

M. YILMAZ

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ

2019

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT ORGANİK-İNORGANİK DOLGULU POLİMER MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed YILMAZ

BİYOKOMPOZİT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEMMUZ 2019

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT ORGANİK-İNORGANİK DOLGULU POLİMER MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed YILMAZ
(Y150102001)

Biyokompozit Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Kutlay SEVER

TEMMUZ 2019

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Y150102001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammed YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "HİBRİT ORGANİK-İNORGANİK DOLGULU POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Kutlay SEVER
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri :

Prof.Dr. Nilgöl ÇETİN
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Seçkin ERDEN
Ege Üniversitesi

Teslim Tarihi :
Savunma Tarihi : 22 Temmuz 2019

ÖNSÖZ

Günümüzde, polimer kompozit malzemelerin yapısal uygulamalarını incelediğimizde cam, karbon ve kevlar fiberlerin takviye elemanı olarak kullanıldığını görmekteyiz. Bu malzemeler biyolojik bozunmaya karşı dirençli olduklarından çevresel problemler oluşmasına sebebiyet verebilirler. Bu sorunu ortadan kaldırabilmek ve biyolojik bozunma gibi avantajlardan yararlanmak için bir kısım çalışmaların doğal fiberlere doğru ilerlediğini söyleyebiliriz. Literatüre bakıldığında yapılan çalışmalarda jüt, keten, sisal ve ananas gibi bitkilerden elde edilen doğal fiberlerin sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmiştir. Tez çalışmamızda ise Ege bölgesinde çokça bulunan ve faydasız bir atık olarak bertaraf edilen enginar sapı (E) lignoselülozik atık malzeme olarak kullanılmıştır. Enginar sapları mekanik olarak öğütüldükten ve elendikten sonra termoplastik bir polimer olan polipropilen (PP) içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanımı ve wollastonit (W) ile hibrit etkileşimi araştırılmıştır. Ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında E parçacıkları içeren E-PP kompozitler ve E-W-PP hibrit kompozitler yüksek hızlı termo-kinetik karıştırıcı kullanılarak üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin çekme testleri sonrası kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ile, mekanik özellikleri universal test cihazı kullanılarak, viskoelastik özellikleri dinamik mekanik analiz (DMA) cihazı, termal özellikleri de termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazları ile belirlenmiştir.

Bu tez çalışmamda en başta yardımlarını esirgemeyen Danışman hocam Sn. Doç.Dr. Kutlay SEVER'e ve araştırmalarım sırasında bana yol gösteren ve yardım eden Araştırma Görevlisi Sn. Metehan ATAGÜR'e, tez çalışmamın hazır hale getirildiği tüm süreçlerde elinden gelen her türlü desteği fazlasıyla veren değerli dostum Süleyman SOYER'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca 2018-TYL-FEBE-0059 projesiyle İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Temmuz 2019

Muhammed YILMAZ
(Uçak Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
SEMBOLLER.....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç.....	2
1.2. Araştırmanın Önemi	2
1.3. Literatür Araştırması.....	3
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	9
2.1. Kompozit Malzemenin Tanımı.....	9
2.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	10
2.3. Biyokompozit Malzemeler:	11
2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	11
2.4.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler	11
2.4.1.1. Polimer matrisli kompozitler (PMK).....	12
2.4.1.2. Metal matrisli kompozitler (MMK).....	12
2.4.1.3. Seramik matrisli kompozitler (SMK)	13
2.4.2. Takviye malzemesine göre kompozit malzemeler.....	13
2.4.2.1. Sürekli elyaf takviyeli kompozitler.....	13
2.4.2.2. Parçacıklı kompozitler	14
2.4.2.3. Tabakalı kompozitler	14
2.4.2.4. Hibrit kompozitler.....	15
2.5. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	15
2.5.1. Avantajları	15
2.5.2. Dezavantajları	15
2.5.3. Kompozit malzemelerin uygulama alanları	16
3. ENGİNAR SAPI VE VOLLASTONİT'İN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	17
3.1. Vollastonit	17
3.1.1. Vollastonitin mineralojisi, fiziksel ve kimyasal özellikleri	17
3.1.2. Vollastonit'in oluşumu	18
3.1.3. Dünya vollastonit rezervleri ve faaliyetleri	19
3.1.4. Vollastonit'in kullanım ve uygulama alanları	20
3.2. Enginar.....	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
4.1. Deney Kapsamında Kullanılan Malzemeler	23
4.2. Kompozit Üretiminde İzlenilen Yöntemler	24
4.3. Malzeme Test ve Karakterizasyonları	25
4.3.1. Çekme ve eğilme testleri	25

4.3.2. Dinamik mekanik analizi (DMA).....	26
4.3.3. Termogravimetrik analiz (TGA)	26
4.3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC).....	27
4.3.5. X Işını difraktometresi (XRD).....	28
4.3.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri	28
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	29
5.1. Çekme ve Eğilme Testleri	29
5.2. Dinamik Mekanik Analizi (DMA)	36
5.3. TGA Analizi	41
5.4. DSC Analizi	43
5.5. XRD Analizi.....	45
5.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	46
6. SONUÇLAR.....	48
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	57



KISALTMALAR

E	: Enginar Sapı
SMK	: Seramik Matrisli Kompozitler
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz Cihazı
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
KSÜ	: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
OPK	: Odun Plastik Kompozitleri
PMK	: Polimer Matrisli Kompozitler
PP	: Polipropilen
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz Cihazı
TMMOB	: Türkiye Makine ve Mimarlar Odası Başkanlığı
W	: Wollastonit
2-D	: İki Boyutlu
3-D	: Üç boyut



SEMBOLLER

E	: Elastisite Modülü
T_c	: Kristalizasyon Sıcaklığı
T_m	: Erime Sıcaklığı
X_c	: Kristalite Derecesi
ΔH_c	: Kristalizasyon Entalpisi
ΔH_m	: Erime Entalpisi





TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1 : Türkiye'nin Yıllık Biyokütle Potansiyeli. [22]	4
Tablo 1.2 : Türkiye'nin Tarımsal Atık Potansiyeli [22]	5
Tablo 4.1 : PP ile E ve W Karışım Oranları.....	24
Tablo 5.1 : PP ve Üretilen Kompozitlerin Çekme ve Eğilme Test Sonuçları.....	29
Tablo 5.2 : TGA Analiz Sonuçları.	41





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Matris Malzemesine Göre Kompozitlerin Sınıflandırması. [35]	12
Şekil 2.2 : Takviye Malzemesine Göre Kompozitlerin Sınıflandırması. [35].....	14
Şekil 3.1 : Vollastonit Kristali. [40].....	17
Şekil 3.2 : Ticari Bir Vollastonitin Parçacık Morfolojisi.....	18
Şekil 4.1 : Yüksek Hızlı Termokinetik Mikser.	25
Şekil 5.1 : PP_E Kompozitlerin Çekme Dayanımı Karşılaştırmaları.....	30
Şekil 5.2 : PP-E-W Kompozitlerin Çekme Dayanımı Karşılaştırmaları.....	31
Şekil 5.3 : PP-E Kompozitlerin Elastisite Modülü Karşılaştırmaları.	32
Şekil 5.4 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerin Elastisite Modülü Karşılaştırmaları.	33
Şekil 5.5 : PP-E Kompozitlerinin Eğilme Dayanım Karşılaştırmaları.	34
Şekil 5.6 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerinin Eğilme Dayanım Karşılaştırmaları. ...	34
Şekil 5.7 : PP-E Kompozitlerinin Eğilme Modülü Karşılaştırmaları.	35
Şekil 5.8 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerinin Eğilme Modülü Karşılaştırmaları.	36
Şekil 5.9 : PP-E Kompozitlerin Depolama Modülü Karşılaştırmaları.	37
Şekil 5.10 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerin Depolama Modülü Karşılaştırmaları... 37	
Şekil 5.11 : PP-E Kompozitlerin Kayıp Modülü Karşılaştırmaları.....	38
Şekil 5.12 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerin Kayıp Modülü Karşılaştırmaları.	39
Şekil 5.13 : PP-E Kompozitlerin Sıcaklığa Bağlı Olarak Tan Delta Değişimi.	40
Şekil 5.14 : Kompozitlerin Sıcaklığa Bağlı Olarak Tan Delta Değişimi.....	40
Şekil 5.15 : Malzemelere ait TGA Ölçüm Sonuçları.....	41
Şekil 5.16 : PP-E Kompozitlerin DSC Eğrileri.	44
Şekil 5.17 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerin DSC Eğrileri.....	44
Şekil 5.18 : PP-E Kompozitlerinin XRD Analiz Grafikleri.....	45
Şekil 5.19 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerinin XRD Analiz Grafikleri.....	45
Şekil 5.20 : PP Matrisli Kompozitlerin SEM Analizi Görüntüleri.....	47



HİBRİT ORGANİK-İNORGANİK DOLGULU POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Günümüzde bitkisel lif dolgulu polimer kompozitler, bitkisel liflerin yenilenebilir kaynak olmaları, düşük yoğunluğa, düşük fiyata ve toksik olmayan özelliklere sahip olmaları gibi birçok özellikleri nedeniyle otomotiv, inşaat gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Otomotiv ve inşaat sektöründe kullanılan biyokompozitlerde bitkilerden ve ağaçlardan elde edilebilecek dolgu veya takviye malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, bitkisel lif dolgulu polimer kompozitlerin kullanımı, yetersiz termal özelliklerinden dolayı sınırlıdır. Bu durumun üstesinden gelmek için, bitkisel lif dolgulu polimer kompozitlerde termal performansı artıran mineral dolgu malzemeleri kullanılabilir. Tez çalışmasında polipropilen (PP)'nin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmek için "Enginar Sap Partikülleri (E)" ve "Vollastonit (W)", sırasıyla organik ve inorganik bir dolgu maddesi olarak kullanılmıştır.

Ege Bölgesinde enginar tarlalarında enginarın baş kısmı tarımsal ürün olarak hasat elde edildikten sonra, enginar sap gövdeleri tarlada kalmaktadır. Bu sap gövdeleri geçen yaz dönemi sonrasında iyice kurumaktadır. Bunlar katma değeri olmayan lignoselülozik esaslı lifler içeren tarımsal atıklardır ve ülkemizde yakılarak bertaraf edilmektedir. Bu tez çalışmasında enginar sap gövdelerinin öğütülmesi ile elde edilen enginar sap partiküller ve polipropilen kullanılarak biyokompozitlerin üretilmesi amaçlanmaktadır.

Ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında E parçacıkları içeren E-PP kompozitler ve E-W-PP hibrit kompozitler yüksek hızlı termo-kinetik karıştırıcı kullanılarak üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin çekme testleri sonrası kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ile, mekanik özellikleri universal test cihazı kullanılarak, viskoelastik özellikleri dinamik mekanik analiz (DMA) cihazı, termal özellikleri de termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazları ile belirlenmiştir. Elde edilen mekanik sonuçlara göre, ağırlıkça %10 E partikülleri ve ağırlıkça %3, %5 ve %7 W içeren hibrit kompozitler üretilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, artan E içeriği ile E dolgulu PP kompozitlerin depolama modülünün de arttığını ortaya koydu. Hazırlanan hibrit kompozitlerin arasında en yüksek depolama modül değeri PP-7E-3W kompozitinde görülmüştür. PP içerisine katılan E ile birlikte çekme ve eğilme dayanımı azalmasına rağmen; çekme ve eğilme modülleri sırasıyla yaklaşık olarak %52.8 ve %17.8 artmıştır. Hibrit kompozitlerde E yerine ağırlıkça %7 W ilave edildiğinde elastisite ve eğilme modülleri PP'ye kıyasla sırasıyla %29.8 ve %19.2 artmıştır. E doldurulmuş PP kompozitlerin 232.46 °C'de termal olarak parçalanmaya başlamıştır. Hibrit kompozitlerde E yerine W eklendiğinde, ilk ayrışma sıcaklıklarının PP-10E'ninkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.



PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF HYBRID ORGANIC-INORGANIC FILLED POLYMER MATRIX COMPOSITES

ABSTRACT

Nowadays, biocomposites are used in many sectors such as automotive and construction due to their many properties such as renewable resource, low density, low price and non-toxic properties. Biocomposites used in the automotive and construction sectors require fillers or reinforcing materials that can be obtained from plants and woods. However, the use of plant fiber reinforced or filled polymer composites is limited due to their insufficient thermal properties. To overcome this, mineral fillers that enhance thermal performance can be used in plant filled polymer composites. In the thesis, Artichoke Stem Particles (E) and Wollastonite (W) were used as an organic and inorganic filler in order to improve the mechanical and thermal properties of polypropylene (PP).

In the artichoke fields in the Aegean Region, after harvesting the head of the artichoke as an agricultural product, the stems of the artichoke remain in the field. These stem bodies dry well after last summer. These are agricultural wastes containing lignocellulosic based fibers with no added value and they are fired in our country. In this thesis, it is aimed to produce biocomposites using artichoke stem particles obtained by grinding artichoke stem bodies and polypropylene.

E-PP composites containing 10 wt%, 20 wt% and 30 wt% E particles and E-W-PP hybrid composites were produced using a high speed thermo-kinetic mixer. Observations of fracture surfaces by scanning electron microscopy (SEM) after the tensile tests of the composite materials, mechanical properties by a universal testing machine, viscoelastic properties by a dynamic mechanical analysis (DMA) device, thermal properties by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) devices. According to the mechanical results obtained, hybrid composites containing E particles and 3 wt%, 5 wt% and 7 wt% W were produced.

The results showed that the storage modulus of E-filled PP composites increased with increasing E content. Among the hybrid composites, the highest storage modulus value was observed in PP-7E-3W composite. Although the tensile and flexural strength decreases with E added in PP; the elasticity and flexural modulus increased by approximately 52.8% and 17.8%, respectively. In hybrid composites, when 7 wt% W was added instead of E, the elasticity and flexural modulus increased by 29.8% and 19.2%, respectively, compared to those of PP. It was observed that the E-filled PP composites began to thermally decompose at 232.46 ° C. When W was added instead of E, the initial decomposition temperatures were higher than those of PP-10E.



1. GİRİŞ

Doğada rahatça bulunabilen ve atık olarak değerlendirilen malzemelerin faydalı bir şekilde geriye dönüştürülebilmesi için yapılan çalışmalar son yıllarda artmıştır. Bu çalışmaların başlıca amaçlarından biri de bu atıkların çevreye verdiği zararların etkilerini azaltmaktır. Polimer kompozit malzemelerin geliştirilmesi fikrinin temelinde bu sebepler yatmaktadır. Araştırmacının yaşadığı bölgenin coğrafi koşulları ve yetiştirilen bitki/ürün çeşitliliği, yapılan araştırmada kullanılacak malzemeyi de belirlemektedir. Çalışmamızda dolgu malzemesi olarak özellikle Ege bölgesinde fazlaca bulunabilen ve atık olarak tarlalarda kalan enginar sapı kullanılmıştır. Literatür incelendiğinde termoplastik matrisli kompozitlerin üretim maliyetinin düşürülmesi ve çevreye olası zararının azaltılması için kenaf, sisal, hint keneviri, rami, şeker kamışı, hindistan cevizi lifi gibi ligno-selülozik malzemelerle takviyelendiği görülmüştür [1]. Ayrıca lingoselülöz bakımından zengin olan mısır, buğday, pirinç, kakao kabuğu, mısır koçanı, tarımsal atıkların da benzer avantajlarından dolayı takviye/dolgu malzemesi olarak kullanıldığı çalışmalara rastlanmaktadır [2]. Bu atık türlerinin literatürde lignoselülozik esaslı atıklar (odun ve tarımsal atıklar) olarak geçtiğini görülmektedir. Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmalara literatür kısmında daha detaylı olarak değinilmiştir. Bu sayede malzeme ağırlığının azaltılması, dayanımının arttırılması ve üretim maliyetinin düşürülmesi gibi birçok iyi özellik kazandırılırken, malzemelerin kolay bir biçimde geri dönüşümünün de sağlanması amaçlanmaktadır [3].

Biyokompozit malzeme üretiminde ligno-selülozik malzemeler ile birlikte genel olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP) ve polivinilklorür (PVC) kullanılmaktadır [4]. Bu polimer çeşitleri saf veya geri dönüşümlü plastikler olarak değerlendirildiklerinden, termoplastik polimer kompozit üretiminde sıklıkla kullanıldıkları görülmektedir [5]. Son yıllarda kompozit malzeme üretiminde dolgu/takviye malzemesi olarak ligno-selülozik malzemelerin kullanımı önemli derecede artmıştır. Malzemelere istenilen fiziksel ve mekanik özellikleri kazandırmak ve malzeme maliyetlerini düşürmek için dolgu/takviye malzemesi olarak

organik/inorganik malzemeler matris içerisine eklenebilmektedir. Ayrıca bitkisel lifler iyi bir ses absorplama ve titreşim sönümlenme özelliklerine de sahiptir [6]. Tarımsal atık olan enginar sapı çeşitli işlemler ile mikron boyutlara indirgenerek dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Enginar gövde ve yapraklarından elde edilen atıklar polimerlerde dolgu malzemesi olarak kullanılarak bir katma değer kazandırılabilir. Enginardan hem ürün olarak hem de atıklarının katma değere dönüştürülerek daha fazla fayda sağlanabilmesi için ülkemizde çeşitli araştırma çalışmaları yapılmaktadır [7-8]. Polimerin termal ve mekanik özellikleri iyileştirmek için malzeme üretimi sırasında mineral dolgular kullanılabilir. Yapısal olmayan uygulamalarda kullanılabilir biyokompozitler üretmek için, her iki dolgu malzemesinin üstün özellikleriyle yeni bir hibrit kompozit malzemenin geliştirilmesi değerlendirilmiştir.

1.1. Amaç

Bu çalışmada özellikle Ege bölgesinde çokça bulunan ve atık olarak tarlada bertaraf edilen enginar saplarının mekanik öğütülmesi ile elde edilen partiküllerin polipropilen matrisli kompozit malzeme üretiminde kullanılabilirliği amaçlanmıştır. Bu sayede tarımsal atık kategorisinde yer alan bu malzemenin bir ekonomik değere çevirilip çevirilemeyeceği hususu incelenmiştir.

Çalışma kapsamında tarımsal atık olarak enginar saplarının mekanik öğütücüde öğütülerek elek sarsma cihazı vasıtasıyla 250 mikron altına elenmiştir. Ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında E parçacıkları içeren E-PP kompozitler ve E-W-PP hibrit kompozitlerin üretilmesi için yüksek hızlı termo-kinetik karıştırıcı kullanılmıştır. Elde edilen mekanik sonuçlar değerlendirildikten sonra, belirlenen bir oranda ağırlıkça %x E partikülleri kullanılarak ve ağırlıkça %3, %5 ve %7 W içeren hibrit kompozitlerin üretilmesi amaçlanmıştır. PP'nin mekanik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesinin yanında, polimer kullanımının azaltılarak, hammadde maliyetinin düşürülmesi hedeflenmiştir.

1.2. Araştırmanın Önemi

Bu çalışmada E ve W partikülleri PP için dolgu malzemesi olarak kullanılarak PP matrisli biyokompozit malzemeler üretilmiştir. Bu dolgu malzemelerinin PP matrisli kompozit malzemelere olan etkisinin anlaşılabilmesi için malzeme içine konulan E ve

W partikül oranları değiştirilmiştir. Bilhassa tarımsal atık olan enginar saplarının çevreci (tarımsal atıkların bu şekilde kullanılması ile karbon ayakizinin azaltılması sağlanması) ve ekonomik bir değer olarak ülke ekonomisine katkı sağlanması önem arz etmektedir. Enginar sapı gibi tarımsal atıkların mekanik olarak öğütülmesi ve belirli partikül boyutlarına indirilmesi ile termoplastik bir polimer olan PP içerisine katılması polimer maliyetini azaltmak için son derece önemlidir. Termoplastik polimerlerin pekçoğu yurtdışından ithal edilmekte olup, büyük oranda yurtdışına döviz çıktısı olmaktadır. Tarımsal atıkların yapısal olmayan bina uygulamalarında örneğin havuz kenarı döşemeleri, pencere ve kapı pervazları, çit, peyzaj ürünleri ve otomotiv iç aksam parçalarında kullanılma potansiyeli olduğundan, bu tür ürünlerde tarımsal atıklar kullanılarak katma değer yaratılması ile ulusal ekonomiye katkı sağlanabilir. Bu tarımsal atıklar ile üretilen biyokompozitler kısmen odun-polimer kompozit (OPK) ürünlerine alternatif olarak kullanılabilir. Tez kapsamında E ve W ile hibrit biyokompozit malzemelerin geliştirilmesi ilk defa literatürde sunulacağından dolayı bilimsel açıdan önem arz etmektedir.

Tez kapsamında yapılacak çalışmalar ile tez öğrencisine partikül takviyeli termoplastik kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonları konusunda deneyim, bilgi ve tecrübe kazandıracaktır. Elde edilen bu bilgi ve tecrübe birikiminin akademik olarak yayınlanması ile birlikte toplumun kullanımına sunulması kullanarak istifade edilebilmesi araştırmanın önemini arttırmıştır.

1.3. Literatür Araştırması

Polimer matrisli kompozit malzemelerin geliştirilmesi üzerine bilimsel araştırmalar yürüten araştırmacılar, çevreye verilen zararın etkilerini en aza indirmek amacıyla geri dönüşümü olan malzemelerin tasarımı ve üretimi istegindedirler. Termoplastik matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde gerek üretim maliyetinin azaltılması ve gerekse çevreye verilen zararın en aza indirilmesi amacıyla termoplastik malzemeler ile birlikte kenaf, koton, sisal, hint keneviri, rami, şeker kamışı, hindistan cevizi lifi gibi ligno-selülozik malzemeler kullanılmaktadır [9-18]. Polimer matrisli kompozit malzemelerde lignoselülozik malzemelerin kullanılması polimere düşük ağırlık, yüksek dayanım, düşük ısıl genleşme katsayısı ve düşük maliyet gibi birçok özellik kazandırmaktadır [3].

Biyokompozit malzeme üretiminde dolgu veya takviye malzemesi olarak lignoselülozik malzemeler ve matris malzemesi olarak polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polilaktik asit (PLA) gibi termoplastikler kullanılmaktadır [19]. Son yıllarda yapılan bilimsel yayınlar incelendiğinde kompozit malzeme üretiminde farklı matris malzemeleri ile birlikte dolgu/takviye malzemesi olarak lignoselülozik malzemelerin kullanımının önemli derecede arttığı görülmektedir [20]. Termoplastik matris malzemesi PP çok önemli ticari polyolefinlerden biri olmakla birlikte otomotiv ve havacılık endüstrilerinden evde kullanılan plastik ürünlere kadar çok geniş kullanım alanına sahiptir. İstenilen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamak ve ayrıca düşük maliyet oluşturmak için çeşitli dolgu ve takviye malzemeleri matris içerisine eklenebilmektedir. Bitkisel kaynaklardan elde edilen dolgu malzemeleri ve mineral dolgu malzemeleri termoplastik polimer matrisinin içerisine eriyik halde karıştırılabilmektedir ve son ürünün fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir. Farklı bitkilerin hasat sonucunda meydana gelen atık miktarları birbirinden farklıdır [21].

Tablo 1.1’de 19 Kasım 2008 tarihinde Orman Genel Müdürlüğü’nde yapılan toplantıda Nedim Saraçoğlu tarafından sunulan çalışmada yer alan ülkemizin yıllık biyokütle potansiyeli görülmektedir.

Tablo 1.1 : Türkiye’nin Yıllık Biyokütle Potansiyeli. [22]

Biyokütle	Yıllık Biyokütle (milyon ton)
Yıllık bitkiler	55
Çok yıllık bitkiler	16
Orman atıkları	18
Tarım endüstrisi atıkları	10
Odun endüstrisi atıkları	6
Hayvan atıkları	7
Diğer	5
Toplam	117

Yeşil bitkilerin fotosentez yoluyla güneş enerjisini kimyasal enerjiye depolamasıyla oluşan ve canlı organizmaların kökeni olan organik madde kaynaklarına biyokütle denmektedir. Tarımsal veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler, biyokütle enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Biyokütle enerji kaynakları çok çeşitlidir. Örnek vermek gerekirse; Odun (enerji ormanları, ağaç artıkları), Yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kolza, soya, aspir, pamuk, v.b), Karbonhidrat bitkileri (patates, buğday,

mısır, pancar, v.b), Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, v.b.), Bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk v.b), Hayvansal atıklar ve Şehirsal/Endüstriyel atıklardan söz etmek mümkündür [23].

Tablo 1.2’de ülkemizin tarımsal atık potansiyeli görülmektedir [22]. Bu veriler her yıl yenilenmekle birlikte genel olarak fikir sahibi olunması açısından eklenmiştir. Ülkemizde enginara olan talep ile birlikte artan üretim kapasitesinin göz önünde bulundurularak enginar sapı için de yıllık üretim miktarının ve üretime bağlı olarak elde edilebilecek enerji potansiyelinin araştırılarak katma değer potansiyeli olup olmadığı hususu hakkında çalışmalar yapılmasının önemli olacağını belirtmek isterim.

Tablo 1.2 : Türkiye’nin Tarımsal Atık Potansiyeli [22]

Tarımsal Atık	Yıllık Üretim (milyon ton)
Buğday samanı	26,4
Arpa samanı	13,5
Mısır sapı	4,2
Pamuk çiçeği kabuğu	2,9
Ayçiçeği kabuğu	2,7
Şeker kamışı atığı	2,3
Fındık kabuğu	0,8
Yulaf samanı	0,5
Çavdar samanı	0,4
Pirinç kabuğu	0,4
Meyve kabukları	0,3
Toplam	54,4

Enginar gövde ve yapraklarının önemli bir atık oluşturduğu görülebilir. Tarımsal bir atık olan enginar saplarının ekonomik bir değeri yoktur ve çoğunlukla atık olarak boş arazilere bırakılmaktadır. Bu enginar saplarının mekanik olarak öğütülmesi ile mikron boyutlarına indirilmesi ile polimer matris içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanımı mümkündür. Bu atıkların polimerlerde dolgu malzemesi olarak kullanılması enginar atıklarına bir katma değer kazandıracaktır.

Literatüre bakıldığında PP matrisli kompozit malzemelerin kompozit levha olarak kullanım alanı olduğuna rastlanmıştır. 2002 yılında KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi’nde yayınlanan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde başlıklı makale örnek olarak gösterilebilir. Bu makalede Türkiye’nin yonga ve lif levha gibi ürünlere alternatif olacak kompozitler üretme potansiyeli incelenerek tarım atıklarının yeni lif

kaynakları olarak yonga ve lif levha gibi kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılabilirliği ve faydaları ele alınmıştır [24].

TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Dergisi'nde 2011'de yayımlanan "Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı" isimli makalenin, doğal lif takviyeli kompozit malzemelerde dolgu/takviye malzemesi olarak kullanılan selüloz esaslı doğal lifler, içyapıları, mekanik ve fiziksel özellikleri ve matris polimerleri ayrıntılı olarak incelendiğinden faydalı olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde en çok kullanılan teknikler detaylarıyla açıklanarak, önceki çalışmalar ile desteklenmiştir [25].

Biyokompozitler odun veya yıllık bitkilerden elde edilen unların çeşitli plastiklerle karıştırılmasıyla elde edilir. Son yıllarda tarımsal atıkların polimer matrisi içine katılmasıyla elde edilen kompozitler de literatürdeki başka bir araştırma alanıdır. Elde edilen biyokompozit malzemelerin özelliklerinin iyi olması sayesinde geniş bir kullanım alanı vardır diyebiliriz. Kompozit malzemelerin temel karakteristiği kabul edilen karışımdaki malzemelerden daha iyi özellikler gösteren bir malzeme elde etme durumu biyokompozitler için de geçerlidir. İncelenen bir örnek de okalıptus odununu, pamuk karpeli ve buğday sapları kullanılarak elde edilen OPK'ların özelliklerinin araştırıldığı görülmüştür [26-27].

Lignoselülozik esaslı atıkların termoplastik polimerler içerisine dolgu maddesi olarak kullanılmasına verilebilecek başka bir örnekte lignoselülozik esaslı atık olarak odun unları, buğday sapları ve fıstık kabuklarının, termoplastik polimer olarak ise atık polistiren bardakların kullanıldığı bir çalışmaya da rastlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre odun unları kullanılarak üretilen kompozitlerin, buğday sapları ve fıstık kabukları ile üretilenlere göre mekanik özellik bakımından daha iyi performans sağladığı tespit edilmiştir [5].

Başka bir çalışmada ise tarımsal atık olarak asma çubuğu kullanılmıştır. Bu çalışmada çeşitli oranlarda asma çubuğu katkısı ile üretilen HDPE kompozit malzemelerin termal ve mekanik özellikleri karakterize edilmiştir. HDPE'ye asma çubuğu ilave edilmesi ile malzemenin elastisite değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %20 asma çubuğu ilave edilen HDPE matrisli kompozit malzemenin ise üretilen malzemeler arasında en iyi çekme ve eğilme mukavemetine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [28].

Başka bir çalışmada da tarımsal atık olarak fındık kabuklarının kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada polimer matrisli kompozit malzemelerin üretiminde polipropilen (PP) ve atık fındık kabuklarından elde edilen unlar kullanılmıştır. Farklı karışım oranları kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin çekme, eğilme, darbe direnci ve su alma değerleri gibi özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda verilen bilgiye göre üretilen kompozit malzemeler arasında en iyi sonucu, ağırlıkça %30 oranında fındık kabuğu unu içeren kompozit malzemenin verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada atıl durumda bulunan fındık kabuklarının üretime katılarak katma değer sağlanabileceği hususuna vurgu yapılmıştır [29].

Başka bir çalışmada da kompozit malzeme üretmek için ülkemizde sıklıkla tarımsal atık olarak bulunabilen pirinç sapları, HDPE ile karıştırılmış ve bağlayıcı ajan olarak da maleik anhidrit graft edilmiş polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Üretilen malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Üretim sonrası ASTM standartlarına uygun olarak testlerden sonrası pirinç sapı eklenen HDPE'nin mekanik ve fiziksel özelliklerinde göreceli olarak iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı artış, elastisite modülünde artış, darbe direncinde düşüş, eğilme direncinde hemen hemen aynılık, su alma özelliğinde azalma gibi sonuçlar elde edilmiştir [30].

Vollastonit kalsiyum metasilikat (CaSiO_3) olup doğal bir mineraldir. Metalik olmayan, iğnemsiz bir yapıya sahip, alkali (pH 9.8) ve beyaz renge sahip bir mineraldir.

Vollastonit seramik, plastik ve boyalarda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Vollastonit dolgu malzemesi pazarında diğer beyaz dolgu malzemeleriyle rekabet edebilmektedir. Vollastonit düşük su emme, düşük reçine gereksinimi, ısı kararlılık, ısı iletkenlik, kimyasal saflık gibi özelliklere sahiptir [31-32]. Dolgu malzemelerine yüksek parlaklık ve beyazlık kazandırmasının yanı sıra plastik ürünlerin kalıp çekme, çarpılma ve eğilme özelliklerini de geliştirir. Aşınma direncini ve kaymayan zeminlerde sürtünmeyi artırır. [31-32].

PP esaslı malzemelere tarımsal atıkların dolgu malzemesi olarak eklenmesiyle elde edilen kompozit malzemelere bir diğer örnek çalışmada da pirinç sapı ve asma çubuğu PP ile hem ayrı ayrı karıştırılmış, hem de üçü birlikte karıştırılarak hibrit matris kompozitler üretilmiştir. Hibrit matris kompozitler ile de çalışılması açısından çalışmamıza benzer bir olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada elde edilen kompozit malzemelerin mekanik (çekme ve eğilme dayanımları ve elastisite ve eğilme

modülleri) ve termal (bozunma, erime ve kristalleşme sıcaklıkları vb.) özellikleri incelenmiştir. Üretilen hibrit matris kompozitlerin ve pirinç sapı ile PP karıştırılarak elde edilen malzemelerin saf PP'ye kıyasla daha iyi mekanik ve termal özelliklere sahip olduğu görülmüştür [33].

Literatüre bakıldığında dikkate değer başka bir çalışmanın da 2011 yılında yayınlanan “*Doğal Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin Gerilme Özelliklerine Genel Bakış*” isimli makalenin olduğu görülür. Bu makalede doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin dayanım özellikleri irdelenmiştir. Doğal liflerin, sentetik lif takviyeli polimer malzemelere bir alternatif olabileceği hususu bu alanda yapılan bilimsel çalışmaların sayısını ve niteliğini de arttırmıştır. Çalışmada doğal ve el yapımı fiber malzemelerin çeşitli özellikleri kıyaslanarak tablolar halinde verilmiştir. Bu sayede bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara başlangıç noktası seçebilmeleri açısından karşılaştırma kolaylığı sağlamaktadır. Çeşitli malzemelerin bir çok mekanik özellikleri irdelenerek elde edilen grafikler, tablolar ve şekillerden bu açıdan faydalanılabileceği değerlendirilmektedir [34].

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Kompozit Malzemenin Tanımı

Kompozit malzemeler adından da anlaşılacağı üzere en az iki ve farklı özelliklerdeki malzemelerin uygun koşullarda biraraya getirilmesi ile oluşturulur. Her malzemenin kendisine has mekanik ve fiziksel özellikleri vardır. Malzemenin mekanik özellikleri, uygulanan yük ve gerilmeye karşı malzemenin nasıl davrandığını gösterir. Dayanım, süneklik, malzemenin ani yük (darbe), devamlı değişen yük (yorulma), yüksek sıcaklık altında (sürünme) veya aşınma şartlarında nasıl davrandığı malzemenin mekanik özelliklerindedir. Malzemenin fiziksel özellikleri hem gördüğü işleme hem de iç yapısına bağlıdır. Malzemenin elektriksel, manyetik, termal, elastiki özellikleri ve kimyasal davranışları fiziksel özellikleri olarak değerlendirilir [35-37].

Kompozit malzemelerin en önemli avantajı bir malzemedeki elde edilemeyen özelliklerin bir veya daha fazla malzemenin bir araya getirilerek elde edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Kompozit malzemeler ile daha hafif, daha sağlam, daha sünek, yüksek sıcaklığa daha dayanıklı malzemeler üretilebilir. Kompozit malzemelerin diğer bir güzelliği de ihtiyacınız olan özelliklere göre malzeme üretimine imkan tanınmasıdır. Özellikle ileri teknoloji gerektiren havacılık, uzay ve askeri alanlarda kompozit malzemeler vazgeçilmez ve sürekli geliştirilen bir alan olarak benimsenmiştir [35].

Kompozitlerde kullanılan takviye malzemeleri farklı morfolojilere sahiptir. Bu takviye malzemelerinin kullanılmasıyla elde edilen malzemelerin yük taşıması, dayanıklılık, rijitliğinin ve dayanım gibi özellikleri istendiği şekilde artırılması sağlanabilmektedir. Takviye malzemesinin kullanımındaki temel amaç, malzeme üzerine gelen yükün taşınması, matrisin rijitliğinin ve dayanımının artırılmasının sağlanmasıdır. Kompozit malzemelerin üretim sürecinde kullanılan ilave malzemeler ile performans artışı, yüzey kalitesi artışı, üretim maliyetlerinde düşüş, hızlı ve kolay üretilebilmesi sağlanmaktadır. Bu ilave malzemelerine kullanım sıklığına göre örnek verecek olursak, dolgu malzemeleri, kürleşme sürecini hızlandırmak üzere kullanılan katalizörler, kalıp ayırıcılar, jelkotlar gibi malzemeler sıralanabilir. Kompozit

malzemelerin üretiminde profesyonel üretim süreçlerine dayalı özel yöntemler uygulanmaktadır [35-37].

Özetle bir malzemeyi kompozit malzeme olarak nitelendirebilmek için doğada saf halde bulunan malzemelerin kullanım amacına göre malzeme özellikleri iyileştirilerek biraraya getirilmesi gerekmektedir. Bu birleştirilen malzemeler birbirleri içerisinde çözünmezler. Elde edilen kompozit malzemenin muhteviyatında bulunan malzemelerin tek başına sahip olmadığı özelliklere sahip olan bir malzeme olması gerekmektedir [38].

2.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit kelime manası olarak karışım manasına gelmektedir. Burada amaç karışımdaki malzemelerin en iyi özelliklerini kompozit malzeme bir arada toplamaktır. Bu karışımda bir araya getirilen malzemeler birbirleri içerisinde çözünmezler. Yani çözünen ve çözen bileşenler yoktur. En temel özelliği ise üretim ve kullanım amacından da anlaşılacağı üzere doğal malzemelere nazaran daha iyi özellikler elde edilebilmesidir. Kompozit malzemelerin bileşenleri arasında atom alışverişi bulunmaz ve bu bileşenler kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler. Eğer malzemeler birbiri içerisinde çözünür ve atom seviyesinde bir karışım söz konusu olursa bu tür malzemelere kompozit değil alaşım denilmektedir. Kompozit malzemelerin özellikleri düşünüldüğünde bu farklılık gözden kaçırılmamalıdır [35-37].

Kompozit malzemelerde bileşenler karışımda nanometre ölçeğinde yer alıyorsa, bu tip kompozitlere nano kompozitler denilmektedir. Kompozit malzeme denildiğinde “matris” adı verilen bir ana malzeme ve dolgu/takviye malzemesi olarak kullanılan ve daha mukavim bir malzemedен oluşan “dolgu/takviye elemanı” düşünülmelidir. Burada dolgu/takviye elemanı kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliklerini artırırken, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynar ve kompozit malzemenin daha geç kopmasını sağlar [36]. Matris kompozit malzemeye şeklini verirken dolgu elemanını da çevresel etkilerden korur. Matris, takviye elemanına bağlı bir özellik olan tokluk özelliğine katkı sağlar. Dolgu/takviye elemanı elde edilen kompozit malzemenin termal genleşme katsayısı, iletkenlik ve termal taşınım gibi özelliklerinde baskın rol oynar. [35-37].

2.3. Biyokompozit Malzemeler:

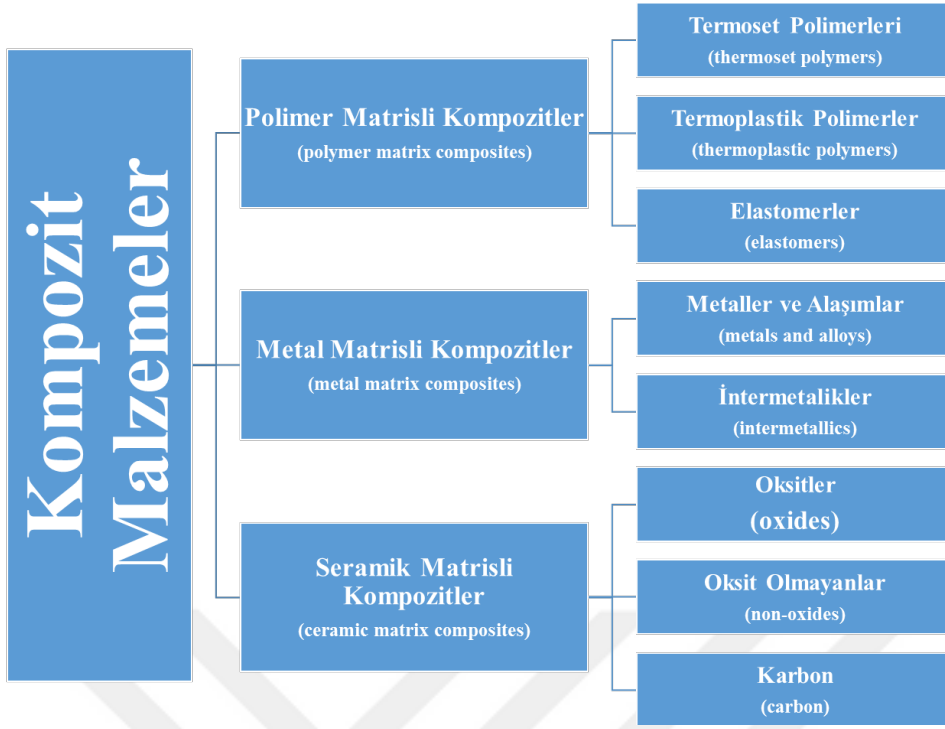
Biyokompozit malzemelere geleneksel malzemelere alternatif olabilme potansiyeli sebebiyle ilgi ve talep her geçen gün artmaktadır. Biyokompozit malzemeler, sentetik elyaflar (karbon, cam, vb. elyaflar) veya reçineler (poli vinil alkol, epoksi vb.) yerine doğal elyaflar veya doğal reçinelerle üretilir. Yeşil kompozit denmesinin asıl sebebi de bu özelliğidir. Biyokompozitler jüt, sisal, keten, kenevir, bambu, saç, yün, ipek vb. biyolojik bazlı lifli bitkilerden veya hayvanlardan elde edilirler. Doğal kauçuk, polyester gibi malzemelerde bitkilerden üretilir. Doğada rahat bir şekilde geri dönüştürülebildiği ve çevreci olması biyokompozitlere olan ilgiyi daha da arttırmıştır. Ürün olarak kullanılan malzemelerin genellikle atık olarak nitelendirilen malzemeler olması geri dönüşüm sağlanabilmesi açısından da önemlidir. Biyokompozitlerin karşılaştırılabilir mekanik özellikleri sayesinde birçok farklı alana uygun ürün geliştirilmesini de mümkün kılabilmektedir.

Biyokompozit malzemeler daha hafif, daha ucuz, daha güvenli olması sebebiyle otomotiv endüstrisinin gelecekteki uygulamaları açısından umut vaat edici malzemeler olarak görülmektedir. Yukarıda bahsedilen çevreci etkenler de otomotiv endüstrisi gibi malzeme yoğunluklu çalışan endüstrilere alternatif malzeme olması açısından biyokompozitlerin destek görmesini kolaylaştırmaktadır [39]. Bu çalışma, son trendleri, mekanik ve kimyasal özellikleri ve biyokompozitlerin son yıllarda uygulanmasını gözden geçirmektedir.

2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

2.4.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler

Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması Şekil 2.1 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere matris malzemesine göre kompozitleri 3 sınıfa ayırmak mümkündür.



Şekil 2.1 : Matris Malzemesine Göre Kompozitlerin Sınıflandırması. [35]

2.4.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Polimer matrisli kompozitler termoset, termoplastik ve elastomerler olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Yaygın olarak sürekli fiber takviyeli olarak kullanılırlar. Epoksi ve polyester PMK'ların en önemli termoset reçineleridir. Termoplastik reçine olarak PP ve polyamid reçineler yaygın olarak kullanılmaktadır. PMK'larda takviye malzemesi olarak genellikle cam fiber, kevlar fiber ve karbon fiber kullanılmaktadır. PMK'ların üretiminde elle yatırma, pultrüzyon metodu, filament sarma, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Üretilen malzemenin hafif olması, malzemelerin taşımacılık endüstrisinde ve katma değerli alanlarda (havacılık, uzay, otomotiv) kullanılmasını sağlamaktadır. Korozyon direncinin yüksek olması denizcilik endüstrisinde kullanımda bir tercih sebebidir. Ayrıca yanmazlık özellikleri özellikle otomotiv endüstrisi ve yanmazlık gerektiren alanlar için kullanılmalarını da sağlamaktadır [35-37].

2.4.1.2. Metal Matrisli Kompozitler (MMK):

MMK'larda ana yapı matris metallere oluşurken, seramik gibi bir dolgu/takviye malzemeside kullanılmaktadır. Çok uzun yıllardır MMK'lar üzerinde yoğunlaşan araştırmalara bakıldığında, bu malzemelerin kullanımının yaygın olduğu, çok farklı

türlerinin kullanılabilirdiği ve malzeme seçiminde hiçbir sınırlama olmaması literatürdeki olumlu özellikleri olarak göze çarpmaktadır. Üretilen MMK malzemenin elastisite modülünü ve aşınma dayanımı artmaktadır. Ayrıca, bu malzemelerin kırılma tokluğu ve basma dayanımı daha yüksektir. MMK'lar havacılık/uzay endüstrisinde, savunma sanayii sektöründe ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [35-37].

2.4.1.3. Seramik matrisli kompozitler (SMK):

Yapısal özellikleri incelendiğinde seramik malzemelerin çok sert ve kırılğan oldukları görülmektedir. Seramik malzemelerin sıcaklık dayanımları yüksektir. Düşük yoğunluğa sahip olan bu malzemelerin ısıl şok direnci ve tokluğu düşüktür. Seramik malzemelerde dolgu veya takviye malzemeleri malzeme dayanımının artırılması ve tokluk özelliğinin iyileştirilmesi için seramik fiberler ile takviyelenmektedir [35-37].

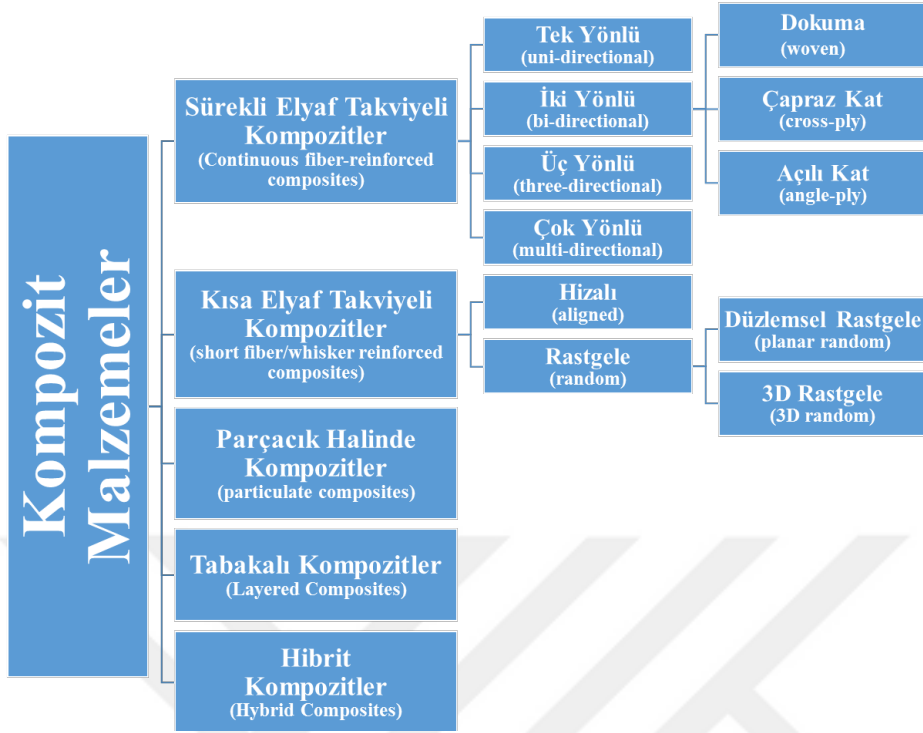
Ayrıca seramik matrisli malzemeler için karbon ve cam fiberler özel amaçlar için (yüksek sıcaklık uygulamaları) geliştirilmektedir. Savunma sanayii, havacılık/uzay sanayii gibi katma değerli endüstrilerde sandviç yapılı SMK'lar kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde SMK'lar sadece yukarıda bahsedilen katma değerli endüstrilerde değil, biyomalzeme olarak insan vücudunda da kullanılmaya başlandığı görülmektedir. [35-37].

2.4.2. Takviye malzemesine göre kompozit malzemeler

Takviye malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere takviye malzemesine göre kompozitleri 5 sınıfa ayırmak mümkündür.

2.4.2.1. Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitler

Ana malzeme olarak kullanılan polimer matris üzerinde elyafların yerleşimi elde edilen kompozit malzemenin dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Matris içinde elyafların birbirlerine paralel olarak yerleştirilmesi yüksek dayanım sağlarken, elyafların dik doğrultuda yerleştirilmesi ile düşük dayanım elde edilmektedir. Elyafların takviye olarak iki boyutlu olarak yerleştirilen malzemelerle elde edilen kompozit malzemelerde her iki yönde de eşit dayanım sağlanabilmektedir. Ayrıca izotropik bir yapı oluşturmak istenirse matris yapısına homojen bir şekilde kısa elyaflar yerleştirilebilir [35-37].



Şekil 2.2 : Takviye Malzemesine Göre Kompozitlerin Sınıflandırması. [35]

2.4.2.2. Parçacıklı kompozitler:

Matris içinde başka bir malzemenin parçacık olarak bulunması sonucu elde edilen bu tür kompozitler izotropik yapıdadırlar. Elde edilen kompozit malzemeler her yerinde aynı özellikleri gösterirler. Bu tür malzemelerde bileşenler birbirleri içerisinde çözülmezler, kimyasal tepkimeye geçmezler [35-37].

Malzemelerin özelliklerinin bu yöntem ile istenilen seviyede ve homojen bir biçimde belirlenmesi bilhassa uçak motor parçaları gibi yüksek sıcaklıkta ve yüksek dayanıma ihtiyaç duyulan hassas malzemelerin üretiminde tercih edilmektedirler. Eğer matris içerisine konulan dolgu/takviye elemanının boyutu nanometre seviyesinde olur ise bu şekilde elde edilen kompozitlere nanokompozit denir [35-37].

2.4.2.3. Tabakalı kompozitler:

Tabakalı kompozitler matristen daha dayanımlı fiberlerin veya fiber örgü gibi malzemelerin matris ile birleştirilmesi suretiyle üretilirler. Birden fazla tabaka birleştirilerek elde edilirler. Tabakalı kompozitler sanayiinin bir çok alanında çok yaygın bir şekilde kullanım alanına sahiptir. Fiberlerin diziliş yönüne göre malzemenin

istenilen yönde dayanım özellikleri (çekme dayanımı gibi) belirlenebilir. Bu yönü de tabakalı kompozitler kullanım alanının yaygınlaşmasına katkı sağlamıştır [35-37].

Tabakalı kompozit malzemelerin sandviç benzeri bir yapı kullanılarak daha hafif ama daha dayanımlı olması sağlanabilir. Bu işlemde iki tabaka arasına, bal peteği vb. bir farklı formdaki malzeme yerleştirilir. Bu tür kompozit malzemelere sandviç kompozitleri de denilmektedir [35-37].

2.4.2.4. Hibrit kompozitler

Hibrit kompozit malzemeler aynı yapıda iki veya daha fazla elyaf çeşidinin biraraya getirilmesi suretiyle elde edilirler. Buradaki amaç üretilen hibrit malzemelerin iki farklı özelliklere sahip kompozitin özelliklerinden daha iyi olmasını sağlamaktır. Yani iki malzemenin özelliklerini biraraya getirerek istenilen seviyede daha elverişli bir kompozit malzeme üretilebilmektedir [35-37].

2.5. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

2.5.1. Avantajları

Metallere kıyasla kompozit malzemelerin özgül çekme ve eğilme dayanımları daha yüksektir. Malzeme içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanılması ile tasarruf sağlanabilir. Kompozitlerin kullanılmasıyla elde edilen büyük ve karmaşık şekilli parçalar, tek bir işlemle bir bütün halinde kalıplanılarak, malzeme ve işçilikten tasarruf sağlanabilir. İhtiyaca göre seçilen dolgu veya takviye malzemeleri sayesinde, üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilir. Özel katkı maddelerinin matris içerisine katılması ile kompozit malzemenin ısıya olan dayanımı artırılabilir. Kompozit malzemeler titreşim sönümlenme özelliklerine sahip olabilirler ve çeşitli hava koşullarından ve korozyondan etkilenmezler. Kalıplama yapılırken reçineye ek olarak ilave edilen pigmentler ile birlikte istenilen renge sahip malzemeler elde edilebilir [35-37].

2.5.2. Dezavantajları

Kompozit malzemenin imalatında kullanılan hammaddelerin fiyatları genel itibari ile daha yüksektir. Lamine edilmiş olan kompozitlerin özellikleri her zaman uygun özellik göstermedikleri için düşük dayanıklılık ve lamine edilen katlar arasında düşük kesme dayanımı gösterebilirler. Üretimi yapılacak olan malzemenin ürün kalitesi üretim

yöntemine bağı olarak değişmektedir. Yani ürün kalitesi üretim şekli ve yöntemine doğrudan bağıdır. Kompozit malzemeler çok çeşitli yapıda olabildikleri için mekanik olarak dayanımları çok fazla değişebilmektedir [35-37].

2.5.3. Kompozit malzemelerin uygulama alanları

Günümüzde polimer kompozitlerin kullanım alanları aşağıda verilmiştir;

Ulaşım sektöründe; otomotiv sektöründe gövde panelleri, yaprak yayları, tahrik mili vb.

Deniz taşımacılığında; tekne gövdeleri, kanolar, kayaklar gibi.

Uzay ve havacılık sektöründe; uçak gövdeleri, uydu sistem parçaları gibi.

Spor endüstrisinde; golf sopaları, kayaklar, olta kamışları, tenis racketleri vb.

Savunma sanayinde; kurşungeçirmez yelek, zırh parçaları gibi.

Biyomedikal sektörde; biyomedikal implantlar ve ortopedik aletlerin imalatı gibi.

Kimya sektöründe; kimyasal depolama tankları, basınçlıkaplar, basınçlı tanklar, borular, pompa gövdeleri ve valfler gibi.

Elektrik endüstrisinde; paneller, kollektörler, yalıtım malzemeleri, elektriksel anahtarlar gibi [35-37].

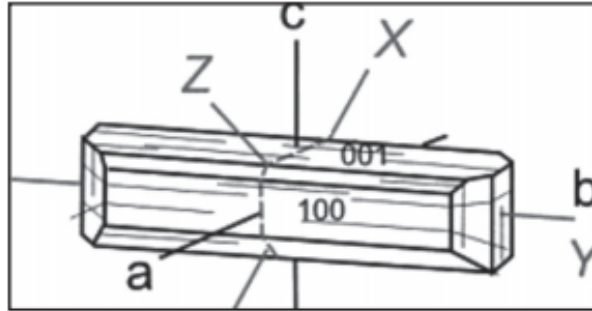
3. ENJİNAR SAPI VE VOLLASTONİT'İN GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Vollastonit

Vollastonit doğal olarak oluşmuş bir kalsiyum metasilikattır ve kalsiyum, silisyum ve oksijenin bileşiminden oluşmuştur. Metalik olmayan, iğnemsî kristal yapıya sahip, alkalın (pH 9.8) ve beyaz renkli bir mineraldir [31-32].

3.1.1. Vollastonitin mineralojisi, fiziksel ve kimyasal özellikleri

Vollastonit, piroksen grubundandır. Kristal yapısı zincir (Si₃O₉)-6 bileşimindedir. İki dörtyüzlünün aktif oksijenleri bir yanda, üçüncü dörtyüzlünün aktif oksijeni diğer yanda yer alır. Bu düzen mineralin dilinimi, yassı kristal şekli, lifsel dokusu ile uyum göstermektedir. Zincirler Ca atomları ile bağlanırlar. Ca atomları çarpık sekizyüzlüsel koordinasyon gösterirler. Vollastonit kristalleri yassı olup b eksenine paralel doğrultulu uzanmıştır. En fazla {001} pinakoidine ve {100} prizma yüzeylerine rastlanılır. Genellikle masif, lifsel topluluklar halindedirler (Şekil 3.1). Birleşme düzlemi {100} olan ikizler gösterir [41].

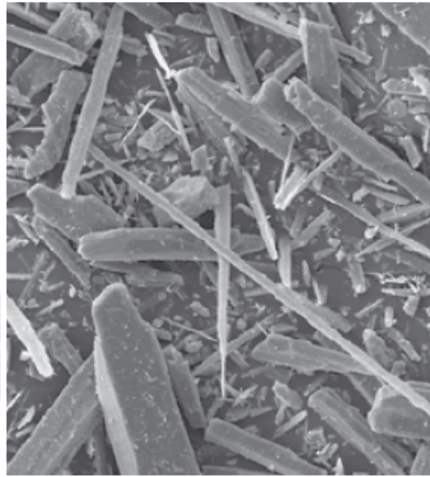


Şekil 3.1 : Vollastonit Kristali. [40]

Vollastonit aslında kimyasal olarak aktif değildir. Bununla birlikte hidroklorik asit ve diğer güçlü inorganik asitlerde dekompoze olabilirler. Asetik asit gibi organik asitlerden, çok az etkilenebilir [42]. Vollastonitin bazı türleri kısa dalga ve uzun dalga ultraviyole ışık altında floresans özellik gösterebilirler ve pembe-turuncudan

başlayarak yeşil-turuncuya kadar ve daha nadir olan mavimsi yeşile kadar renk değiştirebilirler [42]. Vollastonit minerali fosforesans özelliği de gösterebilir. [41]

Vollastonit mineralinin kırma ve öğütme işlemleri esnasında, kendine özgü dilinim özelliklerinden dolayı, iğne şekilli parçacıklar oluşur. Ürünlere yüksek dayanım katan bu parçacık morfolojisi, birçok pazardaki en önemli başarı nedenidir. Şekil 3.2’de seramik uygulamalar için kullanılan ticari bir vollastonitin parçacık morfolojisi görülmektedir. Parçacıkların iğnemsiz özelliği boy/çap oranı ile tanımlanır [40-42]

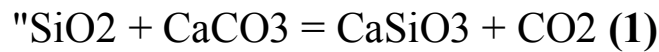


Şekil 3.2 : Ticari Bir Vollastonitin Parçacık Morfolojisi.

Saf vollastonit parlak ve beyaz renk olup, safsızlıkların tip ve miktarına göre gri, krem, kahverengi, soluk yeşil ya da kırmızı renklerde olabilir [43].

3.1.2. Vollastonit’in oluşumu

Vollastonit magmatik kayalar ile kalkerlerin kontaktlarında ısıl metamorfizma ürünü olarak oluşmaktadır. Vollastonit oluşumu aşağıda tanımlanmaktadır.



Silika + kireçtaşı = vollastonit + karbondioksit

Düşük sıcaklıklarda, kuvars ve kalsit, kararlı bir şekilde birleşme oluşturacaktır. Sıcaklığın yaklaşık 400-450 C°’ye yükselmesiyle birlikte reaksiyon başlar. 1 * 10⁵ Pa atmosfer basınç altında gerçekleşen bu reaksiyon kalsit veya kuvars ergiyiği bitinceye kadar devam eder. Vollastonit oluşumu ile CO₂ yayılımından dolayı basınç yükselir, böylece reaksiyonun devam edebilmesi için yüksek sıcaklık ihtiyacı daha da artar (950 C°’ye kadar olabilir). Bu sırada, CO₂ gazının doğal kırık ve çatlak zonlarına kaçma

eğiliminden dolayı basınç azalır. Bu basınç düşüşü ile reaksiyon düşük sıcaklıklarda devam eder. Fakat basınç yükseldiğinde reaksiyon sıcaklığı birdenbire artış göstermez. Tersine reaksiyon ve kalsit oluşumu gerçekleşir.

Vollastoniti oluşturan diğer sebep, nadiren yüksek miktarda karbon içeriği olan ergimiş kayadan (magma) vollastonitin direkt kristalleşmesidir. Bu magmaların kökeni tartışmalıdır ancak geçerli olan düşünce, magmanın muhtemelen alt kabuk ve üst manto kökenli olmasıdır [42-44].

3.1.3. Dünya vollastonit rezervleri ve faaliyetleri

Dünya üzerindeki vollastonit kaynakları tam olarak hesaplanmamıştır. En büyük rezervler ve küresel vollastonit üreticileri Çin, Hindistan, Meksika, Kanada, Finlandiya, ve Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır. Diğer önemli vollastonit kaynakları Avustralya, Kanada, Şili, Fas, Kenya, Namibya, Kuzey Kore, Pakistan, Güney Afrika, Sırbistan, Tacikistan, Sudan, Türkiye ve Özbekistan'da bulunmaktadır [44].

Dünya üzerindeki vollastonit rezervleri tahmini 90 milyon tondur, muhtemel rezerv tahmini ise 270 milyon ton civarındadır. Ancak çoğu büyük yatak, tetkik edilmediği için kesin rezerv miktarı tahmin edilememektedir [44]. 1990 yılına göre kullanım alanı ve tüketim miktarı hızla artan vollastonitin 2010 yılındaki üretimi yaklaşık olarak % 48'lik bir artış göstermiştir. Ayrıca dünya vollastonit üretimi verileri incelendiğinde, son 2-3 yıla kadar birçok ülkenin vollastonit üretiminin bulunmadığı da görülmektedir. 2010 yılı işlenmiş vollastonit satışı tahmini olarak 490.000 ton civarındadır [44].

Vollastonitin diğer küçük üreticileri Türkiye'de Kalemaden, Şili'de Estudios y Proyectos Mineros Ltda., Fas'ta Morocco Minerals Co., Kenya'da Ati River Mining Ltd. ve Güney Afrika'da Namaqua Wollastonite (Pty) Ltd.'dir [42].

Türkiye'de kaliteli vollastonit yatakları bulunmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre Türkiye'deki bilinen vollastonit yatakları Bursa (muhtemel rezerv 1.078.600 ton), Balıkesir (mümkün rezerv 500.000 ton) ve Çanakkale illerinde bulunmaktadır [45]. Ancak vollastonit konusunda detaylı bir rezerv tespit çalışması yapılmadığından bu yatakların ekonomikliği konusunda bilgi verilememektedir.

3.1.4. Vollaŝtonit'in kullanım ve uygulama alanları

Vollaŝtonitin kullanım alanları seramikler, plastikler ve kauçuk, asbest yerine kullanım, metalurji, boya ve kaplamalardır. Bu alanlarda kullanılan vollaŝtoniti, yüksek boy/çap oranlı vollaŝtonit ve öğütölmüş ya da toz boyutunda olan vollaŝtonit olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür. Yüksek boy/çap oranına sahip vollaŝtonit (boy/çap, 10:1 ile 20:1 arasında olan), özellikle plastikler ve kauçuk (toplam tüketimin % 19 -25), asbest yerine (% 20-25), az miktarda da boya ve kaplamalar (yaklaşık % 2-5) gibi çeşitli uygulamalarda fonksiyonel dolgu malzemesi ve takviye malzemesi olarak kullanılır. Bu uygulamalarda, vollaŝtonit, ilave sertlik, eğilme ve darbe dayanımı sağlamaktadır [41-45]

Plastiklerde, yüksek boy/çap oranına sahip vollaŝtonit son ürünlerin elektriksel özelliklerini, ısı ve boyutsal kararlılığını geliştirebilir. Vollaŝtonitin öğütölmüş boyutta olanları (toz boyutunda) hem kalsiyum oksit hem de silisyum dioksit kaynağı olarak kullanılabilir [41].

Vollaŝtonit, düşük miktarlarda, cam ve cam elyaf endüstrisinde, enerji tüketimini azaltmak için kireçtaşı ve silika yerine kullanılmaktadır. Ek olarak, aşındırıcılarda, kaynak elektrotlarında, toprak şartlandırıcısı ve bitki gübresi olarak, kağıtta dolgu malzemesi olarak ve yol malzemesi olarak kullanılmaktadır [43].

Vollaŝtonitin yeni bir kullanım alanı da sentetik kemik implantlarıdır. Kemik kayıplarında kullanılan bu implantlar β -vollaŝtonit (genelde α -vollaŝtonitten sentetik olarak üretilmiş form) içermektedir. Bu implantlar, kemik dokusuyla hızlı bir şekilde güçlü bağlar kurduğu için, omur protezlerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır [41-44].

3.2. Enginar

Tipik bir Batı ve Orta Akdeniz ölkeleri sebzesi olan enginarın (*Cynara scolymus L.*) ilk költüre alınmasının Batı Akdeniz Havzasında M.S. ilk yüzyılda olduğu bildirilmiştir [46].

Enginar, kapitulum eksen tablası (çiçek tablası) ve yapraklarından çeşitli şekillerde faydalanılan bir bitkidir. Sebze olarak değerlendirilen kısmı, "baş" olarak adlandırılan kapitulum eksen tablası ile brakte yaprakların bir araya gelmesiyle oluşan ve olgun olmayan çiçekleri de içeren organlar topluluğudur. Besin değeri oldukça yüksek olan

enginar, içerdiği besin maddelerinin zenginliği bakımından sebze ve meyveler arasında ilk sıralarda yer almaktadır [47].

