



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**AĞAÇ TALAŞI DOLGULU GERİ DÖNÜŞÜM
POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

BÜŞRA BÜYÜK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı
Polimer Bilimi ve Teknolojisi Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. İLYAS KARTAL

İSTANBUL, 2023



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**AĞAÇ TALAŞI DOLGULU GERİ DÖNÜŞÜM
POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

BÜŞRA BÜYÜK
(526619005)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı
Polimer Bilimi ve Teknolojisi Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. İLYAS KARTAL

İSTANBUL, 2023

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca her tŸrlŸ yardım da bulunan ve kıymetli fikirleriyle yŸn veren değerli hocam Doç. Dr. İlyas Kartal'a sonsuz teőekkŸrlerimi sunarım.

Tez çalıőmalarım sırasında hammadde desteği veren Emre Plastik'e, Ÿretim desteği veren Zebra Polimer'e, laboratuvar desteği veren İlkalem A.Ő. ve Uzunoglu Plastik'e teőekkŸr ederim.

TŸm hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen, yanımda olan ve bana inanan gŸzel aileme, eőime ve bu sŸrete bana destek olan arkadaşlarıma sonsuz teőekkŸr ederim.

BuŐra BŸYŸK

İstanbul, Ocak 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER.....	vii
KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
TABLolar.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	3
1.1.1. Kompozit malzemelerin avantajları	4
1.1.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları	5
1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	5
1.2.1. Matris türüne göre kompozitlerin sınıflandırılması.....	6
1.2.1.1. Metal matrisli kompozitler	6
1.2.1.2. Seramik matrisli kompozitler	7
1.2.1.3. Polimer matrisli kompozitler	9
1.2.2. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması.....	12
1.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler	13
1.2.2.2. Parçacık takviyeli kompozitler	13
1.2.2.3. Tabakalı kompozitler	14
1.2.3. Kompozitlerin özelliklerini etkileyen faktörler	15
1.3. Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri	15
1.3.1. Polimer elyaflar	16

1.3.2. Karbon elyaf	16
1.3.3. Cam elyaf.....	16
1.3.4. İnorganik takviyeler.....	17
1.3.5. Organik takviyeler	17
1.4. Yeşil Kompozitler	17
1.4.1. Ahşap polimer kompozitleri	18
1.4.1.1. Sarıçam Ağacı Talaşı.....	19
1.4.1.2. Polipropilen	21
1.5. Literatür Taraması.....	21
2.MATERYAL VE YÖNTEM	27
2.1. Kullanılan Malzemeler.....	27
2.1.1. Sarıçam ağacı talaşı	27
2.1.2. Geri dönüşüm polipropilen.....	27
2.2. Kullanılan Ekipman ve Cihazlar	27
2.2.1. 0-500 mikron test eleği.....	27
2.2.2. Ekstrüzyon cihazı	28
2.2.3. Enjeksiyon cihazı.....	28
2.2.4. Çekme ve üç nokta ile eğilme test cihazı	29
2.2.5. Darbe testi cihazı	29
2.2.6. Sertlik test cihazı	30
2.2.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	31
2.3. Numune Hazırlama	31
2.4. Mekanik Testler.....	36
2.4.1. Çekme testi	36
2.4.2. Üç nokta eğilme testi	36

2.4.3. Darbe testi.....	37
2.4.4. Sertlik	37
2.5. Nem Absorbe Testi	38
2.6. Mikroyapı İncelemesi	38
2.6.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	38
3.BULGULAR VE TARTIŞMA	39
3.1. Çekme Mukavemeti.....	39
3.2. Yüzde Uzama	40
3.3. Darbe Mukavemeti	40
3.4. Sertlik (Shore D)	41
3.5. Eğilme Mukavemeti.....	42
3.6. Nem Absorpsiyon Testi	42
3.6 SEM Görüntüleri.....	43
4.SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR.....	48
CV.....	

ÖZET

AĞAÇ TALAŞI DOLGULU GERİ DÖNÜŞÜM POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak ağaç talaşı, matris malzemesi olarak ise geri dönüşümden gelen polipropilen kullanılarak çevreye duyarlı bir yeşil kompozit üretimi hedeflenmiştir. Matris malzemesi olarak endüstride yoğun kullanımı olması sebebiyle geri dönüşüm polipropilen kullanılmıştır. Ağaç talaşı olarak Türkiye'nin farklı bölgelerinde yaygın bulunması sebebiyle sarıçam ağaç talaşı tercih edilmiştir. Ağaç talaşı farklı oranlarda polipropilene ilave edilerek kompozit numuneler elde edilmiştir. Öncelikle talaş elek kullanılarak belli boyutta hazırlanmıştır (0-500 mikrometre). Enjeksiyon kalıplama yapılarak polipropilene ağırlıkça %10 oranından başlayarak %20, 30 ve 40 doyuma ulaştığı orana kadar devam edilmiştir. Kompozit numunelerin çekme, eğilme, darbe, sertlik gibi mekanik özellikleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Kompozit numunelerin kırık yüzey görüntüsü incelemesi de yapılmıştır. Bu çalışmada ahşap talaşı kullanımıyla kompozit üretim maliyetinin düşürülmesi, sentetik dolgu üretiminin azaltılması, maliyetin düşürülmesi, gaz emisyonunun azaltılması, doğal kaynakların korunması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler; Geri dönüşüm, Polipropilen, Talaş, Kompozit malzeme, Mekanik özellikler

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD SAWDUST FILLED RECYCLING POLYPROPYLENE COMPOSITES

In this study, it is aimed to produce an environmentally friendly green composite by using wood sawdust as filling material and polypropylene from recycling as matrix material. Recycled polypropylene was used as matrix material due to its intense use in industry. As wood sawdust, scotch pine wood sawdust was preferred because it is common in different regions of Turkey. Composite samples were obtained by adding wood sawdust to polypropylene at different rates. First of all, sawdust was prepared in a certain size (0-500 micrometers) using a sieve. By injection molding, polypropylene was started from 10% by weight and continued until it reached 20, 30 and 40% saturation. The effects of composite samples on mechanical properties such as tensile, bending, impact and hardness were investigated. Fractured surface image analysis of composite specimens was also performed. In this study, it is also aimed to reduce the cost of composite production, to reduce the production of synthetic fillers, to reduce gas emissions, to protect natural resources by using wood sawdust.

Keywords; Recycling, Polypropylene, Wood sawdust, Composite material, Mechanical properties,

SEMBOLLER

°C	: Santigrat Derece
kJ	: Kilojoule
kg	: Kilogram
MPa	: Mega Paskal
s	: Saniye
dk	: Dakika
UV	: Ultraviyole
T_g	: Camı geçiş sıcaklığı
T_m	: Erime sıcaklığı
Ti	: Titanyum
Mg	: Magnezyum
Al	: Alüminyum
Al₂O₃	: Alümina
CaCO₃	: Kalsiyum karbonat

KISALTMALAR

PP	: Polipropilen
PE	: Polietilen
PVC	: Polivinilklorür
PS	: Polistiren
PLA	: Polilaktikasit
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler
SÇ	: Sarıçam

ŞEKİLLER

Şekil 1.1 Kompozit Malzeme Bileşenlerinin Gösterimi	1
Şekil 1.2 Yeşil Kompozitlerin Sınıflandırılması	3
Şekil 1.3 Kompozit Bileşenlerinin Deformasyona Etkisi	4
Şekil 1.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
Şekil 1.5 Matris Türüne Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	6
Şekil 1.6 Metal Matrisli Kompozitlerin Şematik Görünümleri	6
Şekil 1.7 Kompozit Hafif Zırh Dizaynı	7
Şekil 1.8 Polimer Matrislerin Sınıflandırılması	9
Şekil 1.9 Termoset Polimerlerin Ağ Yapısı	10
Şekil 1.10 Termoplastik Polimerlerin Yapısı	11
Şekil 1.11 Takviye Elemanına Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması	13
Şekil 1.12 Takviye Elemanlarının Şekillerine Göre Takviye Çeşitleri	13
Şekil 1.13 Parçacık Takviyeli Kompozit Şematik Gösterimi	14
Şekil 1.14 Tabakalı Kompozitlerin Şematik Gösterimi	14
Şekil 1.15 Kompozitlerde Kullanılan Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	16
Şekil 1.16 Sarıçam Ağacı	20
Şekil 1.17 Sarıçam Ağacının Türkiye'deki Dağılımı	20
Şekil 1.18 PP Formülü	21
Şekil 2.1 0-500 Mikron Test Eleği	27
Şekil 2.2 Çift Vidalı Ekstrüzyon Hattı	28
Şekil 2.3 Engel Markalı Enjeksiyon Cihazı	28
Şekil 2.4 Zwick Marka Çekme-Üç Nokta Eğilme Test Cihazı	29
Şekil 2.5 Darbe Test Cihazı.....	30
Şekil 2.6 Sertlik Test Cihazı.....	30

Şekil 2.7 SEM Numunesi Kaplama Cihazı	31
Şekil 2.8 SEM Cihazı	31
Şekil 2.9 Elektren Geçirilmiş Sarıçam Tozu	32
Şekil 2.10 Geri Dönüşüm PP	33
Şekil 2.11 Ağırlıkça %10 Sarıçam Dolgulu Geri Dönüşüm PP Granül	33
Şekil 2.12 Ağırlıkça %20 Sarıçam Dolgulu Geri Dönüşüm PP Granül	34
Şekil 2.13 Ağırlıkça %30 Sarıçam Dolgulu Geri Dönüşüm PP Granül	34
Şekil 2.14 Ağırlıkça %40 Sarıçam Dolgulu Geri Dönüşüm PP Granül	35
Şekil 2.15 Enjeksiyonda Basılan Kompozit Numuneleri	35
Şekil 2.16 Standart Çekme Test Numunesi	36
Şekil 2.17 Darbe Testi Şematik Gösterimi	37
Şekil 3.1 Kırılan Test Numunesi Örneği	39
Şekil 3.2 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Çekme Mukavemeti Grafiği	39
Şekil 3.3 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin % Uzama Grafiği	40
Şekil 3.4 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Darbe Mukavemeti Grafiği	41
Şekil 3.5 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Sertlik Grafiği	41
Şekil 3.6 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Eğilme Mukavemeti Grafiği	42
Şekil 3.7 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Günlük Nem Değişimi	43
Şekil 3.8 Geri Dönüşüm PP SEM Görüntüleri	44
Şekil 3.9 %10 Katkılı Geri Dönüşüm PP Kompozitinin SEM Görüntüleri	44
Şekil 3.10 %20 Katkılı Geri Dönüşüm PP Kompozitinin SEM Görüntüleri	45
Şekil 3.11 %30 Katkılı Geri Dönüşüm PP Kompozitinin SEM Görüntüleri	45

Şekil 3.12 %40 Katkılı Geri Dönüşüm PP Kompozitinin SEM Görüntüleri 46

TABLÖLAR

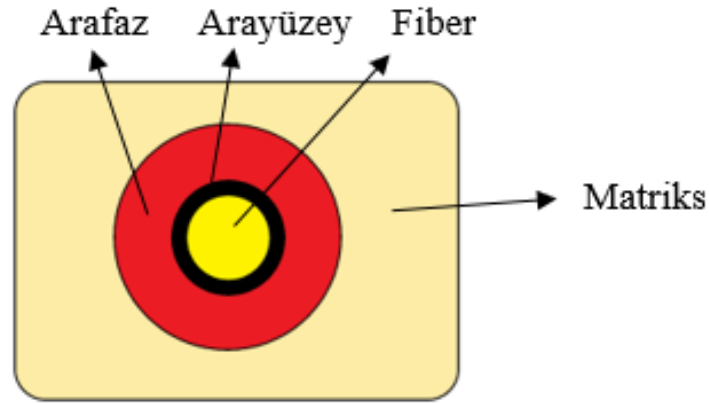
Tablo 1.1 Bazı MMK'lerin Özellikleri	7
Tablo 1.2 Bazı Seramik Malzemelerin Özellikleri	8
Tablo 1.3 Mühendislik Seramikleri	8
Tablo 1.4 Bazı Termoset Reçinelerin Fiziksel Özellikleri	10
Tablo 1.5 Bazı Termoplastiklerin Fiziksel Özellikleri	12

1.GİRİŞ

Polimerler, geçmişten günümüze hayatımızın pek çok alanında karşımıza çıkmaktadır. Polimer, monomer adı verilen yapıların tekrarlanmasıyla oluşan makromoleküler yapılardır. Değişen dünya ve artan ihtiyaçlarla birlikte bazı durumlarda bir malzemeyle istenilen özellikler karşılanamamaktadır. Bu gibi ihtiyaçların giderilmesi için polimer malzemenin içerisine, istenilen özelliği verecek, polimeri güçlendirecek takviye malzemeleri eklenerek istenilen özellikleri karşılanması sağlanmıştır.

Kompozit, en az iki farklı malzemenin makro boyutlarda birleşerek oluşturduğu yeni malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzeme üretiminde amaç, tek başına kullanım alanına uygun olmayan, birbirleri içerisinde çözünemeyen malzemeleri kullanarak kullanım alanlarına uygun özellikleri verebilecek duruma getirmek, yeni iyileştirilmiş özelliklere sahip malzeme elde etmektir [1-5].

Genel olarak kompozit malzemelerde sürekli faz olarak bilinen matris, etrafı matrisle çevrili dolgu/takviye, matris ve dolgu/takviye fazından yapı ve özellik olarak farklı olan arayüz fazıyla birlikte toplamda üç fazdan oluşur. Şekil 1.1'de kompozit malzeme bileşenlerinin gösterimi verilmiştir [6].



Şekil 1.1 Kompozit Malzeme Bileşenlerinin Gösterimi [6]

Matrisin temelde üç görevi vardır. Bunlar; takviye edilmiş bileşenleri bir arada tutmak, takviye edici bileşenleri dış etkilerden korumak ve uygulanan yükü takviye bileşenine aktarmaktır [7].

Takviye malzemelerin öncelikli görevi malzemeye sertlik ve mukavemet gibi mekanik özellikler vermektir. Diğer yandan kompozit malzemeye yük taşıma kapasitesini, tokluğunu ve dayanımını artırabilir [6].

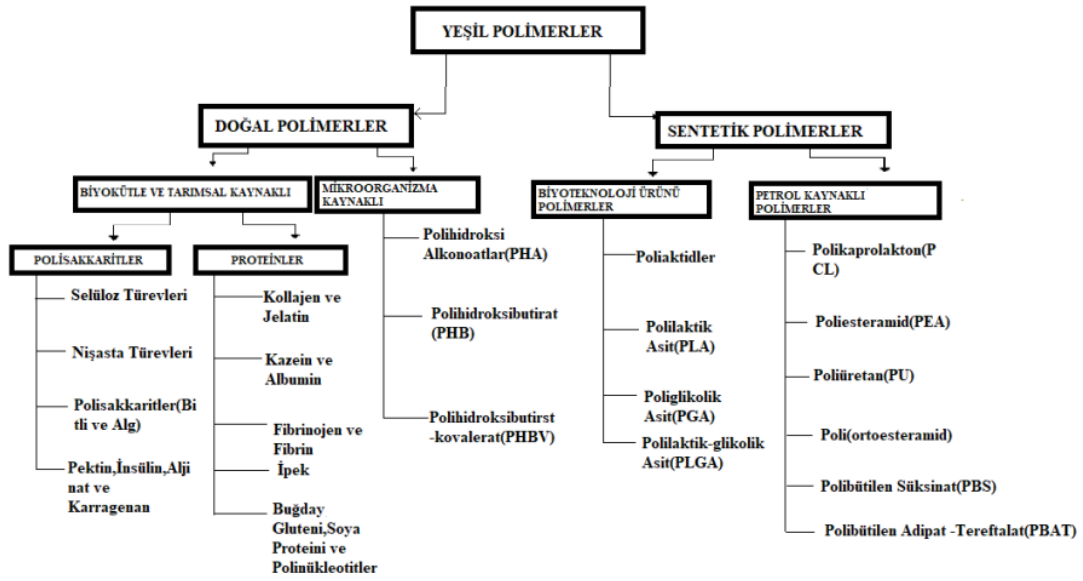
Polimer matrisine katılan dolgu malzemeleri kompozit malzemedeki polimer yüzdesini azaltarak daha ekonomik bir üretim yapılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda son zamanlarda yapılan çalışmalarda dolgu malzemelerinin polimerlere yeni özellikler kattığı ya da polimeri daha mukavemetli hale getirdiği birçok polimer kompozit çalışması da vardır.

Kompozit malzemelerde şu özelliklerden biri veya birkaçının geliştirilmesi hedeflenmektedir [8].

- Mekanik özellikler,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısıya direnç,
- Elektrik iletkenliği ya da elektriksel direnç,
- Ağırlık,
- Görünüm,

Günümüz endüstrisinde ürünlerin geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir olması önemli bir konudur. Doğal kaynakların hızla azalması ve çevre kirliliği gibi nedenlerle kullanılan malzemelerin biyolojik olarak çözünebilir olması önemlidir. Son yıllarda doğal atıklardan elde edilmiş kompozit malzemelerle pek çok çalışma yapılmaktadır. Kompozit malzemeler oluşturulurken kullanılan en az bir bileşenin doğal kaynaklardan üretilen, biyolojik olarak parçalanabilen ürünlerden seçilmesi 'Yeşil Kompozitler' denilen yeni bir alanı temsil etmektedir. Bu yeni nesil çevreci malzemeler sentetik plastiklere alternatif olarak pek çok alanda kullanılmaktadır [9-13].

Şekil 1.2.'de yeşil kompozitlerin sınıflandırılması verilmiştir [9-15].



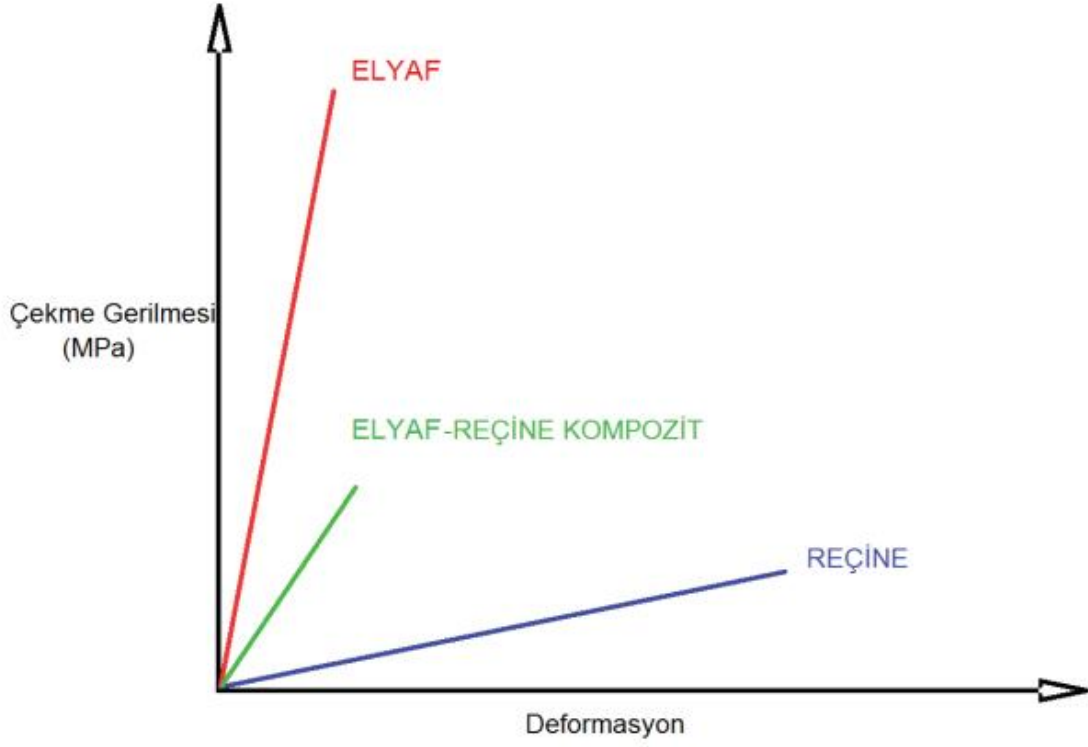
Şekil 1.2 Yeşil Kompozitlerin Sınıflandırılması [15]

Yeşil kompozitlerden üretilmiş ürünler yoğun olarak, otomotiv, mobilya, inşaat ve ambalaj sektöründe kullanılmaktadır. Geri dönüştürülebilir yeşil kompozit ürünlerin üretiminde enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, sıcak presleme, şişirme, eğirme vb. yöntemler ve matris olarak Polipropilen (PP), Polietilen (PE), Polivinilklorür (PVC), Polistiren (PS), Polilaktikasit (PLA) gibi polimer malzemeler kullanılmaktadır. Lif ve dolgu malzemeleri olarak selüloz, fındık kabuğu, bambu lifi, buğday sapı, ceviz kabuğu gibi malzemeler yoğun olarak tercih edilmektedir [9-13].

Bu çalışmada ise geri dönüşüm polipropilen matris malzemesi içerisine doğal atık olan sarıçam ağacı talaşı ilave edilerek kompozitin özellikleri incelenmiştir.

1.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler için genellikle ortak özellikler yoktur. Kompozitler özelliklerini kullanım alanına göre seçilmiş matris ve takviye edici bileşenlerin özelliklerine göre belirler. Kompozit malzemelerin özelliklerini belirleyen ana faktörler, takviye edici bileşenin özellikleri, matrisin özellikleri, mikroyapı ve arayüzey özellikleridir. Şekil 1.3’de genel bir kompozit için deformasyon-çekme gerilmesi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Kompozit Bileşenlerinin Deformasyona Etkisi [7]

Bu nedenlerden dolayı kompozitler için genel özelliklerden değil de kompozitlerin avantajları ve dezavantajlarından bahsetmek daha mümkündür.

1.1.1. Kompozit malzemelerin avantajları

Kompozit malzemeler bileşenlerinin en iyi özelliklerinin birleşerek tek bir malzemede toplanmasıyla oluşan yeni malzemeye önemli avantajlar kazandırır. Bunlar [16];

- Yüksek dayanım,
- Yüksek rijitlik,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- İyi korozyon direnci,
- İyi termal ve ısı iletkenliği,
- Düşük ağırlık,
- Çekicilik ve estetik görünüm gibi avantajlar sağlar.

1.1.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları

Pek çok önemli avantajlarının dışında kompozitlerin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar;

- Yüksek kapasiteli üretimlerde malzeme fiyatı oldukça yüksektir.
- Toz metalurjisi yöntemiyle sıkıştırılarak üretilen kompozitlerin yapılarında boşluklar kalabilir. Bu boşluklar ek bir yöntem kullanılarak doldurulmaları gerekir. Aksi takdirde kullanım sırasında bazı sıkıntılara sebep olurlar.
- Kompozit üretim sırasında oluşabilecek gaz çıkışı olabilir ve çalışanlar zarara görebilir. Ek önlemler alınmalıdır.
- Metal matrisli kompozitlerin üretimleri için gerekli ekipmanlar pahalıdır [7].

1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

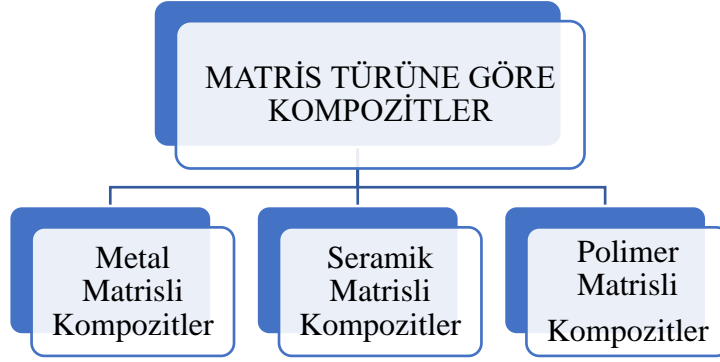
Kompozitler en az iki malzemenin birleşmesiyle kendi özelliklerini kaybetmeden oluşan ve yeni özellikler kazanmış malzemelerdir. Kompozitler, ana bütünlüğü sağlayan matris ve matrisin özelliklerini güçlendirmek ya da maliyet düşürmek amacıyla kullanılan takviye edici bileşenlerden oluşur. Kompozit malzemeler takviye elemanının türüne ve matris türüne göre 2 ana grupta sınıflandırılabilir. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması Şekil 1.4’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

1.2.1. Matris türüne göre kompozitlerin sınıflandırılması

Matrisler, kompozit malzemeleri oluşturan temel bileşenlerdir. Sürekli faz olarak da adlandırılır. Şekil 1.5’de matrisin türüne göre kompozitlerde kendi içerisinde metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli kompozitler olarak üç ana grupta toplanır.

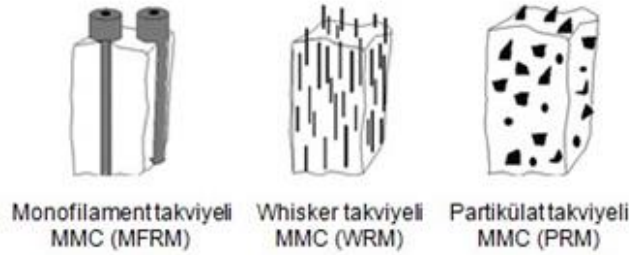


Şekil 1.5 Matris Türüne Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması

1.2.1.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMK) iyi tokluk ve süneklığe sahip metaller ile yüksek elastik modülü ve mukavemete sahip seramiklerin bir araya gelerek oluşturdukları kompozit türleridir. Yüksek aşınma direnci, yüksek elastik modülü, yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme ve düşük yoğunluk gibi özellikleri vardır [17].

Hafif olduğundan dolayı genellikle matris olarak titanyum (Ti), magnezyum (Mg), alüminyum (Al) ve titanyum alaşımları kullanılır. Göstermiş olduğu düşük ergime sıcaklığı, düşük yoğunluk, birçok seramik takviye elemanını ısıtabilmesi gibi özelliklerden dolayı en çok Al ve alaşımları tercih edilir [17]. Şekil 1.6’da metal matrisli kompozitlerin şematik örnekleri mevcuttur.



Şekil 1.6 Metal Matrisli Kompozitlerin Şematik Görünümleri [18]

Tablo 1.1’de bazı metal matrisli kompozitlerin genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1 Bazı MMK’lerin Özellikleri[18]

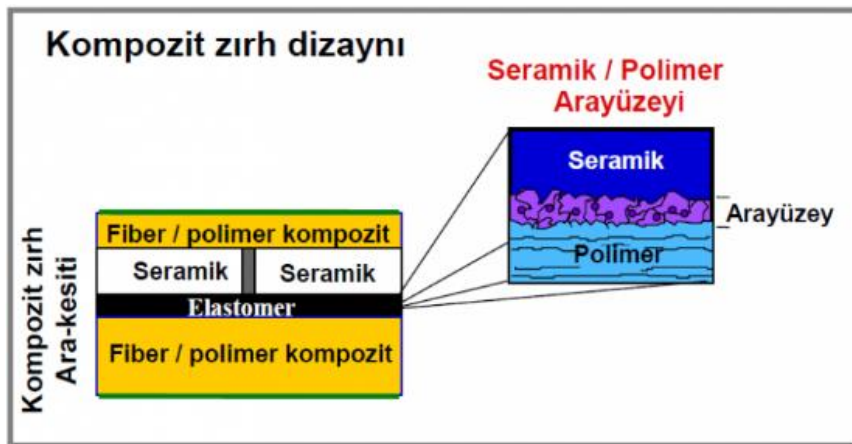
Fiber, (sürekli dizili)*	Matris	Fiber, % hac.	Yoğunluk, g/cm ³	Gerilme modülü, GPa*	Gerilme kuvveti, GPa*
Karbon	6061 Al	41	2.44	320	620
Boron	6061 Al	48	-	207	1515
SiC	6061 Al	50	2.93	230	1480
Alumina	380.0 Al	24	-	120	340
Karbon	AZ31 Mg	38	1.83	300	510
Borsic	Ti	45	3.68	220	1270

*Boylamasına (longitudinal)

Metal matrisli malzemeler uzay ve havacılık alanında, uzay haberleşme cihazlarının destek parçalarında yaygın olarak kullanılır [19].

1.2.1.2. Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozitler yüksek sıcaklıklarda kullanım alanına sahip malzemeler için tercih sebebidir. Fakat sert ve kırılğan bir yapıları vardır. Düşük tokluk ve düşük kopma uzaması gibi özelliklere sahiptir. Matris malzemesi olarak yaygın olarak alümina (Al_2O_3) ve bor karbür (B_4C) gibi malzemeler kullanılır. Takviye malzemesi olarak ise yaygın olarak Al_2O_3 gibi seramikler kullanılır [20]. Şekil 1.7’de seramik matrisli kompozit örneği gösterilmiştir.



Şekil 1.7 Kompozit Hafif Zırh Dizayını [20]

Tablo 1.2’de bazı seramik malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.2 Bazı Seramik Malzemelerin Özellikleri [21]

Malzeme	Mukavemet (MPa)	Kır. Tokluğu, Kıc(MPam ^{1/2})	Termal Şok Direnci, Kıc (ΔT °C)
SiO ₂ esaslı (Borosilikat)	70	0.5	300
Al ₂ O ₃	350-700	4	225
B ₄ C	350	4	225
ZrO ₂ (tamamen kararlı)	140-350	2.5	225
Si ₃ N ₄ (Sıcak preslenmiş)	700-860	5	450
ZrO ₂ (kısmen kararlı)	1400	6	450
Al ₂ O ₃ (hacimce %10 ZrO ₂)	700	8	>900
Al ₂ O ₃ (hacimce % 30 BN)	350	6-9	500
B ₄ C (hacimce % 50 C)	200	3.5	1100
Cam-SiC fiber kompoziti	350	7	>900

Kullanım alanları genellikle askeri amaçlı parçaların üretiminde, uzay araçlarının bazı parçalarında, türbin kanatlarında, elektrik ve bazı medikal malzemelerin üretimlerinde kullanılır [19].

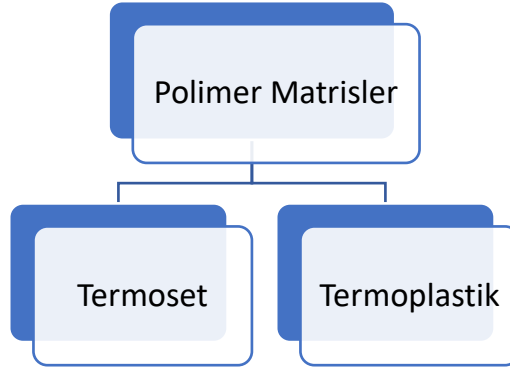
Tablo 1.3’de yaygın olarak kullanılan bazı mühendislik seramikleri gösterilmiştir.

Tablo 1.3 Mühendislik Seramikleri [21]

Seramik		Uygulamalar
Alumina	Al ₂ O ₃	Kesici takımlar, Kalıplar, Aşınmaya dayanıklı parçalar ve kaplamalar, Oksidasyon bariyerleri, Yatak yüzeyleri, Yüksek sıcaklık bileşenleri, Türbin parçaları, HİP implantlar, Zırh malzemeleri, Radyasyon kalkanı.
Silisyum Karbür	SiC	
Silisyum Nitrür	Si ₃ N ₄	
Zirkonya	ZrO ₂	
Boron Nitrür	BN	

1.2.1.3. Polimer matrisli kompozitler

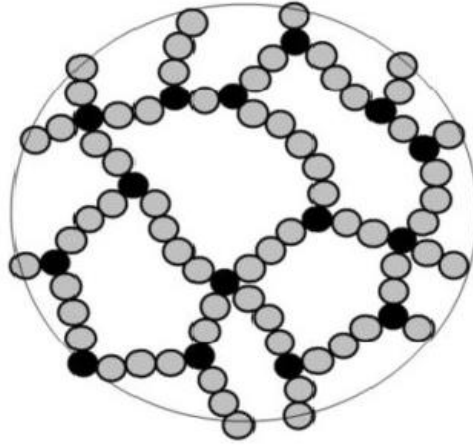
Polimer matrisli kompozitler yaygın bir kullanıma sahiptirler. Bunların başında mühendislik yapı malzemeleri gelmektedir. Kompozit uygulamaların da en yaygın kullanılan kompozit çeşididir. İşleme prosesleri kolaydır. Polimer matris olarak yoğun uzun süreli kullanıma uygun, korozyona karşı dirençli ve petrokimyasal esaslı malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler boyutsal olarak kararlı, yüksek mukavemet özelliklerine sahip, sert ve aşınmaya karşı dirençli malzemelerdir. Fakat düşük ısı dayanım ve mekanik özelliklerinden dolayı kullanım alanları sınırlıdır. Polimer matrisler termoset ve termoplastik olarak iki grupta sınıflandırılabilirler. Şekil 1.8’de polimer matrislerin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1.8 Polimer Matrislerin Sınıflandırılması

Matrisler, kullanılacak kompozitin kullanımına uygun özelliklere göre seçim yapılır. Matris seçiminde termoset ya da termoplastik olacağına üretim yöntemi ve kompozitin özellikleri belirlemektedir. Polimer matrisli malzemelerin genellikle düşük işleme sıcaklıkları vardır [6].

Termoset polimerler, işlem gördüklerinde oluşan çapraz bağlar sayesinde zincirlerinde ağ yapılar oluşur. Bu ağ yapılar sayesinde yüksek sıcaklıklarda bile mekanik özelliklerini korurlar. Erimezler. Viskoz davranış göstermezler. Daha yüksek sıcaklıklarda direk bozunmaya uğrarlar. Isıtılarak tekrar şekil verilemezler. Bundan dolayı termoset malzemelerin geri dönüşümleri mümkün değildir. Şekil 1.9’da termoset polimerlerin ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.9 Termoset Polimerlerin Ağ Yapısı [22]

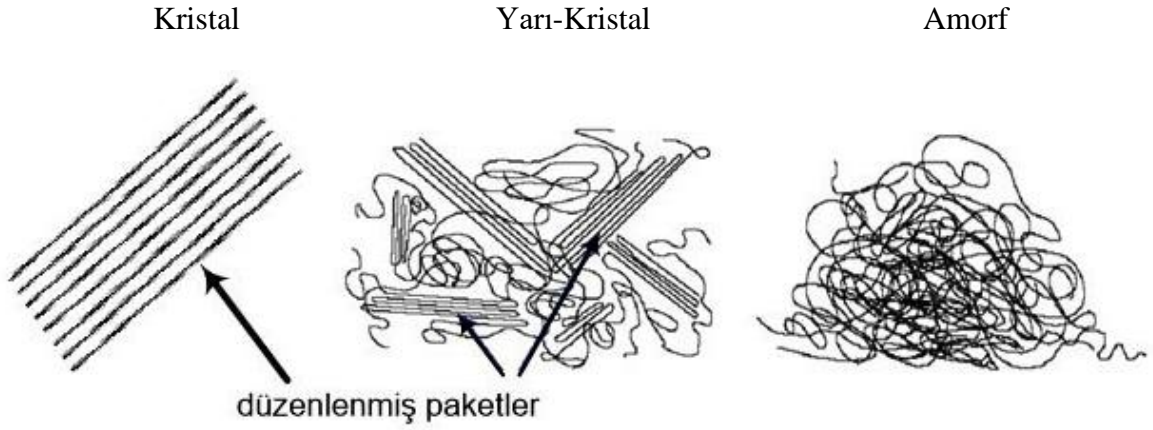
Termosetler, ısıya ve yüksek sıcaklıklara karşı dirençlidirler. Çözücülere ve aşındırıcılara karşı son derece dirençlidirler. Mükemmel yapışma ve son derece iyi perdahlama (parlatma, boyama vb.) özelliklerinden dolayı elektrik yalıtım malzemeleri, polimerik kaplamalar, elektronik çipler gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Tablo 1.4’de bazı termoset reçinelerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.4 Bazı Termoset Reçinelerin Fiziksel Özellikleri [7]

Reçine Malzemesi	Yoğunluk (gr /cm ³)	Çekme Modülü GPa (106 psi)	Çekme Dayanımı MPa (103 psi)
Epoksi	1.2 – 1.4	2.5 – 5.0 (0.36 – 0.72)	50 – 110 (7.2 – 16)
Fenolik	1.2 – 1.4	2.7 – 4.1 (0.4 – 0.6)	35 – 60 (5 – 9)
Polyester	1.1 – 1.4	1.6 – 4.1 (0.23 – 0.6)	35 – 95 (5 – 13.8)

Termoplastikler, en basit haliyle ısıtıldıklarında tekrardan şekillendirilebilen polimer malzemelerdir. Termoplastik malzemelerde bir erime sıcaklığı aralığı bulunur. Genellikle soğuma şekillerine göre yapılarında farklılık gösterir. Eğer soğutulurken kristallenmesine

Yeterince zaman olduğundan zincirler birbiri üzerine istiflenerek mükemmel kristal yapıyı oluştururlar. Yeterince zaman olmadığı durumda ise ya tamamen düzensiz yapı olan amorf yapıda bulunur ya da amorf ve kristal bölgelerin birlikte bulunduğu yarı-kristal yapılar oluşur. Şekil 1.10'da termoplastik polimerlerin kristal, yarı-kristal ve amorf yapıları gösterilmiştir.



Şekil 1.10 Termoplastik Polimerlerin Yapısı [23]

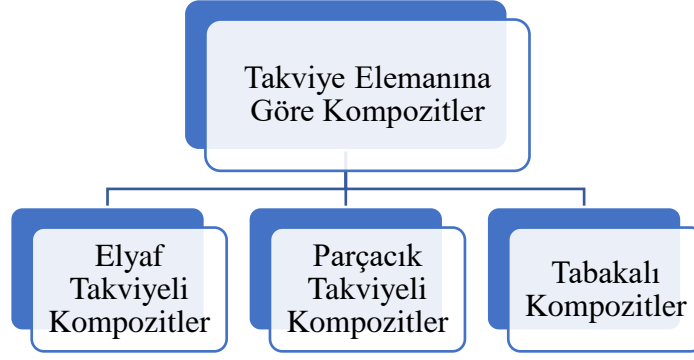
Kristal yapılı termoplastik malzemeler yapılarından dolayı kırılğan malzemelerdir. Belirli bir sıcaklığa ulaştıklarında erimeye başlarlar. Amorf ve yarı-kristalin yapılarda belirli bir erime sıcaklığı yoktur. Bir erime sıcaklığı aralığı vardır. Isıtılmaya başlandıklarından ilk önce camsı geçiş sıcaklığına (T_g) (malzemenin viskoz özelliklerini kazandığı sıcaklıktır.) ulaştığında önce zincirlerin titreşimleri ve gevşemesiyle plastik deformasyon gözlenir. Camsı geçiş sıcaklığı polimerler için ayırt edici bir özelliktir. Bu kısımda zincirler yavaş yavaş acıkmaya başlayarak erime adımına geçer. Eritildiklerinde enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri kullanılarak istenilen biçimde şekillendirilebilirler. Tablo 1.5'de bazı termoplastiklerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.5 Bazı Termoplastiklerin Fiziksel Özellikleri [7]

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Kopma Dayanımı (Mpa)	Darbe Dayanımı (izod, J/m)	Elektriksel Yalıtkanlık (V/mm)	En Yüksek Kullanım Sıcaklığı (Yüksüz) (°C)
Poliyeten (PE)					
Yüksek Yoğunluklu PE - HDPE	0,95 - 0,96	20 - 37,2	21,35 - 747,3	18912	82 - 100
Düşük Yoğunluklu PE - LDPE	0,92 - 0,93	6,2 - 17,2		18912	82 - 100
PVC	1,49 - 1,58	51,7 - 62,1	53,38 - 298,9		110
Polipropilen (PP)	0,94	33 - 38	21,35 - 117,4	25610	107 - 150
Stiren Akrlonitril (SAN)	1,08	69 - 82,8	21,35 - 26,69	69935	60 - 104
Akrlonitril-Bütadien- Stiren (ABS)	1,05 - 1,07	40,7	320,28	15169	71-93
Polistiren (PS)	1,05	51		20150	75
Selüloz Asetat	1,2 - 1,3	20,7 - 55,2	133,45 - 213,52	9850 - 23640	60 - 104
Politetrafloroetilen (Teflon - PTFE)	2,1 - 2,3	6,9 - 27,6	64,05 - 362,98	21670	228
Poliamit (Naylon 6)	1,13 - 1,15	62,1 82,8	106,76	15169	82 - 150
Poliasetal (Derlin - Pom)	1,42	69	74,73	12608	90
Polikarbonat (PC)	1,2	62,1	640,56 -	854,08	120
Polyester					
Polietilentereftalat (PET)	1,37	71,7	42,7		80
Polibütilentereftalat (PBT)	1,31	55,2 - 56,5	64,05 - 69,39	23246 - 27580	120
Polifenilen Oksit (PPO)	1,06 - 1,10	53,8 - 66,2	266,9	15760 - 19700	80 - 105
Akrlilik (Pleksi - PMMA)	1,11 - 1,19	75,9	122,77	17730 - 19700	54 - 110
Polisülfon (PSU)	1,25	70,3	64,05	16745	150 - 300
Polifenilensülfür (PPS)	1,34	69	16,01	23443	260

1.2.2. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması

Kompozitlerde takviye elemanları, matrisin içerisine katılarak matris malzemenin özelliklerini iyileştirmek ya da maliyet düşürmek amacıyla kullanılırlar. Takviye elemanına göre kompozitler elyaf takviyeli, parçacık takviyeli ve tabakalı kompozitler olmak üzere üç ana grupta toplanır. Şekil 1.11'de takviye elemanlarına göre kompozitlerin sınıflandırılması gösterilmiştir.

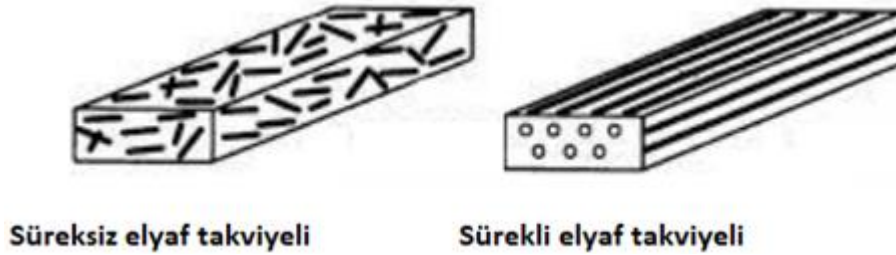


Şekil 1.11 Takviye Elemanına Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması

1.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler

En çok kullanılan kompozit çeşididir. Elyaf takviyeli kompozitler ince lif yapılarının matrisin içerisinde yer almasıyla oluşur. Elyaf takviyeli kompozitlerde, elastikliği yüksek liflerin yumuşak ve sünek matris içerisine eklenmesiyle matrisin pek çok özelliğinde iyileşmeler gözlemlenebilir. Yorulma dayanımı, özgül modül ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinde iyileşme gözlemlenebilmektedir. Bu kompozitlerde lifler asıl yükü taşıyan elementtir. Matris ise üzerine gelen yükü liflere aktarır.

Şekil 1.12’de takviye elemanlarının şekillerine göre süreksiz ve sürekli elyaf takviyeli kompozit olarak ikiye ayrılır.

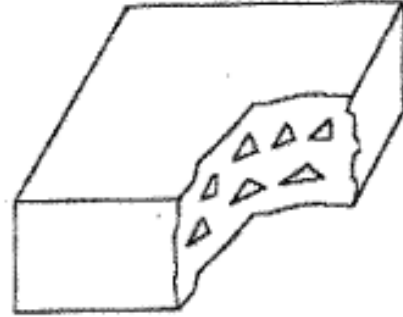


Şekil 1.12 Takviye Elemanlarının Şekillerine Göre Takviye Çeşitleri

1.2.2.2. Parçacık takviyeli kompozitler

Matris malzeme içerisinde takviye malzemesinin parçacık halinde bulunmasıyla oluşmaktadır. İzotropik yapıdadır. Yani içerisindeki parçacıklar rastgele konumlanmıştır. Parçacıkların sertliği kompozitin mukavemetini belirler. Bu kompozit türünde parçacıkların boyları kısa olduğundan numunenin çatlamasını önleyemeyebilir. Ancak

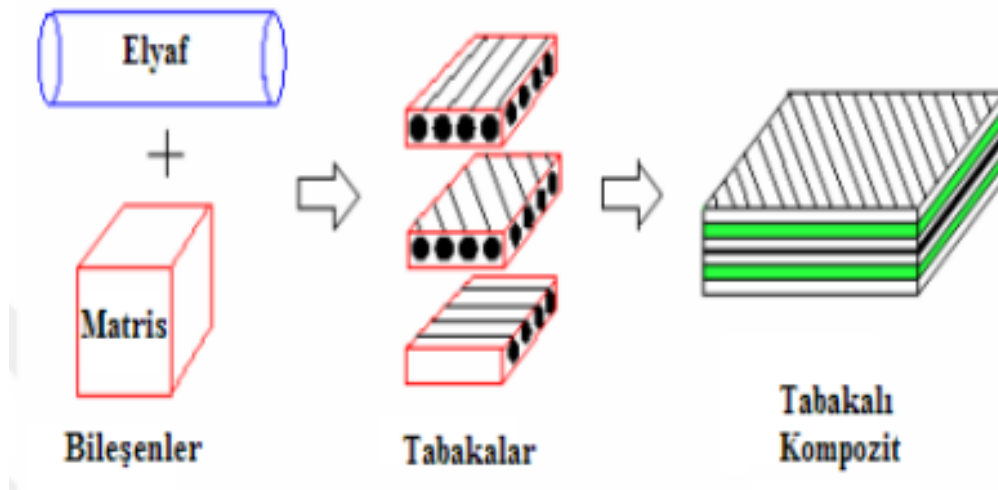
çatlamaya karşı direncini arttırmaya yardımcı olur. Parçacık takviyeli kompozitin şeması Şekil 1.13’de verilmiştir.



Şekil 1.13 Parçacık Takviyeli Kompozit Şematik Gösterimi [16]

1.2.2.3. Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozit, şekildeki gibi farklı yönlenmiş tabakalar üst üste istiflenerek bir araya gelerek tabakalı kompozitler elde edilir. Tabakalar, matris içerisinde rastgele yönlenmiş, farklı takviyeli elyaflardan oluşan katmanlardan ya da tek yönlü elyaflardan oluşan katmanlardan oluşabilir. Şekil 1.14’de tabakalı kompozitlerin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.14 Tabakalı Kompozitlerin Şematik Gösterimi [19]

Tabakalı kompozit için gerekli sebep karşı kalacağı yüklere dayanabilmesi için doğrusal yüklere ihtiyaç duyulmasıdır. Bu nedenle her tabakanın istenilen doğrultuda yapılabilmesidir [11]. Tabakalı kompozitler en az iki farklı tabakanın birbirine kaynaşmasıyla oluşur. Liflerin farklı yönlendirilmesiyle oluşan kompozit çok yüksek mukavemet değerleri gösterebilir. Bu kompozitler neme, ısıya, sıcaklığa ve çevresel koşullara dayanıklıdır. Düşük maliyetlidirler. Aşınmaya karşı dirençlidirler. Ve çok iyi ısıl genleşmeleri vardır [6].

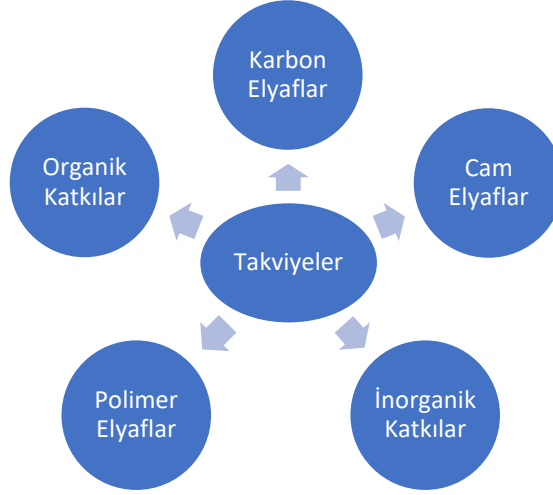
1.2.3. Kompozitlerin özelliklerini etkileyen faktörler

Elyaf takviyeli kompozitlerin özelliklerini etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar,

- 1) Bir matris içerisine katılan elyafın boyun çapa oranı ne kadar büyükse, matrise dayanım ve bükülmezlik sağlar.
- 2) Elyafın kısmi hacim oranı, matris içerisine katılan elyaf miktarı arttıkça kompozitin bükülmezliği ve dayanımı artar. Fakat elyaf hacminin artmasıyla matrisin elyafları ıslatamadığı bir limit oluşur.
- 3) Elyafın yönlendirilmesi, tek yönlü dizilmiş elyaf takviyeli kompozitlere uygulanan yük elyaf yönlerine paralel ise o yöndeki mukavemette artış olur ve sadece o yönde optimum özellikler elde edilir. Fakat sürekli ve tek yönlü dizilim yerine daha kısa, farklı yönlerde ve açılı dizilimlerde homojenlik sağlanacağından özellikler her yönde iyileştirilir.

1.3. Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri

Bir kompozitte kullanılan takviye edicinin ana görevleri, matrisin ilettiği yükü taşıması, kompozite mukavemet ve dayanım katmaktır. Bunlara göre kullanılan belli başlı takviye malzemeleri, polimer elyaflar, karbon elyaf, cam elyaf, inorganik takviyeler ve organik takviyeler olarak sınıflandırılabilir. Şekil 1.15’de takviye malzemeleri sınıflandırması gösterilmiştir.



Şekil 1.15 Kompozitlerde Kullanılan Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

1.3.1. Polimer elyaflar

Polimer elyaflar genel olarak başka bir polimeri güçlendirmek için yeterli sağlamlığa sahip değildir. Bu grupta sadece ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (HDPE) ve aramid (aromatik elyaflar) elyaflar yüksek mekanik özelliklerinden dolayı kullanılırlar. Aramid elyafların ticari adı Kevlar'dır. Aramid kompozitlerinin gösterdiği yüksek sertlik, dayanım ve yorulma direnciyle çok yaygın kullanılır. Tüm lifler arasında en iyi sonuç veren liflerdir [7].

1.3.2. Karbon elyaf

Karbon elyaflar genellikle poliakrilonitrilden (PAN) üretilirler. Kompozite boyutsal kararlılık, kimyasal inertlik sağlar. Yüksek maliyeti dezavantajlarından biridir. En büyük dezavantajı ise siyah renginden dolayı başka renklerde üretilmemesidir [7].

1.3.3. Cam elyaf

Cam elyaflar takviye malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzemelerdir. Ucuz olmasından dolayı polimer malzemeyi için kullanılırlar. Cam elyaflar tanımı çok geniş tanımıdır. Kendi içinde temelde dört gruba ayrılır [7].

- A camı; bu grup camlar kompozitlerde kullanılmaz. Genelde cam veya şişe imalatlarında kullanılır.

- C camı; yüksek kimyasal dirençleri vardır. Bu yüzden genellikle depolama tankları gibi alanlarda kullanılır.
- E camı; kompozitlerde en sık kullanılan cam çeşididir. Düşük maliyete sahiptir. İyi yalıtım ve düşük su emiş oranı gibi özellikleri vardır.
- S ve R camı; yüksek maliyetlidir. Performans ürünleridir. Yaygın olarak uçak sanayisinde kullanılır.

1.3.4. İnorganik takviyeler

İnorganik dolgular dendiğinde akla ilk olarak kalsit ve kaolin gelmektedir.

Kalsit, kristallenmiş kalsiyum karbonattır (CaCO_3). Plastik ve kauçuk malzemelerde maliyet düşürmek ve tokluk için kullanılır.

Kaolin, bir kil türüdür. Granit kayaçlardan elde edilir. Yumuşak bir topraktır. Plastik malzemelerde kalsit gibi maliyet düşürmek ve tokluk vermesi için kullanılır [7].

1.3.5. Organik takviyeler

Organik takviyeler için yaygın olarak odun talaşı kullanılır. Odun talaşı olarak çeşitli ağaçların talaşları/unu kullanılabildiği gibi şeker kamışı, mısır kovanı, fındık kabuğu gibi bitki atıkları da polimerlerde dolgu olarak kullanılabilir. Bu dolguların öncelikli kullanım nedeni kolay bulunabilmesi ve ucuz olmasıdır. Kullanım avantajlarından en önemlisi ise kullanılan üretim elemanlarına (vida gibi) daha az zarar vermesi olarak söylenebilir.

Ülkemiz pek çok bölgesinde geniş tarım alanlarına sahiptir. Buradaki üretimlerden sonra bitkilerin kalan kısımları ya topraklara gömülme ya da yakılmaktadır. Dolgu takviyesi olarak kullanılması bu atıklar için yeni bir kullanım alanı oluşmasına sebep olmaktadır [7].

1.4. Yeşil Kompozitler

Dünyadaki doğal kaynakların hızla azalması, çevresel kaygılar vb. nedenlere bağlı olarak sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir ürünlerin üretilmesi, günümüz endüstrisinin üzerinde önemle durduğu bir konudur. Son yıllarda, bu kapsamda düşük çevresel etki, geri dönüştürülebilir olması ve proses kolaylığı gibi nedenlerle termoplastik

kompozitlerin üretiminde tarımsal gıda endüstrisi atıklarından veya yan ürünlerinden elde edilen doğal maddelerin kullanılmasıyla ilgili çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Kompozit sektöründe “yeşil kompozitler” olarak isimlendirilen bu çevreci çalışmalar, daha çok sürdürülebilir kaynaklardan gelen polimer ve takviye malzemelerinin (lif veya dolgu) kullanımını üzerine yoğunlaşmaktadır.

Yeşil kompozitler, bir polimer matrisinin doğal elyaflarla takviye edildiği belirli bir sınıf kompozitlerdir ve bunlar polimer biliminde ortaya çıkan bir alanı temsil etmektedir. Biyolojik olarak parçalanabilir, yenilebilir kaynaklardan elde edilen yeşil kompozitler, geleneksel sentetik plastiklerden kaynaklanan çevresel problemlere ve fosil kaynaklarına alternatifler bulması sebepleriyle büyük ilgi görmekte ve birçok endüstriyel uygulamada kullanılabilirler [14].

Yeşil kompozitler, üç temel belirleyici koşulu vardır.

- Hem matrisin hem de takviye edici malzemenin ikisinin de doğal kaynaklardan olmasından ötürü bütünü yenilenebilir malzemelerdir.
- Matrisin yenilebilir kaynaklardan olması fakat takviye bileşeninin sentetik olduğu yani yarı yenilebilir kompozitler.
- Sentetik matris içerisine yenilebilir takviye edici bileşen eklenmesiyle oluşan yani yarısını yenilenebilir kompozitler [14].

1.4.1. Ahşap polimer kompozitleri

Ahşap polimer kompozitleri odun ya da doğal lifler yani içerisinde selülozik yapılar barındıran takviye edici ile takviyelendirilen termoplastik malzemelerdir. Bu kompozitlerin üretiminde yaygın olarak, yüksek sıcaklıklarda selülozik yapının bozunacağından dolayı işleme sıcaklığı diğerlerine göre nispeten düşük olan polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polivinil klorür (PCV) gibi termoset malzemeler matris olarak kullanılır. Odun lifleri maliyet düşürmek amacıyla kullanılır. Kolay bulunabilir olması, ucuz olması, düşük yoğunluğa sahip olması gibi sebeplerden dolayı seçim sebebidir. Aynı zamanda yenilenebilir kaynaklıdır.

Ahşap polimer kompozitlerinin dezavantajları;

- Üretim sıcaklığının yüksek olmasından dolayı ahşap malzemenin renginin değişmesine sebep olabilir.
- Üretim prosesindeki pek çok değişiklik olmasından dolayı bunları çözebilecek kalifiye elemana ihtiyaç vardır.
- Yapılardaki hidrofobik ve hidrofilik yapılarından dolayı uyumlaştırma sorunları olabilir.
- Doğal lif bulunan hammaddelerinden düzgün depolanmamasından kaynaklı bozulmalar meydana gelebilir (Böceklenme ve mantar gibi.) [8].

Ahşap polimer kompozitlerinin avantajları;

- Odun liflerinin kullanılmasıyla maliyet görünür biçimde düşer.
- Petrol türevlerinin kullanımının azaltılması karbon salınımını azaltır.
- Üretimin kolaylığı.
- Termoplastik olacağından istenilen şekilde kalıplanarak şekil verilebilir.
- Boya ve desen kalıplarıyla çeşitli yeni yüzeyler elde edilebilir.
- Ahşabın çevresini saran matris sayesinde rutubete karşı kararlılıkları ahşap malzemelere göre iyidir.
- Diğer dolgu malzemeleriyle kıyaslandığında yoğunlukları daha düşüktür.
- Atık plastik ve odunların tekrardan kullanabilmesi çevreci bir etki yaratır [8].

1.4.1.1. Sarıçam Ağacı Talaşı

“Çamgiller” familyasına ait olan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ağacı dünyada en çok bulunan ağaç çeşididir. Sarıçamlar, boyu 40 metreyi aşan, sivri tepeleri olan, narin gövdeli ve ince dallı bir çam ağacı çeşididir. İsminin sarıçam olmasının sebebi gövde renginin tilki sarısı olmasından dolayıdır. Güneşi çok severler. Daha çok killi topraklarda yetişirler. Soğuk iklime ve rüzgâra dayanıklıdır. Kafkaslar, Kuzey Asya, Sibiryâ ve Avrupa'nın pek çok bölgesinde sıklıkla karşımıza çıkar. Sarıçam dünya da ve ülkemizde büyük bir ekonomi değere sahiptir. Şekil 1.16'da sarıçam ağacı görseli verilmiştir [23].



Şekil 1.16 Sarıçam Ağacı [24]

Çam çeşitleri arasında coğrafi olarak en çok alan kaplayanı sarıçamlardır. Asya ve Avrupa'da en çok doğal yayılışa sahip ağaç çeşididir. Sarıçam ormanları ülkemizdeki orman alanlarının yalnızca %5'ini oluşturmaktadır. Türkiye'deki en güney sınırı Kayseri-Pınarbaşı, doğuda Kağızman, batıda Bursa-Orhaneli'dir. Ülkemizdeki sarıçam ağaçlarının kapladığı alan 757.426 hektardır [24]. Şekil 1.17'de sarıçam ağacının Türkiye'deki dağılımı verilmiştir.

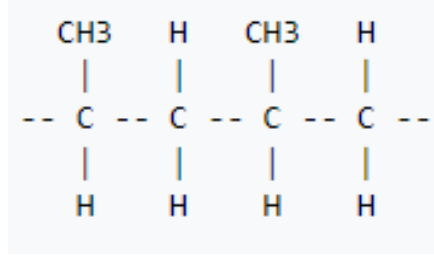


Şekil 1.17 Sarıçam Ağacının Türkiye'deki Dağılımı [25]

Sarıçam, inşaat, marangozluk, maden ve gemi direkleri çeşitli ev eşyaları ve ambalaj sandıkları gibi pek çok alanda kullanılır [24].

1.4.1.2. Polipropilen

Polipropilen (PP) pek çok kullanım alanına sahip bir termoplastik polimer malzemedir. Düşük maliyetli, yorulmaya karşı dirençli ve iyi bir darbe dayanımına sahip bir polimerdir. Bu özelliklerinden dolayı ABS gibi mühendislik polimerlerinin yerine kullanılmasına olanak sağlar. Sürtünme katsayısı düşüktür. İyi bir kimyasal dirence sahiptir. Opak bir malzemedir. Sert ve sağlamdır. Özgül ağırlığı düşüktür. Yalıtkan bir malzemedir. Düşük sürtünme değeri vardır. İşleme yöntemlerinin pek çoğunda kullanılabilir. Şekil 1.18'de PP formülü verilmiştir.



Şekil 1.18 PP Formülü [26]

Maliyeti düşük olduğundan dolayı ticari kullanım alanları çok fazladır. Günlük hayatımızda pek çok alanda karşımıza çıkar. Örneğin, banyo gereçleri, mutfak eşyaları, bahçe mobilyaları, elektrik gereçleri, fanlar ve otomotiv gibi alanlarda kullanılan bir malzemedir. En sık kullanıldığı alan ise içme suları taşındığı borularda kullanılır [27].

1.5. Literatür Taraması

Son zamanlarda yapılan çalışmalara bakıldığında polimerlere katkı malzemesi eklenerek hem maliyet düşürücü hem de mukavemet arttırıcı çalışmalar yaygın olarak yapılmaktadır. Takviye malzemeleri polimere maliyeti düşürmek amacıyla kullanılan bileşimlerdir. Bundan dolayı takviye edici malzemenin fiyatının kullanılan polimerden yüksek oranda düşük olmalıdır. Polimere katılan takviye edilen malzeme miktarı bir değerden sonra polimerdeki mekanik özellikleri zayıflatır ve polimerin sertliğini arttırır. Bu yüzden kullanılacak takviye edici bileşenin bir maksimum değeri vardır. Takviye

bileşenleri polimerin maliyetini düşürmesinin yanında polimer malzemeye sertlik, mekanik dayanım, ısı dayanımı, güzel görünüş, kimyasal direnç ve fiziksel özelliklerinden bazılarını olumlu yönde etkiler.

Literatür incelendiğinde, kompozit üretiminde kullanılan doğal elyaf çalışmalarının çok fazla olduğu görülmüştür.

Yöney ve arkadaşları (2008), Keten Lif Takviyesinin Vinilester Matrisli Kompozitlerin Darbe Mukavemeti Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, vinilester reçinesi farklı miktarlarda keten ve bambu lifleriyle takviyelendirilerek bir kompozit numunesi elde edilmiştir. Darbe deneyinde lif oranlarının artmasıyla darbe direncinin arttığını gözlemlemişlerdir. Keten elyafın kullanıldığı kompozitin darbe direnci diğer numunelerden iki kat yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Darbe mukavemetindeki artış, numunelerin kırık yüzeyleri üzerinde yapılan SEM incelemeleri tarafından da desteklenmiştir. Yapılan incelemeler, kırılma enerjisinin hem liflerin kopması hem de liflerin sıyrılması yoluyla harcandığını göstermiştir [28].

Diğer bir çalışma ise Sağbaş ve arkadaşları (2009), 'nin Keten Lifleri ile Takviye Edilmiş Polyester Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması üzerine yapılan çalışmadır. Çalışmalarında değişik oranlarda keten elyafı polyester bazlı reçine kullanılarak bir kompozit malzeme elde edilmiştir. Keten liflerinin oranı ağırlıkça %0-30 arasında değiştirilmiştir. Elyaf takviyesiyle mekanik özelliklerde artma gözlemlemişlerdir [29].

Gu ve Liyan (2008), keten elyaf ile hazırlanmış oldukları polipropilen kompozitlerinin mekanik özelliklerine olumlu sonuç verdiklerini belirtmişlerdir [30].

Boriaa ve arkadaşları (2016), 'nin Hibrid Bazalt / Keten Vinilester Kompozitlerin Düşen Ağırlık Etki Davranışlarının Modellenmesi adlı çalışmalarında Bazalt elyaf derileri arasında çekirdek olarak keten lif tabakaları kullanmışlardır. Bu iki elyaf arasında oluşan uyum (sinerjik etki) gözlemlenmiştir. Bu birleşimin, açık bir şekilde, uygulanan baskılarda plastik bir davranış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Keten elyaf kullanımının bazaltın sertliğini ve kırılma enerjisini azalttığını ve kompozite numunesine daha fazla esneklik kazandırdığı yapılan testler sonunda gözlemlemişlerdir [31].

Huo ve arkadaşları (2013), çalışmalarında keten elyaf takviyeli kompozitlere yüzey modifikasyonun etkilerini incelemişlerdir. Değişik işlemlerden geçirilen keten elyaflar ile hazırlanan 4 farklı keten/vinilester kompozitleriyle E-camı/vinilester kompozitin mekanik performanslarını karşılaştırmışlardır. Hazırlanmış olan keten/vinilester kompozit numunesi sırasıyla; herhangi bir işlem yapılmamış keten ile üretilen keten/vinilester kompozit numunesi, elyafı suyla yıkanmış keten/vinilester kompozit numunesi, asetik anhidridle işlem görmüş keten elyafla hazırlanmış keten/vinilester kompozit numunesi ve akrilik asitle işlenmiş keten elyafla hazırlanmış keten/vinilester kompozittir. Kompozit numuneleri reçine transfer kalıplama yöntemiyle üretilmişlerdir. Akrilik asit işlemi, işlem görmemiş kompozit numunesine kıyasla hem ara yüzey kayma mukavemetini hem de katmanlar arası kayma mukavemetini yaklaşık olarak %30 oranında artırmıştır [32].

Ramnath ve arkadaşları (2014), çalışmalarında jüt, keten ve cam elyaf takviyeli karma kompozit numunesinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Jüt ve cam elyaf ile takviyelendirilmiş kompozit numuneleriyle karşılaştırmışlardır. Kompozit numunelerini elle yatırma yöntemi kullanılarak üretmişlerdir. Test sonuçlarına göre karma doğal kompozitin çok iyi çekme ve eğilme özellikleri olduğu görülmüştür [33].

Zhang ve arkadaşları (2013), çalışmalarında tek yönlü keten ve cam elyaf ile takviyelendirilmiş karma kompozit numunelerinin mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmayla sentetik ve doğal elyafların bir arada kullanıldığında etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Karma kompozitlerin cam elyaf oranının artmasıyla gerilme özelliklerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Keten ve cam elyafın istiflenme sırasının gerilme mukavemetini ve deformasyonunu etkilediği görülmüştür. Karma kompozit numunelerinin cam elyaf takviyeli kompozit numunelerine kıyasla kırılma tokluğu ve katlar arası kayma mukavemetinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu makro ölçekli sonuçlar keten elyafın yapısı, keten elyafın pürüzlü yüzeyi ve keten-cam elyaf katmanları arasında kurulan köprü ile ilişkilendirilmiştir [34].

Croccolo ve arkadaşları (2015), iki farklı çevreye duyarlı reçineyi aynı keten elyaflar ile takviye ederek üretilen kompozit numunelerinin mekanik özellikleri arasında karşılaştırma yapmışlardır. Hazırlanan kompozit numunelerine çekme, eğme ve kayma gibi mekanik testler yapılmıştır. Çekme ve eğilme testlerinin sonuçları standartlara uygun

olduğu gözlemlenmiştir ve sonuçlar arasında karşılaştırılma yapılmıştır. Sonuçlara göre izohtalik reçineyle hazırlanan kompozitin mukavemet ve sertlik değerleri vinilester reçineyle hazırlanmış kompozit numunesinden daha iyidir olduğunu gözlemlemişlerdir. İzofhtalik reçineyle hazırlanmış kompozit numunesine mikroskobik ortamda bakılmıştır ve takviye ve matris arasında yapışmanın iyi olduğu görülmüştür. Sonuç olarak İzofhtalik reçineyle keten elyaf lifi kompozitinin mekanik özellikler üzerinde etkisinin iyi olduğunu ve yaygın kullanılan reçineler yerine kullanılabileceği gözlemlenmiştir [35].

Santosh ve arkadaşları (2021) çalışmalarında yaygın bir kullanıma sahip olan lif takviyeli polipropilen kompozitlerin geliştirilmesini incelemiştir. Çalışma kırılma tokluğu davranışının incelenmesine ve mekanik özelliklerin daha ileri karakterizasyonuna odaklanmıştır. Numunelerin üretimi enjeksiyon kalıplama tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kırılma tokluğu testleri standartlara uygun olarak yapılmıştır. Mekanik özellikleri değerlendirmek için darbe, çekme, eğilme dayanımı ve sertlik testleri yapılmıştır. Doğal hindistan cevizi lifiyle güçlendirilmiş kompozitlerin, saf polipropilen ile karşılaştırıldığında daha yüksek kırılma dayanıklılığı değerleri ve gelişmiş mekanik özellikler gösterdiği bulunmuştur [36].

McGrauran ve arkadaşları (2020), çalışmalarında, polipropilen ile yüksek yüklü bir dolgu maddesinin kullanılmasının etkisini belirlemek için yumurta kabuğu ve kümes hayvanı altlığı (kül haline getirilmiş-PL (kül)) incelemiştir. Her iki malzemenin karakterizasyonu büyük miktarlarda kalsiyum karbonattan (yaygın polimer dolgu maddesi) oluşan yumurta kabuğu ile her birinin polimer kullanımına uygun mineraller içerdiğini göstermişlerdir. Her ikisi de ağırlıkça %55'e kadar yükleme ile polipropilene ilave edilmiş ve test numuneleri enjeksiyonla kalıplamayla yapılmıştır. Nispeten büyük partikül boyutunun kullanılmasına rağmen Young modülünde, eğilme özelliklerinde ve darbe mukavemetinde iyileşme gözlemlenmiştir. Bununla birlikte gerilme mukavemetindeki ve uzamadaki azalmalarla daha kırılğan hale gelmiştir. Karakterizasyon hem yumurta kabuğunun hem de külün polipropilene yapıştırıldığını, partiküller ve matris arasında tam temas sergilediğini, bir polimer dolgu maddesi potansiyeli doğruladığını ve yüksek miktarlarda yağ bazlı polimer hammaddesinin yerini aldığı gösterilmiştir [37].

Yang ve arkadaşları (2004), çalışmalarında, termoplastik polimer kompozite takviye dolgu maddesi olarak lignoselülozik malzemelerin kullanılma olasılığını belirlemek için matris olarak polipropilen ve takviye dolgu maddesi olarak pirinç kabuğu unu kullanmışlardır. Polimerin dolgu yüküne göre kompozitin morfolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerine bakılmıştır. Ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 numune hazırlanmış ve numuneler farklı test sıcaklıklarında (-30, 0, 20, 50, 80ve 100°C) çekme testi yapılmıştır. Dolgu yükü arttıkça kompozitlerin gerilme mukavemetleri biraz azalmış, gerilme modülü geliştirilmiştir. Izod darbe dayanımları pirinç kabuğu unu eklenerek düşürülmüştür. Kompozit daha yüksek çapraz kafa hızında kırılma hale gelmiş ve artan test sıcaklığıyla plastik deformasyon göstermiştir [38].

Rana ve arkadaşları (2003), jüt-PP granülleri bir karıştırıcıda karıştırmış ve enjeksiyonla kalıplama kullanarak kalıplamışlardır. Genel olarak, dayanıklılıktaki artışın azalan gerilme/eğilme özellikleri olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte azalmanın/artışın boyutu değiştiricinin türüne, dozuna ve jüt-PP sistemi ile uyumluluğuna bağlı olduğu bulunmuştur. Darbe modifiye edicinin yüzde uyumlaştırıcı üzerindeki etkisi de analiz edilmiş ve hem darbe hem de gerilme özelliklerinin uyumlaştırıcı ile artış eğilimi gösterdiği, ancak eğilme özelliklerinin bunun tersi olduğu bulunmuştur. Lif yüklemesindeki artışla beraber darbe mukavemetindeki artış olmuş. Çekme ve eğilme özelliklerinin %40 fiber yüklemesinde optimize ettiği bulunmuştur [39].

Peng ve arkadaşlar (2016), bu çalışmada lignin diatomit (L-DMT) ve lignin montmorillonit (L-MMT) olmak üzere iki lignin-kil kompoziti hazırlamıştır. Daha sonra ağırlıkça %1 DMT, MMT, L-DMT ve L-MMT odun unu/PP kompozitine eklenmiştir. Hızlandırılmış UV ayrışma sırasında yüzey rengi, eğilme ve çarpma özelliklerindeki değişiklikler, UV-görünür spektrumlar, taramalı elektron mikroskopu ve zayıflatılmış toplam yansıma Fourier transform kızılötesi spektroskopisi ile karakterizasyonla test edilmiştir. Sonuç olarak, ligninin işlemden sonra MMT'nin yüzeyinde biriktiğini ve hatta bir kısmının DMT'nin mikro gözeneklerine nüfuz ettiği, tüm katkı maddelerinin iyi bir UV soğurma yeteneği sergilediği ve kompozitleri degradasyondan farklı yüzeylerde koruduğu, lignin-kil kompleksleri içeren kompozitler daha az şiddetli yüzey bozulması ve hava şartları sırasında mekanik özelliklerinde daha az azalma gösterdiği gözlemlenmiştir [40].

Hattatuwa ve arkadaşları (2002), çalışmalarında, modifiye edilmemiş ve öğütülmüş talk ve pirinç kabuğu (RHP) dolgu maddelerini, polipropilenle ayrı ayrı 180°C ve 50 rpm'de bir Brebender ve plasticorder dahili bir mikserde karıştırarak kompozitler elde edilmiştir. Brebender tork gelişimi ve kompozitlerin dolgu tipi ve dolgu yüküne göre mekanik özelliklerini araştırılmıştır. Mekanik özellikler açısından Young modülü ve eğilme modülü artarken, akma dayanımı ve kopma uzaması her iki kompozit türü için dolgu yükündeki artışla azaldığını gözlemlemiştir. Bu kompozitlerden pirinç kabuğu kompozitleri, talk kompozitlerine göre daha düşük akma mukavemeti, Young modülü, bükülme modülü ve kopmada daha yüksek uzama sergilemiştir [41].

Sanadi ve arkadaşları (1995) çalışmalarında, dolgu maddesi olarak kenaf kullanmışlardır. Kenaf, sak lifleri için hasat edilen, hızlı büyüyen bir yıllık büyüme bitkisidir. Bu lifler mükemmel spesifik özelliklere sahiptir ve plastiklerde olağanüstü takviye edici dolgu maddeleri olma potansiyeline sahiptir. Deneplerinde lifler ve PP termokinetik karıştırıcıda karıştırılmış ve %60'a kadar değişen oranlarda enjeksiyonla kalıplanmıştır. Polar olmayan matrisle polar lignoselülozik lifler arasındaki etkileşimi ve yapışmayı geliştirmek için meletlanmış bir polipropilen kullanılmıştır. Ağırlıkça %50 kenaf-PP kompozitinin spesifik gerilme ve bükülme modülü ağırlıkça %40 cam elyaf-PP kompoziti ile karşılaştırıldığında olumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar kenaf liflerinin doğru işleme koşulları kullanıldığı ve daha yüksek su emiliminin kritik olmadığı uygulamalarda kullanıldığı sürece inorganik mineral bazlı takviye liflerine uygun bir alternatif olduğunu göstermektedir [42].

2.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Sarıçam ağacı talaşı

Bu çalışmada kullanılan sarıçam talaşı testere atığı olarak Beykoz'da bulunan Özdemir Orman Ürünlerinden temin edilmiştir. Talaşlar elenerek 0-500 mikrometre boyutlarında kullanılmıştır.

2.1.2. Geri dönüşüm polipropilen

Bu çalışmada yaygın kullanımı ve kolay bulunabilirliği sebepleriyle geri dönüşüm polipropilen kullanılmıştır. Geri dönüşüm polipropilen Emre Plastikten temin edilmiştir.

2.2. Kullanılan Ekipman ve Cihazlar

2.2.1. 0-500 mikron test eleği

Bu çalışmada kullanılan test eleği Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Test Laboratuvarından temin edilmiştir. Kullanılan elek Kapder firmasının 0-500 mikrometre eleğidir. Şekil 2.1 'de test eleğinin görseli verilmiştir.



Şekil 2.1 0-500 Mikron Test Eleği

2.2.2. Ekstrüzyon cihazı

Bu çalışmada kullanılan ekstrüzyon cihazı olarak Zebra Polimer’de bulunan Haisi marka çift vidalı ekstrüzyon hattı kullanılmıştır. Şekil 2.2’de kullanılan çift vidalı ekstrüzyon hattının görseli verilmiştir.



Şekil 2.2 Çift Vidalı Ekstrüzyon Hattı

2.2.3. Enjeksiyon cihazı

Test numunelerinin basımı için Yalova Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında bulunan Engel Spex marka enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Şekil 2.3’de kullanılan enjeksiyon cihazının görseli verilmiştir.



Şekil 2.3 Engel Markalı Enjeksiyon Cihazı

2.2.4. Çekme ve üç nokta ile eğilme test cihazı

Çekme test için Uzunoğlu Plastik San. Tic. Ltd. Şti. laboratuvarında bulunan Zwick marka test cihazı kullanılarak test edilmiştir. Test hızı 5mm/dk olarak, test sıcaklığı ise oda sıcaklığı olarak seçilmiştir.

Üç nokta ile eğilme testi için ise İlkalem A.Ş. laboratuvarında bulunan Zwick marka test cihazı kullanılarak test edilmiştir. Test hızı 10mm/dk olarak, test sıcaklığı ise oda sıcaklığı olarak seçilmiştir. Şekil 2.4’de çekme ve üç nokta eğilme testi için kullanılan Zwick marka test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Zwick Marka Çekme-Üç Nokta Eğilme Test Cihazı

2.2.5. Darbe testi cihazı

Darbe testi cihazı olarak Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Test Laboratuvarındaki Zwick B5113.30 marka test cihazında 5,4 J'lük çekiç ile test gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.5’de darbe test cihazı görseli verilmiştir.



Şekil 2.5 Darbe Test Cihazı

2.2.6. Sertlik test cihazı

Sertlik testleri için standart test numuneleriyle her bir numune için 5 adet numune kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Test Laboratuvarında Zwick Shore D cihazıyla yapılmıştır. Bu çalışma için yapılan sertlik testinde Shoremetre D kullanılmıştır. Test 10 saniye beklenerek yapılmıştır. Şekil 2.6’da sertlik test cihazı görseli verilmiştir.



Şekil 2.6 Sertlik Test Cihazı

2.2.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

SEM incelemelerinde Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında ZEISS EVO MA 10 cihazı kullanılmıştır. Şekil 2.7’de SEM numunesi kaplama cihazı, Şekil 2.8’de ise ZEISS marka SEM cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.7 SEM Numunesi Kaplama Cihazı



Şekil 2.8 SEM Cihazı

2.3. Numune Hazırlama

Bu çalışmada sanayide yaygın kullanılan bir polimer olduğundan matris olarak geri dönüştürülmüş polipropilen granül kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak yaygın bulunabilirliği sebebiyle sarı çam talaşı kullanılmıştır.

Üretilcek kompozit malzeme numuneleri enjeksiyon ile basılarak üretilmiştir. Enjeksiyon işlemin önce birkaç ön işleminden geçmiştir.

Öncelikle temin edilen sarıçam talaşı 0-500 mikron elek kullanılarak istenilen boyutlara getirilmiştir. Şekil 2.9’da elekten geçirilmiş sarıçam talaşının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.9 Elekten Geçirilmiş Sarıçam Tozu

Eleme işleminden sonra kompozit oranları %10, %20, %30 ve %40 oranlarında tartılarak hazırlanmıştır. %40 oranında doygunluğa ulaştığı görüldüğünden %50’lik kompozit hazırlanmamıştır. %40 oranında doygunluğa ulaştığını ekstrüde işleminde elyafların sürekli kopmasından anlaşılmıştır. Hazırlanan kompozit karışım oranları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Kompozitin Karışım Oranları

Numune Adı	SARIÇAM %, Ağırlıkça	POLİMER % Ağırlıkça
PP	-	Polipropilen (100)
SÇ10PP	Sarıçam Talaşı (10)	Polipropilen (90)
SÇ10PP	Sarıçam Talaşı (10)	Polipropilen (80)
SÇ10PP	Sarıçam Talaşı (10)	Polipropilen (70)
SÇ10PP	Sarıçam Talaşı (10)	Polipropilen (60)

Numuneler 2'şer kilo olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar Zebra Polimer'de ekstruderden geçirilerek homojen granül hale gelmesi sağlanmıştır.

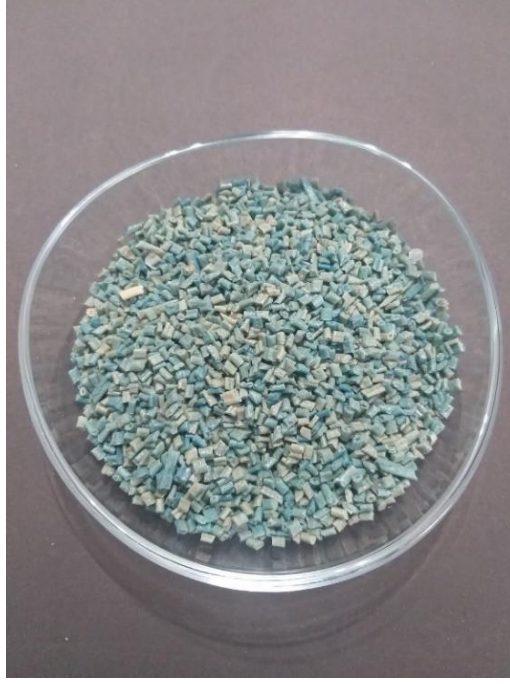
Şekil 2.10'da geri dönüştürülmüş PP granül gösterilmiştir. Şekil 2.11, Şekil 2.12, Şekil 2.13, Şekil 2.14'de sırasıyla ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 sarıçam ile dolgulu geri dönüşüm PP granülleri gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Geri Dönüşüm PP



Şekil 2.11 Ağırlıkça %10 Sarıçam Dolgulu Geri Dönüşüm PP Granül



Şekil 2.12 Ağırlıkça %20 Sarıçam Dolgulu Geri Dönüşüm PP Granül



Şekil 2.13 Ağırlıkça %30 Sarıçam Dolgulu Geri Dönüşüm PP Granül



Şekil 2.14 Ağırlıkça %40 Sarıçam Dolgulu Geri Dönüşüm PP Granül

Ekstrüderde hazırlanan kompozit numuneleri, bir gün ön kurutma işlemi yapıldıktan sonra Engel Spex. enjeksiyon cihazınca da test numuneleri basılmıştır. Şekil 2.15’de enjeksiyon makinasında basılan kompozitlerin test numuneleri verilmiştir.



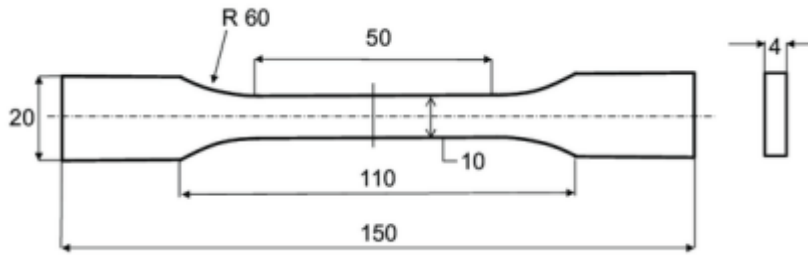
Şekil 2.15 Enjeksiyonda Basılan Kompozit Numuneleri

2.4. Mekanik Testler

Hazırlanan kompozit numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için darbe direnci, çekme, üç nokta eğilme ve sertlik testleri yapılmıştır.

2.4.1. Çekme testi

Çekme testi, polimer malzemelerin sünekliği, akma dayanımı ve çekme dayanımı gibi mekanik davranışlarını karakterize etmek için kullanılan yaygın bir test yöntemidir. Bu testte hazırlanmış numuneler bir çene yardımıyla cihaza bağlanır ve hızı sabit tutarak çekme işlemi yapılır. Test numune kopuncaya kadar devam eder. Test sonunda çıkan grafik bize gerilime karşılık gerinim eğrisini verir. Bu grafik bize numunenin bir kuvvete maruz bırakıldığında mekanik davranışının nasıl olacağını gösterir. Bu da malzememizin kullanım alanında nasıl davranış göstereceği hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Bu çalışmada hazırlanan test numunesi ölçüleri Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



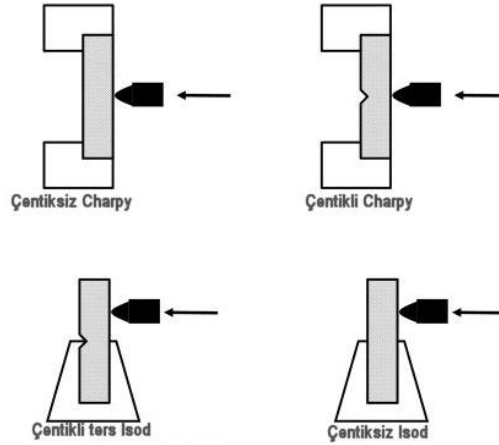
Şekil 2.16 Standart Çekme Test Numunesi

2.4.2. Üç nokta eğilme testi

Bu test polimer malzemeleri bir yük altındaki malzemenin şekil değiştirmesi olarak tanımlanır. Malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan bir testtir. Eğilme testiyle malzemenin eğilme modülünü, eğilme mukavemetini ve eğilme uzaması gibi değerleri elde edebiliriz. Yani bir yük altında malzemenin dayanımı hakkında bilgi sahibi olunur.

2.4.3. Darbe testi

Darbe testi, darbe mukavemetini yani kırılmaya gösterdikleri direnci bulmak için polimer malzemelere uygulanan bir test yöntemidir. Darbe testi, hızlı bir yük altındaki malzemelerin kırılma davranışları hakkında bilgi verir. Bu testin amacı, çarpma sırasında malzemenin enerjiyi emme yeteneğini göstermektir. Darbe testi iki yöntemle uygulanabilmektedir. Bunlar; Charpy ve Izod yöntemleridir. Bu iki yöntem farklı çekiçler kullanılarak uygulanır. Izod darbe testinde test numunesi dik konumlandırılır, buna karşılık Charpy darbe testinde numune yatay olarak konumlandırılır. Kırılma enerjileri düşük olan malzemeler için numune üzerine bir gerilme oluşturabilmesi için çentik açılır. Şekil 2.17’de darbe testi için test numune şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Darbe Testi Şematik Gösterimi [43]

2.4.4. Sertlik

Sertlik polimer malzemelerin deformasyon karşısında gösterdikleri dirençtir. Sertliğin belirli bir ölçüsü yoktur. Sertlik, malzemeye belirli bir yükü başka bir malzemeyle uygulayarak ölçülür. Yükün uygulanmasıyla malzemenin gösterdiği direnç akma dayanımıyla ilgili olduğundan bunu sonucunda sertlik hakkında yorum yapılabilir. Ölçülecek malzemenin türüne göre 2 farklı uç kullanılır. Bunlar; yumuşak kauçuk gibi malzemelerin ölçümlerinde kullanılan Shoremetre A (yük olarak 1 kg kullanılır) ve sert kauçuk gibi malzemelerin ölçümlerinde kullanılan Shoremetre D (yük olarak 5 kg kullanılır)'dir.

2.5. Nem Absorbe Testi

Polimerlerin genellikle su absorplama özellikleri düşüktür. Polimerlerin su absorbe etmesi kullanım alanına göre önemli bir özelliktir. Hidrojeller gibi malzemelerin suyu absorbe etmesi önemlidir. Fakat kullanım alanına göre özellikle yalıtım ürünlerinde suyu absorbe etmesi istenmeyen bir özelliktir. Bu nedenle polimerlere nem absorbe testi uygulanarak nemli ortamlarda ne kadar nem absorbe ettiği ölçülür. Ayrıca polimerlerdeki nem absorbe etmesi doğrudan işleme yöntemini de etkilemektedir. Eğer malzeme nem tutan bir polimer ise poliakrilonitril (PAN) gibi enjeksiyon işleminden önce ön kurutma işlemi uygulanmalıdır. Aksi takdirde enjeksiyon içerisinde buharlaşan su malzeme içerisinde boşluklara/kabarcıklara sebep olacaktır. Yüzey görünümünün önemli olduğu durumlarda görüntüyü bozacağından ya da oluşan hava kabarcığı sebebiyle oluşan boşluk mekanik özelliği olumsuz yönde etkileyecektir.

Bu çalışmada geri dönüştürülmüş polipropilenin su absorbe özelliği düşük olsa da takviye edici olarak kullanılmış sarıçam tozu suyu seven bir malzeme olduğundan nem absorbe testi uygulanmıştır.

Nem tutma testi için numuneler etüvde 75°C'de bir saat bekletilerek kurutulmuştur. Sonrasında oda sıcaklığına gelen numunelerin ilk tartımları alınmıştır ve 75 gün boyunca su içerisinde bekletilmiştir.

2.6. Mikroyapı İncelemesi

2.6.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

SEM analizi, parça üzerinden bir kesiti elektron ışınlarıyla tarayarak yakınlştırılmış görüntü almak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem katı inorganik maddelerin yüzey hasar analizlerinde de kullanılır. Yüksek çözünürlüklü görüntülerle yüksek oranda büyütme yaparak çok küçük malzemelerin bile tam ölçümlerini yapabilir.

Numune yüzeyinin net ölçüm yapılabilmesi 10 Å kalınlığında altın/paladyum ile şerit çekilmiştir.

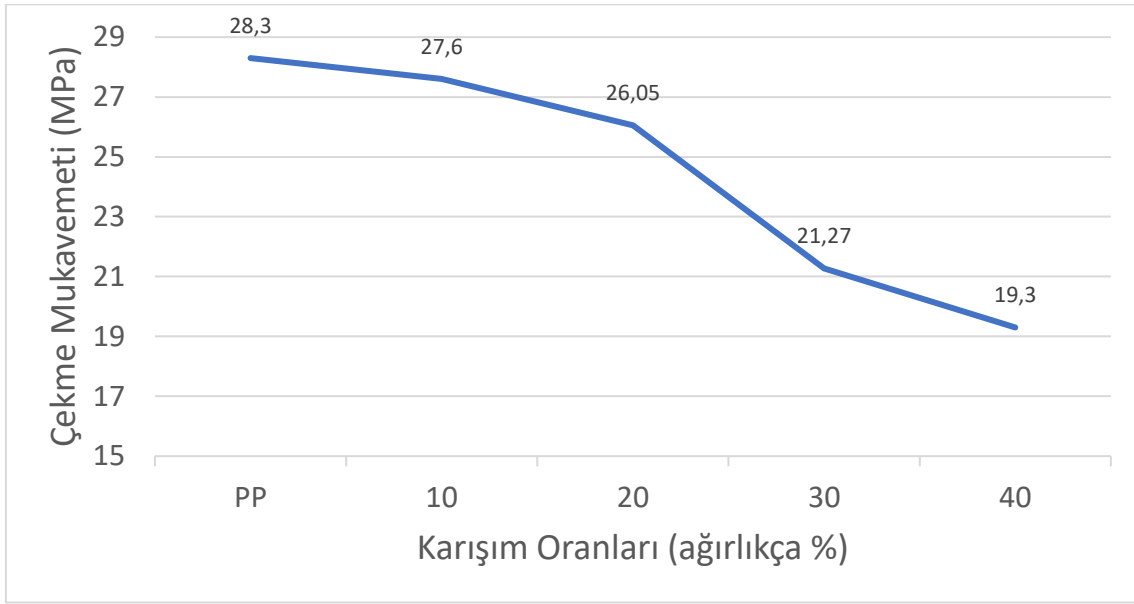
3.BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Çekme Mukavemeti

Polimer matrisli parçacık dolgulu bir kompozitin çekme mukavemeti, matrisin takviye edici bileşenle arasındaki yük transferi belirler. Çekme dayanımını taneciklerin boyutu ve oranı, matris ile partiküllerin arasındaki çekim kuvveti gibi faktörler etkilemektedir.



Şekil 3.1 Kırılan Test Numunesi Örneği



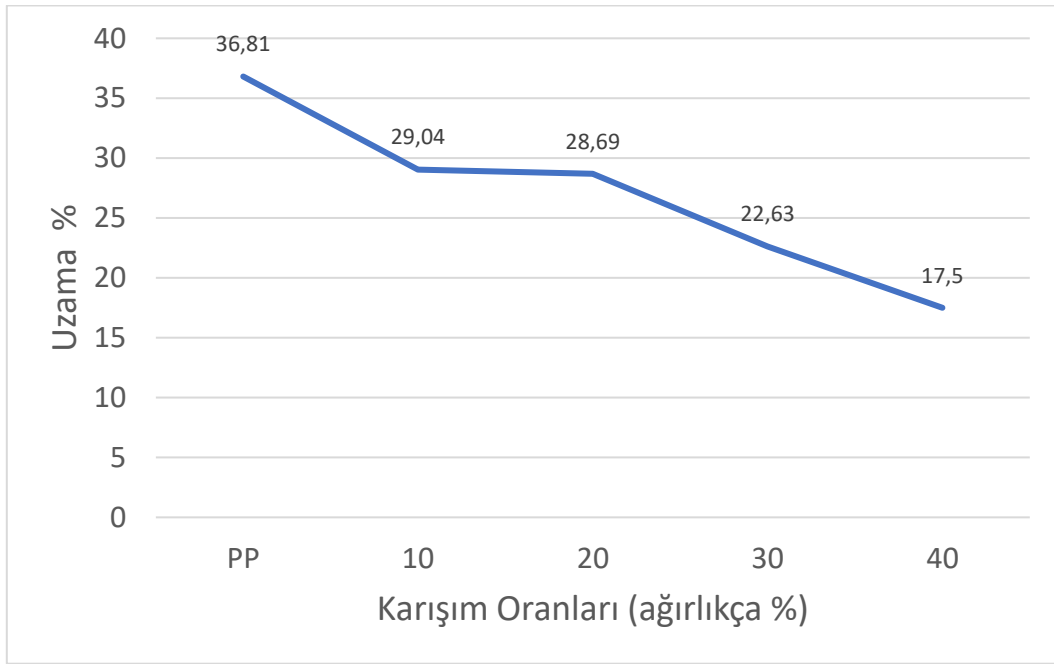
Şekil 3.2 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Çekme Mukavemeti Grafiği

Şekil 3.1.'de bir test numunesinin kırık örneği görülmektedir. Bu çalışmadaki çekme testi sonuçlarına göre kompozit numunelerindeki en yüksek çekme mukavemeti değerlerine %10 ve %20 sarıçam parçacık takviyeli kompozit numunelerinde ulaşılmıştır. En düşük çekme mukavemeti değerine %40 sarıçam parçacık takviyeli kompozit numunelerinde görülmüştür. Çekme testi sonuçlarına göre talaş oranının artmasıyla çekme

mukavemetinde azalma olduğu görülmüştür. Şekil 3.2’de çekme mukavemetinin karışım oranına karşı grafiği verilmiştir. Tüm kompozit numuneleri çekme testi sırasında gevrek kırılma göstermişlerdir.

3.2. Yüzde Uzama

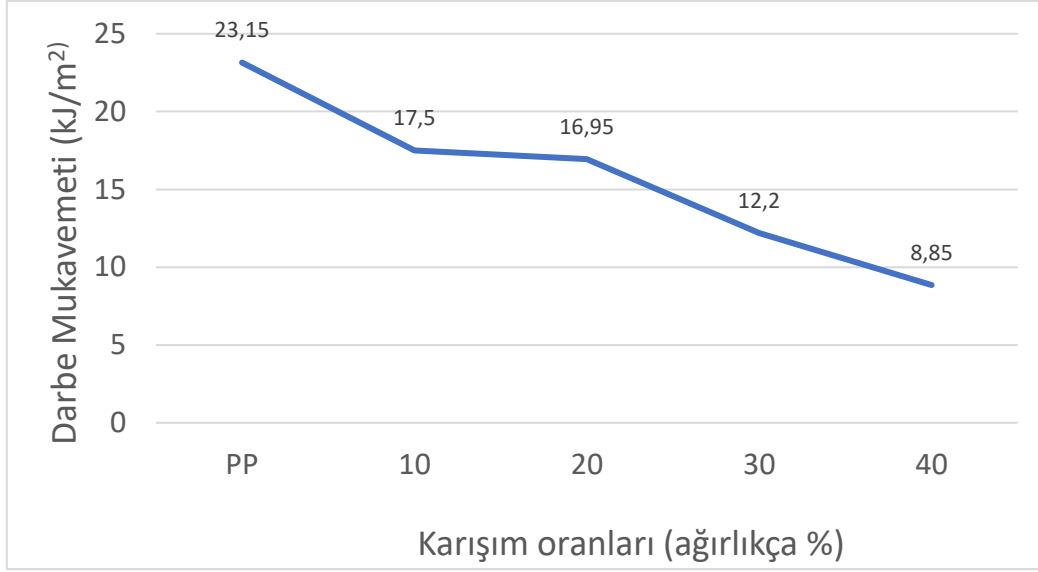
Sarıçam-PP kompozit test numunelerinin % uzama grafiği Şekil 3.3’de gösterilmiştir ve sarıçam talaşı eklendiğinde numunelerin % uzama değerlerinde azalma görülmüştür.



Şekil 3.3 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin % Uzama Grafiği

3.3. Darbe Mukavemeti

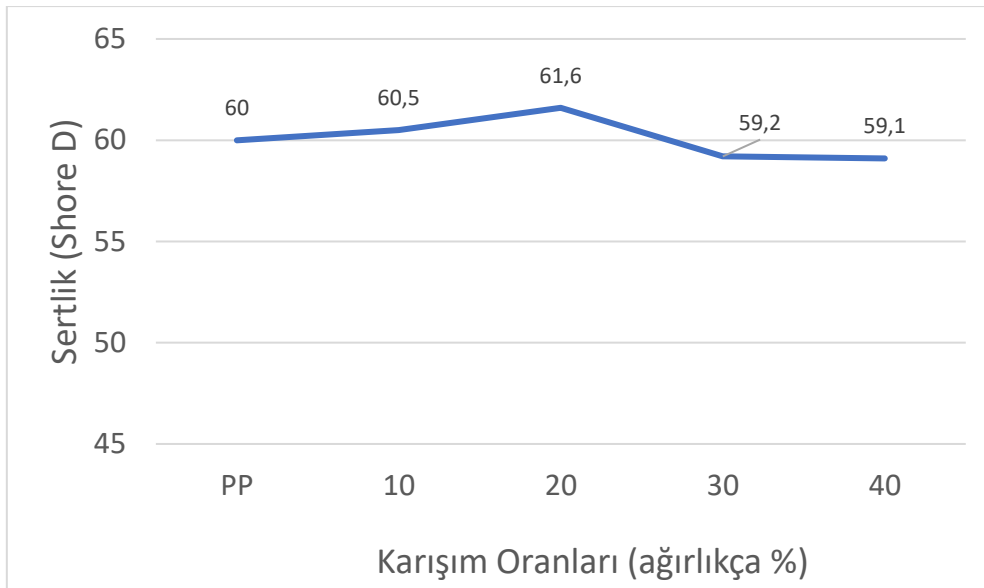
Polimer matrisli parçacık dolgulu bir kompozitin Izod darbe dayanımı incelendiğinde talaş oranının artması ile darbe mukavemetinde azalma meydana gelmektedir. Kompozit numunelerindeki en yüksek darbe mukavemetlerine sahip kompozit oranları % 10 ve % 20 olarak görülmüştür. Şekil 3.4’te sarıçam-PP kompozit numunelerinin darbe mukavemeti grafiği verilmiştir.



Şekil 3.4 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Darbe Mukavemeti Grafiği

3.4. Sertlik (Shore D)

Shore D sertlik değerleri incelendiğinde Şekil 3.5’de görüldüğü gibi sarıçam talaşı ilavesiyle sertlik değerinin kayda değer bir değişim göstermediği gözlemlenmiştir. Kompozit numunelerindeki en yüksek sertlik değeri %20 sarıçam takviyesinde 61,6 en düşük sertlik değeri ise %40 sarıçam takviyesinde 59,1 olduğu tespit edilmiştir.

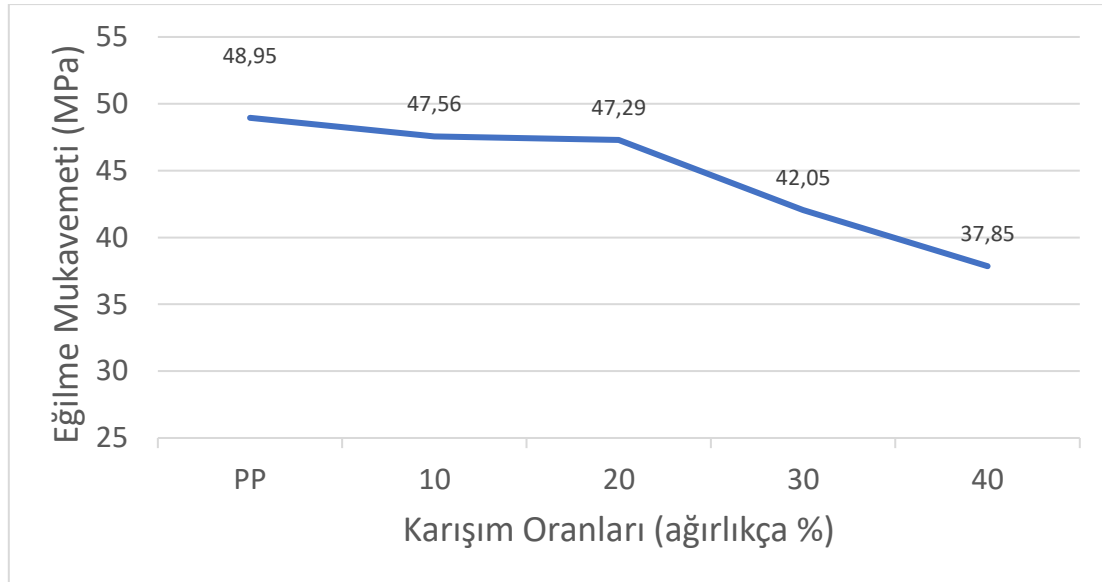


Şekil 3.5 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Sertlik Grafiği

3.5. Eğilme Mukavemeti

Polimer matrisli parçacık dolgulu bir kompozitin eğilme mukavemetini parçacık ve matris arasındaki bağlanma mukavemeti, takviye edilmiş parçacıkların boyu ve oranı gibi faktörler etkiler.

Üç noktada eğilme mukavemeti talaş oranına göre incelendiğinde, kompozit numunelerindeki en yüksek eğilme mukavemetlerine %10 ve %20 sarıçam parçacık dolgulu kompozitlerde elde edilmiştir. En düşük eğilme mukavemetine ise %40 oranında sarıçam parçacık dolgulu kompozitte görülmüştür. Şekil 3.6.'da karışım oranına karşılık eğilme mukavemeti grafiği verilmiştir.

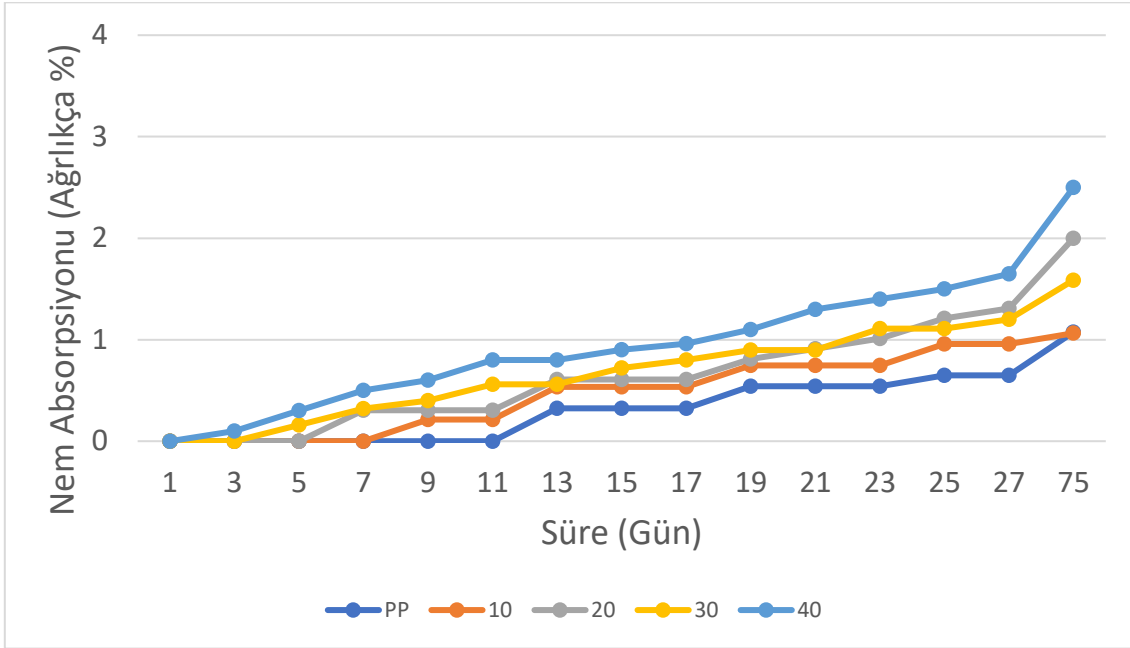


Şekil 3.6 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Eğilme Mukavemeti Grafiği

3.6. Nem Absorpsiyon Testi

Nem absorbe testi incelendiğinde kompozit numunelerinin nem absorpsiyonu, ölçüm günleri aralığında bariz oranda nem absorbe etmediği görülmüştür. Bunu sebebinin matris malzemesi olan polipropilenin nem absorbe özelliğinin çok düşük olmasıdır. Ayrıca matris malzemelerinin sarıçam parçalarını tamamen örterek nemle temasını engellemiş olduğu

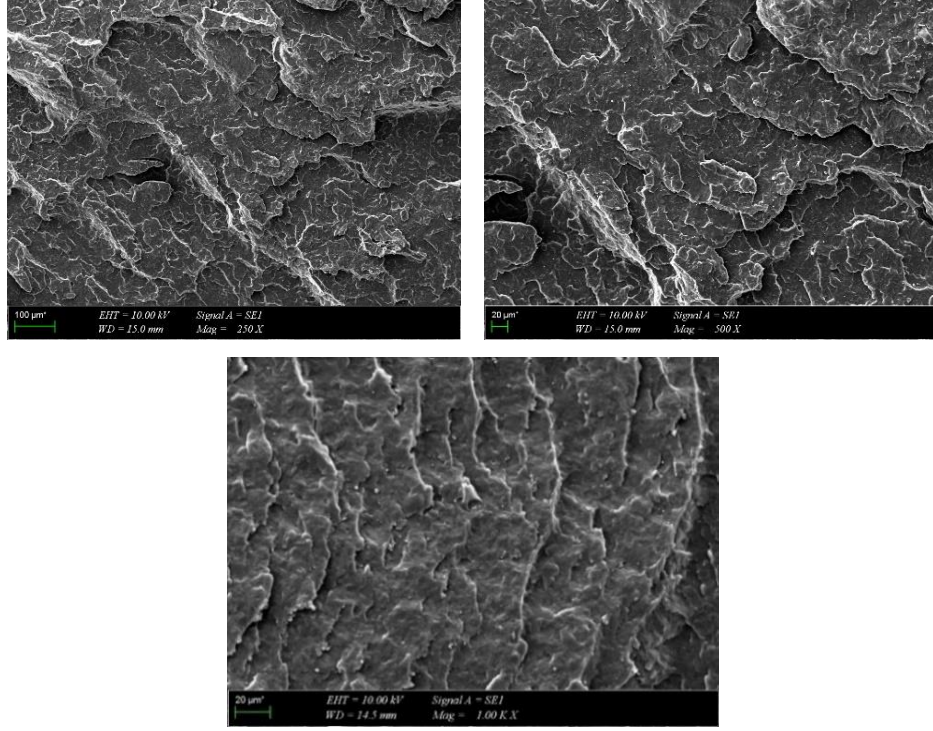
düşünülmektedir. Şekil 3.7’de bu çalışmadaki kompozit malzemelerin gün-nem değişim oranı grafiği verilmiştir.



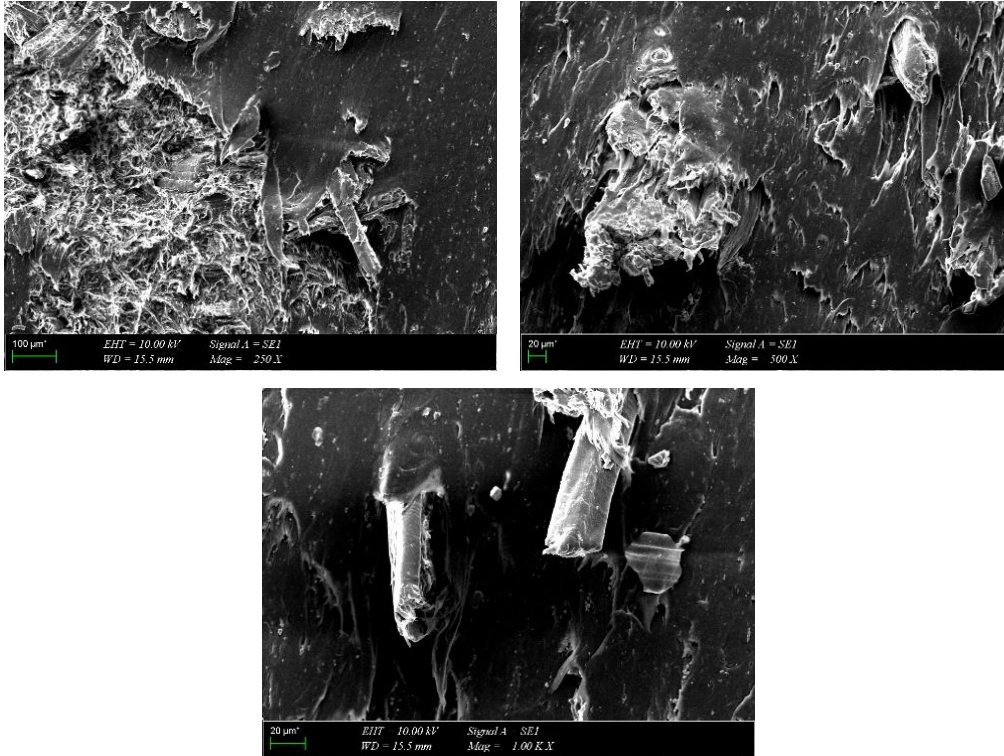
Şekil 3.7 Sarıçam-Geri Dönüşüm PP Kompozit Numunelerinin Günlük Nem Değişimi

3.6 SEM Görüntüleri

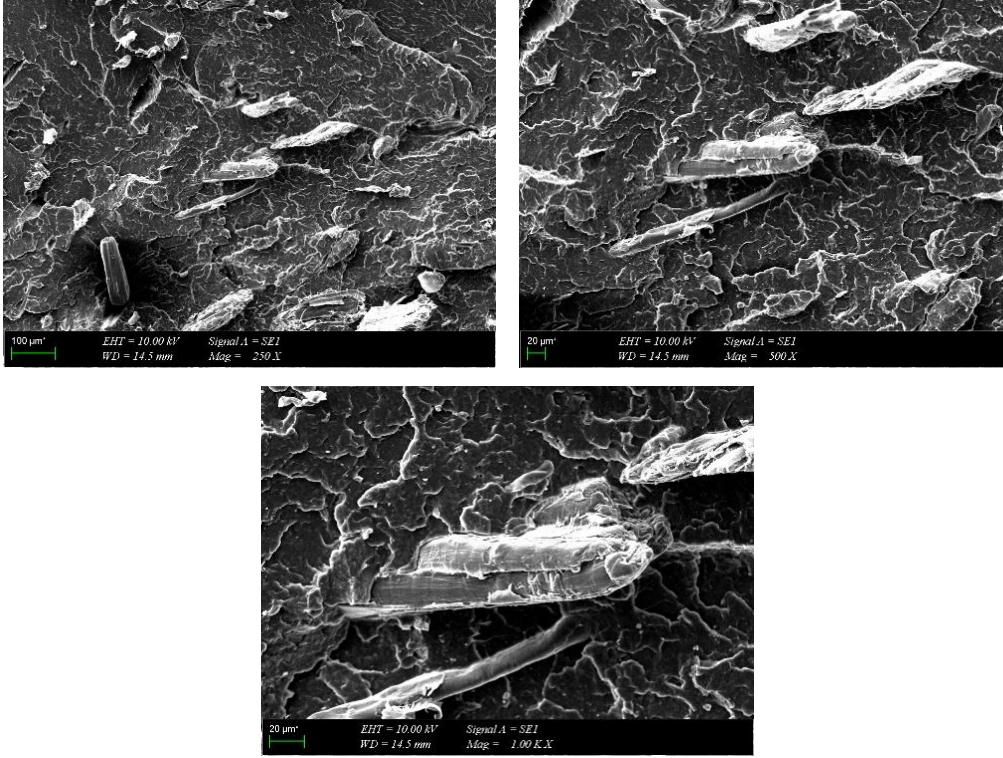
SEM görüntüleri Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Test Laboratuvarında bulunan ZEISS EVO MA 10 cihazıyla alınmıştır. Aşağıda her bir kompozit numunesi için farklı yakınlaştırma ölçekli SEM görüntüleri verilmiştir.



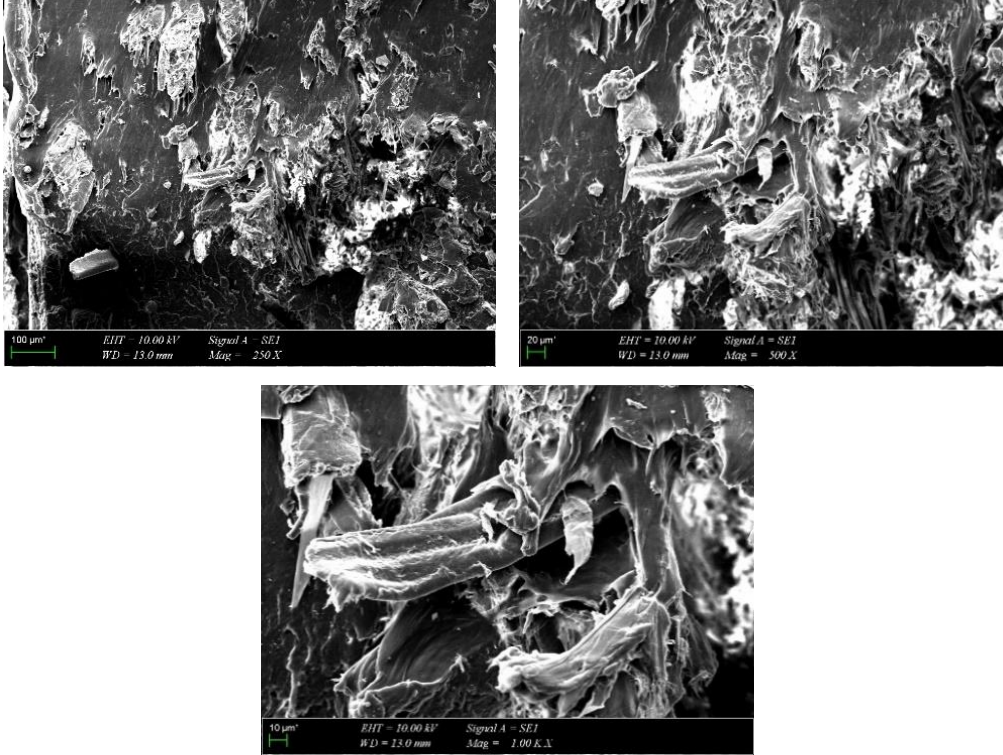
Şekil 3.8 Geri Dönüşüm PP SEM Görüntüleri



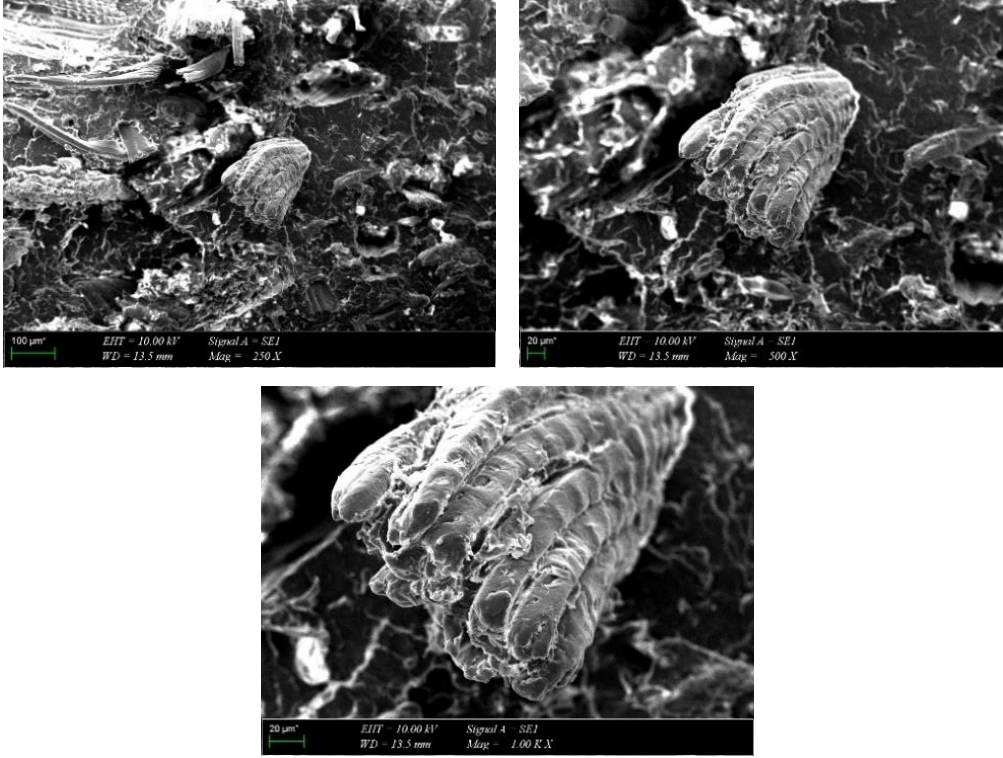
Şekil 3.9 %10 Katkılı Geri Dönüşüm PP Kompozitinin SEM Görüntüleri



Şekil 3.10 %20 Katkılı Geri Dönüşüm PP Kompozitinin SEM Görüntüleri



Şekil 3.11 %30 Katkılı Geri Dönüşüm PP Kompozitinin SEM Görüntüleri



Şekil 3.12 %40 Katkılı Geri Dönüşüm PP Kompozitinin SEM Görüntüleri

Yukarıda Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiş olan SEM görüntülerinden anlaşıldığı gibi görüntüler 250X, 500X ve 1000X büyütme ile incelenmiştir. Tüm numunelerin homojen olarak karıştığı görülmektedir. Görüntülerde takviye edilmiş talaşlar net bir şekilde görüntülenmiştir.

4.SONUÇLAR

Son zamanlarda petrol türevli kaynakların tükenmesi ve çevre kirliliğine bağlı olarak sürdürülebilir ürün üretilebilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Endüstride yaygın kullanımı sebebiyle en çok atık oluşumuna neden olan PP ve ülkemizin pek çok bölgesinde yetişen ve farklı kullanım alanına ve bu yüzden çok fazla ağaç talaşı atığına sahip Sarıçam ağaç talaşı kullanılmıştır. PP'in doğada yok olmaması sebebiyle en çok kullanılan bertaraf yöntemi geri dönüşümdür. Bu çalışmada Sarıçam-Geri dönüştürülmüş PP kullanılarak parçacık takviyeli kompozit üretilmiştir. Kompozit numunelerinin çekme dayanımı, eğilme dayanımı, nem absorpsiyonu ve sertlik gibi mekanik özellikleri incelenmiştir.

Yapılan çekme, darbe, sertlik ve eğilme testi sonuçlarına göre, %10 ve %20 oranlarında hazırlanmış kompozitlerin çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, darbe mukavemeti ve sertlik değerlerinin yakın olduğu görülmüştür. En iyi sonuçlar bu oranlardan alınmıştır. Bu sonuçlara göre eklenen partikül oranının artması kompozit içerisinde karışabilirliği zorlaştırdığından homojenliği zorlaştırmış ve bununla birlikte oluşan boşlukların artmasından dolayı partikül oranı yükseldikçe mukavemetlerde düşüş gözlemlenmiştir.

Nem absorpsiyon testi sonucunda kompozit numunelerinde kayda değer nem absorpsiyonu gözlemlenmemiştir.

SEM incelemelerinde farklı büyütme görüntülerinde numunelerin homojen olarak karıştığı, karışım oranına bağlı olarak partikül yoğunluğu da görülmüştür.

Yapılan çalışma sonunda, geri dönüştürülmüş polipropilenin maliyetin önemli olduğu durumlarda içerisine dolgu olarak sarıçam talaşı katılarak maliyet düşürülebileceği, aynı zamanda özellikle ağırlıkça %10 katkı değerine kadar mukavemet değerlerinde bariz bir olumsuz etki yapmadığı, hatta tolere edilebilir bir düşüş gösterdiği anlaşılmıştır. Böylece geri dönüşüm PP içinde sarıçam talaşının dolgu amaçlı kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Polipropilenin mekanik özelliklerinde bariz bir fark olmadığından %20 katkılı olarak polipropilenin kullanıldığı tüm alanlarda kullanılabilmesi ön görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1]-Marques M., Gonçalves L.F.F.F., Martins C.I., Vale M., Duarte F.M., (2022), Effect of Polymer Type On The Properties Of Polypropylene Composites with High Loads Of Spent Coffee Grounds, Waste Management 154, 232-244
- [2]-Yastımoğlu F., zkan A., (2017), Tekrarlanan Yükler Altında Kompozit Malzemelerin Yapılarının İncelenmesini Amaçlayan Deney Aygıtı Tasarımı, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 5, 56-66
- [3]-Singh M.K., Tewari R., Zafar S., Rangappa S.M., Siengchin S., (2023), A Comprehensive Review Of Various Application Feasibility Of Natural Fiber-Reinforced Polymer Composites, Results in Materials 17, 1-17
- [4]-Madakbaş S., Kahraman M.V., şen F., Esmir K., (2013), Polipirol ve Poliakrilonitril / Kil Kompozitlerinin Hazırlanması ve Termal zelliklerinin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 25(3), 134-139.
- [5]-Tamrakar S., Couvreur R., Mielewski D., Jr. Gillespie J.W., Kızıltaş A., (2023), Effect of Recycling and Hygrothermal Environment on Mechanical Properties of Thermoplastic Composites, Polymer Degradation and Stability 207, 1-16
- [6]-Naycı G., (2019), Keten Lifi, Kestane Grge Talaşı Dolgulu Vinil Ester Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik zelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye,
- [7]-Baş A., (2015), Ahşap Plastik Katkı Maddelerinin İzotaktik Polipropilen Ahşap Kompozitlerin Yapı Ve zelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, Türkiye,
- [8]-Avcı E., (2022), Ahşap Plastik Kompozitlerin Kullanım Performansları zerine Araştırmalar. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı ve Teknolojisi, İstanbul, Türkiye,
- [9]-Cengiz ., Karagöz İ., Demirer H., (2022), Fındık Kabuğu ve Talk Dolgulu Polipropilen Kompozitlerin Mekanik ve Isıl zelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Polimer Mühendisliği Dalı, Yalova, Türkiye.

- [10]-Demirer H., Kartal İ., Yıldırım A., Büyükkaya K, (2019), Cam Ve Bambu Lifleriyle Takviyelendirilmiş Vinilester Kompozitlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 3(1), 34-37.
- [11]- Kartal İ., Nayci G., Demirer H. (2020) The Effect Of Chestnut Wood Flour Size On The Mechanical Properties Of Vinyl Ester Composites, Emerging Materials Research, 9(3), 960-965.
- [12]- Kartal İ., (2020), Effect Of Hornbeam Sawdust Size On The Mechanical Properties Of Polyethylene Composites, Emerging Materials Research, 9(3), 979-984
- [13] Kartal İ., Naycı G., Demirer H. (2019) Kestane/Gürgen Talaşı Dolgulu Vinilester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16, 723-728.
- [14]-Aydın E. (2018), Selüloz Esaslı Takviyelendirici İçeren Yeşil Kompozit Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye,
- [15]-Hamamcı B., Çiftçi M., Aktaş T, (2018), Yeşil Polimerlerde Biyopolimerlerin Kullanımının Önemi. Araştırma makalesi, Kafkas Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kars, Türkiye,
- [16]-Şahin Y., (2000), Kompozit Malzemelere Giriş. Ankara Gazi Kitap Evi, Ankara, Türkiye,
- [17]-Karakoç H., (2017), Tm Yöntemi ile B₄C Takviyeli AA6061 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi, Mekanik Özellikleri ve Balistik Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 18-19
- [18]- http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_38.html. (28.12.2022)
- [19]-Sevinç E., (2019), Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Esaslı Çok Katmanlı Piramit Kafes Çekirdekli Çok Hafif Sandviç Plakaların Statik ve Dinamik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye,

- [20]-<https://malzemebilimi.net/seramik-matrisli-kompozitler.html> (28.12.2022)
- [21]-<https://slideplayer.biz.tr/slide/11786462/> (28.12.2022)
- [22]-<https://www.muhendisbeyinler.net/termoplastikler-ve-termosetler-arasindaki-farklar/> (28.12.2022)
- [23]-<https://tekstilbilgi.net/amorf-ve-kristalin-bolge.html> (28.12.2022)
- [24]-<http://www.agaclar.net/agaclarnet/agacturleri/saricam.htm>(28.12.2022)
- [25]-Giray N., (1993), Sarıçam, El Kitabı Dizisi:7, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara
- [26]-<https://www.enerjiportali.com/polipropilen-nedir-nelerlerde-kullanilir/>(28.12.2022)
- [27]-<https://www.eymenpetrokimya.com.tr/polipropilen-nedir-polipropilen-nerelerde-kullanilir/>(28.12.2022)
- [28]-Yöney H., Yükseloğlu S. M. ve Demire H. (2008), Keten Lif Takviyesinin Vinilester Matrisli Kompozitlerin Darbe Mukavemeti Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi
- [29]-Sağbaş, A., Kahraman, F. ve Koyuncu, M. (2009). Keten Lifleri İle Takviye Edilmiş Polyester Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24 (1-2), 185-192.
- [30]-Gu H. ve Liyan L., (2008), Keten Lifleri İle Güçlendirilmiş PP Kompozitlerinde Lif Oranının Çekme Dayanımına Etkisi, Materials&Design 29:1485-1488, 2008
- [31]-Boriaa S., Pavlovicb A., Fragassab C., ve Santullic C. (2016), Hibrid Bazalt / Keten Vinilester Kompozitlerin Düşen Ağırlık Etki Davranışlarının Modellenmesi, Modeling of Falling Weight Impact Behavior of Hybrid Basalt/Flax Vinylester Composites, İtaly
- [32]-Huo S., Thapa A.ve Ulven C. (2013), Effect Of Surface Treatments On İnterfacial Properties Of Flax Fiber Reinforced Composites. Adv Compos Mater 2013;22 (2): 109-121
- [33]-Ramnath V., Manickavasagam B., Elanchezhian V. M., C., Krishna V., Karthik C., Saravanan K. (2014). Determination Of Mechanical Properties Of İntra-Layer Abaca-Jute-Glass Fiber Reinforced Composite. Materials and Design, 60, 643-652.

- [34]-Zhang, Y., Li, Y., Ma, H. ve Yu, T. (2013). Tensile And Interfacial Properties Of Unidirectional Flax/Glass Fiber Reinforced Hybrid Composites. *Composites Science and Technology*, 88, 172-177.
- [35]-Croccolo D., De Agostinis, M., Fini, S., Liverani, A., Marinelli, N., Nisini, E. ve ark. (2015). Mechanical Characteristics Of Two Environmentally Friendly Resins Reinforced With Flax Fibers. *Strojniški Vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 61 (4), 217-226.
- [36]-Santosh K., Shamprasad M.S., Varadarajan Y.S. Samgamesha M.A. (2021). Coconut Coir Fiber Reinforced Polypropylene Composites; Investigation on Fracture Toughness and Mechanical Properties. *Material Today:Proceedings*
- [37]-Thomas McGrouan, Nicholas Dunne, Beatrice M.Symth ve Eoin Cunningham (2020). Incorporation of Poultry Eggshell and Litter Ash as High Loading Polymer Fillers in Polypropylene.
- [38]-Han-Seung Yang, Hyun-Joong Kim, Jungil Son, Hee-Jun Park, Bum-Jee Lee ve Teak-Sung Hwang (2004). Rice-Husk Flour Filled Polypropylene Composites; MEchanical and Morphological Study. *Compos. Struct.* 2004 63, 305-312
- [39]-Rana A.K., Mandal A., Bandyopaydhay S. Short Jute Fiber Reinforced Polypropylene Composite; Effect of Compatibiliser, Impact Modifier and Fiber Loading, *Compos. Sci. Technol.* 2003, 63, 801-806.
- [40]-Yao Peng. Wen Wang ve Jinzhen Cao (2016). Preparation of Lignin-Clay Complexes and Its Effects on Properties and Weatherability of Wood Flour/Polypropylene Composites.
- [41]-Hattatuwa G.B. Premalal, H. Ismail, A. Baharin (2002). Comporation of The Mechanical Properties of Rice Huk Powder Filled Polypropylene Composites With Talk Filled Polypropylene Composites. *Polymer Testing* 21 (2002) 833-839.
- [42]-Anand R. Sanadi, Daniel F. Caulfield, Rodney E. Jacobon ve Roger M. Rowell. (1995). Renewable Agricultural Fibers as Reinforcing Fillers in Plastics: Mechanical

Properties of Kenaf Fiber-Polypropylene Composites. Ind. Eng. Chem. Res. 1995. 34, 1889-1896.

[43]-<https://www.labomaronline.com/labomar-charpy-isod-darbe-test-cihazlari-charpy-isod-test-cihazlari-urun2516.html>(28.12.2022)

