



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAMBU VE KIZILÇAM ODUN UNU TAKVİYELİ
FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIĞINA SAHİP
POLİETİLEN ESASLI KOMPOZİTLERİN
ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

TUĞÇE TUNCER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2019

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAMBU VE KIZILÇAM ODUN UNU TAKVİYELİ
FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIĞINA SAHİP
POLİETİLEN ESASLI KOMPOZİTLERİN
ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

TUĞÇE TUNCER

Bu tez,
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2019

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Tuğçe TUNCER tarafından hazırlanan “**BAMBU VE KIZILÇAM ODUN UNU TAKVİYELİ FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIĞINA SAHİP POLİETİLEN ESASLI KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**” adlı bu tez, jürimiz tarafından 11/07/2019 tarihinde oy birliği ile Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU (DANIŞMAN)

.....

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, KSÜ

Doç. Dr. Kadir KARAKUŞ (ÜYE)

.....

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, KSÜ

Dr. Öğr. Üyesi Vedat ÇAVUŞ

.....

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İKÇÜ

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. MUSTAFA YAZICI

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

TUĞÇE TUNCER

Bu çalışma KSÜ BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2018/--19YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**BAMBU VE KIZILÇAM ODUN UNU TAKVİYELİ FARKLI MOLEKÜL
AĞIRLIĞINA SAHİP POLİETİLEN ESASLI KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ
VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

ÖZET

**TUĞÇE TUNCER
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

Lignoselülozik esaslı takviye/dolgu malzemesi kullanılarak polimer kompozit üretimi artarak devam etmektedir. En çok kullanılan polimerler arasında polietilen (PE) ilk sıralarda yer almaktadır. Çok farklı özelliklere sahip PE üretimi mevcuttur. Genelde bunları birbirinden ayıran en temel özelliklerden bir tanesi polimerin molekül ağırlıklarındaki farklılıklarıdır. Bu tez çalışmasında, bambu ve kızılçam odun unları ile iki farklı molekül ağırlığına sahip PE kullanılarak odun plastik kompozitler üretilmiştir. Kompozit deney numunelerinin üretimi ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerin mekanik (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzama), fiziksel özellikleri (yoğunluk) ve termal (termogravimetrik analizi, difransiyel tarama kalorimetre analizi) belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerine kullanılan odun ununun ve molekül ağırlığının etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen YYPE esaslı tüm gruplar ile %45 dolgu maddesi içeren AYPE örnekler ASTM D 6662 (2001) standardında istenen 6.9 MPa eğilme direnci ve 340 MPa eğilmede elastikiyet modülü değerlerini sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kızılçam odun unu, Bambu odun unu, Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), Odun plastik kompozit, Mekanik özellikler, Fiziksel özellikler, Termal özellikler

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz/2019

Danışman : Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Sayfa sayısı : 53

**MANUFACTURING OF POLYMER COMPOSITES USING PE WITH
DIFFERENT MOLECULAR WEIGHT AND RED PINE WOOD FLOUR AND
DETERMINATION OF PROPERTIES**

ABSTRACT

**TUĞÇE TUNCER
(M.Sc. THESIS)**

The use of lignocellulosic materials as reinforcer/filler is gradually increasing in polymer composite manufacturing. Polyethylene (PE) can be listed among the top commercially used polymer. PE can be synthesized with a variety of product properties. Molecular weight of PE is an important parameter for the product selection. In this study low and high molecular weight PE and red pine and bamboo wood flour are used in the manufacture of polymer composites. Filler and polymer blend first extruded and pelletized. Later these pellets were injection molded in test samples. Mechanical (tensile strength, tensile modulus and elongation at break, flexural strength, and flexural modulus), physical properties (density) and thermal properties (Thermogravimetric analysis (TGA), differential scanning calorimetry (DSC)) were measured on produced groups. Through this study, the effects of molecular weight of PE and wood flour on produced composites were investigated. As a result, all HDPE based composites and LDPE based composites only having %45 filler content had provided required ASTM D 6662 (2001) standard values of 6.9 MPa-flexural strength and 340 MPa-flexural modulus values.

Keywords: Red pine wood flour, Low and high density polyethylene (AYPE and YYPE), polymer composites, mechanical properties.

**Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Forest Industry Engineering July /2019**

Supervisor : Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Page number : 53

TEŞEKKÜR

“Bambu ve kızılçam odun unu takviyeli farklı moleköl ağırlığına sahip polietilen esaslı kompozitlerin üretilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi” başlıklı bu tez çalışması Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümünde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans ve lisans eğitimi aldığım süreçte desteğini ve tecrübesini esirgemeyen, tez çalışmalarımın hazırlanmasında büyük emekler sarf eden ve tezimin yönlendirilmesinde her zaman yanımda olan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU'na, benden desteklerini ve bilgilerini esirgemeyen sevgili hocalarım Doç. Dr. Kadir KARAKUŞ'a, Dr. Öğr. Üyesi Vedat ÇAVUŞ'a ve Arş. Gör. İlkay ATAR'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca laboratuvar çalışmalarımnda her zaman destek olan ve yardımlarını esirgemeyen uyum ve huzur içerisinde çalıştığım değerli arkadaşlarım Orman Endüstri Mühendisi Yıldız BİRBİLEN, Ufuk KILLI ve sevgili arkadaşım Mustafa Kadir YALMAN'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her türlü kararım ve çalışmamda bana koşulsuz destek olan kıymetli babam Musa Mehmet TUNCER'e, annem Azize TUNCER ve kardeşlerim Burak TUNCER, Aybüke TUNCER, Yunus Emre TUNCER'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak desteğini hep arkamda hissettiğim bana hayatımın her aşamasında yol ve yoldaş olan kıymetli yol arkadaşım Murat PİŞKİN'e en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Plastikler	2
1.1.1. Plastiklerin Sektörel Gelişimi	2
1.1.2. Kullanılan Bazı Polimerler Türleri ve Özellikleri	3
1.1.2.1. TERMOPLASTİKLER	4
1.1.2.2. TERMOSETLER	5
1.2. Lignoselülozik Malzemeler	5
1.2.1. Kızılçam (<i>Pinus Brutia Ten.</i>)	6
1.2.2. Bambu	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
3. MATERYAL VE METOD	14
3.1. Materyal	14
3.2. Metod	14
3.2.1. Hammaddenin hazırlanması	14
3.2.1.1. Lignoselülozik takviye malzemesinin hazırlanması	15
3.2.3. AYPE ve YYPE esaslı kompozitlerin üretilmesi	16
3.2.4. Kompozitlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi	20
3.2.4.1. Yoğunluk belirleme	20
3.2.5. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi	21
3.2.6. Termogravimetrik analiz (TGA) ve Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)	23
3.2.9. İstatistiksel analiz	25
4. KOMPOZİTLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	26
4.1. Yoğunluk	26
4.2. Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	29
4.3 Kompozitlerin termal özellikleri	41

4.4. Kompozitlerin Morfolojik özellikleri	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
5. KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	53



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2017 Dünya plastik üretimi (PAGEV, 2016).....	3
ŞEKİL 1.2. Polimerler sınıflandırılması	4
Şekil 1.4. Kızılçam genel görüntüsü	6
Şekil 1.5. Kızılçamın ülkemizdeki yayılışı (OGM atlası)	7
Şekil 1.6. Bambu genel görüntü (URL -4, URL-5).	7
Şekil 1.7. Bambu ormanı (URL-6)	8
Şekil 3.1. a) Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) b) Düşük Yoğunluklu Polietilen (AYPE)	14
Şekil 3.2. a) Bambu odunu b) yongalanmış bambu odunu	15
Şekil 3.3 Lignoselülozik malzemenin hazırlanmasında kullanılan makineler a) Öğütme makinesi b) Sarsak elek	16
Şekil 3.4. Öğütücüden Geçirilmiş Bambu Odunu	16
Şekil 3.5. Kompozit üretimi iş akışı.....	17
Şekil 3.6. Yüksek devirli karıştırıcı	19
Şekil 3.7. Ekstrüzyon işlemi.....	19
Şekil 3.8. Ekstruderden çıkan malzemenin kırılması.....	20
Şekil 3.9. Enjeksiyon kalıplama makinesi	20
Şekil 3.10. Sudaki yoğunluk düzeneği.....	21
Şekil 3.11. Kompozit deney numuneleri.....	21
Şekil 3.12. a) Eğilme direnci test cihazı b) Çekme.....	22
Şekil 3.13. Darbe direnci test cihazı	22
Şekil 3.14. Sıvı azotta bekletilen deney numuneleri.....	23
Şekil 3.15. Sıvı azotta bekletilen deney numunelerinin darbe testi sonrasında kristal yüzey elde edilmesi.....	23
Şekil 3.16 IKA Öğütücü.....	24
Şekil 3.17. Thermogravimetric Analiz (TGA) Analizörü.....	24
Şekil 3.18. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Analizörü.....	25
Şekil 4.1 Polimer tipi ve dolgu maddesi oranının yoğunluk üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odunu ve b) bambu odunu	28
Şekil 4.2 Polimer türü ve dolgu maddesi oranının çekme direnci üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odunu ve b) bambu odunu	30

Şekil 4.3 Polimer türü ve dolgu maddesi oranının çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odun unu ve b) bambu odun unu ...	31
Şekil 4.4 Polimer türü ve dolgu maddesi oranının kopmada uzama üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odun unu ve b) bambu odun unu	33
Şekil 4.5 Polimer türü ve dolgu maddesi oranının eğilme direnci üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odun unu ve b) bambu odun unu	35
Şekil 4.6 Üretilen Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü etkileşim grafiği....	37
Şekil 4.7. Üretilen deney numunelerinin TGA analizleri; a) TGA grafikleri b) DTGA grafikleri.....	43
Şekil 4.8 Örneklerin DSC grafiği	45
Şekil 4.9. Dolgu maddelerinin SEM görüntüleri; a) kızılçam ve b)bambu	46
Şekil 4.10. Saf ve %45 dolgu maddesi içeren örneklerin SEM görüntüleri	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Satın alınan AYPE ve YYPE'nin özellikleri	15
Çizelge 3.2 Kompozit malzemelerin üretim reçetesi.....	18
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri	26
Çizelge 4.2 Çekme direnci çekmede elastikiyet ve kopmada uzama test ortalamaları ve standart sapma değerleri	34
Çizelge 4.3 Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü test ortalamaları ve standart sapma değerleri	39
Çizelge 4.4 Darbe direnci test ortalamaları ve standart sapma değerleri.....	41
Çizelge 4.5 Örneklerin TGA dataları.....	42
Çizelge 4.6. Örneklerin DSC dataları	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

OPK	: Odun plastik kompozit
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
AYPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
PVC	: Polivinil klorür
PET	: Polietilen tereftalat
PUR	: Poliüretan
UF	: Üre formaldehit
PF	: Fenol formaldehit
MF	: Melamin formaldehit
RF	: Resorsinol formaldehit
MFI	: Erime akış indeksi
TGA	: Termogravimetrik analiz
DSC	: Difransiyel Taramalı Kalorimetre
MPa	: Megapaskal

1. GİRİŞ

Molekül ağırlığı; moleküler kütle olarak da bilinmekle beraber bir molekülün kütlesini ifade eder. Bir toplam olarak hesaplanan molekül ağırlığı, bir molekülün atomik kütle birimi cinsinden küttlesidir (URL-1).

Kompozit; Türk Dil Kurumu Büyük Türkçe Sözlüğe göre Fransızca “composite” kelimesinden gelen anlam olarak da birinci anlamı karma, ikinci anlamı olarak değişik tarzları bir arada taşıyan demektir (Mirik, 2010).

Kompozit malzemeler en az farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeler malzemeyi oluşturan bileşenlerin özelliklerini korumakla beraber kendisini oluşturan malzemelerden daha üstün özellikler gösterir (Rosato, 1997).

Kompozit malzemelerin tarihsel durumuna bakıldığında binlerce yıl önce, kerpiç evlerin yapımında saman takviyesi olarak kompozit malzemelerden faydalandığı gözlemlenmektedir. Tarihten günümüze kadar ise geleneksel malzemelerin yetersiz olduğu veya geliştirilmesi gerektiği durumların artması kompozit malzemelerin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Kaya, 1995).

Odun lifleri ve plastiklerin karıştırılması sonucu elde edilen kompozitlere ise odun plastik kompozitler (OPK) adı verilmektedir. OPK üretimi ilk olarak bakalit ticari ismiyle Leo Beakeland tarafından 1907 yılında odun unu ve fenol formaldehitin karıştırılmasıyla üretilmiş ve ticari amaçla 1916 yılında Rolls Royce marka otomobillerin vites kolu olarak kullanılmıştır (Clemons, 2002). Kompozit maddenin bileşenlerinden biri olan matrisler güçlü; yapışkanlık, çevre ve iklim şartlarına dayanıklılık ve mekanik dayanıklılık özellik sergilerler. Odun plastik kompozit maddelerde matris elemanı olarak polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS) gibi birçok çeşitli polimer kullanılabilir (DPT, 2008). Polietilen (PE) yoğunluk ve kimyasal özellikleri temel alınarak çeşitli kategorilerde sınıflandırılır. Sınıflandırma esnasında en yaygın kullanılan özellik yoğunluktur. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) bunlardan en önemlilerindendir.

Odun plastik kompozitlerin üretiminde odun liflerinin yanı sıra lignoselülozik maddeler (buğday, pamuk sapı, bambu, şeker kamışı, şeker pancarı, kenaf v.b.) de kullanılmaktadır. Lignoselülozik maddelerin düşük maliyeti, bol miktarda bulunabilirliği, doğada kaybolma sürelerinin az olması, yüksek dirençli olmaları bu kullanımlarını tercih sebebi haline getirmiştir (Nair ve ark., 2001; Renneckar, 2004; Georgopoulos ve ark.,

2005; Antich ve ark., 2006; Khalid ve ark., 2006; Taj ve ark., 2007; Bodirlu ve ark., 2009).

Bu tez çalışmasında, bambu ve kızılçam odun unları ile iki farklı molekül ağırlığına sahip PE kullanılarak odun plastik kompozitler üretilmiştir. Kompozit deney numunelerinin üretimi ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kompozitlerin mekanik (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzama), fiziksel özellikleri (yoğunluk) ve termal (termogravimetrik analizi, difaransiyel tarama kalorimetre analizi) belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerine kullanılan odun ununun ve molekül ağırlığının etkisi incelenmiştir.

1.1. Plastikler

Plastikler, atomların birbirine bağlanarak oluşturduğu büyük moleküllü sentetik maddeler olmasının yanı sıra genellikle katı halde bulunan, basınç ve ısı gibi yöntemler kullanarak şekillendirilebilen veya kalıplanabilen polimerik maddelerdir. Plastikler, polimerizasyon, polikondenzasyon ve poliadisyon reaksiyonlarıyla veya tabii oluşumların modifikasyonları ile elde edilirler. Plastiklerin temel kaynakları petrol, kömür ve doğal gazdır (DPT, 2001).

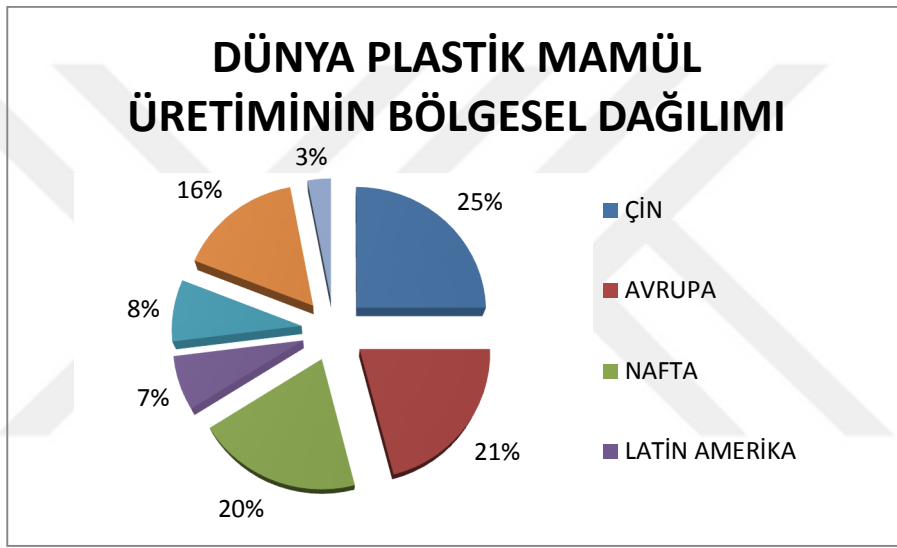
Bilim ve teknolojinin hızla ilerlemesi, kullanımında meydana gelen hızlı artış; malzeme kullanımını, malzemelerin çeşitliliklerini ve malzeme kalitesinin yükseltilmesini de yanında getirmiştir. 20. yüzyılın başlarında tanınmaya ve kullanılmaya başlayan plastiklerin; metal, odun ve seramik gibi malzemelerin yanında kullanımı giderek artmaktadır. Hızlı bir gelişim süreci geçiren plastik malzemeler gerek ekonomik, gerek kolay uygulanabilir olması açısından günümüzde geleneksel malzemelerden üstün hale gelerek, otomobil, elektronik eşyalar ve haberleşme sistemleri başta olmak üzere bir çok alanda kullanılan malzemeler haline gelmiştir (Yaşar, 2001).

1.1.1. Plastiklerin Sektörel Gelişimi

Plastik malzeme kelimesi tarihsel olarak çok yenidir. Tarihte plastikler ilk olarak kömür kullanılarak üretilmiş ancak takip eden yıllarda hammadde olarak petrol kullanılmıştır. Ülkemiz plastik malzeme ile takriben 1880 yılında tanışmıştır. Ülkemize plastiğin girmesiyle beraber değerli taşlar gibi hammaddelerden elde edilen çeşitli süs eşyaları, plastiklerden üretilmeye başlanmıştır. Plastiğin ülkemizde sanayileşmesi 1955

sonrasına dayanmaktadır. Plastiğin günlük yaşantımızdaki ürünlerde kullanılmasının artması, bu sanayileşmenin hızla gelişmesini sağlamıştır (Uluşen, 2008).

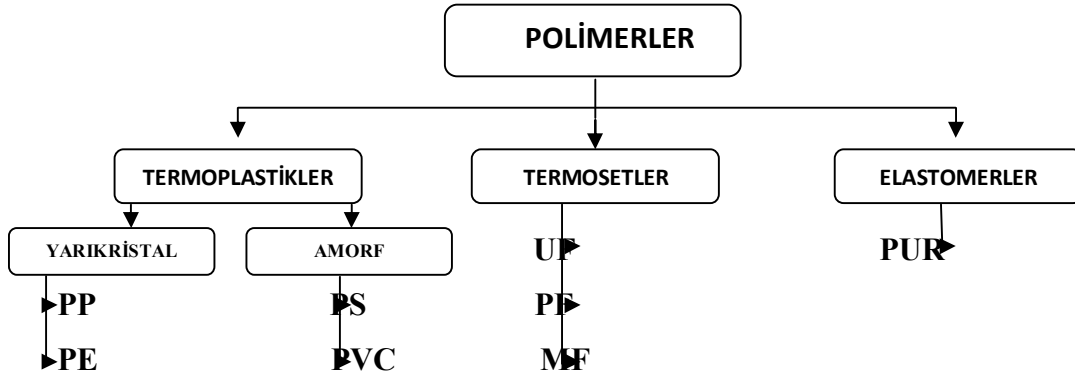
Dünyada yarım asırdır plastik sektörünün hızla gelişimi; kaynakların fazlalığı ve verimli olması, üretimin düşük maliyetli olması, geri dönüştürülebilirliği kolay şekillendirilebilir olması gibi sebeplere dayanmaktadır. Plastikler dünya üzerinde köklü bir değişim olarak kabul edilmektedir. 1950 yılında 1,5 milyon ton olan plastik üretiminin 2010 – 2014 yılları arasında % 4,1 büyüme hızı ile artarak 2015 yılında 325 milyon tona çıktığı tahmin edilmektedir. 2016 yılında ise 2015 yılına kıyasla üretimin % 3 arttığı ve 335 milyon ton olarak gerçekleştiği tahmin edilmektedir (PAGEV, 2016). Şekil 1.1'de Dünya plastik mamül üretiminin bölgesel dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1.2. 2017 Dünya plastik üretimi (PAGEV, 2016)

1.1.2. Kullanılan Bazı Polimerler Türleri ve Özellikleri

Polimerler çeşitli özellikleri bakımından türlere ayrılır. Bunlar; termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir. Polimerlerin genel olarak sınıflandırılması Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



ŞEKİL 1.2. Polimerler sınıflandırılması

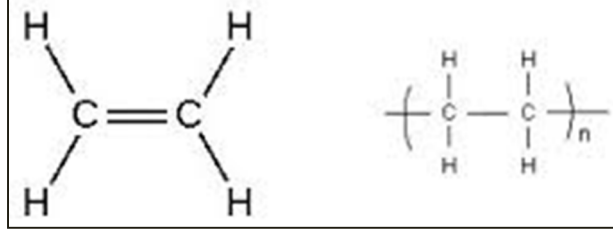
1.1.2.1. TERMOPLASTİKLER

"Termos" (sıcak, ısı) ve "plastik" (şekil verilebilir, kalıplanabilir) kelimelerinden türetilmiş olan termoplastikler; kendisini oluşturan molekülleri düz veya dallanmış zincirli makro moleküller olan plastikler olarak bilinmektedir. Günümüzde kullanımı en yaygın olan plastik türü termoplastiklerdir (Saçak, 1998).

Termoplastikler termal ve mekanik uygulamalarla kolaylıkla yumuşayan, eriyik duruma geçebilen, şekillendirilebilir olan ve soğutularak sertleşen, geri dönüşümü kolay olan malzemelerdir. Eriyik haldeki termoplastikler şekillendirilip soğutularak sertleşme safhasında herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Termoplastiklerin molekül yapısının dayanıklı olması geri dönüşüm safhalarında kimyasal yapının bozulmaya uğramamasının temel sebebi olarak bilinmektedir (Yapar., 2002). Başlıca termoplastikler polietilen, polipropilen, poli vinil klorit ve polistrendir.

POLİETİLEN (PE)

Polietilen (PE) yaklaşık 80 yıl önce bulunmuş ilk defa Imperial Chemical Industries (ICI) İngiltere laboratuvarlarında petrolden sentez edilmiş olan bir termoplastiktir. Dünya üzerinde ki toplam plastik tüketim verilerine göre; plastik tüketim oranının % 40'ını polietilenlerin oluşturduğu bilinmektedir. İsmi monomer haldeki etilenden almaktadır. C_2H_4 (etilen), CH_2 nin çift bağlanmasıyla oluşmaktadır ($CH_2=CH_2$).



Şekil 1.3. Etilen ve polietilenin kimyasal yapısı (URL-2).

PE petrol esaslı hammadde olarak petrokimya esaslarına göre üretilir. Dış darbelere dayanıklıdır. Sert veya yumuşak şekilde üretilebilir. Neme dayanıklıdır. Genellikle tahriş gücü yüksek temizlik malzemeleri gibi kimyasallarının ambalajlanmasında kullanılır. Ülkemizde ticari amaçlı birçok sektörde kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) olmak üzere iki türü bulunmaktadır (DPT, 2008).

AYPE 'ler gıda ürünlerini korumak için paketlemeler, tüpler, kabloların yalıtkan tabakası, çuvallar gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

YYPE'ler ise kimyasal kapları, poşet, bidon, şişe, kavanoz, oyuncaklar, kapaklar, sulama borusu, gaz boru hatları gibi günlük hayatımızda büyük yer kaplayan alanlarda kullanılmaktadır (URL-3).

1.1.2.2. TERMOSETLER

Termosetler ger idönüştürülemeyen tek kullanımlık plastiklerdir. Isıl işlemle tekrar şekillendirmek mümkün değildir. Isıya maruz kalan termosetlerin kimyasal yapısı bozunmaya uğrar (Baysal, 1981).

Polimer zincirleri arasındaki kuvvetli bağlar sonucunda üç boyutlu ağ yapısı meydana getirirler. Günümüzde sık kullanılan termosetler; evde, otomotiv sektöründe, işyerlerinin dizaynında maliyetinin düşük olması sebebiyle vazgeçilemeyen bir yeri olan malzemelerdir.. Termoset plastiklere polyester, epoksi, amin, poliüretan, fenolikler ve üre formaldehitler deney numune olarak verilebilir. Fenolikler ve üre formaldehitler yonga levha, lif levha ve tabakalı ağaç malzeme üretiminde yaygın bir kullanılışa sahiptir (Birbilen, 2014).

1.2. Lignoselülozik Malzemeler

Lignoselülozik maddeler; selüloz, hemiselüloz, lignin, üronik asitler ve asetil grupları içeren maddelerdir. Selüloz ve hemiselüloz kısımları glikoz, mannoz, galaktoz,

ksiloz ve arabinozdan oluşan monosakkaritleri içermektedirler. Selüloz, lignoselülozik maddelerin ana bileşenidir ve % 40-50'sini oluşturmaktadır (Ganstörn, 2001).

Son zamanlarda termoplastik esaslı kompozitlerin üretiminde akçaağaç ve çam odun unları, buğday ve mısır sapsarı, kırmızı biber sapsarı, pirinç çeltiği unu, sisal ve kenaf lifleri gibi çeşitli lignoselülozik malzemelerin kullanıldığı çalışmalara rastlanmaktadır (Karnani ve ark., 1997; Kalaprasad ve ark., 2002; Shah ve ark., 2005; Yang ve ark., 2005; Panthapulakkal ve Sain, 2006; Mengeloğlu ve ark., 2007; Karakuş ve ark., 2010; Özdemir ve ark., 2013).

1.2.1. Kızılçam (*Pinus Brutia Ten.*)

Akdeniz ikliminin tipik bir türü olan ana yayılışını ülkemizde oluşturması nedeniyle de bilimsel çevrelerde ‘‘Turkish Red Pine’’ olarak da adlandırılan Kızılçam (*Pinus brutia Ten.*) Türkiye’de toplam 5.854.672,8 ha’lık bir yayılış göstermektedir (OGM, 2013). Kızılçam ekstraktif madde miktarı ile öne çıkan bir çam türüdür (Serin ve atk., 2003).



Şekil 1.4. Kızılçam genel görüntüsü

Kızılçam, ülkemizde geniş yayılış gösteren, yerli orman ağacı türlerimizdendir. Özellikle Akdeniz iklimi gösteren yörelerde yayılmaktadır. Anadolu’da özellikle Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgelerini yamaçlarında kıyı kesimlerde geniş saf ormanlar kurmaktadır. Karadeniz Bölgesinin Akdeniz iklimi özellikleri gösteren bölgelerde lokal halde yayılmakta olup Türkiye’de 3 milyon hektarı aşan bir yayılış alanı vardır (Öktem, 1987).



Şekil 1.5. Kızılcçamın ülkemizdeki yayılışı (OGM atlası)

Kızılcçam odunu kereste, inşaat malzemesi, ambalaj sandığı, tel direği, maden direği, çit kazığı, döşeme, travers, tarım aletleri, mobilya yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca kontrplak ve selüloz sanayinde önemli bir hammadde ve kabukları tanen üretiminde değerlendirilmektedir (Erten ve Taşkın, 1985).

Kızılcçamın selüloz oranını öz odunda %52,6, diri odunda %57,9, a-selüloz oranını öz odunda %45,2, diri odunda %50,2 ve lignin oranını öz odunda %28, diri odunda %29, ayrıca soğuk su, alkol-benzen ve %1'lik NaOH çözünürlüğü değerlerini öz odun ve diri odun için %3,1-2,4, %6,5-5,1, %7,6-5,7 ve %10,2-9,1 olarak tespit edilmiştir. (Hafizoğlu ve Usta 2005).

1.2.2. Bambu

Bambular, *Poacea (Graminacea)* familyasının *Bambusoideae* alt familyasından uzun, ağacımsı otlardır. Genellikle Asya'nın doğusunda, Güney Amerika'da, Avustralya'nın kuzeyinde ve Afrika'da yetişir. Soğuk dağlardan sıcak tropik bölgelere kadar çeşitli enlemler, rakımlar ve iklimlere yayılmış olan bambuların sapları (gövdeleri) yuvarlaktır ve uzunlamasına düğümlerle bir araya gelmiş olan farklı parçalardan oluşmaktadır (Uchimura, 1978).



Şekil 1.6. Bambu genel görüntü (URL -4, URL-5).

Bambunun 1200 türünden 3 tanesi Doğu Karadeniz bölgesinin ekolojik şartlarına uygundur. Bu bölgede yetiştirilen bambu hem fındık ve çaya alternatif olabilecek, hem de toprak altı kısımları ile toprağı ağ gibi sararak toprak kayması ve erozyon gibi doğa olaylarını da önleyebilecektir (URL-6). Genel olarak bambuların yayılışını etkileyen faktörler nem, toprak, ısı, rakım ve coğrafi konumdur. Bambular farklı türlerde farklı sıcaklık istemi olmasına karşın genellikle yumuşak iklimde bulunurlar (Numata, 1978).



Şekil 1.7. Bambu ormanı (URL-6)

Bambular 76 cins ve 1000 den fazla türe sahip olmakla beraber morfoloji, yapı, şekil gibi özellikleri bakımından odunsu formda bulunanlar (Woody Form) ve otsu formda bulunanlar (Herbaceous form) olmak üzere iki formda gözlemlenir (Watanabe, 1986).

Bambular eşeyli ve eşeysiz olarak üreyebilirler. Her bambu türü tohumla eşeyli şekilde üretilebileceği bu yöntem bambuların çiçek verme süresi çok uzun (ortalama 30 ile 80 yıl) olduğu için çok kullanılmamakla beraber genel olarak vejetatif yöntemler kullanılır (Uchimura, 1978).

Bambu gövdeleri %55 selüloz, %20 pentozan ve %25 lignin ihtiva etmektedir. Bunun yanı sıra düşük oranlarda reçine, tanen, vax ve organik tuzlarda içermektedirler. Bu içerdikleri maddeler sayesinde bambular günümüzde ziraat, tekstil, zemin kaplama ve kağıt endüstrisi gibi bir çok alanda önemli yer edinmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Joseph ve arkadaşları (1996) çalışmalarında AYPE esaslı sisal lifi kompozitler üretmişlerdir. Sisal lifleri sodyum hidroksit, permanganat, izosiyanat ve peroksit gibi kimyasallarla muamele edilerek lif-polimer ara yüzey bağlanması iyileştirilmiştir. Muamele edilmemiş kompozitlere göre sodyum hidroksitle muamele edilen kompozitlerin daha iyi çekme özellikleri verdiği görülmüştür. İzosiyanatla muamele edilmiş kompozitler üstün mekanik özellikler göstermiştir. SEM görüntüleri, sisal/AYPE kompozitlerin uzun lif-matris yapışmasını desteklemiştir. İzosiyanat ve peroksitle muamele edilen kompozitler maksimum özellikler sergilemiştir.

Paul ve Thomas (1997) sisal lifi/düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) ve hindistan cevizi lifi/AYPE kompozitlerin elektriksel özellikleri üzerine çalışmışlardır. Dielektrik sabiti lif miktarının artmasıyla kademeli bir şekilde artmış ve tüm kompozitlerde frekans arttıkça azalmıştır. Hacimsel öz direnç değerleri lif içeriğine bağlı olarak azalmıştır. Lif içeriği ile dielektrik sabitinin artması hem sisal/AYPE hem de hindistan cevizi/AYPE kompozitlerde düşük frekanslarda daha baskındır. Doğal lif dolgulu bu kompozitlerin sonuçları karbon siyahı ve cam lifi dolgulu AYPE kompozitlerin özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Karbon siyahı dolgulu AYPE kompozitlerin dielektrik sabiti karbon içeriğiyle artmış ve bu artış yüksek karbon içeriğiyle daha keskinleşmiştir. Bu durum, AYPE matrisi içinde karbon siyahının ağ formasyonu ile ilişkilidir.

George ve arkadaşları (1997) ananas yaprakları ve düşük yoğunluklu polietilen kullanarak polimer kompozitler üretmişlerdir. Ananas yapraklarını silan, izosiyanat, alkali (NaOH) ve peroksitle muamele ederek enjeksiyon kalıplama yöntemiyle kompozitleri hazırlamışlardır. Selüloz içeriğinin artması ile lif miktarı arttıkça kompozitlerin su alması artmıştır. Liflerin kimyasal modifikasyonu daha iyi ara yüzey bağlanması sağladığından su alımı azalmıştır. Maksimum iyileşme İzosiyanatla muamele edilen kompozitlerde elde edilmiştir. Su alma artışları sırasıyla izosiyanat < silan < NaOH < peroksit < muamele edilmemiş kompozitler olarak gerçekleşmiştir. Bu davranış lif/matris ara yüzey etkileşimi ile ilgilidir. Çekme özellikleri üzerine su alımının etkileri araştırıldığında; kompozitlerin suya maruz kaldıktan sonra mekanik özellikleri suya batırma süresi, lif miktarı ve kimyasal uygulamaya bağlı olarak düşmüştür. Kompozitlerin eğilme direnci ve modülünde ise UV ışınlarına maruz kaldıktan sonra saf AYPE'de direnç ve modül az bir miktar düşmüştür. Ananas yaprağı liflerinin ilavesi herhangi bir etki yapmamıştır.

Nogellova ve arkadaşları (1998) çalışmalarında, AYPE matrisi içine lignoselülozik takviye elemanı olarak odun unu karıştırmış ve 2,5 dimetil- 2,5 ditertibütül peroksi heksin-3 kimyasalı ilave etmişlerdir. Pres kalıplama yöntemiyle üretilen polimer kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Odun unu oranı arttıkça çekme direnci ve kopmada uzama azalmış, elastikiyet modülü ise artmıştır. %1 peroksit ilavesi değerleri iyileştirmiştir. Farklı oranlarda peroksit ilavesi yapıldığında çekme direnci, kopmada uzama ve elastikiyet modülü değerlerinde peroksit miktarı arttıkça % 10 ve % 50 dolgu maddesi içeren kompozitlerde artış gözlemlenmiştir. %1 peroksit içeren kompozitlerde şişme derecesi odun unu miktarı arttıkça önemli bir şekilde düşmüştür. Bu dolgu maddesi ile polimer malzeme arasındaki etkileşimin artmasının bir göstergesidir.

Luyt ve Malunka (2005) AYPE-sisal lifi kompozitlerin termal özellikleri üzerine lif oranı, peroksit ve vaks ilavesinin etkisini incelemişlerdir. Vaks ilavesi AYPE matrisinin kristalliğini artırırken, sisal lifleri kristalliği düşürmüştür. Peroksit uygulaması saf AYPE'nin kristalliğini azaltmış ancak erime sıcaklığını etkilememiştir. Fakat sisal lifinin peroksit uygulanan deney numunelerinin erime sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür. Bu düşüş sisal lifinin artmasıyla daha belirgin olmuştur. Vaks ilavesi de erime sıcaklığını düşürmüştür. Vaks ve sisal lifinin ikisinin de varlığı çapraz bağ bulunmayan AYPE'nin termal sabitliğini azaltmıştır.

Brahmakumar ve arkadaşları (2005) Hindistan cevizi liflerinden AYPE esaslı polimer kompozitler üretmişlerdir. Lifler su ile yıkanmış ve 80⁰ C etüvde 4-6 saat kurutulmuştur. Daha sonra liflere yüzey modifikasyonu uygulanmıştır. Yönlendirilmiş sürekli olmayan lif kompozitleri ekstrüzyon, pres ve enjeksiyon kalıplama metotlarıyla elde edilmiştir. Hindistan cevizi liflerinin doğal mumsu yüzey tabakası lif ve polietilen matris arasında güçlü bir ara yüzey bağlanması sağlamıştır. Mumsu katmanın giderilmesi sonucunda zayıf ara yüzey bağlanmasıyla çekme direnci ve modülü düşmüştür. Mumsu katmanın polimerik doğası, lif/matris bağlanmasında uygulanan yüzey modifikasyonundan daha güçlü bir etki göstermiştir. Morfolojik özellikler ekstrüzyon sırasında erimiş matris boyunca nispeten uzun liflerin akışını desteklemiştir.

Avcı ve arkadaşları (2007) çalışmalarında matris elemanı olarak kullandıkları granül haldeki AYPE'yi pres kullanarak 1 mm kalınlığında tabaka haline getirmişlerdir. İki tabaka AYPE levha arasına iki yönlü cam kumaş fiberler yerleştirerek sıcak preste kompozit malzeme üretmişlerdir. Önce malzemenin mekanik özellikleri belirlenmiş daha sonra boydan boya merkez çatlakları açılmış, çekme deneyleri yapılmış ve kırılma davranışları incelenmiştir. Yükleme ilerledikçe x-eksenine dikey konumda olan cam

kumaşlar çatlak ilerleme, çatlak ucu açılma miktarı ve matris ayrılmasına bağlı olarak kopmuştur. Genel olarak çatlak ilerleme miktarları arttıkça, çatlak ucu açılma miktarları giderek azalmıştır. Merkezi çatlaklı numunelerde uygulanan yük çatlakla dik olduğundan sadece açılmadan dolayı hasar görülmüştür. Üretilen kompozit malzemelerin kendisini oluşturan malzemelere göre mekanik özellikleri geliştirildiği gözlemlenmiştir.

Liu ve Arkadaşları (2008) iki adet maletilen etilen / propilen elastomeri (EPR-g-MA) ve bir adet maletlenmiş polietilen (PE-g-MA) ile modifiye edilmiş YYPE / bambu unu (BF) kompozitlerinin mekanik özellikleri ve morfolojileri incelenmiştir. Her değiştiricinin konsantrasyonu, toplam bileşik ağırlığına bağlı olarak ağırlıkça% 0 ila 8.3 arasında değişmiştir. PE-g-MA içeren kompozitler için kuvvetler ve modüllerdeki en yüksek değerler elde edilirken, yarı kristalli EPR-g-MA (sEPR-g-MA) kullanımı maksimum darbe dayanımına yol açmıştır. Bununla birlikte, amorf EPR-g-MA (aEPR-g-MA) mevcudiyeti, sonuçta meydana gelen kompozitlerin mukavemetlerini azaltmıştır. AEPR-g-MA ile modifiye edilmiş kompozitlerin çarpma tokluğu başlangıçta ağırlıkça% 2.9'a kadar aEPR-g-MA yüklemesiyle arttı ve daha sonra kademeli olarak bu seviyenin altına düşmüştür. Hem PE-g-MA hem de EPR-g-MA'nın eşzamanlı olarak dahil edilmesiyle, nihai kompozitlerin kuvvet-tokluk dengesi optimize edilmiştir. Kompozit özelliklerin optimal dengesi, düşük sEPR-g-MA ve orta BF yükleme seviyesinde elde edildi. Dinamik mekanik analiz (DMA) ve morfoloji gözlemleri yukarıda belirtilen mekanik sonuçları doğrulamıştır. Uygun ara yüzey yapışmasının ve YYPE ve BF arasındaki katman içi kaviteasyonların kolaylığının kompozitlerde elde edilen masif matrisin başlatılmasında ve böylece tatmin edici darbe dayanımının elde edilmesinde faydalı olduğu bulunmuştur.

Mohanty ve Nayak (2010) bambu lifi takviyeli YYPE kompozitler, eriyik harmanlama tekniği ve ardından enjeksiyonla kalıplama kullanılarak hazırlanmıştır. Kompozitlerin mekanik, dinamik, termal ve morfolojik davranışlarının sistematik bir incelemesi yapılmıştır. Elyaf yüklenmesinde% 10'dan% 30'a yükselme ile gerilme ve bükülme özelliklerinin arttığı ve bunun ötesinde kompozitlerin mekanik kuvvetlerinde bir düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca, maleik anhidrid aşılanmış polietilenle (MAPE) işlemden geçirilmiş kompozitler, verimli elyaf-matris yapışmasını doğrulayan gelişmiş mekanik özellikler sergilemiştir. Dinamik mekanik analiz, işlenmemiş ve işlenmiş kompozitlerde depolama modülünün, YYPE ile karşılaştırıldığında matris polimerinin takviye ile sertliğinin arttığını göstermiştir. Çekme kırılmış numunelerinin morfolojisi taramalı elektron mikroskopik analiz kullanılarak da incelenmiştir. Kompozitlerde termal

özellikler sırasıyla DSC, TGA ve HDT kullanılarak çalışılmıştır. Su emme testi, işlem görmüş kompozitlerde daha az su alımını ortaya çıkarmıştır.

Atar ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) bazlı kompozitlerde dolgu maddesi olarak termoplastik nişasta (%0-12,5-25-37,5-50) kullanmışlardır. Yapılan çalışma neticesinde nişasta oranının artmasıyla malzemenin yoğunluğunun arttığı mekanik özelliklerin azaldığı görülmüştür. Üretilen kompozitlerin en yüksek nişasta kullanımında (%50) dahi standartları karşıladığı belirtilmiştir.

Karakuş ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları çalışmada şeker pancarı küspesini (%0-20-40) alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) matrisinde dolgu maddesi olarak kullanmışlardır. Test sonuçlarına göre dolgu maddesi oranının artmasıyla eğilme direnci, eğilmede elastikiyet ve çekmede elastikiyet modüllerinde artma gözlemlenmiştir. Çekme direnci, kopmada uzama ve darbe dirençlerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

Bir başka çalışmada Çavdar ve arkadaşları (2011) çay lifi atıklarını yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen esaslı termoplastiklere %0-10-20-30-40-50 oranlarında dolgu maddesi olarak katmışlardır. Yapılan test sonuçlarına göre dolgu maddesi oranının artması ile su absorpsiyonunda ve kalınlığına şişmede artma görülürken mekanik özelliklerde azalma görülmüştür.

Mengeloğlu ve Karakuş (2012) yaptıkları araştırmada yüksek yoğunluklu polietilen matrisinde buğday samanını çeşitli oranlarda dolgu maddesi olarak kullanılarak köpük üretmişlerdir. Buğday samanının artmasıyla mekanik özelliklerde azalma meydana gelmiştir.

Liu ve arkadaşları (2012) doğal bitki liflerinin, günlük hayatımızda ekonomik refah ve sürdürülebilirliğe kesinlikle katkıda bulunmasına değinmiştir. Özellikle, bambu elyaflarını tekstil, kağıt ve inşaat gibi çeşitli endüstriyel uygulamalar için kullanmıştır. Cam elyafının; yenilenemeyen kaynaklardan üretilmesinin değiştirilmesi veya azaltılması için yenilenebilir bir kaynak olan bambu lifinin (BF) kullanılması hedeflenmiştir. Bu derlemede, makro, mikro ve nano boyutlu liflerin ham bambudan hazırlanması ve ayrılması için çeşitli mekanik, kimyasal ve biyolojik yaklaşımlar özetlenmiştir. Liflerin mekanik, ısı ve diğer özelliklerinden farklı malzemelerden farklılıkları, boyutlarına, boy oranlarına, yüzey yüklerine ve gruplarına ve doğadaki işlevlerine bağlıdır. BF'den yapılan biyo-kompozitler yeşil, çevreye duyarlı eko-ürünler olarak kabul edilir. Lif ekstraksiyonu, yüzey modifikasyonu ve kompozitlerin sentezi gibi farklı işlem parametreleri kompozitlerin özelliklerini etkiler. Arzu edilen fonksiyonellikler ve performans elde etmek

için elyaf uzunluğu, oryantasyon, konsantrasyon, dağılım, en boy oranı, matris seçimi ve matrisin kimyası, imalat sırasında dikkate alınmalıdır. BF'nin hidrofilik doğası nedeniyle, ara yüzey yapışmasını iyileştirmek için farklı yöntemler benimsenebilir. Elyaf yapısının ve kompozit performansını etkileyen özelliklerin daha iyi anlaşılması, doğal elyaf ve çeşitli polimerik matrisler için uygun dolgu maddelerinin, kaplamaların, bağlayıcıların veya boyutlandırmanın gelişmesine yol açabilir olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) matrisi içerisine lignoselülozik takviye malzemesi olarak kızılçam ve bambu odun unları kullanılarak odun plastik kompozitlerin ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak üretilmesi ve elde edilen kompozit deney numunelerinin mekanik (çekme direnci, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve kopmada uzama), fiziksel özellikleri (yoğunluk) ve termal (termogravimetrik analizi, difaransiyel tarama kalorimetre analizi) özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, üretilen kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerine kullanılan odun ununun ve polimer molekül ağırlığının etkisi incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmada, polimer matris olarak düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) lignoselülozik takviye elemanı olarak ise kızılçam odunu ve bambu odunu kullanılmıştır. Kullanılan kızılçam odunu Kahramanmaraş ilinde marangoz atölyelerinden temin edilmiştir. Bambu odunu ise Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsünden temin edilirken AYPE (PETKİM F2-12) ve YYPE (PETKİM YY S0464) ise Petrokimya Holding A.Ş. (PETKİM) tarafından satın alma yoluyla temin edilmiştir.

3.2. Metod

3.2.1. Hammaddenin hazırlanması

Bu çalışmada matris elemanı olarak kullanılan düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) ve (YYPE) satın alındığı şekilde (pellet halinde) kullanılmıştır (Şekil 3.1). Kullanılan AYPE ve YYPE'nin özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.1. a) Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) b) Düşük Yoğunluklu Polietilen (AYPE)

Çizelge 3.1. Satın alınan AYPE ve YYPE'nin özellikleri

Özellikler	AYPE (F2-12)	YYPE (S0464)
Yoğunluk (23 ⁰ C)	0.920 g/cm ³	0.959-0.963
Erime noktası	110 ⁰ C	134
Erime akış hızı (190 ⁰ C, 2160 g)	2,0-3,5/10 dk	0.25-0.45

3.2.1.1. Lignoselülozik takviye malzemesinin hazırlanması

Çalışmada lignoselülozik malzeme olarak kullanılan kızıl çam odun unları atölyelerden alındıktan sonra sarsak elekte tasnif edilmiş ve 40 mesh elekten geçip 60 mesh elek üzerinde kalan kısmı çalışmada kullanılmıştır. Bambu odun unları ise, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsünden temin edilen uzun çubuk halindeki (Resim 3.1. a) bambular yonga haline getirilmiş (Resim 3.1.b) ve daha sonra Şekil 3.2a'da gösterilen kırıcı yardımıyla un haline getirilmiştir. Kızılçamda olduğu gibi bambu unları da Şekil 3.2b'de gösterilen öğütme makinesi yardımıyla öğütülmüş ve 40 mesh elekten geçip 60 mesh elek üzerinde kalan kısmı çalışmada kullanılmıştır.



Şekil 3.2. a) Bambu odunu b) yongalanmış bambu odunu



(a)



(b)

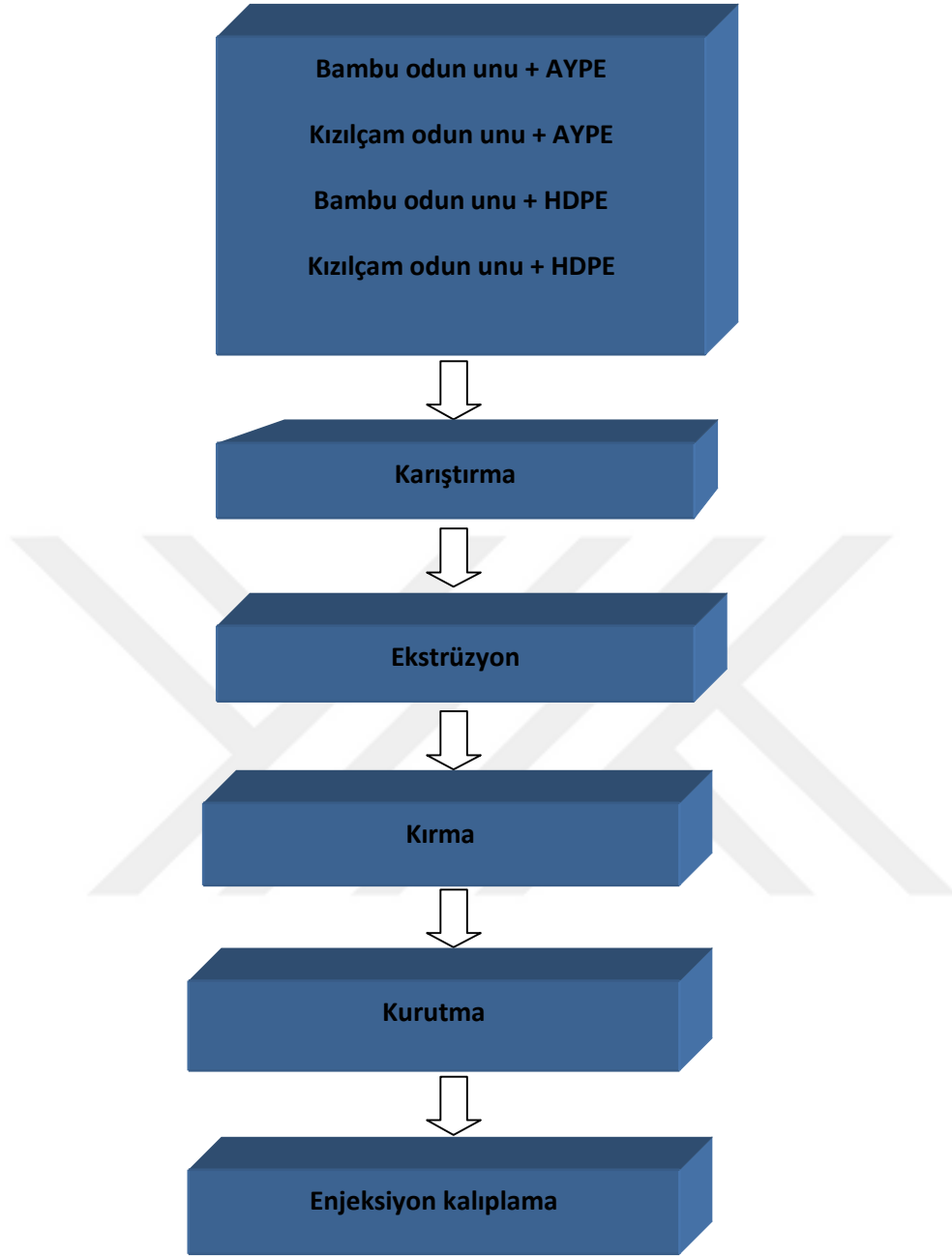
Şekil 3.3 Lignoselülozik malzemenin hazırlanmasında kullanılan makineler a) Öğütme makinesi b) Sarsak elek



Şekil 3.4. Öğütücüden Geçirilmiş Bambu Odunu

3.2.3. AYPE ve YYPE esaslı kompozitlerin üretilmesi

AYPE ve YYPE esaslı kompozitlerin üretimi Şekil 3.4 verilen şemaya göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Kompozit üretimi iş akışı

Kompozit üretiminde, üretim reçetesinde önce düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) bambu odun unu yüksek devirli bir karıştırıcı (Şekil 3.5) içerisinde homojen bir karışım haline getirilmiş ve daha sonra aynı işlem kızılçam odun unu ile gerçekleştirilmiştir. Karışımlar, Çizelge 3.2 de verilen reçeteye göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2 Kompozit malzemelerin üretim reçetesi

Deney numune Kodları	AYPE(%)	YYPE (%)	Kızılçam (%)	Bambu (%)
AYPE15B*	85	-	-	15
AYPE 30B	70	-	-	30
AYPE45B	55	-	-	45
YYPE15B	-	85	-	15
YYPE30B	-	70	-	30
YYPE45B	-	55	-	45
AYPE15K*	85	-	15	-
AYPE30K	70	-	30	-
AYPE45K	55	-	45	-
YYPE15K	-	85	15	-
YYPE30K	-	70	30	-
YYPE45K	-	55	45	-

*YYPE: Yüksek yoğunluklu polietilen

*AYPE : Alçak yoğunluklu polietilen

*K : Kızılçam odun unu

*B : Bambu odun unu



Şekil 3.6. Yüksek devirli karıştırıcı

Daha sonra bu karışımlar Şekil 3.5’de gösterilen laboratuvar tipi tek vidalı ekstruder makinesinden geçirilmiştir. Isıtma panellerinin sıcaklıkları 170-190 °C olacak şekilde ayarlanan ekstruder makinesinde sıcaklığın etkisiyle polimer malzeme erimiş ve lignoselülozik malzeme ile daha iyi bir karışım sağlanmıştır.



Şekil 3.7. Ekstrüzyon işlemi

Ekstruder makinesinden çıkan malzeme soğuk su içinde soğutulduktan sonra kırıcı yardımıyla küçük parçacıklar haline getirilmiştir (Şekil 3.6)



Şekil 3.8. Ekstruderden çıkan malzemenin kırılması

Kırıcıdan çıkan pelet halindeki malzeme 100 °C'deki etüvde kurutulmuştur. Rutubetleri uzaklaştırılan bu malzeme (Şekil 3.7) enjeksiyon-kalıplama yöntemiyle üretimler şekilde gösterilen Haida HDX88 model enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilecektir. Bu üretim esnasında 40 rpm vida hızı, 170-190 °C sıcaklık kullanılmıştır(Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Enjeksiyon kalıplama makinesi

3.2.4. Kompozitlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

3.2.4.1. Yoğunluk belirleme

Üretilen kompozitlerin yoğunlukları ASTM D 792 standardına uygun olarak Precisa XB 220A markalı sudaki yoğunluk cihazında belirlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.10. Sudaki yoğunluk düzeneği

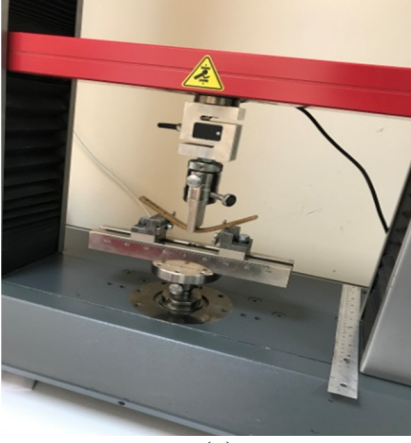
3.2.5. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit deney numunelerinin (Şekil 3.10), mekanik testleri Amerikan Standartları (ASTM)'na uygun olarak yapılmıştır. Kompozitlerin mekanik özellikler olarak çekme direnci (ASTM D 638), eğilme direnci (ASTM D 790) ve darbe direnci testi (ASTM D 256) testleri ilgili standartlar kullanılarak belirlenmiştir.

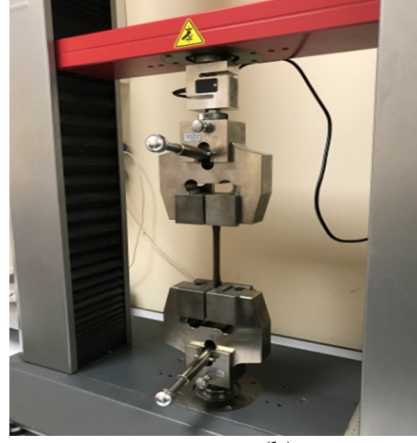


Şekil 3.11. Kompozit deney numuneleri

Eğilme ve çekme direnci testleri Zwick/Roell Z010 Universal test makinesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11). Her bir test için 5'er deney numune kullanılmıştır. Çekme direnci testi 4 mm kalınlığında, 13 mm genişliğinde ve 165 mm uzunluğundaki deney numuneler kullanılarak 5 mm/dk test hızında gerçekleştirilmiştir. Eğilme direnci testi 5 mm kalınlık, 13 mm genişlik ve 165 mm uzunluk boyutlarındaki deney numuneler ile gerçekleştirilmiştir. Test esnasında iki mesnet arası açıklık 80 mm ve test hızı 2 mm/dk olarak ayarlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.12. a) Eğilme direnci test cihazı b) Çekme

Deney numunelerinin Polyttest RayRan çentik açma makinesinde çentikleri açılarak darbe direnci testleri Zwick/Roell HIT5.5P Universal test makinesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12). Her bir grup için 5 adet deney numunesi test edilmiştir. Darbe direnci testi 4 mm kalınlığında, 13 mm genişliğinde ve 63mm uzunluğundaki deney numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13. Darbe direnci test cihazı

Deney numunelerinin morfolojik özelliklerini incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelenmiştir. Bu amaçla, seçilen numunelerden (AYPE,

YYPE ve AYPE45K, AYPE45B, YYPE45K, YYPE45B) düzgün kırılma yüzeyleri elde edebilmek için numuneler sıvı azot içerisinde bekletilmiştir (Şekil 3.13). Daha sonra kırılğan hale gelen örnekler darbe direnci test cihazında kırılarak istenilen yüzeyler elde edilmiştir (Şekil 3.14). Elde edilen yüzeylerden SEM görüntüsü incelenerek dolgu maddesinin numuneler içerisindeki dağılımı incelenmiştir.



Şekil 3.14. Sıvı azotta bekletilen deney numuneleri



Şekil 3.15. Sıvı azotta bekletilen deney numunelerinin darbe testi sonrasında kristal yüzey elde edilmesi

3.2.6. Termogravimetrik analiz (TGA) ve Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizlerinin yapılması analiz öncesi kullanılacak örnekler IKA marka öğütücü (Şekil 3.13) yardımıyla 1 mm boyutuna kadar öğütülmüştür.



Şekil 3.16 IKA gütücü

TGA analizleri için Şekil 3.14’de gösterilen Shimadzu TGA–50 kullanılmıştır. 5-10 mg örnek kullanılarak TGA analizleri gerçekleştirilmiştir. Test esnasında, 20 mL/min akış hızında azot gazı ve oda sıcaklığından 600 °C’ ye kadar 10 °C/dak’lık ısıtma oranında artış kullanılmıştır. Sonuç olarak termal bozunma sıcaklıkları, bozunmaya başlama sıcaklıkları ve farklı sıcaklıklardaki artık madde miktarı belirlenmiştir.



Şekil 3.17. Thermogravimetric Analiz (TGA) Analizörü

DSC analizleri için ise Şekil 3.15’de gösterilen Shimadzu DSC–60 kullanılmıştır. DSC analizi esnasında sıcaklık oda sıcaklığından 500 °C’ ye kadar 10 °C/dak ısıtma

oranında artırılmıştır. Bu test esnasında kullanılan azot gazının akış hızı ise 30 mL/min olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Analizörü

3.2.9. İstatistiksel analiz

Üretilen kompozit malzemelerin veri analizleri Design Expert®Version 7.0.3. istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. KOMPOZİTLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

4.1. Yoğunluk

Üretilen deney numunelerinin yoğunlukları çekme, eğilme direnci deney numunelerinden alınarak belirlenmiştir. Elde edilen yoğunluk değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri

Grup No	Yoğunluk (g/cm ³)
AYPE	0,92 (0,002)*
AYPE15K	0,97 (0,005)
AYPE30K	1,02 (0,003)
AYPE45K	1,05 (0,022)
AYPE15B	0,96 (0,001)
AYPE30B	0,98 (0,021)
AYPE45B	1,03 (0,006)
YYPE	0,96 (0,002)
YYPE15K	1,00 (0,003)
YYPE30K	1,04 (0,003)
YYPE45K	1,08 (0,003)
YYPE15B	0,99 (0,002)
YYPE30B	1,01 (0,012)
YYPE45B	1,05 (0,010)

* standart sapma değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

Bambu ve kızılçam odun unu dolgu maddesi takviyeli deney numunelerinin istatistik analizleri sonucunda, polimer türü, dolgu maddesi türü ve dolgu maddesi kullanım oranının üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri üzerinde önemli oranda etkili olduğu görülmüştür. Şekil 4.1’de polimer türü ve dolgu maddesi oranının yoğunluk üzerine etkileşim grafiği verilmiştir. X eksenini dolgu maddesi oranını gösterirken Y eksenini ölçülen değeri göstermektedir. Her iki dolgu maddesi ilavesi ile deney numunelerinin yoğunluk değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü sırasıyla 0,92 ve 0,96 g/cm³ yoğunluğa sahip AYPE ve YYPE içerisine yaklaşık 1.5 g/cm³ yoğunluğa sahip odun

unları katıldığında elde edilen kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri daha yüksek çıkmaktadır. Burada odun unlarının yoğunluklarının $1,5\text{g/cm}^3$ olarak kabul edilmesinin nedeni, yüksek basınç altında gerçekleştirilen üretim esnasında hücre lümenlerin parçalanacağı kabul edilerek odunun yoğunluğundan ziyade hücre çeper yoğunluğu değeri alınmasının uygun olmasından kaynaklanmaktadır. Üretimde matris olarak YYPE kullanılan deney numunelerinin yoğunlukları AYPE kullanılan deney numunelerden yüksek çıkmıştır. Kızılcım odun unu kullanılarak üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri, bambu unu kullanılarak üretilenlerden nispeten daha yüksek bulunmuştur.



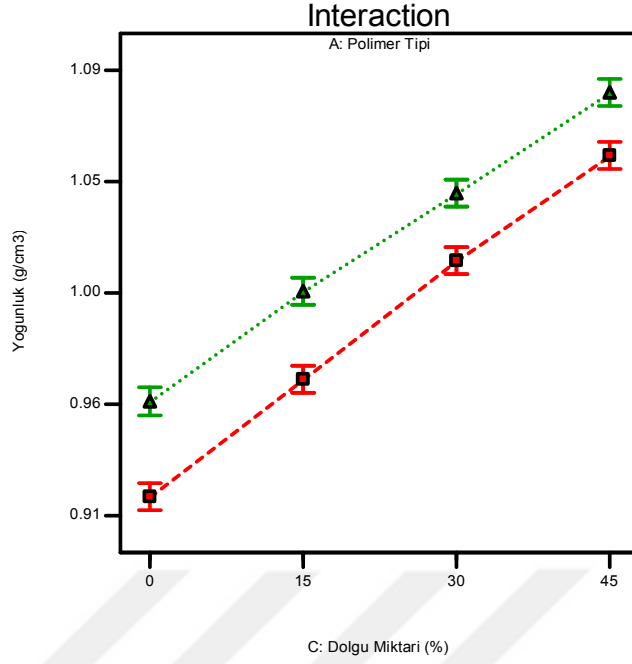
Design-Expert® Software

Yogunluk (g/cm³)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = KÇ



(a)

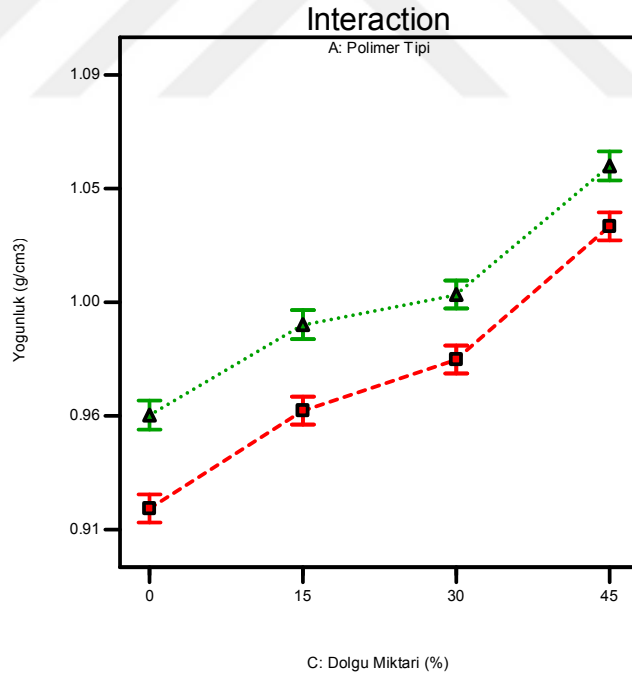
Design-Expert® Software

Yogunluk (g/cm³)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = Bambu



(b)

Şekil 4.1 Polimer tipi ve dolgu maddesi oranının yoğunluk üzerine etkisi gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odun unu ve b) bambu odun unu

4.2. Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Kompozit deney numunelerinin çekme ve eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme direnci testi, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama testlerinden elde edilen sonuçların ortalama ve standart sapmaları Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.

Kompozit malzemelerin incelenen özellikleri üzerine polimer türü, dolgu maddesi tipi ve dolgu maddesi miktarının etkisinin daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla istatistiksel analiz yapılmıştır. Şekil 4.2’de deney numunelerinin çekme direnci değerlerine ait etkileşim grafikleri verilmiştir. Analizler sonucunda polimer türünün ve dolgu maddesi kullanım oranının çekme direnci üzerine önemli oranda etkili olduğu ve dolgu maddesi miktarının artması ile çekme direncinin azaldığı görülmüştür. YYPE ile üretilen deney numuneler AYPE ile üretilenlerden yüksek çekme direnci değerleri sağlamıştır.

Bambu ve kızılçam odun unu dolgu maddesi takviyeli deney numunelerinin polimer türü ve dolgu maddesi kullanım oranı çekmede elastikiyet modülü üzerinde önemli oranda etkili olmuştur. Deney numuneler üzerinde dolgu maddesi kullanım oranı arttıkça çekmede elastikiyet modülü değerleri yükselmiştir. Bunun nedeni, odun veya lignoselülozik malzemelerin, termoplastik polimer matrisinden daha yüksek modüle sahip olmasıdır (Klyosov, 2007, Mengelolu ve Kabakci, 2008). Deney numunelerinin Çekmede Elastikiyet Modülü Etkileşim Grafikleri Şekil 4.3’te verilmiştir. YYPE ile üretilen deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri AYPE ile üretilen deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

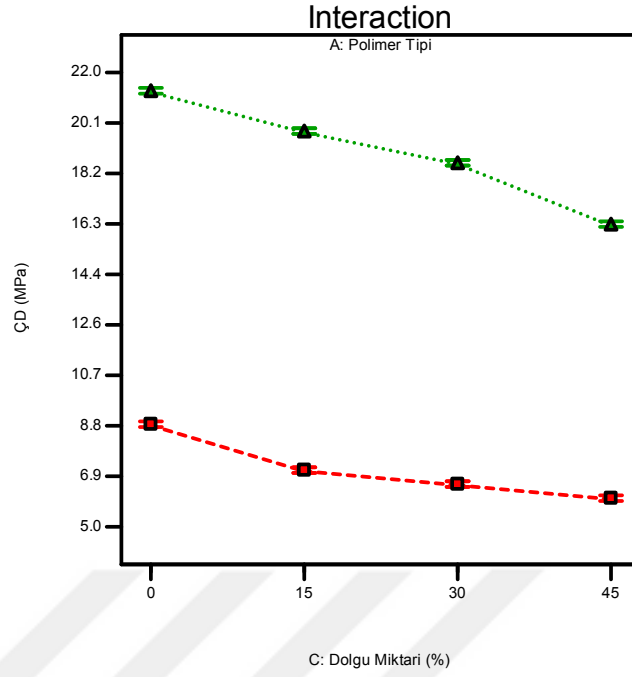
Design-Expert® Software

ÇD (MPa)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = KÇ



(a)

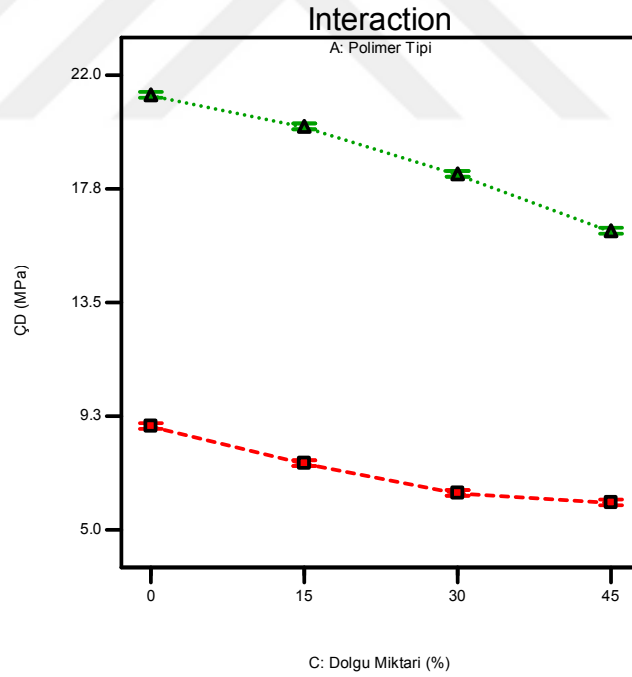
Design-Expert® Software

ÇD (MPa)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = Bambu



(b)

Şekil 4.2 Polimer türü ve dolgu maddesi oranının çekme direnci üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odunu ve b) bambu odunu

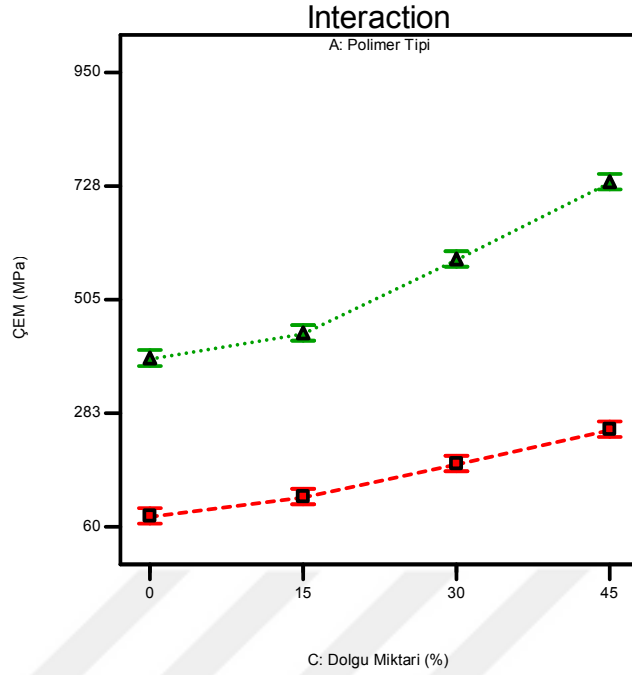
Design-Expert® Software

ÇEM (MPa)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = KÇ



(a)

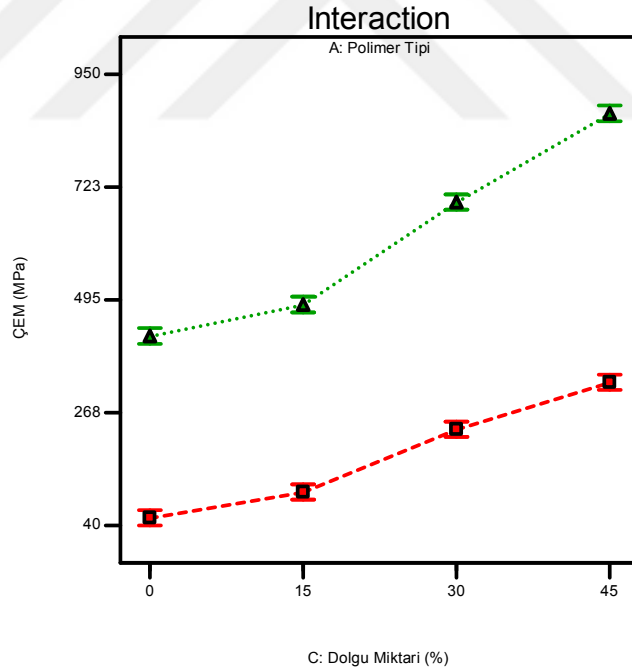
Design-Expert® Software

ÇEM (MPa)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = Bambu



(b)

Şekil 4.3 Polimer türü ve dolgu maddesi oranının çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odunu ve b) bambu odunu

Kopmada uzama değerleri üzerinde, polimer türünün ve dolgu maddesi kullanım oranının etkisi de incelenmiştir. Bambu ve kızılçam odunu takviyesinin deney

numunelerinin kopmada uzama değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. şekil 4.4'te üretilen deney numunelerinin kopmada uzama etkileşim grafiği verilmiştir. AYPE örneklerin kopmada uzama değerleri YYPE örneklere kıyasla çok daha yüksek olmasına rağmen odun unları ile takviye edildiklerinde bu değerler YYPE esaslı kompozit örneklerden daha düşük bulunmuştur. Deney numunelerinin kopmada uzama değerleri dolgu maddesi kullanım oranı arttıķa azalmıştır.



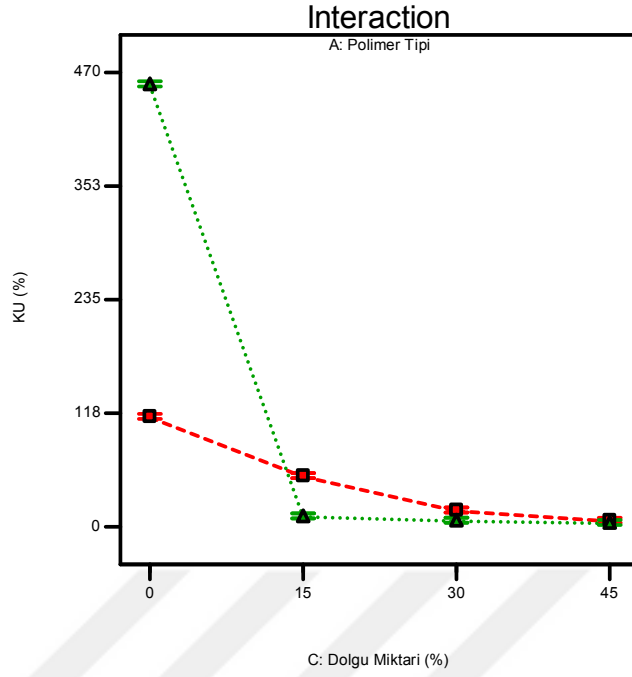
Design-Expert® Software

KU (%)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = KÇ



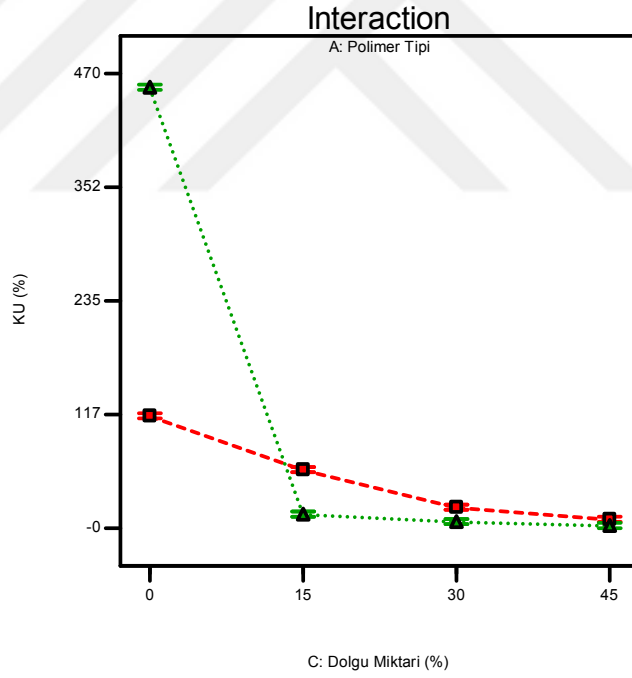
Design-Expert® Software

KU (%)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = Bambu



Şekil 4.4 Polimer türü ve dolgu maddesi oranının kopmada uzama üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odunu ve b) bambu odunu

Çizelge 4.2 Çekme direnci çekmede elastikiyet ve kopmada uzama test ortalamaları ve standart sapma değerleri

Grup No	Çekme Direnci (Mpa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Kopmada Uzama (%)
AYPE	8,86 (0,06)*	69 (2,90)*	115 (6,66)*
L15K	7,08 (0,14)	103 (6,154)	51,22 (8,09)
L30K	6,64 (0,04)	189 (6,08)	17,11 (1,49)
L45K	6,05 (0,10)	274 (12,53)	7,65 (0,48)
L15B	7,54 (0,30)	124 (12,77)	62,00 (9,96)
L30B	6,34 (0,12)	229 (7,71)	21,71 (4,37)
L45B	6,04 (0,06)	306 (5,54)	8,08 (0,83)
YYPE	21,02 (0,60)	400 (13,54)	454,8
H15K	19,85 (0,29)	456 (20,01)	12,92 (0,63)
H30K	18,58 (0,13)	579 (7,65)	7,03 (0,23)
H45K	16,34 (0,22)	713 (27,79)	3,48 (0,03)
H15B	19,85 (0,46)	470 (28,9)	11,53 (1,67)
H30B	18,35 (0,37)	698 (49,85)	6,40 (0,59)
H45B	16,31 (0,36)	891 (32,5)	3,87 (0,29)

* standart sapma değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

Eğilme direnci üzerine polimer türü ve dolgu maddesi kullanım oranı önemli oranda etkili olmuştur. Bambu ve kızılçam odunu dolgu maddesi takviyeli deney numunelerinin eğilme direnci değerleri dolgu maddesi kullanım oranı arttıkça yükseldiği tespit edilmiştir. YYPE ile üretilen deney numunelerinin eğilme direnci değerleri AYPE ile üretilen deney numunelerinin eğilme direnci değerlerinden daha yüksek çıkmıştır (Şekil 4.5).

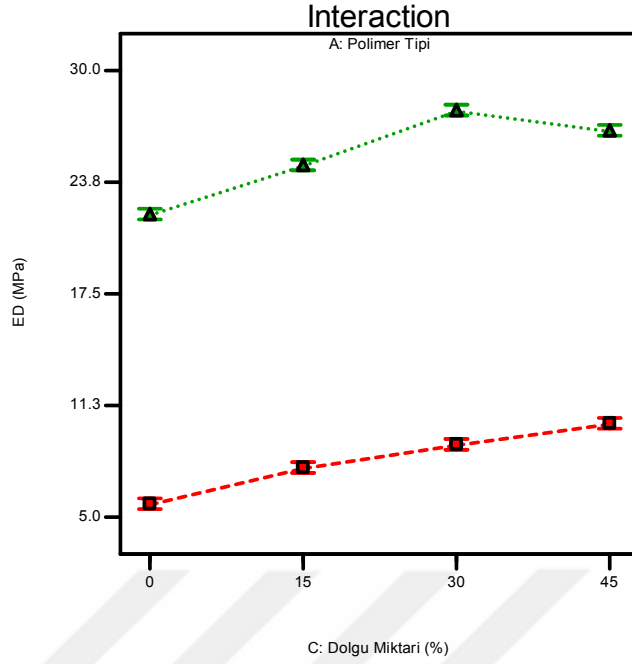
Design-Expert® Software

ED (MPa)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = KÇ



(a)

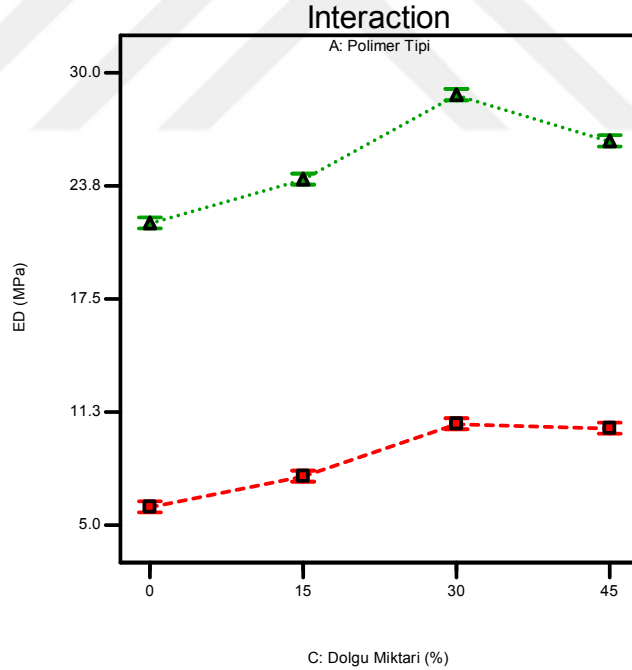
Design-Expert® Software

ED (MPa)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = Bambu



(b)

Şekil 4.5 Polimer türü ve dolgu maddesi oranının eğilme direnci üzerine etkisini gösteren etkileşim grafiği; a) kızılçam odun unu ve b) bambu odun unu

Bambu ve kızılçam odun unu dolgu maddesi takviyeli deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerine polimer türünün ve dolgu maddesi kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu görülmüştür. Deney numunelerde dolgu maddesi kullanım oranı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Bu artışın sebebi doğal liflerin modülünün polimer matristen daha yüksek olmasıdır (Chaharmahali ve ark., 2010).



Design-Expert® Software

EEM (MPa)

■ A1 AYPE

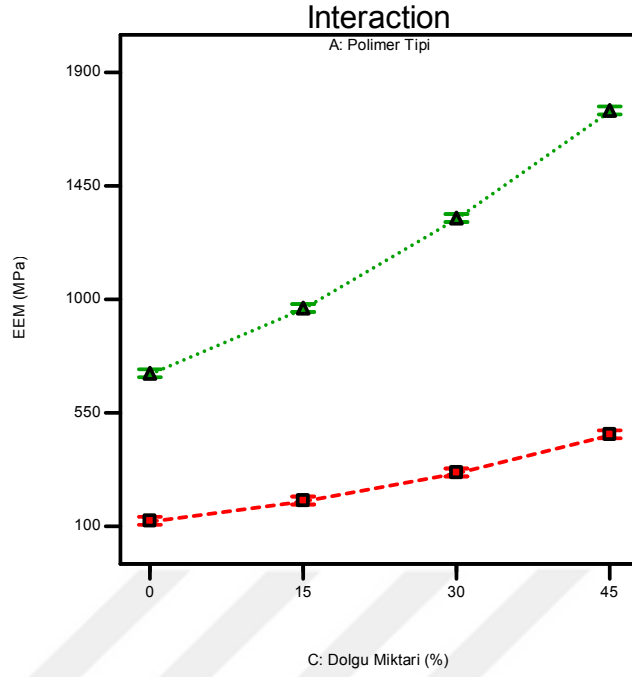
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)

X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor

B: Dolgu Tipi = KÇ



(a)

Design-Expert® Software

EEM (MPa)

■ A1 AYPE

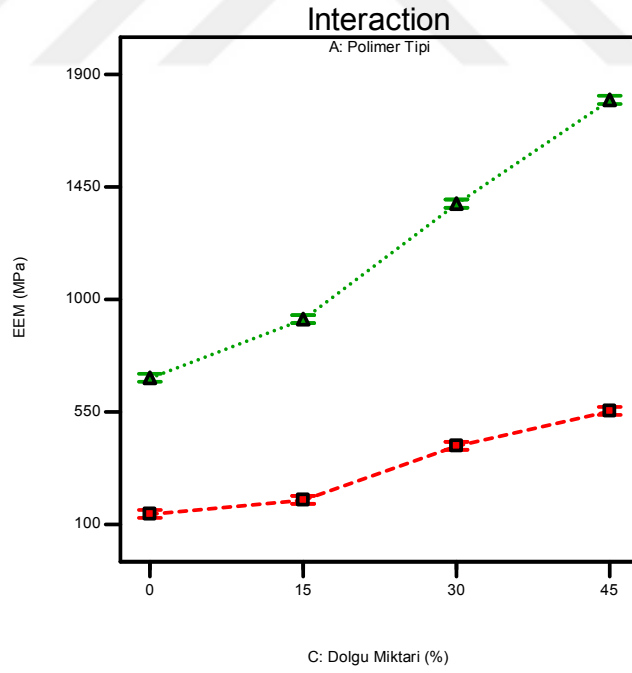
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)

X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor

B: Dolgu Tipi = Bambu



(b)

Şekil 4.6 Üretilen Deneysel Numunelerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Etkileşim Grafiği

Kompozit deney numunelerinin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testlerinden elde edilen sonuçların ortalama ve standart sapmaları Çizelge 4.3'de özetlenmiştir.



Çizelge 4.3 Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü test ortalamaları ve standart sapma değerleri

Grup No	Eğilme Direnci (Mpa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (Mpa)
AYPE	5,88 (0,105)*	132 (3,19)*
L15K	7,68 (0,38)	200 (13,74)
L30K	9,06 (0,412)	311 (25,31)
L45K	10,22 (0,32)	458 (29,60)
L15B	7,80 (0,45)	200 (10,84)
L30B	10,61 (0,30)	417 (25,32)
L45B	10,39 (0,11)	560 (10,16)
YYPE	21,83 (0,71)	697 (28,55)
H15K	24,81 (0,47)	967 (27,76)
H30K	27,80 (0,49)	1324 (29,96)
H45K	26,68 (0,51)	1755 (18,45)
H15B	24,03 (0,80)	919 (50,50)
H30B	28,30 (1,45)	1358 (65,78)
H45B	26,44 (0,80)	1813 (58,64)

* standart sapma değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

Üretilen kompozit örneklerin darbe direnci değerleri de belirlenmiştir. Darbe direnci testlerinden elde edilen sonuçların etkileşim grafikleri Şekil 4.7'de ve ortalama ve standart sapma değerleri ise Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. Yapılan istatistik analiz sonucunda polimer türü, dolgu maddesi türü ve dolgu maddesi miktarının darbe direnci değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Dolgu maddesi içermeyen örneklerde AYPE örneklerin YYPE ye kıyasla çok daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Dolgu maddesi ilavesi ile üretilen kompozitlerin darbe direnci değerlerinde önemli düşüşler gözlemlenmiştir. İstatistiksel olarak farklılık gözükmeyle birlikte her iki dolgu maddesinin de darbe direncini benzer şekilde düşürdüğü söylenebilir. Dolgu maddesi ilavesi ile matrisin daha kırılğan hale geldiği ve bununda kompozit malzemenin darbe direncini azalttığı düşünülmektedir.

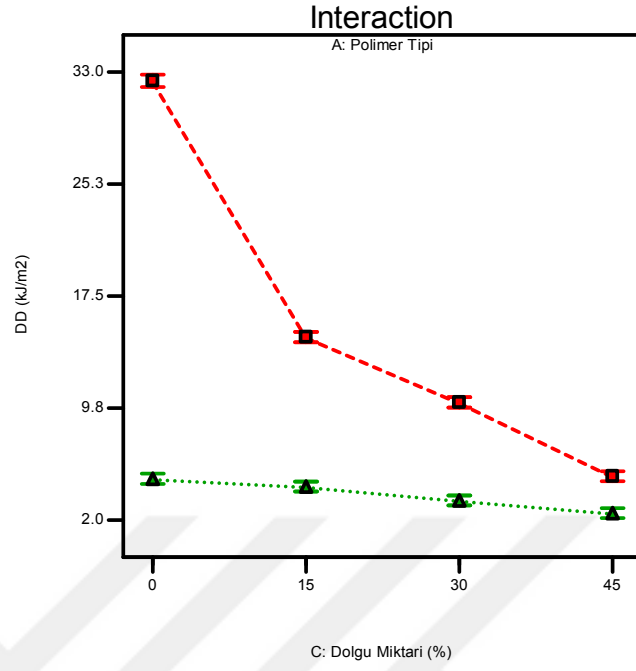
Design-Expert® Software

DD (kJ/m²)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = KÇ



a) Kızılçam (KÇ)

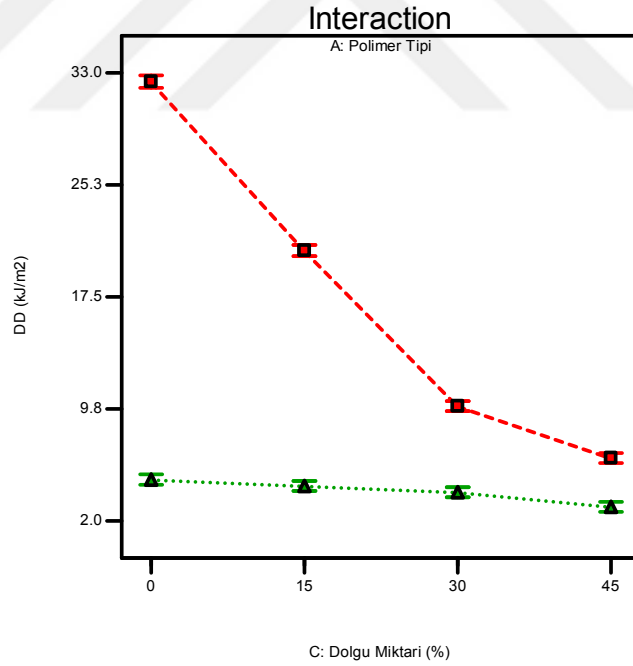
Design-Expert® Software

DD (kJ/m²)

■ A1 AYPE
▲ A2 YYPE

X1 = C: Dolgu Miktarı (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Tipi = Bambu



b) Bambu

Şekil 4.7 Üretilen Deneş numunelerinin darbe direnci etkileşim grafiği; a)Kızılçam (KÇ) ve b) Bambu

Çizelge 4.4 Darbe direnci test ortalamaları ve standart sapma değerleri

Grup No	Darbe Direnci (kJ/m ²)
AYPE	32,39 (0,27)*
L15K	14,66 (0,98)
L30K	10,14 (1,12)
L45K	5,03 (0,39)
L15B	20,70 (0,39)
L30B	9,94 (0,62)
L45B	6,35 (0,33)
YYPE	4,86 (0,44)
H15K	4,32 (0,39)
H30K	3,36 (0,40)
H45K	2,48 (0,07)
H15B	4,42 (0,51)
H30B	3,98 (0,07)
H45B	2,97 (0,15)

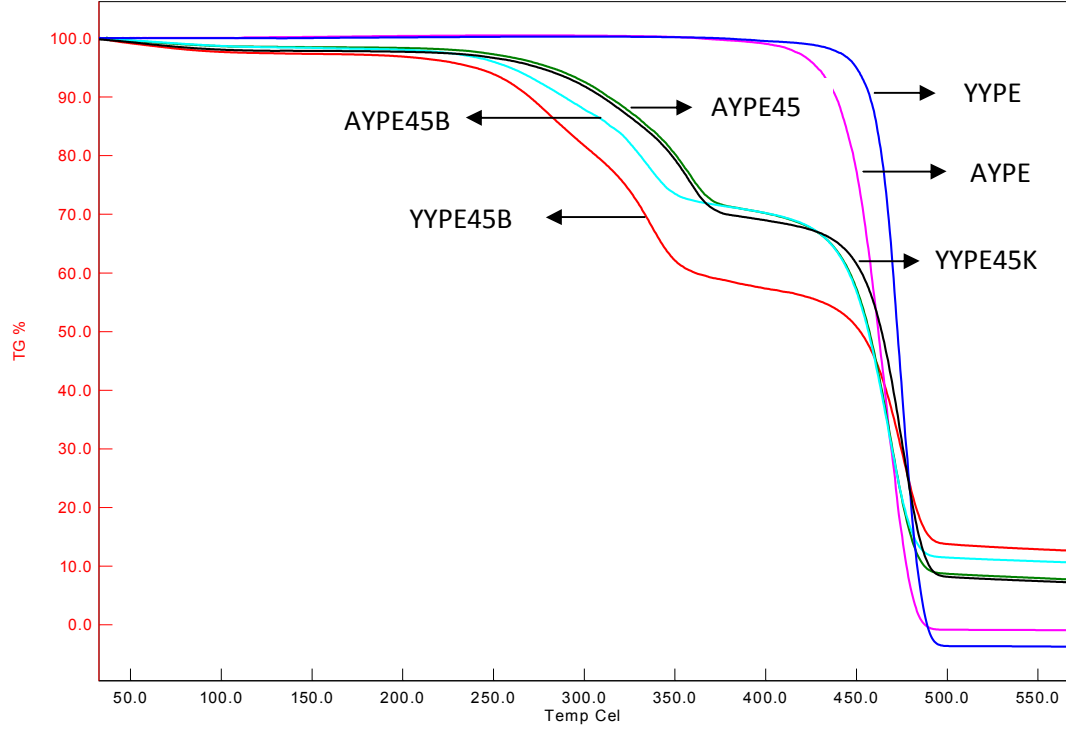
* standart sapma değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

4.3 Kompozitlerin termal özellikleri

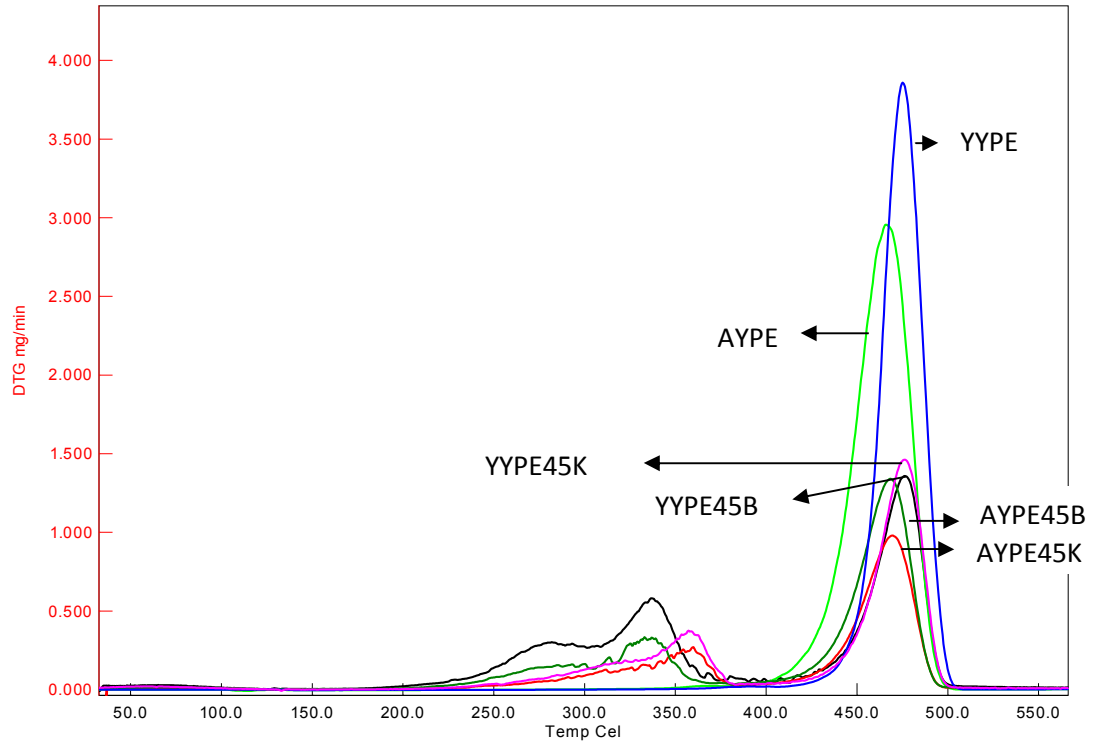
Tez kapsamında üretilen örneklerin termal özellikleri de incelenmiştir. Bu kapsamda %0 ve %45 dolgu maddesi içeren örneklerin TGA ve DSC analizleri gerçekleştirilmiştir. TGA analizlerine ait bilgiler Çizelge 4.5’de verilmiştir. Ayrıca TGA ve DTGA grafikleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde her iki polimerde de birer adet bozunma piki elde edilmiş ve AYPE’nin (399°C) YYPE’ye (417°C) kıyasla daha erken bozunmaya başladığı görülmüştür. Her iki polimerde de dolgu maddesi ilavesi ile iki adet bozunma piki tespit edilmiş ve bozunma sıcaklığının öne geldiği görülmüştür (281°C ve 323°C). Dolgu maddesi miktarı ile 500°C’deki kalıntı miktarı da artmıştır.

Çizelge 4.5 Örneklerin TGA dataları

Örnek kodu	Onset Temp. (°C)	EndsetTemp. (°C)	Inflection point (°C)	Weight loss (%)	Kalıntı Miktarı (%) 500°C
AYPE					
1. peak	399,0	497,9	466,7	99	1
AYPE45K					
1. peak	280,9	385,1	356,9	24,1	8,7
2.peak	399,2	506,9	468,9	61,7	
AYPE45B					
1. peak	303,5	365,0	332,8	15,3	11,5
2.peak	403,4	501,4	467,0	58,6	
YYPE					
1. peak	416,9	505,3	475,0	99,2	0
YYPE45K					
1. peak	323,6	385,4	356,4	17,3	8,2
2.peak	416,4	507,2	475,1	60,0	
YYPE45B					
1. peak	219,8	299,8	277,9	14,4	
2.peak	304,8	368,6	336,0	21,2	13,8
3.peak	419,5	506,0	475,2	42,6	



(a)



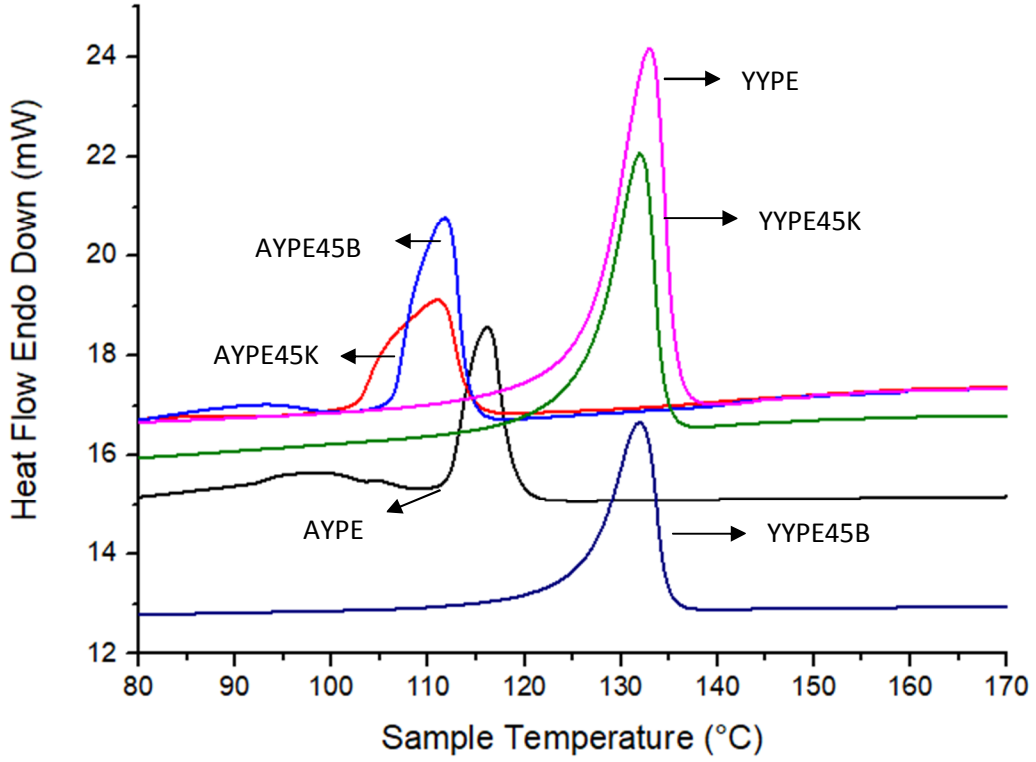
(b)

Şekil 4.7. Üretilen deney numunelerinin TGA analizleri; a) TGA grafikleri b) DTGA grafikleri

Test örnekleri üzerinde gerçekleştirilen DSC analizi sonuçları Çizelge ***'de ve DSC grafikleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde tüm örneklerde bir adet ana DSC piki görülmüştür. AYPE örneklerde erime piki 112C iken YYPE de bu değer 126C olarak bulunmuştur. Kompozit örneklerin erime sıcaklıklarında bir miktar düşüş görülmüştür ancak bu durumun gerekçelendirilebilmesi için daha detaylı bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 4.6. Örneklerin DSC dataları

Örnek Adı		Onset (°C)	Endset (°C)	Delta H (J/g)	Peak (°C)	Peak Height (mW)	Mol.Wt (g/mol)
AYPE	1. pik	112,20	118,80	87,54	116,17	3,33	1,00
	Soğuma	98,50	90,65	-115,23	95,29	-3,74	1,00
AYPE45K	1. pik	102,55	114,22	104,65	110,97	2,24	1,00
	Soğuma	97,37	90,05	-9046	94,18	-3,16	1,00
AYPE45B	1. pik	106,28	114,13	126,44	111,64	3,98	1,00
	Soğuma	98,25	92,47	-128,13	96,01	-5,53	1,00
YYPE	1. pik	126,39	135,70	257,25	132,75	6,99	1,00
	Soğuma	119,74	114,08	-308,29	117,49	-12,58	1,00
YYPE45K	1. pik	126,14	134,42	197,51	131,79	5,49	1,00
	Soğuma	119,51	113,27	-185,71	117,03	-7,31	1,00
YYPE45B	1. pik	126,19	134,63	137,74	131,85	3,71	1,00
	Soğuma	120,07	115,43	-135,00	118,16	-7,06	1,00



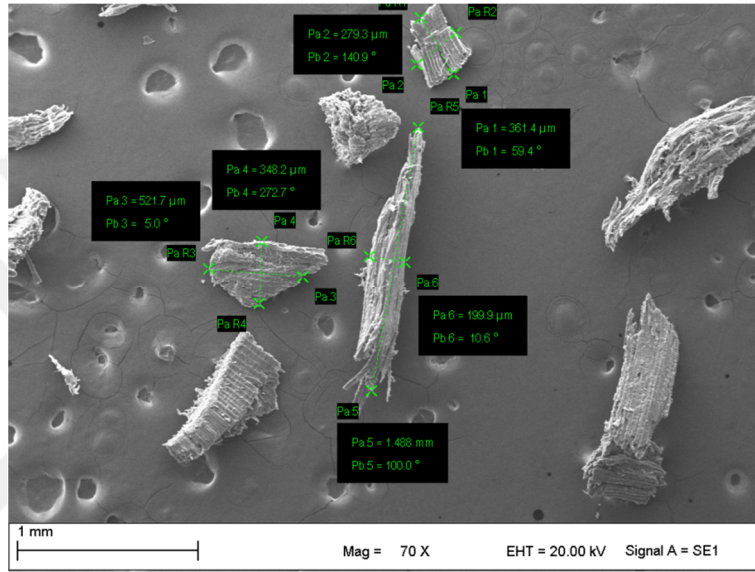
Şekil 4.8 Örneklerin DSC grafiği

4.4. Kompozitlerin Morfolojik özellikleri

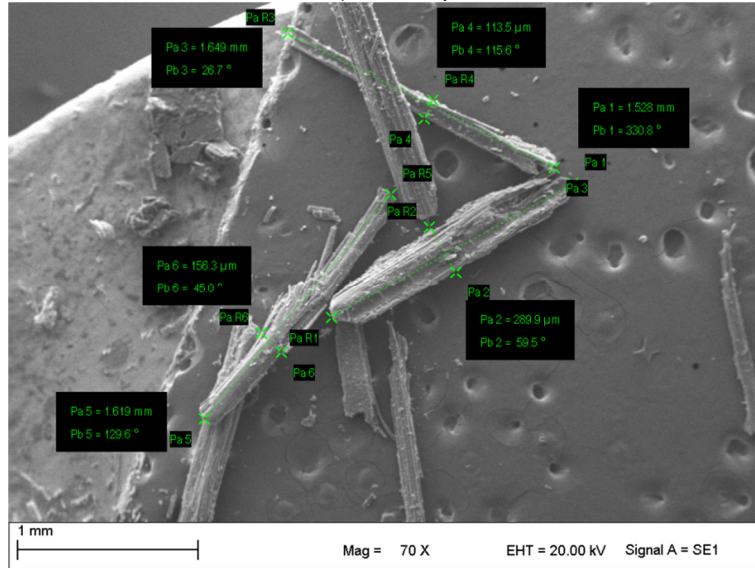
Çalışma kapsamında üretilen %45 oranında kızılcım ve bambu odunu içeren AYPE ve YYPE esaslı kompozitlerin morfolojik özellikleri SEM görüntüleri yardımıyla incelenmiştir. Öncelikle dolgu maddesi olarak kullanılan ve 60 mesh boyutundaki kızılcım ve bambu odunlarının görüntüleri ve ölçüleri tespit edilmiş ve Şekil 4.x'de gösterilmiştir. Bu görüntülerden bambu parçacıklarının daha ince ve uzun olduğu kızılcım unlarının ise çoğunlukla kareye yakın bir şekilde olduğu görülmektedir.

Çalışma kapsamında, saf ve %45 dolgu maddesi içeren AYPE ve YYPE örneklerin SEM görüntüleri de incelenmiştir (Şekil 4.xx). SEM görüntüleri incelendiğinde AYPE ve YYPE'nin farklı kırılma davranışı gösterdiği görülmektedir. Bu durumun AYPE'nin daha sünek (ductile) yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Polimerlerin içerisine %45 dolgu maddesi konulduğunda ise her iki polimer arasındaki süneklik farkı ortadan kalkmaktadır. Dolgu maddesi ihtivasi malzemeyi daha kırılğan hale getirmesi dolayısıyla kırılma davranışları birbirine daha yakın hale gelmektedir.

SEM görüntüleri incelendiğinde her iki dolgu maddesi içeren her iki polimerde de homojen bir dağılım gözlemlenmektedir. Yüzeydeki dolgu maddeleri incelendiğinde ise dolgu maddelerinin polimer matrisinden sıyrılmış olduğu ve/veya dolgu maddesinin içerisinden çıktığı yüzey delikleri görülmektedir. Bu durum polimer matrisi ile dolgu maddesi arasında uyumun olmamasından kaynaklanmaktadır. Polimerin hidrofilik yapıda ve dolgu maddesinin hidrofilik yapıda olması bu sonuca sebep olabilmektedir. Farklı uyumlaştırıcı ajanlar kullanılarak bu durum belirli oranda iyileştirilebilmektedir.

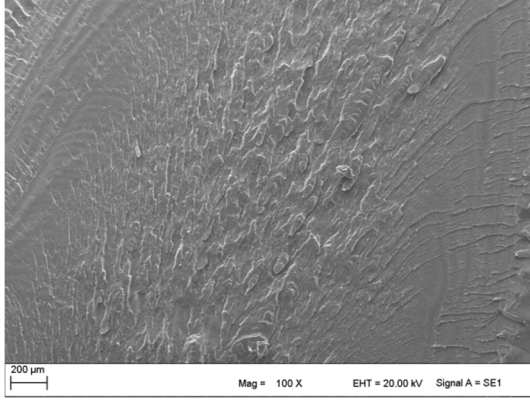


a) Kızılçam

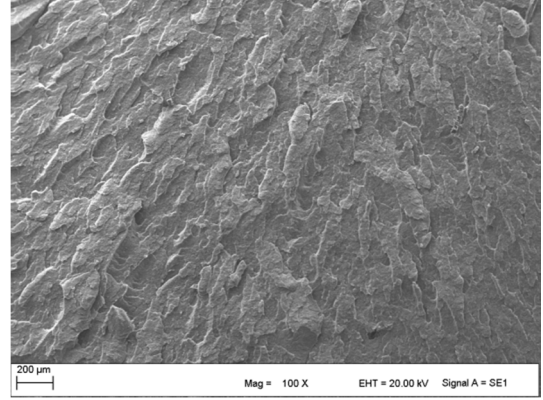


b) Bambu

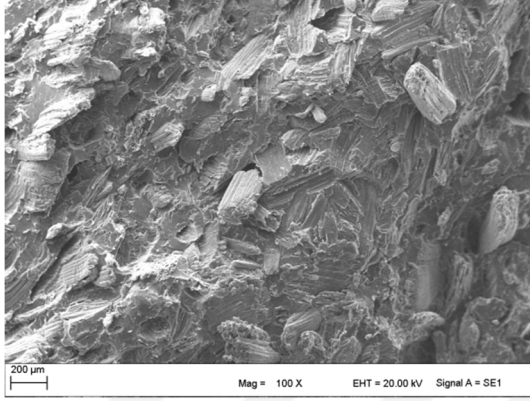
Şekil 4.9. Dolgu maddelerinin SEM görüntüleri; a) kızılçam ve b) bambu



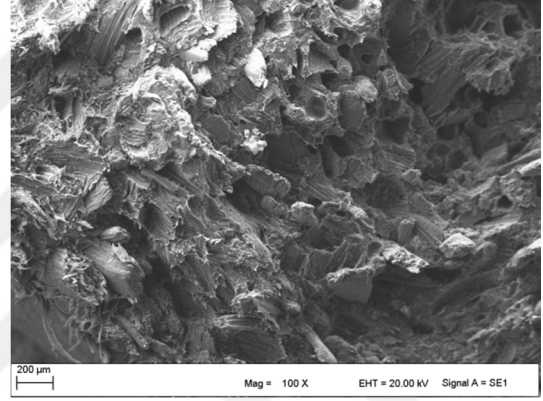
AYPE



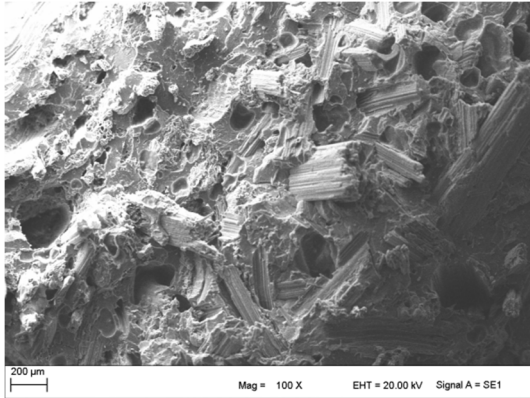
YYPE



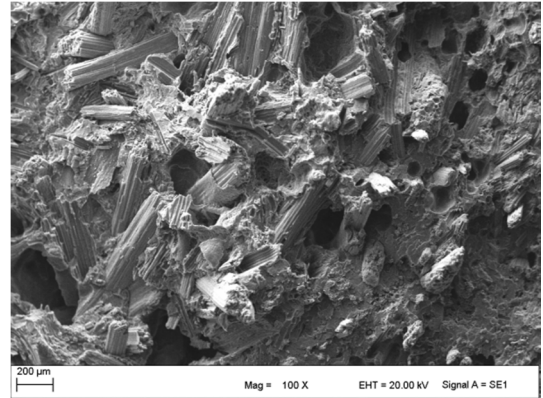
AYPE45K



YYPE45K



AYPE45B



YYPE45B

Şekil 4.10. Saf ve %45 dolgu maddesi içeren örneklerin SEM görüntüleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

BU tez kapsamında AYPE ve YYPE esaslı ve farklı oranlarda kızılçam ve bambu unu içeren kompozit malzemeler üretilmiştir. YYPE ile üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri AYPE ile üretilenlere kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür. Üretimde dolgu maddesi kullanım oranı arttıkça yoğunluk, çekmede elastikiyet modülü, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü artarken kopmada uzama ve çekme direnci değerleri azalmıştır.

ASTM D 6662 (2001) standardına göre polietilen esaslı plastik kereste döşeme levhaları için istenen minimum eğilme mukavemeti 6.9 MPa ve eğilme modülü 340 MPa'dır. Bu çalışmada YYPE deney numunelerinin tamamı ile AYPE deney numunelerden saf olan hariç diğerleri eğilme direnci standardını sağlamıştır. Eğilmede elastikiyet modülü değerini ise tüm YYPE grupları ile %45 dolgu maddesi içeren AYPE deney numuneler sağlamıştır. Termal özellikler açısından dolgu maddesi ihtivasının termal bozunma sıcaklığını düşürdüğü ancak kalıntı miktarını artırdığı görülmüştür. SEM görüntüleri incelendiğinde ise her iki polimer içerisinde de dolgu maddesinin homojen bir dağılım gösterdiği bulunmuştur.

Bu sonuçlar doğrultusunda kızılçam odun unu ve bambu odun unu takviyesinin polimer kompozit madde üretiminde değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Daha sonraki çalışmalarda kompozitlerin termal özelliklerinde gözlemlenen değişimlerin detaylı olarak araştırılmasını yararlı olacaktır. Ayrıca alternatif dolgu maddesi kaynakları konusundaki araştırmaların düşük değerli atık malzemelere odaklanılarak devam ettirilmesinin yararlı olabileceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Atar, İ., Başboğa, İ. H., Karakuş, K., & Mengeloğlu, F. (2016). Yüksek Yoğunluklu Polietilen (Yype) Esaslı Polimer Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Termoplastik Nişasta Oranının Etkisi. *European Journal of Technique*, 6(2), 131-137.
- Avcı, A., Ekrem, M., Erkendirici, Ö.F., 2007. Cam Kumaş Takviyeli Termoplastik Kompozitlerde Kırılma Davranışlarının İncelenmesi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, 7-9 Kasım, İstanbul. s.422-434.
- Ayrılmış, N., Kaymakçı, A., Akbulut, T., Elmas, G.M. 2013. Mayıs. Mechanical Performance of Composites Based on Wastes of Polyethylene Aluminum and Lignocellulosics. www.elsevier.com/locate/compositesb
- Bakkal, M., Savaş, M., 2012. Cam Elyaf Güçlendirilmiş Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Geliştirilmesi. 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 29-30 Kasım, Balıkesir. s.379-391.
- Brahmakumar, M., Pavithran, C., Pillai, R.M. 2005. Coconut Fibre Reinforced Polyethylene Composites : Effect of Natural Waxy Surface Layer of the Fibre on Fibre/Matris İnterfacial Bonding and Strength of Composites. *Composites Science and Technology*, 65 : 563-569.
- Chaharmahali, M., Mirbagheri, J., Tajvidi, M., Najafi, SK. and Mirbagheri, Y. (2010). Mechanical and physical properties of wood-plastic composite panels. *J Reinf Plast Comp*. 29: 310–319.
- Clemons, C. 2002. Wood-Plastic Composites in the United States:The İnterfacing of Two Industries. *Forest Product Journal*, 52 (6) : 10-18
- Dönmez Çavdar, A., Kalaycioğlu, H., & Mengeloğlu, F. (2011). Tea mill waste fibers filled thermoplastic composites: The effects of plastic type and fiber loading. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(10), 833-844.
- DPT, 2001. Devlet Planlama Teşkilatı 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Plastik Ürünleri Sanayii Özel İhtisas Raporu No. 2547, DPT Ankara. 230s.
- DPT, 2002. Devlet Planlama Teşkilatı Şeker Politikalarında Yeni Yönelimler ve Türkiye'nin Konumu. Rapor No. 2652, DPT Ankara. 144s.
- DPT, 2008. Devlet Planlama Teşkilatı 9. Kalkınma Planı Kimya Sanayi Özel İhtisas Komisyonu. Petrokimya Sanayii-Klor Alkali-Sentetik Elyaf ve İplik Çalışma Grubu Raporu No. 2779, DPT Ankara. 527s.

- George, J., Bhagawan, S.S., Thomas, S. 1997. Effect of Environment on the Properties of Low-Density Polyethylene Composites Reinforced with Pineapple-Leaf Fibre. *Composites Science and Technology*, 58 : 1471-1485.
- Gezer, E.D., M.K. Yalınkılıç, K. Kizilkaya, and J. Michael. 1999. Estimating preservative toxic threshold retention from laboratory decay tests: a new method. *Wood Science and Technology*. 33 (1) : 63-71.
- Joseph, K., Thomas, S., Pavithran, C. 1995. Effect of Ageing on the Physical and Mechanical Properties of Sisal-Fiber-Reinforced Polyethylene Composites. *Composites Science and Technology*, 53 : 99-110.
- Joseph, K., Thomas, S., Pavithran, C. 1996. Effect of Chemical Treatment on the Tensile Properties of Short Sisal Fibre-Reinforced Polyethylene Composites. *Polymer*, 7(23) : 5139-5149.
- Karakus, K., Birbilen, Y., & Mengeloğlu, F. (2016). Assessment of selected properties of LDPE composites reinforced with sugar beet pulp. *Measurement*, 88, 137-146.
- Klyosov, AA. (2007). *Wood-plastic composites*, 1st ed. Wiley Interscience: Hoboken, New Jersey, U8SA
- Luyt, A.S., Malunka, M.E. 2005. Composites of Low-Density Polyethylene and Short Sisal Fibres: The Effect of Wax Addition and Peroxide Treatment on Thermal Properties. *Thermochimica Acta*, 426 : 101-107.
- Liu, H., Wu, Q., Han, G., Yao, F., Kojima, Y., & Suzuki, S. (2008). Compatibilizing and toughening bamboo flour-filled HDPE composites: Mechanical properties and morphologies. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(12), 1891-1900.
- Liu, D., Song, J., Anderson, D. P., Chang, P. R., & Hua, Y. (2012). Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. *Cellulose*, 19(5), 1449-1480.
- Hüner, Ü. 2008 Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Tez Yöneticisi. Edirne. Yüksek Lisans Tezi Yrd.Doç. Dr. E. Selçuk Erdoğan
- Uluşe, T. 2008 Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Tez Yöneticisi. Edirne. Yüksek Lisans Tezi Yrd.Doç. Dr. E. Selçuk Erdoğan
- Ekşi, O. 2007 Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Tez Yöneticisi. Edirne. Yüksek Lisans Tezi Yrd.Doç. Dr. E. Selçuk Erdoğan
- Mengelöglu, F. and Karakus, K. (2008). Polymer-composites from recycled high density polyethylene and waste lignocellulosic materials. *Fresen Environ Bull*. 17: 211–217.

- Mengelöglü, F. and Kabakci, A. (2008). Determination of thermal properties and morphology of eucalyptus wood residue filled high density polyethylene composites. *Int J Mol Sci.* 9: 107–119.
- Mengelöglü, F., Karakuş, K., (2012). Mechanical Properties of Injection Molded Foamed Wheat Straw Filled YYPE Biocomposites The Effects of Filler Loading and Coupling Agent contents. *BioResources.* 7,3 3293-3305.
- Mirik, M., (2010). Karbon nanotüp takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) nanokompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması. 1,5.
- Mohanty, S., Nayak,S., (2010). Short Bamboo Fiber-reinforced YYPE Composites: Influence of Fiber Content and Modification on Strength of the Composite
- Nair ve ark., 2001; Rennekar, 2004; Georgopoulos ve ark., 2005; Antich ve ark., 2006; Khalid ve ark., 2006; Taj ve ark., 2007; Bodırlu ve ark., 2009.
- Numata , M. The Ecology Of Bamboo Forest , Particularly On Temperate Bamboo Forest , *Bomboo Journal* ,4 (1987) 118-131.
- Paul, A., Joseph, K., Thomas, S. 1997. Effect of Surface Treatments on the Electrical Properties of Low-Density Polyethylene Composites Reinforced with Short Sisal Fibers. *Composites Science and Technology*, 57 : 67-79.
- Paul, A., Thomas, S. 1997. Electrical Properties of Natural-Fiber-Reinforced Low Density Polyethylene Composites: A Comparison with Carbon Black and Glass-Fiber-Filled Low Density Polyethylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 63 : 247-266.
- PAGEV, 2016. Dünya Ve Türkiye Sektör İzleme Raporu, 10-12 s.
- PETKİM, 2013. Petrokimyasal Maddeleri Üretim Zinciri, Petkim Araştırma Merkezi, 2013 Faaliyet Raporu. 144s.
- ORMAN GENEL MÜDÜRLÜĞÜ İşçi Blokları Mahallesi, Muhsin Yazıcıoğlu Caddesi, 51/B 06530 - Yüzüncüyıl / Çankaya / ANKARA
- Uchimura, E.The ecological Distribution and characteristic of some philippin bamboos , *bulletin of the forestry and forest research institute* , no: 301, 1978 118-131
- URL-1 :<https://www.molekul.gen.tr/molekul-agirligi.html>
- URL-2 :<http://www.plasmat.com.tr/faydali-Polietilen-2.html>(erişim tarihi 20.06.2019)
- URL-3:<https://eymenpetrokimya.com.tr/yype-yukse-yogunluklu-polietilen> (erişim tarihi 27.06.2019)
- URL-4: <https://www.sorhocam.com/konu.asp?sid=1723&bambu-agaci.html> (erişim tarihi 25.06.2019)

URL-5:<https://www.bilgiustam.com/bambu-nedir-nerede-kullanilir/>(erişim tarihi 25.06.2019)

URL-6 : <https://bilgihanem.com/bambu-agaci-nedir/> (erişim tarihi 22.06.2019)

URL-7: <https://gezmesanati.com/dunyanin-en-guzel-yerleri/> (erişim tarihi 22.06.2019)

Yaşar, M.M., 2003. Şeker Teknolojisi.

Watanabe, M. 1986, proposal on the life form of bamboos and the ecological typification of bamboo forest, XWIII, IUFRO World Congress, Prceedings of The Production and Utilization of Bamboo and Related species, september 7-21. Ljubljana, yugoslavia- 94-98.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler :

Adı, soyadı : Tuğçe TUNCER
Uyruğu : T.C..
Doğum tarihi ve yeri : 08.03.1990 OSMANİYE
Medeni hali : Bekar
Telefon : +90 (507) 412 61 62
e-posta : tugcetuncer@hotmail.com

Eğitim Bilgileri :

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ / Orman Endüstri Mühendisliği	2019
Lisans	KSÜ / Orman Endüstri Mühendisliği	2016
Önlisans	CÜ/ Turizm ve Otel İşletmeciliği	2010
Lise	OSMANİYE ANADOLU LİSESİ	2008

Yabancı Dil :

İngilizce iyi düzeyde okuma ve yazma

Hobiler :

Kitap okumak, Yüzme, Voleybol, Doğa yürüyüşü