

A. SORGUN

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ 2019

**İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SANDAL AĞACI KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ  
VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali SORGUN**

**Biyokompozit Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Kutlay SEVER**

**OCAK 2019**

**İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SANDAL AĞACI KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ**  
**VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali SORGUN**  
**(Y150102005)**

**Biyokompozit Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Kutlay SEVER**

**OCAK 2019**

İKÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Y150102005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ali SORGUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirerek hazırladığı “SANDAL AĞACI KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Kutlay SEVER** .....  
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

**Jüri Üyeleri : Dr.Öğr.Üyesi Levent AYDIN** .....  
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

**Dr.Öğr.Üyesi Lütfiye ALTAY** .....  
Ege Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 06/03/2019**  
**Savunma Tarihi : 25/01/2019**

## ÖNSÖZ

Son yıllarda, odun tozu dolgulu polimer kompozitler (OPK), ahşap dolgu maddelerinin ekonomik ve çevresel avantajları nedeniyle plastik endüstrisinde artan bir ilgiye sahiptirler. OPK'lar, döşeme malzemeleri, iç mekan oto parçaları gibi yapısal olmayan uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, öğütme sonucu elde edilen sandal ağacı parçacıklarının (SA), polipropilenin (PP) mekanik ve termal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. SA-PP kompozitler yüksek hızlı bir termokinetik karıştırıcı kullanılarak üretilmiştir. SA-PP kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin belirlenmesi üniversal test cihazı, dinamik mekanik analiz cihazı (DMA), termogravimetrik analiz cihazı (TGA) ve diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) ile gerçekleştirilmiştir. SA-PP kompozitlerin morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlemlenmiştir. Kompozitlerin depolama modülü, PP içerisine katılan SAMiktarının artması ile artmıştır, ancak depolama modülü sıcaklığın artması ile azalmıştır. PP'ye SA eklendiğinde PP'nin termal bozunma sıcaklığının arttığı belirlenmiştir. PP'nin termal stabilitesi, SA eklenmesi ile artmıştır.

Tez çalışmamda bana maddi ve manevi destek olan aileme, teknik ve bilgi birikimlerinden yararlandığım danışman hocam Sn. Doç. Dr. Kutlay Sever'e ve Araştırma Görevlisi Metehan Atagür'e teşekkür ederim.

Ocak 2019

Ali SORGUN

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iv</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>v</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Amaç .....	1
1.2 Araştırmanın Önemi .....	2
1.3 Literatür Araştırması .....	2
<b>2. DOĞAL FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER</b> .....	<b>5</b>
2.1 Biyokompozit Malzemeler .....	5
2.2 Biyokompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	6
2.3 Biyokompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerini Etkileyen Faktörler	7
2.3.1 Fiber tipi.....	9
2.3.2 Fiber uzunluğu .....	9
2.3.3 Fiber içeriği.....	9
2.3.4 Fiber oryantasyonu ve dağılımı .....	10
2.3.5 Fiber matris ilişkisi .....	10
2.3.6 Üretim teknikleri.....	11
2.3.7 Porozite içeriği.....	11
2.3.8 Su emme davranışı.....	11
2.4 Biyokompozitlerin Endüstriyel Uygulamaları .....	12
2.4.1 Otomotiv uygulamaları .....	12
2.4.2 İnşaat uygulamaları.....	12
2.4.3 Mobilya ve paneller .....	13
2.4.4 Havacılık uygulamaları.....	13
2.4.5 Diğer uygulama alanları .....	13
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>14</b>
3.1 Malzemeler .....	14
3.2 Yöntemler .....	14
3.2.1 Sandal ağacının öğütülmesi ve elenmesi .....	14
3.2.2 Sandal ağacının karakterizasyonu .....	14
3.2.2.1 X ışını difraktometresi (XRD) analizleri .....	14
3.2.2.2 Termogravimetrik analizler (TGA).....	14
3.2.2.3 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri .....	15
3.2.2.4 Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FT-IR).....	15
3.2.2.5 Parçacık boyut dağılım analizi .....	15
3.3 Polimerik Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu .....	15
3.3.1 Polimerik kompozitlerin üretimi.....	15
3.3.2 Polimerik kompozitlerin karakterizasyonu.....	15
3.3.2.1 Mekanik özelliklerin tespiti .....	15
3.3.2.2 Isıl özelliklerinin tespiti .....	16
3.3.2.3 Viskoelastik özelliklerinin tespiti .....	16
3.3.2.4 X ışını difraktometresi (XRD) analizleri .....	16

3.3.2.5 Morfolojik özelliklerinin incelenmesi.....	16
<b>4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....</b>	<b>17</b>
4.1 Sandal Ağacının Karakterizasyonu .....	17
4.1.1 Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FT-IR) .....	17
4.1.2 X ışını difraktometresi (XRD) analizleri .....	18
4.1.3 Partikül boyut analizi (PSD).....	18
4.1.4 Termogravimetrik analizler (TGA) .....	19
4.1.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri .....	19
4.2 Polimerik Kompozitlerin Karakterizasyonu.....	20
4.2.1 Mekanik özelliklerin tespiti .....	20
4.2.2 Isıl özelliklerinin tespiti .....	25
4.2.3 Viskoelastik özelliklerinin tespiti .....	28
4.2.4 Morfolojik özelliklerinin incelenmesi .....	32
<b>5.SONUÇLAR .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERANSLAR.....</b>	<b>36</b>



## KISALTMALAR

<b>PP</b>	:Polipropilen
<b>SA</b>	:Sandal Ağacı
<b>PP-5SA1</b>	:100 µm altı %5 Sandal ağacı dolgulu polipropilen matrisli kompozit
<b>PP-10SA1</b>	:100 µm altı %10 Sandal ağacı dolgulu polipropilen matrisli kompozit
<b>PP-15SA1</b>	:100 µm altı %15 Sandal ağacı dolgulu polipropilen matrisli kompozit
<b>PP-20SA1</b>	:100 µm altı %20 Sandal ağacı dolgulu polipropilen matrisli kompozit
<b>PP-5SA2</b>	:100-200µm%5Sandal ağacı dolgulu polipropilen matrislikompozit
<b>PP-10SA2</b>	:100-200µm %10 Sandal ağacı dolgulu polipropilen matrisli kompozit
<b>PP-15SA2</b>	:100-200µm %15 Sandal ağacı dolgulu polipropilen matrisli kompozit
<b>PP-20SA2</b>	:100-200µm %20 Sandal ağacı dolgulu polipropilen matrisli kompozit
<b>XRD</b>	:X Işını Difraktometresi
<b>TGA</b>	:Termogravimetrik Analiz
<b>SEM</b>	:Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>FT-IR</b>	:Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
<b>DSC</b>	:Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
<b>DMA</b>	:Dinamik Mekanik Analiz
<b>OPK</b>	:Odun Tozu Dolgulu Polimer Kompozit

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 4.1:</b> 100µm altı SA ve 100-200µm SA ile üretilen SA-PPkompozitlerin mekanik özellikleri.....	21
<b>Tablo 4.2:</b> SA-PP kompozitlerin termal bozunma sıcaklıkları ve kütle kayıpları ....	26
<b>Tablo 4.3:</b> PP ve SA dolgulu kompozitlerin DSC analizi sonucunda elde edilen veriler .....	27





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1:Biyo kompozitlerin sınıflandırılması .....	6
Şekil 2.2: Bir doğal bitkisel fiber hücresinin yapısal bileşimi.....	7
Şekil 4.1: SA partiküllerinin FT-IR analiz grafiği.....	17
Şekil 4.2: SA Partiküllerinin XRD grafiği.....	18
Şekil 4.3:a) 100µm altı SA partiküllerinin parçacık boyut dağılımları .....	18
Şekil 4.3:b) 100-200µm SA partiküllerinin parçacık boyut dağılımları.....	19
Şekil 4.4: SA Partiküllerinin TGA grafiği.....	19
Şekil 4.5:a) 100µm altı SA partikülleri SEM görüntüleri .....	20
Şekil 4.5:b) 100-200µm SA partikülleri SEM görüntüleri.....	20
Şekil 4.6: 100µm altı SA partikülleri ile üretilen PP-SA kompozitlerinin çekme dayanımındaki ve elastisite modülündeki değişimler .....	22
Şekil 4.7: 100µm üstü SA partikülleri ile üretilen PP-SA kompozitlerinin çekme dayanımındaki ve elastisite modülündeki değişimler .....	22
Şekil 4.8: 100µm altı SA partikülleri ile üretilen PP-SA kompozitlerinin eğilme dayanımındaki ve eğilme modülündeki değişimler .....	23
Şekil 4.9: 100µm üstü SA partikülleri ile üretilen PP-SA kompozitlerinin eğilme dayanımındaki ve eğilme modülündeki değişimler .....	24
Şekil 4.10: PP ve SA dolgulu 100µm altı PP kompozitlerin termal bozunma grafiği .....	25
Şekil 4.11: PP ve SA dolgulu 100–200µm PP kompozitlerin termal bozunma grafiği.....	25
Şekil 4.12: PP ve PP-SA1 kompozitlerin DSC analizi grafiği .....	28
Şekil 4.13: PP ve PP-SA2 kompozitlerin DSC analizi grafiği .....	28
Şekil 4.14: 100µm altı SA partikülleri depolama modül grafiği .....	29
Şekil 4.15: 100µm altı SA partikülleri kayıp modül grafiği.....	30
Şekil 4.16: 100µm altı SA partikülleri Tan Delta grafiği .....	30
Şekil 4.17: 100-200µm SA partikülleri depolama modül grafiği.....	31
Şekil 4.18: 100-200µm SA partikülleri kayıp modül grafiği.....	31
Şekil 4.19: 100-200µm SA partikülleri Tan Delta grafiği.....	32
Şekil 4.20: 100µm altı SA ile dolgulu PP kompozitlerin SEM görüntüleri .....	33
Şekil 4.21: 100-200µm SA ile dolgulu PP kompozitlerin SEM görüntüleri .....	33

# SANDAL AĞACI KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU ÖZET

Odun tozu katkılı termoplastik kompozitler bina cephe kaplamaları, yer döşemeleri, pencere ve kapı pervazları, çit, oturma bankı, peyzaj ürünleri ve otomotiv iç aksam parçaları gibi yapısal olmayan birçok uygulama alanına sahiptir. Bu tür ürünler ağaç ürünlerine alternatif olarak üretilmektedir. Odun tozu katkılı termoplastik kompozitler, ağacın dayanımına ve plastiklerin çevre koşullarına karşı dayanıklılığına sahiptirler. Bu tür kompozitler neme maruz olan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, mevcut ticari odun tozlarına alternatif olarak yeni dolgu veya takviye malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu projede, öncelikle, sandal ağacından elde edilen partiküllerin partikül boyutları tespit edilecek ve kristalografik yapıları, ısıl dayanımları, yüzey fonksiyonel grupları, ve morfolojik özellikleri incelenecektir. Daha sonra elde edilen partiküller kullanılarak, sandal ağacı dolgulu polipropilen kompozitler üretilecektir. Kompozit üretiminde, polipropilen içerisine katılan dolgu miktarı değiştirilecektir. Üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri (çekme dayanımı ve modülü, eğilme dayanımı ve modülü) universal test cihazı ile, ısıl özellikleri termogravimetrik analiz ve diferansiyel taramalı kalorimetre cihazları ile (TGA ve DSC), viskoelastik özellikleri dinamik mekanik analizi (DMA) ile ve morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:**Sandal Ağacı, Termoplastik Kompozit, Mekanik ve Termal Özellikler

# MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION OF SANDALWOOD FILLED POLYPROPYLENE COMPOSITES

## ABSTRACT

Wood flour filled thermoplastic composites have used many non-structural applications such as side-coating, floor coverings, window and door trim, fence, sitting bench, landscaping products and automotive interior parts. Such products are produced as an alternative to wood products. Wood flour filled thermoplastic composites have the strength of wood and the resistance to environmental conditions of plastics. Such composites are widely used in wet applications. However, new fillers or reinforcing materials are needed as an alternative to existing commercial wood powders.

In this project, firstly, the particle sizes of the particles obtained from sandalwood will be determined and the crystallographic structures, thermal properties, surface functional groups, and morphological characteristics examined. Subsequently, sandalwood filled polypropylene composites were produced by using the particles. In composite production, the amount of filler added to the polypropylene was changed. The mechanical properties (tensile strength and modulus, flexural strength and modulus), thermal, viscoelastic and morphological properties of the composites were evaluated by universal test machine, Thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry (with TGA and DSC), dynamic mechanical analysis (DMA) and scanning electron microscopy (SEM) instruments, respectively.

**Keywords:** Sandalwood, Thermoplastic Composite, Mechanical and Thermal Properties

## 1. GİRİŞ

Küresel çevre faktörlerinin birbirine bağılılığı konusundaki artan farkındalığın bir sonucu olarak, sürdürülebilirlik ilkeleri, endüstriyel ekoloji, ekoverimlilik ve yeşil kimya ve mühendislik, gelecek nesil malzeme, ürün ve süreçlerin gelişimine entegredir[1]. Petrol kaynaklarının tükenmesi, artan çevresel düzenlemelerle birleştiğinde, çevreye uyumlu ve fosil yakıtlardan bağımsız yeni malzemeler ve ürünler için itici güç sağlamak için sinerjik davranmaktadır. Kompozit malzemeler, özellikle “yeşil kompozitler” bu yeni paradigma değişimine çok iyi uyar. Basitçe belirtildiği gibi, biyolojik temelli malzemeler, ahşap, tarımsal atıklar, çimler ve şekerler ve nişasta, lignin ve selüloz gibi karbonhidratlardan oluşan doğal bitki lifleri de dahil olmak üzere yenilenebilir tarım ve orman besleme stoklarından yapılan dayanıklı tüketim ürünleri uygulamaları için endüstriyel ürünleri içerir. Yenilenebilir kimyasal ürünler ve yeni malzemeler üretmek yeni bir fikir değildir. Kimyasal ürün ve malzemelerin çoğu, yenilenebilir kaynaklardan 20. yüzyılın başlarına kadar gelmiştir [1]. Ancak petrokimya endüstrisinin 20. yüzyıldaki başarısı ve muazzam büyümesi, biyo-bazlı ürünlerin büyümesini yavaşlatmıştır. Çevresel ve ekonomik faktörler artık biyo-bazlı polimerlerin ve malzemelerin daha fazla kullanılması yönünde bir eğilim yaratmaktadır[2]. Bilim insanları ve mühendisler için zorluk, biyo-bazlı materyallerin devrimini gerçeğe dönüştürmek için gereken teknolojiyi geliştirmektir.

Bu tez çalışması kapsamında 100µm altı ve 100-200µm öğütülmüş sandal ağacı farklı oranlarda PP matris içerisine katılmıştır ve malzeme karakterizasyonları (XRD, TGA, SEM, DSC, FTIR analizleri, çekme ve eğilme testleri) yapılmıştır. Ayrıca kompoziterin kırılma yüzeyleri SEM ile incelenmiştir.

### 1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında Muğla'nın Datça ilçesinden temin edilen sandal ağacı (SA) küçük parçalara bölünmüş ve öğütülerek 100 µm altı ve 100-200 µm ince partiküller haline getirilmiştir. Bu partiküllerin polimer kompozit sektöründe yaygın olarak

kullanılan polipropilenin mekanik ve termal özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

## **1.2 Araştırmanın Önemi**

Sandal ağacının polimer kompozit endüstrisinde değerlendirilmesi ile ekonomik değer kazandırılması ve doğal kaynakların korunması bakımından önem kazanmaktadır. Mekanik işlemler neticesinde öğütülerek belirli partikül boyutlarına indirilen sandal ağacına PP içerisine katılması polimer maliyetini azaltmak için son derece önemlidir. Araştırmada kompozit malzemelerin geliştirilmesi ilk defa literatürde sunulacağından dolayıda bilimsel açıdan önem arz etmektedir.

## **1.3 Literatür Araştırması**

Plastikler günümüzde birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır. Plastiğe farklı özellikler kazandırabilmek için değişik dolgu ve takviye malzemeleri eklenebilir. Kompozit malzeme fiziksel veya kimyasal özellikleri birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi sonucu üretilirler ve genelde kendisini oluşturan malzemelerden daha iyi özelliklere sahiptirler. Bu tip malzemeler daha kuvvetli, daha hafif ve daha ucuz olmaları gibi nedenlerle tercih edilebilmektedir. Böylece esnekliğin artırılması, dış etkilere karşı solma, kırılma ve kırılganlığın önlenmesi mukavemetin yükseltilmesi gibi özellikler de elde edilebilir. Daha önce sıkça kullanılan cam yünü, kil, kalsiyum karbonat vb. inorganik dolgu maddeleri üretim esnasında kullanılan makinelerde aşınmaya sebep oldukları ve daha maliyetli oldukları için farklı dolgu maddeleri arayışına girilmiştir. Özellikle 1920'li yıllardan sonra organik dolgu malzemeleri ön plana çıkmıştır. Polimer kompozitlerin üretiminde lignoselülozik malzemeler olarak orman endüstrisi atıkları, tarımsal atıklar, ahşap unları organik dolgu maddeleri olarak kullanılabilir.

Bunlar yenilenebilir, ucuz, düşük yoğunlukta ve işlenmesi kolaydır. Lignoselülozik malzemeler kimyasal olarak yaklaşık %90-99 oranında selüloz, lignin ve hemiselülozlardan oluşmaktadır.

Ayrıca, daha az oranda olmak üzere (%1-10) inorganik (kül) ve organik bazı renk, koku vb. ekstraktif maddeler de bulunmaktadır [3]. Kompoziti oluşturan iki veya daha fazla bileşenden bir tanesinin odun veya lignoselülozik esaslı malzemelerden

oluşması durumunda nihai ürün odun polimer kompozit malzemeler (OPK) olarak adlandırılmaktadır. Bu tip kompozitler polimer esaslı (termoset veya termoplastik) matrislerden oluşmaktadır. Polipropilen, polietilen, polistiren gibi termoplastikler ile polimer kompozitlerin üretimi mümkündür [4]. Bu termoplastikler lignoselülozik yapıya sahip olan materyallerin bozunmasını önlemek için daha düşük sıcaklıklarda (150-220°C) üretilebildiklerinden dolayı seçilmektedir [5]. Odun-plastik kompozitler, ahşap görünümlü olması ve ahşap hissi yaratmasına rağmen su, rutubet, sıcak ve soğuk hava koşullarına karşı çok dayanıklıdır. Bu özelliği dolayısıyla açık alanlarda ve ıslak zeminlerde kullanılan malzemelere alternatiftir. Sürdürülebilir ve uzun ömürlü bir malzemedir. Böylece son yirmi yıl içerisinde odun polimer kompozitlerin popülaritesi giderek artmış günlük yaşantımızın birçok kullanım alanında örneğin yer döşemeleri, otomotiv panelleri, çit, bahçe mobilyaları, dış cephe kaplamaları vb. yer almaya başlamıştır [6]. Çoğunlukla, OPK'lerin üretiminde dolgu malzemesi olarak orman ürünleri endüstrisinde oluşan atık odun unu değerlendirilmektedir [7]. Ülkemizde 2012 yılı itibarıyla OPK kullanımı tahmini olarak yıllık 20.000 tona ulaşmış olup bunun 15.000 tonu ithal OPK ürünleri olup, 5.000 tonu ise ülkemizde üretim yapan 9 farklı tesiste üretilmektedir. OPK'lerin üretiminde genellikle orman ürünleri endüstrisinde örneğin; kereste atölye ve fabrikalarında, mobilya, kapı ve pencere imalatında yan ürün olarak açığa çıkan odun unları kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında sandal ağacının öğütülmesinden elde edilen µm boyutunda partiküller kullanılacaktır. Nisan aylarında çiçek açan, 2-4 m boylarında, orman açıklıkları ve çalılıklarda yer alan ağaççıklardır. Dallarını kırmızımsı renktedir. Yaprakları 10-15 cm boyunda, kenarları dişsiz, oval şekillidir. Çiçekleri beyaz renkli salkım durumunda toplanmışlardır. Meyveleri küre şeklinde toparlak olup, 5-6 mm çapında, turuncu renktedir ve meyveleri yenmemektedir. Türkiye'de kırsal kesimde pişirme ve ısınmak için genellikle odun kullanılmakta olup, bu odun büyük oranda maki alanlarından elde edilmektedir. Antalya bölgesinde doğal olarak yayılış gösteren ve geniş bir kullanım alanına sahip olan sandal ağacının yakacak dışında kullanılmamasının en önemli sebebi, Türkiye'de bu bitkiyle ilgili çok az çalışmanın yapılmış olmasıdır. Sandal ağacının yakacak dışında polimer kompozit sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılması önemlidir. Sandal ağacı odunu is yapmadığı için sobalarda, şöminelerde ya da is yapması istenmeyen yerlerde yakacak olarak, odun dokusunun sert oluşu nedeni ile de el sanatı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Sandal ağacı Türkiye’de: Marmara-Ege ve Akdeniz bölgesinde yetişmektedir. Türkiye’de görüldüğü yerler; Adana-Osmaniye ve Nurdağ(350-850m), Antalya-Termessos(700m),Amasya-Erbaa Çatalan arası (450m), Artvin-Çoruh(500m), Aydın,Bursa-Gemlik(150m), Çanakkale-Soğanlı, Düzce Akçakoca, İçel, Isparta-Sütçüler, İzmir-Barbaros Mordoğan arası, Muğla(300-350m), Sinop-Deniz Kaya (150m), Trabzon ile Zonguldak-Devrek(200m)’tir[8].

Bu yüksek lisans tez çalışmasında daha önce polimer kompozit üretiminde kullanılmamış olan sandal ağacı partikülleri kullanılarak sandal ağacı katkı polipropilen (SA-PP) matrisli kompozitler üretilecektir. Matris içerisine katılan SA miktarı ağırlıkça en az %5 ve en fazla %20 olacaktır. Üretimler yüksek hıza sahip termokinetik mikser ile yapılacaktır.Kompozit üretiminden sonra kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri incelenecektir.

## **2.DOĞAL FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER**

Kompozit;iki ya da daha fazla miktardaki malzemenin uygun ve en iyi olan özelliklerini tek bir malzemede toplamak veya yeni bir özellik oluşturmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu meydana getirilen malzemedir [3]. Kompozit kelime olarak, iki veya daha fazla parçadan oluşan bir malzeme anlamına gelmektedir. Kompozit malzemeler özet olarak ‘makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler’ şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler çoğunlukla özelliklerini korumaktadırlar [3].

Kompozit malzemelerde istenilen, hedeflenen malzemenin; bileşenlerde tek başına iken mevcut olmayan bazı özelliklerin (hafiflik,dayanım esneklik, vb.) geliştirilmesi ve biraraya getirilmesidir.Bu hedef doğrultusunda ortaya çıkan,çıkacak olan yeni malzemenin bileşenlerini oluşturan iki yada daha fazla malzemelerin istenilen, belirlenen özelliklerini bir üst seviyede yeni oluşacak kompozit malzemede yer alması dezavantajlarını ise bünyesinde barındırmayarak, azaltarak daha iyi bir yeni malzeme yaratılması hedeflenmektedir. Amerika’da 1930’lu yıllarda cam elyafın bulunması ile modern kompozitin üretimi başlamış ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler dünya pazarında yerini almıştır. Kompozit malzemeler malzeme bilimi açısından değerlendirildiğinde nispeten yeni ve ileri teknoloji malzemeler olarak görülebilir. Kompozit malzemenin en önemli özelliği mikro düzeyde homojen olmasıdır.Tarihsel süreç içerisinde, kompozit malzemelerden daha binlerce yıl önce, evlerin yapımında saman takviyeli kerpiç bloklar şeklinde faydalanılmıştır. Günümüzde ise geleneksel malzemelerin yetersiz olduğu veya özelliklerinin geliştirilmesi gerektiği durumlar için özel malzeme olarak faydalanılmaktadır.

### **2.1 Biyokompozit Malzemeler**

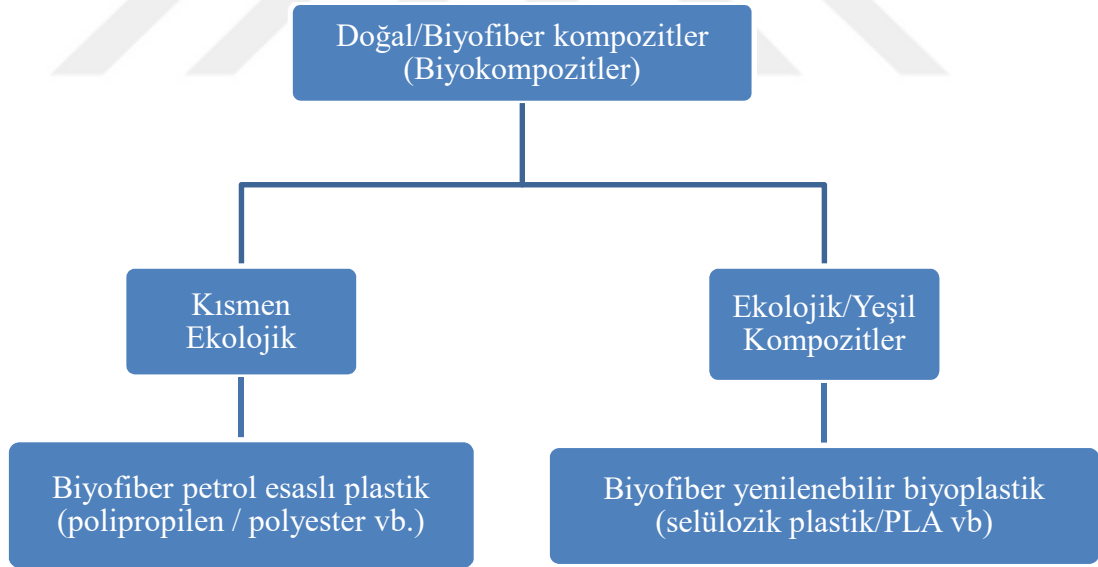
Kompozit malzemeler çekicidir çünkü malzeme özelliklerini doğada bulunmayan şekillerde birleştirirler. Bu tür malzemeler çoğu zaman belirli uygulamalar için yüksek sertliğe ve özel özelliklere sahip hafif yapılara neden olur, böylece ağırlık tasarrufu sağlar ve enerji gereksinimlerini azaltır. Elyaf takviyeli plastik kompozitler, 1908 yılında fenoliklerde selüloz lifi ile başlamış ve 1940'larda doymamış polyesterlerde cam lifi kullanılmaya başlanmıştır. Gitarlardan tenis



raketlerine,otomobillerden elektronik bileşenlere ve hatta yapay eklemlere kadar kompozitler çeşitli alanlarda kullanım alanı bulmaktadır.Elyaf takviyeli kompozit pazarımilyarlarca dolarlık bir işletmedir. Cam elyafı termoplastik ve termosetlerin% 95'inde genelde güçlendirmek için kullanılmaktadır [1-4]. Mevcut araştırma bulguları, bazı kompozit uygulamalarda, doğal liflerin, cam liflere rekabet gücü gösterdiğini göstermektedir.

## 2.2 Biyokompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Genel olarak biyokompozitler (Şekil 2.1) doğal elyaftan, PP, PE gibi petrol türevli biyolojik olarak parçalanamayan polimerlerden ve PLA ve PHA'lar gibi biyopolimerlerden yapılan kompozit malzemelerdir. Biyopolimer ile cam ve karbon gibi sentetik liflerden türetilen kompozit malzemeler de biyokompozitlerin altına girer. Bitkilerden elde edilen elyaftan ve biyopolimerdentüretilen biyokompozitler daha çevre dostu olabilir ve bu tür biyokompozitler bazen “yeşil kompozitler” olarak adlandırılır.

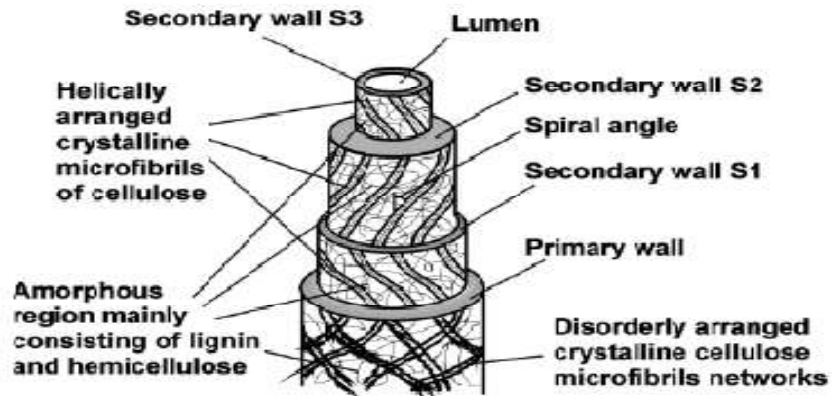


Şekil 2.1:BiyoKompozitlerin Sınıflandırılması.

### 2.3 Biyokompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Doğal fiberlerin fiziksel özelliklerini çoğunlukla fiber yapısı, selüloz doygunluğu, lifçiklerin açısı ve kesit gibi kimyasal ve fiziksel kompozisyonu ve bitkinini tabiatı, yetiştirme alanı ve iklimi, bitkinin yaşı ve kullanılan çıkarma yoluyla etkilenen polimerizasyon derecesi belirlemektedir [1-2;5-6]. Bunun yanında, bitkinin niteliklerine ve yerine bağlı olarak fiber özelliklerindeki değişkenlik çok büyük miktardadır. Ayrıca farklı fiberler oyuk, çukur ve çatlak gibi farklı kusurlara sahiptir [7].

Pamuk istisna edilirse, doğal fiberlerin bileşenleri selüloz, hemiselüloz, lignin, pektin, balmumu ve suda çözünür maddelerdir. Fiberlerin fiziksel özelliklerine göre temel bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve lignindir [6;8]. Diğer bileşenler genellikle yüzey pislği olarak kabul edilen pektin ve balmumu maddeleridir [9]. Tüm bitki esaslı doğal fiberlerin tek bir fiberi muhtelif hücrelerden oluşmaktadır. Bu hücreler, bütün bir tabakaya bağlanmış selüloz esaslı kristalize mikrolifçiklerin dışında amorf lignin ve hemiselüloz ile oluşturulmuştur [6]. Selüloz lifçikler fiberin orijinine bakmaksızın (örneğin gövde, yaprak veya meyveden çıkarılıp çıkarılmadığı gibi) fiber uzunluğu boyunca hizalanmışlardır [10]. Bu mikrolifçikler 10-30 nm genişlik, eni bundan daha az, kesitinde 2-30.000 selüloz molekülü içeren belirsiz bir uzunlukta bulunurlar [11]. Çok tabakalı bileşik, hücre, oluşturmak için bir birincil ve üç ikincil hücre duvarlarında selüloz-lignin/hemiselüloz'ün çoklu tabakaları birlikte yapışırlar (Şekil 2.2.). Bu hücre duvarlarının kompozisyonları (selüloz ve lignin/hemiselüloz arasındaki oran) ve selüloz mikrolifçiklerin oryantasyonları (helis açısı) farklıdır. Lifçiklerin helis açısı ve selüloz içeriği çoğunlukla selüloz esaslı doğal fiberlerin mekanik özelliklerini belirlemektedir [6].



Şekil 2.2: Bir doğal bitkisel fiber hücresinin yapısal bileşimi [12].

Selüloz, bitkisel fiberlerin temel bileşenidir. Selüloz ağırlığına göre yüksek dayanım ve rijitliğe sahip olan doğal bir polimerdir ve uzun lifli hücrelerin yapı malzemesidir [13]. Selülozun kimyasal yapısı üç hidroksil grup içermektedir ve bu makromoleküler selüloz yapısı hidrojen bağları oluşturur. Bu hidroksil grupların ikisi moleküllerarası bağlar oluşturur, üçüncü hidroksil grup ise molekülüçi hidrojen bağları oluşturur. Bu nedenle tüm bitkisel fiberler hidrofilik doğadadır [7;9;10]. Yüksek selüloz içeriği fiberi daha yüksek rijitliğe ulaştıracaktır ve bundan dolayı reçine takviyesi için son derece uygun olacaktır [9].

Lignin, alifatik ve aromatik bileşenler içeren çok kompleks yapıya sahip bir hidrokarbon polimerdir ve doğal yapıyı (örneğin ağaç) birlikte tutan fiberlerin çevresinde matris kılıf oluşturur [8;11] ve doğal fiber bileşenler arasında en az su emilmesine sahiptir [14]. Sert bitkisel fiberlerin belirgin hücreleri lignin ile bir çimento malzemesi gibi etki edilerek biraraya bağlanır. Bitkisel fiberlerin lignin içeriği yapıyı, özellikleri ve morfolojiyi etkileyecektir [10]. Doğal fiberlerin diğer bileşeni hemiselülozdur. Hemiselüloz selüloz lifçiklere tahminen hidrojen bağları ile kuvvetlice bağlanmıştır. Hemiselülozik polimer dallara/kollara ayrılmıştır, tamamen amorf ve önemli derecede selülozdan daha düşük moleküler ağırlığa sahiptir. Birçok hidroksil ve asetil gruplar içeren açık yapısından dolayı hemiselüloz su içerisinde kısmen çözünebilir ve hidroskopiktir [14]. Selülozden farklı olarak, hemiselüloz bileşenleri bitkiden bitkiye farklıdır. Mekanik özellikleri selülozinkinden daha düşüktür [8]. Hemiselüloz ve pektin malzemelerinin her ikisinde su emme, şişme, esneklik ve ıslak dayanımda olduğu gibi, fiber yığını bütünleşmesinde, fiber yığını dayanımında ve bireysel fiber dayanımında önemli roller oynamaktadır [13].

Bitkisel fiberler hidroksil grupların bulunması nedeniyle oldukça polardır. Diğer yandan, bitkisel fiberler pektin ve balmumu gibi maddeler ile örtülüdür. Böylece polar matrislerin hidroksil gruplar ile reaksiyona girmesini ve polar olmayan matrisler ile de mekaniksel olarak birbirine kenetlenerek yapışma oluşmasını engeller. Ayrıca, eğer plastiklerde takviye elemanı olarak kullanılırsa, tüm selüloz fiberler için fiberin hidrofilik doğası büyük bir problemdir. Selüloz fiberlerin yüksek su ve nem emme davranışı şişme ve yumuşama etkilerine ve sonuçta kompozit için boyutsal kararsızlığa ve zayıf mekanik özelliklere neden olacaktır. Bu bitkisel fiberlerin polimerik malzemeler için takviye elemanı olarak kullanımını kısıtlayacaktır [9]. Polimerik malzemeler ile yapışmasını arttırmak için fiber

yüzeyinde reaktif hidroksil gruplar oluşturmak ve yüzey pürüzlülüğü yaratmak gerekir. Bitkisel fiberlerin yüzeyini ve yapısını değiştirmek için bitkisel fiberlerin fiziksel ve/veya kimyasal yüzey işlemi geçirmesine ihtiyaç vardır.

### 2.3.1 Fiber Tipi

Doğal fiberler kaynaklarına göre sınıflandırılmaktadır; bitkisel, hayvansal ve mineraller. Genelde, kompozit endüstrisinde plastikleri takviyelendirmek için kullanılan bitkisel fiberlerdir [11]. Bitkilerin değişik bölümlerinden elde edilen fiberler bitkisel fiberler olarak bilinmektedir. Bu fiberler bitkinin çıkartılan bölümlerine bağlı olarak üç grup içerisinde sınıflandırılmaktadır [7;10].

1. İç Kabuk veya gövde fiberleri (Jüt “hint keneviri”, muz vb.)
2. Bitki yaprağı fiberleri (ananas, sisal vb.)
3. Meyve fiberleri (hindistancevizi vb.)

### 2.3.2 Fiber Uzunluğu

Fiber en boy oranı, AR'nin ( $AR = L / d$ , sırasıyla L ve d, sırasıyla lif uzunluğu ve çapıdır), AR azaldıkça, matrisin güçlendirilmesinde liflerin etkinliği azalmaktadır. Genel olarak, kısa elyaf takviyeli kompozitlerin modülü ve dayanımı, sürekli elyaf takviyeli kompozitlerinkinden daha düşüktür ve elyaftaki maksimum gerilme seviyesini sağlamak için, elyaf uzunluğu,  $L_f$ , en azından bir kritik değer, kritik uzunluk olarak bilinen  $L_c$  ise şu şekilde ifade edilmektedir [15];

$$\frac{L_c}{d} = \frac{\sigma_f}{2\tau_i}$$

$L_c$ ; lifin kırılma stresine ulaşması için gereken minimum lif uzunluğu olarak tanımlanabilir [16].

d; elyaf çapını,  $\sigma_f$ ; elyafın gerilme dayanımı ve  $\tau_i$ ; arayüzey dayanımını ifade etmektedir.

### 2.3.3 Fiber İçeriği

Farklı elyaf içerikleri, doğal elyaf takviyeli termoset kompozitlerin mekanik özelliklerini etkiler. Genel olarak, doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin dayanımı, maksimum veya optimum bir değere kadar lif miktarı ile artar, ardından değer düşer. Bununla birlikte, Young'ın doğal elyaf takviyeli polimer

kompozitmodülü, artan elyaf yüklemesiyle artar [17]. Doğal elyaf takviyeli polimer kompozit dayanımının azalması, elyaf ve matris arasındaki zayıf arayüz bağının, elyafın polimer tarafından zayıf ıslatılmasının, doğal elyaf ve matris malzemeleri arasındaki uyumsuzluğun artması, elyaf topaklanmasından kaynaklanmaktadır [18].

#### **2.3.4 Fiber Oryantasyonu ve Dağılımı**

Fiberle güçlendirilmiş polimer kompozitlerin dayanımı ,sünekliği elyafın yönlendirmesine bağlıdır [19]. Fiber oryantasyonu arttıkça, dayanım ve sertlikte bir artış olur [20]. Genel olarak, en iyi mekanik özellikler, elyaf uygulanan yükün yönüne paralel olarak hizalandığında elde edilebilir. Bununla birlikte, doğal liflerle yönlenme sağlamak, sürekli sentetik liflerden daha zordur [21]. Elyaf oryantasyonu, reçine akış modeli, matris viskozitesi ve kalıp tasarımından büyük ölçüde etkilenir. Enjeksiyon kalıplama işlemi elyaf yönelimini değiştirmektedir [22]. El yatırma yönteminde, parçacıkların ve kısa elyafların düzgün dağılması, elyafların topaklanması nedeniyle sorun teşkil etmektedir [23]. Ayrıca, rasgele yönlendirilmiş kısa elyaf kompozitler, farklı mekanik özelliklere sahiptir. Bunun nedeni, farklı yönlerde yük dağılımının karmaşıklığıdır ve bu kompozitlerin mekanik özelliklerini etkiler [24]. Daha yüksek lif yönlenmesine ulaşmak için, uzun doğal lifler elle matrise yerleştirilebilir [21]. Uzunlamasına hizalanmış elyaf takviyeli kompozitler genellikle daha yüksek dayanıma sahiptir. Bununla birlikte, enine yönlendirilmiş lifler, matrisin dayanımından daha düşük dayanıma maruz kalır [24].

#### **2.3.5 Fiber Matris İlişkisi**

Polimer kompozitler, esasen organik matrislere yapışmalarını sınırlayan hidrofilik yapıları nedeniyle sentetik elyaf bazlı kompozitlerle karşılaştırıldığında üstün mekanik özellikler sunamazlar [25]. Fiber ve matris arasındaki arayüzey bağını etkileyen faktörler mekaniksel bağlanma (mechanical interlocking), moleküler çekici kuvvetler ve kimyasal bağlardır [26]. Fiberler ve matrisler kimyasal olarak farklı olduklarından, arayüzey boyunca yük dağılımının etkin bir şekilde aktarılabilmesi için ara yüzey yapışmasının güçlü olması gerekir. Yapışma özellikleri, elyafların ön işleme tabi tutulmasıyla değiştirilebilir. Elyaf-matris yapışmasını iyileştirmek için kompozitlerin mekanik özelliklerinin artmasına neden olan çeşitli fiziksel ve kimyasal modifikasyon yöntemleri geliştirilmiştir [27].

### **2.3.6 Üretim Teknikleri**

En iyi mekanik özellikleri elde etmek için kompozit üretim teknikleri önemlidir. Herhangi bir ürün hatasına neden olmadan malzemeleri son şekle dönüştürmek için uygun üretim teknikleri kullanılmalıdır. Reçine transfer kalıplama (RTM), vakum infüzyonu gibi kompozit kalıplama tekniklerinin, doğal elyaf/termoset reçine kompozitlerinin üretimi için uygun olduğu kanıtlanmıştır [28]. Presleme tekniği ile üretilen kompozitler, RTM tekniği ile üretilen kompozitlerdendaha zayıf elyaf-matris yapışması nedeniyle daha fazla boşluk ve su emme davranışı göstermektedir. Termoplastik kompozit üretiminde ise çift vidalı ekstrüderlerin kullanımı mekanik dayanımı arttırmakta etkilidir [29].

### **2.3.7 Porozite İçeriği**

Kompozitlerin üretimi sırasında, matris yapı içinde hava veya diğer uçucu maddeler sıkışarak boşluklara neden olabilir. Bu, kompozitlerin yüklenme ile ani kırılmasına ve zayıf mekanik özellikler göstermesine neden olabilir. Kompozitlerin üretimindeki parametrelerde boşluk oluşumunda sorumludur [24]. Üretim sırasında elyafın üzerine reçinenin dökülmesi sırasında hava kabarcıklarının eklenmesi nedeniyle gözeneklilik oluşur. Elyaf yüklenme ile gözeneklilik artabilir ve üretilen kompozitlerde zayıf elyaf ıslanabilirliği oluşabilir. Fiber yüklemesinin artması gözeneklilikte artışa ve kompozitlerin mekanik özelliklerinde azalışa yol açabilir [29].

### **2.3.8 Su Emme Davranışı**

Doğal liflerin (selüloz, hemiselülozlar, lignin, pektin ve balmumu maddeleri) yapısal bileşimleri, ortamdan nem emilimini sağlar. Fiber hücre duvarındaki makromoleküller arasında birçok hidrojen bağı (hidroksil grupları -OH) bulunur. Atmosferden nem elyaf ile temas ettiğinde, hidrojenbağ kopmaları ve hidroksil grupları su molekülleriyle yeni hidrojen bağları oluşturur [24]. Selüloz lifi tarafından nem emilimi nedeniyle, kompozit mekanik özellikleri selüloz lifi ve polimer matrisi arasındaki zayıf arayüzey bağları nedeniyle bozulmaktadır [25]. Bu nedenle, nemin elyaftan uzaklaştırılması, kompozitlerin hazırlanmasında önemli bir adımdır. Liflerin nem emilimi, hidroksil gruplarının lif yapısından farklı kimyasal işlemlerle ortadan kaldırılmasıyla azaltılabilir [24].

## **2.4 Biyokompozit Malzemelerin Endüstriyel Uygulamaları**

Doğal plastik kompozitlerin uygulamaları, ilk plastik malzemeler (hem termosetler hem de termoplastikler) pazara sunulduğundan beri bildirilmiştir [32-34]. Hindistan gibi ülkeler uzun yıllardır boru, panel ve profil gibi birçok uygulama için doğal kompozit malzemeler üretmektedir, ancak Kuzey Amerika ve Batı Avrupa, doğal kaynakların korunması hakkındaki kritik tartışmaların ardından yalnızca son yıllarda doğal elyaf kompozitlerini yeniden kullanıma almıştır. Kompozitlerde kullanılan doğal elyaflar, daha az karbondioksit salınımı ve cam elyafı ile karşılaştırıldığında %40 daha az ağırlık gibi çeşitli avantajlar sunarlar. Günümüzde otomotiv endüstrisinde teknik uygulamalarda takviye olarak doğal elyaf kullanımı yer almaktadır [35]. OPK'lar, doğal ahşap veya saf plastiklerin yerine birçok uygulama alanı bulmuşlardır.

### **2.4.1 Otomotiv Uygulamaları**

Otomotiv endüstrisinde kullanılan biyokompozitlerde takviye ve dolgu malzemeleri olarak keten, kenevir, jüt, sisal, kenaf, ahşap veya tahıl bazlı ürünler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan polimer matris polipropilendir, ancak birçok poliüretan (PU) uygulaması ortaya çıkmaktadır [40-44]. Cam elyaf dolgulu malzemelere kıyasla daha az ağırlık ve net karbondioksit salınımı olmaması, yeni malzemeleri otomobil üreticileri için çekici kılmaktadır. Panolar ve PP ve doğal elyaflar kullanan "Yeşil Kapı Panelleri" olarak adlandırılan iç döşeme bileşenleri, Johnson Controls Inc. tarafından DaimlerChrysler için üretilmiştir [41;42]. Doğal elyaf takviyeli kullanılarak PUR sistemlerinden yapılan yumuşak trim parçaları Bayer [43] tarafından geliştirilmiştir. Audi'nin enerji tasarruflu A2 iç panelleri, birim başına oldukça düşük bir kütleyle sahip, ancak çok yüksek boyutsal kararlılığa sahip doğal elyaftan (keten, sisal veya kenevir) dolu PU'dan yapılmıştır [44]. Adam Opel AG, "Astra" modelinin iç kapı süslemelerinde keten lifi ve polipropilenden oluşan kompozitler kullanır.

### **2.4.2 İnşaat Uygulamaları**

Binalarda ve benzer uygulamalarda yıllarca doğal elyaf takviyeli malzemelerin kullanıldığı Asya'nın aksine, Batı dünyasında uygulama doksanlı yılların ortalarında Japonya'da ve ABD'de başladı, ardından Avrupa son zamanlarda [45].

Bu uygulama alanında ağaç lifi dolgulu malzemeler ana ürünlerdir. Doğal ahşaba alternatif olarak kullanılırlar [46].

Odun polimer kompozit pazarı, ABD'de son 5 yılda% 100 büyüme kaydetti. Malzeme grubu PE, PP ve PVC dahil olmak üzere çok çeşitli polimer matris türlerini kapsar. Zemin kaplaması, giydirme ve pencere çerçeveleri gibi bitmiş ürünler pazarlarda çok başarılı. ABD'de inşaat ve bahçe ürünleri için pazar hacmi 300.000 ton / yıl (196) idi. Güverte ABD'de en önemli uygulamadır. Hemen hemen ABD'deki mühendislik kereste tedarikçileri, güverte piyasasına hizmet ediyor.Nexwood Industries Brampton (ON, ABD), Asya pazarları için bir prototip ev geliştirdi. Yılda iki milyon adet satılması beklenmektedir. Japonya'da, önceden üretilmiş ev üreticisi olan Mizawa Homes'un gösterdiği gibi merdivenler, korkuluklar ve banyolar için ahşap kompozitler uygulanmaktadır.Pencere ve kapı profili üreticisi, kompozitler için başka bir endüstriyel segmenttir [47-49].

#### **2.4.3Mobilya ve Paneller**

Son zamanlarda, ahşap unu dolgulu malzemelere dayalı mobilya uygulamaları Kanada, Japonya ve Almanya'dan bildirilmiştir [50].

#### **2.4.4Havacılık Uygulamaları**

Ağırlık, mekanik stabilite ve fiyat avantajları nedeniyle, ABD ve Avrupa'da havacılık endüstrisinde doğal elyaf takviyeli malzemelerin uygulanmasına olan ilgi artmaktadır. Termoplastikbazlı bu tür malzemelerin kullanımı için başvurular ABD Federal Havacılık Kurumu ve İngiltere Sivil Havacılık Kurumu [51,52] tarafından onaylanmak üzere kontrol edilmektedir.

#### **2.4.5Diğer Uygulama Alanları**

Japon pazarındaki tezgahlarda, köpek kulübelerinde, kulübelerde, saksılarda, bölmelerde ve çitler ile birlikte güverte, kaldırım ve balkon panolarında doğal elyaf kompozitler kullanılmaktadır. Bir diğer Japon gelişimi, Ulaştırma Bakanlığı tarafından desteklenen bir proje olan karayolları boyunca hava koşullarına dayanıklı ve etkili gürültü koruma duvarlarıdır. Sert ağaç malzemelerinin yerini alan döşeme ürünleri, SWH Technologies of Canada [53] tarafından sunulmaktadır. Kompozit elyaf takviyeli poliolefin kompozitten yapılmış paletler ABD patentidir [54].



### **3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

#### **3.1 Malzemeler**

Polimer matris malzemesi olarak 0.91 g/cm<sup>3</sup>lük bir yoğunluğa ve 4-6 g/10 dak (2.16 kg; 230°C) eriyik akış endeksine sahip homopolimer polipropilen (PPh) (PP-MH 418 Petopilen, Petkim A.Ş.) kullanılmıştır. Sandal ağacı 2017 yılında Ege bölgesi Muğla ili Datça ilçesinden temin edilmiştir.

#### **3.2 Yöntemler**

##### **3.2.1 Sandal Ağacının Öğütülmesi ve Elenmesi**

Muğla'nın Datça ilçesinden temin edilen sandal ağacı (SA) kütüğü küçük parçalara bölünmüştür. Küçük parçalara ayrılan sandal ağacı öğütülmeden önce 70 °C deki bir etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutulan sandal ağacı parçaları laboratuvar tipi bir bıçaklı öğütücüde (Mertest LB160, Türkiye) öğütülmüştür. Daha sonra öğütülen sandal ağacı partiküller ile ekleme cihazı ile yaklaşık 100 ve 250 µm altına elenmiştir.

##### **3.2.2 Sandal Ağacının Karakterizasyonu**

Sandal ağacı partiküllerinin termal özellikleri TGA cihazı ile, yüzey fonksiyonel grupları FTIR cihazı ile, kristalografik yapıları XRD cihazı ile, parçacık boyut dağılımları parçacık boyut analiz cihazı ile ve morfolojik yapıları SEM cihazı ile analiz edilmiştir.

###### **3.2.2.1 X Işını Difraktometresi (XRD) Analizleri**

Sandal ağacı (SA) partiküllerinin XRD analizi Panalytical Empirian model X-ışını kırınımı cihazıyla Cu-K $\alpha$  radyasyon ile 2 $\theta$  tarama modunda (45 kV ve 40 mA) gerçekleştirilmiştir. Tarama dedektörü 2 $\theta$ =5° ve 80° arasında veri toplamıştır.

###### **3.2.2.2 Termogravimetrik Analizler (TGA)**

TGA analizlerinde İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan STA cihazı (TA instrument, Q600) ile yapılmıştır. Cihazda analizler azot gazı atmosferinde (gaz akış hızı 20 mL/dakika), oda sıcaklığı-600°C sıcaklık aralığında ve 10°C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri**

Sandal ağacının öğütülmesi ile elde edilen 100 µm altı ve 100-200 µm partiküllerin morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Carl Zeiss300VP) ile incelenmiştir. SEM incelemelerinden önce, plazma kaplama cihazı ile (QUORUM Q150 RES) numunelerin yüzeyleri homojen şekilde altın kaplanılmıştır.

### **3.2.2.4 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi (FT-IR) Analizleri**

FTIR analizlerinde İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan ThermoScientific Nicolet iS50 FT-IR Spektrometre cihazı kullanılmıştır. FT-IR spektrumları 400-4000 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında 2 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte 25 kez tarama yapılarak alınmıştır.

### **3.2.2.5 Parçacık Boyut Dağılım Analizi**

Öğütme işlemi sonucunda elde edilen mikron boyutundaki partiküllerin ortalama boyutlarının saptanmasında Malvern Mastersizer 3000 cihazı kullanılmıştır. Partiküllerin disperse edilme yöntemi olarak kuru dispersiyon yöntemi seçilmiştir.

## **3.3 Polimerik Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu**

### **3.3.1 Polimerik Kompozitlerin Üretimi**

PP matrisli kompozitler, laboratuvar tipi yüksek hızlı termokinetik karıştırıcı (Gülner Makine, Türkiye) kullanılarak üretilmiştir. 100 µm altı ve 100-200 µm SA partiküller kullanılarak ağırlıkça %5,10,15,20 SA dolgulu PP kompozitler üretilmiştir. Kompozit plakalar, hidrolik üniteli sıcak ve soğuk pres (Gülner marka laboratuvar tipi hidrolik pres) yardımı ile üretilmiştir.

### **3.3.2 Polimerik Kompozitlerin Karakterizasyonu**

#### **3.3.2.1 Mekanik Özelliklerin Tespiti**

PP ve sandal ağacı (SA) partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin mekanik özellikleri universal test makinası (Shimadzu AG-IC universal test makinası) kullanılarak tespit edilmiştir. Çekme testleri ASTM D638 standardına göre 50 mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. 3 nokta eğilme testleri ASTM D790 standardına göre 1 mm/dakika eğme hızında yapılmıştır. Üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri

(çekme dayanımı, elastisitemodülü, eğilme dayanımı, eğilme modülü) tespit edilmiştir.

### **3.3.2.2 Isıl Özelliklerinin Tespiti**

Kompozitlerin termal bozunma davranışı termogravimetrik analiz cihazı (SDT Q600, TA Instrument Inc.) kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler azot gazı atmosferinde, 30-600°C sıcaklık aralığında 10°C / dak.ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. DSC analizlerinde diferansiyel taramalı kalorimetre (Q2000, TA Instruments, ABD) cihazı kullanılmıştır. DSC analizi, kompozit numunelerin önce termal geçmişini ortadan kaldırmak için 20 ila 200°C'ye ısıtılması , daha sonra 20°C'ye soğutulması ve son olarak 20 ila 200°C'ye tekrar ısıtılması ile gerçekleştirilmiştir. DSC analizleri azot gazı atmosferi altında ve 10°C/dakika ısıtma ve soğutma hızında yapılmıştır. Kompozit numunelerin erime sıcaklığı, ikinci ısıtma sonrasında belirlenmiştir.

### **3.3.2.3 Viskoelastik Özelliklerinin Tespiti**

Kompozitlerin hava atmosferindeki viskoelastik özelliklerini belirlemek için DMA cihazı (Q800, TA Instrument Inc., ABD) kullanılmıştır. Testler, 30 ila 140°C sıcaklık aralığında vetek mesnetten eğme modu (single cantilever) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### **3.3.2.4 X Işını Difraktometresi (XRD) Analizleri**

Kompozitlerin kristalografik analizleri Panalytical Emperian model X-ışını kırınımı cihazıyla Cu-K $\alpha$  radyasyon ile 2 $\theta$  tarama modunda (45 kV ve 40 mA) gerçekleştirilmiştir. Tarama dedektörü 2 $\theta$ =5° ve 80° arasında veri toplamıştır.

### **3.3.2.5 Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi**

SA-PP kompozitlerin çekme testleri sonrasında oluşan kopma yüzeylerini taramalı elektron mikroskobu incelemelerinden önce bir plazma kaplama sistemi (Quorum Q150 RES) kullanılarak altın kaplanmıştır. 3 kV hızlandırma voltajı altındaki bir taramalı elektron mikroskobu (300 VP FE-SEM, Carl Zeiss AG, Almanya) kullanılarak kompozitlerin SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

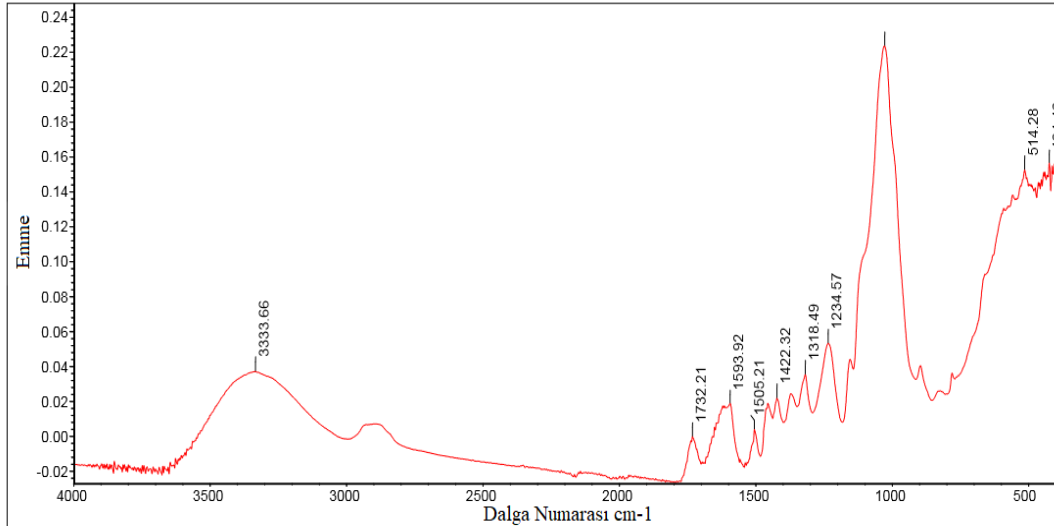
## 4.TARTIŞMA VE SONUÇLAR

### 4.1 Sandal Ağacının Karakterizasyonu

Öğütme işlemi sonrasında elde edilen sandal ağacı partiküllerinin parçacık boyut dağılımları partikül boyut analizi ile, termal özellikleri TGA analizi ile, yüzey fonksiyonel grupları FTIR analizi ile ve kristalografik yapıları XRD analizi ile tespit edilmiştir ve morfolojik özellikleri SEM ile incelenmiştir.

#### 4.1.1 Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi

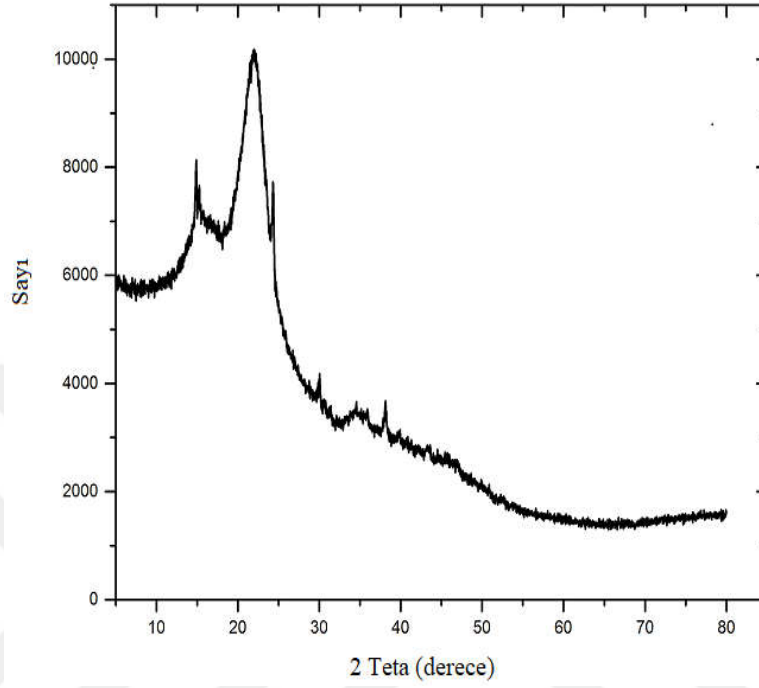
Şekil 4.1.'de sandal ağacı (SA) partiküllerinin FT-IR analizinden elde edilen grafik verilmiştir. Selüloz ve hemiselülozdan kaynaklanan  $3333.66\text{ cm}^{-1}$  deki absorpsiyon pikinin OH gerilme titreşimleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir [55].  $1732\text{ cm}^{-1}$  deki absorpsiyon pikinin lignin ve hemiselülozdaki ester gruplarının  $\text{C}=\text{O}$  gerilme titreşimidir ve  $1600\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pik suyun varlığını göstermektedir [56].  $1595\text{ cm}^{-1}$  deki pik  $\text{C}=\text{O}$  gerilme titreşimidir [55].  $1234$  ve  $1422\text{ cm}^{-1}$  arasındaki zayıf pikler ligninin  $\text{CH}_2$  eğilme, CH simetrik eğilme, O-H in-plane eğilme titreşimlerinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir [55].  $1028\text{ cm}^{-1}$  deki pik selülozun C-O-C gerilme titreşimi nedeni ile oluşan bandtır [55;56].



Şekil 4.1:SA partiküllerininFT-IR analiz grafiği.

#### 4.1.2 X Işını Difraktometresi (XRD) Analizleri

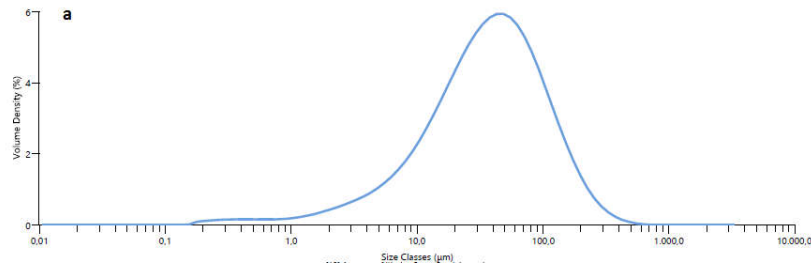
Şekil 4.2.'de sandal ağacı (SA) partiküllerinin XRD analizinden elde edilengrafik gözükmetedir. SA partikülleri  $2\theta=16.6^\circ$  ve  $21.9^\circ$ da selülozun karakteristik difraksiyon piklerine sahiplerdir [57].



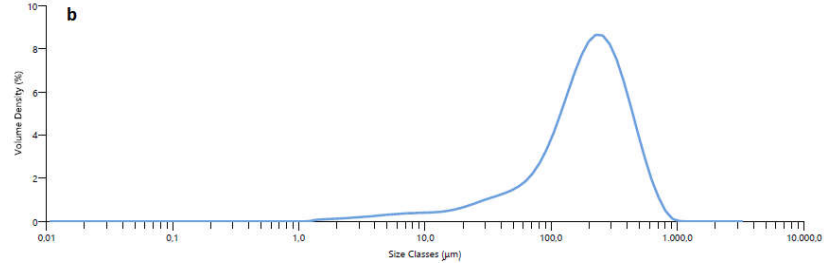
Şekil4.2:SA Partiküllerinin XRD grafiği

#### 4.1.3 Partikül Boyut Analizi

Sandal ağacı parçacıklarının öğütme ve eleme işlemleri sonucunda parçacık boyut analizleri incelenmiştir. Şekil 4.3a'da 100 µm altı ve Şekil 4.3 b'de 100-200 µm SA partiküllerinin parçacık boyut analizleri gösterilmiştir.100 µm altı SA partiküllerinin D50 boyutu 37.2 µm ve 100-200µm SA partiküllerinin D50 boyutu 198 µm olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, 100 µm altı SA partiküllerinin D10 ve D90 partikül boyutları sırasıyla 7.1 µm ve 124 µm olarak bulunmuştur. 100-200µm SA partiküllerinin D10 ve D90 partikül boyutları sırasıyla 41.2 µm ve 440 µm 'dir.



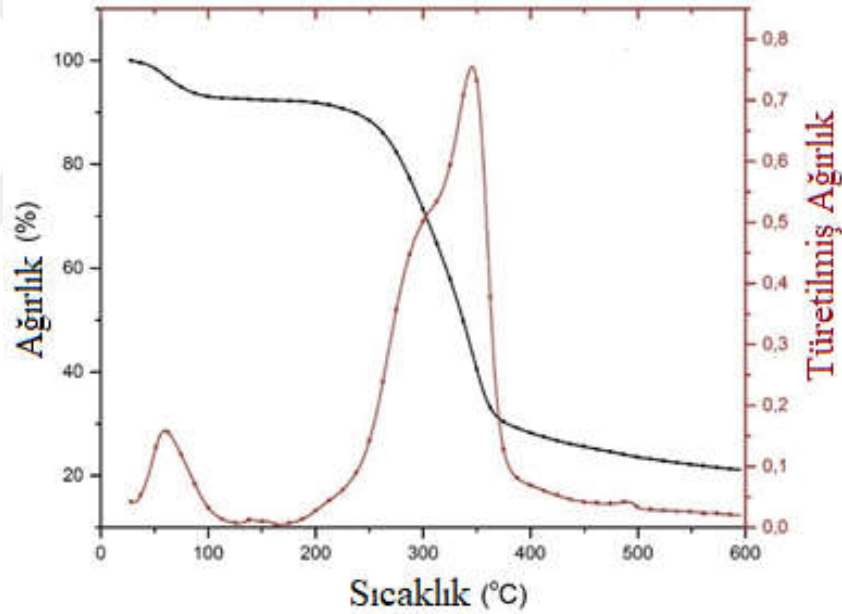
Şekil 4.3: a)100 µm altı SA partiküllerinin parçacık boyut dağılımları.



Şekil 4.3: b)100-200 µm SA partiküllerinin parçacık boyut dağılımları.

#### 4.1.4 Termogravimetrik Analizler (TGA)

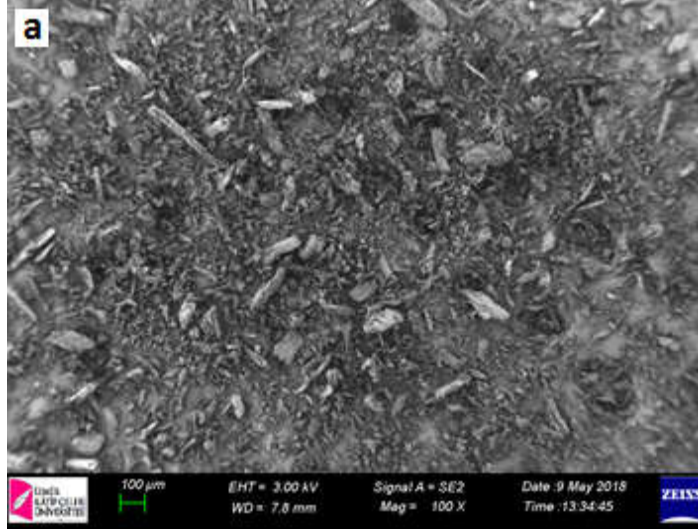
Şekil 4.4.'de SA partiküllerinin TGA analizi sonucu elde edilengrafik gösterilmiştir.SA partiküllerinin ısıl bozunması iki aşamada gerçekleşmektedir. Bozunma başlangıç ve bitiş sıcaklık aralıkları sırasıyla 38.2 ve 362.3°C'dir. Maksimum bozunma sıcaklığı ise 345.7°C olarak bulunmuştur. SA bünyesinde %7.3 nem tespit edilmiştir.



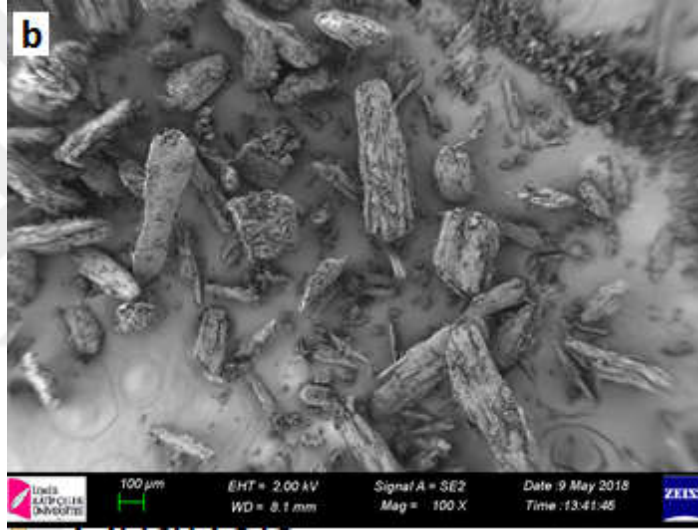
Şekil 4.4:SA Partiküllerinin TGA grafiği.

#### 4.1.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Şekil 4.5.'de 100 µm altı ve 100-200 µm boyuta sahip SA partiküllerinin SEM resimleri verilmiştir. Öğütme ve eleme işlemi sonrasında SA partiküllerinin parçacık şekillerinin aynı olmadığı ve homojen bir dağılım göstermediği görülmektedir. SA parçacıkları düzensiz şekil ve boyuttadır. Ayrıca, SA partiküllerinin en-boy görünüş oranlarının yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5: a) 100 µm altı SA partikülleri SEM görüntüleri.



Şekil 4.5: b) 100-200 µm SA partikülleri SEM görüntüleri.

## 4.2 Polimerik Kompozitlerin Karakterizasyonu

### 4.2.1 Mekanik Özelliklerin Tespiti

Çekme ve üç nokta eğilme testleri sonucunda elde edilen mekanik test sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. Ayrıca, üretilen kompozitlerin çekme dayanımı ve elastisite modülündeki değişimler Şekil 4.6-4.7’de ve eğilme dayanımı ve eğilme modülündeki değişimler Şekil 4.8-4.9’da gösterilmiştir. PP içerisine %5 oranında 100 µm altı SA katılması ile PP’nin çekme dayanımında artış tespit edilmiştir. PP-5SA1 kompozitinin çekme dayanımı PP’ye göre %10,2 artmıştır. Bu partiküllerin polipropilen matris içindeki iyi dağılımını ile açıklanabilir, bu da güçlü partikül-matris etkileşimi sağlar [58].

**Tablo 4.1:**100 µm altı SA ve 100-200 µm SA ile üretilen SA-PP kompozitlerin mekanik özellikleri.

Numune Adı	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)
PP	31.3±0.4	960.1±33.4	46.4±0.5	1138.4±32.2
PP-5SA1	34.5±0.7	1048.8±32.6	46.5±1.4	1330.1±64.8
PP-10SA1	32.2±0.4	1130.4±28.0	46.3±1.0	1449.9±36.7
PP-15SA1	30.9±0.5	1166.2±36.0	44.5±1.2	1454.9±89.3
PP-20SA1	27.8±0.6	1239.9±38.6	42.3±0.5	1610.9±59.8
PP-5SA2	31.5±0.5	998.3±20.2	42.6±0.5	1218.8±38.2
PP-10SA2	28.6±0.8	1051.3±22.0	39.9±1.0	1262.6±29.2
PP-15SA2	26.2±0.8	1095.7±52.5	40.1±0.1	1313.7±37.6
PP-20SA2	23.9±0.6	1122.7±13.2	40.2±0.8	1399.5±40.3

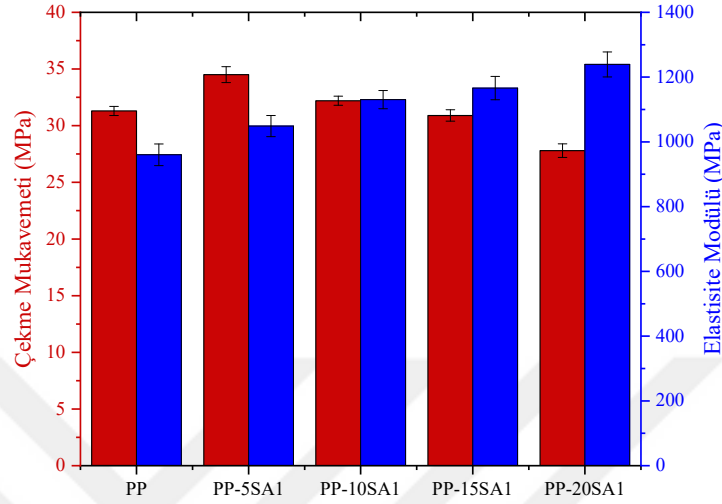
Ancak, PP içerisine katılan SA miktarının artması ile kompozitin çekme dayanımında azalma gözlemlenmiştir. Çekme dayanımındaki azalma SA miktarının artması ile devam etmektedir. En düşük çekme dayanımı PP-20SA2 kompozitinde belirlenmiştir. PP matrisi içerisine %20 SA katıldıktan sonra PP'nin çekme dayanımı 31.3MPa'dan 23.9MPa düşmektedir.

Kompozitin çekme dayanımındaki azalışın nedenleri olarak; SA partiküllerinin PP matrisi ile yeterli ıslatılamaması ve partiküller ile PP matrisi arayüzey yapışmasının yetersiz olması düşünülmektedir. Shumigin ve arkadaşları (2011) yaptıkları çalışmada selüloz katkılı LDPE matrisli kompozitin saf polimere göre çekme dayanımındaki azalmasını fiberler ve matris arasındaki yetersiz ıslanmasına, fiberler ve matris arasındaki zayıf yapışmaya ve fiberlerin matris içerisindeki hizalanmalarına yorumlamışlardır. Matris ve fiber arasındaki zayıf yapışma, fiber matris arayüzeyinde çok sayıda boşluğun oluşmasını başlatabilir ve yük taşıyıcı fiberlere gerilme transferini verimsiz hale getirebilir [58].

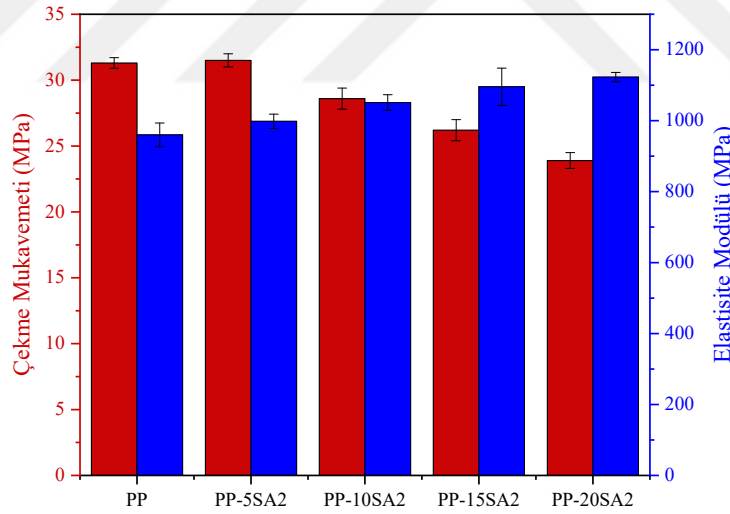
PP'nin elastisite modülü 960.1 MPa'dır. PP matris içerisine SA partiküllerinin katılmasıyla birlikte kompozitlerin elastisite modülünde artış belirlenmiştir. PP'nin elastisite modülü PP içerisine katılan sandal ağacı partikülleri ile sürekli artmaktadır. PP-SA kompozitler arasında en yüksek elastisite modülü 100 µm altı SA partikülleri ile takviyelendirilen PP kompozitte tespit edilmiştir. PP-20SA1 kompozitinin elastisite modülü 1239.9MPa olarak bulunmuştur. Bu kompozitin elastisite modülü, PP'nin elastisite modülüne göre %29.1 oranında artmıştır.



Selüloz fiberlerin elastisite modülü matrisin elastisite modülünden daha yüksek olduğundan kompozitin elastisite modülünü de artırmaktadır. Polimer matrise göre kompozitlerin elastisite modüllerindeki artış selüloz esaslı partiküllerin makromoleküler mobilite ve deformasyon kısıtlamalarıyla ilişkilidir [59].



**Şekil 4.6:**100 µm altı SA partikülleri ile üretilen PP-SAKompozitlerinin çekme dayanımındaki ve elastisite modülündeki değişimler.

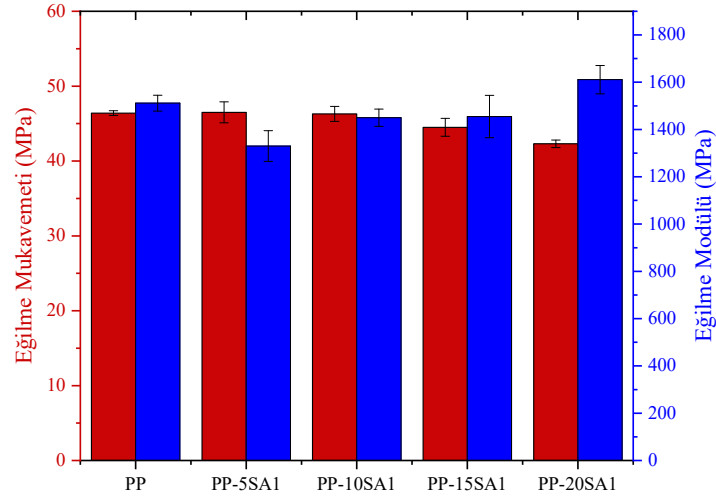


**Şekil 4.7:**100 µm üstü SA partikülleri ile üretilen PP-SAKompozitlerinin çekme dayanımındaki ve elastisite modülündeki değişimler.

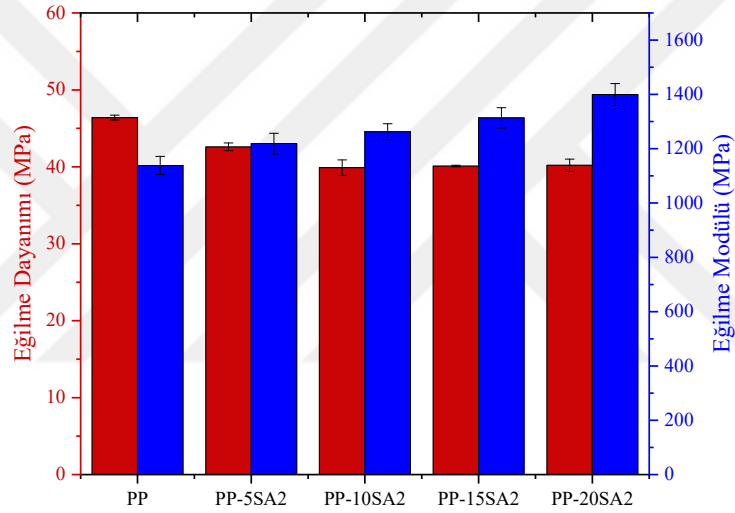
PP ve PP-SA kompozitlerinin eğilme dayanımı ve eğilme modülünde değişimler Şekil 4.8-4.9'da gösterilmiştir. PP-SA kompozitlerin eğilme dayanımları PP-5SA1 haricinde PP'nin eğilme dayanımından daha düşüktür. PP matris içerisine ağırlıkça % 5 SA1 katıldığında PP'nin eğilme dayanımında çok az bir artış incelenmiştir. PP içerisine katılan SA ile birlikte genel olarak PP'nin eğilme dayanımında azalma tespit

edilmiştir. Özellikle 100 µm üstü SA ile üretilen PP matrisli kompozitlerde daha düşük eğilme dayanımları gözlemlenmiştir. Kompozitler arasında en düşük eğilme dayanımı PP-10SA2 kompozitinde tespit edilmiştir. Kompozitlerin eğilme dayanımındaki azalma, dolgu maddelerinin zayıf dağılması, topaklar veya boşluklar gibi kusurların varlığından ve zayıf partikül-matris etkileşiminden kaynaklanabilir. Ayrıca, parçacıkların topaklanması nedeniyle parçacıklar arasında, topaklar ve matris arasında boşluklar olabilir. Bu partikül yüklemesinin artması ile zayıf noktaları ortaya çıkarabilir[60]. Bu boşluklar yükleme sırasında çatlaklar için gerilim konsantrasyon noktaları oluşturabilir[61].

PP-SA kompozitlerin eğilme modülündeki değişimler incelendiğinde, SA partiküllerinin PP içerisine katılması ile eğilme modülünün arttığı belirlenmiştir. PP içerisine katılan SA partikülü miktarının artması ile PP 'nin eğilme modülündeki artışta devam etmektedir. En yüksek eğilme modülüne sahip kompozit 100 µm altı SA partikülleri ile takviyelendirilen PP-20SA1 kompozitinde incelenmiştir. Bu kompozitin eğilme modülü PP'nin eğilme modülü ile karşılaştırıldığında %41.5 oranında artmıştır. Bu oran 100 µm üstü SA partikülleri ile takviyelendirilen PP-20SA2 kompozitinde ise %22.9'dur. Kompozitin eğilme modülündeki artışın sebebi, polimer matrise göre partiküllerin daha rijit olmasından kaynaklanmaktadır. Partiküllerin eklenmesi kompozitin rijitliğini arttıracaktır [60]. Shumigin ve arkadaşları (2011) dolgu malzemesinin modülünün matris malzemesininkinden daha yüksek olmasından dolayı, dolgu malzemesinin matris içerisine katılması ile PP'nin modülünü de arttıracığını belirtmişlerdir. Kompozit modülünün artması partiküllerin matris içerisinde makromoleküler mobilite ve deforma edilebilirliği sınırlandırmasından dolayı kaynaklanmaktadır [60].



**Şekil 4.8:**100 µm altı SA partikülleri ile üretilen PP-SAKompozitlerinin eğilme dayanımındaki ve eğilme modülündeki değişimler.



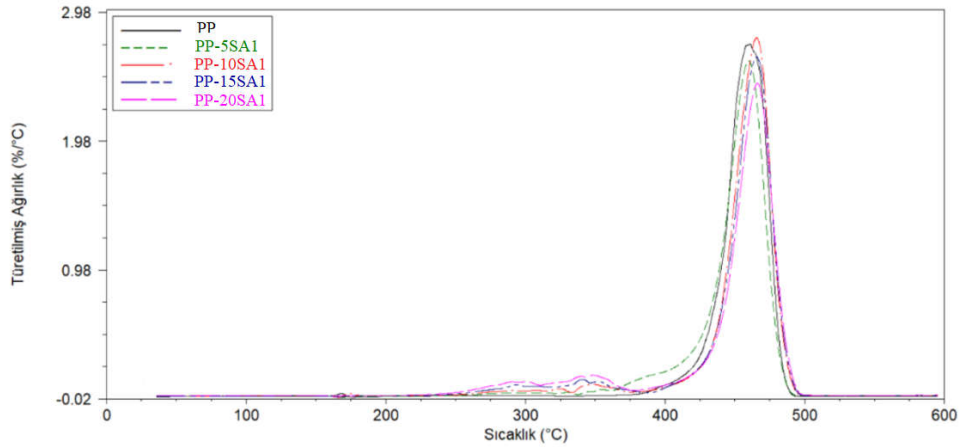
**Şekil 4.9:**100 µm üstü SA partikülleri ile üretilen PP-SAKompozitlerinin eğilme dayanımındaki ve eğilme modülündeki değişimler.

Literatürdeki çalışmalar [62,63] üretilen kompozitler ile karşılaştırılmıştır. PP-20SA1 kompozitinin çekme dayanımı 455 µm altı %20 çam ağacı unu dolgulı PP ve 455 µm altı %20 sert ağaç fiberi takviyeli PP kompozitlerinin çekme dayanımından sırasıyla % 6.1 ve 7.7 daha yüksektir. Ancak, PP-20SA1 kompozitinin eğilme dayanımı %20 çam ağacı unu dolgulı PP ve %20 sert ağaç fiberi takviyeli PP kompozitlerinin eğilme dayanımından biraz daha düşüktür. Ağırlıkça %5 odun tozu (ponderosa çam, akçağaç, meşe, ladin, güneysarı çam ve sedir karışımı, 455 µm boyuta sahip) dolgulı PP kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımları PP-5SA1 kompozitinki ile karşılaştırıldığında, PP-5SA1 kompozitin çekme dayanımı yaklaşık %8.7 daha iyi, ancak eğilme dayanımı ise %8.8 ise daha düşüktür. Ağırlıkça %10 tropikal ağacı tozu (50µm boyuta sahip) içeren PP kompozitin çekme ve eğilme

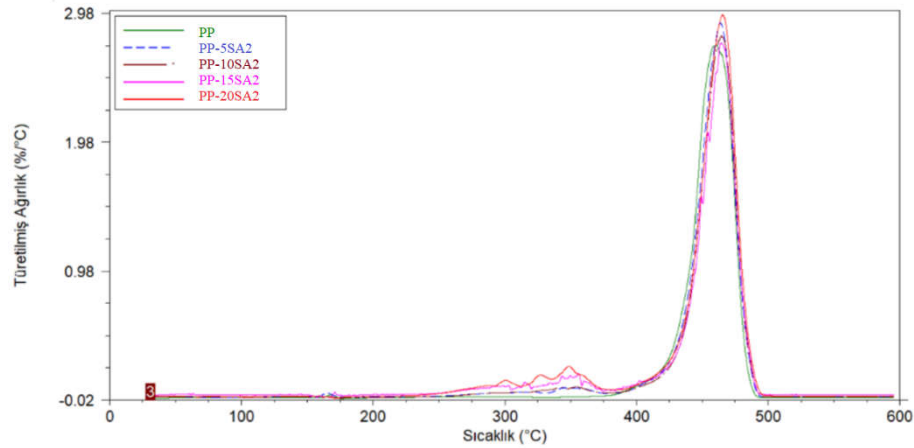
dayanımları ile karşılaştırıldığında, PP-10SA1 kompozitin çekme dayanımı yaklaşık %10 daha iyidir, ancak eğilme dayanımı %1.5 daha düşüktür. Literatür ile karşılaştırıldığında, düşük partikül boyutlarındaki sandal ağacı ile dolgulı PP kompozitleri daha iyi çekme dayanımı sergilerken, eğilme dayanımı daha kötüdür.

#### 4.2.2 Isıl Özelliklerinin Tespiti

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de PP ve SA dolgulı PP kompozitlerin termal bozunma grafikleri gösterilmiştir.



**Şekil 4.10:** PP ve SA dolgulı 100 µm altı PP kompozitlerin termal bozunma grafiği.



**Şekil 4.11:** PP ve SA dolgulı 100 – 200 µm PP kompozitlerin termal bozunma grafiği.

Tablo 4.2’te, PP ve SA dolgulı PP kompozitlerin TGA verileri verilmiştir. 100 µm altı ve 100-200 µm SA partikülleri ile dolgulı PP kompozitlerin % 5 kütle kaybına karşılık gelen termal bozunma sıcaklıklarının (Td), SA'nin PP'ye dahil edilmesiyle azalmaya başladığı görülmektedir. PP ve 100 µm altı SA-PP kompozitlerin PP, PP-5SA1, PP-10SA1, PP-15SA1 ve PP-20SA1 için Td değerleri sırasıyla, 424.5, 384.6, 351.9, 326.4 ve 298.7 °C olarak belirlenmiştir. 100-200 µm SA partikülleri ile

dolgu PP için % 5 kütle kaybındaki Td değerleride belirlenmiş ve PP, PP-5SA2, PP-10SA2, PP-15SA2 ve PP-20SA2 için Td değerleri sırasıyla, 424.5, 360.5, 359.5, 326.1 ve 316.2°C olarak incelenmiştir. Lignoselülozik malzemeler termal olarak 150°C ila 500°C arasında bozunmaya başlarlar. PP'nin kütle kaybı esas olarak 300°C ile 500°C arasında gerçekleşirken, hemiselüloz, selüloz ve ligninin sıcaklık bozulması sırasıyla 150-350°C, 275-350°C ve 250-500°C arasında gerçekleşir [41;42]. Ağırlıkça %20SA (100µmaltı) PP içerisine eklendiğinde Td sıcaklığı yaklaşık olarak 125.8°C azalırken, ağırlıkça %20 SA (100-200 µmarası) PP içerisine eklendiğinde ise Td sıcaklığı yaklaşık olarak 108.4°C azalmıştır. Partikül boyutunun PP matrisli kompozitin Td sıcaklığı üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.2:**SA-PP kompozitlerin termal bozunma sıcaklıkları ve kütle kayıpları.

Malzeme	5% Kütle Kaybının Olduğu Sıcaklık (°C)	Tm (°C)	Kütle kaybı (600 °C) %
PP	424.5	460.7	97.5
PP-5SA1	384.6	459.9	99.3
PP-10SA1	351.9	465.7	98.0
PP-15SA1	326.4	465.6	97.2
PP-20SA1	298.7	466.3	96.6
PP-5SA2	360.5	458.3	99.2
PP-10SA2	359.5	458.3	98.9
PP-15SA2	326.1	458.8	96.8
PP-20SA2	316.2	458.6	95.8

PP'nin maksimum termal bozunma sıcaklığı 460.7° C'dir. 100 µm altı SA-PP kompozitlerinin PP-5SA1, PP-10SA1, PP-15SA1 ve PP-20SA1 için maksimum bozunma sıcaklıkları (Tm) sırasıyla 459.9, 465.7, 465.6 ve 466.3 ° C olarak, 100-200 µm SA/PP kompozitlerinin PP-5SA2, PP-10SA2, PP-15SA2 ve PP-20SA2 için maksimum bozunma sıcaklıkları (Tm) sırasıyla 458.3, 458.3, 458.8 ve 458.6°C olarak tespit edilmiştir. 100 µm altı SA-PP kompozitlerinden PP-10SA1, PP-15SA1, PP-20SA1 kompozitleri üretilen diğer tüm kompozitler ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir termal stabiliteye ulaşmıştır. Odun liflerinin miktarı arttıkça karbonlu artıklarda artmakta ve bunlar ısıya dirençli bir malzeme olarak önemli bir rol oynamaktadırlar[66]. Odun liflerinin bozulması sonucu üretilen karbonlu tabaka PP'nin termal stabilitesini artırabilir[67].

PP ve SA-PP kompozitlerinin DSC verileri Tablo 4.3'de özetlenmiştir. DSC verileri, erimesıcaklığı (Tm), kristalleşme sıcaklığı (Tc), erime entalpi (ΔHm), kristalizasyon

entalpi ( $\Delta H_c$ ) ve kristallik derecesini ( $X_c$ ) içermektedir. Numunelerin  $X_c$  değerleri referans çalışmasına göre hesaplanmıştır[45]. %100 kristalin PP erime entalpisi 209 J/g olarak alınmıştır[68].

SA-PP kompozitlerinin  $T_c$  değerleri, PP'ninkinden daha yüksektir. PP'nin  $T_c$  değeri 118.3°C olarak tespit edilmiştir. PP'ye 100  $\mu$ m altı SA ağırlıkça %5 oranında ilave edildiğinde,  $T_c$  değeri 124.4 °C'ye yükselmiştir. Sonuçlar açıkça, 100  $\mu$ m altı SA yüklemesinin PP'nin kristalleşmesini iyileştirdiğini göstermiştir, çünkü kompozitlerin  $T_c$ 'si PP'ye göre 6.1-6.6°C artmıştır. Buna karşılık PP'ye 100-200  $\mu$ m arası SA ağırlıkça % 5 oranında ilave edildiğinde ise,  $T_c$  değeri 123.0 °C'ye yükselmiştir. 100-200  $\mu$ m SA partiküllerinin PP içerisine katılması ile bu kompozitlerin  $T_c$ 'si PP'ye göre 2.3-5.7 °C arttığı görülmüştür. Kompozitlerin  $T_c$  değerindeki artış çekirdeklenme etkisi ile açıklanabilir [69].

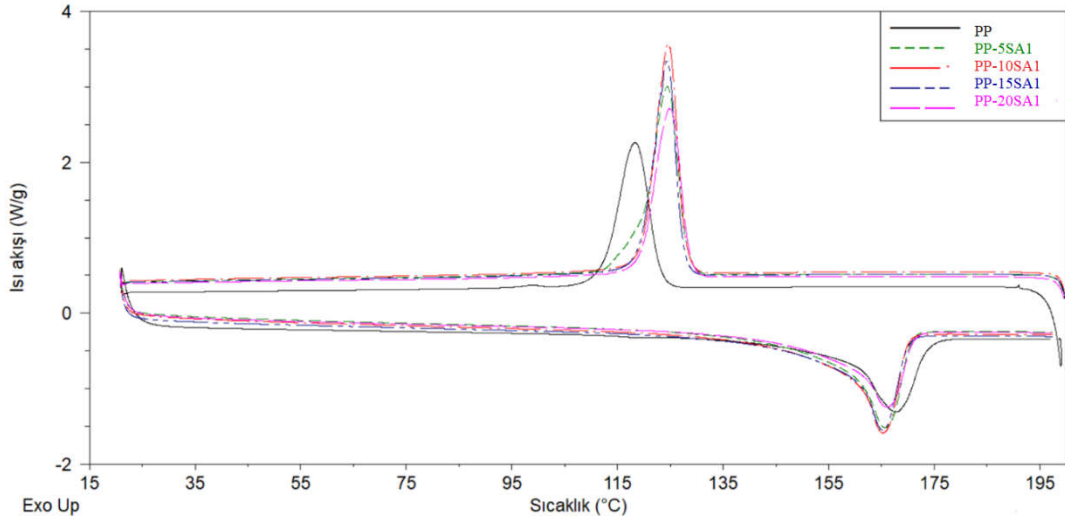
Bu nedenle, lignoselülozik parçacıkların eklenmesi, PP'nin kristalleşmesi için bir çekirdekleştirici madde olarak görev yapar [48]. Bütün kompozitler PP'ye kıyasla daha düşük bir  $T_m$  değerine sahiptir. Ayrıca  $\Delta H_c$  ve  $\Delta H_m$  değerleri, PP'ye %5 SA eklendiğinde önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte,  $\Delta H_c$  değerinin, SA miktarının artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Polimer içerisine düşük miktarda ahşap dolgu ilave edilmesi neticesinde, ahşap parçacıklarının çekirdeklenme etkisinden dolayı polimer çok daha kolay kristaller oluşturabilir. Bununla birlikte, belirli bir içeriğe ulaştığında, bazı topaklanmaların ortaya çıkması, PP'nin kristalleşme davranışını kısıtlayabilir[70].

Bu çalışmada, 100  $\mu$ m altı SA dolgu malzemesi olarak kullanıldığında PP'nin  $X_c$ 'si % 10.6-14.7 oranında artarken, 100-200  $\mu$ m arası SA dolgu malzemesi olarak kullanıldığında ise PP'nin  $X_c$ 'si %10.1-11.6 oranında artmıştır. Kompozitler arasında en yüksek  $X_c$  değerini 10 PP-10SA kompoziti göstermiştir.

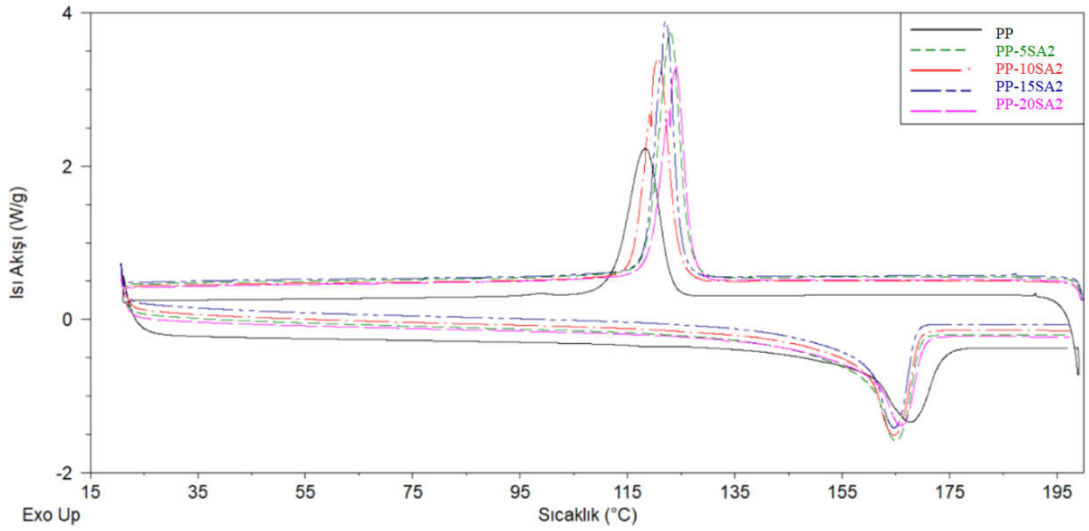
**Tablo 4.3:** PP ve SA dolgulu kompozitlerin DSC analizi sonucunda elde edilen verileri.

Samples	$T_m$ , °C	$T_c$ , °C	$\Delta H_c$ , J/g	$\Delta H_m$ , J/g	$X_c$ , %
PP	167.7	118.3	82.7	79.2	37.9
PP-5SA1	165.8	124.4	102.9	96.3	48.5
PP-10SA1	165.3	124.6	101.4	96.5	51.3
PP-15SA1	165.3	124.6	95.1	90.7	51.1
PP-20SA1	166.1	124.9	87.0	79.2	47.4
PP-5SA2	164.9	123.0	105.8	97.6	49.2
PP-10SA2	164.7	120.6	99.5	91.5	48.7
PP-15SA2	164.8	122.2	92.4	85.3	48.0

Ağırlıkça %20 oduntu (ponderosa çam, akçaağaç, meşe, ladin, güney sarıçam ve sedir karışımı, 455 µm boyuta sahip) dolgulu PP ile karşılaştırıldığında sandal ağacı dolgulu PP kompozitlerin Tc ve Xc değerindeki artışın daha yüksek olduğu görülmektedir[71].



Şekil 4.12:PP ve PP-SA1 kompozitlerin DSC analizi grafiği.

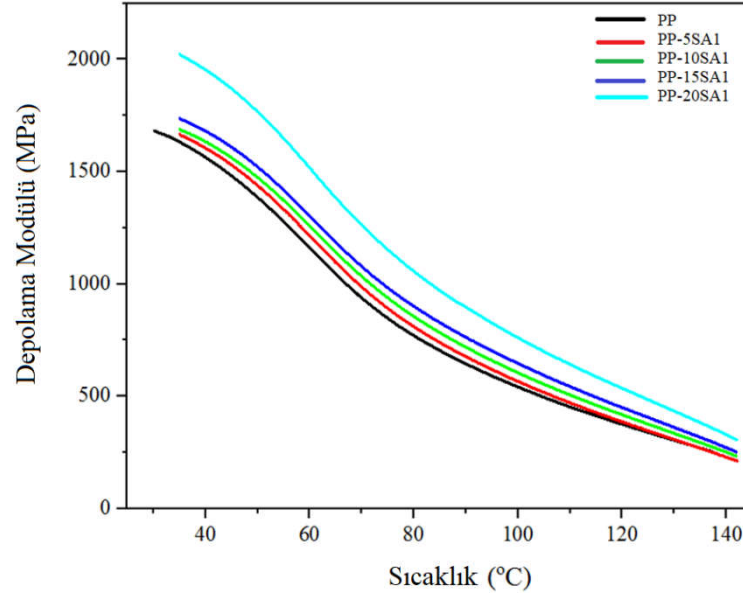


Şekil 4.13: PP ve PP-SA2 kompozitlerin DSC analizi grafiği.

#### 4.2.3 Viskoelastik Özelliklerinin Tespiti

100 µm altı SA partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin ve PP'nin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak depolama modülü, kayıp modülü ve tan delta değişimleri Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'da gösterilmiştir. 100-200 µm SA partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin depolama modülü, kayıp modülü ve tan delta değişimleri Şekil

4.17,4.18 ve 4.19'daverilmiştir. 100 µm altı SA partiküllerinin PP'ye eklenmesi ile PP'nin depolama modülünün tüm sıcaklık aralığında genel olarak arttığı görülmektedir. 100 µm üstü SA partiküllerinin PP'ye eklenmesi incelendiğinde ise, PP'nin depolama modülü yalnızca %15 ve %20 SA2 oranlarında arttığı belirlenmiştir. 35°C 'de PP, PP-5SA1, PP-10SA1, PP-15SA1 ve PP-20SA1'nin depolama modülü değerleri, sırasıyla, 1635.3, 1665.8, 1687.6, 1736.6 ve 2022.5 MPa olarak bulunmuştur. 35°C 'de PP-5SA2, PP-10SA2, PP-15SA2 ve PP-20SA2'nin depolama modülü değerleri ise, sırasıyla, 1584.1, 1604.7, 1827.9, ve 2183.9 5 MPa'dır. Üretilen kompozit malzemeler arasında en yüksek depolama modülü PP-20SA2 kompozitinde tespit edilmiştir. Bu kompozitin 35 °C'deki depolama modülü değeri PP'nin depolama modülüne göre %33,5 daha yüksektir. Sıcaklığın artması ile, PP ve tüm kompozitlerin depolama modülü değerinin azaldığı görülmektedir.

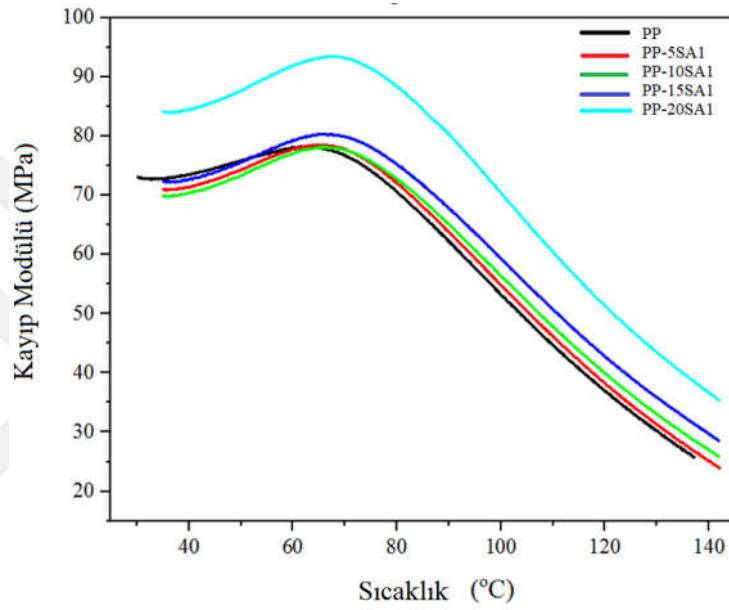


**Şekil 4.14:**100µmaltı SA partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin depolama modül değişimleri.

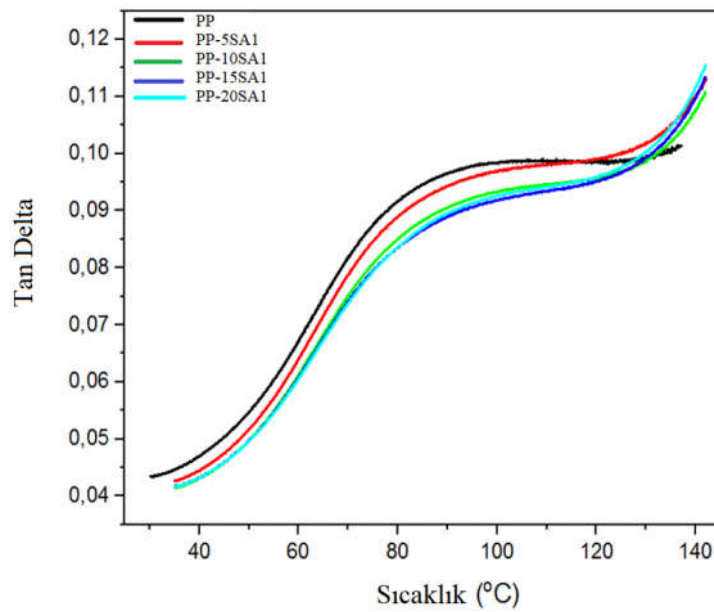
SA-PP kompozitlerden özellikle PP-20SA1 ve PP-20SA2 kompozitlerinin kayıp modüllerinin tepe yüksekliği gevşeme davranışının başlamasından dolayı daha yüksek görünmektedir [72]. Sıcaklığın artması ile, PP ve kompozitlerin kayıp modülü değerlerinin önce artarak maksimum bir değere ulaştığı ve daha sonra maksimum değerden azaldığı görülmektedir. Bu yüksek sıcaklıklarda polimer zincirlerinin serbest hareketinden kaynaklanmaktadır [73,74]. PP, PP-5SA1, PP-10SA1, PP-15SA1 ve PP-20SA1 için  $\alpha$ - gevşeme sıcaklıkları sırasıyla, 66.2, 64.5, 66.4, 66.0,ve 68.6°C olarak bulunmuştur. Ayrıca, PP-5SA2, PP-10SA2, PP-15SA2



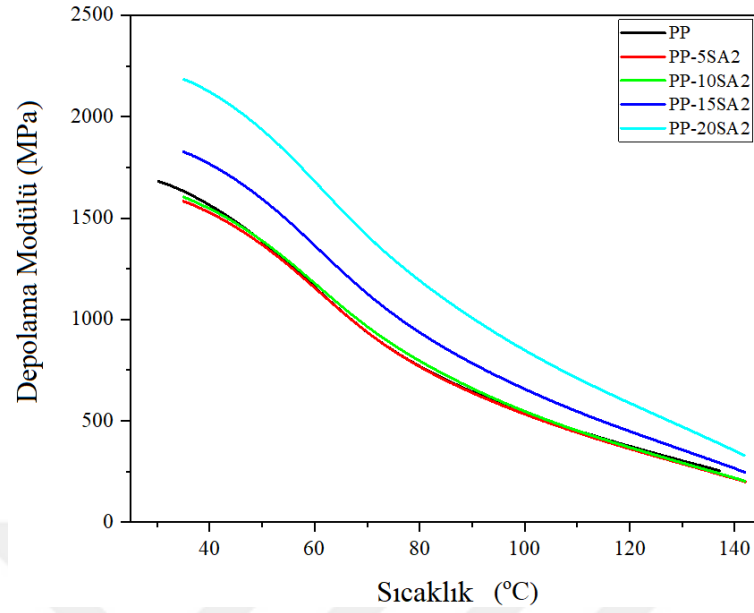
ve PP-20SA2 için  $\alpha$ - gevşeme sıcaklıkları sırasıyla, 64,5, 65,0, 65,9, 66,8°C olarak bulunmuştur. PP matrisi içerisine SA1 ve SA2 ilave edilmesiyle  $\alpha$ -gevşeme sıcaklıklarında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. SA1 ve SA2'nin PP'ye eklenmesi ile tan delta değerleri yüksek sıcaklıklar hariç neredeyse tüm sıcaklık aralığında azalmıştır. PP matrisi içerisine SA1 ilave edilmesiyle  $\alpha$ - gevşeme sıcaklıklarında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. SA1'in PP'ye eklenmesi ile tan delta değerleri yüksek sıcaklıklar hariç neredeyse tüm sıcaklık aralığını azalmıştır.



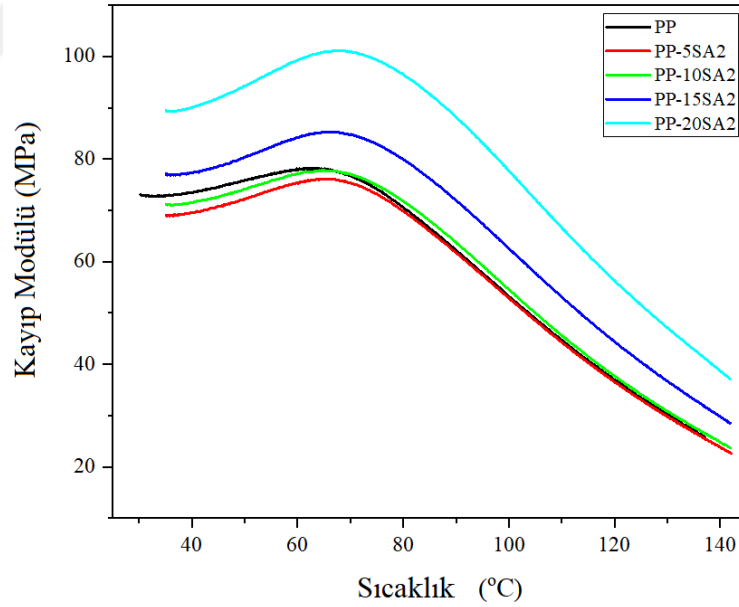
**Şekil 4.15:** 100 $\mu$ m altı SA partikülleri ile dolgulı PP kompozitlerin kayıp modül değişimleri.



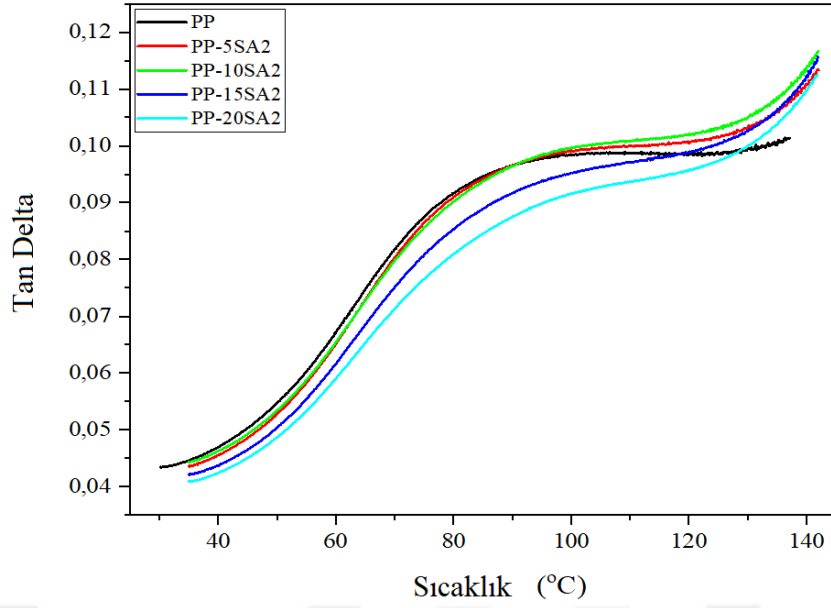
**Şekil 4.16:**100µmaltı SA partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin tan delta değişimleri.



**Şekil 4.17:**100-200 µm SA partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin depolama modül değişimleri.



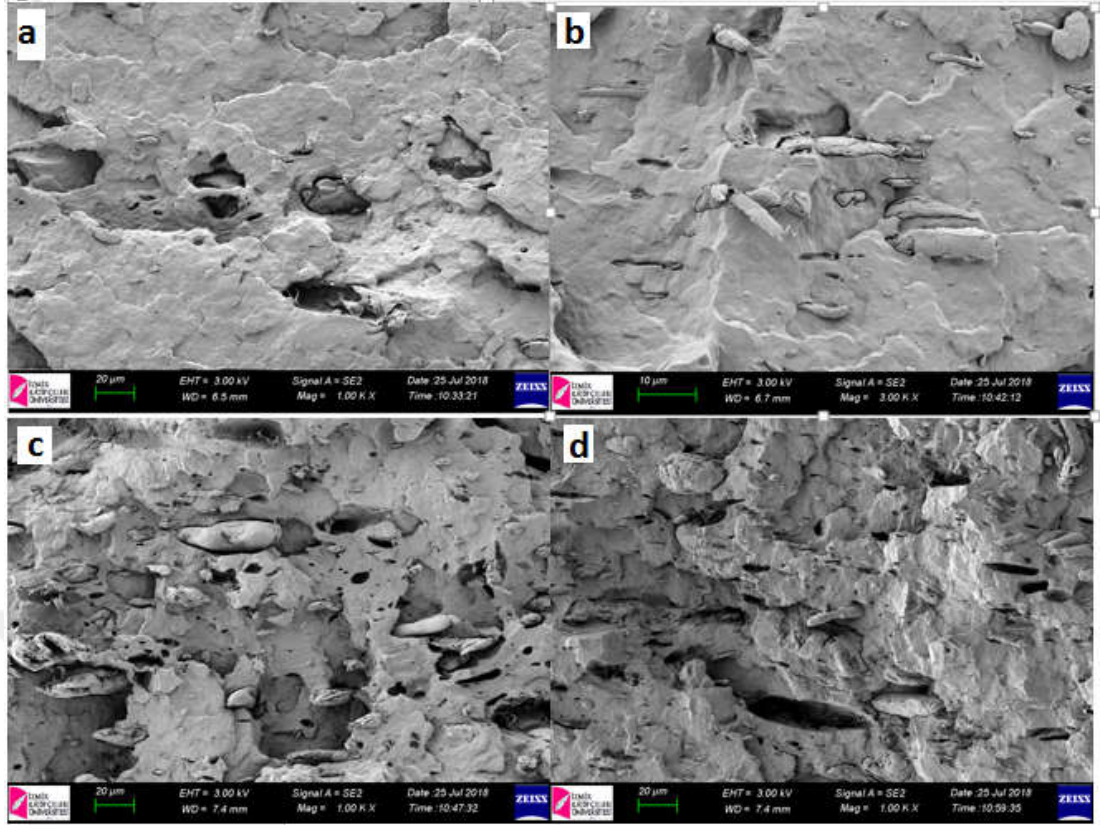
**Şekil 4.18:**100-200 µm SA partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin kayıp modül değişimleri.



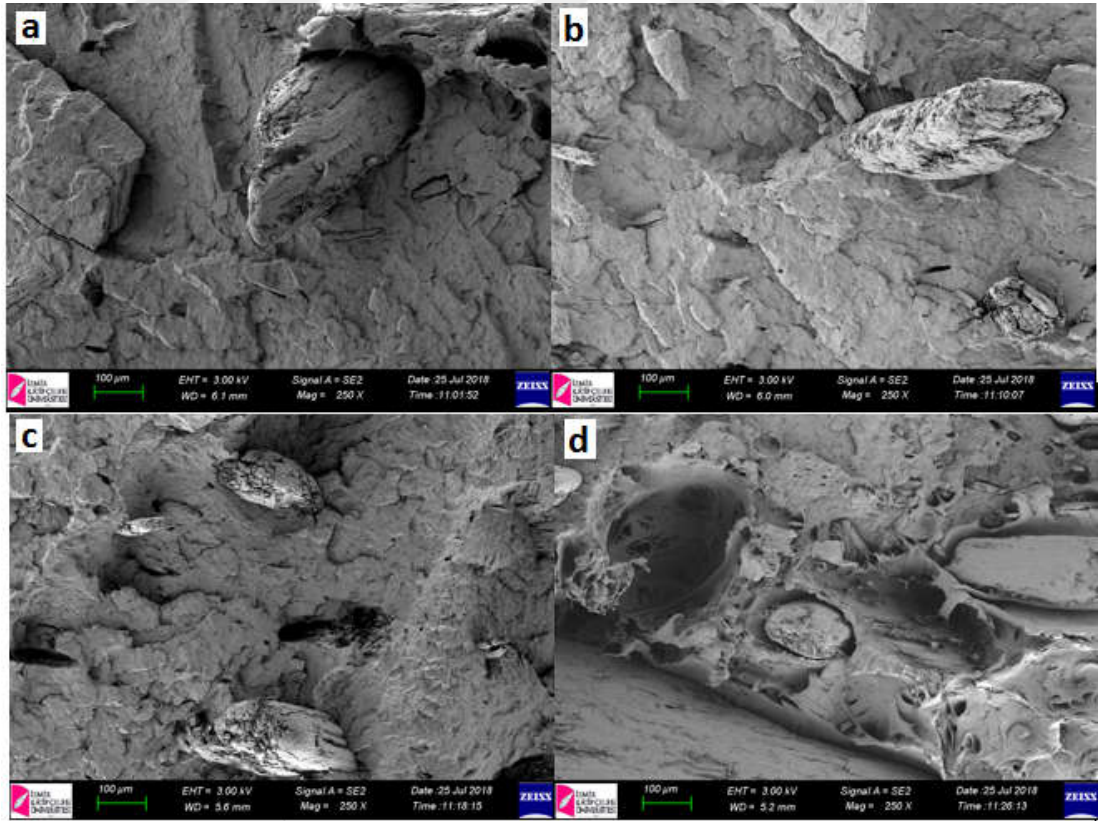
**Şekil 4.19:**100-200 µm SA partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin tan deltadeğişimleri.

#### 4.2.4 Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi

SA-PP kompozitlerine uygulanan çekme testleri sonucu oluşan kopma yüzeyleri SEM ile incelenmiştir. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de kompozit kırılma yüzeylerinin SEM resimleri gösterilmiştir. 100 µm altı SA ile dolgulu PP kompozitlerin kopma yüzeylerinde birçok küçük delik olduğu görülmüştür. Yüksek oranda SA partikülleri PP içerisine katıldığında partiküllerin polimerdeki yerinden çıkması (pull-out) ile oluşan delik sayısının arttığı tespit edilmiştir. Görülen delikler SA ile PP arasındaki arayüzey yapışmasının zayıf olduğunu göstermektedir. 100 µm üstü SA ile dolgulu PP kompozitlerin kopma yüzeylerinde küçük boyuttan büyük boyuta SA parçacıklarının homojen dağılmadığı görülmektedir. SA partiküllerinin polimerden çekilmesi neticesinde (pull-out) oluşan büyük çaptaki delikler belirlenmiştir. Görülen delikler SA ile PP arasındaki arayüzey yapışmasının zayıf olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tüm kompozitlerin kırılma yüzeylerinde görülen ve partiküllerin yerinden çıkması ile sonuçlanan bu durum uygulanan gerilme sonucunda bu noktalarda gerilim yığılması oluşturacak bölgeler oluşturup kompozitlerin kopmasına neden olmuş olabilir.



Şekil 4.20:100 µm altı SA ile dolgulu PP kompozitlerin SEM görüntüleri.



Şekil 4.21:100-200 µm SA ile dolgulu PP kompozitlerin SEM görüntüleri.

## 5.SONUÇLAR

Gerçekleştirilen tez çalışmasında sandal ağacının öğütülmesi ile elde edilen iki farklı boyuttaki (100µm altı, 100-200µm) partiküller kullanılarak polipropilen matrisli kompozitler üretilmiştir. Sandal ağacı partikülleri ile dolgulu polipropilen matrisli kompozitlerin mekanik ve termal analizleri sonucunda elde edilen sonuçlar;

1. PP içerisine %5 oranında 100µmaltı SA katılması ile birlikte PP'nin çekme dayanımı PP'ye göre %10.2 artmıştır. Ancak, PP içerisine katılan SA miktarının artması ile kompozitin çekme dayanımı azalmaktadır. Çekme dayanımındaki azalma SA miktarının artması ile devam etmiştir.PP içerisine SA partiküllerinin katılmasıyla birlikte kompozitlerin elastisite modülü sürekli artmaktadır. PP-SA kompozitler arasında en yüksek elastisite modülü 100 µm altı SA partikülleri ile takviyelendirilen PP kompozitte tespit edilmiştir. PP-20SA1 kompozitinin elastisite modülü PP 'nin elastisite modülüne göre %29.1 oranında artmıştır.
2. PP içerisine katılan SA ile birlikte genel olarak PP'nin eğilme dayanımında azalma tespit edilmiştir. Özellikle 100 µm üstü SA ile üretilen PP matrisli kompozitlerde daha düşük eğilme dayanımları gözlemlenmiştir. Kompozitler arasında en düşük eğilme dayanımı PP-10SA2 kompozitinde tespit edilmiştir. SA partiküllerinin PP içerisine katılması ile eğilme modülünün arttığı belirlenmiştir. PP içerisine katılan SA partikülü miktarının artması ile PP 'nin eğilme modülü de sürekli artmaktadır. En yüksek eğilme modülüne sahip kompozit 100 µm altı SA partikülleri ile takviyelendirilen PP-20SA1 kompozitidir. Bu kompozitin eğilme modülü PP'nin eğilme modülü ile karşılaştırıldığında %41.5 oranında artmıştır. Bu oran 100 µm üstü SA partikülleri ile takviyelendirilen PP-20SA2 kompozitinde ise %22.9'dur.
3. 100 µm altı ve 100-200 µm SA partikülleri ile dolgulu PP kompozitlerin % 5 kütle kaybına karşılık gelen termal bozunma sıcaklıkları (Td), PP'ye katılan SA oranı arttıkça azalmaktadır. Ağırlıkça %20 SA (100µmaltı) PP içerisine eklendiğinde Td sıcaklığı yaklaşık olarak 125.8 °C azalırken, ağırlıkça%20 SA (100-200 µm arası) PP içerisine eklendiğinde ise Td. Sıcaklığı yaklaşık olarak 108.35 °C azalmıştır. Partikül boyutunun PP matrisli kompozitin Td sıcaklığı üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

4. PP'nin maksimum termal bozunma sıcaklığı 460.7°C'dir. 100 µm altı SA-PP kompozitleri PP-5SA1, PP-10SA1, PP-15SA1 ve PP-20SA1 için maksimum bozunma sıcaklıkları (Tm) sırasıyla 459.9, 465.7, 465.6 ve 466.3 °C olarak ve 100-200 µm arası SA-PP kompozitleri PP-5SA2, PP-10SA2, PP-15SA2 ve PP-20SA2 için maksimum bozunma sıcaklıkları(Tm) sırasıyla 458.31, 458.25, 458.78 ve 458.62 °C olarak tespit edilmiştir. 100 µm altı SA-PP kompozitleri (PP-5SA1 haricinde) diğer tüm kompozitler ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir termal stabiliteye ulaşmıştır.
5. SA-PP kompozitlerinin Tc değerleri, PP'ninkinden daha yüksektir. 100 µm altı SA yüklemesinin PP'nin Tc değerlerini 6.1-6.6°C arttırmaktadır. 100-200 µm SA partiküllerinin PP içerisine katılması ile bu kompozitlerin Tc'si PP'ye göre 2.3-5.7°C artmaktadır. Partikül boyutunun PP matrisli kompozitin Tc sıcaklığı üzerinde etkisi görülmüştür. Ayrıca, 100 µm altı SA dolgu malzemesi olarak kullanıldığında PP'nin Xc'si % 10.6-14.7 oranında arttarken, 100-200 µm arası SA dolgu malzemesi olarak kullanıldığında ise PP'nin Xc'si % 10.11-11.61 oranında artmıştır.
6. 100 µm altı SA partiküllerinin PP'ye eklenmesi ile PP'nin depolama modülünün tüm sıcaklık aralığında genel olarak arttığı görülmektedir. 100 µm üstü SA partiküllerinin PP'ye eklenmesi incelendiğinde ise, PP'nin depolama modülü yalnızca %15 ve %20 SA'da arttığı belirlenmiştir. Üretilen kompozit malzemeler arasında en yüksek depolama modülü PP-20SA2 kompozitinde tespit edilmiştir. Bu kompozitin 35 °C'deki depolama modülü değeri PP'nin depolama modülüne göre %33.5 daha yüksektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Brundtland, G. H., Khalid, M., & Agnelli, S. (1987). Our common future. New York.
- [2] Krewitt, W., & Nitsch, J. (2003). The German Renewable Energy Sources Act-an investment into the future pays off already today. *Renewable Energy*, 28(4), 533-542.
- [3] Ayrılmış, N., Göksel, U., Bağlı, E. F., & Özkan, İ. (2015). Ahşap Sandviç Kompozit Levhaların Yapısı ve Mobilya Endüstrisinde Kullanımı. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15(1), 37-48.
- [4] Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., & Akbulut, T. (2014). Dış Cephe Kaplamalarına Ekolojik bir Yaklaşım: Ahşap Polimer Kompozitler, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 3-4.
- [5] Shah, B. L., Matuana, L. M., & Heiden, P. A. (2005). Novel coupling agents for PVC/wood-flour composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 11(4), 160-165.
- [6] Grüneberg, T. (2010). Improvement of Selected Properties of Wood-polymer Composites (WPC): Silane Modification of Wood Particles: Cuvillier.
- [7] Özmen, N., Çetin, N. S., Mengeloğlu, F., & Birinci, E. (2013). Vinyl acetate modified scots pine reinforced HDPE composites: Influence of various levels of modification on mechanical and thermal properties. *BioResources*, 8(1), 1361-1373.
- [8] Doğru Koca, A., & Yıldırım, Ş. (2010). *Ornithogalum nallihanense* sp.nov.(Hyacinthaceae) from northwest Anatolia, Turkey. *Nordic Journal of Botany*, 28(3), 329-331.
- [9] Şatır, A. M. (2014). Farklı içerik ve yöntemlerle hazırlanan epoksi sepiyolit kompozitlerinin özelliklerinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.
- [11] Sreekala, M., Kumaran, M., & Thomas, S. (1997). Oil palm fibers: Morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties. *Journal of applied polymer science*, 66(5), 821-835.
- [12] Mishra, S., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Misra, M., & Hinrichsen, G. (2004). A review on pineapple leaf fibers, sisal fibers and their biocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 289(11), 955-974.
- [13] George, J., Sreekala, M., & Thomas, S. (2001). A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites. *Polymer Engineering & Science*, 41(9), 1471-1485.
- [14] Bledzki, A., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in polymer science*, 24(2), 221-274.
- [15] Mwaikambo, L. Y., & Ansell, M. P. (2002). Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. *Journal of applied polymer science*, 84(12), 2222-2234.
- [16] Joseph, K., Tolêdo Filho, R. D., James, B., Thomas, S., & Carvalho, L. H. d. (1999). A review on sisal fiber reinforced polymer composites. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(3), 367-379.

- [17] Einchhorn, S., Dufresne, A., Aranguren, M., Capadona, J., Rowan, S., Weder, C., & Veigel, S. (2010). Review: Current international research into cellulose nanofibres and composites. *J. Mater. Sci*, 45, 1-33.
- [18] Rong, M. Z., Zhang, M. Q., Liu, Y., Yang, G. C., & Zeng, H. M. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and technology*, 61(10), 1437-1447.
- [19] Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M., Malinconico, M., Buzarovska, A., Grozdanov, A., Gentile, G., & Errico, M. (2007). Natural fiber eco-composites. *Polymer composites*, 28(1), 98-107.
- [20] Li, X., Tabil, L. G., & Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), 25-33.
- [21] Zarate, C., Aranguren, M., & Reboredo, M. (2003). Influence of fiber volume fraction and aspect ratio in resol-sisal composites. *Journal of applied polymer science*, 89(10), 2714-2722.
- [22] Bennov, S. (2000). Risø publication activities in 1999. *Risø publikationsvirksomhed i 1999*.
- [23] Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., & Trada, M. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 42(4), 856-873.
- [24] Siregar, J. P., Cionita, T., Bachtiar, D., Ruzaimi, M., & Rejab, M. (2015). Tensile properties of pineapple leaf fibre reinforced unsaturated polyester composites. *Applied Mechanics and Materials*, 695, 159-162.
- [25] Li, G., Maricherla, D., Singh, K., Pang, S.-S., & John, M. (2006). Effect of fiber orientation on the structural behavior of FRP wrapped concrete cylinders. *Composite structures*, 74(4), 475-483.
- [26] Malaiah, S., Sharma, K. V., & Krishna, M. (2013). Investigation on effect of fiber and orientation on the properties of bio-fibre reinforced laminates. *International Journal of Engineering Inventions*, 2(2), 65-70.
- [27] Pickering, K. L., Efendy, M. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98-112.
- [28] Lau, K.-t., Hung, P.-y., Zhu, M.-H., & Hui, D. (2018). Properties of natural fibre composites for structural engineering applications. *Composites Part B: Engineering*, 136, 222-233.
- [29] Anbukarasi, K., & Kalaiselvam, S. (2015). Study of effect of fibre volume and dimension on mechanical, thermal, and water absorption behaviour of luffa reinforced epoxy composites. *Materials & Design (1980-2015)*, 66, 321-330.
- [30] Kabir, M., Wang, H., Lau, K., & Cardona, F. (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2883-2892.
- [31] Ali, H. Q., Raza, M. A., Westwood, A., Ghauri, F. A., & Asgar, H. (2018). Development and mechanical characterization of composites based on unsaturated polyester reinforced with maleated high oleic sunflower oil-treated cellulose fiber. *Polymer composites*.
- [32] Zhou, Y., Fan, M., & Chen, L. (2016). Interface and bonding mechanisms of plant fibre composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, 101, 31-45.



- [33] Rodríguez, E., Petrucci, R., Puglia, D., Kenny, J. M., & Vazquez, A. (2005). Characterization of composites based on natural and glass fibers obtained by vacuum infusion. *Journal of composite materials*, 39(3), 265-282.
- [34] Senthilkumar, K., Saba, N., Rajini, N., Chandrasekar, M., Jawaid, M., Siengchin, S., & Alotman, O. Y. (2018). Mechanical properties evaluation of sisal fibre reinforced polymer composites: a review. *Construction and Building Materials*, 174, 713-729.
- [35] Matthams, T. (2002). Building on historic success. *Materials Today*, 5(12), 48-53.
- [36] Bledzki, A., Sperber, V., Theis, S., Gasson, J., & Nishibari, S. (1999). GK 99/04/294-Transl. serial no. 13975-Wood-Pilled thermoplastics as an alternative to natural wood. *International Polymer Science and Technology*, 26(6), 1-12.
- [37] Neira, D. S. M. (2005). Fibras de sisal (*Agave sisalana*) como isolante Térmico de Tubulações. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- [38] Holbery, J., & Houston, D. (2006). Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. *Jom*, 58(11), 80-86.
- [39] Spengler, G. (2000). Vehicle interior trim panel with a soft-touch foam layer, and a method and apparatus for making the same: Google Patents.
- [40] Thalheim, B., Heiner, M., Bachmann, P., König, H., Lewerentz, C., Vierhaus, H. T., & Braunmühl, B. v. Jahresbericht 2000/Institut für Informatik.
- [41] Muller, H., & Seagrave, T. (1998). Natural fiber reinforced polyurethanes for the production of automotive trim parts. Paper presented at the Society of the Plastics Industry Inc, Polyurethanes Expo 98: Where Technology Shapes Solutions Conference Proceedings(USA).
- [42] Schlosser, T., & Folster, T. (1995). Automobile construction and ecology-plastic parts reinforced with natural fibers for automotive interior-design. *Kunststoffe-plast europe*, 85(3), 319-321.
- [43] Broge, J. (2000). Natural fibers in automotive components. *Automotive Engineering International*, 108, 120.
- [44] Ho, T. H., Hoenig, W. D., Kao, C.-l., Rowland, M. E., Cummins, C. H., Mullins, M. J., & Silvis, H. C. (2004). Rheology modification of polymers prepared using metallocenes: Google Patents.
- [45] Njuguna, J., Wambua, P., Pielichowski, K., & Kayvantash, K. (2011). Natural fibre-reinforced polymer composites and nanocomposites for automotive applications *Cellulose fibers: bio-and nano-polymer composites* (pp. 661-700): Springer.
- [46] Douglas, M. (2010). Carriage: cultural transports and transformations of a socially-engaged public art practice.
- [47] Bregar, B. (2001). Composites get all decked out. *Plastics News*, 12(51), 1-2.
- [48] Cokar, O., Gelisse, P., Livet, M.-O., Bureau, M., Habib, M., & Genton, P. (2001). Startle response: epileptic or non-epileptic? The case for" flash" SMA reflex seizures. *Epileptic disorders*, 3(1), 7-12.
- [49] Gensewich, C., & Riedel, U. (1999). Pultrusion of construction materials from renewable resources. *Angewandte makromolekulare chemie*, 272, 11-16.
- [50] DeFosse, M. (1999). Processors focus on differentiation in window profiles. *Modern Plastics(USA)*, 76(9), 74-76.
- [51] Crouch, S., Kozlowski, R., Slater, K., & Fletcher, J. (1993). The use of ATP bioluminescence as a measure of cell proliferation and cytotoxicity. *Journal of immunological methods*, 160(1), 81-88.

- [52] Nair, J. R., Carlson, L. M., Koorella, C., Rozanski, C. H., Byrne, G. E., Bergsagel, P. L., Lee, K. P. (2011). CD28 expressed on malignant plasma cells induces a pro-survival and immunosuppressive microenvironment. *The Journal of Immunology*, 187(3), 1243-1253.
- [53] Buckley, R. W. (2003). *Polymer enhancement of technical textiles* (Vol. 14): iSmithers Rapra Publishing.
- [54] Lindsay, H. (2000). Protective Packaging: an introduction to the materials used to produce archival quality boxes, folders, sleeves and envelopes. *Journal of the Society of Archivists*, 21(1), 87-104.
- [55] Evans, D. W. (1998). Method of manufacturing a pallet made of composite fiber reinforced polyolefin: Google Patents.
- [56] Seki, Y., Sarikanat, M., Sever, K., & Durmuşkahya, C. (2013). Extraction and properties of *Ferula communis* (chakshir) fibers as novel reinforcement for composites materials. *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 517-523.
- [58] Kılınc, A., Atagur, M., Ozdemir, O., Sen, I., Kucukdogan, N., Sever, K., Seki, Y. (2016). Manufacturing and characterization of vine stem reinforced high density polyethylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 91, 267-274.
- [57] Durowaye, S., Lawal, G., & Olagbaju, O. (2014). Microstructure and mechanical properties of sisal particles reinforced polypropylene composite. *International Journal of Composite Materials*, 4(4), 190-195.
- [59] Sarikanat, M., Seki, Y., Sever, K., & Durmuşkahya, C. (2014). Determination of properties of *Althaea officinalis* L. (Marshmallow) fibres as a potential plant fibre in polymeric composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 57, 180-186.
- [60] Shumigin, D., Tarasova, E., Krumme, A., & Meier, P. (2011). Rheological and mechanical properties of poly (lactic) acid/cellulose and LDPE/cellulose composites. *Materials Science*, 17(1), 32-37.
- [61] Reyes, J. E. P. (2015). Effect of surface treatment and particle loading on the mechanical properties of CFB fly ash reinforced thermoset composite. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 6(1), 6.
- [62] Thomas, S., & Pothan, L. A. (2009). Natural fibre reinforced polymer composites: from macro to nanoscale: *Archives contemporaines*.
- [63] Stark, N. M., & Rowlands, R. E. (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and fiber science*. Vol. 35, no. 2 (2003): Pages 167-174.
- [64] Idrus, M. M., Hamdan, S., Rahman, M. R., & Islam, M. S. (2011). Liquefied Tropical Wood/Polypropylene Composites: Preparation and Physico-mechanical Properties. *Materials Physics and Mechanics*, 11, 126-136.
- [65] Bodîrlău, R., Teacă, C.-A., & Spiridon, I. (2007). Thermal investigation upon various composite materials. *Rev. Roum. Chim*, 52(1-2), 153-158.
- [66] Jeske, H., Schirp, A., & Cornelius, F. (2012). Development of a thermogravimetric analysis (TGA) method for quantitative analysis of wood flour and polypropylene in wood plastic composites (WPC). *Thermochimica Acta*, 543, 165-171.
- [67] Klyosov, A. A. (2007). *Wood-plastic composites*: John Wiley & Sons.
- [68] Gwon, J. G., Lee, S. Y., & Kim, J. H. (2014). Thermal degradation behavior of polypropylene base wood plastic composites hybridized with metal (aluminum, magnesium) hydroxides. *Journal of applied polymer science*, 131(7).
- [69] Selvakumar, V., & Manoharan, N. (2014). Thermal properties of polypropylene/montmorillonite nanocomposites. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(S7), 136-139.

[70] Kasami, H., Okuno, T., & Yamane, S. (1975). Properties of concrete exposed to sustained elevated temperature Structural mechanics in reactor technology.

[71] Ndiaye, D., Diop, B., Thiandoume, C., Fall, P. A., Farota, A. K., & Tidjani, A. (2012). Morphology and thermo mechanical properties of wood/polypropylene composites Polypropylene: IntechOpen.

[72] Romanzini, D., Lavoratti, A., Ornaghi Jr, H. L., Amico, S. C., & Zattera, A. J. (2013). Influence of fiber content on the mechanical and dynamic mechanical properties of glass/ramie polymer composites. *Materials & Design*, 47, 9-15.

[73] Romanzini, D., Ornaghi Jr, H. L., Amico, S. C., & Zattera, A. J. (2012). Influence of fiber hybridization on the dynamic mechanical properties of glass/ramie fiber-reinforced polyester composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(23), 1652-1661.

[74] Martínez-Hernández, A., Velasco-Santos, C., De-Icaza, M., & Castano, V. M. (2007). Dynamical–mechanical and thermal analysis of polymeric composites reinforced with keratin biofibers from chicken feathers. *Composites Part B: Engineering*, 38(3), 405-410.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : ALİ SORGUN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 24.02.1986 - Afyonkarahisar  
**E-posta** : alisorgun@windowlive.com

### **Eğitim:**

Distance Education: Texas A&M University – Civil Engineering (2018-... )  
Yüksek Lisans : Katip Çelebi Üniversitesi – Biyokompozit Mühendisliği (2016-2018)  
Lisans: Dokuz Eylül Üniversitesi – Maden Mühendisliği Bölümü 2008- 2012 (İzmir)  
Lise: Atakent Anadolu Lisesi (İzmir)  
İlköğretim: Atakent İlköğretim (İzmir)

### **İş/Staj Denevimlerim:**

- 1-Koza Altın Bergama Ovacık Altın Madeni -2010Staj – Yeraltı Üretim
- 2-Tüprag Altın Kışladağ Altın Madeni – 2011 (Stajyer)Staj – Açık Ocak Üretim
- 3-Tüprag Altın Kışladağ Altın Madeni – 2011 (Stajyer)Staj- Cevher Hazırlama Zenginleştirme
- 4-Tüprag Altın Efemçukuru Altın Madeni -2012 (Stajyer)Staj- Yeraltı Üretim
- 5-Koza Altın Bergama Ovacık Altın Madeni – 2012 (Stajyer)Bitirme Projesi- Çukuralan Açık ocak işletmesinde üretim yöntemi seçimi
- 6-Gerçek İnşaat Ltd. Şti./Çimento Çimento Fabrikası – 2013 (Agrega Üretim Mühendisi) - İZMİR
- 7-Yenigün İnşaat A.Ş. – 2014,2015 ( şev destekleme şefi / agregat tesis şefi) – muş
- 8-Yenigün inşaat A.Ş. Star Rafinerisi Projesi – 2016,2017 ( Altyapı Saha Şefi ) – İZMİR
- 9-Detaş Yapı /Akfem İnşaat – Akçay Baraj İnşaatı-2018 (Şantiye Şefi)SAKARYA

### **Yabancı Dil:**

İngilizce: Okuma: İyi, Yazma: İyi, Anlama: İyi  
Almanca: Okuma: Başlangıç Yazma: Başlangıç Anlama: Başlangıç