

**İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER TOZU KATKILI POLİMER MATRİSLİ HİBRİT  
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tolga ÖZTEKİN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**EYLÜL 2018**



**İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ**

**MERMER TOZU KATKILI POLİMER MATRİSLİ HİBRİT  
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Tolga ÖZTEKİN**  
**(600915009)**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

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

**EYLÜL 2018**







İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 600915009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tolga ÖZTEKİN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MERMER TOZU KATKILI POLİMER MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**”başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

**Jüri Üyeleri :**       **Doç.Dr. Mücahit SÜTÇÜ** .....  
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

**Dr.Öğr.Üyesi Mehmet SARIKANAT** .....  
Ege Üniversitesi

**Teslim Tarihi**        **: 31.08.2018**  
**Savunma Tarihi**     **: 03.09.2018**





## ÖNSÖZ

Mermer tozu atıklarının polimer kompozit içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanımı çevresel ve ekonomik faktörler açısından önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında mermer atığından elde edilen mermer tozlarının termoplastik bir polimer olan polipropilen (PP) içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanımı ve kaolin ile hibrit etkileşmesi değerlendirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin morfolojik yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ile, mekanik özellikleri çekme ve eğilme testleri kullanılarak ve termal özellikleri de dinamik mekanik analiz (DMA), termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazları ile incelenmiştir. Mekanik testler sonucunda %10 mermer tozu içeren PP matrisli kompozitlerdeen yüksek mekanik değerlerin elde edilmiştir ve %10 mermer tozu (10M) ve kaolin içeren hibrit kompozitlerinin üretilmesine karar verilmiştir. 10M içeren PP matrisli kompozitinin içerisine %1, %3 ve %5 oranlarında kaolin eklenmesiyle geliştirilen hibrit malzemelerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir.

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

Eylül 2018

Tolga ÖZTEKİN



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
SEMBOLLER.....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Amaç.....	2
1.1.1 Araştırmanın önemi.....	2
1.2 Literatür Araştırması.....	2
<b>2. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER.....</b>	<b>7</b>
2.1. Kompozit Malzemenin Tanımı ve Sahip Olması Gereken Özellikler.....	7
2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	7
2.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları.....	8
2.4. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları.....	8
2.5. Kompozitlerin Tarihsel Gelişimi ve Uygulama Alanları.....	9
2.6. Polimer Matris Malzemeleri.....	10
2.7. Melez (Hibrit) Kompozitler.....	11
<b>3. MERMER VE KAOLİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>13</b>
3.1. Mermer.....	13
3.1.1. Porozite.....	13
3.1.2. Kristal boyutu.....	13
3.1.3. Su emme oranı.....	14
3.1.4. Aşınma dayanımı.....	15
3.1.5. Çekme direnci.....	15
3.1.6. Basınç dayanımı.....	15
3.1.7. Sertlik.....	16
3.2. Mermer Atıklarının Çevreye Olan Etkileri.....	16
3.3. Kaolin.....	17
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>21</b>
4.1. Kullanılan Dolgu Malzemeleri.....	21
4.1.1. Mermer tozu.....	21
4.1.2. Kaolin.....	21
4.1.3. Matris malzemesi.....	21
4.2. Kompozit Üretimi.....	22

4.3.Malzeme Test ve Karakterizasyonları.....	23
4.3.1.Çekme ve eğilme testleri .....	23
4.3.2.Dinamik mekanik analizi(DMA) .....	23
4.3.3.Termogravimetrik analiz (TGA).....	24
4.3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC) .....	24
4.3.5. X ışını difraktometresi (XRD) .....	24
4.3.6.Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri .....	24
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....</b>	<b>25</b>
5.1. Parçacık Boyut Analizi.....	25
5.2. Mekanik Test Sonuçları.....	26
5.3. Dinamik Mekanik Analizi (DMA).....	34
5.4.Termogravimetrik Analizi (TGA).....	43
5.5.Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC).....	46
5.6. X Işını Difraktometresi (XRD) Analizi.....	49
5.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi .....	51
5.7.1. 5M,10M,15M,20M Kompozit malzemesi sem analizi görüntülemeleri ..	51
5.7.2. 10M-1K-3K-5K (15) Kompozit malzemesi sem analizi görüntülemeleri	52
5.7.3. 10M-1K-3K-5K (80) Kompozit malzemesi sem analizi görüntülemeleri	53
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERANSLAR .....</b>	<b>59</b>

## KISALTMALAR

<b>M</b>	: Mermer tozu
<b>M-K</b>	: Mermer-Kaolin
<b>5M</b>	: %5 Mermer tozu konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>10M</b>	: %10 Mermer tozu konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>15M</b>	: %15 Mermer tozu konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>20M</b>	: %20 Mermer tozu konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>10M-1K(15)</b>	: %10 Mermer tozu ve %1 kaolin konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>10M-3K(15)</b>	: %10 Mermer tozu ve %3 kaolin konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>10M-5K(15)</b>	: %10 Mermer tozu ve %5 kaolin konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>10M-1K(80)</b>	: %10 Mermer tozu ve %1 kaolin konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>10M-3K(80)</b>	: %10 Mermer tozu ve %3 kaolin konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>10M-5K(80)</b>	: %10 Mermer tozu ve %5 kaolin konsantrasyonuna sahip polipropilen matrisli kompozit
<b>K-(15)</b>	:Kaocel 15 kalsine kaolin
<b>K-(80)</b>	:Kaocel 80 kalsine kaolin
<b>PP</b>	:Polipropilen
<b>BMC</b>	:Sıcak pres kalıplama hamuru
<b>SMC</b>	:Sıcak pres kalıplama pestili



## **SEMBOLLER**

**TGA** :Termogravimetrik Analiz  
**SEM** :Taramalı Elektron Mikroskobu  
**XRD** :X Işıını Difraksiyonu  
**DSC** :Difraksiyonel Kalorimetri  
**DMA** :Dinamik Mekanik Analiz







## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1:</b> Mermerlere ait bazı örnekler[45]. .....	14
<b>Tablo 3.2:</b> Bazı mermer türlerine ait veriler[50]. .....	16
<b>Tablo 3.3:</b> Kaolinin mineralojik yapısı ve kimyasal bileşimi. ....	18
<b>Tablo 3.4:</b> Kaolinin mineralojisi. ....	19
<b>Tablo 4.1:</b> Polipropilen ile mermer tozu karışım oranları. ....	23
<b>Tablo 5.1:</b> PP ve kompozitlerin çekme ve eğilme testi sonuçları. ....	26
<b>Tablo 5.2:</b> PP ve Mermer Tozu /PP kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri. ....	36
<b>Tablo 5.3:</b> PP, 10M ve M-K (15) hibrit kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri. ....	38
<b>Tablo 5.4:</b> PP, 10M ve M-K (80) hibrit kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri. ....	40
<b>Tablo 5.5:</b> Mermer/Kaolin(15)-PP Etkileşimi Bozunma Yüzdeleri ve Sıcaklıkları. ....	44
<b>Tablo 5.6:</b> Mermer Tozu-PP kompozitler için TGA verileri. ....	46
<b>Tablo 5.7:</b> Mermer/Kaolin(80)-PP Etkileşimi Bozunma Yüzdeleri ve Sıcaklıkları. ....	46
<b>Tablo 5.8:</b> PP ve kompozitlerin DSC verileri. ....	47



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 5.1:Mermer tozunun parçacık boyut dağılımı. ....	25
Şekil 5.2:Kaocal 15 kalsine kaolinin parçacık boyut dağılımı. ....	25
Şekil 5.3:Kaocal 80 kalsine kaolinin parçacık boyut dağılımı. ....	25
Şekil 5.4:Mermer Tozu/PP kompozitlerin çekme dayanımı. ....	27
Şekil 5.5:Mermer Tozu/PP kompozitlerin elastisite modülü. ....	27
Şekil 5.6:Mermer Tozu/PP kompozitlerin çekme dayanımına kaolin(15)'in etkisi. ....	28
Şekil 5.7:Mermer Tozu/PP kompozitlerin elastisite modülüne kaolin15'in etkisi. ....	29
Şekil 5.8:Mermer Tozu/PP kompozitlerin çekme dayanımına kaolin80'in etkisi. ....	29
Şekil 5.9:Mermer Tozu/PP kompozitlerin elastisite modülüne kaolin80'in etkisi. ....	30
Şekil 5.10:Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme dayanımına mermer tozunun etkisi. ....	31
Şekil 5.11:Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme modülüne mermer tozunun etkisi. .	31
Şekil 5.12:Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme dayanımına kaolin(15)'in etkisi. ...	32
Şekil 5.13:Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme modülüne kaolin(15)'in etkisi. ....	33
Şekil 5.14:Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme dayanımına kaolin(80)'in etkisi. ...	33
Şekil 5.15:Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme modülüne kaolin(80)'in etkisi. ....	34
Şekil 5.16:PP ve Mermer Tozu /PP kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülündeki değişimler. ....	35
Şekil 5.17:PP ve Mermer Tozu /PP kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülündeki değişimler. ....	35
Şekil 5.18:PP, 10 M ve 10M-K (15) hibrit kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülündeki değişimler. ....	37
Şekil 5.19:PP, 10 M ve 10M-K (15) hibrit kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülündeki değişimler. ....	37

<b>Şekil 5.20:</b> PP, 10 M ve 10M-K (80) hibrit kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülündeki değişimler. ....	39
<b>Şekil 5.21:</b> PP, 10 M ve 10M-K (80) hibrit kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülündeki değişimler. ....	40
<b>Şekil 5.22:</b> Mermer Tozu/PP kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak Tan Delta değişimi. ....	41
<b>Şekil 5.23:</b> Mermer Tozu/Kaolin(15)/PP kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak Tan Delta değişimi. ....	42
<b>Şekil 5.24:</b> Mermer Tozu/Kaolin(80)/PP kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak Tan Delta değişimi. ....	42
<b>Şekil 5.25:</b> PP ve Mermer Tozu/PP kompozitlerin TG eğrileri. ....	43
<b>Şekil 5.26:</b> PP ve Mermer Tozu/Kaolin15/PP kompozitlerin TG eğrileri. ....	45
<b>Şekil 5.27:</b> PP ve Mermer Tozu/Kaolin80/PP kompozitlerin TG eğrileri. ....	45
<b>Şekil 5.28:</b> Mermer Tozu/PP kompozitlerin DSC eğrileri. ....	48
<b>Şekil 5.29:</b> Mermer Tozu/Kaolin15/PP kompozitlerin DSC eğrileri. ....	48
<b>Şekil 5.30:</b> Mermer Tozu/Kaolin80/PP kompozitlerin DSC eğrileri. ....	49
<b>Şekil 5.31:</b> PP, Mermer Tozu ve üretilen tüm kompozitlerin XRD grafiği. ....	50
<b>Şekil 5.32:</b> PP, Mermer Tozu, Kaolin15/PP Kompozitlerin XRD grafiği. ....	50
<b>Şekil 5.33:</b> PP, Mermer Tozu ,Kaolin80/PP hibrit kompozitlerin XRD grafiği. ....	51
<b>Şekil 5.34:</b> a) 5M, b) 10M, c) 15M, d) 20M numunelerin SEM görüntüleri. ....	52
<b>Şekil 5.35:</b> a) 10M, b) 10M-1K(15), c) 10M-3K(15), d) 10M-5K(15) numunelerin SEM görüntüleri. ....	52
<b>Şekil 5.36:</b> a)10M, b) 10M-1K(80), c)10M-3K(80), d)10M-5K(80) numunelerinin SEM görüntüleri. ....	53

## **MERMER TOZU KATKILI POLİMER MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

### **ÖZET**

Türkiye’de maden sektörünü inceleyecek olursak yüksek bir hızla geliştiğini ve büyüdüğünü görürüz. Bu büyümede en fazla paya sahip alanlardan biri mermer sektörüdür. Ülkemizin erken evre jeolojik kuşakta yer alması sonucu metamorfik kayaç türlerinin fazla olması nedeniyle mermer rezervleri çok fazladır. Mermer rezervleri genellikle Ege bölgesi ağırlıklı olmak üzere Marmara ve İç Anadolu bölgesinde bulunmaktadır. Yüksek rezerve sahip olması nedeniyle mermer sektörü ülkemizde yüksek bir ekonomik paya sahip alanlardan biridir. Mermer, kireçtaşının yüksek sıcaklık ve basınç altında uzun yıllar metamorfizması sonucunda oluşmuş bir kayaç türüdür. Mermer eski çağlardan beri insanlığa hizmet etmiş ve günümüz koşullarında hala etkin olarak kullanılan bir malzeme türüdür. Bu malzeme türü çok çeşitli renk ve ayrıntılarda olabildiği gibi aynı zamanda zengin fosil çeşitleriyle de değerine değer katmaktadır. Mermer inşaat, yapı ve dekorasyon kaplamaları, heykel, aksesuar malzemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Mermerin çok çeşitli kullanım alanı olduğu düşünülürse, aslında hayatımızda ne kadar önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Bütün halinde mermerin insan sağlığına bir zararlı etkisi olmadığı düşünüldüğünde inert bir malzeme olarak kabul görmektedir. Ancak, mermer blok üretimi, mermerlerin katrak haline getirilmesi ve mermerlerin kullanılacak alana göre istenilen ölçüye indirilmesi gibi işlemlerde atık mermer tozları açığa çıkmaktadır. Bu tozlar mermer sektöründe çalışanlar için uzun vadede zararlı etkiye sahip olabilmektedir. Ayrıca tarım sektöründe çevre etkileri olumsuzdur. Mermer tozu atıkları genel olarak seramik üreticileri tarafından değerlendirilmektedir. Ancak atık miktarı çok fazla olduğundan atık problemi devam etmektedir. Atık mermer tozundan ekonomiye daha fazla katkı sağlanması ve çevreye olan zararlı etkilerinin azaltılması için polimer kompozit malzemede kullanımı değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında mermer tozu ile birlikte kaolinde polipropilen (PP) içerisinde hibrit olarak kullanılması sağlanmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin morfolojik yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ile, mekanik özellikleri çekme ve eğilme testleri kullanılarak ve termal özellikleri de dinamik mekanik analiz (DMA), termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazları ile incelenmiştir.



## **PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF MARBLE POWDER FILLED POLYMER MATRIX HYBRID COMPOSITES**

### **ABSTRACT**

If we examine the mining sector in Turkey, we see that it is rapidly growing. One of the areas with the largest share in this growth is the marble sector. Marble reserves are very high due to the fact that our country is located in the early stage geological belt and the resultant metamorphic rock types are high. Marble reserves are mainly located in the Marmara and Central Anatolia regions, predominantly in the Aegean region. Due to its high reserves, the marble sector is one of the areas with a high economic share in our country. Marble is a type of rock formed by metaformism of limestone under high temperature and pressure for many years. Marble is a type of material that has served humanity since ancient times and is still being used effectively in today's conditions. It can increase its value with rich fossil varieties as well as a wide variety of colors and details. Marble is mostly used in construction, building and decoration covering, sculpture, and in many other areas. If marble is thought to have a wide variety of uses, it is actually seen how important it is in our lives. Marble is considered an inert material when it is considered that there is no harmful effect on human health. However, waste marble dusts are exposed in processes such as marble block production, marbling of marbles and reduction of the marble to the required area according to the area to be used. These dusts can have harmful effects on the long-term for workers in the marble sector. In addition, environmental effects are negative in the agricultural sector. Marble dust waste is generally recycled by ceramic manufacturers. However, since the amount of waste is too much, the problem of waste continues. The use of marble dust in polymer composite materials has been assessed in order to contribute more to the economy and reduce harmful effects to the environment. In this thesis study, it has been possible to use polypropylene (PP) in kaolin hybrid together with marble dust. The morphological structures of the produced composite materials are investigated by scanning electron microscopy (SEM), mechanical properties using tensile and bending tests and thermal properties with dynamic mechanical analysis (DMA), thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC).









## 1.GİRİŞ

Jeolojik olarak mermer, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşının yüksek sıcaklık ve basınç altında başkalaşımı neticesinde tekrardan kristalleşmesi ile meydana gelen ve içerik olarak yüksek oranda kalsiyum karbonat içeren metamorfik yani başkalaşmış bir kayaç türüdür.Bu kayaç türleri genel itibari ile beyaz,sarı ve gri tonlarda gözlenebildiği gibi aynı zamanda değişik renklerde olabilmektedir. Ticari anlamda mermer kimyasal, jeolojik ve diğer özelliklerine bakılmaksızın tel kesme yöntemi ile blok olarak çıkartılabilmektedir veya soğuma çatlakları sayesinde doğal bloklar halinde kesilip blok şekline getirilerek üretilebilmektedir. Gerektiği hallerde kesilip katrik (dilim) haline dönüştürülerek parlatılabilen ve kullanılacak olan alana göre çeşitli işlemlerden geçirilerek her türlü kayaç olarak kullanılabilir. Aynı zamanda magmatik kökenli granit, bazalt, andezit, kumtaşı, kayraktaşı gibi kayaçlarda ticari olarak mermer olarak adlandırılabilir.

Mermerler eski çağlardan günümüze kadar olan süreçte insanlığa hizmet etmiş olan dayanıklı bir malzeme türü olması sebebi ile insane hayatında geniş yer tutmaktadır.İnşaat sanayi başta olmak üzere ev dekorasyonu aksesuarları, kaplamalar, heykel vb. Gibi birçok alanda mermer kullanımı göze çarpmaktadır. Maden sanayisinin önemli alanlarından biri olan mermer, kullanım alanına göre her türlü şekli alabilmekte ve istenilen ölçülerde üretimi yapılabilmektedir.

Mermer blok üretiminde, mermerlerin katrik haline getirilmesi işlemlerinde ve mermerlerin kullanılacak yere göre istenilen ölçüye indirilmesi gibi işlemlerde atık mermer tozları açığa çıkmaktadır. Mermer tozu atıkları genel olarak seramik üreticileri ve tavuk çiftlikleri tarafından değerlendirilmesine rağmen kullanımı sınırlıdır. Atık mermer tozundan ekonomiye daha fazla katkı sağlanması ve çevreye olan zararlı etkilerinin azaltılması için atıkların farklı sektörlerde değerlendirilmesi gereklidir.

## **1.1 Amaç**

Bu çalışmada mermer sektöründe atık olarak değerlendirilen mermer tozlarının ülke ekonomisine kazandırılması ve çevreye ve ekolojik sisteme olan zararlı etkilerini en aza indirilmesi için polimer içerisinde kullanımı amaçlanmıştır. Polipropilen (PP) polimeri içerisine mermer tozu katılarak polimer matrisli kompozit malzemeler üretilmesi ve üretilen kompozitlerin morfolojik, mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi, daha sonrasında ise mermer tozu ve kaolin hibrit katkılı PP matrisli kompozit malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

### **1.1.1 Araştırmanın önemi**

Bu araştırmada mermer tozu ve kaolinin, PP matrisli hibrit kompozitlerde mermer tozunun ve kaolinin etkisini belirlemek için PP içerisine katılan mermer tozunun ve kaolinin oranlarını değiştirilmiştir. Madensel atık mermer tozunun polimer kompozit endüstrisinde değerlendirilmesi ile bu atıklara ekonomik değer kazandırılması önemlidir. Mekanik olarak öğütülmüş ve belirli partikül boyutlarına indirilmiş bu atığın PP içerisine katılması polimer maliyetini azaltmak için son derece önemlidir. Araştırmada hem mermer tozu ve hemde kaolinin birlikte kullanılması ile hibrit kompozit malzemelerin geliştirilmesi ilk defa literatürde sunulacağından dolayı bilimsel açıdan önem arz etmektedir.

## **1.2 Literatür Araştırması**

İnsanların ihtiyaçları doğrultusunda kompozit malzemelerin ortaya çıkışı ile doğadaki malzemelerden yararlanmaları sağlanmıştır. Malzeme konusu, daha da geliştirilerek günümüz malzeme biliminin önemli konularından biri olan kompozit malzeme çalışmaları yapılmıştır. Yirminci yüzyılın yarısından sonraki zaman kompozit çağı olarak tanımlanmaktadır [1].

Farklı veya aynı gruptaki malzemelerin en iyi olan özelliklerini tek ve yeni bir malzeme de toplamak amacıyla, birbirinden kimyasal bileşimleriyle ve biçimleri ayrılmış, esas olarak birbiri içinde çözünmeyen, iki veya daha fazla miktardaki makro veya mikro bileşenin karışımı yada birleşimiyle oluşan malzemeler kompozit malzemeler olarak adlandırılırlar [2].

Kompozitlerde polimerler, seramikler ve metaller matris olarak kullanılmaktadır. Malzemeler içerisinde polimerlerin ayrı bir yeri bulunmaktadır ve kompozitlerin birçoğu polimer matris malzemelerden hazırlanmaktadır. Polimerlerin avantajlı yanlarının ön plana çıkartılmasıyla kullanım alanları da genişlemektedir. Birçok mühendislik uygulamalarında metallerin yerine kullanılabilen polimer matrisli kompozitler sadece hafiflik, mekanik dayanım gibi özellikleri ile değil, insan dokularıyla uyum sağlayan organlar ve yapay doku gibi uygulama alanlarında da kullanılmaktadır [2].