Genellikle taze ve konserve olarak tüketilen enginar tıbbi etkisinin yüksek olması nedeniyle ilaç sanayiinde de oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Enginar, besleyiciliği yanında insan vücudunun fizyolojik faaliyetlerine de etkide bulunur. Vücutta biriken toksik maddelerin nötrleştirilmesine, kalp faaliyetlerinin düzenlenmesine ve kan dolaşımıyla kılcal damar direncine olumlu etkileri vardır. İçerdiği “ciarin” (1,5-dicaffeoyl-guinic acid) karaciğer, safrakesesi ve bağırsakların düzenli çalışmasını sağlar [47].

Enginar yetiştiriciliği dünyanın bir çok yerinde yapılmakla birlikte, özellikle Akdeniz ülkelerinde ve bazı Amerika ülkelerinde yoğunluk kazanmaktadır. Dünyada 121.509 hektar alanda yapılan 1.176.840 tonluk üretimde, İtalya 49.898 hektar alan ve 388.700 tonluk üretimiyle ilk sırada bulunmakta; Türkiye ise 2.400 hektar alan ve 26.000 tonluk enginar üretimiyle onbirinci sırada yer almaktadır [48]. Ülkemizde ve dünyada önemli bir üretim hacmine sahip olan enginarın, baş kısmı ürün olarak tüketilip; hasat işlemi sonrası tarlada kalan sapsarı hiçbir şekilde değerlendirilememektedir. Yeni hasat öncesi tarla hazırlama sürecinde yerde kalan enginar sapsarı bir araya toplanarak yakılmak suretiyle bertaraf edilmektedir.

Türkiye’de enginar üretimi özellikle Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Ancak, Akdeniz bölgesinin erkencilikte önemli olmasından dolayı yetiştiriciliği son yıllarda bu bölgede de yayılım göstermektedir. Ülkemizde yetiştiriciliği yapılan başlıca iki enginar çeşidi mevcuttur: “Sakız” ve “Bayrampaşa”. Sakız çeşidi erkenci özelliği nedeniyle taze tüketime yönelik üretilirken, geçici bir çeşit olan Bayrampaşa genellikle sanayiye (konserve) yönelik üretilmektedir [49].

Enginar Akdeniz havzası orijinli bir türdür. Esas anavatanının Orta ve Doğu Akdeniz olduğu ve buradan 2000-2500 yıl önce Mısır’a ve daha uzak ülkelere götürüldüğü bildirilmektedir [47]. Enginar hakkındaki ilk kayıtlara Romalılar döneminde rastlandığı, kültürü yapılan enginarın büyük bir olasılıkla eski Yunanlılar ve Romalılar zamanında yabani enginarın gelişimi ile ortaya çıktığı ve M.S. birinci yüzyılda yetiştirilmeye başlandığı bildirilmektedir [47]. Chaux ve Foury (1994)’ye göre bu sebzenin tarımı 16. yüzyıldan itibaren Akdeniz ülkelerine yayılmaya başlamıştır.

Enginar bitkisinin toprak altı gövdesi çok yıllıktır. Kök gövdesi üzerindeki uyur gözler sonbaharda ilk yağmurlardan veya sulandıktan sonra uyanıp sürerek ertesi yıl ürün verecek bitkileri meydana getirirler. Enginar geniş ve derin bir kök sistemine sahiptir. Çok iyi toprak koşullarında kökler 120 cm'den daha derine inebilmektedir [46, 49].



4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında yapılan çalışmalar, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü ile Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yer alan cihazlar kullanılarak yapılmıştır.

Başarı ölçütleri aşağıdaki dört madde özelinde belirlenmiştir;

- Enginar saplarının bıçaklı mekanik öğütücüde 250 mikron altına öğütebilmek bir başarı ölçütüdür.
- Yüksek hızlı termokinetik mikser ile lif/termoplastik oranı en fazla ağırlıkça %30'ye kadar olacak şekilde partiküllerin homojen dağıldığı kompozit malzemeler üretebilmek bir başarı ölçütüdür.
- Polimerin mekanik özelliklerini %20 iyileştirmek bir başarı ölçütüdür.
- Polimerin termal özelliklerini %15 iyileştirmek bir başarı ölçütüdür.

4.1. Deney Kapsamında Kullanılan Malzemeler

Bu çalışma kapsamında üretilen kompozit malzemeler için matris olarak polipropilen, dolgu/takviye elemanı olarak ise enginar sapı partikülleri ve vollastonit kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarında kullanılan PP kopolimer (PP, LG Chem M 1500, Korea), İzmir Eğitim Sağlık Sanayi Yatırım A.Ş. (Manisa, Türkiye) tarafından tedarik edilmiştir. Kullanılan bu PP kopolimer, 16 g/10 dakikalık (230 °C/2.16 kg) bir erime akış indeksine ve 0.9 g / cm³ bir yoğunluğa sahiptir.

Deneysel çalışmalarında kullanılan enginar sapları İzmir ili Çiğli ilçesindeki tarlalardan tarımsal atık olarak bırakılan ürünlerden elde edilmiştir. Bu yolla elde edilen enginar sapları küçük parçalara ayrıldıktan sonra laboratuvar tipi bir bıçaklı öğütücü (Mertest LB160, Türkiye) ile öğütülmüştür. Daha sonra, parçacıklar sırasıyla 60 ve 140 gözenekli eleklerden geçirilmiştir. Kompozit üretmek için 100 µm'den daha büyük ve 250 µm'den daha küçük parçacıklar kullanılmıştır.

Parçacıklar üzerlerindeki nemi almak için parçacıklar etüv fırınında 70 °C'de 48 saat kadar kurutulmuştur. Kurutulmuş nemi alınan enginar sap parçacıklarının kompozit üretimine girmeden önce yeniden neme maruz kalmaması için kilitli plastik bir torba içerisine alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan enginar parçacıkları herhangi bir kimyasal yüzey modifikasyon işlemi olmaksızın kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan vollastonit (TREMİN 939-300 iğnesel yapılı vollastonit, D50=37 µm, L/D=6, yüzey işlemsiz, yoğunluk=2.85 g/cm³ ve Mohs sertliği=4.5)) KAOLİN Endüstriyel Mineraller San. ve Tic. A.S. firmasından temin edilmiştir.

4.2. Kompozit Üretiminde İzlenilen Yöntemler

Deneysel çalışma kapsamında daha önce belirlenen oranlarda E ve W içeren PP matrisli kompozitler üretilmiştir. PP matrisli kompozitler laboratuvar ölçekli bir yüksek hızlı termokinetik mikser (Gülner Makine, Türkiye) yardımıyla üretilmiştir. Mikser haznesine konulmadan önce toplamda yetmiş gram olacak şekilde E, W ve PP (plastik granül olarak) fiziki olarak karıştırılmış ve karışım mikser haznesine konulmuştur. 2000 devir/dakika'da çalışan mikserde, karışım hamur haline gelinceye kadar yaklaşık 25-30 saniye süreyle tutulmuştur.

Kompozit levhalar, hamurun sıcak ve soğuk presin (Laboratuvar tipi ısıtmalı-soğutmali hidrolik pres, Gülner Makine, Türkiye) 180°C sıcaklıkta, 180 saniyede ve 120 bar basınç altında sıcak preslenmesi yöntemiyle üretilmiştir. Sonrasında üretilen kompozit plakalar 120 saniye ve 120 barda soğuk preste işlem gördü. Tablo 4.1'de üretilen malzemelerin karışım oranları verilmiştir.

Tablo 4.1 : PP ile E ve W Karışım Oranları

Numune Adı	PP (%)	Enginar sapı (E) (%)	Vollastonit (W) (%)
PP-10E	90	10	0
PP-20E	80	20	0
PP-30E	70	30	0
PP-7E-3W	90	7	3
PP-5E-5W	90	5	5
PP-3E-7W	90	3	7
PP	100	0	0

Deney numunelerinin hazırlanması için kullanılan yüksek hızlı termokinetik mikser'e ait resimler Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Yüksek Hızlı Termokinetik Mikser.

4.3. Malzeme Test ve Karakterizasyonları

Tez kapsamında üretilen malzemelere çeşitli testler ve karakterizasyon yöntemleri uygulanmıştır. Elde edilen malzemelerin dinamik mekanik analizleri, diferansiyel taramalı kalorimetre analizleri, termogravimetrik analizleri, X ışını difraktrometresi incelemeleri, çekme ve eğilme testleri ve taramalı elektron mikroskobu incelemeleri yapılmıştır. Yapılan testler, incelemeler ve analizler neticesinde çeşitli karışım oranlarına sahip malzemelerin birbirleri arasında mekanik, termal, viskoelastik özellikler kıyaslanarak, malzemelerin hangi tür kullanıma uygun olduklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.3.1. Çekme ve eğilme testleri

Malzemelerin özelliklerinin bilinmesi açısından çekme dayanımı, elastisite modülü gibi değerler en önemli belirleyici özelliklerdendir. Çekme testleri günümüzde yaygın olarak kullanılan ve büyük bir doğrulukla malzemelerin çekme yükleri altındaki davranışlarının ve kopmadaki uzama miktarlarının belirlenmesinde etkili bir ölçme yöntemidir.

Malzemelerin özellikleri incelenirken eğilme özelliklerinin de hassasiyetle incelenmesi gerekmektedir. Zira eğilme özellikleri polimerlerin çekme davranışları kadar önem arz etmektedir. Eğilme testleri numunenin hazırlanması ve hazırlanan düzeneğin test cihazına yerleştirilmesi bakımında çekme testine nazaran daha basittir.

Tez kapsamında üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinin tespitinde üniversitemiz Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan “Shimadzu AG-IC” isimli universal çekme-basma test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 5 kN yük hücreğine sahiptir. Çekme testleri “ASTM D638” standartlarına, eğilme testleri ise “ASTM D790” standartlarına göre yapılmıştır. Çekme testi esnasında çenenin hareket hızı 50 mm/dakika olarak, eğilme testi esnasında ise çene hareket hızı 1 mm/dakika olarak belirlenmiştir. Bu testler neticesinde üretilen malzemelerin eğilme dayanımı, eğilme modülü, elastisite modülü, çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin tespit edilmesi sağlanmıştır. Testlerin hassasiyetini arttırmak adına üretilen her bir çeşit malzeme için testler en az beş kez tekrarlanmıştır. Test sonuçları standart sapmalar da dikkate alınarak ortalama değerlere göre belirlenmiştir.

4.3.2. Dinamik mekanik analizi (DMA)

Dinamik mekanik analiz (DMA) cihazı ile malzemelerin viskoelastik özellikleri ölçülebilmektedir. Bu ölçümleri malzemelerin üzerine belirli frekanslarda artıp azalan yük motorları sayesinde gerçekleştirebilmektedir. Malzemelere ait E' , E'' , gerilim ve gerinim dalga şekilleri üzerindeki σ_0 , ϵ_0 ve δ değerlerinden hesaplanabilir. Hem elastik hem de viskoz davranış gösteren malzemeler viskoelastik malzemeler olarak adlandırılır ve çalışmamızda kullandığımız polimer gibi malzemeler de bu malzemelerdendir [50].

Üniversitemiz Makine Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan “DMA Q800, TA Instruments” cihaz ile ürettiğimiz malzemelerin depolama (storage), kayıp (loss) modülleri ve tan delta özellikleri elde edilmiştir. Analizler single cantilever (tek noktalı tutucu) kullanılarak 40-140°C sıcaklık aralığında yapılmıştır. Isıtma hızı olarak 3°C/dakika belirlenmiştir ve analizler bu hızda gerçekleştirilmiştir.

4.3.3. Termogravimetrik analiz (TGA)

Malzemelerde sıcaklığın ve zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kayıplarının/kazançlarının belirlenmesinde termogravimetrik analiz yöntemi

kullanılmaktadır. Sabit bir ısıtma hızında ısıtılan numunenin kütle değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülerek kaydedilir. Aynı zamanda numunenin sabit sıcaklıktaki belli bir zaman aralığındaki kütle değişimi de zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülerek kaydedilir. Bu değişime bozunma/yükseltgenme reaksiyonları ya da bir bileşenin buharlaşması neden olabilir. Malzemenin termal kararlılığı malzemenin kütlesindeki sıcaklığın fonksiyonuna bağlı değişim ve bu değişimin yayıldığı aralık ile ifade edilir [51].

Tez kapsamında üretilen malzemelerin ısıl kararlılıkları ve ağırlık kayıpları İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları'nda (İKÇÜ-MERLAB) bulunan "SDT Q600, TA Instrument" isimli cihaz yardımıyla tespit edilmiştir. İlgili analizler gaz akış hızı 50 mL/dakika olan azot gazı atmosferinde ve 30-600°C sıcaklık aralığında, 10°C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

4.3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC)

Bir numunenin ısınırken, soğurken veya sabit sıcaklıkta soğurduğu ya da salıverdiği enerji miktarı DSC cihazı ile ölçülebilmektedir. DSC cihazı bu ölçümü bünyesinde yer alan referans ile ölçülmek istenen numune arasındaki ısı farkını zamana ve sıcaklığa bağlı olarak belirler. Eğer numune ve referans arasında sıcaklık farkı var ise, sıcaklığı sabit tutabilmek için numuneye verilen enerji (güç) miktarı değiştirilir. Bu da numunedeki ısı transferi miktarının saptanmasını sağlar [52].

Tez kapsamında elde edilen malzemelere uygulanan DSC analizleri İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları'nda (İKÇÜ-MERLAB) bulunan "DSC Q2000 TA Instrument" cihazı ile azot gazı atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin termal geçmişlerini sıfırlamak bu aşamada doğru veri elde etmek için önemlidir. Bunun için numuneler oda sıcaklığından 200 °C'ye, 10 °C/dakika ısıtma hızında ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 3 dakika kadar numuneler beklemesi sağlanmıştır. Akabinde numuneler ulaşılan bu sıcaklıktan oda sıcaklığına 10°C/dakika soğutma hızıyla soğutulmuştur. Numunelerin termal geçmişlerinin silinmesinin ardından analiz aşamasına geçildi. Bunun için numuneler oda sıcaklığından 200 °C'ye 10 °C/dakika ısıtma hızında tekrar ısıtılmıştır.

4.3.5. X Işını difraktometresi (XRD)

X ışını kırınım cihazı sayesinde az miktarda numunenin dahi herhangi bir tahribata uğramadan analizi yapılabilmektedir. X ışını kırınım yöntemi, her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X ışınlarının karakteristik bir düzen içerisinde kırılması esasına dayanır. Bu kırınım profilleri her bir kristal faz için adeta parmak izi gibi o kristali tanımlar. Bu cihaz kristal malzemelerin, kayaçların, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelenmesinde kullanılır. Kullanım alanı olarak bu cihaz jeolojide (minerallerin ve kayaçların tanımlanmasında), metal ve alaşım analizlerinde, seramik ve çimento sanayiinde, ince film kompozisyonu tayininde, polimerlerin analizinde, ilaç endüstrisinde (bir malzeme içerisindeki polimorfların ve safsızlıkların tespitinde), arkeolojide (tarihi yapıları oluşturan malzemelerin tayininde) kullanılmaktadır [53].

Tez çalışması kapsamında elde edilen numunelerin kristalografik analizleri İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları'nda (İKÇÜ-MERLAB) bulunan "Panalytical Emperian XRD" cihazıyla yapılmıştır. Analizler cihazın 2θ tarama modunda (45 kV ve 40 mA) Cu-Kα radyasyon ile gerçekleştirilmiştir. Analizler esnasında tarama dedektörünün 2θ=5° ve 80° arasında veri toplaması sağlanmıştır.

4.3.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri

Taramalı Elektron Mikroskobu, Tungsten Lantan hekza borit katottan veya alan emisyonlu tabancadan ortaya çıkan elektronların incelenmek istenen malzemenin yüzeyine gönderilmesiyle oluşan etkileşimlerden yararlanılarak ölçüm yapma prensibiyle çalışır [54].

Tez kapsamında üretilen malzemelerin SEM incelemeleri için İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları'nda (İKÇÜ-MERLAB) bulunan "Carl Zeiss 300VP" taramalı electron mikroskobu cihazı kullanılmıştır. Çekme testi sonrası malzemelerde oluşan kopma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. Bu sayede malzemelerin morfolojik yapıları hakkında bilgi sahibi olunmuştur. SEM incelemelerinin yapılabilmesi için öncesinde "QUORUM Q150 RES" plazma kaplama cihazı kullanılarak numunelerin yüzeyleri homojen olacak şekilde altın kaplanmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

5.1. Çekme ve Eğilme Testleri

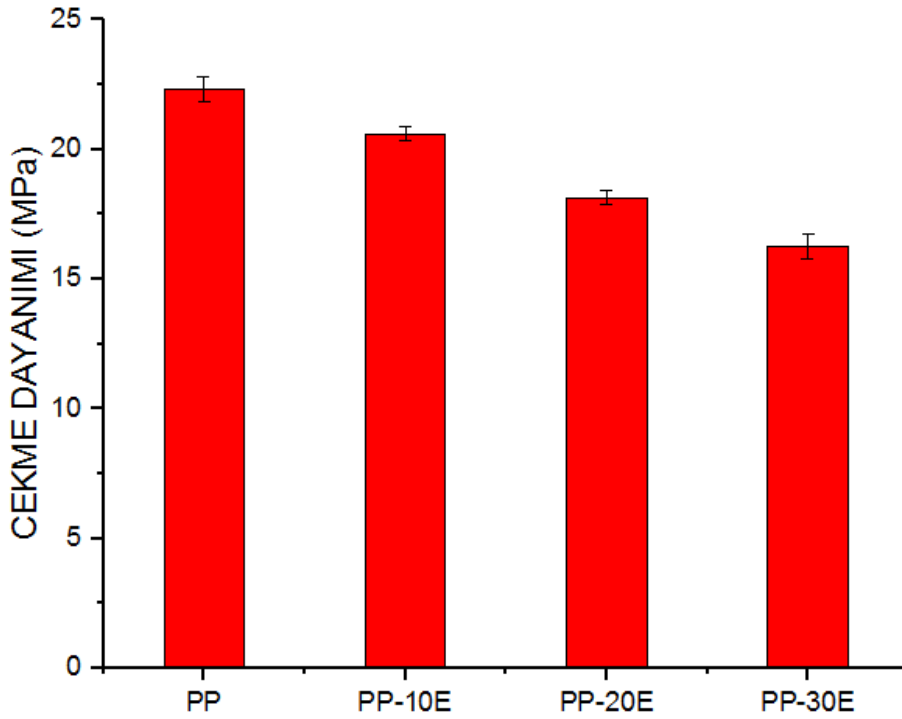
Tablo 5.1’de PP ve kompozitlerin mekanik özellikleri yer almaktadır. Şekil 5.1-5.8’de üretilen kompozit malzemelerin çekme ve eğilme testleri sonucu elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş çekme ve eğilme özelliklerini gösteren grafikler verilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin çekme dayanımı ve eğilme dayanımları PP’nin çekme ve eğilme dayanımından daha düşüktür. Bununla birlikte, kompozitlerin elastisite ve eğilme modülleri PP’nin elastisite ve eğilme modüllerinden daha yüksektir.

Tablo 5.1 : PP ve Üretilen Kompozitlerin Çekme ve Eğilme Test Sonuçları.

Numune Adı	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)	Kopma Uzama (%)	Eğilme Dayanımı (Mpa)	Eğilme Modülü (Mpa)
PP	22.3 ±0.5	801.6 ±42.0	25.07	33.8 ± 0.4	971.2 ±19.9
PP-10E	20.6 ±0.5	991.8 ±12.3	10.8	30.4 ±0.6	1053.0 ±42.6
PP-20E	18.2 ±0.3	1115.0 ±19.7	5.6	27.5 ±1.2	1123.1 ±38.5
PP-30E	16.3 ±0.5	1224.8 ±84.4	3.7	22.5 ±1.2	1143.7 ±13.9
PP-7E-3W	20.7 ±0.2	1002.1 ±12.5	6.9	31.8 ±1.2	1137.1 ±52.4
PP-5E-5W	21.3 ±0.2	1035.0 ±17.3	9.9	31.9 ±1.7	1245.7 ±0.4
PP-3E-7W	21.1 ±0.9	1040.2 ±24.5	8.4	32.3 ±1.0	1157.9 ±21.4

Tablo 5.1’de görüldüğü üzere PP, PP-10E, PP-20E, PP-30E, PP-7E-3W, PP-5E-5W ve PP-3E-7W kompozitlerinin çekme dayanım değerleri sırasıyla 22.3, 20.6, 18.2, 16.3, 20.7, 21.3 ve 21.1 MPa’dır. Tablo 5.1’de PP, PP-10E, PP 20E, PP-30E, PP-7E-3W, PP-5E-5W ve PP-3E-7W kompozitleri için eğilme dayanımı değerleri sırasıyla 33.8, 30.4, 27.5, 22.5, 31.8, 31.9 ve 32.3 MPa olarak verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde üretilen kompozit malzemelerin çekme ve eğilme dayanımı, PP matrisi içerisine ağırlıkça %30’a kadar E ilavesiyle azaldığını görülmektedir. Ayrıca, hibrit kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımında W ilavesi ile PP-10E’ye göre çok az bir artış gözlenmiştir. İncelenen aralıkta (ağırlıkça %0-30 E) E ilavesi PP’nin elastisite ve eğilme modüllerinin arttığı tespit edilmiştir. PP’ye ağırlıkça %30 E eklendiğinde, elastisite ve eğilme modülleri sırasıyla yaklaşık %52.8 ve %17.8 artmıştır. PP’nin

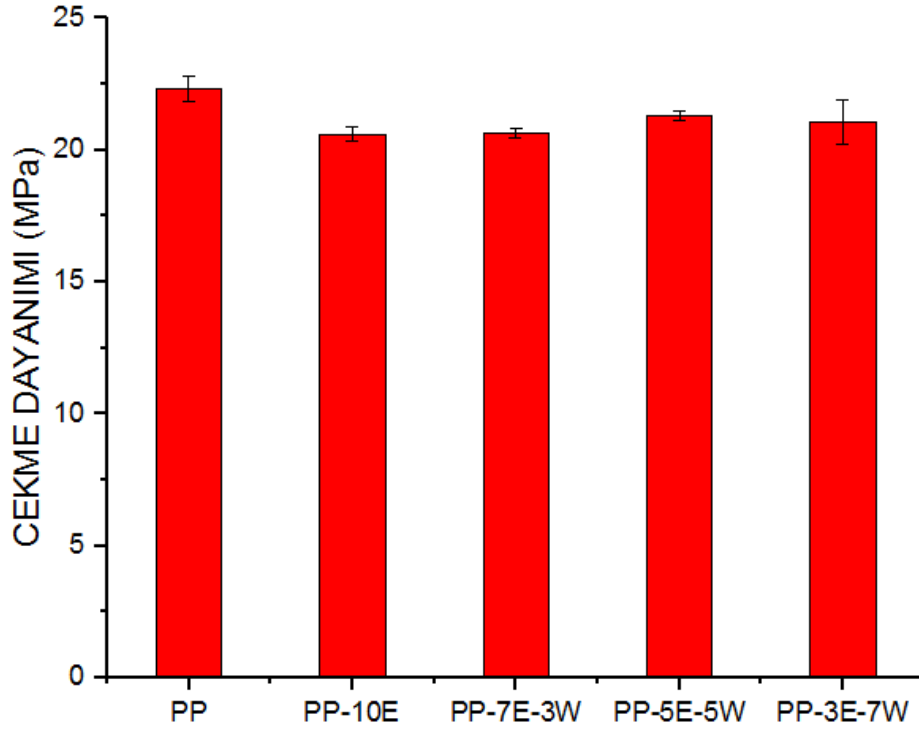
elastisite ve eğilme modülleri, ağırlıkça %10 oranında E ve W eklenmesi ile artar. PP-E kompozitlerinde W oranı arttıkça, PP-10E'e göre modül değerlerinde genel bir artış belirlenmiştir. PP-3E'ye ağırlıkça %7 W ilave edildiğinde, elastisite ve eğilme modülleri, PP'ye kıyasla sırasıyla %29.8 ve %19.2 artmıştır. PP-3E-7W kompozitinin PP-10E'e göre elastisite ve eğilme modüllerindeki artış ise sırasıyla %4.9 ve %10'dur. Modül değerlerindeki bu artışlar, E ve W ile PP'nin sertliğinde bir artış olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.1 : PP_E Kompozitlerin Çekme Dayanımı Karşılaştırmaları.

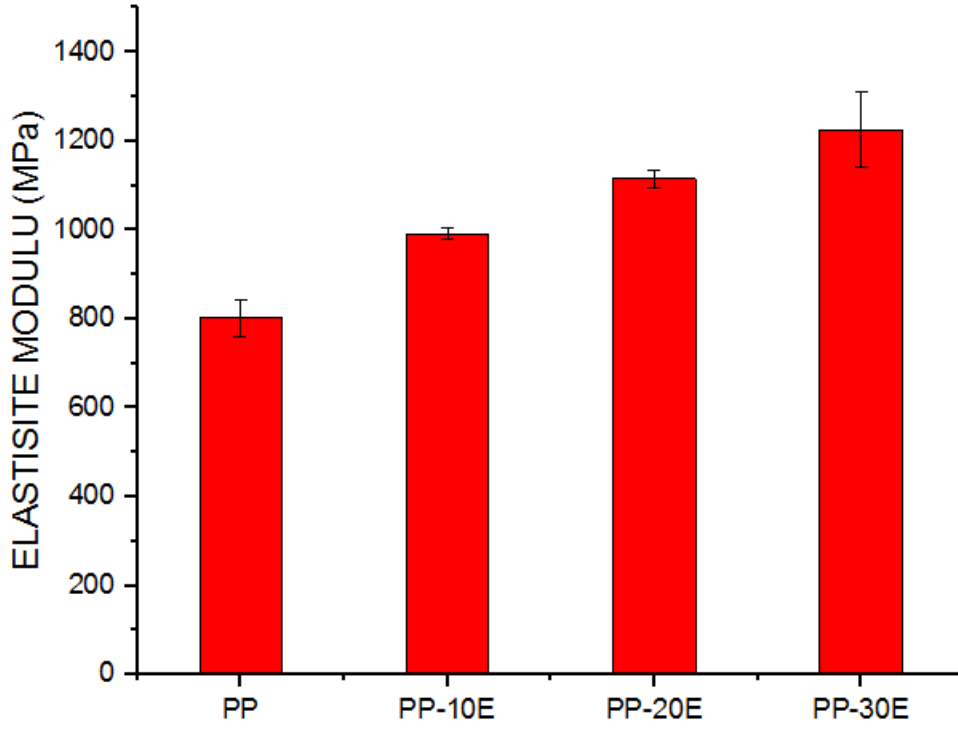
E parçacıklarının PP'ye eklenmesi ile elde edilen kompozitlerin çekme dayanımındaki değişim Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi PP'ye E eklenmesi ile birlikte elde edilen malzemenin çekme dayanımının düştüğü görülmektedir. PP'nin çekme dayanımı 22.3 MPa 'dır ve %30'a kadar E eklenmesiyle çekme dayanımının 18MPa azaldığı görülmektedir. Çekme dayanımının azalmasının muhtemel iki sebebi olabilir; ilk muhtemel sebep, dolgu parçacıkları ve PP matris arasındaki ara yüzeyin zayıf olması, ikinci muhtemel sebep ise dolgu parçacıklarındaki asimetrik şekle sahip olan keskin kenarlarıdır. Bu asimetrik şekle sahip dolgu parçacıkları, stres konsantrasyonunda artışa neden olduğundan çekme dayanımında bir azalma görülmesi muhtemeldir [55]. Ayrıca lignoselüozik malzemeler kimyasal yapılarındaki ligninden dolayı topaklanma eğilimindedirler. Bu topaklanmalar partiküllerin polimer matrise

zayıf yapışmasına neden olurlar. Üretim sırasında oluşabilecek topaklanmalar, partikül matris arayüzey yapışmasının zayıf olmasına ve dolayısıyla çekme dayanımının azalmasına neden olabilirler [56]. Bunun temel nedeni topaklanmalar neticesinde kompozit arayüzeyinde oluşan zayıf yapışma nedeniyle gerilim transferinin de zayıf olmasından kaynaklanmaktadır [57].



Şekil 5.2 : PP-E-W Kompozitlerin Çekme Dayanımı Karşılaştırmaları.

Şekil 5.2’de ise PP, PP-10E ve PP-E-W (PP matrisine hem E hem de W eklenerek elde edilen hibrit kompozit malzemelerin) çekme dayanım değerleri karşılaştırılmaktadır. W’nin E’ye nazaran PP’nin çekme dayanımını azaltan değil arttıran bir malzeme olabileceği görülmektedir. Özellikle PP-5E-5W hibrit malzemelerindeki gözlemlenen çekme dayanımındaki artış, E yerine W katılarak çekme dayanımında artış sağlanabileceğini göstermektedir. W’nin iğne şekilli yapısı, W-PP arasındaki mekanik açıdan etkileşimleri artırır. Bu iğne şekilli dolgu malzemesi yüksek görünüş oranına sahiptir. Bu durum matrisle W’nin ıslanma yeteneğini artırır. Dolayısıyla dolgu ve matris arasında daha az mikro boşluklar oluşmasına neden olur [58]. Mikro boşlukların az olması nedeniyle gerilim artırıcı bölgelerin oluşmasını engeller. Bu da mekanik açıdan W partikülleri kompozitin mekanik dayanımı açısından olumlu etki yarattığı söylenebilir.

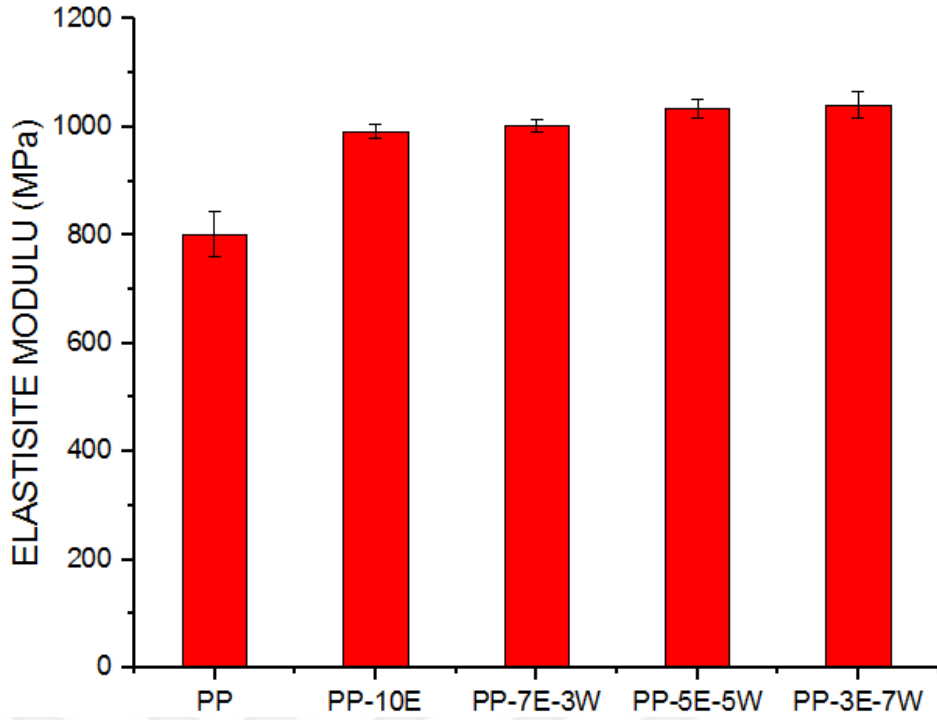


Şekil 5.3 : PP-E Kompozitlerin Elastisite Modülü Karşılaştırmaları.

Şekil 5.3’de PP’ye belirli oranlarda E eklenmesiyle elde edilen kompozitlerin elastisite modülü değerlerindeki değişim görülmektedir. PP’nin elastisite modülü yaklaşık olarak 800 MPa olarak görülmektedir. PP’ye E eklenmesi ile elastisite modülünün arttığı gözlemlenmiştir.

PP’ye ağırlıkça %10 oranında E eklenmesiyle elde edilen kompozitin elastisite modülü yaklaşık olarak 1000 MPa, PP’ye ağırlıkça %20 oranında E eklenmesiyle elde edilen kompozitin elastisite modülü yaklaşık olarak 1100 MPa, PP’ye ağırlıkça %30 oranında E eklenmesiyle elde edilen kompozitin elastisite modülü ise yaklaşık olarak 1200 MPa olduğu görülmektedir. Polimer matrise göre tarımsal atıkların daha rijit dolgu yapısı nedeniyle arttığı düşünülmektedir [59].

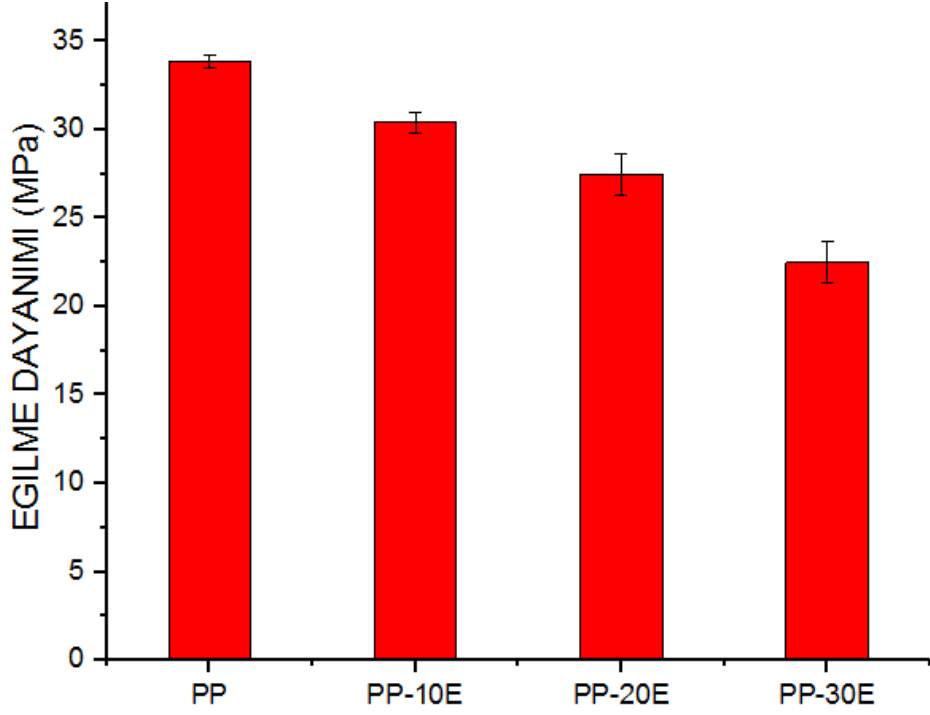
Şekil 5.4’de, PP’nin, PP’ye ağırlıkça %10 E eklenmesiyle elde edilen kompozit malzemenin ve hem E hem de W eklenerek elde edilen hibrit kompozit malzemelerin elastisite modül değerleri karşılaştırılmaktadır. PP’ye sadece toplamda ağırlıkça %10’u geçmeyecek şekilde E ve W eklenmesi ile elastisite modül değerleri PP-10E’e göre artmıştır. İğne şekilli W partiküllerinin PP matris içerisine katılması elastisite modülünü artırmak açısından takviye etkisi yapmıştır [60]



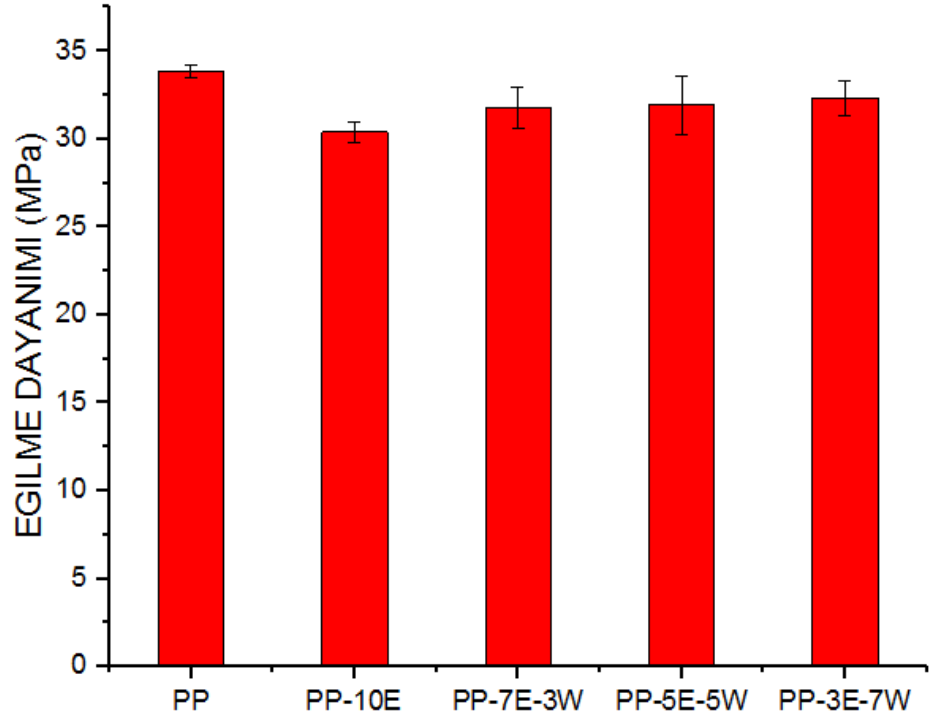
Şekil 5.4 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerin Elastisite Modülü Karşılaştırmaları.

W partikülleri ve matris malzemesi arasındaki mikro boşlukların azalması, matris malzemenin modülünü artırmasına neden olabilir [58].

Şekil 5.5’de PP’ye E eklenmesi ile elde edilen biyokompozit malzemelerin eğilme dayanımları PP ile karşılaştırılmıştır. PP’ye E eklenmesi ile malzemenin eğilme dayanımında düşüş görülmektedir. PP matrisi içerisine katılan E oranı arttıkça daha çok azalma olduğu belirlenmiştir. PP’nin eğilme dayanımı yaklaşık olarak 34 MPa iken, PP-10E’de 30MPa’lara, PP-20E’de 28MPa’lara, PP-30E’de ise 23MPa’lara doğru azalmaktadır. Lignoselülozik partiküller ile polimer matrisi arasındaki zayıf arayüzeyel yapışma nedeniyle üretilen kompozitlerin eğilme dayanımının azaldığı düşünülmektedir [61].



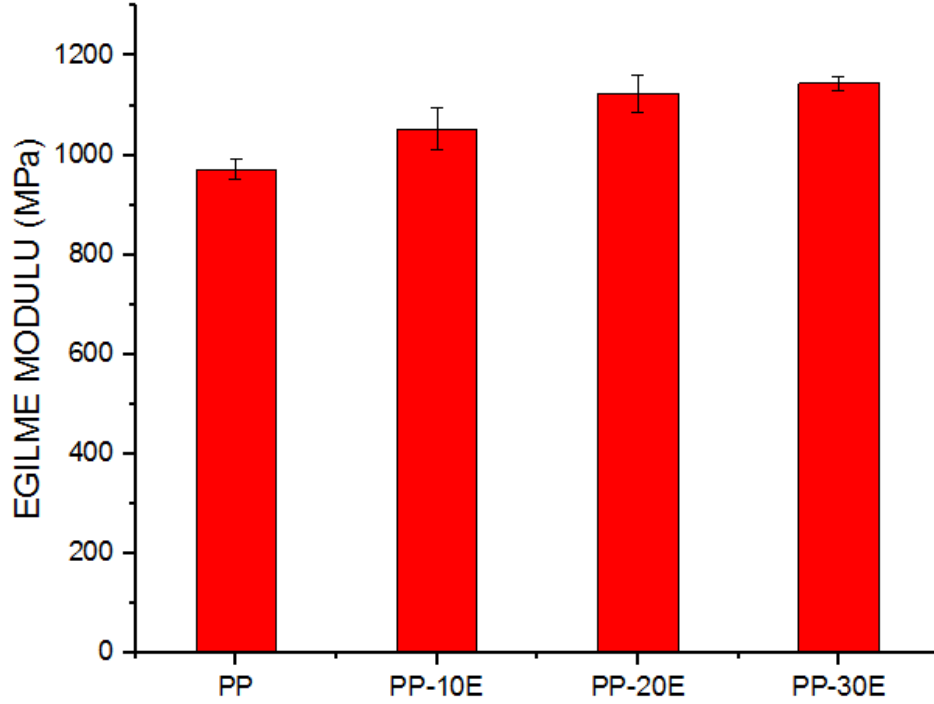
Şekil 5.5 : PP-E Kompozitlerinin Eğilme Dayanım Karşılaştırmaları.



Şekil 5.6 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerinin Eğilme Dayanım Karşılaştırmaları.

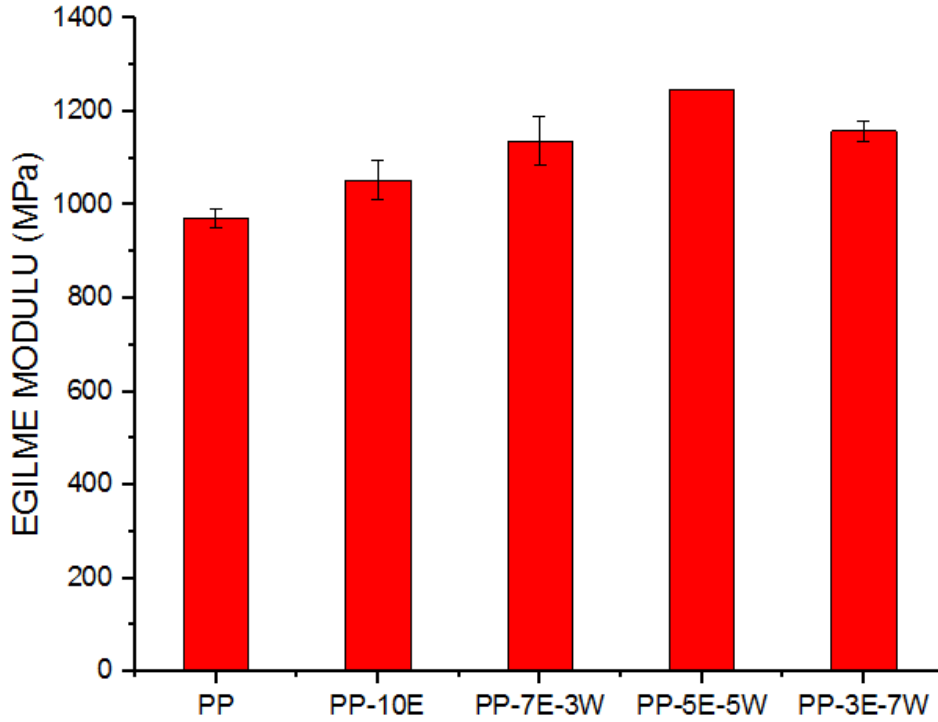
Şekil 5.6'da, PP'nin, PP'ye ağırlıkça %10 E eklenmesiyle elde edilen biyokompozit malzemenin ve hem E hem de W eklenerek elde edilen hibrit kompozitlerin eğilme dayanımları karşılaştırılmaktadır. PP'ye ağırlıkça %10 E eklenmesi ile azalan eğilme

dayanımı, W ilave edilmesiyle birlikte bir miktar artış göstermiştir. Hibrit kompozitler arasında en yüksek eğilme dayanımı PP-3E-7W kompozitinde tespit edilmiş olup, PP-10E'nin eğilme dayanımından daha yüksektir. İğne şekilli W partiküllerinin dolgu ve matris arasında daha az mikro boşluklar oluşturması nedeniyle gerilim artırıcı bölgelerin oluşması azaldığından W partikülleri eğilme dayanımı açısından pozitif etki yaratmış olabilir [58].



Şekil 5.7 : PP-E Kompozitlerinin Eğilme Modülü Karşılaştırmaları.

Şekil 5.7’de PP matrisine E eklenmesi ile üretilen biyokompozit malzemelerin eğilme modülü PP’nin eğilme modülü ile karşılaştırılmıştır. PP’ye E eklenmesi ile kompozitin eğilme modülünde artış görülmektedir. PP’nin eğilme modülü yaklaşık olarak 970 MPa iken PP matrisine %30E eklenmesiyle yaklaşık 1140 MPa kadar arttığı görülmektedir. Polimer matrise göre tarımsal atıkların daha rijit yapıya sahip olması, kompoziti eğilme modülü açısından da güçlendirir [59].



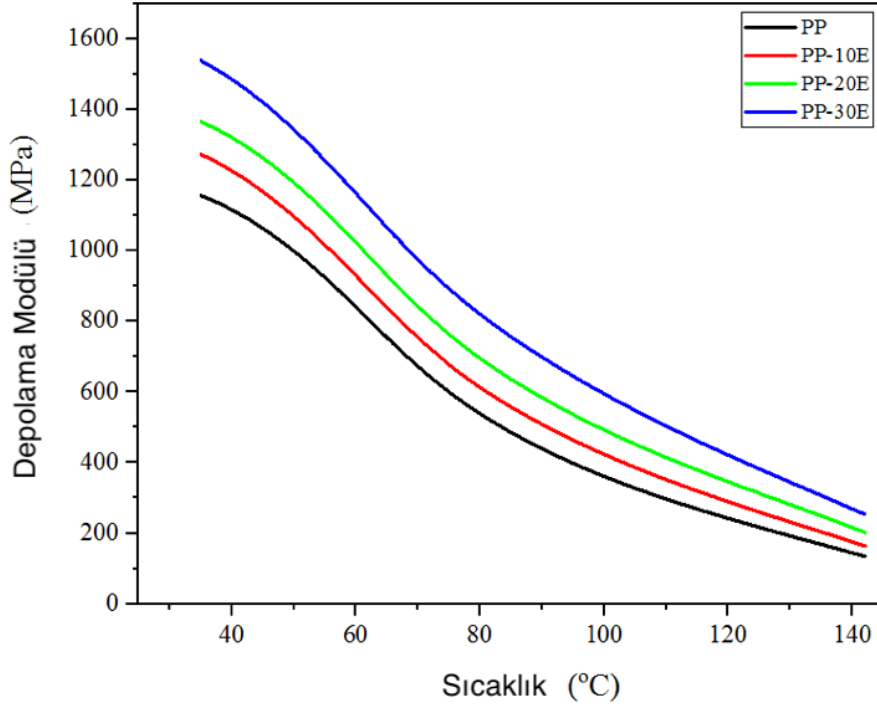
Şekil 5.8 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerinin Eğilme Modülü Karşılaştırmaları.

Şekil 5.8’de, PP’nin, PP’ye ağırlıkça %10 E eklenmesiyle elde edilen biyokompozitlerin ve hem E hem de W eklenerek elde edilen hibrit biyokompozitlerin eğilme modülü karşılaştırılmaktadır. PP-E’ye W eklenmesi ile eğilme modülünün arttığı arttıuğ görülmektedir. Hibrit kompozitler arasında en yüksek eğilme modülü PP-5E-5W kompozitinde tespit edilmiştir. W partikülleri ile polimer matris arasındaki azalan mikro boşluklar, polimerin eğilme modülünün artırmasına neden olabilir [58].

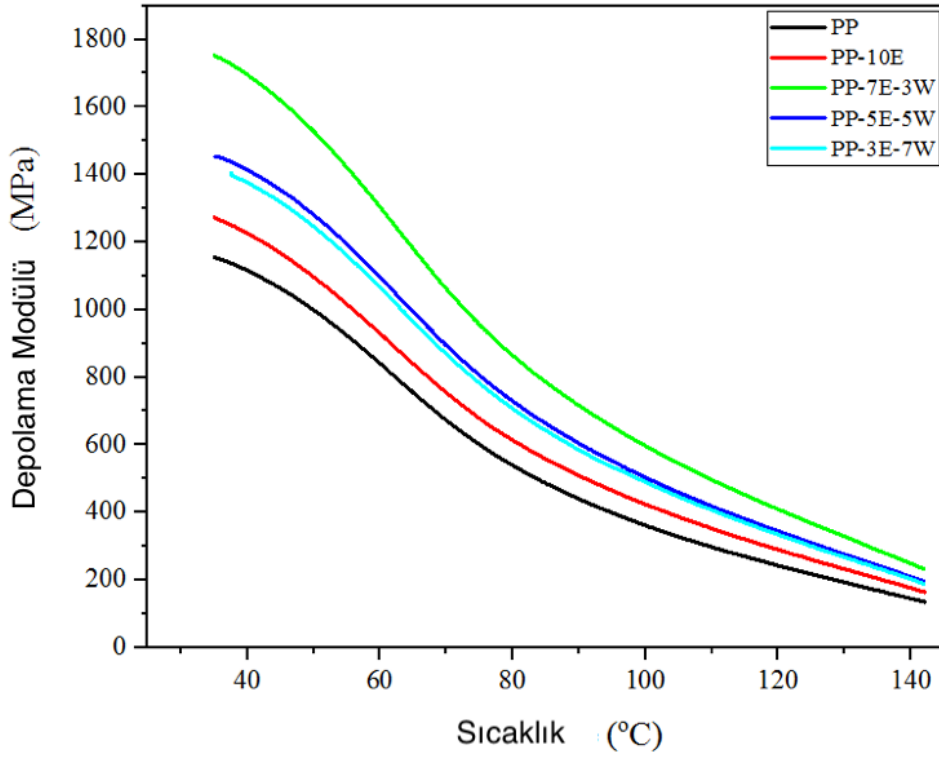
5.2. Dinamik Mekanik Analizi (DMA)

E ve E-W yüklü PP kompozitlerin depolama modülü değişimleri Şekil 5.9 ve 5.10’da görülmektedir. Şekil 5.9’da yalnızca E parçacıklarından üretilen PP-E kompozitlerin depolama modülleri PP’nin ki ile karşılaştırılmıştır. PP’ye eklenen E parçacıkları ile birlikte PP’nin depolama modül değerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. PP içine katılan E’nin ağırlıkça oranı arttıkça, PP matrisli kompozitlerin depolama modülünün arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5.10’da ise PP matris ile E ve W ‘nin belirli oranlarda karıştırılarak üretildiği hibrit malzemelerin depolama modülünün sıcaklığa bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekil 5.9’daki gibi burada da hibrit kompozitlerin PP’ye göre daha yüksek depolama modülüne sahip olduğu görülmektedir. İnorganik

partiküllerinin takviye etkisinden dolayı, kompozitlerin depolama modülü polimer matristen daha yüksektir [62].



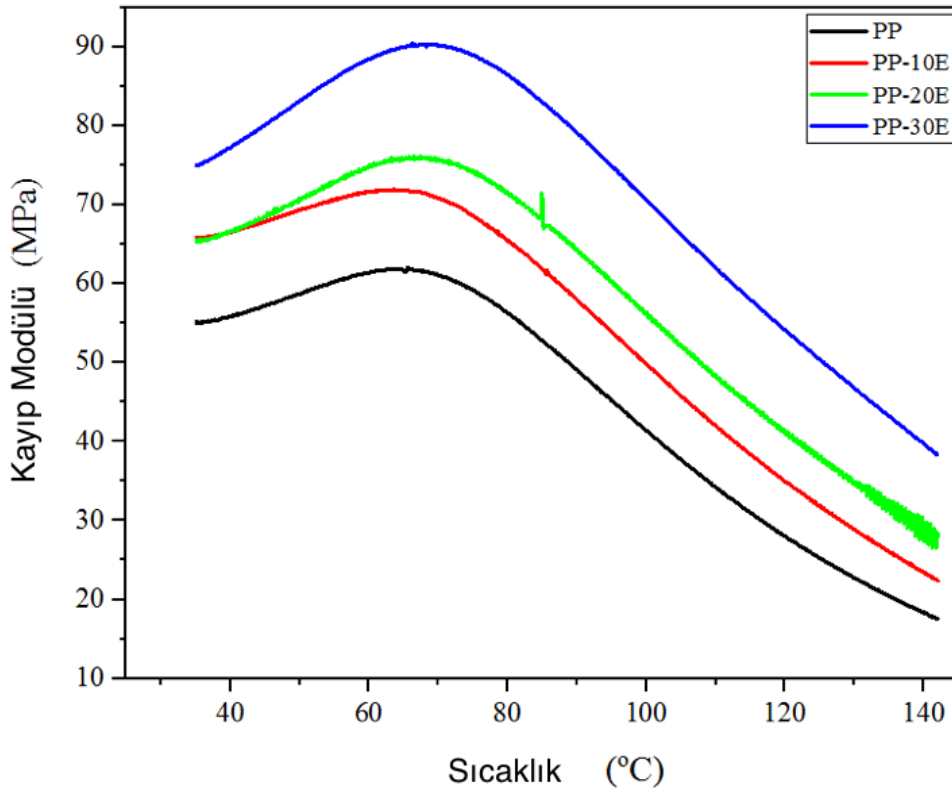
Şekil 5.9 : PP-E Kompozitlerin Depolama Modülü Karşılaştırmaları.



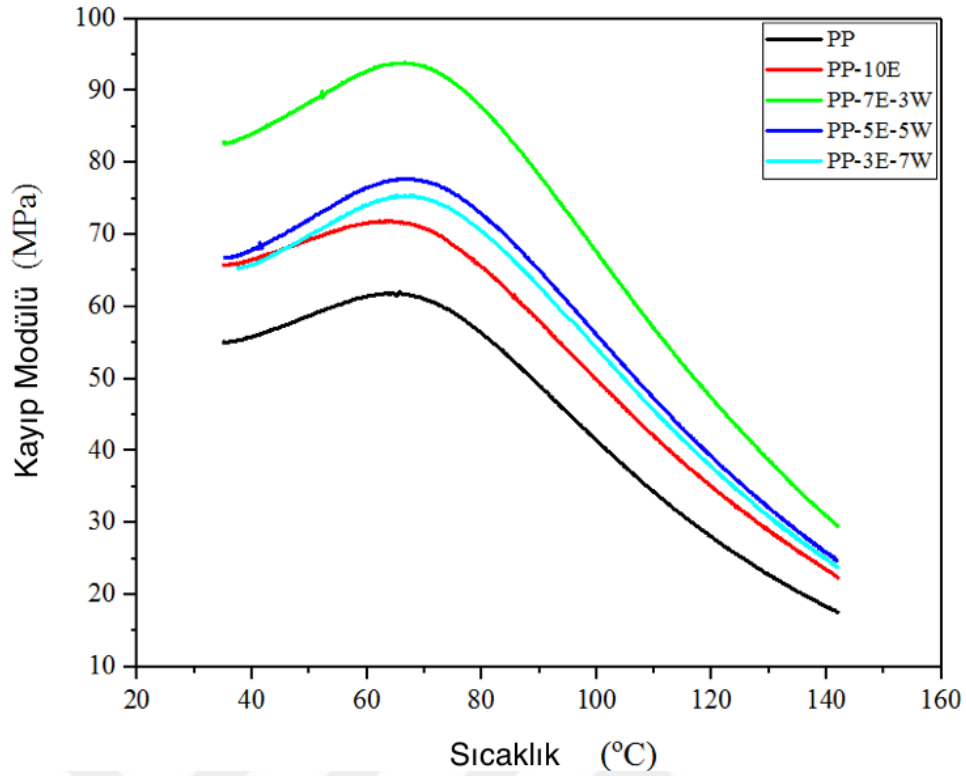
Şekil15.10 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerin Depolama Modülü Karşılaştırmaları.

Özellikle düşük sıcaklıklarda bu fark daha fazla iken sıcaklık arttıkça malzemeler arasındaki depolama modül değerleri birbirine oldukça yaklaşmaktadır. Düşük sıcaklıklarda çalışma durumunda, saf PP'ye nazaran daha yüksek depolama modülüne sahip bir malzeme istenirse yalnızca E veya E ve W eklenerek malzemenin depolama modülü artırılabilir. Biyokompozitlerde PP'nin depolama modülü biyopartiküllerin takviye etkisiyle birlikte PP'den biyopartiküllere daha büyük gerilim transferi olmasına imkân sağlar. Bu da yarı rijit matris içerisinde rijit partiküllerin eklenmesiyle biyokompozitin rijitliğini artırır [63-64]. PP'ye yalnızca E eklemek yerine E ve W eklenerek üretilen hibrit kompozitlerde daha yüksek depolama modülü değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Bununla birlikte; PP, PP-E ve PP-E-W kompozitlerin depolama modülü değerlerinin sıcaklık artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte polimer zincirlerinin segmental (bölgesel) hareketliliğinin artması nedeniyle depolama modülünün azaldığı görülmektedir [62,65].



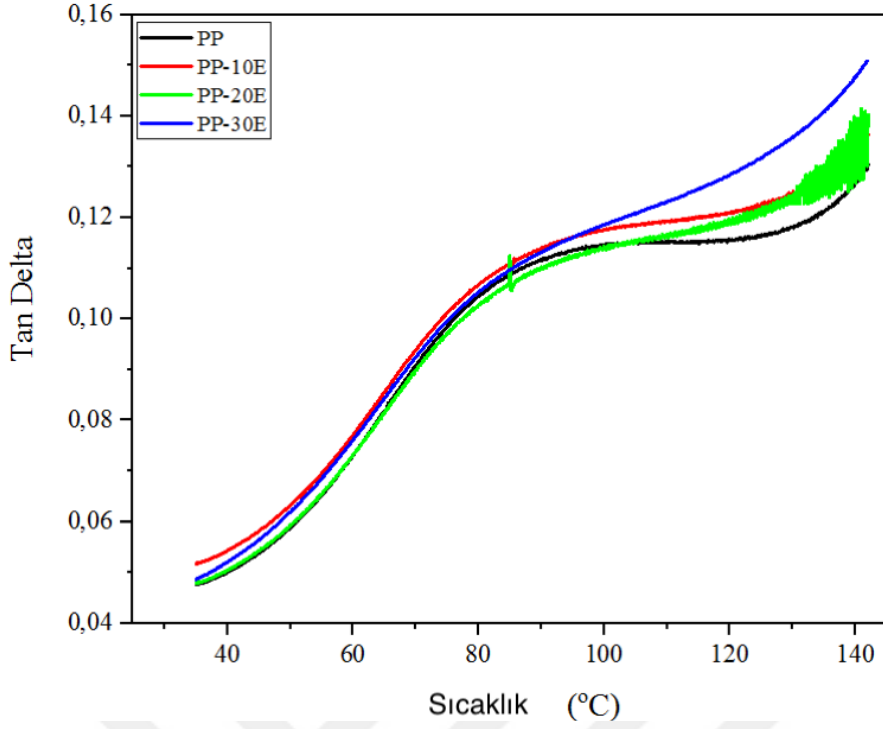
Şekil 5.11 : PP-E Kompozitlerin Kayıp Modülü Karşılaştırmaları.



Şekil 5.12 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerin Kayıp Modülü Karşılaştırmaları.

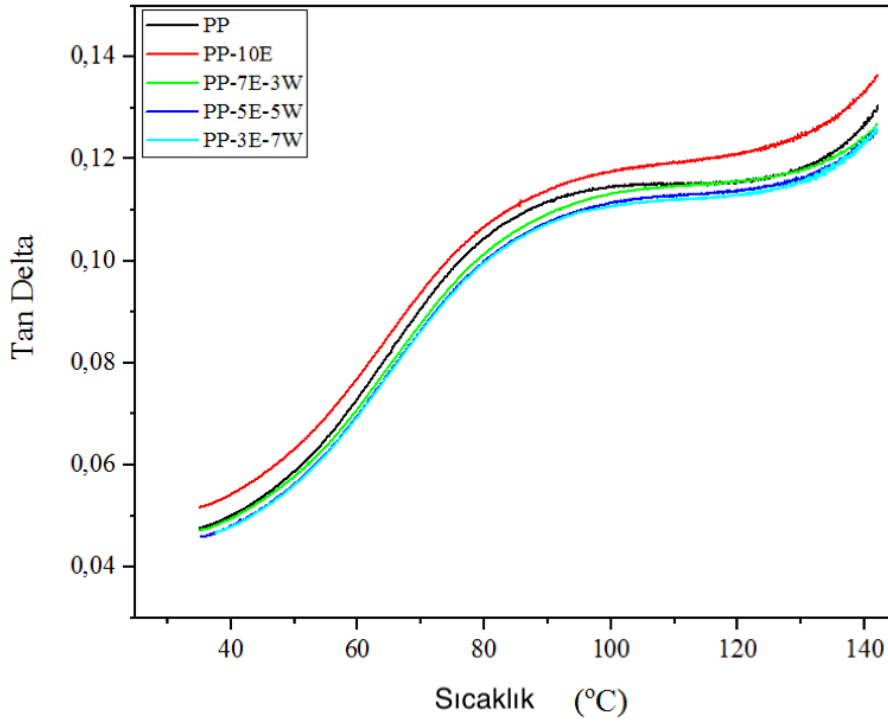
PP-E kompozitlere ve PP-E-W hibrit kompozitlere ait kayıp modülü değerlerinin grafiksel olarak kıyaslaması Şekil 5.11 ve 5.12'de verilmiştir. Şekil 5.11'de görüldüğü üzere, PP içerisine katılan E'nin ağırlıkça oranı arttıkça, kayıp modülünün de benzer şekilde arttığı görülmüştür. Ayrıca kayıp modülünün, sıcaklığın artmasıyla birlikte önce arttığı ve bir pik noktasına ulaştığı akabinde kayıp modülünün sıcaklıkla azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.13'de PP-E kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak değişen tan delta eğrileri verilmiştir. Tan delta; dolgu malzemesi ve matris arasındaki arayüzey özellikleri ile ilgilidir. Eğer partikül dolgulu polimer malzemeye bir gerilim uygulanırsa, polimer matris malzemesinde, dolgu ve matris malzemesi arasında bir enerji dağılımı gerçekleşir. Göreceli olarak daha güçlü bir arayüzey daha az enerji dağılımını sağlar ve daha düşük bir tan deltada gerçekleşir [66]. Bu muhtemelen rijit partiküllerin, polimer moleküllerinin hareketliliğini sınırlaması nedeniyle [67]. PP-E kompozitlerin Tan delta pik yüksekliğindeki değişimin çok az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.13 : PP-E Kompozitlerin Sıcaklığa Bağlı Olarak Tan Delta Değişimi.

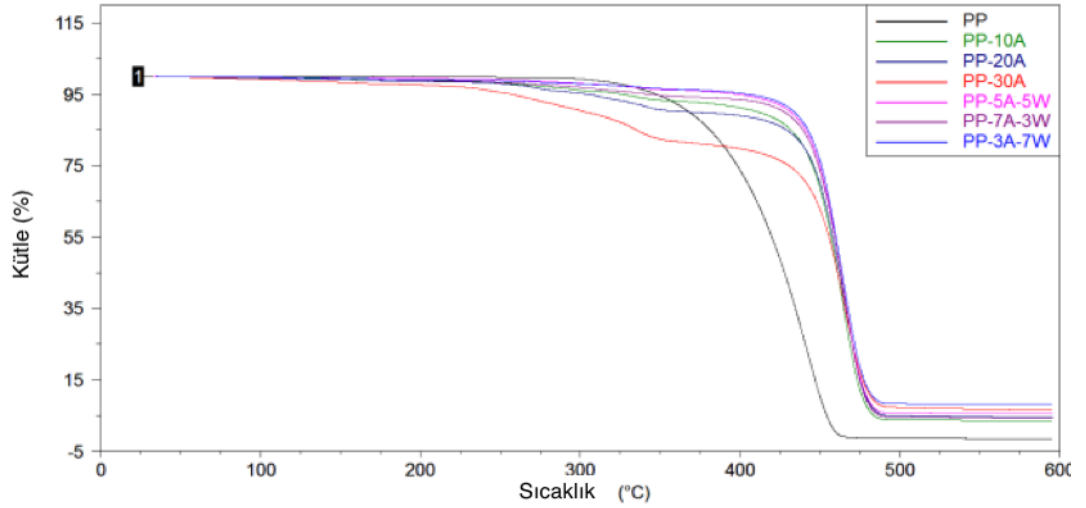
Şekil 5.14’de, PP-E-W hibrit kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak tan delta değişimleri verilmiştir. PP-E-W hibrit kompozitlerin Tan delta pik yüksekliğindeki değişimin PP’ye nazaran bir miktar düşük olduğu gözükmemektedir.



Şekil 5.14 : Kompozitlerin Sıcaklığa Bağlı Olarak Tan Delta Değişimi.

5.3. TGA Analizi

Üretilen kompozit malzemelere termal analizler (TGA ve DSC analizleri) gerçekleştirilmiştir ve analizler sonrasında elde edilen veriler Tablo 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.11’de PP ve kompozitlere ait TGA grafikleri ve Şekil 5.12-13’te PP ve kompozitlere ait DSC grafikleri görülmektedir. TGA analizleri ile üretilen malzemelerin termal kararlılıklarının belirlenmesi ve PP ile kıyaslanarak aradaki farkların incelenmesi amaçlanmıştır. Malzemenin termal kararlılığı malzemenin kütlesinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi ve bu değişimin yayıldığı aralık olarak ifade edilebilir. Malzemelerde sıcaklığın ve zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kayıplarının/kazançlarının belirlenmesinde termogravimetrik analiz yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 5.15 : Malzemelere ait TGA Ölçüm Sonuçları.

Tablo 5.2 : TGA Analiz Sonuçları.

Numune Adı	T_i (°C)	T_{max} (°C)	Kütle Kaybı (600°C'e kadar) (%)	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_c (J/g)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
PP	283.8	442.6	97.53	165.6	122.4	98.0	87.4	41.8
PP-10E	232.5	464.4	96.55	165.8	126.1	92.3	76.2	40.5
PP-20E	223.7	466.3	95.49	166.0	124.6	74.2	66.3	39.6
PP-30E	220.4	466.8	93.53	165.7	124.4	58.7	56.1	38.3
PP-7E-3W	241.7	465.4	95.72	166.3	127.2	85.0	75.6	40.2
PP-5E-5W	253.3	465.8	94.50	166.4	127.2	86.0	78.2	41.6
PP-3E-7W	259.6	465.9	91.92	166.6	126.4	87.9	80.7	42.9

TGA analiz verileri ile elde edilen eğrilerinden PP ve kompozitlerin başlangıç ve maksimum bozunma sıcaklıkları (T_i ve T_{max}) tespit edilmiştir. E ve W'nin dolgu

malzemesi olarak dahil edilmesi, PP matrisin termal bozunma davranışını değiştirdiği bu analiz sonuçlarından görülmektedir. Bu çalışmada, toplam ağırlık kaybının %5'ine karşılık gelen sıcaklık malzemelerin başlangıç bozunma sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. PP'nin 283.8 °C'de termal olarak bozunmaya başladığı görülmektedir. PP-10E kompozitin ise 232.5 °C'de termal olarak bozunmaya başladığı ve PP içerisine katılan E'nin ağırlık oranı arttıkça başlangıç bozunma sıcaklık değerinin azalmaya devam ettiği görülmüştür. PP-30E kompozitinin başlangıç bozunma sıcaklığı PP'nin başlangıç bozunma sıcaklığı ile karşılaştırıldığında 63.4°C azalmıştır. %10 E dolgulu PP kompozitlerin maksimum bozunma sıcaklığı PP'nin maksimum bozunma sıcaklığına göre 21.8°C artış göstermiştir. PP içerisine %20 E ve %30 E katıldığında ise maksimum bozunma sıcaklığı PP-10E'ninki ile karşılaştırıldığında 1.9-2.4°C arasında artış göstermiştir. Bitkisel liflerin hemiselüloz, pektin ve selülozun glikosidik bağlantılarının parçalanması 220-310 °C arasında gerçekleşirken; alfa selülozun termal bozunması 310-390 °C arasında gerçekleşir. Ligninin daha kompleks yapısı nedeniyle termal bozunması tüm sıcaklık aralığında daha yavaş bir şekilde gerçekleşir [73-74]. Ligninin termal bozulması 200-500 °C arasında ve selüloz ve hemiselülozdan daha geniş bir aralıkta gerçekleşir [75]. PP-E kompozitlerinde başlangıç bozunma sıcaklıkları PP'nin başlangıç bozunma sıcaklığına göre düşerken, bu kompozitlerin maksimum bozunma sıcaklıkları PP'nin maksimum bozunma sıcaklığına göre arttığı görülmüştür. Bunun nedeni hemiselüloz, pektin ve selülozun glikosidik bağlantılarının 220-310 °C arasında bozduğundan üretilen kompozitlerin başlangıç bozunma sıcaklıklarını PP'ye göre aşağıya çektiği düşünülmektedir. Buna karşılık alfa selülozun ve ligninin termal bozunması 200-500 °C gibi sıcaklık aralığında gerçekleştiğinden ve bu değerlerin PP'nin maksimum bozunma sıcaklığından yüksek olması sebebiyle PP-E kompozitlerin maksimum bozunma sıcaklığını artırmıştır.

PP içerisine katılan toplam dolgu oranını ağırlıkça %10 sabit tutarak PP'ye E ve W eklendiğinde, hibrit kompozitlerin başlangıç bozunma sıcaklıklarının PP-10E'ninkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. TGA verileri değerlendirildiğinde, PP'ye W dolgu malzemesi ilavesinin termal bozunma işleminde gecikmeye neden olduğu ve başlangıç bozunma sıcaklıklarını arttırdığı söylenebilir. PP-10E'nin başlangıç bozunma sıcaklığı %7W ilavesi ile 27.1°C artırmıştır. Bu açıkça; E ve W dolgulu PP matrisli hibrit kompozitlerinin PP-10E kompozitinden termal olarak daha stabil olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, hibrit kompozitlerin maksimum

bozunma sıcaklık değerlerinin PP-E içerisine katılan W oranının artması ile çok az arttığı görülmektedir. Bu sonuçlar, E ve W'nin PP matrisi içinde hibrit dolgu maddesi olarak kullanılmasının, PP'nin termal özelliklerini ve termal stabilitesini geliştirdiğini göstermektedir.

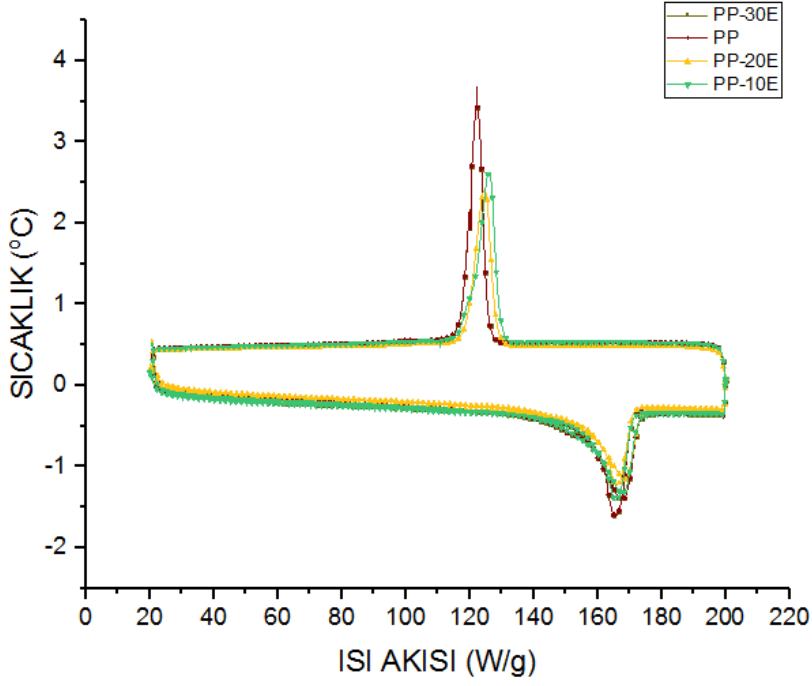
5.4. DSC Analizi

DSC analizleri ile numunelerin kristalleşme sıcaklığı (T_c), erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m), kristalizasyon entalpisi (ΔH_c) ve kristalite derecesi (X_c) belirlenmiştir. PP ve üretilen kompozit malzemeler için T_c , T_m , ΔH_m , ΔH_c ve X_c değerleri Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3 incelendiğinde PP'nin erime sıcaklığının E ve W ilavesinden sonra çok az değiştiği görülmektedir. Değişimin az olması PP matrisine E ve W eklenmesinin PP'nin kristal boyutunda önemli ölçüde bir değişikliğe yol açmadığını göstermektedir [68-69].

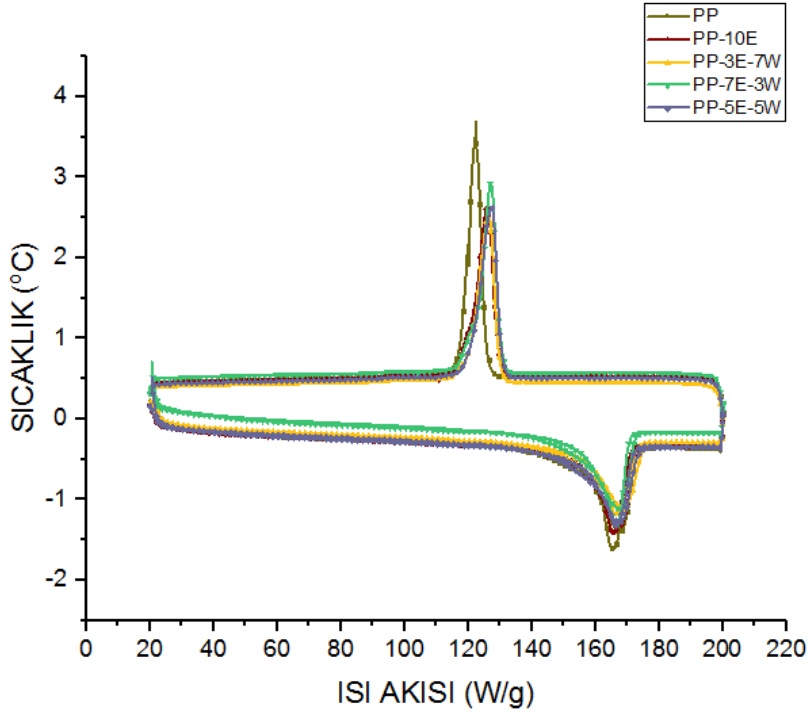
Tablo 5.3'den PP matrisli kompozitlerin T_c değerlerinin PP'ninkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. PP'ye eklenen organik ve inorganik dolgu malzemelerinin PP'nin kristalleşmesini geliştirdiği söylenebilir. Çünkü PP-E kompozitlerinin T_c 'si, PP'ninkine göre 2.0-3.7 °C artmıştır. T_c 'deki artışın nedeni doğal lifin çekirdeklenme etkisi olarak düşünülebilir [60, 62-69].

Ayrıca, PP-E kompozitine W'nin eklenmesiyle, T_c biraz daha yüksek bir sıcaklığa kaymıştır. Bu, wollastonitin çekirdeklenme etkisi ile ilişkilendirilebilir [70]. PP'ye E ilave edilmesi, PP'nin X_c 'sini % 1.3-3.5 oranında azaltmıştır. PP-E kompozitine ağırlıkça %5 W ve %7 W eklenildiğinde, hibrit kompozitinin kristalite derecesi PP-10E'ninkine kıyasla hafifçe artmaktadır. PP-3E-7W kompoziti tüm kompozitlere kıyasla en yüksek kristalite derecesine sahiptir. Tablo 5.3'den, PP matrisine ağırlıkça %30 E eklenilmesinden sonra kompozitin ΔH_c ve ΔH_m değerlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Erime entalpisindeki bu değişim, kristalite derecesindeki değişimin bir göstergesidir. Genel olarak, PP-10E kompoziti ile karşılaştırıldığında hibrit kompozitlerde W partikülleri ΔH_c 'de düşüşe ve ΔH_m 'de artışa neden olmuştur.



Şekil 5.16 : PP-E Kompozitlerin DSC Eğrileri.

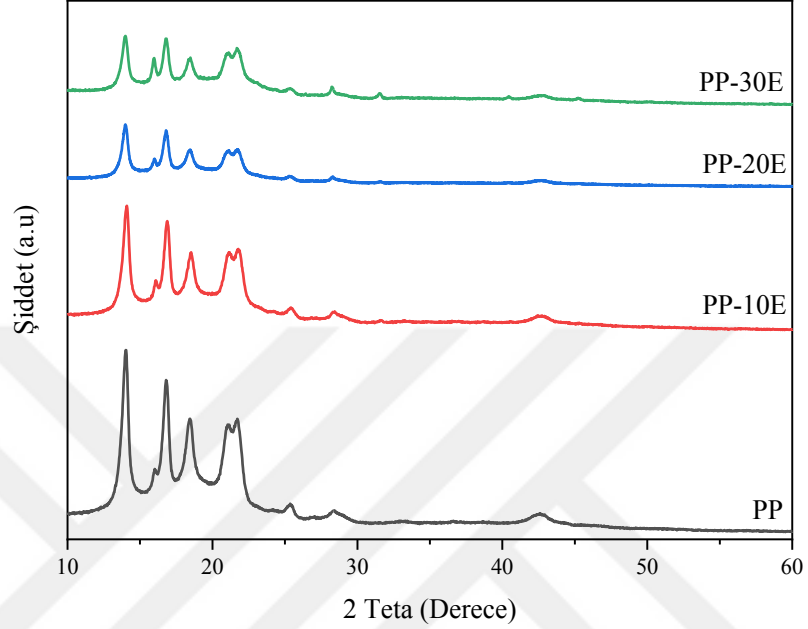
Şekil 5.12’de E/PP kompozitlerinin DSC eğrilerine ait grafik yer almaktadır. Şekil 5.13’de ise W/E/PP kompozitlerinin DSC eğrilerine ait grafik görülmektedir.



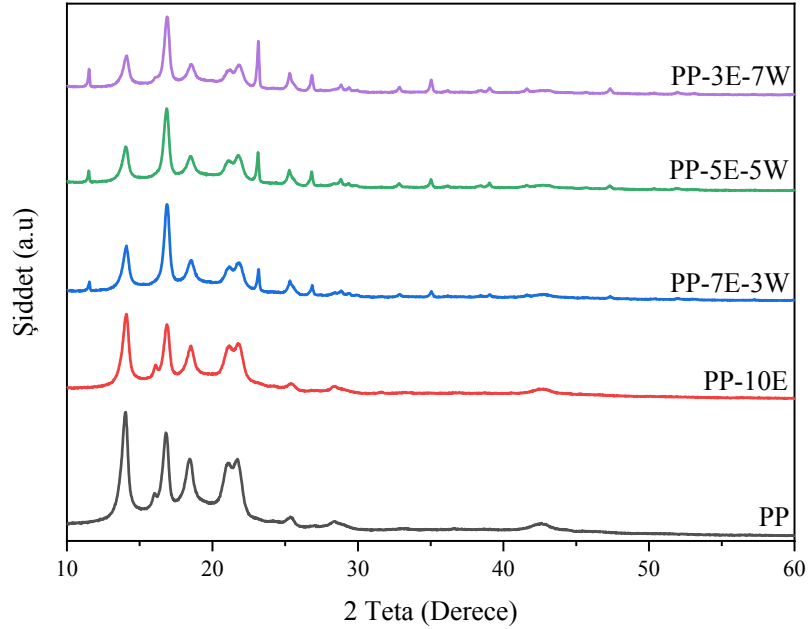
Şekil 5.17 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerin DSC Eğrileri.

5.5. XRD Analizi

Şekil 5.18’de PP-E kompozitlerine ait XRD analiz sonucu elde edilen grafikler ve Şekil 5.19’da PP-E-W kompozitlerine ait XRD analiz sonucu elde edilen grafikler görülmektedir.



Şekil 5.18 : PP-E Kompozitlerinin XRD Analiz Grafikleri.



Şekil 5.19 : PP-E-W Hibrit Kompozitlerinin XRD Analiz Grafikleri.

Yarı kristali yapıya sahip bir polimer olan PP’nin alfa fazının dört karakteristik piki ($2\theta=13.88^\circ$ C, 16.68° C, 18.38° C ve 21.28° C) ve beta fazının iki karakteristik piki

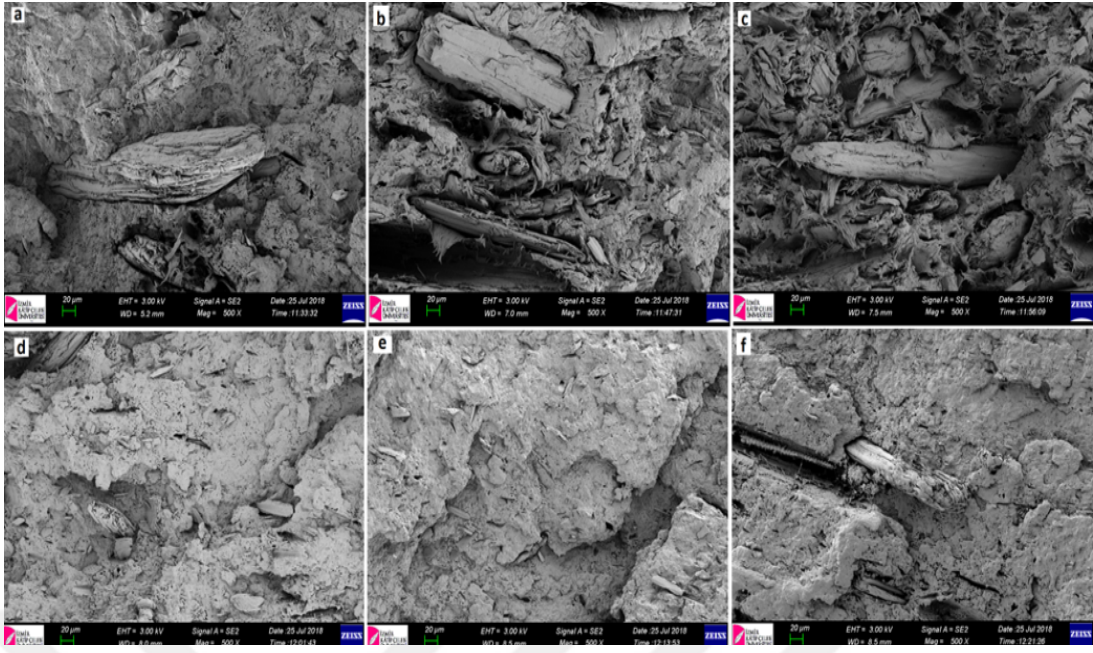
($2\theta=16.18^\circ$ C ve 21.88° C) vardır [71]. XRD analizi sonucunda bu karakteristik pikler görülmüştür. PP'nin içerisine E eklenmesiyle bitkisel liflerin karakteristik piklerinden biri tespit edilmiştir. Literatürden bitkisel liflerin karakteristik piklerinin $2\theta = 16, 22^\circ$ C ve 34.5° C'de olduğu bilinmektedir [72]. Özellikle PP-30E kompozitinde yaklaşık 15.9° C'de karakteristik pik net olarak gözükmemektedir. Hibrit kompozitlerde W eklenmesiyle birlikte 11.54° C, 23.13° C, 25.32° C, 26.88° C, 35.06° C'de yeni piklerin oluştuğu tespit edilmiştir.

5.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

E-PP'nin ve hibrit kompozitlerin kopma yüzeylerinin morfolojisi SEM analizi ile gözlenmiştir. Aşağıdaki şekillerde her malzemenin ayrı ayrı SEM analizi sonrası elde edilen resimleri görülmektedir. Şekil 5.20 a'da PP-10E, Şekil 5.20 b'de PP-20E, Şekil 5.20 c'de PP-30E, Şekil 5.20 d'de PP-7E-3W, Şekil 5.20 e'de PP-5E-5W ve Şekil 5.20 f'de PP-3E-7W kompozitlerinin SEM analizi sonrası resimleri gösterilmiştir. SEM analizi resimlerine bakıldığında E parçacıklarının düzensiz şekilli ve düzensiz büyüklüklerde oldukları görülmektedir.

Ayrıca E'nin PP içerisinden çıkarak boşluklar oluşturduğu belirlenmiştir. Bu boşluklar, E ve PP arasındaki zayıf arayüzey etkileşimini gösterir. Hibrit kompozitlerde genel olarak E ve W partiküllerinin daha homojen dağıldığı ve boşlukların daha az olduğu görülmektedir. Bu da PP-3E-7W kompozit malzemenin diğerlerine nazaran daha büyük partiküllere sahip olduğu görülmektedir.

Literatür araştırmasında Amarababu, V. Pandu Rangadu W'nin iğne şekilli yapısı, W-PP arasındaki mekanik açıdan etkileşimleri artırır. Bu iğne şekilli dolgu malzemesi yüksek görünüş oranına sahiptir. Bu durum matrisle W'nin ıslanma yeteneğini artırır. Dolayısıyla dolgu ve matris arasında daha az mikro boşluklar oluşmasına neden olur [58].



Şekil 5.20 : PP Matrisli Kompozitlerin SEM Analizi Görüntüleri.

6. SONUÇLAR

Ege Bölgesi'nde yoğunluklu olarak bulunan enginar tarlalarında, enginarın baş kısmı gibi tarımsal ürün olarak hasat elde edildikten sonra, enginarın sap gövdeleri tarlada kalmaktadır. Tarlada kalan bu sap gövdelerinin kuruması ve ardından lignoselülozik esaslı lifler içeren tarımsal atık haline gelen bu ürünlerin yakılarak bertaraf edilmesi sebebiyle, bu tez çalışmasında enginar sap gövdelerinin öğütülmesi ile elde edilen enginar sap partikülleri ve polipropilen kullanılarak biyokompozitlerin üretilmesi amaçlanmıştır. Polipropilen (PP)'nin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmek için organik enginar sap partikülleri ile inorganik vollastonit dolgu maddesi olarak kullanılmıştır.

Yapılan tez ve karakterizasyon çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Üretilen kompozitlerin çekme dayanım değerlerine bakıldığında PP'nin 22.3 MPa olan çekme dayanımı değerinden sonra en yüksek değer, 21.3 MPa ile PP-5E-5W kompozitinde ölçülmüştür. Eğilme dayanımı değerlerine bakıldığında ise PP'nin 33.8 MPa olan değerinden sonra en yüksek değer 32.3 MPa ile PP-3E-7W kompozitinden elde edilmiştir.

PP'ye ağırlıkça %30 E eklendiğinde, elastisite modülü yüzde 52.8 artarak 1224.8 Mpa; eğilme modülü ise %17.8 artarak 1143.7 Mpa olarak ölçülmüştür. PP-E kompozitlerinde W oranı arttıkça, PP-10E'ye göre modül değerlerinde genel bir artış belirlenmiştir. PP-5E-5W kompozitinde eğilme modülü değeri 1245.7 MPa olarak ölçülmüştür.

PP'ye eklenen E parçacıkları ile birlikte PP'nin depolama modül değerinde artış gözlemlenmiştir. PP içine katılan E'nin ağırlıkça oranı arttıkça, PP matrisli kompozitlerin depolama modülünün arttığı tespit edilmiştir. İnorganik partiküllerinin takviye etkisinden dolayı, kompozitlerin depolama modülü polimer matristen daha

yüksektir. Düşük sıcaklıklarda çalışma durumunda, saf PP'ye nazaran daha yüksek depolama modülüne sahip bir malzeme istenirse yalnızca E veya E ve W eklenerek malzemenin depolama modülü arttırılabilir. PP'ye yalnızca E eklemek yerine E ve W eklenerek üretilen hibrit kompozitlerde daha yüksek depolama modülü değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Bununla birlikte; PP, PP-E ve PP-E-W kompozitlerin depolama modülü değerlerinin sıcaklık artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte polimer zincirlerinin segmental (bölgesel) hareketliliğinin artması nedeniyle depolama modülünün azaldığı görülmektedir.

PP içerisine katılan E'nin ağırlıkça oranı arttıkça, kayıp modülünün de benzer şekilde arttığı görülmüştür. Ayrıca kayıp modülünün, sıcaklığın artmasıyla birlikte önce arttığı ve bir pik noktasına ulaştığı akabinde kayıp modülünün sıcaklıkla azaldığı tespit edilmiştir.

PP-E kompozitlerin Tan delta pik yüksekliğindeki değişimin çok az olduğu gözlemlenmiştir. PP-E-W hibrit kompozitlerin Tan delta pik yüksekliğindeki değişimin PP'ye nazaran bir miktar düşük olduğu gözükmektedir.

Üretilen kompozit malzemelere termal analizler (TGA ve DSC analizleri) gerçekleştirilmiştir. TGA analizleri ile üretilen malzemelerin termal kararlılıklarının belirlenmesi ve PP ile kıyaslanarak aradaki farkların incelenmesi amaçlanmıştır.

TGA analiz verileri ile elde edilen eğrilerinden PP ve kompozitlerin başlangıç ve maksimum bozunma sıcaklıkları (T_i ve T_{max}) tespit edilmiştir. Bu çalışmada, toplam ağırlık kaybının %5'ine karşılık gelen sıcaklık malzemelerin başlangıç bozunma sıcaklığı olarak kabul edildi. PP'nin 283.8 °C'de termal olarak bozunmaya başladığı görülmektedir. PP-10E kompozitin ise 232.5 °C'de termal olarak bozunmaya başladığı ve PP içerisine katılan E'nin ağırlık oranı arttıkça başlangıç bozunma sıcaklık değerinin azalmaya devam ettiği görülmüştür. PP içerisine katılan toplam dolgu oranını ağırlıkça %10 sabit tutarak PP'ye E ve W eklendiğinde, hibrit kompozitlerin başlangıç bozunma sıcaklıklarının PP-10E'ninkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. TGA verileri değerlendirildiğinde, PP'ye W dolgu malzemesi ilavesinin termal bozunma işleminde gecikmeye neden olduğu ve başlangıç bozunma sıcaklıklarını arttırdığı söylenebilir. Üretilen hibrit kompozitler arasında başlangıç bozunma sıcaklığı en yüksek olan PP-7W-3E kompoziti olup 259.6 °C olarak

ölçülmüştür. Bu sonuçlar, E ve W'nin PP matrisi içinde hibrit dolgu maddesi olarak kullanılmasının, PP'nin termal özelliklerini ve termal stabilitesini geliştirdiğini göstermektedir.

DSC analizleri ile numunelerin kristalleşme sıcaklığı (T_c), erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m), kristalizasyon entalpisi (ΔH_c) ve kristalite derecesi (X_c) belirlenmiştir.

Değişimin az olması PP matrisine E ve W eklenmesinin PP'nin kristal boyutunda önemli ölçüde bir değişikliğe yol açmadığını göstermektedir. PP matrisli kompozitlerin T_c değerlerinin PP'ninkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. PP'ye eklenen organik ve inorganik dolgu malzemelerinin PP'nin kristalleşmesini geliştirdiği söylenebilir. Çünkü PP-E kompozitlerinin T_c 'si, PP'ninkine göre 2.0-3.7 °C artmıştır. T_c 'deki artışın nedeni doğal lifin çekirdeklenme etkisi olarak düşünülebilir.

PP'ye E ilave edilmesi, PP'nin X_c 'sini % 1.3-3.5 oranında azaltmıştır. PP-E kompozitine ağırlıkça %5 W ve %7 W eklenildiğinde, hibrit kompozitinin kristalite derecesi PP-10E'ninkine kıyasla hafifçe artmaktadır. PP-3E-7W kompoziti tüm kompozitlere kıyasla en yüksek kristalite derecesine sahiptir. Tablo 5.3'den, PP matrisine ağırlıkça %30 E eklenilmesinden sonra kompozitin ΔH_c ve ΔH_m değerlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.

XRD analizi sonucunda, yarı kristal yapıya sahip bir polimer olan PP'nin alfa fazının dört; beta fazının iki karakteristik piklerinden bir kaçını net olarak tespit edilebilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kılınc, A.C., Atagur, M., Ozdemir, O., Sen, I., Kucukdogan, N., Sever, K., Seydibeyoglu, O., Sarikanat, M., & Seki, Y. (2016). Manufacturing and characterization of vine stem reinforced high density polyethylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 91, 267-274.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.01.033>
- [2] Aminullah, A., Syed Mustafa, S. J., Nor Azlan, M.R., Mohd Hafizi, N., Mohd Ishak, Z. A., & Rozman, H. D. (2010). Effect of filler composition and incorporation of additives on the mechanical properties of polypropylene composites with high loading lignocellulosic materials. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(10), 3115-3124.
doi: <https://doi.org/10.1177/0731684410367532>
- [3] Mattos, B.D., Misso, A.L., Cademartori, P.H.G., Lima, E.A., Magalhães, W.L.E., & Gatto, D.A. (2014). Properties of polypropylene composites filled with a mixture of household waste of mate-tea and wood particles. *Construction and Building Materials*, 61, 60-68.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.022>
- [4] Cao, Y., Feng, J., & Wu, P. (2010). Simultaneously Improving the Toughness, Flexural Modulus and Thermal Performance of Isotactic Polypropylene by α - β Crystalline Transition and Inorganic Whisker Reinforcement. *Polymer Engineering And Science*, 50(2), 222-231. doi: 10.1002/pen.21521
- [5] Şeker, B., Karakuş, K., Kılıç, İ., Ciobanu, R. C., & Mengeloğlu, F. (2011). Lignoselülozik Esasli Atıkların Termoplastik Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi. *I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 645-650.
- [6] Çıtak, S., Sönmez, S., & Öktüren, F. (2006). Bitkisel Kökenli Atıkların Tarımda Kullanılabilme Olanakları. *DERİM*, 23(1), 40-53.
- [7] Ekbiç, İ. E. (2005). *Sakız Enginar Çeşidinde Meydana Gelen Dönüşüm Üzerinde Araştırmalar*. (Yayımlanmamış doktora tezi). Çukurova Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [8] Gamsız, K. (2019). *Enginar Sapı ve Pirinç Kabuğu Katkılı Hibrit Polimerik Kompozitlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İzmir Katip Çelebi Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [9] Saba, N., Paridah, M.T., & Jawaid, M. (2015). Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review. *Construction and Building Materials*, 76, 87–96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.043>
- [10] Xu, Y., Wu, Q., Lei, Y., & Yao, F. (2010). Creep behavior of bagasse fiber reinforced polymer composites. *Bioresource Technology*, 101(9), 3280–3286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.072>

- [11] 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: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.05.020>
- [12] Rong, M.Z., Zhang, M.Q., Liu, Y., Yang, G.C., & Zeng, H.M. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 61(10), 1437-1447. doi: [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(01\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(01)00046-X)
- [13] Verma, D., & Gope, P.C. (2015). The Use of coir/coconut fibers as reinforcements in composites. *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, 285-319.
doi: <https://doi.org/10.1533/9781782421276.3.285>
- [14] Nourbakhsh, A., & Ashori, A. (2010). Wood plastic composites from agro-waste materials: Analysis of mechanical properties. *Bioresource Technology* 101(7), 2525-2528. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.040>
- [15] Yao, F., Wu, Q., Lei, Y., & Xu, Y. (2008). Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading. *Industrial Crops and Products*, 28(1), 63-72.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.01.007>
- [16] Essabir, H., Nekhlaoui, S., Malha, M., Bensalah, M.O., Arrakhiz, F.Z., Qaiss, A., & Bouhfid, R. (2013). Biocomposites based on polypropylene reinforced with Almond Shells particles: Mechanical and thermal properties. *Materials & Design*, 51, 225-230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.031>
- [17] Mengelöglu, F., & Karakus, K. (2008). Thermal Degradation, Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic Composites. *Sensors* 2008, 8(1), 500-519.
doi: <https://doi.org/10.3390/s8010500>
- [18] Guimaraes, J.L., Frollini, E., Silva, C.G., Wypych, F., & Satyanarayana, K.G. (2009). Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. *Industrial Crops and Products*, 30(3), 407-415.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.013>
- [19] Karakuş, K., Başboğa, İ. H., & Mengeloğlu, F. (2014). Termoplastik Esaslı Polimer Kompozitlerin Üretilmesinde Orman Budama Atıklarının Değerlendirilmesi. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 801-807.
- [20] Poletto, M., Zeni, M., & Zattera, A.J. (2011). Effects of wood flour addition and coupling agent content on mechanical properties of recycled polystyrene/wood flour composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 25(7), 1-15.
doi: 10.1177/0892705711413627
- [21] Çıtak, S., Sönmez, S., & Öktüren, F. (2006). Bitkisel Kökenli Atıkların Tarımda Kullanılabilir Olanakları. *DERİM*, 23(1), 40-53.
- [22] Saraçoğlu, N. (2008). *Modern Enerji Ormanlığı – Ormanlardan Biyokütle Enerjisi Üretimi Ve Çözümlemeler*. [Orman Genel Müdürlüğü Toplantısı]. <https://docplayer.biz.tr/10581121-Modern-enerji-ormanciligi-ormanlardan-biyokutle-enerjisi-uretimi-ve-cozumlemeler.html> adresinden alındı.
- [23] Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 97-125. doi: 10.14781/MCD.2014308146
- [24] Mengeloğlu, F., & Alma, M. (2002). Buğday Saplarının Kompozit Levha Üretiminde Kullanılması. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 37-48.

- [25] Bulut, Y., & Erdoğan, Ü. H. (2011). Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *TMMOB, The Journal of Textiles and Engineers*, 18(82), 26-35.
- [26] Karakuş, K., & Mengeloğlu, F. (2015). Odun Plastik Kompozitlerin Üretiminde Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi. *Selçuk Teknik Dergisi*, 228-237.
- [27] Tufan, M., & Mengeloğlu, F. (2010). Odun Plastik Kompozitleri ve Ülkemizde Odun Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılabilecek Hammaddeler Üzerine Genel Bir Değerlendirme. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, IV*, 1658-1664.
- [28] Öztürk, N. K., Sever, K., Sütçü, M., Seki, Y., Seydibeyoğlu, Ö., & Sarıkanat, M. (2015). Tarımsal Atık ile Katkılanmış Yüksek Yoğunluklu Polietilen Kompozitlerin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özelliklerinin Belirlenmesi. *XIX. Ulusal Mekanik Kongresi*, 780-786
- [29] Akbaş, S., Tufan, M., Güleç, T., Taşcıoğlu, C., & Peker, H. (2013). Fındık Kabuklarının Polipropilen Esaslı Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 50-56.
- [30] Acar, H., Salan, T., Altuntaş, E., & Alma, M.H. (2014). Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Atık Pirinç Saplarından Üretilen Kompozitlerin Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *II. Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu*, 808-818.
- [31] IARC Editorial: "Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils." [International Agency for Research on Cancer]. (1997). *IARC Monographs On The Evaluation Of Carcinogenic Risks To Humans*, 68, 283-305.
- [32] Joshi, H., & Purnima, J. (2010). Development of glass fiber, wollastonite reinforced polypropylene hybrid composite: Mechanical properties and morphology. *Materials Science and Engineering, A*, 527(7-8), 1946-1951. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.11.039>
- [33] Sever, K., & Aycan, Y. (2019). The Effects of Agro-Waste Reinforcing Fillers as Single and Hybrid on Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(62), 395-408. doi: <https://doi.org/10.21205/deufmd.2019216207>
- [34] Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., & Trada, M. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 42(4), 856-873. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.01.010>
- [35] Matthews, F. L., & Rawlings, R. D. (1999). *Composite Materials: Engineering and Science*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.
- [36] http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf
- [37] <https://docplayer.biz.tr/25881413-Kompozit-malzemeler-doc-dr-n-sinan-koksal.html>
- [38] Sönmez, M. (2009). *Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [39] 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. doi: <https://doi.org/10.26701/ems.369005>

- [40] Haner, S., & Çuhadaroğlu, D. (2013). Wollastonit: Bir Gözden Geçirme. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37(1), 64-82.
- [41] Kumbasar, I. (1977). *Silikat Mineralleri*, İstanbul: Teknik Üniversite Matbaası. 170.
- [42] Kogel, J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., & Krukowski S.T. (2006). *Industrial Minerals & Rocks (7th Edition)*. Colorado,USA: Elsevier Science
- [43] Virta, R.L. (2000). Wollastonite. in Minerals Yearbook, metals and minerals 1998. *U.S. Geological Survey*, 1, 83.1-83.2.
- [44] Andrews, R.W. (1970). *Wollastonite*. London: Institute of Geological Sciences. Her Majesty's Stationary Office.
- [45] DPT. (2001). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Devlet Planlama Teşkilatı, No:2611, 204. Ankara.
- [46] Foury, C. (1987). *Quelques Aspects du Developpement de L'artichaut (Cynara Scolymus L.) Issue de Semences; Analyse Plus Particulière de la Floraison en Conditions Naturelles*. (Yayımlanmamış doktora tezi), Fransa
- [47] Ryder, E.J., Devos, N.E. & Bari, M.A. (1983). The Globe Artichoke (Cynara Scolymus L.). *HortScience*, 18(5), 646-653.
- [48] <http://www.fao.org>
- [49] Abak, K. (1987). *Enginar ve Kuşkonmaz Yetiştiriciliği*. İstanbul: TAV Yayınları No: 15, 64.
- [50] <https://merlab.metu.edu.tr/tr/dinamik-mekanik-analiz-cihaz-dma>
- [51] <http://merlab.metu.edu.tr/tr/termogravimetrik-analiz-cihaz>
- [52] <https://merlab.metu.edu.tr/tr/diferansiyel-taramali-kalorimetre-dsc>
- [53] <http://merlab.metu.edu.tr/tr/x-isini-difraksiyon-laboratuvari-xrdl>
- [54] www.taek.gov.tr
- [55] Rout, A.K., Satapathy, A., Sahoo, A.K., & Jesthi, D.K. (2014). A Study on Evaluation of Mechanical and Thermal Properties of Rice Husk Filled Epoxy Composites. *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research*, 828,1-828,6.
- [56] Paukszta, D., & Borysiak, S. (2013). The Influence of Processing and the Polymorphism of Lignocellulosic Fillers on the Structure and Properties of Composite Materials—A Review. *Materials*, 6(7), 2747-2767. doi: 10.3390/ma6072747
- [57] Arjmandi, R., Hassan, A., Majeed, K., & Zakaria, Z. (2015). Rice Husk Filled Polymer Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015(2), 1-32. doi: 10.1155/2015/501471
- [58] Amarababu, B., & Rangadu, V.P. (2013). Synthesis and Characterization of Mineral Wollastonite Particulate Filled Vinyl-Ester Resin Composites. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 37, 91-102. doi: 10.18052/www.scipress.com/ILCPA.37.91
- [59] Salasinska, K., Barczewski, M., Gorny, & R., Klozinski, A. (2018). Evaluation of Highly Filled Epoxy Composites Modified with Walnut Shell Waste Filler. *Polymer Bulletin* 75(6), 1-19. doi: 10.1007/s00289-017-2163-3
- [60] Svab, I., Musil, V., Pustak, A., & Smit, I. (2008). Wollastonite-Reinforced Polypropylene Composites Modified With Novel Metallocene EPR Copolymers. II. Mechanical Properties and Adhesion. *Polymer Composites Volume* 30(8), 1091-1097. doi: 10.1002/pc.20660

- [61] Akdoğan, A., & Vanlı, A.S. (2008). Wood-reinforced polymer composites. *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 180-196. doi: <https://doi.org/10.1533/9781845695057.180>
- [62] Liu, X., Wang, T., Chow, L.C., Yang, M., & Mitchell, J.W. (2014). Effects of Inorganic Fillers on the Thermal and Mechanical Properties of Poly(lactic acid). *International Journal of Polymer Science 2014*, 1-8. doi: 10.1155/2014/827028
- [63] Khalid, M., Ratnam, C.T., Abdullah, L.C., Walvekar, R., Ching, Y.C., & Ketabchi, M.R. (2016). Mechanical and Physical Performance of Cowdung-Based Polypropylene Biocomposites. *Polymer Composites*, 39(1), 288-296. doi: 10.1002/pc.23928
- [64] Doan, T.T.L., Brodowsky, H.M., & Mäder, E. (2016). *Polyolefine Composites Reinforced by Rice Husk and Saw Dust*. INTECH, Open Science, Open Minds. 113-116. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/65264>
- [65] Rosa, S.M.L., Nachtigall, S., & Ferreira, C.A. (2009). Thermal and Dynamic-Mechanical Characterization of Rice-Husk Filled Polypropylene Composites. *Macromolecular Research*, 17(1), 8-13. doi: 10.1007/BF03218594
- [66] Palanivel, A., Veerabathiran, A., Duruvasalu, R., Iyyanar, S., & Velumayil, R. (2017). Dynamic mechanical analysis and crystalline analysis of hemp fiber reinforced cellulose filled epoxy composite. *Polímeros*, 27(4), 309-319. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.00516>
- [67] Reddy, I. (2014). Dynamic Mechanical Analysis of Hemp Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(9), 410-415.
- [68] Kaya, N., Atagur, M., Akyuz, O., Seki, Y., Sarikanat, M., Sutcu, M., Seydibeyoğlu, M.O., & Sever, K. (2018). Fabrication and characterization of olive pomace filled PP composites. *Composites Part B: Engineering*, 150(1), 277-283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.08.017>
- [69] Sever, K., Atagür, M., Tunçalp, M., Altay, L., Seki, Y., & Sarikanat, M. (2018). The effect of pumice powder on mechanical and thermal properties of polypropylene. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 32(8), 1092-1106. doi: 10.1177/0892705718785692
- [70] Kodal, M., Erturk, S., Sanli, S., & Ozkoc, G. (2015). Properties of talc/wollastonite/ polyamide 6 hybrid composites. *Polymer Composites*, 36(4), 739-746. doi: 10.1002/pc.22993
- [71] Altay, L., Atagur, M., Sever, K., Sen, I., Uysalman, T., Seki, M., & Sarikanat, M. (2019). Synergistic effects of graphene nanoplatelets in thermally conductive synthetic graphite filled polypropylene composite. *Polymer Composites*, 40(1), 77-87. doi: <https://doi.org/10.1002/pc.24643>
- [72] Correida, C.A., Oliveira, L.M., & Valera, T.S. (2017). The Influence of Bleached Jute Fiber Filler on the Properties of Vulcanized Natural Rubber. *Materials Research*, 20(6), 2489–2501. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-0126>
- [73] Santulli, C., Sarasini, F., Fortunati, E., Puglia, D., & Kenny, J. M. 2014. *Okra Fibres as Potential Reinforcement in Biocomposites*. *Biomass and Bioenergy; Processing and Properties*, Switzerland: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-07641-6_11

- [74] De Rosa, I.M., Kenny, J.M., Puglia, D., Santuli, C., & Sarasini, F. 2010. Morphological, thermal and mechanical characterization of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres as potential reinforcement in polymer composites, *Composite Science and Technology*, 70(1), 116–122.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.09.013>
- [75] Brebu, M., & Vasile, C. (2010). Thermal Degradation of Lignin – A Review. *Cellulose Chemistry and Technology* 44(9), 353-363.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Muhammed YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 22-04-1989 Erzincan
E-posta : muhammedyilmaz35@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği
- **Lisans** : 2015, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme