının çenelerine bağlanmış görünümü

4.2.3.1 Çentik darbe deneyi sonuçları ve değerlendirmeler

Çentik darbe deneyi sonucunda kompozit malzemelerin ortalama çentik darbe tokluğu değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Kompozit malzeme numunelerinin çentik darbe tokluğu değerlerinin sütun grafiği şeklinde gösterimi Şekil 4.15’de verilmiştir. Ayrıca, çentik darbe testi sonucunda elde edilen hasara uğramış numunelerin görünüşleri Resim 4.16’de verilmiştir.

Çizelge 4-4 Deney sonucunda elde edilmiş darbe dayanımları ve darbe enerjileri

Malzeme Üretim Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8
Darbe Dayanımı (MPa)	166	208	183	163	188	159	183	153



Şekil 4.15 Kompozit malzemelerin darbe dayanımlarının grafiksel gösterimi



Resim 4-16 Çentik darbe testi sonucunda hasara uğramış kompozit numuneler

Çentik darbe deneyi sonuçlarına göre; üretimi yapılan kompozit malzemelerin üretimi esnasında kullanılan dokuma kumaş yoğunluklarının ve hibrit olanlar ile olmayanların çentik darbe tokluk değerlerini önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir. Kompozit malzemeler arasında en yüksek çentik darbe tokluğuna sahip olan malzeme dokuma kumaş yoğunluğu 300gr/m^2 olan kompozit malzeme, en düşük çentik darbe tokluğuna sahip olan kompozit malzeme ise 8. Nolu üretim olan hibrit kompozit malzemedir.

4.3 Fiziksel Özellikleri Belirleme Deneyleri

4.3.1 Yoğunluk Ölçümü

Tez çalışması kapsamında üretimi yapılan kompozit malzemelerin yoğunluk ölçümü deneyleri ASTM D 792[23] standardına göre yapılmıştır. Yoğunluk ölçümü için üretilen kompozit malzeme plakalardan yaklaşık 2 cm^2 boyutunda numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin yoğunluk değerleri Precia Gravimetrics markalı Resim 4.17' de verilen yoğunluk ölçüm cihazında belirlenmiştir. Numunelerin yoğunluk değerleri Çizelge 4.5' de verilmiştir.



Resim 4-17 Yoğunluk ölçüm cihazının genel görünüşü

Yoğunluk ölçümünde çıkan sonuçlara göre; en düşük yoğunluk değeri dokuma kumaş yoğunluğu 200gr/m^2 olan kompozit malzemede elde edilirken, en yüksek yoğunluk değeri ise dokuma kumaş yoğunluğu 800gr/m^2 olan kompozit malzemede elde edilmiştir. Ayrıca, üretilen kompozit malzemelerde kullanılan dokuma kumaş yoğunluğu arttıkça kompozit malzemelerin yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir. Hibrit olarak üretilen kompozit malzemelerde de üretimde kullanılan dokuma kumaş yoğunluğu arttıkça kompozit malzemelerin yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4-5 Kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri

Malzeme Üretim Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8
Yoğunluk (g/cm^3)	1,834	1,917	1,928	1,936	1,901	1,913	1,921	1,914

4.3.2 Kompozit Malzemelerin Porozite Değerlerinin Belirlenmesi

Üretimi yapılan kompozit malzemelerin porozite değerlerinin belirlenmesi ASTM D 2734[24] standardına göre yapılmıştır. Malzemelerin porozite değerleri aşağıdaki Eşitlik 4.3. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = 100 - \left(M_d \times \left(\frac{r}{d_r} \right) + \left(\frac{g}{d_g} \right) \right) \quad (4.3)$$

Burada;

V= Porozitenin hacimsel oranı (%)

M_d = Ölçülen yoğunluk (g/cm^3)

r= Reçinenin yüzdesel ağırlığı (%)

g= Cam elyafının yüzdesel ağırlığı (%)

d_r = Reçinenin yoğunluğu (g/cm^3)

d_g = Cam elyafının yoğunluğu (g/cm^3)' dur.

Eşitlikteki reçinenin yoğunluğu ve cam elyafın yoğunluğu üretici firmanın kataloğundan alınan değerlerdir. Porozite hesabı yapılırken firmadan alınan reçine ve cam elyafının yoğunlukları Çizelge 4.6.'daki gibi alınmıştır.

Çizelge 4-6 Epoksi reçine, cam elyafı, seramik tozların firmadan alınan yoğunluk değerleri

	Yoğunluk (g/cm^3)
Epoksi reçine	1,16
Cam elyafı	2,54

Numunelerin porozite değerleri aşağıdaki Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4-7 Kompozit malzemelerin porozite değerleri

Malzeme Üretim Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8
Porozite (%)	2,3	2,6	3,1	3,9	2,5	2,9	3,0	3,2

Porozite değerlerinin belirlenmesi sonuçlarına göre; en düşük porozite değeri dokuma kumaş yoğunluğu 200gr/m^2 olan kompozit malzemede elde edilirken, en yüksek porozite değeri ise dokuma kumaş yoğunluğu 800gr/m^2 olan kompozit malzemede elde edilmiştir. Ayrıca, üretilen kompozit malzemelerde kullanılan dokuma kumaş yoğunluğu arttıa kompozit malzemelerin porozite değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Hibrit olarak üretilen kompozit malzemelerde de üretimde kullanılan dokuma kumaş yoğunluğu arttıa kompozit malzemelerin porozite değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.



5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında el yatırma yöntemi ile üretimi yapılan elyaf takviyeli kompozit malzemelerde üretim parametrelerinin malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde 4 farklı dokuma kumaş yoğunluğuna sahip cam elyafli dokuma kumaşlar (200 gr/m², 300 gr/m², 500 gr/m², 800 gr/m²) ve Resin 828 Lvel epoksi reçine, sertleştirici olarak da Curing Agent 866 kullanılarak hibrit ve hibrit olmayan kompozit malzemelerin üretimleri yapılmıştır.

Çizelge 5-1 Kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel değerleri

Malzeme Üretim Kodu	Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Cam Elyafli Dokuma Kumaş Tipi	Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı Rm (MPa)	Eğme Dayanımı σfs (MPa)	Çentik Darbe Kırılma Tokluğu ak (KJ/m ²)	Numunenin yoğunluğu (g/cm ³)	Porozite (%)	Elyaf Ağırlık Oranı (%)
1	200 g/m ²	4,1	463	603	166	1,834	2,3	77,8
2	300 g/m ²	3,7	429	865	208	1,917	2,6	76,6
3	500 g/m ²	3,4	405	723	183	1,928	3,1	75,5
4	800 g/m ²	3,9	331	541	163	1,936	3,9	75,6
5	200 g/m ² + 300 g/m ²	3,9	459	705	188	1,901	2,5	76,3
6	200 g/m ² + 500 g/m ²	3,4	427	571	159	1,913	2,9	74,4
7	300 g/m ² + 500 g/m ²	3,3	427	760	183	1,921	3,0	77,8
8	200 g/m ² + 300 g/m ² + 500 g/m ²	3,4	387	544	153	1,914	3,2	73,5

Üretilen kompozit malzemenin kalsinasyon deneyi, yoğunluk deneyi ve porozite ölçüm değerlerinin tespiti ile çekme, eğme ve çentik darbe deneyleri sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki Çizelge 5.1.'de toplu olarak verilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde; üretimi yapılan kompozit malzemelerde kullanılan dokuma kumaş yoğunluğu arttıkça üretilen kompozit malzemelerin kalınlıklarının arttığı, yoğunluk ve porozite değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin yüzde ağırlıkça elyaf oranları % 73,5 ile 77,8 arasında olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluklarının yaklaşık 1.9 (gr/cm³) olduğu, en düşük yoğunluk miktarının dokuma kumaş yoğunluğu 200gr/m² olan kompozit malzemedeki, 1.834 (gr/cm³)

meydana geldiği tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerde en düşük porozite miktarının (% 2.3) dokuma kumaş yoğunluğu 200gr/m^2 olan kompozit malzemedede, en yüksek porozite miktarının (% 3.9) dokuma kumaş yoğunluğu 800gr/m^2 olan kompozit malzemedede meydana geldiği bulunmuştur.

Yapılan deneylerin ve testlerin sonuçlarına göre; üretim parametrelerinin kompozit malzemelerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir.

Mekanik özelliklerin belirlenmesi için çekme çentik darbe ve üç noktadan eğilme testleri, fiziksel özelliklerin belirlenmesi için porozite ve yoğunluk testleri yapılmıştır.

Kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme dayanımına sahip olan malzeme dokuma kumaş yoğunluğu 200 gr/m^2 olan kompozit malzeme, en düşük çekme dayanımına sahip olan kompozit malzeme ise 800 gr/m^2 olmaktadır. Kumaş yoğunluğu 200 gr/m^2 olan numune 12 katman şeklinde üretilmiş olup en kalın malzemedir.

Kompozit malzemeler arasında en yüksek eğilme dayanımına sahip olan malzeme dokuma kumaş yoğunluğu 300 gr/m^2 olan kompozit malzeme, en düşük eğilme dayanımına sahip olan kompozit malzeme ise 800gr/m^2 olmaktadır. Eğilme uzaması değerinin artan elyaf oranıyla azaldığı görülmüştür. Literatürde de benzer sonuçları görmek mümkündür. Rasgele dağılımlı 3 mm'lik kısa cam elyaf takviyeli epoksi kompozitler ile çalışılan Kaushik, A., Singh, P., Kaushik, J.[22] yaptıkları çalışmalarda artan elyaf oranıyla, hazırladıkları kompozitlerin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Kompozit malzemeler arasında en yüksek çentik darbe tokluğuna sahip olan malzeme dokuma kumaş yoğunluğu 300 gr/m^2 olan kompozit malzeme, en düşük çentik darbe tokluğuna sahip olan kompozit malzeme ise 8. Nolu üretim olan hibrit kompozit malzemedir.

Yapılan deneyler sonucunda gerek hibrit gerekse hibrit olmayan numunelerde mekaniksel ve fiziksel özellikleri etkileyen dokuma kumaş türü 300 gr/m^2 'dir. Optimum mekaniksel ve fiziksel özellik sağlayan kumaş türü 300 gr/m^2 olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Demircioğlu, G., ‘‘Kısa cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerde elyaf boyutunun etkisi’’ , *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2006 (1-145)
- [2] Khojin, A.S., Bashirzadeh, R., Mahinfalah, M., Jazar, N. R., kh‘‘Temperature Effects on the Impact Behavior of Fiber glass and Fiber glass/ Kevlar Sandwich Composites’’ , November 2006 , Volume 13, Issue 6, pp 369-383
- [3] Lauke, B, ‘‘On the effect of particle size on fracture toughness of polymer composite’’ Voume 68, Issues 15-16, December 2008, Pages 3365-3372
- [4] P. Mertiny, F. Ellyin , Influence of the filament winding tension on physical and mechanical properties of reinforced composites,, 2002, 1615-1622
- [5] Scott R. Dyer, Lippo V.J. Lassila, Mikko Jokinen, Pekka K. Vallittu , Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite, 2004, 947-955
- [6] Sebastien Migneault, Ahmed Koubaa, Fouad Erchiqui , Abdelkader Chaala, Karl Englund,, Michael P. Wolcott , Effects of processing method and fiber size on the structure and properties of wood–plastic composites. 2009, 80-85
- [7] Shao Yun Fu, Xi-Qiao Feng, Bernd Lauke and Yiu Wing Mai, 2008, ‘‘Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particles loading on mechanical properties of particulate-polymer composites’’, *Composites: Part B* 39, pp. 933-961.
- [8] L.S. Sutherland , R.A. Shenoi , S.M. Lewis, ‘‘Size and scale effects in composites’’ Volume 59, Issue 2, February 1999, Pages 209-220
- [9] A.C.N. Singleton, C.A Baillie, P.W.R Beaumont, T. Peijs, On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fibre/ recycled polymer composite , Volume 34, 2003, 519-526
- [10] Sayman, O., Aksoy, S., ‘‘Kompozit Malzemeler’’, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Yayınları, İzmir, 1-30 (1978)
- [11] Turhan, M, ‘‘CTP’lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkilerinin Araştırılması’’ Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006
- [12] Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000.
- [13] Metin, M., 2008, ‘‘E-Camı/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe hasarının burkulma özelliklerine etkisi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-94.
- [14] Mallick, P.K . 1988. Fiber – Reinforced Composites, Marel Dekker
- [15] Aktaş, M., 2003, ‘‘Düzlem dışı düzgün yayılı yüke maruz kompozit levhada elasto-plastik gerilme analizi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

- [16] Arasan, Ş.,2014, “Hibrit kompozitlerin kırılma tokluğunun belirlenmesi”,Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak,1-85.
- [17] Aktaş, M., 2007, “Temperature effect on impact behavior of laminated composite plates”,Doktora Tezi,*Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-136
- [18] ASTM D3039 (1996). “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymeric Composite Materials”, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.02
- [19] Yaşar İ. , Arslan F., ‘‘ Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Doğrultusunun Tribolojik Özelliklere Etkisi’’ *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü*, 24 (2000) , 181 -191.
- [20] Çeçen V, ‘‘ Thermal Properties and mechanical anisotropy in polymer composites’’, *Dokuz Eylül Üniversitesi, September, 2006, İzmir*
- [21] Esendemir U, Varol R., ‘‘Cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin eğilme yorulma davranışının belirlenmesi’’ MCBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi Yıl: 2017 Sayı:23 Cilt: I
- [22] Kaushik, A., Singh, P., Kaushik, J., “The Mechanical Properties and Chemical Resistance of Short Glass-Fiber-Reinforced Epoxy Composites”, *International Journal of Polymeric Materials*, 55 (6):425-440, (2006).
- [23] ASTM D792-13, Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org
- [24] ASTM D2734-16, Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org
- [25] TS 1177 EN ISO 1172, Tekstil - Cam Takviyeli Plâstikler - Prepregler, Kalıplama Hamurları Ve Lâminantlar - Tekstil - Cam Ve Mineral Dolgu Muhtevasının Tayini Kalsinasyon Metotları, TSE, 2004
- [26] ASTM D3039 / D3039M-17, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017
- [27] ASTM D7264 / D7264M-15, Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİR, Fadime Kübra
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 08.05.1988 Konya
Medeni hali : Evli
e-mail : kubraz88@hotmail.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Şehit Necati Sargın Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2014	Pultech Frp Ticaret A.Ş	Proje Mühendisi
2015-Halen	Türk Havacılık Uzay Sanayi	Tasarım Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce