



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ALKALİ YÜZEY MODİFİYE AHŞAP TALAŞI İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
POLİLAKTİK ASİT BİYOKOMPOZİTİN ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saadet KATI

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyokompozit Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

AĞUSTOS 2023

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ALKALİ YÜZEY MODİFİYE AHŞAP TALASI İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
POLİLAKTİK ASİT BİYOKOMPOZİTİN ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Saadet KATI
(20278603012)**

**Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı
Biyokompozit Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Oktay GÖNÜLTAŞ

AĞUSTOS 2023





20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

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: Saadet KATI

İmzası:



Aileme ve sevdiklerime,

ÖNSÖZ

“Alkali Yüzey Modifiye Ahşap Talaşı İle Güçlendirilmiş Polilaktik Asit Biyokompozitin Özellikleri” adlı araştırma Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

İlk olarak tez konusunu belirlerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan ve çalışmalarım süresince her türlü bilgi birikim ve tecrübeleri ile destek olan çok değerli hocam ve tez danışmanım sayın Doç. Dr. Oktay GÖNÜLTAŞ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım ve öğrenim hayatım boyunca beni daima destekleyen ve benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen annem Pervin KATI’ya ve babam Necdet KATI’ya teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2023

Saadet KATI
(Biyokompozit Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Biyobozunur Polimerler	2
1.1.1 Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması.....	3
2. POLİLAKTİK ASİT (PLA) BİYOKOMPOZİTİ.....	6
2.1 Kimyasal Sentezi ve Özellikleri	7
2.1.1 LA sentezi	7
2.1.2 PLA sentezi	8
2.2 Kullanım Alanları.....	10
3. ODUN TALAŞI	12
3.1 Odun Talaşının Özellikleri	12
3.2 Odun Talaşının Kullanıldığı Yerler	13
3.3 Karaçam Odununun Özellikleri	14
3.4 Gürgen Odununun Özellikleri	15
4. MODİFİKASYON YÖNTEMLERİ.....	16
4.1 Kimyasal Modifikasyon	17
4.1.1 Alkali modifikasyon.....	18
4.2 Termal Modifikasyon	19
4.3 Yüzey Modifikasyonu	20
4.4 Emprenye Modifikasyonu	20
5. LİTERATÜR ÖZETİ	21
6. MATERYAL VE METHOD.....	26
6.1 Materyal	26
6.2 Method	26
6.2.1 Takviye (Dolgu) malzemelerinin hazırlanması.....	26
6.2.1.1 Öğütme ve eleme işlemi	26
6.2.1.2 Alkali modifikasyon işlemi.....	28
6.2.1.3 Ekstrüder işlemi	29
6.2.1.4 Sıcak presleme işlemi	30
6.2.1.5 Örnek hazırlama.....	32
6.2.2 Üretilen biyokompozitlerin fiziksel, mekanik, morfolojik ve termal özelliklerinin belirlenmesi	32
6.2.2.1 Biyokompozitlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi	32

6.2.2.2 Biyokompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi	34
6.2.2.3 Biyokompozitlerin termal özelliklerinin belirlenmesi.....	36
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
7.1 Biyokompozitlerin Fiziksel Özellik Verileri.....	38
7.1.1 Yoğunluk sonuçları	38
7.1.2 Su alma oranı sonuçları.....	39
7.1.3 Kalınlık artış oranı sonuçları.....	41
7.2 Biyokompozitlerin Mekanik Özellik Verileri	44
7.2.1 Çekme direnci test sonuçları	44
7.2.2 Eğilme direnci test sonuçları.....	45
7.3 Biyokompozitlerin Termal Özellik Verileri	46
7.3.1 Termogravimetrik analiz (TGA) testi sonuçları.....	46
7.3.2 FTIR analiz testi sonuçları	49
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR

BPR	: Biyosit Ürünleri Düzenleme
DPC	: Doğrudan Polikondenzasyon
TGA	: Termogravimetrik Analiz Cihazı
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
FDA	: Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
FTIR	: Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi
LA	: Laktik Asit
LC	: Lignoselülozik
PCL	: Polikaprolat
PDLA	: Poli-D-laktik Asit
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen Tereftalat
PHA	: Polihidroksi Alkanoatlar
PHB	: Polihidroksi Butirat
PHBV	: Polihidroksi Butirat Kohidroksivalerat
PLA	: Polilaktik Asit
PLLA	: Poli-L-laktik Asit
ROP	: Halka Açma Polimerizasyonu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TPU	: Termoplastik Poliüretan
UV	: Ultraviyole

SEMBOLLER

a	: Numune Kalınlığı
b	: Numune Boyu
c	: Numunenin Genişliği
d	: Yoğunluk
E	: Eğilmede elastikiyet modülü
F	: Numune Orta Kısmının Enine Kesit Alanı
fm	: Eğilme Direnci
Fmax	: Kırılma Anındaki Maksimum Kuvvet
G	: Su Alma Oranı
Gpa	: Çekme Modülü
l	: Örneğin Eğilme Miktarı
l0	: Örneğin İlk Boy Ölçüsü
lmax	: Örneğin Boyundaki Maksimum Uzama
Ls	: Dayanak Noktaları Arasındaki Uzaklık
mmHg	: Milimetre Civa
MPa	: Megapaskal-Çekme Mukavemeti
T	: Numunenin Ölçülen Kalınlık Artış Oranı
T0	: Numunenin şartlandırılan Oda Koşullarındaki Hesaplanan Kalınlığı
t1	: Deney Numunesinin Suyu Daldırmadan Önceki Ağırlığı
T1	: Numunenin Suyun İçinde Bırakılmasının Sonrasında Hesaplanan Kalınlığı
t2	: Deney Numunesinin Suyu Daldırmadan Sonraki Ağırlığı
V	: Örneğin şartlandırılan Oda Koşullarında Hesaplanan Hacim
W	: Örneğin Hesaplanan Su Alma Oranı
W0	: Numunenin şartlandırılan Oda Koşullarındaki Hesaplanan Ağırlığı
W1	: Numunenin Suyun İçinde Bırakılması Sonrasında Hesaplanan Ağırlığı
ρ	: Örneğin şartlandırılan Oda Koşullarında Hesaplanan Yoğunluk
σ	: Örneğin Maksimum Gerilmesini
ϵ	: Örneğin Uzama Oranı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : PLA, PLLA, PDLA ve PDLLA'nın fizyo-kimyasal özellikleri.....	9
Çizelge 6.1 : Alkali modifikasyon işlem parametreleri	28
Çizelge 6.2 : Çalışmada kullanılan numuneler ve içerikleri.....	30
Çizelge 7.1 : Numunelerin başlangıçtaki yoğunluk değerleri.	38
Çizelge 7.2 : Numunelerin su alma artış oranı değişimleri (%)	40
Çizelge 7.3 : Numunelerin kalınlık artış oranı değişimleri (%).....	43
Çizelge 7.4 : Çekme direnci test değerleri.....	44
Çizelge 7.5 : Eğilme direnci test değerleri.....	45
Çizelge 7.6 : TGA analiz sonuçları	46

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması.	4
Şekil 2.1 : Polilaktik asitin doğadaki gidişatı.	6
Şekil 2.2 : LA enantiyomerleri.	8
Şekil 2.3 : PLA'nın kimyasal sentez şeması.....	9
Şekil 2.4 : Halka Açılma Polimerizasyon (ROP) işleminin şematik diyagramı.....	10
Şekil 4.1 : NaOH bileşiğinin kimyasal yapısı (a) ve moleküler görüntüsü (b).....	19
Şekil 6.1 : Öğütme işleminde kullanılan cihazlar	27
Şekil 6.2 : Eleme aşamasında kullanılan cihazlar.....	27
Şekil 6.3 : Çam talaşı, gürgen talaşı ve PLA tozunun etüvde bekletilmesi	28
Şekil 6.4 : Çam ve gürgen talaşı ile PLA'nın modifikasyon işlemi	28
Şekil 6.5 : Modifikasyona uğrayan örneklerin etüvde kurutulma işlemi	29
Şekil 6.6 : Kullanılan ekstrüder cihazı.....	29
Şekil 6.7 : Alüminyum folyo ile sarılmış sıcak pres kalıbında talaş görüntüsü	31
Şekil 6.8 : İki tarafıda yanmaz kağıt ile kaplı prese hazır kalıp görüntüsü	31
Şekil 6.9 : Presleme işlemi sonrasında elde edilen biyokompozit.....	31
Şekil 6.10 : Su jeti işlemi sonrasında şartlandırılmış odada bekletilen numuneler ...	32
Şekil 6.11 : Eğilme testi için kullanılan cihaz	34
Şekil 6.12 : Çekme testi için kullanılan cihaz.....	35
Şekil 6.13 : Öğütme işleminde kullanılan öğme makinası	36
Şekil 6.14 : TGA analizi için kullanılan cihaz.....	36
Şekil 7.1 : Gürgen numunesine ait TGA eğrisi.....	47
Şekil 7.2 : Çam numunesine ait TGA eğrisi.....	48
Şekil 7.3 : Gürgen talaşına ait FTIR analiz sonuçları.....	50
Şekil 7.4 : Çam talaşına ait FTIR analiz sonuçları	50

ALKALİ YÜZEY MODİFİYE AHŞAP TALAŞI İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ POLİLAKTİK ASİT BİYOKOMPOZİTİN ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Son yıllarda çevre bilincindeki artış sebebiyle biyobozunur polimerlerin kullanımında ciddi bir artış olmuştur. Ayrıca polimer kompozitlerin geliştirilmesi amacıyla uğraşan araştırmacılar, bu malzemelerin çevreye verdikleri zararlı etkileri aza indirmek için halihazırdaki hammaddelerin daha bilinçli kullanılmasını sağlamak, ya da kullanılan hammaddelerin geri dönüştürülmesi ve yeni madde kaynaklarının bulunmasını sağlamak açısından oldukça önemlidirler. Ülkemizde imalat üretimleri sonrasında odun talaşı endüstriyel atık olarak açığa çıkmaktadır. Odun lignoselülozik bir yapıya sahiptir ve bünyesinde fazlaca selüloz, hemiselüloz, lignin ve biraz da ekstraktif ve mineral maddeleri barındırmaktadır. İşletmelerden açığa çıkan bu atık odun talaşları da çevresel açıdan negatif aksiyonlu olmasının yanında, sanayi bakımından çeşit çeşit alanlarda değerlendirilmektedir ve bu durum önemlidir. Polilaktik asit (PLA), termoplastik özelliğe sahip olan biyobozunur bir polimerdir. Sentetik polimerlere benzemesine rağmen mekanik ve ısıl özelliklere sahip olan PLA, kırılğan olması ve düşük darbe dayanımına sahip olması kullanımında sınırlandırılmaya sebep olmaktadır.

Tezin içeriğinde endüstriyel atık olan karaçam talaşı ile gürgen talaşı, sodyum hidroksit kimyasalı ile modifiye edilerek, yenilenebilir kaynaklardan meydana getirilen ve biyobozunur özellikteki PLA biyopolimerine takviye edilmesi sonucunda elde edilen özellikler incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonrasında biyokompozit numunelerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi amacıyla yoğunluk, su alma oranı ve kalınlık artış oranları saat, hafta ve ay periyotlarında ölçülmüştür. Mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla numuneler çekme ve eğilme direnci testlerine tabi tutulmuştur. Termal özelliklerine bakılması için termogravimetrik analiz ve harmanlanan malzemelerin birbiri arasındaki kimyasal etkileşimlerin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla FTIR analizleri yapılmıştır. Fiziksel ve mekanik özellik açısından modifiye edilen çam (MÇ15), TGA analizine göre modifiye gürgen (MG15) ve çam odunu (Ç15) en iyi özellikleri sergilemişlerdir. Yapılan analizlerin hepsinde %15'lik muamele edilen çam numunesi anlamlı sonuçlar vermiştir. Genel anlamda çam odununun gürgen odunundan daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. PLA ve ahşap örnekleri FTIR spektrumu ile biyokompozit örnekleri FTIR spektrum piklerinde farklılıklar görülmüştür, bu durumun kompozit üretiminde, bileşenler arasında istenen etkileşim oluştuğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Polilaktik asit (PLA), Çam talaşı, Gürgen talaşı, Biyokompozit.

PROPERTIES OF POLYLACTIC ACID BIOCOMPOSITE REINFORCED WITH ALKALINE SURFACE MODIFIED WOOD SAWDUST

SUMMARY

In recent years, there has been a significant increase in the use of biodegradable polymers due to the increase in environmental awareness. In addition, researchers who are engaged in the development of polymer composites are very important in order to reduce the harmful effects of these materials on the environment, to ensure that the existing raw materials are used more consciously, or to recycle the used raw materials and to find new material sources. In our country, wood shavings are released as industrial waste after manufacturing production. Wood has a lignocellulosic structure and contains a lot of cellulose, hemicellulose, lignin and some extractive and mineral substances. These waste wood chips, which are released from the enterprises, are also used in various fields in terms of industry, in addition to having negative effects in terms of the environment, and this is important. PLA is a biodegradable polymer with thermoplastic properties. Although similar to synthetic polymers, PLA, which has mechanical and thermal properties, is brittle and has low impact resistance, which limits its use.

In the content of the thesis, industrial waste larch sawdust and hornbeam sawdust were modified with sodium hydroxide chemical, and the properties obtained as a result of reinforcing the biodegradable PLA biopolymer, which is formed from renewable resources, were investigated.

In order to examine the physical properties of the biocomposite samples after the studies, the density, water uptake rate and thickness increase rates were measured in hours, weeks and months. In order to examine their mechanical properties, the samples were subjected to tensile and bending strength tests. Thermogravimetric analysis to look at their thermal properties and FTIR analyzes to determine the properties of chemical interactions between the blended materials were carried out. The results obtained were supported and examined with figures and graphics. Pine modified (MÇ15) in terms of physical and mechanical properties showed the best properties. According to TGA analysis, modified hornbeam (MG15) and pine wood (Ç15) exhibited the best properties. In all analyzes, 15% treated pine sample gave significant results. Generally speaking, pine wood has been found to outperform hornbeam wood. Differences were observed in the FTIR spectrum of PLA and wood samples and in the FTIR spectrum peaks of biocomposite samples, indicating that the desired interaction between the components occurred in composite production.

Keywords: Polylactic acid (PLA), Pine shavings, Hornbeam shavings, Biocomposite.

1. GİRİŞ

Son yıllarda çevre bilincindeki artış sebebiyle biyobozunur polimerlerin kullanımında ciddi bir artış olmuştur. Ayrıca polimer kompozitlerin geliştirilmesi amacıyla uğraşan araştırmacılar, bu malzemelerin çevreye verdikleri zararlı etkileri aza indirmek için halihazırdaki hammaddelerin daha bilinçli kullanılmasını sağlamak, ya da kullanılan hammaddelerin geri dönüştürülmesi ve yeni madde kaynaklarının bulunmasını sağlamaya çalışmaktadırlar. Üretimdeki maliyetlerin azaltılması ve zararlı çevresel etkilerin en aza indirilmesi için, termoplastik kompozit malzemelerin üretilmesi aşamasında bu malzemeler, kenaf, koton, sisal, hint keneviri, rami (çin keneviri), şeker kamışı, hindistan cevizi lifi gibi lignoselülozik maddelerle takviyelendirilmek suretiyle veya dolgulandırma yapılarak üretilimi gerçekleştirilmektedir.

Gün geçtikçe yükselen nüfusun, sanayileşen dünyanın ve küresel ısınmanın sonucunda ki zararlar, üretim için zorunluluğu bulunan hammadde ihtiyacını da gün geçtikçe arttırarak devamlılığını sağlamaktadır. Endüstriyel olan hammaddelerden, çevre için kirlilik oluşturmada, sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla doğal kaynakların elde edilmesi sağlanması zorunludur. Ekosistemde parçalanma olmadan uzunca zaman kalabilen petrol kaynaklı malzemelerin sebebiyet verdiği çevresel atık problemleri, tüketicilerdeki çevre bilincinin olumlu yönde farklılaşması sebebiyle, karbonhidrat ve protein kaynaklı yenilenebilir doğal biyopolimerlerin kullanılmasının sağlanmasıyla biyobozunur malzemelerin geliştirilmesi gerekli hale gelmiştir (Guimaraes ve diğ, 2009; Sever ve diğ, 2012; Verma, 2015). Polimer kompozit materyallerde lignoselülozik malzemenin takviye maddesi olarak uygulanması, tam veya kolay geri dönüşebilmesi, düşük ağırlık ve yüksek dayanıma sahip olması, düşük ısı genleşme katsayısına sahip olması ve düşük üretim maliyetine sahip olması gibi birden fazla olumlu özelliği bulunmaktadır (Yıldız, 2002).

Elde edilmek istenilen fiziksel ve mekanik özellikleri oluşturabilmek, ayrı olarak düşük maliyet elde edebilmek amacıyla takviye maddelerinin üretilimi eklenme yoluyla sağlanmaktadır. Ayrıca elde edilen son ürünlerin morfolojik, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini etkileyen durumun, sentetik polimer tabanlı matris ile doğal

kaynaklardan meydana gelen katkı maddelerinin karıştırılması olduğu bilinmektedir. Bu durumla beraber, elde edilen karışım maddelerinin ıslanabilir özelliğinin azaltılması, ısıl stabilite ve adezyon gibi özelliklerini de direkt etkilenmesine neden olmaktadır (Nunez ve diğ, 2002).

1.1 Biyobozunur Polimerler

Yirminci yüzyılın son yirmi yılı, tıbbi ve ilgili uygulamalar için biyostabil biyomalzemelerden biyobozunur (hidrolitik ve enzimatik olarak bozunabilir) biyomalzemelere doğru bir paradigma kaymasına tanık olmuştur (Domb ve Wiseman, 1998; Piskin, 1995; Shalaby ve Burg, 2003). Biyobozunur polimerler yeni ortaya çıkan bir alandır. Son zamanlarda çok sayıda biyolojik olarak parçalanabilen polimer sentezlenmiş ve bunları parçalayabilen bazı mikroorganizmalar ve enzimler tanımlanmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde, sentetik polimerlerin neden olduğu çevre kirliliği tehlikeli boyutlara ulaşmıştır.

Sonuç olarak, bu sorunları çözmek için, yapılarında küçük değişiklikler yaparak günlük kullanımda polimerlere biyolojik bozunabilirliği dahil etme girişimleri yapılmıştır. Biyobozunma, çevredeki organik kimyasalların daha basit bileşiklere dönüştürüldüğü, mineralize edildiği ve karbon, nitrojen ve kükürt döngüleri gibi element döngüleri yoluyla yeniden dağıtıldığı doğal bir süreçtir. Mikroorganizmalar biyolojik bozunma sürecinde merkezi bir rol oynadığından, biyobozunma yalnızca biyosfer içinde gerçekleşebilir (Chandra ve Rustgı, 1998).

Biyobozunur bir biyomalzemenin önemli özelliklerinden biri malzemenin, amaçlanan çalışma için uygun geçirgenliği ve işlenebilirliği olmasıdır (Lloyd, 2002). Polimerik biyomalzemelerin biyoyumluluklarını etkileyebilecek doğal özelliklerinden bazıları şunları içerir: malzeme kimyası, moleküler ağırlık, çözünürlük, hidrofiliklik/hidrofobiklik, kayganlık, yüzey enerjisi, su emilimi, bozunma ve erozyon mekanizması (Naira ve Laurencina, 2007).

Biyobozunur malzemeler ambalaj, tarım, ilaç, yapının güçlendirilmesi ve diğer alanlarda kullanılmaktadır. Biyobozunur polimerleri iki sınıfa ayrılmaktadır: sentetik ve doğal polimerler. Bunlar petrol kaynaklarından (yenilenemeyen kaynaklar) veya biyolojik kaynaklardan (yenilenebilir kaynaklar) elde edilen hammaddelerden üretilen polimerlerdir. Genel olarak doğal polimerler, sentetik polimerlerden daha az avantaj sunar.

Yenilenebilir kaynaklarda büyük oranlarda doğal polimerler varken, sentetik polimerler ise yenilenemeyen petrol kaynaklarının işlenmesi ile meydana getirilir.

Biyobozunma durumu, polimerin kaynağına bağlı olmanın yanında, kimyasal yapısı ve çevresel deformasyon etkileriyle de ilişkilidir. Polimer biyobozunmasının mekanizmaları ve tahmin teknikleri gözden geçirilmiştir (Lucas ve diğ, 2008). Biyobozunur malzemelerin mekanik davranışı, kimyasal bileşimlerine (Cho ve diğ, 2001; Willett, 1994), üretime, depolama ve işleme özelliklerine (Jaserg ve diğ, 1992; Lawton, 1996), yaşlanmaya ve uygulama koşullarına bağlıdır (Briassoulis, 2006).

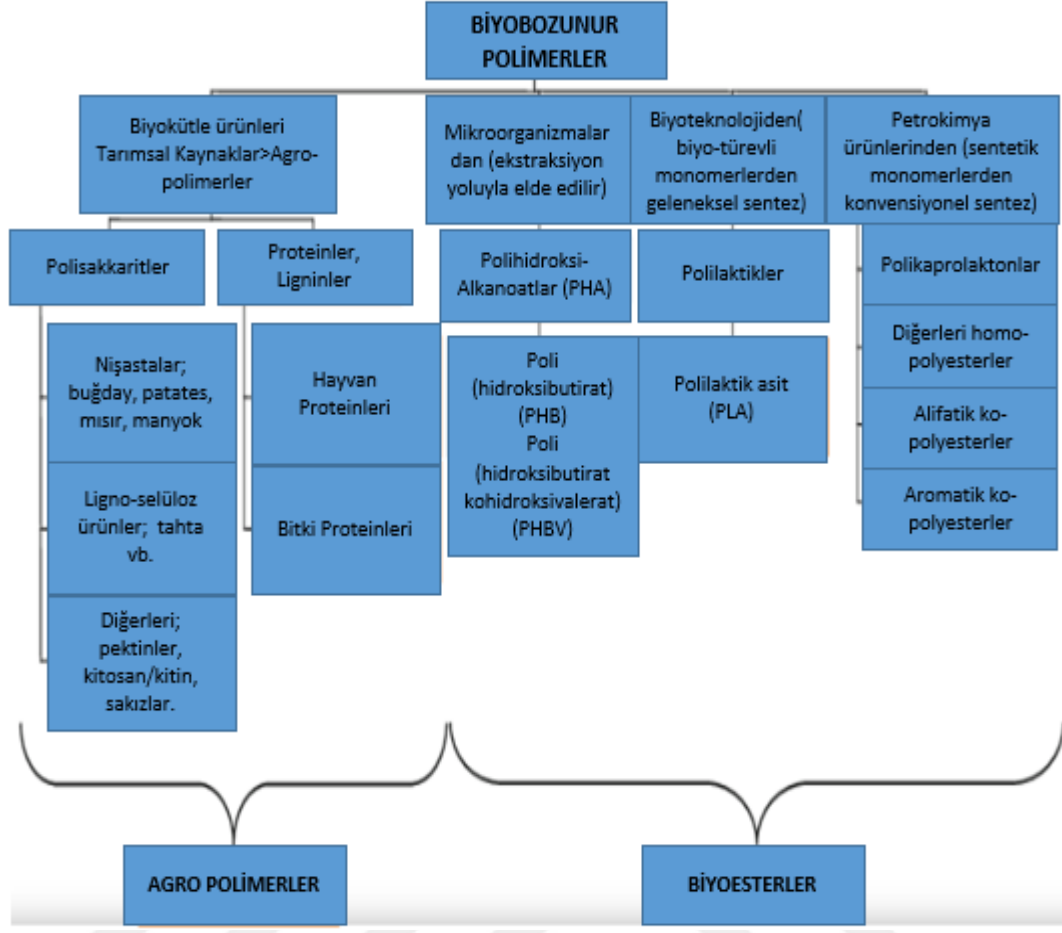
1.1.1 Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması

Gelişen ve büyümekte olan alanlardan biride biyolojik manada parçalanabilen polimer konularıdır (Kaplan ve diğ, 1993; Rouilly ve Rigal, 2002; Van de Velde ve Kiekens, 2002). Çok sayıda biyolojik olarak parçalanabilen polimer, tüm organizmaların büyüme döngüleri sırasında doğada sentezlenmiş veya oluşturulmuştur. Bunları parçalayabilen bazı mikroorganizmalar ve enzimler tanımlanmıştır (Chandra ve Rustgi, 1998; Kaplan ve diğ, 1993; Kaplan, 1998).

Sentez sürecinin gelişimine bağlı olarak, farklı biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin farklı sınıflandırmaları önerilmiştir. Şekil 1.1'de biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması gösterilmektedir (Avérous, 2004). Dört farklı kategori mevcuttur. Yalnızca üç kategori (a–c) yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir:

- a) Tarımsal kaynaklardan (örn. nişasta, selüloz) elde edilen tarımsal polimerler gibi biyokütleden elde edilen polimerler,
- b) Mikrobiyal üretimle elde edilen polimerler, örneğin polihidroksialkanoatlar (PHA'lar),
- c) Geleneksel ve kimyasal olarak sentezlenen ve monomerleri tarımsal kaynaklardan elde edilen polimerler, örneğin polilaktik asit (PLA),
- d) Geleneksel yöntemlerden olan kimyasal sentez yolu kullanılarak elde edilen polimerler ve monomerleri,

Ayrıca bu farklı biyobozunur polimerleri iki ana sınıfa ayrılmaktadır: agro-polimerler ve biyobozunur polyesterler.



Şekil 1.1: Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması (Avérous, 2004).

Diğer biyobozunur polyesterlerle karşılaştırıldığında, polilaktik asit (PLA), piyasada bulunabilmesi ve düşük fiyatı nedeniyle şu anda en yüksek potansiyele sahiptir (Lunt, 1998; Sinclair, 1996; Vert ve diğ, 1995) ve yüksek termoplastik özelliğe sahip olan biyobozunur bir polimerdir. Sentetik polimerlere benzemesine rağmen mekanik ve ısı özelliklere sahip olan PLA, kırılkan olması ve oldukça az darbe mukavemeti olması kullanımında sınırlandırılmaya neden olmaktadır. Mekanik açıdan polilaktik asit polimerine bakıldığı zaman, kırılkan yapısı bulunan ve iyi derecede mukavemeti olan PLA'nın sert bir yapısı vardır. PLA'nın darbelere karşı dayanma kuvveti ve kopma esnasındaki uzama değerlerine bakıldığında, bu değerlerin petrol kaynaklı polimerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum PLA'nın yüksek olmayan tokluğa ve az darbe mukavemetine sahip olduğunu açıklamaktadır ve incelendiğinde PLA'nın, ilerde petrol bazlı termoplastik polimerlerin yerini, iyi mekanik özelliklere sahip olduğu için alabileceği görülmektedir.

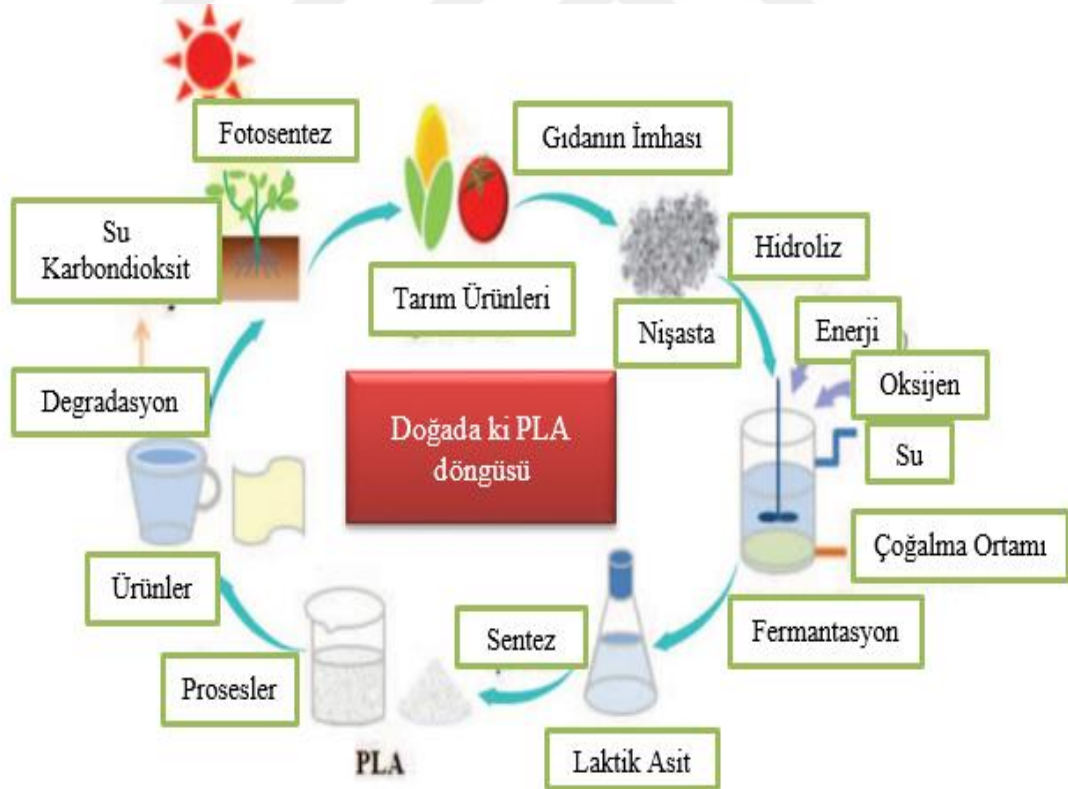
Çalışma, endüstriyel atık durumunda olan odun talaşı atığı çalışılmıştır. Ülkemizde sanayi üretimleri sonrasında odun talaşı endüstriyel atık olarak açığa çıkmaktadır. Oduna yapısal olarak yaklaşıldığında büyük oranda selüloz, hemiselüloz ve lignin içerdiği görülmektedir, bunların yanısıra ufak oranda ekstraktif ve mineral maddeleri de bünyesinde barındırmaktadır. İşletmelerden açığa çıkan bu atık odun talaşlarının yakılarak bertaraf edilmesi çevre açısından zararlı sonuçlara neden olur ayrıca sanayi alanlarında değerlendirilebilir olması da oldukça önem arz etmektedir.

Tez kapsamında yenilenebilen hammaddelerden oluşturulabilen ve biyobozunma özelliğine sahip bir polimer olan PLA biyopolimerine, endüstriyel atık olan odun talaşının sodyum hidroksit kimyasalı ile modifiye ederek takviye edilmesi sonucunda elde edilen biyokompozitlerin özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada atık odun talaşı laboratuvar tipi değirmende öğütülerek toz haline getirilerek, numuneler alkali modifikasyon işlemi uygulandıktan sonra ekstrüder işlemine tabi tutulmuştur. Ekstrüder cihazı ile çalışılacak polimerin yapılarına uygunlukta sıcaklık ve basınç parametrelerinde, polimer ve alkali modifiye odun talaşı karıştırılmış ve sıkıştırma suretiyle eriyik bir sıvı haline getirilmiştir. Daha sonra bu polimer karışımı sıcak pres altında kalıplanarak biyokompozit levha haline getirilmiştir.

Elde edilen biyokompozitlerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi amacıyla yoğunluk, su alma oranı ve kalınlık artış oranları saat, hafta ve ay periyotlarında ölçülmüştür. Mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla numuneler çekme ve eğilme direnci testlerine tabi tutulmuştur. Termal özellikleri için termogravimetrik analiz ve biyokompoziti oluşturan malzemelerin birbiri arasındaki kimyasal etkileşimlerin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla FTIR analizleri yapılmıştır.

2. POLİLAKTİK ASİT (PLA) BİYOKOMPOZİTİ

PLA, iyi şeffaflık, parlak görünüm, yüksek sertlik ve iyi işlenebilirlik gibi birçok özel niteliğe sahip olduğundan, çevresel ve ticari açıdan ilgi çekici bir biyopolimerdir. PLA, kapsamlı bir mekanik özellik profiline sahiptir, yüksek biyoyoumluluk ve biyobozunurluk ile termoplastiktir (Gupta ve diğ, 2007). PLA, laktik asit'den (LA) elde edilir ve hidrolitik olarak bozunduğunda tekrar monomerine (LA) dönüştürülür. LA, geleneksel olarak yenilenebilir kaynaklardan elde edilen şekerlerin fermantasyonu ile üretilen, nişasta, şeker pancarı, mısır ve benzerlerinden, yani yenilenebilir kaynakların işlenmesi ile ortaya çıkan doğal olarak oluşan bir organik asittir. Bu nedenle PLA çevre dostu bir malzeme olarak üretilebilir ve kullanılabilir. Şekil 2.1'de PLA'nın biyosistemdeki serüveni gösterilmiştir (Xiao ve diğ, 2012).



Şekil 2.1: Polilaktik asitin doğadaki gidişatı (Xiao ve diğ, 2012).

PLA sert bir termoplastik polimerdir ve polimer yapısının stereosaflığına göre yarı kristalli ya da tamamiyle amorf yapıdadır. L-laktik asit (2-hidroksi propiyonik asit),

asidin doğal ve en yaygın şeklidir, bunun yanı sıra D-laktik ise mikroorganizmalar tarafından veya rasemizasyon yoluyla üretilir, örnek olarak saf olmayan polietilen (PE) veya polietilen tereftalat (PET) gibi diğer polimerlerdeki komonomerler elde edilir (Henton ve diğ, 2005).

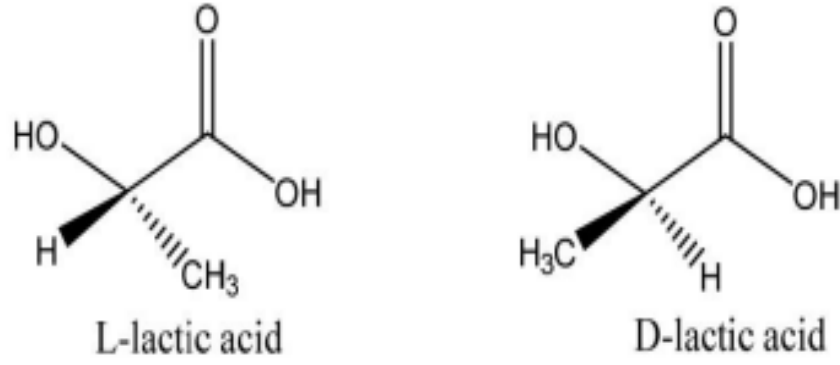
Sonuç olarak, stresle kristalleştirilebilme, termal olarak kristalleştirilebilme, darbeye modifiye edilebilme, dolgu maddesi olarak kullanılabilme, kopolimerleştirilebilme ve çokça polimer çalışma makinelerinde çalışılabilme kabiliyeti sebebiyle en fazla uygulanma alanına sahip polimer olabilir (Henton ve diğ, 2005). Şeffaf filmler, lifler veya PET gibi şişeler için üfleyerek kalıplanabilir preformlar halinde enjeksiyonla kalıplanabilir. PLA ayrı olarak eşsiz organoleptik niteliğe sahip olan, gıdalarla teması olan ve paketlenme çalışmalarında kullanılan mükemmel bir polimerdir. Polimer ayrıca çevrede hızla bozulur ve yan ürünler çok düşük toksisiteye sahip olmakla beraber, bozunma sonrası karbondioksit ve suya dönüşmektedir.

Polilaktik asit polimerlerinin, enerji tüketiminin, atık üretiminin ve sera gazı emisyonunun azaltılmasına yardımcı olabilmesi açısından önemle üzerinde durulmaktadır. Polilaktik asit, bu amaçla kullanılan ilk ticari plastiktir ve Cargill Dow LLC, NatureWorks PLA'yı üretme sürecinden dolayı 2002 Başkanlık Yeşil Kimya Ödülü'ne layık görülmüştür (Henton ve diğ, 2005). Diğer biyolojik olarak parçalanabilen ve biyo-esaslı plastiklerin çoğuyla karşılaştırıldığında PLA, sert uygulamalar için açık ara en önemli ve gelecek vadeden plastiktir. Bununla birlikte PLA, bazı geleneksel termoplastiklere kıyasla zayıf ısı kararlılığı ve su bariyeri özellikleri sergiler (Jem ve Tan, 2020).

2.1 Kimyasal Sentezi ve Özellikleri

2.1.1 Laktik asit (LA)

Laktik asit, polilaktik asit içeren bir monomerdir ve varlığı çok yaygındır. Organizmalardaki glikolitik enerji döngüsünde hayati bir rol oynamasının yanı sıra canlı organizmaların büyümesini ve gelişmesini sürdürmek için önemli bir maddedir (Varadarajan, 1999). LA ilk olarak 1881'de İsveçli bilim adamları tarafından fermente sütten çıkarılmıştır. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi en basit hidroksi asit olarak, molekülde optik olarak aktif olan asimetrik bir karbon atomu yani iki optik izomer vardır; L-laktik asit ve D-laktik asit (Chanfreau ve diğ, 2010; Gupta ve Kumar, 2007).



Şekil 2.2: LA enantiyomerleri.

2.1.2 PLA sentezi

LA, D tipi ve L tipi izomerlere sahip kiral bir molekül olduğundan, polilaktik asidin üç formu oluşur: poli-L-laktik asit (PLLA), poli-D-laktik asit (PDLA) ve poli-D,L - laktik asit (PDLLA). Bu formların özellikleri tablo 2.1’de gösterilmektedir (Zaaba ve Jaafar, 2020). Optik aktivite ile ilgili olarak, polilaktik asidin üç biçime (α , β ve γ) kristalize edilebildiği iki bileşim vardır; - L ve -D enantiyomerleri (Chamberlain ve diğ, 2001; Oksman ve diğ, 2003; Tsuji, 2005). 1932’de Carothers (DuPont) düşük moleküler ağırlıklı polilaktik asit ürünlerini sentezlemiştir ancak yüksek sentez maliyeti ve zayıf ürün stabilitesi nedeniyle, bu sentez bir başarı olarak kabul edilmemiştir (Peres ve diğ, 2017).

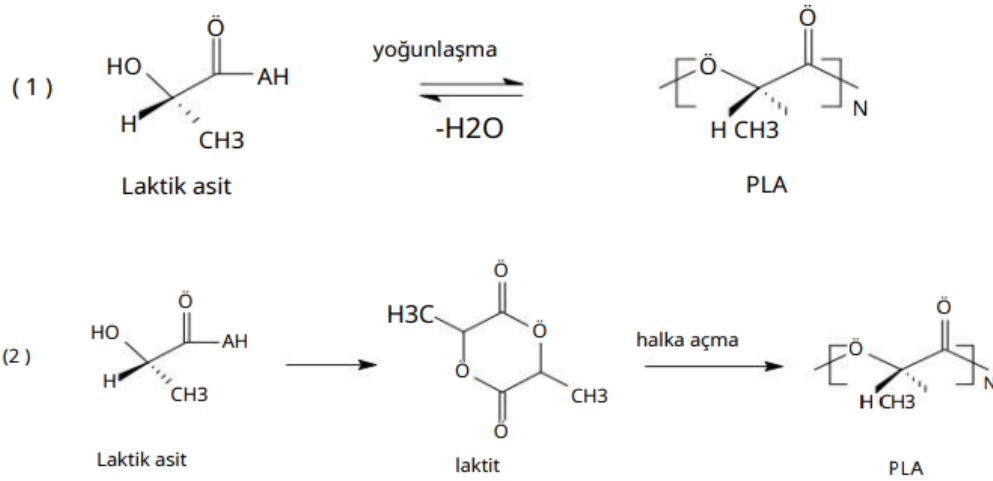
Polimer PLA’nın ($M_w > 10.000$) sentezi için üç yöntem rapor edilmiştir: (a) doğrudan polikondenzasyon polimerizasyonu; (b) azeotropik dehidrasyon yoğunlaşması; ve (c) laktit halka açma polimerizasyonu.

PLA’nın polimerizasyon süreçleri ve özellikleri, literatürde kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmiştir (Galotta, 2001; Henton ve diğ, 2005; Mehta ve diğ, 2005) ve PLA’nın polimerizasyonu, 1932’den beri ya laktik asidin Doğrudan Poli-Kondenzasyonu ya da laktik asidin siklik bir dimer olan Laktitin Halka Açılma reaksiyonuyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.3). Her iki yöntem de iyi kalitede, yüksek moleküler ağırlıklı ve yüksek verimle PLA üretmek için yüksek oranda saflaştırılmış polimer dereceli laktik asit veya laktide dayanır. Safsızlıklar içeren ham laktik asit, PLA’nın üretim sürecini, verimini ve özelliklerini güçlü bir şekilde etkiler. Bu nedenle, laktik asidin endüstriyel fermantasyon sürecinden saflaştırılması belirleyici bir öneme sahiptir (Jem ve diğ, 2010).

Çizelge 2.1: PLA, PLLA, PDLA ve PDLA'nın fizyo-kimyasal özellikleri (Zaaba ve Jaafar, 2020).

PLA Türleri	İsimleri	Kristal Yapısı	Cam Geçiş Sıcaklığı (T _g)	Erime Sıcaklığı (T _m)	Çekme Modülü (Gpa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzunluğu (%)	Yoğunluk (g/m ³)
PLA	Poli(laktik) asit	Yarı Kristal	60-65	150-162	2,7-16	21-60	10-100	1.21-1.25
PLLA	Poli(L-laktik) asit	Yarı Kristal	50-65	170-200	7-10	15.5-150	12-26	1.24-1.30
PDLA	Poli(D-laktik) asit	Kristal	50-65	120-150	7-10	15.5-150	20-30	1.248
PDLA	Poli(D-L-laktik) asit	Amorf	50-60	-	1,5-1,9	27.6-50	30-35	1.25-1.27

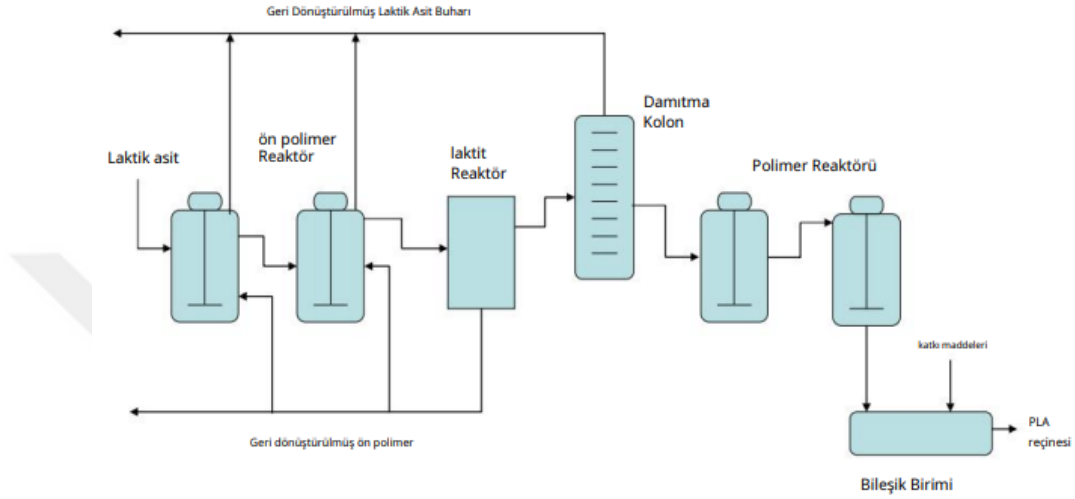
Doğrudan polikondenzasyon (DPC) işlemi, laktik asidi oligomerlere dehidre eder, ardından polimer moleküllerinin nem tarafından bozunmasını önlemek için eş zamanlı dehidrasyonla PLA'ya daha fazla polimerize olur. Bununla birlikte, polimerizasyonun son aşamasında laktik asidin yoğunlaşmasından üretilen suyun uzaklaştırılması çok zordur, çünkü yüksek viskoziteli polimerik eriyikte nemin difüzyonu çok yavaştır. PLA eriyiğinde hapsolan artık su, elde edilebilir moleküler ağırlığı ve PLA'nın özelliklerini sınırlayabilir. Sonuç olarak, Tongjieliang ve Mitsui Chemical (Ajioka ve diğ, 1995) tarafından bildirilenler dışında DCP işlemi nadiren kullanılmaktadır.



Şekil 2.3: PLA'nın kimyasal sentez şeması; (1) Laktik Asidin Doğrudan Poli Yoğuşması ve (2) Laktidin Halka Açılma Polimerizasyonu (Jem ve diğ, 2010; Jem ve Tan, 2020).

Şekil 2.4'de verilen, çoğu PLA üretim prosesinde, organometal katalizörler tarafından katalize edilen Halka Açılma Polimerizasyonu (ROP), laktidinin (laktik asidin siklik dimer) PLA'ya daha verimli dönüştürülmesinde kullanılmaktadır (Schut, 2008). Laktik asit kurutulur ve nemi gidermek için yüksek sıcaklıkta ve vakum altında

oligomerlerine polikondense edilir. Daha sonra bu kısa polilaktik asit zincirlerinin indirgenmiş basınç altında katalitik depolimerizasyonundan laktit elde edilir. Artık nem, laktik asit ve mezo-laktit, damıtma veya kristalleştirme gibi çeşitli yollarla optik olarak saf D veya L formundaki laktitten çıkarılabilir. Saflaştırılmış laktit, laktidin erime noktasının üzerindeki ve PLA'nın bozunma sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda ROP ile PLA'ya polimerize edilir. (Jem ve diğ, 2010).



Şekil 2.4: Halka Açılma Polimerizasyon (ROP) işleminin şematik diyagramı (Jem ve diğ, 2010, Jem ve Tan, 2020).

2.2 Kullanım Alanları

Polimerler içerisinde üstün özellikleri ile diğer kompozit malzemelerden ayrılan PLA piyasada çokca tercih edilmektedir. Geniş spekturuma sahip olmasına rağmen PLA bazı özelliklerinden dolayı bazen tercih sebebidir olmayabilir. Bu avantaj ve dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir;

PLA'nın Avantajları; Toksik olmayan yenilenebilir hammaddeden üretiliyor olması, biyoyumluluk kapasitesinin, biyobozunurluk kapasitesinin yüksek olması mekanik dayanıklılığı, mısır ve şeker kamışı gibi doğal kaynaklardan elde edildiği için çevre dostu olması ve insan vücudunda kullanıma izin verilen özelliklerin olması şeklinde sıralanabilir ve bu kaynakların karbondioksiti tekrar kullanabiliyor olması sebebiyle karbondioksit emisyonunda azalmayı sağlaması, enerjide tasarruf elde edilmesi, alkoliz veya hidroliz kullanılarak yeniden monomerlerinden biri olan laktik asite dönüşebilmesi, paketleme materyali üretimi için kullanılabilirlik özelliği olması, tarım ekonomisinin geliştirilmesine katkı sağlamaları, modifikasyonları sayesinde istenilen amaca uygun özellik kazandırılabilir şekilde olmaları da diğer avantajları

arasındadır (Çatal, 2019; Dorgan ve diğ, 2000). Güvenli bir polimerdir ve mekanik davranışsal özelliği sebebiyle diğer polimerler ve naylon lifler ile karıştırılabilir olması diğer özelliklerindendir.

PLA'nın dezavantajları şöyle sıralanabilir; PLA geniş bir spektruma sahip olmasına rağmen uygulamalara, yavaş bozunma hızı, hidrofobiklik ve kullanımıyla ilişkili düşük darbe tokluğu gibi belirli sınırlamalar vardır temel ester gruplarının hidrolizi yoluyla bozunma hızı çok yavaştır, bu süreç bazen biyomedikal ve gıda paketlenme uygulamalarını engelleyebilecek şekilde birkaç yıl almaktadır (Bergsma ve diğ, 1995). PLA çok kırılgandır, kopmada %10'dan daha az uzama gösterir, bu nedenle uygun şekilde değiştirilmedikçe zorlu mekanik performans uygulamaları için uygun değildir (Rasal ve Hirt, 2009). PLA, güçlü bir şekilde hidrofobiktir ve daha geniş endüstriyel uygulamasına yönelik diğer bir sınırlaması, paketlenme gibi endüstriyel sektörlere tam erişimini engelleyen sınırlı gaz bariyeri özellikleridir (Singh ve diğ, 2003). PLA'nın yukarıda belirtilen dezavantajları ve yüksek maliyeti (bu malzemenin bir başka eksikliği) göz önüne alındığında, PLA'nın hak ettiği ilgiyi görmemiş olması şaşırtıcı değildir. Elektronik parçalarda ömrü giderek azalmakta ve çok düşük cam geçiş sıcaklığına sahiptir ve kırılgan yapısı vardır.

3. ODUN TALAŞI

3.1 Odun Talaşının Özellikleri

Kereste fabrikalarında ve marangozluk işlerinde odunların kesilmesi, taşlanması ve parlatılmasından kaynaklanan yan ürün olarak ortaya çıkan talaşlar önemli organik malzemelerdir. Ülkemizde imalat prosesleri sonrasında ortaya çıkan atık odun talaşı, doğal bir lignoselülozik liftir (LC). Sonuç olarak, odun talaşı, polimer takviyesi olarak kullanıldığında, polimer matrisli kompozitlerin biyobozunurluğunu önemli ölçüde artırır (Adhikary ve diğ, 2008; Hossain ve diğ, 2014; Pérez ve diğ, 2012).

Oduna yapısal olarak yaklaşıldığında büyük oranda selüloz, hemiselüloz ve lignin içerdiği görülmektedir, bunların yanısıra ufak oranda ekstraktif ve mineral maddeleri de bünyesinde barındırmaktadır. Hemiselüloz, selüloz ve lignin, biyokütlenin üç ana bileşenidir ve genel olarak lignoselülozik biyokütle için ağırlık sıralarıyla %20 ila 40, %40 ila 60 ve %10 ila 25'i kapsar (McKendry, 2002).

Selüloz hidrofiliktir ve lif tipine göre değişmektedir. Yapısındaki hidroksil (OH) tarafından sağlanan hidrojen bağları ve ayrıca Van der Waals kuvvetleri, selüloz moleküllerinin kristal halinde düzenli şekilde kalmasını sağlar (Fuqua ve diğ, 2012; John ve Thomas, 2008; Yıldızhan ve diğ, 2018). Ayrıca selüloz kimyasal yapısıyla, odunun liflere karşı gösterdiği dayanımında etkili olmaktadır (Tsoumis, 1991). Bu etkisini, selülozun mikrofillerin arasındaki boşlukları tıkayan bir yapıştırıcı gibi olması ve odunu sertleştirerek darbelere ve baskı direncine karşı kuvvetlendirme özelliğiyle gerçekleştirmektedir. Hemiselüloz, lignoselülozik liflerin ikinci ana yapısal bileşenidir. Bir selüloz türü olmayıp doğal selülozdan daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Yıldızhan ve diğ, 2018; Azwa ve diğ, 2013). Hidrofilik yapıya sahip hemiselülozlar, amorf yapıdaki farklı şeker birimlerinden oluşur ve selüloz mikrofibrilleri için matris görevi görürler (Azwa ve diğ, 2013). Lignin; selüloz, hemiselüloz ile pektin yapıları arasında dolgu görevi görür ayrıca lignin, selüloz ve hemiselüloz yapılarına sertlik sağlar (Yıldızhan ve diğ, 2018). Ahşabı bakteriyel enfeksiyonlara karşı koruma etkisi de vardır. Diğer yandan lignin bileşini odunu harici patojenle karşı korumaktadır ve odunun hidrofobiklik özelliğinde artışa neden olur (Pereira ve diğ, 2003).

Odunun hücre çeperindeki bileşenleri, kimyasal ve fiziksel yapısından kaynaklı ahşabın birden fazla özelliğini etkilemektedir (Pereira ve diğ, 2003). Diğer yandan odun ekstraktifleriye, organik yapıda ve inorganik yapıda olmayan kimyasallardır. Bu ekstraktifler odunun bünyesine yanmaya karşı direnç, renk ve koku özelliği, biyolojik bozunmaya karşı mukavemet ve yoğunluk artışı şeklinde nitelikler kazandırır ve çözücülerle ekstrakte edilebilir (Fengel ve Wegener, 1984).

İşletmelerden açığa çıkan bu atık odun talaşları da çevre açısından zararlı aksiyonlar barındırmasının yanında sanayinin çeşit çeşit bölümlerinde çalışılması önem arz etmektedir. LC'lerin diğer herhangi bir takviye/dolgu malzemesiyle paralel olmayan bazı benzersiz özelliklerinden dolayı, kauçuklar ve forceramik matrisler dahil olmak üzere farklı polimer türleri için çekici dolgu maddelerinden biri olduğu iyi bilinmektedir (Rijswijk ve Brouwer, 2002).

Odun atıklarının tekrar değerlendirilmeye alınması hususunda gerçekleştirilen araştırmada; odun artıklarını dönüştürmek amacıyla geri dönüşüm tesisi inşa etme, hammadde oluşturma, elden çıkarılması gereken odun artıklarının koordinasyonu için bir çare olabileme ihtimalinin olduğu bildirilmiştir (Demirkır ve Çolak, 2006).

3.2 Odun Talaşının Kullanıldığı Yerler

Çevre dostu biyobozunur polimer matriksli kompozitlerin üretimi yeşil çevre adına büyük bir öneme sahiptir. Biyobozunur polimer matris kompozitler, tarım, paketlenme, nakliye, tıp, elektrikli/elektronik aletler ve ev aletleri dahil olmak üzere çok geniş bir uygulama alanına sahiptir (Islam ve diğ, 2019). Sunta ve MDF gibi ürünleri oluşturmak amacıyla, odun talaşı atığının, belli oranda dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Talaşlar basınç ile sıkıştırılma suretiyle birbirinden değişik boyutlarda pelet yakıt malzemeleri ortaya çıkarılabilir. Ahşap talaşları özellikle soğuk dönemlerde doğrudan talaş sobası içinde ısınma maddesi amacıyla kullanılabilir. Tavuk kümeslerine, tabana serilen önleyici bir ısı yalıtım maddesi olarak uygulanabilir. Odun talaşı piroliz işlemiyle katı, sıvı ve gaz olmak üzere yeni ürünlere ayrışabilir. Genel yakma sistemlerine bakıldığında emisyonunun düşmesi ve enerji karşılığı oluşması bakımından pelet işlem uygulaması önemlidir (Ateş, 2018).

3.3 Karaçam Odununun Özellikleri

Bireylerin kullandığı yapı maddeleri arasında, ağaç kaynaklı madde en eski ve kullanım alanları yönünden oldukça sık kullanılan materyallerdir. Bu sebeple atık/artık malzemelerinin kullanım bölgelerinin arttırılması son dönemlerde git gide önemli olmaya başlamıştır. Bundan dolayı farklı ağaç türlerinden kazanılabilen, sosyal hayatın ve teknolojik uygulamaların zorunlu kıldığı özgün nicelik ve nitelik özellikleri olan doğal materyallerdir (Bozkurt, 1986). *Pinaceae* ailesinden *Pinus* cinsi olan iğne yapraklı çam ağacı sınıfındandır. Çamgiller familyası, kozalaklı ağaçların en büyüğü (tür ve birey sayısı bakımından), coğrafi olarak en yaygın ve ekonomik açıdan en önemli olanıdır.

Bu çam ağacının ülkemizde yoğun olarak 5 farklı türü bulunmaktadır. Bu türler; karaçam, kızılçam, sarıçam, halep çamı ve fıstık çamıdır. Tez çalışmasında kullanılan karaçamın bazı özellikleri şunlardır; 40 metre boyuna ulaşan ve 200 seneye kadar kolay şekilde yaşayan çam ağacı türüdür. Ağacın gövdesi koyu kahverengi ve ortalama 1 metredir. Karaçamın reçinesi boldur ve genellikle 400 metre ile 2.000 metre rakımlı bölgelerde yaşamaktadırlar. Gövdesi derin çatlaklı ve kalın kabuklu olan çamın tomurcukları sivridir. Koyu yeşil renkteki iğneleri, ortalama 10 cm uzunluğunda ve oldukça serttir. İğneler tomurcuğa dönüktür ve çanak şeklinde boşluklar oluşturmaktadır. Odunu sert ve dayanıklıdır, bu sebeple mobilya imalatında ve inşaat alanlarında yoğun şekilde kullanılmaktadır (Linnaeus, 1753). Çam'a yapısal olarak bakıldığında ise birbiri üzerine binen hücrelerin oluşturduğu katmanlardan meydana gelmektedir. Her kalın katman sonrasında ince katman gelmektedir. Katmanların oluşması için gerekli olan aminoasit ve şeker ihtiyaçları zar tabakasındaki reçine aracılığı ile köklerden alınmaktadır. Çam ağacı %42 selüloz, %25 hemiselüloz, %30 lignin ve %3 pektin, nişasta, kül ve diğer maddelerden oluşmaktadır (Can, 2002; Lovet Pinetum-Pines, 2023). Çam talaşları, atık çam odunlarının kütük veya kereste haline getirilmesi esnasında atık yan madde olarak ortaya çıkmaktadırlar. 150 °C ila 200 °C ısı arasında kavrularak aktive edilmektedirler (Can, 2002). Zeminlerin katkı malzemeleriyle sağlamlaştırılmasında, katkı malzemesinin ucuz ve kolay ulaşılabilir bir madde olması önemlidir. Çam talaşlarının kolay elde edilebilir ve ucuz olması, aynı zamanda zemin mukavemetini arttırmak ve geçirgenliği azaltmak gibi özelliklerinden dolayı, deneysel olarak kullanımı tercih edilen bir malzemedir.

3.4 Gürgen Odununun Özellikleri

Gürgen (*Carpinus*), Betulaceae (*Huşgiller*) familyasına ait, gövdesi girintili ve grimsi kabuklu olan *Carpinus* cinsini meydana getiren, ağaç ya da ağaçcıklara verilen isimdir. Yumurta şeklindeki yaprakların kenar kısımları dişli, hemen hemen 1 cm boyunda, sivri uça sahip olmasının yanında kabuğu sert olan meyveleri, yaprak şeklindeki üç toplu bir meyve örtüsüyle kaplanmaktadır (Linnaeus, 1754). Kırılgan dalı, kabuk rengi gri ve çatlakları olan bir ağaçtır. Toprağın haline göre derine inen veya yayılan bir kök sistemine sahiptir. Su baskınlarına dayanıklı olan gürgenler rutubetli toprakları sevmektedirler. Orta boyludurlar genellikle oluklu ve eğri bir gövdeleri vardır. Kabuk renkleri düzgün ve yeşil-grimsi olup yaş aldığında da pürüzsüzdürler. Tomurcukların boyu 10 mm'nin altında olup dal ile birleşik şekildedir (Naycı, 2019; Orman Genel Müdürlüğü, 2013).

Gürgen ağacı, yoğun yapısı ve sert bünyesi ile yerli ağaçların en zorlusu olandır. Gürgenin parçalanması kolay değildir ama bükülebilmektedir. Gürgen, çürümeye karşı dirence dayanıksız ama böceklerle duyarlılık göstermesine karşılık yinede aşınma olayına karşılık çok iyi mukavemet göstermektedir. Yoğunluğu 0.83 g/cm³ olan gürgen ile sert yapıda olması sebebiyle çalışmak zorlu olmaktadır. Bu nedenle kullanım alanı olarak, ayakkabı imalatı, aletler, yakılacak odun, emin döşeme, kaplama işleri, tekerlek yapımı, spor ekipman üretimi, araba, yel değirmeni, dolgu maddeleri, uçak tabanları vs. gibi pozitif alanda kullanılabilmektedir.

4. MODİFİKASYON YÖNTEMLERİ

Odunlarda uygulanan modifikasyon işlemi ağaca olumsuz etki oluşturabilecek biyotik ve abiyotik etkenlere karşı odunu himaye edebilmek için ve olabildiğince uzun kullanımını sağlamak amacıyla uygun kimyasallar ve yöntemlerle ağaca muamele etmeyi kapsayan bir işlemdir.

Lignin, hemiselüloz ve selüloz odunun ana bileşenleridir. Bu bileşenler odunun fiziksel yapısı ve kimyasal yapısıyla ilişkilidir. Bu polimelerin degrade olması, odunun özelliklerini sınırlandırmaktadır. Söz konusu bileşenlerin degradasyonu için odunun mikroorganizmalara, ısıya, rutubete ve UV (ultraviyole ışını)'ye maruz kalması gerekir ki bu durumda odunun yapısal olarak özelliklerinde ciddi şekilde değişim meydana gelmektedir. Amorf selüloz ve hemiselülozun higroskopik niteliği sebebiyle bağıl nem düzeyindeki farklılıklarla beraber odun hücre çeperinde daralmalar veya gözlenebilir, böyle bir durumda ahşapta önemli deformeler gerçekleşebilir (Skaar, 1988). Biyolojik bozunmayı engellemek ve boyutsal değişimlerin önüne geçmek için ahşabı yüksek nem düzeylerinden korumak gerekmektedir, aksi halde korunmayan ahşabın deformasyonu kaçınılmaz olmaktadır. Bu sebeple, boyutsal ve biyolojik mukavemeti fazla olan ahşap ürün meydana getirebilmek amacıyla hücre çeperine modifikasyon işlemi gerçekleştirilen çalışmalar uzunca zamandır gerçekleştirilmektedir. Hücre çeperi bileşenlerinin kimyasal yapısını belirli uygulamalar ile değişime uğratarak deforme düzeyi en aza indirilebilmektedir (Rowell, 1991). Bu uygulamaların temelinde hücre çeperinin hidroksil gruplarıyla kovalent bağ ve çapraz bağ oluşturma hedefi yatmaktadır. Bu etkileşim ile hidroksil grupları bloke edilip, odunun su reddini arttırarak odunun rutubete maruz kalmasının ve boyutsal stabilitesinin artmasını sağlamaktadır (Hill, 2006).

Odunun modifikasyona uğratılma methodları birden fazla bilim insanı tarafından farklı sınıflandırılmaktadır. Genel manada odunun modifikasyon çalışması için uygulanan methodlar; kimyasal, termal, yüzey, emprenye modifikasyonları şeklinde sıralanabilir.

4.1 Kimyasal Modifikasyon

Kimyasal modifikasyon, odunun yapısında bulunan hücre çeperindeki bir reaktif grupla kimyasal madde arasında bir kovalent bağın meydana gelmesi olayıdır. Modifikasyon olayı kullanılan kimyasal ile odundaki -OH grubu arasında sadece bir bağ yapısının gerçekleşmesiyle veya iki veya daha fazla -OH grubuyla çapraz bağlanma yapmasıyla gerçekleşmektedir (Hill, 2006). Odunun kimyasal modifikasyona uğratılmasının, odunun çürümeye karşı dayanıklı hale getirilmesi ve boyutsal kararlılığının iyileştirilmesi olarak iki temel amacı bulunmaktadır (Rowell, 1983). Kimyasal modifikasyonda zehirli kimyasal kullanılmadan çürüklük mantarlarına karşı direnç arttırılmakta ve polimer kraftlama vb. gibi işlemlerle ağaç malzemenin zemini bir sonraki işlem veya reaksiyonlar için aktif hale getirilebilmektedir. Kimyasal modifikasyon için çeşitli uygulamalar mevcuttur. Hücre çeperi polimerlerinde bulunan en reaktif kısım -OH grubudur ve bununla birlikte ligninde bulunan doymamış gruplarda bir reaktif kısımdır. Bu kısımlar kraftlama ve serbest radikal oluşumu için de kullanılabilir. Bunlarından en çok -OH grubuna bağlanan reaksiyonlar üzerinde çalışılmıştır (Rowell, 1993; Rowell, 1998).

Kimyasal temelli odun modifikasyonu methodları 3 sınıfta toplanabilir (Homan ve Jorissen, 2004). İlki, lümenleri bir madde ile doldurma (örneğin reçine ile), bu yöntem ile odunun dayanımını arttırılabilir ve bünyesine su (buhar) alım sürecinde yavaşlamaya neden olabilmektedir. İkincisi, hücre çeperini doldurarak hacmi arttırmak, ki bu yöntem ile odunun su alarak şişme ve daralma özelliğini en aza indirmek amaçlanmaktadır. Üçüncüsü ve en sık kullanılan yöntem olan odunun modifiye edilmesidir ve en etkili yöntemdir. Hücre çeperi bileşenlerinin kimyasal yapısı farklılaştırılır ve kovalent bağlar meydana getirilir. Kimyasal modifikasyon sıklıkla uygulanan methodlar; asetillendirme yöntemi, furfurilasyon yöntemi, N-methol (DMDHEU) yöntemi, reaktif yağ uygulamalar olarak sıralanabilir.

Asetillendirme yönteminde, reaksiyondaki her hidroksil grubuna karşılık bir asetil grubu bulunmaktadır. Böylece, asetil grupları arttıkça bloke edilen hidroksil grupları da artmış olacak ve hidroksil gruplarının yerine asetil grupları konumlandırılacaktır. Asetillendirilme yöntemiyle modifiye edilen odunun, modifikasyona uğramamış oduna kıyasla yoğunluğu fazladır, fakat birim hacme düşen lignoselülozik madde miktarı daha azdır (Rowell, 1984). Bu yöntemle elde edilen avantajlar; odunun boyutsal kararlılığının oluşması, akustik özelliklerinin iyileştirilmesi, UV direncinin

artması, yapışma özelliklerinin güçlenmesi, oyucu deniz organizmalarına ve çürüklük mantarlarına karşı dayanım mukavemetindeki artış, sertliğinin-yoğunluğunun artması ve rutubet miktarlarındaki düşüş şeklinde sıralanabilir.

Odunun furfurilasyon yöntemi, boyutsal kararlılıkta iyileşme, odunun dayanımının artması, alkali ve asitlere karşı yüksek direnç oluşturan etkili bir yöntemdir. Bu methodun avantajları; çalışılan kimyasalların yenilenebilir kaynaktan elde edilmesi, boyutsal kararlılıkta iyileşme, mantar ve böceğe karşı mukavemet, zorlu ortam şartlarına dirençli hale gelebilmesi şeklinde sıralanabilir.

N- methol (DMDHEU) methodunun avantajlı yönleri; odunu mantar ve böceklerle karşı dayanıklı hale getirmesi, odunun boyutsal kararlılığın oluşturulması, odunda yoğunluk artışıyla beraber rutubet oranının düşük seviyelere ulaşması, basınç direncinde yükselme, eğilme direncinin ve eğilmede elastikiyet modülünün sabit kalması, bakım çalışmalarının kolay yapılması, biyosit, fungisit ve insektisit madde barındırmaması şeklinde sıralanabilir.

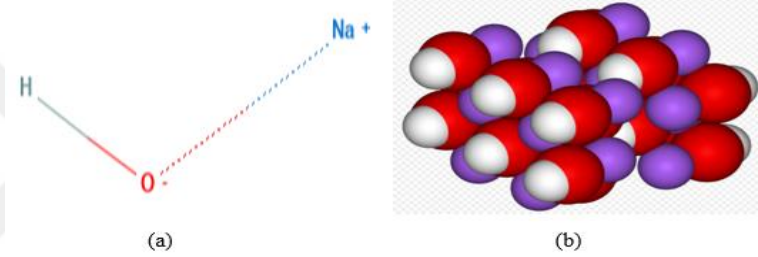
Reaktif yağ uygulamaları için iyi derecede dayanma kuvveti, iyi oranda su reddi oluşturur ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen ölçümlerde direnç niteliklerinde hiçbir şekilde kayıp olmadığı görülmüştür (Homan ve Jorissen, 2004). Bu methodun avantajlı yönleri; odunda su reddi meydana getirmesi, toksik içerikli madde barındırmaması, üretim kapasitesinin fazla olması, oksidasyon özelliğinin olması ve bu özellik sebebiyle odunda koruma nitelikli tabaka meydana getirebilmesi, odunun rutubete maruz kalmasını iyi derecede önleyebilme şeklinde sayılabilir.

Kimyasal modifikasyon yöntemleri arasında uygulanan diğer yöntemler ise; ozon gazının uygulanma methodu (ozonoliz), CO₂ tüketimi, kimyasal buhar biriktirilme yöntemi, aşılama tekniği, enzimatik modifikasyon methodu, sol-jel biriktirme tekniği, tabaka-tabaka biriktirme yöntemi, alkali/asidik yüzey modifikasyon yöntemleri, yüzey gruplarına aminleme işlemi, kitosan, β -siklodekstrin gibi makro moleküllerin bağ yaparak birleştirilmesi ve boya moleküllerinin makro-yerleştirilmesi şeklinde ifade edilebilir (Erdoğan, 2012).

4.1.1 Alkali modifikasyon

Çevresel kirliliğin artması ile beraber atık sorunlarıyla karşı karşıya kalınmıştır ve bu durum sonucunda cam, karbon vb. liflerin yerine odunun yapısında bulunan selüloz kaynaklı liflerin kullanılmasına yönelme olmuştur. Ancak selülozik liflerin kompozit dayanım özelliklerinin az olması ve kullanımının sınırlandırılmasından dolayı yüzey

özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla lifler, kimyasal ve fiziksel özelliklerle modifiye edilmektedir. Bu amaçla kimyasal modifikasyonda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri de alkali ile modifikasyon işlemidir. Alkali işlem liflerin yüzeyinde bulunan dağal yağları ve yapıları kısmen veya tamamen giderebilmektedir. Alkali modifikasyon aynı zamanda liflerdeki Selüloz I'ı Selüloz II'ye dönüştürmektedir (Mayes ve Oksanen, 2002). Liflerdeki alkali hidroliz muamelesi, sıklıkla sulu bazik olan NaOH çözeltisinde uygulanmaktadır. Sodyum Hidroksit 1807 senesinde Humphrey Day tarafından keşfedilen bir kimyasaldır. Doğal olarak meydana gelmez ancak üretimi basit bir bileşiktir. Sodyum hidroksit, 13.5 pH değeri ile bazik özelliklere sahiptir (Özdemir ve diğ., 2018). Sodyum katyonları Na^+ ve hidroksit anyonları OH^- içeren beyaz renkli katı bir iyonik bileşik olan NaOH'in Pubchem'den alınan kimyasal ve moleküler yapısı şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: NaOH bileşiğinin kimyasal yapısı (a) ve moleküler görüntüsü (b).

Sodyum hidroksit, laboratuvarlarda kuvvetli bir baz olarak ve karbondioksit gibi asidik gazları almak için kullanılabilir. Sulu çözeltideki sodyum hidroksit, yüksek düzeyde alkalinitesinden dolayı doğrudan proteinlerde (özellikle disülfid köprüleri) bağ kırılmasına neden olur. Oda sıcaklığında sodyum hidroksit, havadaki nemi emen beyaz kristal kokusuz bir katıdır. Suda çözündüğünde veya asitle nötralize edildiğinde, yanıcı malzemeleri tutuşturmak için yeterli olabilecek önemli miktarda ısı açığa çıkarır. Sodyum hidroksit çok aşındırıcıdır. Genellikle katı veya %50 çözelti halinde kullanılır. Diğer yaygın isimler arasında kostik soda ve sodalı su bulunur.

4.2 Termal Modifikasyon

Bu yöntemdeki gaye, ahşap malzemenin iç ısısının yükseltilerek ahşabın nemlenme oranını veya deformasyon düzeyini en az seviyelere minimize edebilmektir. Bu kimyasal reaksiyonla hücre çeperindeki selüloz, hemiselüloz ve lignin bileşiklerinin kimyasal yapısının kalıcı şekilde değişimi gerçekleştirilir (Boonstra, 2008). Bu farklılıklar hemiselülozun ısı kaynaklı deformasyonundan kaynaklı olmalıdır. Bu

farklılıklar yaklaşık 150°C’ de oluşmaya başlar ve ısının yükselmesiyle yaklaşık 200°C’de farklılaşmaya devam etmektedir. Termal modifikasyon yönteminde sıcaklık en olmazsa olmazdır. Yanısıra ağaç çeşidi, ısıtma işlemde süre uzunluğunu, işlemdeki atmosferik ortamı, basınç değerini, rutubet maruziyetini ve ısının eşit şekilde dağılmasını direk etkilenmektedir (Viitanen ve diğ., 1994). Bu uygulama ile odunun özelliklerinin iyileşmesi beklenirken, hiçbir kimyasal madde takviyesi yapılmamaktadır. Odundaki performans artışı, termal modifikasyon yönteminin, odunun moleküler yapısını değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu yöntem dayanıklılık artışı, yüksek stabilite, kullanımda sürenin uzaması, malzeme emniyetinin yükseltilmesi, fiyat bakımından iyileşme ve güvenilirlik oluşturma gibi nitelikler sağlamaktadır (Wikberg, 2004).

4.3 Yüzey Modifikasyonu

Diğer adıyla enzimatik modifikasyon olan bu yöntemde bazı enzimlerin (fenol oksidaz, peroksidaz ve lakkaz), fenolik OH grupları ile oksidasyon işlemi sonucunda lignoselülozik liflerin odun ile bağ yapısı oluşturması sağlanmaktadır. Fenol oksidaz, peroksidaz ve lakkaz gibi enzimlerin diğer yandan fenoksi radikallerini ve su meydana getirmek için H_2O_2 ya da O_2 ’yi indirgedikleri bilinmektedir (Hill, 2006). Bu modifikasyonla ekonomik ve çevresel açıdan avantaj elde edilebilmektedir. Diğer yandan liflerin lakkaz ile muamelesi sonucunda oluşturulan liflevhaların mekanik özelliklerinin iyileştiği elde edilmiştir (Dizman, 2005).

4.4 Emprenye Modifikasyonu

Emprenye modifikasyon yöntemi, odunun hücre çeperindeki bileşiklerin kimyasal kimyasal malzemeler ile muamele edilme işlemidir. Diğer bir tanımla, hücre çeperindeki malzemelerin istenilen şekile gelebilmesi amacıyla reaksiyona uğratılma çalışmasıdır. Emprenye modifikasyonu iki şekilde gerçekleştirilebilir; ilk olarak ardışık olarak gerçekleştirilen polimerizasyon işlemiyle hücre çeperini monomer veya oligomer olarak emprenye etmektir. İkincisi ise çözünmeyen materyal karıştırılmak üzere artarda yapılan işlemler ile hücre çeperi içine çözünebilen materyalin difuzyonu. En iyi odun modifikasyon methodu termal yöntemdir. Ticari rolünün etkili olmasındaki ana etken sıklıkla kullanılan yardımcı elemanların uygun fiyatlı olmasıdır (Hill, 2006).

5. LİTERATÜR ÖZETİ

Son zamanlarda, PLA/odun kompozitleri üzerinde çokça araştırma yapılmaktadır. Üretilen bu biyokompozitlerin mekanik yapılarının ve mikro-yapılarının geliştirilebilmesi amacıyla çeşitli üretim methodları uygulanarak araştırmalar yapılmaktadır (Teuber ve diğ, 2016)

Biyobozunur polimerler üzerine yapılan bir çalışmada PLA'nın kullanım alanları mekanik özellikleri, avantaj ve dezavantajları çalışılmıştır. Biyobozunur polimerlerin, çevre koruma ve fiziksel sağlığın sürdürülmesi ile ilgili alanlardaki potansiyel uygulamaları nedeniyle son yıllarda çok daha fazla ilgi gördüğü savunulmuştur. Biyopolimerin malzemeler alanındaki gelişme için gelecekte umut verici olduğu ifade edilmiştir (Vroman ve Tighzert, 2009).

Nourbakhsh ve Ashori (2010), tarafından tarımsal atık malzemelerden ahşap plastik kompozitler üretme ve bu kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada, ağaç liflerine bir alternatif olarak termoplastikler için takviye olarak uygunluklarını değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla tarımsal atık malzemelerin (yani mısır sapı, kamış sapı ve yağlı tohum sapı) uygulamalarını sunulmuştur. Lif yüklemesinin ve CaCO_3 içeriğinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tarımsal atık malzemelerin eklenmesiyle, kompozitlerin gerilme ve eğilme özelliklerinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Yağlı tohum liflerinin, yüksek en/boy oranı ve kimyasal özelliklerinden dolayı üstün mekanik özellikler gösterdiği ifade edilmiştir. Kompozitin gerilme ve eğilme özellikleri, elyaf ve matris arasındaki arayüz bağının azalması nedeniyle artan CaCO_3 içeriği ile önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada, kullanılan tarımsal atık malzemelerin mekanik özellikleri açısından uygun takviyeler olduğu sonucuna varılmıştır.

Saba ve diğ. (2015), kenaf elyaf takviyeli polimer kompozitin mekanik özellikleri üzerine inceleme gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma neticesinde, elyaf yükleme oranlarının mekanik özellikler üzerindeki etkisi net olarak belirlenemezken, daha iyi mekanik özellikler elde edilen polimer kompozitlerde elyaf yükleme oranının %40 olduğu ve optimum koşul olarak kabul edildiği bildirilmiştir.

Kartal ve diğ. (2019), kestane/gürgen talaşı dolgulu vinilester kompozitlerin mekanik özelliklerine bakarak, kompozit dolguda kestane ve gürgen talaşlarının kullanımı incelemişlerdir. Vinilester kompozitte dolgu düzeyi artması ile beraber azda olsa mekanik özelliklerinde artma olduğu saptanmıştır. Gürgen ve kestane talaşları karşılaştırıldığında ise arasında çok farklılık olmasada kestane dolgulu kompozitlerin mekanik özelliklerinin çok daha iyi olduğu görülmüştür. Bu araştırma sonucunda özellikle kestane ağacı talaşının gürgen ağaç talaşına göre kompozit çalışmalarında dolgu maddesi olarak daha fazla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kurniawan ve diğ. (2012) tarafından PLA matrisli bazalt lifi biyokompozitleri üretilmiş ve bu kompozitlerin termal ve mekanik özellikleri analiz edilmiştir. Üretilen bazalt lifi/PLA biyokompozitlerinde elastik direnç oranlarında %45'lik ve elastik modül oranlarında %18'lik artış gözlemlendiği saptanmıştır. Araştırma neticesinde bazalt lifi takviyeli kompozitlerin plasma aktivasyonuna uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Evans ve diğ. (2000) tarafından yapılan başka bir çalışmada sarıçam odunu asetillendirilme yöntemi ile modifikasyona uğratılmıştır. Numunelerde oluşan kütle kaybı ve direnç yoksunlukları tespit edilmiştir. Numune yüzeyindeki lignin degradasyonu ve selülozun depolimerizasyonu FTIR spektrometresi tespit edilmiştir. Ağırlık artışlarındaki kütle kaybı ve direnç kaybı kontrol örneklerine yakınlık gösterecek şekilde yüksek bir asetilasyon seviyesindeki numunelerin çok daha iyi bir sonuç vererek koruma gerçekleştirdiği görülmüştür. Bu sonuç yüksek oranda modifiye edilen numunelerin daha iyi özellik sergilediğini göstermektedir.

Kaymakçı (2015), tarafından ahşap plastik nanokompozitlerin karakterizasyonu üzerine çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada üretilen ahşap polimer kompozitlerin, kullanılan güçlendirici dolgu maddesi ve miktarı, ahşap unu oranı ve uyum sağlayıcı ajan oranının bazı fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda ahşap plastik nanokompozitlerin üretimi için gerek birim maliyet gerekse fiziksel, mekanik ve termal özellikleri bakımından en uygun nano materyalin hegzagonal bor nitrür olduğu belirlenmiştir.

Spiridon ve Tanase (2018), tarafından yapılan çalışmada PLA matrisli lignin biyokompozitinin mekanik ve morfolojik özellikleri incelenerek, numunelerin su alma kapasitesi araştırılmıştır. Sonuçlara göre %7 lignin takviyesinin young modülünü iyileştirdiği ve referans PLA matrisine göre gerilme direncinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan su alma kapasitesini kademe kademe azalırken,

%15 lignin takviyeli biyokompozitin gerilme direncinde artış gerçekleştiği ve yanısıra su alma potansiyelinde azalm olduğu tespit edilmiştir.

Spiridon ve diğ. (2015) yaptıkları bir araştırmada iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlardan alınan iki çeşit lignini PLA matrise ilave ederek PLA-lignin biyokompozitleri üretmişlerdir. Meydana getirilen bu kompozitlerin termal özellikleri, mekanik ve morfolojik özellikleri incelenirken, su alma oranlarında bakılmıştır. Lignin takviyeli PLA'nın, saf PLA'ya göre darbe dayanımında artış gösterdiği ve ısıya karşı göstermiş olduğu direç stabilitesini artırdığı tespit edilmiştir. SEM mikrograflarında ise lignin agregası ve matris arasında iyi bir yapışma meydana geldiği belirtilmiştir. Su alma oranına bakıldığında yumuşak ağaç çeşitlerinden alınan lignin-PLA kompozitlerinde artış gözlenmiştir. Gerilme ve darbe mukavemet testlerinin sonucunda bütün numunelerde düşüş olduğu kaydedilmiştir. Sonuç olarak meydana getirilen kompozitlerin, referans örneğine kıyasla daha iyi özellik gösteren, lignin içerikli çevre dostu malzemeler üretildiğinin bildirmişlerdir.

Aydın ve Altun (2020), odun kökenli malzemelerin takviyesi ile oluşturulan polilaktik asit matrisli kompozitler üzerine yapılan çalışmaları derlemişlerdir. Yapılan çalışmalarda kullanılan takviye elamanları ve oranlarının, elde edilen yeni kompozitlerin mekanik özelliklerinde genel olarak olumlu yönde meydana getirdiği değişimler incelenerek belirtilmiştir. Ayrıca polimer matrisli kompozitlerin üretim tekniklerinde, malzemenin özellikleri üzerine etkileri olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, odun kökenli kompozitlerin PLA matrisi için dolgu maddesi olarak kullanılması, düşük maliyet, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemeti ve geleneksel inorganik dolgu maddelerine kıyasla işleme ekipmanlarına daha az olması nedeniyle birçok avantaj sağladığı yapılan araştırmalar neticesinde anlaşılmıştır. Ayrıca, yapılan birçok çalışmada sertlik, mukavemet, tokluk, boyutsal kararlılık ve aşınma, çürüme, hava ve yangına karşı dirençli olması gibi özelliklerin de geliştirildiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, PLA-odun kompozitlerin ara yüz yapışmasını iyileştirebilmek için kullanılan çok fazla bağlayıcı olmasına karşın, en etkili olarak gözlenen silan kimyasalı olduğu belirtilirken, diğer yandan, üretim tekniklerinin kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri düşünüldüğünde ise en iyi metodun enjeksiyon kalıplama metodu olduğunu söylemektedirler.

Bir başka çalışmada, PLA-odun lifi kompozitlerinin mekanik özelliklerini geliştirmek için 3 tane silan bağlayıcı ajanı kullanılmıştır. Elde edilen kompozit malzemelerin

çekme mukavemeti ve young modülü sırasıyla 55.1 ve 1589 MPa'dan 67 ve 1641 MPa kadar arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, kopma uzamasının %20.3'ten %12.4'e düştüğü gözlenmiştir (Zhu ve diğ, 2015). PLA matrisine geri dönüştürülmüş silan ile muamele edilmiş karbon fiberler takviye edilerek kompozitler oluşturulmuştur. Silanın PLA ve karbon fiberler arasında ara yüzey yapışmasını arttırdığı gözlenmiştir (Han ve diğ, 2012).

PLA/PHA polimer matrisine ağırlıkça 10%, 20%, 30% odun lifi takviye edilerek oluşturulan kompozitlerin mekanik özellikleri karşılaştırılmış ve ağırlıkça %20 odun lifi takviyesinin en iyi olduğu sonucu gözlenmiştir. Ayrıca polimer matrisi içerisinde ağırlıkça %20 odun lifi içeren kompozitin en iyi homojen dağılımı gösterdiği gözlenmiştir (Loureiro ve diğ, 2014). Ağırlıkça %30 odun lifi takviyeli PLA kompozitlerde, geleneksel odun lifi takviyeli PP kompozitlere karşın eğilme modülünün yükseldiği gözlenmiştir (Huda ve diğ, 2005).

PLA matrisine homojen olarak dağılmış selüloz ve nanoselülozdan oluşan iki farklı kompozit malzeme mekanik özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla hazırlanmıştır. Nanoselüloz içeren polimer kompozitin selüloz içeren kompozite karşın akma dayanımını %50 arttırdığı gözlenmiştir (Kowalczyk ve diğ, 2011).

Altuntaş ve diğ. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kompozit malzemeye takviye edilmiş odun lifi artışı ile kompozit malzemelerin çekme dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada saf polimerin çekme direnci değeri 33.56 MPa olarak belirlenmiştir ve polimer matrise takviye edilmiş odun unundaki artış ile kompozit malzemelerin çekme dayanımlarının düştüğü gözlenmiştir.

Özdemir ve diğ. (2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada odun plastik kompozit malzemelerin termal ve ısı iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada ağırlıkça %30 oranda odun unu ile takviye edilmiş kompozitin ısı geçirgenlik katsayısı 0.3628 W/m.K olarak tespit edilmiştir. Üretilen levhaların ısı iletkenliği özelliklerinin (ASTM C 1113-09) yanı sıra Termogravimetrik Analiz (TGA) termal özellikleri belirlenmiştir. Odun plastik kompozit malzemelerde yangın geciktirici olarak kullanılan sepiolit mineralinin eklenme miktarının artması ile termal ve ısı iletkenliği özelliklerinin geliştiği, kristalizasyon derecesinin ise azaldığı belirlenmiştir. Nijenhuis ve diğ. (1996) yaptıkları çalışmada yüksek moleküler ağırlıklı poli(l-laktid) (PLLA) ve poli(etilen oksit) (PEO) karışımlarının termal karakterizasyon ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Basınçla kalıplanmış PLLA'nın mekanik özelliklerinin,

PEO ile harmanlama işleminden önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür. Kopmadaki uzama, PEO konsantrasyonu ile güçlü bir artış gösterirken, çekme mukavemeti azalmıştır. Bu etkiler en çok ağırlıkça %10'dan daha yüksek PEO konsantrasyonlarında belirgin olduğu saptanmıştır. Hidrolitik bozunma çalışmaları, bu karışımlardaki PLLA fraksiyonunun ilk bozunmasının, değiştirilmemiş PLLA'ninkinden daha hızlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle amorf PLLA'yı PEO ile karıştırmakla, mekanik özelliklerini iyileştirmenin ve ayrıca daha hızlı bir bozunmayı gerçekleştirmenin uygun bir yolu olduğu saptanmıştır.

Karakuş ve diğ. (2014)'nin yaptığı çalışmada PLA ve alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) matrisli, %40 oranında odun unu takviyeli biyokompozitin morfolojik ve mekanik test sonuçları incelenmiştir. Test sonuçlarında alçak yoğunluklu polietilen'in çekme direncinin değişmeden kaldığı ancak PLA'nın çekme direncinde artış olduğu tespit edilmiştir. PLA'nın çekme gerilmesinde azalma olacağı düşünülmüştür bu düşüncenin sebebi ise PLA içeren numunelerin iç kısmında kalan hava boşluklarının olabilme ihtimalidir. Çalışma sonucunda ortaya çıkan eğilme direnç sonuçlarına bakıldığında referans örneğine kıyasla %40 odun takviyeli biyopolimerlerin elastikiyet modül sonuçlarında ve eğilme direnci ölçüm sonuçlarında ciddi artış olduğu saptanmıştır.

Yıldırım (2021), yaptığı bir çalışmada polimer matrisli odun-kuars biyokompozit üreterek bu biyokompozitin termal ve mekanik özellik sonuçlarını araştırmıştır. Dolgu maddesi olarak mineral agrega kuvars, odun tozu (çam ve sunta ahşap atığı) kullanımı tercih edilmiştir. Eğilme testi bittiğinde herhangi bir deformasyon görülmemesi, deney başladığında örneklerin maksimum kuvvete kadar direnç göstermesini ifade ederken, test sonucunda örneklerin ilk formuna dönmesi, malzemenin plastik özelliğiyle ilişkilendirilmiştir. Deneylerin çekme testi esnasında makine hızından kaynaklı örneklerin iç kısmında boş alanlar oluştuğu ve çekme dirençlerinin düştüğü görülmüştür.

6. MATERYAL VE METHOD

6.1 Materyal

Bu çalışmada organik dolgu maddesi olarak endüstriyel atık durumundaki karaçam ve gürgen talaşı kullanılmıştır. Talaşlar Marmara bölgesinde Sakarya ili Mobel City Mobilya Dekorasyon üreticisinden toplanmıştır. Büyük oranda selüloz, hemiselüloz, lignin ve az miktarda da ekstraktif ve mineral maddeleri içeren odun talaşı polimerik malzeme içeren lignoselülozik yapıya sahiptir. Modifikasyon malzemesi olarak ise 0.5M NaOH çözeltisi kullanılmıştır.

6.2 Method

Farklı tanecik büyüklüğüne sahip malzemeler öğütülerek, hazırlanan karışımlar homejen hale getirilmiştir. Farklı PLA oranlarına sahip polimerik kompozit numuneler üretilmeden önce bileşenlerin nemi giderilmiştir. Nem giderme işlemi sonrası alkali modifikasyon yapılan bileşenler ekstrüder cihazından şerit halinde alınmıştır ve şerit halindeki malzeme kırılıp granül haline getirilmiştir. Granül malzemeler sıcak preste levhalar haline getirildikten sonra levhalar su jeti işlemi ile test numunelerine kesilmiştir. Biyokompozitin test numuneleri oluşturulduktan sonra kompozite ait fiziksel, mekanik, morfolojik ve termal özelliklerinin belirlenebilmesi adına karakterizasyon çalışmaları yürütülmüştür.

6.2.1 Takviye (Dolgu) malzemelerinin hazırlanması

6.2.1.1 Öğütme ve eleme işlemi

Endüstriyel atık durumundaki çam ve gürgen talaşları laboratuvar tipi değirmende öğütme işlemiyle toz haline getirilmiştir. Öğütme işlemi için kullanılan cihaz şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1: Öğütme işleminde kullanılan cihazlar.

Daha sonra toz taneciklerinin aynı boyutta olabilmesi için eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gürgen talaşına öğütme işleminden sonra eleme işlemi uygulanmıştır. Yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 850, 425, 150 mikron (μm) boyutundaki eleklerden geçirilmiştir ve 425 mikron'luk (μm) elek kullanılmak için kenara alınmıştır.

Çam talaşı da öğütme işleminden sonra yukarıdan aşağıya doğru 425, 150 mikron (μm) eleklerden geçirilmiştir ve 425 mikron (μm) olan kullanılmak için kenara alınmıştır. Eleme işlemi için kullanılan cihaz şekil 6.2'de verilmektedir.



Şekil 6.2: Eleme aşamasında kullanılan cihazlar.

Öğütülmüş çam talaşının tozu, gürgen talaşının tozu ve PLA tozu, 24 saat sürede 70°C etüvde nemin giderilmesi amacıyla bekletilmiştir. Şekil 6.3'de işleme ait görüntü mevcuttur.



Şekil 6.3: Çam talaşı, gürgen talaşı ve PLA tozunun etüvde bekletilmesi.

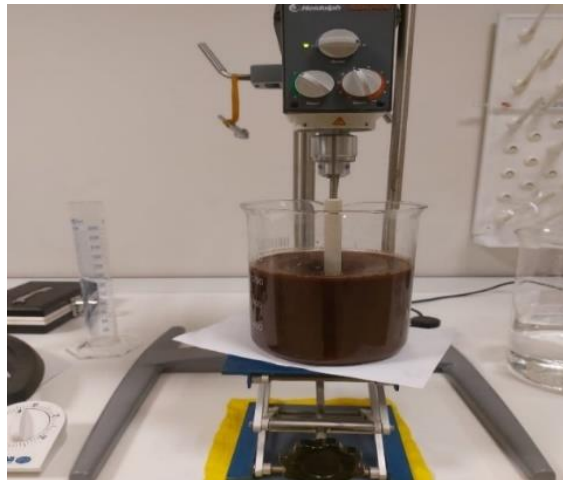
6.2.1.2 Alkali modifikasyon işlemi

Alkali modifikasyon yapılacak olan gürgen ve karaçam talaşının ilk olarak nem tayini yapılmıştır. Gürgen talaşında, 12.8 nem, çam talaşında ise 8.22 nem oranı elde edilmiştir. Daha sonra gürgen ve karaçam talaşının modifikasyon işlemi için ön hazırlık yapılmıştır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1: Alkali modifikasyon işlem parametreleri.

Numune	Süre (saat)	Sıcaklık °C	Katı-Sıvı Oranı	NaOH Çözeltisi (M)
Gürgen	1	70	1:12	0.5
Karaçam	1	70	1:12	0.5

Çam ve gürgen numuneleri için modifikasyon işleminde kullanılan cihaz şekil 6.4’de, etüv’de kurutma işlemi için kullanılan cihaz şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.4: Çam ve gürgen talaşı ile PLA'nın karıştırıcı işlemi.



Şekil 6.5: Modifikasyona uğrayan örneklerin etüvde kurutulma işlemi.

6.2.1.3 Ekstrüder işlemi

Tez çalışması kapsamında şekil 6.6’da verilen Ø16 mm çift vidalı ekstrüder cihazı kullanılmıştır. Cihaz PLA ve diğer karışım malzemeler için ise 60 rpm hızda farklı segmentlerde maksimum 220°C’de çalıştırılmıştır.



Şekil 6.6: Kullanılan ekstrüder cihazı.

Cihazdan çekilen biyokompozitler şerit halinde su banyosuna alınarak soğutulmuştur. Uzun şerit halinde olan ve soğutulan biyokompozitler kırıcıda kırılarak granül haline getirilmiştir. Granül boyutlarına indirilmesinin sebebi sıcak presleme işleminde biyokompozit granüllerinin kalıp içerisine kolayca serilmesini ve homojenliğin sağlanmasıdır. İlk aşamada su ile soğutulan ve ardından öğütücü ile granülleştirilen biyokompozitler, içerisindeki nemin uzaklaştırılması için 12 saat boyunca 70°C’de etüvde bekletilmiştir.

Çalışma kapsamında 9 adet grup üzerinde deneyler sürdürülmüştür. Bu gruplara dair detay ve içerikleri çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2: Çalışmada kullanılan numuneler ve içerikleri.

Örnek	Kontrol Grubu	Kodu	İçerik (%)
1	Kontrol	K	% 100 PLA
2	Gürgen 15	G15	%85 PLA, %15 Gürgen,
3	Gürgen 30	G30	%70 gr PLA, %30 Gürgen,
4	Modifiye Edilmiş Gürgen 15	MG15	%85 gr PLA, %15 Gürgen,
5	Modifiye Edilmiş Gürgen 30	MG30	%70 gr PLA, %30 Gürgen,
6	Çam 15	Ç15	%85 gr PLA, %15 Çam,
7	Çam 30	Ç30	%70 gr PLA, %30 Çam,
8	Modifiye Edilmiş Çam 15	MÇ15	%85 gr PLA, %15 Çam,
9	Modifiye Edilmiş Çam 30	MÇ30	%70 gr PLA, %30 Çam,

Çalışmada tüm örneklerle ağırlıkça 1,5 gr yani %1 oranında metakaolin kullanılmıştır.

6.2.1.4 Sıcak presleme işlemi

Sıcak presleme işlemi, yüksek aktivasyonlu materyaller ve sinterleme davranışı düşük materyallerin meydana getirilmesi amacıyla kullanılan bir yöntem biçimidir (Upadhyaya, 2002). Presleme ile çalışılacak hammadde, cihaz ortasına koyulan maddeyi düz bir levha şekline getirmektedir. Çalışmamızda granül halindeki biyokompozitler sıcak presleme ile levha haline getirilmiştir. Sıcak presleme işleminde çelikten imal edilerek kullanılan kalıbın dış ölçüsü 2.5 cm'e 2.5 cm, iç ölçüleri ise 2 cm'e 2 cm'dir, kalıbın kalınlığı ise 3 mm şeklindedir ve her örnek için aynı kalıp kullanılmıştır. Çelikten imal edilmesinin sebebi presleme esnasında içerideki eriyen granül malzemenin taşmasını engellemek ve basınç kalınlık optimizasyonunu sağlamaktır. Granül kompozitler sıcakta eridiği için, eriyen malzemenin çelik kalıba yapışmaması için çelik kalıp içerisine alüminyum folyo ile sarılarak biyokompozit örnekleri konulmuştur (Şekil 6.7).



Şekil 6.7: Alüminyum folya ile sarılmış sıcak pres kalıbında talaş görüntüsü.

Biyokompozit kalıp içerisine yerleştirildikten sonra kalıbın her iki tarafıda teflon plakalar ile kapatılmıştır (Şekil 6.8). Kalıp içerisine her bir örnek için 150 gr olacak şekilde biyokompozitler yerleştirilmiştir. Presleme basıncı 5 bar ve presleme sıcaklığı ise 180°C’de 5 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek için aynı adımlar tekrarlanmıştır. Presleme işlemi tamamlanmasının ardından carver laboratuvar tipi pres sistemi 25°C sıcaklığında su ile soğutulmuştur.



Şekil 6.8: İki tarafıda yanmaz kağıt ile kaplı prese hazır kalıp görüntüsü.

Sıcak presleme şekil 6.9’da görüldüğü gibi biyokompozit plakalar elde edilmiştir.



Şekil 6.9: Presleme işlemi sonrasında elde edilen biyokompozit.

6.2.1.5 Örnek hazırlama

Elde edilen biyokompozit plakalar standart test örnekleri boyutuna su jeti işlemine tabi tutularak kestirilmiştir. İşlem sonrasında su jetinden çıkan ve şartlandırılmış odada bekletilen numuneler isimlendirilmiştir, elde edilen kompozit numuneler şekil 6.10’de gösterilmektedir.



Şekil 6.10: Su jeti işlemi sonrasında şartlandırılmış odada bekletilen numuneler.

6.2.2 Üretilen biyokompozitlerin fiziksel, mekanik, morfolojik ve termal özelliklerinin belirlenmesi

6.2.2.1 Biyokompozitlerin fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Yoğunluk

Üretilen kompozit numunelerin yoğunluk değerleri, ASTM D792 numaralı standarda göre yapılmıştır. Numunelerin ağırlıkları ilk olarak şartlandırılmış oda koşullarında ± 0.01 g duyarlıklı terazide tartılıp ölçülmüştür ve sonrasında numuneler 20°C sıcaklıkta distile suda deney süresince bekletilmiştir. Ölçümler; 2, 24, 48, 72, 96, 120, 168 saat, 2, 3 ve 6 hafta aralıklarla aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu periyotlar ardından suyun içinden alınan numunelerdeki fazla su bez ile uzaklaştırılmıştır. Ardından ağırlıkları $\pm 0,01$ g duyarlıklı terazide ölçülmüştür. Herbir grup için 5 adet numune kullanılmıştır.

Deney numunelerinin yoğunlukları aşağıdaki denklem 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4’e göre hesaplanmıştır.

$$V \text{ (cm}^3\text{)} = a \text{ (mm)} \times b \text{ (mm)} \times c \text{ (mm)} / 1000 \quad (6.1)$$

V: Örneğin şartlandırılan oda koşullarında hesaplanan hacim (cm³)

a: Örneğin şartlandırılan oda koşullarında hesaplanan en (mm),

b: Örneğin şartlandırılan oda koşullarında hesaplanan boy (mm),

c: Örneğin şartlandırılan oda koşullarında hesaplanan kalınlık (mm) anlamındadır.

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = m \text{ (g)} / V \text{ (cm}^3\text{)} \quad (6.2)$$

ρ : Örneğin şartlandırılan oda koşullarında hesaplanan yoğunluk (g/cm³),

m: Örneğin şartlandırılan oda koşullarında hesaplanan ağırlık (g),

V: Örneğin şartlandırılan oda koşullarında hesaplanan hacim (cm³) anlamındadır.

$$V' \text{ (cm}^3\text{)} = a' \text{ (mm)} \times b' \text{ (mm)} \times c' \text{ (mm)} / 1000 \quad (6.3)$$

V': Örneğin suyun içinde bekletilmesinin ardından ölçülen hacmini (cm³),

a': Örneğin suyun içinde bekletilmesinin ardından hesaplanan en (mm),

b': Örneğin suyun içinde bekletilmesinin ardından hesaplanan boy (mm),

c': Örneğin suyun içinde bekletilmesinin ardından hesaplanan kalınlık (mm) anlamındadır.

$$\rho' \text{ (g/cm}^3\text{)} = m' \text{ (g)} / V' \text{ (cm}^3\text{)} \quad (6.4)$$

ρ' : Örneğin suyun içinde bekletilmesinin ardından ölçülen yoğunluk (g/cm³),

m': Örneğin suyun içinde bekletilmesinin ardından hesaplanan ağırlık (g),

V': Örneğin suyun içinde bekletilmesinin ardından ölçülen hacim (cm³) anlamındadır.

Su alma oranı

Üretilen kompozit numunelerin su alma düzeyi ASTM D792 numaralı standarda göre yapılmıştır. Numunelerin kütleleri ± 0.01 g duyarlıklı terazide ölçülmüştür ve daha sonra numuneler 20°C sıcaklıktaki destile suyun içinde deney boyunca bırakılmıştır. Ölçümler; 2, 24, 48, 72, 96, 120, 168 saat, 2, 3 ve 6 hafta arayla aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu periyotlar sonrasında su içinden alınan numunelerdeki fazlaca su bez yardımı ile uzaklaştırılarak kütleleri $\pm 0,01$ g duyarlıklı terazide ölçülmüştür. Her grup için 5 adet numune kullanılmıştır. Üretilen kompozit numunelerin su alma oranları, her bir deney numunesinin ilk ağırlıkları hassas tartı ile ölçülmüştür. Bekleme sürelerinin tamamlanmasının ardından deney numuneleri sudan çıkartılmıştır ve fazla su, bezle alınıp ve şişmiş haldeki ağırlığı, hassas tartıyla ölçülmüştür. Deney numunelerinin su alma oranları aşağıdaki denklem 6.5'ye göre hesaplanmıştır.

$$W \text{ (\%)} = \{ [W1 \text{ (g)} - W0 \text{ (g)}] / W0 \text{ (g)} \} \times 100 \quad (6.5)$$

W: Numunenin ölçülen su alma oranı (%),

W0: Numunenin şartlandırılan oda koşullarındaki hesaplanan ağırlığı (g),

W1: Numunenin suyun içinde bırakılması sonrasında hesaplanan ağırlığı (g) anlamındadır.

Kalınlık artış oranı

Üretilen kompozit numunelerin kalınlık artış düzeyleri EN 317’de belirtilen esaslara göre gerçekleştirilmiştir. Numune kalınlıkları, numunenin tam ortasından dijital kumpas ile ölçülmüştür. Sonrasında numuneler 20°C sıcaklıkta distile suyun içinde deney bitene kadar bırakılmıştır. Ölçümler; 2, 24, 48, 72, 96, 120, 168 saat, 2, 3 ve 6 hafta arayla aşamalı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu periyotlar sonrasında suyun içinden alınan numunelerdeki fazla su bez yardımı ile uzaklaştırılmıştır ve kalınlıkları ilk olarak ölçülen işaretlenmiş noktadan yeniden hesaplanmıştır. Her grup için 5 adet numune kullanılmıştır. Kalınlık artış oranı ölçümleri denklem 6.6 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$T (\%) = \{ [T1 (\text{mm}) - T0 (\text{mm})] / T0 (\text{mm}) \} \times 100 \quad (6.6)$$

T: Numunenin ölçülen kalınlık artış oranı (%),

T0: Numunenin şartlandırılan oda koşullarındaki hesaplanan kalınlığı (mm)

T1: Numunenin suyun içinde bırakılmasının sonrasında hesaplanan kalınlığı (mm) anlamındadır.

6.2.2.2 Biyokompozitlerin mekanik özelliklerin belirlenmesi

Eğilme direnci

Eğilme testi için şekil 6.11’de verilen ASTM D 790 3 nokta eğilme standardına uygun olarak, SHIMADZU AG-IC Üniversal Test Cihazı kullanılmıştır. Biyokompozit numunelere, ASTM D790 3 nokta eğilme standardına uygun olarak eğilme testi yapılmış olup maksimum gerilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri elde edilmiştir. Her grup için 5 adet numune kullanılmıştır.



Şekil 6.11: Eğilme testi için kullanılan cihaz.

Deney numunelerinin eğilme dayanımı değerleri aşağıdaki denklem 6.7'e göre hesaplanmıştır.

$$E \text{ (N/mm}^2\text{)(Mpa)} = \{F_{\max} \text{ (N)} \times [d \text{ (mm)}]^2\} / \{4 \times b \text{ (mm)} \times [c \text{ (mm)}]^2 \times l \text{ (mm)}\} \quad (6.7)$$

E: Eğilmede elastikiyet modülünü (N/mm²)(Mpa),

F_{max}: Kırılma anındaki maksimum kuvveti (N),

d: Dayanak noktaları arasındaki mesafeyi (mm),

b: Örneğin genişliğini (mm),

c: Örneğin kalınlığını (mm),

l: Örneğin eğilme miktarını (mm) belirtmektedir.

Çekme direnci

Çekme işlemi için şekil 6.12'de verilen ASTM D 638 standardına uygun olarak, SHIMADZU AG-IC Ünlversal Test Cihazı kullanılmıştır. Çekme testinde; elastikiyet modülü ve maksimum gerilme (çekme direnci) değerleri elde edilmiştir. Her grup için 5 adet numune kullanılmıştır.



Şekil 6.12: Çekme testi için kullanılan cihaz.

Deney numunelerinin çekme direnci değerleri aşağıdaki denklem 6.8 ve 6.9'a göre hesaplanmıştır.

$$\epsilon = l_{\max} \text{ (mm)} / l_0 \text{ (mm)} \quad (6.8)$$

ε: Numunenin uzama oranı,

l_{max}: Numunenin boyundaki maksimum uzama (mm),

l₀: Numunenin ilk boy ölçüsü (mm) anlamında kullanılmıştır.

$$E \text{ (N/mm}^2\text{) (Mpa)} = \sigma \text{ (N/mm}^2\text{) (Mpa)} / \epsilon \quad (6.9)$$

E: Örneğin elastikiyet modülünü (N/mm²) (Mpa),

σ : Örneğin maksimum gerilmesini (N/mm²) (Mpa),

ϵ : Örneğin uzama oranını belirtmektedir.

6.2.2.3 Biyokompozitlerin termal özelliklerin belirlenmesi

TGA analizi

Termogravimetrik analiz (TGA) ile numunelerdeki kütle kaybı ve bozunmaya uğradığı ısı kararlılık dereceleri gözlemlenmiştir. Bu analiz, test edilen malzemenin, termal kararlılığının, bozunma sıcaklığının ve mekanizmasının belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Numuneler TGA analizinden önce şekil 6.13’de gösterilen laboratuvar tipi mini değirmen cihazında (Ika MF 110) öğütülmüş, 5 mg toz örnek kullanılarak statik hava atmosferinde 10°C/dak ısıtma hızıyla oda sıcaklığından 800°C’ye kadar ısıtılarak termogravimetrik test uygulanmıştır.



Şekil 6.13: Öğütme işleminde kullanılan öğme makinası.

TGA testi için kullanılan cihaz şekil 6.14’de gösterilmiştir.



Şekil 6.14: TGA analizi için kullanılan cihaz.

FTIR analizi

Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizi ile numunelerdeki hidrojen bağlarının kuvveti ve bu bağ ile bağlanmış kısımlar incelenmiştir. FTIR analiz testinden önce öğütülmüş biyokompozit numuneler, 12 saat süreyle 70°C'deki etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. Numunelerdeki fonksiyonel grupları inceyebilmek adına FTIR spektrumları, Bruker Tensor 37 cihazı ATR modülü kullanılarak elde edilmiştir. Analiz 4000-400cm⁻¹ dalga boyu aralıklarında, 4cm⁻¹ çözünürlüğünde, 32 ölçüm biçiminde yapılmıştır. Spektrumlar Bruker OPUS yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.



7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez araştırması için elde edilen PLA, çam ve gürgen talaşının özellikleri giriş kısmında ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. Tez çalışması için hazır hale getirilen bu biyokompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Birbirinden farklı özellik sınıflarının içeriğindeki işlemler şu şekildedir; fiziksel niteliklerin tespitinde yoğunluk, su alma ve kalınlık artış oranlarına bakılmıştır. Diğer yandan mekanik özelliklerinin belirlenmesinde; çekme direnci ve eğilme direnci testleri uygulanmıştır ve termal özelliklerin tespiti için; termogravimetrik analiz, karışım örnekleri arasındaki kimyasal etkileşim değerlerinin piklerine bakabilmek için FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada elde edilen veriler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

7.1 Fiziksel Özellik Verileri

7.1.1 Yoğunluk sonuçları

Çalışmada fiziksel özellik belirlenmesindeki yoğunluk testinin yapılış gayesi, numunelerin suda beklediği zaman sürecinde bünyelerinden herhangi bir kütlenin kaybolmasındaki ve bununla beraber numunenin deformasyona uğraması durumundaki oluşabilecek değişimleri gözlemleyerek tespit etmektir. Çizelge 7.1’de tez çalışması kapsamında suyun içinde bırakılan numunelerin başlangıçtaki yoğunluk değerlerinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.1: Numunelerin başlangıçtaki yoğunluk değerleri.

Numuneler	K	G15	G30	MG15	MG30	Ç15	Ç30	MÇ15	MÇ30
İlk Ölçümler									
Yoğunluk (%)	1.16	1.21	1.20	1.18	1.23	1.09	1.19	1.17	1.18

İlk ölçümlerde; K örneği Ç15 örneği hariç diğer numunelerden daha düşük yoğunluk vermiştir. Aynı zamanda gürgen ile modifiye gürgen arasındaki karşılaştırmada modifiye gürgen örneğinin K numunesine daha yakın sonuç verdiği ve çam ile modifiye çam arasında ise modifiye çamın K numunesine daha yakın sonuç verdiği

görülmektedir. Buradan saf PLA'ya göre modifiye odunun suda daha fazla yoğunluğa ulaştığı kanısına varılabilir. Nedeni ise PLA'nın suyu sevmemesi ve odunsu yapıların su çekme isteğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan yoğunluk oranı ölçüm sonuçlarında kullanılan odun örneklerinin, elde edilen biyokompozite su alma oranı bazında çok önemli fark oluşturabilecek bir etkisi tespit edilememiştir.

7.1.2 Su alma oranı sonuçları

Çizelge 7.2'de tez çalışmasında suyun içinde bırakılan numunelerin su alma oran sonuçları verilmiştir. Su alma testinde standart sapma ± 2 olarak hesaplanmıştır.

Su alma ölçümü sonuçlarına göre 2 satten 6 haftaya kadar olan ölçümlerde sabit bir numunenin, devamlı olarak yüksek su alma oranı veya düşük su alma oranına sahip olmadığı görülmüştür. Saatler bazında numunelerin su alma oranlarında ki değişimler şu şekildedir; 2-24 saatleri arasındaki ölçümlerde MG15 numunesi en düşük artışı verirken, MÇ30 en yüksek artışı göstermiştir. 24-48 saatleri arasındaki ölçümlerde MG30 en düşük artışı verirken, Ç15 en yüksek artışı göstermiştir. 48-72 saatleri arasındaki ölçümde G15 en düşük artışı, Ç30 en yüksek artışı vermiştir. 72-96 saatleri arasında MÇ15 en düşük artışı verirken, Ç30 ve MÇ30 numuneleri en yüksek artışı göstermiştir. 96-120 saatleri arasındaki ölçümlerde ise G30 en düşük artışı, MÇ30 ise en yüksek artışı vermiştir. 120 saatten 168 saate kadarki ölçümlerde K ve MG30 numuneleri en düşük artışı verirken, G15 ve MG15 örnekleri en yüksek artışı göstermiştir. 168 saatten 2 haftalık ölçümlerde en düşük artışı G15, en yüksek artışı ise Ç15 numunesinin verdiği görülmüştür. 2 haftalık ölçümlerde örnekler belli doygunluk seviyesine ulaşmış olmalı ki, 2-6 hafta arasında numunelerde % olarak daha yüksek artış gözükmemektedir. Yüksek artışın MÇ30 örneğinde olduğu saptanmıştır.

Tablo incelendiğinde bütün su alma oran değerlerinin artarak ilerlediği su alma oranında bir düşüş yaşanmadığı görülmüştür. Buna göre numunelerde gözenekli yapıların istenildiği gibi su ile dolduğu söylenebilir. K numunesinde su alma artış oranları 24-96 saat arasında ve 168 saat ile 2 hafta arasındaki ölçümler sabit kaldığı görülmüştür. Bunun nedeni su alma potansiyelinde doygunluğa ulaşmasıdır. Daha sonraki ölçümlerde artarak devam ettiği görülmüştür.

Çizelge 7.2: Numunelerin su alma artış oranı değişimleri (%).

Numune Adı	(2h)	(24h)	(48h)	(72h)	(96h)	(120h)	(168h)	(2 Hafta)	(3 Hafta)	(6 Hafta)
K	0.25	0.37	0.37	0.37	0.37	0.78	0.80	0.80	0.88	1.08
G15	0.34	0.36	0.92	0.93	1.20	1.20	2.23	2.67	2.76	2.96
G30	0.37	0.54	0.95	1.32	1.84	1.91	2.51	3.94	4.10	4.13
MG15	0.35	0.36	0.84	1.08	1.71	1.91	2.72	3.92	4.00	4.04
MG30	0.29	0.41	0.41	0.81	1.05	1.50	1.90	2.72	3.53	4.35
Ç15	0.18	0.32	0.92	1.33	1.54	1.57	2.08	3.78	3.82	4.10
Ç30	0.31	0.73	1.18	1.68	2.86	3.05	3.95	4.92	4.93	5.24
MÇ15	0.35	0.38	0.71	0.79	0.96	1.04	1.45	2.26	2.29	2.44
MÇ30	0.33	0.95	1.07	1.07	2.25	3.20	4.01	4.82	5.14	5.38

Gürgen numunesi kendi arasında tartışıldığında; 6. hafta sonunda K numunesine en yakın değeri dolayısıyla bünyesine suyu en az oranda alan numunenin G15, en fazla oranda alan numunenin ise MG30 olduğu görülmüştür. Çam örneklerinde ise 6. hafta sonunda en az suyu MÇ15'in, en fazla oranda alan numunenin ise MÇ30 numunesi olduğu görülmüştür.

Takviye oranları karşılaştırıldığında ise %15'lik muamele gören örneklerin %30'luk muamele gören örneklerden daha iyi özellik gösterdiği sonucuna varılmaktadır. Bütün numuneler karşılaştırıldığında %15'lik modifiye çam odun (MÇ15) numunesinin 6 hafta sonunda K numunesine yakın sonucu veren dolayısıyla en az su alma oranına sahip görülmüştür. 6 hafta sonunda en fazla su alma oranına ise MÇ30'un sahip olduğu saptanmıştır. Buradan yola çıkarak saf PLA'ya göre %30 ile modifiye edilen gürgen ve çamın %15 ile modifiye edilen odun numunelerine göre iyi özellik göstermediği sonucuna varılmaktadır.

7.1.3 Kalınlık artış oranı sonuçları

Tez çalışması kapsamında suyun içinde bırakılan numunelerin yoğunluk değişim sonuçları verilmiştir. Kalınlık testinde standart sapma ± 2 olarak hesaplanmıştır. Kalınlık ölçüm sonuçlarına göre 2 satten 6 haftaya kadar olan ölçümlerde sabit bir numunenin, devamlı olarak yüksek kalınlık oranı veya düşük kalınlık oranına sahip olmadığı görülmüştür. Saatler bazında numunelerin kalınlık oranlarında ki değişimler şu şekildedir; 2 saatten 24 saate kadarki sonraki ölçümlerde G15 numunesi en düşük artışı yaparken, Ç30 numunesi gerçekleştirmiştir. 24 saatten 48 saate kadar olan ölçümlerde K en düşük artışı verirken, MG30 en yüksek artışı göstermiştir. 48-72 saatleri arasındaki ölçümde MG15 en düşük artışı, MÇ30 en yüksek artışı vermiştir. 72-96 saatleri arasında MÇ15 en düşük artışı verirken, G30 ve MG15 numuneleri en yüksek artışı göstermiştir. 96-120 saatleri arasındaki ölçümlerde ise MÇ15 en düşük artışı, G30 ve MG15 numuneleri en yüksek artışı vermiştir. 120 saatten 168 saate kadarki ölçümlerde K numunesi en düşük artışı verirken, Ç15 en yüksek artışı göstermiştir. 168 saat ölçümlerinde numuneler en fazla artışı %0.92 oranıyla gerçekleştirmiştir ve örnekler belli doygunluk seviyesine ulaşmış olmalı ki, 168 saatten 6 haftaya kadarki ölçümlerde, numunelerin % olarak daha yüksek artış vermediği görülmektedir. Tablo incelendiğinde 2 saatten 6 haftaya kadar en yüksek artışın MÇ30 numunesinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.3 incelendiğinde bütün kalınlık değerlerinin artarak ilerlediği kalınlık artış oranında bir düşüş yaşanmadığı görülmüştür. Buna göre numunelerde gözenekli yapıların istenildiği gibi su ile dolduğunu söyleyebiliriz.

K numunesinde kalınlık artış oranları 24 saate kadar sabit kalmıştır. Bunun nedeni su alma potansiyelinde doygunluğa ulaşmasıdır. Daha sonraki ölçümlerde artarak devam ettiği görülmüştür. 6 haftalık test sonucunda K numunesine en yakın değeri veren numunenin G15 olduğu ancak 2 satten 6 haftaya kadar olan kalınlık artış oranlarına bakıldığında K'ya en yakın değerin, dolayısıyla en düşük kalınlık artışına sahip olan aynı zamanda en iyi özelliği gösteren numunenin MÇ15 numunesi olduğu görülmüştür. K numunesine en uzak sonucu ise MÇ30 numunesinin verdiği görülmektedir. Buradan MÇ30'un iyi bir özellik sergilemediği sonucuna varılabilir.

Gürgen örnekleri kendi arasında karşılaştırıldığında G15'in, çam örnekleri arasında ise MÇ15'in 6. hafta sonunda en düşük kalınlık artış oranıyla en iyi özellikleri verdiği görülmektedir. Çam ile gürgen numuneleri arasındaki karşılaştırmada ise %15'lik modifiye edilen çamın K numunesine daha yakın dolayısıyla PLA'nın özelliklerinin kötüleştirilmeden koruyan örnek olmasıyla ön plana çıkmaktadır. Takviye oranları karşılaştırıldığında ise %15'lik muamele gören örneklerin %30'luk muamele gören örneklerden daha iyi özellik gösterdiği sonucuna varılmaktadır.

Avcı (2012), yaptığı araştırmada lignoselülozik materyal kapsamında karaçamı kullanmıştır ve çalışmada üretilen ahşap plastik kompozitlerin su alma ve kalınlık artış performansları tespit edilmiştir. Ölçümler neticesinde ahşap unu miktarının artmasına paralel şekilde ahşap plastik biyokompozitlerinde su alma ve kalınlık artış oranlarının arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacı bu durumu ahşabın hidrofilik yapıda olması ve su ile temas halinde kapladığı hacmin büyümesi ve buna bağlı olarak meydana gelen ağırlık ve hacimsel artış olarak açıklamıştır. Aykanat (2019), PLA matrisine odun unu takviyesini arttırdıkça biyokompozitlerin su alma oranında ve kalınlık oranında artış olduğunu tespit etmiştir ve artış oranlarının azalmasını biyokompozitlerin doygunluğa ulaşmasıyla ilişkilendirmiştir. Yapılan başka bir çalışmada odun takviyeli biyokompozitlerin özelliklerini araştırılmıştır ve biyokompozitlerde takviye oranının artmasıyla su alma ve kalınlık oranlarında artış saptanmıştır (Hacıoğlu, 2022; Türk, 2022). Çalışmada gürgen odunu ve çam odunu kendi arasında kıyaslandığında %30'luk muamele gören numunelerin %15'lik muamele gören numunelere kıyasla oldukça fazla su alma oranına sahip olduğu görülmektedir ve bu durum literatürdeki çalışmalarla uyumluluk göstermektedir.

Çizelge 7.3: Numunelerin kalınlık artış oranı değişimleri (%).

Numune Adı	(2h)	(24h)	(48h)	(72h)	(96h)	(120h)	(168h)	(2 Hafta)	(3 Hafta)	(6 Hafta)
K	0.07	0.07	0.15	0.49	0.74	0.91	0.93	0.95	0.99	1.03
G15	0.21	0.26	0.65	0.69	0.79	0.79	0.89	1.41	1.93	2.45
G30	0.20	0.28	0.60	1.45	2.02	2.59	2.75	2.91	3.07	3.23
MG15	0.72	0.88	1.21	1.29	1.86	2.43	3.00	3.57	3.68	3.79
MG30	0.42	0.58	2.57	2.70	2.83	2.96	3.09	3.22	3.35	3.50
Ç15	0.54	0.54	0.77	0.77	0.85	1.41	2.33	2.47	2.59	2.86
Ç30	0.35	1.15	1.15	1.85	2.30	2.75	2.92	3.10	3.45	3.80
MÇ15	0.54	0.92	1.04	1.22	1.27	1.38	1.72	2.06	2.40	2.74
MÇ30	0.23	0.57	0.72	1.71	2.16	2.68	3.20	3.72	3.92	4.64

7.2 Mekanik Özellik Verileri

7.2.1 Çekme direnci test sonuçları

Çizelge 7.4’de mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan çekme testine ait sonuçlar verilmiştir. Maksimum çekme mukavemeti sonuçlarında görülmek istenen numunenin tokluk ölçüsüdür. Tokluk ölçüsü numuneyi bozunmaya uğratmak için gerekli ölçü değeridir. Test sonuçlarına bakıldığında kontrol grubunun en iyi çekme direnci ve en yüksek elastikiyet oranına sahip olduğu görülmektedir. Kontrol numunesine en yakın sonuçlar istenilen değerlerdir. Tablo incelendiğinde kontrol grubundan sonra çekme direnci en iyi MÇ15 numunesinde olduğu görülmektedir. Diğer yandan biyokompozit örneklerin çekme direnç değerleri, %100 PLA kullanılarak hazırlanan kontrol grubuna göre daha düşük sonuç vermiştir. Bu durum Aykanat (2019) ve Yang ve diğ. (2007) çalışmalarında bulunan sonuçlar ile uyumluluk göstermektedir.

Çizelge 7.4: Çekme direnci test değerleri.

Numune Adı	Çekme Direnci (N/mm ²)	Çekmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
K	43.21±7.40	1160.67±344
G15	14.70±3.19	1290.02±518
G30	10.97±1.15	1293.00±286
MG15	11.66±2.74	1523.36±230
MG30	6.93±2.05	1220.55±435
Ç15	11.45±2.86	692.10±313
Ç30	6.43±1.15	1028.20±218
MÇ15	14.99±2.76	916.81±389
MÇ30	11.17±1.40	2180.46±533

Yurttaş (2022), tarafından yapılan çalışmada, çekmede elastikiyet modül değerleri göz önüne alındığında sentezlenen kompozitin modifiye edilen odunun ve PLA matrisi arasındaki uyumluluğu iyileştirdiği görülmüştür.

PLA/odun unu dolgulu ilgili yapılan çalışmalarda belirtildiğine göre odun unu polimer zincirlerinin hareketliliğini azalttığı için PLA'nın sertliği artan odun unu içeriği ile birlikte artmaktadır (Hinestroza ve Netravali, 2014). Yang ve diğ. (2007), güçlendirici dolgu maddesi olarak pirinç kabuğu unu kullanan lignoselülozik bir materyalin mekanik özellikleri ve morfolojisi üzerinde uyumlaştırıcının etkisini incelemiştir. Dolgu yüklemesi arttıkça herhangi bir uyumlaştırıcı olmadan yapılan kompozitin,

çekme direncinde azalma ve daha fazla kırılabilirlik gösterdiği, ancak uyumlaştırıcı maddenin katılmasıyla mekanik özelliklerin büyük ölçüde iyileştiği sonucuna varılmıştır.

Aykanat (2019), tarafından yapılan çalışmada PLA/bazalt-odun lifi takviyeli hazırlanan biyokompozitlerin çekme testinde, numunelerin saf PLA'ya kıyasla çekme mukavemetinde özellikle %30 katkıyla birlikte fazlaca düştüğünü ifade etmiştir. Elde edilen biyokompozitlerin mekanik özelliklerinde saf PLA'ya göre çekme mukavemetlerinin düştüğü ve birkaç biyokompozit dışında diğer numunelerin eğilme dayanım mukavemetlerinin saf PLA'ya kıyasla düşük çıktığı bildirilmiştir. Mekanik test sonuçlarının düşük elde edilmesinin nedenlerinden biri ise biyokompozitin meydana getiren malzemelerin adezyonunu arttıracak uyumlaştırıcı kullanılmaması olduğu tespit edilmiştir.

7.2.2 Eğilme direnci test sonuçları

Çizelge 7.5'de mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan eğilme testine ait sonuçlar verilmiştir. Eğilme testinde numune, kopma anına kadar önemli derecede deformasyona uğramışsa o denli sünmüş, eğer daha az deformasyona uğramışsa o denli kırılmaya yatkın bir yapıdadır denilebilir.

Maksimum gerilme kuvveti ve elastikiyet modülü sonuçlarında numunelerin tokluk ölçülerine bakıldığında; kontrol grubuna en yakın eğilme direnci mukavemetininin MÇ15 numunesinin verdiği görülmektedir. Diğer yandan biyokompozit örneklerin eğilme direnç değerleri, %100 PLA kullanılarak hazırlanan kontrol grubuna göre daha düşük sonuç vermiştir. Bu durum Aykanat (2019) ve Yurttaş (2002)'de bulunan sonuçlar ile uyumluluk göstermektedir.

Çizelge 7.5: Eğilme direnci test değerleri.

Numune Adı	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
K	77.93±8,71	3099.73±178
G15	28.36±11,53	3153.86±530
G30	27.66±7,62	3824.76±762
MG15	19.97±6,79	3364.26±791
MG30	25.74±4,30	4369.20±244
Ç15	27.74±3,20	3112.04±342
Ç30	21.65±1,42	4096.58±332
MÇ15	48.19±5,16	3357.99±275
MÇ30	25.72±5,48	3842.80±523

Kim ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada PLA/odun unu ile ürettikleri kompozitin mekanik etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre %0-1.5 aralığında odun unu içeren biyokompozitlerin boyutsal kararlılığının ve çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülünün odun unu ilavesiyle arttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, elastikiyet modülü ve çekme direnci odun unu oranı %1.5'in üzerinde olduğunda, PLA/odun unu kompozitinin direnç değerleri, saf PLA' dan daha düşük çıktığını ve nedeninin odun unu ve PLA arasındaki kırık arayüz, aynı yük altında kompozitin farklı deformasyon özellikleri göstermesi ile açıklamışlardır.

Yurttaş (2022), tarafından yapılan çalışmada, genel olarak, numunelerin eğilme direncinin odun unu içeriği arttıkça azaldığı görülmüştür. Bu durumu odun unu liflerinin polimeri daha rijit ve kırılğan hale getirmesi yani polimer zincirlerinin hareketliliğinin azalması ile açıklanmıştır.

Aykanat (2019), yaptığı bir çalışmada PLA/bazalt-odun lifi takviyeli hazırlanan kompozitlerin eğilme testinde, biyokompozitlerinde resfans PLA'ya kıyasla daha iyi bir mukavemet gösterdiği sonucunu elde edilirken, çalışmamızda saf PLA'dan daha iyi sonuç veren biyokompozit örneği elde edilmemiştir.

7.3 Termal Özellik Verileri

7.3.1 Termogravimetrik analiz (TGA) testi sonuçları

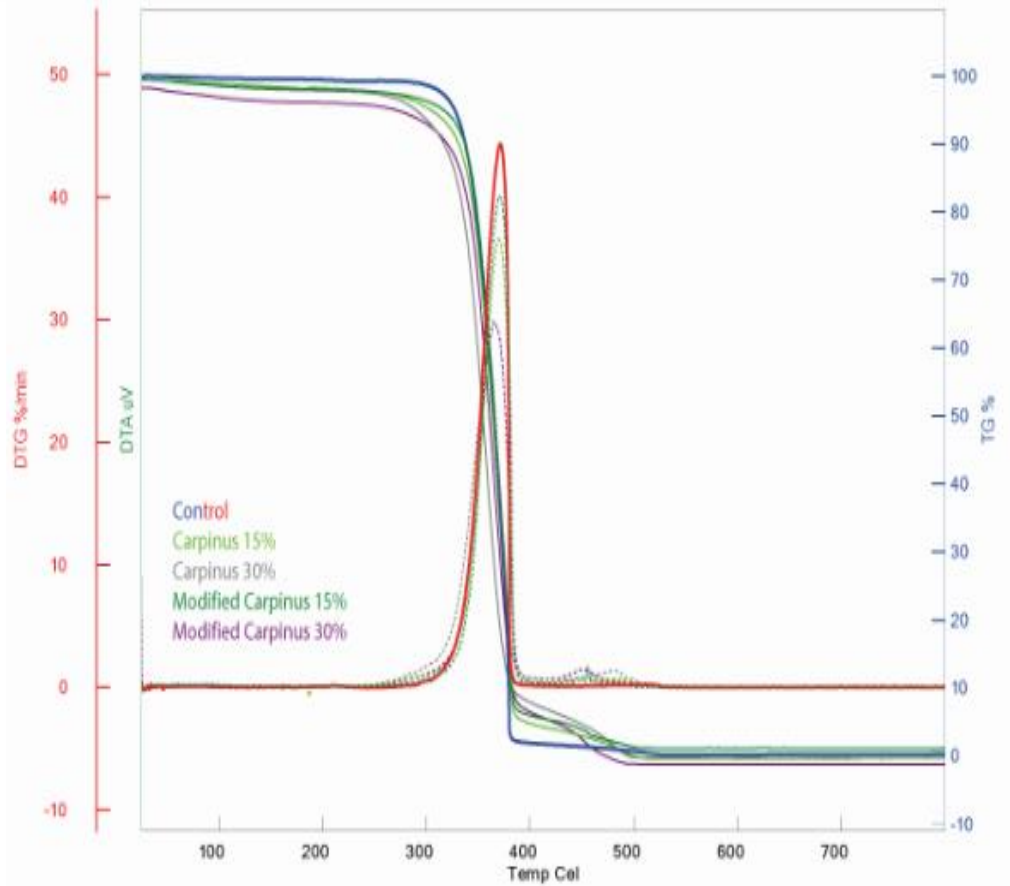
Termal özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan TGA testinde, 800°C'de kütle kayıplarının (Tg) % ve maksimum sıcaklık pik değerleri (DTG) çizelge 7.3'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Ç15 numunesinden daha az kütle kaybı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 7.6: TGA analiz sonuçları.

Numune Adı	DTG Maksimum Pik Değerleri °C	800°C'deki Kalan Madde Miktarı
K	372.5	%0.30
G15	371.5	%0.40
G30	361.6	%0.40
MG15	371.6	%1.10
MG30	372.5	%1.10
Ç15	272.6	%1.90
Ç30	282.6	%0.90
MÇ15	371.9	%0.30
MÇ30	291.2	%1.50

Numunelerin TGA eğrileri gürgen numunesi için şekil 7.1’de verilmiştir. Gürgene ait sonuçlar kendi arasında değerlendirildiğinde; kontrol numunesine en yakın piki MG15 numunesinin verdiği görülmektedir. Bu durumda termal bozulmaya karşı MG15’in iyi özellik sergilediğini göstermektedir. Ardından sırasıyla G15 numunesi, MG30 ve G30 numuneleri gelmektedir. Buradan matrise takviye oranı arttıkça termal bozulmaya karşı gösterilen direncin düştüğü sonucu elde edilmektedir ve %15’lik muamele gören numunelerin daha iyi performans sergilediği sonucuna varılmaktadır.

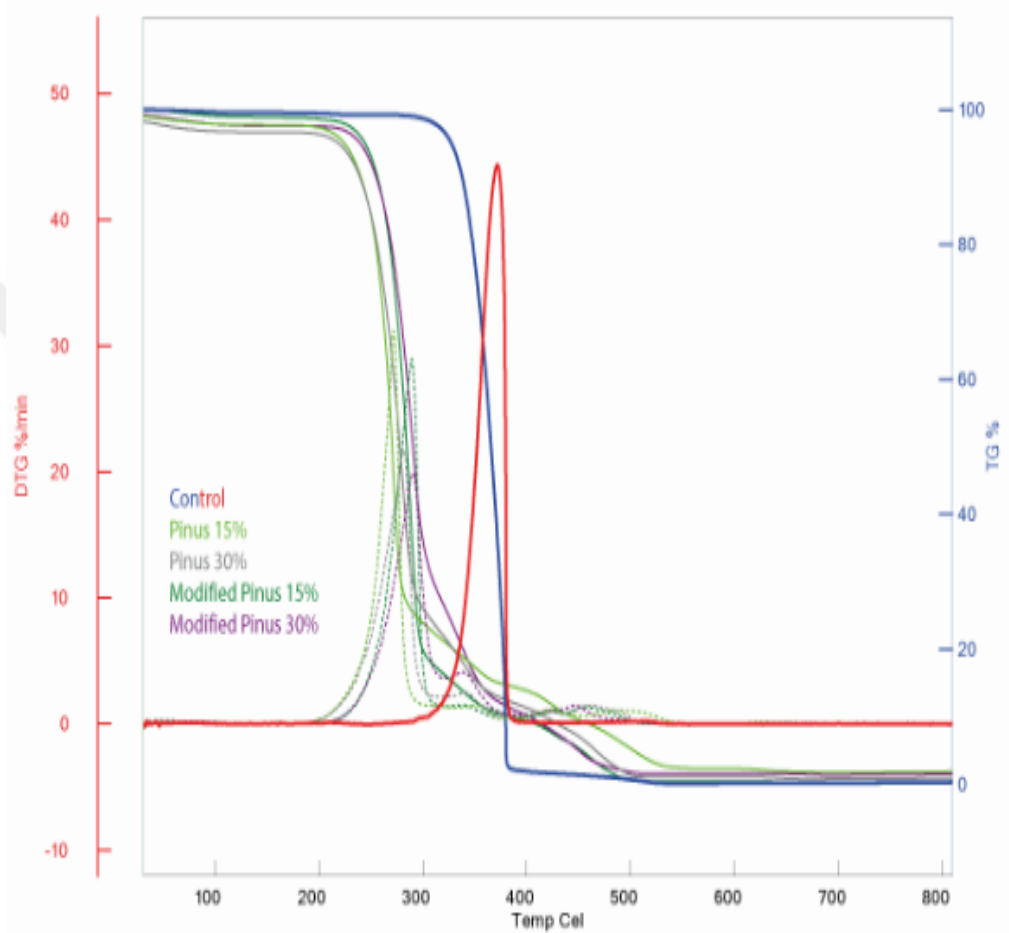
Pik değerleri ne kadar yüksekse numunenin ısıl kararlılığı okadar iyi demektir. Kontrol numunesi en iyi piki vermiştir çünkü PLA matrisinde ısı akışını engelleyebilecek bir bariyer nitelik bulunmamaktadır. Numunelerin yapısal olarak PLA matrisine ısı akışının engellenmesi ile bozulmaya karşı direnç göstermesi istenilen özelliktir ve bu özelliği en iyi MG15 numunesi vermiştir.



Şekil 7.1: Gürgen numunesi için TGA eğrisi.

Çam numunesi için TGA eğrileri şekil 7.2’de verilmiştir. Elde edilen pik değerlerine göre; en iyi pik değerini Ç15 numunesinden elde edildiği görülmektedir. Ardından sırasıyla MÇ15, Ç30 ve MÇ30 numuneleri gelmektedir. MÇ15 numunesinin Ç30 ve

MÇ30'a göre daha yukarda pik verdiği görülmektedir. Verilere bakıldığında matrise takviye oranı arttıkça termal bozunmaya karşı gösterilen direncin düştüğü sonucu elde edilmektedir ve %15'lik muamele gören numunelerin daha iyi performans sergilediği sonucuna varılmaktadır. Bu verilere göre PLA kompozitine ısı akışını kontrol grubundan sonra en az Ç15 numunesinin sağladığını ve ısıl kararlılık ile bozulmaya karşı en yüksek direnci gösteren numune olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 7.2: Çam numunesi için TGA eğrisi.

Browne ve Brenden (1964), yaptıkları çalışmada odun bileşenlerinin farklı sıcaklıklarda bozunma gerçekleştirdiğini ve bu bozunmanın devam ettiğini tespit etmişlerdir. Bu değerler; hemiselülozlar 200-260°C, selüloz 240-350°C ve lignin için 280-500°C olarak belirlenmiştir ve ayrıca ligninin ve selülozun pirolizi sonucunda ligninin daha fazla kalıntı kömür oluşturduğunu belirtmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada Ji ve diğ. (2020), termal testlerde lignin ve lignin ilaveli biyokompozitlerin, düşük başlangıç sıcaklıkları nedeniyle PLA ile üretilenden daha düşük termal stabilite gösterdiğini belirtmişlerdir. Yurttaş (2022), yaptığı çalışmada polilaktik asit ile modifiye edilen odunun TGA test eğrilerinde saf PLA'nın bozunma başlangıç

sıcaklığının diğer ölçüm numunelerinden daha yüksek seviyede olduğu görülmüştür. Başka bir çalışmada biyokompozitlerdeki takviye miktarının yükselmesiyle, kalan kalıntı madde miktarında artışın paralel ilerlediği gözlemlendiği tespit edilmiştir ancak çalışmamızda takviye miktarı arttıkça kalan madde miktarında sürekli bir artış söz konusu değildir aksine modifiye çam numuneleri hariç, takviye oranı arttıkça kalan madde miktarında sabitlik veya azalma görülmüştür (Aykanat, 2019). Huda ve diğ. (2005), yaptıkları araştırmada, biyokompozitlerin termal kararlılığının, takviye oranındaki artışla ters orantılı olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durum çalışmamızda ortaya çıkan DTG eğrileri ile uyumluluk göstermektedir.

7.3.2 FTIR analiz testi sonuçları

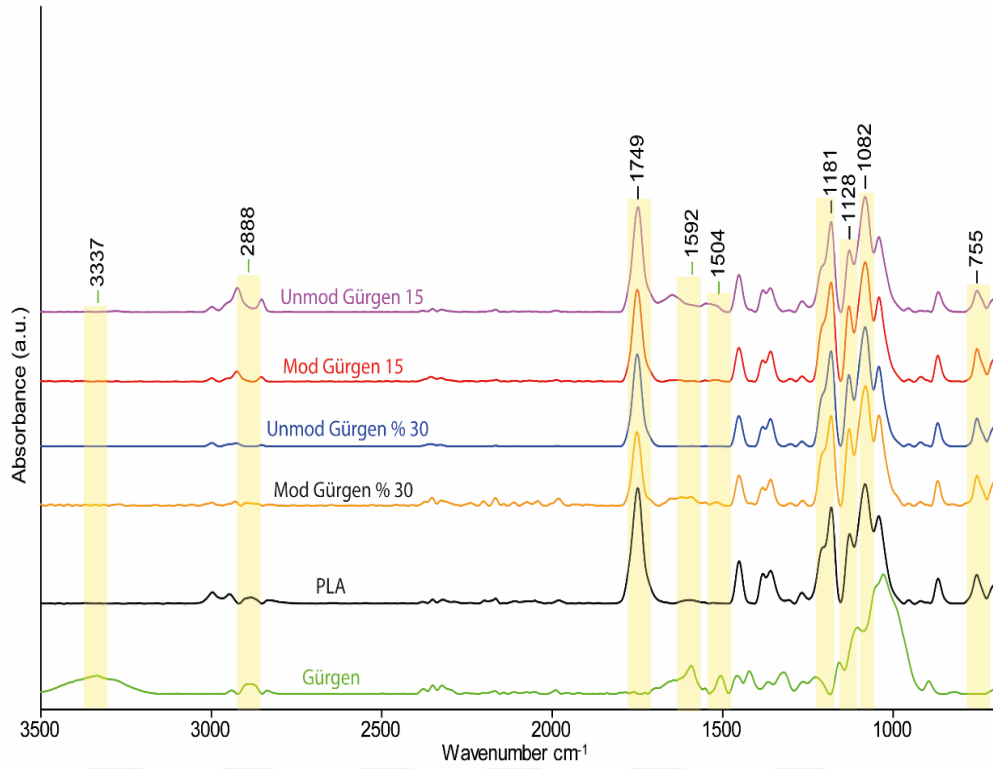
Literatür incelendiğinde PLA polimeri için karakteristik FTIR pikleri, 1749 cm^{-1} , 1181 cm^{-1} , 1128 cm^{-1} , 1082 cm^{-1} ve 755 cm^{-1} 'de görülmektedir (Buzarovska, 2013; Cai ve diğ, 2013). Görülen pik değerleri PLA'nın ester gruplarından kaynaklanmaktadır (Xu ve diğ, 2009). 2996 cm^{-1} 'de ve 2946 cm^{-1} 'de belirlenen pikler CH_3 gerilim pikleridir (Cai ve diğ, 2013). Karbonil piki 1749 cm^{-1} 'de görülmektedir (Garcia ve diğ, 2012; Paragkumar ve diğ, 2006). C-O-C gerilim piki 1082 cm^{-1} 'de görülmektedir (Paragkumar ve diğ, 2006).

3338 cm^{-1} piki ahşap örnekleri için OH gerilim bölgesinde görülmektedir (Kocaefe ve diğ, 2008). Bu pik, su ve tüm temel bileşenlerin içerdiği hidrojen bağlı OH gruplarına karşılık gelmektedir. Modifiye edilmiş ahşap ile hazırlanan örneklerde bu pik NaOH modifikasyonuna bağlı olarak ortadan kalkmıştır (Gonultas ve Candan, 2018; Esteves ve diğ, 2013; Mattos ve diğ, 2015; Missio ve diğ, 2015; Tjeerdsma ve Militz, 2005).

Ahşap örneklerinde $2888\text{--}2894\text{ cm}^{-1}$ bölgesi C-H gerilim pikidir. Bu pik modifiye edilmemiş çam biyokompozit örneklerinde daha geniş, şiddetli ve yüksek dalga boylarına kaymıştır. Bu genişleme, ekstrüder aşamasındaki termal etkiden dolayı hemiselülozlardan asetil gruplarının oksidasyonu ve hidrolizi nedeniyle olabilir (Esteves ve diğ, 2013; Gonultas ve Candan, 2018). Modifiye çam biyokompozit örneklerinde ise bu pik belirsizdir. Bu durum çam örneklerinde alkali modifikasyon etkisini ortaya koymaktadır.

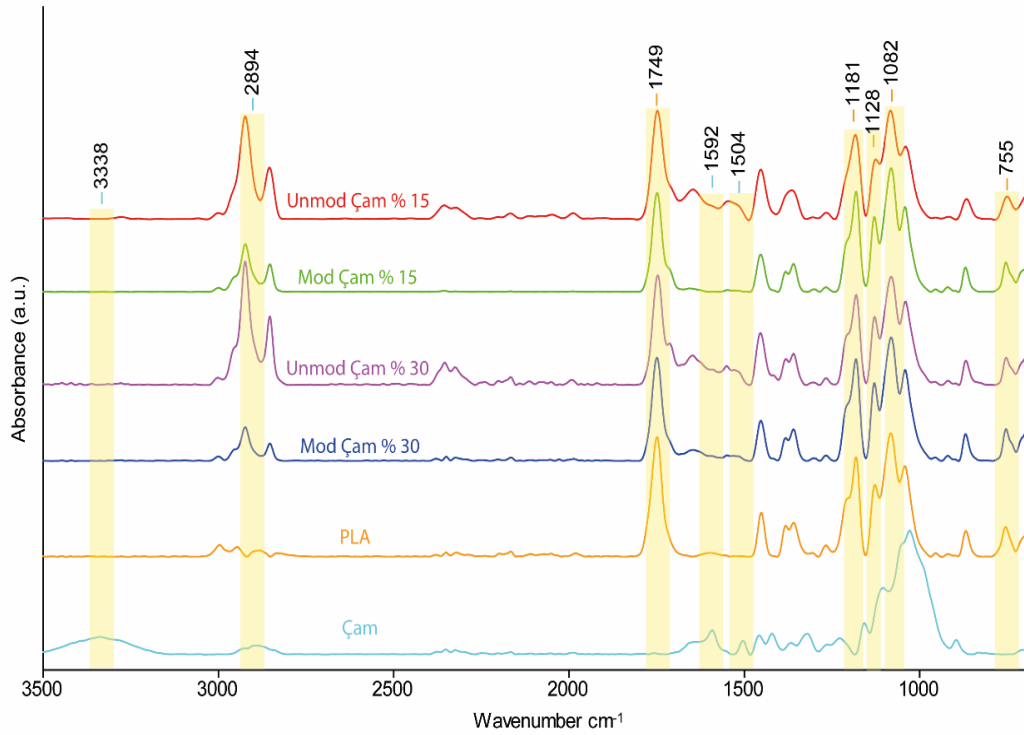
Lignin örneklerinde alifatik yan zincirlerin parçalanması ve kondenzasyon reaksiyonları ile yeni çapraz bağların oluşması numunelerin su emme özelliklerini azaltmaktadır (Boonstra ve Tjeerdsma, 2006; Kocaefe ve diğ, 2008). $1592\text{--}1504\text{ cm}^{-1}$ bölgesi piki modifiye örneklerde ki belirginliği ortadan kalkmıştır. Bu durum alkali

modifikasyon etkisini ortaya koymaktadır. Deney örneklerine ait FTIR spektrumları aşağıda sunulmuştur. Gürgen talaşı için analiz raporu şekil 7.3’de gösterilmektedir.



Şekil 7.3: Gürgen talaşına ait FTIR analiz sonuçları.

Çam talaşı için FTIR analiz sonuçları Şekil 7.6’da verilmiştir.



Şekil 7.4: Çam talaşına ait FTIR analiz sonuçları.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında modifiye edilmiş/edilmemiş çam ve gürgen ahşap talaş örnekleri kullanılarak hazırlanmış biyokompozitlerin yapısal özellikleri ve fonksiyonel grupları incelenerek modifikasyon işleminin örnekler ve biyokompozitler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan analizlerde, yoğunluk testinin yapılış amacı, elde edilen biyokompozitlerin suyun içine bırakılmasından kaynaklı kütle, ağırlık kaybı ve bundan dolayı olası bir deformasyonun meydana gelmesini saptayabilmektir.

Çalışma kapsamında elde edilen biyokompozit örneklerinin kullanım yerlerinde yoğunluğunun yüksek olması bir dezavantaj olmasından dolayı yoğunluk değerlerinin kontrol örneğine benzer olması istenilen bir durumdur. Buna göre çalışmada lignoselülozik malzemenin (gürgen, çam) suyu seven özelliğine rağmen, PLA ile birleştirilerek biyokompozit hale getirilen yapıda, gürgen ve çamın kötü özelliklerini en minimize düzeye çekilebilme potansiyelleri incelenmiştir. K örneği, Ç15 örneği hariç diğer numunelerden daha düşük yoğunluk göstermiştir ve K'ya en yakın değeri MÇ15 numunesi vermiştir. Aynı zamanda gürgen ile modifiye gürgen arasındaki karşılaştırmada %15'lik modifiye gürgen örneğinin, çam ile modifiye çam arasında ise %15'lik modifiye çamın K numunesine daha yakın sonuç verdiği görülmektedir. %30'luk modifiye gürgen ile modifiye çam örnekleri arasında ise MÇ15'in yoğunluk oranının K'ya daha yakın değer olduğu görülmektedir. Saf PLA'ya göre, kullanılan odun talaşlarının daha fazla yoğunluğa ulaştığı görülmüştür. Nedeni ise PLA'nın suyu sevmemesi ve odunsu yapıların su çekme isteğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan analizlerde; numunelerin su alma oranları ölçümlerinin sonuçları incelendiğinde; 2 saatten 6 haftaya kadar olan su alma oranındaki artışın en yüksek olduğu numunenin MÇ30 olduğu görülmüştür. Kontrol grubundan sonra en düşük su alma oranını MÇ15 numunesi vermiştir. Bu durumda %15'lik modifiye edilen çam odununun gürgen odununa kıyasla suya dayanıklı olacağı için su alan yerlerde kullanılmasının daha iyi olacağı söylenebilir. Çünkü gürgen odunu çam odununa göre suyu daha fazla sevmektedir. Bunun nedeni odun

yapılarındaki farklılıktır, bu farklılıklar; gürgenin yapraklı ağaç türünde olması çamın ise iğne yapraklı olması olabilir. Lignoselülozik yapıya sahip olan gürgen büyük ölçüde selüloz, hemiselüloz, lignin ve az miktarda da ekstraktif ve mineral maddeleri içermektedir ve suyu seven yapıdadır. Ayrıca test sonuçlarına göre %30 ile modifiye edilen gürgenin modifiye edilmemiş gürgene göre su alma oranı çok daha yüksektir. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan analizlerde, kalınlık artış oranı ölçümlerinin sonuçları incelendiğinde; G15 ve G30 arasında en iyi sonucu G15 numunesi, MG15 ve MG30 arasında en iyi sonucu MG15 numunesi, Ç15 ve Ç30 arasında en iyi sonucu Ç15 numunesi, MÇ15 ve MÇ30 arasında en iyi sonucu MÇ15 numunesi vermiştir. Çam ile gürgen numuneleri arasındaki karşılaştırmada ise %15’lik modifiye edilen çamın K numunesine daha yakın olduğu görülmektedir, dolayısıyla PLA’nın özelliklerinin kötüleştirilmeden koruyan örnek olmasıyla ön plana çıktığı sonucuna varılmaktadır.

Bütün numuneler K ile karşılaştırıldığında ise en az su oranına ve en az kalınlık artış oranına sahip örneğin MÇ15 numunesi olduğu, en çok su alma ve en fazla kalınlık artış oranına sahip olan örneğin ise MÇ30 numunesi olduğu tespit edilmiştir. Yüksek artışın 30% modifiye çam numunesinde olması, odunun yapısında bulunan lignoselülozik bileşenden kaynaklanmaktadır.

Takviye oranları karşılaştırıldığında ise %15’lik muamele gören örneklerin %30’luk muamele gören örneklerden daha iyi özellik gösterdiği sonucuna varılmaktadır. Ayrıca modifiye edilmiş gürgenin modifiye edilmemiş gürgene göre kalınlık artışının daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak çam örneklerin durum daha farklıdır; %15’lik çam örneklerinin %30’luk çam örneklerinden daha iyi özellik gösterdiği sonucuna varılmıştır ve %15’lik muameleyle modifiye edilmiş çamın aynı oranda modifiye edilmemiş çama göre kalınlık artışının daha az olduğu görülmektedir. Bu sonuç modifikasyon işleminin biyokompozit üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Mekanik özelliklerin incelenmesi için yapılan çekme testine ait tablo incelendiğinde; numuneler arasında çekme direnci K numunesinden sonra K’ya en yakın değeri veren numunenin MÇ15 numunesi olduğu saptanmıştır. Böylece %15 ile modifiye edilen çamın en iyi tokluk ölçüsüne sahip olduğu görülmektedir. Gürgen örnekleri kendi arasında karşılaştırıldığında aynı takviye oranlarına sahip numuneler için; modifiye edilmeyen gürgen numunelerinin modifiye edilen gürgen numunelerinden daha iyi çekme direnci gösterdiği ve aynı şekilde %15’lik muamele gören gürgen örneklerinin

daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Çam numuneleri kendi arasında karşılaştırıldığında ise; %15'lik muamele gören çam örneklerinin %30'luk muamele gören örneklerden daha iyi çekme direnci gösterdiği sonucu elde edilmiştir.

Mekanik özelliklerin incelenmesi amacıyla eğilme direnci testine ait tablo incelendiğinde; numuneler arasında eğilme direnci en fazla olan numunenin MÇ15 numunesi olduğu görülmüştür. Böylece referans verilen saf PLA'dan sonra en iyi tokluk özelliğine sahip numune MÇ15 olduğu sonucuna varılmaktadır. Gürgen örnekleri kendi arasında karşılaştırıldığında aynı takviye oranlarına sahip numuneler için; modifiye edilmeyen gürgen numunelerinin modifiye edilen gürgen numunelerinden daha iyi eğilme direnci gösterdiği söylenebilir. Çam numuneleri kendi arasında karşılaştırıldığında ise; %15'lik muamele gören çam örneklerinin %30'luk muamele gören örneklerden daha iyi eğilme direnci gösterdiği görülmüştür. PLA'ya takviye edilen bütün numuneler eğilme ve çekme testi sonuçlarına göre K numunesinden daha iyi sonuç vermemiştir. Bu nedenle PLA'ya takviye edilen numunelerin hiçbirinin PLA'nın çekme özelliklerini daha da iyileştirdiği ifade etmek mümkün değildir. Ancak her iki mekanik test ölçümlerinde MÇ15'in diğer numunelerden iyi özellik gösterdiği görülmüştür. Bu veriye göre modifiye çam odununun modifiye gürgen odunundan daha iyi mekanik özellik gösterdiğini ifade etmek mümkündür. Ayrıca modifiye edilen numunelerin modifiye edilmeyen numunelerden daha iyi performans sergilediği saptanmıştır. Buradan yola çıkarak alkali modifikasyon işlemine maruz kalan numunelerin diğer numunelere göre daha iyi özellik gösterdiği sonucuna varılmaktadır.

Biyokompozitlerin termal özelliklerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen termal gravimetrik analiz sonuçlarından önce TGA analizlerinde; DTG eğrisi maksimum pik değerleri ne kadar yüksekse numunenin ısı kararlılığının o denli iyi olduğunu ifade etmek gerekmektedir. Sonuçlara bakıldığında; kontrol numunesi en iyi piki verdiği görülmüştür bunun nedeni PLA matrisinde ısı akışını engelleyebilecek bir bariyer nitelik bulunmamaktadır. Gürgen odununda en iyi tırmanışı MG15 numunesi, karaçam odununda ise Ç15 numunesinin yaptığı görülmektedir. Gürgen ve karaçam odunu için en iyi ısı kararlılığı %15'lik muamele gören numunelerin sahip olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca kütle kayıplarının, PLA matrisine takviye edilen gürgen ve çam numunelerinde saf PLA'ya göre daha az olduğu saptanmış ve deney sonucunda daha fazla ürün elde edildiği görülmüştür.

Termal özelliklerin incelenmesi için gerçekleştirilen FTIR analiz sonuçlarına göre; verilen ahşap örneklerinde temel bileşenlere ait önemli FTIR piklerinde NaOH modifikasyonu etkisi belirlenmiştir. PLA ve ahşap örnekleri spektrumu ile biyokompozit örnekleri FTIR spektrum piklerinde farklılıklar görülmüş bu durumun biyokompozit üretiminde, bileşenler arasında istenen etkileşim oluştuğunu göstermektedir.

Elde edilen veriler ışığında elde edilen tespitler şu şekildedir; MÇ15 çam odunu gürgen odunundan daha iyi fiziksel ve mekanik özellik sergilemiştir. Fiziksel özelliklerde ve mekanik özellikde MÇ15 numunesi en iyi performansı sergilemiştir. TGA analizlerinde MG15 ve Ç15 numunelerinin en iyi ısı kararlılığına sahip olduğu tespit edilmiştir. FTIR analizlerinde modifikasyon etkisi saptanmış ve istenilen değerler elde edilerek numuneler ile saf PLA arasındaki pik farklılıkları belirlenmiştir. Bu veriler ışığında bütün parametrelerde %15'lik muamele gören numunelerin veya %15'lik alkali modifikasyona uğrayan numunelerin diğer örneklerden daha iyi özellik sergilediği sonucuna varılmaktadır. Ayrıca biyokompozit kullanımında MÇ15 çam odununun belli kullanım alanlarında gürgen odununa göre daha fazla tercih edilebileceğini ifade etmek mümkündür.

Elde edilen sonuçlara göre çeşitli odun talaşı maddeler kullanılarak PLA esaslı kompozitlerin üretilebilirliği belirlenmiştir. İnsan sağlığı ve çevre açısından petrol esaslı polimerlerin kullanımının tehlike oluşturduğu aşikardır. Bu sebeple söz konusu polimerlerin yerine, biyolojik bozunma gerçekleştirebilen polimerler kullanılmalıdır örneğin, PLA. Fakat yüksek üretim ücretleri ve birçok sınırlamalar nedeniyle PLA yaygın olarak kullanılamamaktadır. Çam ve gürgen talaşlarının PLA kompozitlerde polimerin özelliklerini çok fazla deforme edip kötüleştirmeden uygulanabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca test numuneleri arasından en iyi sonucu MÇ15 örneği verirken, en istenmedik sonuç MÇ30 örneğinden elde edilmiştir. Buradan çıkarılabilecek başka bir öneri ise; çamın modifiye edilme oranı düşüldükçe daha iyi özellikler elde edilebileceğidir.

Bu sebeple PLA biyopolimerlerinin maliyetini düşürmek, hafiflemesini sağlamak, alkali modifikasyon ile ahşabın olumsuz özelliklerini ortadan kaldırmak ve ek olarak kompozit üretirken mekanik fiziksel termal özellikleri mümkün olduğunca kötüleştirmeden yapmak için çam ve gürgen talaşlarından üretilen polimer kompozitler kullanılabilir. Yanısıra yapılan araştırmalar ve çalışmalar neticesinde

alkali ile modifiye edilen ürünlerden alınan tepkilere bakıldığında, PLA ürünleri üzerine yeni çalışmaların yapılması gerektiği anlaşılmıştır.



KAYNAKLAR

- Adhikary, K. B., Pang, S. & Staiger, M. P.** (2008). Dimensional stability and mechanical behaviour of wood–plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE), *Composites Part B: Engineering*, 39, 807-815.
- Ajioka, M., Enomoto, K., Suzuki, K. & Yamaguchi, A.** (1995). The basic properties of poly(lactic acid) produced by the direct condensation polymerization of lactic acid, *Journal of Polymers and the Environment*, 3(4), 225–234.
- Altuntaş, E., Yılmaz, E. & Salan, T.** (2017). Yüksek oranda lif dolgu maddesi kullanımının odun plastik kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisinin araştırılması, *Turkish Journal of Forestry*, 18(3), 258263.
- Ateş, E.** (2018). Balıkesir şehir merkezinde atık ahşap talaş miktarı ve enerji değerinin belirlenmesi. *Technological Applied Sciences*, 1308-7223. Doi: 0000-0001-7611-4854.
- Avcı, E.** (2012). *Ahşap Plastik Kompozitlerin Kullanım Performansları Üzerine Araştırmalar*. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Avérous, L.** (2004). Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch: A Review, *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 44:3, 231-274.
- Aydın, H. Y. & Altun, S.** (2020). Odun kökenli malzemelerin takviyesi ile oluşturulan polilaktik asit matrisli kompozitler, *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 22 (3): 1061-1076.
- Aykanat, O.** (2019). *Pla Matrisli Bazalt-Odun Lifi Takviyeli Biyokompozitlerin Üretilmesi Ve İzolasyon Özellikleri Dahil Performans Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Azwa, Z. N., Yousif, B. F., Manalo, A. C. & Karunasena, W.** (2013). A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres, *Materials & Design*, 47: 424–42, Doi: 10.1016/j.matdes.2012.11.025.
- Bergsma, J. E., De Bruijn, W. C., Rozema, F. R., Bos, R. R. & Boering, G.** (1995). Late degradation tissue response to poly(L-lactide) bone plates and screws, *Biomaterials*, 16(1), 25-31.
- Boonstra M. J.** (2008). *A Two-Stage Thermal Modification of Wood*. (Ph.D. Dissertation in Cosupervision). Ghent University and Universite Henry Poincare – Nancy, 1, 297.

- Boonstra, M. & Tjeerdsma, B.** (2006). Chemical analysis of heat treated softwoods, *European Journal of Wood and Wood Products*, 64(3), 204–211.
- Bozkurt, A. Y.** (1986). Ağaç teknolojisi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, No:3403/380. İstanbul.
- Briassoulis, D.** (2006). Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 91, 1256-1272.
- Browne, F. L. & Brenden, J. J.** (1964). Heat of combustion of the volatile pyrolysis products of Ponderosa pine, *US Forest service research service paper FPL*, 19.
- Buzarovska, A.** (2013). PLA Nanocomposites with Functionalized TiO₂ Nanoparticles. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52(3), 280–286. doi:10.1080/03602559.2012.751411
- Cai, Y., Lv, J. & Feng, J.** (2013). Spectral characterization of four kinds of biodegradable plastics: poly (lactic acid), poly (butylenes adipate-co-terephthalate), poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) and poly (butylenes succinate) with FTIR and Raman spectroscopy, *Journal of Polymers and the Environment*, 21(1), 108-114.
- Can, M.** (2002). *Bentonit, Zeolit ve Çam Talaşı Üzerine Metal Kompleks Boyaların Adsorpsiyonu*. (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Çatal, D.** (2019). *Mermer tozu ve kestane meyve kabuğu takviyeli polilaktik asit (pla) biyokompozitlere ait özelliklerin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Chamberlain, B. M., Cheng, M., Moore, D. R., Ovitt, T. M., Lobkovsky, E. B. & Coates, G. W.** (2001). Polymerization of lactide with zinc and magnesium beta diiminate complexes: Stereocontrol and mechanism, *Journal of the American Chemical Society*, 123, 3229–3238.
- Chandra, R. & Rustgi, R.** (1998). Biodegradable polymers, *Progress in Polymer Science*, 23, 1273–1335.
- Chanfreau, S., Mena, M., Porras-Dominguez, J. R., Ramirez-Gilly, M., Gimeno, M., Roquero, P., Tecante, A. & Barzana, E.** (2010). Enzymatic synthesis of poly-L-lactide and poly-L-lactide-co-glycolide in an ionic liquid, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 33, 629–638.
- Cho, J. W., Woo, K. S., Chun, B. C. & Park, J. S.** (2001). Ultraviolet selective and mechanical properties of polyethylene mulching films, *European Polymer Journal*, 37, 1227-1232.
- Demirkır, C. & Çolak, S.** (2006). Odun Kökenli Atıkların Levha Endüstrisinde Yeniden Kullanım İmkanları, *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 7(1):41-50.
- Dizman, E.** (2005). *Kimyasal Modifikasyonun Kızılağaç ve Ladin Yongalevhalarında Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Özelliklere Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,

- Domb, A. J. & Wiseman, D. M.** (1998). Handbook of Biodegradable Polymers, Boca Raton: CRC Press.
- Dorgan, J. R., Lehermeier, H. & Mang, M.** (2000). Thermal and rheological properties of commercial-grade poly(lactic acids)s, *Journal of Polymers and the Environment*, 8, 1–9
- Erdoğan, M. K.** (2012). *Polyester Kumaşların İndigo Boyar Maddeleri İle Boyanabilirliğinin Geliştirilmesi İçin Poli(Vinil Alkol) Ve Modifiye Poli(Vinil Alkol) Polimerleri İle Modifiye Edilmesi.* (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Esteves, B., Marques, A. V., Domingos, I. & Pereira, H.** (2013). Chemical changes of heat treated pine and eucalypt wood monitored by FTIR. *Maderas. Ciencia y tecnológica*, 15 (2), 245-258.
- Evans, P. D., Wallis, A. F. A. & Owen N. L.** (2000). Weathering of chemically modified wood surfaces, *Wood Science and Technology*, 34, 151-165.
- Fengel, D. & Wegener, G.** (1984). Wood chemistry, ultrastructure, reactions, *Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition*, 23(11), 601–602.
- Fuqua, M. A., Huo, S. & Ulven, C. A.** (2012). Natural Fiber Reinforced Composites, *Polymer Reviews*, 52(3): 259–320, Doi: 10.1080/15583724.2012.705409.
- Galotta, D.** (2001). A literature review of poly lactic acid, *Journal of Polymers and the Environment*, 9(2), 63–84.
- Garcia, N. L., Lamanna, M., D'Accorso, N., Dufresne, A., Aranguren, M. & Goyanes, S.** (2012). Biodegradable materials from grafting of modified PLA onto starch nanocrystals, *Polymer Degradation and Stability*, 97(10), 2021-2026.
- Gonultas, O. & Candan, Z.** (2018). Chemical characterization and ftir spectroscopy of thermally compressed eucalyptus wood panels Maderas. *Maderas. Ciencia y tecnológica*, 20(3), 431-442.
- Guimaraes, J. L., Frollini, E., Silva, G. C., Wypych, F. & Satyanarayana, K. G.** (2009). Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil, *Industrial Crops and Products Journal*, 30(3), 407-15. doi:10.1016/j.indcrop.2009.07.013.
- Gupta, A. P. & Kumar, V.** (2007). New emerging trends in synthetic biodegradable polymers-Polylactide: A critique, *European Polymer Journal*, 43, 4053–4074.
- Gupta, B., Revagade, N. & Hilborn, J.** (2007). Poly (lactic acid) fiber: An overview. *Prog. Journal of Polymer Science*, 32, 455–482.
- Hacıoğlu, C.** (2022). *Alçak Yoğunluklu Polietilen Matrisli Kaz Tüyü Ve Odun Lifli Takviyeli Hibrit Biyokompozitlerin Fiziksel, Mekanik Ve İzolasyon Özelliklerinin İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Eğitim Enstitüsü, Bursa.
- Han, H., Wang, X. & Wu, D.** (2012). Preparation, crystallization behaviors, and mechanical properties of biodegradable composites based on poly(L-

- lactic acid) and recycled carbon fiber, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(11), 1947–1958.
- Henton, D. E., Gruber, P., Lunt, J. & Randall, J.** (2005). Polylactic Acid Technology, Natural Fibers, *Biopolymers, and Biocomposites*, 2-51. doi:10.1201/9780203508206.ch16.
- Hill, C. A. S.** (2006). Wood Modification Chemical Thermal and Other Processes, *John Wiley & Sons, Ltd.* ISBN: 0-470-02172-1.
- Hinestroza, J. & Netravali, A. N.** (2014), Cellulose based composites: new green nanomaterials. *John Wiley & Sons*, 328.
- Homan, W. J. & Jorissen, A. J. M.** (2004). Wood Modification Developments, *Heron*, 49(4), 360-363.
- Hossain, M. F., Islam, M. K. & Islam, M. A.** (2014). Effect of chemical treatment on the mechanical and physical properties of wood saw dust particles reinforced polymer matrix composites, *Procedia Engineering*, 90, 39-45.
- Huda, M. S., Drzal, L. T., Misra, M. & Mohanty, A. K.** (2005). Wood-fiber-reinforced poly(lactic acid) composites: Evaluation of the physicomechanical and morphological properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 102(5), 4856–4869.
- Islam, M. K., Sharif, A., Hussain, M. & Hassan. I.** (2019). Synergic effect of recycled cotton fabric and wood saw dust reinforced biodegradable polypropylene composites, *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 54(1), 21-30. doi: <https://doi.org/10.3329/bjsir.v54i1.40727>.
- Jaserg, B., Swanson, C., Nelsen, T. & Doane, W.** (1992). Mixing polyethylene-poly (ethylene-co-acrylic acid) copolymer starch formulations for blown films, *Journal of Polymer Materials*, 9, 153-162.
- Jem, K. J. & Tan, B.** (2020). The Development and Challenges of Poly (lactic acid) and Poly (glycolic acid), *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 1-30. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.01.002>.
- Jem, K. J., Van der Pol, J. F. & De Vos, S.** (2010). Microbial lactic acid, its polymer poly (lactic acid), and their industrial applications, in *Plastics from Bacteria Natural Functions and Applications*, G. Chen, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 323–346.
- Ji, A., Zhang, S., Bhagia, S., Yoo, C. G. & Ragauskas, A. J.** (2020). 3D printing of biomass-derived composites: application and characterization approaches, *RSC advances*, 10(37), 21698-21723.
- John, M. & Thomas, S.** (2008). Biofibres and biocomposites, *Carbohydrate Polymers*, 71(3): 343–64, Doi: 10.1016/j.carbpol.2007.05.040
- Kaplan, D. J., Mayer, J. M., Ball, D., McMassie, J., Allen, A. L. & Stenhouse, P.** (1993). Fundamentals of biodegradable polymers. In *Biodegradable Polymers and Packaging*; Ching, C., Kaplan, D.L., Thomas, E.L., Eds.; Technomic publication: Basel, 1–42.

- Kaplan, D. L.** (1998). Biopolymers from Renewable Resources, *Springer Verlag: Berlin*, 414.
- Karakuş K., Başboğa İ. H. & Mengeloğlu, F.** (2014). Termoplastik esaslı polimer kompozitlerin üretilmesinde orman budama atıklarının değerlendirilmesi. II.Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre.
- Kartal, İ., Naycı, G. & Demirer, H.** (2019). Kestane/Gürgen Talaşı Dolgulu Vinilester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 723-728.
- Kaymakçı, A.** (2015). *Çeşitli Güçlendirici Dolgularla Üretilen Ahşap Plastik Nanokompozitlerin Karakterizasyonu*. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kim, D., Andou, Y., Shirai, Y. & Nishida, H.** (2011). Biomass-based composites from poly (lactic acid) and wood flour by vapor-phase assisted surface polymerization, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3(2), 385-391.
- Kocaefe, D., Poncsak, S. & Boluk, Y.** (2008). Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *Bioresources*, 3(2), 517-537.
- Kowalczyk, M., Piorkowska, E., Kulpinski, P. & Pracella, M.** (2011). Mechanical and thermal properties of PLA composites with cellulose nanofibers and standard size fibers, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(10), 1509-1514.
- 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.
- Lawton, J. T.** (1996). Effect of starch type on the properties of starch containing films. *Carbohydrate Polymers*, 29, 203-208.
- Linnaeus, C.** (1753). Pinus, *The Gymnosperm Database*, 1000. Erişim tarihi 1 Ağustos 2023 <https://web.archive.org/web/20110806161249/https://www.conifers.org/pi/Pinus.php>
- Linnaeus, C.** (1754). Carpinus, *efloras, Flora of North*, 2,998. Erişim tarihi 1 Ağustos 2023 https://web.archive.org/web/20060618050410/http://efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=105705
- Lloyd, A. W.** (2002). Interfacial bioengineering to enhance surface biocompatibility, *Medical Device Technologies*, 13, 18-21.
- Loureiro, N. C., Esteves, J. L., Viana, J. C. & Ghosh, S.** (2014). Development of polyhydroxyalkanoates/poly(lactic acid) composites reinforced with cellulosic fibers, *Composites Part B: Engineering*, 60, 603-611.
- Lovet Pinetum-Pines.** (2023). <https://lovettpinetum.org/pines/pine-relative_s/> erişim tarihi 22.03.2023.
- Lucas, N., Bienaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F. & Nava-Saucedo, J. E.** (2008). Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques, *Chemosphere*, 73, 429-442.

- Lunt, J.** (1998). Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 145–152.
- Mattos, B. D., Lourençon, T. V., Serrano, L., Labidi, J. & Gatto, D. A.** (2015). Chemical modification of fast-growing eucalyptus wood, *Wood Science and Technology*, 2 (49): 273-288.
- Mayes, D. & Oksanen, O.** (2002). *ThermoWood Handbook*, Finnforest, Finland.
- McKendry, P.** (2002). Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass, *Bioresource Technology*, 83, 37–46.
- Mehta, R., Kumar, V., Bhunia, H. & Upadhyay, S. N.** (2005). Synthesis of polylactic acid, A review, *Journal of Macromolecular Science*, 45, 325–349.
- Missio, A. L., Mattos, B. D., de Cademartori, P. H., Pertuzzatti, A., Conte, B. & Gatto, D. A.** (2015). Thermochemical and physical properties of two fast-growing eucalypt woods subjected to two-step freeze–heat treatments, *Thermochimica Acta Journal*, 615, 15-22.
- Naira, L. S. & Laurencina, C. T.** (2007). Biodegradable polymers as biomaterials, *Progress in Polymer Science*, 32, 762-798.
- Naycı, G.** (2019). *Keten Lifi, Kestane/Gürgen Talaşı Dolgulu Vinilester Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Nijenhuis, A., Colstee, J. E., Grijpma, D. W., Pennings, A. J.** (1996). High molecular weight poly(L-lactide) and poly(ethylene oxide) blends: thermal characterization and physical properties, *Polymer*, 37, 5849.
- Nourbakhsh, A. & Ashori, A.** (2010). Wood plastic composites from agro-waste materials: Analysis of mechanical properties, *Bioresource Technology*, 101(7), 2525-8. doi:10.1016/j.biortech.2009.11.040.
- Nunez, A. J., Kenny, J. M., Reboredo, M. M., Aranguren, M. I. & Marcovich, N. E.** (2002). Thermal and dynamic mechanical characterization of polypropylene-woodflour composites, *Polymer Engineering & Science*, 42, 733-742. doi: 10.1002/pen. 10985.
- Oksman, K., Skrifvars, M. & Selin, J. F.** (2003). Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites, *Composites Science and Technology*, 63, 1317–1324.
- Orman Genel Müdürlüğü.** (2013). *2013 Yılı İdare İdare Faaliyet Raporu*, Nisan 2014, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Özdemir, F., Çot, A. & Alma, H.** (2018). Odun plastik kompozit malzemelerin termal ve ısı iletkenliği özellikleri üzerine sepiolit mineralinin etkisi, *Turkish Journal of Forestry*, 19(2), 205-209.
- Özdemir, F., Ramazanoğlu, D., Özyurt, H., Dalgıç, H. & Tutuş, A.** (2018). Ceviz kaplamalarının renk ve yüzey pürüzlülüğü üzerine pH etkisinin araştırılması, *Turkish Journal of Forestry*, 19(2), 200-204.
- Paragkumar, R., Raju, S., Batchu, V. R., Swamy, N. K., Dev, R. V., Sreekanth, B. R., Babu, J. M., Vyas, K., Mukkanti, K., Annamalai, P. & Pal, M.**

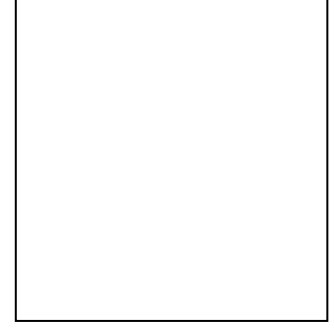
- (2006). Tandem Versus Single C-C Bond Forming Reaction Under Palladium Copper Catalysis: Regioselective Synthesis of α -Prone Fused With Thiophene, *Elsevier*, 62 (41), 9554-9570.
- Pereira, H., Graça, J. & Rodrigues J.** (2003). Wood chemistry in relation to quality, *Wood quality and its biological basis*. 35(46), 0–0. doi:10.1002/chin.200446298
- Peres, C., Matos, A. I., Coniot, J., Sainz, V., Zupancic, E., Silva, J. M., Graca, L., Gaspar, R.S., Preat, V. & Florindo, H. F.** (2017). Poly (lactic acid)based particulate systems are promising tools for immune modulation, *Acta Biomaterialia*, 48, 41–57.
- Pérez, E., Famá, L., Pardo, S. G., Abad, M. J. & Bernal, C.** (2012). Tensile and fracture behaviour of PP/wood flour composites, *Composites Part B: Engineering*, 43, 2795-2800. Doi :org/10.1016/j.compositesb.2012.04.041.
- Piskin, E.** (1995). Biodegradable polymers as biomaterials, *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 6, 775–95.
- Rasal, R. M. & Hirt, D. E.** (2009). Toughness decrease of PLA-PHBHHx blend films upon surface-confined photopolymerization, *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 88(4), 1079-1086.
- Rijswijk, I. V. & Brouwer, W. D.** (2002). Benefits of composites made of locally grown natural fibers. In: Mattoso, L.H.C., Leão, A.L., Frollini, E.(Eds.), *Proceedings of the from Fourth International Symposium on Natural Polymers and Composites*. Publishers: *Embrapa Agricultural Instrumentation, São Paulo University (USP), São Paulo State University (UNESP), São Carlos, SP, Brasil*, 422–428.
- Rouilly, A. & Rigal, L.** (2002). Agro-materials: a bibliographic review, *Journal of Macromolecular Science: Part C: Polymer Reviews*, 42(4), 441–479.
- Rowell, R. M.** (1983). Chemical Modification of Wood, *Forest Products Abstracts*, 6:363-382.
- Rowell, R. M.** (1984). Penetration and Reactivity of Cell Wall Components, *The Chemistry of Solid Wood*, ACS Series 207, *American Chemical Society*, 175-255.
- Rowell, R. M.** (1991). Chemical Modification of Wood, *Forest Product Laboratory and University of Wisconsin, Madison*, 703-756.
- Rowell, R.M.** (1998). Property Enhanced Natural Fiber Composite Materials Based on Chemical Modification, *Science and Technology of Polymers and Advanced Materials*, Newyork.
- Saba, N., Paridah, M. T. & Jawai, M.** (2015). Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review, *Construction and Building Materials*, 76, 87-96. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.11.043.
- Schut, H. J.** (2008). PLA biopolymers, *International Journal of Plastics Technology*, 11,66–69.
- Sever, K., Sarikanat, M., Seki, Y., Erkan, G., Erdoğan, Ü. H. & Erden, S.** (2012). Surface treatments of jute fabric: the influence of surface characteristics

- on jute fabrics and mechanical properties of jute/polyester composites, *Industrial Crops and Products*, 35(1), 22-30. doi:10.1016/j.indcrop.2011.05.020.
- Shalaby, S. W. & Burg, K. J. L.** (2003). Absorbable and biodegradable polymers (advances in polymeric materials), *Boca Raton: CRC press*, 304.
- Sinclair, R. G.** (1996). The case for polylactic acid as a commodity packaging plastic, *Journal of Macromolecular Science - Pure and Applied Chemistry*, 33 (5), 585–597.
- Singh, R. P. Pandey, J. K. & Rutot, D.** (2003). Biodegradation of poly(ε-caprolactone)/starch blends and composites in composting and culture environments: The effect of compatibilization on the inherent biodegradability of the host polymer, *Carbohydrate Research*, 338(17), 1759-1769.
- Skaar, C.** (1988). Hygroexpansion in wood. In *Wood-water relations*, SpringerVerlag, 177-206
- Spiridon, I. & Tanase, C. E.** (2018). Design, characterization and preliminary biological evaluation of new lignin-PLA biocomposites, *International Journal Of Biological Macromolecules*, 114: 855–863.
- Spiridon, I., Leluk, K., Resmerita, A. M. & Darie, R. N.** (2015). Evaluation of PLAlignin bioplastics properties before and after accelerated weathering, *Composites Part B: Engineering*, 69: 342–349.
- Teuber, L., Osburg, V. S., Toporowski, W., Militz, H. & Krause, A.** (2016). Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation, *Journal of Cleaner Production*, 110, 9–15.
- Tjeerdsma, B. F. & Militz, H.** (2005). Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood, *European Journal of Wood and Wood Products*, 63(2), 102-111.
- Tsoumis, G.** (1991). Science and technology of wood-structure, properties, utilization, *IAWA Journal*, 13(3).
- Tsuji, H.** (2005). Poly (lactide) stereocomplexes: Formation, structure, properties, degradation, and applications, *Macromolecular Bioscience*, 5, 569–597.
- Türk, S.** (2022). *Kaz Tüyü Ve Odun Lifi Takviyeli Polipropilen Biyokompozitlerin Fiziksel, Mekanik, Isi Transfer Ve Morfolojik Özelliklerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Eğitim Enstitüsü, Bursa.
- Upadhyaya, G. S.** (2002). Powder Metallurgy Technology, Published By Cambridge International Science Publishing, Cambridge.
- Van de Velde, K. & Kiekens, P.** (2002). Biopolymers: overview of several properties and consequences on their applications, *Polymer Testing*, 21, 433–442.
- Varadarajan, S., Miller, D. J.** (1999). Catalytic upgrading of fermentation-derived organic acids, *Biotechnology Progress*, 15, 845–854.

- Verma, D.** (2015). The use of coir/coconut fibers as reinforcements in composites, *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, 285-319. doi: 10.1533/9781782421276.3.285.
- Vert, M., Schwach, G. & Coudane, J.** (1995). Present and future of PLA polymers, *Journal of Macromolecular Science - Pure and Applied Chemistry*, 32, 787–796.
- Viitanen, H.** (1994). Jämsä S., Paajanen, L. Nurmi A. ve Viitaniemi, P. The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce, *A preliminary report, International Research Group on Wood Preservation*, Doc. No. IRG/WP 94-40032; 1994
- Vroman, I. & Tighzert, L.** (2009). Biodegradable polymers, *Materials*, 2, 307-344. doi:10.3390/ma2020307.
- Wikberg, H.** (2004). *Advanced Solid State NMR Spectroscopic Techniques in the Study of Thermally Modified Wood*. (Academic Dissertation). University of Helsinki, Department of Chemistry, Helsinki.
- Willett, J. L.** (1994). Mechanical properties of LDPE/granular starch composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 54, 1685-1695.
- Xiao, L., Wang, B., Yang, G. & Gauthier, M.** (2012). Poly (Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications, *Biomedical Science, Engineering and Technology*, 3502.
- Xu, J., Zhang, J., Gao, W., Liang, H., Wang, H. & Li, J.** (2009). Preparation of chitosan/PLA blend micro/nanofibers by electrospinning, *Materials Letters*, 63(8), 658-660.
- Yang, H. S., Kim, H. J., Park, H. J., Lee, B. J. & Hwang, T. S.** (2007). Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composite, *Composite Structures*, 77(1), 45–55. doi:10.1016/j.Comps truct.2005.06.005
- Yıldırım, K.** (2021). Odun kuvars ikameli plastik kompozit malzeme özelliklerinin araştırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 32, 152-159.
- Yıldız, Ü. C.** (2002). *Odun Modifikasyonu Yöntemleri*. (Basılmamış Ders Notları). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon.
- Yıldızhan, Ş., Çalık, A., Özcanlı, M., & Serin, H.** (2018). Bio-composite materials: a short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications, *European Mechanical Science*, 2(3): 83-91.
- Yurttaş, E.** (2022). *Polilaktik Asit/Modifiye Odundan Biyobozunur Antimikrobiyal Filament Geliştirilmesi Ve 3 Boyutlu Yazıcıda Basılabilirliği*. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Zaaba, N. F. & Jaafar, M.** (2020). A review on degradation mechanisms of polylactic acid: Hydrolytic, photodegradative, microbial, and enzymatic degradation, *Polymer Engineering and Science*, 1-15. doi: 10.1002/pen.25511.
- Zhu, J., Xue, L., Wei, W., Mu, C., Jiang, M. & Zhou, Z.** (2015). Lignin PLA bio-composites, *BioResources*, 10(3), 4315–4325.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Saadet KATI
Doğum Tarihi ve Yeri :
E-posta :



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Üretim ve Kalite Mühendisi
- Teklif Proje Mühendisi
- Maliyet Analiz Uzmanı

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- -