

**BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLA MATRİSLİ BAZALT-ODUN LİFİ TAKVİYELİ BİYOKOMPOZİTLERİN  
ÜRETİLMESİ VE İZOLASYON ÖZELLİKLERİ DAHİL PERFORMANS  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Onur AYKANAT**

**Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı**

**TEMMUZ 2019**



**BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLA MATRİSLİ BAZALT-ODUN LİFİ TAKVİYELİ BİYOKOMPOZİTLERİN  
ÜRETİLMESİ VE İZOLASYON ÖZELLİKLERİ DAHİL PERFORMANS  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Onur AYKANAT  
(161081907)**

**Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali ERMEYDAN**

**TEMMUZ 2019**

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 161081907 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Onur AYKANAT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "PLA Matrisli Bazalt-Odun lifi Takviyeli Biyokompozitlerin Üretilmesi ve İzolasyon Özellikleri Dahil Performans Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali ERMEYDAN**.....  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Oktay GÖNÜLTAŞ** .....  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Yakup AYKUT** .....  
Uludağ Üniversitesi

**Savunma Tarihi :** 01 Temmuz 2019

**FBE Müdürü :** **Doç. Dr. Murat ERTAŞ** .....  
Bursa Teknik Üniversitesi ...../...../.....

## İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Onur AYKANAT

İmzası :

X X X X

## ÖNSÖZ

“PLA Matrisli Bazalt-Odun lifi Takviyeli Biyokompozitlerin Üretilmesi ve İzolasyon Özellikleri Dahil Performans Özelliklerinin İncelenmesi” adlı bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki destek ve katkılarından dolayı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali ERMEYDAN’a teşekkürlerimi sunarım.

1180152 numaralı “PLA matrisli bazalt-odun lifi takviyeli biyokompozitlerin üretilmesi ve izolasyon özellikleri dahil performans özelliklerinin incelenmesi” adlı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirdiğim bu çalışma için TÜBİTAK’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince beni destekleyen ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2019

Onur AYKANAT

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
KISALTMALAR .....	viii
SEMBOLLER .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SUMMARY .....	xv
<b>1. GİRİŞ...</b>	<b>1</b>
1.1 Amaç .....	1
1.2 Polilaktik Asit (PLA) .....	2
1.2.1 PLA'nın özellikleri .....	3
1.2.2 PLA'nın bozunması .....	4
1.2.3 PLA'nın kullanım alanları .....	4
1.3 Bazalt lifi .....	5
1.3.1 Bazalt lifi üretimi .....	7
1.3.2 Bazalt lifi özellikleri.....	9
1.3.2.1 Isıl direnç.....	9
1.3.2.2 Mekanik dayanım.....	10
1.3.2.3 Kimyasal dayanım.....	10
1.3.2.4 Adezyon Özellikleri .....	10
1.3.3 Bazalt lifi kullanım alanları.....	10
1.4 Odun lifi .....	12
1.4.1 Kayın ağacı .....	13
1.4.2 Ahşap plastik kompozitler .....	13
1.4.3 Ahşap plastik kompozitlerin kullanım alanları .....	14
1.5 Biyokompozit malzemeler .....	14
1.6 İzolasyon parametreleri .....	15
1.6.1 Ses iletim kaybı.....	15
1.6.2 Isıl iletkenlik katsayısı .....	16
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>	<b>17</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>21</b>
3.1 Materyal .....	21
3.1.1 Polilaktik Asit (PLA) .....	21
3.1.2 Dolgu malzemeleri .....	21
3.2 Yöntem .....	22
3.2.1 Malzemelerin üretim için hazırlanması.....	22
3.2.1.1 Öğütme işlemi .....	22
3.2.1.2 Mekanik karıştırma .....	23
3.2.2 Biyokompozitlerin üretilmesi .....	23
3.2.2.1 Biyokompozitlerin ekstrüder ile üretilmesi.....	24

3.2.2.2	Biyokompozitlerin pres ile kalıplanması .....	25
3.2.2.3	Lazer kesim makinesiyle test numunelerinin kesilmesi.....	26
3.3	Biyokompozitlere uygulanan testler.....	26
3.3.1	Fiziksel testler .....	26
3.3.1.1	Yoğunluk.....	27
3.3.1.2	Su alma oranı.....	27
3.3.1.3	Kalınlık artışı.....	27
3.3.2	Mekanik testler.....	28
3.3.2.1	Çekme testi.....	28
3.3.2.2	Eğilme testi .....	29
3.3.3	Termal özelliklerin belirlenmesi .....	30
3.3.3.1	Termogravimetrik analiz (TGA) ve Türev termogravimetrik analiz (DTG).....	30
3.3.3.2	Termomekanik özellikler- Isıl sapma sıcaklığı (HDT) .....	30
3.3.4	Biyokompozitlerin izolasyon özelliklerinin belirlenmesi .....	31
3.3.4.1	Akustik özelliklerinin belirlenmesi .....	31
3.3.4.2	Isıl iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi .....	32
3.3.5	Biyokompozitlerin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi .....	32
3.3.6	FTIR spektroskopik analizi .....	33
<b>4.</b>	<b>BULGULAR ve TARTIŞMA.....</b>	<b>34</b>
4.1	Mekanik testlere ait bulgular .....	34
4.2	FTIR analizine ait bulgular .....	37
4.3	TGA analizine ait bulgular .....	40
4.4	Isıl iletkenlik katsayısı ölçüm testine ait bulgular .....	43
4.5	Isıl sapma sıcaklığı (HDT) testi .....	43
4.6	Biyokompozitlerin yoğunluk analizine ait bulgular.....	44
4.7	Biyokompozitlerin su alma oranı analizlerine ait bulgular .....	45
4.8	Biyokompozitlerin kalınlık artış oranı analizlerine ait bulgular .....	48
4.9	Biyokompozitlerin ses iletim kaybı ölçümü analizine ait bulgular.....	51
4.10	Biyokompozitlerin SEM analizine ait bulgular.....	52
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>55</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>57</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>61</b>



## KISALTMALAR

<b>BL</b>	: Bazalt lifi
<b>FTIR</b>	: Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre
<b>HDT</b>	: Isıl sapma sıcaklığı testi
<b>KAO</b>	: Kalınlık artış oranı
<b>OL</b>	: Odun lifi
<b>PB</b>	: Polilaktik asit/Bazalt lifi biyokompoziti
<b>PBO</b>	: Polilaktik asit/Bazalt lifi/Odun lifi biyokompoziti
<b>PLA</b>	: Polilaktik asit
<b>PO</b>	: Polilaktik asit/Odun lifi biyokompoziti
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu
<b>SAO</b>	: Su alma oranı
<b>TGA</b>	: Termogravimetrik analiz
<b>STL</b>	: Ses iletim kaybı

## SEMBOLLER

<b>d</b>	: Yoğunluk
<b>e<sub>k</sub></b>	: Klimatize edilmiş durumdaki örneklerin kalınlığı (mm)
<b>m</b>	: Örneklerin kuru ağırlığı
<b>m<sub>y</sub></b>	: Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)
<b>T<sub>g</sub></b>	: Camsı geçiş sıcaklığı
<b>T<sub>m</sub></b>	: Erime sıcaklığı
<b>v</b>	: Hacim
<b>w<sub>r</sub></b>	: Örneklerin rutubetli ağırlığı
<b>w<sub>0</sub></b>	: Örneklerin kuru ağırlığı

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Bazalt kimyasal kompozisyonu (Singha, 2012) .....	7
Çizelge 1.2 : Bazalt fiberin termal özellikleri (Singha, 2012).....	9
Çizelge 3.1 : Ekstrüder işlem sıcaklıkları .....	24
Çizelge 3.2 : Biyokompozitlerin ağırlık oranları .....	24
Çizelge 4.1 : PLA/OL biyokompozitlerinin mekanik özellikleri .....	34
Çizelge 4.2 : PLA/BL biyokompozitlerinin mekanik özellikleri.....	35
Çizelge 4.3 : PLA/BL/OL biyokompozitlerinin mekanik özellikleri .....	36
Çizelge 4.4 : Isıl sapma sıcaklığı testi (HDT) değerleri .....	44
Çizelge 4.5 : Biyokompozitlerin yoğunluk analizleri.....	44



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Polilaktik asit (PLA) polimerizasyonu (Bajpai vd., 2012).....	2
Şekil 1.2 : PLA ile üretilmiş otomotiv parçaları örnekleri (Üner ve Koçak, 2012) ....	5
Şekil 1.3 : Bazalt taşı (Jamshaid ve Mishra 2015).....	6
Şekil 1.4 : Junkers tipi bazalt üretimi (Jamshaid ve Mishra 2015) (1) bazalt eriyik, (2) üfleme valfleri, (3) hızlandırıcı silindir, (4) elyaflaştırıcı silindir, (5) bazalt elyafları .....	8
Şekil 1.5 : Santrifüj çok makaralı sistem (Basaltex, 2015).....	8
Şekil 1.6 : BCF üretimi (Wei vd., 2010) (1) Kırılmış taş silosu, (2) tartı, dozaj ve karıştırma bölmesi, (3) Taşıma sistemi, (4) doldurma bölmesi, (5) İlk erime bölgesi, (6) İkincil kontrollü ısıtma bölgesi, (7) sürekli fiber şekillendirmesi, (8) Boyutlandırma, (9) Elyaf oluşumu, (10) Mil etrafında döndürme, (11) Sarma... 9	9
Şekil 1.7 : Bazalt fiber kompozit ürünleri (Zhishen vd., 2012).....	11
Şekil 1.8 : Odunun şematik modeli (Yamamoto vd., 2002).....	13
Şekil 1.9 : Otomotivde kullanılan bazı biyokompozit parçalar (Holbery ve Houston, 2006) .....	15
Şekil 1.10 : (a) Empedans tüpü cihazı, (b) Empedans tüpü ve kullanılan cihazların şematik gösterimi (Ahmadi vd., 2015).....	16
Şekil 2.1 : Kompozit yapımında kullanılan basalt kumaş ve PLA ince levha (Lv vd., 2012). .....	18
Şekil 2.2 : a. PLA kaplı BL, b. Normal ekstrüzyonla hazırlanmış kısa BL/PLA kompozit c. PLA kaplı uzun bazalt lifleri PLA kompozit. ....	18
Şekil 3.1 : PLA, (a) granül (b) öğütülmüş .....	21
Şekil 3.2 : Kayın ağacı, (a) testere talaşı (b) odununu.....	22
Şekil 3.3 : Bazalt lifleri, (a) kırık lif (b) öğütülmüş bazalt fiberi.....	22
Şekil 3.4 : Fritsch Pulverisette 19 öğütücü makinesi.....	23
Şekil 3.5 : IKA Eurostar 20 Mekanik karıştırıcı.....	23
Şekil 3.6 : Gülnar makine 40 L/D çift vidalı ekstrüder .....	24
Şekil 3.7 : Kompozitlerin preslenmesi .....	25
Şekil 3.8 : Presleme işleminde kullanılan teflon kumaş .....	25
Şekil 3.9 : Biyokompozitlerin levha şeklinde kalıplanmış hali (20x20 cm).....	26
Şekil 3.10 : Kaya grup KG-960 lazer kesim cihazı .....	26
Şekil 3.11 : Shimadzu Universal Test cihazı .....	28
Şekil 3.12 : Çekme ve eğilme testi numuneleri .....	29
Şekil 3.13 : Shimadzu universal test cihazı eğilme testi aparatları.....	29
Şekil 3.14 : Hitachi TGA cihazı .....	30
Şekil 3.15 : HDT analizi test numuneleri .....	31
Şekil 3.16 : Ses iletim kaybı numuneleri (çapı: 29 mm boyutunda) .....	31
Şekil 3.17 : Fox 314 laser comp. ısı iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı.....	32
Şekil 3.18 : Isıl iletkenlik katsayısı analiz numuneleri (10x10x1 cm) .....	32
Şekil 3.19 : Bruker Tensor 37 FTIR analiz cihazı .....	33

Şekil 4.1 : PLA/OL biyokompozitlerinin FTIR analiz grafiği .....	37
Şekil 4.2 : PLA/BL biyokompozitlerinin FTIR analiz grafiği.....	38
Şekil 4.3 : PLA/BL/OL biyokompozitlerinin FTIR analiz grafiği .....	39
Şekil 4.4 : PLA/OL biyokompozitlerinin TGA analiz grafiği.....	40
Şekil 4.5 : PLA/BL biyokompozitlerinin TGA analiz grafiği .....	41
Şekil 4.6 : PLA/BL/OL biyokompozitlerinin TGA analiz grafiği.....	42
Şekil 4.7 : Isıl iletkenlik katsayısı grafiği .....	43
Şekil 4.8 : PLA/OL biyokompozitlerinin su alma oranı (%).....	45
Şekil 4.9 : PLA/BL biyokompozitlerinin su alma oranı (%).....	46
Şekil 4.10 : PLA/BL/OL biyokompozitlerinin su alma oranı (%) .....	47
Şekil 4.11 : PLA/OL biyokompozitlerinin kalınlık artış oranı (%).....	48
Şekil 4.12 : PLA/BL biyokompozitlerinin kalınlık artış oranı (%) .....	49
Şekil 4.13 : PLA/BL/OL biyokompozitlerinin kalınlık artış oranı (%).....	50
Şekil 4.14 : Biyokompozitlerin ses iletim kaybı analizi .....	51
Şekil 4.15 : Saf PLA SEM görüntüleri .....	52
Şekil 4.16 : PO2 SEM görüntüleri.....	52
Şekil 4.17 : PO5 SEM görüntüleri .....	53
Şekil 4.18 : PB2 SEM görüntüleri .....	53
Şekil 4.19 : PB5 SEM görüntüleri .....	53
Şekil 4.20 : PBO2 SEM görüntüleri .....	54
Şekil 4.21 : PBO5 SEM görüntüleri .....	54

# PLA MATRİSLİ BAZALT-ODUN LİFİ TAKVİYELİ BİYOKOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE İZOLASYON ÖZELLİKLERİ DAHİL PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Geleneksel petrol/doğalgaz türevi polietilen/polipropilen gibi polimerler ile üretilen kompozitlerin sürdürülebilir olmayışı ve/veya doğada bozunmamaları yanında, günümüzde çevresel bilincin artması ve dünyamızın karşı karşıya kaldığı ekolojik riskler sebebiyle, alternatif olma potansiyeline sahip “biyokompozitler (biyomalzeme içeren kompozitler)” konusuna ilgi ve yürütülen araştırmalar son yıllarda yoğun bir şekilde artmaktadır. Bununla birlikte, özellikle çok yoğun kullanım alanları olan ambalaj ve izolasyon sektörlerinde, kullanım sonrası oluşan atık problemleri sebebiyle duyulan kaygılar birçok alanda sentetik polimerik malzemelerin kullanımının azaltılmasını gerekli kılmaktadır. Diğer yandan hafif olmaları, mükemmel mekanik özellikleri, proses kolaylığı, akustik özellikleri, vd. nedeniyle biyokompozitler havacılık ve otomotiv sektörlerinden ev gereçlerine kadar geniş bir alanda kullanılabilen ve cam lifli destekli sentetik plastiklere alternatif olabilmektedir. Bununla birlikte mekanik özelliklerinin iyi olması ve doğal kaynaklardan elde edilmesi, polilaktik asiti (PLA) petrol türevi polimerlere önemli bir alternatif yapmakta ve takviye ediciler ile birlikte üretilen biyokompozitlerin pek çok konvansiyonel mühendislik malzemesine alternatif olabilme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Bazalt lifi ise bazalt taşlarından elde edilen takviye malzemeleridir. Bazalt ülkemizde de yoğun olarak bulunan bir maden olan volkanik kaya kütlelerinden biridir. Bazalt lifi ısı yalıtımı, ses yalıtımı, akustik düzenleme ve yangın yalıtımı amacıyla kullanılmakta olup cam lifinden daha iyi mekanik özellikler gösterebilmektedir. Bu çalışmada PLA matrisli, bazalt ve izolasyon özellikleriyle öne çıkan kayın odunu takviyeli biyokompozitler üretilmiş ve izolasyon özellikleri dahil performans özellikleri incelenmiştir. Bu çift takviyeli kompozitleri üreterek izolasyon özellikleri iyileştirilmiş biyobozunur malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bazalt ve odunu takviyeli kompozitler ayrı ayrı farklı oranlarda üretilmiş ve hem bazalt hem odunu içeren çift takviyeli kompozitlerle karşılaştırılmıştır. Biyokompozitler 40 L/D çift vidalı ekstrüder yardımıyla üretilmiş, üretilen biyokompozitlere mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve eğilme testleri yapılmıştır. Kimyasal bağ gerilmelerini belirlemek için FTIR analizi, termal özelliklerini belirlemek için TGA analizi ve termomekanik özellikleri için ısıl sapma sıcaklığı testi (HDT) yapılmıştır. Biyokompozitlerin fiziksel özelliklerini belirlemek için yoğunluk, su alma oranı ve kalınlık artışı testleri yapılmıştır. Biyokompozitlerin izolasyon özellikleri için ısıl iletkenlik katsayısı testi ve ses iletim kaybı ölçümü testleri yapılmıştır. Biyokompozitlerin iç yapısını detaylı bir şekilde incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Sonuç olarak, %20'ye kadar hem bazalt hem odunu kullanılan biyokompozitlerin eğilme dayanımlarının bir miktar arttığı, bu orandan sonra düştüğü, çekme dayanımlarının ise çapraz bağlayıcı kullanılmadığı için her oranda PLA'ya kıyasla düştüğü bulunmuştur. Çekme ve eğilme modüllerinin ise bazalt lifi içeren kompozisyonlarda kullanım oranıyla birlikte arttığı tespit edilmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı ölçümü testinde odunu içeren örneklerin PLA'ya kıyasla çok

daha düşük iletkenlik katsayısı gösterdiği, ses iletim kaybı testindeyse bazalt lifi içeren örneklerin sesi daha az iletmedi bulunmuştur. Bununla birlikte odun unun içeren örneklerin selülozik malzemenin higroskopik kimyasal yapısı sebebiyle su alım ve şişme oranlarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, ucuz takviye malzemesiyle desteklenmiş, geliştirilmiş izolasyon özelliklerine sahip çevreye duyarlı biyokompozitler üretilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** bazalt lifi, odun lifi, polilaktik asit, biyokompozit, izolasyon özellikleri



# **PRODUCTION OF PLA MATRIX BASALT-WOOD FIBER REINFORCED BIOCOMPOSITES AND INVESTIGATION OF PERFORMANCE FEATURES INCLUDING INSULATION PROPERTIES**

## **SUMMARY**

Because of the unsustainability and/or biodurability of the composites produced with polymers such as petroleum/natural gas derived polyethylene/polypropylene and the increase of environmental awareness and the ecological risks, in recent years researches have increasing interest on biocomposites (biomaterials-containing composites) which have the potential to be bio-based alternatives. However, especially in packaging and insulation sectors and concerns about waste problems after use, it become necessary to reduce the use of synthetic polymeric materials. On the other hand, being lightweight, having excellent mechanical properties, ease of process, and good acoustic properties of biocomposites makes them to be an alternative to glass fiber-reinforced plastics in a wide range of fields from aerospace to automotive industry and home appliances. In addition, bio-based polylactic acid with its good mechanical properties, is an important alternative to petroleum-derived polymers and it is known that biocomposites produced with PLA matrix and various supports have the capacity to be an alternative to many conventional engineering materials. Basalt fiber is a filler obtained from basalt stones. Basalt is one of the volcanic rock masses, which is a mineral found in our country. Basalt fiber is used for thermal insulation, sound insulation, acoustic regulation and can show better mechanical properties than glass fiber. In this study, we produced basalt fiber and beech wood flour reinforced biocomposites with PLA matrix, and investigated performance characteristics including insulation properties. These double-reinforced composites were developed to produce biodegradable materials with better insulation properties. Basalt and wood flour reinforced composites were produced separately in different proportions and compared with double-reinforced composites. Biocomposites were produced by 40 L/D twin screw extruder, tensile and bending tests were performed to determine the mechanical properties. FTIR analysis was made to determine the chemical bonds. TGA analysis was carried out for thermal properties and thermal deflection temperature test (HDT) was performed for thermomechanical properties. In order to determine the physical properties of biocomposites, density, water absorption rate and thickness increase tests were performed. Thermal conductivity coefficient and sound transmission loss measurement were carried out to investigate isolation properties of biocomposites. In order to examine the morphology of biocomposites, scanning electron microscope (SEM) was used. As a result, it was found that both basalt and wood flour supported biocomposites up to 20% had increased bending strengths, but it falls beyond this ratio, and their tensile strengths decreased compared to PLA in all ratios since no crosslinkers was used. It was determined that the tensile and flexural modulus increase with the increasing rate of basalt fiber in the composition. In the thermal conductivity coefficient measurement, it was found that the samples containing wood had a lower conductivity coefficient compared to PLA, whereas the



samples containing basalt fiber transmit less of the sound in the sound transmission loss test. However, due to the hygroscopic chemical structure of the samples containing wood flour, water uptake and swelling rates were found to be higher. As a result of the study, environmentally friendly biocomposites with improved insulation properties have been produced with cheaper reinforcement materials.

**Keywords:** basalt fiber, wood fiber, polylactic acid, biocomposite, isolation properties



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Amaç

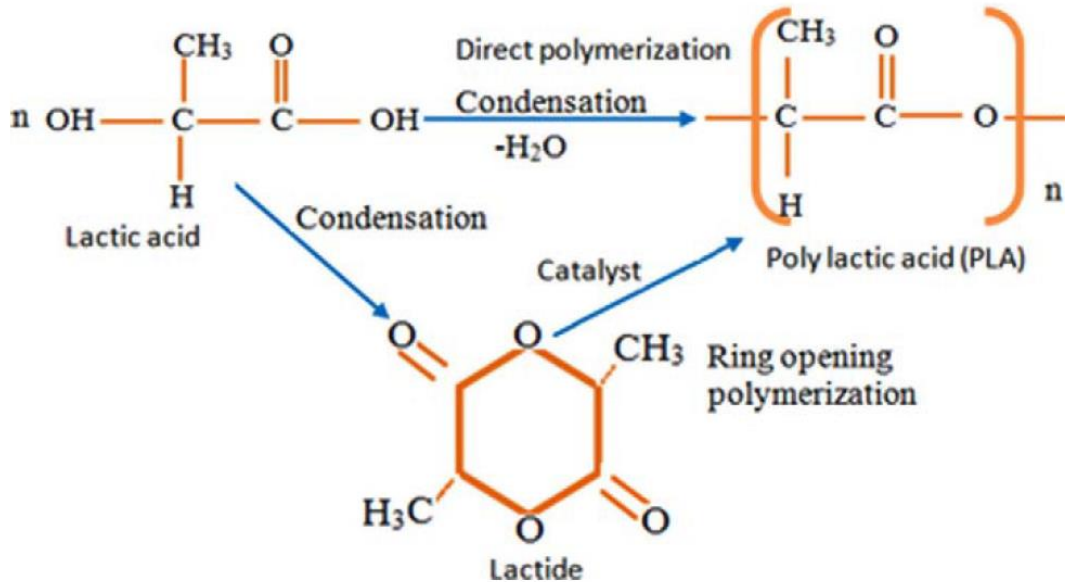
Bu tezin amacı polilaktik asit (PLA) matrisli, bazalt ve/veya odun lifi takviyeli biyokompozit malzemenin üretilmesi ve başta izolasyon (yalıtım) özellikleri olan ısı iletkenlik ve akustik testleri olmak üzere, gerekli performans test ve analizlerinin yapılmasıdır. Takviye malzemelerinin kullanım amaçları, PLA gibi biyobozunur ve geleceğin mühendislik malzemesi olarak düşünülen bir polimere mekanik direncini düşürmeden uyumlu dolgu malzemelerinin araştırılması ve belirli kullanım alanlarına yönelik olarak izolasyon özelliklerini arttırmaktır. Bu katkı maddeleri de biyobozunur/biyouyumlu olmaları gibi özelliklerden dolayı seçilmişlerdir. Yöntem kısmında da belirtildiği üzere farklı kombinasyonlarda katılacak olan takviye malzemeleri saf PLA malzemeyle kıyaslamak suretiyle hedeflenen kazanımlar ortaya çıkarılmış olacaktır. Diğer yandan bazalt lifi ve odun lifleri de etkileri bakımından kendi içinde kıyaslanacaktır. Hangi malzemenin izolasyon özelliklerinin daha iyi olduğu, hangi maddenin PLA ile adezyonunun iyi olduğu, bu iki maddenin birlikte kullanımının yaratacağı avantaj veya dezavantajlar ortaya çıkarılacaktır.

Bu çalışmada, PLA matrisli, bazalt/odun lifi takviyeli biyokompozitlerin üretilmesi ve performans testlerinin yapılarak analiz edilmesi, bazalt taşından elde edilen bazalt liflerinin yüksek ısı direnci ve ses izolasyon özelliklerinin üretilen biyokompozit malzemeye etkileri ve elde edilen verilerin analizinin yapılması, konvansiyonel plastik matrisli kompozit malzemelere biyobazlı alternatif malzeme geliştirerek çevreye duyarlı malzeme geliştirilmesi ve bazalt-odun lifi kullanarak kompozitlerin maliyetinin düşürülmesi, bazalt taşından elde edilen bazalt lifleri gibi ülkemizde ham maddesi bulunan malzemelerle çalışmalar yaparak sürdürülebilirliğin sağlanması ve bunun karşılığı olarak ülke ekonomisine katkı sağlanması, doğayı korumak için biyobozunur/biyobazlı/geri dönüşümü yapılabilir malzemeler üretilmesine katkı sağlanması, PLA/bazalt ve odun lifi kompozitlerinin üretimi ve karakterizasyonu ile birlikte bu malzemelerin kullanılabilirliğine ilişkin elde edilecek veri tabanı ile

literatüre ve yapılması muhtemel diğer bilimsel çalışmalara katkı sağlanması hedeflenmektedir.

## 1.2 Polilaktik Asit (PLA)

Polilaktik asit (PLA), biyoyumluluğu/biyobozunurluğu ve mekanik direnci sebebiyle biyomedikal alandaki uygulamaları iyi bilinen bir polimerdir. 20 yıldan fazla süredir cerrahi cihazlar, örn. makaslar veya klipsler için kullanılmaktadır. Son zamanlarda, bu biyomedikal uygulamalar, kontrollü ilaç aktarım sistemlerine ve kırık fiksasyonu için vidalar gibi daha büyük parçalara genişletilmiştir (Nampoothiri vd., 2010). PLA üretimi için hammadde kaynağı, şeker veya mısır/nişasta gibi neredeyse tüm tarımsal malzemelerdir veya tarımsal üretimden kaynaklanan atık maddeler de kullanılabilir. Bu temel maddeler, PLA üretimi için gerekli olan temel kimyasalların bakteriyel fermantasyonu işlemi ile laktit monomer ve izomerleri elde edilir (Şekil 1.1). Safılaştırılan/izole edilen laktit monomerleri alifatik termoplastik polyesterler üretmek üzere kullanılır. PLA şu an için 3D yazıcılarında filament olarak, bir takım biyobozunur şişe ve paketlerde, tarımda, medikal alanlarında ve birçok farklı uygulamada kullanılmakta, gelecekte de daha geniş alanlarda kullanılması beklenmektedir (Nampoothiri vd., 2010).



Şekil 1.1 : Polilaktik asit (PLA) polimerizasyonu (Bajpai vd., 2012)

PLA, 60-70°C aralığında bir camsı geçiş sıcaklığına ( $T_g$ ) ve 160-180°C civarında bir erime sıcaklığına ( $T_m$ ) sahip olan yarı kristal bir polimerdir. PLA, sırasıyla 3.2-3.7 GPa ve 55-60 MPa aralığında elastik modül ve gerilme mukavemeti olan, iyi mekanik özelliklere sahip bir polimerdir (Baiardo vd., 2003).

PLA oldukça kırılğan ve sert bir polimerdir. Plastikleştiriciler plastik polimerlerin işlenebilirlik, esneklik ve sünekliklerini geliştirmek için plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Laktit monomerin PLA için mükemmel bir plastikleştirici olduğu genel bir bilgidir, ancak malzeme yüzeyinde göç etmeye başlar, bu da yüzeyin çamurlaşmasına neden olur. Plastikleştirici kaybının bir sonucu olarak, polimer giderek katılaştır (Baiardo vd., 2003). PLA'nın düşük  $T_g$ 'sini ve kırılğanlığını iyileştirmek için çalışmalar devam etmektedir.

### **1.2.1 PLA'nın özellikleri**

PLA'nın özellikleri, bileşen izomerlerine, işlem sıcaklığına, tavlama süresine ve moleküler ağırlığa bağlıdır. Poli-L-laktit (PLLA), L-laktitin polimerizasyonundan ortaya çıkan üründür. PLLA, %37 civarında bir kristallik, 50-80°C arasında bir camsı geçiş sıcaklığına ve 173-178°C arasında bir erime sıcaklığına sahiptir. Stereo düzenli zincir mikroyapısı nedeniyle, optik olarak şeffaf olan polilaktitler, poli (L-laktit) (PLLA) ve poli (D-laktit) (PDLA), yarı kristaldir (Sarasua vd., 1998).

Bununla birlikte, farklı laktit yapısal ünite zincir düzeni ne olursa olsun, polilaktitlerin özelliklerini çeşitli polimerizasyon yöntemleriyle ayarlamak için yapılan çalışmalar sonucunda, hem düzensiz hem de kristal polilaktitler, oda sıcaklığında ve vücut sıcaklıklarında gevrek davranış sergileyebilmesi için kullanıldı (Franchini vd., 2005). Polilaktit berrak, renksiz bir termoplastiktir ve birçok açıdan polistirene benzer. Polilaktik asit, çoğu termoplastik gibi, lif ve filme işlenebilir (Auras vd., 2004).

Genel olarak, polilaktitler, dioksan, asetonitril, kloroform, metilen klorit, 1,1,2-trikloroetan ve dikloroasetik asit içinde çözünür. Etil benzen, toluen, aseton ve tetrahidrofur, soğukken polilaktitleri sadece kısmen çözer, ancak bu çözücüler içinde kaynama sıcaklıklarına ısıtıldığında kolayca çözünür. Kristalin poli(L-laktid), aseton, etil asetat veya tetrahidrofuranda çözünür değildir. Tüm polilaktitler suda, bazı alkollerde ve alkanlarda çözünmez (Drumright vd., 2000).

### **1.2.2 PLA'nın bozunması**

Polimer degradasyonu temel olarak, zincirleri veya makromoleküllerin yan zincirlerini kesmek suretiyle oluşmaya başlar. Doğada, polimer parçalanması, termal aktivasyon, hidroliz, biyolojik (yani enzimler), oksidasyon, fotoliz veya radyoliz ile indüklenir (Muller, 2008).

Biyotik ve biyotik olmayan işlemlerin bir arada bulunması nedeniyle, polimer bozunma mekanizmasının tamamı, çoğu durumda, çevresel bozunma olarak da adlandırılabilir. PLA degradasyonunun moleküler ağırlık, kristallik, saflık, sıcaklık, pH, uç karboksil veya hidroksil gruplarının varlığı, suda geçirgenlik ve katalizör olarak rol oynayan katkı maddeleri, bakteri veya inorganik dolgu maddeleri gibi bir dizi faktöre bağlı olduğu bilinmektedir (Park ve Xanthos, 2009).

PLA, kaynar su ile hidrolize edilebilir veya monomerin geri dönüşümü sağlanabilen laktik aside buharlaştırılabilir. Bu, moleküler geri dönüşüme yol açabilir ve hem üretim tesisi malzemelerinin hem de tüketici sonrası ambalajların geri dönüşümüne izin verebilir. PLLA, 180-350°C'de 30 dakika süreyle hidrolize edilebilir ve nihai ürün olarak L-laktik asit elde edilebilir (Auras vd., 2004).

PLA'nın 90 günden daha kısa bir sürede "kontrollü bir kompost ortamında" karbondioksit ve suya ayrıldığı bilinir. Kompostlama, heterojen organik maddenin, kontrollü koşullar altında nemli, sıcak, aerobik bir ortamda karışık bir mikrobiyal popülasyon tarafından hızlandırılmış bozunmasıdır (Ghorpade vd., 2001).

### **1.2.3 PLA'nın kullanım alanları**

PLA bir termoplastik olarak birçok gereksinimi karşılamaktadır ve genel paketleme uygulamaları için önerilmektedir. Kendi monomerleri ile plastikleştirildiğinde PLA, esnek bir hale gelir, böylece PVC, LDPE, LLDPE, PP ve PS'yi taklit edebilecek sürekli bir ürün serisi hazırlanabilir. Artan plastikleştirici ile bozulma artar ve plastikleştirici içeriği veya oryantasyonu azaltarak raf ömrü uzatılır. Biyobozunur olduğu için, gevşek dolgulu ambalaj, kompost torbaları, gıda ambalajı üretmek için yararlı olan biyoplastiklerin hazırlanmasında da kullanılabilir. PLA ayrıca döşeme, tek kullanımlık giysiler, tenteler, kadın hijyen ürünleri ve bebek bezleri gibi birçok potansiyel kullanıma sahiptir. Polilaktik asit (PLA) biyolojik olarak parçalanabilir ve ilaç verme mikroküresi ve doku mühendisliği dahil olmak üzere biyomedikal alanlarda geniş uygulamalara sahiptir. Aynı zamanda, kolay işlevselleştirilmiş yapıya sahip, biyolojik

olarak parçalanabilen önemli bir malzemenin başka bir türü olarak, poli (fosfat ester), ilaç dağıtım malzemesi de dahil olmak üzere, biyomedikal alanlarda yaygın olarak uygulanmıştır (Nampoothiri vd., 2010). Şekil 1.2’de PLA’dan üretilmiş çeşitli otomotiv parçaları gösterilmiştir.



İç kapı döşeme kumaşı



Yan gövde koruması



PLA esaslı nonwoven yüzey



Floklu Direk stütu

**Şekil 1.2 :** PLA ile üretilmiş otomotiv parçaları örnekleri (Üner ve Koçak, 2012)

### 1.3 Bazalt lifi

Bazalt çevre dostu bir doğal malzemedir. Bazalt, bazalt lifi (BL) üretiminde kullanılır. BL, doğal bazalttan yapılmış, yüksek performanslı bir inorganik elyaf türüdür. BL, yeşil endüstriyel malzeme olarak bilinir. Geniş kaynaklarda bulunabilen bazalt taşı, uzun zamandan beri termal özellikleri ve dayanıklılığı ile bilinmektedir. BL, sürdürülebilir bir materyal olarak sınıflandırılabilir, çünkü BL'leri doğal malzemeden yapılırlar ve üretimi sırasında herhangi bir çözücü, pigment veya diğer tehlikeli malzeme kullanılmadığı gibi, çok az oranda enerji ile üretilebilir. Kanserojen ve toksik olmadığı kanıtlanmış ve test edilmiştir (Jamshaid ve Mishra 2015). Çapı 5 mikron veya daha az olan yapay lifler, solunma tehlikesi olarak kabul edilir (Czigany vd., 2005).

BL, bazalt minarelinden elde edilen ve koyu renkli, ince taneli olarak işlenmiş ve katılaşmış volkanik kayadır (Şekil 1.3). Bazalt, çeşitli volkanik kayaçlar için kullanılan yaygın bir terimdir. Dünya çapında bulunan sert, yoğun, atıl bir kayaç olan bazalt, magmatik bir kayaçtır, yani soğuyarak katılaştıran lavolik termoplastik malzemeler gibi ısındığında erir. Bazalt, volkanik magma ve taşkın volkanlarından, çok sıcak bir akışkan ya da yer kabuğunun altında yarı sıcaklığa sahip, açık havada katılaşmış akışkan volkanlarından kaynaklanmaktadır (Jamshaid ve Mishra 2015).



**Şekil 1.3 :** Bazalt taşı (Jamshaid ve Mishra 2015)

İyi sertlik ve termal özelliklerinden dolayı bazalt, inşaat, endüstriyel ve otoyol mühendisliğinde ezilmiş kaya şeklinde kullanılmıştır. Yollarda, yüzey kaplama ve dolgu, inşaatta yer karoları ve sıcak akışkanların taşınması için borularda astar malzemesi olarak kullanılır. Bu, solunum sistemlerine zarar vererek sağlığa zarar veren asbestin yerini alabilir. Birçok uygulamada yüksek performans potansiyeli vardır ve fiberglas, çelik lifi, poliamid ve karbon fiber ürünün yerini etkili bir şekilde karşılayabilir (Kumbhar, 2014).

Çizelge 1.1'de gösterildiği üzere kimyasal bileşiminde yoğun olarak  $\text{SiO}_2$  bulunmakta olup, azalan oranlarda  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  gibi mineraller de bulunmaktadır. Kimyasal bileşimi kaynağının farklılığına göre değişkenlik gösterebilen bazalt taşlarının bu kimyasal yapısı az çok cama da benzemekte olup, camda renk verici demir bileşenleri olmadığı bilinmektedir (Singha, 2012).

**Çizelge 1.1 : Bazalt kimyasal kompozisyonu (Singha, 2012)**

Bazalt kimyasal kompozisyonu	%
SiO <sub>2</sub>	52,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,3
MgO	4,63
CaO	8,59
Na <sub>2</sub> O	3,34
K <sub>2</sub> O	1,46
TiO <sub>2</sub>	1,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28
MnO	0,16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06

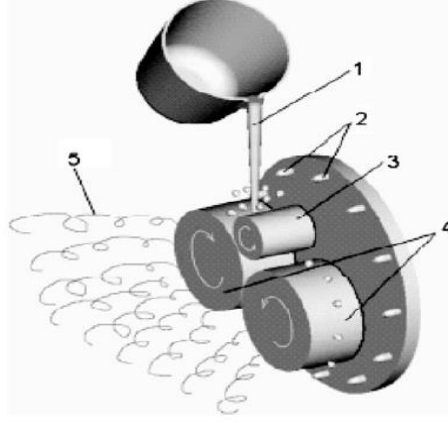
### 1.3.1 Bazalt lifi üretimi

BL iki büyük gruba ayrılır;

- Ayrık fiber (mineral yalıtım yünü, kırık fiber)
- Sürekli fiber (BCF)

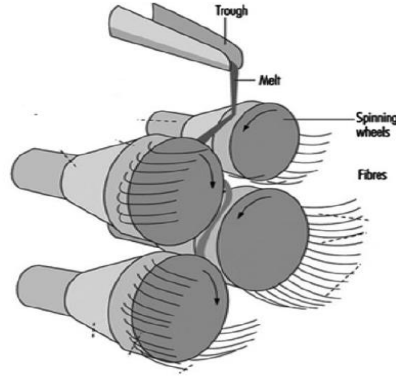
Kısa uzunluktaki BF'ler ezilmiş bazalt taşlardan doğrudan üretilebilir ve teknolojisi çok basittir, bu yüzden lifler çok ucuzdur, ancak nispeten zayıf ve eşit olmayan mekanik özelliklere sahiptirler. Santrifüj üfleme, santrifüj çok makaralı ve eriyik üfleme olmak üzere üç ana üretim tekniği vardır. İnşaat ve otomotiv endüstrisinde yalıtkan malzeme olarak kullanılan BL'leri, santrifüj silindri üfleme teknolojisi olarak üretilmektedir (Şekil 1.4). 60–100 mm uzunluğunda ve 6–10 µm çapında ucuz liflerin üretiminde kullanılır. Sürekli proses, cam gibi BL üretimi için kullanılır. Bazalt taşı kırılır, yıkanır ve malzemeyi gazla ısıtılan fırınlarda eritme banyolarına aktaran besleyicilere bağlı bir kutuya yüklenir. BL daha az karmaşık olduğu için işleme tabi tutulması cam elyaftan çok daha kolaydır. Cam tipik olarak %50 silikadır ve bor oksit, alüminyum ve fırına girmeden önce bağımsız olarak bir ölçüm sistemine beslenmesi gereken diğer mineral maddelerden oluşur. Camın aksine, BL'lerinde ikincil malzeme yoktur. İşlem, kırılmış bazalt taşını eritilmiş fırına taşımak için tek bir besleme hattını gerektirir. Yöntemin özü 2 elyaflaştırıcı silindir, 1 hızlandırıcının olduğu ve 3 silindir kafası olan bir yatay shaft fiber döndürme makinesine iletilen gazla ısıtılan ocaktan gelen 1450°C ile bazalt taşının erimesidir (Jamshaid ve Mishra 2015).





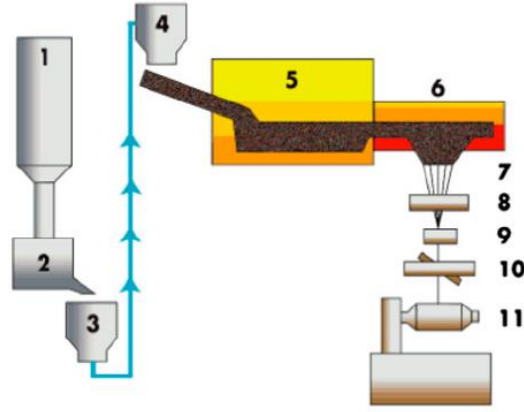
**Şekil 1.4 :** Junkers tipi bazalt üretimi (Jamshaid ve Mishra 2015) (1) bazalt eriyik, (2) üfleme valfleri, (3) hızlandırıcı silindir, (4) elyaflaştırıcı silindir, (5) bazalt elyafları

Elyaf yalıtımı amaçlı üretim için kullanılan diğer bir teknoloji, birkaç yüksek hızlı dönen tekerlek içeren santrifüjlü çok kanallı sistemdir. Gazla ısıtılan fırından gelen bazalt kayaç eriyiği akımı, tekerlek hareketiyle yana doğru fırlatıldığı birinci tekerleğin yüzeyine dikey olarak akmaktadır (Şekil 1.5). Stratejik olarak yerleştirilmiş diğer tekerlekler, yaklaşık 10 mikronluk tipik bir çapa sahip son lifler üretilinceye kadar işlemi devam ettirir. Kafalara yapıştırılan lav, merkez kaç kuvveti nedeniyle uçar ve 60-100 mm uzunluğundaki üfleme işleminin bir sonucu olarak 6 ila 10  $\mu\text{m}$  çapındaki lifler viskoz sıvıdan oluşur (Basaltex, 2015).



**Şekil 1.5 :** Santrifüj çok makaralı sistem (Basaltex, 2015)

Daha zorlu uygulamalar için tekstil teknolojilerinde işlenebilen sürekli elyaflar, geleneksel cam elyafı üretimine benzer şekilde, eriyikten çekim teknolojisiyle hazırlanır. Dünyada şu anda bazalt sürekli fiber üretimi için teknolojilerin ve ekipmanların iki ana çeşidi vardır (Şekil 1.6). Uzun besleyicili büyük eritme fırınları vardır (Jamshaid ve Mishra 2015).



**Şekil 1.6 :** BCF üretimi (Wei vd., 2010) (1) Kırılmış taş silosu, (2) tartı, dozaj ve karıştırma bölmesi, (3) Taşıma sistemi, (4) doldurma bölmesi, (5) İlk erime bölgesi, (6) İkincil kontrollü ısıtma bölgesi, (7) sürekli fiber şekillendirmesi, (8) Boyutlandırma, (9) Elyaf oluşumu, (10) Mil etrafında döndürme, (11) Sarma

### 1.3.2 Bazalt lifi özellikleri

#### 1.3.2.1 Isıl direnç

Bazalt elyafı cam elyaflara göre mükemmel termal özelliklere sahiptir (Çizelge 1.2). S2 cam elyafı ve karbon fiberlere benzer bir fiziksel değişim olmaksızın sürekli olarak saatlerce 1200°C ila 1300°C sıcaklığa dayanabilir. Gerilmemiş bazalt lifler ve kumaşlar, cam ve karbon fiberlere göre üstünlük sağlayan 1250°C'ye kadar bütünlüklerini koruyabilirler (Kumbhar, 2014).

**Çizelge 1.2 :** Bazalt fiberin termal özellikleri (Singha, 2012)

Termal özellikler	Bazalt	E-glass
Maksimum çalışma sıcaklığı	980 °C	650 °C
Sürdürülebilir çalışma sıcaklığı	700 °C	480 °C
Minimum çalışma sıcaklığı	-2,60 °C	-60 °C
Isıl iletkenlik	0,031-0,038 W/m.K	0,034-0,04 W/m.K
Erime sıcaklığı	1280 °C	1120 °C
Isıl genleşme katsayısı	8,0 ppm/°C	5,4 ppm/°C

### **1.3.2.2 Mekanik dayanım**

Bazalt lifi, E-cam elyafından daha yüksek olan 3000-4840 MPa gerilme mukavemetine sahiptir. E-cam elyaftan daha yüksek sertlik ve mukavemete sahiptir. Bazalt elyafı diğer liflere göre biraz daha yüksek özgül ağırlıkta, 2.6-2.8 g/cc'dir (Kumbhar, 2014).

### **1.3.2.3 Kimyasal dayanım**

Bazalt lifleri alkali ortama karşı çok iyi bir dirence sahiptir ve pH 13-14'e kadar dayanma kabiliyeti vardır. Aynı zamanda iyi asit ve tuz direncine sahiptir (Kumbhar, 2014). Agresif ortama (asit ve alkali) karşı bazalt elyaf direnci, bu ortamdaki bazı maruziyet sürelerinden (yaşlanma) sonra meydana gelen kuvvet değişimiyle belirlenir. Bazalt liflerinin kimyasal direnci kimyasal bileşimlerine, agresif ortamın yapısına ve sıcaklık-zaman etki koşullarına bağlıdır. Bazalt bileşimindeki silisyum, alüminyum, kalsiyum, magnezyum ve demiroksitlerin oranı çok önemlidir. Bazalt elyafların silikat karkasındaki demir oksitlerin varlığı, cam elyaflara kıyasla daha yüksek kimyasal ve ısı direnci sağlar. Kimyasal bileşimin yanı sıra, yüzey aktif ortamlarda (alkaliler, bazı tuz çözeltileri, vb.) elyaf yüzey tabakası koşulu, elyafın termal geçmişi de değerlidir (Dalinkevich vd, 2009).

### **1.3.2.4 Adezyon Özellikleri**

Bazalt elyafların çeşitli polimerik matrislerle yapışkan etkileşimi, cam elyaflarından daha güçlüdür. Bu bazalt bileşiminde yüksek koordinasyon kabiliyetine sahip olan ve sırasıyla yüksek oranda (% 15'e kadar) demir oksit ve demir iyonlarına bağlanır. Demir iyonlarının, doğrudan elyaf yüzeyinde ince bir tabaka (~25 nm) içinde sertleşen epoksi oligomer kürü üzerindeki katalitik etkisi de mümkündür. Bazalt filamentlerinin silan kaplamasıyla işlenmesi durumunda, bir polimerik matristen bazalt filamentlerinin çekilmesi için gereken eforda yüksektir (Trostyanskaya, 1997).

### **1.3.3 Bazalt lifi kullanım alanları**

Ekolojik olarak saf bir madde olan bazalt, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Sağlık tehlikelerine neden olabilen asbest/cam elyafların aksine, bazalt elyaf çapı 6 µm'den büyük olduğu için tehlikesizdir (Lopresto vd., 2011).

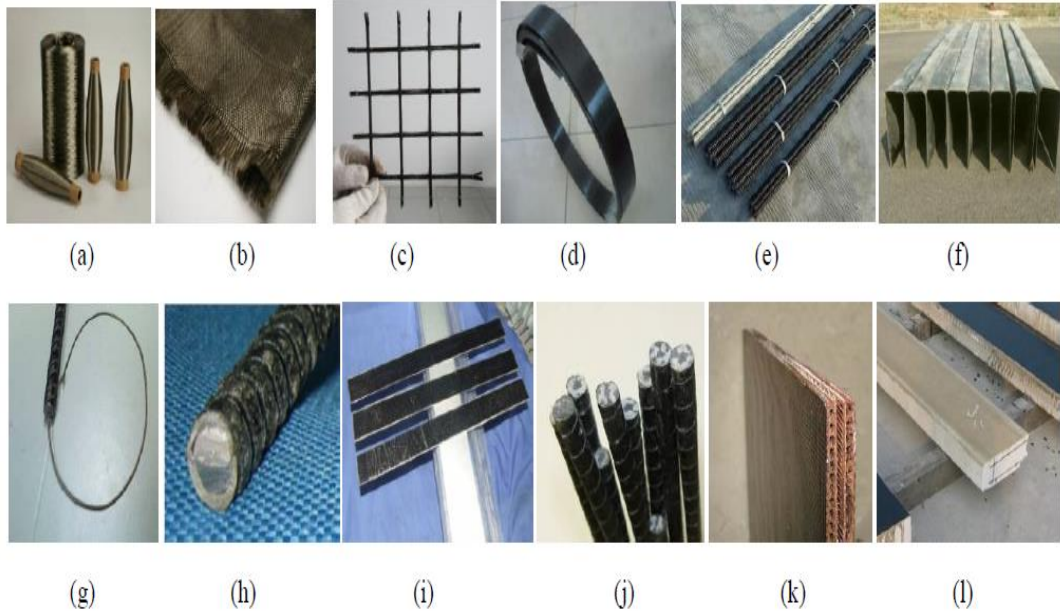
Bazalt lifleri ayrıca asbestin ısı yalıtım kapasitesinin üç katına sahiptir. Bazalt lifi suya karşı reaktif değildir ve hava kirliliğine neden olmaz. Bazalt lifleri temel olarak yapısal

ve elektro-teknik amaçlar için üretilir ve uygulamaları elektromanyetik koruma yapıları, otomobil, uçak, gemi ve ev aletleri bileşenlerini içerir (Garcia vd., 2013).

Bazalt bazlı jeo-kompozitler, nükleer atık bertaraf sahaları için radyasyon geçirmez koruyucu kapaklar yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapaklar, halk sağlığını ve çevreyi nükleer yeraltı atıklarının dökülmesine veya salıverilmesine karşı korumak için birkaç yüzyıl boyunca koruma sağlar (Baştürk vd., 2014).

1980'lerde ve 1990'larda bazalt kaplı borular geniş çapta kuruldu. Bu bazalt kaplı borular (BLP'ler) sertlikleri (8–9 Mohs) ile bilinmektedir. Darbelere dayanıklı ve aşındırma üniteleri yapımında sıklıkla kullanılırlar. Bazalt dökümü, madencilik endüstrisinde yüksek aşınmaya maruz kalan ekipmanlar için iyi bir çözüm olabilir. Bazalt, etkileyici korozyon ve sürtünme önleyici özelliklere sahip olduğundan, pürüzsüz, aşınmaya dayanıklı bir yüzey oluşturmak için sürtünme ile temas eden parçaların üzerine kaplanabilir (Wang vd., 2009).

Bazalt, yalıtım özellikleriyle bilinir ve uzun zamandan beri elektrik tesisatı ve cihazlarının çevresinde yalıtkan bir kumaş olarak kullanılmaktadır. Metalleşmeden sonra bazalt kumaş elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikler sergiler. Bazalt, aşırı sıcaklığa dayanıklıdır. Spesifik olarak, 260-800°C arasındaki sıcaklıklara dayanabilir ve bu da cam elyafından daha üstün olmasını sağlar (Milman vd., 1996).



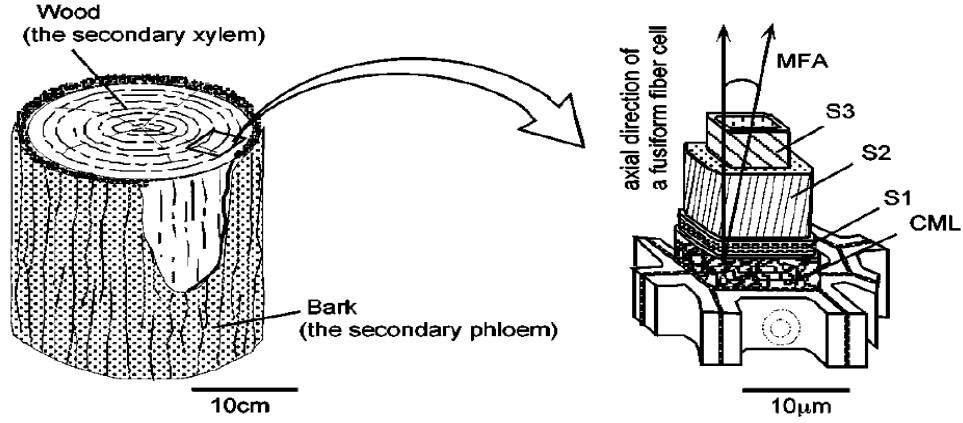
**Şekil 1.7 :** Bazalt fiber kompozit ürünleri (Zhishen vd., 2012)

Şekil 1.7’de gösterilen a) fiber iplik, b) tek yönlü levhalar, c) bazalt kafes, d) lamina, e) bazalt çubuk, f) profiller, g) fiber optik sensöre gömülü akıllı çubuk, h) çelik fiber kompozit çubuk (SCFB), i) çelik tel fiber plaka (FRP), j) karışık FRP kiriş, k) yüksek sıcaklığı dayanıklı FRP plakalar, l) bazalt fiber sandviç yapı bazalt malzemelerinin kullanım alanlarına örnek olarak gösterilebilir.

#### **1.4 Odun lifi**

Ağaçların ölmüş hücre çeperlerinin bütünü olarak bilinen odun, lignin-hemiselüloz (matriks) içindeki selüloz liflerinden (takviye) doğal olarak oluşan bir kompozittir (Şekil 1.8) (Salmén ve Burgert, 2008). Son on yılda, plastik kompozitlerin yapımında doğal liflerin veya lignoselülozik malzemelerin kullanımı artmıştır. Bu malzemeler doğada bol miktarda bulunurlar ve daha ucuzdurlar, biyolojik olarak parçalanabilirler, bir uyumlulaştırıcı ve bir bağlayıcı madde ile birlikte kullanıldığında iyi takviye edici etki sağlarlar. Odununu, kolay erişilebilirliği, düşük maliyeti, yüksek kütle yoğunluğu, iyi mukavemeti ve diğer lignoselülozik dolgular ile karşılaştırıldığında homojen özellikleri nedeniyle plastiklerin takviye edilmesi için iyi bir potansiyele sahiptir. Odununu, oldukça eşit bir tutarlılığa sahiptir ve değişebilen tanecik boyutlarında öğütülmüş odundur. Kısmen düşük kalitedeki odun çam veya çam gibi iğne yapraklı ağaçlardan, yüksek kaliteli odun ise genelde yapraklı ağaçlardan (tik, meşe) elde edilir. Odunun belirli bir türden gelmesi ve kabuk, kir ve diğer yabancı maddelerden arındırılması istenmektedir. Odunun toz haline getirilmesi, lif demetleri ve elyaf parçaları içeren parçacıkların bir karışımı ile sonuçlanır. Düşük termal stabilitesi sebebiyle plastikte 200°C’den düşük sıcaklıklarda işlenen bir dolgu maddesi olarak kullanılır (Kumar vd., 2011).

Termoset plastiklerde kullanımının aksine son yirmi beş yılda özellikle termoplastiklerde büyük oranda odununu kullanılmıştır. Bugün dünya çapında yılda yaklaşık 1,5 milyon ton ahşap plastik kompozit üretilmektedir. Kuzey Amerika yaklaşık 1 milyon ton, Çin 200.000 ton, Japonya 100.000 ton ve Almanya 70.000 ton üretmektedir (Mehmood vd., 2010).



Şekil 1.8 : Odunun şematik modeli (Yamamoto vd., 2002)

#### 1.4.1 Kayın ağacı

Kayın ormanları, orta Avrupa'da, Balkan yarımadasında, Yunanistan ve Bulgaristan'dan, Kafkasya'ya kadar Karadeniz Bölgesi ve Türkiye'de yetişir. Kayın ağacı, mobilya üretiminde biçilmiş kereste olarak kullanılır, ancak yakacak odun, kutular, üst banklar, paletler, oyuncaklar ve ahşap esaslı paneller (sunta, levha) için büyük miktarda kullanılır. Ayrıca, kayın ağacı, orta yüksek yoğunluklu yapraklı ağaç olarak sınıflandırılır. Şoka karşı yüksek dirence sahiptir ve buharla bükme için çok uygundur (Skarvelis vd., 2013). Kurutma sırasındaki bozulmalara, bölünmeye ve renk değişikliklerine eğilimli olmasına rağmen, çeşitli kurutma yöntemleri ve programları kullanarak oldukça hızlı kurur (Allegretti vd., 2009).

#### 1.4.2 Ahşap plastik kompozitler

Plastiklerin odununu veya lignoselülozik liflerle karıştırılarak elde edilen kompozitler ahşap plastik kompozitler olarak adlandırılmaktadır. Ahşap plastik kompozitler kullanılan takviye malzemeleri ve matristen daha iyi özelliklere sahip olabilmesi nedeniyle kullanım alanları geniştir. Bu özelliklere örnek olarak düşük maliyet, boyutsal stabilite, çevre dostu olması, geri dönüşüm malzemelerinden üretilibilmeleri gösterilebilir. Plastik kompozitlerde inorganik ve organik takviye malzemeleri kullanılmaktadır. İnorganik dolgu malzemeleri daha fazla tercih edilmektedir. Ancak talk, kalsiyum karbonat, metal oksit vb. inorganik dolgu malzemeleri maliyetlerinin yüksek olması ve makine parçalarında sebep oldukları aşınma nedeniyle yerlerini odununu, odun lifleri vb. organik dolgu maddelerine bırakmaktadırlar (Kaymakçı vd., 2014).

### **1.4.3 Ahşap plastik kompozitlerin kullanım alanları**

Odun unu genellikle basit bir eleme işleminden sonra kereste fabrikası atıklarından elde edilir; odun lifleri, kereste atıklarından bir termomekanik işlemle elde edilir. Zaten araştırılmış olan endüstriyel uygulamalar arasında pencere ve kapı çerçeveleri, mobilya, demiryolu traversleri, otomotiv panelleri ve döşemeler, bahçe malzemeleri, paketler, raflar ve genel olarak çok yüksek mekanik dayanım gerektirmeyen uygulamalarda kullanılmakta, bununla birlikte düşük hammadde ve bakım maliyetleri bulunmaktadır. Ayrıca, geri dönüştürülmüş polimerler kullanmak mümkün ve uygun olup, böylece maliyet etkinliğinin artırılması ve eko-sürdürülebilirlik sağlanması sağlanmıştır. Bazı endüstriyel uygulama örnekleri teknik literatürde ve internette kolayca bulunabilir; bunlar arasında iç mekan mobilya panelleri, basamaklar ve platformlar, otomotiv panelleri ve döşemeler, ses yalıtımlı paneller vb. başlıca Amerikan, Alman, Japon, İngiliz ve İtalyan firmaları tarafından üretilmektedir (La Mantia ve Morreale, 2011).

Özellikle, otomotiv endüstrisinin bu alandaki rolü birincil öneme sahiptir (Şekil 1.9). Doğal elyaf dolgulu polimerler kullanan ilk otomobil üreticisi, 90'lı yıllarda jüt lifi içeren kapı panelleri üreten Mercedes-Benz'di. Bu örnekten kısa süre sonra, doğal organik dolgular ile polimer kompozitleri diğer ana otomobil üreticileri de kullandı (Marsh, 2003).

### **1.5 Biyokompozit malzemeler**

En az iki farklı malzenin bir araya getirilmesiyle oluşan ve yeni özelliklere sahip malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozitin içeriğini oluşturan malzemelerden en az biri doğal lif kökenli ise bu malzemeler biyokompozit malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Biyokompozit malzemeleri öne çıkaran özellikler biyobozunur olması, geri dönüştürülebilirliği, iyi mekanik özelliklere sahip olması ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilmesidir. Biyokompozit malzemelerin üretimindeki amaçlardan biri petrol bazlı plastiklerin ve bu plastiklerden elde edilen çeşitli malzemelerin sahip olduğu özellikleri karşılayabilecek alternatif çevre dostu malzemeler oluşturmaktır (Peças vd., 2018).



**Şekil 1.9** : Otomotivde kullanılan bazı biyokompozit parçalar (Holbery ve Houston, 2006)

## **1.6 İzolasyon parametreleri**

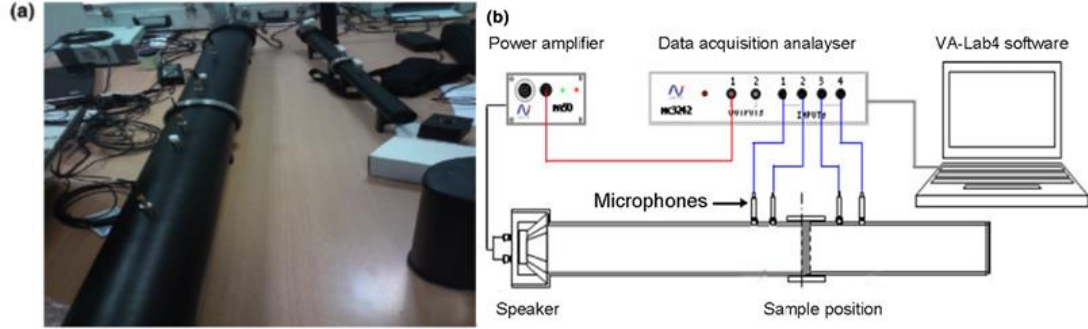
### **1.6.1 Ses iletim kaybı**

Gürültü, teknolojik gelişmeyle ortaya çıkan endüstriyel kirliliğin bir parçasıdır. Genelde, gürültüyü azaltmak amaca göre 2 kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar ses emilimi ve izolasyonudur. Gürültü gidermede asıl önemli olan ses kaynağının frekansı için izolasyon verimi ve yüksek ses emilimi oranı elde etmektir. Sesi kontrol etmek amacıyla tasarlanan köpük ve fiber gibi malzemelere ses malzemeleri denir. Kompozit malzemeler ve iç yapıları konularındaki arge çalışmaları otomotiv endüstrisi gibi birçok alanda oldukça gelişmiştir. İç yapı kararlılığı ve üretimin sürdürülebilirliği, sesin izolasyonu ve absorpsiyonun yanında ses izolasyon malzemelerinin üretimini oldukça yakından ilgilendiren önemli parametrelerdir (Lee vd., 2010).

Akustik izolasyon verimini geliştirmek için iletilen enerjinin azaltılması gereklidir. Transfer edilen enerji yükselen enerji kaybı ve enerjinin yansıtılmasıyla azaltılabilmektedir. Ancak, kullanılan malzemenin kalınlığı ses emilimindeki enerji kaybını sınırlamaktadır, akustik izolasyon performansını geliştiren en etkili ve en iyi metod enerjiyi yansıtmaktır. Malzemelerin akustik yalıtım verimi, yüzey yoğunluğuna, elastik modülüne ve malzemenin homojenliğine bağlıdır ve aynı



zamanda olay frekansı ile de ilgilidir. Bir duvarın akustik yalıtım verimliliği, gelen dalganın ses gücü seviyesi ile iletilen ses gücü arasındaki fark olarak tanımlanan ses iletim kaybı (STL) ile ölçülür (Ahmadi vd., 2015). Şekil 1.10'da ses iletim kaybı ölçümünde kullanılan empedans tüpü cihazı gösterilmiştir.



**Şekil 1.10 :** (a) Empedans tüpü cihazı, (b) Empedans tüpü ve kullanılan cihazların şematik gösterimi (Ahmadi vd., 2015)

### 1.6.2 Isıl iletkenlik katsayısı

Isı transferi, radyasyon, taşınım veya iletim yoluyla gerçekleşebilir. Temel bir perspektiften bakıldığında, termal iletim, bir parçanın titreşim enerjisinin, maddenin herhangi bir hareketi olmadan, özellikle çarpışma yoluyla bitişik parçacıklara aktarılmasına karşılık gelir. Isı iletimi mekanizmasının katı maddeler yoluyla karmaşıklığı da dikkate alınması gereken birçok parametreden kaynaklanmaktadır. Aslında, malzemenin doğası ısı iletkenlik için çok önemlidir: örneğin, plastikler metaller kadar ısı da iletmezler. Boyut ve oranlar doğal olarak önemli parametrelerdir: malzeme ne kadar kalınsa, ısının karşı yüze ulaşması için o kadar fazla zaman alır. Morfolojik yönler de bu mekanizmada önemli bir rol oynar ve termal iletimi daha iyi anlamak için birçok başka parametre de çalışılmalıdır (Burger vd., 2016).

Fibril yapıdaki organik malzemelerin çoğunluğu ısı izolasyon özelliklerini geliştirmektedir. Doğal organik malzemeler yüksek öz ısı kapasitesi ve yüksek nem duyarlılığına sahiptir. Organik malzemeler genellikle su buharı geçirgenliğine sahiptir ve havadaki nemi biriktirebilir. Isıl izolasyon özellikleri nem nedeniyle bozulur. Nemli bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı faz varyasyonları, gaz fazları ve onların sayıları, sıvı fazlar, matriksin ısı iletkenliği olarak tanımlanmaktadır. Isıl iletkenlik katsayısı nem yükseldikçe genellikle artmaktadır (Korjenic vd., 2011).

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Chen vd. (2013) maleik anhidrit aşılansmış yüksek yoğunluklu polietilen (MAPE)'in bazalt lifi-odun plastik kompozitlerinin mekanik özelliklerini arttırdığı yönünde bir çalışma yapmışlardır. Maksimum özgül çekme ve eğilme kuvvetlerinin %5-8 gibi MAPE değerleriyle elde edildiği belirtilmiştir. Uzamanın başlangıçta hızlı sonra yavaş olduğunu belirterek, MAPE eklenmesiyle odun ile polietilen arasında neredeyse tam entegrasyon sağlandığı anlatılmıştır.

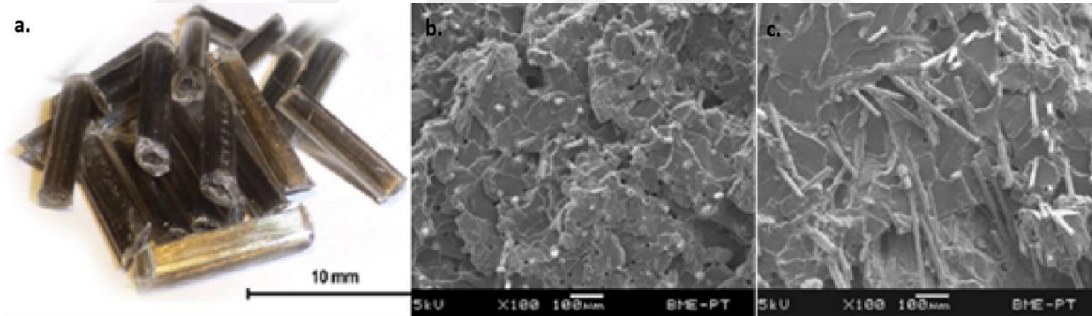
Huang vd. (2015) yılında yine yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) matrisine bazalt lifi (BL) ve talk minerallerini katarak ko-ekstrüzyon marifetiyle değişik oranlarda odun plastik kompozit (WPC) üretmişler ve bu kompozitlerin mekanik, morfolojik ve termal özellikleri karakterize edilmiştir. BL'nin talk-HDPE kompozitine eklenmesinin termal genişlemeyi azalttığı, eğilme-çekme-dinamik modülü arttırdığı söylenmiştir. Gerinime bakıldığında bazalt liflerinin talka göre HDPE ile daha iyi arayüzde etkileşim halinde olduğundan bahsedilmiştir. Ayrıca yanma özelliklerinin de mineral miktarıyla iyileştiği anlatılmıştır.

Kurniawan vd. (2012) atmosferik basınçta parlama deşarj plasma polimerizasyonunun silanla muamele edilmiş bazalt liflerine etkisini incelemek için, bazalt lifi/polilaktik asit kompozitleri üretmiş ve bunların mekanik ve termal özelliklerini test etmişlerdir. Plasma aktivasyonu yapılan bazalt lifleriyle üretilen PLA kompozitlerin %45 elastik direnç ve %18 elastik modül değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu çalışmayla bazalt yüzeylerinin plasma aktivasyonuna uygun olduğu sonucu da çıkarılmıştır.



**Şekil 2.1 :** Kompozit yapımında kullanılan basalt kumaş ve PLA ince levha (Lv vd., 2012).

Lv vd. (2012) BL/PLA kompozitleri bazalt lifi kumaşlarını ve PLA ince levhalarını elle yatırma takiben sıcak pres ile hazırlamıştır (Şekil 2.1), ekstrüzyon kullanılmamıştır. Bazaltın kompozite katkısı mekanik olarak ölçülmüş ve pres şartları optimize edilmiştir. % 63 PLA, 195°C pres sıcaklığı, 7 MPa pres basıncı, 10 dk pres süresi şeklinde optimize bir süreç geliştirilmiştir. Üretilen kompozitlerin mekanik direncinin çok yüksek olduğu belirtilmiştir.



**Şekil 2.2 :** a. PLA kaplı BL, b. Normal ekstrüzyonla hazırlanmış kısa BL/PLA kompozit c. PLA kaplı uzun bazalt lifleri PLA kompozit.

Tábi vd. (2013) silan ile muamele edilmiş kıyılmış basalt lifleri takviyeli PLA kompozitlerini ekstrüzyonlu enjeksiyon kalıplama ile üretmişlerdir. Ağırlıkça %5-10-15-20-30-40 oranlarında basalt lifi kompozitlerde kullanılmış ve silanla muamele edilerek, silan ile muamele edilmeyen liflerle kompozitleri karşılaştırılmıştır. Çekme, üç nokta eğilme, DMA, Charpy darbe testleri gibi mekanik testler yanında DSC, yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) analizleri, boyutsal stabilite, eriyik akış indeksi (MFI) ve taramalı elektron mikroskobu gibi analizler de yapılmıştır. Silan ile muamele edilmiş bazalt lifleriyle hazırlanan kompozitlerin daha iyi mekanik özellikleri olduğu

söylenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada ilk defa bazalt lifleri enjeksiyon kalıplama ile üretilebilmiş ve örnek kalitesine malzemelerin kuru olmasının önemli etkisi olduğu anlatılmıştır.

Tábi vd. (2014) uzun bazalt liflerini(BL) ekstrüzyon kaplama teknolojisi ve özel bir kafa yardımıyla kaplamışlardır. Kaplanmış bazalt lifleri 10 mm'lik pelletler halinde kesilmiştir (Şekil 2.2a). Bu şekilde hazırlanmış liflerin özellikleri, standart kuru karışım ve ekstrüzyon ile yapılmış kısa liflerle karşılaştırılmıştır. Uzun bazalt liflerin mekanik özelliklerinin kısa liflere göre çok daha iyi olduğundan bahsedilmiştir.

Tábi ve Zarrelli (2017) ise PLA'nın yük altında eğilme sıcaklığı (HDT, ~55°C)'nin düşük olması sebebiyle yavaş ve az kristallenmesi sorunu üzerinden hareket etmişler ve talk mineralinin kristallenme için uygun bir çekirdek nokta olacağını söylemişlerdir. Böylelikle kristalizasyon derecesi ve dolayısıyla HDT değerinin yükseleceğini söylemişler. Çalışmanın sonucunda bazalt lifleriyle sertliği artırırken, talk ile PLA'nın HDT'sinin arttırıldığını belirtmişlerdir.

Kiss vd. (2018) PLA-bazalt lifi kompozitlerin saf PLA'ya kıyasla tutkallanabilirliğini ve kaynaklanabilirliğini araştırmışlardır. Farklı birleştirme süreçleri denenmiştir. Tutkallanabilirliğine bakıldığında en kuvvetli bağ ve bağlanmanın akrilik bazlı tutkalla yapıştırılan örneklerde olduğu söylenmiştir. Kaynaklanabilirliğini görmek içinse sıcak gaz kaynak, sürtünme ile kaynak, ultrasonik kaynak, lazer kaynak teknikleri gibi birleşme teknolojilerini denenmiştir. En kuvvetli bağın bazalt takviyeli PLA için lazer kaynakla oluştuğu bildirilmiştir.

Huda vd. (2006) odun lifi takviyeli PLA kompozitleri mikrokariştirme sistemiyle üretmişlerdir. Odun lifi takviyeli PP kompozitleri de aynı yöntemle üretilmiş ve mekanik, termomekanik, morfolojik özellikleri karşılaştırmalı olarak çalışılmıştır. OL/PLA kompozitlerin mekanik özelliklerinin OL/PLA kompozitleriyle benzer olduğu, diğer yandan OL takviyesinin her iki kompozitin de mekanik özelliklerinin iyileştirdiği söylenmiştir. Bunun dışında maleatlı PP uyumlaştırıcısının mekanik özellikleri daha da iyileştirdiği belirtilmiştir. Mikroyapı analizlerinde ise arayüz bağlanmasının kompozitlerde iyi olduğundan bahsetmişlerdir.

Pilla vd. (2008) çam odununu (PWF) ile PLA kompozitlerini fiyat ve malzeme özellikleri açısından incelemiştir. Kompozitler kinetik karıştırma ve enjeksiyon kalıplama ile üretilmiştir. PWF-PLA kompozitlerinin çekme modülünün PWF oranı

arttıkça arttığı, tokluk ve kopma geriniminin azaldığı aktarılmıştır. Ayrıca silan ile muamele edilmiş PWF ile üretilmiş kompozitlerin depolama modülünün daha da yükseldiği gözlenmiştir. Odun unu katıldığında örneklerin daha elastik olduğu anlatılmış, PWF oranı arttıkça polimerin kristalitesinin arttığı gösterilmiştir. Diğer yandan silanlamanın kristalizasyon için çekirdek oluşumlarına katkısı olduğu kristalitenin bu örneklerde daha yüksek olduğu gösterilerek ispatlanmıştır.

Gamon vd. (2013) miskantus ve bambu lifi takviyeli PLA kompozitleri çift-vidalı ekstrüder ile üretmiştir. Ekstrüder vida hızının beslemeye, lif morfolojisine, mekanik ve termal özelliklere etkisini incelemiştir. Vida hızını 100 rpm'den 300 rpm'e çıkarmanın haliyle beslemeyi hızlandırdığı ancak 40kg/h kadar bir kapasitede lif boylarının hala korunduğundan bahsedilmiştir. Vida hızının artmasıyla kesmenin de arttığı, bununla birlikte viskozitenin de arttığı gözlenmiştir. Böyle durumlarda ise malzeme özelliklerinin çok değişmediği ancak cihazın yüklenme sebebiyle iki katına kadar fazla elektrik harcadığı aktarılmıştır. Uzun liflerin mekanik kuvveti arttırdığı, kısa liflerin ise polimer kristalitesinin arttırdığı böylece ısı altında malzemenin dayanıklılığın arttığını söylemişlerdir.

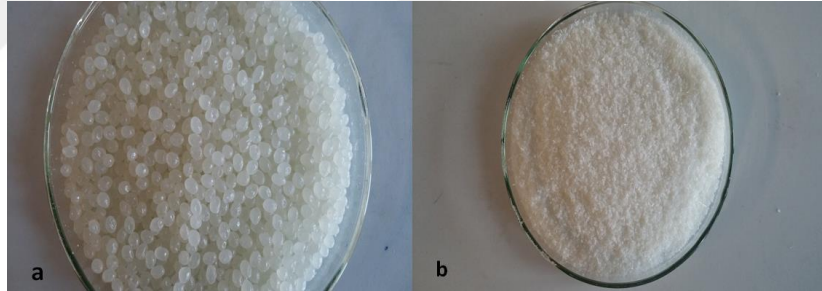
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu kısımda çalışmada kullanılan malzemeler tanıtılmıştır. Kompozitlerin üretim aşamaları ve üretilen malzemelerin özelliklerini belirlemek için yapılan test ve analizler anlatılmıştır.

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Polilaktik Asit (PLA)

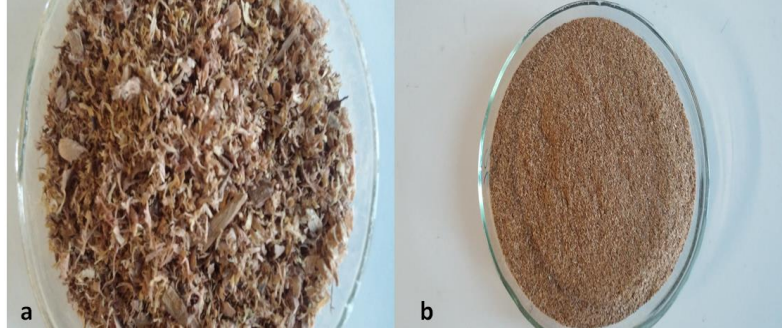
Bu çalışmada üretilen kompozitlerde matris malzemesi olarak PLA kullanılmıştır. Kullanılan PLA, Resinex firmasından NatureWorks Ingeo 4043D NATURAL marka olarak satın alınmıştır (Şekil 3.1).



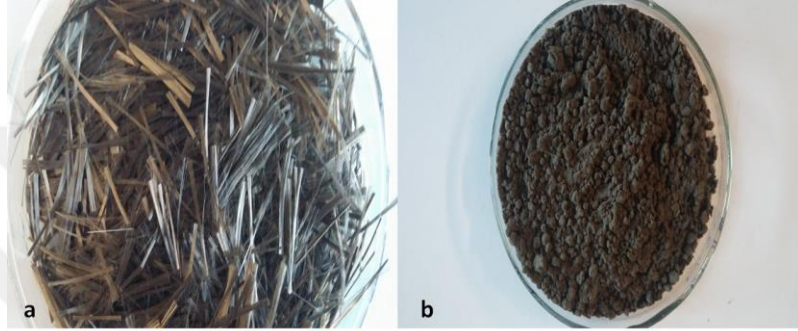
Şekil 3.1 : PLA, (a) granül (b) öğütülmüş

##### 3.1.2 Dolgu malzemeleri

Dolgu malzemesi olarak bazalt ve kayın ağacından elde edilen odun unu kullanılmıştır. Kırılmış bazalt lifleri Dost Kimya firmasından herhangi bir işlem görmemiş şekilde satın alınmıştır. Kayın ağacı testere talaşı halinde Sülekler A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Kalsiyum stearat, bütün varyasyonlarda %1 ağırlık oranında ekstrüderde akışı iyileştirmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.2 : Kayın ağacı, (a) testere talaşı (b) odun unu



Şekil 3.3 : Bazalt lifleri, (a) kırık lif (b) öğütülmüş bazalt fiberi

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Malzemelerin üretim için hazırlanması

Bu başlık altında malzemelerin ekstrüderde üretilmesinin kolaylaştırılması ve homojen olması için uygulanan öğütme ve mekanik karıştırma işlemleri anlatılmıştır.

#### 3.2.1.1 Öğütme işlemi

Kompozit üretiminde kullanılan malzemeler homojen bir karışım elde etmek ve üretim aşamalarının kolaylaştırılması için Fritsch Pulverisette 19 (Şekil 3.4) markalı makinayla öğütülmüşlerdir. Öğütme işleminde PLA için 1 mm, bazalt ve testere talaşı halindeki kayın ağacı için 0.5 mm'lik elekler kullanılmıştır (Şekil 3.2-3.3).





**Şekil 3.4 :** Fritsch Pulverisette 19 öğütücü makinesi

### **3.2.1.2 Mekanik karıştırma**

IKA Eurostar 20 markalı mekanik karıştırıcı (Şekil 3.5) kullanılarak toz halindeki malzemeler 600 rpm’de 5 dk boyunca karıştırılmıştır. Mekanik karıştırma işleminden sonra elde edilen homojen karışımlar nemi uzaklaştırmak için 103°C’de 12 saat boyunca etüvde bekletilmiştir.



**Şekil 3.5 :** IKA Eurostar 20 Mekanik karıştırıcı

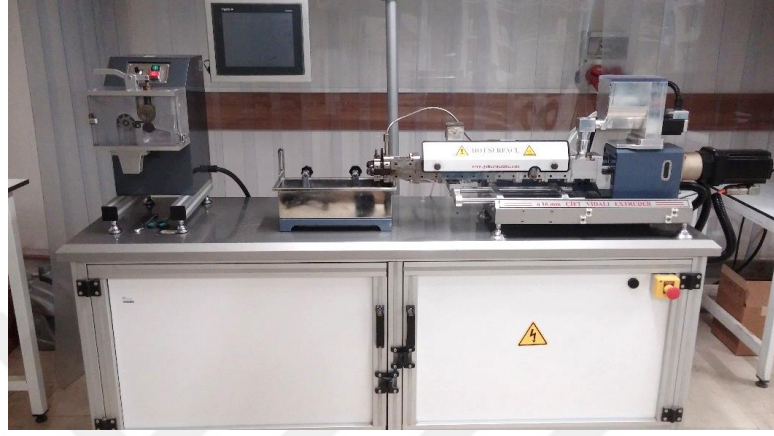
### **3.2.2 Biyokompozitlerin üretilmesi**

Biyokompozitlerin üretilmesi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar ekstrüder ile üretilmesi, pres ile kalıplanması ve lazer kesim ile test numune boyutlarına getirilmesi aşamalarıdır.



### 3.2.2.1 Biyokompozitlerin ekstrüder ile üretilmesi

Mekanik karıştırma işleminden sonra etüvde bekletilen malzemeler Gülnar Makina 16 mm çift vidalı ekstrüder (Şekil 3.6) yardımıyla Çizelge 3.1’de gösterilen sıcaklıklarda ortalama 40 rpm hızında üretilmiştir. Üretilen kompozitlerdeki malzeme ağırlık oranları Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.6 : Gülnar makine 40 L/D çift vidalı ekstrüder

Çizelge 3.1 : Ekstrüder işlem sıcaklıkları

Kafa	7	6	5	4	3	2	1	Besleme
170°C	175°C	180°C	180°C	180°C	180°C	175°C	165°C	25 °C

Çizelge 3.2 : Biyokompozitlerin ağırlık oranları

Numune	Kontrol	1	2	3	4	5
PLA:OL Biyokomp	100:0	90:10 (PO1)	80:20 (PO2)	70:30 (PO3)	60:40 (PO4)	50:50 (PO5)
PLA:BL Biyokomp	100:0	90:10 (PB1)	80:20 (PB2)	70:30 (PB3)	60:40 (PB4)	50:50 (PB5)
PLA:BL: OL Biyokomp	100:0:0	90:5:5 (PBO1)	80:10:10 (PBO2)	70:15:15 (PBO3)	60:20:20 (PBO4)	50:25:25 (PBO5)

OL: odun lifi; BL: bazalt lifi

### 3.2.2.2 Biyokompozitlerin pres ile kalıplanması

Ekstrüderde elde edilen ürünler 12 saat  $103^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde bekletildikten sonra blender yardımıyla kırılmıştır ve pres makinasında  $190^{\circ}\text{C}$ 'de 0.24 Mpa basınç altında 5 dakika bekletilerek düz levha olarak kalıplanmıştır (Şekil 3.9). Kalıplama işleminde Carver markalı pres makinası kullanılmıştır (Şekil 3.7-3.8).



Şekil 3.7 : Kompozitlerin preslenmesi



Şekil 3.8 : Presleme işleminde kullanılan teflon kumaş



**Şekil 3.9 :** Biyokompozitlerin levha şeklinde kalıplanmış hali (20x20 cm)

### **3.2.2.3 Lazer kesim makinesiyle test numunelerinin kesilmesi**

Pres makinesinde elde edilen düz levha şeklindeki kompozitler uygulanacak testlerdeki standartlara göre lazer kesim makinesiyle kesilmiştir. Bu işlemde Kaya grup KG-960 markalı lazer kesim cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.10). Lazer kesim cihazı 10 mm/s hızında %90 güç kapasitesi şartlarında kullanılmıştır.



**Şekil 3.10 :** Kaya grup KG-960 lazer kesim cihazı

## **3.3 Biyokompozitlere uygulanan testler**

### **3.3.1 Fiziksel testler**

Bu bölümde biyokompozitlere uygulanan yoğunluk, su alma oranı ve su içerisinde bekletilen numunelerin kalınlık artış oranı testlerinin analizleri verilmiştir.

### 3.3.1.1 Yoğunluk

Numunelerin yoğunluklarını belirlemek için deney örneklerinin kuru ağırlıkları tartılmıştır, daha sonra örneklerin boyutları ölçülerek hacmi bulunmuştur ve 3.1'deki formül ile yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$d = m/v \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de gösterildiği üzere d yoğunluğu ( $g/cm^3$ ), m ağırlığı (g), v hacimi göstermektedir ( $cm^3$ ).

### 3.3.1.2 Su alma oranı

Su alma oranı ASTM D-570 standardına uygun olarak belirlenmiştir. 65x13x3 (mm) boyutlarında hazırlanmış örneklerin ağırlığı  $\pm 0.01$  g duyarlı analitik terazide tartılmıştır ve daha sonra örnekler 20°C'lik saf suda deney süresince bekletilmiştir. Ölçümler, 2, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 saat, 2, 3, 4 hafta sürelerde periyodik olarak yapılmıştır. Bu süreler sonunda sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla su bir bezle silindikten sonra  $\pm 0.01$  g duyarlı terazide tartılmıştır ve aşağıda verilen formül yardımıyla su alma oranları hesaplanmıştır.

$$SAO = ((w_r - w_0)/w_0) \times 100 \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de gösterildiği üzere SAO su alma oranını (%),  $w_r$  rutubetli ağırlığı,  $w_0$  ise kuru ağırlığı göstermektedir.

### 3.3.1.3 Kalınlık artışı

Kalınlık artış oranları EN 317'de belirtilen esaslara uygun olarak 65x13x3 (mm) boyutlarında örnekler üzerinde belirlenmiştir. Örnek, kalınlıkları tam orta noktasında 0.01 mm duyarlıklı mikrometreyle ölçülerek, 20 °C sıcaklıktaki saf suda deney süresince bekletilmiştir. Ölçümler 2, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 saat, 2, 3, 4 hafta sürelerde periyodik olarak yapılmıştır. Bu süreler sonunda sudan çıkartılan örneklerin fazla suları bir bezler alınacak ve kalınlıkları ilk ölçülen noktadan tekrar ölçülmüştür. Kalınlık artışları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$KAO = ((m_y - e_k)/e_k) \times 100 \quad (3.3)$$

Denklem 3.3’de gösterildiği üzere KAO su içerisinde kalınlık artışı (%),  $m_y$  suda bekletilen deney örneklerinin kalınlığı (mm),  $e_k$  klimatize edilmiş durumdaki deney örneklerinin kalınlığı (mm) göstermektedir.

### 3.3.2 Mekanik testler

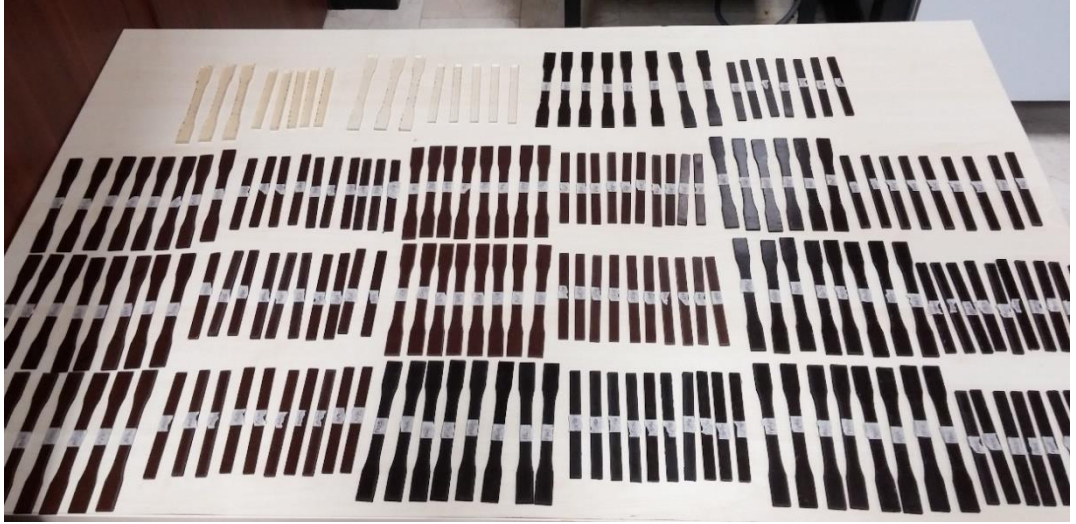
#### 3.3.2.1 Çekme testi

Çekme testinde ASTM D638 standardı esas alınarak 165x19x3 mm boyutunda numuneler hazırlanmıştır. Bu testi gerçekleştirmek için Shimadzu marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.11-3.12). Test numuneleri  $23\pm 2^\circ\text{C}$  ve  $\%50\pm 5$  nem ortam koşullarında 48 saat süresince şartlandırılmıştır. Çekme testi 3 mm/dk test hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11 : Shimadzu Universal Test cihazı





Şekil 3.12 : Çekme ve eğilme testi numuneleri

### 3.3.2.2 Eğilme testi

Eğilme testinde ASTM D790 standardına uygun olarak 127x12.7x3 mm boyutunda numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.13). Test Shimadzu marka cihazla gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  ve  $\%50\pm 5$  nem ortam şartlarında 48 saat boyunca bekletilmiştir. Eğilme testi 10 mm/dk test hızında yapılmıştır.



Şekil 3.13 : Shimadzu universal test cihazı eğilme testi aparatları

### 3.3.2.3 İstatistiksel Yöntemler

Mekanik test örneklerine istatistik analiz SPSS 18.0 istatistik paket programı kullanılarak ve % 95 güven düzeyi esas alınarak yapılmıştır. Eğilme ve çekme sonuçlarına ait direnç ve modül değerleri, kompozit örnekleri ile saf PLA örneklerinin arasında istatistiksel anlamda bir farklılık olup olmadığı basit varyans analizi (BVA) ile belirlenmiştir. Etkilemenin anlamlı çıkması halinde ortalama değerler “Duncan” homojenlik grupları ile karşılaştırılmıştır.

### 3.3.3 Termal özelliklerin belirlenmesi

#### 3.3.3.1 Termogravimetrik analiz (TGA) ve Türev termogravimetrik analiz (DTG)

Kompozitlerin termal kararlılığının, bozunma sıcaklığının ve mekanizmasının belirlenmesi amacıyla termogravimetrik analiz yapılmıştır. Deney örnekleri TAPPI T 11 os-75 standardına göre laboratuvar tipi Willey değirmeninde öğütülerek 50 mesh'lik eleklerde eilenmiştir. Yaklaşık olarak 4-11 mg örnek Hitachi Hi-Tech STA7200 marka termogravimetrik analizör cihazında oda sıcaklığından 800°C'ye kadar 10°C/dk ısıtma hızıyla azot atmosferinde (20 ml/dk) ısıtılmıştır (Şekil 3.14). Örneklere ait sıcaklık ve buna bağlı olan kütle kaybı (%) bilgisayar programı aracılığıyla alınmıştır. DTG hesaplanarak bozunma sıcaklıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.14 : Hitachi TGA cihazı

#### 3.3.3.2 Termomekanik özellikler- Isıl sapma sıcaklığı (HDT)

Her gruptan seçilen aynı oranlara sahip kompozisyondan kompozit örneklerin yük altında eğilme sıcaklıklarını tespit etmek amacıyla bu test gerçekleştirilmiştir. HDT

testi ASTM D648 standardını esas alarak 127x12,7x3 mm boyutundaki numunelere 120 °C/saat ısıtma hızı oranında 0.46 MPa basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15).

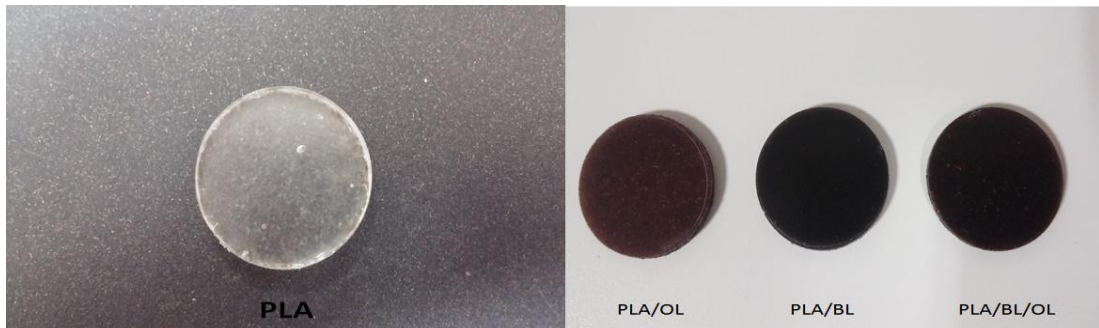


**Şekil 3.15 : HDT analizi test numuneleri**

### 3.3.4 Biyokompozitlerin izolasyon özelliklerinin belirlenmesi

#### 3.3.4.1 Akustik özelliklerinin belirlenmesi

Akustik özelliklerinin belirlenmesi için empedans tüpü ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem örneklerin kolay üretilmesi, örnek boyutlarının küçük olması ve test sürelerinin kısa olması bakımından oldukça kullanışlıdır. Empedans tüpü ölçüm metodu, test örneklerinin yüzeyinde oluşan akustik empedansının etkiyen ve yansıyan ses dalgalarının ölçülmesi ile bulunması ve elde edilen yüzey empedansı değerinden ses yutum katsayısı değerinin hesaplanması prensibine göre çalışır. Ses iletim kaybı testi ASTM E-2611:2009 standardına uygun olarak çapı 29 mm olan test numuneleri ile 24°C sıcaklıkta 2 Hz çözünürlükte 200-6400 Hz aralığında yapılmıştır (Şekil 3.16).



**Şekil 3.16 : Ses iletim kaybı numuneleri (çapı: 29 mm boyutunda)**

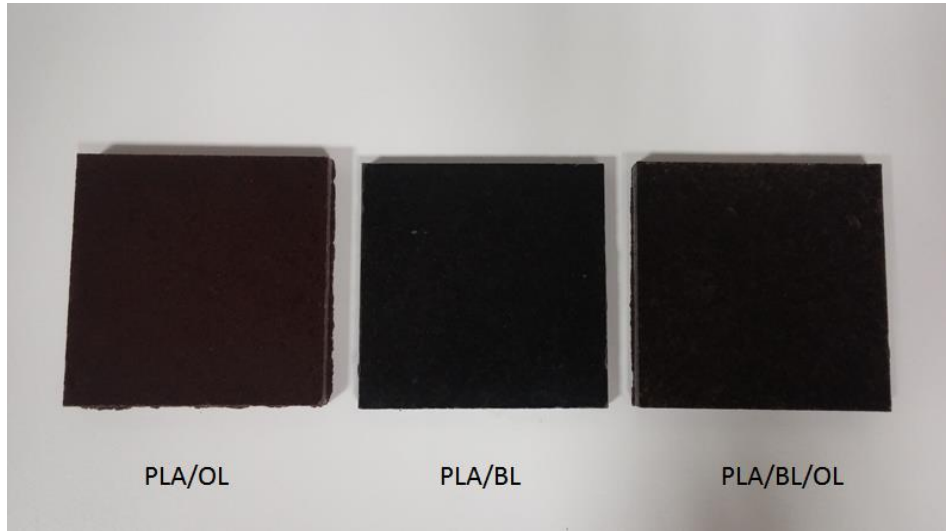


### 3.3.4.2 Isıl iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi

Isıl iletkenlik testi numuneleri ASTM C-518 standardına uygun olarak 10x10x1 cm boyutunda 190 °C sıcaklıkta 10 dk bekletilerek kalıplandı. Test FOX 314 Laser Comp (Şekil 3.17-3.18). marka ısıl iletkenlik ölçüm cihazıyla gerçekleştirildi. Test cihazında alt plaka sıcaklığı 10 °C, üst plaka sıcaklığı 30 °C olarak ayarlanmıştır ve test numuneleri 30x30 cm boyutlarında straforun ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.17 : Fox 314 laser comp. ısıl iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı



Şekil 3.18 : Isıl iletkenlik katsayısı analiz numuneleri (10x10x1 cm)

### 3.3.5 Biyokompozitlerin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi

Ayrıca morfolojinin nasıl etkilendiği çekme testi yapılan örneklerin çekme yönünde arakesitlerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleriyle tayin edilmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri ve mekanik test sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

SEM analizi ZEISS markalı cihazla 100 X-1,5K X ölçekleri arasında 15.00 kV voltaj değerinde yapılmıştır.

### 3.3.6 FTIR spektroskopik analizi

Kompozitlerin kimyasal yapısı ve değişimleri FTIR spektroskopisi ile araştırılmıştır. FTIR spektrumları için universal ATR aksesuarı olan Bruker marka cihaz kullanılmıştır. Ölçümler  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyları arasında  $4 \text{ cm}^{-1}$  çözünürlükte yapılmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 : Bruker Tensor 37 FTIR analiz cihazı

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde biyokompozitlere yapılan mekanik testlerden, kimyasal bağ gerilimleri için FTIR spektroskopisinden, termal özelliklerini belirlemek için TGA analizinden, biyokompozitlerin ısı iletkenliklerini, ses absorpsiyonunu ve yoğunluk, su alma, kalınlık artışı testlerinden elde edilen bulgular anlatılmıştır.

##### 4.1 Mekanik testlere ait bulgular

ASTM D-638 standardına göre yapılan çekme testi ve ASTM D-790 standardına uygun olarak yapılan eğilme testi sonuçları değerlendirilmiştir. Çekme ve eğilme testleri 8 numuneden yapılmıştır.

**Çizelge 4.1 : PLA/OL biyokompozitlerinin mekanik özellikleri**

Numune	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme modülü (MPa)	Gerinim %	Eğilme dayanımı (MPa)	Eğilme modülü (MPa)
PLA	40,95AA ±3,44	2111,17CD ±101,20	2,53 ±0,15	62,17AA ±8,83	3233,18AB ±189,48
PO1	18,63BC ±3,30	2394,44DD ±201,44	1,24 ±0,17	40,42BB ±11,72	4363,02AA ±80,87
PO2	17,15CD ±2,01	2404,91ABC ±149,94	0,98 ±0,12	36,37BB ±4,55	3481,42BB ±142,07
PO3	21,43BB ±2,41	2469,45AB ±98,27	1,16 ±0,09	39,41BB ±5,39	3230,40BB ±142,98
PO4	18,71BC ±2,62	2574,16AA ±186,09	0,96 ±0,14	33,23BB ±2,58	3434,48AB ±143,36
PO5	15,62DD ±2,08	2253,65BC ±183,77	0,86 ±0,09	29,56BB ±3,81	3384,03AB ±155,34

\*Homojenlik grupları, harf sırasına göre en yüksek ortalamadan en düşüğe doğru sıralanmıştır

Çizelge 4.1’de PLA matrisli ve sadece odun lifi kullanılarak hazırlanan kompozitlerin (PLA/OL) çekme ve eğilme dayanımları gösterilmiştir. OL katkısıyla çekme dayanımlarında %50’ye varan düşüş olmuştur. Eğilme dayanımlarında ise %50 katkıya kadar az bir düşüş olsa da ciddi bir düşüş görülmemiştir. İşlem görmemiş PLA’ya göre çekme modülünde artış gözlemlenmiştir. Burada en yüksek çekme modülü değeri PO4 biyokompozitinde 2574,16 MPa olarak gözükmektedir. PO5 biyokompoziti hariç odun takviye oranı arttıkça çekme modülünün arttığı görülmüştür. PO5 biyokompozitinde ise 2253,65 MPa çekme modülü değeri alınmıştır. Eğilme modülünde ise en yüksek değeri %34,9 artışla PO1 kompoziti göstermektedir. PO3 biyokompozitinin eğilme modülü işlem görmemiş PLA’ya yakın bir değerdedir ve diğer PLA/OL biyokompozitlerinin eğilme modüllerinde artış gözlemlenmektedir. Bununla birlikte artan odun lifiyle gerininin (uzama) de azaldığı görülmektedir.

**Çizelge 4.2 : PLA/BL biyokompozitlerinin mekanik özellikleri**

Numune	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme modülü (MPa)	Gerinim %	Eğilme dayanımı (MPa)	Eğilme modülü (MPa)
PLA	40,95AA ±3,44	2111,17BB ±101,20	2,53 ±0,15	62,17AA ±8,83	3233,18CC ±189,48
PB1	26,16CC ±2,41	2129,06BB ±118,33	1,77 ±0,11	60,78AA ±8,35	3011,27CC ±166,47
PB2	28,65BB ±1,46	2168,28BB ±152,62	2,13 ±0,31	65,96AA ±1,77	3072,27CC ±96,41
PB3	24,21CD ±2,27	2315,94BB ±88,09	1,59 ±0,17	59,45AA ±4,13	3269,47CC ±180,40
PB4	23,49DD ±2,07	2694,00AA ±220,52	1,29 ±0,15	57,03BB ±1,83	4420,94BB ±124,99
PB5	19,10EE ±3,88	2927,24AA ±12,71	1,06 ±0,08	45,80BB ±3,31	5112,67AA ±216,57

\*Homojenlik grupları, harf sırasına göre en yüksek ortalamadan en düşüğe doğru sıralanmıştır

Çizelge 4.2’de PLA matrisli ve sadece bazalt lifi kullanılarak hazırlanan kompozitlerin (PLA/BL) çekme ve eğilme dayanımları gösterilmiştir. Tabloya göre PLA/BL biyokompozitlerinde de çekme dayanımları işlem görmemiş PLA’ya göre düşmüştür. Düşüş oranları %50 BL katkıya kadar OL katkısından daha iyi çekme dayanımı

değerleri göstermiştir. Çekme modülünde en büyük değeri %38,6 artışla 2927,24 MPa olarak PB5 biyokompoziti göstermektedir. Çekme modülü değerleri biyokompozitlerdeki takviye oranlarıyla doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Eğilme değerlerine bakıldığında, PB2 biyokompoziti 65,96 MPa eğilme dayanımı ile PLA/BL biyokompozitleri arasında en yüksek eğilme dayanımını göstermiş ve PLA'dan kısmen daha iyi eğilme dayanımı göstermiştir. Eğilme modülünde ise PB4 ve PB5 biyokompozitleri kayda değer artış göstermiştir. PB4 biyokompozitinin eğilme modülü 4420,94 MPa ve PB5 biyokompozitinin eğilme modülü 5112,67 MPa'dır.

**Çizelge 4.3 : PLA/BL/OL biyokompozitlerinin mekanik özellikleri**

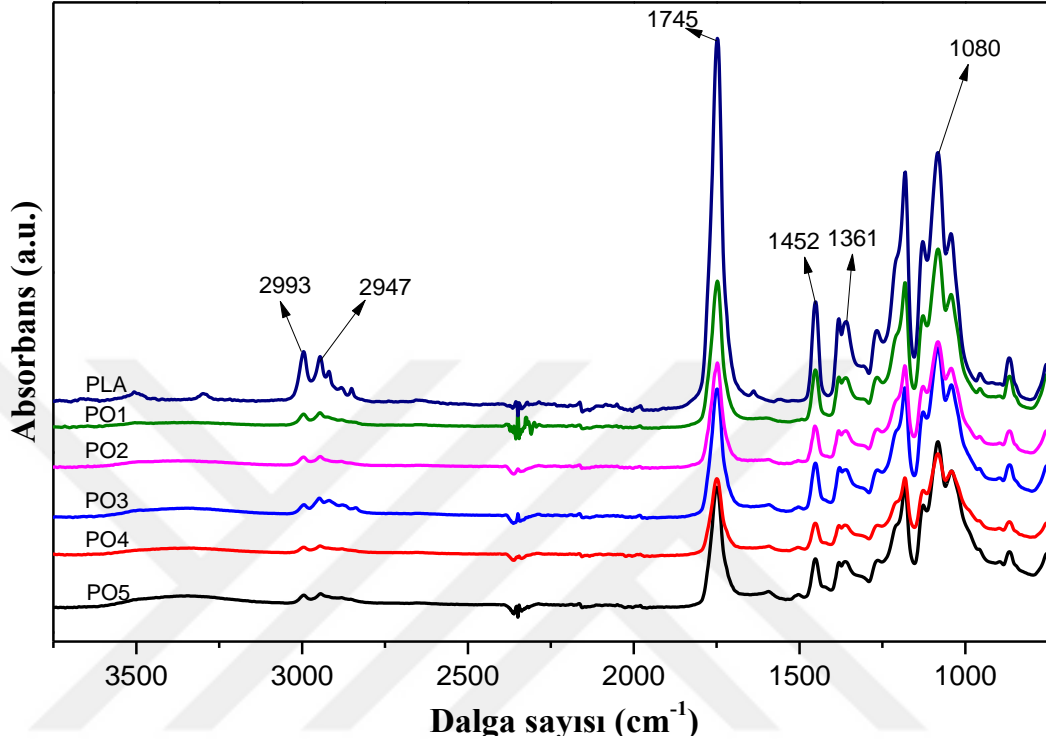
Numune	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme modülü (MPa)	Gerinim %	Eğilme dayanımı (MPa)	Eğilme modülü (MPa)
PLA	40,95AA ±3,44	2111,17CC ±101,20	2,53 ±0,15	62,17BB ±8,83	3233,18CD ±189,48
PBO1	31,06BB ±6,89	2013,92CC ±185,31	1,92 ±0,41	66,58BB ±18,18	3012,90DD ±173,39
PBO2	24,29CC ±5,77	2113,01CC ±55,16	1,58 ±0,24	68,62AA ±9,48	3143,51CD ±227,97
PBO3	12,61DE ±2,97	2260,61CC ±203,15	0,76 ±0,14	30,45CD ±6,78	3964,19BC ±236,80
PBO4	10,87EE ±1,87	2522,53BB ±105,71	0,59 ±0,08	25,32DD ±2,45	3947,69BB ±195,44
PBO5	16,85DD ±2,17	3035,71AA ±88,16	0,83 ±0,07	32,82CC ±2,09	4080,89AA ±193,88

\*Homojenlik grupları, harf sırasına göre en yüksek ortalamadan en düşüğe doğru sıralanmıştır

Çizelge 4.3'de PLA matrisli, bazalt ve odun lifi takviyeli hazırlanan kompozitlerin (PLA/BL/OL) çekme ve eğilme dayanımları gösterilmiştir. Çizelgede gösterildiği üzere PLA/BL/OL biyokompozitlerinde işlem görmemiş PLA'ya göre çekme dayanımlarında özellikle %30 katkıyla birlikte çok düşmüştür. Çekme modülü değerlerinde ise en yüksek değer PBO5 biyokompozitinde 3035,71 MPa'dır. Eğilme dayanımları ise PBO1 ve PBO2 biyokompozitlerinde saf PLA'ya göre daha iyi bir dayanım göstermiştir. PBO1 biyokompozitinin eğilme dayanımı 66,58 MPa, PBO2

biyokompozitinin eğilme dayanımı ise 68,62 MPa'dır. Eğilme modülünde en yüksek değeri gösteren biyokompozit 4080,89 MPa ile PBO5 biyokompozitidir.

#### 4.2 FTIR analizine ait bulgular

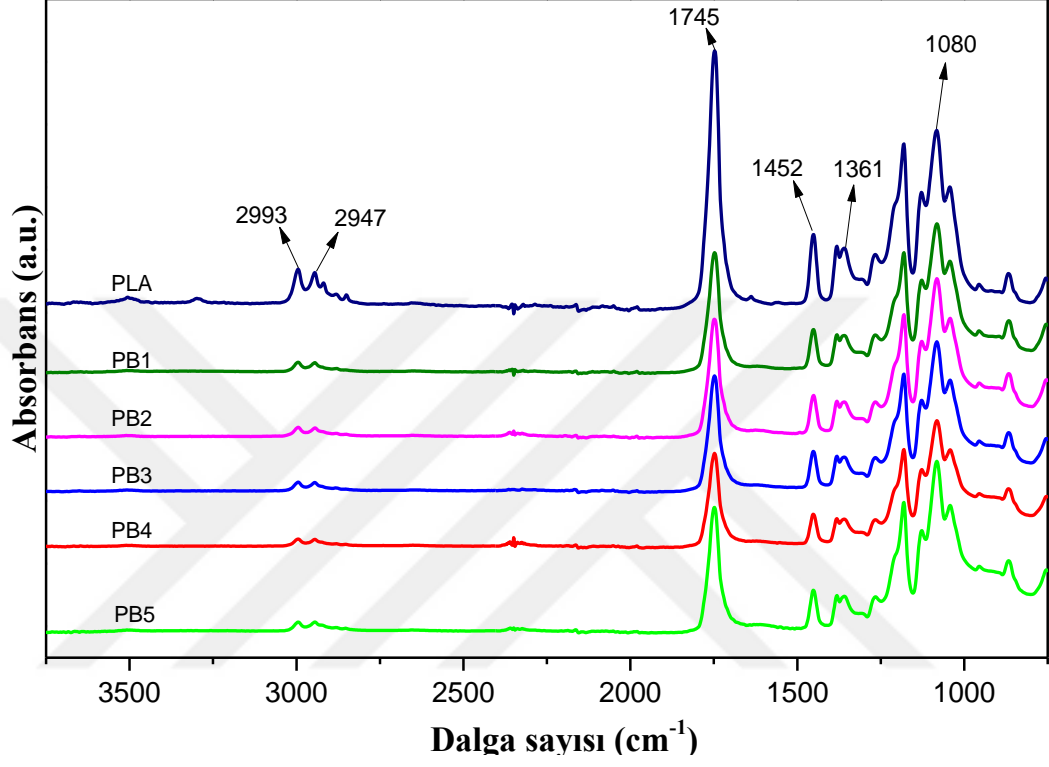


Şekil 4.1 : PLA/OL biyokompozitlerinin FTIR analiz grafiği

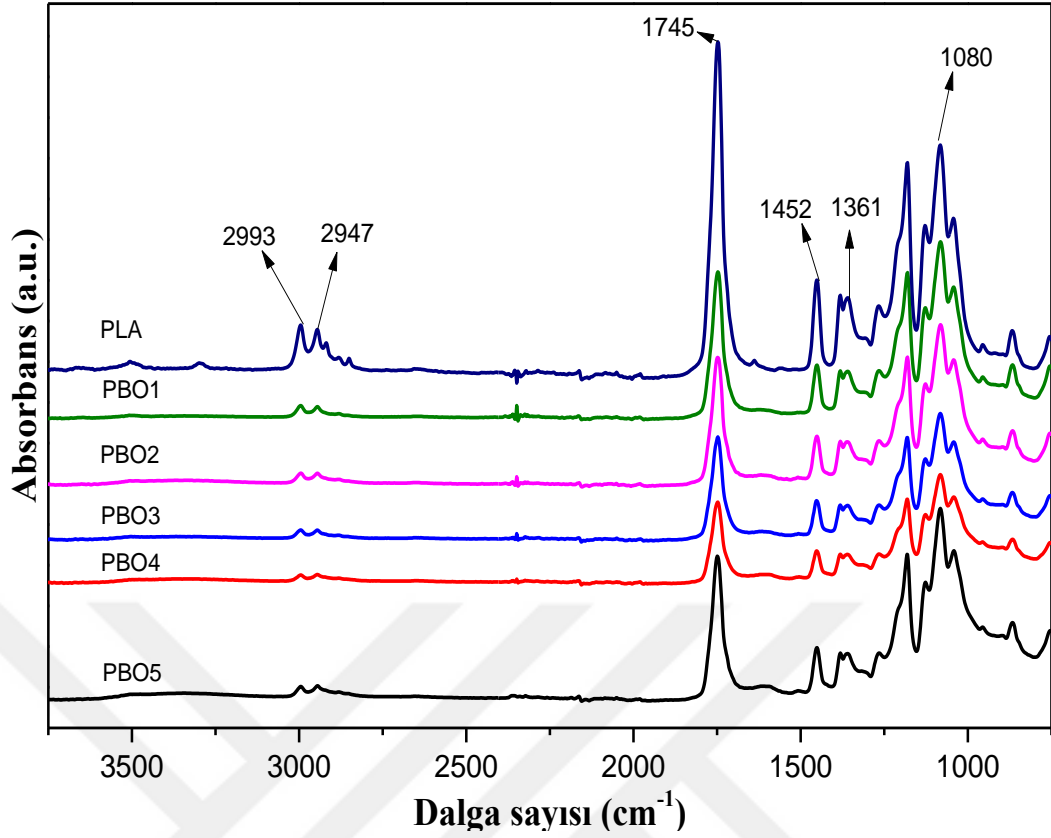
Şekil 4.1'de gösterildiği gibi PLA'nın karakteristik gerilme frekansları C=O, -CH<sub>3</sub> asimetrik, -CH<sub>3</sub> simetrik ve C-O sırasıyla 1745, 2993, 2947 ve 1080 cm<sup>-1</sup> bandında gösterilmektedir. -CH<sub>3</sub> asimetrik ve -CH<sub>3</sub> simetrik gerilme frekansları sırasıyla 1452 ve 1361 cm<sup>-1</sup> bandında gözükmemektedir (Chieng vd., 2013). Genel olarak odun içeren numunelerde 3300-4000 cm<sup>-1</sup> bandında güçlü -OH gerilme frekansı, 2800-3000 cm<sup>-1</sup> bandında metilen ve metildeki C-H gerilmeleri göze çarpmaktadır (Ding vd., 2016).

Şekil 4.2'de gösterildiği üzere 1745 cm<sup>-1</sup> bandında C=O gerilme frekansı, 2993 cm<sup>-1</sup> bandında -CH<sub>3</sub> asimetrik gerilme frekansı, 2947 cm<sup>-1</sup> bandında -CH<sub>3</sub> simetrik gerilmesi, 1080 cm<sup>-1</sup> bandında C-O gerilmesi PLA'nın karakteristik gerilme frekanslarıdır (Chieng vd., 2013). 2800-3000 cm<sup>-1</sup> aralığında metilen ve metilden gelen karakteristik -CH gerilme bantları görülebilmektedir. Bu bantlar cam ve bazalt fiber üretiminde kullanılan yaygın tip organik karakterden gelmektedir. 3200-3600

$\text{cm}^{-1}$  aralığında silan gruplarından veya fiber yüzeyindeki sudan gelebilen O-H gerilmesi görülebilmektedir (Iorio vd., 2018).



Şekil 4.2 : PLA/BL biyokompozitlerinin FTIR analiz grafiği

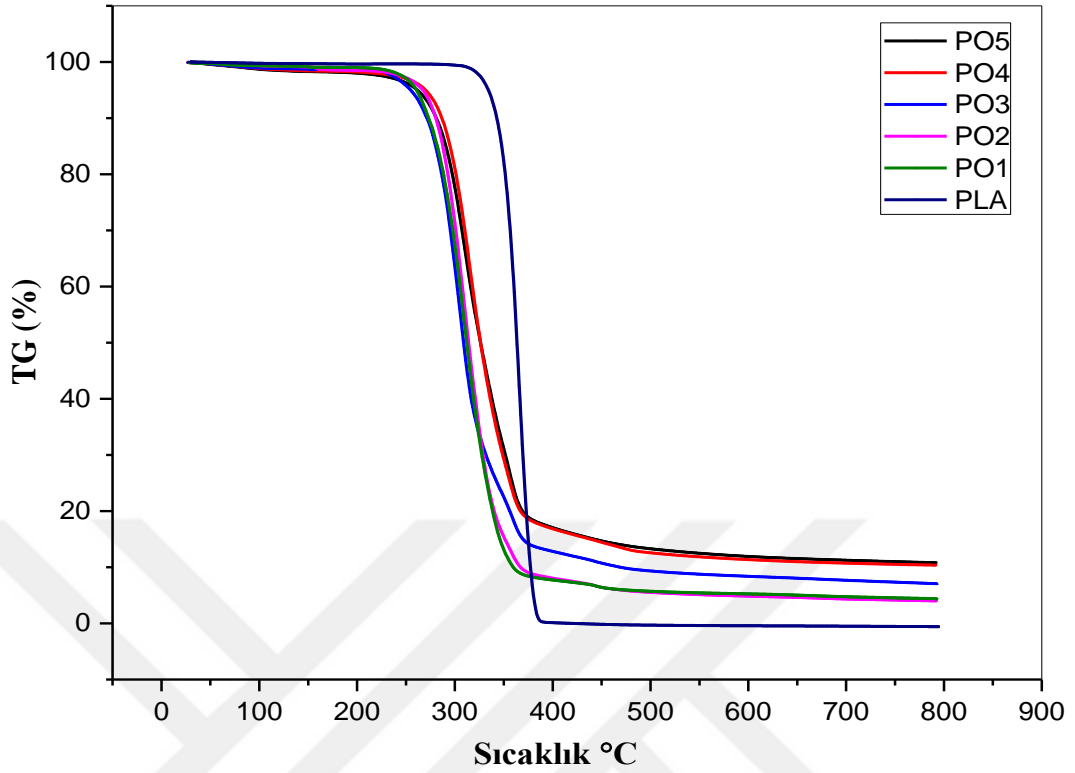


**Şekil 4.3 :** PLA/BL/OL biyokompozitlerinin FTIR analiz grafiği

Şekil 4.3’de görüldüğü üzere 1745, 2993, 2947 ve 1080  $\text{cm}^{-1}$  bantlarında sırasıyla C=O, -CH<sub>3</sub> asimetric, -CH<sub>3</sub> simetric ve C-O gerilim frekansları işlem görmemiş PLA’nın karakteristik gerilim frekanslarıdır. 2800-3000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında metilen ve metildeki C-H gerilmeleri, 3300-4000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında OH gerilme frekansı görülmektedir (Dink vd., 2016 ; Iorio vd., 2018).

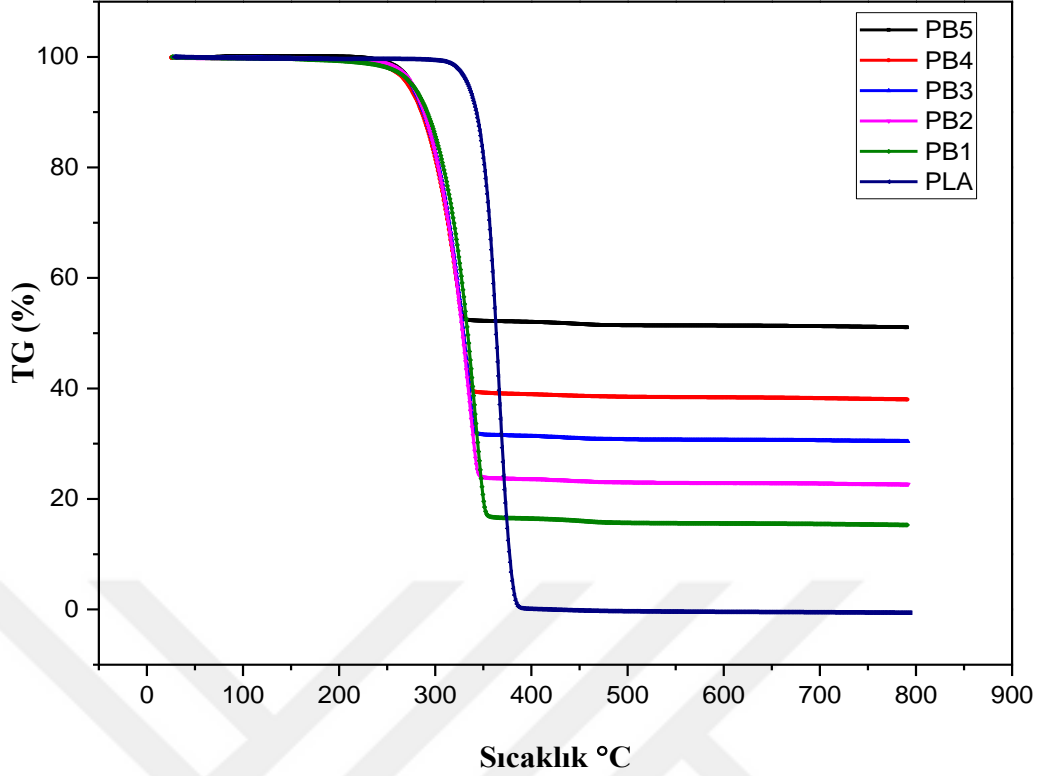


### 4.3 TGA analizine ait bulgular



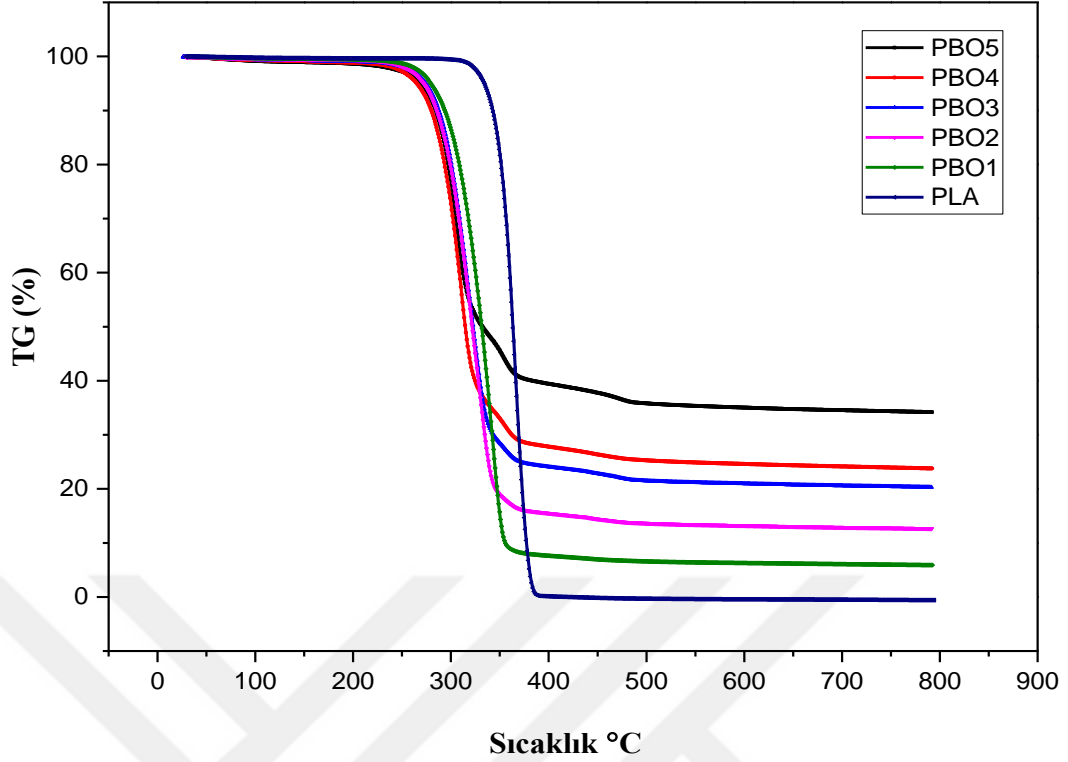
Şekil 4.4 : PLA/OL biyokompozitlerinin TGA analiz grafiği

Şekil 4.4'e göre saf PLA, 287°C'de degradasyona başlamıştır ve 341°C'de ayrışmaya başlamıştır. PLA/OL biyokompozitlerinde 100°C sıcaklıktaki kütle kaybı su kaybından dolayı olduğu düşünülmektedir ve 178°C sıcaklıkta odunun yapısında bulunan hemiselüloz dolayısıyla degradasyona uğramaya başlamıştır. 290°C sıcaklık civarında PLA/OL biyokompozitleri ayrışmaya başlamıştır. İşlem görmemiş PLA 395°C sıcaklıkta tamamen bozunmaya uğrayarak kütle kaybını sonlandırmıştır. PLA/OL biyokompozitlerinde ise 380°C sıcaklık civarında kütle kaybı hızı azalmıştır ancak 380-495°C aralığında boyun vermiştir. Bu sıcaklık aralığındaki bozunmanın odunun yapısında bulunan lignine ait olduğu düşünülmektedir. Biyokompozitlerdeki katkı oranının artmasıyla aynı oranda kalan kalıntı madde miktarı artış göstermiştir (Poletto vd., 2012).



**Şekil 4.5 :** PLA/BL biyokompozitlerinin TGA analiz grafiği

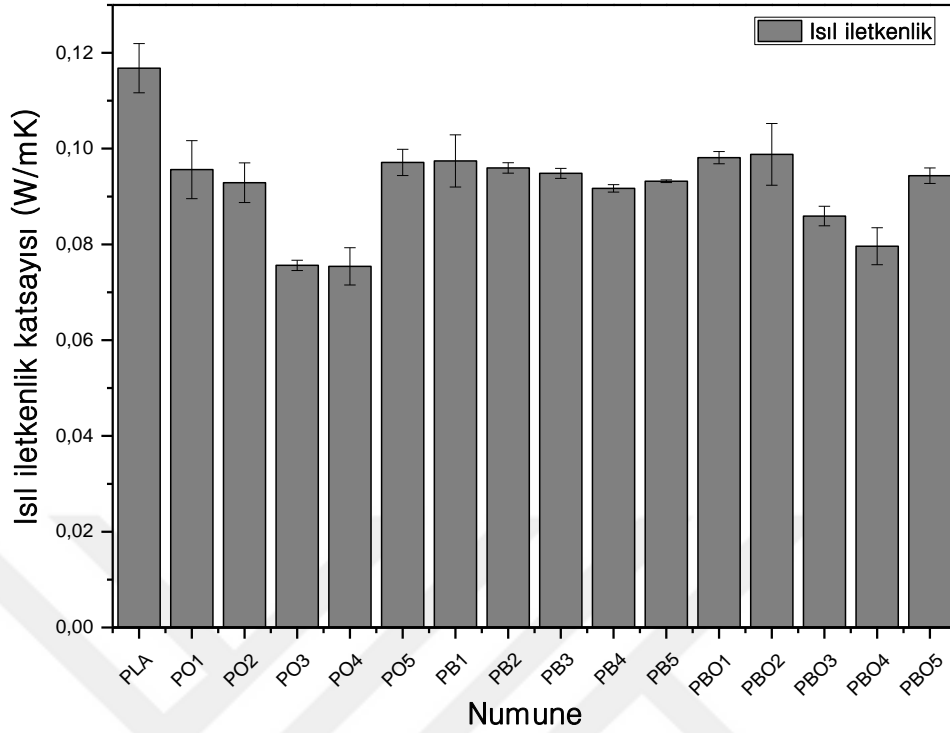
Şekil 4.5'e göre işlem görmemiş PLA 287 °C'de bozunmaya başlamıştır ve 341°C'de ayrışmanın başlamasıyla kütle kaybı hızı artmıştır. PLA/BL biyokompozitlerinde 225°C'de bozunma başlamıştır. PLA/BL biyokompozitleri 285°C civarında ayrışmaya başlamıştır. İşlem görmemiş PLA 395°C civarında tamamen bozunmaya uğrayarak kütle kaybı sonlanmıştır. Kütle kaybı PB1'de 357°C, PB2'de 345°C, PB3'de 343°C, PB4 ve PB5'te sırasıyla 339°C, 329°C'de sonlanmıştır. Bu sıcaklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi bazalt lifi takviye oranı arttıkça bozunma sıcaklıkları düşmüştür. Geriye kalan kalıntı miktarı bazalt lifi takviye oranıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Bunun sebebi bazalt liflerinin inorganik madde olması ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olması düşünülmektedir (Iorio vd., 2018).



**Şekil 4.6 :** PLA/BL/OL biyokompozitlerinin TGA analiz grafiği

Şekil 4.6'ya göre saf PLA 287°C sıcaklıkta degradasyona başlamıştır ve 341°C civarında ayrışmaya başlamıştır. İşlem görmemiş PLA, 395°C sıcaklıkta tamamen bozunmuştur ve kütle kaybı sonlanmıştır. PLA/BL/OL biyokompozitlerinde ise odun liflerindeki su sebebiyle 100 °C'ye kadar su kaybı olmuştur ve odunun bozunmaya başlama sıcaklığı inorganik katkı sebebiyle gecikmiş ve 238°C civarında degradasyona uğramaya başlamıştır. Biyokompozitlerde 365°C civarında kütle kaybı hızı düşmüştür ve bu sıcaklıktan sonra odununu takviyesi fazla olan kompozitlerde 365-500 °C sıcaklık aralığında boyun vermiştir. Bunun nedeninin odunun yapısında bulunan lignin olduğu düşünülmektedir. Lignin, hemiselüloz ve selülozdan farklıdır. Çünkü yüksek molekül ağırlığına sahip, çapraz bağları olan, 3 çeşit benzen-propan birimlerinin karışımıdır. Ligninin termal kararlılığı bu nedenle çok yüksektir ve ayrıştırılması zordur (Yang vd., 2006).

#### 4.4 Isıl iletkenlik katsayısı ölçüm testine ait bulgular



Şekil 4.7 : Isıl iletkenlik katsayısı grafiği

Şekil 4.7’de biyokompozitlerin ısıl iletkenlik katsayılarını gösteren grafik verilmiştir. İşlem görmemiş PLA’nın ısıl iletkenliği 0,1168 W/m.K olarak ölçülmüştür. PO3 ve PO4 biyokompozitlerinde ısıl iletkenlik katsayısı 0,075 W/m.K değerine düşmüştür. PLA/BL kompozitlerinde ısıl iletkenlik katsayısının en düşük olduğu varyasyon PB4 biyokompozitidir. PB4 ısıl iletkenlik katsayısı 0,091 W/m.K’dir. PLA/BL/OL biyokompozitlerinde de en düşük değer PBO4 varyasyonundadır. PBO4 ısıl iletkenlik katsayısı 0,079 W/m.K’dir. Test edilen biyokompozitlerin arasında en düşük ısıl iletkenlik katsayısı değerleri %40 takviye malzemesi içeren (PB4, PO4, PBO4) varyasyonlardan elde edildiği gözlemlenmiştir. Takviye oranının artmasıyla ısıl iletkenlik katsayısının düşmesinin sebebi kullanılan bazalt ve odun ununun izolasyon özelliklerinin iyi olmasıdır. Takviye oranı %50’ye çıkartıldığında ısıl iletkenlik katsayısının arttığı görüldü (Guo vd., 2019).

#### 4.5 Isıl sapma sıcaklığı (HDT) testi

HDT testi ASTM D-648 standardına uygun olarak 127x12,7x3 mm boyutlarındaki numunelere 0,46 MPa basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. İşlem görmemiş

PLA'nın yumuşama sıcaklığı 55,50°C'dir. PB5 biyokompozitinde yumuşama derecesi PLA ile aynı kalmıştır. Diğer varyasyonlarda düşüş olduğu gözlemlenmiştir. En düşük yumuşama sıcaklığı 50,70°C ile PBO5 biyokompozitine ait olduğu görülmektedir. Sadece bazalt lifi takviyesi olan biyokompozitlerin yumuşama derecesi diğer biyokompozitlerden daha yüksek olduğu Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4 : Isıl sapma sıcaklığı testi (HDT) değerleri**

Numune adı	Sıcaklık °C
PLA	55,50
PO2	52,93
PO5	51,50
PB2	55,30
PB5	55,50
PBO2	53,30
PBO5	50,70

#### 4.6 Biyokompozitlerin yoğunluk analizine ait bulgular

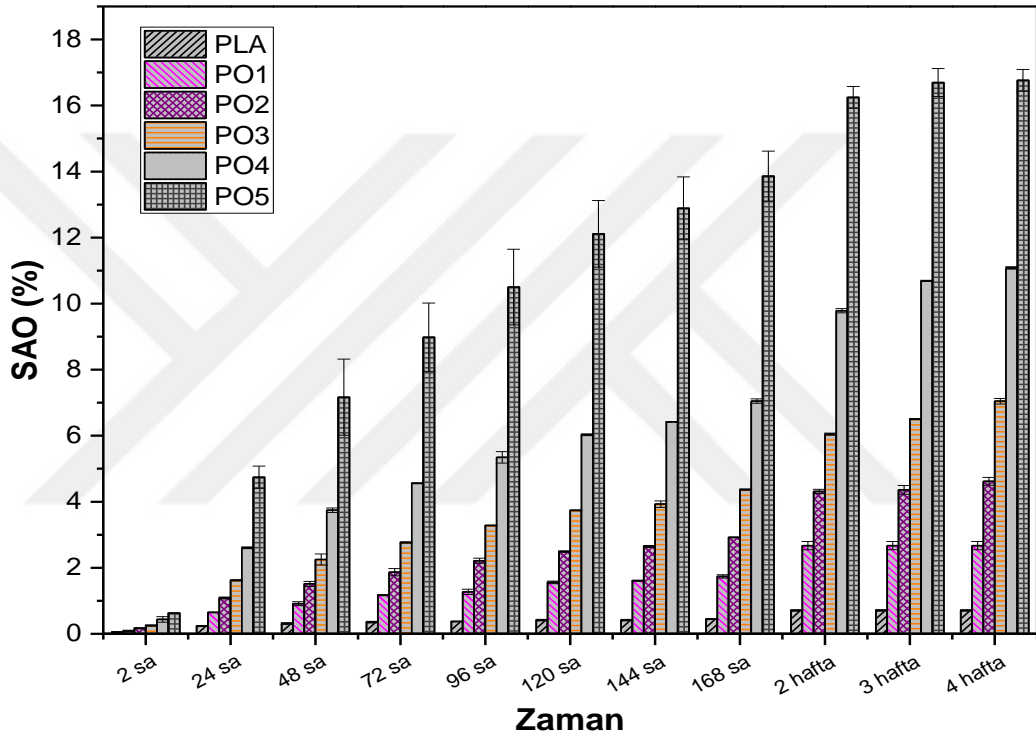
**Çizelge 4.5 : Biyokompozitlerin yoğunluk analizleri**

Numune	Katkı maddesi (%)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
PLA	0	1,21 ±0,01
PO1	10	1,18 ±0,02
PO2	20	1,20 ±0,02
PO3	30	1,14 ±0,03
PO4	40	1,18 ±0,01
PO5	50	1,19 ±0,01
PB1	10	1,24 ±0,01
PB2	20	1,27 ±0,02
PB3	30	1,34 ±0,02
PB4	40	1,48 ±0,03
PB5	50	1,56 ±0,02
PBO1	5-5	1,24 ±0,02
PBO2	10-10	1,24 ±0,04
PBO3	15-15	1,28 ±0,02
PBO4	20-20	1,28 ±0,03
PBO5	25-25	1,37 ±0,01

Çizelge 4.5'e göre işlem görmemiş PLA'nın yoğunluğu 1,21 g/cm<sup>3</sup>'tür. PLA/OL biyokompozitlerinde saf PLA'ya göre yoğunluk düşmüştür. Odun unu takviyeli biyokompozitlerde yoğunluğu en düşük varyasyon 1,14 g/cm<sup>3</sup> ile PO3'tür. Bazalt

takviyeli biyokompozitlerde ise yoğunluklar artışa geçmiştir. Bazalt takviyeli biyokompozitlerde en yüksek yoğunluğu olan varyasyon PB5'tir. PB5 biyokompozitinin yoğunluğu  $1,56 \text{ g/cm}^3$ 'tür. PLA/BL/OL biyokompozitlerinin yoğunlukları saf PLA'ya göre artmıştır. PLA/BL/OL biyokompozitlerinin en yüksek yoğunluğa sahip varyasyonu PBO5'tir. PBO5 biyokompozitinin yoğunluğu  $1,37 \text{ g/cm}^3$ 'tür.

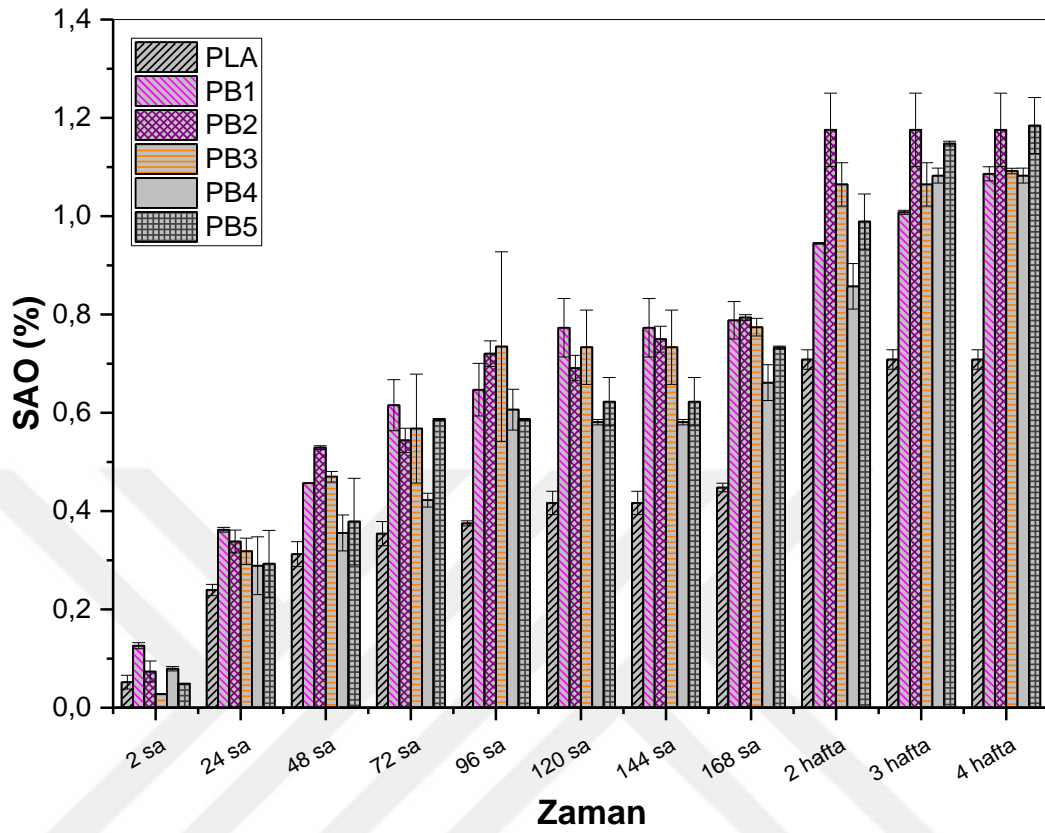
#### 4.7 Biyokompozitlerin su alma oranı analizlerine ait bulgular



Şekil 4.8 : PLA/OL biyokompozitlerinin su alma oranı (%)

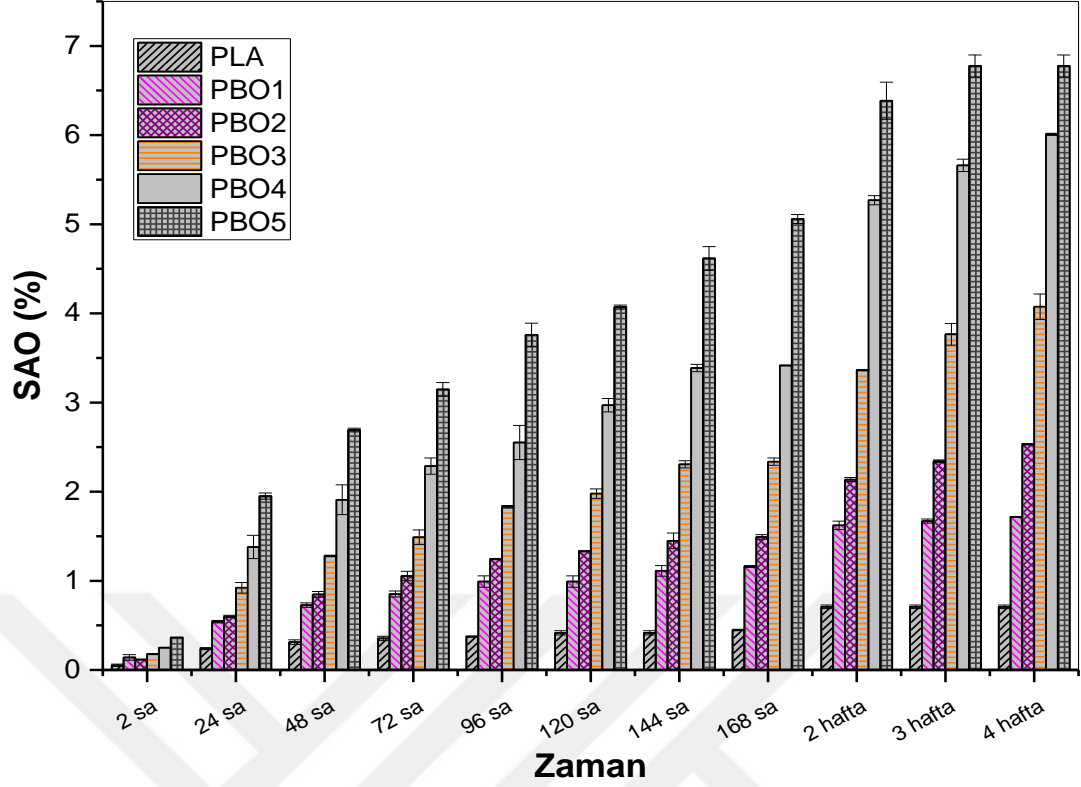
Şekil 4.8'e göre işlem görmemiş PLA'da 1 ay sonunda %0,70 su alma oranı elde edilmiştir. PO1 biyokompozitinde 2 saat sonunda su alma oranı %0,08 iken 1 ay sonunda %2,67'ye yükselmiştir. PO2 biyokompozitinde 2 saat sonunda %0,16 su alma oranı varken 1 ay sonunda %4,61 su alma oranına ulaşmıştır. PO3 biyokompozitinde ise 2 saat sonunda %0,24 su alma oranı 1 ay sonunda %7,04'e yükselmiştir. PO4 biyokompozitinde 1 ay sonunda %11,08 su alma oranı görülmektedir. PO5 biyokompozitinde ise 2 saat sonunda %0,62 su alma oranı 1 ay sonunda %16,76'ya yükselmiştir. PLA/OL biyokompozitleri arasında 1 ay sonunda en düşük su alma oranı %2,67 ile PO1 varyasyonuna aittir. PLA/OL biyokompozitlerinde 1 ay sonunda en

yüksek su alma oranı %16,76 ile PO5 olduğu görülmektedir. Biyokompozitteki odun unu takviye oranı arttıkça su alma oranında da artış görülmüştür.



Şekil 4.9 : PLA/BL biyokompozitlerinin su alma oranı (%)

Şekil 4.9'a göre PLA ilk 2 saat sonunda %0,05 su alma oranına sahipken 1 ay sonunda %0,70 oranına ulaşmıştır. PB1 biyokompozitinde 2 saatte %0,12 su alma oranı varken 4 hafta sonra %1,08'e yükselmiştir. PB2 biyokompozitinde ilk 2 saatte %0,07 su alma oranına sahipken 1 ay sonra %1,17'ye yükseldiği gözlemlenmiştir. PB3 biyokompozitinde 2 saat sonunda %0,02 su alma oranı 1 ay sonunda %1,09'a yükselmiştir. PB4 biyokompozitinde ise 2 saat sonunda %0,07 su alma oranı 4 hafta sonra %1,08'e yükselmiştir. PB5 biyokompozitinde ise ilk 2 saat sonunda %0,04 su alma oranı 168 saat sonunda %0,73, 1 ay sonunda ise %1,18'e yükselmiştir. Bazalt lifi takviyeli biyokompozitlerde odun takviyeli olanlara göre su alma oranının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

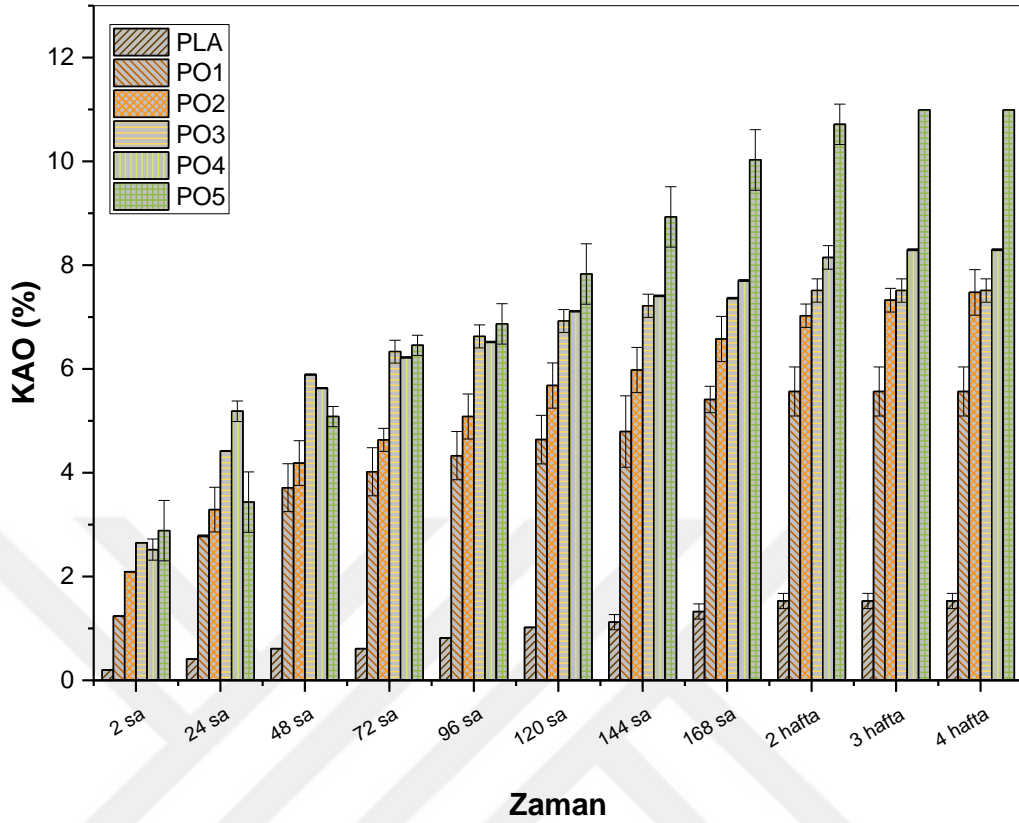


**Şekil 4.10** : PLA/BL/OL biyokompozitlerinin su alma oranı (%)

Şekil 4.10'a göre saf PLA 1 ay sonunda %0,70 su alma oranına sahiptir. PBO1 biyokompozitinde 2 saat sonunda su alma oranı %0,14 iken, 1 ay sonunda %1,71'e artış olduğu gözlemlenmiştir. PBO2 biyokompozitinde 1 ay sonunda su alma oranı %2,53 olarak elde edilmiştir. PBO3 biyokompoziti 4 hafta sonunda %4,07 su alma oranına sahip olduğu görülmüştür. PBO4 ve PBO5 1 ay sonunda su alma oranları sırasıyla %6,00 ve %6,77 olarak gözlemlenmiştir. PBO biyokompozitlerinde en yüksek su alma oranı %6,77 ile PBO5'tir. Su alma oranı testi sonuçlarında en yüksek oran sadece odun unu takviyeli biyokompozitlerde görülmüştür ve daha sonra bazalt, odun unu takviyeli biyokompozitler gelmektedir. En düşük su alma oranına sahip biyokompozitler ise sadece bazalt lifi takviyeli biyokompozitlerdir.

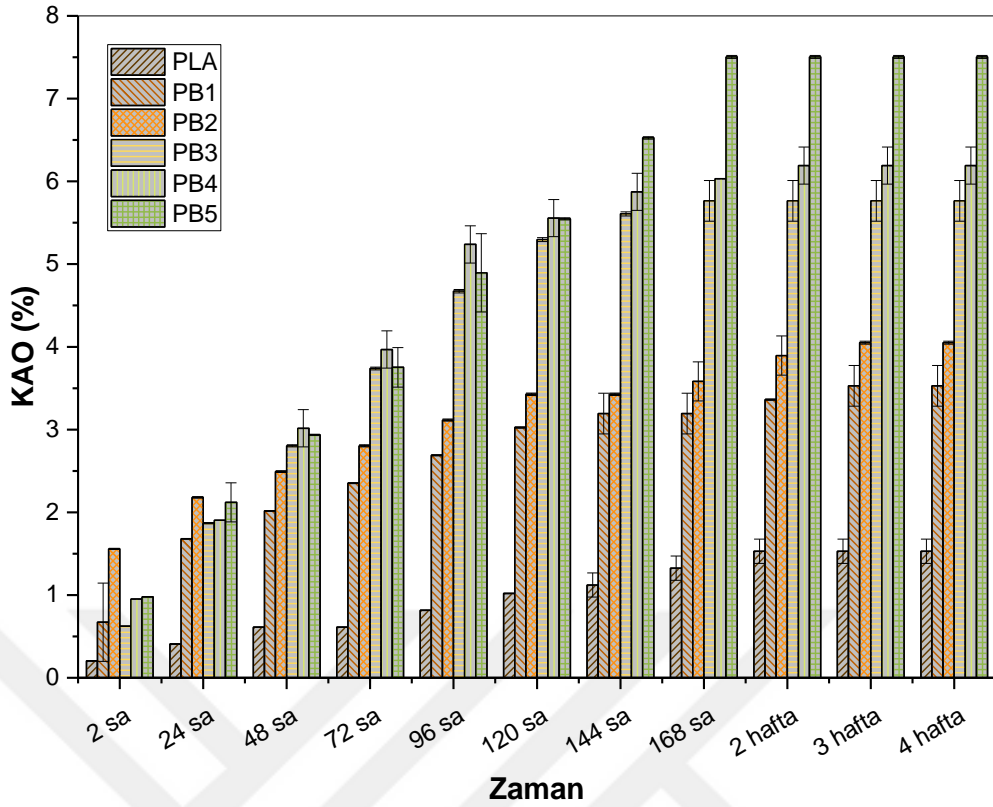


#### 4.8 Biyokompozitlerin kalınlık artış oranı analizlerine ait bulgular



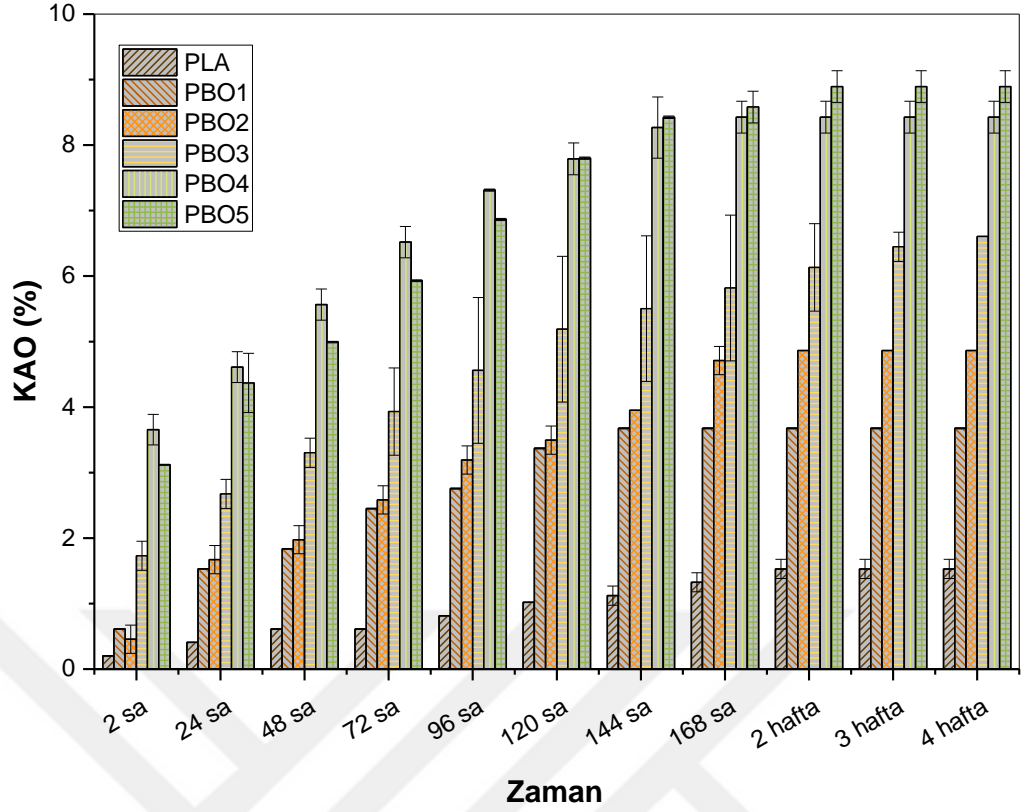
Şekil 4.11 : PLA/OL biyokompozitlerinin kalınlık artış oranı (%)

Kalınlık artışı saf su içerisinde bekletilen numunelerin orta noktasından işaretlenerek 2, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 saat, 2, 3, 4 hafta sürelerinde kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 4.11'e göre saf PLA 1 aylık süreçte %1,52 kalınlık artışı göstermiştir. PLA/OL biyokompozitlerinde 1 ay sonundaki değerlere bakacak olursak en yüksek artışı PO5 biyokompoziti %10,98 ile göstermiştir. 1 aylık süreçte en düşük kalınlık artışını PO1 biyokompoziti %5,56 ile göstermiştir. PO2, PO3 ve PO4 biyokompozitleri test sonunda sırasıyla %7,47, %7,51, %8,29 kalınlık artışı göstermişlerdir. Biyokompozitlerdeki odun takviye oranı arttıkça kalınlık artış oranıda yükselmektedir. Biyokompozitlerde 2 haftadan sonraki ölçümlere kalınlık artışı az olmuştur. Bunun sebebi biyokompozitlerin doyum noktasına ulaşması olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 4.12** : PLA/BL biyokompozitlerinin kalınlık artış oranı (%)

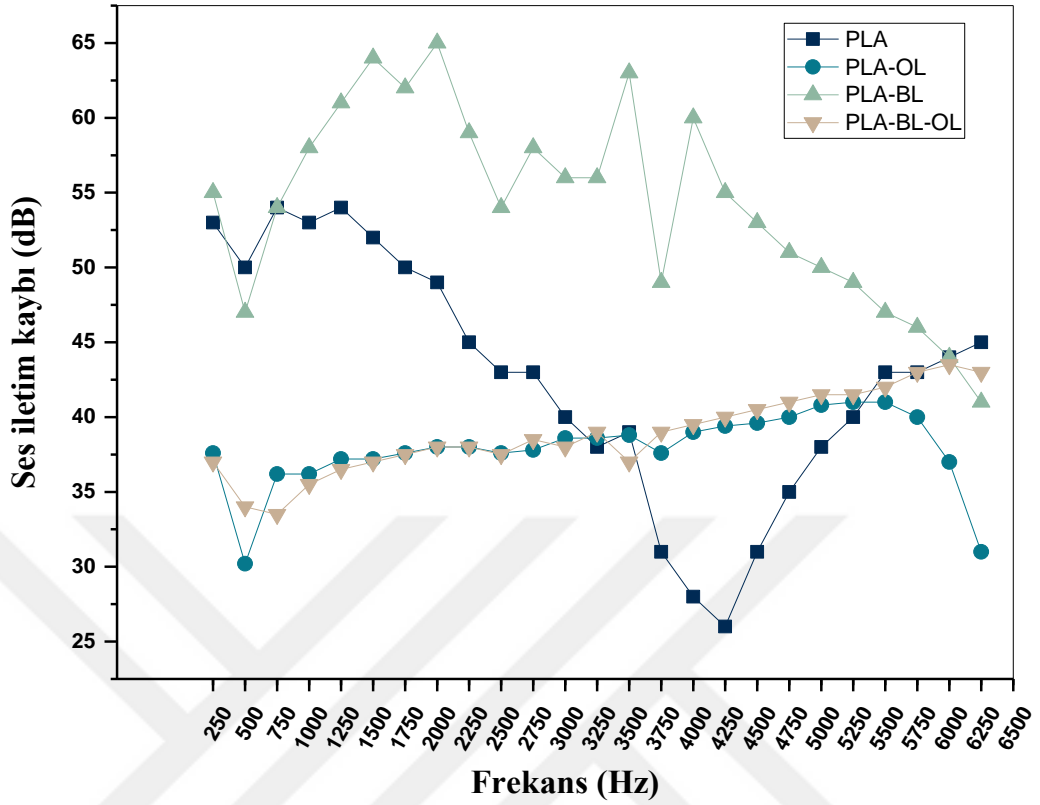
Şekil 4.12'ye göre işlem görmemiş PLA 1 ay sonunda %1,52 kalınlık artışı göstermiştir. Kalınlık artışı testinin son ölçümü olan 1 aylık sürenin sonundaki değerlere bakacak olursak en yüksek kalınlık artışını PB5 biyokompoziti %7,50 ile ve en düşük kalınlık artışını PB1 %3,52 ile göstermiştir. 1 aylık süreç sonunda PB2, PB3 ve PB4 biyokompozitleri sırasıyla %4,04, %5,76, %6,19 kalınlık artışı değerlerini göstermişlerdir. PLA/BL biyokompozitleri 168 saat sonunda doyum noktasına ulaşmıştır. PLA/BL biyokompozitlerinde takviye oranı arttıkça kalınlık artış oranları da artış göstermiştir. PLA/BL biyokompozitlerindeki kalınlık artışı PLA/OL biyokompozitlerindeki kalınlık artışından daha düşük olmuştur. Bunun sebebi bazalt lifinin odun lifine göre daha az su alması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.13 : PLA/BL/OL biyokompozitlerinin kalınlık artış oranı (%)

Şekil 4.13'e göre saf PLA'nın kalınlık artışı %1,52'dir. Kalınlık artışı testinde 2, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 saat, 2, 3, 4 hafta sürelerinde numuneler saf su içerisinde çıkarılarak üzerindeki fazla su bir bez ile alındıktan sonra numune üzerindeki işaretli yerden kumpas ile ölçüm alınmıştır. 1 aylık süreç sonunda PLA/BL/OL biyokompozitlerinde en yüksek artışı %8,89 ile PBO5 göstermiştir ve en düşük kalınlık artışı PBO1 biyokompozitinde %3,67 oranında olmuştur. 1 aylık süreçte PBO2, PBO3 ve PBO4 biyokompozitlerinin kalınlık artışı sırasıyla %4,86, %6,60, %8,42 olmuştur. PLA/BL/OL biyokompozitlerinin 2 haftadan sonra yapılan ölçümlerde doyum noktasına ulaştığı görülmektedir. PLA/BL/OL biyokompozitlerinde takviye oranı arttıkça kalınlık artışının yükselme eğiliminde olduğu anlaşılmıştır.

#### 4.9 Biyokompozitlerin ses iletim kaybı ölçümü analizine ait bulgular

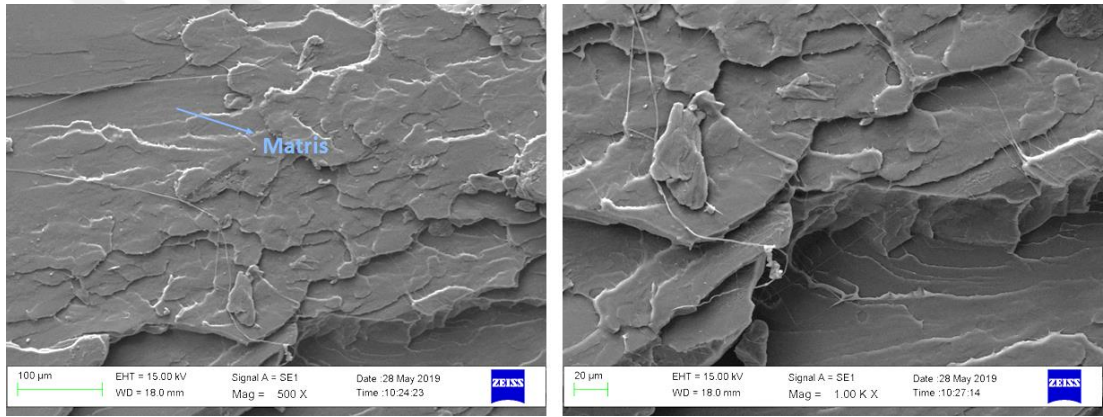


Şekil 4.14 : Biyokompozitlerin ses iletim kaybı analizi

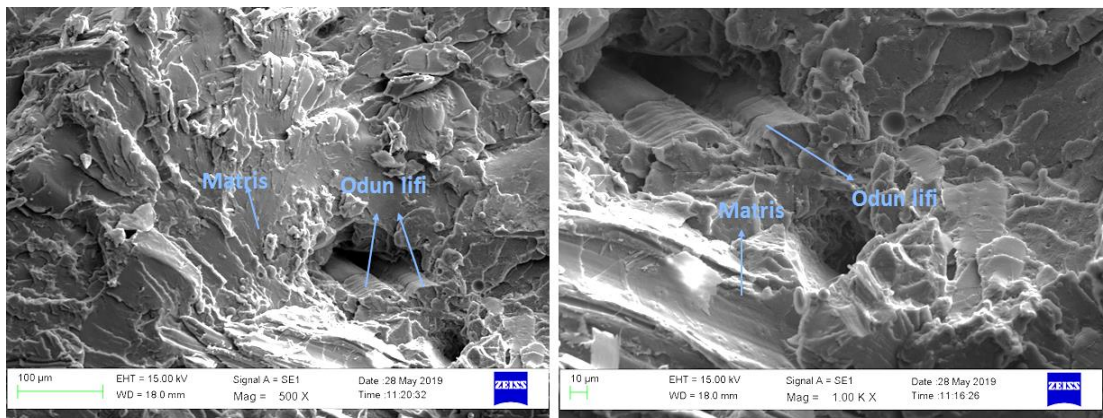
Şekil 4.14'e göre 250-2000 Hz aralığında PLA/BL biyokompozitleri referans saf PLA'dan ve diğer biyokompozitlerden daha yüksek ses iletim kaybı değerine sahiptir. 2000 Hz frekansta PLA-BL biyokompozitleri 65 dB ses iletim kaybına sahipken PLA/OL ve PLA/BL/OL 38 dB ve saf PLA 49 dB ses iletim kaybı değerinde olduğu görülmektedir. 2000-3500 Hz aralığında da saf PLA'nın ses iletim kaybının azaldığı görülmektedir. Bu aralıkta PLA-BL biyokompozitleri diğer biyokompozitlerden daha iyi ses absorpsiyon özelliği göstermiştir. 3500-5250 Hz frekans aralığında saf PLA'nın ses iletim kaybı biyokompozitlerin hepsinden daha düşük olduğu görülmektedir. 4250 Hz frekans değerinde PLA/BL biyokompozitlerinin ses iletim kaybı saf PLA'dan 29 dB fazladır. PLA/OL ve PLA/BL/OL biyokompozitleri benzer ses iletim kaybı performansı göstermiştir. PLA/BL biyokompozitlerinin ses iletim kaybı özelliğinin diğer biyokompozitlerden üstün olduğu anlaşılmaktadır (Zhao vd., 2010).

#### 4.10 Biyokompozitlerin SEM analizine ait bulgular

Şekil 4.15'te matris malzemesi olarak kullanılan saf PLA'nın SEM görüntüleri görülmektedir. PO2 biyokompozitinin SEM görüntüsünden odun ununun PLA matris içerisinde çok iyi dağıldığı Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Şekil 4.17'de PO5 biyokompozitine baktığımızda odun ununun %50'ye çıkması ile PLA matris içerisinde daha kolay belirlenebildiği anlaşılmıştır. Şekil 4.18 ve 4.19'dan anlaşıldığı üzere bazalt liflerinin yüzeyinin temiz olduğu ve matris, fiber yüzeyi arasında adezyon problemi yaşandığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.20 ve 4.21'e bakıldığında PBO2 ve PBO5 biyokompozitlerinde bazalt ve odun lifi fiberlerinin matris içerisinde iyi dağıldığı anlaşılmıştır ancak bazalt liflerinin yüzeyi ile matris arasında düşük adezyon gözlemlenmiştir (Huda vd., 2005). Bu bulgular mekanik testlerle örtüşmektedir.

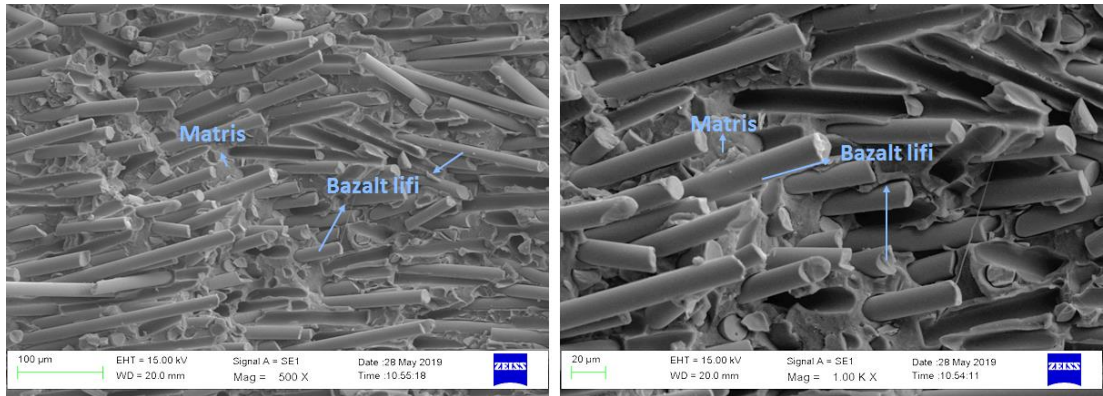
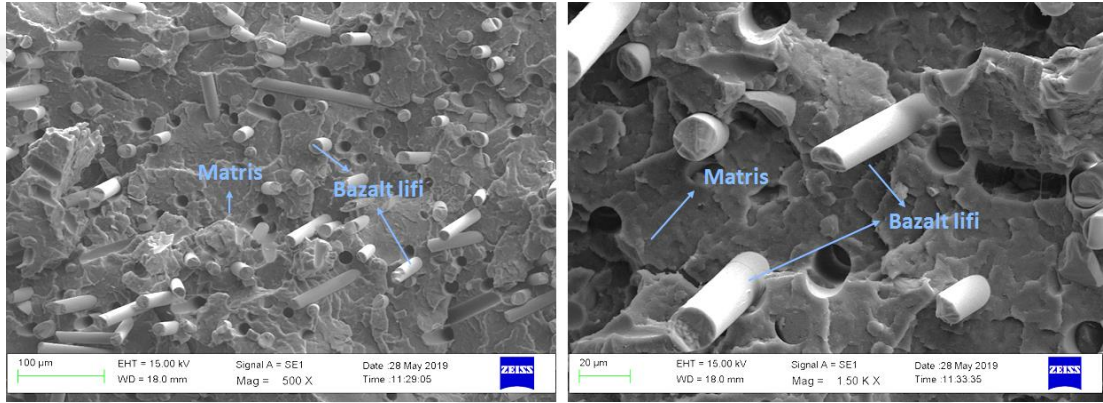
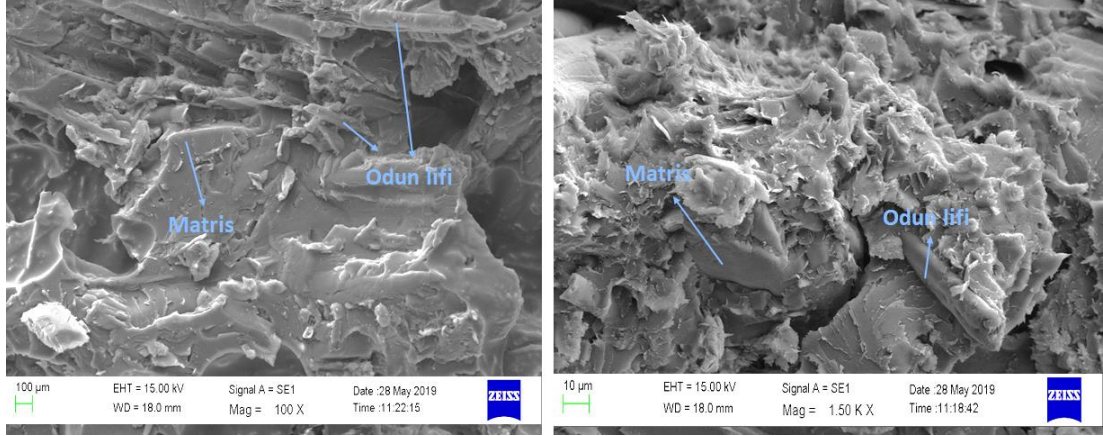


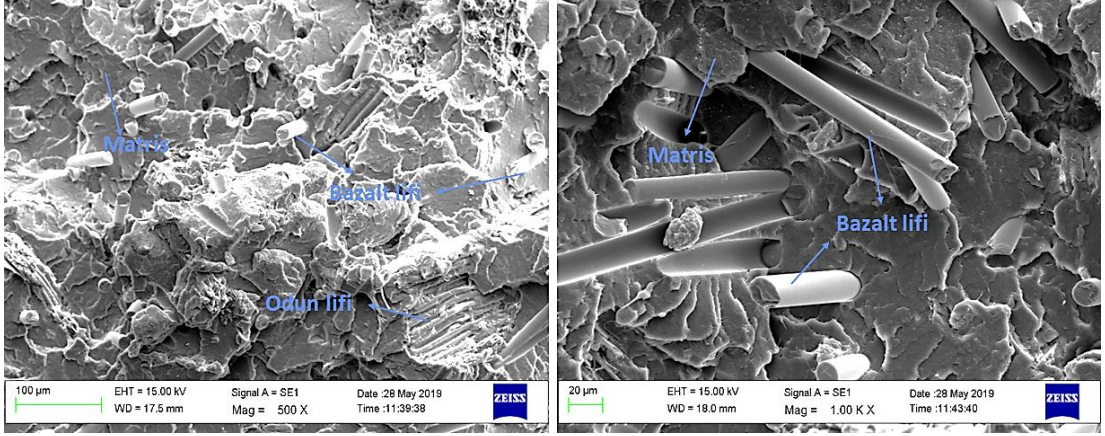
Şekil 4.15 : Saf PLA SEM görüntüleri



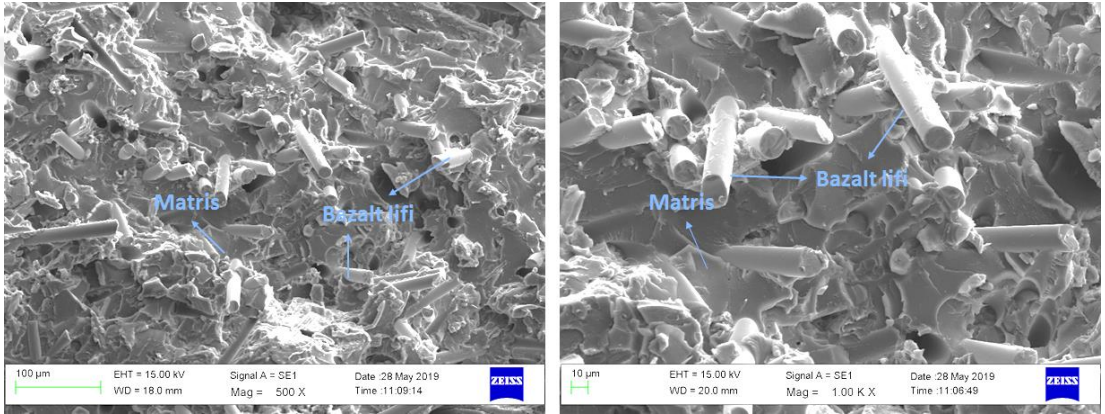
Şekil 4.16 : PO2 SEM görüntüleri







Şekil 4.20 : PBO2 SEM görüntüleri



Şekil 4.21 : PBO5 SEM görüntüleri

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

PLA matrisli, bazalt lifi ve kayın ağacından elde edilen odun unu takviyeli biyokompozitler çift vidalı ekstrüder vasıtasıyla üretilmiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve eğilme testi yapılmıştır. Fiziksel özelliklerini belirlemek için yoğunluk, su alma oranı ve kalınlık artışı testleri yapılmıştır. Kimyasal bağ gerilimlerini belirlemek için FTIR analizi ve termal özelliklerini belirlemek için TGA analizi ve ısıl sapma sıcaklığı testi (HDT) yapılmıştır. Üretilen biyokompozitlerin ses iletim kaybı ölçümü ve ısıl iletkenlik katsayısı ölçümü yapılarak izolasyon özellikleri araştırılmıştır.

Biyokompozitlerin mekanik özelliklerinde referans (işlem görmemiş) PLA'ya göre çekme dayanımları düşmüştür ve PB2, PBO1, PBO2 biyokompozitleri hariç diğer biyokompozitlerde eğilme dayanımı referans PLA'ya göre düşük çıkmıştır. Mekanik özelliklerinin düşük çıkmasının sebeplerinden birinin biyokompozitin içeriğini oluşturan malzemelerin adezyonunu arttıracak uyumlaştırıcı kullanılmamasıdır. Literatürde uyumlaştırıcı kullanılarak üretilen kompozit malzemelerde mekanik özelliklerinin arttırıldığı görülebilmektedir.

Odun lifi takviyesi yüksek olan biyokompozitlerde yoğunluğun referans işlem görmemiş PLA'ya göre düştüğü görülmüştür. Bazalt lifi takviyesi yüksek olan biyokompozitlerde ise yoğunluğun referansa göre arttığı görülmektedir ve bazalt lifi takviyesi kullanılan PB2 ve PB5 biyokompozitlerinin ısıl sapma sıcaklığı referansla aynı çıkmıştır. İçerisinde odun lifi takviyesi bulunduran PO2, PO5, PBO2, PBO5 biyokompozitlerinde ısıl sapma sıcaklığı düşmüştür. Bunun sebebi odunun bazalt liflerine göre erken bozunmaya başlaması olduğu düşünülmektedir.

Biyokompozitlerin ısıl iletkenlik katsayısı referans PLA'ya göre daha düşük çıkmıştır. Biyokompozitler arasında en düşük ısıl iletkenlik katsayısı değeri PO3 ve PO4'te 0,075 W/m.K olarak belirlenmiştir. Bu değere yakın olarak PBO4 biyokompozitinin ısıl iletkenliği 0,079 W/m.K olarak belirlenmiştir. PLA/BL, PLA/OL ve PLA/BL/OL malzeme gruplarında en düşük ısıl iletkenlik değerleri %40 takviye malzemesi olan



varyasyonlarda elde edilmiştir. Takviye oranı %50'ye yükseltildiğinde doyum noktasına ulaşmıştır ve ısı iletkenlik katsayısı yükselişe geçmiştir. Isıl iletkenlik testi sonuçlarına bakıldığında izolasyon özelliklerindeki iyileşme göze çarpmaktadır ve elde edilen bu özelliklerle piyasada kullanılan izolasyon malzemelerine göre daha mukavemetli ve yüksek izolasyon değerleri gerektirmeyen alanlarda kullanılabilceği anlaşılmıştır.

Biyokompozitlerin ses iletim kaybı analizlerinde PLA/BL biyokompozitlerinin diğer biyokompozitlerden daha üstün performans sağladığı görülmektedir. PLA/OL ve PLA/BL/OL biyokompozitleri birbirine benzer performans sergilemişlerdir. 3500-5250 Hz aralığında bütün biyokompozitler saf PLA'dan daha iyi ses iletim kaybı değerine sahip olduğu görülmektedir. 4250 Hz frekansında PLA/BL biyokompozitlerinin saf PLA'dan 29 dB fazla ses iletim kaybına sahip olduğu anlaşılmıştır.

Kullanılan PLA polimerinin ülkemizde üretilmemesi ve fiyatlarının yüksek olması nedeniyle üretilen biyokompozitlerde doğal lifler kullanılması ile fiyatların aşağı çekilmesi mümkündür. Biyokompozitlerde kullanılan PLA, bazalt lifi ve odun lifi çevre dostu olduğu için petrol bazlı malzemelere alternatif olabilecek malzemelerin çeşitliliğinin artırılması sağlanmıştır. Elde edilen verilerin ileriye yönelik çalışmalarla daha da geliştirilebileceği öngörülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

**Ahmadi, S., Nassiri, P., Ghasemi, I., Esmaelipoor, M.** (2015). Sound transmission loss through nanoclay-reinforced polymers, *Iran Polymer Journal*, 24 (8), 641-649.

**Allegretti, O., Travan, L., Cividini, R.** (2009). Drying techniques to obtain white beech, *Proc. of European Drying Group Conference*, (ss.7-13). Bled, Slovenia, April 23.

**Auras, R., Harte, B., Selke, S.** (2004). An overview of polylactides as packaging materials, *Macromolecular Bioscience*, 4, 835-864.

**Baiardo, M., Frisoni, G., Scandola, M., Rimelen, M., Lips, D., Ruffieux, K., Wintermantel, E.** (2003). Thermal and mechanical properties of plasticized poly(L-lactic acid), *Journal of Applied Polymer Science*, 90, 1731-1738.

**Bajpai, K.P., Singh, I., Madaan, J.** (2012). Development and characterization of PLA-based green composites: A review, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27 (1), 52-81.

**Basaltex.** (2015). *The thread of stone*. Retrieved from [http:// www.basaltex.com](http://www.basaltex.com)

**Baştürk, S., Uyanık, H., Kazancı, Z.** (2014). An analytical model for predicting the deflection of laminated basalt composite plates under dynamic loads, *Composite Structures*, 116, 273-285.

**Burger, N., Laachachi, A., Ferriol, M., Lutz, M., Toniazzo, V., Ruch, D.** (2016). Review of thermal conductivity in composites: Mechanisms, parameters and theory, *Progress in Polymer Science* 61, 1-28.

**Chen, H., Ginzburg, V., Yang, J., Yang, Y., Liu, W., Huang, Y., Du, L., Chen, B.** (2016). Thermal conductivity of polymer-based composites: Fundamentals and applications, *Progress in Polymer Science*, 59, 41-85.

**Chen, J., Wang, Y., Gu, C., Liu, J., Liu, Y., Li, M., Lu, Y.** (2013). Enhancement of the mechanical properties of basalt fiber-wood plastic composites via maleic anhydride grafted high-density polyethylene (MAPE) addition, *Materials*, 6 (6), 2483-2496.

**Chieng, B.W., Ibrahim, N.A., Yunus, W.M.Z.W., Hussein, M.Z.B.** (2013). Effects of graphene nanoplatelets on poly(lactic acid)/poly(ethylene glycol) polymer nanocomposites, *Polymers* 6 (1), 93-104.

**Czigany, T., Vad, J., Poloskei, K.** (2005). Basalt fiber as a reinforcement of polymer composites, *Periodical: Polytechnic of Mechanical Engineering*, 49, 3-14.

**Dalinkevich, A., Gumargalieva, K.Z., Marakhovsky, S.S., Soukhanov, A.V.** (2009). Modern basalt fibrous materials and basalt fiber-based polymeric composites, *Journal of Natural Fibers*, 6 (3), 248-271.

- Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K.Y., Park, S., Hui, D.** (2015). A short review on basalt fiber reinforced polymer composites, *Composites Part B: Engineering*, 73, 166-180.
- Ding, Y., Ezekoye, O.A., Lu, S., Wang, C.** (2016). Thermal degradation of beech wood with thermogravimetry/fourier transform infrared analysis, *Energy Conversion and Management* 120, 370-377.
- Drumright, B.R.E., Gruber, P.R., David, E., Henton, D.E.** (2000). Polylactic acid technology, *Advanced Materials*, 23, 1841-1846.
- Franschini, R., Plesu, R., Sarasua, J.R., Prud home, R.E.** (2005). Cracking in polylactide spherulites, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 43, 3308-3315.
- Gamon, G., Evon, Ph., Rigal, L.** (2013). Twin-screw extrusion impact on natural fibre morphology and material properties in poly(lactic acid) based biocomposites, *Industrial Crops and Products*, 46, 173-185.
- Garcia, P., Escamilla, A., Garcia, M.** (2013). Bending reinforcement of timber beams with composite carbon fiber and basalt fiber materials, *Composites Part B: Engineering*, 55, 528-536.
- Ghorpade, V.M., Gennadios, A., Hanna, M.A.** (2001). Laboratory composting of extruded poly (lactic acid) sheets, *Bioresource Technology*, 76, 57-61.
- Guo, R., Ren, Z., Bi, H., Xu, M., Cai, L.** (2019). Electrical and thermal conductivity of polylactic acid (PLA)-based biocomposites by incorporation of nano-graphite fabricated with fused deposition modeling, *Polymers* 11 (3), 549.
- Holbery, J., Houston D.** (2006). Natural-fiber reinforced polymer composites in automotive applications, *The Journal of The Minerals, Metals, Materials Society* 58 (11), 80-86.
- Huang, R., Mei, C., Xu, X., Karki, T., Lee, S., Wu, Q.** (2015). Effect of hybrid talc-basalt fillers in the shell layer on thermal and mechanical performance of co-extruded wood plastic composites, *Materials*, 8, 8510-8523.
- Huda, M.S., Drzal, L.T., Misra, M., Mohanty, A.K.** (2005). Wood-fiber reinforced poly(lactic acid) composites: Evaluaiton of the physicomechanical and morphological properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 4856-4869.
- Iorio, M., Santarelli, M.L., Gonzalez-Gaitano, G., Gonzalez-Benito, J.** (2018). Surface modification and characterization of basalt fibers as potential reinforcement of concretes, *Applied Surface Science* 427, 1248-1256.
- Jamshaid, H., Mishra, R.** (2015). A green material from rock: basalt fiber – a review, *The Journal of The Textile Instute*, 107 (7), 923-937.
- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., Akbulut, T.** (2014). Dış cephe kaplamalarına ekolojik bir yaklaşım: Ahşap plastik kompozitler, *7.Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, (ss.3-4). İstanbul: Y.T.Ü, Nisan 3-4.
- Kiss, Z., Temesi, T., Czigany, T.** (2018). Adherability and weldability of poly(lactic acid) and basalt fibre-reinforced poly(lactic acid), *Journal of Adhesion Science and Technology*, 32 (2), 173-184.
- Korjenic, A., Petranek, V., Zach, J., Hroudova, J.** (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources, *Energy and Buildings* 43, 2518-2523.

- Kumar, V., Tyagi, L., Sinha, S.** (2011). Wood flour-reinforced plastic composites: a review, *Reviews in Chemical Engineering*, 27, (5-6), 253-264.
- Kumbhar, V.P.** (2014). An overview: Basalt rock fibers – New construction material, *Acta Engineering International*, 2 (1), 11-18.
- Kurniawan, D., Kim, B.S., Lee, H.Y., Lim, J.Y.** (2012). Atmospheric pressure glow discharge plasma polymerization for surface treatment on sized basalt fiber/polylactic acid composites, *Composites Part B-Engineering*, 43 (3), 1010-1014.
- La Mantia, F.P., Morreale, M.** (2011). Green composites: A brief review, *Composites: Part A*, 42, 579-588.
- Lee, J.W., Lee, J.C., Pandey, J., Ahn, S.H., June, Y.** (2010). Mechanical properties and sound insulation effect of ABS/Carbon- black composites, *Journal of Composite Materials*, 44 (14), 1701-1716.
- Lopresto, V., Leone, C., Iorio, I.** (2011). Mechanical characterization of basalt fibre reinforced plastic, *Composites Part B: Engineering*, 42 (4), 717-723.
- Lv, L.H., Liu, G., Zhou, D.** (2012). Process and mechanical properties of basalt fiber/polylactic acid composites, *Applied Mechanics and Materials*, 193, 329-332.
- Marsh, G.** (2003). Next steps for automotive materials, *Mater Tod*, 6, 36-43.
- Mehmood, S., Khaliq, A., Ranjha, S.A.** (2010). The use of post consumer plastic waste for the production of wood plastic composites: A Review, *Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste Venice*. Venice, Italy, November 8-11.
- Milman, S., Velikanova, M., Kotov, L.** (1996). Development and study of loadbearing heat insulation, *Cryogenics*, 36 (2), 127-130.
- Muller, R.** (2008). Biodegradability of polymers: Regulations and methods of testing, *Biopolymers*, 10, 366-388.
- Nampoothiri, K.M., Nair, N.R., John, R.P.** (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research, *Bioresource Technology*, 101 (22), 8493-8501.
- Park, K.I., Xanthos, M.A.** (2009). Study on the degradation of polylactic acid in the presence of phosphonium ionic liquids, *Polymer Degradation and Stability*, 94, 834-844.
- Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., Leite, M.** (2018). Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review, *Journal of Composites Science* 2 (4), 66-86.
- Pilla, S., Gong, S., O'Neill, E., Rowell, R.M., Krzysik, A.M.** (2008). Polylactide-pine wood flour composites, *Polymer Engineering and Science*, 48, 578-587.
- Poletto, M., Zattera, A.J., Forte, M.C., Santana, R.M.C.** (2012). Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size, *Bioresource Technology* 109, 148-153.
- Salmén, L. & Burgert, I.** (2008). Cell wall features with regard to mechanical performance. A review COST Action E35 2004–2008: Wood machining – micromechanics and fracture. *Holzforschung*, 63 (2), 121-129.

- Sarasua, J.R., Prud'homme, R.E., Wisniewski, M., LeBorgne, A., Spassky, N.** (1998). Crystallization and melting behavior of polylactides, *Macromolecules*, 31, 3895-3905.
- Singha, K.** (2012). A short review on basalt fiber, *International Journal of Textile Science*, 1 (4), 19-28.
- Skarvelis, M., Mantanis, G.** (2013). Physical and mechanical properties of beech wood harvested in the greek public forests, *Wood Research*, 58 (1), 123-130.
- Tabi, T., Tamas, P., Kovacs, J.G.** (2013). Chopped basalt fibres: A new perspective in reinforcing poly(lactic acid) to produce injection moulded engineering composites from renewable and natural resources, *Express Polymer Letters*, 7 (2), 107-119.
- Tabi, T., Zarrelli, M.** (2017). Development of poly(lactic acid) filled with basalt fibres and talc for engineering applications, *Materials Science Forum*, 885, 303-308.
- Todic, A., Nedeljkovic, B., Cikara, D., Ristic, I.** (2011). Particulate basalt-polymer composites characteristics investigation, *Materials and Design*, 32 (3), 1677-1683.
- Trostyanskaya, E.B.** (1997). Basaltoplastics, *In Reinforced Plastics: A Reference Aid*, 263-268.
- Üner, İ., Koçak, E.D.** (2012). Poli(laktik asit)'in kullanım alanları ve nano lif üretimindeki uygulamaları, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22, 79-88.
- Wang, J., Kim, J., Yoon, H.** (2009). Mechanical characteristics of fused cast basalt tube encased in steel pipe for protecting steel surface, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19 (4), 935-940.
- Wei, B., Cao, H., Song, S.** (2010). Tensile behavior contrast of basalt and glass fibers after chemical treatment, *Materials and Design*, 31, 4244-4250.
- Yamamoto, H., Kojima, Y., Okuyama, T., Abasolo, W.P., Gril, J.** (2002). Origin of the biomechanical properties of wood related to the fine structure of the multi-layered cell wall, *Journal Biomechanical Engineering*, 124 (4), 432-440.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Zheng, C., Lee, D.H., Liang, D.T.** (2006). In depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin, *Energy Fuels* 20, 388-393.
- Zhao, J., Wang, X.M., Chang, J.M., Yao, Y., Cui, Q.** (2010). Sound insulation property of wood-waste tire rubber composite, *Composites Science and Technology* 70, 2033-2038.
- Zhishen, W., Xin, W., Gang, W.** (2012). Advancement of structural safety and sustainability with basalt fiber reinforced polymers, *6<sup>th</sup> International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*, (ss.316-8511). Rome, Italy, June 13-15.

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Onur AYKANAT  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 13.07.1992-Osmangazi/BURSA  
**E-posta** : onrayknt@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2016-Halen, Bursa Teknik Üniversitesi, Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı, Biyokompozit Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **08.2018 - Halen** **Bursa Teknik Üniversitesi** Bursa  
Tübitak-1002 projesi bursiyer
- **09.2015 - 01.2016** **Çimtaş Pipe Fab. Bursa Serbest Bölge** Bursa  
Stajyer Mühendis
- **07.2015 - 08.2015** **Çimtaş Pipe Fab. Bursa Serbest Bölge** Bursa  
Stajyer Mühendis
- **07.2014 – 08.2014** **İğrek Makine San. Tic. A.Ş** Bursa  
Stajyer Mühendis

**YETKİNLİKLER:**

- **Bilgisayar bilgileri:** İyi derecede Microsoft Office (Word, Excell, Powerpoint) uygulamaları. Orta derecede SolidWorks, Autocad, Catia V5
- **Sertifika bilgileri :** Amerikan Kültür Dil Okulları İngilizce kursu bitirme sertifikası 06.2016

**SEMİNERLER VE KURSLAR:**

- Catia V5 Eğitimi (22.08.2016-24.09.2016) 60 saat Eğitim kurumu: Formaksan
- Solidworks Eğitimi (15.08.2016-04.09.2016) 40 saat Eğitim kurumu: Formaksan

**TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

- TÜBİTAK 1002 Projesi – “PLA Matrisli Bazalt-Odun Lifi Takviyeli Biyokompozitlerin Üretilmesi ve İzolasyon Özellikleri Dahil Performans Özelliklerinin İncelenmesi”, Proje No: 118O152, Bursiyer.

**DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

- “Bambudan nanofibril selüloz eldesi”, Makale, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 15.05.2019, Artvin.
- “Bambudan nanofibril selüloz eldesi”, Tam metinli sözlü bildiri, 4. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu, 4-6 Ekim 2018, Bursa.