



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**PAMUK ELYAF TAKVİYELİ BİYO
KOMPOZİT MALZEMELERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Muhammet Çağrı AYAN

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**PAMUK ELYAF TAKVİYELİ BİYO KOMPOZİT MALZEMELERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Muhammet Çağrı AYAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2019

Muhammet Çağrı AYAN tarafından hazırlanan “PAMUK ELYAF TAKVİYELİ BİYO KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Memduh KARA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi 21/01/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Tolga DEĞİRCİ
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



İmza

Muhammet Çağrı AYAN

11/01/2019

PAMUK ELYAF TAKVİYELİ BİYO KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet Çağrı AYAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2019

ÖZET

Artan çevre bilinciyle beraber, son zamanlarda daha az kalıcı etki bırakan, çevreyi daha az kirleten ürünler ve üretim yöntemlerine ilgi de artış görülmektedir. Doğal polimerler, geri dönüştürülebilir poşetler, karbon salınımını en aza indiren elektrikli araçlar bunlardan birkaç tanesidir.

Kompozit malzemelerde doğal liflerin kullanımı sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm gibi kavramların ön plana çıkmasıyla son yıllarda hızla artış göstermektedir. Takviye materyali olarak kullanılan doğal liflerin geri dönüştürülebilirlik ve biyolojik olarak parçalanabilirlik ve özellikleri, yüksek özgül mukavemet, düşük yoğunluk değerlerine ek olarak bitkisel kökenli doğal kaynakların yenilenebilir olması sebebiyle ekolojik malzemeler gelişim göstermektedir.

Doğada canlılardan oluşan ve hücrelerden meydana gelen doğal lifler hayvansal ve bitkisel lifler olmak üzere 2 grup içinde sınıflandırılmaktadır. Örneğin ağaç bir kompozittir, lignin adı verilen çok daha zayıf bir madde ile bir arada tutunan uzun selüloz liflerinden (bir tür polimer) oluşur. Selüloz aynı zamanda pamuğun içinde de bulunur, fakat onu bağlayan lignin maddesi olmadan pamuk çok daha mukavemetsizdir. İki zayıf madde lignin ve selüloz birlikte çok daha güçlü bir malzeme oluştururlar.

İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme üretimi için bir çok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada, doğal lif takviyeli kompozit malzeme üretiminde en sık kullanılan yöntem olan vakum infüzyon yöntemi ile biyo kompozit malzeme üretimi ve bu malzemelerin cam elyaf, karbon elyaf takviyeli kompozitlere kıyasla mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Aynı ağırlığa sahip cam elyaf takviyeli, karbon elyaf takviyeli, yarı mamul biyo kompozit ve kumaş halinde nihai ürün olan biyo kompozit malzemelerden olmak üzere 4 tip kompozit malzeme üretimi vakum infüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen plakalar standartlara uygun bir şekilde kesilerek mekanik testler için numuneler hazır hale getirilmiştir. Yapılan deneylerin sonuçlarında piyasada sıkça kullanılan cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozitler karşısında biyo kompozitlerin özellikleri kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kompozit, Biyo Kompozit, Cam Elyaf, Karbon Elyaf, Vakum infüzyon

Sayfa Adedi : 68

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

AN INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF COTTON FIBER REINFORCED BIO COMPOSITE MATERIALS

(M. Sc. Thesis)

Muhammet Çağrı AYAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

January 2019

ABSTRACT

With an increasing environmental awareness, interest in products and production methods that have less polluting and less persistent environmental impact has also increased in recent years. Natural polymers, recycled pouches, electric cars, which reduced carbon emissions, are some of these.

The use of natural fibers in composite materials is increasing rapidly, as concepts such as recycling and sustainability are at the forefront. Ecological materials have been developed because of the biodegradability and recyclability properties of natural fibers used as reinforcing material, low density, high specific strength values as well as the renewable nature of vegetable origin natural resources.

The natural fibers, which are composed of living organisms in the nature and formed from cells, are classified into two groups as animal and vegetable fibers. For example, a tree is a composite composed of long cellulose fibers (a kind of polymer) that are held together by a much weaker substance called lignin. Cellulose is also present in the cotton, but without the lignin that binds it, the cotton is much more resistless (weak). The two weak substances lignin and cellulose together form a much stronger material.

There are many methods for producing composite materials in desired characteristics and shape. In this study, it is aimed to investigate the mechanical properties of bio composite materials produced by vacuum infusion method which is the most commonly used method in the production of natural fiber reinforced composite materials and the comparison of these materials with glass fibers and carbon fiber reinforced composites.

Four types of composite materials were produced by vacuum infusion method, from glass fiber reinforced, carbon fiber reinforced, semi-finished bio composite with the same weight and bio composite material, which is final product in fabric.

Plates obtained were cut in accordance with standards and samples were prepared for mechanical tests. The results of the experiments have compared the properties of bio composites against glass fiber and carbon fiber reinforced composites frequently used in the market.

Key Words : Composite, Bio Composite, Glass Fiber, Carbon Fiber, Vacuum infusion

Page Number : 68

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam esnasında emeğini ve zamanını vererek sağladığı bilimsel katkıları, yüreklendirici ve destekleyici tutumları için lisansüstü danışmanım Prof. Dr. Ahmet YAPICI' ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez çalışmam esnasında değerli katkı, görüş ve bilgi paylaşımlarından dolayı Sayın Öğr. Gör. Göksel SARAÇOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak lisansüstü çalışmalarım sırasında zaman zaman ihmal ettiğim fakat hiçbir zaman fedakârlık ve desteklerini esirgemeyen, yılgınlıklarında beni kendime getiren sevgili eşim Cansu AYAN' a, gelişiyile hayatıma da mutluluk getiren kızım İkra Hümeysra AYAN' a, kıymetli annem, babam ve kardeşlerime sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. Kompozitlerin Tarihçesi	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Tanımı Ve Genel Özellikleri.....	6
2.3. Kompozitlerin Avantajları Ve Dezavantajları.....	8
2.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	10
2.5. Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Doğal Lifler.....	12
2.6. Doğal Liflerin Avantaj Ve Dezavantajları	13
2.7. Kompozitlerin Üretiminde Kullanılan Matris Malzemeler	15
2.8. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	16
2.8.1. Vakum İnfüzyon Yöntemi	16

3. MALZEMELER VE YÖNTEM	20
3.1. Malzemeler	20
3.1.1. Cam Elyaf.....	20
3.1.2. Karbon Elyaf.....	20
3.1.3. Pamuk	21
3.1.4. Epoksi Reçine ve Sertleştirici	22
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Kompozit Malzemelerin Üretimi.....	22
3.2.2. Fonksiyonelleştirme.....	26
4. DENEY BULGULARI VE TARTIŞMA	29
4.1. Çekme Deneyi Ve Sonuçları.....	29
4.2. Düşük Hızlı Darbe Deneyi Ve Sonuçları	32
4.3. SEM Analizi Ve Sonuçları.....	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ	52
DİZİN	53

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1. Bazı doğal liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri.....	13
Çizelge 2. Mekanik test numuneleri kodlarının tanımı	30



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. Kompozit malzemenin takviye edicilere göre sınıflandırılması.....	10
Şekil 2. Kompozit malzemelerde kullanılan bitkisel kökenli liflerin sınıflandırılması	13
Şekil 3. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri.....	16
Şekil 4. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan elemanlar.....	17
Şekil 5. Reçine ve vakum hatlarının karşılıklı yerleştirildiği vakum infüzyon sistemi(Tip 1)	17
Şekil 6. Çerçevesinden vakumlanıp reçinenin ortadan verildiği vakum infüzyon sistemi(Tip 2)	18
Şekil 7. Çekme numunesi ölçüleri	25
Şekil 8. Çekme deneyi sonuçları-maksimum gerilme	30
Şekil 9. Gerilme – % Uzama diyagramı	31
Şekil 10. Kuvvet – Zaman Grafiği.....	33
Şekil 11. Hız – Zaman Grafiği	34
Şekil 12. Kuvvet – Yer Değiştirme Grafiği	35
Şekil 13. Yer Değiştirme – Zaman Grafiği.....	36
Şekil 14. Kuvvet – Enerji Grafiği	37
Şekil 15. Enerji - Zaman Grafiği.....	38
Şekil 16. Taramalı elektron mikroskopunun (SEM) şematik gösterim	39

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1. Cam Elyaf	20
Resim 2. Karbon Elyaf.....	21
Resim 3. Pamuk Kumaş Türleri.....	21
Resim 4. Epoksi Reçine ve Sertleştiriciler.....	22
Resim 5. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan elemanlar.....	23
Resim 6. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan ekipmanlar	23
Resim 7. Reçine hazırlama işlemi.....	24
Resim 8. Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen numune plakalar	25
Resim 9. Çekme numunesi hazırlama işlemi.....	25
Resim 10. %1 NaOH çözeltisi hazırlama işlemi.....	26
Resim 11. Pamuk kumaşların fonksiyonelleştirilmesi.....	27
Resim 12. Fonksiyonelleştirilmiş numune plakalar.....	27
Resim 13. Çekme numunesi hazırlama işlemi.....	28
Resim 14. Deney sonu kopmuş çekme numuneleri.....	29
Resim 15. Düşük hızlı darbe deneyi numuneleri	32
Resim 16. Düşük hızlı darbe deney cihazı.....	32
Resim 17. P1 numunesinin 50 X ve 310 X büyütmede SEM mikrografı.....	40
Resim 18. PK1 numunesinin 49 X ve 310 X büyütmede SEM mikrografı.....	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
cm	Santimetre
cm²	Santimetrekaire
cm³	Santimetreküp
min	Dakika
gr	Gram
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
pH	Power of Hydrogen
N	Newton
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
µm	Mikrometre
\$	Dolar

Kısaltmalar Açıklamalar

ASTM	American society for testing and materials
HDPE	High Density Polyethylene
CTP	Cam elyaf Takviyeli Plastik
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
SEM	Scanning Electron Microscopy

1. GİRİŞ

Kompozitler, sağladıkları bir çok avantaj ve çeşitlilikleri nedeniyle günümüzde kullanılan pek çok mühendislik uygulamalarında çok önemli bir yere sahiptir. Kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan bir kısım kimyasal ve fiziksel özelliklere yalnız başına cevap veremeyen polimerlere farklı tipte ve oranda doğal liflerin takviye edilmesi sonucunda istenilen özelliklerin elde edildiği kompozitler, son yıllarda en çok tercih edilen malzemelerdir [1].

Doğal lifler kompozit malzemeler için takviye elemanı olarak tercih edilmektedir. Doğal liflerin tercih edilmesinin sebeplerinden en önemlisi, kompozite yüksek modül değeri ve yüksek mukavemet kazandırmak istenmesidir. Kompozitlerde; düşük ağırlık, yüksek modül ve mukavemet, ayarlanabilir ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek yorulma mukavemeti ve ekonomik uygunluk gibi özellikler takviye malzemesinin tercih edilmesinde büyük role sahiptir. Matris malzemelerinin seçim kriterleri ise; lifleri korozyon ve oksidasyon ortamının etkisi, lifler arasında gerilim transferi sağlamak ve darbelerden korumaktır. Kompozitlerin en önemli avantajı, bileşenlerinin taşıdığı en iyi özellikleri bir araya getirmesidir [2].

Kompozitlerin farklı birçok kullanım alanları vardır. Bunlardan bazıları; elektronik, otomotiv, havacılık, inşaat ve spor malzemesi gibi alanlardır. Kompozitlerin imal edilmesinde sağladıkları yüksek modül ve mukavemet sebebi ile takviye elemanı olarak çoğu zaman karbon, cam gibi inorganik lifler veya HDPE ve aramid gibi yüksek performanslı sentetik lifler tercih edilirler. Buna ek olarak yasal düzenlemelerin ve çevresel bilincin artması ile karbon, cam veya aramid takviyeli polyester, epoksi esaslı kompozitlerin kullanımına ve üretimine ait büyük sorunlar gündeme gelmektedir [2-3].

Kompozitlerin en büyük olumsuz özellikleri; matris ve takviye elemanlarının birbirlerine çok kuvvetli şekilde bağlanması sebebi ile bileşenlerin birbirinden ayrılmasında ve geri dönüştürülmesinde karşılaşılan zorluklardır [1-3]. Bu sorunların azaltılması ve malzemelerin çevreye uyarlanmasına dair artan talep sebebiyle polimer malzemelerin özellikle jut , kenevir, keten, pamuk gibi doğal lifler ile takviye edilerek “doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin” üretimleri ve kullanımları günümüzde büyük oranda artış göstermiştir. Bu sebeple günümüzde doğal lif takviyeli kompozitlerin imalat yöntemleri ve kompozit malzemelerin son özellikleri [4-7], kompozitleri oluşturan

malzemelerin kompozit malzeme içerisindeki davranışları [8] ile çeşitli oranlarda ve tipte doğal lif kullanımının kompozitlerin özelliklerine etkileri [9-10] üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır.



2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozitler, birbirlerinde farklı veya malzeme veya şekil birleştirilmesi ile meydana gelen ve birbiri içerisinde çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenin karıştırılmasından veya birleştirilmesinden meydana gelen bir malzeme türüdür. Kompozitler, istenilen bir özelliği elde etmek için, direk olarak istenilen maksatta kullanılmayan en az iki farklı malzemeden ve bu malzemelerin belli oranlarda ve belli şartlar altında fiziksel olarak birleştirilmesiyle üretilirler. Kompozit malzemeler genel olarak düşük dayanım ve modüle sahip reçine veya metalik matris ana fazı ve bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye malzemesinde meydana gelmektedir. Fakat, alaşımlar kompozit malzeme olarak isimlendirilemezler. Sebebi mikroskobik olarak homojen yapıda olmalarıdır [11-12].

Kompozitler kendini meydana getiren malzemelerin taşıdıkları özellikleri barındırmasına ek olarak; kalıplama kolaylığı, yüksek mukavemet, tasarım esnekliği, hafiflik, korozyon dayanımı, boyutsal stabilite, yüzey uygulamaları, yüksek dielektrik direnimi, yüksek ısı dayanım, şeffaflık özelliği, titreşim sönümlendirme, yüksek kimyasal direnç, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu, akustik iletkenlik gibi avantajlar sağlar. Kompozitlerin metallere oranla aynı ağırlıktaki mukavemet değerleri birbirine kıyasla çok daha yüksektir [13-14].

Örneğin; aynı yönlü karbon fiber takviyeli epoksi kompozit malzemeler, alüminyum ve çelikten yaklaşık 6-4 kat daha yüksek kendine özgü çekme dayanımına sahiptir. Kompozit malzemelerde kullanım yeri ve özelliğine bağlı olarak ihtiyaç duyulan özellikler artırılabilir. Karmaşık şekilli parçaların tek parça olarak üretilebilme kolaylığından dolayı parça miktarında azalma sağlanır. Böylece üretilecek olan parça sayısı azalmış olur ve üretim süresini kısalar [13-15].

2.1. Kompozitlerin Tarihçesi

Kompozitler, kerpiç malzemeden bu zamana kadar kullanılan, betonarme ve asfalta kadar süregelen büyük bir zaman diliminde çok eski tarihlere dayanmakla beraber, “Kondensasyon Reaksiyonu”nun 1930 tarihlerinde icadından hemen sonra hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir [16].

İlk kompozit plastik örnekleri 2.Dünya Savaşı sırasında askeri amaçlarla kullanılmış, fakat 1946 yılından hemen sonra dünya genelinde ticari özellik kazanmıştır. Kompozitler dünyanın tamamı için hala yeni bir malzeme türüdür [17].

Kompozitlerin ilk uygulamalarından bu yana, matris ve takviye malzemelerinde bir çok yeniliklere gidilmiştir ve çok daha yüksek performans değerlerini bünyesinde barındıran farklı kompozitler imal edilmiştir. Kompozit malzemeler, hızlı bir şekilde gelişmekte olup bu ivmeyi hızla sürdürmeye devam eden bir malzemedir, bu gelişimiyle geleceğin malzemesi olma yolunda ilerlemektedir. Çok yönlü kullanım alanına sahip ve teorik olarak sonsuz ömürlü olan kompozitlerin, bu özellikleri sayesinde büyük bir potansiyele de sahip olduğu kullanım alanının büyük bir hızla genişlemesiyle ortaya koyulmaktadır [16-17].

Kompozitlerde, gerek takviye malzemesinin yerleşim biçimi ve türü, gerek matris ve reçine özellikleri, kompozitin kimyasal, mekanik ve ısı özelliklerini artırabildiğinden, diğer klasik mühendislik malzemelerine kıyasla kompozit malzemeyi farklı bir konuma taşımaktadır. Örneğin, klasik malzemelerle üretim yapılırken sadece malzemeye şekil verilebilirken, kompozit malzeme üretiminde, malzemeye şekil verilirken aynı zamanda istenilen malzemenin kendisi de imal edilmektedir. Böylece, klasik mühendislik malzemelerine önemli bir rakip durumuna gelen kompozit malzemeler, farklı nitelikleri sayesinde de sürekli yeni olma özelliğini de bünyesinde barındırmaktadır [18].

Günümüzde artık gelişmişliğin bir ölçüsü olarak kişi başına düşen kompozit malzeme tüketimi de kullanılmaktadır. Örneğin, kişi başına düşen kompozit malzeme kullanım miktarı gelişmiş ülkelerde, ülkemizdeki miktarın yaklaşık olarak 10 katına kadar çıkmaktadır. Buna karşılık, kompozit malzemelerin kullanımının yıllık büyüme oranı dünya genelinde yaklaşık olarak % 3 mertebelerindeyken ülkemizde bu oranın % 12

mertebelerinde bulunması ülkemiz açısından sevindirici bir durumdur. Ülkemiz açısından bu istikrarın devam etmesi halinde kısa bir süre zarfında gelişmiş ülkeleri yakalayabileceğimiz ön görülmektedir [18].

Kompozit malzemelerin, çok farklı niteliklere sahip olabilmesi, klasik kullanılan malzemelere kıyasla bazı dezavantajları da oluşturmaktadır. Bunlardan başlıcaları klasik mühendislik malzemelerinde artık tüm kimyasal ve fiziksel özellikler tanımlanabilir ve test edilebilir durumdadır, buna karşın kompozitlerin çeşitliliğin bir sonucu olarak hala net olarak ölçümlenememiş ve tanımlanamamış özelliklerinin bulunmasıdır. Bu durum kompozit malzemeleri geliştirmeye ve araştırma açık bir duruma getirmiştir [17-18].

Kompozit malzemelerin diğer bir eksiği de, standart hale getirme zorluğudur. Klasik malzemeler artık her özelliği ile standart hale gelmiş olmasına rağmen, kompozit malzemeler uzun çalışmalara rağmen hala standart hale getirilememiştir [17-18].

Türkiye’de kompozit malzemeler ilk olarak “Anadol” marka otomobilin kaportasının imalatı ve polyester su depolarının imalatı ile olmuştur. Uzun yıllar boyunca, en ilkel açık kalıplama yöntemi olan el yatırma yöntemi tercih edilerek üretilen kompozit malzemelerin yerine otomasyonlu yöntemler kullanılarak kompozit üretimine geçiş uzunca bir süreç almıştır [17-18].

Bunun sebebi, otomasyonlu üretim yöntemlerinin ciddi ilk yatırım maliyetleri gerektirmesi ve ülkemizde ki işçilik maliyetlerinin ucuz olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat günümüzde estetik beklentiler, seri üretim ihtiyacı ve işçilik maliyetlerinin de artık ucuz olmaması nedeniyle ülkemizde de otomasyonlu üretim yöntemleri artık tercih edilmeye başlanmış ve kompozit üretim miktarı hızlı bir şekilde artış göstermeye başlamıştır [18].

Bunun yanı sıra ülkemizde kompozit konusunda yetişmiş personel hemen hemen yok denecek kadar azdır. Şirketler sadece kendi ihtiyaçları çerçevesinde kendine ait olan personeli yapacağı iş özelinde eğitmektedir. Bilimsel temellere dayalı eğitim almamış olan bu personellerin kompozit üretiminde ülkesel gelişmeye yararlı oldukları da söylenemez. Bu konuda, ülke olarak bilimsel temellere dayalı olarak eğitim görmüş, personel ihtiyacını karşılamak üzere eğitim konusuna ciddiyetle yatırım yapılması gerekmektedir [16-18].

2.2. Kompozitlerin Tanımı Ve Genel Özellikleri

Kompozitler; seçilen iki adet yada daha çok sayıda malzemenin üstün özelliklerini tek malzemede birleştirerek veya bu bileşimden yeni bir özellik meydana getirmek amacıyla makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana getirilen yeni malzeme çeşitleridir [19].

Kompozitlerin taşınması gereken özellikler aşağıda ki gibidir:

- İnsan üretimi olmalı,
- En az iki veya daha çok sayıda, farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip malzemeler birleştirilmeli ve birleştirme sonucu malzeme farklı ara yüzeylere sahip olmalı,
- Herhangi bir tek bileşenle elde edilemeyen mekanik özellikler elde edilmeli,
- İki ayrı malzeme karıştırılarak karma bir malzeme oluşturulmalı veya en iyi özellikleri elde edebilmek için bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü olarak dağıtılması şeklinde elde edilmeli,
- Kompozit yapıyı meydana getiren malzemelerin en iyi özelliklerini bir arada toplanmalıdır [19].

Kompozit malzemelerden yapılacak olan parçalar tasarımı aşamasındayken, öncelikle parçanın nerede kullanılacağı ve kullanım ihtiyacına yönelik özel ihtiyaçlarının neler olduğunun belirlenmesi gereklidir. Kompozit parçalar tasarlanırken dikkat edilmesi gereken faktörler; maliyet, ham madde özellikleri, imalat yöntemi, çevre şartlarının parça üzerinde ki etkisi, kontrol ve kalite yöntemleridir [19].

Tasarımda karşılaşılan zorlukların en büyüğü kompozitlerin izotropik davranış sergilemesidir. Tasarımı yapacak kişi, parçanın hangi noktasında ne kadar mukavemete ihtiyaç duyulacağını ve parçanın her yönden ne kadar yüke maruz kalacağını çok iyi belirlemeli ve elyafın açılarının yerleşimini ona göre belirlemelidir [20].

Kompozit malzemelerin yapısında merkez olarak, takviye edici bir malzeme ve çevresinde hacimsel olarak çoğunluğa sahip kaplayıcı ve bağlayıcı matris malzemedan oluşmaktadır. Takviye edici malzemenin amacı, kompozit yapının yük taşıma ve mukavemet gibi özelliklerini sağlamaktadır. Matris malzemedde ise amaç, plastik deformasyon sırasında yapıda meydana gelebilecek çatlak ilerlemesinin önüne geçmek ve kompozitin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemelerin bir diğer amacı ise, yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmak ve elyaf malzemelerini yük altında bir arada tutabilmektir. Bu sayede matrisler elyaf malzemelerde plastik deformasyon başladığında meydana gelecek olan çatlak ilerlemesinin önüne geçmiş olur [21].

Kompozitlerin geniş kullanım alanlarında diğer klasik malzemelere göre avantaj sağlayan özellikleri, yüksek mukavemet, hafiflik, darbe dayanımı, parça bütünlüğü ve uzun kullanım ömrüne sahip olmasıdır [21].

Örnek olarak, elastik bir malzeme olan cam elyafı yük altında düzgün olarak kopma noktasına kadar uzar ve çekme yükünün ortadan kaldırılması sonrasında herhangi bir akma özelliği göstermeden başlangıç boyutuna dönme eğilimi gösterir. Organik liflerde ve diğer metallerde bulunmayan bu yüksek mukavemet ve elastiklik gibi özellikleri; cam elyafına büyük miktarda enerjiyi, kayıpsız olarak depolama ve bırakma olanağı sağlamaktadır. Bu özellik, aşınmaya karşı korunması, dinamik yorulma dayanımı koşulu ile kara taşıtlarının amortisör yayları ve mobilya yayları gibi ürünlerin cam elyafı takviyeli kompozit malzemedan yapılabilmesine olanak sağlamaktadır [21].

Cam elyafı takviyeli kompozit malzemelerde, cam elyafı takviyesinin yönü önemli bir parametredir ve cam elyafının reçine ile kaplanabilirliğine de etki eden bir durumdur. Dolayısıyla cam elyafının mukavemeti takviye miktarının artışı ile birlikte artış gösterir. Kompozitlerin bu üstün özelliklere sahip olmasına rağmen, yük taşıma kabiliyetinde zaman geçtikçe azalma gözlemlenmektedir. Bu sebeple, kompozit malzeme imalatında tasarım yapılırken uygun bir emniyet faktörü belirlenerek, ani kırılmaların önüne geçilmesi gerekmektedir. Günümüz standartlarında zaman parametresine bağlı olarak kompozit malzemelerin mukavemetin azalması, çekme dayanımının başlangıç değerinin 2/3'üne çok kısa sürede düşmesi ve 1/2'sine 50 yıl gibi bir sürede düşmesi şeklinde ön görülmektedir [22].

2.3. Kompozitlerin Avantajları Ve Dezavantajları

Hafif yapıya sahip olmaları ve özgül ağırlıklarının düşük olması kompozit malzemelere büyük avantajlar sağlar. Bu avantaja ek olarak elyaf takviyeli kompozit malzemelerin korozyona karşı yüksek direnci, ses, ısı ve elektrik yalıtımı sağlamaları da ilgili kullanım alanları için diğer klasik kullanılan malzemelere oranla önemli bir üstünlük sağlamaktadır [19].

Kompozit malzemelere dezavantaj sağlayan yönlerinin ortadan kaldırılması için yapılan teorik çalışmaların olumlu neticelenmesi halinde kompozitler ilerleyen süreçte metalik malzemelerin yerini alabilecektir [19].

Kompozitlerin avantajlı yönlerini aşağıda maddeler halinde ki gibi sıralayabiliriz:

- Kolay Şekillendirme : Büyük ve kompleks parçaların imalatında kompozit malzemeler kullanarak, tek bir işlemle ve tek parça halinde kalıplanabilir. Bu işlemde malzeme ve işçilikten büyük kazanç sağlar.
- Yüksek Mukavemet : Kompozitlerin eğilme ve çekme mukavemetleri, metalik malzemelerin bir çoğuna göre çok daha yüksektir. Buna ek olarak kaplama özelliklerinden dolayı, kompozit malzemelere istenen bölgede ve istenen yönde gerekli mukavemet verilebilir. Böylelikle malzeme miktarından tasarruf edilerek, daha ucuz ve daha hafif ürünler elde edilebilir.
- Isıya Karşı Dayanıklılık : Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden imal edilen kompozit malzemelerin ısıya karşı dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı bulunan çalışma ortamlarında etkin kullanılmasına büyük olanak tanımaktadır. Kompozit malzemenin ısıya dayanımı bazı ektin maddelerin yapısına eklenmesi ile de artırılabilir.
- Titreşim Sönümlenme : Kompozitlerin sünek özelliğe sahip olması nedeniyle, doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliğini bünyesinde barındırır. Çatlak yürümesi olayı da bu sayede engellenmiş olur.

- Kimyasal Etkilere ve Korozyona Karşı Dayanıklılık : Kompozit malzemeler, havadan kaynaklanan etkilerden, korozyondan ve birçok kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özelliklere sahip olması sebebiyle kompozitler, boru ve aspiratörleri, kimyevi madde taşıyan tanklar ile tekne ve deniz araçlarının imalatında güvenle kullanılmaktadır.
- Elektriksel Özellikler : Kompozit malzemelerin üretiminde uygun malzemeler tercih edilmesiyle daha üstün elektriksel özelliklere sahip yeni ürünler imal edilebilir.
- Kalıcı Renklendirme : Kalıplama esnasında reçineye çeşitli pigmentler ilave edilmesi sayesinde kompozit malzemelere istenen renk verilebilir. Bu işlemin yapılması ek bir işçilik ve masraf gerektirmez [19].

Kompozitler, aşağıda belirtilecek olan dezavantajlarına rağmen klasik kullanılan malzemelere oranla birçok avantaja sahiptir. Bu sebeple kompozit malzemeler, bina cephe ve panolarında, kimyasal madde depolarında, otomobil gövde ve tamponlarında, deniz taşıtlarında, komple banyo ünitelerinde, karayolu tankerlerinde, ev eşyalarında, tarım araçları gibi birçok sanayi alanında kullanılan ekipmanlarda etkin bir şekilde kullanılabilen uyumlu bir malzeme türüdür [20].

Kompozitlerin dezavantajlarını ise şu şekilde sıralayabiliriz:

- Hammadde tedarik fiyatının pahalı olması : Hava yolu araçlarında kullanılabilen kalitede karbon elyafın m²'lik maliyeti yaklaşık olarak 50 \$' dır.
- Lamine edilmiş kompozit malzemelerin özellikleri her zaman uygun değildir. Malzemelerin katları arası düşük kesme dayanım ve kalınlık yönünde düşük dayanıklılık gibi dezavantajı bulunmaktadır.
- Kompozit malzemelerin kalitesi seçilen üretim yönteminin kalitesine bağlıdır, standart hale gelmiş bir kaliteye sahip değildir.
- Kompozit malzemeler gevrek olmaları sebebiyle kolaylıkla zarar görebilirler ve onarımları yeni problemlere yol açabilir.

- Kompozit malzemeler sınırlı raf ömrüne sahiptir. Bazı tür kompozit malzemelerin soğutulup muhafaza edilmesi gerekmektedir. Sıcak kurutmaya ihtiyaç duymaktadır. Kompozit malzemeler onarma işlemine tabi tutulmadan hemen önce çok iyi bir şekilde temizlenmelidir ve kurutulmalıdır. Bazı çalışma şartları altında bu durum zor olabilir ve bazı kurutma teknikleri uzun zamana ihtiyaç duymaktadır [20-21].

2.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması

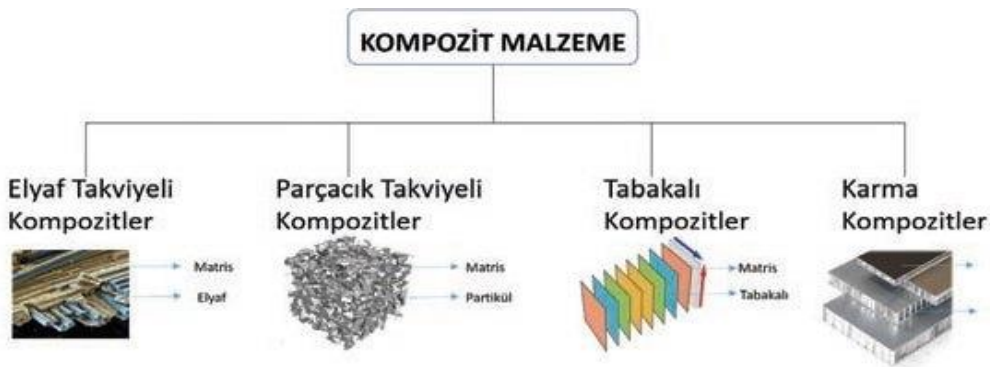
Kompozitleri iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bunlar, yapılarını oluşturan malzemeler ve yapısında ki bileşenlerinin şekline göredir [19-22].

Kullanılan matris malzemesinin türüne göre;

- Plastik Matrisli Kompozitler
- Metalik Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler

Yapısında ki bileşenlerinin şekline göre;

- Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler
- Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler
- Tabaka Yapılı Kompozit Malzemeler
- Karma Kompozit Malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır [19-22].



Şekil 1. Kompozit malzemenin takviye edicilere göre sınıflandırılması [23]

Elyaf Takviyeli Kompozitler

Elyafın matris yapıda yer alması sonucu bu kompozit tipi meydana gelmiştir. Kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli faktörlerden biri elyafın matris içindeki yerleşimidir. Uzun elyafın yönlerinin matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmesi sonucu elyaf doğrultusunda yüksek mukavemet elde edilirken, elyaflara dik doğrultuda ise düşük bir mukavemet elde edilir. Buna karşılık olarak elyafın iki boyutlu olarak yerleştirilmelerinin sonucu her iki yönde de eşit mukavemet sağlanabilirken, matris yapısı içinde homojen olarak dağılmış olan kısa elyaflarda ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür [24].

Kompozit yapının mukavemeti için kullanılan elyafın mukavemet değerleri oldukça önemlidir. Buna ek olarak, matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı da ki artış kullanılan elyafın uzunluk/çap oranının artmasına bağlıdır. Kompozit yapının mukavemeti açısından önemli faktörlerden biri de kullanılan elyafın yapısında hata bulunmamasıdır [24].

Kompozit yapıların mukavemetinde önemli olan bir diğer faktörde elyaf ile matris arasındaki bağın yapısından kaynaklanmaktadır. Matrisin yapısında boşluklar olursa elyaf ile matris arasında temas azalır. Elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özellik de nem absorpsiyonudur [24].

Kompozit malzeme üretiminde en fazla kullanılan elyaf türleri aşağıda ki gibidir;

- Cam elyaf
- Karbon elyaf
- Polyester elyaf
- Poliamid elyaf
- Aramid elyaf
- Yüksek yoğunluklu polietilen elyaf
- Oksit elyaf
- Bor Elyaf
- Doğal organik elyaflardır [25].

2.5. Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Doğal Lifler

Doğal lifler doğada canlılardan oluşur ve hücrelerden meydana gelir. Hayvansal ve bitkisel lifler olmak üzere 2 grup içinde sınıflandırılmaktadır [26]. Kompozit malzemelerin üretiminde genel olarak selülozik esaslı bitkisel lifler kategorisinde bulunan sak lifleri, meyvelerin ve yaprakların lifleri kullanılmaktadır [27].

Günümüzde doğal liflerin kompozit malzeme üretiminde kullanımı geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik gibi özellikleri sebebiyle hızla artış göstermektedir. Takviye elemanı olarak kullanılan doğal liflerin biyolojik olarak parçalanabilmesi ve geri dönüştürülebilme özelliklerine sahip olması, yüksek özgül mukavemet ve düşük yoğunluk gibi özelliklerinin de yanı sıra bitkisel kökenli olan doğal kaynakların yenilenebilir olması sebebiyle doğal malzemeler gelişim göstermektedir [27-29]. Sentetik liflerin teknolojiyle daha da geliştirilmesine rağmen son dönemde keten lifi [30-33], kenevir lifi [34-36], jüt lifi [37-38] ve Hindistan cevizi lifi [39-41] gibi doğal liflerin birçok farklı üstün özellikleri sebebiyle özellikle de taşıt sektöründe cam liflerinin yerine kullanılması dikkatleri çekmektedir. Buna karşın doğal liflerin kompozit malzeme üretiminde ki sınırlayıcı özellikleri; hidrofob özellikteki polimer matris ile uyumsuz olmasına neden olan hidrofil karakterinin ve bozunma olasılığını taşıması sebebiyle işlem sıcaklığının düşük derecelerde tutulması gerekliliği şeklinde özetlenebilir [42].

Kompozit malzemelerin üretilmesinde genellikle bitkisel lifler sınıfında yer alan doğal lifler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılan bitkisel lifler Şekil 2’de gösterildiği gibi, tohum olarak pamuk lifleri, sak olarak keten, kenevir, rami, jüt, kenaf lifleri, yaprak olarak sisal lifleri ve meyve olarak Hindistan cevizi lifleri kullanılmakta ve 4 sınıfa sınıflandırılmaktadır [31]. Ayrıca zirai esaslı bitkisel lifler olan pirinç kapsülleri, pirinç ve buğday saplarından elde edilen lifler de kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır [43].



Şekil 2. Kompozit malzemelerde kullanılan bitkisel kökenli liflerin sınıflandırılması [31]

Çizelge1. Bazı doğal liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri [42]

LİF	Yoğunluk (g/cm ³)	Young Modülü (GPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Çap (µm)	Kopma Uzunluğu (%)	Nem içeriği (%)
Pamuk	1,5-1,6	5,5-12,6	287-800	11,5-17	7-8	8,5
Jüt	1,3-1,45	13-26,5	393-773	15,9-20,7	1,16-1,5	12,6
Keten	1,50	27,6	375-1100	17,8-21,6	2,7-3,2	10
Kenevir	1,48	70	690	17-22,8	1,6	10,8
Sisal	1,45	9,4-22	486-640	18,3-23,7	3-7	11
Hindistan cevizi	1,15	4-6	191-175	16,2-19,5	15-4	8

2.6. Doğal Liflerin Avantaj Ve Dezavantajları

Doğal liflerin; düşük maliyeti, düşük yoğunluğu, lif yüzey modifikasyonunun kolay oluşu, yüksek özgül dayanıklılığı ve yüksek elastikiyet modülü, çevreye duyarlı ve üretim sürecinin kolay olması, aşınmaya karşı dirençli, doğayla uyumlu ve yenilenebilir olması, kullanım ömrü bittikten sonra yakma işlemi yapılması sonucunda enerjinin geri dönüştürülebilir olması, üretim esnasında daha az enerjiye ihtiyaç duyulması, sağlık ve

güvenlik riskinin çok daha az olması, kolay şekil verilebilmesi, cam elyaf esaslı kompozitler ile yarışabilecek düzeyde kendine özgü mekanik özelliklere sahip olması, CO₂ dengesi, iyi akustik ve termal yalıtım özelliklerine sahip olması gibi pek çok üstün karakteristik özellikleri ile son yıllarda polimer matrisi içinde güçlendirici olarak ve dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir [44].

Doğal lifler sahip olduğu bir diğer özellik, bozunuma uğramayacakları üretim sıcaklıklarında çok yüksek oranda polimer matrise ilave edilebilmesidir [45].

Doğal lifler geri dönüştürülebilir bir malzemedir, çünkü biyolojik olarak çözünebilir özelliğe sahiptirler. Ayrıca yanma sırasında açığa çıkan termal enerjiye kolayca dönüştürülebilirler ve kalıntı bırakmadan daha az kirliliğe neden olurlar. Doğal lifler sentetik liflere oranla daha az çevresel olumsuzluğa neden olurlar ve daha kolay liflendirilebilirler [46].

Sentetik liflerin üretimi fosil yakıtlara bağlıdır. Bu sebeple doğal liflerin üretimi sentetik liflere kıyasla yaklaşık olarak 10 kat daha az enerjiye ihtiyaç duymaktadır [47]. Doğal liflerin polimer takviyesi olarak kullanılmasını etkileyen olumsuz faktörlerden birisi, doğal liflerin üretim sırasında kümelenmeye meylenmesi ve bu sebeple düşük çalışma sıcaklığına ihtiyaç duyması (<200°) ile nenden olumsuz etkilenmesidir [48].

Doğal liflerin bünyesinde rutubet barındırıyor olması üretim sırasında bir takım problemlere sebep olmaktadır. Bu problemlerin önüne geçebilmek için, kümelenmeyi önleyici katkı maddelerinin kullanımı ve doğal liflerin üretimin öncesinde kurutulması gibi bazı takviye ve ön işlemler yapılmalıdır [45].

Odunsal liflerin dışında ki doğal liflerin bir çoğu lignoselülozik içerikli tarımsal atıklardır, bu bakımdan ekonomik değeri de oldukça düşüktür. Sadece yılın belirli dönemlerinde elde edilmeleri ve hacimsel olarak da çok fazla yer kapladıkları için depolanmasında da bir takım problemler yaşanmaktadır. Bu gibi dezavantajlara sahip olmasına rağmen son 10 yıl içinde termoplastikler için takviye olarak doğal polimerlerle ilgili çalışmalar artış göstermektedir [49-51].

2.7. Kompozitlerin Üretiminde Kullanılan Matris Malzemeler

Kompozitlerin ana bileşenlerinden biri olan matris malzemeler, takviye lifleri içerisinde gerilim transferini sağlar ve lifleri dış etkilere karşı korurlar. Matris malzemesi kompozitlerin özelliklerinin oluşmasında belirleyici unsurdur. Çevreden gelebilecek ısı, nem ve kimyevi gibi her türlü olumsuz etkiye karşı ilk maruz kalan matrislerdir [52].

Uygun matris malzemesi seçimi, kompozit malzemelerde lifin istenilen performansı gösterebilmesi için belirleyici bir unsurdur. Matris malzemesinin seçiminde, polimerin doğal liflere fiziksel ve kimyasal uyum sağlamasının yanı sıra kullanım kolaylığı ve maliyeti gibi unsurların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlara ek olarak matrislerin su ve nem alma özelliklerinin de göz önüne alınması büyük önem taşımaktadır [53-55].

Kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak kullanılan polimer maddeler işlenebilirlik ve düşük yoğunluk gibi özelliklere sahiptir. Kompozitlerin üretiminde termoplastik ve termoset polimerler olmak üzere 2 tip polimer kullanılmaktadır. Termoplastik polimerler yapısında zayıf bağların bulunması nedeniyle ısıtılıp tekrar tekrar eritilerek kullanılabilirler. Termoplastik polimerler yüksek darbe dayanımı ve sertlik gibi özellikleri bünyesinde barındırırlar [42].

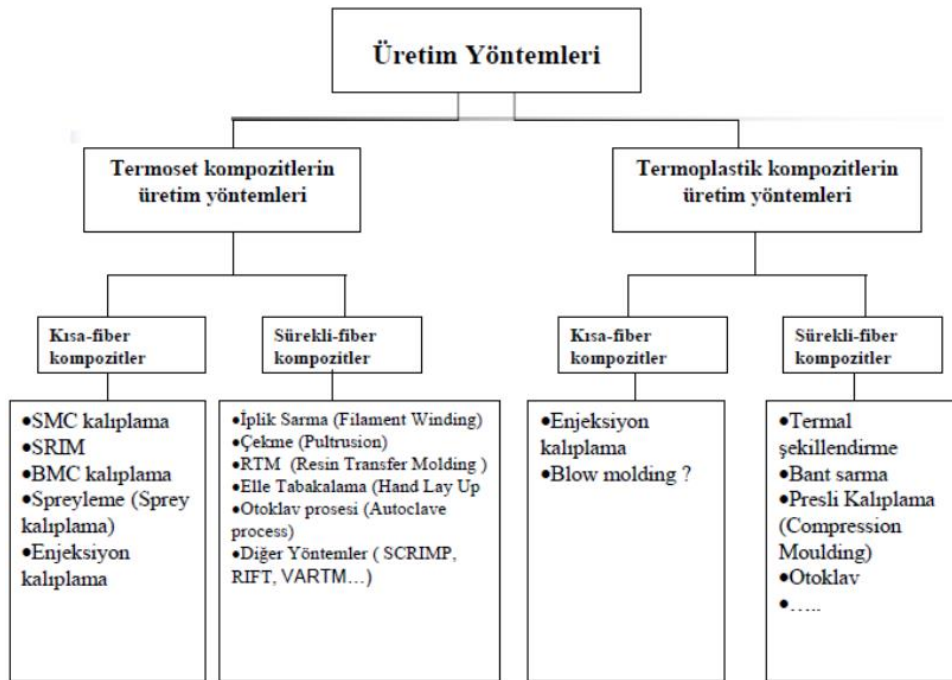
Lif takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde termoset plastikler termoplastiklere göre daha fazla tercih edilmektedir. Üç boyutlu ağ yapısı ve içerdiği çapraz bağlar nedeni ile tekrar eritilerek kullanılmaları mümkün değildir. Termoset polimerler rijit yapıdadır ve ısıtıldıklarında sertleşirler. Termoset polimerler formunu sonsuza dek koruyabilirler [42].

Günümüzde kompozitlerin üretilmesinde termoplastik ve termoset polimerlere ek olarak bio polimerler de gittikçe artan bir kullanım alanına sahiptirler. Bio polimerlerin farklı olarak öne çıkan özellikleri; doğaya uyumlu olması, biyolojik olarak parçalanabilmesi, atık miktarlarının azalmasına neden olması, karbondioksit salınımının daha az olması sebebi ile iklime minimum seviyede etki etmesidir [42].

2.8. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozitlerin üretiminde seçilecek üretim yöntemi; takviye ve matris malzemesine , parçanın şekline, elde edilmek istenen fiziksel ve mekanik özelliklere bağlı olarak belirlenir. Kompozit bir parçayı üretmek için genel olarak ihtiyaç duyulan parametreler; kalıp, ham madde, ısı ve basınçtır [56].

Kompozitlerin üretimi için birçok farklı yöntem vardır, bu yöntemler Şekil 3’de ki grafikte gösterilmektedir [56].



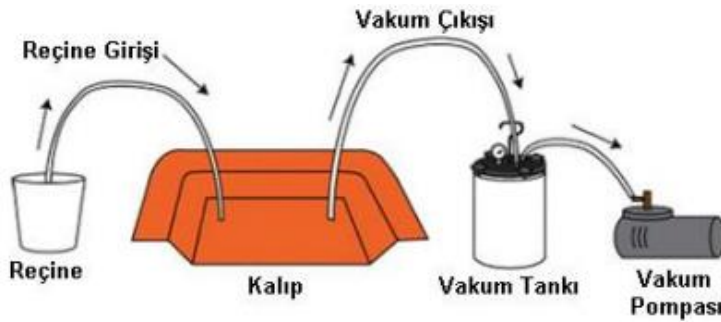
Şekil 3. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri [56]

2.8.1. Vakum İnfüzyon Yöntemi

Vakum infüzyon yöntemi 80’li yıllarda başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere dünya genelinde farklı sanayi dallarında kullanılmakta olan bir kompozit üretim yöntemidir. Vakum infüzyon yönteminin çalışma prensibi; vakumlu ortam içerisinde iletilen reçinenin vakum etkisiyle ilerlemesi şeklindedir. Bu yöntemler imalat hazırlıkları tamamlanmış ürünler için el değmeden üretim yapılmasını amaçlar [57].

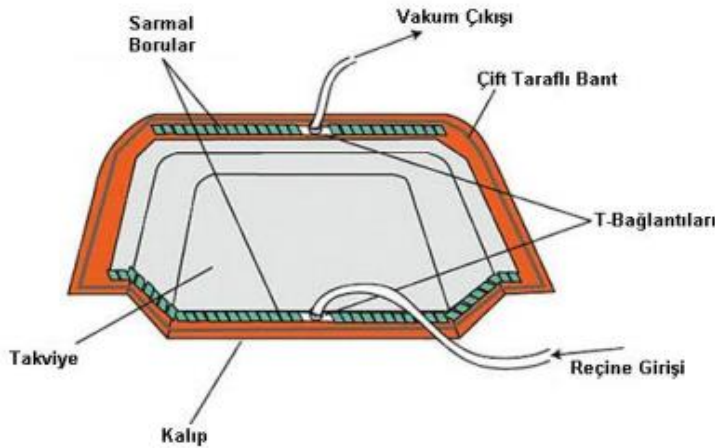
Genellikle karmaşık yapılaraya sahip kompozitlerin üretiminde kullanılan bu yenilikçi yöntemde, malzemeye emdirilen reçinenin viskozitesinin uygun seçilmesi önemlidir. Uzun akış yollarının ve dar aralık ölçülerinin söz konusu olduğu yerlerde reçinenin mümkün olduğu kadar kısa zamanda güçlendirme eyaflarına emdirilmesi çok önemlidir [58-59].

Vakum infüzyon yöntemi dört bölümden meydana gelir: vakum tankı, vakum pompası, kalıp ve reçine kovası. Şekil 4’de gösterildiği gibi dört bölümün şekilleri ve bağlantıları değişebilir fakat genel yöntemin mantığı her zaman aynıdır [60].

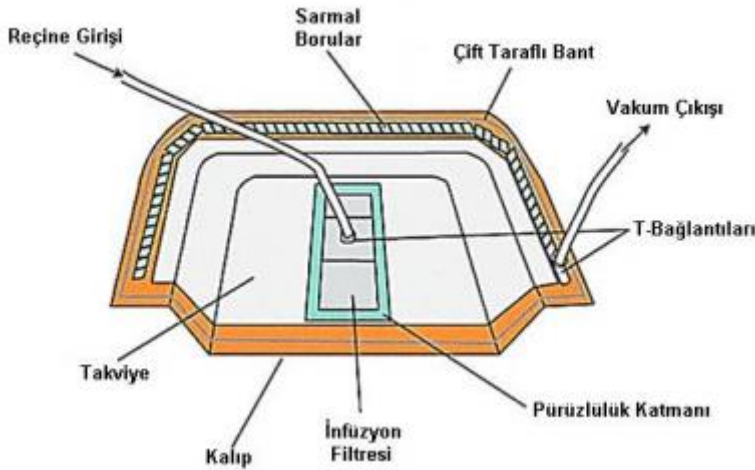


Şekil 4. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan elemanlar [53]

İki tip vakum infüzyon yöntemi vardır. Bu iki yöntemin arasındaki fark sadece reçinenin kalıba girdiği yerin değişmesidir. Şekil 5’de vakum ve reçine hatlarının karşılıklı yerleştirildiği bir ürün imalat yöntemi gösterilmektedir. Şekil 6’da ise aynı ürün farklı bir yolla üretilmektedir. Bu yöntemde ise etrafından vakumlanıp ortadan reçine verilerek ürün imalatı yapılmaktadır [60].



Şekil 5. Reçine ve vakum hatlarının karşılıklı yerleştirildiği vakum infüzyon sistemi(Tip 1)



Şekil 6. Çerçevesinden vakumlanıp reçinenin ortadan verildiği vakum infüzyon sistemi(Tip 2)

Vakum İnfüzyon Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit üretim yöntemlerinden olan vakum infüzyon yönteminin diğer üretim yöntemlerine göre çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Yöntemin avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [61];

- Tutarlı reçine kullanımı: Vakum infüzyon yönteminde kullanılan reçine miktarı, aynı şartlarda üretilen diğer bütün ürünler için aynıdır. El yatırma yönteminde olduğu gibi ustanın el becerisine bağlı farklı malzeme tüketimi olmamaktadır.
- Temiz imalat yapılması: Vakum naylonuyla üzeri kapatılmış olan elyafların içerisine reçine ilavesi vakum naylonun altından boru yardımı ile yapıldığı için ürün yüzeyine ve çalışma ortamına reçine bulaşmasının önüne geçilmiş olur. Aynı zamanda tepkime sonucu ürün yüzeyinde meydana gelen gazların ve reçinenin de etrafa yayılımı engellenmiş olur.
- Homojen ürün elde edilmesi: Vakum infüzyon imalat yönteminde reçinenin elyaf yüzeyine dağılımı ve emilimi aynı miktarda olduğu için reçine birikmeleri veya elyaf katlanmaları oluşmaz ve bu durumda kompozitin görüntüsünde ve yapısında homojenlik sağlanır.

- Düşük reçine / elyaf karışım oranı: Vakum infüzyon yönteminde reçine kullanım oranı, el yatırma yönteminin tersine %70 elyaf %30 oranındadır. Bu durum kompozitin daha uzun ömürlü ve yapısının daha sağlam olmasını sağlamaktadır.
- Vakum infüzyon yönteminde tek taraflı bir kalıba ihtiyaç vardır.
- Şekilli ve büyük parçalar bu yöntem ile tek seferde ve kolayca üretilebilir.
- Kalıbın malzemesinin yüksek mukavemetli olmasına gerek yoktur.
- El yatırma yöntemi sırasında kullanılan kalıplar vakum infüzyon yöntemi için tekrar düzenlenerek kullanılabilir [61].

Vakum infüzyon yöntemin dezavantajları ise [61];

- Diğer üretim yöntemlerine oranla malzeme maliyeti gerektirdiği için ilk yatırım maliyeti daha fazladır.
- Mekanik özellikleri olumsuz etkileyen sebeplerden biri düşük vizkoziteye düşük reçine kullanımındır.
- İmalat sonucunda reçine ile ıslanmamış bölgeler kalabilir, bu durum da pahalı atık malzeme ve ek maliyet oluşturur [61].

3. MALZEMELER VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

3.1.1. Cam Elyaf

Cam elyafının üretim malzemeleri; silika (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), soda (NaHCO_3), kolemanit gibi malzemelerdir. Cam elyafı üretimi; bu hammaddelerin yüksek sıcaklıklara çıkarılan cam fırınlarında homojen olarak karıştırılarak basınç altında mikron seviyesindeki küçük deliklerden akıtılması sonucu elde edilir [62].

Elyaf takviyeli polimerik kompozit üretiminde en çok kullanılan elyaf çeşidi cam elyafıdır. Isıl dirençleri düşük olmasına rağmen, kimyasal malzemelere karşı direnci oldukça fazladır. Nem absorbe etme özelliğine ve elektrik iletkenliğine sahip değildir [62-63].



Resim 1. Cam Elyaf

3.1.2. Karbon Elyaf

Karbon, kristal yapıda bir malzemedir ve yoğunluğu 2.268 gr/cm^3 dir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra geliştirilmesine rağmen ve kompozit üretiminde çok yaygın olarak tercih edilen elyaf grubudur [64].

Organik maddelerden üretilen grafit ve karbon elyaflar organik fiber olarak da adlandırılmaktadırlar. Karbon elyafın üretiminde ham madde olarak Selüloz, Zift ve PAN

kullanılır. Karbon elyafların öne çıkan özellikleri düşük yoğunluğunun yanı sıra yüksek tokluk ve mukavemet değerlerine sahip olmasıdır. Karbon elyafların sürünme mukavemeti yüksektir ve nemden etkilenmezler. Oldukça iyi yorulma ve aşınma mukavemetlerine sahiptirler [64-65].



Resim 2. Karbon Elyaf

3.1.3. Pamuk

Yapısında %82-96 oranında selüloz, %5-7 oranında pektin, %2-6 oranında hemiselüloz ve %0,5-1 oranında lignin bulunan doğal bir malzemedir. Pamuk malzemesi kopma mukavemeti 287-800 MPa, kopma uzaması %7-8 gibi özellikler gösterir [66-67].



Resim 3. Pamuk Kumaş Türleri

3.1.4. Epoksi Reçine ve Sertleştirici

Bu çalışmada kompozit malzeme üretimi için kullanılan epoksi reçine MGS L160 ve sertleştiricisi MGS H160 modelleridir. 160 serisi reçineler planör, motorlu uçak, bot, gemi, kalıp ve genel uygulamalarda kullanılır. Özellikleri; malzemeye üst düzey uyumluluk, çok iyi mekanik ve ısıl özellikler katmasıdır. Reçine ve sertleştiricinin ağırlıkça karışım oranı 100:25 dir [68-69].



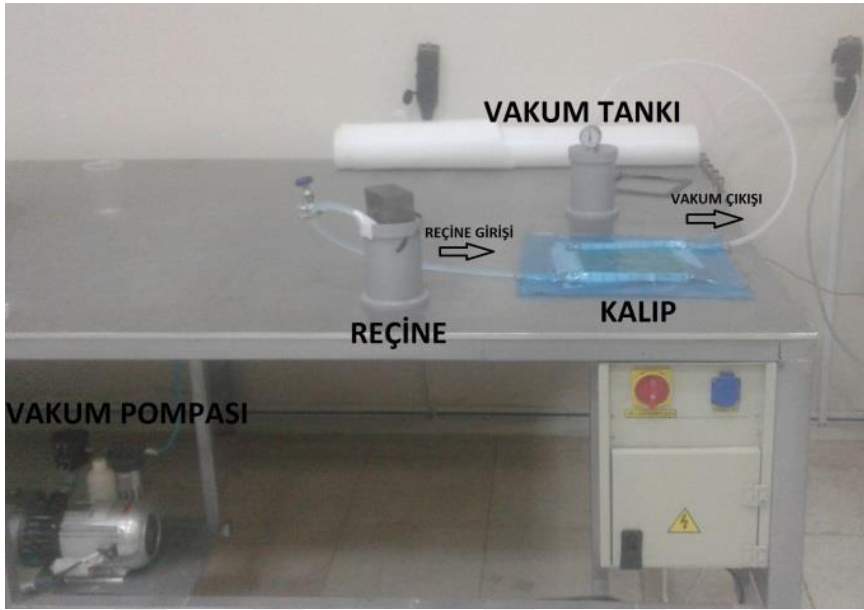
Resim 4. Epoksi Reçine ve Sertleştirici

3.2. Yöntem

3.2.1. Kompozit Malzemelerin Üretimi

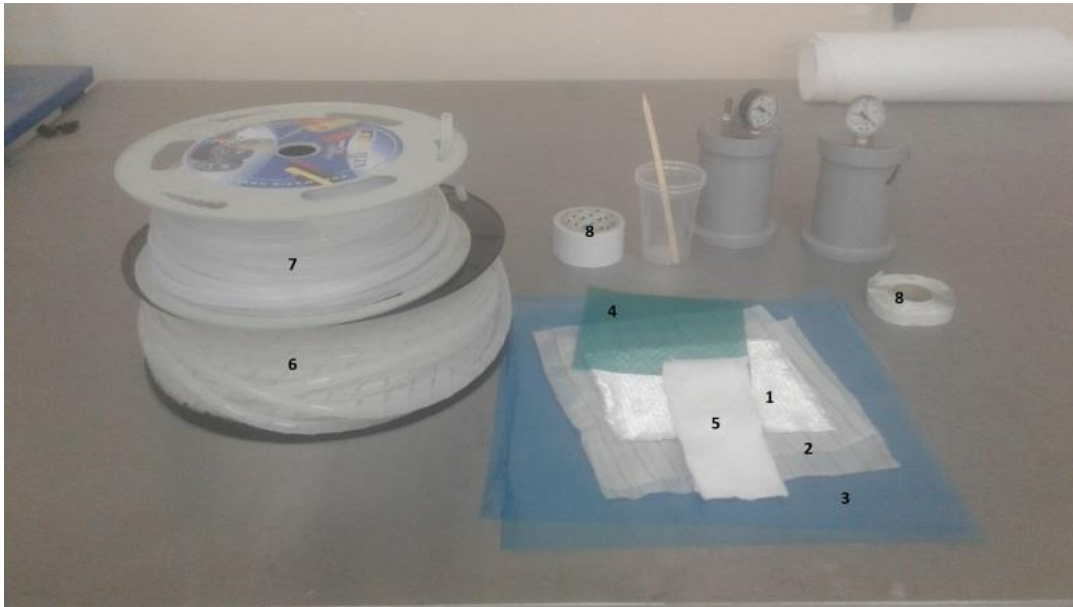
Bu bölümde, aynı ağırlığa sahip cam elyaf takviyeli, karbon elyaf takviyeli, yarı mamul pamuk elyaf takviyeli ve %100 pamuk kumaş elyaf takviyeli kompozit malzemelerden oluşmak üzere 4 tip kompozit malzeme üretimi vakum infüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir ve bu malzemelerden deney numuneleri oluşturarak uygulanan mekanik testleri içermektedir.

Vakum infüzyon yöntemi dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar Resim 5’de gösterildiği gibi; vakum pompası, kalıp ve reçine kovası ile vakum tankıdır.



Resim 5. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan elemanlar

Cam elyaf 6 tabaka, Karbon elyaf 6 tabaka, %100 pamuk kumaş 8 tabaka ve yarı mamul pamuk 3 tabaka 22 mm * 25 mm ölçülerinde kesilmiştir. Vakum infüzyon yöntemi ile numune üretimi için gerekli ekipmanlar hazırlanmıştır.



Resim 6. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan ekipmanlar

Vakum infüzyon yönteminde kullanılan ekipmanlar;

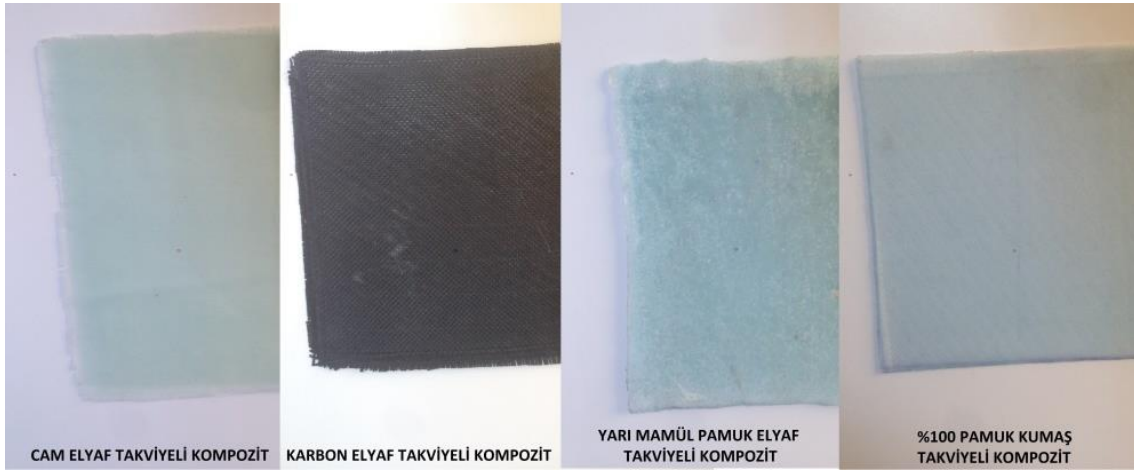
- 1) Elyaf (cam elyaf, karbon elyaf, pamuk kumaş) 22*25 cm²
- 2) Soyma kumaşı 34*37 cm²
- 3) Vakum torbası 50*50 cm²
- 4) File 22*25 cm²
- 5) Battaniye 9*24 cm²
- 6) Spiral hortum 27 cm * 2 adet
- 7) Vakum hortumu 70 cm * 3 adet
- 8) Yapıştırıcılar (kağıt bant ve hamur bant)

Reçine olarak 4K oranında MGS L160 içerisine 1K oranında MGS H160 ekleyerek bağlayıcı özelliği sağlayabilmek adına belirli bir süre karıştırma işlemi yapılmıştır.



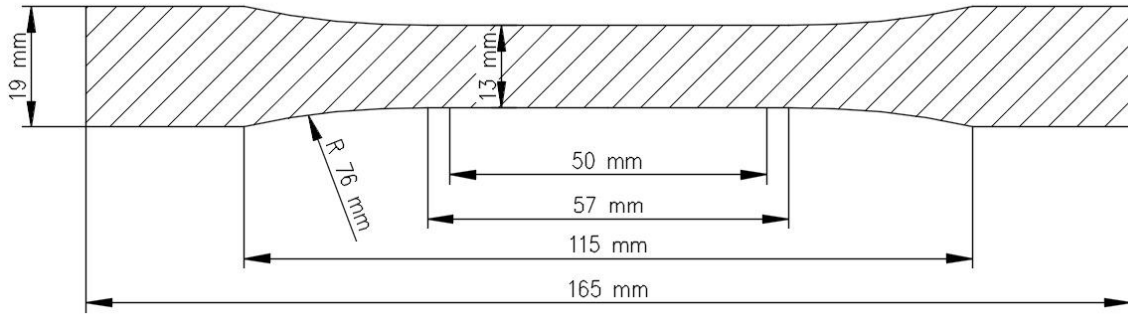
Resim 7. Reçine hazırlama işlemi

Vakum infüzyon düzeneği kurulup, numune plaka üretim işlemine başlanmıştır. Yaklaşık 400 mmHg basınçta ve düşük hızda reçinenin elyafa emdirilmesi işlemi takip edilmiştir. Elyafın bütün tabakalarının reçine ile ıslandığı göz ile takip edildikten sonra sisteme hava girmemesi için sistemin reçine giriş ve çıkış hatları tamamen kapatılmıştır. Sistem 24 saat vakum altında oda sıcaklığında çalışır vaziyette bırakıldı, elyaf tarafından emilimi gerçekleşen reçinenin sertleşmesi sağlandı ve numune plakaların üretimi gerçekleştirilmiştir.

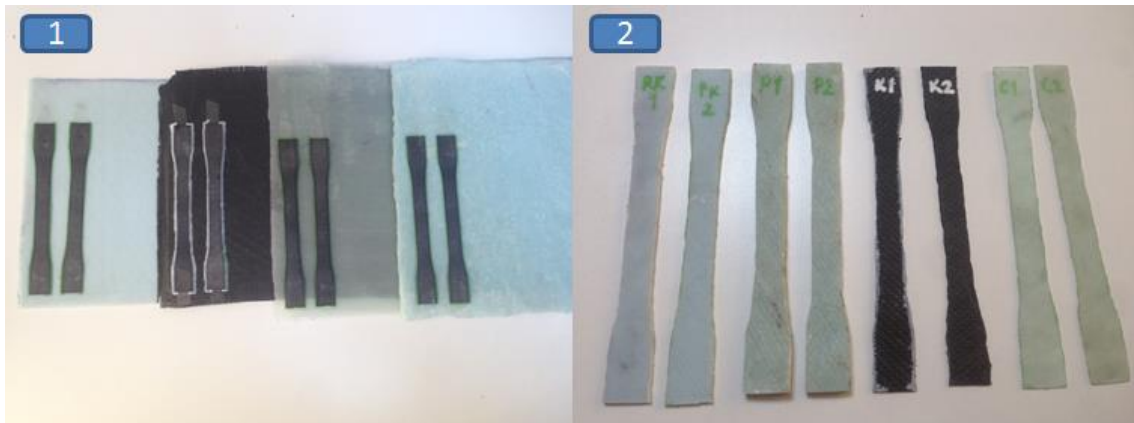


Resim 8. Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen numune plakalar

Üretilen numune plakalardan Şekil 7’de ölçüleri gösterildiği üzere ASTM D638 standardında Tip 1 ölçülerinde çekme numuneleri kesilip gerekli testlere tabi tutulmuştur.



Şekil 7. Çekme numunesi ölçüleri



Resim 9. Çekme numunesi hazırlama işlemi

Kompozit plakalardan çekme numuneleri hazırlanması için kağıt kalıplar Resim 9, 1. adımda gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Şekil 7’de ölçüleri verilen standartta çekme numuneleri kesilmiş Resim 9, 2. Adımda gösterildiği gibi ayrı ayrı markalanmıştır.

3.2.2. Fonksiyonelleştirme

Fonksiyonelleştirme işlemi yapımında takviye lifleri farklı sıcaklık veya sürelerde ve çeşitli konsantrasyonlarda sodyum hidroksit (NaOH) ile muamele edilmektedir. Yapılarında bulunan selüloz nedeni ile bitkisel lifler, polar karaktere sahiptirler. Liflerin yapısında ki lignin, petkin ve vaks gibi safsızlıklar ve yüksek miktardaki hidroksil grupları, bu liflerin matris polimerine bağlanmasına engel olmakta ve ara yüzeyi zayıflatmaktadır. Bu durum da üretilen kompozitin mekanik özelliklerine olumsuz yönde etki etmektedir. Fonksiyonelleştirme işlemi ile selülozların yüzey kısmında bulunan bu maddelerin bir kısmı giderilmektedir ve lif yüzeyinde polimer ile etkileşime girebilecek çok sayıda açık selüloz uçlarının oluşmasını sağlamaktadır. Fonksiyonelleştirme işlemi liflerin yüzeyindeki serbest enerjisini arttırmaktadır. Buna ek olarak da liflerin yüzeylerini pürüzlendirerek lif ve polimer ara yüzeyinde mekanik bağlanmanın gelişmesini sağlamaktadır [70]. Fonksiyonelleştirme işlemi selüloz kökcüklerine etki ederek, selülozun polimerizasyon derecesini düşürür, liften ayrılan hemiselülozun ve ligninin miktarına direk olarak etki etmektedir [71-72].

Fonksiyonelleştirme işlemi, % 1 NaOH (Sodyum Hidroksit) çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pamuklu kumaşlar oda sıcaklığında bir saat boyunca NaOH çözeltisine yerleştirilmiştir. Kumaşlardan sodyum hidroksit çıkarılıncaya ve durulanan çözelti nötr bir duruma (pH 7) ulaşıncaya kadar saf su ile durulanmıştır. Kumaşlar daha sonra 45 dakika 60 °C’de fırınlanmıştır. NaOH ile işlenmiş kumaşlar, kompozitlerin imalatı için takviye elemanı olarak kullanılmıştır.



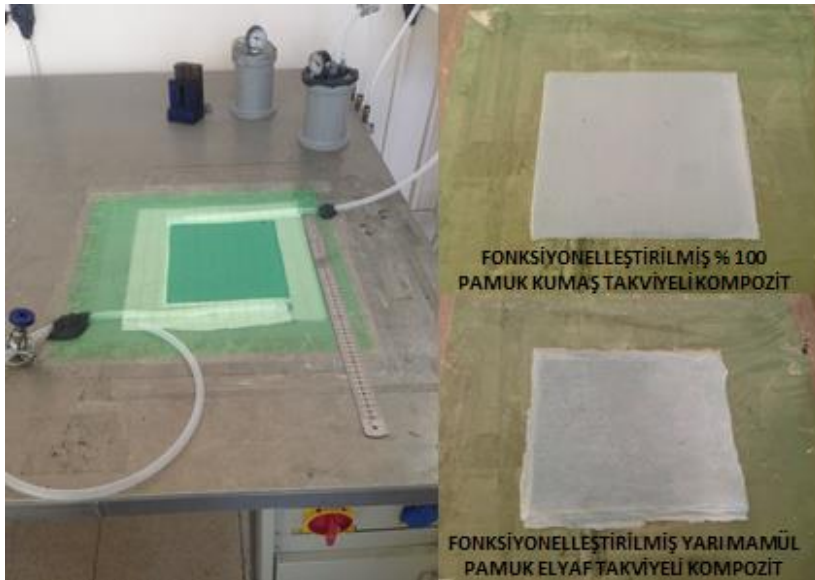
Resim 10. %1 NaOH çözeltisi hazırlama işlemi

% 48'lik sıvı NaOH'ın derişimi Resim 11'de gösterildiği gibi saf su ile 1500 gr çözelti içerisinde % 1'e indirilmiştir.



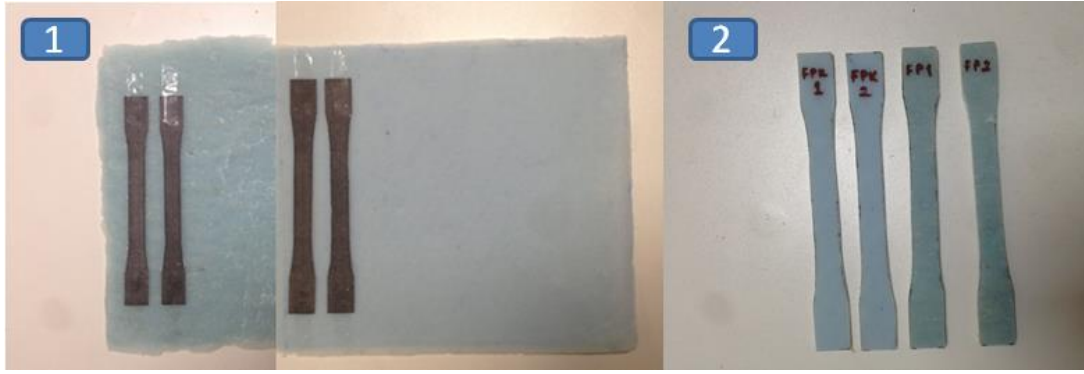
Resim 11. Pamuk kumaşların fonksiyonelleştirilmesi

Resim 11'de numaralar ile gösterilen işlem adımlarına göre pamuk kumaş 1. adımda olarak % 1'lik NaOH çözeltisine yerleştirilmiştir. 2. adımda ise oda sıcaklığında 60 dk çözelti içerisinde bekletilmiştir. 3. Adıma geçildiğinde saf su ile durulanan kumaşlarımız Ph metre ile ölçülmüş 4. adımda görüldüğü üzere Ph 7 olunca fırınlama işlemine geçilmiştir. 5. adımda fonksiyonelleştirme işlemi tamamlanan kumaşlarımız 60 °C'de 45 dakika fırınlanmış ve takviye elemanı olarak kullanılmak için hazır hale getirilmiştir.



Resim 12. Fonksiyonelleştirilmiş numune plakalar

Bir önceki üretimimizde kullandığımız aynı miktarda malzeme ve yöntemle, takviye elemanı olarak fonksiyonelleştirilmiş kumaşlar kullanılarak numune plaka üretimi Resim 12'de gösterildiği üzere gerçekleştirilmiştir.



Resim 13. Çekme numunesi hazırlama işlemi

Kompozit plakalardan çekme numuneleri hazırlanması için kağıt kalıplar Resim 13, 1. adımda gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Şekil 7’de ölçüleri verilen standartta çekme numuneleri kesilmiş Resim 13, 2. adımda gösterildiği gibi ayrı ayrı markalanmıştır.

4. DENEY BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Çekme Deneyi Ve Sonuçları

Çekme Deneyi

Hazırlanan çekme numuneleri Zwick/Roell marka çekme cihazında DIN EN ISO 527-2 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur. Ön yük 0,1 MPa, çekme hızı 1 mm/min, test hızı 50 mm/min ve başlangıç konumunda çeneler arası mesafe 115 mm dir.

Çekme testi temel bir ölçüm testidir. Bu yöntemler numune kopana kadar kendi eksenini boyunca çekme kuvvetine maruz bırakılır. Çekme numunesi ilk olarak cihazın çenelerine yerleştirilir ve kopana kadar kuvvete maruz bırakılır. Kuvvetin uygulandığı süre zarfında çekme numunesinin kesitindeki daralma ve uzama miktarı ile uygulanan kuvvet sisteme kaydedilir. Çekme testi sonucunda direk olarak elde edilen değerler; maksimum çekme gerilmesi, maksimum uzama ve kesit alanındaki daralmalardır.

Resim 14'de deney sonunda kopan numuneler gösterilmiş olup numune kodları Çizelge 2'de belirtilmiştir.



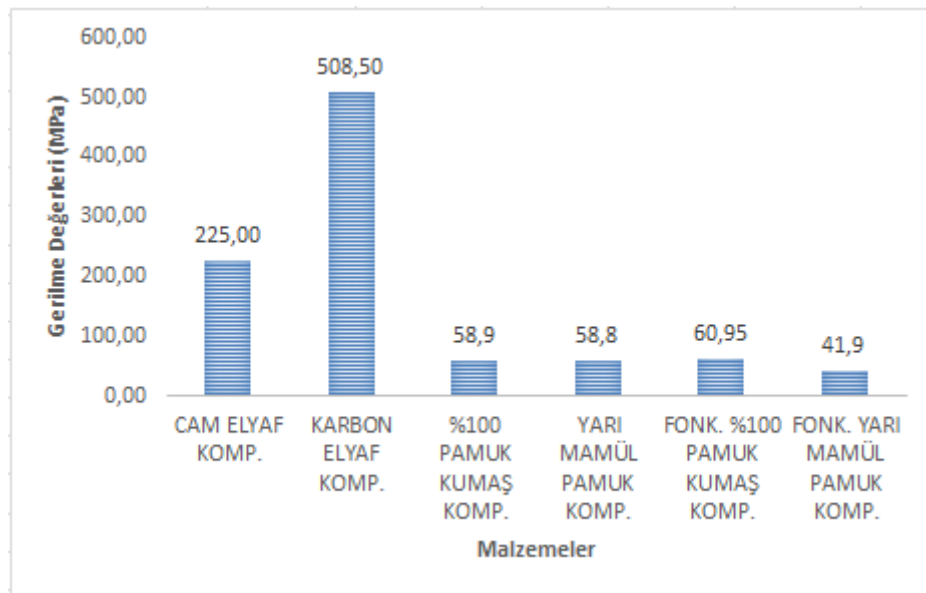
Resim 14. Deney sonu kopmuş çekme numuneleri

Çizelge 2. Mekanik test numuneleri kodlarının tanımı

Numune Kodu	Malzeme Tanımı
C	Cam elyafı takviyeli kompozit
K	Karbon elyafı takviyeli kompozit
P	Yarı mamul pamuk elyaf takviyeli kompozit
PK	%100 Pamuk kumaş takviyeli kompozit
FP	Fonksiyonelleştirilmiş yarı mamul pamuk elyaf takviyeli kompozit
FPK	Fonksiyonelleştirilmiş %100 Pamuk kumaş takviyeli kompozit

Fonksiyonelleştirme işlemi sonucu %100 pamuk kumaş kompozitin toplam ağırlığı 146,4 gr dan 164,6 gr'a ve yarı mamul pamuk kompozitin toplam ağırlığı 344,3 gr dan 356,8 gr'a çıkmıştır. Bu sonuçlarda göstermektedir ki alkalın tedavisi işlemi sonucu elyafların reçine ile bağlanma kabiliyeti artmış, fonksiyonelleştirme işlemleri başarı ile gerçekleştirilmiştir.

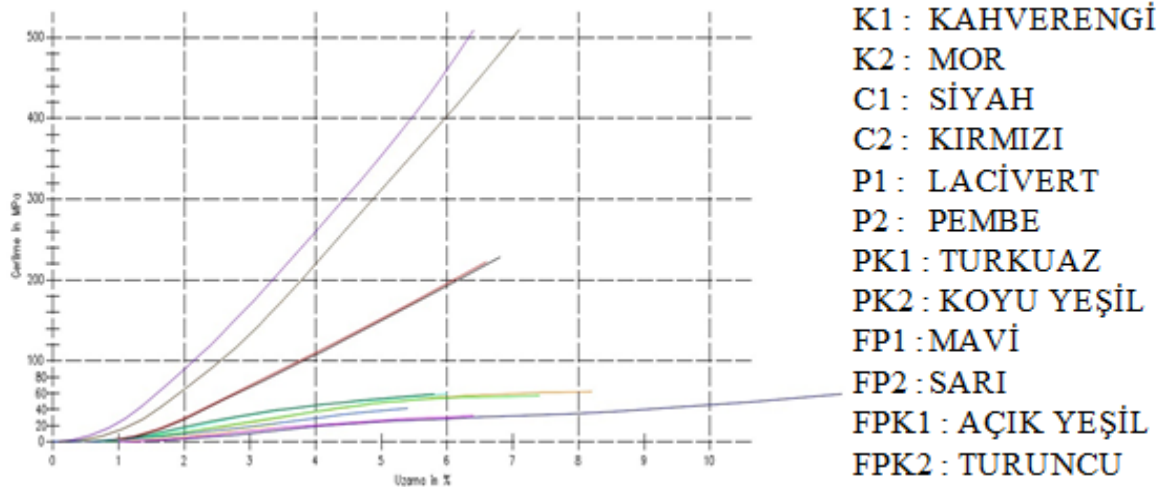
Yaptığımız çekme deneylerinin sonuçlarında her bir malzeme türüne ait uzama miktarları ve uygulanan kuvvet ile maksimum gerilme değerleri belirlenmiştir. Malzemelerin akma dayanımı olarak adlandırılan akmaya başladığı andaki maksimum gerilme değerleri Şekil 8'de bütün malzemeler için karşılaştırmalı olarak grafiklenmiştir. Bulunan maksimum gerilme değerleri N/mm^2 cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 8. Çekme deneyi sonuçları-maksimum gerilme

Aynı standartlarda üretilmiş dört farklı pamuk elyaf takviyeli kompozit malzemenin yaygın kullanılan cam elyafı takviyeli kompozit ve karbon elyafı takviyeli kompozit malzemelere kıyasla maksimum gerilme ve yüzde uzama değerleri kıyaslanmıştır.

Çekme deneyi sonuçları Şekil 8’de belirtildiği üzere cam elyaf takviyeli kompozit numunelerinin çekme deneyi sonucu maksimum gerilme değeri 225 N/mm^2 , karbon elyaf takviyeli kompozit numunelerinin maksimum gerilme değeri $508,5 \text{ N/mm}^2$, %100 pamuk kumaş takviyeli kompozit numunelerin maksimum gerilme değeri $58,9 \text{ N/mm}^2$, yarı mamul pamuk elyaf takviyeli kompozit numunelerin maksimum gerilme değeri $58,8 \text{ N/mm}^2$, fonksiyonelleştirilmiş %100 pamuk kumaş takviyeli kompozit numunelerin maksimum gerilme değeri $60,95 \text{ N/mm}^2$, fonksiyonelleştirilmiş yarı mamul pamuk elyaf takviyeli kompozit numunelerin maksimum gerilme değeri $41,9 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit edilmiştir.



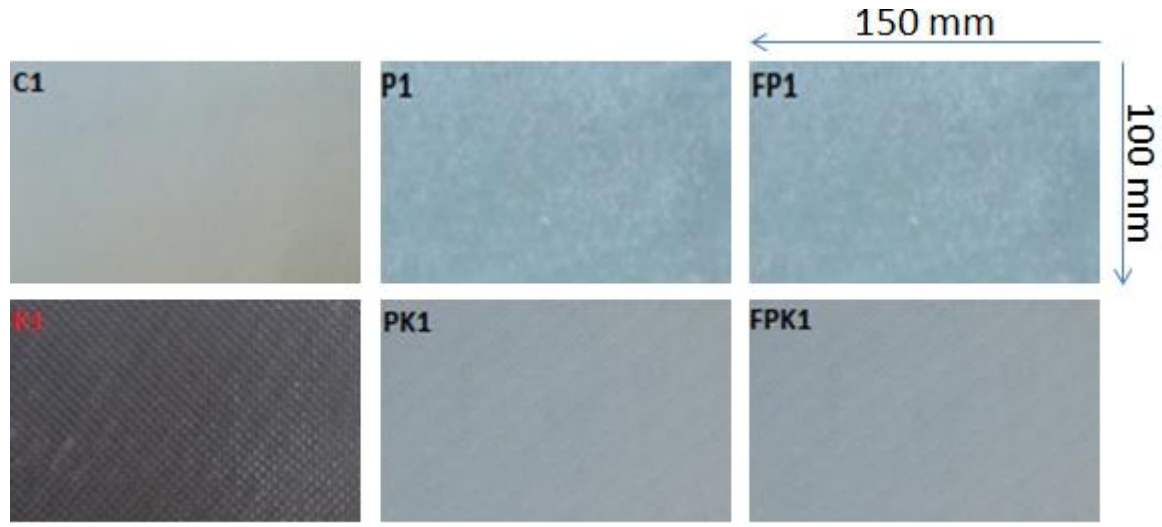
Şekil 9. Gerilme – % Uzama diyagramı

Şekil 9’da belirtilen Gerilme - % Uzama diyagramına göre cam elyaf takviyeli kompozit numunelerinin çekme deneyi sonucu % Uzama değeri %6,7, karbon elyaf takviyeli kompozit numunelerinin % Uzama değeri %6,8, %100 pamuk kumaş takviyeli kompozit numunelerin % Uzama değeri %5,9 ve yarı mamul pamuk elyaf takviyeli kompozit numunelerin % Uzama değeri %9,2, fonksiyonelleştirilmiş %100 pamuk kumaş takviyeli kompozit numunelerin % Uzama değeri %7,8 ve fonksiyonelleştirilmiş yarı mamul pamuk elyaf takviyeli kompozit numunelerin % Uzama değeri %4,4 olarak tespit edilmiştir.

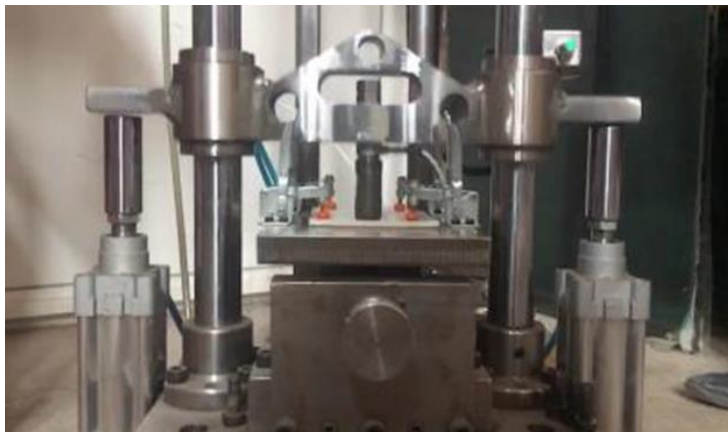
4.2. Düşük Hızlı Darbe Deneyi Ve Sonuçları

Düşük Hızlı Darbe Deneyi

Düşük hızlı darbe testi yapılması için imal edilen numuneler Resim 15’de gösterilen ölçülerde kesilerek teste tabi tutulmuştur. Numune kodları Çizelge 1’de belirtilmiştir. Numuneler 100x150 mm² ebatlarındadır.



Resim 15. Düşük hızlı darbe deneyi numuneleri



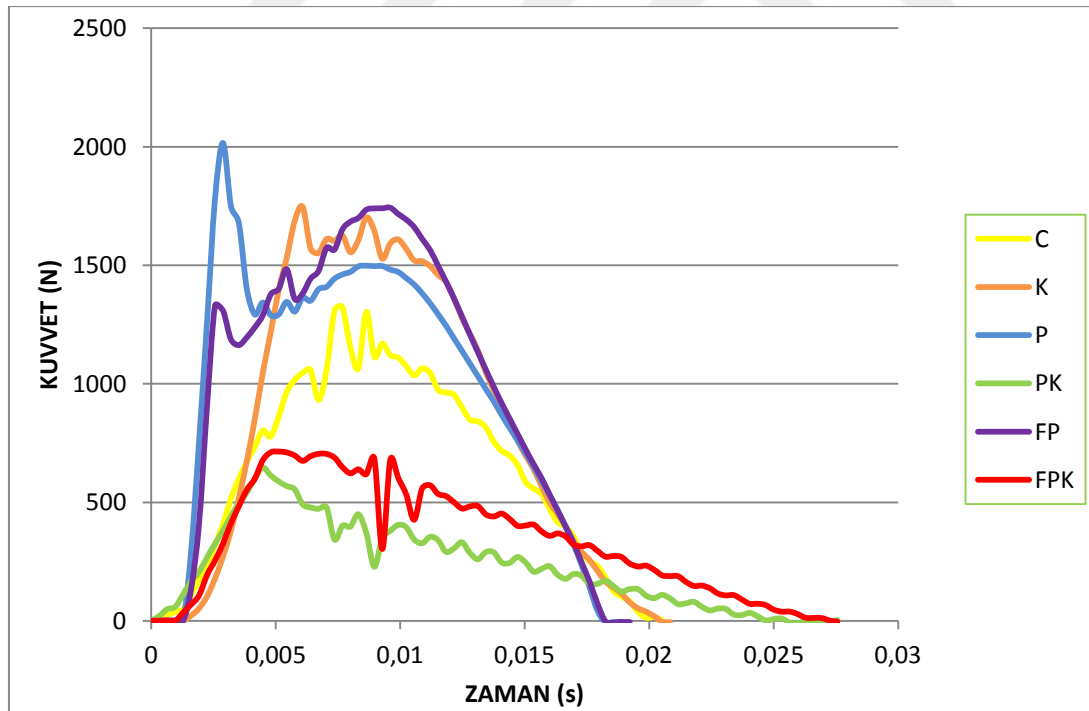
Resim 16. Düşük hızlı darbe deneyi cihazı

Test cihazı Resim 16’da gösterilmiştir. Test cihazının vurucu ucu 5,6 kg ağırlığında ve test hızı 2 m/s olarak ayarlanmıştır.

Düşük hızlı darbe testi, ağırlığı belli olan vurucu ucun ayarlanan hızda, cihaza sabitlenmiş test numunesine çaptırılması sonucu numune yüzeyindeki deplasman hasar ve absorbe edilen enerji değerlerinin elde edilmesi işlemidir. Test sonuçlarına bakılarak malzemenin sünekliği, rijitliği, kırılma çabası gibi özellikleri hakkında yorumda bulunulabilir.

Düşük hızlı darbe deneyinde aynı ağırlığa sahip cam elyaf takviyeli, karbon elyaf takviyeli, yarı mamul pamuk elyaf takviyeli ve %100 pamuk kumaş elyaf takviyeli kompozit malzemeler ve fonksiyonelleştirilmiş yarı mamul elyaf takviyeli ve %100 pamuk kumaş takviyeli kompozit malzemelerin testleri yapılmıştır. Vurucu ucun plakalara çarpma hızı 2 m/sn olacak şekilde test yapılmış ve tespit edilen değerlere göre aşağıda ki grafikler oluşturulmuştur.

Kuvvetinin zamana bağlı değişimi tüm malzeme türleri için Şekil 10'da grafikte gösterilmiştir.



Şekil 10. Kuvvet – Zaman Grafiği

Kuvvet – Zaman grafikleri incelendiğinde genelde vurucu ucun geri sekmesi durumunda kuvvet eğrilerinin zamanla parabolik bir eğri çizmesi gerekmektedir. Vurucu ucun numunenin içerisine nüfuz etmesi veya delmesi durumunda ise kuvvet eğrilerinin şekilleri

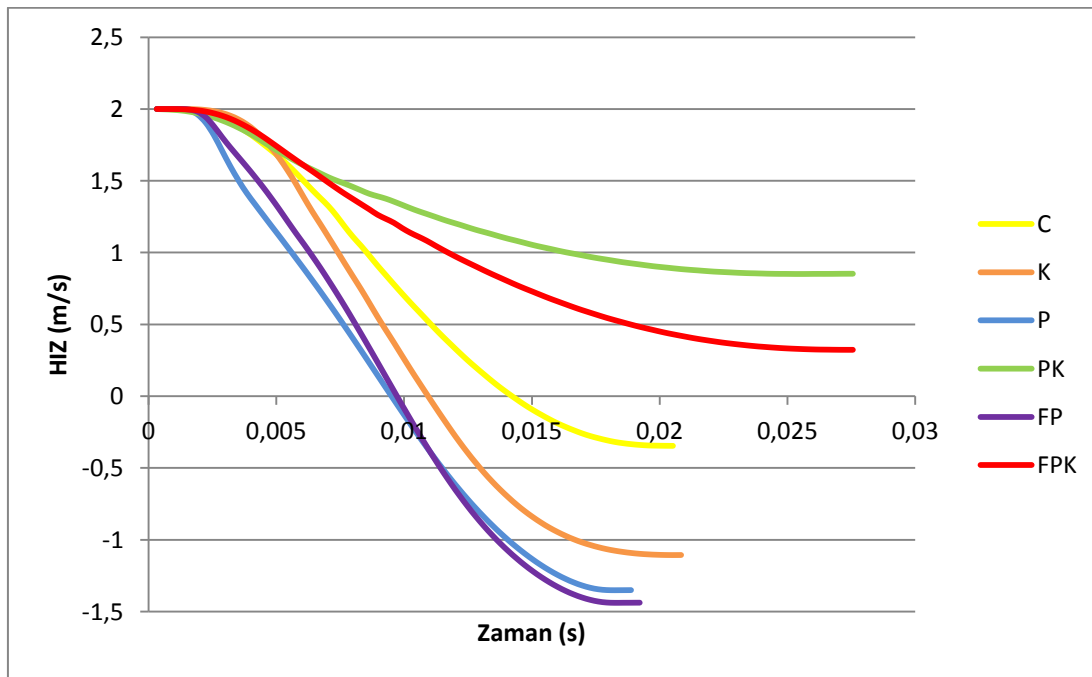
kısmi olarak birbiri ile benzerlik göstermektedir. Vurucu ucun numuneyi delip geçmesi durumunda ise kuvvetin sıfıra düşmesi durumu asla gerçekleşmez ve kuvvet eğrisi yukarı doğru yönelme gösterir. Bunun sebebi ise vurucu ile numune arasında ki sürtünme kuvvetidir.

Buna göre Şekil 10'da gösterilen Kuvvet – Zaman grafiğinden çıkan sonuç; C, K, P ve FP numunelerinde vurucunun geri sekmesi durumunun meydana geldiği, PK ve FPK numunelerinde ise vurucunun numuneyi delmesi durumu meydana gelmiştir.

Grafikten elde edilen bir diğer sonuç; FP numunesinin P numunesine göre daha fazla kuvvete daha uzun süre maruz kaldığı görülmektedir. Bu durum fonksiyonelleştirme işleminin elyaf ile reçine arasındaki bağı arttırdığını ve daha esnek bir yapı kazandırdığını göstermektedir.

P ve FP numunelerinin cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit numunelere yakın kuvvet-zaman değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

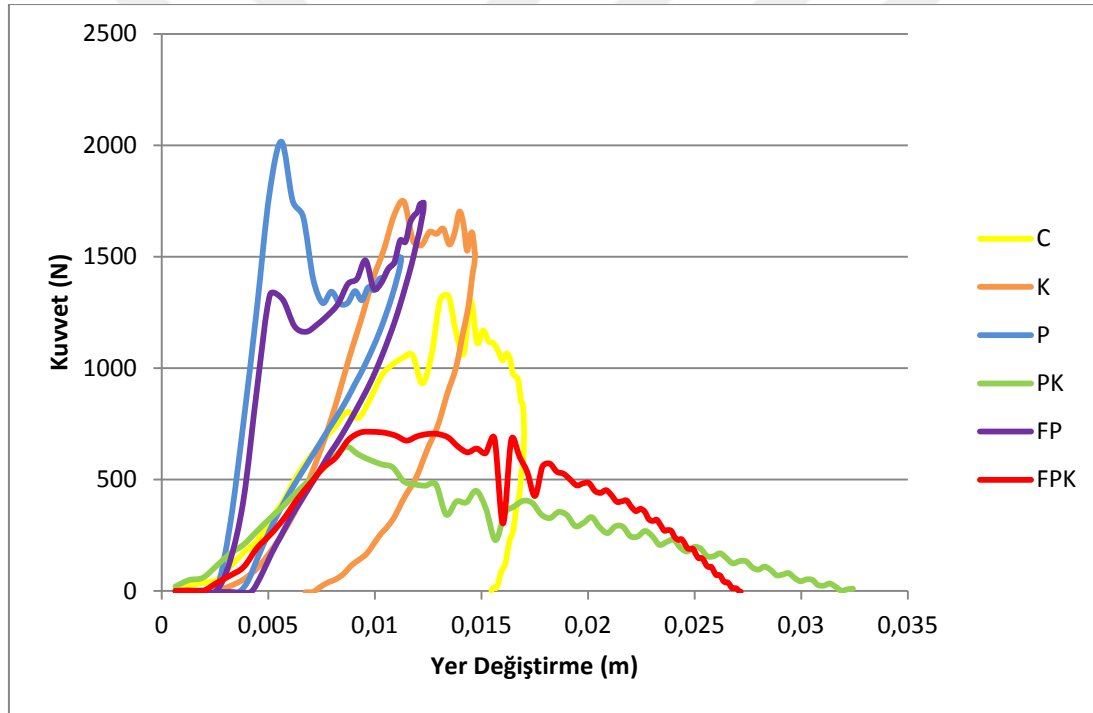
Numunelerin zamana bağlı olarak hız değişimleri Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Hız – Zaman Grafiği

Şekil 11’de Hız – Zaman grafiği incelendiğinde başlangıçta hızın maksimum olduğu ve zaman ilerledikçe hızın azaldığı görülmektedir. Maksimum çökme anında hız sıfırlanır ve eğer geri sekme meydana gelirse vurucu ucun hızı çarpma yönüne zıt olduğu için hız negatif değer alır. Geri sekme olmazsa bu vurucu ucun malzemeye saplandığını bize gösterir. Buna göre C, K, P, FP numuneleri için geri sekme durumunun olduğu söylenebilir. Fakat PK ve FPK numuneleri için ise vurucunun belli bir hız ile kalınlık boyunca ilerlediğini ve delinme durumunun meydana geldiğini gösterir.

Kuvvetlere bağlı olarak malzemeler üzerinde oluşan yer değiştirmeler Şekil 12’de grafikte verilmiştir.

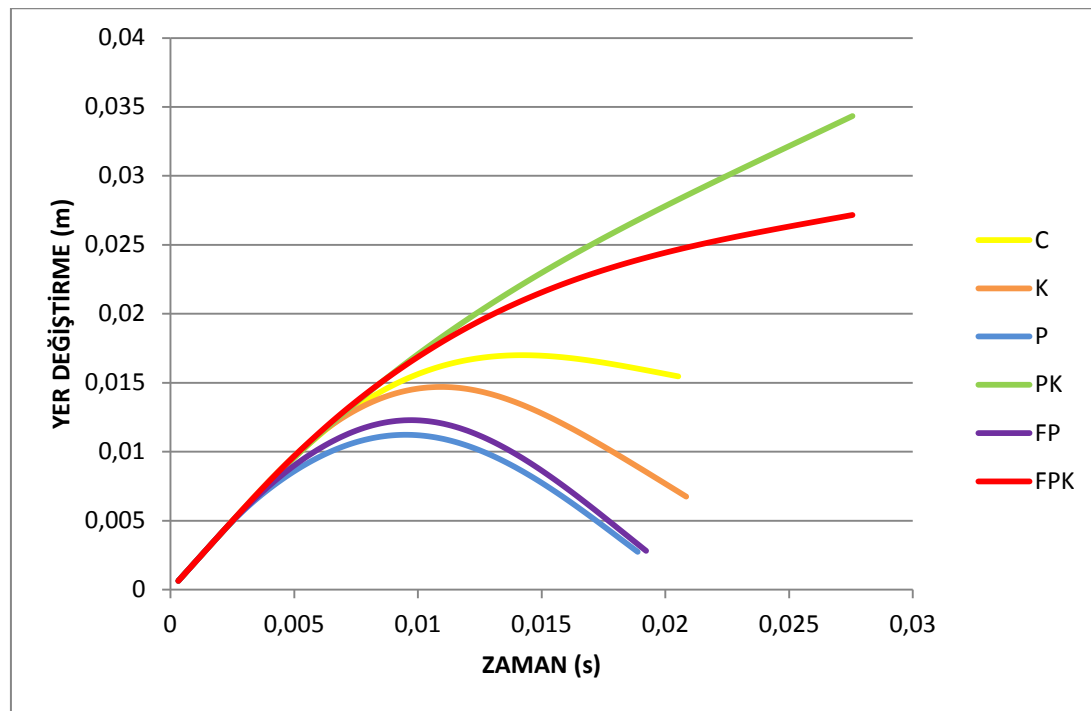


Şekil 12. Kuvvet – Yer Değiştirme Grafiği

Numunelere uygulanan kuvvetler karşısında yer değiştirme miktarı en çok PK plakalarında olmuştur. Fakat PK numunesi yapısı gereği zayıf sünek bir davranış göstermiş ve uygulanan kuvvetin etkisi ortadan kaldırıldığında eski formunu alma eğilimi göstermemiştir. Bu sonuçlara göre esnek bir yapıya da sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Fonksiyonelleştirilmiş %100 pamuk kumaş numuneleri de benzer davranışı sergilediği görülmüştür.

P ve FP numunelerinde uygulanan kuvvetin ortadan kaldırılması sonucu eski formuna dönme eğilimi gösterilmiştir. Bu durumda yarı mamul pamuk elyaf takviyeli kompozit malzemelerin esnek bir yapıya sahip olduğu düşünülmelidir.

Kuvvetler altında numunelerin zamana bağlı yer değiştirme grafikleri Şekil 13'de verilmiştir.

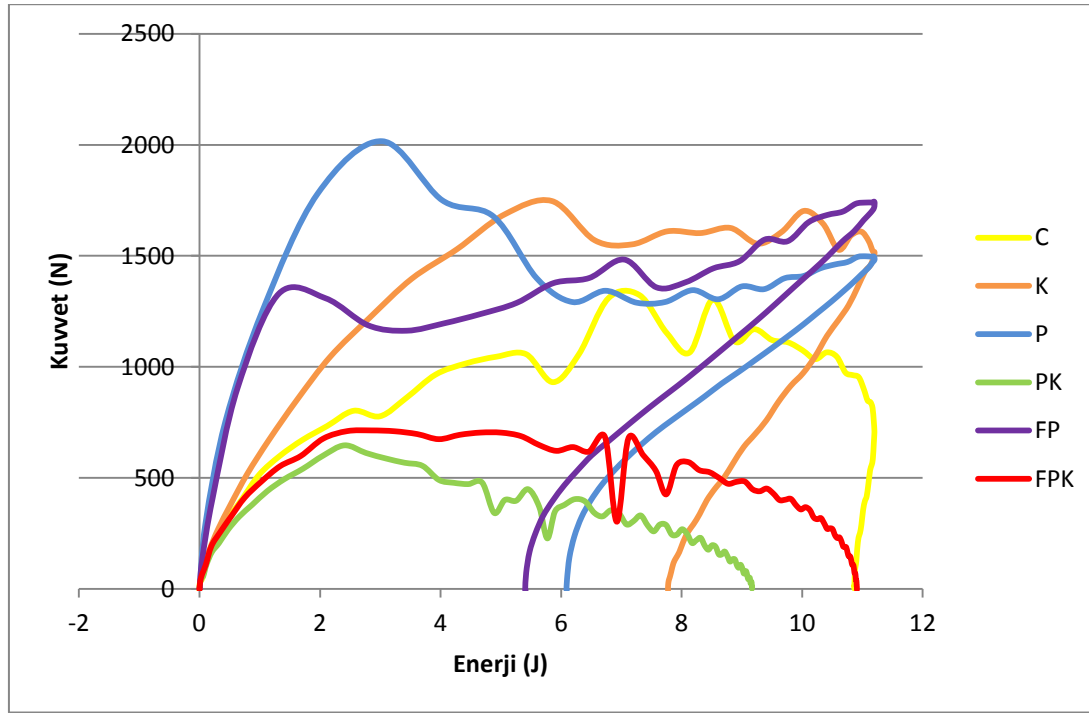


Şekil 13. Yer Değiştirme – Zaman Grafiği

Yer değiştirme – Zaman grafiğine bakıldığında genellikle parabolik eğri oluşumu görülmektedir. Vurucu ucun geri sekmesi durumu söz konusuysa eğrilerin maksimum yer değiştirme noktasına ulaştıktan sonra azaldığı gözlemlenecektir. Vurucu ucun test numunesine nüfuz etmesi durumunda ise eğri maksimum yer değiştirmeye ulaştıktan sonra sabit bir şekilde kalacaktır. Vurucu ucun numuneyi delip geçmesi durumunda vurucunun hızı sıfırlanmadığı için yer değiştirme değeri sürekli olarak artış gösterecektir.

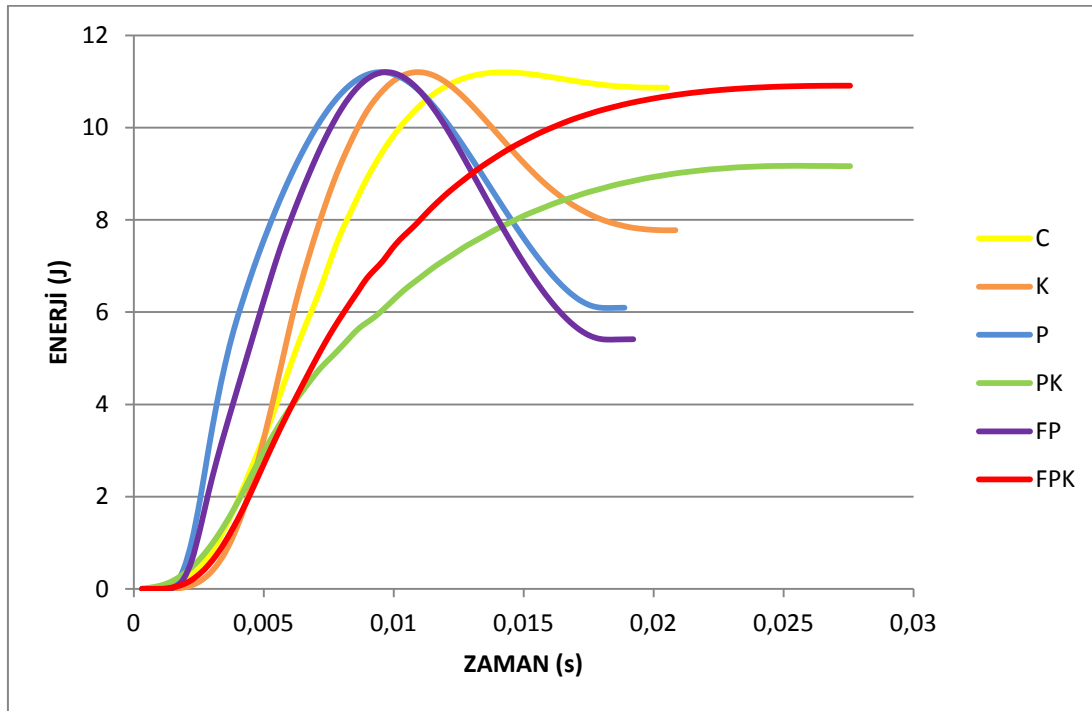
Şekil 13'de ki Yer değiştirme – Zaman grafiğinden çıkan sonuç; C, K, P ve P ve FP numunelerinde vurucunun geri sekmesi durumunun meydana geldiği, buna karşılık PK ve FPK numunelerinde ise vurucunun numunede delinme durumu meydana getirdiği anlaşılmaktadır.

Şekil 14’de numunelerin kuvvet altında ki enerji dağılımı grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 14. Kuvvet – Enerji Grafiği

Düşük hızlı darbe testinde enerji, vurucu ucun belirli bir yükseklikten serbest bırakılması sonucu ortaya çıkan potansiyel enerjiden sağlanır. Vurucu ucun serbest bırakılmasıyla beraber potansiyel enerji dönüşümü meydana gelir ve ucun daha önce belirlenen bir hızda numuneye çarpması sağlanır. Ucun serbest olarak bırakıldığı andan test malzemesine çarpıncaya kadar geçen zaman aralığında ki enerjide kayıplar yaşanır ve absorbe edilen miktarlarla değişimler meydana gelir.



Şekil 15. Enerji - Zaman Grafiği

Vurucu ucun numuneye teması sonrasında absorbe edilen enerji, Kuvvet – Çökme eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Vurucu ucun numunenin yüzeyinden geri sekmesi sonrasında vurucunun taşıdığı enerjinin tamamı numune tarafından absorbe edilemez. Absorbe edilemeyen bu enerji de vurucu ucun numune yüzeyinden geri sekebilmesi için kullanılmaktadır. Vurucu ucun numuneye saplanması durumunda ise vurucunun taşıdığı darbe enerjisinin tamamı numune tarafından absorbe edilmiş olur ve grafikte eğrinin son kısmı hemen hemen yatay olarak devam edecektir. Vurucu ucun numuneyi delip geçmesi durumunda ise eğri grafik üzerinde yukarı yönde hareket çizmektedir.

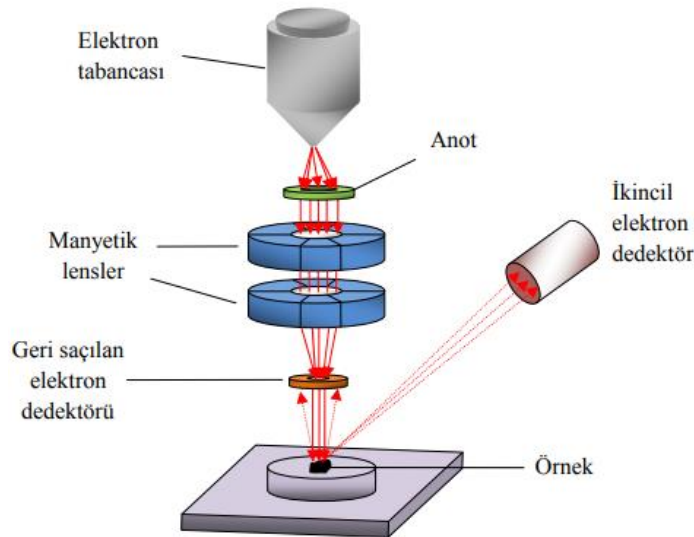
Şekil 15'de ki Enerji – Zaman grafiğinden çıkan sonuç; C, K, P ve P ve FP numunelerinde vurucunun geri sekme oluştuğu anlaşılmaktadır. PK ve FPK numunelerinde ise delinme ortaya çıkmıştır.

4.3. SEM Analizi Ve Sonuçları

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM de görüntü elde edilmesi için, elektronların yüksek voltaj ile hızlandırılması ve numunenin üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması esnasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler neticesinde ortaya çıkan etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyallerin güçlendirici vasıtası ile güçlendirilmesinden sonra bir katot ışınları tüpünün ekrana aktarılması gereklidir. Günümüz modern sistemlerinde bu algılayıcıdan alınan sinyaller dijital sinyallere çevrilerek bilgisayarların monitörlerine aktarılmaktadır [73].

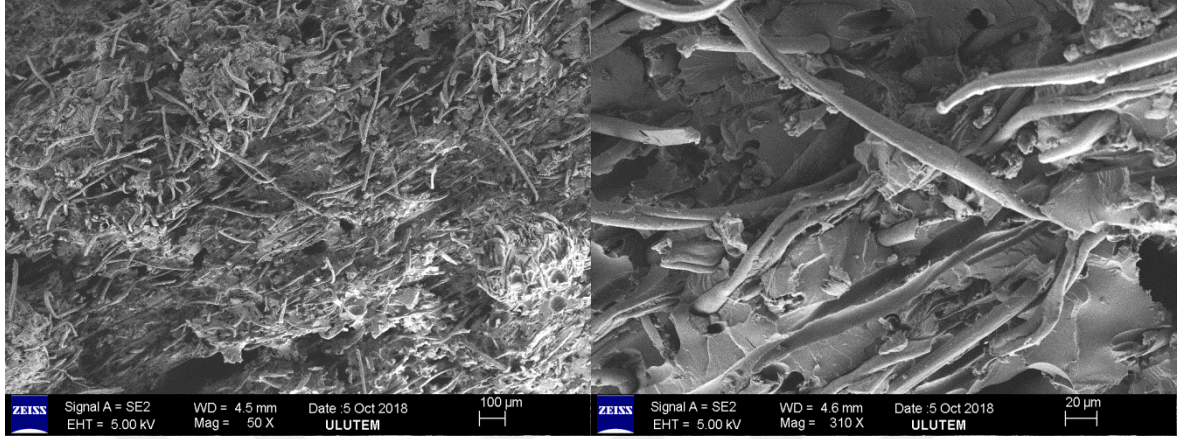
SEM proses olarak Şekil 16'da ki gibidir. Taramalı elektron mikroskoplarının en önemli avantajı, yüksek ayırım gücüne sahip olması ve numune hazırlama işleminin çok kolay olmasıdır. Ek olarak bir enerji ayırıcı x-ışınları dedektörü ile örnek üzerinde bulunan fazların kimyasal analizleri yapılabilmesine olanak sağlar [74-75].



Şekil 16. Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) şematik gösterimi [74]

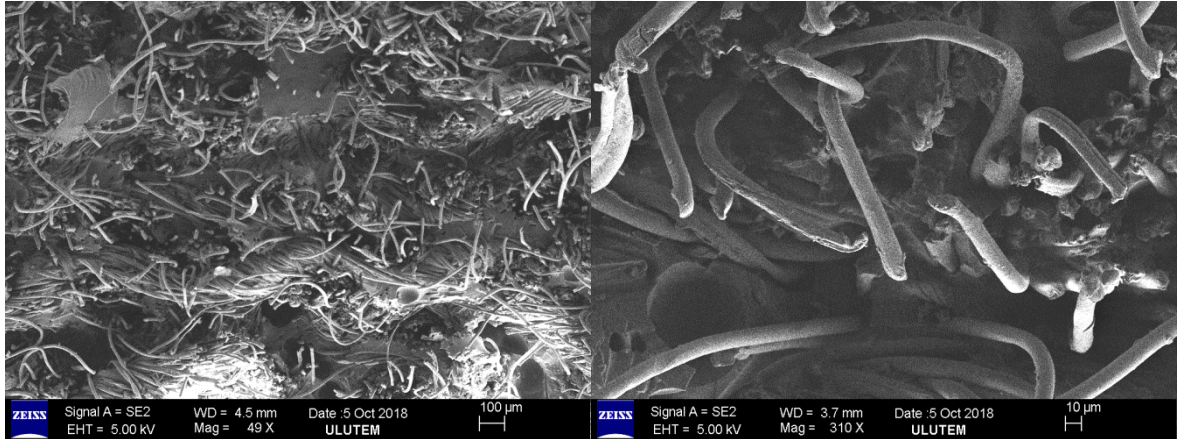
Bu çalışmada çekme testi sonucunda hasar görmüş veya kırılmış numunelerden P1 ve PK1 numunelerinin SEM cihazı ile alınan yüzey görüntüleri incelenmiştir. P1 ve PK1 numunelerinde ki hasar ilerleme mekanizmaları tespit edilmiştir.

Çekme deneyi sonucu kırılmış veya hasar görmüş P1 numunesinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Resim 17’de gösterilmiştir.



Resim 17. P1 numunesinin 50 X ve 310 X büyütmede SEM mikrografi

Çekme deneyi sonucu kırılmış veya hasar görmüş PK1 numunesinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Resim 18’de gösterilmiştir.



Resim 18. PK1 numunesinin 49 X ve 310 X büyütmede SEM mikrografi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yarı mamul pamuk ve %100 pamuk kumaş takviyeli kompozit malzemelerin, yaygın kullanım malzemeleri olan cam elyafı takviyeli ve karbon elyafı takviyeli kompozit malzemelere, fonksiyonelleştirme işlemini tabi tutulmuş eş numunelere oranla mekanik ve fiziksel özelliklerinin kıyaslanması amaçlanmıştır.

Numuneler çekme testine tabi tutularak maksimum gerilme ve yüzde uzama değerleri, düşük hızlı darbe testine tabi tutularak rijitlik, süneklik ve kırılma gibi fiziksel özellikleri kıyaslanmıştır.

Taramalı elektron mikroskopunda(SEM) kırılma yüzeyleri incelenmiştir.

- Aynı ağırlıkta elyaf katkısına sahip kompozit malzemelerde maksimum gerilme değeri büyükten küçüğe doğru karbon elyaf, cam elyaf, fonksiyonelleştirilmiş pamuk kumaş , pamuk kumaş, yarı mamul pamuk elyaf ve fonksiyonelleştirilmiş yarı mamul pamuk elyaftan yapılan kompozitler olarak tespit edilmiştir.
- Aynı ağırlıkta elyaf katkısına sahip kompozit malzemelerde yüzde uzama değeri büyükten küçüğe doğru yarı mamul pamuk, fonksiyonelleştirilmiş pamuk kumaş, karbon elyaf, cam elyaf, pamuk kumaş ve fonksiyonelleştirilmiş yarı mamul pamuk elyaftan yapılan kompozitler olarak tespit edilmiştir.
- Yarı mamul pamuk elyaf ile pamuk kumaştan yapılan kompozit malzemenin çekme dayanımları arasında birbirine yakın değerler gözlemlenmiştir. Bu biyo kompozit malzemeler cam elyafa nazaran 3,8 kat daha düşük dayanıma sahip olmasına rağmen tekstil artığı olarak değerlendirildiğinde daha düşük gerilme dayanımı gereken uygulamalarda daha az maliyetli ve doğal yaşama daha az zarar veren bir malzeme üretilmiş olacaktır.
- Fonksiyonelleştirme işleminin doğal lif takviyeli kompozit malzemelerde yüzey bağlanma özelliğinin arttırdığı gözlemlenmiştir ve buna bağlı olarak fonksiyonelleştirilmiş numunelerin reçine özelliklerini daha çok yansıttığı düşük

hızlı darbe testlerinin sonucu olarak gözlemlenmiştir. Bu sebeple kullanım yerinde istenen özelliğe göre yaygın kullanılan kompozit malzemelerin maliyetlerinde göz önünde bulundurularak, yerine doğal lif takviyeli kompozitlerden olan pamuk kompozitlerinin kullanılabilmesi görülmüştür.

- Düşük hızlı darbe testi sonucunda C, K, P, FP numuneleri için geri sekme durumunun oluştuğu, buna karşın PK ve FPK numuneleri için delinme durumunun meydana geldiğini gösterir. Bu da %100 pamuk kumaştan elde edilen numunelerin diğer numunelere nazaran daha kırılabilir bir yapıda olduğunu göstermektedir.

Test sonuçları da gösteriyor ki doğal lif takviyeli kompozit malzemeler kullanım yerine göre klasik kullanılan kompozit malzemelere tercih edilebilir. Bilhassa bölgemizde pamuk üretiminin çok yüksek miktarda olduğunu göz önünde bulundurarak düşük maliyete, çevreye dostu ve geri dönüştürülebilir pamuk takviyeli kompozit malzemeler üzerinde araştırma ve geliştirme çalışması yapılmalı ve endüstriyel kullanıma kazandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Shishevan, F.A. vd. (2015). Reçinesine grafen ve karbon nanotüp eklenmesinin karbon elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri ve darbe davranışları üzerindeki etkileri. Conference: Mühendislikte Yeni Teknolojiler, At Bayburt.
- [2] Jian Zhou, Minglong Xu, Zhichun Yang, Aeroelastic stability analysis of curved composite panels with embedded Macro Fiber Composite actuators, Composite Structures, Volume 208, 2019, Pages 725-734.
- [3] Xiaoniu Yu, Chunxiang Qian, Linzhu Sun, The influence of the number of injections of bio-composite cement on the properties of bio-sandstone cemented by bio-composite cement, Construction and Building Materials, Volume 164, 2018, Pages 682-687.
- [4] Kara, Y. ve Akbulut, H. (2017) Karbon elyaf takviyeli karbon nanotüp katkılı epoksi kompozit helisel yayların mekanik davranışları. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1304-4915.
- [5] N Kaarthik Krishna, M Prasanth, R Gowtham, S Karthic, K.M. Mini, Enhancement of properties of concrete using natural fibers, Materials Today: Proceedings, Volume 5, Issue 11, Part 3, 2018, Pages 23816-23823.
- [6] Korkmaz, N. Vd. (2016). Dokuma karbon elyaf takviyeli karbon nano tüp-epoksi kompozit malzemelerin mekanik ve termal karakterizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 20, Sayı 2, 338-353.
- [7] Dural Erem, A. ve Özcan, G. (2013). Polimer esaslı nanokompozitler ve tekstil uygulamaları. Tekstil ve Mühendis, 20: 89, 36-47.
- [8] Taşyürek, M. (2014). Yüzey çatlaklı ve çatlaksız $\pm 55^\circ$ filaman sarım cnt takviyeli ctp kompozit boruların mekanik özelliklerinin ve iç basınç etkisi altındaki yorulma davranışının araştırılması. Doktora tezi. Kabul tarihi: 17.01.2014.

- [9] Küçükyıldırım, B.O. ve Eker, A.A. (2012). Karbon nanotüpler, sentezleme yöntemleri ve kullanım alanları. Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:53, Sayı:630.
- [10] Kaya, A.İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi 29, 38-45.
- [11] Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitabevi, Ankara, 1-16, 37-41, 65-68, 79-88 (2000).
- [12] Xiude Lin, Hanxing Zhu, Xiaoli Yuan, Zuobin Wang, Stephane Bordas, The elastic properties of composites reinforced by a transversely isotropic random fibre-network, Composite Structures, Volume 208, 2019, Pages 33-44.
- [13] Ersoy, H.Y., “Kompozit Malzeme”, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama, San. Ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 11-15, 95-105, 110-116 (2001).
- [14] H. Benyahia, M. Tarfaoui, A. El Moumen, D. Ouinas, O.H. Hassoon, Mechanical properties of offshoring polymer composite pipes at various temperatures, Composites Part B: Engineering, Volume 152, 2018, Pages 231-240.
- [15] O. Mattei, A. Carini, Bounds for the overall properties of composites with time-dependent constitutive law, European Journal of Mechanics - A/Solids, Volume 61, 2017, Pages 408-419.
- [16] İnternet: <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/05/Kompozitin-Tarihi.pdf>
- [17] Yi-Cheng Wang, Lin Lu, Sundaram Gunasekaran, Biopolymer/gold nanoparticles composite plasmonic thermal history indicator to monitor quality and safety of perishable bioproducts, Biosensors and Bioelectronics, Volume 92, 2017, Pages 109-116.

- [18] Yixin Qi, Dazhi Jiang, Su Ju, Jianwei Zhang, Investigation of strain history in fast and conventional curing epoxy matrix composites by FBGs, *Composites Science and Technology*, Volume 159, 2018, Pages 18-24.
- [19] Sakarya Meslek Yüksek Okulu Makine Ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı – Kompozit Malzemeler Ders Notu , Sayfa: 2- 6
- [20] Milos Milosevic, Polymerization Mechanics of Dental Composites – Advantages and Disadvantages, *Procedia Engineering*, Volume 149, 2016, Pages 313-320.
- [21] Siamak Barzegar, Brian Davis, Siegfried Handschuh, Andre Freitas, Classification of composite semantic relations by a distributional-relational model, *Data & Knowledge Engineering*, Volume 117, 2018, Pages 319-335.
- [22] D. Baccar, D. Söffker, Identification and classification of failure modes in laminated composites by using a multivariate statistical analysis of wavelet coefficients, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 96, 2017, Pages 77-87.
- [23] İnternet: <http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>
- [24] Ünal O., Yapı Malzemeleri Ders Notları, 6. Bölüm Kompozit Malzemeler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmeliği.
- [25] Hancox, Neil L. – Mayer, Rayner M., *Desing Data For Reinforced Plastics*, Chapman & Hall, London, (1994)
- [26] Harmancıoğlu, M. Ve Yazıcıoğlu, G., (1979), Bitkisel Lifler, Ege Üniversitesi Tekstil Fakültesi Yayınları, No:3, İzmir.
- [27] Doan, T.T.L., Gao, S.L. ve Mader, E., (2006), Jute/Polypropylene Composites I. Effect of Matrix Modification, *Composites Science and Technology*, 66, 952-963

- [28] Mohit Sood, Gaurav Dwivedi, Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review, *Egyptian Journal of Petroleum*, Volume 27, Issue 4, 2018, Pages 775-783.
- [29] Swagata Dutta, Nam Kyeun Kim, Raj Das, Debes Bhattacharyya, Effects of sample orientation on the fire reaction properties of natural fibre composites, *Composites Part B: Engineering*, Volume 157, 2019, Pages 195-206.
- [30] Van de Weyenberg, I., Ivens, J., De Coster, A., Kino, B., Baetens, E. And Verpoest, I., (2003), Influence of Processing and Chemical Treatment of Flax Fibres on their Composites, *Composites Science and Technology*, 63, 1247-1254.
- [31] Cantero, G., Arbelaz, A., Llano-Ponte, R. Ve Mondragon, I., (2003), Effect of Fibre Treatment on Wettability and Mechanical Behaviour of Flax/Polypropylene Composite, *Composites Science and Technology*, 63, 1247-1254.
- [32] R. Shanks, 5 - Recycled synthetic polymer fibers in composites, Editor(s): Caroline Baillie, Randika Jayasinghe, In *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Green Composites (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2017, Pages 73-93.
- [33] Van Den Oever, M.J.A., Bos, H.L. ve Van Kemenade, M.J.J.M., (2000), Influence of the Physical Structure of Flax Fibres on the Mechanical Properties of Flax Fibre Reinforced Polypropylene Composites, *Applied Composite Materials*, 7, 387-402.
- [34] Wibowo, A.C., Mohanty, A. K., Misra M., ve Drzal, L.T., (2004), Chopped Industrial Hemp Fiber Reinforced Cellulosic Plastic Biocomposites: Thermomechanical and Morphological Properties, *Industrial Engineering Chemistry Research*, 43(16), 4883-4888.

- [35] Atif Hussain, Juliana Calabria-Holley, Mike Lawrence, Martin P. Ansell, Yunhong Jiang, Diane Schorr, Pierre Blanchet, Development of novel building composites based on hemp and multi-functional silica matrix, *Composites Part B: Engineering*, Volume 156, 2019, Pages 266-273.
- [36] Dhakal, H.N., Zhang, Z.Y. ve Richardson, M.O.W., (2007), Effect of Water Absorption on The Mechanical Properties of Hemp Fibre Reinforced Unsaturated Polyester Composites, *Composites Science and Technology*, 67, 1674–1683.
- [37] Liu, X.Y. ve Dai, G.C., (2007), Surface Modification and Micromechanical Properties of Jute Fiber Mat Reinforced Polypropylene Composites, *Express Polymer Letters*, 1(5), 299-307.
- [38] Gassan, J. Ve Bledzki, A.K., (1999), Possibilities for Improving the Mechanical Properties of Jute/Epoxy Composites by Alkali Treatment of Fibres, *Composites Science and Technology*, 59, 1303-1309.
- [39] Rout, J., Misra, M., Tripathy, S.S., Nayak, S.K. ve Mohanty, A.K., (2001), The Influence of Fiber Surface Modification on the Mechanical Properties of Coir-Polyester Composites, *Polymer Composites*, 22(4), 468-476.
- [40] Evelyn Alves Nunes Simonetti, Luciana de Simone Cividanes, Beatriz Carvalho da Silva Fonseca, Ana Paula Barbosa Rodrigues de Freitas, Aparecido dos Reis Coutinho, Gilmar Patrocínio Thim, TiO₂Carbon composite using coconut waste as carbon source: Sonocatalysis and adsorption evaluation, *Surfaces and Interfaces*, Volume 12, 2018, Pages 124-134.
- [41] Hill, C.A.S. ve Khalil Abdul, H.P.S., (2000), Effect of Fiber Treatments on Mechanical Properties of Coir or Oil Palm Fiber Reinforced Polyester Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 78, 1685–1697.

- [42] Mohanty, A.K., Misra, M. ve Hinrichsen, G., (2000), Biofibres, Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview, *Macromolecular Materials and Engineering*, 276/277, 1-24.
- [43] Ardanuy, M., Algaba, I., Garcia-Hortal, J.A., Lopez-Gil, A. ve Rodriguez-Perez, M.A., (2010), Morphology and Mechanical Properties of Biocomposites Based on Thermoplastic Starch and Cellulosic Fibers from Agricultural Residues, IV. International Technical Textiles Congress, İstanbul.
- [44] Puglia, D., Kenny, J.M. 2009. Applications of natural fibre composites. In: S. T. Pothan, *Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: From Macro to Nanoscale*, Old City Publishing, Inc, Philadelphia, p. 523-536.
- [45] Clemons, C. 2002. Wood-plastic composites in The United States: The interfacing of two industries. *Forest Products Journal*, 2, 10-18.
- [46] Santos, P.A., Giriolli, J.C., Amarasekera, J., Moraes, G. 2008. Natural fibers plastic composites in automotive applications. *SPE Automotive Composites Conference & Exhibition* Troy, MI, USA, p. 1-9.
- [47] Patel, M., Bastioili, C., Marini, L., Wurdinger, E. 2002. Environmental assessment of bio-based polymers and natural fiber, Netherlands, Utrecht University
- [48] Bismarck, A., Baltazar, A., Jimenez, Y., Sarikakis, K. 2006. Green composites as panacea socio-economic aspects of green materials. *Environment Development and Sustainability*, 8, 445-463
- [49] Donmez Cavdar, A., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F. 2011. Tea mill waste fibers filled thermoplastic composites: The effects of plastic type and fiber loading. *Journal Reinforced Plastics and Composites*, 30, 833–844.

- [50] Faris M. AL-Oqla, Mohd S. Salit, 2 - Natural fiber composites, Editor(s): Faris M. AL-Oqla, Mohd S. Salit, Materials Selection for Natural Fiber Composites, Woodhead Publishing, 2017, Pages 23-48.
- [51] Donmez Cavdar, A., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F. 2015. Technological properties of thermoplastic composites filled with fire retardant and tea mill waste fiber. Journal of Composite Materials, 50 (12), 1627-1634.
- [52] Yıldızhan, H., (2008), Polimer Metrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı.
- [53] Ulcay, Y. 1989. The Effect of Surface Treatment on the Bonding Properties of Spectra Fibers for Use in Composites Structures. Maryland College Park University, USA.
- [54] Carl Zweben, 3.23 Polymer Matrix Composite Thermal Materials, Editor(s): Peter W.R. Beaumont, Carl H. Zweben, Comprehensive Composite Materials II, Elsevier, 2018, Pages 592-612.
- [55] Ulcay, Y., Akyol, M. ve Gemci, R., (2002), Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, 7(1), 93-116.
- [56] İnternet: Kompozit Üretim Yöntemleri http://kisi.deu.edu.tr//cesim.atas/kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.pdf, 1-6
- [57] Genç, Ç., Arıcı. A.A., 2008, “Yat İmalatında Kullanılan CTP Malzeme ve İmalat Yöntemleri Bölüm III: İnfüzyon Yöntemi”, Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, Sayı: 178, s.16-21
- [58] Genç, Ç., 2006, “Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Üretim Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırması”, Yüksek Lisans, Kocaeli Üniversitesi

- [59] Valery A. Komarov, Eugene I. Kurkin, Marie O. Spirina, Composite Aerospace Structures Shape Distortion during All Stages of Vacuum Infusion Production, *Procedia Engineering*, Volume 185, 2017, Pages 139-145.
- [60] Mangino, E., 2004, “The Research Requirements of The Transport Sectors to Facilitate An Increased Usage of Composite Materials”, *Centro Ricerche Fiat*
- [61] Yurttaş, Ç., Afşar, E., 2000, “CTP Teknolojisi”, 4. basım, *Cam Elyaf*, 8-44
- [62] Wang, L. vd. (2015). Preparation and Mechanical Properties of Continuous Carbon Nanotube Networks Modified Cf/SiC Composite. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering Volume 2015*, Article ID 465358.
- [63] Jamal Seyyed Monfared Zanjani, Abdulrahman Saeed Al-Nadhari, Mehmet Yildiz, Manufacturing of electroactive morphing carbon fiber/glass fiber/epoxy composite: Process and structural monitoring by FBG sensors, *Thin-Walled Structures*, Volume 130, 2018, Pages 458-466.
- [64] Joshi, S.V. vd. (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Science Direct, Composites: Part A 35*, 371–376.
- [65] Dongjing He, Gang Cheng, Ling Tang, Lie Chen, Shiyao Li, Ping Gu, Yang Zhao, Research on adhesive properties of polydimethylsiloxane-carbon fiber composite material, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 86, 2018, Pages 35-39.
- [66] Araujo, J.R. vd. (2008). Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibers: Coupling agent effect. *Polymer Degradation and Stability 93* (2008), 1770–1775.
- [67] Ziyu Li, Zhigang Jia, Tao Ni, Shengbiao Li, Green and facile synthesis of fibrous Ag/cotton composites and their catalytic properties for 4-nitrophenol reduction, *Applied Surface Science*, Volume 426, 2017, Pages 160-168.

- [68] Zeren, F. (2013). Değişik oranlarda nano ve mikro boyutlardaki CaCO_3 'ün yüksek yoğunluklu polietilenin özelliklerine etkilerinin incelenmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [69] Eren Ozeren Ozgul, M. Hulusi Ozkul, Effects of epoxy, hardener, and diluent types on the hardened state properties of epoxy mortars, *Construction and Building Materials*, Volume 187, 2018, Pages 360-370.
- [70] Doan, T.T.L., (2006), Investigation on Jute Fibres and Their Composites Based on Polypropylene and Epoxy Matrices, Doktora tezi, Der Fakultat Maschinenwesen Der Technischen Universität Dresden.
- [71] Li, X., Tabil, L.G. ve Panigrehi, S., (2007), Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber – Reinforced Composites : A Review, *Journal of Polymer Environment*, 15,25-33.
- [72] Chaohui Wei, Bamidele Akinwolemiwa, Linpo Yu, Di Hu, George Z. Chen, 7 - Polymer Composites with Functionalized Carbon Nanotube and Graphene, Editor(s): Krzysztof Pielichowski, Tomasz M. Majka, In *Micro and Nano Technologies, Polymer Composites with Functionalized Nanoparticles*, Elsevier, 2019.
- [73] İnternet: Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM). <http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm> (2006).
- [74] Egerton, R.F. 2005. *Physical Principles of Electron Microscopy: An Introduction to TEM, SEM, and AEM*, Springer, New York
- [75] Kumar Nagendra, Chaitanya Vijay, P.A. Ramakrishna, Binder melt: Quantification using SEM/EDS and its effects on composite solid propellant combustion, *Proceedings of the Combustion Institute*, 2018, page 1540-7489.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYAN, Muhammet Çağrı
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.01.1991, Kırıkhan
 Medeni hali : Evli
 Telefon :
 E-mail : m.cagri.ayan@gmail.com



Eğitim

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet Tarihi</u>
Yüksek Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2019
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2014
Lise	Demir Çelik Lisesi	2007

İş Deneyimi

<u>Yıl</u>	<u>Yer</u>	<u>Görev</u>
2015-Halen	ASA Endüstri Ltd. Şti.	Mühendis
2014-2015	Gökmak Makine Ltd. Şti.	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

AYAN MUHAMMET ÇAĞRI, YAPICI AHMET (2018). An Investigation of Mechanical Properties of Bio Composite Materials. 2nd International Congress on Multidisciplinary Studies, 359-368. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4464460)

DİZİN

<p style="text-align: center;">A</p> <p>ABSTRACT · vi Avantajları Ve Dezavantajları · 62</p>	<p style="text-align: center;">M</p> <p>Malzemeler · 74 Matris Mazlemeler · 69</p>
<p style="text-align: center;">C</p> <p>Cam Elyaf · 74</p>	<p style="text-align: center;">Ö</p> <p>ÖZET · iv ÖZGEÇMİŞ · 106</p>
<p style="text-align: center;">Ç</p> <p>Çekme Deneyi · 83 Çizelge · xi, 13, 30</p>	<p style="text-align: center;">P</p> <p>Pamuk · 75</p>
<p style="text-align: center;">D</p> <p>Doğal Lifler · 66 Düşük Hızlı Darbe Deneyi · 86</p>	<p style="text-align: center;">R</p> <p>Resim · xiii, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 32, 40</p>
<p style="text-align: center;">E</p> <p>Epoksi Reçine ve Sertleştirici · 76 ETİK BEYAN · 3</p>	<p style="text-align: center;">S</p> <p>Simgeler · xiv SONUÇ VE ÖNERİLER · 95</p>
<p style="text-align: center;">F</p> <p>Fonksiyonelleştirme · 80</p>	<p style="text-align: center;">Ş</p> <p>Şekil · xii, 10, 13, 16, 17, 18, 25, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39</p>
<p style="text-align: center;">G</p> <p>GİRİŞ · 55</p>	<p style="text-align: center;">T</p> <p>Tanımı Ve Genel Özellikleri · 60 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) · 93 Tarihçe · 58 TEŞEKKÜR · viii</p>
<p style="text-align: center;">İ</p> <p>İÇİNDEKİLER · ix</p>	<p style="text-align: center;">V</p> <p>Vakum İnfüzyon Yöntemi · 70</p>
<p style="text-align: center;">K</p> <p>Karbon Elyaf · 74 KAYNAKLAR · 97 Kısaltmalar · xiv KOMPOZİT MALZEMELER · 57 Kompozitlerin Üretim Yöntemleri · 70</p>	<p style="text-align: center;">Y</p> <p>Yöntem · 76</p>



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

