



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ  
POLİPROPİLEN MALZEMENİN  
KİMYASAL KÖPÜRTME AJANI  
TAKVİYESİ İLE ELDE EDİLEN  
KOMPOZİTİN MEKANİK, TERMAL VE  
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

YEŞİM ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR

İSTANBUL, 2022



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ  
POLİPROPİLEN MALZEMENİN  
KİMYASAL KÖPÜRTME AJANI  
TAKVİYESİ İLE ELDE EDİLEN  
KOMPOZİTİN MEKANİK, TERMAL VE  
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YEŞİM ASLAN**

(533319003)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR

**İSTANBUL, 2022**

# MARMARA ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans öğrencisi Yeşim ASLAN'ın “Doğal elyaf takviyeli polipropilen malzemenin kimyasal köpürtme ajanı takviyesi ile elde edilen kompozitin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerinin incelenmesi” başlıklı tez çalışması,.....tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

### Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Münir TAŞDEMİR (Danışman)  
Marmara Üniversitesi Teknoloji Fak. Met. ve Mal. Müh. Böl.....

Prof.Dr. Emine Hilal MERT (Üye)  
Yalova Üniversitesi Müh. Fakültesi Polimer Müh. Böl.....

Dr. Öğr. Üye. Yalçın BOZTOPRAK(Üye)  
Marmara Üniversitesi Teknoloji Fak. Met. ve Mal. Müh. Böl.....

### ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile Yeşim ASLAN'ın Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof.Dr Bülent EKİCİ

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisansa başvuru sürecimden bu tez çalışmasının yürütülmesine kadar geçen tüm süreçte desteğini bir an bile eksik etmeyen çok kıymetli yol gösterenim Prof.Dr. Münir Taşdemir'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın en güzel ve en zorlu dönemlerinde maddi ve manevi desteklerini asla esirgemeyen bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme her zaman yanımda oldukları ve sevgi, güvenleri için sonsuz teşekkür ederim.

Özellikle laboratuvar çalışmaların sırasında desteklerini hep yanımda hissettiğim değerli ağabeyim İsmail Mutlu'ya ve firmaya başladığım günden itibaren beni Tekkan ailesinin parçası hissettiren değerli Tekkan plastik ailesine ve değerli ar-ge ekibine teşekkürlerimi sunarım.

**Ocak, 2022**

**YEŞİM ASLAN**

# İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ .....	xii
1. GİRİŞ.....	14
1.1. Çalışma Konusunun Tanımı ve Amacı.....	14
1.2. Malzemenin Tanımı ve Sınıflandırılması .....	15
1.2.1. Malzemenin tanımı .....	15
1.2.2. Malzemenin sınıflandırılması .....	15
1.3. Kompozit Malzemelerin Tanımı, Gelişim Süreci, Kullanım Alanları ve Performansının İncelenmesi .....	17
1.3.1. Kompozit malzemelerin tanımı .....	17
1.3.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	18
1.3.3. Kompozit malzemelerin matris türlerine göre sınıflandırılması.....	18
1.3.4. Kompozit malzemelerin takviye formuna göre sınıflandırılması.....	20
1.3.5. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişim süreci .....	22
1.3.6. Kompozit malzemelerin kullanım alanları .....	24
1.3.7. Kompozit malzemelerin performans değerlendirmesi .....	25
1.3.8. Kompozit malzemelerin avantajları.....	25
1.3.9. Kompozit malzemelerin dezavantajları .....	27

1.4. Biyoliflerin Tanımı, Gelişim Süreci, Kullanım Alanları ve Performansının İncelenmesi.....	27
1.4.1. Güçlendirici lifler (reinforcing fibers).....	28
1.4.2. Lif kaynakları (Fiber source).....	28
1.4.3. Lif türleri .....	29
1.4.4. Kenevir .....	29
1.4.5. Keten.....	29
1.4.6. Jüt .....	29
1.4.7. Kenaf .....	29
1.4.8. Bambu.....	29
2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	31
2.1. Kullanılan Malzemeler .....	31
2.1.1. Doğal elyaf takviyeli polipropilen (nafiLean) %20 hemp (kenevir) pp + %20 hempfibre.....	31
2.1.2. Köpürtücü ajan .....	31
2.2. Deney malzemeleri oranları.....	32
2.3. Deney Gereçleri .....	32
2.3.1. Terazî .....	32
2.3.2. Etüv cihazı .....	32
2.3.3. Enjeksiyon cihazı.....	33
2.4. Testler .....	34

2.4.1.	Çekme testi .....	34
2.4.2.	Sertlik Testi .....	35
2.4.3.	Darbe Testi .....	36
2.4.4.	Aşınma Testi.....	37
2.4.5.	MFI testi .....	39
2.4.6.	Yoğunluk testi .....	40
2.4.7.	HDT testi .....	40
2.4.8.	Vicat testi.....	40
2.5.	SEM (Tarmalı Elektron Mikroskobu) Analizi .....	42
3.	BÖLÜM: BULGULAR ve TARTIŞMA.....	44
3.1.	Mekanik Testlerin Sonuçları .....	44
3.2.	Fiziksel Özellik Testlerinin Sonuçları .....	52
4.	SONUÇLAR.....	64
	KAYNAKÇA .....	65

## ÖZET

### **DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ POLİPROPİLEN MALZEMENİN KİMYASAL KÖPÜRTME AJANI TAKVİYESİ İLE ELDE EDİLEN KOMPOZİTİN MEKANİK, TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Bu çalışmada doğal elyaf takviyeli polipropilen (PP) malzemenin içerisine %1-2-3 oranlarında kimyasal köpürtme ajanı takviyesi yapılmıştır. Enjeksiyon makinesinde uygun kalıplarda enjeksiyon yöntemiyle kalıplanarak standart deney numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen bu deney numunelerine çekme, darbe, sertlik, MFI, HDT-Vicat, aşınma, sürtünme, su emme, yoğunluk gibi mekanik, tribolojik ve ısıl testler uygulanmıştır. Bu deneylerin yanı sıra baloncukların yapıdaki dağılımlarının incelenmesi amacıyla SEM incelemeleri yapılmıştır. Yapılmış olan tüm bu deney neticelerinin incelenmesiyle doğal elyaf takviyeli polipropilen (PP)'e katılan baloncukların, elde edilen doğal elyaf takviyeli plastik kompozitinin mekanik, tribolojik, ısıl ve mikroyapısal özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiği tespit edilmiştir.

Çalışmamızın ilk bölümünde malzemeler, doğal elyaf takviyeli plastik kompozitler hakkında genel bilgiler verilmiş olup çalışma konumuzla ilgili yapılan çalışmalar ve sonuçları sunulmuştur. İkinci bölümde araştırmada kullanılan malzemeler ve numunelerin elde edilmesi anlatılmıştır. Bu bölümde numuneler üzerinde uygulanan testler hakkında da bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ise yapılan deneyler sonrası elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait grafikler sunulmuştur. Son bölümde ise deney sonuçlarının yorumlanmasına yer verilmiştir.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL, THERMAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF THE COMPOSITE MADE OF NATURAL FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE MATERIAL WITH CHEMICAL FOAMING AGENT**

The automotive industry is among the priority technology areas of our country, and the reduction of vehicle weight and fuel consumption and thus CO<sub>2</sub> emissions without compromising safety criteria are among the priority research areas. For this reason, R&D studies on increasing the use of polymer-based materials in the automotive industry are of great importance. In order to produce “high strength and weight reduction parts” in plastic molding technologies, advanced technologies that focus on cost reduction and efficiency are being implemented rapidly. The chemical foaming process, which provides many advantages such as reducing the consumption of plastic material used, reducing the total molding cycle time, using less tonnage injection molding machines, and thus reducing the energy costs, is one of the innovative technologies that have been implemented since a very recent time. In this study, chemical foaming agent were be reinforced at the rate of 1-2-3% in natural fiber-reinforced recycled composite polypropylene raw material. The samples obtained in the injection machine was be molded in the sizes and shapes in accordance with the standards. Tensile, hardness, impact and three points bending tests would be done. Not only mechanical properties, but also physical properties is investigated. Such as; Water absorption test, melt flow index test (MFI), density, Vicat softening temperature, heat deflection temperature (HDT), water absorption, % water absorption, abrasive test would done. By examining the test results, the mechanical, and morphological properties of natural fiber reinforced polypropylene materials at different chemical agent percentages were examined. With increasing the amount of foaming agent, mechanical properties decreased. Optimum yield can be obtained from the results by investigating property changes. The morphology of the microcellular hemp fibre composites were examined using scanning electron microscopy (SEM) to observed cell morphology cell size, shape, and distribution of cells account for physical properties behavior.

## SEMBOLLER

$\Delta V$	: Bağıl hacim kaybı
$\Delta m$	: Ağırlık kaybı
$E$	: Elastisite modülü
$\sigma$	: Normal gerilme
$\varepsilon$	: Birim uzama
$\Sigma_{\max}$	: Maksimum gerilme
$F$	: Yük
$F_{\max}$	: Uygulanan en yüksek kuvvet
$g$	: Gram
$J$	: Joule
$Kg$	: Kilogram
$kV$	: Kilovolt
$m$	: Metre
$m^2$	: Metrekare
$m^3$	: Metreküp
$\mu m$	: Mikrometre
$mol$	: Mol
$\eta m$	: Nanometre
$Nm$	: Newton metre
$ppm$	: Milyonda bir parça
$rpm$	: Dakikada dönme sayısı
$\rho$	: Yoğunluk
$sn$	: Saniye
$dak$	: Dakika
$\delta$	: Kopma uzaması

<b><math>\sigma_{max}</math></b>	: Kopma dayanımı
<b>T</b>	: Sıcaklık
<b>T<sub>g</sub></b>	: Camı geçiş sıcaklığı
<b>T<sub>m</sub></b>	: Erime sıcaklığı
<b>X<sub>c</sub></b>	: Kristallik derecesi
<b>vol</b>	: Hacim
<b>wt</b>	: Ağırlık



## **KISALTMALAR**

<b>APK</b>	: Ahşap plastik kompozit
<b>ASTM</b>	: American society for testing and materials
<b>dak</b>	: Dakika
<b>DSC</b>	: Differential scanning calorimeter
<b>HDT</b>	: Isıl çarpılma sıcaklığı
<b>ISO</b>	: Örgütü (International Organization for Standardization)
<b>iPP</b>	: İzotaktik polipropilen
<b>MFI</b>	: Eriyik akış indisi
<b>O</b>	: Oksijen
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>PLC</b>	: Polikaprolaktam
<b>POM</b>	: Polioksimetilen
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PS</b>	: Polistiren
<b>PVC</b>	: Polivinilchlorür
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu
<b>TEM</b>	: Geçirmeli elektron mikroskobu
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>UV</b>	: Ultra viole
<b>XRD</b>	: X-Işınları difraksiyonu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Plastik malzemelerden yapılmış ürün örnekleri.....	16
Şekil 1.2. Elyaflı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi.....	21
Şekil 1.3. Parçacıklı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi.....	21
Şekil 1.4. Tabakalı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi.....	22
Şekil 1.5. Karma kompozitlerin matris içindeki yerleşimi.....	22
Şekil 2.1. %20 kenevir elyaf takviyeli polipropilen.....	31
Şekil 2.2. Ticari köpürtücü ajan .....	31
Şekil 2.3. Elektronik Terazı.....	32
Şekil 2.4. Etüv cihazı.....	33
Şekil 2.5. Enjeksiyon cihazı .....	33
Şekil 2.6. Kullanılan kalıplar.....	34
Şekil 2.7. Çekme testi numuneleri.....	34
Şekil 2.8. Çekme Cihazı.....	35
Şekil 2.9. Sertlik testine ait yük ve uçların gösterimi.....	35
Şekil 2.10. Sertlik cihazı ve numuneleri .....	36
Şekil 2.11. Darbe Testi .....	37
Şekil 2.12. Aşınma testi.....	38
Şekil 2.13. Çentik açma cihazı ve numuneleri .....	39
Şekil 2.14. MFI testi cihazı .....	39

Şekil 3.1. Numunelerin Çekme Testi .....	45
Şekil 3.2. Elastiklik Modülü.....	46
Şekil 3.3. Sertlik Shore (D) .....	47
Şekil 3.4. İzod darbe dayanımı .....	48
Şekil 3.5. Eğilme Modülü .....	49
Şekil 3.6. Eğilme Dayanımı .....	50
Şekil 3.7. Maksimum % Eğilme Modülü .....	51
Şekil 3.8. %Eğilme Gerinimi .....	52
Şekil 3.9. Numune yoğunlukları .....	53
Şekil 3.10. Numunelerin % su emme değerleri.....	55
Şekil 3.11. Numunelerin % nem içerikleri.....	55
Şekil 3.12. Numunelerin ısı çarpılma sıcaklıkları .....	56
Şekil 3.13. Numunelerin MFI değerleri .....	57
Şekil 3.14. Numunelerin Vicat yumuşama sıcaklıkları.....	59
Şekil 3.15. Numunelerin Aşınma değerleri.....	61
Şekil 3.16. Numunelerin SEM görüntüleri.....	62

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 1.1.</b> Sektörlere göre kompozit malzeme kullanım oranları .....	25
<b>Tablo 1.2.</b> Lif kaynakları ve üretim kapasitesi .....	30
<b>Tablo 2.1.</b> Deney grupları ve malzeme oranları .....	32
<b>Tablo 2.2.</b> Enjeksiyon proses şartları .....	33
<b>Tablo 3.1.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin gruplar halinde karıştırılma oranları.....	44
<b>Tablo 0.2.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin çekme mukavemeti değerleri.....	45
<b>Tablo 0.3.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin elastiklik modülü değerleri.....	46
<b>Tablo 0.4.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin sertlik sonuçları...47	
<b>Tablo 0.5.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin izod darbe dayanımı.....	48
<b>Tablo 0.6.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin eğilme modülü...49	
<b>Tablo 0.7.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin eğilme dayanımı...50	
<b>Tablo 0.8.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin yoğunluk miktarları.....	53
<b>Tablo 0.9.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin su emme oranları.54	
<b>Tablo 0.10.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin ısı çarpılma sıcaklığı (HDT).....	56
<b>Tablo 0.11.</b> Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin ergime akış indeksi değerleri.....	57

**Tablo 0.12.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin vicat yumuşama sıcaklığı.....58

**Tablo 0.13.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin aşınma oranları (20m).....59

**Tablo 0.14.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin aşınma oranları (40m).....60

**Tablo 0.15.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin aşınma oranları (60m).....60

**Tablo 0.16.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin aşınma oranları (80m).....61

## 1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv sanayi CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması konusunda her geçen gün artan regülasyonlar ve bununla beraber gelen otomotiv şirketlerinin CO<sub>2</sub> emisyonu azaltma baskısı ile karşı karşıyadır. CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltma çabaları çelik ve alüminyum gibi malzemelerin yerine plastik ve kompozit malzemelerin kullanımını ön plana çıkarmıştır. Özellikle kompozit malzemeler; gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlere kullanılmaya başlanmıştır.

Malzeme bilimi önderliğinde daha üstün teknolojilerin üretildiği günümüzde özellikleri daha üstün olan malzemelerin ve buna paralel olarak da kompozit malzemelerin geliştirilmesinin ve kullanımının önemi hızla artmaktadır (Aricasoy, 2006).

Bu bölümde çalışma konusu ve amacı nedenlere bağlanarak tanımlanacak ve bu çalışma konusu ve amacına uygun güncel olarak gelişmesi devam eden kompozit malzemeler ve bir alt türü olan doğal elyaf takviyeli kompozit malzemeler hakkında genel bilgiler aktararak çalışma konusu için bir alt yapı oluşturulacaktır.

### 1.1.Çalışma Konusunun Tanımı ve Amacı

Otomotiv sektörü ülkemizin öncelikli teknoloji alanları arasında yer almakta olup güvenlik kriterlerinden ödün vermeksizin araç ağırlıklarının ve yakıt tüketimlerinin, dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması öncelikli araştırma alanları arasında gösterilmektedir. Bu sebeple polimer esaslı kompozit malzemelerin otomotiv endüstrisinde kullanımının artırılmasına yönelik Ar-Ge çalışmaları öne çıkmaktadır. Plastik kalıplama teknolojilerinde “yüksek mukavemetli ve hafif parçaların” üretilmesi için maliyet düşürme ve verimlilik odaklı ileri teknolojiler hızla uygulamaya geçmektedir. Kullanılan plastik malzeme tüketiminin ve havaya salınan CO<sub>2</sub> oranının azaltılması, toplam kalıplama çevrim süresinin azaltılması daha az tonajlı enjeksiyon makinalarının kullanılabilmesi ve dolayısıyla enerji giderlerinin azaltılması, toplam kalıplama çevrim süresinin azaltılması daha az tonajlı enjeksiyon makinalarının

kullanılabilmesi ve dolayısıyla enerji giderlerinin azaltılması gibi çok sayıda avantaj sağlayan kimyasal köpürtme prosesi çok yakın bir tarihten bu yana uygulamaya geçen yenilikçi teknolojilerden biridir.

Plastik kalıplama teknolojilerinde “yüksek mukavemetli ve hafif parçaların” üretilmesi için maliyet düşürme ve verimlilik odaklı ileri teknolojiler hızla uygulamaya geçmektedir. Kullanılan plastik malzeme tüketiminin azaltılması, toplam kalıplama çevrim süresinin azaltılması daha az tonajlı enjeksiyon makinalarının kullanılabilmesi ve dolayısıyla enerji giderlerinin azaltılması gibi çok sayıda avantaj sağlayan kimyasal köpürtme prosesi çok yakın bir tarihten bu yana uygulamaya geçen yenilikçi teknolojilerden birisidir.

Bu tez çalışmasında doğal elyaf takviyeli kompozit polipropilen hammaddesinin içerisinde %1-2-3 oranlarında kimyasal köpürtme ajanı takviyesi yapılmıştır.

Enjeksiyon makinesinde elde edilen numuneler standartlara uygun ölçü ve şekillerde test numuneleri basılacaktır. Kalıplanan numunelere; çekme, sertlik, darbe, aşınma, sürtünme, yoğunluk, ergime akış indeksi (MFI), Vicat yumuşama sıcaklığı, HDT ısı çarpılma sıcaklığı, SEM, nem, testleri yapılacaktır. Test sonuçları incelenerek doğal elyaf takviyeli polipropilen malzemelerin farklı kimyasal ajan yüzdelerindeki mekanik, fiziksel ve morfolojik özellikleri incelenmiştir.

## **1.2. Malzemenin Tanımı ve Sınıflandırılması**

### **1.2.1. Malzemenin tanımı**

Bir amacı gerçekleştirmek için kullanılan maddelere malzeme adı verilir. Bunlar kendiliğinden doğal ya da insan eliyle yapay oluşabilir. Çelik, demir, metal, tuğla, plastik malzeme örneklerindedir.

### **1.2.2. Malzemenin sınıflandırılması**

Malzemeleri dört grupta sınıflandırmak mümkündür.

#### **1. Polimerler**

2. Seramikler
3. Metaller
4. Kompozitler

#### **1.2.2.1. Polimerler**

Polimerlerin çoğu kimyasal olarak karbon, hidrojen ve diğer bazı metal dışı elementlerden (O, N ve Si) meydana gelen organik bileşiklerdir.

Ayrıca ana omurgasını çoğu kez karbon atomlarının oluşturduğu ve genellikle zincire benzetilen uzun moleküller halinde bulunan, çok geniş molekül yapıları vardır.

Yaygın olarak kullanılan polimerlere örnek olarak, polietilen (PE), naylon (poliamid), polivinilklorür (PVC), polikarbonat (PC), polisitiren (PS) ve siklon kauçuk verilebilir (Callister, 2013).



**Şekil 1.1.** Plastik malzemelerden yapılmış ürün örnekleri

#### **1.2.2.2. Seramikler**

Seramik, ısı etkisi ve ardından soğutma ile hazırlanan inorganik, metalik olmayan bir katıdır. Seramik malzemeler kristalimsi veya kısmen kristal yapılı olabilirler veya amorf (örneğin cam) olabilirler. En yaygın seramikler kristal olduğu için, seramik tanımı genellikle kristal olmayan camlara karşıt olarak inorganik kristal malzemelerle sınırlıdır.

#### **1.2.2.3. Metaller**

Metaller parlak, ısıyı ve elektriği iyi ileten, yüksek mukavemetli, tel ve levha haline getirilebilen malzemelerdir. Cıva dışında tüm metaller oda sıcaklığında katıdır. Altın, gümüş, bakır, demir, alüminyum metallere verilebilecek örneklerdendir.

#### **1.2.2.4. Kompozitler**

Kompozit (karma malzemeler); metal, seramik ve polimerlerden iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemelerdir. Yani bu belirtilen malzeme gruplarının türevi olarak bilinen çok fazlı malzemelerdir.

Kompozit malzeme tasarımında, bir malzemenin tek başına sergileyemeyeceği özelliklere ve de kendisini oluşturan malzemelerin en iyi özelliklerine sahip olan bir malzemenin üretilmesi amaçlanır (Callister, 2013).

Bu bölümde kompozit malzeme tanımı ve sınıflandırılması yapılacak, gelişim süreci ve kullanım alanlarından bahsedilecek ve performans değerlendirmesi hakkında bilgiler aktarılacaktır.

Kompozit malzemeler yüksek performans uygulamaları için tasarlanmış, özellikleri spesifik amaçlara uygun olarak oluşturulmuş ve geniş anlamda fonksiyonlarına göre düşünülen malzemelerdir (Addington, 2005). İki ya da daha fazla sayıda malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemeyle toplamak amacıyla makroskobik ve mikroskobik düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır (Şahin, 2000).

Kompoziti oluşturan maddelerin arasında birincil kimyasal etkileşimler bulunmaz ve çoğu kompozitteki bileşenlerin birbiri ile temas ettiği noktalar çeşitli optik cihazlarla ayırt edilebilir.

Kompozit malzemeleri hazırlamadaki amaç, değişik maddelerin iyi özelliklerini tek bir madde de homojen bir görünüm sağlayacak şekilde birleştirmektir. Kompozit malzeme, matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış olan takviye elemanından oluşur (Hahn, 1980).

### **1.3.Kompozit Malzemelerin Tanımı, Gelişim Süreci, Kullanım Alanları ve Performansının İncelenmesi**

#### **1.3.1. Kompozit malzemelerin tanımı**

Kompozit malzemeler, farklı fiziksel ve kimyasal özellikteki iki ya da daha fazla malzemenin birleşmesi sonucu oluşan malzemelerdir. Bir amaç doğrultusunda birleşen malzemeler, oluşan kompozit malzemenin daha kuvvetli, hafif veya elektriğe karşı dirençli olmasını sağlayabilir. Geleneksel malzemeler yerine kompozit malzemelerin kullanılmasının sebebi, temel malzemelerin özelliklerini geliştirmesi ve birçok farklı

alanda kullanılabilmesidir.

### **1.3.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerin yapılarında çok farklı türde ve sayıda malzeme bulunmaktadır ve yapıdaki bu malzemeler çeşitli formlara sahiptirler. Bu nedenle çok farklı kriterlere göre sınıflandırmak mümkündür. Kompozit malzemeler; yapılarındaki malzemenin (matris) çeşidine, takviye formuna göre iki farklı şekilde sınıflandırılabilir;

1. Kompozit malzemelerin matris türlerine göre sınıflandırılması
2. Kompozit malzemelerin takviye formuna göre sınıflandırılması

### **1.3.3. Kompozit malzemelerin matris türlerine göre sınıflandırılması**

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar; takviye elemanlarını bir arada tutmak, yükü takviye elemanlarına dağıtmak ve takviye elemanlarını çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra takviye elemanları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Kompozit yapılarda yükü taşıyan takviye elemanların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin; Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, takviye elemanlarıyla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Kompozit malzemeler, matris türüne göre sınıflandırılmaktadır (Şahin, 2000).

#### **1.3.3.1. Metal matrislikompozit malzemeler**

Bir metalik faz ile bazı takviye elemanları arasında eritme, vakum, emdirme, sıcak preslemeve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak metal matrisli kompozit malzemeler elde edilirler. Dış etkilere ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalarından dolayı elektronik aletlerin, otomobillerin ve uzay makinelerinin bazı parçalarının yapımında metal matrisli kompozit malzemelerden yararlanılır. Ancak metalik kompozitlerin; yoğunluklarının yüksekliği, yüksek işleme sıcaklığı ve lif-metal ara yüzeylerinde korozyona eğilim gibi önemli dezavantajları vardır (Şahin, 2000).

### 1.3.3.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramik matrisli kompozitler; yapısal ve fonksiyonel açıdan gelişmiş niteliklere sahip yüksek teknoloji seramikleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelere denir. Seramik kompozitler sıcak presleme, sıcak statik presleme ve sıvı faz sinterleme teknikleri uygulanarak elde edilirler. Yüksek sıcaklık ve stres gerektiren uygulamalar için en uygun malzemelerden biri olarak bilinmektedirler (Callister, 1997). Bu seramik kompozitler  $\text{Li}_2\text{O}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ , 'dır. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da birkaçı beraber kullanılarak seramik matrisli kompozit malzemeler elde edilir. Seramikler çok özel uygulamalar dışında plastik olarak şekil değiştiremez, sert ve gevrek olurlar. Yüksek sertlikleri dolayısıyla  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiC}$  gibi, aşındırıcı olarak kullanılmaya elverişlidirler. Erime sıcaklıkları yüksek, ısı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür. Seramik sandviç (katmanlı) zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir (Geçkinli, 1992).

### 1.3.3.3. Polimer matrisli kompozit malzemeler

Polimer matrisli kompozitler; korozyona dirençli, uzun süreli kullanımlara yatkın, işlenmeleri kolay, hafif, karmaşık geometrilerde şekillendirilebilen, birim kütle başına yük taşıma özellikleri yüksek malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler yapımında matris olarak yaygın olarak termosetler, termoplastikler ve elastomerler kullanılır (Şahin, 2000).

Polimer kompozitlerinin en önemli özellikleri yüksek özgül dayanım (mukavemet/ özgül ağırlık) ve elastisite modülüdür. Üretim kolaylığı ve düşük maliyetleri nedeniyle kullanım alanları geniştir (Callister, 1997). Bunların dışında, polimer matrisli kompozitler, metal ve seramik kompozitlerine göre sıvılarla etkileşime daha yatkındırlar. Bu nedenle otomotiv sanayinde ve makine parçalarında, sıvılarla temas halindeki malzemelerin üretiminde polimerik kompozitler daha çok tercih edilir (Vasiliev & Morozov, 2001). Polimer kompozitlerin uçak ve uzay endüstrisinde de kullanımı oldukça yaygındır.

Polimer matrisli kompozitler;

- Termoset matrisli kompozitler
- Termoplastik matrisli kompozitler olarak ikiye ayrılmıştır.

En önemli ticari matris termosetler;

- Doymamış poliesterler,
- epoksiler
- fenoliklerdir.

Kompozit üretiminde kullanılacak termoset polimerler genelde içerisine sertleştirici, katkı ve dolgu maddeleri karıştırılmış düşük viskoziteli ve düşük mol kütleli sıvı halindedir. Termoset çözeltilerinin kimyasal dirençleri ve bazı mekanik özellikleri termoplastiklere göre yüksektir (Saçak, 2005).

Ancak termosetlerin termoplastiklere göre en önemli dezavantajları;

- Kalıplama süresinin polimerizasyon tepkimeleri nedeniyle uzun olması,
- Sıvı hallerinde oda sıcaklığında uzun süreli depolanamamaları,
- Geri dönüştürülememeleri,
- Düşük darbe dayanımlarıdır.

Termoplastik; ısı etkisiyle eritilerek yeniden şekillendirilebilen polimerler için kullanılan genel bir kavramdır. Yüksek yoğunluklu ve düşük yoğunluklu polietilen, polipropilen, polistiren, polietilen teraftalat, polivinil klorür ticari olarak en çok kullanılan termoplastik polimerlerdir. Termoplastiklerin en önemli avantajı kullanım sonrası tekrar ısıtılarak şekillenebilme özelliğine (geri dönüştürülebilir olma özelliğine) sahip olmalarıdır (Ahrabi, 2009) Bunun yanında termoplastik matrisler;

- Oda sıcaklığında sonsuz süre depolanabilme,
- İşleme süresinin kısalığı,
- Onarım kolaylığı özelliklerinden dolayı termosetlerden üstündürler.

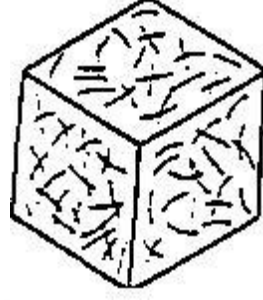
Birçok uygulamada termoplastik malzemelerle yapılan kompozitler termoset plastiklerin yerini almaktadır.

#### **1.3.4. Kompozit malzemelerin takviye formuna göre sınıflandırılması**

Kompozitlerde istenilen özellikleri elde etmek amacıyla, yapıdaki malzemeler farklı formlara sahip olabilmektedirler. Yapıdaki malzemenin formuna göre kompozitler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

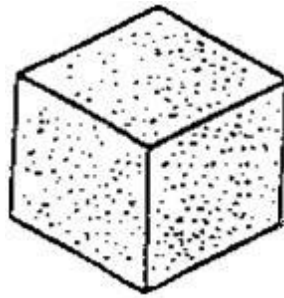
- Elyafli Kompozitler: Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla

meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi, mukavemeti, uzunluk/çap oranı ve elyaf ve matris arasındaki bağın yapısı kompozit yapının mukavemetini etkileyen faktörlerdir (URL2). Sert, dayanıklı, elastikliği yüksek elyaflar kompozit malzemenin çekme dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özelliklerini iyileştirir (Şahin, 2000).Cam fiberler, sağlam cam elyafların yumuşak bir polimer matris içinde dağılmasıyla oluşan bir elyafli kompozit malzeme örneğidir.



**Şekil 1.2.** Elyafli kompozitlerin matris içindeki yerleşimi

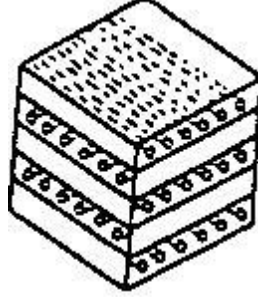
- Parçacıklı Kompozitler: Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilen izotrop yapılardır (URL2). Parçacıklı kompozitler yüksek dayanımdan ziyade, alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır (Şahin, 2000). Beton, çimento matriste kaba kum veya çakıl içeren bir parçacıklı kompozit malzeme örneğidir. Plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardan oluşan parçacıklı kompozitler ise uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedir.



**Şekil 1.3.** Parçacıklı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi

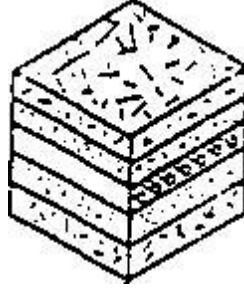
- Tabakalı Kompozitler: Temel malzeme eksenleri doğrultusunda değişik yönlere sahip tabaka ve katmanların üst üste konularak biraraya getirilmesi ile elde edilen kompozitlerdir (Şahin, 2000). Farklı elyaf yönelmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır.

Metallere göre hafif ve aynı zamanda dayanıklı olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir (URL2) Kontraplak, ağaç kaplama katmanlarından oluşan bir tabakalı kompozit malzeme örneğidir.



**Şekil 1.4.** Tabakalı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi

- Karma (Hibrit) Kompozitler: Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrit kompozitler denir (URL2). Aynı matris içinde kevlar ve grafit elyafın dağılmasıyla oluşan kompozit malzeme bir karma kompozit malzeme örneğidir. Kevlar, ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma kuvveti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak yüksek basma kuvveti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapıda bir arada bulunması ile elde edilen karma kompozitin tokluğu grafit kompozitten daha iyi, maliyeti daha düşük ve basma kuvveti kevlar elyafı kompozitten daha yüksektir.



**Şekil 1.5.** Karma kompozitlerin matris içindeki yerleşimi

### **1.3.5. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişim süreci**

Günümüzde gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın bir kullanımı bulunan kompozit malzemenin üretimi son birkaç yüz yıla mal edilmiş gibi görülse de ilk örnekleri çok eskilere dayanmaktadır. Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması ancak 1940'lı yılların başında gerçekleşmiştir.

Çok bileşenli malzemenin ilk örnekleri, doğada bulunan malzemeye yapılan müdahalelerle onun kullanılabilir hale getirilmeye başlandığı aşamadır. İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak bu kırılğanlık özelliğinin giderilmesine çalışmışlardır. Bu konularda en iyi örneklerden biri kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler, malzemenin gerek üretim gerek kullanım sırasındaki dayanımını artırmaktadır. Öte yandan, günümüzde kompozit malzemenin donatılmasında yaygın olarak kullanılan liflerle ilgili uygulamanın da çok yeni olmadığı eldeki bulgulardan anlaşılmaktadır. Örneğin cam liflerinin üretimi, eski Mısır'a kadar tarihlendirilmektedir. Daha M.Ö 1600 yıllarında Mısır'da ince cam liflerinin yapımının bilindiği, XVIII. Hanedan devrinden kalan, çeşitli karanlık ve renkte cam lifleriyle bezenmiş amforaların mevcudiyetinden anlaşılmaktadır.

Cam liflerinin sanayide kullanımıyla ilgili ilk kayıt, 1877 tarihlidir. Hidrolik bağlayıcılar ve elyaf malzeme kullanılarak yapay taş plakaların üretilmesi yöntemi hakkında bu yüzyılın başında alınmış patentlere rastlanmaktadır. Günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulmuş olan liflerle donatılmış kompozit malzemelerden ikisi, asbest lifleriyle donatılı kompozit malzemeler ve cam lifleriyle donatılı polyeşter kompozitlerdir. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllar boyu önemini koruyarak bugün hala kullanılan bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir.

Öte yandan, liflerle donatılı sentetik reçineler 1950'li yılların ortalarından itibaren endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemenin en tanınmış grubunu "cam lifi donatılı polyeşter reçinesi kompoziti" oluşturmaktadır. Ülkemizde "fiberglas" diye tanınan bu malzeme 1960'lı yılların başından itibaren Türkiye'de sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan Anadol'un kaportası bu malzemedен üretilmiştir.

Cam lifleriyle donatılı sentetik reçine matrisli malzemeler için dilimizde "Cam Takviyeli Plastik (CTP)" adı yerleşmiştir. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, en çok kullanılan malzeme olan polyeşterin yanı sıra, günümüzde, diğer termoset ve termoplastik reçinelerde kullanılmaktadır (URL3).

### 1.3.6. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

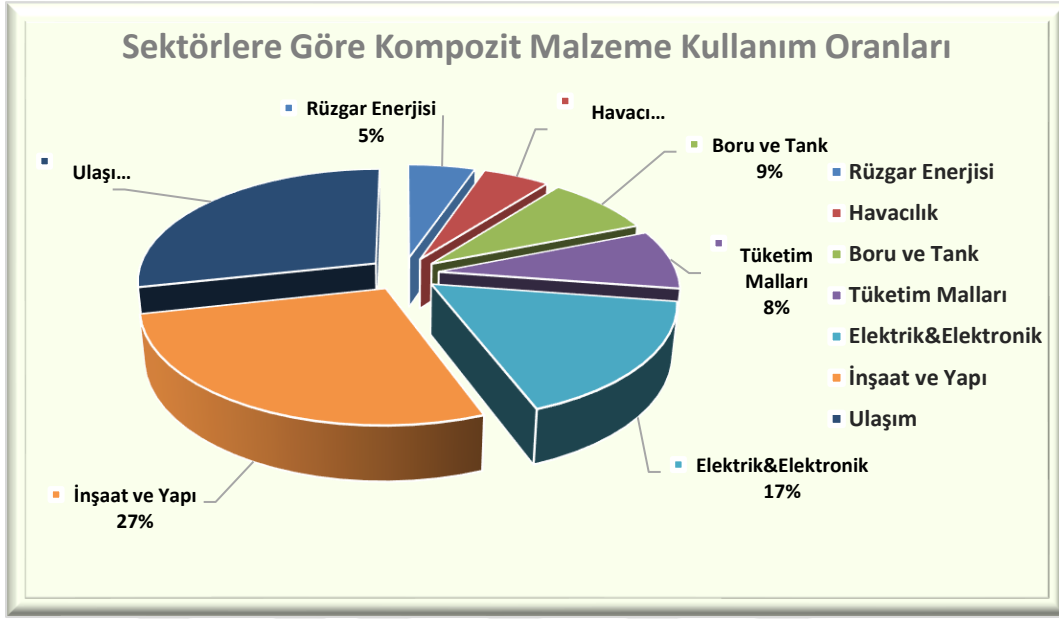
Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük olması, yüksek mukavemet göstermeleri, kolay şekillendirilebilmeleri, daha az deformasyona uğramaları ve daha fazla yük taşıyabilmeleri kullanım alanları için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, kompozit malzemelerin üretiminde şu özelliklerin geliştirilmesi hedeflenir. Mekanik dayanım, korozyona karşı direnç, rijitlik, ağırlık, yüksek sıcaklığa dayanım göstermek, ısı iletkenliği, kırılma tokluğu, ses tutuculuğu ve görünüm. Bu özelliklerin birisi veya birkaçı geliştirilirken, kompozit malzemenin zayıf yönleri iyileştirilir. Bu iyileştirme kompoziti oluşturan matris ve takviye elemanlarının iyi analiz edilmesi ile mümkündür. Kompozit malzemelerin tanımından da anlaşıldığı üzere, kompozit malzemelerde genellikle şu dört koşul aranmaktadır:

- 1) İnsan yapımı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması.
- 2) Farklı malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması.
- 3) Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısıyla bu amaçla üretilmiş olması.
- 4) Kompozit malzemeleri oluşturan takviye ve matris malzemelerin bir bütün olarak davranması (Yağcı, 2007).

Araştırmalara göre dünyada tüketilen kompozit miktarı ağırlıkça 7,8 milyon ton olmuştur. Son dönemlerdeki kompozit malzeme kullanımındaki artış göz önüne alındığında, 2014 yılında dünya çapındaki kompozit malzeme tüketiminin 9,5 milyon tona erişeceği tahmin edilmektedir.

Son 50 yıldır dünyada kullanılan kompozit malzeme miktarı ağırlıkça (kütlesel olarak) yıllık ortalama yüzde 8 oranında artmaktayken, ülkemizde son yıllardaki bu değer yüzde 10 civarlarındadır. Kompozit malzeme kullanımının dünya üzerindeki dağılımını inceleyecek olursak, Asya 2,8 milyon ton kompozit kullanımıyla dünyada yüzde 36'lık paya sahiptir. Kuzey Amerika ise 2,7 milyon ton kompozit kullanımıyla dünyada yüzde 35'lik paya sahiptir. Avrupa ise yüzde 22'lik oranla 1,7 milyon ton kompozit malzeme tüketmektedir (İnkaya, 2011).

**Tablo 1.1.** Sektörlere göre kompozit malzeme kullanım oranları



### 1.3.7. Kompozit malzemelerin performans değerlendirmesi

Genel olarak kompozit malzemeler matris ve takviye malzeme olmak üzere iki ana bileşenden oluşurlar. Sürekli ve düzgün dağılmış yapıda olan matris malzemenin fonksiyonları takviye malzemeyi bir arada tutmak, yükü takviye malzemeye dağıtmak ve takviye malzemeyi çevresel etkilerden korumaktır. Süreksiz ve dağınık yapıda olan takviye malzeme ise temel mukavemet elemanıdır, taşıyıcı görev üstlenir ve yapının yüksek mekanik dayanımını sağlar (Erkan, 2011).

Kompozit malzemenin özellikleri; matris ve takviye malzemenin spesifik özellikleri, göreceli hacimsel oranları, şekilleri, dağılımları ve aralarındaki bağ gibi birçok değişkene bağlıdır (Thornton, 1985).

Kompozit malzemenin performansını etkileyen, yapısında bulunan bileşenlerin ortaya çıkardığı avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

### 1.3.8. Kompozit malzemelerin avantajları

Kompozit malzemeler, bileşenlerinden farklı olarak yeni özellikler kazanmasıyla birlikte kullanım açısından bazı avantajlar sağlamaktadır. Bunlar;

- Hafiflik: Metal kompozitlerin yoğunluğu genelde 3–4,5 gr/cm<sup>3</sup> civarındadır, dolayısıyla en ağır kompozit türü olarak değerlendirilmektedir. Seramik kompozitler ise

metal kompozitlere göre daha düşük yoğunluğa sahipler. Ancak en hafif kompozit ürünleri ise polimer esaslı kompozitlerden oluşmaktadır. Polimer kompozitlerin yoğunluğu genelde 1,5–2 gr / cm<sup>3</sup> civarındadır. Metal kompozitlerle karşılaştırıldığında oldukça avantajlı bir durumdur (Anonymous, 1995).

- Rijitlik ve Boyut Kararlılığı: Genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterir (Erkan, 2011).

- Kalıcı Renklendirmeye Elverişlilik: Kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

- Titreşim Sönümlenme: Kompozit malzemelerde, süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özellikleri metallere göre oldukça fazladır. Çatlak ilerleme olayı da böylece azaltılmış olmaktadır (Yılmaz, 2005).

- Yüksek Mekanik Özellikler: Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir. Malzemenin maksimum çekme gücü karşısında gösterdiği mukavemet çekme dayanımı, maksimum basma kuvvetine karşı gösterdiği mukavemet ise basma dayanımı olarak adlandırılır. Darbe dayanımı malzemenin anlık bir kuvvet karşısında gösterdiği mukavemettir. Yorulma dayanımı ise malzemeyi deforme edecek düzeyin altında, sabit ve sürekli bir kuvvet karşısında gösterdiği mukavemettir.

- Elastisite Modülü: Malzemenin belirli bir kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür. Malzemenin özgül elastisite modülü ise, elastisite modülünün malzemenin özgül ağırlığına oranıdır. Kompozit malzemelerde birleşenlerin türü, formu ve miktarı gibi değişkenler sayesinde istenilen elastisite modülüne sahip malzemeler elde edilebilmektedir.

- Yüksek Kimyasal Direnç ve Yüksek Isı Dayanımı: Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir. Bunun yanı sıra kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastiklere göre yüksektir (Erkan, 2011).

- Çekicilik ve Estetik Görünüm: Kompozitler insan yapımı malzeme sistemleri olduğu için istenilen renklere ve istenilen yüzey kalitesinde üretilmeleri mümkün olmaktadır.

- Esnek Elektriksel Özellikler: Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre

ayarlanabilir. Metal matrisli birleşik malzemeler iletkendir (Yılmaz, 2005).

### **1.3.9. Kompozit malzemelerin dezavantajları**

Kompozit malzemelerin bileşenlerini oluşturan malzemelerin sahip olduğu kötü bir özellik direk olarak kompozit malzemeyi de olumsuz etkilemektedir. Kompozitler karma malzemeler olduğu için istenilen şartları sağlayacak en uygun matris ve takviye elemanının seçimi çok önemlidir (Şahin, 2000). Kompozit malzemenin dezavantajları;

- Yorulma: Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri, malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkiler (Yılmaz, 2005).
- Doğrultusal Tutarsızlık: Kompozit malzemeler içyapılarında farklı birleşenler olduğu için değişik doğrultularda değişik özellikler gösterirler.
- Üretim Güçlüğü: Kompozit malzeme üretim sürecinde tüm parametreler çok iyi detaylandırılmalıdır. İyi tanımlanmamış parametreler imalatta verimsizliğe sebep olabilir (Şahin, 2000)
- Hassas İmalata Uyumsuzluk: Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez (Yılmaz, 2005).
- Yüksek Maliyet: Kompozit malzemeler doğada hazır olarak bulunmayan insan yapımı malzeme sistemleri oldukları için üretim maliyetleri yüksektir ve bu maliyet üretim şekline göre değişim göstermektedir (Şahin, 2000).

### **1.4. Biyoliflerin Tanımı, Gelişim Süreci, Kullanım Alanları ve Performansının İncelenmesi**

Plastik kompozitlerde dolgu maddesi ve/veya güçlendirici olarak biyoliflerin kullanılmasına yönelik artan bir eğilim vardır. İşleme sırasındaki esneklikleri, oldukça spesifik sertlikleri ve düşük maliyetleri (hacimsel bazda) onları üreticiler için çekici kılmaktadır. Bu yüzyıl, %80'den fazlası termoplastik olan plastiğin önemli hammaddeler olarak kullanılmasına yönelik giderek artan taleplere tanık oldu. Biyofiber takviyeli plastik kompozitler, yapısal uygulamalarda giderek daha fazla kabul görmektedir. Tüketici talep ve beklentileriyle bağlantılı teknolojik gelişme, küresel kaynaklara yönelik talepleri arttırmaya devam ederek önemli malzeme mevcudiyeti ve çevresel

sürdürülebilirlik sorunlarına yol açıyor. Son birkaç on yılda biyofiber kompozitler dikkate değer bir dönüşüm geçirmektedir. Bu malzemeler, yeni bileşimler ve süreçler yoğun bir şekilde araştırıldıkça, geliştirildikçe ve sonuç olarak uygulandıkça daha yeterli hale gelmektedir. Petrol krizi biyokompozitleri önemli bir ölçüde önemli hale getirdi ve biyokompozitler çok geniş özelliklere sahip mühendislik malzemeleri haline geldi. Ancak tüm malzemeler gibi bunlar da sürekli olarak küresel pazardan gelen rekabet baskısı altındadır ve bu malzeme grupları da sürekli araştırmayı gerektirmektedir. Plastikleri doğal atık dolgu malzemeleriyle basitçe karıştırma ve temel özelliklerini karakterize etme zamanı artık geride kaldı. Biyo-bazlı plastiklerin biyokompozitler için güçlendirilmiş matrisler olarak kullanılması kavramı her geçen gün daha fazla değer ve önem kazanmaktadır. Gelişmekte olan biyo bazlı plastiklerdeki gelişmeler, teknolojik açıdan iyi seviyede pazardaki hızlı büyümeleri yansıtmaktadır. 2003'ten 2007'ye kadar küresel ortalama yıllık büyüme oranı %38 idi. Ama aynı dönemlerde Avrupa'da yıllık büyüme oranı %48'lere kadar artış gösterdi.

Biyo-bazlı plastiklerin dünya çapındaki kapasitesinin, 2013 yılına kadar 0,36 milyon metrik tondan 2022'de 3,45 milyon metrik tona çıkması hedeflenmektedir. Üretim hacimleri açısından ana ürünün ise nişasta bazlı plastik olması beklenmektedir. Blendzki ve Gassan, 1999 yılına kadar polimer kompozitlerde en kolay kullanılan doğal liflerin takviyesini inceleme makalelerinde gözden geçirdiler (Bledzki, 1999).

#### **1.4.1. Güçlendirici lifler (reinforcing fibers)**

Son zamanlarda giderek artan şekilde yenilemeyen kaynakların kıtlaştığına dair artan bir farkındalık ve yenilenebilir kaynaklara kaçınılmaz bağımlılığımız ortaya çıkmıştır. Bu yüzyıl, selülozik yüzyıl olarak adlandırılabilir, çünkü ürünler için giderek daha fazla yenilebilir bitki kaynağı keşfedilmektedir. Doğal liflerin yenilenebilir ve sürdürülebilir olduğu için kullanımları her geçen gün artmaktadır.

#### **1.4.2. Lif kaynakları (Fiber source)**

Doğal lifler üreten bitkiler, kullanımlarına göre birincil ve ikincil olarak sınıflandırılırlar. Birincil bitkiler lif içeriği için yetiştirilen bitkilerdir, ikincil bitkiler ise liflerin yan ürün olarak üretildiği bitkilerdir. Jüt, kenevir, kenaf ve sisal birinci bitki örnekleridir. Ananas, palmye yağı ve Hindistan cevizi ikincil bitki örnekleridir.

Tablo xx'de Dünya çapında üretilen kompozitlerde ticari olarak kullanılan ana lifleri göstermektedir (Staiger, 2008).

### **1.4.3. Lif türleri**

Altı temel doğal lif türü vardır. Bunlar şu şekilde sınıflandırılır: Saksı lifleri (jüt, keten, kenevir, ravi ve kenaf), yaprak lifleri (abaca, sisal ve ananas) tohum lifleri (hindistan cevizi, pamuk ve kapok), çekirdek lifleri (kenaf, kenevir ve jüt), çim ve kamış lifleri (buğday, mısır ve pirinç) ve diğer tüm türleri (odun ve kökler)

### **1.4.4. Kenevir**

Saksı lifi mahsulüdür. Ilıman iklimlerde yetişen tek yıllık bir bitkidir. Kenevir şu anda gıda dışı tarım için bir Avrupa birliği sübvansiyonuna tabidir ve şu anda Avrupa'da daha fazla gelişmesi için devam etmekte olan önemli bir girişim olarak bilinmektedir.

### **1.4.5. Keten**

Linum usitatissimum, sak liflerine aittir. Ilıman bölgelerde yetişir ve dünyanın en eski lifli bitkilerinden biridir. Bast elyaf keten en çok katma değeri yüksek tekstil pazarlarında kullanılmaktadır. Günümüzde kompozit alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

### **1.4.6. Jüt**

Jüt, yaklaşık 100 tür içeren Corchorus cinsinin bitkilerinden üretilir. En ucuz doğal liflerden biridir ve şu anda en yüksek üretim hacmine sahip sak lifidir. Bangladeş, Hindistan ve Çin, jütün büyümesi için en iyi koşulları sağlamaktadır.

### **1.4.7. Kenaf**

Hibiscus cinsine aittir ve yaklaşık 300 türü vardır. Kenaf, Amerika Birleşik Devletleri'nde yeni bir üründür ve kompozit ürünlerde kullanım için bir hammadde olarak iyi bir potansiyel göstermektedir. Çekirdeği sak lifinden ayıran dekortikasyon ekipmanlarındaki son gelişmeler, lif sıkıntısı ile birleştiğinde, bir lif kaynağı olarak kenaf'a olan ilgiyi yeniledi.

### **1.4.8. Bambu**

Bambu (*Bambusa Shreb.*), muson iklimlerinde 40 m yüksekliğe kadar yetişen çok yıllık bir bitkidir. Genellikle inşaat, marangozluk, dokuma, örgü vb. işlerde kullanılır. Bambu

lifinden yapılan perdeler çeşitli dalga boylarında ultraviyole radyasyonu emerek insan vücuduna daha az zararlı olmasını sağlar.

**Tablo 1.2.** Lif kaynakları ve üretim kapasitesi

Lif Kaynakları	Dünya Üretim Kapasitesi (10 <sup>3</sup> ton)
Bambu	30.000
Jüt	2300
Kenaf	970
Keten	830
Kenevir	214
Hindistan Cevizi	100
Şeker kamışı küspesi	75.000



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1.Kullanılan Malzemeler

#### 2.1.1. Doğal elyaf takviyeli polipropilen (nafilean) %20 hemp (kenevir) pp + %20 hempfibre

Bu çalışmada ticari olarak %20 kenevir elyaf takviyeli polipropilen bileşik (NAFilean-PF2 555, Karel Kalıp SAN.A.Ş., Türkiye) kullanılmıştır.



Şekil 2.1. %20 kenevir elyaf takviyeli polipropilen

#### 2.1.2. Köpürtücü ajan

Ticari bir ITP sadece köpürtücü ajan olarak değil aynı zamanda kimyasal köpürtücü ajan olarak da kullanılmıştır (ITP825-818, HYDROCEROL, Clariant A.Ş.).



Şekil 2.2. Ticari köpürtücü ajan

## 2.2. Deney malzemeleri oranları

Tablo 2.1’de üretimi gerçekleştirilen numunelerin oranları verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Deney grupları ve malzeme oranları

Grup	PP+%20 Hemp fibre(wt.%)	ITP 825(wt.%)	ITP 818(wt.%)
1	100	-	-
2	99	1	-
3	98	2	-
4	97	3	-
5	99	-	1
6	98	-	2
7	97	-	3

## 2.3. Deney Gereçleri

### 2.3.1. Terazı

Marmara Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü Plastik laboratuvarında bulunan Densi marka 0,5gr hassasiyete sahip 5 kg kapasitesi olan terazı karışımın oranlarının belirlenip hazırlanmasında kullanıldı.



**Şekil 2.3.** Elektronik Terazı

### 2.3.2. Etüv cihazı

Ekstrüzyon işleminden sonra, malzemeler Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan fırın ile kurutulmuştur.



Şekil 2.4. Etüv cihazı

### 2.3.3. Enjeksiyon cihazı

24 saat süreyle etüvde kurutulan malzeme soğuduktan sonra (5 saat sonra) enjeksiyon maki-nesinde test numuneleri basıldı.



Şekil 2.5. Enjeksiyon cihazı

**Tablo 2.2.** Enjeksiyon proses şartları

Proses Şartları	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	190-220
Basınç (bar)	75
Kalıplama süresi (s)	8,6
Vida Hızı (rpm)	75
Kalıp Sıcaklığı (°C)	-



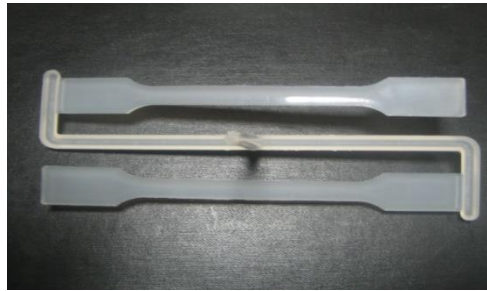
Şekil 2.6. Kullanılan kalıplar

## 2.4. Testler

Elde edilen polimer kompozitinin mekanik değerlerini belirlemek için birtakım testler uygulanmıştır. Uygulanan testler aşağıda belirtilmiştir.

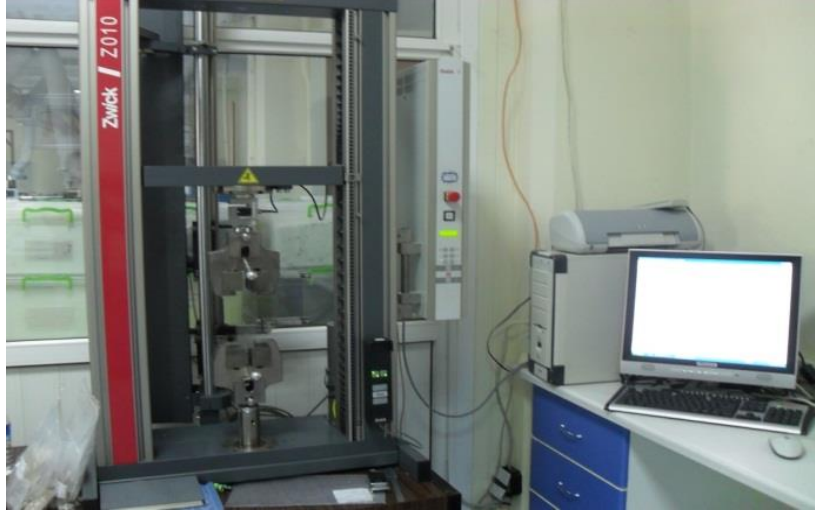
### 2.4.1. Çekme testi

Malzemenin çekme, akma mukavemeti, elastiklik modülü ve % uzama değerlerini belirlemek için çekme testi yapılmıştır. Testin yapılabilmesi için numunelere uygulanan gerilim homojen olarak bütün kesite dağıtılmaya uygun bir zamanda gerçekleştirilmiştir. Bu koşullar altında sert numunelerde hızı az, sünek malzemelerde içinse hızı yüksek değerde seçilmelidir. Çene ayrılma hızı tüm numunelerde 50mm/dak olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.7. Çekme testi numuneleri

Çekme testleri ASTM D 638 standardına göre Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan Zwick Z010 marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan test sonucunda elastiklik modülü, çekme ve akma mukavemeti ayrıca % yüzde uzama değerleri sonuçları elde edildi.



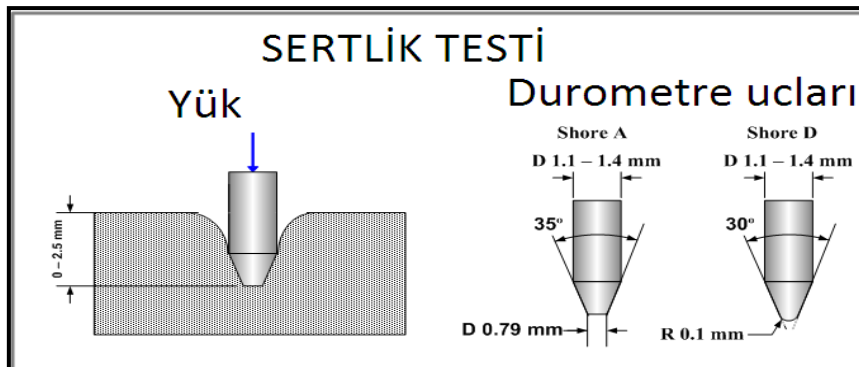
Şekil 2.8. Çekme Cihazı

#### 2.4.2. Sertlik Testi

Malzemelerin sertliğinin ölçülmesi için yapılan deneyin adı sertlik testidir. Malzemenin sertliği ve diğer özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılır. Farklı türdeki malzemelerin özellikle çekme mukavemetleri arasında orantı vardır.

Durametre kullanılarak plastik malzemelerin sertlik değerleri bulunur. 2 farklı tipte plastikler için kullanılan durametre vardır. Yumuşak plastiklerde kullanılanı A tipi, sert plastikler için kullanılanı ise D tipidir.

Şekil. 2.9’da kullanılan uçlar yer almaktadır. ASTM D-1706-67 test standartlarına uygun Shore D sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.9. Sertlik testine ait yük ve uçların gösterimi

Düz, yatay ve sert bir yüzeye yerleştirilen deney parçasına durometre dik durumda batıcı uç 12 mm olacak halde tutularak test başlatılır. 15. Saniye sonunda gösterge okunarak

sertlik değeri ölçmeleri en az 5 farklı deney numunesi üzerinde ayrı ayrı olmak üzere gerçekleştirilir. Çıkan sonuçların aritmetik ortalaması alınarak sonuç tamamlanır. Marmara üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında var olan sertlik cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.10. Sertlik cihazı ve numuneleri

### 2.4.3. Darbe Testi

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Malzemenin aniden karşılaştığı darbelere karşı dayanımı yüksek performans beklediğimiz malzemelerin seçimlerinde kopmaya karşı gösterdiği direnci darbe testi ile belirleriz. Malzemeyi kurmak için gerekli enerji miktarına tokluk denir.

Deney boyunca malzemenin soğurduğu enerji, aslında dayanım ve tokluğun ölçüsüdür. Deneilerin yapılması sırasında:  $l$  uzunluğa sahip ( $l$ ) sarkacın ucundaki belli ağırlığı ( $G$ ) bulunduran çekiç değeri bilinen bir yükseklikten ( $h_1$ ) numuneleri kırmaları adına uzaktan serbestçe bırakılır. Ağırlığın serbest bırakılmasının hemen öncesinde çekici potansiyel enerjisi " $Gxh_1$ " iken numune kırılmasının hemen ardından değeri bilinen yükseklik ( $h_2$ ) çıkan çekicinin potansiyel enerjisi " $Gxh_2$ " olarak karşımıza çıkmaktadır.

ISO standardı TIP 1A olarak belirtilen numuneler için testler gerçekleştirilmiştir. Test numunelerinin ölçüleri  $80 \times 10 \times 4$  mm çentik sonu derinliği ise 8 mm olarak standartta belirtilmiştir. Testin sonuçları ise gerekli enerji miktarını  $\text{kJ/m}^2$  cinsinden; ani uygulanan yük altında malzemenin kırılması malzemelerin kırılma dayanımları için verir.

Bu durumda test, ASTM D-256 standartlarına uyacak şekilde kalıptan çıkarılan numuneler için 5,4 kJ'lük sarkacın düşürülmesiyle yapılmıştır. Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan Zwick marka cihaz darbe deneyleri kullanılmıştır.



**Şekil 2.11.** Darbe Testi

#### **2.4.4. Aşınma Testi**

Özellikle katı durumdaki malzemelerin sürtme, erozyon ve kazıma etkileri sebebiyle kopan parça miktarını belirleyen metottur. Silindir sistem üzerine sarılı 500 numara zımpara, sabit bir hıza sahip şekilde, ilerleyen malzemeyi aşındırmaya başlar. Başlangıç numunesi zımparanın üzerinde 10 Newton (1kg) ağırlık ile temas ederek devam eder. Aşınma testi numunenin cinsine uygun olacak şekilde 10, 20 ve 40 metrelik mesafelerden bir tanesi ya da birkaç tanesi seçilerek devam edilir. Amaç malzemenin aşınma direncini belirlemektir. Aşınan malzemenin değeri bilinen zaman sonucunda meydana gelen hacimsel kayıp aşınma direnci olarak bilinir.

Devotrans marka cihazda DIN53516'ya göre test yapılmıştır. Farklı test numuneleri kullanılmıştır. Çapı 15,5 mm ve kalınlığı ise 7 mm olan numuneler hazırlanmıştır. Tamburun dönme hızı 40 dev/dakika olarak belirlenmiştir.

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan aşınma test cihazı kullanılmıştır.



**Şekil 2.12.** Aşınma testi

Test cihaz çalıştırılarak başlatılmıştır. Öncesinde tartılan test parçaları silindir tambur üzerinde 40 metre (84 devir) yol alacak şekilde ilerletilmiş ve test bu bilgiler ışığında sonlandırılmıştır. 40 m'den sonra numune çıkarılır ve test parçasından geriye kalan kısım tutucudan çıkartılarak tartım işlemi tekrarlanmıştır. Tüm numunelere aynı işlemler uygulanmıştır. (Aşınma direnci tayini-TSE, 1993).

Testin öncesinde numuneler hassas terazi aracılığıyla tartılmıştır. Testin yapılmasının ardından tekrar hassas terazi ile tartılma sağlanıp ilk ve son ağırlık farkları ile ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Malzemenin yoğunluğu, alınan yol ve malzemeye uygulanan yükün çarpımına bölünen ağırlık kaybı bize aşınma oranını verir.

Formülü aşağıda verilmiştir.

$$Aşınma Oranı = \frac{\Delta m}{\rho \cdot L \cdot F_N}$$

W: Aşınma oranı (cm<sup>3</sup>/Nm)

$\Delta m$ = Ağırlık kaybı =m1-m2 (m1=ilk tartım, m2=aşındırıldıktan sonraki tartım) (g)

P=yoğunluk (g/ cm<sup>3</sup>)

L=yol (m)

F<sub>N</sub>= uygulanan yük (N)



**Şekil 2.13.** Çentik açma cihazı ve numuneleri

#### **2.4.5. MFI testi**

Plastik malzemelerin ergimiş halde akmasının ne kadar sürede gerçekleşeceğini göstermekte kullanılmaktadır. Hammadde üreticileri tarafından ürünün aynı kalitede olmasını belirlemek için kullanılan yöntemdir. Plastik malzemenin düşük akma hızına sahip olanında şişirme (blowmolding) metodu kullanılarak kalıplama ve ekstrüzyon metodu kullanılarak kalıplama, malzemelerin akma hızlarına enjeksiyon kalıplamaya uygun olanlarında ise plastik enjeksiyon tercih edilir. MFI testinde ISO 1133 standartları kullanılarak Zwick marka 4100 model test cihazı tercih edilerek tamamlanmıştır. İstenilen sıcaklığa gelen polimer malzeme hazneye boşaltılır ve piston haznenin girişine yerleştirildikten sonra ağırlık piston üzerine konulur. Piston ve ağırlığın toplamı, yapılacak MFI testinde geçen 2,16; 5,00; 21,6; 10 kg gibi ağırlıklarda olur. Malzeme kılcal bir boru vasıtasıyla geçerek orifis isminde delikten 10 dakika süreyle akıtılır sonunda malzeme tartılır. Ergime akış indeksi formülüne uygun olarak hesaplanır. MFI'n birimi g/10 dak.'dır. Aşağıda Şekil 2.14'de bu tez çalışmasında kullanılan MFI cihazının fotoğrafı verilmiştir.



**Şekil 2.14.** MFI testi cihazı

#### 2.4.6. Yoğunluk testi

ISO2781 standardı kullanılarak Precisa 205A SCS markasına sahip yoğunluk testi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler 1 gün oda sıcaklığında suda bekletilmiştir. Numuneler sudan alınıp pamuk ile kurutulmuştur. 0.01 hassasiyetinde terazi ile ölçülmüştür. Her ölçüm üçer kez tekrarlanmıştır.

$$(\text{Yoğunluk, } 23 \text{ }^{\circ}\text{C; gr/cm}^3) = (\text{Özgül ağırlık, } 23 \text{ }^{\circ}\text{C}/23 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times 0,99756$$



$$\rho_{\text{numune}} := \frac{H.A}{H.A - A.A} \times \rho_{\text{alkol}}$$

$\rho_{\text{numune}}$  : Yoğunluğu hesaplanacak numune ( $\text{g/cm}^3$ )

H.A.: Numunenin havadaki kütlesi (g)

A.A.: Numunenin alkoldeki kütlesi (g)

$\rho_{\text{alkol}}$  : Alkolün yoğunluğu ( $\text{g/cm}^3$ ) = etil alkolün yoğunluğu ( $0,79 \text{ } 0,79 \text{ g/cm}^3$ ).

**Şekil 2.15.** Yoğunluk cihazı ve kullanılan formül

#### 2.4.7. HDT testi

HDT testi sabit yük altında polimer malzemelerin eğilmeye bağladığı sıcaklığın tespitinde kullanılır. Testin yapılması için en az 50 mm malzemenin içine konulabileceği sabit sıcaklıktaki yağ banyosundan baskı kafasına sahip olan batırmadan oluşur. Deney parçasında sıcaklık ve yüke bağlı eğilme meydana gelir. Mikrometrik kadranlı bir ölçü cihazıyla eğilme mesafesi belirlenir.  $120 \text{ }^{\circ}\text{C/saat} \pm 10^{\circ}\text{C/saat}$  sabit ısıtma hızındaki HDT cihazıdır. Dikdörtgen forma sahip deney numunesine test farklı metotlarda gerçekleştirilebilir. Genel bilgilerine Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de yer verilmiştir. Bu deney çalışmasında numune ölçüleri  $80 \times 10 \times 4$  mm olarak belirlenmiştir ve metot A'ya uygun test yapılmıştır. Devotrans marka test cihazında ISO 75'E uygun yapılmıştır.

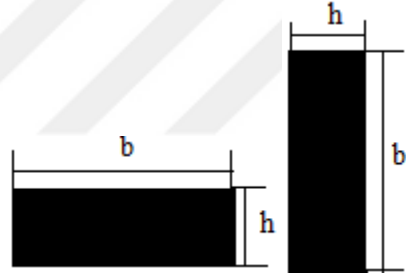
**Tablo 2.3** HDT test metodu

Metot	Eğilme mukavemeti (MPa)
A	1,80
B	0,45
C	8,00

**Tablo 2. 4** HDT testi numune ölçüleri

Pozisyon	Ölçüler (mm) (a, b, h)	Mesnetler arası mesafe (mm)	Eğim miktarı (mm)
Dik (edgewise)	120x9,8-15x4,2	100	0,32
Yatay (flatwise)	80x10x4	64	0,34

Deney numunesine uygulanan kuvvet denklem hesabına uygun yapılıdır. Ölçme cihazının ağırlıkları ve batma kolunun ağırlıkları toplam ağırlıktan çıkarılarak kuvvet Newton (N) cinsinden verilir.



Yatay

Dikey

$$F = (2 \times \sigma \times b \times h^2) / 3L \quad F = (2 \times \sigma \times h \times b^2) / 3L$$

Verilen denklemde; b: numune genişliği (mm), h: numune kalınlığı (mm), L: mesnetler arası mesafe (mm),  $\sigma$ : eğilme mukavemeti (MPa)' dir.

#### 2.4.8. Vicat testi

Polimerik malzemelerin sabit uygulanan yük altında yumuşama sıcaklığı tespitinde kullanılan test vicat testidir. en az 50 mm malzemenin içine konulabileceği sabit sıcaklıktaki yağ banyosundan baskı kafasına sahip olan batırmadan oluşur. 3 mm uzunluğunda bir batıcı uca sahip kesiti yuvarlak olan buna ek olarak kesit alanı  $1 \text{ mm}^2 \pm$

0,015 mm<sup>2</sup> olmalıdır. 1000 gr'lık yük uygulanan deney numunesidir. Basıncın uygulandığı batıcı ucun numuneye 1 mm<sup>2</sup>'lik yüzeyde 1 mm derinlikte saplandığı saniyedeki göstergede yazan sıcaklık değeri alınır. Bu sıcaklık vicat yumuşama sıcaklığını verir. Batma derinliği  $\pm 0,01$  mm doğruluğa sahip uç ile ölçülebilen bir mikrometre vardır. Devotrans marka üç istasyonlu cihazla vicat yumuşama sıcaklığı testi, ISO 306 standardı göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Aşağıdaki Şekil 2.16'da Vicat yumuşama sıcaklığı belirleme testinde kullanılan cihazın fotoğrafı ve test metodu verilmiştir.



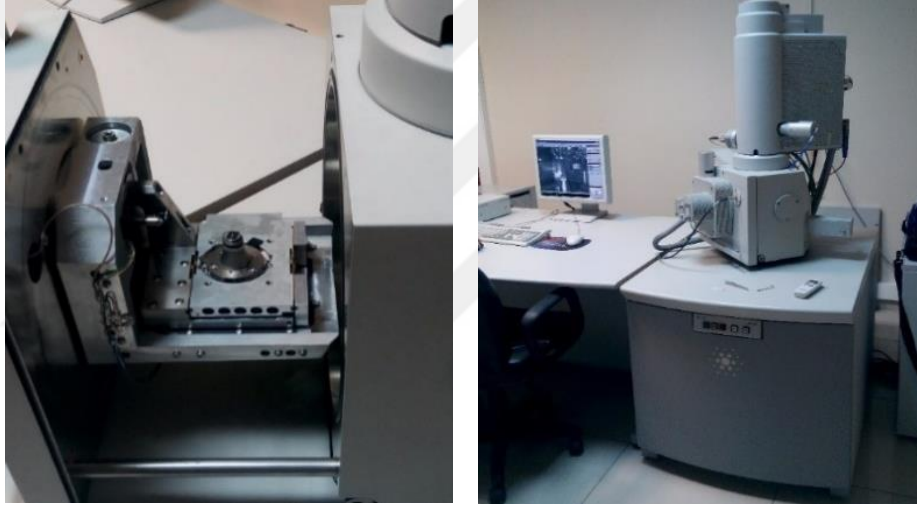
Metot	Kuvvet (N)	Isıtma hızı (°C/saat)
Metot A 50	10	50
Metot B 50	50	50
Metot A 120	10	120
Metot B 120	50	120

**Şekil 2.16** Vicat testlerinde kullanılan cihaz ve test metotları

## 2.5.SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi

Taramalı elektron mikroskobu testi yüzey kırıkları, kusurlar, kirleticiler veya korozyon için çeşitli malzemeleri değerlendirmek için faydalı yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlamaktadır. Tarama elektron mikroskobu kullanılarak bir yüzeyin

görsel analizinin yapılması, kirletici maddelerin veya bilinmeyen parçacıkların, arızanın nedenine ve malzemeler arasındaki etkileşimlerin belirlenmesine katkıda bulunmaktadır. Yüzeý değerlendirmesine ek olarak, mekanik aşınma testi sırasında üretilen aşınma kalıntıları gibi parçacık karakterizasyonu için SEM analizi kullanılmaktadır. SEM analizinin yüksek büyütme, yüksek çözünürlüklü görüntülenmesi, küçük parçacıkların sayısının, boyutunun ve morfolojisinin belirlenmesini destekleyerek malzemelerinin aşınma özelliklerini anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan SEM cihazı ve numune kaplama cihazlarının fotoğrafı aşağıda Şekil 2.17 ve Şekil 2.18’de verilmiştir.



**Şekil 2.17** SEM cihazı



**Şekil 2.18** Kaplama cihazı

### 3. BÖLÜM: BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1.Mekanik Testlerin Sonuçları

Oluşturulan malzeme grupları 2 kg ağırlığında olup karıştırılma oranları Tablo 3.1.'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin gruplar halinde karıştırılma oranları

Gruplar	PP+%20 Kenevir (%)	ITP 825(%)	ITP 818(%)
1	100	-	-
2	99	1	-
3	98	2	-
4	97	3	-
5	99	-	1
6	98	-	2
7	97	-	3

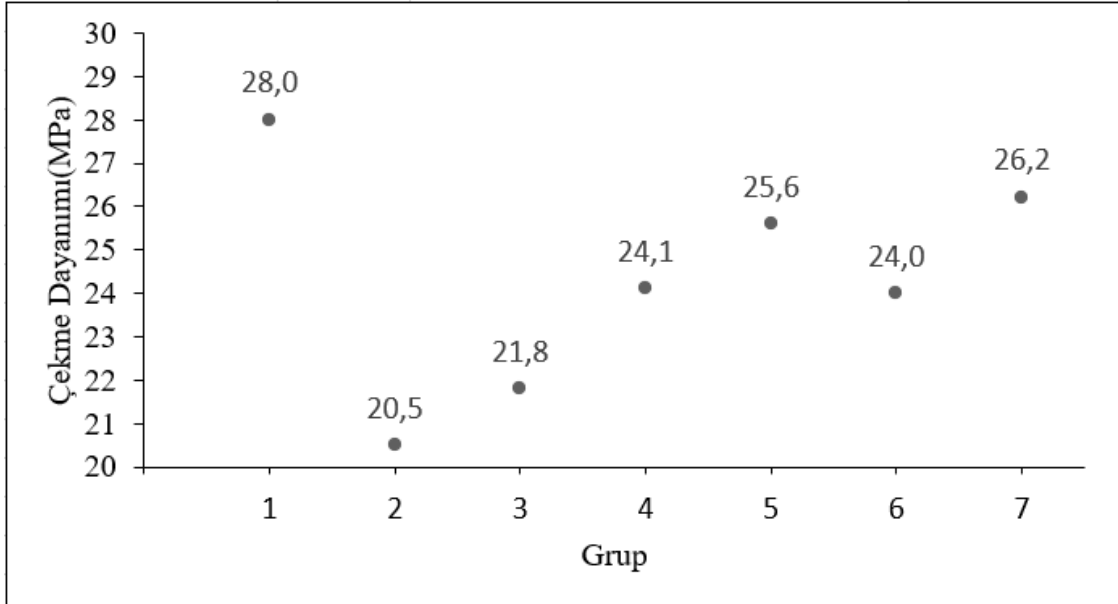
Mekanik özellik testlerinin sonuçları bu bölümde verilmiştir ve tartışılmıştır. Şekil 3.1 %20 kenevir ile güçlendirilmiş PP ve Hydrocerol (ITP818 ve ITP 825) yüklemesinin çekme mukavemeti özelliklerini etkisinin grafiği verilmiştir. Artan kimyasal köpürtücü içeriği ile PP'nin çekme mukavemeti azalmıştır. %20 kenevir PP'nin çekme mukavemeti, ITP 825 ile sırasıyla 28 MPa'dan ve 24.1 MPa'a 21.8 MPa ve 20.5 MPa'a düşmüştür. %20 kenevir PP'nin çekme mukavemeti sırasıyla 28,0 MPa ve 26.2 MPa'dan 25.6 MPa ve 20.5 MPa'a azalmıştır. ITP 818 ile yüklenen numuneler için çekme mukavemeti daha belirgin bir azalma göstermiştir. Sadece ITP 825 ile değil, aynı zamanda ITP 818 ile yüklenen numuneler için çekme mukavemetindeki bariz düşüşü, oluşan kabarcık boyutunun ve dağılımının sonucu ortaya çıkmıştır. Bledzki ve ark. mikrohüresel enjeksiyonla kalıplanmış ahşap lifi-PP kompozitleri incelenmiştir: Bölüm II – ağaç lifi uzunluğu ve içeriğinin hücre morfolojisi ve fizikomekanik özellikleri üzerindeki etkisi ve ahşap lifi ile PP'nin gerilme mukavemetini azalttığı gösterilmiştir (Bledzki, 2006).

Kimyasal köpürtücü ajanın kompozitin elastisite modülü üzerindeki etkileri Şekil 3.2'de verilmiştir. Kenevir-PP'nin elastisite modülü, ITP 825 ile yüklendiğinde 1152 MPa ve

623,4 MPa'dan 780,2 MPa'ya ve 756,8 MPa'ya düşmüştür. ITP 818 varlığında kompozitin elastik modülü 1152 MPa'dan ve 739 MPa, 807,4 MPa 831,4 MPa gerilemiştir. Kimyasal köpürtücü ilavesinin elastisite modülünü önemli ölçüde azalttığı gözlemlenebilir. Her iki tip köpürtücü ajan için ağırlıkça %1. ve ağırlıkça %2. eklenmesi numuneleri, elastisite modülü büyük ölçüde azalmıştır, ancak Grup 4'deki düşüş Grup 7'den fazla olmuştur.

**Tablo 3.2.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin çekme mukavemeti değerleri

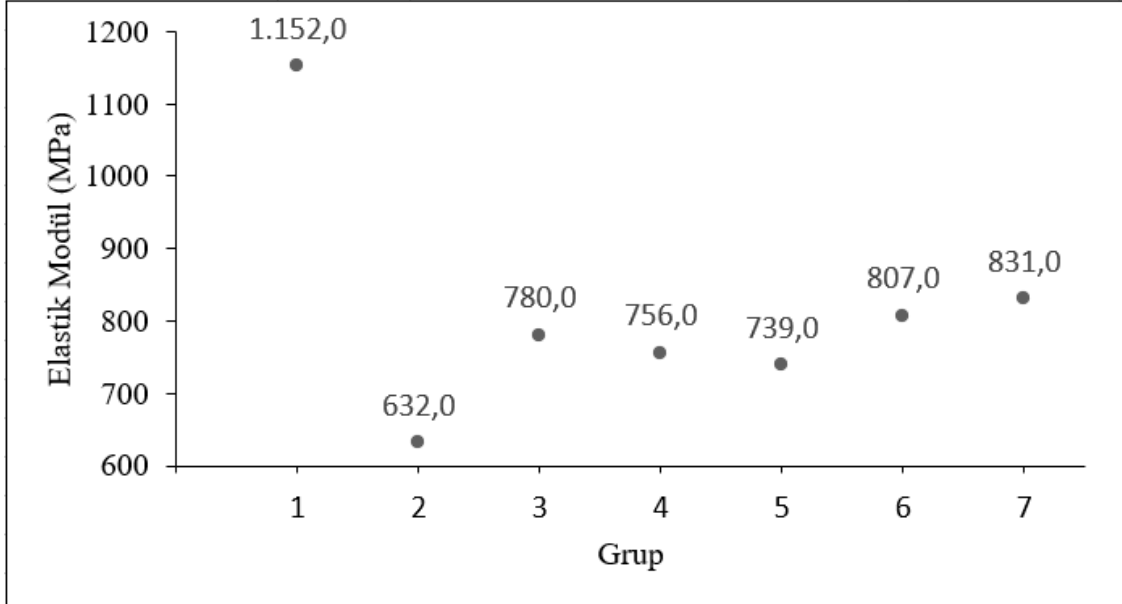
Gruplar	Çekme Mukavemeti (MPa)					Ortalama
	Test Numune Sayısı					
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	28,7	26,8	27,6	28,1	28,7	28,0
2	21,9	19,2	21,5	19,9	20	20,5
3	22,7	21,6	22,8	20,4	21,3	21,8
4	25,1	23,8	24,6	24,7	22,3	24,1
5	25,9	27,4	24,1	27,1	23,3	25,6
6	22,9	27,1	22,2	21,8	25,9	24,0
7	19,3	25,7	25,2	31,1	29,8	26,2



**Şekil 3.1.** Numunelerin Çekme Testi

**Tablo 3.3.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücü polimer kompozitin elastiklik modülü değerleri

Gruplar	Elastiklik Modülü (MPa)					Ortalama
	Test Numune Sayısı					
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	1140	1100	1140	1170	1210	1152,0
2	603	612	607	639	699	632,0
3	765	775	796	785	779	780,0
4	765	770	843	717	685	756,0
5	715	740	843	712	685	739,0
6	740	804	800	877	814	807,0
7	825	825	843	822	840	831,0



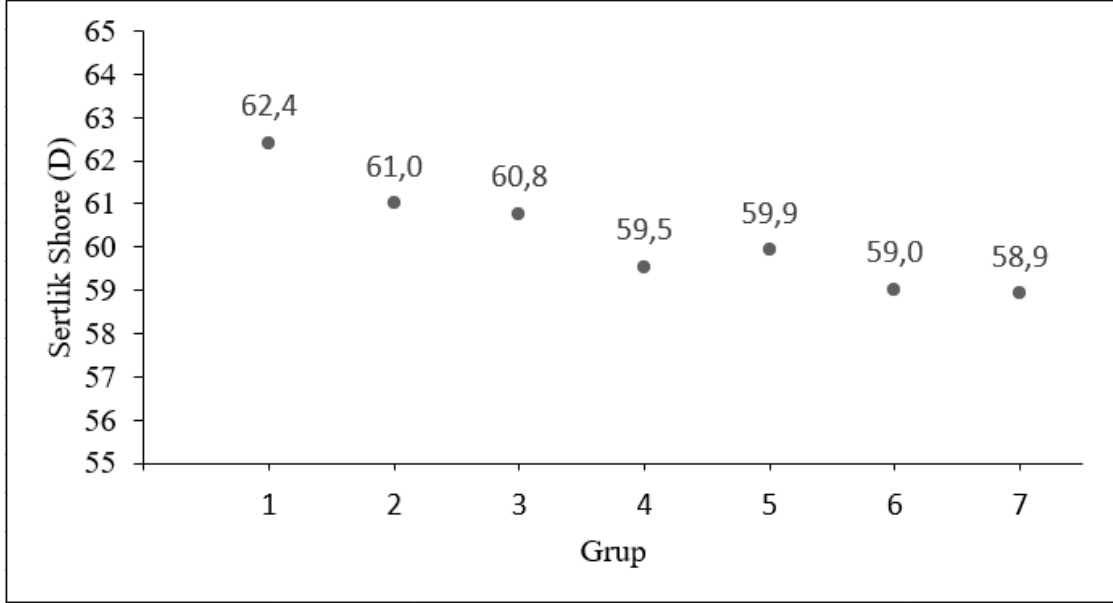
**Şekil 3.2.** Elastiklik Modülü

Şekil 3.3 farklı kimyasal köpürtücü ajan yüklemesi ile %20 kenevir lifi takviyeli PP kompozitte sertlik (Shore D) davranışını göstermektedir. Kompozitin sertliği 62,4 Shore (D) olduğu tayin edilmiştir. Grup 2 61.0 Shore D düşerken Grup 3 ve Grup 4'te sırasıyla 60,8 Shore D ve 59.5 Shore D'ye düşmüştür. Diğer yandan Hempfibre-PP (1,2,3 ağırlık %'si) ITP 818 numunelerinin sertliği ise 59.5 Shore D, 59.0 Shore D ve 58.9 Shore D olarak ölçülmüştür. ITP 825 ve ITP 818 numunelerinin karşılaştırılmasında sertlik düşüşü ITP 818'de daha belirgin gözlemlenmiştir. Çakır ve arkadaşları, köpük ajanı miktarının artması sonucu gözenek tabakasının kalınlığındaki azalmayı açıklamışlardır, bu nedenle,

azalan kabuk tabakası kalınlığı ile daha yumuşak hücresel bölgenin arttırılması, sertliğin düşmesinde etkili olmuştur (Çakır, 2018).

**Tablo 3.4.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücü polimer kompozitin sertlik sonuçları

Gruplar	Sertlik (Shore D)					Ortalama
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	63	63	62	62	62	62,4
2	61,5	61	60	61	61,5	61,0
3	61,5	61,3	60	60	61	60,8
4	59,8	59,5	59,4	59	60	59,5
5	59,9	59,9	59,9	60	59,9	59,9
6	60,3	59,8	55	60	60	59,0
7	49	61,6	62	60	62	58,9

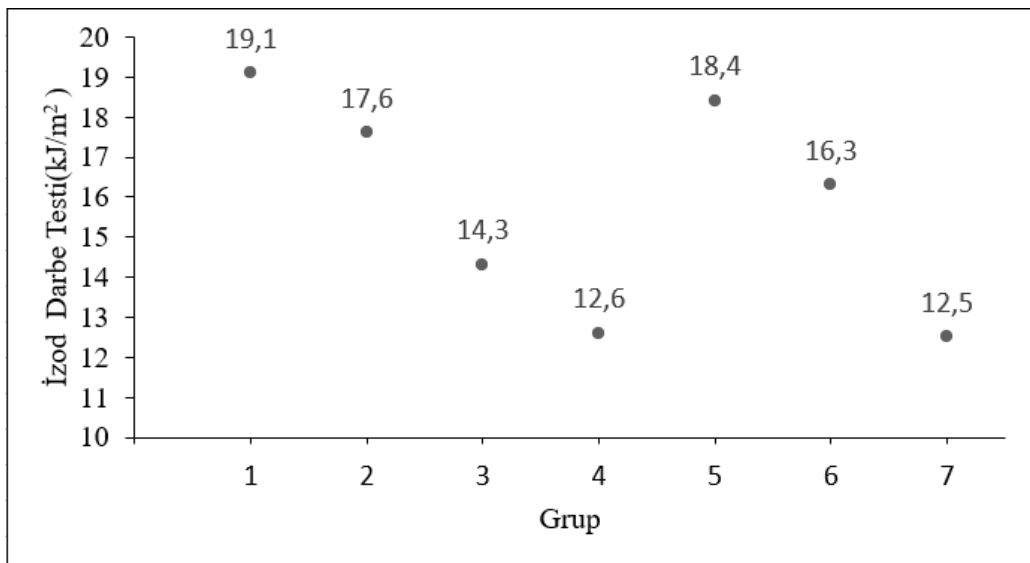


**Şekil 3.3.** Sertlik Shore (D)

İzod darbe mukavemeti ile kimyasal köpürtücü ajan katkılarının kompozit üzerindeki etkileri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Örneğin %1,2,3 ITP 825 içeren numunelerin İzod darbe dayanımı sırasıyla 17,6 kJ/m<sup>2</sup>, 14,3 kJ/m<sup>2</sup> ve 12,6 kJ/m<sup>2</sup> olarak ölçülmektedir. %20 kenevir elyaf takviyeli PP'nin İzod darbe dayanımı 19,1 kJ/m<sup>2</sup>'dir. Diğer taraftan ITP 818 içeren üç numunenin İzod darbe dayanımı sırasıyla 18,4 kJ/m<sup>2</sup>, 16,3 kJ/m<sup>2</sup> ve 12,5 kJ/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. ITP 825 ve ITP 818 numuneleri arasındaki 20 g'lık (ağırlık %2'si) katkısında İzod darbe mukavemeti ile karşılaştırıldığında, darbe mukavemeti ITP 825 katıldığında daha fazla azalmıştır.

**Tablo 3.5.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücü polimer kompozitin izod darbe dayanımı

Gruplar	İzod Darbe Dayanımı (kJ/mm <sup>2</sup> )					Ortalama
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	20,1	19,8	18,4	18,6	18,4	19,1
2	17,6	17,9	17,8	17,1	17,4	17,6
3	14,4	15,2	13,2	11,3	17,6	14,3
4	12,9	11,8	12,4	10,9	14,9	12,6
5	20,8	15,7	18,9	18,6	17,9	18,4
6	19,6	16,9	12,2	16,4	16,4	16,3
7	15,4	13,4	12,6	12,4	8,8	12,5

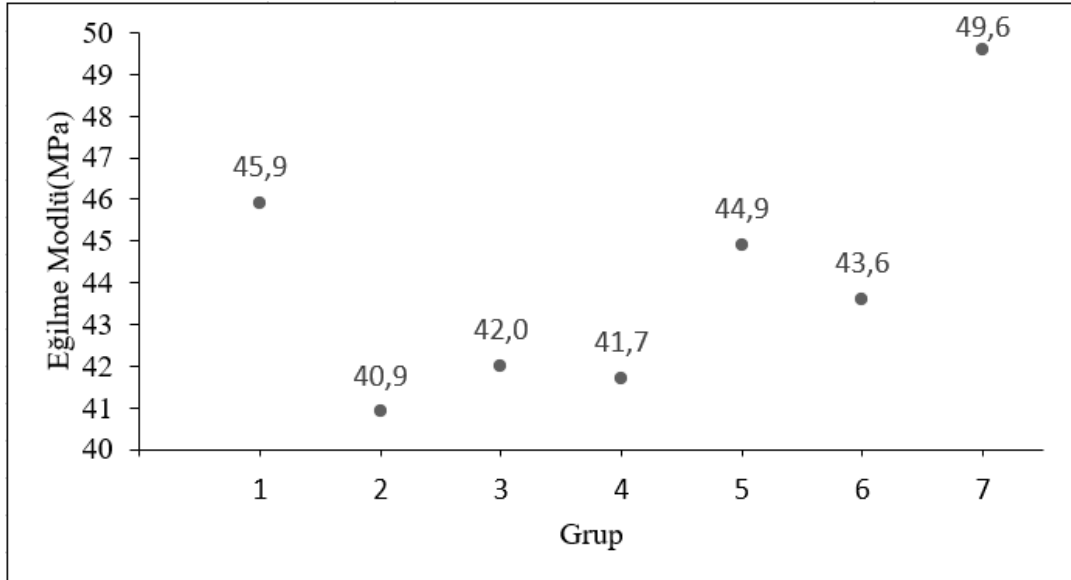


**Şekil 3.4.** İzod darbe dayanımı

Şekil 3.5, numuneler üzerinde üç noktalı eğme testi ölçümlerinden eğilme modülü değişimi göstermektedir. Kompozitin eğilme modülünün 45.9 MPa olduğu tespit edilmiştir. ITP 825 kimyasal köpürtücü ajan eklenmesi ile Grup 2 40.9 MPa, Grup 3, 42 MPa, Grup 4 41,7 MPa'ya gerilemiştir. ITP 825 tipi kimyasal köpürtücü ajan ilavesi Grup 5-6-7'yi sırasıyla, 44,9 MPa; 43,6 MPa; 49,6 MPa'a düşmüştür.

**Tablo 3.6.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtüçülü polimer kompozitin eğilme modülü

Eğilme Modülü					
Gruplar	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Ortalama
1	48,8	48,5	41	45,1	45,85
2	41,4	43,1	40,7	38,5	40,925
3	46	41,9	40,9	39,1	41,975
4	45,4	37	40,4	43,8	41,65
5	46,7	45	43,4	44,5	44,9
6	41	44,6	42,2	46,7	43,625
7	48,3	46	49,7	54,4	49,6

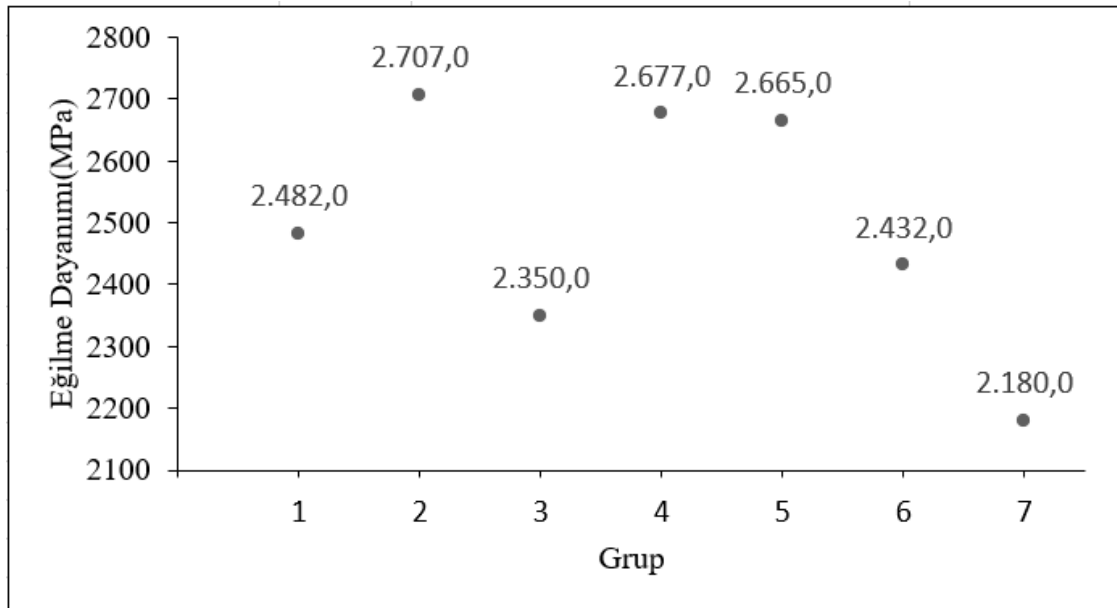


**Şekil 3.5.** Eğilme Modülü

Şekil 3.6’da numunelerin eğilme dayanımları verilmiştir. Kompozitin eğilme dayanımı 2482 MPa olduğu saptanmıştır. ITP 825 kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile sırasıyla Grup 2-3-4 2707 MPa, 2350 MPa, 2677 MPa olarak tayin edilmiştir. ITP 825 kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile sırasıyla Grup 5-6-7, 2665 MPa, 2432 MPa, 2180 MPa olarak ölçülmüştür.

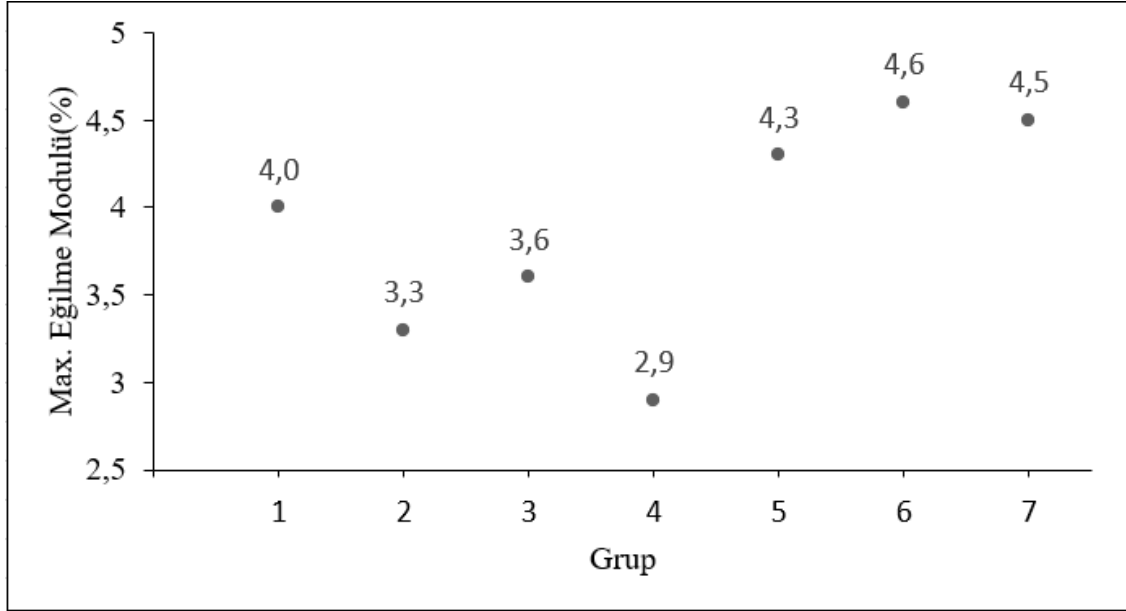
**Tablo 3.7.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtüclü polimer kompozitin eğilme dayanımı

Eğilme Dayanımı					
Gruplar	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Ortalama
1	2550	2700	2180	2500	2483
2	2580	2710	2830	2720	2710
3	2450	2700	2600	1650	2350
4	2990	2350	2760	2610	2678
5	2780	2780	2360	2720	2660
6	2320	2390	2180	2830	2430
7	1840	2090	2200	2590	2180



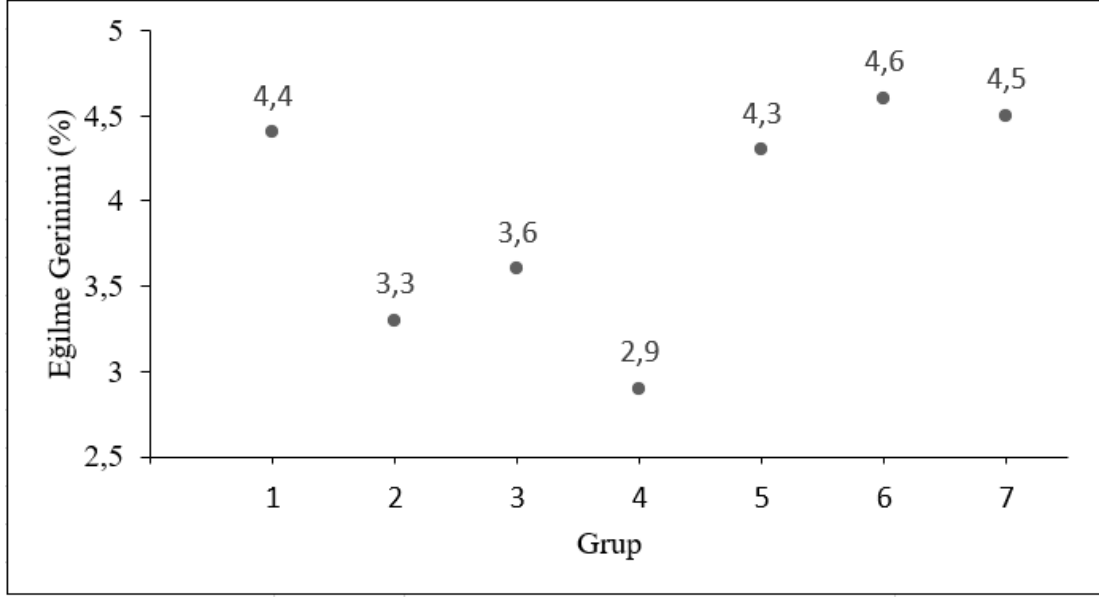
**Şekil 3.6.** Eğilme Dayanımı

Şekil 3.7’de %max eğilme modülü gösterilmiştir. Kompozitin %max eğilme modülü %4 olduğu ölçülmüştür. ITP 825 kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile sırasıyla Grup 2-3-4 %3,3 %3,6, %2,9 olarak tayin edilmiştir. ITP 825 kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile sırasıyla Grup 5-6-7, %4,3, %4,6, %4,5 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.7. Maksimum % Eğilme Modülü

Şekil 3.8’de % eğilme gerinimi gösterilmiştir. Kompozitin %eğilme gerinimi %4,4 olarak ölçülmüştür. ITP 825 kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile sırasıyla Grup 2-3-4 %3,3 %3,6, %2,9 olarak tayin edilmiştir. ITP 825 kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile sırasıyla Grup 5-6-7, %4,3, %4,6, %4,5 olarak ölçülmüştür.



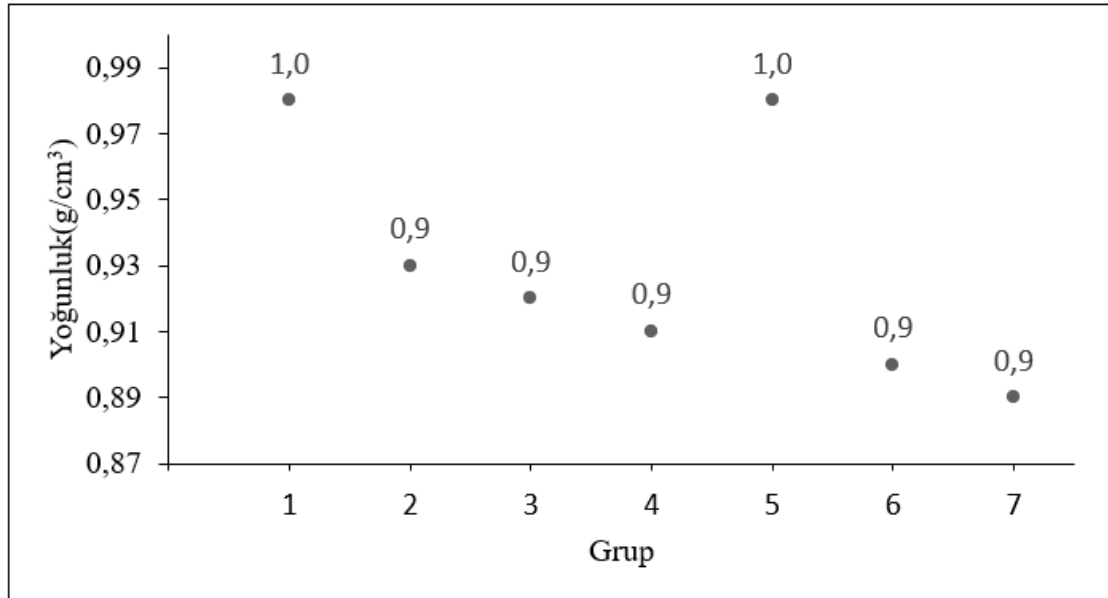
Şekil 3.8. %Eğilme Gerinimi

### 3.2.Fiziksel Özellik Testlerinin Sonuçları

Numunelerin kimyasal köpürtücü ajan eklenmesi ile fiziksel özellik değişimleri incelenmiştir. Bu kapsamda Şekil 3.9'da yoğunluk testi sonucu verilmiştir. %20 kenevir elyaf takviyeli PP kompozit yoğunluğu  $0,98 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Grup 5'in yoğunluğu değişmediği saptanmıştır. Ancak grup 6 ve grup 7'de ITP 818 katkısı arttıkça, yoğunluk  $0,90 \text{ g/cm}^3$  ve  $0,89 \text{ g/cm}^3$ 'e düşmektedir. Sadece ITP 818 değil, aynı zamanda ITP 825 %20 kenevir elyaf takviyeli PP yoğunluğunun  $0,93 \text{ g/cm}^3$ 'ten  $0,92 \text{ g/cm}^3$  ve  $0,91 \text{ g/cm}^3$ 'e düştüğü görülmüştür. Böylece, her iki tip kimyasal köpürtücü de kompozit içerisinde başarılı bir şekilde kabarcıklar oluşturduğu ve yoğunluğu hafiflettiği tespit edilmiştir.

**Tablo 3.8.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücü polimer kompozitin yoğunluk miktarları

Yoğunluk					
Gruplar	Numune	Havada	Alkolde	Yoğunluk	Ortalama
1	1.	0,2837	0,0575	0,9908	1,0
	2.	0,2538	0,0512	0,9896	
	3.	0,206	0,0407	0,9845	
2	1.	0,4194	0,0653	0,9357	0,9
	2.	0,3968	0,0568	0,9220	
	3.	0,2861	0,0473	0,9465	
3	1.	0,3192	0,064	0,9881	0,9
	2.	0,39	0,056	0,9225	
	3.	0,45	0,04	0,8671	
4	1.	0,3137	0,0454	0,9237	0,9
	2.	0,3532	0,0507	0,9224	
	3.	0,3549	0,045	0,9047	
5	1.	0,3024	0,0603	0,9868	1,0
	2.	0,2693	0,0524	0,9809	
	3.	0,3215	0,0649	0,9898	
6	1.	0,3671	0,0463	0,9040	0,9
	2.	0,4805	0,0612	0,9053	
	3.	0,5356	0,0708	0,9103	
7	1.	0,528	0,0615	0,8941	0,9
	2.	0,5024	0,0584	0,8939	
	3.	0,3477	0,0426	0,9003	

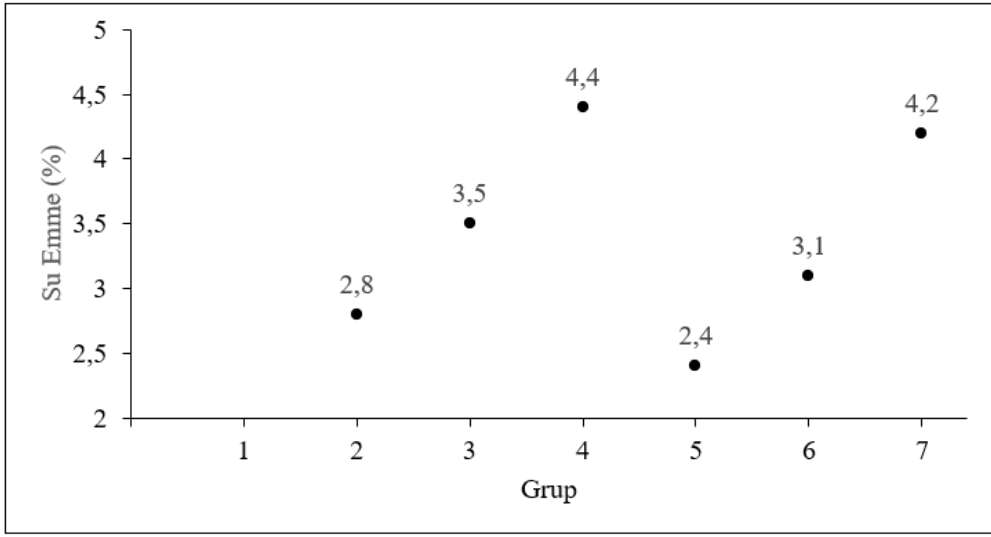


**Şekil 3.9.** Numune yoğunlukları

Her bir numune tipinin ortalama su emme (WA) değerleri Şekil 3.10'da verilmiştir. Şekilde grup 1 olarak gösterilen %20 kenevir lifi takviyeli PP'nin WA'sı 1,6 g/m<sup>2</sup>'de elde edilmiştir. Grup 5, grup 6 ve grup 7 örneklerini gösteren ITP 818 katkısının WA değerleri (ağırlıkça %1,2,3) sırasıyla 2,4 g/m<sup>2</sup>'den 3,1 g/m<sup>2</sup>'ye ve 4,2 g/m<sup>2</sup>'ye yükselmiştir. Ayrıca, grup 2, grup 3 ve grup 4 için kompozitlerin su emme zellikleri, ITP 825 numuneleri ile 2,8 g/m<sup>2</sup>'den 3,5 g/m<sup>2</sup>'ye ve 4,4 g/m<sup>2</sup> yükselmiştir.

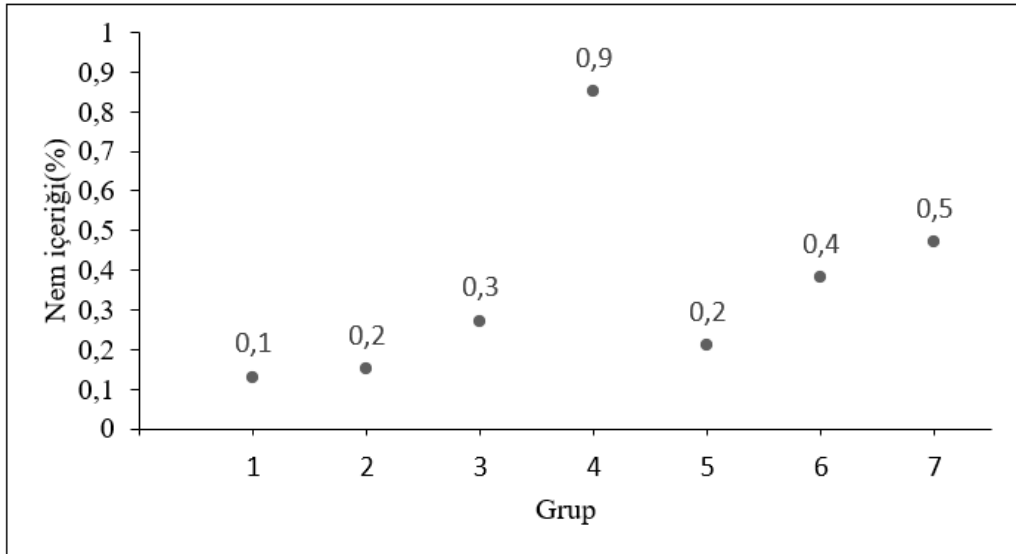
**Tablo 3.9.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin su emme oranları

Su Emme %					
Gruplar	İlk Ağırlık (gr)	Son Ağırlık	Sonuç 1	Sonuç 2	Ortalama
1.	0,4928	0,5248	0,065	6,494	4,4
	0,5062	0,5302	0,047	4,741	
	0,4287	0,4365	0,018	1,819	
2.	0,3028	0,3097	0,023	2,279	2,8
	0,7357	0,754	0,025	2,487	
	0,3773	0,3914	0,037	3,737	
3.	0,4762	0,4876	0,024	2,394	2,1
	0,3834	0,3929	0,025	2,478	
	0,6032	0,6123	0,015	1,509	
4.	0,8479	0,8649	0,020	2,005	2,2
	0,4636	0,4775	0,030	2,998	
	0,8087	0,8208	0,015	1,496	
5.	0,3532	0,3735	0,057	5,747	3,8
	0,3536	0,362	0,024	2,376	
	0,3506	0,362	0,033	3,252	
6.	0,497	0,5121	0,030	3,038	3,1
	0,4183	0,4298	0,027	2,749	
	0,4612	0,4775	0,035	3,534	
7.	0,6652	0,6826	0,026	2,616	2,2
	0,3312	0,339	0,024	2,355	
	0,5353	0,5441	0,016	1,644	



Şekil 3.10. Numunelerin % su emme değerleri

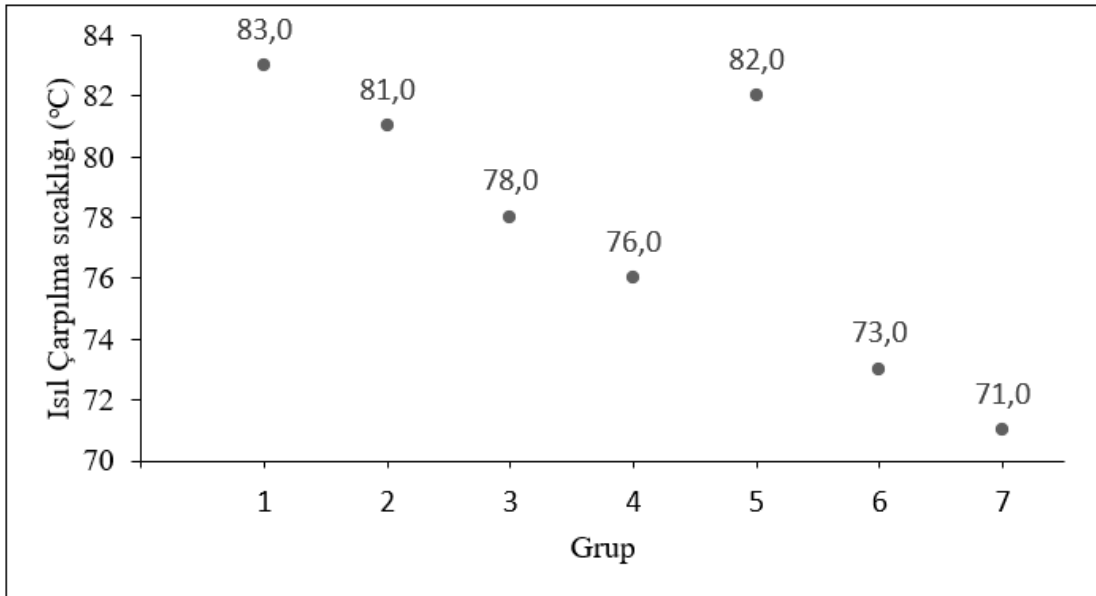
Ağırlıkça %20'nin nem davranışı kenevir lifi takviyeli PP kompoziti ve köpürtücü tipi ve miktarının nem içeriği davranışlarına etkisi Şekil 3.11'de verilmiştir. Grup 1 %0,13 nem içeriğine sahipken ITP 825 ilavesi ile Grup 2 için 0,2'e, Grup 3 için 0,3 ve Grup 4'de en yüksek değeri olan 0,9'a yükselmiştir. ITP 818 kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile %0,2'den %0,4'e %0,5 nem içeriğine sahip oldukları saptanmıştır. Kompozit içerisine ilave edilen kimyasal köpürtücü ajanın, % nem içeriğini arttırdığı görülmüştür. Bu, yapıdaki kabarcık boyutu ve dağılımı ile ilişkili olmaktadır.



Şekil 3.11. Numunelerin % nem içerikleri

**Tablo 3.10.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT)

Isıl Çarpılma Sıcaklığı			
Gruplar	Numune 1	Numune 2	Ortalama
1	82,8	83,2	83
2	80	82	81
3	76	80	78
4	78	74	76
5	85	79	82
6	74	72	73
7	72	70	71

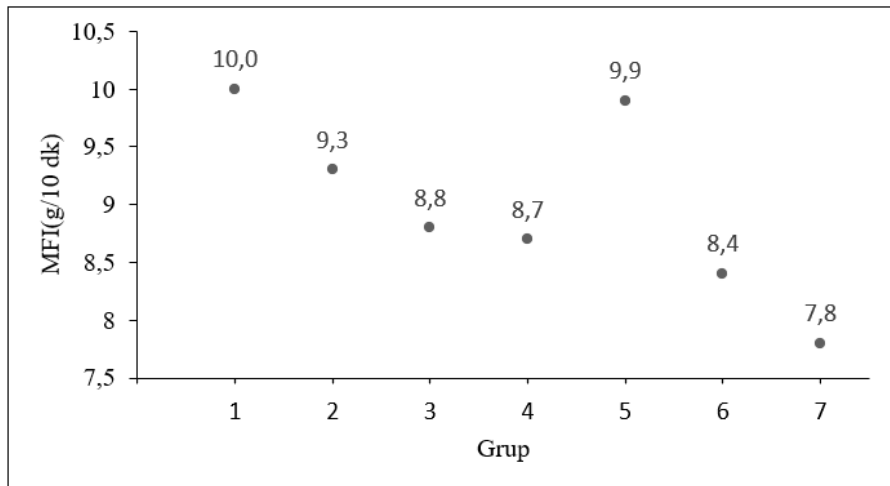


**Şekil 3.12.** Numunelerin ısı çarpılma sıcaklıkları

Şekil 3.12’de %20 kenevir lifi takviyeli PP kompozitinin ve farklı miktarlarda ITP 825 ve ITP 818’in (ağırlıkça %1,2,3) ısı sapma sıcaklığını göstermektedir. Bu çalışmada Grup 1 %20 kenevir elyaf takviyeli PP’nin HDT’si 83°C olarak saptanmıştır. Genel olarak her iki tip ITP’ye kompozitin HDT değerlerini düşürmüştür. Bununla birlikte, grup 4 ve grup 7 (her iki tip ITP için ağırlıkça %3’ü) HDT’de yüksek miktarda düşüş görülmüştür. Öte yandan, ağırlıkça %1. ITP 825’in HDT sıcaklığı 83°C’den 81°C’ye düşürmüştür. Köpürtücü maddenin kompozit içerisinde başarılı bir şekilde kabarcık oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır buna bağlı olarak ısı sapma sıcaklığında azalma elde edilmiştir.

**Tablo 3.11.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin ergime akış indeksi değerleri

Ergime Akışkanlığı İndeksi (MFI)				
Grup	Zaman (sn)	Ağırlık (g)	Hesaplama	Ortalama
1	20,01	0,3052	9,151424288	10,0
	20,83	0,3658	10,53672588	
	20,63	0,3584	10,42365487	
2	20,84	0,3062	8,815738964	9,3
	20,31	0,3741	11,05169867	
	18,2	0,2423	7,987912088	
3	28,1	0,4508	9,625622776	8,8
	32,56	0,3627	6,683660934	
	22,01	0,3707	10,10540663	
4	24,38	0,3052	7,511074651	8,7
	23,87	0,3658	9,194805195	
	22,77	0,3584	9,44400527	
5	22,46	0,3549	9,480854853	9,9
	20,58	0,3268	9,527696793	
	20,92	0,3771	10,81548757	
6	20,47	0,2662	7,802638007	8,4
	21,69	0,2822	7,806362379	
	19,61	0,3115	9,530851606	
7	23,61	0,2533	6,437102922	7,8
	17,84	0,2631	8,848654709	
	21,06	0,2877	8,196581197	



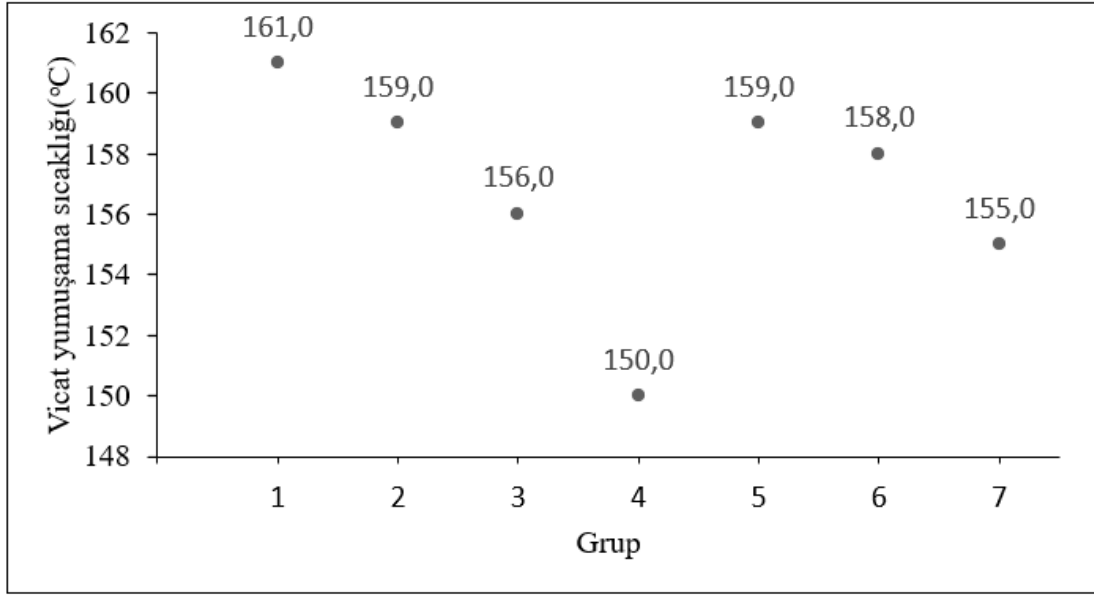
**Şekil 3.13.** Numunelerin MFI değerleri

Kompozit numunelerin köpürtücü ilavesiyle eriyik akış indeksi (MFI) değişimi Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Grup 1'in MFI değeri 10.0 g/10 dak olduğu ölçülmüştür. Kompozitlere ITP'nin dahil edilmesiyle MFI değerlerinin azaldığı saptanmıştır. Örneğin grup 2, grup 3 ve grup 4 MFI değerleri sırasıyla 9.3 g/10 dak, 8.8 g/10 dak ve 8.7 g/10 dak olduğu tespit edilmiştir. Grup 5, grup 6 ve grup 7 MFI değerleri sırasıyla 9,9 g/10 dak'dan 8,4 g/10 dak ve 7,8 g/10 dak'ya düşmüştür. Fakat ağırlık %3 ITP 818 düşüşü çok yüksek olarak gözlemlenmiştir, bunun nedeni gözeneklerin kompozit içerisinde homojen dağılmadığından kaynaklanmaktadır. Kimyasal köpürtücü ajana bağlı bileşik akış düşüşü, kabarcıklardan oluşmasından kaynaklanmıştır.

Şekil 3.14'de, %20 kenevir lif içeriği PP ve Hydrocerol (ITP 818 ve ITP 825) yüklemesinin Vicat yumuşatma davranış özelliklerini etkisini gösteren analiz sonucu verilmiştir. ITP 825 kimyasal köpürtücü ile grup 2, grup 3 ve grup 4'ün Vicat yumuşama noktası sırasıyla 161 g/cm<sup>3</sup> ve 159 g/cm<sup>3</sup>'ten 156 g/cm<sup>3</sup> ve 150 g/cm<sup>3</sup>'e düşmüştür. Grup 5, grup 6 ve grup 7'nin Vicat yumuşama noktası, 161g/cm<sup>3</sup> ve 159 g/cm<sup>3</sup>'ten ITP 818 tarafından yüklenen 158 g/cm<sup>3</sup> ve 155 g/cm<sup>3</sup>'e azalmıştır. ITP bileşikte kabarcıklar oluşturduğundan, Vicat yumuşama noktaları azaltılmıştır. Vicat yumuşama noktası, ITP 825 ile yüklenen numuneler için daha belirgin bir azalma gözlemlenmiştir.

**Tablo 3.12.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücülü polimer kompozitin vicat yumuşama sıcaklığı

Vicat Yumuşama Sıcaklığı			
Gruplar	Numune 1	Numune 2	Ortalama
1	161,3	161,7	161,5
2	156	162	159
3	157	155	156
4	149	151	150
5	159,4	158,6	159
6	157,5	158,5	158
7	156	154	155,0



Şekil 3.14. Numunelerin Vicat yumuşama sıcaklıkları

Tablo 3.13. Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücü polimer kompozitin aşınma oranları (20m)

Grup	20m					
	İlk Tartım	Son Tartım	$\Delta m$	Yoğunluk	WR	Ortalama
1	0,7105	0,687	0,0235	0,9883	0,00011889	0,000113154
	0,702	0,6818	0,0202		0,00010219	
	0,7112	0,6878	0,0234		0,00011838	
2	0,6961	0,675	0,0211	0,9347	0,00011287	0,000107163
	0,6964	0,6778	0,0186		0,00009950	
	0,7037	0,6833	0,0204		0,00010912	
3	0,7003	0,6834	0,0169	0,9259	0,00009126	0,000102425
	0,6955	0,6764	0,0191		0,00010314	
	0,6985	0,6776	0,0209		0,00011287	
4	1,2822	1,2652	0,0170	0,9169	0,00009270	0,000086339
	1,2717	1,2547	0,0170		0,00009270	
	1,2403	1,2268	0,0135		0,00007361	
5	0,6756	0,6579	0,0177	0,9858	0,00008977	0,000085716
	0,7147	0,6954	0,0193		0,00009789	
	0,7024	0,6887	0,0137		0,00006949	
6	0,645	0,627	0,0180	0,9066	0,00009928	0,000092842
	0,6418	0,6271	0,0147		0,00008108	
	0,6588	0,641	0,0178		0,00009817	
7	0,6814	0,6656	0,0158	0,8961	0,00008816	0,000058400
	0,6912	0,6786	0,0126		0,00007030	
	0,6816	0,6786	0,0030		0,00001674	

**Tablo 3.14.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücü polimer kompozitin aşınma oranları (20m)

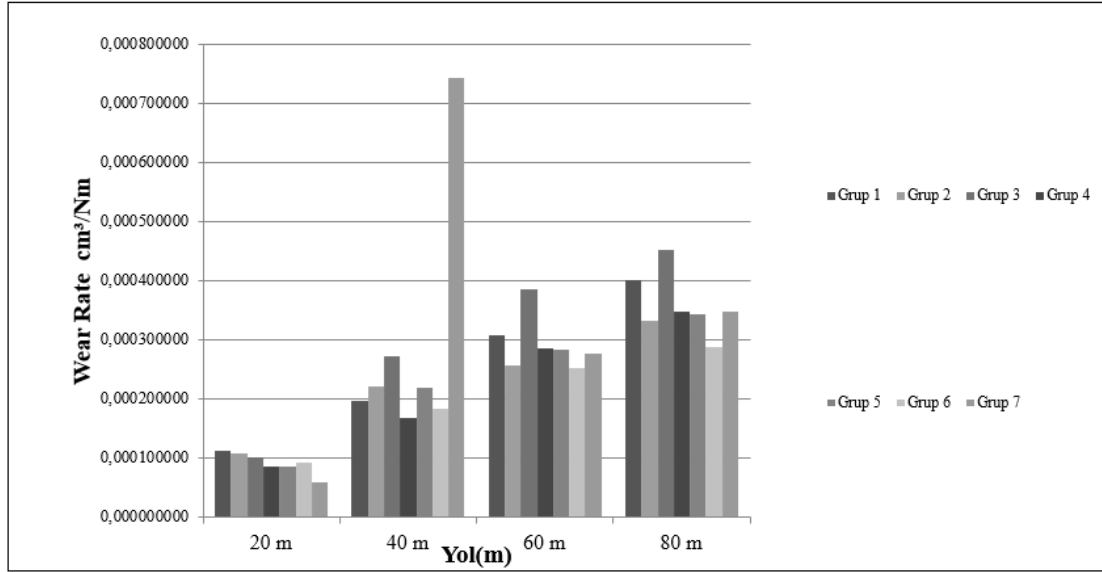
Grup	40m					
	İlk Tartım	Son Tartım	$\Delta m$	Yoğunluk	WR	Ortalama
1	1,2652	1,2250	0,0402	0,9883	0,00020337	0,000197641
	1,2547	1,2170	0,0377		0,00019073	
	1,2268	1,1875	0,0393		0,00019882	
2	0,687	0,6451	0,0419	0,9347	0,00022413	0,000221815
	0,6818	0,6382	0,0436		0,00023323	
	0,6878	0,6489	0,0389		0,00020809	
3	0,675	0,6210	0,0540	0,9259	0,00029161	0,000271273
	0,6778	0,6247	0,0531		0,00028675	
	0,6833	0,6397	0,0436		0,00023545	
4	0,6834	0,6452	0,0382	0,9169	0,00020830	0,000167406
	0,6764	0,6647	0,0117		0,00006380	
	0,6776	0,6354	0,0422		0,00023011	
5	0,627	0,5805	0,0465	0,9858	0,00023585	0,000219786
	0,6271	0,5838	0,0433		0,00021962	
	0,641	0,6008	0,0402		0,00020389	
6	0,6656	0,6364	0,0292	0,9066	0,00016105	0,000182927
	0,6786	0,6466	0,0320		0,00017649	
	0,6786	0,6403	0,0383		0,00021124	
7	0,6579	0,6270	0,0309	0,8961	0,00017241	0,000743389
	0,6954	0,6610	0,0344		0,00019194	
	0,6887	0,6642	0,3344		0,00186582	

**Tablo 3.15.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücü polimer kompozitin aşınma oranları (60m)

Grup	60m					
	İlk Tartım	Son Tartım	$\Delta m$	Yoğunluk	WR	Ortalama
1	1,2250	1,1213	0,1037	0,9883	0,00052462	0,000306917
	1,2170	1,1923	0,0247		0,00012496	
	1,1875	1,1339	0,0536		0,00027117	
2	0,6451	0,6024	0,0427	0,9347	0,00022841	0,000257476
	0,6382	0,5885	0,0497		0,00026586	
	0,6489	0,5969	0,0520		0,00027816	
3	0,6210	0,5506	0,0704	0,9259	0,00038018	0,000386478
	0,6247	0,5535	0,0712		0,00038450	
	0,6397	0,5666	0,0731		0,00039476	
4	0,6452	0,5955	0,0497	0,9169	0,00027101	0,000285735
	0,6647	0,6102	0,0545		0,00029719	
	0,6354	0,5824	0,0530		0,00028901	
5	0,5805	0,5213	0,0592	0,9858	0,00030026	0,000282678
	0,5838	0,5280	0,0558		0,00028302	
	0,6008	0,5486	0,0522		0,00026476	
6	0,6364	0,5877	0,0487	0,9066	0,00026860	0,000252973
	0,6466	0,6065	0,0401		0,00022117	
	0,6403	0,5915	0,0488		0,00026915	
7	0,6270	0,5810	0,0460	0,8961	0,00025666	0,000276562
	0,6610	0,6084	0,0526		0,00029349	
	0,6642	0,6141	0,0501		0,00027954	

**Tablo 3.16.** Kenevir-PP/Kimyasal Köpürtücü polimer kompozitin aşınma oranları (80m)

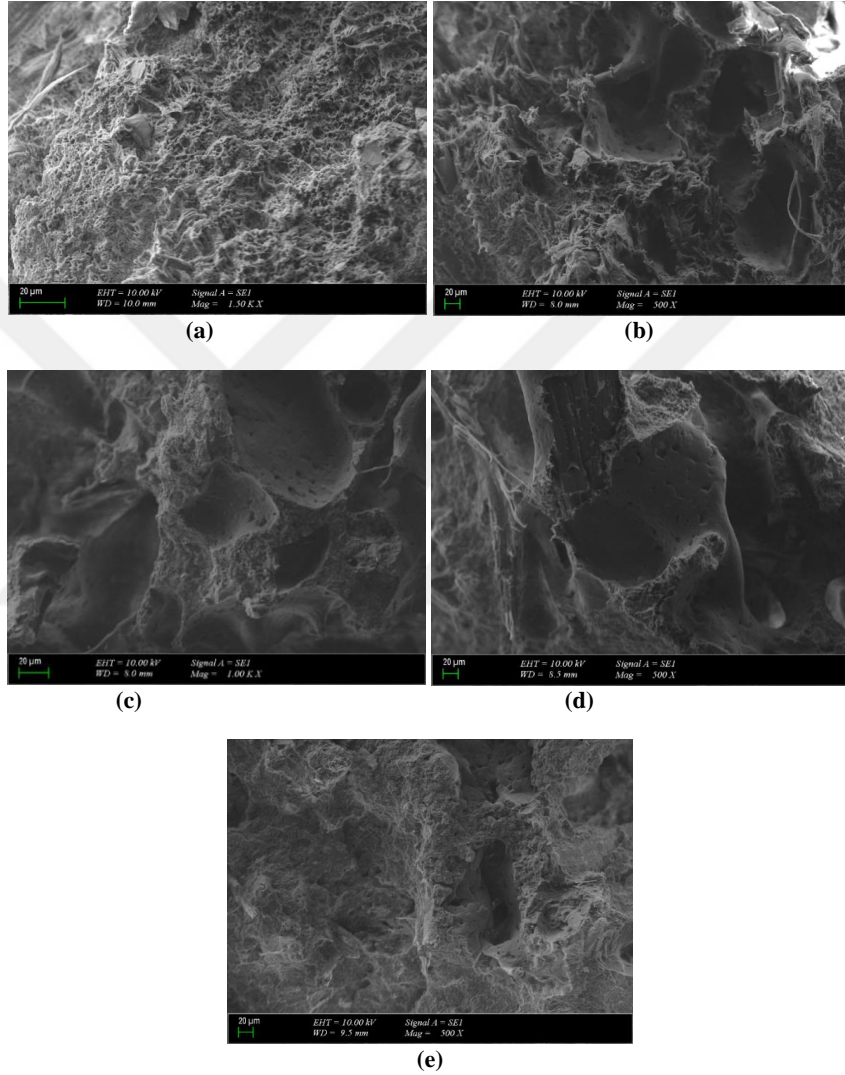
Grup	80m					
	İlk Tartım	Son Tartım	$\Delta m$	Yoğunluk	WR	Ortalama
1	1,1213	1,0417	0,0796	0,9883	0,0004027	0,000400341
	1,1923	1,1154	0,0769		0,00038904	
	1,1339	1,0530	0,0809		0,00040928	
2	0,6024	0,5387	0,0637	0,9347	0,00034075	0,000331653
	0,5885	0,5192	0,0693		0,0003707	
	0,5969	0,5439	0,0530		0,00028351	
3	0,5506	0,4598	0,0908	0,9259	0,00049034	0,000452001
	0,5535	0,4711	0,0824		0,00044498	
	0,5666	0,4887	0,0779		0,00042068	
4	0,5955	0,5438	0,0517	0,9169	0,00028192	0,000347172
	0,6102	0,5318	0,0784		0,00042751	
	0,5824	0,5215	0,0609		0,00033209	
5	0,5213	0,4551	0,0662	0,9858	0,00033576	0,000343035
	0,5280	0,4548	0,0732		0,00037127	
	0,5486	0,4851	0,0635		0,00032207	
6	0,5877	0,5361	0,0516	0,9066	0,00028459	0,000287536
	0,6065	0,5564	0,0501		0,00027632	
	0,5915	0,5368	0,0547		0,00030169	
7	0,5810	0,5075	0,0735	0,8961	0,0004101	0,000347237
	0,6084	0,5467	0,0617		0,00034426	
	0,6141	0,5626	0,0515		0,00028735	



**Şekil 3.15.** Numunelerin aşınma oranı değerleri

Şekil 3.15’de aşınma mesafesi ile aşınma oran grafiği verilmiştir. Spesifik aşınma oranı, yük ve mesafeye bağlıdır. 20 m aşınma mesafesine sahip ağırlık %20 kenevir lifi takviyeli PP, aşınma oranı  $0,000113 \text{ cm}^3/\text{Nm}$ ’dir. Kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile 20 m için aşınma oranlarında azalma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, her iki tip ITP içerikli

numune için daha yüksek aşınma mesafesi sırasıyla daha yüksek aşınma oranları gözlemlenmiştir. Öte yandan, abraziv aşınma davranışı mikro hücreli yüzey özelliğine bağlıdır. Diğer bir deyişle, kabarcık boyutu ve kabarcık dağılımı aşınma direncini doğrudan etkiler.



Şekil 3.16. Numunelerin SEM görüntüleri

Şekil 3.16 (a), Grup 1 %20 kenevir elyaf takviyeli PP kompozitin, morfolojik yapısını vermiştir. Şekil 3.16 (b)'de Grup 3 morfolojik yapısı verilmiştir ve gözenek boyutunun yaklaşık 60µm ve düzensiz olduğu görülmüştür. Şekil 3.16 (c)'de Grup 4'ün morfolojik yapısı verilmiştir, gözenek boyutunun 60-140 µm arasında olduğu tespit edilmiştir. Kompozit içerisine ITP 825 ilavesinin köpüklerin gözenek yapısı üzerinde bariz bir etkiye

sahip olduğu gör÷lmektedir. Şekil 3.16 (d) ve Şekil 3.16 (e) sırasıyla ITP 818 katkısının ağırlıkça %2 ve %3 olduğu Grup 6 ve Grup 7'yi göstermektedir. K÷p÷rt÷c÷ ajan oranı arttıkkça g÷zenekler arasındaki duvarlar birbiriyle temas etmekte ve g÷zenek yapısı d÷zensizleŐmektedir.



#### 4. SONUÇLAR

Kimyasal köpürtücü ajan (ITP 818 ve ITP 825) ile %20 kenevir takviyeli PP kompozitinin mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmada çekme dayanımı, elastiklik modülü, sertlik shore (D), izod darbe dayanımı, üç noktalı eğme testleri uygulanmıştır. Kenevir takviyeli polipropilen matris kompozitlerinde köpürtücü ajan kullanılmıştır. Kimyasal köpürtücü ajan ilave edilen kompozitlerin çekme dayanımları azalmıştır. Çünkü köpürtücü ilavesi ile mikro gözenekli yapıların meydana gelmesiyle, polimer zincirlerinin arasındaki uzaklık açılmıştır, bağlar arasındaki etkileşimin azalması çekme dayanımını azaltmıştır. Kompozitlerin sadece çekme dayanımı azalmamıştır, elastiklik modüllerinde de bariz bir düşüş gözlemlenmiştir. Bir diğer önemli bir mekanik özellik olan sertlik shore (D) testlerinde, kimyasal köpürtücü ajan ilavesi ile kompozit sertliklerinin azaldığı saptanmıştır. Sertliğin azalmasının nedenlerinden biri kimyasal köpürtücü ajan ilavesinin artması, gözenek tabakalarının kalınlığını azalmıştır ve daha yumuşak gözenekler oluşmuştur. Kimyasal köpürtücü ajan, kompozitlerin izod darbe mukavemetini de azaltmıştır. Ayrıca üç nokta eğilme testi sonucu kompozitlerin eğilme modülü, eğilme dayanımı, (%) max eğilme modülü ve (%) eğilme gerinim değerleri düşmüştür. Kimyasal köpürtücü ajanın kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde azaltıcı etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır.

Kimyasal köpürtücü ajanların, %20 kenevir takviyeli PP kompozitinin fiziksel özelliklerinin inceleneceği vicat yumuşama noktası, HDT, eriyik akış indeksi, yoğunluğu, su emmesi, nem içeriği, aşınma testlerine tabii tutulmuştur. Kimyasal köpürtücü ajan ilave edilen kompozitlerin yoğunlukları azalmıştır, buradan kimyasal köpürtücü ajanların her ikisinin de kompozit malzemenin yoğunluğunu azalttığı ve malzemeyi hafiflettiği anlaşılmaktadır. Bu sayede hammadde tasarrufu sağlayabileceği gibi hafiflik uygulamalarında kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Kompozitlerin (%) su emme davranışı inceleneceğinde, kimyasal köpürtücü ajan miktarı arttırıldığında su emme yüzdelерinin artış gösterdiği görülmüştür. Sadece su emme değil, bunun yanında (%) nem içerikleri de artış göstermektedir. Kimyasal köpürtücü ajanın ilavesi ile kompozitlerin ısı çarpılma dayanımları incelenmiştir ve ajan ağırlıkça yüzdesinin artışı kompozitlerin ısı çarpılma dayanımının düşürdüğü görülmüştür. Kimyasal köpürtücü ajan ilave edilen kompozitlerin erime akış indeksi (MFI) değerleri azalmıştır, bunun nedeni ajana bağlı

akış düşüşü ve gözeneklerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Kompozitlerin vicat yumuşama sıcaklıkları, köpürtücü ajan ilavesiyle daha düşük sıcaklıklara gerilediği görülmüştür. Aşınma testine tabii tutulan numunelerin aşınma davranışlarında tutarlılık olmadığı fark edilmiştir. Bunun nedeninin gözeneklerin homojen olarak dağılmaması ve boyutsal kararlılığın sağlanmasındaki zorluktan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Kompozitlerin morfolojik analizleri incelenmiştir, köpürtücü ajanların mikro yapı üzerinde gözenekler oluşturduğu görülmüştür. Kimyasal köpürtücü ajan türleri ve oranı, %20 kenevir takviyeli PP'nin fiziksel özelliklerine bağlı olarak kompozit morfolojisi üzerinde gözenek boyutunu ve dağılımını etkilemiştir.



## KAYNAKÇA

Addington, D. S. (2005). *Smart Materials and New Technologies For the Architecture and Design Professions*. Oxford: Architectural Press.

Ahrabi, A. Z. (2009). *Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.

Anonymous. (1995). *Publication TRC-91 C, Drying eastapack PET polyester for use in preforms for bottles and containers*. North America: Eastman Chemical Company.

Aricasoy, O. (2006). *"Kompozit Sektör Raporu"*. İstanbul: İstanbul Ticaret Odası.

Bledzki. (2006). *Microcellular Injection Molded Wood Fiber-PP Composites: Part II. Effect of Wood Fiber Length and Content on Cell Morphology and Physico-mechanical Properties*. *Journal of Cellular Plastics*, 42(1):77–88.

Bledzki, G. J. (1999). *Composites reinforced with cellulose based fibres*. *Progress in Polymer Science*, 24:221-74.

Callister, W. (1997). *Materials Science and Engineering, an Introduction*. Canada: Wiley.

Callister, W. D. (2013). *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (8. Baskıdan Çeviri b.)*. Ankara: Nobel Yayınevi.

Cakir, S., Aycicek, M., Altun, E., & Akinci, A (2018). *The effect of foaming agent on mechanical and physical properties of polypropylene*. *Mater Sci: Adv Compos Mater*, 2:1-7.

Erkan, Ö. (2011). *Çocuk Oyun Parklarında Modül Tasarımında Ahşap Plastik Kompozit Malzemenin Kullanım Olanakları.Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Geçkinli, A. E. (1992). *Seramikler, İleri Teknoloji Malzemeleri*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Matbaası.

Hahn, H. a. (1980). Introduction to Composite Materials, Technomic. U.K.: Technomic publishing company Inc.

İnkaya, S. (2011). Dünyada ve Türkiye’de Kompozit Sektörü, Mühendis ve Makina, Cilt 52, Sayı 613. İstanbul: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.

Saçak, M. (2005). Polimer Teknolojisi. Ankara: Gazi Kitapevi.

Staiger, T. N. (2008). Natural-fibre composites in structural applications. Cambridge UK: Woodhead Publishing.

Şahin, Y. (2000). Kompozit Malzemelere Giriş. Ankara: Gazi Kitabevi.

Thornton, P. (1985). Fundamentals of Engineering Materials, Prentice Hall College. New Jersey: Prentice Hall College.

URL2. (2021) <http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=206>

URL3. (2021) <http://www.bilgiustam.com/kompozit-malzemeler-hakkinda-hersey/>

Vasiliev, V., & Morozov, E. (2001). Mechanics and Analysis of Composite Materials. Australia: Elsevier Science Ltd.

Yağcı, E. (2007). Tabakalı Kompozit İnce plakaların Plaka Düzlemine Dik Yükleme Etkisi Altındaki Eğime Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, M. (2005). Kompozit Basıncılı Tüpde Gerilme Analizi, Araştırma Projesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.

## ÖZGEÇMİŞ

17 Haziran 2011 yılında Öğretmen Eyüp Topçu Anadolu Lisesinden mezun oldum. 2011-2015 yılları arasında Marmara Üniversitesi'nde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği lisans programını başarıyla tamamladım.

2013-2014 yılları arasında Marmara Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi'nde "Teknoloji ve Transfer Ofisi Yönetici Asistanlığı" görevi yerine getirilmiştir. 2016-2021 yılları arasında Karel Kalıp San. A.Ş. firmasında "Ar-Ge Merkezi Takım Lideri" olarak görevimi tamamladıktan sonra 01.04.2021 tarihinden bu zamana kadar Tekkan Plastik firmasında "Ar-Ge Merkezi Takım Lideri" olarak görev yapmaktayım.