Genel amaçlı bir termoplastik olan polipropilen (PP), propilen moleküllerinin birbiriyle kutuplaşması ile oluşmaktadır. Monomerler birçok değişik yollarla bağlanabilir fakat PP'nin en çok kullanılan durumu, kristallenebilir polimer zincirlerinin meydana getirilmesini sağlayan katalizörlerle katkılandırılmış halidir. Bu şekilde yapılan ürünler, iyi fiziksel ve mekanik özellikte, olmakla birlikte iyi termal özelliklere sahip yarı kristalin katı haline gelir. Yarı kristalin haldeki PP, amorf ve kristal fazlar içeren termoplastik bir malzemedir [3].

Polipropilenin (PP) özellikleri, CaCO<sub>3</sub>, cam fiber, silika, mika, karbon fiber ve zeolit gibi katkı ve takviye malzemelerin ilave edilmesiyle geliştirilmektedir. Katkılı ve katkısız polipropilenin (PP) özellikleri, takviye şekline ve kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak değişir [4]. Polimerlerin mekanik dayanımlarını arttırmak için cam fiberler, aramid fiberler ve karbon fiberler yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam fiberleri, cam fiber takviyeli polimerik kompozit (CTP) üretiminde en çok kullanılan fiber çeşididir. Termal dirençleri düşük, kimyasal malzemelere karşı oldukça dirençlidir. Nem absorbe etme özellikleri ve elektrik iletkenlikleri yoktur. Cam elyaf takviyeli polimerik kompozit (CTP) malzeme mukavemeti yüksek, oldukça hafif olmasından dolayı günümüzde otomotiv, gıda, inşaat, eğlence, teknoloji vb. birçok farklı sektörde kullanılmaktadır [5]. Daha spesifik alanlarda karbon fiberler ve aramid fiberler kullanılmaktadır. Karbon fiberlerle üretilmiş kompozitler çelik konstrüksiyonlara göre daha dayanıklı ve daha hafiftirler. Karbon fiberlerin yorulma davranış özellikleri bilinen tüm metallerden daha iyidir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımları oldukça iyidir [6]. Karbon fiberlerin başlıca kullanım alanları, uzay araçları, savunma amaçlı giysiler, otomobil endüstrisi, medikal kullanımlarıdır [7]. Aramid fiberlerde çelik tellere ve endüstriyel naylona göre daha yüksek özgül çekme

dayanımına sahiptir. Ayrıca bu fiberlerin elastisite modülleri cam fiberlerden, naylon ve polyester fiberlerden daha yüksektir. Aramid fiberlerin yoğunlukları ise çelik tel ve cam elyaftan daha düşüktür[8]. Aramid fiberler kullanılarak üretilen polimer kompozitler havacılık endüstrisinde, askeri kask gibi balistik kompozit malzeme üretiminde, aşınma ve darbeye dayanıklı otomotiv parçalarının imalatında kullanılmaktadır [9].

Mermer işleme basamakları olan yıkama, kesme, cilalama ve silme işlemleri sonunda özellikle katı partikül içeriği açısından oldukça zengin olan ham proses atık suların oluştuğu görülmektedir [10]. Mermer blok üretiminde ve mermer işleme fabrikalarında kesim ve boyutlandırma işlemleri sırasında oluşan mermer atık tozlar ıslam (tozvesu) halinde atık toplama havuzunda biriktirilir. Toz ve su karışımından oluşan şlam kurumaya bırakılır veya atıktan suyun arındırılması işlemi ile toz ve su ayrılmış olur. Mermer tozundan arındırılan su tekrar kesim ve boyutlandırma çalışmalarında kullanılmaya olanak sağlayarak ekonomik fayda sağlanmış olur. Daha sonrasında toplama alanında biriktirilen mermer tozu atıklarının çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla farklı endüstri alanlarında kullanılması yararlı olacaktır [11].

Türkiye'nin mermer işletmelerinde doğal taş (traverten,mermer vb.) plakalarının ve blokların işlenmesi (kesilmesi ve parlatılması) sırasında ortaya çıkan doğal taş tozunun miktar olarak yılda yaklaşık 150.000 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir [12]. Ekonomik olarak mermer atıklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar incelendiğinde çalışmaların genel olarak;mermer tozu atıklarının dolgu işlemlerinde kullanılması, zeminlerin mermer tozu ile iyileştirilmesi,hafif yapı blokları imalatında kullanılması, çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılması gibi özellikle inşaat sektörüne yönelik çalışmaların yapıldığı gözlenmiştir [13-19].

Literatürde doymamış polyester, doymamış polimer reçine, siloksan, poliakrilamid, gibi polimerlerin silika, çimento, atık cam, kalsit, granit vb.kompozitleri elde edilmesine yönelik bunların dolgu maddesi, doğal taş ve mermer üzerine kaplama yapılarak kullanımına ait yapılan çalışmalar az sayıda da olsa mevcuttur[20-23]. Asfalt betonunda mermer toz atıklarının agrega tozuna alternatif olarak dolgu malzemesi şeklinde kullanımını araştırmışlar; özellikle mermer tozunun yaygın bulunduğu bölgelerde kurutma ve taşıma maliyetinin taş tozu dolgu maliyetini

geçmediği yerlerde, asfalt betonu karışımlarda agrega tozu yerine mermer toz atıklarının kullanılabilceğini göstermişlerdir [24].

Hristova ve arkadaşları, mermer tozlarının dolgu şeklindeki kompozit malzeme içerisinde kullanılması için polyeşter matrisli kompozit malzeme üretmişlerdir. Mermer tozu dolgusunun kompozit malzeme de fiziksel yaşlanmaya bağı olarak etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla teorik olarak geliştirmiş oldukları modeli deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır [25].

Wang ve ark., kil/epoksi kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişler ve kil ilavesinin elastisite modülünü arttırdığı tespit etmişlerdir. Ayrıca, kompozitin çekme dayanımı %2 kil ilavesine kadar artarken, viskozitenin artması ve numune hazırlanma işlemleri esnasında meydana gelen yüzeysel kusurlar nedeni ile çekme dayanımının düştüğünü incelemişlerdir [26].

Hussain ve ark., modifiye edilmiş tabakalı kil /epoksi nanokompozit malzemeler üreterek mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda nanokompozit ürünlerin çekme dayanımlarında sadece %1 kil ilavesinde bir artış belirlenmiştir [27].

Hibrit kompozitler ile ilgili çalışmalar son yıllarda artmıştır. Cam, karbon, ve aramid gibi fiberlerle çeşitli açılarda takviye len dirilen hibrit kompozitlerin, mekanik özelliklerinin ve hasar oluşumlarının incelenmesi [28], darbe davranışlarının araştırılması [29,30], zırh yapısında tasarlanmaları [31] ve sandviç formdaki kompozit yapıların [32-34] düşük hızdaki darbe testlerinin ve balistik testlerinin yapılması [35-37] gibi birçok araştırmalar yapılmıştır.

Hosur ve ark., vakumlu reçine kalıp yöntemi kullanılarak çapraz örgü karbon kumaş ve düz örgü S2-cam kumaş kullanılarak epoksi matrisli hibrit kompozitler üretmişlerdir [38]. Üretilen kompozitlerin düşük hız altındaki darbe davranışlarını belirlemişlerdir.

Park ve Jang, aramid fiber/cam fiber hibrit kompozitlerin düşük hızlı darbe sonrası bası performansını ve artık bası dayanımlarını incelemişlerdir [39].





## **2. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER**

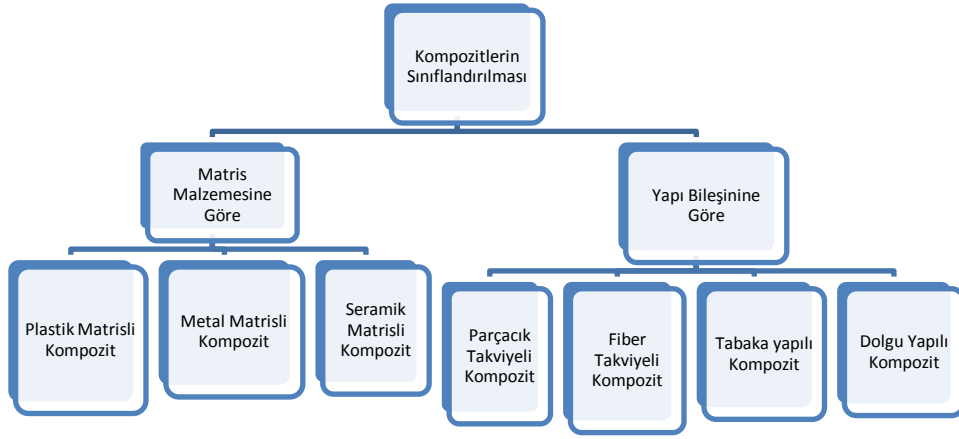
### **2.1. Kompozit Malzemenin Tanımı ve Sahip Olması Gereken Özellikler**

Kompozit malzeme;iki ya da daha fazla miktardaki malzemenin uygun ve en iyi olan özelliklerini tek bir malzemede toplamak veya yeni bir özellik oluşturmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu meydana getirilen malzemelerdir [2]. Bir malzemeyi kompozit olarak nitelendirebilmek için aşağıdaki özelliklere sahip olması beklenir;

- İnsan yapısı olmalıdır.
- İki veya daha fazla sayıdaki mekaniksel ve fiziksel özelliği farklı olan malzemelerin birlikteliği ile beraber değişik ara yüzeye sahip olmalıdır.
- Herhangi bir ana bileşenle elde edilemeyen mekanik özelliklerin gerçekleştirilmesini sağlamalıdır.
- Kompoziti meydana getiren elemanların en iyi özelliklerini bir arada toplanması gerekir.
- Bir malzemenin diğer malzeme içinde kontrollü bir şekilde dağıtılmasıyla optimum özellikler elde edilmelidir.

### **2.2.Kompozitlerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler matris malzemesine ve yapı bileşinine göre iki gruba ayırarak sınıflandırabiliriz (Şekil 2.1:). Matris malzemesine göre kompozitler metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli kompozitler olarak sınıflandırılırken, yapı bileşinine göre kompozitler parçacık takviyeli, fiber takviyeli, tabakalı, dolgulu kompozitler olarak sınıflandırılır.



**Şekil 2.1:**Kompozitlerin Sınıflandırılması.

### 2.3.Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemelerin özgül çekme ve eğilme dayanımları, metallere kıyasla daha yüksektir. Ayrıca kaplama ile ilgili olan özelliklerinden dolayı, kompozitlere istenen şekilde ve istenen yere göre gerekli dayanımı sağlayabilirler. Malzemede dolgu kullanılarak tasarruf sağlanabilir. Ucuz ve hafif ürünler elde edilebilir. Kompozit malzemenin kullanılmasıyla elde edilen büyük ve karmaşık olan parçalar, tek bir işlemle birlikte bir bütün halinde kalıplanarak, malzeme ve işçilikten tasarruf sağlanmış olur. İhtiyaca göre seçilen malzemeler sayesinde, üstün elektriksel özellikli ve çok avantajlı özelliklere sahip olan kompozit malzemeler elde edilmiş olur. Isı iletimi düşük özellikte olan malzemelerden imal edilen kompozitlerin ısıya dayanım özellikleri, yüksek ısı altında kullanabilmesine olanak sağlamaktadır. Birtakım özel katkı maddelerinin vasıtası ile kompozit malzemenin ısıya olan dayanım özellikleri artırılabilir. Kompozit malzemeler yapısında ki süneklikten dolayı titreşim sönümlenme özelliklerine sahip olmakla birlikte hava koşullarından ve korozyondan etkilenmezler. Kalıplama yapılırken reçineye ek olarak ilave edilen pigmentler ile birlikte istenilen renk özelliğine sahip malzemeler elde edilebilir[40].

### 2.4. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemenin imalatında kullanılan hammaddeler genel itibari ile pahalıdır. Lamine edilmiş olan kompozitlerin özellikleri her zaman uygun özellik

göstermedikleri için kalınlık olarak düşük dayanıklılık kabiliyeti ve lamine edilen katlar arasında düşük kesme mukavemeti vardır. Üretimi yapılacak olan malzemenin ürün kalitesi üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Yani ürün kalitesi üretim şekli ve yöntemine doğrudan bağlıdır. Kompozit malzemeler çok çeşitli yapıda olabildikleri için mekanik olarak dayanımları çok fazla değişebilmektedir. Bu da malzemelerin gevrek ve kırılğan yapıda olmasına sebep olabilmektedir [40].

## **2.5. Kompozitlerin Tarihsel Gelişimi ve Uygulama Alanları**

Modern olarak kompozit malzemelerin gelişimi ise II.Dünya Savaşı'nda başlamıştır. En çok askeri kullanım amaçları için geliştirilmişlerdir. Özellikle askeri ve sivil uçaklarda son 25 yılda ileri kompozit malzemeler kompozit üretiminde kullanılmışlardır. Modern malzemeler öncelikli olarak cam, boron, karbon, aramid fiberler daha sonrasında ise silisyum, karbür ve alüminyum oksid elyaflar kullanılmıştır. Kompozit malzemelerde ilk uygulamalarda cam takviyeli plastik kompozitler kullanılarak radar kubbeleri yapılmıştır. Bu kompozitlerin kullanım amacı hafiflik, elektro manyetik geçirgenlik, hava koşullarına dayanıklılık ve mekanik özelliklerin uygun olmasıdır [41]. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin direksiyon mili üretimi 1981 yılında USA, Almanya, Japonya'da ve İngiltere'de incelenmiştir. Aynı zamanda Ford Şirketi tarafından imalatı yapılan prototip arabasında karbon fiberler kullanılmıştır. Orijinal ağırlığı yaklaşık olarak 1700 kg olan araç 560 kg ağırlığa kadar azaltılabilmektedir. Sonuç olarak da ağırlığın azaltılması ile birlikte oldukça fazla yakıt tasarrufu gerçekleştirilmiştir. Askeri uçaklarda ise boron/epoksikompozitler USA F-14 tipi uçaklarının yatay stabilizatörlerinin dış yüzeylerinde kullanılmıştır. Pervaneli uçaklarda ise kompozit malzemelerin kullanılması ile uçak pervanelerinin gelişimi hızlandırılmıştır [41]. Günümüzde polimer kompozitlerin kullanım alanları aşağıda verilmiştir [42].

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

**Deniz taşımacılığında;** tekne gövdeleri, kanolar, kayaklar gibi.

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

**Savunma sanayinde;** kurşungeçirmez yelek, zırh parçaları gibi.

**Biyomedikal sektöründe;** biyomedikal implantlar ve ortopedik aletlerin imalatı gibi.

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

**Elektrik endüstrisinde;** paneller, kolektörler, yalıtım malzemeleri,elektriksel anahtarlar gibi.

## 2.6. Polimer Matris Malzemeleri

Polimerler, plastikler ve kauçuklar olarak ayrılabilir. Fakat mühendislik malzemeleri gibi onları da aşağıdaki 3 kategoriye ayırmak mümkündür;

- Termoplastik polimerler
- Termoset polimerler
- Elastomerler

Tez çalışmasında kullanılan polipropilen termoplastik bir polimerdir. Termoplastik polimerler oda sıcaklığında katı haldedirler. Ancak yalnızca birkaç yüz derece sıcaklığa ısıtıldıklarında akışkan bir hal alırlar. Rijit bir yapıya sahip değillerdir. Isıtılırsa yumuşarlar fakat sıcaklık arttıkça vizkoziteleri düşme eğilimindedir. Tekrar soğutulduklarında sertleşirler. Bu özellikler termoplastiklerin kolaylıkla ve ekonomik olarak ürüne dönüşmelerine yardım eder. Sıvı halde bulunduğu sıcaklık ortamında vizkoziteleri yüksektir. Bu sebeple ara yüzey bağı termosetlere göre daha zordur.Fakat şekillendirme kapasiteleri iyi oldukları için kullanımı günümüzde daha da yaygın bir hal almaktadır. Termoplastiklerin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz [41]:

- Çok düşük rijitlik
- Düşük çekme dayanımı ve düşük sertlik
- Yüksek süneklik
- Kuvvetle etkisiyle oda sıcaklığında sünme ve zamanla şekil değiştirme
- Metal ve seramiklerden daha düşük yoğunluk
- Yüksek termal uzama katsayısına sahip olma
- Düşük ergime sıcaklığı
- Yalıtıcı elektriksel özelliğe sahip olma

## 2.7. Melez (Hibrit) Kompozitler

Melez kompozitler halen araştırma ve geliştirme çalışmalarının devam etmekte olduğuen yeni ve en son kompozit türüdür. Melez kompozit türü, kompozit malzemeyle bir başka malzemenin karışımıyla oluşturulabileceği gibi birden fazla takviye malzemesinin karışıma eklenmesiyle de oluşturulabilir. Kompozit malzemede, ilave olarak kullanılan malzemenin özellikleri dahilinde malzemede yeni özellikler oluşturulabilir. Melez kompozitler diğer kompozit çeşitlerine göre oldukça kısıtlı kullanım alanlarına sahip olsada, özellikle yapısal uygulama şekillerinde sağlamış olduğu avantajlar göz önüne alındığında, gelecekte kullanımlarının daha hızla artacağı tahmin edilmektedir [43].

Tez çalışmamda mermer katkılı polimer matrisli hibrit kompozit üretiminde mermer tozu malzemesinin yanı sıra kaolin de eklenmiştir. Yani birden fazla takviye malzemesi ile yapılan karışım hibrit olma özelliğini taşımaktadır. Eklenen mermer ve kaolinin kompozit malzeme üzerinde kendi içlerinde ihtiva ettikleri özelliklerin bir kısmını kompozit malzemede gösterip göstermedikleri yapılan deneysel çalışmalar ile incelenmiştir.



### **3. MERMER VE KAOLİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ**

#### **3.1.Mermer**

Mermer çeşitli bölgelere göre farklı fiziksel özellikler gösterebilmekle birlikte çeşitli mekanik özelliklere sahiptir.Bu özellikleri şu şekilde tanımlayabiliriz.

##### **3.1.1. Porozite**

Mermerin geçirgenliğini ve gözenekli yapısını ifade eder. Kayacın gözenekliliğini tanımlayan porozite, ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerini ifade eden önemli bir özelliktir. İri kristalli yapıli mermerlerde porozite değerleri yüksek değerlerde olup, su emme değerleri ile doğrusal orantılıdır.Mermer porozitesi (%) sembolü ile gösterilir. İyi kalitedeki bir mermerin porozitesi %0,0002–% 0,5 arasında değişkenlik göstermektedir. Özellikle oniksler ve hakiki mermerler ince kristalli yapıda olmalarından dolayı, diğer mermer cinslerine göre daha boşluksuz bir yapıya sahiptir, hem de ekonomik olarak daha değerlidirler [44].

##### **3.1.2. Kristal boyutu**

Kristal boyutu küçüldükçe, mermerlerin ekonomik olarak değeri artar. Kristal boyutu oranı arttıkça iri ve orta kristalli mermerlerde çıdamalara (kenarlarda kristal kopması ve atması) daha sık görülür. Bu çalışma grubunda; mermerler kristal boyutlarına göre iri,orta, ince, sıfır kristal olmak üzere dört grupta toplanmıştır.

- Sıfır kristal yapıdaki mermer yüzeylerinde taneler ayırt edilemez. Bu tip mermerler 100µ daha küçük tane boyutundadırlar. (Afyon Mermerleri).
- İnce kristal yapıdaki mermerlerin kristal boyutları, 100-2000µ arasında olan mermerlerdir (Milas Sedef Mermerleri).
- Orta kristal yapıda ki mermerlerin kristal boyutu 2-5 mm. arasında kalan mermerlerdir (Bursa/Kemalpaşa Beyazı).

- İri kristal yapıda ki mermerlerin kristal boyutu 5 mm. den daha büyük olan ve taneleri gözle görülebilen mermerlerdir (Kırşehir Beyazı) [44,45].

### 3.1.3. Su emme oranı

Su emme oranı, hacimce su emme oranı ve kütlece su emme oranı olmak üzere iki farklı şekilde hesaplanır. Kütlece su emme oranı etüv fırınında değişmez, kütlece gelinceye kadar kurutulmuş numunenin yapısına absorbe edebildiği su kütlelerinin, numunenin tüm külesine oranıdır. Hacimce su emme oranı ise numunenin yapısında absorbe edebildiği su hacminin numunenin boşluklarında dahil olmak üzere, tüm hacmine oranıdır [46]. Kayalarda su emme miktarı, hacimce ve ağırlıkça belirlenmektedir. Ağırlıkça su emme oranı; kaya bünyesinde ki su ağırlığının, kuru ağırlığa oranıdır [47]. Bu özellik, basınç koşulları altında olmaksızın kayacın ne miktarda su alabileceğini gösterir. Su emme yeteneği taşın kompakt yapıda olup, olmamasına bağlı değişir [48]. Genellikle su emme çok ise gözeneklilik fazla, çatlaklar ve boşluk çok, ayrışma miktarı yüksek demektir. Buna rağmen su emmenin az olması, elastisite modülü ve basınç direnci gibi mekanik özelliklerin büyük olduğunu göstermektedir.

**Tablo 3.1:** Mermerlere ait bazı örnekler [45].

Örnek Adı	Birim Hacim Ağırlık (s/cm <sup>3</sup> )			Gerçek Porozite			Gerçek Doluluk Oranı	Kütlece Su Emme (%)
	Adet	Ortalama	Std. Sapma	Adet	Ortalama	Std. Sapma		
Afyon Beyaz	5	2.69	0.12	5	1.11	0.09	99.89	0.16
Afyon Bulutlu	5	2.57	0.16	5	0.10	0.08	99.90	0.04
Bilecik Gül Beji	5	2.67	0.12	5	0.73	0.11	99.26	0.28
Bilecik Royal Bej	5	2.65	0.14	5	1.12	0.13	98.88	0.23
Sivrihisar Bej	5	2.60	0.16	5	0.30	0.33	99.70	0.11
TS 10449 standardı		>2.55 gr/cm <sup>3</sup>			<%2		>93	%0.4



### **3.1.4. Aşınma dayanımı**

Aşınma dayanımı, mermerlerin yüzeyindeki aşındırıcı maddelere ile oluşturulan aşınmaya karşı gösterdiği direnç kuvvetidir. Merdiven basamaklarında ve taban döşemelerinde kullanılacak olan mermer plakalarında oluşabilecek aşınma kayıplarının önceden laboratuvar ortamında belirlenmesi, uygun taş seçimine olanak sağlamaktadır. Ticari kapsamda ki her türlü mermer için bilinmesi gereken sürtünme etkisi ile meydana gelen aşınma kayıpları, mineral içeriği ve içerdiği minerallerin özellikleri nedeni ile sert kayaç olarak nitelenen mağmatik kökenli kayaçlarda düşük, karbonatlı kayaçlarda ise yüksektir. Bu sebeple, karbonatlı minerallerin aşınma dayanımı, sert mermerlere göre daha düşük seviyededir [48].

Mermerin aşınma dayanımı değeri ne kadar düşük olursa, mermer o kadar ekonomiklik kazanmaktadır. Başka bir ifadeyle aşınma dayanımı değeri arttıkça, mermerin ekonomik değeri orantısız olarak azalmaktadır. Sonuç olarak, mermerlerin aşınma dayanımları; darbe direnci, eğilme, basınç vs. gibi mekanik özelliklerine göre ters orantılıdır [49].

### **3.1.5. Çekme direnci**

Çekme dayanımı, mermerlerin mekaniksel çekme gerilmeleri karşısında göstermiş olduğu dirençtir. Kayaçların çekme dayanımları, kesilme ve basınca karşı gösterdikleri dayanımlardan çok daha düşüktür. Betonda, bu düşük dayanım özellikleri, beton yapının içine demir çubukların konulması suretiyle (betonarme) arttırılmaktadır. Fakat bu yöntemin kayaçlarda uygulama olanağı yoktur. Bu sebeple, yapısal boşluğun duvar cidarlarında ve kayaç içinde çekme gerilmesi oluşturmayacak biçimde kayaçlarda açılan boşluklara kesit verilmelidir [47].

### **3.1.6. Basınç dayanımı**

Mermere uygulanan tek eksenli dikey basınca karşılık, malzemenin bir bütün şeklinde göstermiş olduğu dayanma kuvvetidir. Basınç dayanımı,mermer türüne göre farklılık gösterebilmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı, belirli boyutlardaki mermerlerin davranışları kırılmaya karşı ve tek eksenle etkilenen gerilmeler karşısında gösterdiği direnç özelliğidir [48].

### 3.1.7.Sertlik

Kayaçların aşınmaya karşı gösterdiği direnç, sertlik olarak tanımlanır. Mermerin sertliği, yapıda bulunan yabancı minerallere ve mermerin cinsine bağlı olarak farklılık gösterir. Yapıda bulunan yabancı minerallerin (magnezyum, silis, mika ve feldspatlar grubu mineraller) varlığı nedeni ile kayaçların işlenmesi ve kesilmesi zorlaşmaktadır. Silikat minerallerinin yapıda çok fazla olması sertliği arttırmaktadır. Hakiki mermerlerde sertlik ortalama olarak 3-4 arasında değişir. Bu türdeki mermerlerin kesilip işlenmeleri kolay olmakla birlikte, cila alma kabiliyetleri ise kayacın çıkarıldığı bölgeye göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin; Afyon beyaz mermerinin cila tutma yeteneği, sertliği 3 olmasına rağmen iyidir. Fakat, Uşak yeşil mermerlerinde sertlik 4 olmasına karşın cila tutma yeteneği normaldir. Bunun sebebi ise, yapıya giren safsızlıkların mermer yapısı üzerinde yaptığı olumsuz etkidir[49].

**Tablo 3.2:**Bazı mermer türlerine ait veriler [50].

Mermer Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	Mohs Sertlik	Su Emme (%)	Porozite (%)	Dinamik Elastisite x104 (kg/cm <sup>2</sup> )
Avrupa Beyazı-Muğla	2,78	597	4-4,5	0,12	0,16	57,4
Finika-Limra Antalya	2,48	423	4	2,33	5,54	38,6
Kırçiçeği-Afyon	2,77	467	4-4,5	0,33	0,75	37,1
Siyah Lale-Afyon	2,76	537	4-5,5	0,15	0,51	48,5

### 3.2. Mermer Atıklarının Çevreye Olan Etkileri

Fabrika mermer işletmeciliğinde meydana gelen mermer tozu atıkları, üretim aşamasında kullanılan su ile beraber şlam olarak atıksu havuzunda toplanırlar. Atık niteliğindeki bu suyun mermer tozlarından temizlenerek tekrardan üretimde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu şekilde hem su kaynaklarından tasarruf elde edilirken hem de mermer tozlarının eldesi mümkün olmaktadır. Elde edilecek olan mermer tozları bir çok sanayi endüstrisi dalında dolgu malzemesi olarak kullanılabilirken bunun aksi sonucunda arıtma yapılmamış olan üretim atık suyunun dere ve akarsulara deşarjı sonucu oluşabilecek çevre sorunları çok büyük doğa sorunları oluşturabilir. Mermer madenciliğinde blok üretim ve fabrika işlemleri

sırasında ortaya çıkan mermer tozu atıkları bitki örtüsü başta olmak üzere doğal yaşamın kendini yenilenebilmesine izin vermemektedir. Aynı zamanda mermer madenciliğinin yapılmış olduğu lokasyondaki tarım faaliyetlerini de olumsuz etkilemektedir. Mermer tozunun rüzgar vasıtasıyla taşınması ile birlikte yetiştirilen ürünlerde verim düşmekte veya mahsul olarak hastalıklı ürünler elde edilebilmektedir. Yetişen ürünlerin sağlıklı olmaması hem insan sağlığı açısından tehlike arz etmekte hemde ekonomi açısından tarım üreticilerini zarara uğratabilmektedir. Aynı zamanda üretim lokasyonuna yakın bölgelerdeki köylerde yaşayan halkın kuru ve sıcak havalarda mermer tozunun rüzgar etkisiyle taşınması sonucu solunum yolu rahatsızlıkları ortaya çıkabilmektedir. Taşınan mermer tozları nehir ve sulama alanlarına hatta içme suyuna karışarak halk sağlığını olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Bu nedenle, atık mermer tozlarının başka bölgelere taşınmasını önlemek ve doğal yaşamı tehdit edici yönlerini iyi incelemek ve bu atıkların değerlendirilmesi hususunda gerekli çalışmalar yapılması önemlidir. Atıkların ülke ekonomisine bir girdi olarak pozitif yönde bir maddi kaynak oluşturulması sağlanmalıdır.

### **3.3.Kaolin**

Genellikle feldspatların bozlaşması sonucu oluşan kaolinler; değişen oranlarda, feldspat, mika, kuvars, demir ve titan oksitlerle diğer kil minerallerini içerirler. Kaolin, granit türü kayalardan üretilen bir çeşit kildir. En çok porselen ve seramik imalat sektöründe kullanılan bir malzeme çeşitidir. Türkiye'de saf olarak yalnız haldeki kil olarakta adlandırılır. Kirli beyaz rengesahip olan bir toprak türüdür. Yapısal olarak, granit olan kayalar feldspat minerallerini içinde ihtiva ederler. Yapı olarak sert olan bu tür granit kayaları atmosfer etkileri ve yer altındaki lavların sıcaklık ve basınç etkisi sonucunda, parçalanır ve yumuşaya başlarlar. Uzun bir zaman diliminde feldspat mineralleri tam olarak kaolin şekline dönüşmüş olurlar. Kaolin çin porselenlerinin ana maddesi olarak kullanılmaktadır. Genel olarak çanak ve çömlek imalatında kullanılan kaolin, artık günümüzde pek çok ürünün imalatında kullanılmaktadır. Yüksek kalitede ve parlak olan kâğıt imalatında kaolin kullanılmaktadır. Bunun yanısıra plastik eşya, yapay kauçuk, boya, gübre, ilaç, mürekkep, kozmetik ürünlerin imalatında ve petrol türevleri sektöründe

kullanılmaktadır. Ayrıca katalizörlerin yani hızlandırıcıların yapımında da kaolinden faydalanılmaktadır [51].

Plastik sektöründe genel olarak (BMC) hazır kalıplama hamuru ve (SMC) hazır kalıplama pestilide kullanılmaktadır. Lastik sanayisinde ise karbon siyahından hemen sonra gelen en önemli ikinci dolgu maddesidir [52].

Plastik endüstrisinde kaolinin kullanılması neticesinde,

- Isıya daha dayanıklı polimer malzemeler elde edilir.
- Daha sert ürünler elde edilir.
- Yüzey sertliğini ve kalitesini iyileştirir.
- Ürün maliyetinde azalma sağlanır.
- Kalıplama zamanını kısaltır ve üretimde kolaylık sağlar.
- Yoğunluk artar.

**Tablo 3.3:**Kaolinin minerolojik yapısı ve kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim	Kaolin Numunesinin Alındığı Yöre	
	Ahrözü %Ağırlık	Üçbaşı %Ağırlık
SiO <sub>2</sub>	53.03	56.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.91	29.91
K <sub>2</sub> O	1.11	0.38
MgO	0.14	0.26
Na <sub>2</sub> O	0.94	0.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.48
CaO	0.28	0.20
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.72
NiO	0.017	0.017
CuO	0.013	-
ZrO	0.001	0.003
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32	0.08
SO <sub>3</sub>	6.29	0.03
Rb <sub>2</sub> O	-	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.04
A.Z.*(Ateş Zayıtı)	15.40	11.70
Toplam	99.95	99.98
Özgül Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )	58.2	

**Tablo 3.4:**Kaolinin mineralojisi.

Kimyasal formülü	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
Renk	Beyaz,bej,gri,yeşil
Saydırlık	Opağa yakın yarı saydam
Kristal Sistemi	Triklinik
Kristal Eksenleri Oranı	a:b:c=0.5755:1:0.8253
Dizilim	{001} mükemmel
Sertlik	2-2.5 mohs
Yoğunluk	2.2-2.6 g/cm <sup>3</sup>
Kasyon deęiřtirmekapasitesi	1-10 meq/100 g

Yukarıda verilen Tablo3.3.'te kaolinin, kimyasal formülü, saydırlık, kristal sistemi, kristal eksen oranları ,dizilim, sertlik, yoğunluk ve kasyon değiştirme kapasitesi gibi fiziksel özellikler verilmiştir. Tablo 3.4.'te ise kaolinin mineralojik yapı özellikleri açıklanmıştır.



## **4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **4.1. Kullanılan Dolgu Malzemeleri**

Kompozit malzeme üretimlerinde kullanılan dolgu malzemeleri mermer tozu ve kaolindir.

#### **4.1.1. Mermer tozu**

Mermer tozu atıkları Ulukent Organize Sanayi Bölgesi Yıldız Mermer San.Tic.Ltd şirketinden alınmıştır. Mermerin fabrika kesim ve boyutlandırma işlemleri sırasında ortaya çıkan sıvı-toz karışımı, atık suyunun kurutulduğu döküm sahasından alınmıştır. İşlenen mermer bloklarının Afyon Bej mermerine ait olduğu ve atık tozların bej mermer atık tozu olduğu bilinmektedir. Mermerin partikül boyutu 100 mikron ve altına indirmek için öncelikle havanda dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. 100 mikron partikül boyutu altında mermer tozu elde etmek için titreşimli elek cihazının yardımıyla eleme işlemleri (sırasıyla 200 mikron,150 mikron ve 100 mikron elek açıklığına sahip elekler ile) gerçekleştirilmiştir. Mermer tozlarını 100 mikron altına getirmek için tekrarlı bir şekilde havanda partikül boyutu küçültmesi ve elekten eleme işlemleri yapılmıştır.

#### **4.1.2. Kaolin**

Kalsine kaolinler (Kaocal 80 ( $d = <2\mu\text{m}$ ) ve Kaocal 15( $d_{50}=3.22\ \mu\text{m}$ ))AVS İç ve Dış Tic.Ltd. firmasından temin edilmiştir.

#### **4.1.3. Matris malzemesi**

Polimer matris malzemesi olarak kullanılan PP, 0.89-0.91 g/cm<sup>3</sup> (23 °C'de) yoğunluğa ve 4.0-6.0 g/10 dk. erime akış hızına sahiptir ve PETKİM AŞ. firmasından tedarik edilmiştir.

## 4.2. Kompozit Üretimi

Kompozit üretiminden önce, mermer tozu ve kaolin 80°C sıcaklıkta 48 saat süreyle kurutulmuştur. PP matrisli kompozitlerin üretilmesinde kullanılan yüksek hızlı termokinetik mikserin (Gülner Makine gelimat mikser, Türkiye) besleme haznesine farklı yüzde ağırlık oranlarında dolgu malzemesi ve matris beslemesi yapılmıştır(Şekil 4.1). Mermer tozu polipropilen içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranında ilave edilmiştir. İlk seri üretilen bu kompozitlerin mekanik test sonuçları değerlendirildikten sonra hibrit kompozit üretimleri de gerçekleştirilmiştir. Yüksek hızlı termokinetik mikserde kompozit üretimlerinde kullanılan malzeme karışım oranları Tablo 4.1.'de verilmiştir.



**Şekil 4.1:** Gelimat Mikser.

Kompozit üretimi; dolgu ve matris malzemesi fiziksel olarak karıştırıldıktan sonra mikser haznesine konulmuş ve yüksek hızlı termokinetik mikserde 2000 Devir/dakika'da 20-30 saniye karıştırılmıştır. Daha sonramikser haznesinden karışım hamur kıvamında alınmış, 150mmx150mmx1mm boyutlarında kalıp içerisine konulmuştur. Sıcaklık ve basınç kontrollü sıcak-soğuk hidrolik pres (Gülner Makine, Türkiye), ile 120 bar basınç altında 190 °C'de 5 dakika sıcak preslenmiştir. Sıcak preslemeden sonra, numuneler oda sıcaklığında 2 dakika 120 bar basınç altında soğuk preslenmiştir. Plakalardan ASTM D638 ve ASTM D790 standartlarına uygun şekilde çekme ve eğilme test numuneleri hazırlanmıştır.



**Tablo 4.1:** Polipropilen ile mermer tozu karışım oranları.

Numune Adı	Mermer Tozu (%)	Kaolin (%)
5M	5	-
10M	10	-
15M	15	-
20M	20	-
10M-1K (15)	10	1
10M-3K(15)	10	3
10M-5K(15)	10	5
10M-1K (80)	10	1
10M-3K(80)	10	3
10M-5K(80)	10	5

### 4.3.Malzeme Test ve Karakterizasyonları

Üretilen kompozit ve hibrit kompozit malzemelere uygulanan test ve karakterizasyon yöntemleri sırasıyla, çekme ve eğilme testleri, dinamik mekanik analizi (DMA), termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC), X ışını difraktometresi (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleridir.

#### 4.3.1.Çekme ve eğilme testleri

Üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini tespit etmek için 5 kN yük hücreğine sahip bir universal çekme-basma test cihazı (Shimadzu AG-IC) kullanılmıştır. Çekme testleri ASTM D638 ve eğilme testleri ASTM D790 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Çekme testinde çene hareket hızı 50 mm/dakika ve eğilme testinde çene hareket hızı 1 mm/dakika'dır. Üretilen kompozitlerin çekme dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, eğilme modülü gibi mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Üretilen her bir numune için testler en az beş kez tekrarlanmış ve testler sonucunda ortalama değerler ve standart sapmalar elde edilmiştir.

#### 4.3.2.Dinamik mekanik analizi(DMA)

Dinamik mekanik analiz (DMA) cihazı (DMA Q800, TA instruments) ile üretilen kompozit malzemelerin depolama (storage), kayıp (loss) modülleri ve tan delta

özellikleri tespit edilmiştir. Cihazda analizler singlecantilever ile 40-140°C sıcaklık aralığında ve 3°C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

#### **4.3.3. Termogravimetrik analiz (TGA)**

Üretilen kompozitlerin ısıl kararlılıkları ve ağırlık kayıpları termogravimetrik analiz (TGA) cihazı (SDTQ 600TA Instrument) kullanılarak tespit edilmiştir. Cihazda analizler azot gazı atmosferinde (gaz akış hızı 50 mL/dakika), 30-600°C sıcaklık aralığında ve 10°C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

#### **4.3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC)**

Analizler diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı (TA Instrument DSC Q2000) azot gazı atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle numuneler termal geçmişini silmek için, 10°C/dakika ısıtma hızında oda sıcaklığından 200°C'ye ısıtılmış ve sıcaklıkta 3 dakika kadar numuneler bekletilmiştir. Daha sonra 10°C/dakika soğutma hızında oda sıcaklığına numuneler soğutulmuştur. Analiz için numuneler tekrar 10°C/dakika ısıtma hızında oda sıcaklığından 190°C'ye ısıtılmıştır.

#### **4.3.5. X ışını difraktometresi (XRD)**

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

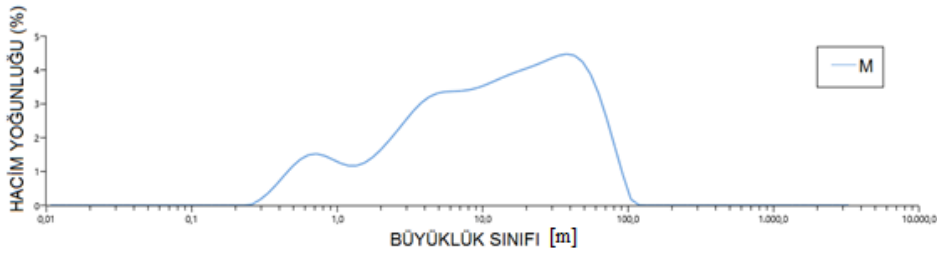
#### **4.3.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri**

Çekme testi sonrası kompozitlerin kopma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (Carl Zeiss 300VP, Almanya) kullanılarak morfolojik yapıları incelenmiştir. SEM incelemelerinden önce, plazma kaplama cihazında (Emitech K550X) numunelerin yüzeyleri nano boyutta altın kaplanmıştır.

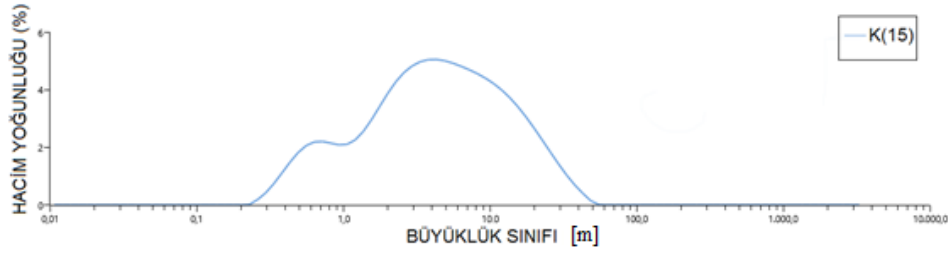
## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

### 5.1. Parçacık Boyut Analizi

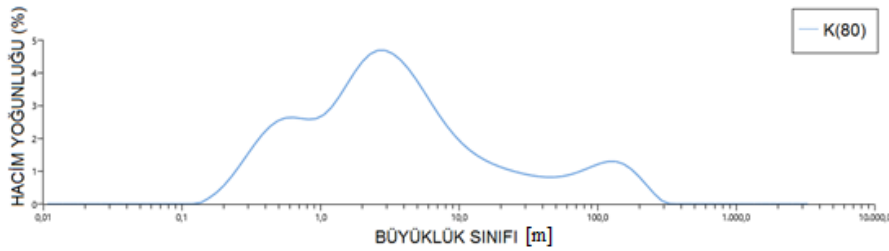
Öğütülen ve elenen mermer tozunun partikül boyut dağılımı Şekil 5.1, 5.2, 5.3.'de gösterilmiştir. Mermer tozunun D50 partikül boyutu 12.1 mikrometredir. Ayrıca, mermertozunun D10 ve D90 partikül boyutları sırasıyla 1.17 ve 52.7 mikrometredir. Şekil 5.1.'deki eğriden 1 mikrometreden daha küçük partiküllerin varolduğu da görülmektedir ve hacimsel oranı %8.74'dür. Kaocal 15 ve Kaocal 80 kalsine kaolinlerin D50 partikül boyutları sırasıyla 4.30 ve 3.00 mikrometredir.



Şekil 5.1: Mermer tozunun parçacık boyut dağılımı.



Şekil 5.2: Kaocal 15 kalsine kaolinin parçacık boyut dağılımı.



Şekil 5.3: Kaocal 80 kalsine kaolinin parçacık boyut dağılımı.

## 5.2. Mekanik Test Sonuçları

PP'nin, mermer tozu/PP kompozitlerin ve mermer tozu/kaolin/PP hibrit kompozitlerin çekme dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, eğilme modülü gibi mekanik özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.4-5.5'de PP ve mermer tozu/PP kompozitlerinin çekme dayanımı ve elastisite modülü değişimleri gösterilmiştir.

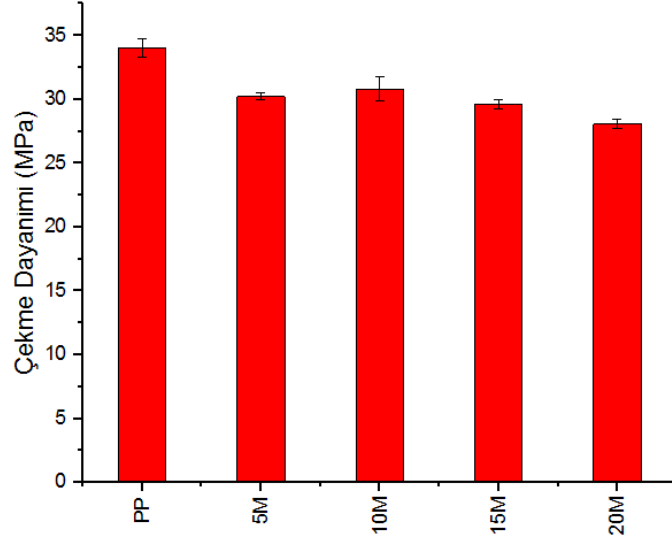
**Tablo 5.1:**PP ve kompozitlerin çekme ve eğilme testi sonuçları.

Numune Adı	$\sigma_C$ (MPa)	$E_{m}$ (MPa)	$\sigma_E$ (MPa)	$E_m$ (MPa)
PP	33.42±1.83	921.22±39.48	53.41±0.21	1527.30±76.64
5M	30.21±6.16	1074.60±45.51	49.96±0.48	1436.58±95.96
10M	30.81±0.91	1116.69±32.10	48.75±3.93	1639.00±132.58
15M	29.08±1.54	1137.18±65.49	48.75±0.67	1673.90±73.38
20M	28.07±0.38	1220.54±48.55	46.45±0.52	1761.73±31.78
10M-1K-(80)	31.58±0.45	1189.81±64.08	44.63±1.96	1405.33±33.58
10M-3K-(80)	30.43±0.96	1209.02±84.41	44.05±1.42	1403.90±61.07
10M-5K-(80)	30.23±0.81	1246.64±37.46	45.20±1.07	1434.25±96.78
10M-1K-(15)	31.82±0.82	1256.10±67.46	44.31±1.40	1486.63±148.49
10M-3K-(15)	30.61±0.79	1261.39±75.49	47.19±1.67	1537.46±68.92
10M-5K-(15)	30.98±0.80	1308.75±73.84	49.66±0.91	1701.06±92.63

$\sigma_C$ : Çekme Dayanımı,  $E_m$ : Elastisite Modülü,  $\sigma_E$ : Eğilme Dayanımı,  $E_m$ : Eğilme Modülü

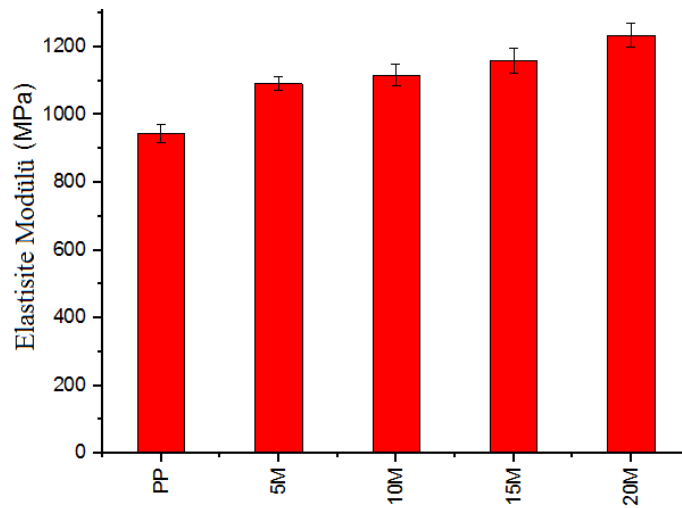
Tablo 5.1'de görüleceği üzere PP'nin çekme dayanımı 33.42 MPa'dır. Şekil 5.4'de görüldüğü gibi, PP içerisine ağırlıkça % 5 mermer tozu katıldığında PP'nin çekme dayanımında azalma gerçekleşmiştir. PP içerisine katılan mermer tozu oranı %10 a çıkarıldığında çekme dayanımında artış olmuştur. Mermer tozu/PP kompozitler arasında en yüksek çekme dayanımı PP içerisine %10 mermer tozu ilave edildiğinde (10M kompozitinde) gözlemlenmiştir.

10M kompozitin çekme dayanımı 30.82 MPa'dır. %10'dan daha fazla mermer tozu katıldığında PP'nin çekme dayanımı artan mermer tozu konsantrasyonu ile birlikte azalmaktadır. Kompozitin çekme dayanımındaki azalmanın nedeni dolgu maddesinin matris ile yeterli ıslatılamaması, dolgu maddelerinin yetersiz dağılımı, aglomeraların varlığı ve dolgu maddesi ile matris arasında zayıf yapışma ile ilişkili olduğu düşünülebilir [53,54].



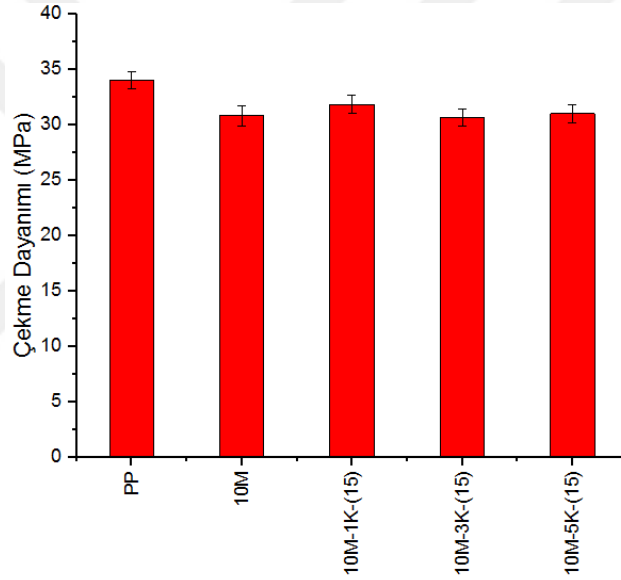
**Şekil 5.4:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin çekme dayanımı.

Mermer tozu/PP kompozitlerin elastisite modülündeki değişim Şekil 5.5’de gösterilmiştir. PP’nin elastisite modülü 921.22 MPa’dır. PP içerisine %5 mermer tozu katılmasıyla birlikte elastisite modülünde artış gerçekleşmiştir. PP içerisine katılan mermer tozu oranı arttıkça elastisite modülünde artış devam etmiştir. Mermer tozu/PP kompozitler arasında en yüksek elastisite modülü 20M kompozitinde tespit edilmiştir. Bu kompozitin elastisite modülü, 1220.55 MPa’dır. 20M kompozitin elastisite modülü, PP ‘nin elastisite modülüne göre %32.49 oranında artmıştır. Bu artışın sebebi, mermer tozu partiküllerinin PP matrise göre çok daha rijit olmasından kaynaklanabilir.



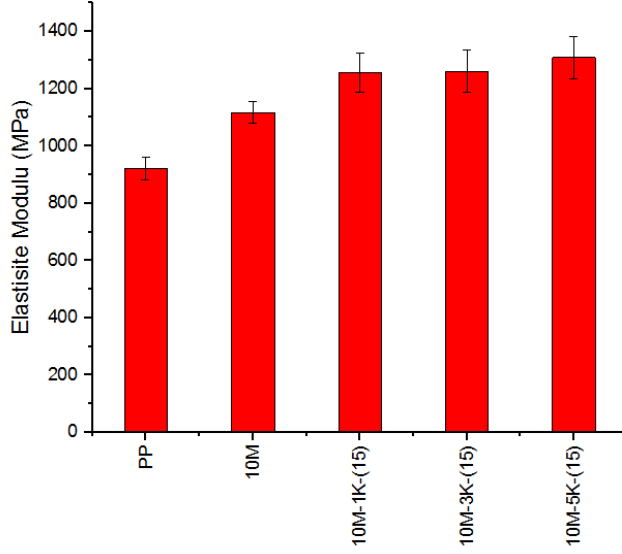
**Şekil 5.5:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin elastisite modülü.

Şekil 5.6'da mermer tozu/kaolin(15)/PP hibrit kompozitlerin çekme dayanımlarındaki değişim gösterilmiştir. 10M kompoziti içerisinde %1 oranında kaolin(15) ilave edildiğinde, çekme dayanımında bir miktar artış görülmüştür. 10M-1K(15) kompozitin çekme dayanımı 31.82 MPa'dır. Hibrit kompozitler arasında en yüksek çekme dayanımına sahip kompozit 10M-1K(15) kompozitidir. 10M içerisinde %1'den daha fazla kaolin(15) katıldığında, çekme dayanımında bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı özelliklerinin azalmasının iki nedeni vardır, ilk muhtemel sebep, dolgu parçacıkları ve PP matris arasındaki ara yüzeyin zayıf olması, ikinci olası neden ise dolgu parçacıklarındaki asimetrik şekle sahip olan keskin kenarlarıdır. Bu asimetrik şekle sahip dolgu parçacıkları, stres konsantrasyonuna neden olur [55].



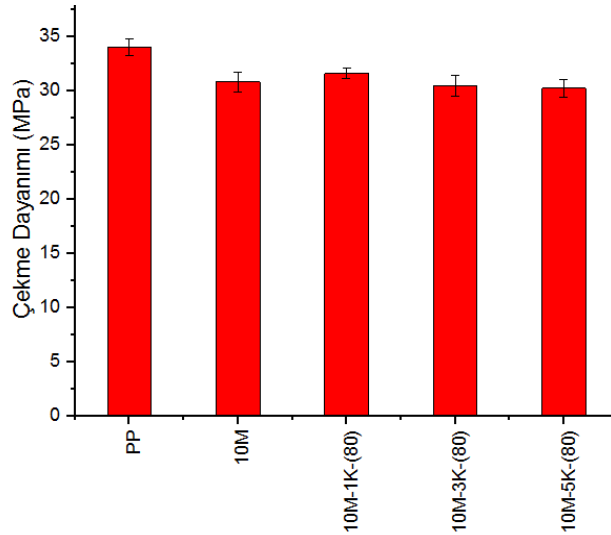
**Şekil 5.6:** Mermer Tozu/PP kompozitlerin çekme dayanımına kaolin(15)'in etkisi.

Şekil 5.7'de mermer tozu/PP kompozitlerin elastisite modülüne kaolin(15)'in etkisi gösterilmiştir. 10M kompoziti içerisinde %1 oranında K-(15) ilave edilmesi ile birlikte, 10M kompozitin elastisite modülünde artış görülmüştür. 10M içerisinde katılan K-(15) miktarı daha da artırılmasıyla elastisite modülünde artış devam etmiştir. En yüksek elastisite modülü, 10-5K(15) kompozitinde tespit edilmiştir. Bu kompozitin elastisite modülü PP'nin elastisite modülüne göre %42.07 ve 10M kompozitinin elastisite modülüne göre de %17.20 oranında artmıştır.



**Şekil 5.7:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin elastisite modülüne kaolin15'in etkisi.

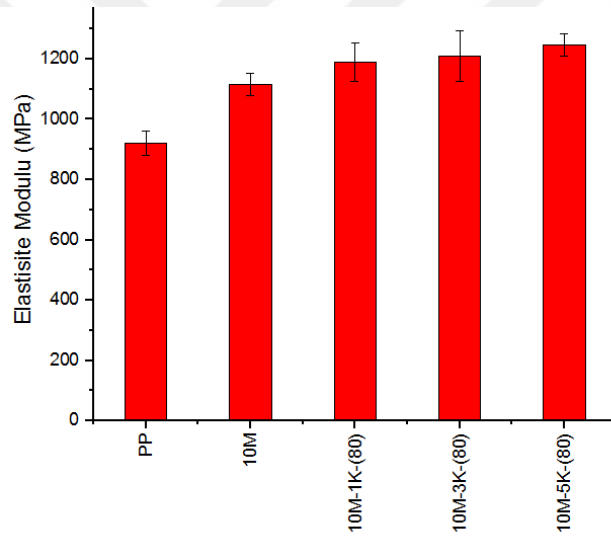
Mermer tozu/PP kompozitlerin çekme dayanımına kaolin(80)'nin etkisi Şekil 5.8'de gösterilmektedir.10M kompoziti içerisinde %1 oranında kaolin(80) ilave edildiğinde, 10M kompozitinin çekme dayanımının bir miktar arttığı tespit edilmiştir. 10M-1K(80) kompozitin çekme dayanımı 31.58 MPa'dır. K-(80) ile üretilen hibrit kompozitler arasında en yüksek çekme dayanımına sahip kompozit 10M-1K(80) kompozitidir. 10M içerisinde %1'den daha fazla kaolin(80) ilave edildiğinde, kompozitin çekme dayanımında 10M-1K(80) 'in çekme dayanımına göre azalma belirlenmiştir.



**Şekil 5.8:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin çekme dayanımına kaolin80'in etkisi.

Şekil 5.9’da mermer tozu/PP kompozitlerin elastisite modülüne kaolin(80)’in etkisi görülmektedir. 10M kompozitin içerisine K-(80) katılması ile birlikte, 10M kompozitin elastisite modülünde artış belirlenmiştir. 10M içerisine katılan K-(80) miktarının artması neticesinde 10M kompozitinin elastisite modülü de giderek artmıştır. En yüksek elastisite modülü, 10-5K(80) kompozitinde tespit edilmiştir. Bu kompozitin elastisite modülü PP’nin elastisite modülüne göre %35.32 ve 10M kompozitinin elastisite modülüne göre de %11.64 daha yüksektir.

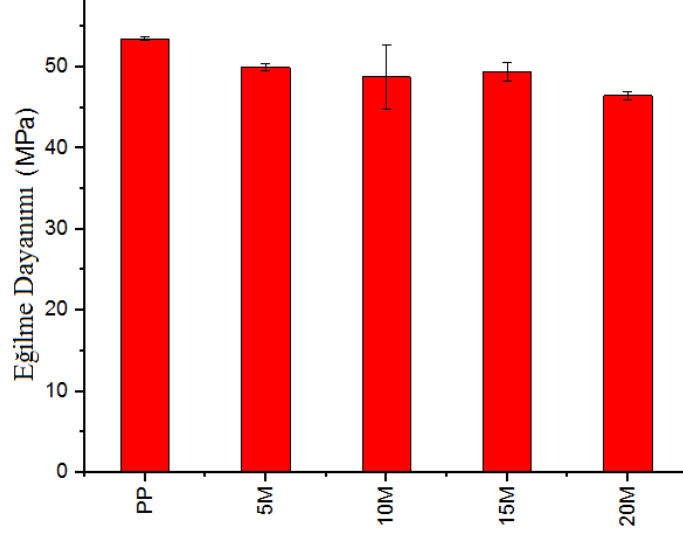
Kompozitlerin artan elastisite modülü, partiküllerin varlığında sınırlanan makromoleküler hareketlilik ve deforme edilebilirlik nedeniyledir. Schumigin ve ark. dolgu maddesinin elastisite modülünde matris malzemesininkinden daha yüksek olduğunu ve bu durumun PP matrisinin elastisite modülünde bir artışa yol açtığını belirtmişlerdir [55].



**Şekil 5.9:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin elastisite modülüne kaolin80’in etkisi.

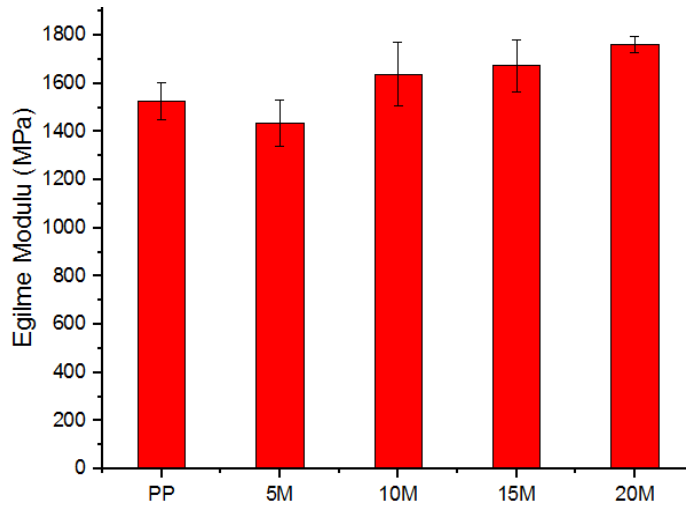
Şekil 5.10’da mermer tozu/PP kompozitlerin eğilme dayanımlarındaki değişimler gösterilmiştir. PP matrisi içerisine mermer tozu ilave edilmesiyle birlikte kompozit malzemelerin eğilme dayanımında azalma tespit edilmiştir.Mermer tozu katkılı kompozitler arasında en düşük eğilme dayanımı 20M kompozitinde görülmüştür. En yüksek eğilme dayanımı da 5M kompozitinde gözlemlenmiştir. 5M kompozitinin eğilme dayanımı 49.96 MPa’dır.





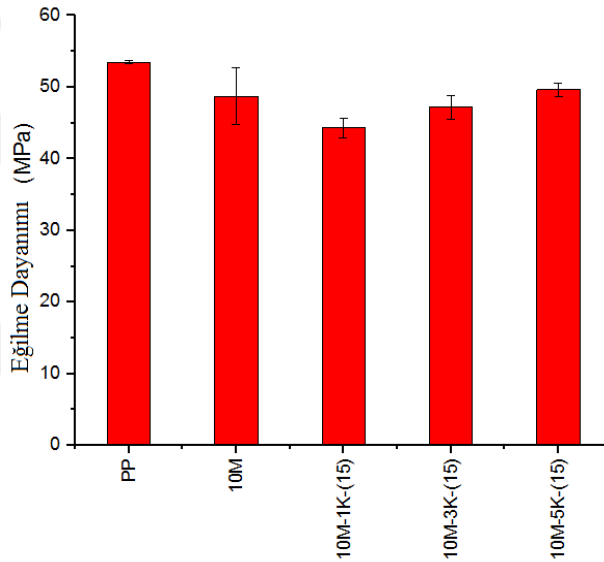
**Şekil 5.10:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme dayanımına mermer tozunun etkisi.

Mermer tozu/PP kompozitlerin eğilme modülündeki değişimler Şekil 5.11’de gösterilmiştir. PP’nin eğilme modülü 1527.30 MPa’dır. PP içerisine %5 mermer tozu katılmasıyla eğilme modülünde azalma tespit edilmiştir. PP içerisine katılan mermer tozu oranı %10 arttırıldığında kompozitin eğilme modülünde artış gözlemlenmiştir.%10’dan daha fazla mermer tozu/PP matrisi içerisine katıldığında eğilme modülündeki artış devam etmiştir. Kompozitler arasında en yüksek eğilme modülü 20M kompozitinde görülmüştür. Bu kompozitin eğilme modülü 1761.74 MPa’dır. 20M kompozitin eğilme modülü, PP ‘nin eğilme modülüne göre %15.35 oranında artmıştır.



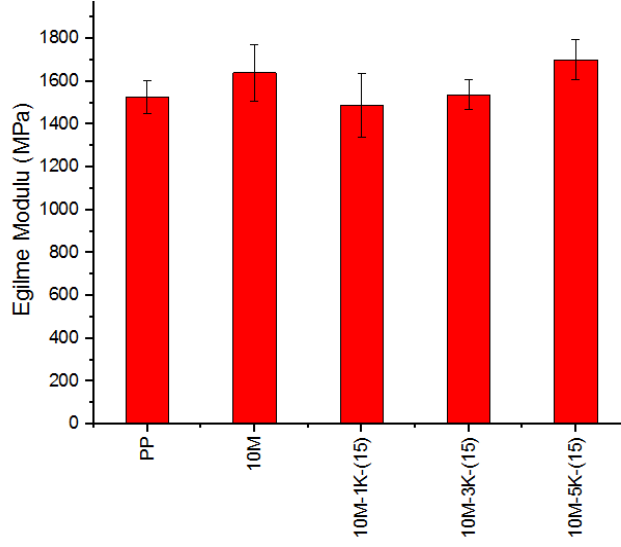
**Şekil 5.11:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme modülüne mermer tozunun etkisi.

Şekil 5.12’de mermer tozu/kaolin(15)/PP kompozitlerin eğilme dayanımlarındaki değişimler gösterilmiştir. PP matrisi içerisine mermer tozu katılmasıyla birlikte 10 M kompozit malzemenin eğilme dayanımında azalma tespit edilmiştir. 10M kompozitinin içerisine %1 oranında K-(15) eklenmesiyle 10M-1K(15) kompozitinin eğilme dayanımında düşüş incelenmiştir, fakat kaolin oranının %1’den daha yüksek oranlara arttırılmasıyla 10M-3K(15) ve 10M-5K(15) kompozitlerin eğilme dayanımında artış gözlemlenmiştir. Mermer tozu ve K-(15) katkılı hibrit kompozitler arasında en düşük eğilme dayanımı 10M-1K(15) kompozitinde görülürken, en yüksek eğilme dayanımı da 10M-5K(15) kompozitinde tespit edilmiştir. 10M-5K(15) kompozitinin eğilme dayanımı 49.66MPa’dır.



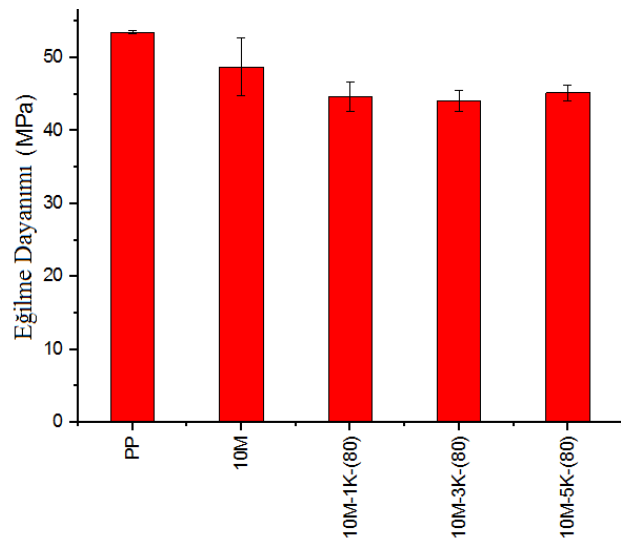
**Şekil 5.12:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme dayanımına kaolin(15)’in etkisi.

Mermer tozu/K-(15)/PP kompozitlerin eğilme modülündeki değişimler Şekil 5.13’de gösterilmiştir. PP’nin eğilme modülü 1527.30 MPa’dır. PP içerisine %10 mermer tozu ilave edilmesiyle eğilme modülünde artış tespit edildiği daha öncede belirtilmişti. 10M içerisine katılan%1 oranında kaolinle birlikte eğilme modülünde azalma görülmüştür. Ancak, 10M içerisine katılan kaolin miktarı %1’den daha yüksek bir orana arttırıldığında hibrit kompozitlerin eğilme modülünde artış gözlemlenmiştir. Hibrit kompozitler arasında en yüksek eğilme modülü 10M-5K(15) kompozitinde incelenmiştir. Bu kompozitin eğilme modülü 1701.06 MPa’dır. 10M-5K(15) kompozitin eğilme modülü, PP’nin eğilme modülüne göre %11.38 ve 10M’in eğilme modülüne göre %3.79 oranında artmıştır.



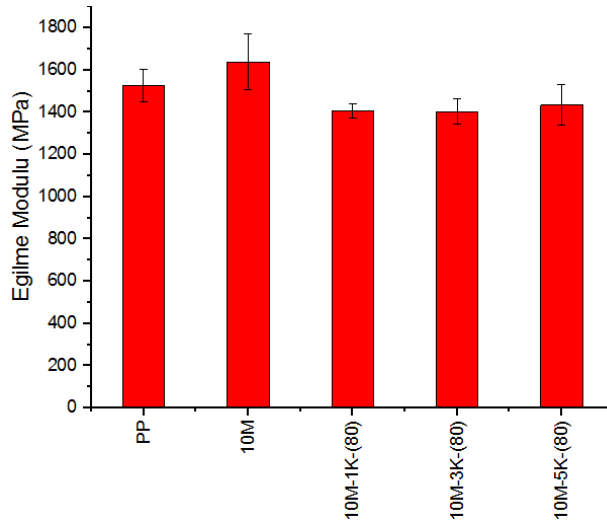
**Şekil 5.13:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme modülüne kaolin(15)'in etkisi.

Şekil 5.14'de mermer tozu/kaolin(80)/PP kompozitlerin eğilme dayanımlarındaki değişimler gösterilmiştir. 10M kompozitinin içerisine %1 ve %3 oranında K-(80) ilave edilmesiyle sırasıyla 10M-1K(80) ve 10M-3K(80) kompozitlerinin eğilme dayanımında azalma görülmüştür. Bununla birlikte, kaolin oranının %3'ten%5 oranına artırılmasıyla 10M-5K(80) kompozitinin eğilme dayanımında artış tespit edilmiştir. Mermer tozu ve K-(80) katkılı hibrit kompozitler arasında en yüksek eğilme dayanımı 10M-5K(80) kompozitinde görülmüştür. 10M-5K(80) kompozitinin eğilme dayanımı 45.20MPa'dır.



**Şekil 5.14:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme dayanımına kaolin(80)'in etkisi.

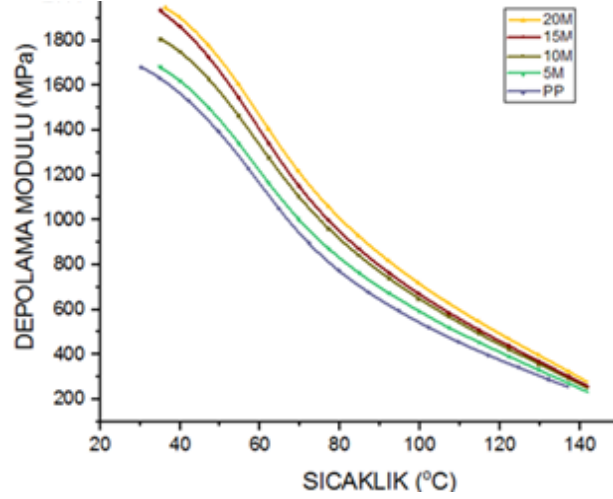
Mermer tozu/K-(80)/PP kompozitlerin eğilme modülündeki değişimler Şekil 5.15’de gösterilmiştir. 10M kompozitinin içerisine %1 ve %3 oranında K-(80) ilave edilmesiyle sırasıyla 10M-1K(80) ve 10M-3K(80) kompozitlerinin eğilme modülünde düşüş tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kaolin oranının %3’ten %5 oranına artırılmasıyla 10M-5K(80) kompozitinin eğilme modülünde artış gözlemlenmiştir. Hibrit kompozitler arasında en yüksek eğilme modülü 10M-5K(80) kompozitinde incelenmiştir. Bu kompozitin eğilme modülü 1434.25 MPa’dır. 10M-5K(80) kompozitin eğilme modülü PP ‘nin eğilme modülüne göre %6.09 ve 10M’in eğilme modülüne göre %12.49 oranında azalmıştır.



Şekil 5.15:Mermer Tozu/PP kompozitlerin eğilme modülüne kaolin(80)’in etkisi.

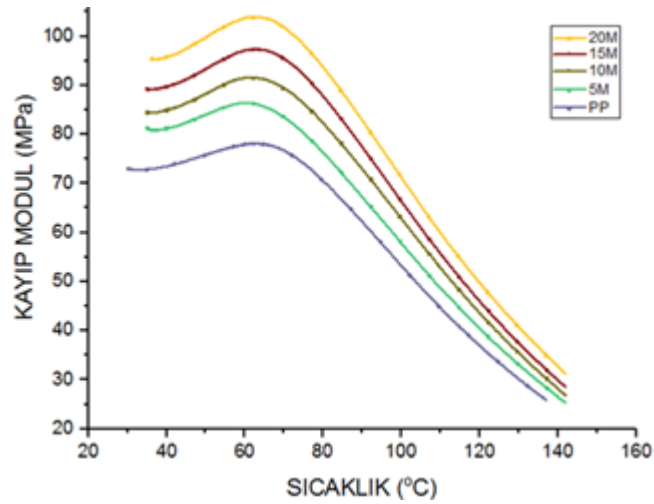
### 5.3. Dinamik Mekanik Analizi (DMA)

PP ve mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak, depolama modülü, kayıp modülü ve tan delta değişimleri Şekil 5.16’de gösterilmiştir. Tüm sıcaklık aralığında, mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin depolama modülü değerleri PP’nin depolama modülünden daha yüksektir. Ayrıca PP içerisindeki mermer tozu oranı arttıkça depolama modülünde arttığı görülmüştür. Mermer tozu/PP kompozitlerin rijitliğinin mermer tozu eklenmesiyle arttığını göstermektedir. PP ve mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin depolama modülü değerleri sıcaklık artmasıyla azalmaktadır. Bu durum PP matris içerisine mermer tozunun eklenmesiyle kompozitin rijitliğinin arttığını gösterir. Dolgulu kompozitlerde polimerin rijitliği ile depolama modülü arasında ilişki olduğu literatürde vurgulanmaktadır [56].



**Şekil 5.16:** PP ve Mermer Tozu /PP kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülündeki değişimler.

Tüm sıcaklık aralığına bakılarak mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin kayıp modülleri incelendiğinde, mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin kayıp modüllerinin mermer tozu oranının artmasıyla arttığı görülmektedir (Şekil 5.17). Kayıp modülündeki artışın nedeni PP içerisindeki mermer tozu miktarının artması ile enerji absorpsiyonunun azalması şeklinde yorumlanabilir [57]. Sıcaklığın artması, PP ve kompozitlerin kayıp modülleri azaltmaktadır. Şekil 5.17'den eğrilerin pik noktalarından faydalanılarak PP ve mermer tozu/PP kompozitlerin gevşeme geçiş sıcaklığı bulunabilir. PP, 5M, 10M, 15M ve 20M'nin gevşeme geçiş sıcaklıkları sırasıyla, 74.11°C, 68.61°C, 71.36°C, 70.00°C ve 69.72°C'dir. Bu geçiş sıcaklığı camsı durumdan kauçuğumsu duruma geçiş bölgesini ifade eder [56].



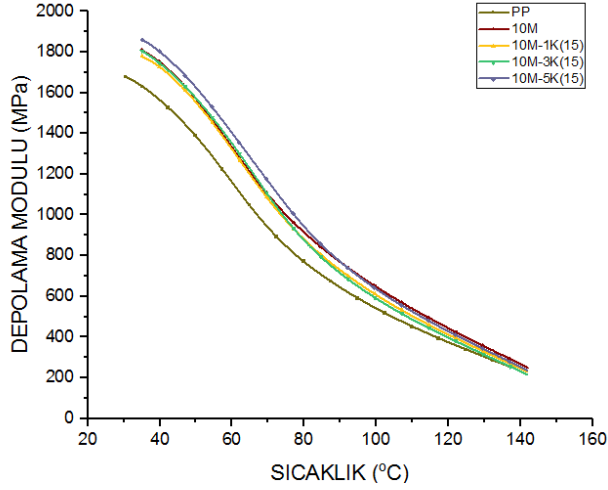
**Şekil 5.17:** PP ve Mermer Tozu /PP kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülündeki değişimler.

PP ve mermer tozu /PP kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir. PP ve Mermer tozu /PP kompozitlerinin 35°C’deki depolama modülü değerleri incelendiğinde; 5M, 10M, 15M ve 20M kompozitlerin depolama modülündeki artışlar (PP’e göre) sırasıyla %3.05, %10.85, %18.55 ve %19.24 olarak bulunmuştur. Depolama modülündeki artışın nedeni viskoelastik polimer matriste bulunan dolgu miktarının artmasından kaynaklanan mekanik sınırlamaya yorumlanabilir [56].

**Tablo 5.2:**PP ve Mermer Tozu /PP kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri.

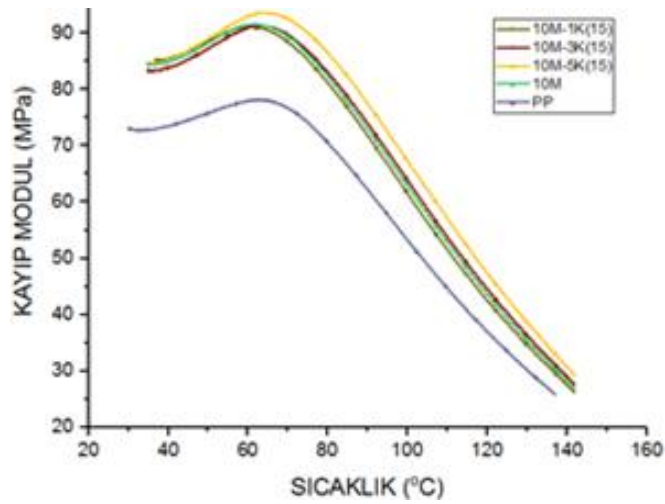
<b>Depolama Modülü</b>	<b>35 °C (MPa)</b>	<b>55°C (MPa)</b>	<b>75°C (MPa)</b>	<b>100°C (MPa)</b>	<b>130°C (MPa)</b>
<b>PP</b>	1632.27	1277.03	844.69	540.50	303.38
<b>5M</b>	1682.14	1332.73	906.33	588.35	327.66
<b>10M</b>	1809.30	1452.58	998.21	646.62	354.58
<b>15M</b>	1935.07	1532.85	1037.34	667.06	366.86
<b>20M</b>	1946.25	1591.51	1098.10	713.503	394.16

Ayrıca, Tablo 5.2.’den alıkoyma zamanı hesaplanabilir. Alıkoyma zamanı, 130°C’deki depolama modülünün 35°C’deki depolama modülüne oranı olarak tanımlayabiliriz. PP, 5M, 10M, 15M ve 20M kompozitlerin alıkoyma zamanları sırasıyla 0.186, 0.195, 0.196, 0.190, 0.203 olarak bulunmuştur. Alıkoyma zamanlarından görüleceği üzere, mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin alıkoyma süreleri PP’den daha yüksektir. Böylece, mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin yüksek sıcaklıklardaki mekanik dayanımının geliştiği görülmektedir. Tüm sıcaklık aralığında, mermer tozu/kaolin15 dolgulu PP hibrit kompozitlerin depolama modülü değerleri PP’nin depolama modülünden daha yüksektir(Şekil 5.18). Hibrit kompozitler arasında en yüksek depolama modülü 10M-5K (15) kompozitinde incelenmiştir. 10M-1K(15), 10M-3K (15) ve 10M kompozitin depolama modülleri tüm sıcaklık aralığında birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bununla beraber PP, 10M, 10M-1K (15), 10M-3K (15) ve 10M-5K (15) kompozitlerin depolama modülü değerleri sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır.



**Şekil 5.18:**PP, 10 M ve 10M-K (15) hibrit kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülündeki değişimler.

Tüm sıcaklıklarda PP matrisli hibrit kompozitlerin kayıp modülleri PP'nin kayıp modülünden daha yüksektir. Hibrit kompozitler arasında, 10M-5K (15) kompozitin kayıp modülü en yüksek değere sahiptir (Şekil5.19). 10M kompozitine ağırlıkça %1 ve %3 oranında K-15 katıldığında kompozitin kayıp modülündeki genel olarak çok az değişim görülmüştür. Kayıp modülündeki artış; PP içerisine katılan mermer tozu ve kaolin ile polimerin enerji absorpsiyonunun azalması nedeniyledir [57]. Şekil 5.19'dan sıcaklık artışı ile PP ve kompozitlerin kayıp modülleri azaldığı görülmektedir. Şekil 5.17'den hibrit kompozitlerin gevşeme geçiş sıcaklığı bulunmuştur. PP, 10M, 10M-1K(15), 10M-3K(15) ve 10M-5K(15)'in gevşeme geçiş sıcaklıkları sırasıyla, 74.11°C, 71.36°C, 69.68°C, 70.81°C ve 72.87°C'dir.



**Şekil 5.19:** PP, 10 M ve 10M-K (15) hibrit kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülündeki değişimler.

PP, 10M kompoziti ve 10M-K(15) hibrit kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri Tablo 5.3’de verilmiştir. 10M kompoziti ve 10M-K(15) hibrit kompozitlerinin 35°C’deki depolama modülü değerleri incelendiğinde; PP matrise göre 10M, 10M-1K (15), 10M-3K (15) ve 10M-5K (15) kompozitlerin depolama modülündeki artışlar sırasıyla %10.85, %8.9, %10.33 ve %14.64 tespit edilmiştir. Ayrıca, Tablo 5.3’den 10M-K-(15) hibrit kompozitlerinin alıkoyma zamanı hesaplanmıştır. PP, 10M, 10M-1K (15), 10M-3K (15) ve 10M-5K (15) kompozitlerin alıkoyma zamanları sırasıyla 0.186, 0.196, 0.185, 0.194, 0.203 olarak bulunmuştur.

Alıkoyma zamanlarından görüleceği üzere, 10M-1K(15) kompoziti haricinde 10M ve hibrit kompozitlerin alıkoyma süreleri PP’den daha yüksektir. Yüksek alıkoyma süresine sahip kompozitlerin yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mekanik dayanıma sahip olacağı söylenebilir.

**Tablo 5.3:**PP, 10M ve M-K (15) hibrit kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri.

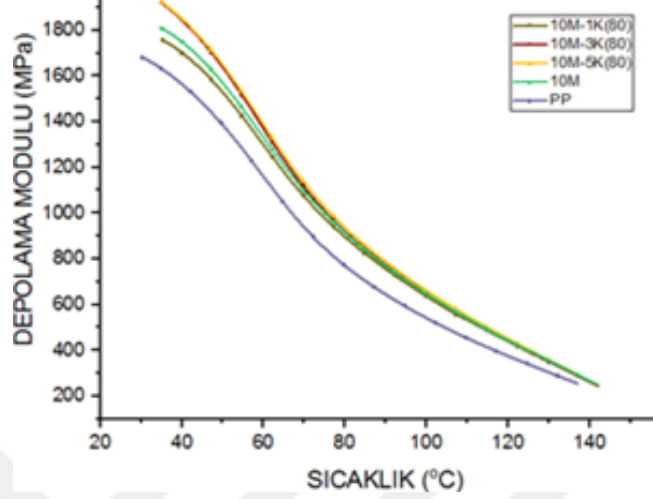
<b>Depolama Modülü</b>	<b>35 °C (MPa)</b>	<b>55°C (MPa)</b>	<b>75°C (MPa)</b>	<b>100°C (MPa)</b>	<b>130°C (MPa)</b>
<b>PP</b>	1632.27	1277.03	844.7	540.50	303.40
<b>10M</b>	1809.30	1452.58	998.21	646.62	354.59
<b>10M1K(15)</b>	1778.11	1441.59	970.37	605.97	328.39
<b>10M3K(15)</b>	1800.84	1426.75	980.20	640.25	349.88
<b>10M5K(15)</b>	1871.23	1506.15	1046.30	688.83	379.6

Şekil 5.20’de görüldüğü gibi, analiz edilen sıcaklık aralığında, mermer tozu/kaolin80 dolgululu PP hibrit kompozitlerin depolama modülü değerleri PP’nin depolama modülünden daha yüksek bir değere sahiptir. Oda sıcaklığı ile yaklaşık 80 °C sıcaklık aralığında, hibrit kompozitler arasında en yüksek depolama modülü 10M-3K (80) ve 10M-5K (80) ait olduğu belirlenmiştir.

Tüm sıcaklık aralığında 10M-3K (80) ve 10M-5K (80) hibrit kompozitlerinin depolama modüllerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber, 10M-1K(80) kompozitinin depolama modülü genel olarak 10M kompozitinin depolama modülünden daha düşüktür. PP, 10M ve 10M-K (80)



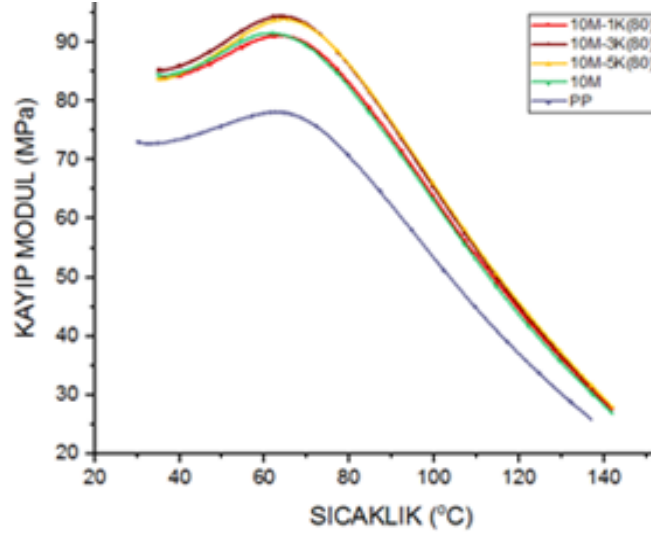
kompozitlerinin depolama modülü değerleri analiz sıcaklığının artması ile azalma göstermektedir. Sıcaklığın artması ile polimer zincirlerindeki moleküler hareketliliğin artması nedeni ile depolama modülünde azalış gerçekleşir [58].



**Şekil 5.20:**PP, 10 M ve 10M-K (80) hibrit kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak depolama modülündeki değişimler.

Şekil 5.21'de 10M-K (80) hibrit kompozitlerin kayıp modüllerinin tüm sıcaklık aralığında PP'nin kayıp modülünden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hibrit kompozitler arasında, 10M-3K (80) ve 10M-5K (80) kompozitin kayıp modülleri en yüksek değere sahiptir. 10 M kompoziti içerisine ağırlıkça %1 oranında kaolin 80 katıldığında kompozitin kayıp modülünde genel olarak çok az değişim saptanmıştır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda 10-1K(80) kompozitinin kayıp modülü biraz daha fazladır.

PP içerisine katılan mermer tozu ve kaolin ile polimerin enerji absorpsiyonun azalması nedeniyle kayıp modülündeki artış olduğu düşünülmektedir [59]. Şekil 5.21'den sıcaklık artışı ile PP ve kompozitlerin kayıp modüllerinin azaldığı görülmüştür. Kayıp modülü grafiğinden hibrit kompozitlerin gevşeme geçiş sıcaklığı bulunmuştur. PP, 10M, 10M-1K(80), 10M-3K(80) ve 10M-5K(80)'in camsı durumdan kauçuğumsu duruma geçiş bölgesi ile ilgili gevşeme geçiş sıcaklıkları sırasıyla, 74.11°C, 71.36°C, 71.43°C, 71.01°C ve 71.45°C'dir [56].



**Şekil 5.21:** PP, 10 M ve 10M-K (80) hibrit kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak kayıp modülündeki değişimler.

PP, 10M kompoziti ve 10M-K(80) hibrit kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri Tablo 5.4’de verilmiştir. 10M kompoziti ve 10M-K(80) hibrit kompozitlerinin 35°C’deki depolama modülü değerleri incelendiğinde; PP matrise göre 10M, 10M-1K (80), 10M-3K (80) ve 10M-5K (80) kompozitlerin depolama modülünde %10.85, %7.8, %17.89 ve %18.07 artış belirlenmiştir.

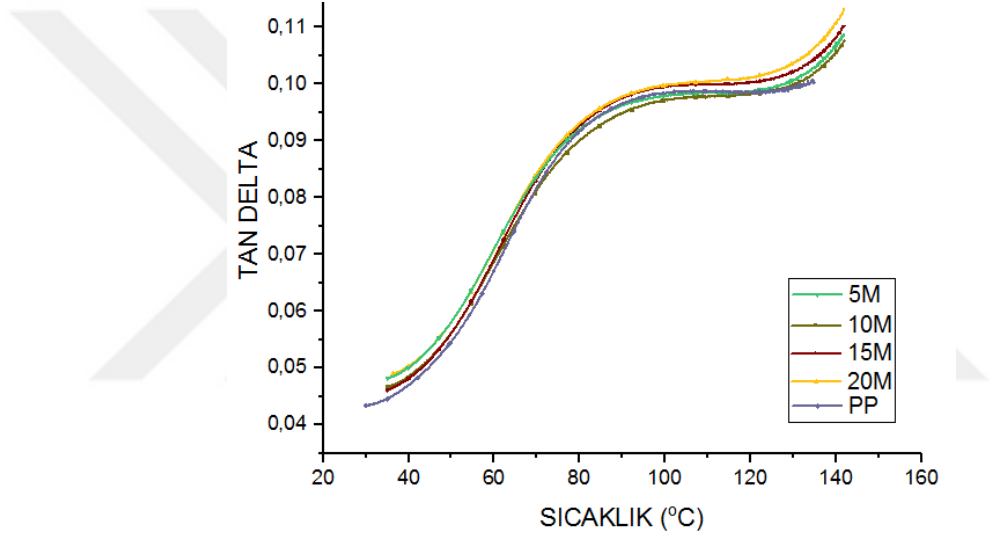
**Tablo 5.4:** PP, 10M ve M-K (80) hibrit kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki depolama modülü değerleri.

Depolama Modülü	35 °C (Mpa)	55°C (Mpa)	75°C (Mpa)	100°C (Mpa)	130°C (Mpa)
PP	163.27	1277.03	844.7	540.50	303.4
10M	1809.30	1452.58	998.21	646.62	354.59
10M1K(80)	1758.93	1418.03	978.40	635.05	350.36
10M3K(80)	1924.28	1507.30	1007.99	648.55	353.31
10M5K(80)	1927.18	1522.84	1027.57	661.055	358.70

Ayrıca, Tablo 5.4’den 10M-K-(80) hibrit kompozitlerinin alıkoyma zamanı hesaplanmıştır. PP, 10M, 10M-1K (80), 10M-3K (80) ve 10M-5K (80) kompozitlerin alıkoyma zamanları sırasıyla 0.186, 0.196, 0.199, 0.184, 0.186’dır. Alıkoyma zamanlarından görüleceği üzere, yalnızca 10M-1K(80) kompozitinin alıkoyma süresi PP ve 10M’dan daha yüksektir.

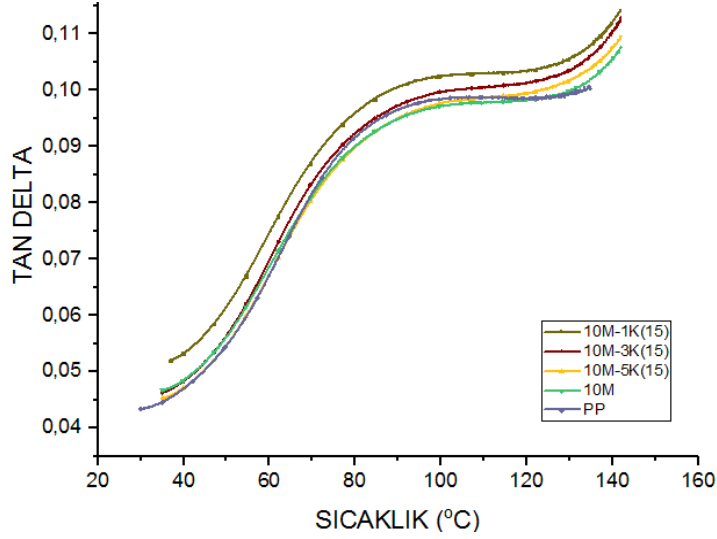
Yüksek alıkoyma süresine sahip bu kompozitin yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mekanik dayanımına sahip olacağı söylenebilir. Şekil 5.22’de mermer tozu/PP kompozitlerin tan delta eğrileri verilmiştir. Tan delta; dolgu malzemesi ve matris arasındaki arayüzeysel özellikler ile ilgilidir. Eğer partikül dolgulu polimer malzemeye bir gerilim uygulanırsa, polimer matris malzemedeki, dolgu ve matris malzemesi arasında bir enerji dağılımı gerçekleşir[59].

Göreceli olarak daha güçlü bir arayüzey daha az enerji dağılımını sağlar ve daha düşük bir tan deltada gerçekleşir [60,59]. Mermer tozu/PP kompozitlerin Tan delta pik yüksekliğinde çok az bir değişim gözlemlenmiştir. Mermer tozu/PP kompozitleri arasında 10M kompoziti en düşük Tan delta pik yüksekliğine sahiptir.



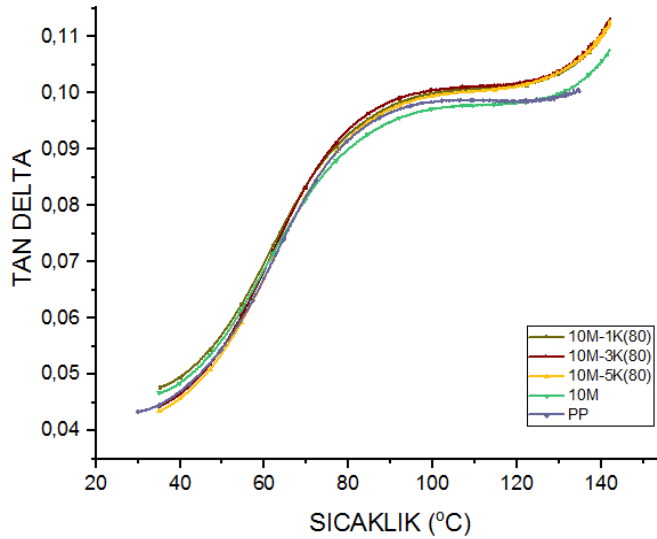
**Şekil 5.22:**Mermer Tozu/PP kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak Tan Delta değişimi.

Şekil 5.23’de mermer tozu/kaolin (15)/PP kompozitlerin tan delta eğrileri verilmiştir. Mermer tozu/kaolin (15)/PP kompozitlerin Tan delta pik yükseklikleri incelendiğinde 10M-1K(15) en yüksek pike sahiptir. 10 M ve 10M-5K(15) PP’den daha düşük Tan delta pik yüksekliğine sahip olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.23:**Mermer Tozu/Kaolin(15)/PP kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak Tan Delta değişimi.

Şekil 5.24’de mermer tozu/kaolin (80)/PP kompozitlerin tan delta eğrileri verilmiştir. Mermer tozu/kaolin (80)/PP kompozitlerin Tan delta pik yükseklikleri incelendiğinde, 10M kompozitinPP’nin ve mermer tozu/kaolin (80)/PP kompozitlerin tan delta eğrilerinin pik yüksekliklerinden daha düşük Tan delta pik yüksekliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Mermer tozu/kaolin (80)/PP kompozitlerinTan delta pik yüksekliklikleri birbirine yakın ve PP’den biraz daha yüksektir.

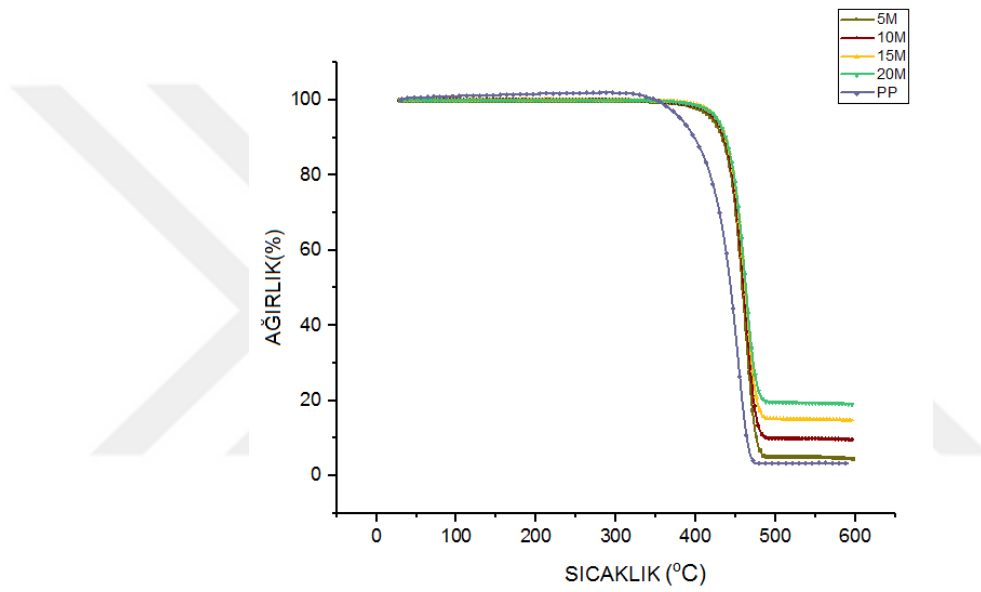


**Şekil 5.24:**Mermer Tozu/Kaolin(80)/PP kompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak Tan Delta değişimi.

#### 5.4. Termogravimetrik Analizi (TGA)

PP ve PP matrisli kompozitlerin termal bozunma davranışlarını belirlemek için TGA analizleri yapılmıştır. Şekil 5.25’de PP ve mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin termal bozunma grafikleri görülmektedir. Ayrıca, Tablo 5.5’de PP ve mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin bozunma başlama sıcaklığı (°C), bozunma bitiş sıcaklığı (°C), maksimum bozunma sıcaklığı (°C), ve (%) bozunma miktarı verilmiştir.

Şekil 5.25’den mermer tozu/PP kompozitlerin termal bozunma eğrileri incelendiğinde, PP’nin ve kompozitlerin tek aşamada bozulduğu görülmektedir.



Şekil 5.25: PP ve Mermer Tozu/PP kompozitlerin TG eğrileri.

Tablo 5.5’den PP içerisine katılan mermer tozu ile birlikte PP’nin bozunma başlama sıcaklığının arttığı görülebilir. PP’nin bozunma başlama sıcaklığı %5, %10, %15 ve %20 mermer tozu ilavesi ile 381.34°C’den sırasıyla, 420.48°C, 424.43°C, 427.18°C ve 426.36°C’ye arttığı görülmüştür. %5 mermer tozunun PP’nin içerisine katılmasıyla bozunma başlama sıcaklığında yaklaşık 39.1 °C artmıştır. Bununla birlikte, en yüksek bozunma başlama sıcaklığı 15 M kompozitinde incelenmiştir.

%5, %10, %15 ve %20 mermer tozunun PP matris yapı içerisine katılması ile PP’nin maksimum bozunma başlama sıcaklığının 443.91°C’den sırasıyla, 458.50°C, 460.15°C, 462.05°C ve 462.95°C’ye arttığı görülmüştür. %5 mermer tozu dolgulu PP’nin (5M) maksimum bozunma sıcaklığının yaklaşık olarak 14.59°C arttığı

bulunmuştur. Bununla birlikte, en yüksek maksimum bozunma sıcaklığı 20M kompozitinde tespit edilmiştir. Maksimum bozunma sıcaklığının artması PP'nin termal stabilitesinin arttığını göstermektedir.

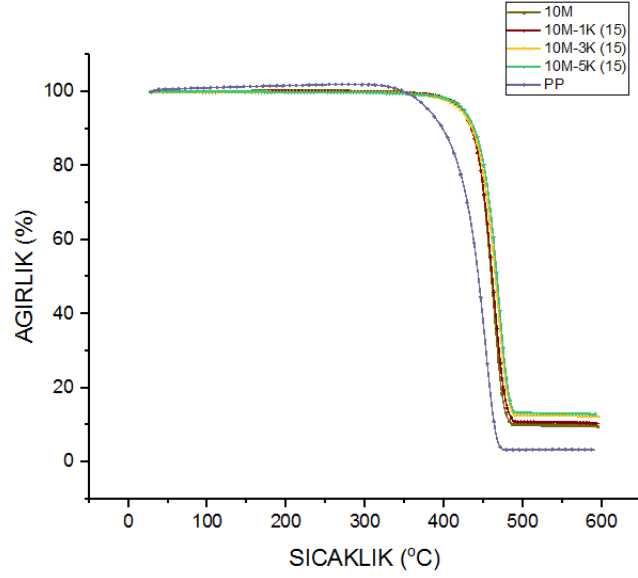
Tablo 5.5'de PP ve mermer tozu/PP kompozitlerin 600 °C'ye kadar % bozunma miktarı incelendiğinde, PP'nin % bozunma miktarının mermer tozu ilavesi ile azaldığı görülmektedir.

**Tablo 5.5:**Mermer/Kaolin(15)-PP Etkileşimi Bozunma Yüzdeleri ve Sıcaklıkları.

Numune Adı	Bozunma Başlama Sıcaklığı(°C)	Bozunma Bitiş Sıcaklığı(°C)	Maksimum Bozunma Sıcaklığı(°C)	Yüzde % Bozunma Miktarı
PP	381.34	477.53	443.91	96.83%
10M	424.43	596.01	460.15	90.42%
10M1K(15)	423.30	595.90	461.51	89.52%
10M3K(15)	421.82	596.11	465.49	87.60%
10M5K(15)	425.42	595.80	467.48	85.15%

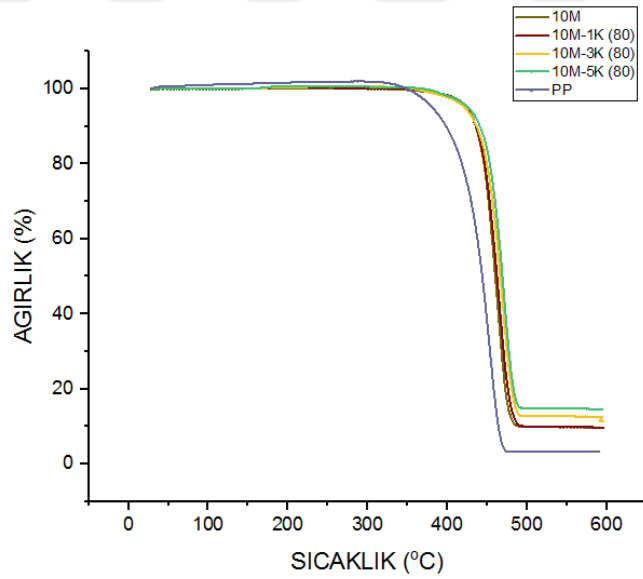
PP ve mermer tozu/PP kompozitlerin TGA verileri Tablo 5.5'de özetlenmiştir Mermer tozu/PP kompozitlerine kaolin(15) eklenmesi sonucunda oluşan PP ve 10M, 10M-1K(15), 10M-3K(15), 10M-5K(15) bozunma başlama sıcaklıkları sırasıyla 381.34°C, 424.43°C, 423.30°C, 421.82°C ve 425.42°C'dir. Burada kaolin(15) malzemesinin 10M-K hibrit kompozitlerde kullanılmasının bozunma başlama sıcaklığında çok büyük bir değişime sebep olmadığı anlaşılmaktadır.

PP ve 10M, 10M-1K(15), 10M-3K(15), 10M-5K(15) kompozitlerinin maksimum bozunma sıcaklıkları sırasıyla 443.91°C, 460.15°C, 461.51°C, 465.49°C, 467.48°C'dir. K-(15) malzemesinin 10M kompoziti ile oluşturmuş olduğu hibrit kompozitlerin kaolin oranının artırılması ile birlikte arttığı görülmüştür.10M kompozitinden 10M-5K(15) kompozitine doğru entalpi sıcaklık değişimi 7.33 °C'dir. En yüksek bozunma başlama sıcaklığı 10M-5K(15) kompozitinde incelenmiştir.



**Şekil 5.26:**PP ve Mermer Tozu/Kaolin15/PP kompozitlerin TG eğrileri.

Şekil 5.27'den mermer tozu/kaolin(80)/PP kompozitlerin termal bozunma eğrileri incelendiğinde, PP'nin ve kompozitlerin tek aşamada bozulduğu görülmektedir.



**Şekil 5.27:**PP ve Mermer Tozu/Kaolin80/PP kompozitlerin TG eğrileri.

Şekil 5.27'den PP içerisine katılan mermer tozu/kaolin(80)/PP'nin bozunma başlama sıcaklığının arttığı görülebilir. Tablo 5.6'da PP'nin bozunma başlama sıcaklığı PP ,10M ve %1, %3, %5 kaolin ilavesi ile 381.34°C'den sırasıyla, 420.48°C, 424.43°C, 427.18°C ve 426.36°C'ye arttığı görülmüştür. %5 mermer tozunun PP'nin içerisine

katılmasıyla bozunma başlama sıcaklığında yaklaşık 39.1°C artmıştır. Bununla birlikte, en yüksek bozunma başlama sıcaklığı 15M kompozitinde incelenmiştir.

**Tablo 5.6:**Mermer Tozu-PP kompozitler için TGA verileri.

Numune Adı	Bozunma Başlama Sıcaklığı(°C)	Bozunma Bitiş Sıcaklığı(°C)	Maksimum Bozunma Sıcaklığı(°C)	Bozunma Miktarı (%)
PP	381.34	477.53	443.91	96.83%
5M	420.48	596.43	458.50	95.38%
10M	424.43	596.01	460.15	90.42%
15M	427.18	596.44	462.05	85.31%
20M	426.36	595.11	462.95	80.77%

%5, %10, %15 ve %20 mermer tozunun PP matris yapı içerisine katılması ile PP'nin maksimum bozunma başlama sıcaklığının 443.91°C'den sırasıyla, 458.50°C, 460.15°C, 462.05°C ve 462.95°C'ye arttığı görülmüştür. %5 mermer tozu dolgulu PP'nin (5M) maksimum bozunma sıcaklığının yaklaşık olarak 14.59°C arttığı bulunmuştur. Bununla birlikte, en yüksek maksimum bozunma sıcaklığı 20M kompozitinde tespit edilmiştir. Maksimum bozunma sıcaklığının artması PP'nin termal stabilitesinin arttığını göstermektedir.

**Tablo 5.7:**Mermer/Kaolin(80)-PP Etkileşimi Bozunma Yüzdeleri ve Sıcaklıkları.

Numune Adı	Bozunma Başlama Sıcaklığı(°C)	Bozunma Bitiş Sıcaklığı(°C)	Maksimum Bozunma Sıcaklığı(°C)	Yüzde % Bozunma Miktarı
PP	381.34	477.53	443.91	96.83%
10M	424.43	596.01	460.15	90.42%
10M1K(80)	423.96	595.37	462.65	90.21%
10M3K(80)	421.93	596.44	466.69	88.50%
10M5K(80)	426.46	593.77	469.32	85.49%

### 5.5.Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

Saf PP, mermer tozu/PP ve mermer tozu/kaolin/PP kompozitlerin DSC eğrileri Şekil 5.28, 5.29, 5.30'da gösterilmiştir. Ayrıca; PP ve kompozitlerinin erime sıcaklığı, kristalizasyon sıcaklığı, erime entalpisi, kristalizasyon entalpisi, kristalite derecesi Tablo 5.7'de verilmiştir. PP ve kompozitlerinin kristalite derecesi aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.



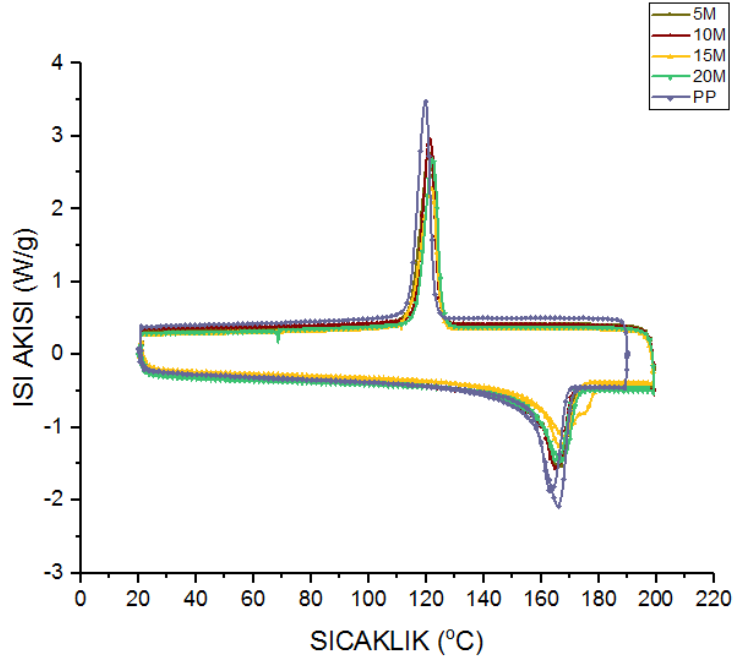
$$X_c(\%) = \frac{\Delta H_m / \phi_{pp}}{\Delta H^{\circ m}} \times 100 \quad (1)$$

Burada  $\Delta H^{\circ m} = \%100$  kristal PP'nin erime entalpisi. Buradaki kristalite derecesi hesaplamasında  $\%100$  kristal PP'nin erime entalpisi 209 J/g alınmıştır[56].

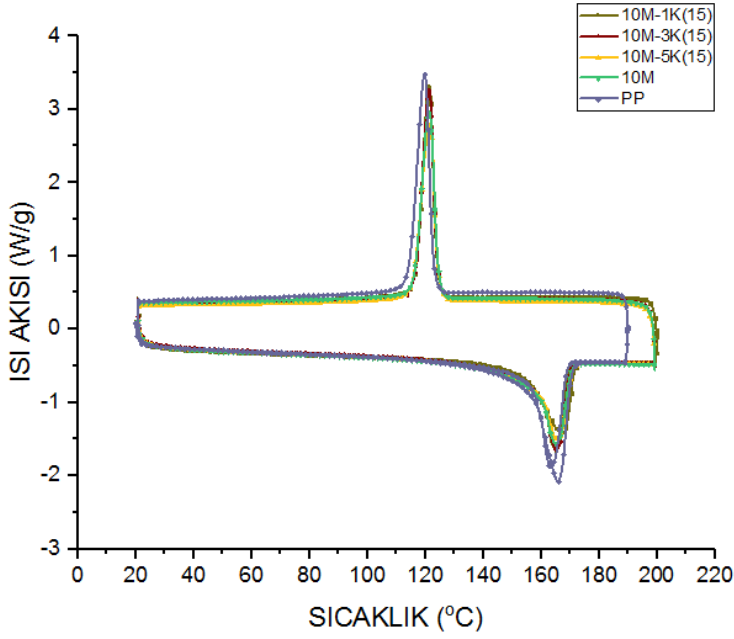
$\phi_{PP}$ =Kompozitteki PP'nin ağırlıkça yüzdesi Tablo 5.8'den görüldüğü üzere PP'nin erime sıcaklığı PP içerisine mermer tozu ve kaolin eklenmesinden sonra çok az değişim göstermiştir. Buradan PP'nin Kristal boyutunun mermer tozu ve kaolin ile önemli miktarda değişmediği söylenebilir. Ayrıca (Tablo 5.8) incelendiğinde mermer tozu dolgululu PP kompozitlerin kristalizasyon sıcaklığının yaklaşık olarak 2 ile 5°C arasında arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, mermer tozu/kaolin/PP hibrit kompozitlerde kristalizasyon sıcaklığının 10M kompoziti ile karşılaştırıldığında yaklaşık 2°C azaldığı tespit edilmiştir. PP'nin  $X_c$ 'si  $\%37.90$  olarak hesaplanmıştır. PP içerisine mermer tozu katılmasıyla birlikte mermer tozu dolgululu PP kompozitlerin  $X_c$ 'sinin artmıştır. Mermer tozu/PP kompozitler arasında en yüksek  $X_c$ 'nin 10M kompozitinde olduğu görülmektedir. 10M kompoziti içerisine kaolin ilavesiyle birlikte hibrit kompozitlerin  $X_c$ 'si genel olarak azalmıştır.

**Tablo 5.8:**PP ve kompozitlerin DSC verileri.

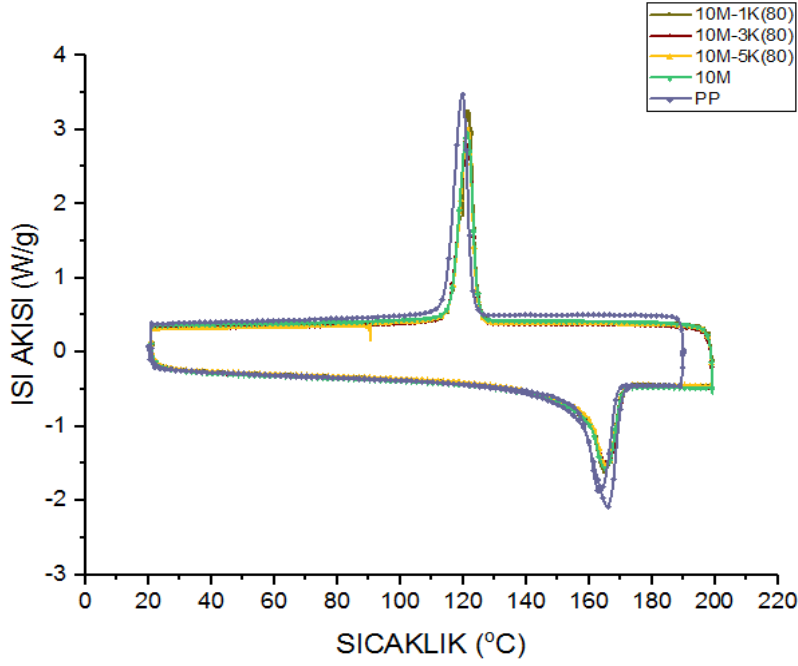
Malzeme Adı	T <sub>m</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>c</sub> (j/g)	ΔH <sub>m</sub> (j/g)	X <sub>c</sub> (%)
PP	167.72	118.34	82.70	79.23	37.90
5M	165.74	121.16	96.66	85.21	42.92
10M	165.51	123.12	93.81	84.96	45.17
15M	166.57	121.84	88.63	79.03	44.48
20M	165.48	122.09	86.10	71.82	42.95
10M-1K-15	165.12	121.39	87.20	79.97	42.99
10M-3K-15	165.44	121.40	90.48	82.30	45.27
10M-5K-15	165.37	121.58	89.10	76.97	43.33
10M-1K-80	165.09	121.58	91.46	84.04	45.18
10M-3K-80	165.68	121.54	87.95	79.17	43.55
10M-5K-80	165.31	121.36	87.11	77.37	43.56



Şekil 5.28:Mermer Tozu/PP kompozitlerin DSC eğrileri.



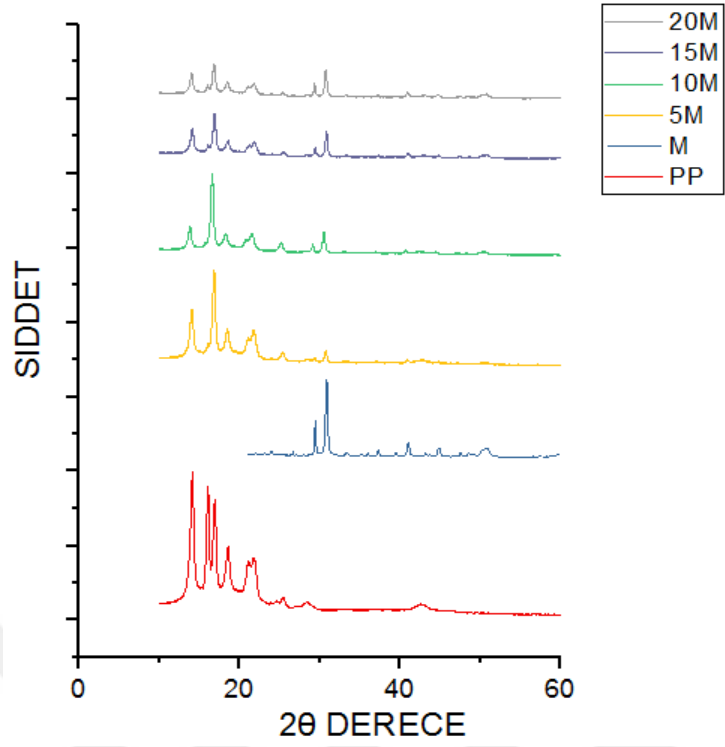
Şekil 5.29:Mermer Tozu/Kaolin15/PP kompozitlerin DSC eğrileri.



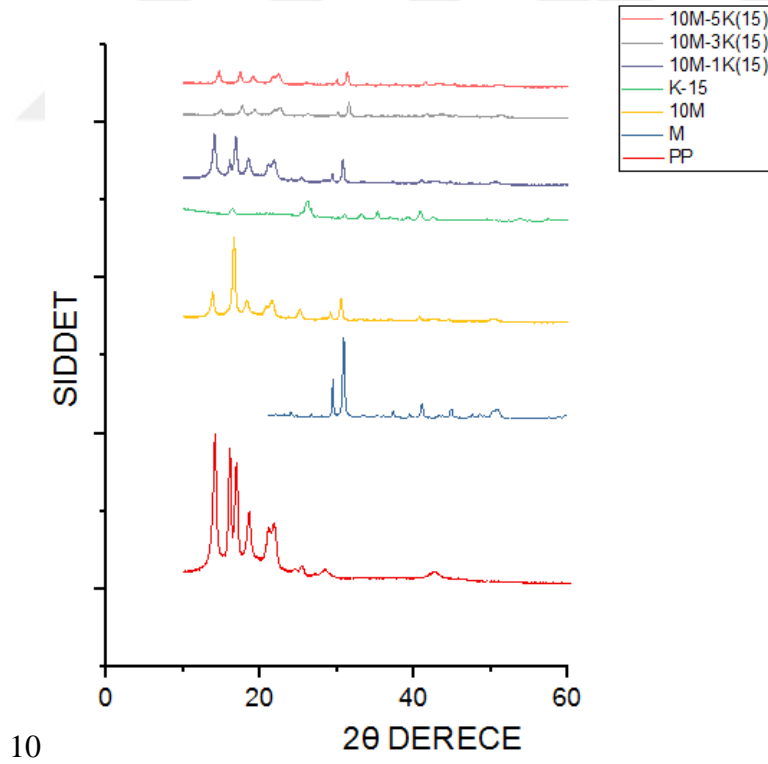
Şekil 5.30:Mermer Tozu/Kaolin80/PP kompozitlerin DSC eğrileri.

#### 5.6.X Işını Difraktometresi (XRD) Analizi

PP, mermer tozu, kaolin, mermer tozu/PP ve mermer tozu/kaolin/PP kompozitlerin XRD grafikleri Şekil 5.31-5.33'de verilmiştir. Şekil 5.31'da PP'nin karakteristik difraksiyon pikleri görülmektedir. Bu pikler  $14.1^\circ$ ,  $16.1^\circ$ ,  $16.9^\circ$ ,  $18.6^\circ$ ,  $21.2^\circ$  ve  $21.8^\circ$ 'de belirlenmiştir. Favaro ve arkadaşları [61], yaptıkları çalışmada PP'nin karakteristik piklerini incelemiştir. PP'nin içerisine mermer tozu katıldığında mermere ait karakteristik bir pikin  $29.4^\circ$ 'de [62]ve kuvarsa ait bir karakteristik pikin  $26.7^\circ$ 'de [63]oluştugu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'den PP'nin içerisine mermer tozu eklenmesiyle PP'nin karakteristik piklerinin şiddetinin PP'nin içerisine katılan mermer tozu oranının artmasıyla birlikte azaldığı tespit edilmiştir. PP içerisine %20 oranında mermer tozu katıldığında PP'nin karakteristik piklerinin şiddetinin en az olduğu ve mermer tozuna ait karakteristik piklerin en yüksek olduğu görülmektedir.

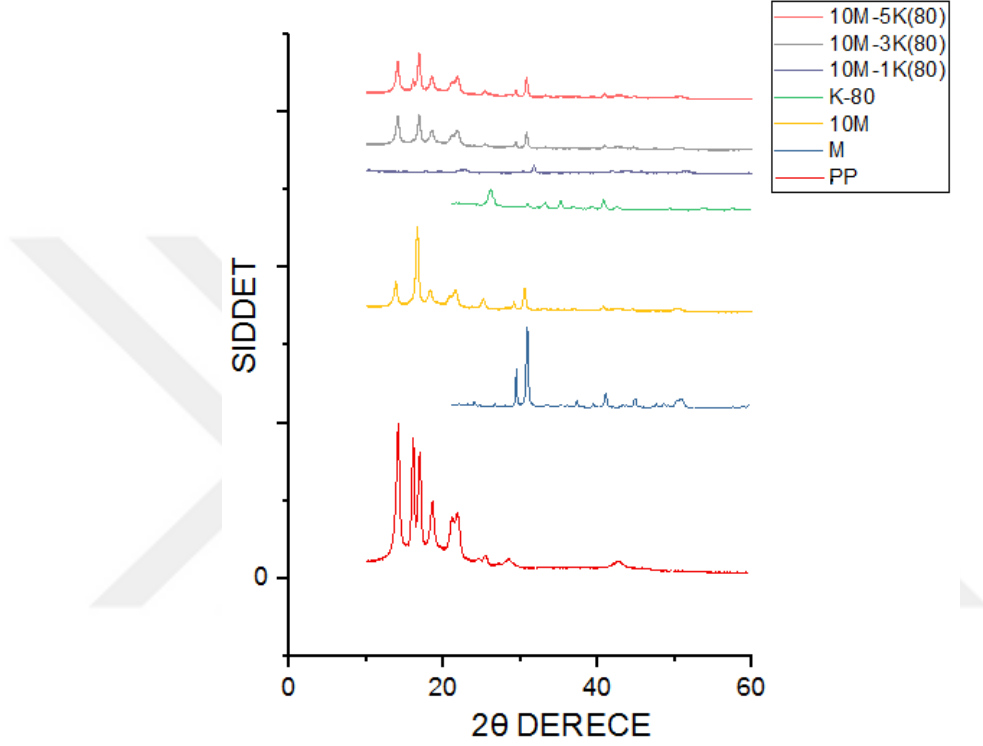


Şekil 5.31:PP, Mermer Tozu ve üretilen tüm kompozitlerin XRD grafiği.



Şekil 5.32:PP, Mermer Tozu, Kaolin15/PP kompozitlerin XRD grafiği.

PP'nin içerisine mermer tozu ve kaolin katıldığında yaklaşık  $29.4^\circ$ 'de mermere ait karakteristik pikin ve yaklaşık  $26.7^\circ$ 'de kuvarsa ait bir karakteristik pikin olduğu görülmüştür. Ancak kaoline ait karakteristik pikler net olarak görülmemiştir[62 - 64]. Bununla birlikte, kaolin15 ve kaolin80 içeren her iki hibrit kompozitlerde, 10M içerisine kaolin eklenmesiyle PP'nin karakteristik pik şiddetlerinde azalma belirlenmiştir.

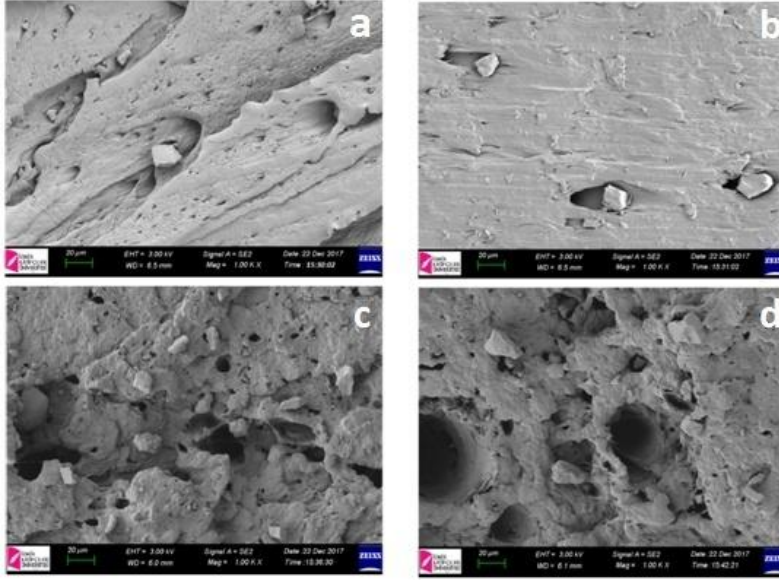


Şekil 5.33:PP, Mermer Tozu ,Kaolin80/PP hibrit kompozitlerin XRD grafiği.

## 5.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

### 5.7.1. 5M,10M,15M,20M Kompozit malzemesi sem analizi görüntülemeleri

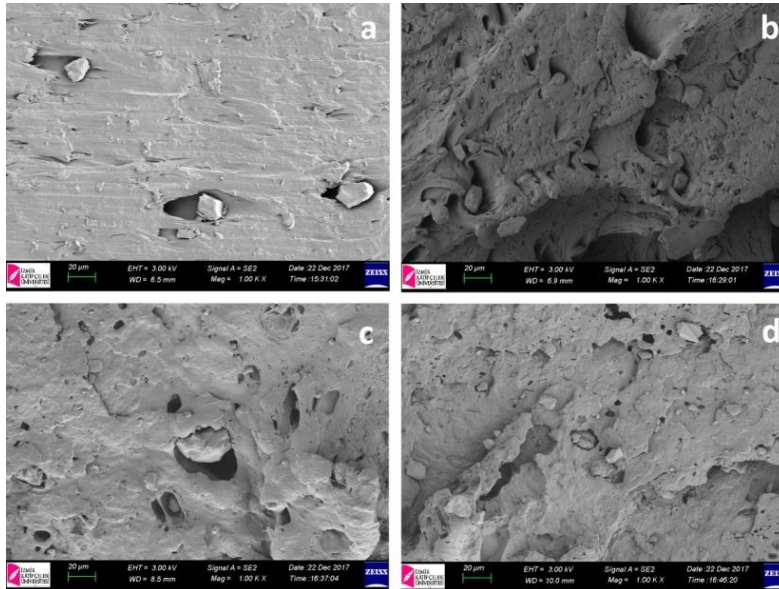
Şekil 5.34'de mermer tozu/PP kompozitlerin çekme testi sonrasındaki kırılma yüzeylerinden çekilmiş olan, SEM resimleri görülmektedir. Şekil 5.34 a ve b' de partiküllerin yerinden çekilmesi (pull out) az iken c ve d'de partiküllerin çok fazla miktarda yerinden çekildiği (pull out olduğu), tespit edilmiştir. Bunun nedeni PP içerisine katılan mermer tozu miktarının artmasıyla mermer tozu ve PP arasındaki arayüzey etkileşiminin azalmasının olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.34:a) 5M, b) 10M, c) 15M, d) 20M numunelerin SEM görüntüleri.

### 5.7.2. 10M-1K-3K-5K (15) Kompozit malzemesi sem analizi görüntülemeleri

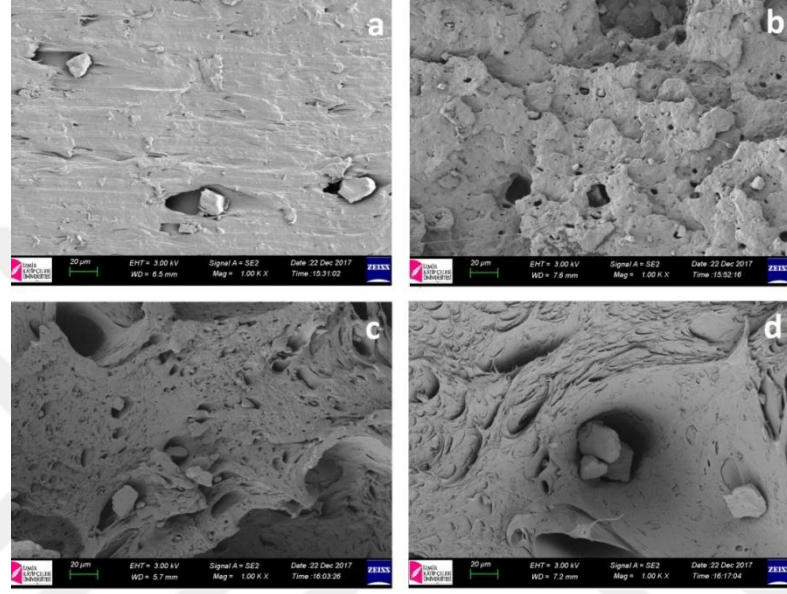
Şekil 5.35’de mermer tozu/kaolin/PP hibrit kompozitlerin çekme testi sonrasındaki kırılma yüzeylerinden çekilmiş olan, SEM resimleri görülmektedir. Şekil 5.35’ de PP içerisine katılan mermer tozu ve kaolin partiküllerinin genel olarak topaklanmadığı ve çok fazla miktarda partiküllerin yerinden çekilmesi (pull out) olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 5.35:a) 10M, b) 10M-1K(15), c) 10M-3K(15), d) 10M-5K(15) numunelerin SEM görüntüleri.

### 5.7.3. 10M-1K-3K-5K (80) Kompozit malzemesi sem analizi görüntülemeleri

Şekil 5.36’de mermer tozu/kaolin(80)/PP hibrit kompozitlerin çekme testi sonrasındaki kırılma yüzeylerinden çekilmiş olan, SEM resimleri görülmektedir. Şekil 5.36’ de PP içerisine kaolin(80) katılması ile mermer tozu ve kaolin partiküllerin daha fazla yerinden çıktığı (pull out) tespit edilmiştir. Şekil 5.36 c ve d’de partiküllerin daha fazla yerinden çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.36:a)10M, b) 10M-1K(80), c)10M-3K(80), d)10M-5K(80) numunelerinin SEM görüntüleri.





## 6. SONUÇLAR

Mermer tozu ve kaolin mineralleri dolgulu PP matrisli imal edilen kompozit malzemelerin laboratuvar test analiz sonuçları incelenmiştir. PP'nin çekme dayanımı 33.42 MPa'dır. PP içerisine ağırlıkça % 5 mermer tozu ilave edildiğinde PP'nin çekme dayanımında azalma meydana gelmiştir. PP içerisine katılan mermer tozu oranı %10' a çıkarıldığında çekme dayanımında artış olmuştur. Mermer tozu/PP kompozitler arasında en yüksek çekme dayanımı PP içerisine %10 mermer tozu ilave edildiğinde (10 M kompozitinde) gerçekleşmiştir. 10M kompoziti içerisine %1 oranında kaolin(15) ilave edildiğinde, çekme dayanımında bir miktar artış görülmüştür. 10M-1K(15) kompozitin çekme dayanımı 31.82 MPa'dır. K-(80) ile üretilen hibrit kompozitler arasında en yüksek çekme dayanımına sahip kompozit 10M-1K(80) kompozitidir. 10M içerisine %1'den daha fazla kaolin(80) ilave edildiğinde, kompozitin çekme dayanımında 10M-1K(80) 'in çekme dayanımına göre azalma belirlenmiştir.

K-(15) katkılı hibrit kompozitler arasında en yüksek çekme dayanımına sahip kompozit 10M-1K(15) kompozitidir. PP'nin çekme dayanımı artan mermer tozu konsantrasyonu ile birlikte azalmaktadır. Kompozitin çekme dayanımında ki azalmanın nedeni dolgu maddesinin matris ile yeterli ıslatılamaması, dolgu maddelerinin yetersiz dağılımı, aglomeraların varlığı ve dolgu maddesi ile matris arasında zayıf yapışma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

PP'nin elastisite modülü 921.22 MPa 'dır. PP içerisine %5 mermer tozu katılmasıyla birlikte elastisite modülünde artış gerçekleşmiştir. PP içerisine katılan mermer tozu oranı arttıkça elastisite modülünde artış devam etmiştir. Buna karşılık, PP matrisi içerisine mermer tozu ilave edilmesiyle birlikte kompozit malzemelerin eğilme dayanımında azalma tespit edilmiştir. 10M kompozitinin içerisine %1 oranında K-(15) eklenmesiyle 10M-1K(15) kompozitinin eğilme dayanımında düşüş izlenmiştir, fakat kaolin oranının %1'den daha yüksek oranlara arttırılmasıyla 10M-3K(15) ve

10M-5K(15) kompozitlerin eğilme dayanımında artış gözlemlenmiştir. Mermer tozu ve K-(80) katkılı hibrit kompozitler arasında en yüksek eğilme dayanımı 10M-5K(80) kompozitinde görülmüştür..

PP içerisine katılan mermer tozu oranı %10 arttırıldığında kompozitin eğilme modülünde artış gözlemlenmiştir. %10'dan daha fazla mermer tozu/PP matrisi içerisine katıldığında eğilme modülündeki artış devam etmiştir. Kompozitler arasında en yüksek eğilme modülü 20M kompozitinde görülmüştür. K-(80) ilaveli hibrit kompozitler arasında en yüksek eğilme modülü 10M-5K(80) kompozitinde incelenmiştir.

5M, 10M, 15M ve 20M kompozitlerin depolama modülündeki artışlar (PP' e göre) sırasıyla %3.05, %10.85, %18.55 ve %19.24 olarak bulunmuştur. Tüm sıcaklık aralığında, mermer tozu/kaolin15 dolgulu PP hibrit kompozitlerin depolama modülü değerleri PP'nin depolama modülünden daha yüksektir. K-(15) ilaveli hibrit kompozitler arasında en yüksek depolama modülü 10M-5K (15) kompozitinde incelenmiştir. 10M-1K(15), 10M-3K (15) ve 10M kompozitin depolama modülleri tüm sıcaklık aralığında birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. PP, 10M, 10M-1K (15), 10M-3K (15) ve 10M-5K (15) kompozitlerin depolama modülü değerleri sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır.

10M kompoziti içerisine ağırlıkça %1 ve %3 oranında kaolin 15 katıldığında kompozitin kayıp modülündeki genel olarak çok az değişim görülmüştür. K-(15) katkılı hibrit kompozitler arasında, 10M-5K (15) kompozitin kayıp modülü en yüksek değere sahiptir. Mermer tozu/PP kompozitlerin Tan delta pik yüksekliğinde çok az bir değişim gözlemlenmiştir. Mermer tozu/PP kompozitler arasında 10M kompoziti en düşük Tan delta pik yüksekliğine sahiptir.

PP'nin bozunma başlama sıcaklığı %5, %10, %15 ve %20 mermer tozu ilavesi ile 381.34°C'den sırasıyla, 420.48°C, 424.43°C, 427.18°C ve 426.36°C'ye arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, en yüksek bozunma başlama sıcaklığı 15M kompozitinde incelenmiştir. Mermer tozu/PP kompozitlerine kaolin(15) eklenmesi sonucunda oluşan PP ve 10M, 10M-1K(15), 10M-3K(15), 10M-5K(15) bozunma başlama sıcaklıkları sırasıyla 381.34°C,424.43°C,423.30°C,421.82°C ve 425.42°C'dir. Burada kaolin(15) malzemesinin 10M-K hibrit kompozitlerde

kullanılmasının bozunma başlama sıcaklığında çok büyük bir değişime sebep olmadığı anlaşılmaktadır.

PP ve 10M, 10M-1K(15), 10M-3K(15), 10M-5K(15) kompozitlerinin maksimum bozunma sıcaklıkları sırasıyla 443.91°C, 460.15°C, 461.51°C, 465.49°C, 467.48°C'dir. K-(15) malzemesinin 10M kompoziti ile oluşturmuş olduğu hibrit kompozitlerin kaolin oranının artırılması ile birlikte arttığı görülmüştür.

Mermer tozu dolgulu PP kompozitlerin kristalizasyon sıcaklığının yaklaşık olarak 2 ile 5°C arasında arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, mermer tozu/kaolin/PP hibrit kompozitlerde kristalizasyon sıcaklığının 10M kompoziti ile karşılaştırıldığında yaklaşık 2°C azaldığı tespit edilmiştir.

PP'nin içerisine mermer tozu ve kaolin katıldığında yaklaşık 29.4°'de mermere ait karakteristik pikin ve yaklaşık 26.7°'de kuvarsa ait bir karakteristik pikin oluştuğu görülmüştür. Ancak kaoline ait karakteristik pikler görülmemiştir.



## REFERANSLAR

- [1] Ralph, B., Yuen, H. C., Lee, W. B.(1997). The processing of metal matrix composites - an overview.*Journal of Materials Processing Technology*, 63(1-3), 339-353.
- [2] Şahin, Y. (2006). *Kompozit malzemelere giriş*. Ankara:Gazi Kitabevi.
- [3] Kissel, W., J., Han, J. H., Meyer, J. A.(2003). *Handbook of polypropylene and polypropylene composites*. New York:Marcel Dekker Inc.
- [4] Metin, D., (2002). Interfacial enhancement of polypropylene-zeolite composites (Yüksek lisans tezi). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- [5] Türkmen, M., Kayahan, E., Candan, L., Cansun, A., Serçin B.(2017).Cam elyaf takviyeli polimerik kompozit malzemelerde lazerli kesme ve delme parametrelerinin belirlenmesi.5. *Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Çalıştayları*,2-4 Kasım.
- [6]İpek, H., Çuvalcı, H., Eryılmaz E., Şahin A. (2013). Poliamid esaslı kompozitlerde karbon fiber oranının mekanik özelliklere etkisi.2. *Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 7-9 Kasım.
- [7] Yaman, N., Öktem, T., Seventekin N.(2006).Karbon liflerinin üretimi, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(3),164-173.
- [8] Rimdusit, S., Lorjia, P., Sujirote, K., Tiptipakor, S. (2012). Physical and Mechanical characteristics of kevlar fiber-reinforced PC/ABS composites.*Engineering Journal*, 16(1),57-66.
- [9] Tanner,D., Dhingra,A.K.,Pigliacampi,J.J. (1986). Aramid fiber composites for general engineering.*Journal of Metals*, 36(3),21-25.
- [10] Kavaklı, M., (2003).Mermer işleme tesisleri proses atık sularının özellikleri, arıtılması ve kontrolü. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*,18-19 Aralık, Afyon, 313-326.
- [11] Terzi, S., Kardeşahin, M.,(2003).Mermer toz atıklarının asfalt betonunda filler olarak kullanımının araştırılması.*Teknik Dergi*, 193, 2903-2922,
- [12] Ersoy, B.,(2003). Mermer işleme tesisi su arıtımında kullanılan flokülantların tanıtımı.*Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*,18-19 Aralık, Afyon, 449-462.
- [13] Ünal, O., Kibici, Y., (2001). Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması.*Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 3-5 Mayıs, Afyon,317-325
- [14] Kavas, T., Kibici, Y., (2001).Afyon bölgesi mermer atıklarının portland kompoze çimentosu üretiminde katkı maddesi olarak kullanım olanakları.*Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, Afyon,327-335

- [15] Demir, G., Başpınar, M.S.(2003). Mermer tozu artıklarının (havuz çökeltisi) hafif yapı blokları üretiminde kullanılması.*Türkiye 4. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, Afyon,213-220.
- [16] Akbulut, H., Gürer, C.(2006).Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi.*İMO Teknik Dergisi*, 261, 3943-3960.
- [17] Zorluer, İ., Usta, M. (2003). Zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi.*Türkiye 4. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, Afyon,305-311.
- [18] Erkan, Z.E., Sabah, E., Çelik, M.Y.(2004). Mermer işleme tesisi artıklarının kağıt dolgu maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Türkiye 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 13-14 Mayıs, İzmir,233-240.
- [19] Kavas, T., Evcin, A., Önce, G.(2003). Afyon bölgesi mermer atıklarının (şlam) kalsiyum alüminalı refrakter çimento üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliğinin araştırılması.*Türkiye 4. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, Afyon,363-370.
- [20] Demirdag, S.(2009). The effect of using different polymer and cement based materials in pore filling applications on technical parameters of travertine stone.*Construction and Building Materials*, 23(1), 522–530
- [21] Manoudis, P.N., Tsakalof, A., Karapanagiotis, I., Zuburtikudis, I., Panayiotou, C.(2009). Fabrication of super-hydrophobic surfaces for enhanced stone protection.*Surface and Coatings Technology*,203(10-11), 1322-1328.
- [22] Morote-Martinez, V., Pascual-Sanchez, V., Martin-Martinez, J.M. (2008). Improvement in mechanical and structural integrity of natural stone by applying unsaturated polyester resin-nanosilica hybrid thin coating.*European Polymer Journal*, 44(10), 3146–3155
- [23] Lee, M. Y., Ko, C. H., Chang, F. C., Lo, S. L., Lin, J. D., Ming-Yang Shan, M. Y., Lee, J. C. (2008). Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction.*Cement and Concrete Composites*, 30, 583–587
- [24] Terzi, S., Karaşahin M. (2003). Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanımı, *İMO Teknik Dergi*, 193, 2903-2922
- [25] Hristova, J., Valeva, V., Ivanov, J.(2002).Aging and filler effectson the creep model parameters of thermoset composites.*Composites Science and Technology*,62(7), 1097-1103.
- [26] Wang, L., Wang, K., Chen, L., Zhnag, Y., He, C.(2006). Preparation, morphology andthermal/mechanical properties of epoxy/nanoclay composite.*Composites Part A Applied Science and Manufacturing*,37(11), 1890-1896.
- [27] Hussain, F., Chen, J. ve Hojjati, M.(2007). Epoxy-silicate nanocomposites: curemonitoring and characterization.*Materials Science and Engineering A*, 445,467-476.
- [28] Onal, O., and Adanur, S. (2002). Effect of stacking sequence on the mechanical properties of glass–carbon hybrid composites before and after impact.*Journal of Industrial Textiles*, 31(4), 255-271.
- [29] Hosur, M.V., Karim, M.R., and Jeelani, S. (2003). Experimental investigations on the response of stitched/unstitched woven S2-glass/SC15 epoxy composites under single and repeated low velocity impact loading. *Composite Structures*, 61(1), 89–102.

- [30] Sugun, B.S., and Rao, R.M.V.G.K.(2004). Low-velocity impact characterization of glass, carbon and kevlar composites using repeated drop tests. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23(15), 1583–1599.
- [31] Larsson F., Svensson L. (2002). Carbon, polyethylene and PBO hybrid fibre composite for structural lighthweight armour. *Composites Part A*, 33, 221-231.
- [32] Lee, Y. S., Kang, K. H., Park, O. (1997). Response of hybrid laminated composite plates under low-velocity impact. *Computers & Structures*, 65 (6), 965-974.
- [33] Caprino, G., Spataro, G., Luongo, S.D. (2004). Low-velocity impact behaviour of fibreglass–aluminium laminates. *Composites Part A*, 35, 605-616.
- [34] Hosur, M.V., Abdullah, M., Jeelani, S. (2004). Manufacturing and low-velocity impact characterization of hollow integrated core sandwich composites with hybrid face sheets. *Composite Structures*, 65, 103–115.
- [35] DeLuca, E., Prifti, J., Betheney, W., and Chou, S.C. (1998). Ballistic impact damage of S-2 glass reinforced plastic structural armor. *Composites Science and Technology*, 58(9), 1453-1461
- [36] Caprino, G., Lopresto, V., Scarponi, C., Briotti, G. (1999). Influence of material thickness on the response of carbon-fabric/epoxy panels to low velocity impact. *Composites Science and Technology*, 59(15), 2279-2286.
- [37] Naik, N.K., Sekher, Y.C., Meduri, S. (2000). Damage in woven-fabric composites subjected to low-velocity impact. *Composites Science and Technology*, 60(5), 731- 744.
- [38] Hosur, M.V., Abdullah, M., Jeelani, S. (2005). Studies on the low-velocity impact response of woven hybrid composites. *Composite Structures*, 67(3), 253–262.
- [39] Park, R., Jang, J. (2000).Effect of stacking sequence on the compressive performance of impacted aramid fiber-glass fiber hybrid composite. *Polymer Composites*, 21(2), 231-237.
- [40]Onat, A. (2015).Kompozit malzemeler ders notu,*Sakarya Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü*,2-5.
- [41] Şahin, Y.(2000). *Kompozit malzemelere giriş*.Ankara:Gazi Kitabevi.
- [42] Thomas, S., Joseph, K., Malhotra, S. K., Goda, K., & Sreekala, M. S. (Eds.). (2012).*Polymer Composites, Macro-and Microcomposites*, (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- [43]Kickelbick, G.(2007).*Hybrid materials: Synthesis, characterization and applications*. Weinheim:Wiley-VCH.
- [44]Uysal Ö., Akçakoca, H.,Topal İ.(2003).Bazı doğal taşların tekno-mekanik özelliklerine uygun kullanım alanlarının belirlenmesi.*Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, Afyon, 343-351.
- [45]Öztank, N., Bacakoglu, F.(2001).Mermer - kireçtaşı ve konglomeraların yapılarda kullanımını denetleyen parametreler.*III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 3-5 Mayıs, Afyon,123-131.
- [46] TSE 861
- [47] Köse, H., Kahraman, B.(1999).*Kaya mekaniği*.İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- [48] Ediz, İ., G.(2002).Mermer ve taş ocağı işletmeciliği ders notları, *Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi*.

- [49] Uysal, Ö., Akçakoca, H., Topal, İ.(2003).Mermerlerin kalite kontrol süreci açısından tekno-mekanik özelliklerinin önemi. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, Afyon, 475-497.
- [50] Gündüz, L., Tosun, Y.İ., Şentürk, A.(1995).Sıcaklığın mermer karakteristiğine etkisi.*Türkiyede Mermer Dergisi*, 26-29.
- [51]U. Malayoğlu , A. Aka. (1995).1W5 Killerin sınıflandırmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi.*Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 21-22 Nisan, İzmir.
- [52]Gächter, R., Müller, H.(1987).*Plastics additives 2nd edition*, Munich:Hanser Publishers.
- [53] Shuming, D.,Tarosava, E., Krumme, A., Meier, P.(2011). Rheological and mechanical properties of poly(lactic) acid/ cellulose and LDPE/cellulose composites. *Materials Science*, 17(1), 32-37.
- [54] Reyes, JEP. (2015). Effect of surface treatment and particle loading on the mechanical properties of CFB fly ash reinforced thermoset composite. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 6(1), 6.
- [55]Bhargava,M., Soni, N.(2017).Experimental investigation and numerical simulation of marble dust filled aramid fibre reinforced epoxy composite for wind turbine blade application.*International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 6(1), 23-31.
- [56]Kaya,N., Atagur,M.,Akyuz, O., Seki,Y.,Sarikanat, M.,Sutcu, M.,Seydibeyoglu, M.O.,Sever, K., (2017).Fabrication and characterization of olive pomace filled PP composites, *Composites Part B*.
- [57]Nagarajan,T. T., Babu,A.S.,Palanivelu, K., Nayak, S. K.(2016).Mechanical and thermal properties of palf reinforced epoxy composites, *Macromolecular Symposia*, 361(1), 57–63.
- [58]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, *Polimeros*, 27(4), 309-319.
- [59] Mohanty, S., Verma, SK and Nayak SK. (2006).Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute/HDPE composites. *Composites Science and Technology*, 66(3-4), 538–547.
- [60]Sever,K., Atagür,M., Tunçalp,M., Altay,L., Seki,Y. and SarikanatM. (2018). The effect of pumice powder on mechanical and thermal properties of polypropylene.*Journal of Thermoplastic Composite Materials*, DOI: 10.1177/0892705718785692
- [61]Favaro, M. M., Branciforti, M. C., Bretas, R. E. S. (2009). A X-ray study of  $\beta$ -phase and molecular orientation in nucleated and non-nucleated injection molded polypropylene resins.*Materials Research*,12(4), 455-464.
- [62]Soydal, U., Kocaman S., Marti M., Ahmetli G. (2017). Study on the reuse of marble and andesite wastes in epoxy-based composites.*Polymer composites*.
- [63]N. Salahudeen, A. S. Ahmed, A. H. Al-Muhtaseb, M. Dauda, S. M. Waziri, B. Y. Jibril. (2014).Synthesis and characterization of micro-sized silica from kankara kaolin.*Journal of Engineering Research*, 19(1),27-32.
- [64]Caponi, N., Collazzo, G. C., Jahn, S. L., Dotto, G. L., Mazutti, M. A., Foletto, E. L. (2017). Use of Brazilian Kaolin as a Potential Low-cost Adsorbent for the Removal of Malachite Green from Colored Effluents.*Materials Research*,20, 14-22.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Tolga ÖZTEKİN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 13.09.1988 – Karşıyaka/İZMİR  
**E-posta** :tolgaoztekin1111@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2012, Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü
- **Lisans** :2015, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü