



**FARKLI SİLAN UYUMLAŞTIRICILARIN  
TERMOPLASTİK POLİÜRETAN/DİATOMİT  
KOMPOZİTLERİN MEKANİK, FİZİKSEL VE  
TERMAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Fatma KÜÇÜK**

**2020  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Yasin KANBUR  
Dr. Ümit TAYFUN**

**FARKLI SİLAN UYUMLAŞTIRICILARIN TERMOPLASTİK  
POLİÜRETAN/DİATOMİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK, FİZİKSEL VE  
TERMAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Fatma KÜÇÜK**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Yasin KANBUR  
Dr. Ümit TAYFUN**

**KARABÜK  
Ocak 2020**

Fatma KÜÇÜK tarafından hazırlanan “FARKLI SİLAN UYUMLAŞTIRICILARIN TERMOPLASTİK POLİÜRETAN/DİATOMİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK, FİZİKSEL VE TERMAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Yasin KANBUR

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği



Dr. Ümit TAYFUN

Tez İkinci Danışmanı, Inovasens Ltd.



Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/01/2020

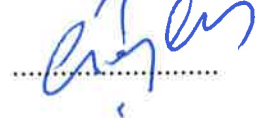
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ELTUĞRAL (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Çağlar ÇELİK BAYAR (BEÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yasin KANBUR (KBÜ)



KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü





*“Bu tezdeki bilgilerin tümünün akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu çalışma neticesinde elde edilmeyen bilgilerin bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bütün atıfların tarafımdan yapıldığını beyan ederim.”*

Fatma KÜÇÜK

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### FARKLI SİLAN UYUMLAŞTIRICILARIN TERMOPLASTİK POLİÜRETAN/DİATOMİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK, FİZİKSEL VE TERMAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**Fatma KÜÇÜK**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanları:**

**Dr. Öğr. Üye. Yasin KANBUR**

**Dr. Ümit TAYFUN**

**Ocak 2020, 53 sayfa**

Bu çalışma ile, sürtünmeye ve aşınmaya karşı dirençli, uzama kapasiteleri yüksek, belirli ölçüde sıcaklığa dayanabilen ve darbe emici yapıya sahip olan termoplastik poliüretenlerin (TPU), doğal bir takviye malzemesi olan diatomit kullanılarak özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, matris olarak termoplastik poliüretan (TPU), kompozitlerde dolgu maddesi olarak diatomit (KG) kullanılmıştır. Diatomitin yüzey modifikasyonu için dört farklı silan uyumlaştırıcı kullanılmış ve kompozitlerin mekanik, morfolojik ve ısıl özellikleri incelenmiştir. Modifiye edilmiş ve saf KG'un yüzey fonksiyonelliklerini karakterize etmek için SEM-EDX ve FTIR spektroskopi yöntemi kullanılmıştır. Kompozitler eriyik karıştırma yöntemi kullanılarak imal edilmiş ve

enjeksiyonla kalıplanmış test numuneleri çekme, sertlik, eriyik akış indeksi (MFI), termogravimetrik analiz (TGA) ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) testleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Test sonuçlarına göre, KG ilaveleri kompozitlerin mekanik ve ısıl özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Diatomitin yüzey modifikasyonu polimer matrisi ve dolgu malzemesi arasında daha iyi arayüzey etkileşimi sağladığı için TPU / modifiye diatomit kompozitleri için daha iyi mekanik, ısıl ve morfolojik özellikler elde edilmiştir. Silanlayıcının epoksi fonksiyonel grubu ile poliüretan segmenti arasındaki daha iyi arayüzey etkileşimi nedeniyle en iyi sonuçlar [3- (2,3-Epoksipropoksi) -propil] -trimetoksisilan modifiye diatomit (EPS-KG) / TPU kompoziti için elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Termoplastik Poliüretan, Diatomit, Silanlama, Mekanik özellikler.

**Bilim Kodu** : 91524

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EFFECT OF DIFFERENT SILANE MODIFIERS ON MECHANICAL, PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF THERMOPLASTICPOLYURETHANE / DIATOMITE COMPOSITES**

**Fatma KÜÇÜK**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgical and Materials Engineering**

**Thesis Advisors:**

**Assist. Prof. Dr. Yasin KANBUR**

**Dr. Ümit TAYFUN**

**January 2020, 53 pages**

The aim of this study is to improve the mechanical, thermal and morphological properties of thermoplastic polyurethanes (TPU) which are resistant to friction and abrasion, high elongation capacities, resistant a certain degree of temperature and shock absorbing structure by using diatomite which is natural filler.

In this study, thermoplastic polyurethane (TPU) was used as a matrix and diatomite (KG) was used as a filler in the composites. Four different silan coupling agents were used to examine the mechanical, morphological and thermal properties of composites. SEM-EDX and FTIR spectroscopy methods were used to characterize the surface functionalities of modified and pristine KG. Composites were fabricated using melt blending method and injection molded test samples were characterized

using tensile, hardness, melt flow index (MFI), thermogravimetric analysis (TGA), and scanning electron microscopy (SEM) tests. According to test results, additions of KG effect mechanical and thermal properties of composites positively. Surface modification of the diatomite used provide better interfacial interaction between polymer matrix and filler material yield better mechanical, thermal and morphological properties were obtained for TPU/modified diatomite composites. The best results were obtained [3-(2,3-Epoxypropoxy)-propyl]-trimethoxysilane modified diatomite (EPS-KG)/TPU composite due to the better interfacial interaction between epoxy functional group of silanization agent and polyurethane segment.

**Key Word** : Thermoplastic Polyurethane, Diatomite, Silanization, Mechanical properties.

**Science Code** : 91524



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, yürütülmesinde ve meydana gelmesinde yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile doğru yönlendirmeler yapan ve bu sayede bu çalıŐmayı bilimsel ilkeler ışığında şekillendiren kıymetli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Yasin KANBUR'a ve Dr. Ümit TAYFUN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu alıŐma KBÜBAP-18-YD-071 proje numarası ile Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiŐtir. Desteklerinden ötürü KBÜ BAP koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

Dualarıyla manevi destekte bulunan anne ve babama, tecrübeleriyle her zaman yanımda olan eŐim Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Zahid KÜÇÜK'e, yine bu süreçte pek çok zaman ilgimi eksilttiğim anlar için bana sabır gösteren ocuklarım Elif Őifa ve Muhammed Ali'ye de çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
POLİÜRETANLAR.....	4
2.1. TERMOPLASTİK POLİÜRETAN .....	5
2.1.1. Termoplastiklerin Kullanım Alanları .....	7
BÖLÜM 3 .....	9
DİATOMİT .....	9
3.1. DİATOMİTİN FİZİKSEL, KİMYASAL VE MİNERALojİK ÖZELLİKLERİ.....	10
3.2. DİATOMİTİN İŞLENMESİ YÖNTEMLERİ .....	12
3.3. TÜRKİYE'DEKİ DİATOMİT REZERVLERİ .....	13
3.4. DİATOMİTİN KULLANIM ALANLARI .....	14
BÖLÜM 4 .....	17
KOMPOZİTLER .....	17
4.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPISI.....	17
4.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....	19

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.2.1. Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemeler .....	19
4.2.2. Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemeler .....	20
4.3. KOMPOZİT MALZEMELERİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	22
4.4. KOMPOZİTLERİN KULLANIM ALANLARI .....	23
BÖLÜM 5 .....	24
YAPILAN DENEYLER VE BULGULAR .....	24
5.1. KULLANILAN MALZEMELER .....	24
5.2. DİATOMİT TOZUNUN YÜZEY İŞLEMLERİ .....	25
5.3. KOMPOZİTİN HAZIRLANMASI .....	26
5.4. KARAKTERİZASYON İÇİN KULLANILAN METODLAR .....	28
BÖLÜM 6 .....	33
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER .....	33
6.1. DİATOMİT YÜZEYİNİN KARAKTERİZASYONU .....	33
6.2. KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ .....	39
6.3. KOMPOZİTLERİN ERİME AKIŞI İNDEKSİ .....	42
6.4. TPU VE KOMPOZİTLERİN MORFOLOJİK KARAKTERİZASYONU ...	43
6.5. TPU VE KOMPOZİTLERİN TGA EĞRİLERİ .....	47
6.6. ÇIKARIMLAR .....	48
KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Poliüretanların alt sınıfları.....	4
Şekil 2.2. TPU'nun kimyasal yapısı.....	5
Şekil 2.3. Bazı endüstriyel malzemelerin aşınma dirençlerinin kıyası .	6
Şekil 2.4. Termoplastiklerin ve termosetlerin bağ yapıları .....	7
Şekil 2.5. TPU'dan imal edilen bazı endüstri ürünleri.....	7
Şekil 2.6. TPU'nun kullanım alanlarına göre dağılımı. ....	8
Şekil 3.1. Diatomit kayacından bir kesit. ....	9
Şekil 3.2. Çubuk şekilli diatomitlerin görünümü. ....	10
Şekil 3.3. Elips şekilli bir diatomitin yapısının tasviri. ....	11
Şekil 4.1. Kompozit malzemenin yapısal birleşiminin bir temsili. ....	18
Şekil 4.2. Kompozit malzemelerin diğer malzemelerle ilişkisi. ....	19
Şekil 4.3. Farklı yapılardaki kompozit malzemelerin temsili. ....	22
Şekil 5.1. Kullanılan silan uyumlaştırıcıların kimyasal yapıları. ....	25
Şekil 5.2. DSM Xplore marka 15 cc çift vidalı extruder cihazı. ....	26
Şekil 5.3. Daca marka enjeksiyonlu kalıplama cihazı.....	27
Şekil 5.4. Enjeksiyon kalıbı. ....	27
Şekil 5.5. Test numunelerinin boyutları. ....	28
Şekil 5.6. Bruker-Alpha FTIR spektroskopisi.....	28
Şekil 5.7. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini taramalı elektron mikroskobu.....	29
Şekil 5.8. Lloyd LR 30 K marka çekme cihazı. ....	30
Şekil 5.9. Zwick R5LB041 marka sertlik ölçme cihazı. ....	31
Şekil 5.10. Hitachi STA 7300 marka termogravimetrik analiz cihazı .....	31
Şekil 5.11. Meltfixer LT marka erime akış indeksi ölçüm cihazı. ....	32
Şekil 6.1. KG SEM mikrografi. ....	34
Şekil 6.2. TEOS-KG SEM mikrografi. ....	34
Şekil 6.3. AS-KG SEM mikrografi. ....	35
Şekil 6.4. TAS-KG SEM mikrografi.....	35
Şekil 6.5. EPS-KG SEM mikrografi. ....	36
Şekil 6.6. KG örneklerinin 600-3800 cm <sup>-1</sup> arasındaki FTIR spektrumu.....	37
Şekil 6.7. KG örneklerinin 600-1000 cm <sup>-1</sup> arasındaki FTIR spektrumu.....	37

## Sayfa

Şekil 6.8. KG örneklerinin 850-2000 cm <sup>-1</sup> arasındaki FTIR spektrumu.....	38
Şekil 6.9. KG örneklerinin 3500-3800 cm <sup>-1</sup> arasındaki FTIR spektrumu.....	38
Şekil 6.10. % 10 diatomit içeren TPU/KG kompozitlerinin çekme grafiği.....	40
Şekil 6.11. % 20 diatomit içeren TPU/KG kompozitlerinin çekme grafiği.....	41
Şekil 6.12. % 30 diatomit içeren TPU/KG kompozitlerinin çekme grafiği.....	41
Şekil 6.13. TPU ve kompozitlerinin erime akış indeksleri.....	43
Şekil 6.14. TPU/Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü. ....	44
Şekil 6.15. TPU/Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü. ....	44
Şekil 6.16. TPU/AS-Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü. ....	45
Şekil 6.17. TPU/EPS-Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü. ....	45
Şekil 6.18. TPU/TAS-Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü.....	46
Şekil 6.19. TPU/TEOS-Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü. ....	46
Şekil 6.20. TPU ve kompozitlerinin TGA eğrileri. ....	48

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. Türkiye’deki diatomit örneklerinin kimyasal bileşim değerleri .....	12
Çizelge 3.2. Diatomitin ticari değeri bakımından kimyasal bileşim sınır değerleri...	12
Çizelge 5.1. Diatomitin kimyasal bileşimi .....	24
Çizelge 6.1. Silanlama öncesi ve sonrası madde miktarları .....	33
Çizelge 6.2. Diatomitin, gözlenen ve literatürde verilen pikleri .....	39
Çizelge 6.3. %10 diatomit içeren TPU/KG kompozitlerinin çekme özellikleri .....	40
Çizelge 6.4. TPU ve kompozitlerinin sertlik değerleri .....	42

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\mu\text{m}$	: mikrometre
PH	: asit-baz dengesi
$^{\circ}\text{C}$	: santigrad derece
kg	: kilogram
gr	: gram
mm	: milimetre
km	: kilometre
ml	: mililitre
% wt	: ağırlıkça yüzde
% at	: atomik yüzde

### KISALTMALAR

PUR	: Poliüretan
TPU	: Termoplastik Poliüretan
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi
KG	: Diatomit
TGA	: Termogravimetrik Analiz
MFI	: Eriyik Akış İndeksi
AS-KG	: Propilaminsilan İle Silanlanmış Diatomit
TAS-KG	: Dietilentriaminsilan İle Silanlanmış Diatomit
EPS-KG	: Trimetoksisilan İle Silanlanmış Diatomit
TEOS-KG	: Trietoksioktilsilan İle Silanlanmış Diatomit

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Sürekli gelişen teknoloji sayesinde, geleneksel üretim yöntemleri ve geleneksel malzemelerin yerini, modern mühendislik yöntemleri ile bunların ihtiyaç duyduğu geliştirilebilir yapıda malzemeler almaktadır. Polimerler olarak bilinen aileye mensup malzemeler geliştirilebilir yapıdaki malzemelere gösterilebilecek örneklerin en önemlileridir. Birçok yaygın türü ve farklı özellikleri ile öne çıkan polimerlerin çoğu türü organik kaynaklıdır. Pamuk, kauçuk, ipek, deri, yün ve selüloz gibi bitki ve hayvanlardan elde edilen doğal polimerler yüzlerce yıldır kullanılmaktadır. Polimerlerin kullanımına dair ilk uygulamanın, milattan sonra 1500'lü yıllarda yaşamış Maya uygarlığına ait olduğu düşünülmektedir. İngiliz araştırmacılar, Maya çocukların yerel bir kauçuk ağacından imaledilmiş toplarla oynadıklarına dair bulgular elde etmişlerdir.

Doğal polimerlerin ileri teknolojiler ile işlenmesi yoluyla önce poliüretan (PU) malzemeler, ardından da termoplastikpoliüretan (TPU) malzemeler ortaya çıkmıştır. Yeni bir malzeme oluşturmak için en iyi özelliklere sahip farklı malzemeler kombine edilebilir. Bu bağlamda, TPU'ların farklı özelliklerdeki malzemelerle kombine edilmesi üzerine yapılan çalışmalar günümüzde büyük önem kazanmıştır.

İki veya daha çok farklı malzemenin birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir[1]. Kompozit malzemeler, farklı özellikli malzemelerin birleştirilmesiyle elde edilebileceği gibi doğada bulunan bazı kayaçlardan da elde edilebilmektedir. Son zamanlarda, farklı bileşen ve özelliklere sahip kompozit malzemelerin sentezi ve karakterizasyonları üzerine yapılan araştırmalarda ciddi bir artış yaşanmış ve bu sayede önemli geliştirmeler elde edilmiştir.



Ticari plastik ürünlerin kalitelerinden taviz vermeden maliyetlerinde azaltmaya gitmek ve özelliklerini geliştirerek performanslarında artış sağlamak, üreticilerin nihai amaçlarındandır. Örneğin esnek ambalaj sektöründe, değişen ihtiyaçlara cevap vermenin yanında çevreci politikalara da uyum sağlamak adına, ürünlerin dayanıklılık ve bariyer özelliklerini korurken kalınlık ve ağırlıklarını azaltmayı sağlayarak verimlilik elde etmek en önemli hedef olarak belirlenmektedir[2]. Bütün bu amaçlar doğrultusunda daha yüksek özellikli malzemeler elde etmek için, ürün hammaddeleri çeşitli dolgu malzemeleri ile takviye edilmektedir. Plastik kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan bu dolgu malzemelerinden birisi de tek hücreli silisten oluşmuş bir kayaç olan Diatomit'tir. Yapılan araştırmalar ışığında, doğal bir mineral olan diatomitin kullanılmasıyla hazırlanan kompozit malzemeler ile daha yüksek mukavemet, daha iyi rijitlik, korozyona ve aşınmaya karşı daha iyi direnç, hafiflik, yüksek yorulma ömrü ve ısıya dayanıklılık gibi özellikler kazanılabildiği görülmüştür.

Dolgu maddesi olarak kullanılan diatomit ile matris arasındaki uyum, kompozitlerin özelliklerini belirler. Diatomitin gözenekli yapısı, reçine kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştirmek için önemli bir faktör olarak görülmektedir. Bu amaçla, kullanılan diatomitin farklı yüzey uyumlaştırıcı malzemeler yardımıyla istenilen özelliklere en uygun kompozitler elde edilmesi sağlanır.

[3]'te, diatomitin yapısının gözenekli olduğunun kanıtlanması ile birlikte oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerindeki iyileştirmeler incelenmiştir. Aynı zamanda diatomitin kütle miktarındaki artışın mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır.

[4]'te, nano boyutlu silika ve silanize edilmiş diatomit kullanılarak oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik açıdan (eğilme dayanımı, elastik modül sertliği) iyileştirilmeleri üzerine çalışılmıştır. Ayrıca reçine kompozitlerin rengini ayarlamak için titanyum oksit kullanılmıştır.

[5]'te, takviye malzemesinin hidrofilik özelliğe sahip olmasının silanize olmasını kolaylaştırdığı açıklanmış ve bu yüzden hidrofobik diatomitin silanize edilmeye daha

yatkın olabilmesi için hidrofilik hale getirilmiştir. Bunun için de kükürt içeren kauçuk uygulamalar kullanılmıştır.



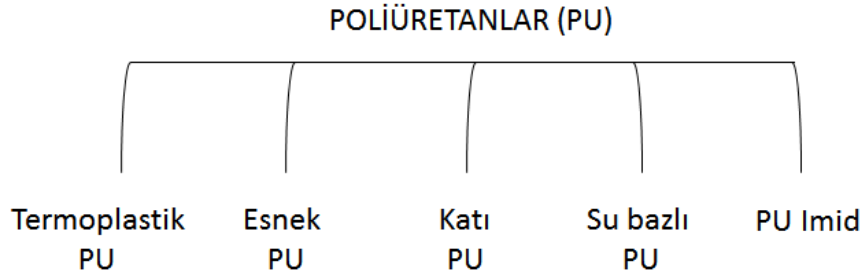
## BÖLÜM 2

### POLİÜRETANLAR

Poliüretanlar, zengin uyarlanabilir özellikleri ile geniş bir alanda ve çok sayıda uygulamada kullanımına rastlanan en zengin polimer sınıflarından biridir. Poliüretanlar katı ve esnemez yapıda olabileceği gibi yumuşak ve esnek yapıda da olabilirler. Poliüretanların çoğu türü termoset (ısıtılıp şekillendirildikten sonra tekrar yumuşamaz) yapıda olsa da bazı türleri de termoplastik (ısıtılıp tekrar şekil verilebilir) yapıdadır [6].

Çok yönlü poliüretan kimyası; inşaat sektöründe sıkça başvurulan esnek ve sert köpükler, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan katı elastomerler, ekstrüzyon parçaları, kaplamalar ve yapıştırıcılar gibi ürünleri de içine alan geniş bir üretim yelpazesine olanak tanır. Mikrobiyal saldırıya karşı hassas olmaları ve ultraviyole ışığa maruz kaldıklarında aromatik üretanların renklerinde meydana gelen solma eğilimi, PUR'lerin iki önemli dezavantajıdır [6].

Poliüretanların çeşitlerini ve uygulamalarını inceleyen bir çalışma olan [7]'de poliüretanların alt sınıfları aşağıdaki tablo ile özetlenmiştir:



Şekil 2.1. Poliüretanların alt sınıfları [7].

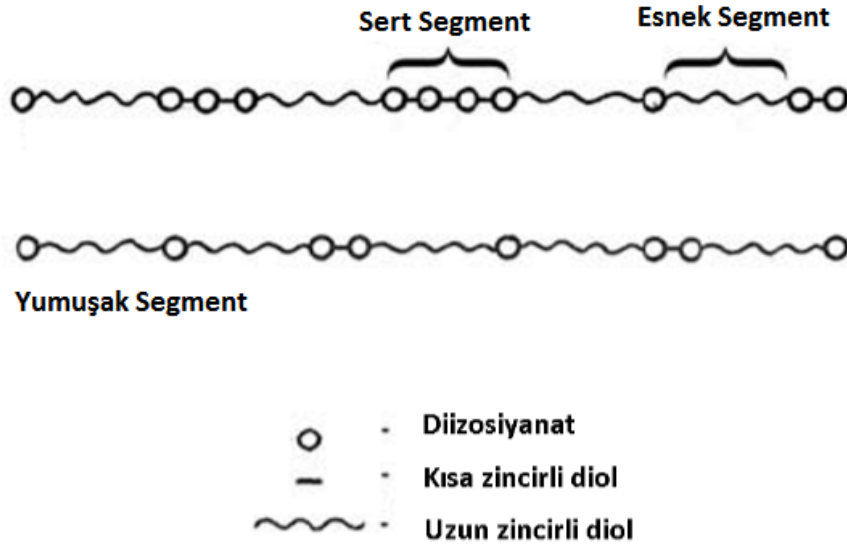
## 2.1. TERMOPLASTİK POLİÜRETAN

Polimerler ailesinden olan termoplastikler (veya halk arasındaki adıyla plastikler), geliştirilebilir yapıda olan malzemelerin en önemli türlerinden biridir. Termoplastikler ısıtıldığı zaman erir ve bu şekilde yeniden şekillendirilebilirler [8].

Termoplastik malzemeler çekildiğinde belirli bir noktaya kadar elastikiyetini korusa da bu noktadan sonra ya şekil bozukluğuna (deformasyona) ya da kırılmaya uğrarlar. Yük altında deformasyona uğrayan termoplastikler, uygulanan kuvvet sayesinde yeniden şekillendirilebilirler.

Termoplastik özellikli poliüretanlar (TPU) ise yapıları itibarıyla sert ve yüksek yoğunluklu olup, darbeye maruz kaldıklarında belli oranda esneyebilen, uygulanan basınç üzerinden kaldırıldığında da eski halini alabilen bir yapıya sahip malzemelerdir.

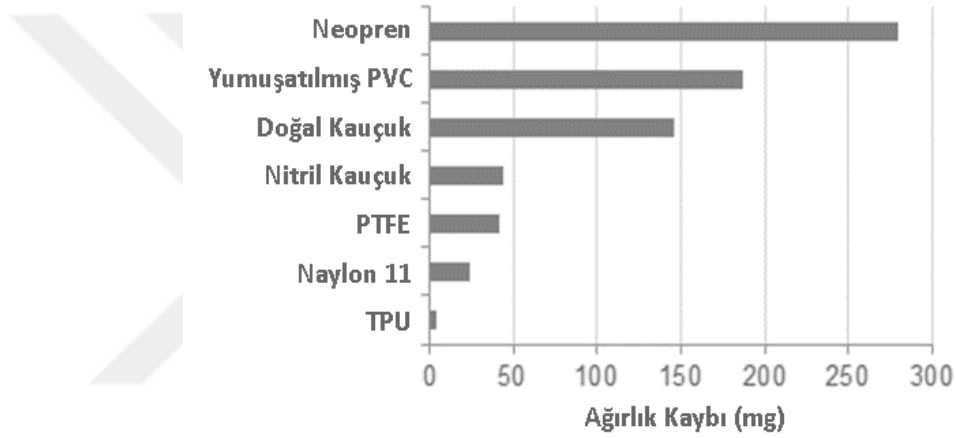
Eritilerek yeniden şekillendirilen TPU malzemeleri, erime aşamasından sonra enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi geleneksel ve yaygın tekniklerle hemen hemen her türlü şekilde kalıplamak mümkündür.



Şekil 2.2. TPU'nun kimyasal yapısı.

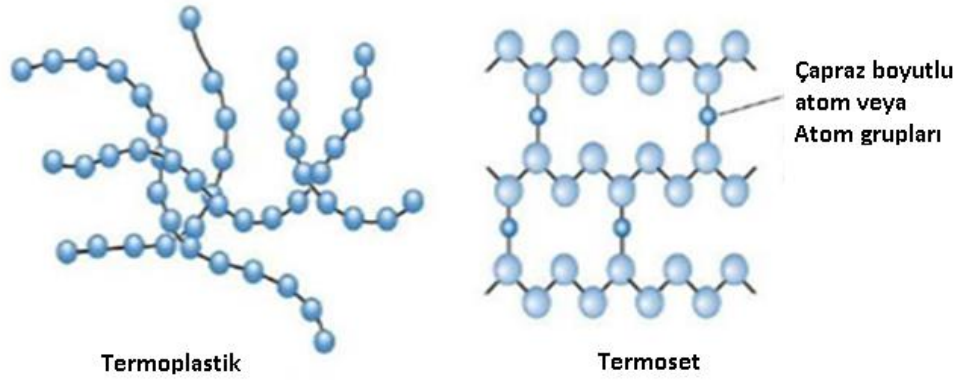
TPU malzemelerin bileşikleştirilmesiyle contalar gibi sağlam plastik kalıplar oluşturulabileceği gibi, çeşitli organik çözücüler kullanılarak işlenmesi suretiyle de katmanlı tekstiller, koruyucu kaplamalar veya fonksiyonel yapıştırıcılar elde edilebilmektedir [9].

Termoplastik poliüretanlar, PVC, kauçuk vb. malzemeler ile kıyaslandığında oldukça yüksek aşınma direncine sahiptir. Aşağıdaki grafik, aşınma dirençlerinin kıyaslanması üzerine yapılan bir test sonucunda, TPU'ların diğer maddelere olan üstünlüğünü göstermektedir [9].



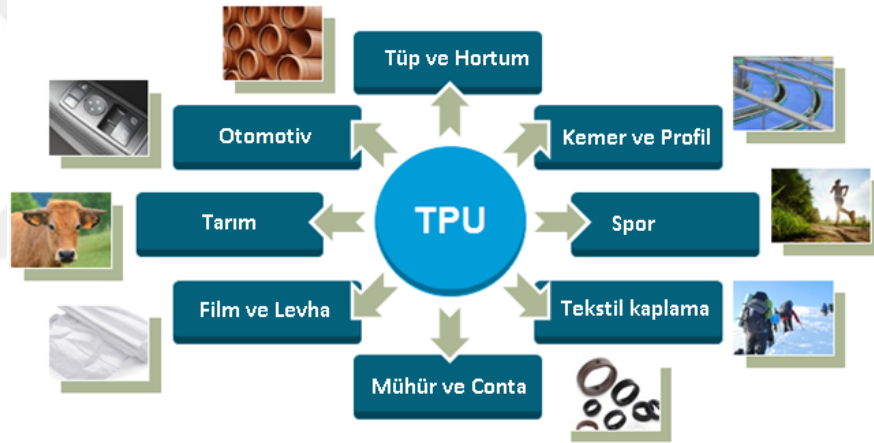
Şekil 2.3. Bazı endüstriyel malzemelerin aşınma dirençlerinin kıyası [9].

Bir polimer grubu olan termoplastiklerin yanı sıra, ısı karşısında farklı davranış sergileyen başka bir polimer grubu da termosetlerdir. Termosetler, termoplastiklerden farklı olarak, ısıtılarak bir kez şekil aldıktan sonra tekrar ısıya maruz kaldıklarında bozulan polimer grubudur. Termosetler termoplastikler gibi yumuşayıp eğrimezler ve ısı yükselse de katılıklarını korurlar. Fakat polimer sistemi oluşturan polimer zincirindeki bağlar, ısının yükselmesine belirli dereceye kadar dayanabilirler. Dayanma derecelerini aşan sıcaklıklara ulaştıklarında bağlar zarar görür ve koparlar. Bunun sonucunda termosetler tersiner tepki olarak bozulurlar. Aşağıdaki şekilde, termoplastik ve termosetlerin bağ durumları resmedilmiştir:



Şekil 2.4. Termoplastiklerin ve termosetlerin bağ yapıları.

### 2.1.1. Termoplastiklerin Kullanım Alanları



Şekil 2.5. TPU'dan imal edilen bazı endüstri ürünleri [9].

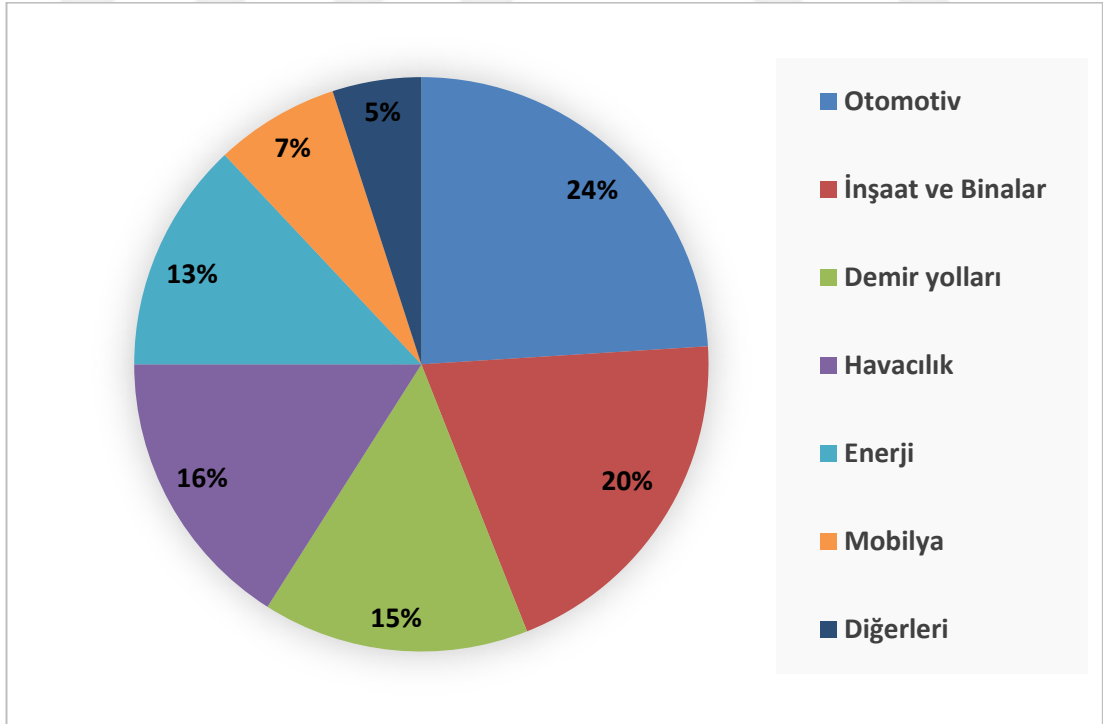
Eskime, aşınma ve çizilmeye karşı dayanıklı olması sebebiyle otomotiv sektöründe sıkça tercih edilen TPU malzemeler, araçların vites kolları, gösterge panelleri ve diğer iç aksamalarının üretiminde kullanılmaktadır.

TPU malzemelerin tarım ve hayvancılık sektöründe de kullanımına rastlamak mümkündür. Bu örneklerden birisi hayvan tanımlama için kullanılan kulak küpeleridir. TPU malzemeden üretilen çipli kulak küpeleri, lazerle işlenebilen, özel renklerde ve esnek yapıdadır [9].

TPU malzemeden üretilen endüstriyel contalar yüksek basınca dayanıklılığı ve yüksek sıcaklıklarda düşük sıkıştırma özellikleri ile tercih sebebidir. Contalarda tercih edildiği gibi kapaklar, çeşitli kulplar ve hatta protezlerin üretiminde hammadde olarak tercih edilebilen TPU malzemeler ile bu uygulamalar kolayca imal edilebilmektedir. Yine TPU malzemeden yapılmış hortumlar ve borular, bilhassa katı maddelerin taşınması için mükemmel dayanıklılık ve aşınma özellikleri ile ön plana çıkar [9].

TPU malzemelerin boy göstermeye başladığı bir diğer alan sağlık sektörüdür. TPU'dan imal edilen sağlık malzemelerinin üretim aşamasında cilt tahrişine yol açan kauçuk hızlandırıcılar gibi malzemeler kullanılmadığından dolayı, sağlık sektöründe kullanılan PVC malzemelere güvenli bir alternatif olarak görülmektedir [9].

Google firmasının ürettiği yeni nesil çiplerden bazıları TPU malzemedendir. Bu yeni TPU çipler çok az enerji tüketmekte ve hassasiyet gerektiren hesaplamaları daha hızlı yapabilmektedir [10].



Şekil 2.6. TPU'nun kullanım alanlarına göre dağılımı.

## BÖLÜM 3

### DIATOMİT

Diatomit, volkanik faaliyetlerin meydana geldiği yerlere yakın sularda yaşayan tek hücreli, silisten oluşmuş bir yosun türü olan diatomların ölmesi ve silisli kavrıklarının biraraya toplanması sonucu meydana gelmiş organik bir (tortul) kayadır [11].



Şekil 3.1. Diatomit kayacından bir kesit.

Diatomit, Almanca ve Fransızca'da "Kieselgur", İngilizce'de ise "Diatomeaceous Earth" ya da "Diatomite" olarak isimleriyle anılır. Ülkemizde, "moskof toprağı" adı ile çok eskilerden beri bilinmekte olan Diatomit'in (yaygın olarak) tebeşir yapımında ve duvarları boyamak için sulandırılarak elde edilen kireç benzeri beyaz boyaları oluşturmada kullanıldığı görülmektedir [12].

Diatomların yaşamlarını tamamlaması sonucunda silisli kabukları toplanarak çökelmekte ve çökelen bu kabuklar da diatomit rezervlerini oluşturmaktadır. Oldukça aktif olan Diatom kolonileri yılda birkaç mm. kalınlıkta bir çökme hızına ulaşabilmektedir. Tür ve çoğalma hızları arasındaki farklılıklara rezervin oluştuğu

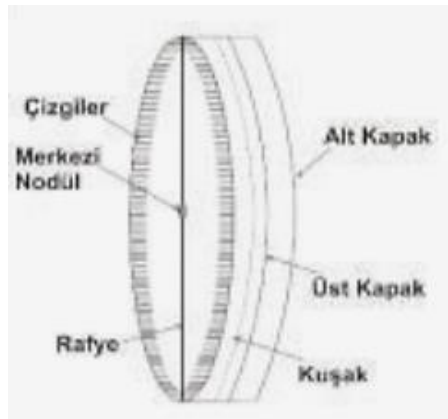


ortam şartları da eklendiğinde, çökelme hızı yılda 0.14 mm'ye kadar çıkabilmektedir [12].

Diatomların, Kretase olarak bilinen çağda (135-65 milyon yıl önce) çok büyük miktarlara ulaştıkları tahmin edilmektedir. Bugün ticari değeri olan diatomit yataklarının çoğunun Miyosen olarak bilinen çağda (27-7milyon yıl önce) meydana geldiği düşünülmektedir. Çoğalma hızlarındaki bu artışın, eski çağlarda meydana gelen volkanik olayların tetiklemesi sonucu sularda bulunan silislerin oranının yükselmesi neticesinde olduğu bilinmektedir [12]. Sudaki erimiş silis oranı ile diatomların büyüme hızı doğru orantılıdır [13].

### 3.1. DIATOMİTİN FİZİKSEL, KİMYASAL VE MİNERALOJİK ÖZELLİKLER

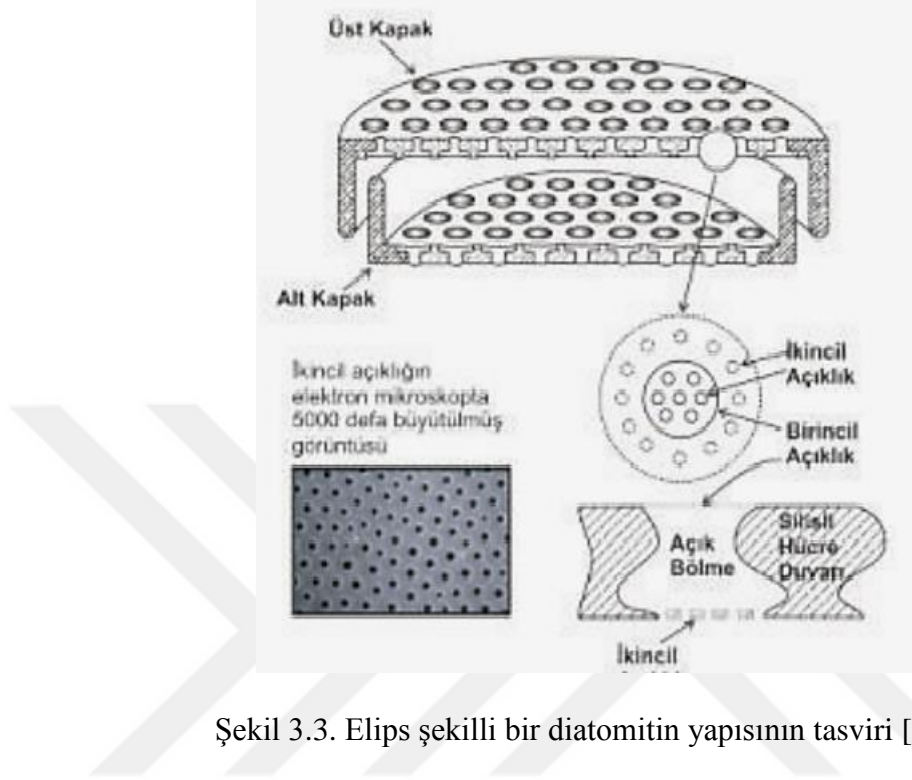
Diatomit üzerine yapılan mineralojik çalışmalar, çoğunlukla kayalar içindeki diatomun belirlenmesine yöneliktir. Diatomlar, çok farklı şekillerde mikroskobik su yosunu içerirler. Bu şekillerin, buldukları veya geliştikleri yere göre silindirik, çubuk, elips, yarım ay veya yıldız formunda belirebildiği gözlenmiştir. Karakteristik olarak içleri boştur ve delikli bir yüzeye sahiptirler.



Şekil 3.2. Çubuk şekilli diatomitlerin görünümü [11].

Diatomların çeperleri, üst üste geçen iki parçadan ibarettir. Bu parçalar mekanik olarak kolaylıkla birbirinden ayrılabilir. Büyük olan üst kapağa epiteka, küçük olana

ise hipoteka denmektedir. Diatomiti çevreleyen kabukların üzerinde mukavemeti sağlayan bazı girinti ve çıkıntılar mevcuttur.



Şekil 3.3. Elips şekilli bir diatomitin yapısının tasviri [11].

Diatomitler amorf bir yapıya sahiptir ve ağırlığının %2'si ile %10'u kadarlık miktarlarda su içerirler. Diatomit az miktarlarda organik maddeler ile alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), demir oksit ( $Fe_2O_3$ ), kalsiyum oksit ( $CaO$ ), magnezyum oksit ( $MgO$ ) ve alkaliler de içerebilmektedir. Diatomitin sahip olduğu bu kimyasal bileşim zenginliği endüstrideki kullanımında büyük rol oynar [11].

Diatomit elde etmek için tercih edilecek kayaç türü yumuşak, oluça hafif, beyaz ve ele alındığında kolayca dağılabilen yapıda olmalıdır. Diatomit rezervden alındığında, 5 ila 9 arasında bir pH değerine sahip olduğu görülür. Diatomitin killi, kumlu, milli, saf, kireçli türleri gelişebilir. Diatomitlerde tane boyu dağılımı diatomların cinsine ve büyüklüğüne, içerisindeki kil, kum vb. katkıların varlığına ve miktarlarına bağlı olarak değişir [14].

Diatomitin en önemli özelliği gözenekli bir yapıya sahip olmasıdır. Bu, yaklaşık %80 ila %85 oranlarında bir porozite (gözenekli yapıdan kaynaklanan boşluk) sağlar. Bu

yüksek porozite oranı sıvı emme kapasitesini oldukça yükseltir. Diatomitlerin işlenmemiş halde ağırlığının 3-4 katı, işlenmesinden sonra ise ağırlığının 5-10 katı kadar su emebildiği ölçülmektedir. Spesifik yüzey alanının oldukça geniş olması ve ısı iletkenliğinin son derece düşük olması da diatomitin özellikleri arasında yer alır [14].

Çizelge 3.1. Türkiye’deki diatomit örneklerinin kimyasal bileşim değerleri.

Bileşenler	% Min.	% Max.
SiO <sub>2</sub>	65,42	87,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,81	3,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,64	2,48
CaO	0,71	9,37
MgO	0,39	7,20
A.K.(900°C)	3,54	19,42

Çizelge 3.2. Diatomitin ticari değeri bakımından kimyasal bileşim sınır değerleri.

Bileşenler	Sınır Değeri (%)
SiO <sub>2</sub>	En az 85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	En çok 5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	En çok 1,5
CaO	En çok 1
MgO	En çok 0,5
Alkali oksitler	En çok 1
Kızdırma kaybı	En çok 6

### 3.2. DIATOMİTİN İŞLENMESİ YÖNTEMLERİ

Diatomit, yataklarının bulunduğu yerlere göre değerlendirilerek farklı işleme yöntemlerine tabi tutulur. Bunlar açık işleme, kapalı işleme ve su altı işleme şeklindedir. Açık işleme yöntemi genelde yeryüzüne yakın olan diatomit yatakları için uygulanmaktadır. Çok derinde olan veya oluşum halindeki diatomit yataklarında ise kapalı işleme veya su altı işleme metotları kullanılır. Çukurlar, tüneller ve dar bölümler boyunca düşey kuyular açılır. Açılan kuyular neticesinde diatomitin özellikleri hakkında gerekli bilgiler sağlanır. Diatomit, yataklarından çıkarıldıktan

sonra öğütme, kurutma ve arıtma işlemlerinden geçirilerek pazara hazır hale getirilir. Tüm bu işlemler esnasında diatomların mikroskobik yapısının bozulmaması için özen gösterilmesi gerekir [8]. Elde edilen ürünler, kalsine, flaks kalsine ve doğal olmak üzere üç ayrı kategoride değerlendirilir:

- 1) Kalsine Diatomit: Ufalandıktan sonra 600 ila 1000 °C sıcaklıktaki döner fırınlar içerisinde oksijen yardımıyla yakılıp, nemden ve organik madde bileşenlerinden arındırılarak elde edilen diatomittir.
- 2) Flaks Kalsine Diatomit: Alkali tuz ilavesi yapıldıktan sonra kalsine (ısıtarak kavurma) işlemi uygulanıp, oldukça ince olacak şekilde öğütülerek elde edilen diatomittir.
- 3) Doğal Diatomit: Kurutulduktan sonra kalsine edilmeden küçültülen diatomittir.

### **3.3. TÜRKİYE'DEKİ DİATOMİT REZERVLERİ**

İç Anadolu bölgesinde Nevşehir, Kayseri, Niğde ve Aksaray illerinin yer aldığı geniş havzada çok zengin diatomit yatakları bulunur [14]. Türkiye'nin bilinen en büyük diatomit yatağı, Kayseri'ye 30 km uzaklıktaki Emmiler-Hırka olarak anılan havzada bulunmaktadır. Arazide tabandan tavana doğru dizilen kumlu, saf, killi ve kireçli olmak üzere dört farklı diatomit litotipi ayırt edilmiştir [15].

Nevşehir ili sınırları içerisinde Ürgüp civarında ve bilhassa Tahar-Güzelöz beldeleri yakınlarında diatomit kaynakları mevcuttur [16]. Aksaray ili sınırlarında İhlara Vadisi yakınlarında, Bozköy-Duvarlı-Ovalıbağ beldelerinde, ve bu bölgeden geçen Melendiz çayı ve civarında diatomit yataklarının mevcudiyeti raporlanmıştır [17,18].

Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş bölgeleri, diatomit varlığı raporlanan ve özellikleri üzerinde çalışmalar yapılan bölgelerdendir [19]. Yine Çankırı il sınırları içinde bulunan Akhasan, Karaağaç ve Bastak havzalarında ve Ankara il sınırları içinde Güvem-Gürcüköy ile Ayaş'ın Başberket ve Gücügöz olarak anılan bölgelerinde de diatomit zuhurları mevcuttur [13].

Ülkemizin batıya yakın kesimlerinde bilhassa Afyon-Seydiler [20] ve Kütahya-Alayunt [21] bölgelerindeki zengin diatomit yataklarının bulunduğu yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Bunların yanında Uşak-Kayağıl, Aydın-Karacasu, Denizli-Tırkaz, Balıkesir-Gönen ve Bursa-Orhuneli bölgelerinde de diatomit zuhurlarına rastlandığı belirtilmiştir [13].

Doğu Anadolu Bölgesi'nde Erzurum-Tortum ilçesinde iyi kalitede ve yüksek miktarlarda diatomit yatakları bulunduğu bildirilmiştir [22]. Yapılan araştırmalarda diatomlu killere rastlanmış olması ve volkanizmaların bulunuyor olması, bu bölgede başka diatomit yataklarının olabileceğine dair yorumları öne çıkarmaktadır.

Ülkemizde diatomit üretimine yönelik çalışmalar Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. bünyesinde 1950'li yıllardan itibaren başlamıştır. 1967 yılı ve sonrasında Ankara'da bulunan Şeker Araştırma Enstitüsü bünyesinde, diatomit üretimi ile ilgili çalışmalara daha geniş olanaklar sağlanmıştır. Bu yıllarda MTA tarafından da Türkiye'nin diatomit rezervlerini ortaya koyan bir rapor yayınlanmıştır. Bu envantere göre ülkemiz diatomit rezervi bakımından oldukça zengin sayılmaktadır. Diatomit üretimi çalışmaları, 1980'li yıllarda aktif bir diatomit fabrikası kurulmasıyla sonuçlanmıştır [12].

### **3.4. DİATOMİTİN KULLANIM ALANLARI**

Diatomitin dünya genelinde kullanımı çok eski zamanlara dayanmaktadır. Örneğin İstanbul'un simge yapılarından Ayasofya'nın kubbesinde, hafifliğinden dolayı diatomit kullanıldığı kayıtlara geçmiştir [12]. Diatomitin bir başka ve farklı kullanımı da Avrupa'daki savaşlar esnasında yaşanan zorluklar nedeniyle, una diatomit karıştırılarak ekme imal edilmesi olayıdır. Bu ekmeğin lezzetli fakat hazmının güç olduğu şeklindeki yorumlar kayda geçmiştir [23]. Diatomitin bilimsel manada ilk kullanımı dinamit yapımında olmuştur. Nitrogliserin'i kararsız halden kararlı hale getirmekte soğurucu olarak diatomiti kullanan Alfred Nobel, taşınabilir bir patlayıcı elde etmiştir.

Kimya endüstrisinde diatomitler, sıvı cam elde etmek için hammadde görevi görür. Diatomitler, içme suyunu ve endüstriyel suları arıtmak için iyi filtrelerdir. Atom endüstrisinde, radyoaktif maddelerin sıvılardan çıkarılmasında diatomit kullanımı başarılı sonuçlar vermektedir [24].

Diatomitin gözenekli yapısı ve kimyasal etkilere karşı direncinin fazlalığı, çok geniş ölçekte kullanım alanına sahip olmasını sağlar. Süspansiyon halindeki katı tanecikleri sıvılardan ayırma olarak bilinen filtrasyon işlemlerinde diatomit yoğun olarak kullanılmaktadır. Diatomitin gözenekli yapısı, geniş süzme yüzeyi sağlaması, yağları ve bazı mikroorganizmaları absorbe etmesi ve hacimli olması, filtrasyon hızını ve randımanını artırmaktadır [25]. Diatomitin filtrasyon işlemlerinde yardımcı malzeme olarak kullanılması süzme periyodunu uzatmakta, istenilen hız ve berraklıkta süzme yapma imkanı sağlamakta ve bu sayede işlemi kolaylaştırmaktadır. Böylece işletme giderlerinde önemli tasarruflar sağlanabilmektedir.

Almanlar tarafından 19. yüzyılın ikinci yarısında geliştirilen tekniklerle şeker pancarı üretiminde diatomitin filtre yardımcısı olarak kullanımı gerçekleştirilmiştir [13]. Bira için filtreleme işleminde diatomit kullanılması konu edildiği [26]'da, filtreleme işlemi neticesinde tatmin edici sonuçlar elde edildiği, diatomit kullanımının filtrasyon işleminde herhangi bir bozulmaya veya bira kalitesinde azalmaya neden olmadığı kanıtlanmıştır. Filtrasyon yardımcısı olarak bazı biyolojik araştırmalarda ve antibiyotiklerin üretiminde de yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Diatomit yardımı ile filtrelenen ürünlerden bazıları su, şeker pancarı suyu, alkollü ve alkolsüz içkiler, asitler, petrol bileşikler, vernik, gres yağı, kuru temizleme solüsyonları, nebati yağlar, jelatinler ve reçine kaplama olarak sayılabilir.

Dolgu malzemesi olarak da zengin bir kullanım alanına sahip olan diatomit hafifliği, elastikiyeti, kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması, ısı geçirgenliğinin az olması gibi özelliklerden dolayı sıkça tercih edilmektedir. Sentetik boya yapımı, kağıt üretimi, lastik üretimi, kibrit üretimi, cilalar ve çeşitli temizlik malzemeleri ile diş macunu gibi kimyasal ürünlerin üretiminde de kullanılmaktadır. Örneğin kağıt sektöründe; saflığı, beyazlığı, ince taneli dokusu gibi özelliklerinden dolayı diatomitin dolgu maddesi olarak kullanıldığı görülmektedir [27].

Diatomit, Portland Çimentosu (bakınız [28]) olarak bilinen çimentonun içeriğinde bulunan bir doğal aktif mineral katkıdır. Bu mineralin katkı maddesi olarak faydası, bu çimentodaki düşük baz kalitede kalsiyum hidro-silikatlardaki kireci bağlama yeteneği ile ortaya çıkmaktadır [24].

Diatomitin yapısındaki %90'a varan boşluklar gerek ses gerekse ısı yalıtımı için iyi bir izolatör görevi görmektedir. Seramikle diatomitin birleştirilmesiyle elde edilen bir materyalin ısı izolasyonunda kullanılması üzerine bir çalışma olan [29], bu kapsamdaki uygulamalara bir örnek olarak gösterilebilir. Yine diatomitin, elektrik motorlu fabrika ekipmanlarında, gaz jeneratörlerinde, kalorifer kazanlarında, soğutucularda ve soğuk hava depolarında da kullanımına rastlanmaktadır [11].

## BÖLÜM 4

### KOMPOZİTLER

Kompozit, iki veya daha fazla malzemenin (veya bileşenin) bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni ve üstün özellikli malzemeye verilen addır. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler kendi özelliklerini çoğunlukla korur. Kompozit malzemeler binlerce yıldır kullanılmaktadır. Bunun en basit örneği eskiden evlerin yapımında kullanılan saman takviyeli kerpiçlerdir [30]. Bu örneğin günümüzdeki yansıması betondur. Beton, çimentonun ve suyun (ve gerektiğinde de küçük taşların) karıştırılmasından ibaret olan bir kompozit malzemedir. İkinci Dünya Savaşı sırasında askeri amaçlar doğrultusunda üretilen malzemelerin arasında kompozit plastikten imal örnekler mevcuttur.

1930'lu yıllarda cam elyafın keşfiyle modern kompozit üretimine geçilmiştir [30]. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler bilhassa dayanıklılık açısından tercih edilir hale gelmiştir ve günümüzde pek çok alanda kullanımına rastlanmaktadır. Son yıllarda, kompozit malzemelerin bileşenleri içerisinde nano boyuttaki malzemelerin de ikinci veya üçüncü malzeme olarak eklenmesiyle nano kompozit olarak adlandırılan malzemeler ortaya çıkmıştır. Tarihi sürece bakıldığında çok hızlı geliştiği görülen ve halihazırda bu gelişmeyi devam ettiren kompozit malzemeler, geleceğin malzemeleri olarak görülmekte ve ileri teknoloji malzemeler sınıfına dahil edilmektedir.

#### 4.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPISI

Kompozit malzemelerde bulunan iki ana malzemedden birisi *matris* diğeri ise *takviye* olarak adlandırılır. Matris olarak kullanılan malzeme, takviye malzemesini kaplayarak ürünün yapısına bütünlük kazandırır. Matris olarak seçilen malzemeler daha çok polimer malzemelerdir. Takviye malzemesinin görevi ise kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek olarak özetlenebilir [31].





Şekil 4.1 Kompozit malzemenin yapısal birleşiminin bir temsili.

Matris yapı ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevini ara yüzey bağı yapar. Bu ara yüzey bağı genellikle kırılma özelliği göstermesine rağmen oluşan herhangi bir kuvveti, çözülmeye ve kırılmaya uğramadan takviye kısmına iletir. Ara yüzey bağı, malzemenin elastikiyetini artırır. Bu sebeple kompozit malzemenin dayanıklılığı ara yüzey bağına bağlıdır [30].

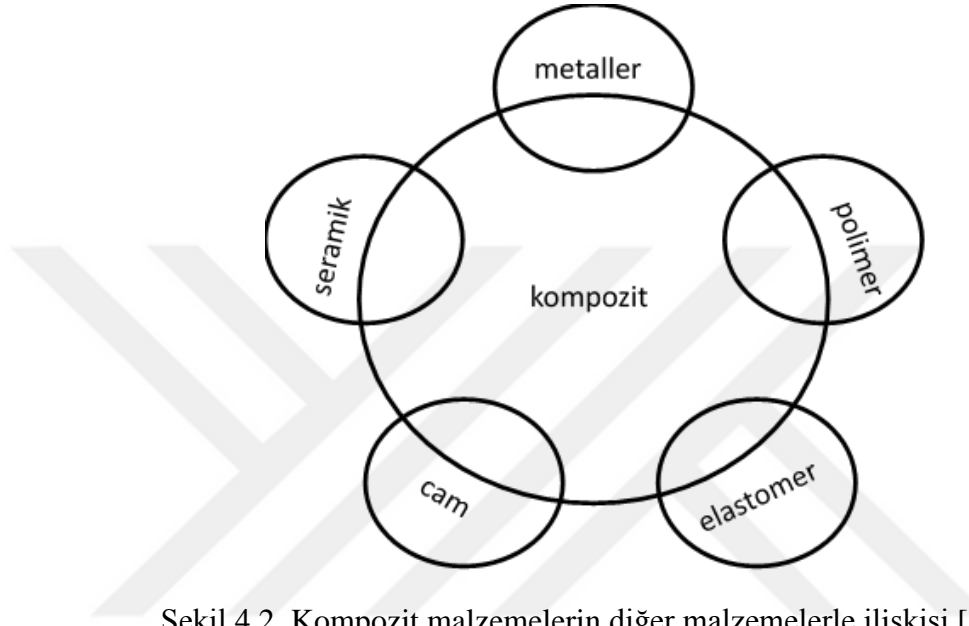
Malzeme biliminde genel olarak malzemeler üç ana gruba ayrılır. Bunlar metalik malzemeler, seramik malzemeler ve polimerik malzemelerdir. Teknolojik ilerlemelerle birlikte, bu malzemelerden iki veya daha fazlasının üstün özelliklerinin yeni bir malzeme de toplanması mümkün hale gelmiştir. Bu sayede elde edilen kompozit malzemeler ile, önceleri üç grupta toplanan malzemeler bu yeni grubun eklenmesiyle, günümüzde dört grup olarak sayılır olmuştur.

Kompozitler malzemeler üretilirken; geleneksel malzemelerin mukavemet, korozyon dayanımı, ısı dayanımı, elektrik iletkenliği, akustik iletkenlik, estetik görünüm ve maliyet gibi özelliklerinin aynı anda bir veya birkaçını daha iyi hale getirmek amacı güdülmektedir [30]. Kompozit malzemeler kolay ve hızlı üretime uygun olmasıyla birlikte gerek imalat ve gerekse montaj aşamasında kolaylık sağlarlar.

Kompozit tasarımında dikkat edilmesi gereken iki önemli unsur vardır. Bunlardan birincisi matristeki yönelme doğrultusu, ikincisi malzeme dizaynı sırasında havanın cisme olan etkisinin göz önünde bulundurulmasıdır. Koşullar tam anlamıyla sağlandığı takdirde hem maliyetten kazanç sağlanmış olur hem mukavemette iyileşme olur.

## 4.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeleri birkaç farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. En çok kullanılan gruplandırma şekli, yapısında bulunan matris ve takviye malzemeye göre yapılandırır.



Şekil 4.2. Kompozit malzemelerin diğer malzemelerle ilişkisi [32].

### 4.2.1. Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemeler

Matris malzemeler, oluşturulacak kompozit malzemenin kullanım amacına ve tekniğine göre metal, seramik veya polimer malzemelerden seçilir. Metal matrisli kompozit malzemeler, ana malzemeleri çeşitli metal veya metal alaşımından ibaret olan kompozitlerdir. Metal esaslı bir matris malzeme seçerken, takviye edildikleri malzemelere göre üstün özellik taşıyor olmalarına dikkat edilir ki oluşturacakları kompozit, takviye malzemesinden daha üstün özellikte olsun.

Seramikler ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri bir araya getirilerek aşınmaya dayanıklı yüksek kaliteli, hafif, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler elde edilebilir. Seramik esaslı matris malzemeler yapıları gereği genellikle yüksek sıcaklık gerektiren çalışmalarda kullanılır. Yapıları sert olduğundan kırılma dayanıklılıkları yüksektir. Bundan dolayı çok düşük süneklik ve tokluğa sahiptirler. Buna karşılık

çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler bu yüzden yüksek sıcaklıklarda kullanım olanaklarına sahiptir [30].

Polimer matrisli kompozit malzemeler; günümüzde bolca kullanım alanı bulan malzemelerdir. Polimerik kompozitler uzun ömürlü olduğundan kullanım alanları çok geniştir. Polimerik kompozitler korozyona ve aşınmaya karşı direnci yüksek, işlenebilirliği ve üretimi kolay bir malzemedir [33].

Polimer matrisli kompozitler kendi arasında termoset ve termoplastik olmak üzere ikiye ayrılır. Tekrar şekillendirilemez malzemeler termoset malzeme, tekrar şekillendirilebilen malzemeler ise termoplastik olarak adlandırılır.

#### **4.2.2. Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemeler**

Takviye edici kompozit malzemeler kendi arasında dörde ayrılır. Bunlar elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, tabakalı kompozitler ve karma kompozitlerdir.

Kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerin tercih edilmesinin en önemli nedenleri düşük ağırlıklı olmaları ve yüksek elastikiyete sahip olmalarıdır. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam almıştır. Elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri sadece elyafın özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda matrisin fazına da bağlıdır. Matris ile elyaf fazları arasındaki ara yüzey kuvvetinin büyüklüğü ile ilgilidir.

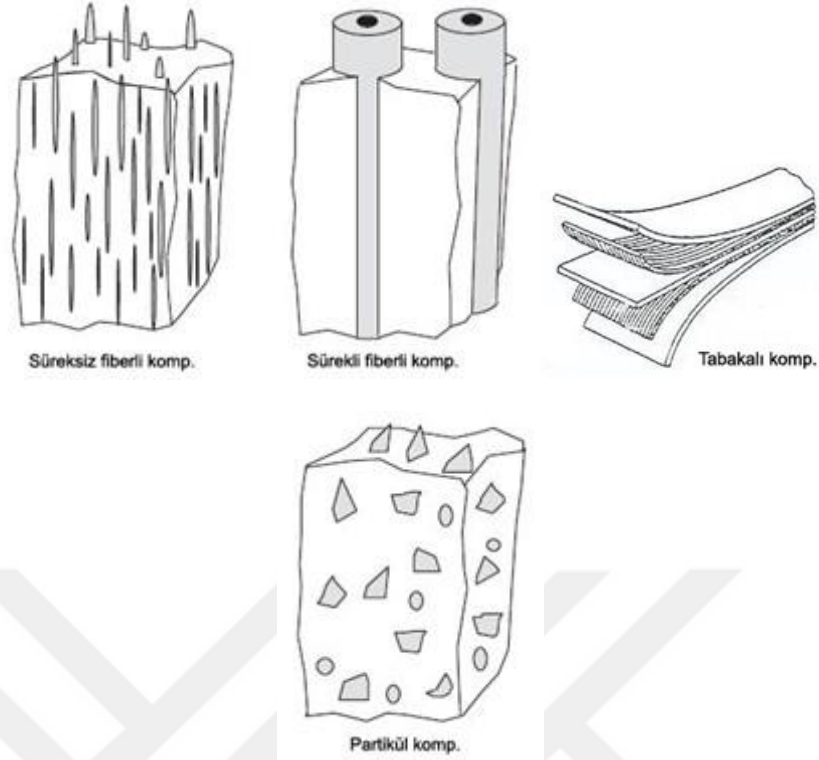
Lif takviyeli kompozit malzemelerde bileşen malzemelerinin boyutları birbirinden farklı olduğu için özellikleri birbirinden ayrılabilir. Takviye edici lifler, uzun lifler, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler vb. gibi değişik formlarda olabilirler. Lifli kompozit malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığına bağlıdır [33].

Parçacık takviyeli kompozitler kendi içinde iri parçacıklı ve saçınımlı dayanımı arttırılmış parçacıklı olarak ayrılabilir. Parçacık boyutlarının farklılıkları kullanım

amacına göre tercih edilir. Takviye malzemelerinde mazemelerin boyutları onların özelliklerinin kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacıklar, çoğunlukla kompozitin sertliğini artırmada etkilidir. Parçacık takviyeli dolgular, genelde fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için kullanılır. Fakat birçok durumda da maliyeti azaltmak için kullanılırlar. Parçacık dolgulu malzemede performansı, parçacık boyutlarının tanecik içinde dağılımı, parçacıklar arası hacimsel oranlar, homojenlik oranı gibi özellikler etkiler.

Tabakalı kompozitler; ince plaklar veya yüksek dayanıma sahip panellerden oluşur. Tabakalı kompozitler de çok yaygın kullanım alanına sahip olmakla birlikte hemen hemen en eski kompozit yapılarından. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Tabakalar plastik, pamuk vb. matrislerin içine gömülmüş ya da dokunmuş olabilir. Tabakalar her biri bir yönde dayanımı arttıracak şekilde dizilir. Tabakalı kompozitler ısı ve neme karşı dayanıklı olup, metallere göre hafif ve daha mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir.

Karma kompozitler aynı yapıda iki veya daha fazla takviye yapı çeşidinin bulunması sonucu oluşmaktadır. Bunlar hibrid kompozitler olarak adlandırılırlar. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır.



Şekil 4.3. Farklı yapılardaki kompozit malzemelerin temsili [34].

#### 4.3. KOMPOZİT MALZEMELERİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Üstün mekanik özelliklere sahip olan kompozitler yüksek mukavemet, kolay şekillenebilme, kolay bağlanabilirlik, ısı ve ateşe dayanıklılığın yanında üstün elektriksel özelliklere de sahiptirler. Kompozit malzemelerde çatlak ilerlemesi en aza indirilebilmektedir. Takviyelerin dağılımı ve farklı matris özellikleri ile iyileştirilebilirler ve bu sayede değişik uygulamalara olanak sağlanır. Meydana getirilecek malzemeye en uygun matris seçilerek korozyon neredeyse yok sayılacak kadar aza indirgenebilir. Kompozit malzemeler, yorulma direnci çok iyi olan oldukça hafif malzemelerdir.

Kompozit malzemelerin bazı dezavantajları da vardır. Bilhassa uçak ve savunma sanayii gibi ileri teknoloji gerektiren durumlarda kompozit malzemeler için kullanılan hammadde çok yüksek maliyetlere sahiptir. Üretim yöntemleriyle ilişkili olarak yüksek kalitede ürün elde etmek her zaman standart olarak mümkün olmayabilir. Örneğin, üretim esnasındaki hava koşulları malzemelerin mekanik

özelliklerini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, tasarım aşamasında, gerekli koşullar ve parametreler iyi hesaplanmazsa, üretilen kompozit ile istenilen verimliliğe ulaşmak mümkün olmayabilir. Kompozitlerde çekme gibi işlemler sırasında lifler arasında açılmalar olabilmektedir. Bu yüzden imalat süreci oldukça hassas olmayı gerektirir.

#### **4.4. KOMPOZİTLERİN KULLANIM ALANLARI**

Günümüzde çok geniş hammadde olanaklarının oluşturulması sayesinde kompozitlerin kullanım alanları hızla genişlemektedir. Otomotiv sektörü kompozitler için çok önemli bir uygulama alanı sağlar. İleri teknoloji ile üretilen günümüz otomobillerinde, güvenlikten ödün vermeden ağırlık azaltılarak yakıttan tasarruf sağlamak en temel hedeftir. Otomobillerin bilhassa ana gövdesinde kullanılan kompozitlerle bu hedefler gerçekleştirilmektedir. Bilhassa cam elyaf katkılı kompozitler kullanılarak araçlarda güvenlik artırılmaktadır. Kompozitlerin kullanıldığı bir başka alan uçak sanayii ve endüstrisidir. Kompozit malzemelerin kullanılmasıyla birlikte üretilen uçaklarda düşük ağırlık ve yüksek mukavemet birlikte sağlanmaktadır.

Kompozit malzeme kullanımının görülmeye başlandığı bir başka alan enerji sektörüdür. Yeni nesil offshore rüzgar türbinlerinde kanat açıklığı öncekilere göre bir hayli fazladır. 100 metreyi bulan kanat açıklığına sahip bir rüzgar türbininde bu kanatların daha az rüzgarlarda da dönmesini sağlamak için oldukça hafif olması gerekir. Bu nedenle bu türbinlerin kanatlarının üretiminde hem dayanıklı hem de hafif olan kompozit malzemeler tercih edilebilmektedir.

## BÖLÜM 5

### YAPILAN DENEYLER VE BULGULAR

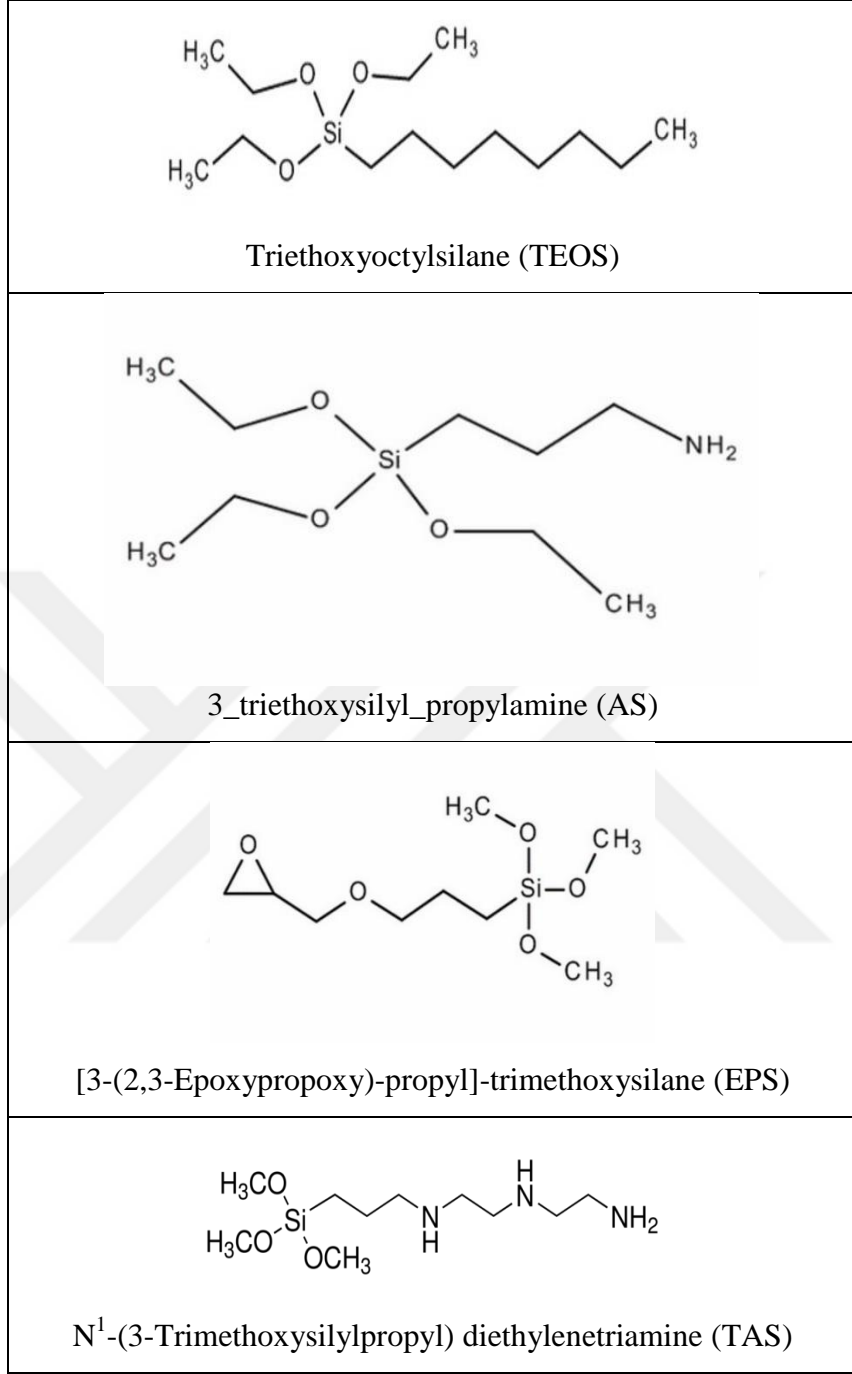
#### 5.1. KULLANILAN MALZEMELER

Cerenol bazlı termoplastik poliüretan (Pearlthane ECO D12T85) Merquinsa (İspanya) firmasından temin edildi. Kullanılan TPU'nun biyokütle oranı, ASTM D6866 standardına göre %46'dır. Clarcel FD Diatomit, Ceca (Paris/Fransa) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan diatomitin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Diatomitin kimyasal bileşimi.

Materyal	% Bileşim
SiO <sub>2</sub>	91.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5
TiO <sub>2</sub>	0.075
CaO	1.1
MgO	0.2
K <sub>2</sub> O	0.5
Na <sub>2</sub> O	2.0

Diatomitin yüzey modifiyasyonu işlemi için dört farklı silan uyumlaştırıcısı kullanılmıştır. Bu silanlardan (Trietoksisilil) propilamin (AS), [3-(2,3-Epoksipropoksi)-propil]-trimetoksisilan (EPS), trietoksi oktilsilan (TEOS) Merck (Almanya) firmasından, N1-(3-Trimetoksisililpropil) dietilentriamin (TAS) ise Sigma Aldrich (Amerika Birleşik Devletleri) firmasından temin edilmiştir. Polimer ve diatomit in ara yüzey uyumunu sağlamak için kullanılan silan uyumlaştırıcıları kimyasal yapıları Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Kullanılan silan uyumlaştırıcıların kimyasal yapıları.

## 5.2. DİATOMİT TOZUNUN YÜZEY İŞLEMLERİ

Diatomit tozları, %2 silan/etanol çözeltisinde, oda sıcaklığında, 120 dakika boyunca karıştırıldı. Diatomit yüzeyindeki fazla silan kalıntıları etanol ile yıkanarak giderildi ve kalan etanolün uzaklaştırılması için gece boyunca 80 °C sıcaklıkta kurutuldu.



Amino, epoksi, tri-amino ve oktil ile silan yüzey işlemi uygulanmış numuneler sırasıyla AS-KG, EPS- KG, TAS- KG, TEOS- KG olarak adlandırılmıştır.

### 5.3. KOMPOZİTİN HAZIRLANMASI

TPU bazlı kompozitler ve saf TPU, DSM Xplore marka çift vidalı mikro ekstruder kullanılarak, 100 rpm dönüş hızında, 200 °C sıcaklıkta, 5 dakika boyunca karıştırıldı. Kompozitlerdeki diatomit miktarı %10, %20 ve %30 olarak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 5.2. DSM Xplore marka 15 cc çift vidalı extruder cihazı.

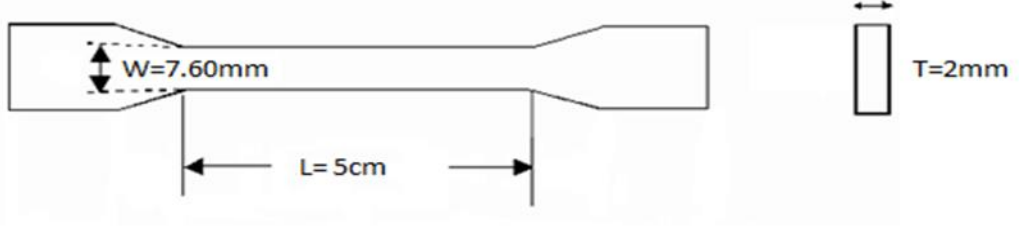
Çekme testi numunelerinin hazırlanmasında Daga marka enjeksiyonlu kalıplama cihazı kullanılmıştır. Numunelerin hazırlanması sırasında cihazın barel sıcaklığı 210 °C, kalıp sıcaklığı 30 °C ve enjeksiyon basıncı 8 bar olarak seçilmiştir. Test numunelerinin hazırlanması sırasında kullanılan enjeksiyonlu kalıplama cihazının resmi, kalıbın şekli ve test numunelerinin boyutları sırasıyla Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 ile verilmiştir.



Şekil 5.3. Dacca marka enjeksiyonlu kalıplama cihazı.



Şekil 5.4. Enjeksiyon kalıbı.



Şekil 5.5. Test numunelerinin boyutları.

#### 5.4. KARAKTERİZASYON İÇİN KULLANILAN METODLAR

Silanlama yüzey işleme ile modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş diatomit örneklerinin FTIR analizi IR-spektrometresi ile  $3800-500\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.6).



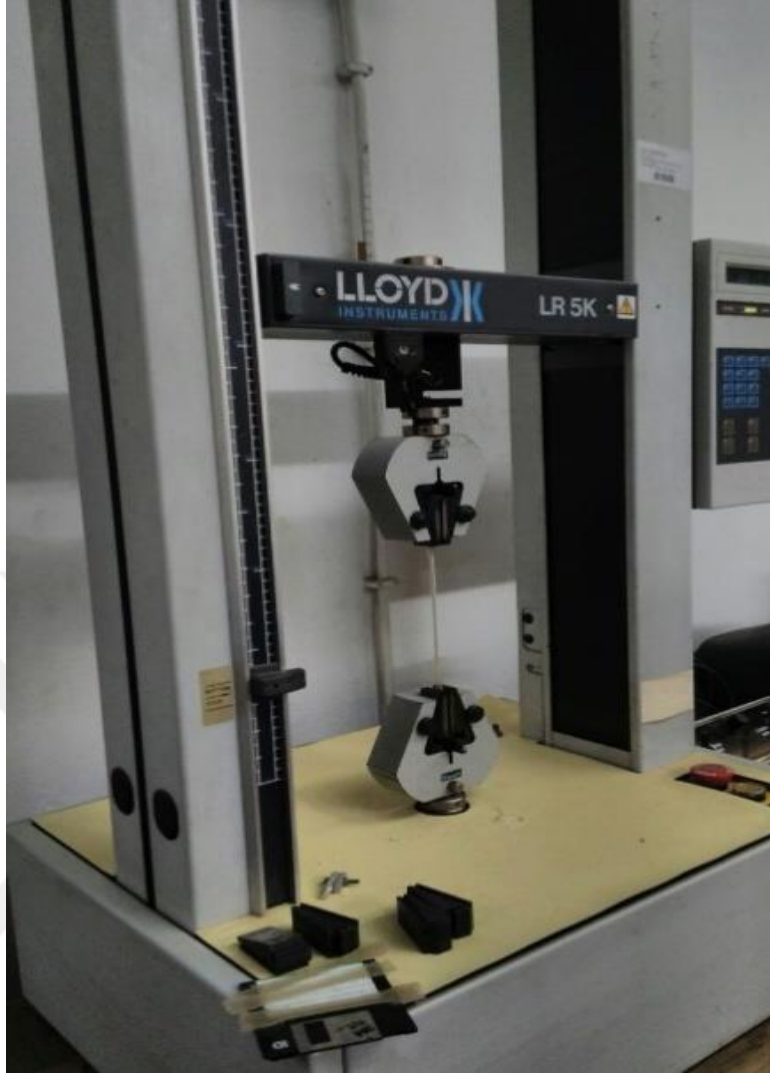
Şekil 5.6. Bruker-Alpha FTIR spektroskopisi [35].

SEM görüntüleri, Carl Zeiss Ultra Plus Gemini (Almanya) alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM) kullanılarak 10000 kat büyütülmüş ölçekte kırılma yüzeyleri kullanılarak elde edilmiştir. SEM görüntüleri alınmadan önce, kompozit yüzeyleri altınla kaplanarak iletken bir yüzey elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini taramalı elektron mikroskobu [36].

Numunelerin çekme özellikleri, çekme hızı 5 cm/dk olan ve 5 kN kapasiteye sahip Lloyd LR 30 K çekme test cihazı kullanılarak ASTM D-638 standardına göre belirlenmiştir (Şekil 5.8). Tüm çekme testleri, 25 °C oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.8. Lloyd LR 30 K marka çekme cihazı.

Shore sertliği ölçümleri Zwick R5LB041 sertlik cihazı ile ISO 7619-1 standardına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Zwick R5LB041 marka sertlik ölçme cihazı.

TPU ve kompozitlerinin termal gravimetrik analizleri için, Hitachi STA 7300 termogravimetrik analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.10. Hitachi STA 7300 marka termogravimetrik analiz cihazı [37].

Erime akış hızı ölçümleri, 200 °C sıcaklıkta ve 2,16 kg yük altında Meltfixer LT (Coesfeld Material Test GmbH, Almanya) cihazı ile yapılmıştır (Şekil 5.11). Kompozitlerin 10 dakika süresince akan miktarları tartılarak Erime Akış İndeksi değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.11. Meltfixer LT marka erime akış indeksi ölçüm cihazı.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

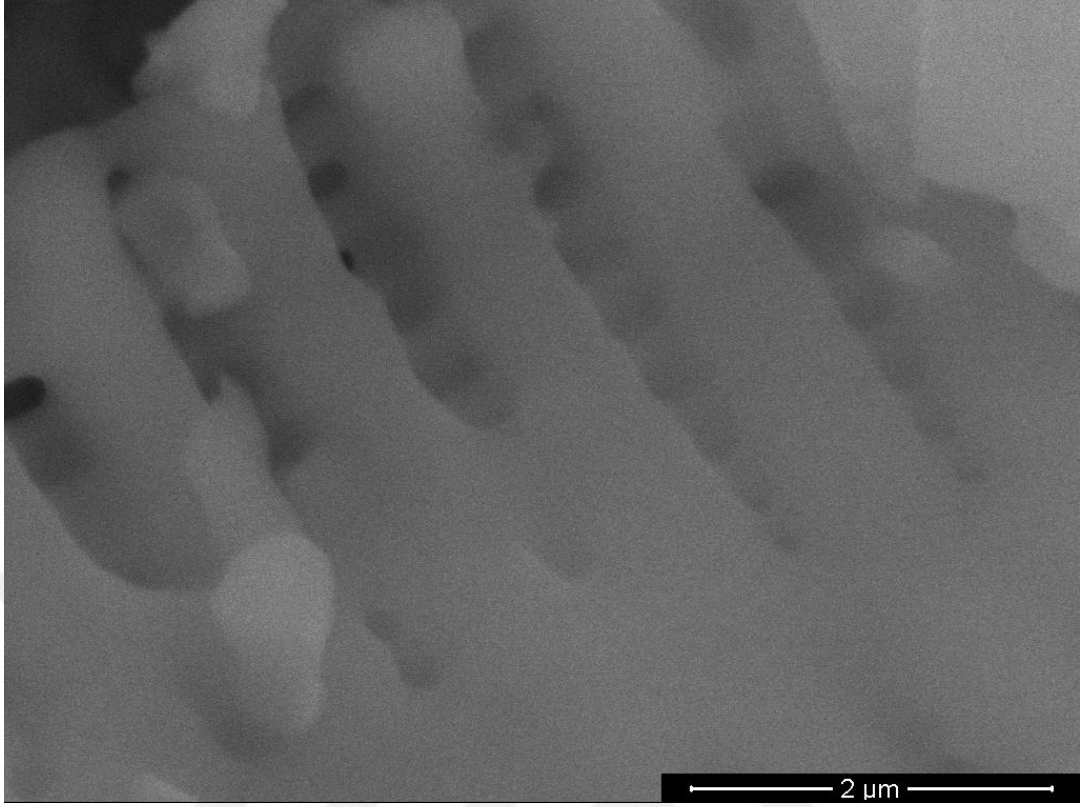
#### 6.1. DİATOMİT YÜZEYİNİN KARAKTERİZASYONU

Yüzey modifikasyonu yapılan ve saf diatomit numunelerinin EDX analiz sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Yüzey modifikasyonu sonrasında silan uyumlaştırıcılarda bulunan Silan miktarı, diatomit örneklerinde Si atomu miktarının artmasına neden olmuştur. Bu sonuç, silanlama işleminin başarılı olduğunu göstermektedir.

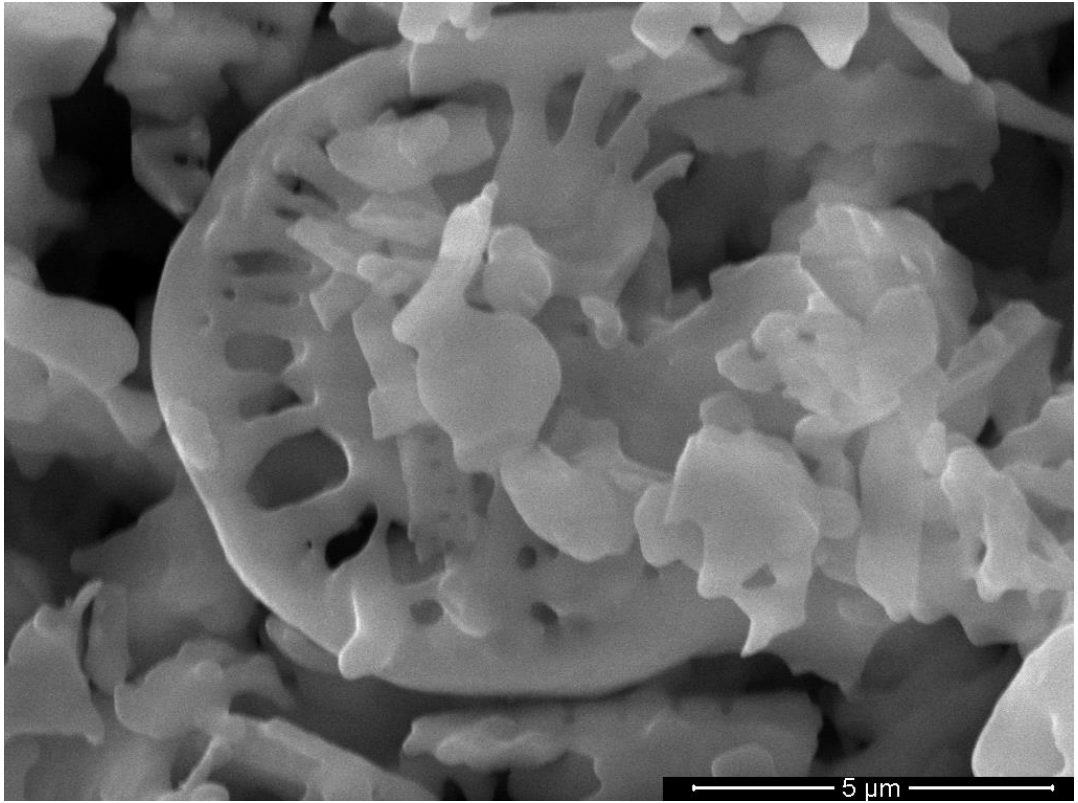
Çizelge 6.1. Silanlama öncesi ve sonrası madde miktarları.

Örnekler		O	Na	Al	Si	Ca
KG	% wt	53,48	2,79	1,71	41,67	0,36
KG	% at	66,59	2,41	1,26	29,55	0,18
AS-KG	% wt	46,87	1,43	1,39	49,28	1,02
AS-KG	% at	60,74	1,29	1,07	36,37	0,53
TAS-KG	% wt	50,31	1,24	1,30	47,15	
TAS-KG	% at	63,85	1,10	0,97	34,08	
EPS-KG	% wt	54,08	1,26	0,85	43,28	0,53
EPS-KG	% at	67,32	1,10	0,62	30,69	0,26
TEOS-KG	% wt	51,87	1,70	1,30	44,57	0,57
TEOS-KG	% at	65,30	1,49	0,97	31,96	0,29

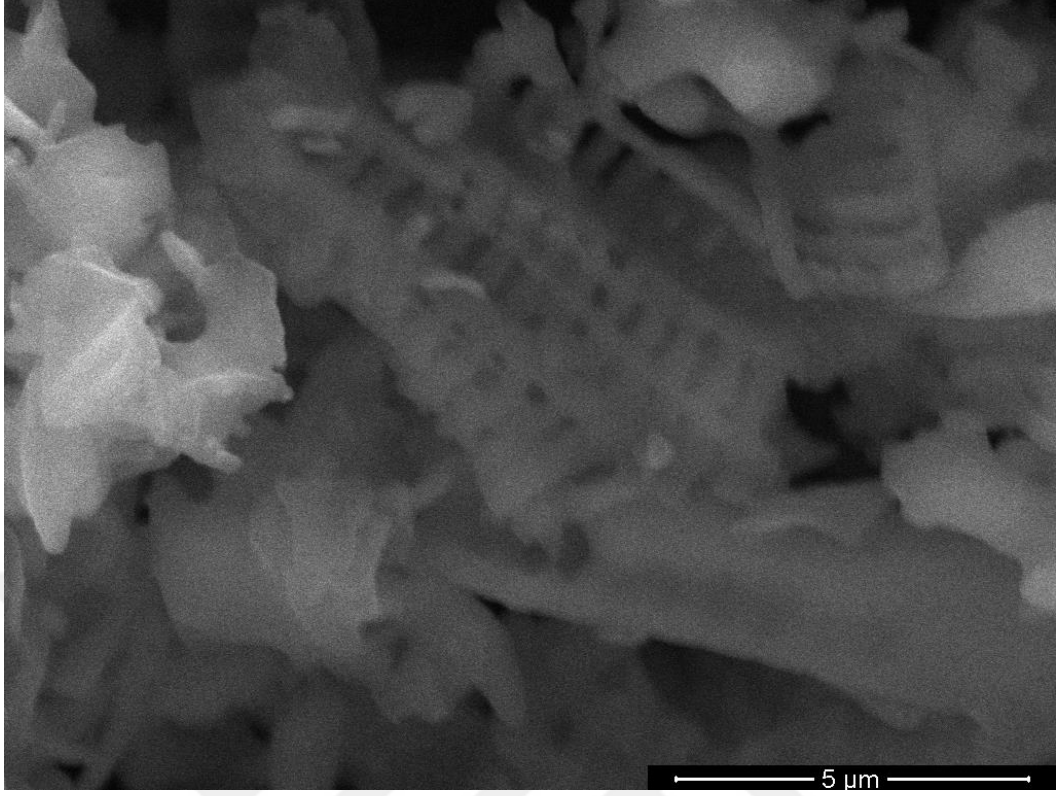




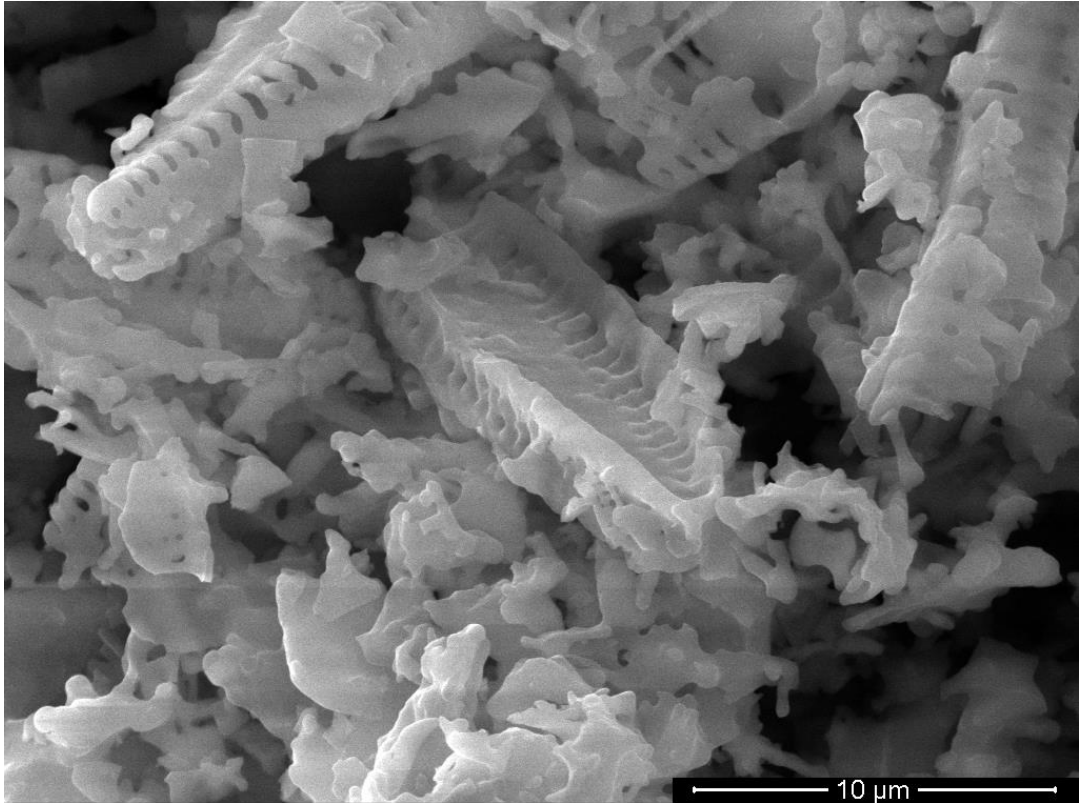
Şekil 6.1. KG SEM mikrografi.



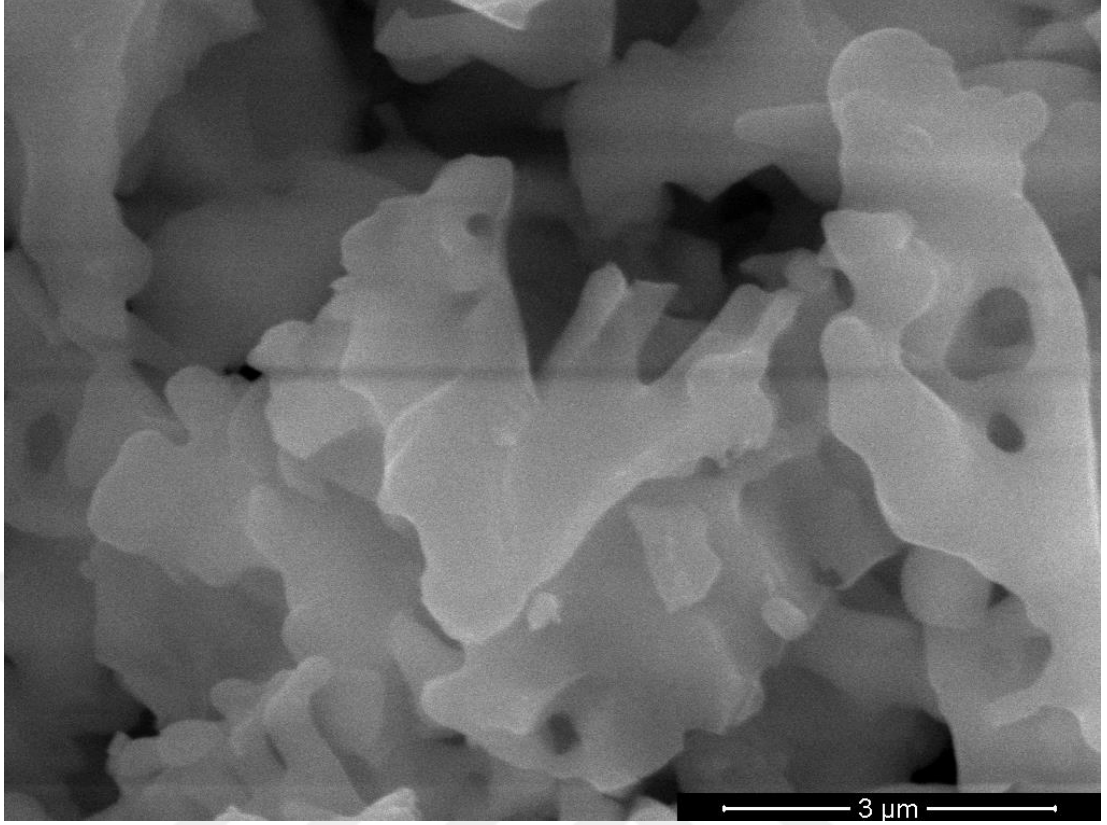
Şekil 6.2. TEOS-KG SEM mikrografi.



Şekil 6.3. AS-KG SEM mikrografi.

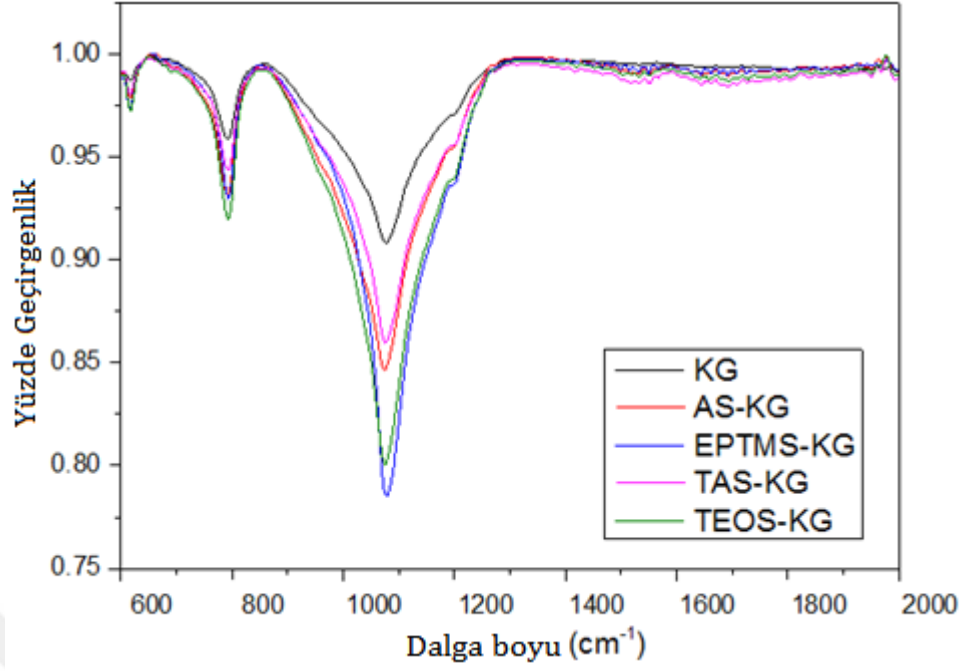


Şekil 6.4. TAS-KG SEM mikrografi.

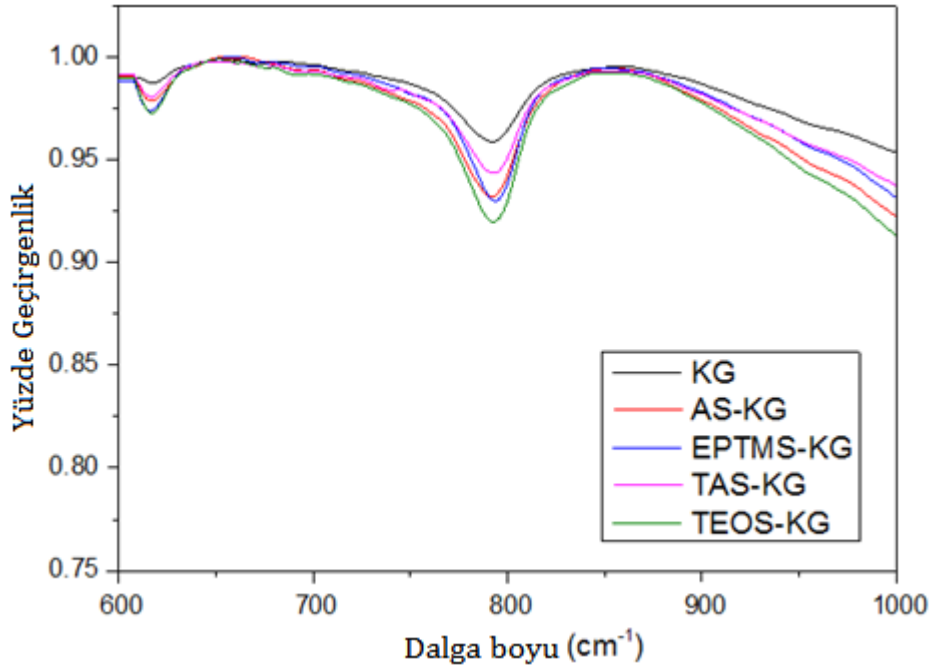


Şekil 6.5. EPS-KG SEM mikrografi.

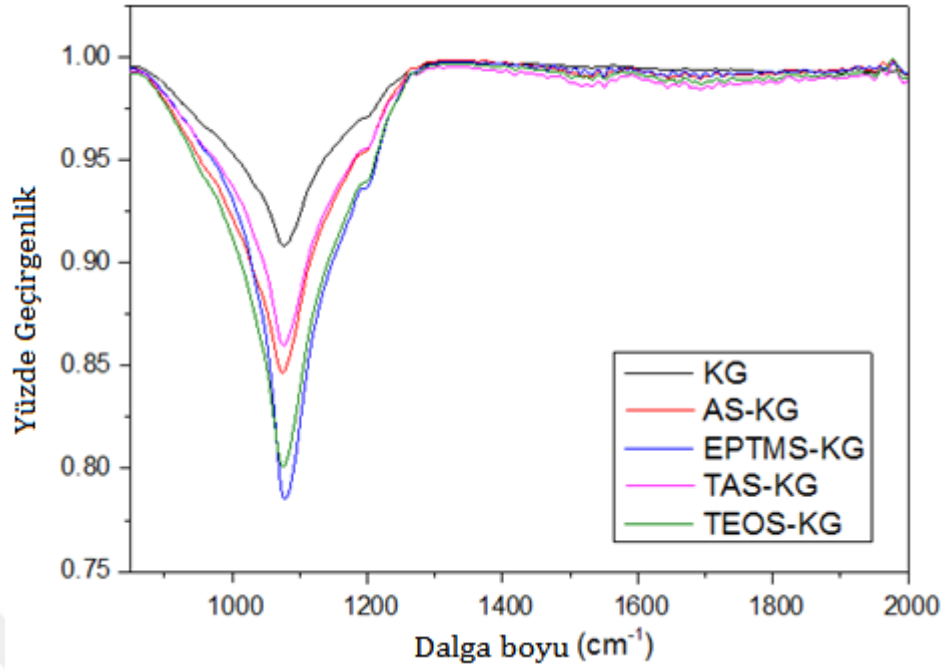
Silanlama yüzey işlemi ile modifiye edilmiş ve edilmemiş diatomitin FTIR spektrumları Şekil 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 ile gösterilmiştir. 3800-500  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki spektrum Şekil 6.6 ile, 1000-600  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki spektrum ise Şekil 6.7 ile verilmiştir. 3700-3500  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki pik, amid grubunun N-H asimetric ve simetric gerilimine bağlıdır. Ayrıca bu aralıkta Si-OH (bağımsız OH) grubu da gözlemlenmiştir. (-Si - O - Si-) siloksan grubunun ve Si-CH<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>x</sub>CH<sub>3</sub> grubunun piki 1250-1000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında gözlemlenmiştir. Bunların dışında diatomitin ATR/FTIR spektrumunda, 760  $\text{cm}^{-1}$  ve 550-500  $\text{cm}^{-1}$  aralıklarında iki farklı pik gözlemlenmiştir. Bunlardan ilki Si-O-H titreşimine ve polisiloksanlarda Si-CH<sub>3</sub> grubuna, ikincisi ise Si-O-Si eğilme titreşimine aittir. Diatomitin gerek ATR/FTIR analizinde gözlemlenen ve gerekse literatürde bulunan pikleri Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.



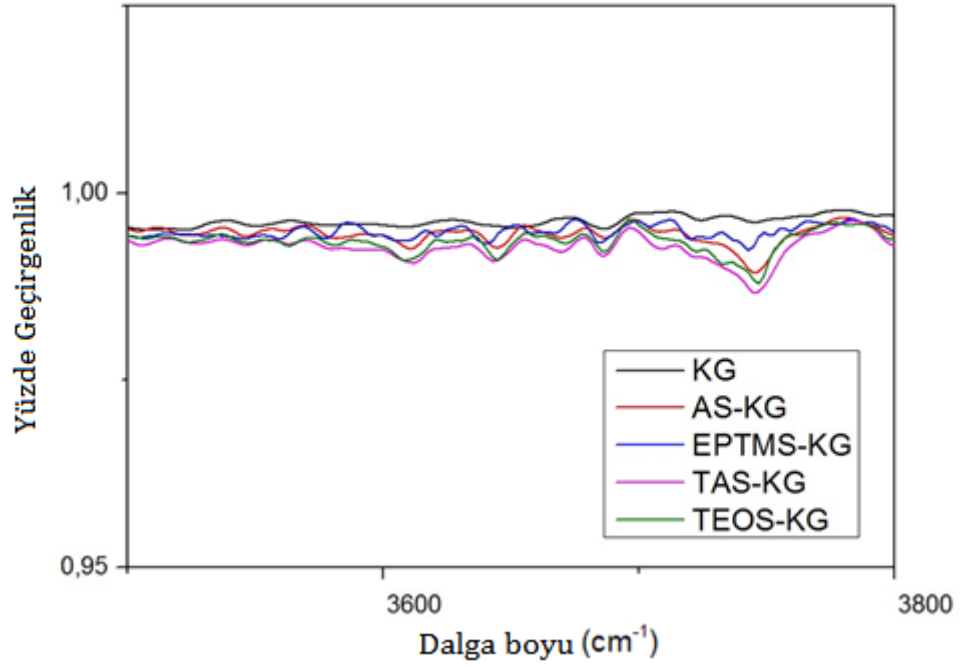
Şekil 6.6. KG örneklerinin 600-3800  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki FTIR spektrumu.



Şekil 6.7. KG örneklerinin 600-1000  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki FTIR spektrumu.



Şekil 6.8. KG örneklerinin 850-2000  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki FTIR spektrumu.



Şekil 6.9. KG örneklerinin 3500-3800  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki FTIR spektrumu.

Çizelge 6.2. Diatomitin, gözlenen ve literatürde verilen pikleri.

Gözlenen pikler (cm <sup>-1</sup> )	Titreşim modu	Literatürlerde verilen pikler (cm <sup>-1</sup> )
3700-3500	Amid N-H simetrik ve asimetrik gerilme	3700-3500
3700-3500	Si-OH (bağımsız OH)	3690
1250-1000	Si-CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>x</sub> CH <sub>3</sub>	1220-1170
1250-1000	Si-O-Si siloksan grubu	1220-1170
760	SiO-H titreşimi	792-791
760	Polisiloksanlarda Si-CH <sub>3</sub>	865-750
550-500	Si-O-Si eğilme titreşimi	478-464

## 6.2. KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

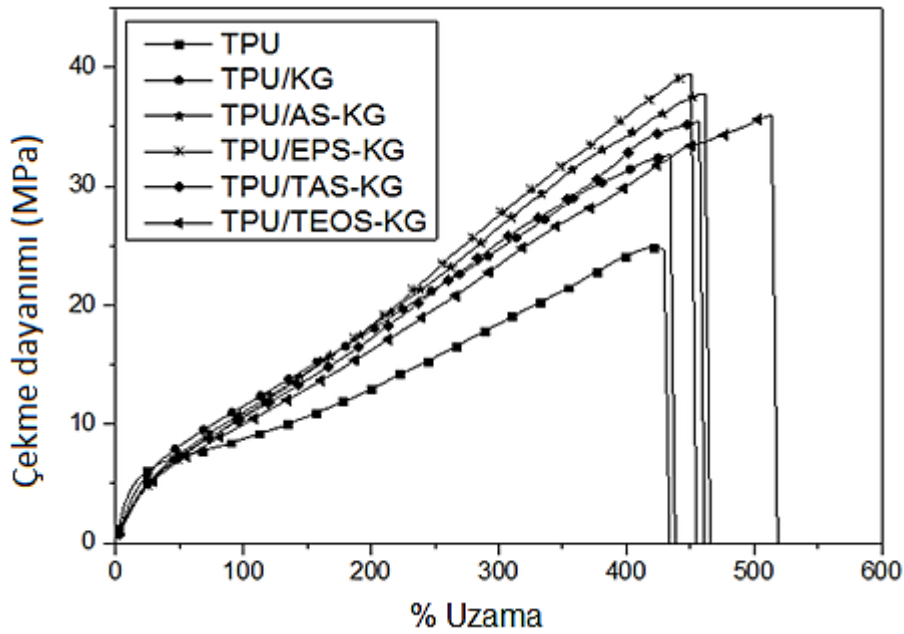
Kompozitlerin çekme dayanımı grafikleri incelediğinde diatomit eklenmesi ile kompozitlerin çekme dayanımının arttığı görülmektedir. Farklı kompozisyonlar için sonuçlar incelendiğinde en büyük artışın %10 diatomit içeren kompozitlerde olduğu gözlenmiştir. %10, % 20 ve %30 diatomit içeren kompozitler için çekme grafikleri sırasıyla Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de verilmiştir. Kompozitlere %10’dan daha fazla diatomit eklenmesi topaklanmaları artırdığından %20 ve %30 diatomit içeren kompozitler için çekme dayanımı %10 diatomit içeren kompozitlerden daha düşük olarak ölçülmüştür. Kompozitlerin diğer özelliklerinin incelenmesinde %10 diatomit içeren kompozitler kullanılmıştır.

TPU ve %10 diatomit içeren kompozitlerinin çekme testlerine ait veriler Çizelge 6.3’te verilmiştir. Diatomitin eklenmesiyle elde edilen kompozitlerin çekme gerilmesi ve kopma uzama değerleri, saf TPU’nun çekme değerlerine kıyasla oldukça gelişmiştir. Bunlara ek olarak, silanlama yüzey modifikasyonundan sonra TPU ve diatomit yüzeyleri arasında daha iyi bir arayüzey etkileşimi olması nedeniyle, modifiyeli yüzeylerin çekme dayanımı testlerinde modifiye edilmemiş diatomit yüklü TPU kompozitlerine göre biraz daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek dayanım, EPS-diatomit içeren kompozitlerde elde edilmiştir. Bu yüksek dayanım, EPS (Epoksi fonksiyonel silan) grubunun poliüretan ile daha iyi uyumluluk göstermesinden kaynaklanmaktadır. TPU’nun uzama yüzdesi, ağırlıkça %10’luk

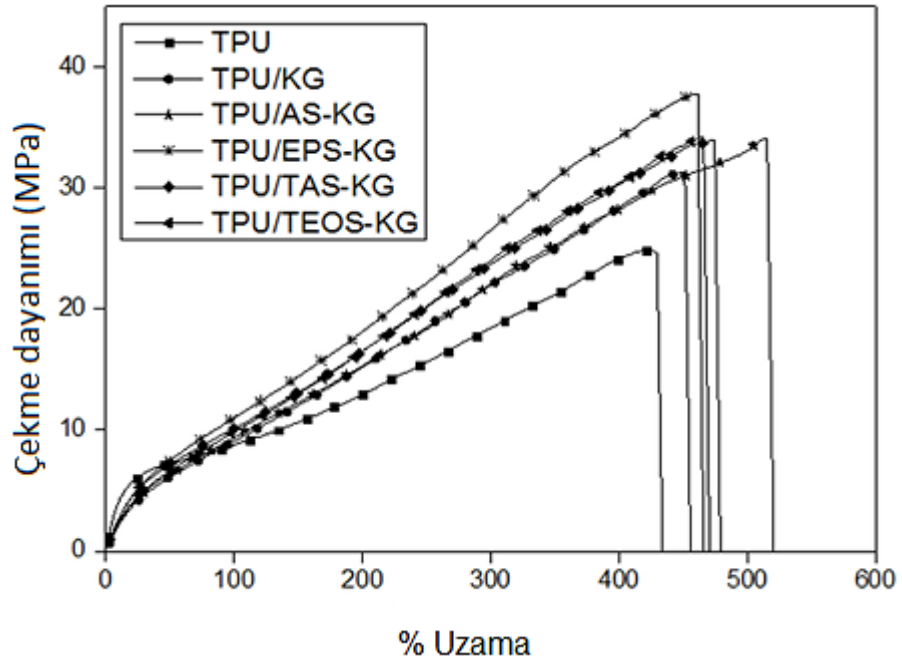
diatomit içeren ilaveyle artmıştır. Silanlanmış diatomit numuneleri nispeten daha yüksek gerilme sonuçları göstermektedir. Modifiye edilmiş olsun veya olmasın her durumdaki diatomit ilavesi sonucunda TPU'nun çekme modülü azalır. Mineral dolgu malzemelerinin yüzey modifikasyonları sayesinde kompozitlerin çekme özelliklerinde iyileştirmeler elde edildiğine dair benzer bulgular [38]'de de görülmektedir.

Çizelge 6.3. %10 diatomit içeren TPU/KG kompozitlerinin çekme özellikleri.

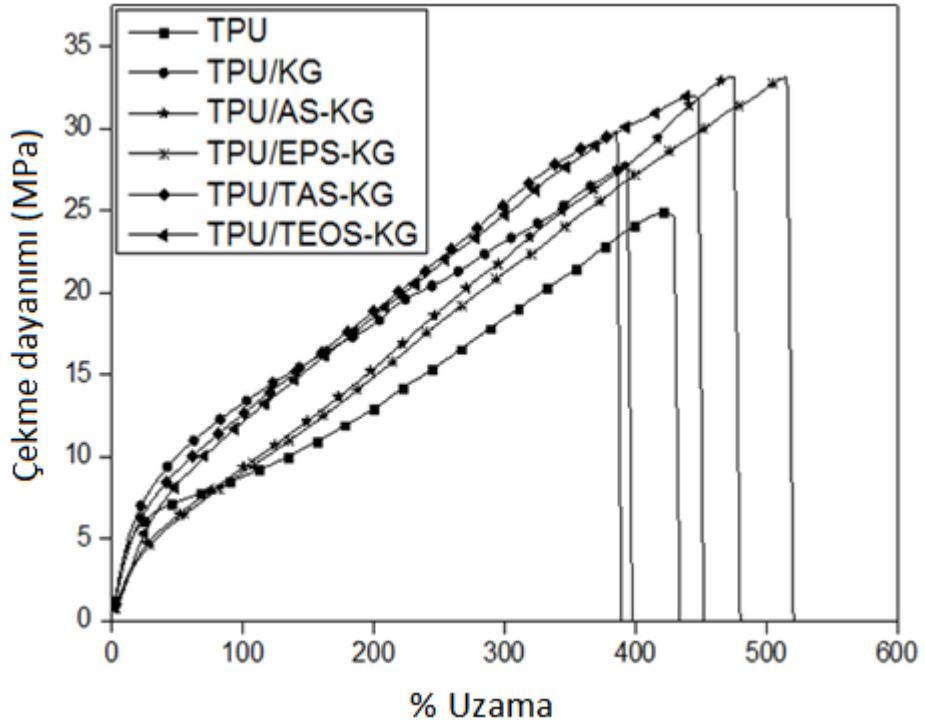
Örnekler	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)	Çekme modülü (MPa)
TPU	24,6±1,4	424,0±21,3	57,8±3,6
TPU/KG	32,7±1,6	437,6±12,5	35,1±2,0
TPU/AS-KG	37,5±1,9	460,3±12,8	28,0±2,3
TPU/EPS-KG	39,4±1,5	454,3±11,7	28,1±3,1
TPU/TAS-KG	35,3±1,7	471,5±10,6	29,9±3,5
TPU/TEOS-KG	35,3±1,8	510,3±11,4	32,0±2,8



Şekil 6.10. % 10 diatomit içeren TPU/KG kompozitlerinin çekme grafiği.



Şekil 6.11. % 20 diatomit içeren TPU/KG kompozitlerinin çekme grafiği.



Şekil 6.12. % 30 diatomit içeren TPU/KG kompozitlerinin çekme grafiği.

TPU'ların ve kompozitlerin sertlik değerleri Shore A sertlik testi ile belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler Çizelge 6.4'te verilmiştir. TPU'nun sertliğinin, diatomit



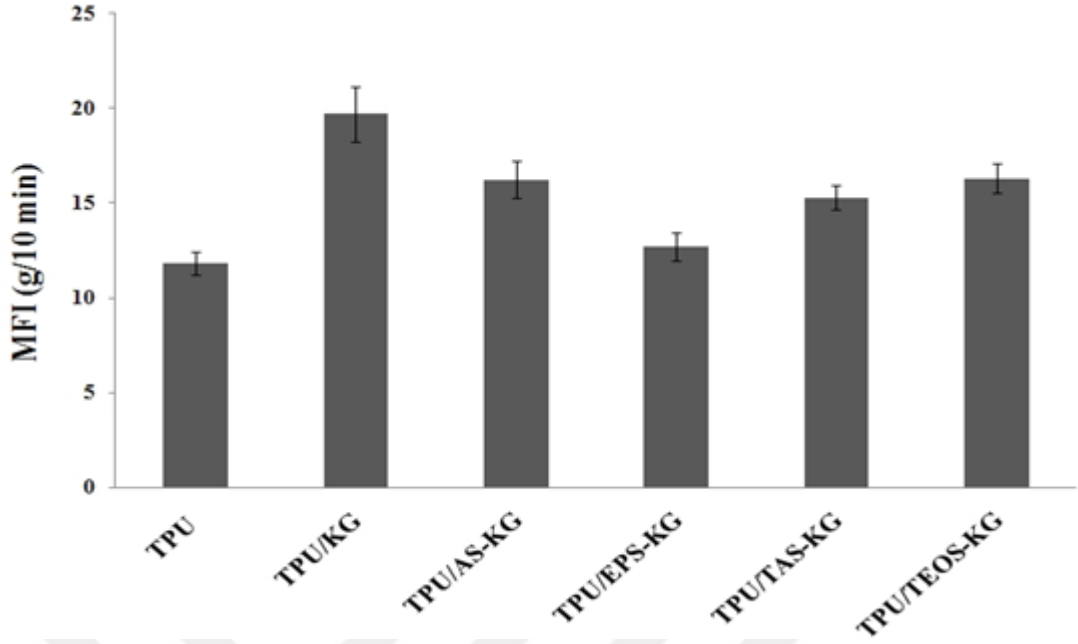
ilavesiyle biraz arttığı gözlemlenmiştir. Silanla modifiye edilmiş diatomit numuneleri, modifiye edilmemiş diatomit numunelerine göre daha yüksek sertlik değerleri göstermektedir. Modifiye edilmemiş diatomitin TPU matrisindeki dağılımı, kümelenme oluşturma eğilimi nedeniyle, silan ile modifiye edilmiş diatomite kıyasla daha az homojen olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenden dolayı, silanla modifiye edilmiş diatomit numuneleri için daha yüksek sertlik değerleri ortaya çıkmıştır. En yüksek sertlik değeri TEOS-diatomit dolgulu TPU kompozitleri için elde edilmiştir.

Çizelge 6.2. TPU ve kompozitlerinin sertlik değerleri.

Örnekler	Shore A
TPU	85,9±0,4
TPU/KG	86,7±0,2
TPU/AS-KG	87,5±0,5
TPU/EPS-KG	87,8±0,2
TPU/TAS-KG	88,9±0,3
TPU/TEOS-KG	89,1±0,1

### 6.3. KOMPOZİTLERİN ERİME AKIŞI İNDEKSİ

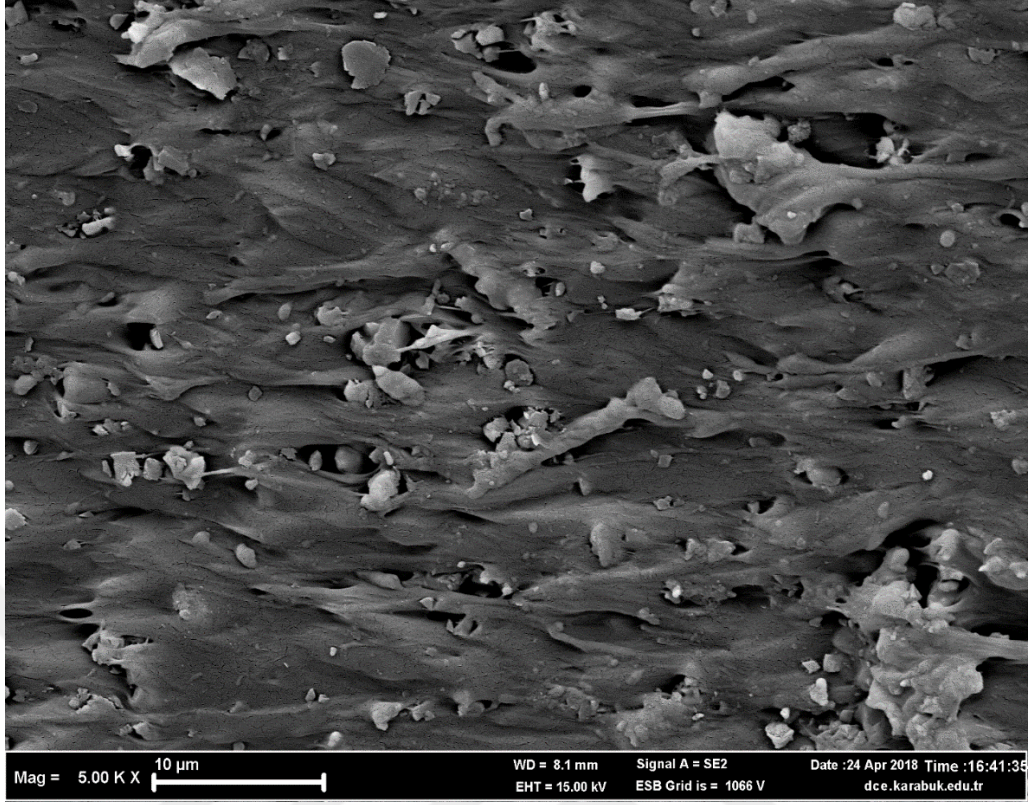
Erime akış indeksi değerleri Şekil 6.13'te gösterilmiştir. Modifiye edilmemiş diatomitin TPU polimer matrisine eklenmesi, saf TPU'nun erime akış indeksini arttırmaktadır. Diatomitin silanlanması işlemi, kompozitler arasında erime akış indeksi değerinde düşüşe neden olmaktadır. Diatomitin gözeneklerine polimerin nüfuz etmesini engelleyen silanizasyon işleminden sonra, diatomitin gözenek fraksiyonu ve boyutu küçülmektedir. Böylece, silanlanmış diatomit tozlarının TPU matrisine eklenmesi erime akış indeksi değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Test sonuçlarına göre, EPS-diatomit dolgulu kompozitlerde, TPU ve diatomit arasında daha iyi yapışma gerçekleştiği için en düşük değeri göstermektedir.



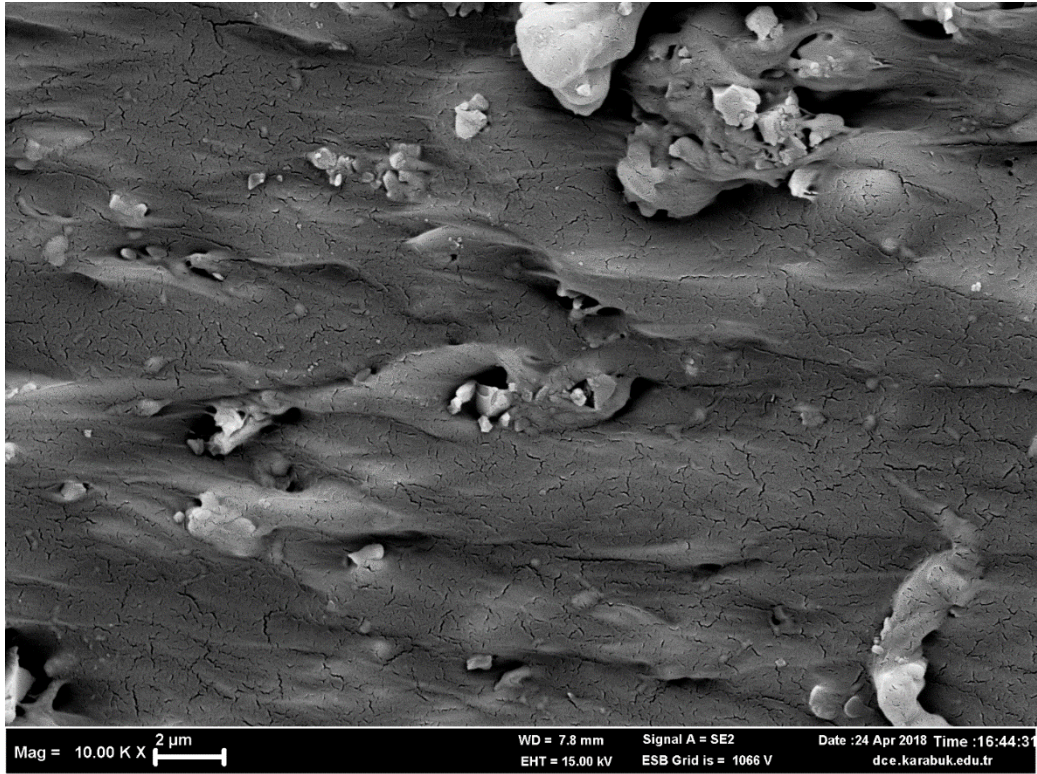
Şekil 6.13. TPU ve kompozitlerinin erime akış indeksleri.

#### 6.4. TPU VE KOMPOZİTLERİN MORFOLOJİK KARAKTERİZASYONU

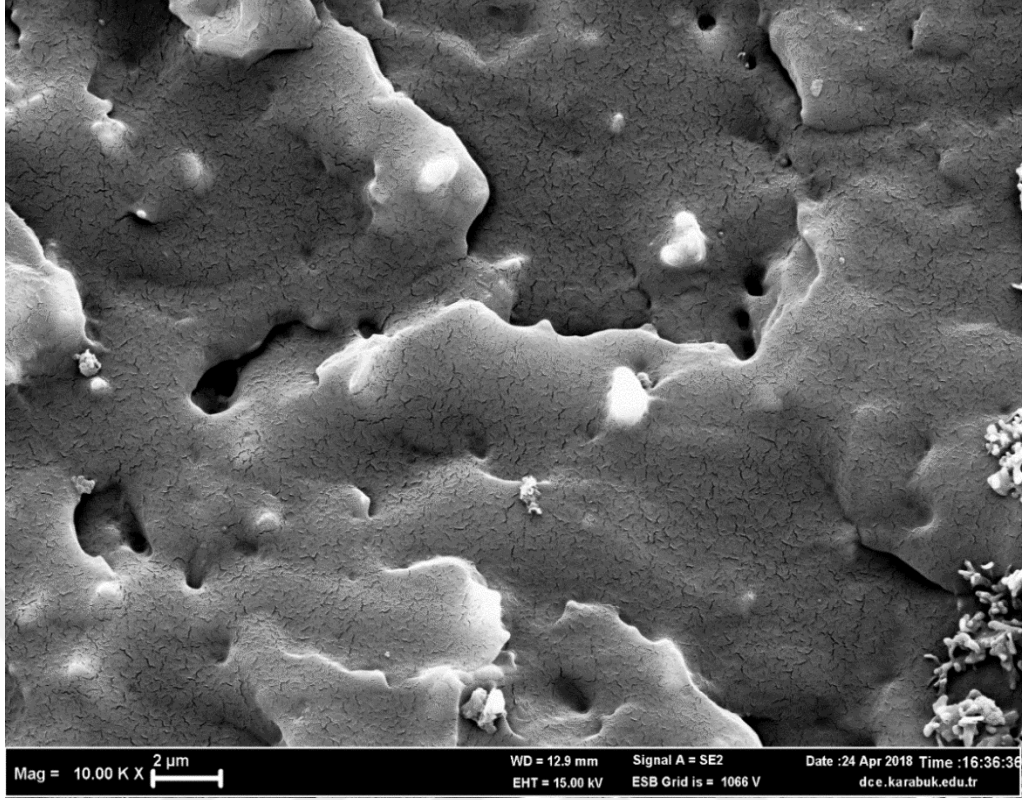
Şekil 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19’da modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş diatomit içeren TPU kompozitlerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Silanlama yüzey işlemi, polimer matrisi ve diatomit parçacıkları arasındaki yüzey uyumluluğunu olumlu yönde etkilemektedir. Modifiye edilmiş diatomit parçacıkları, TPU matrisinde, modifiye edilmemiş diatomit taneciklerinden daha iyi dağılım göstermektedir. TPU-modifiye edilmemiş diatomit kompozitlerinde, TPU matrisindeki fazlar ve aglomerasyon parçaları arasında büyük boşluklar açıkça görülmektedir. Silanlanmış diatomit içeren kompozitler homojen bir dağılım göstermekte ve arayüz etkileşimlerinin iyileşmesi nedeniyle polimer matrisi ile daha iyi birleşme göstermektedir. Bu sonuçlar ile çekme dayanımı sonuçları birbirlerini desteklemektedir.



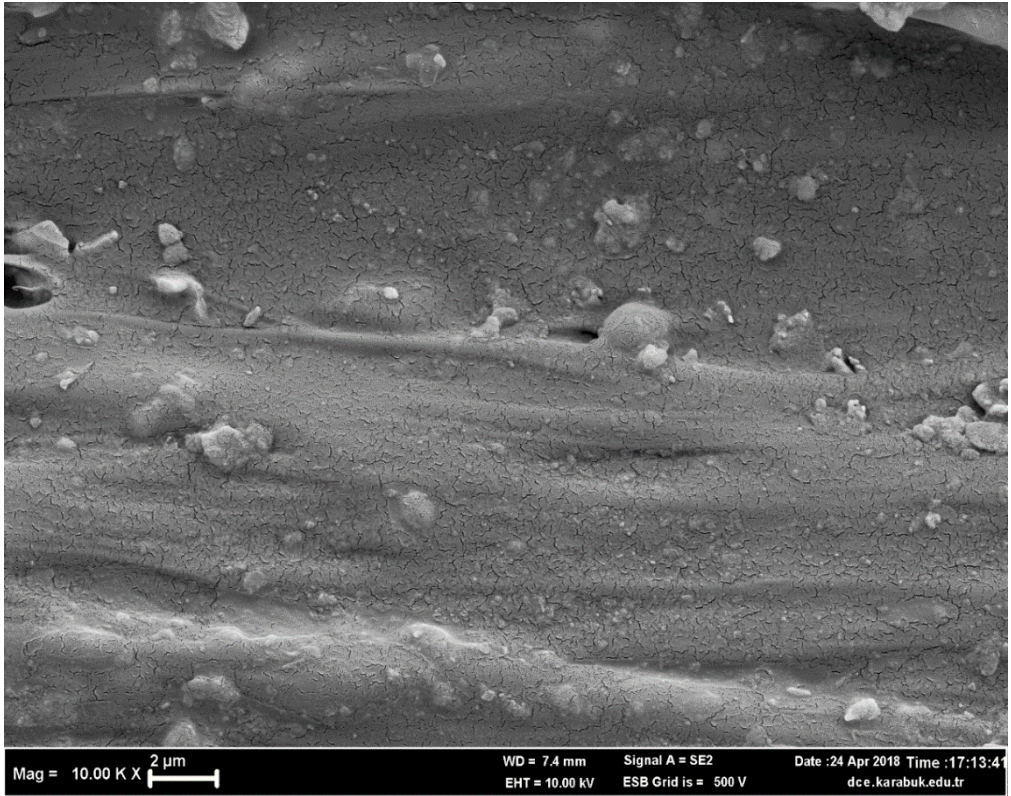
Şekil 6.14. TPU/Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 6.15. TPU/Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü.



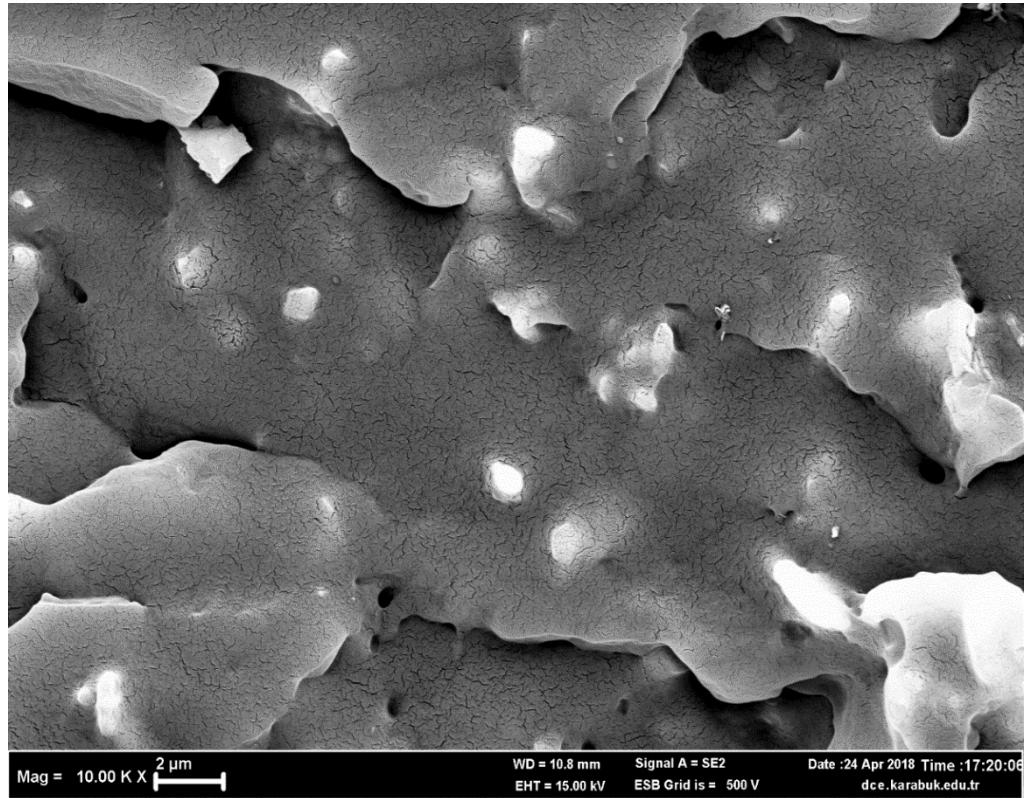
Şekil 6.16. TPU/AS-Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 6.17. TPU/EPS-Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 6.18. TPU/TAS-Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü.

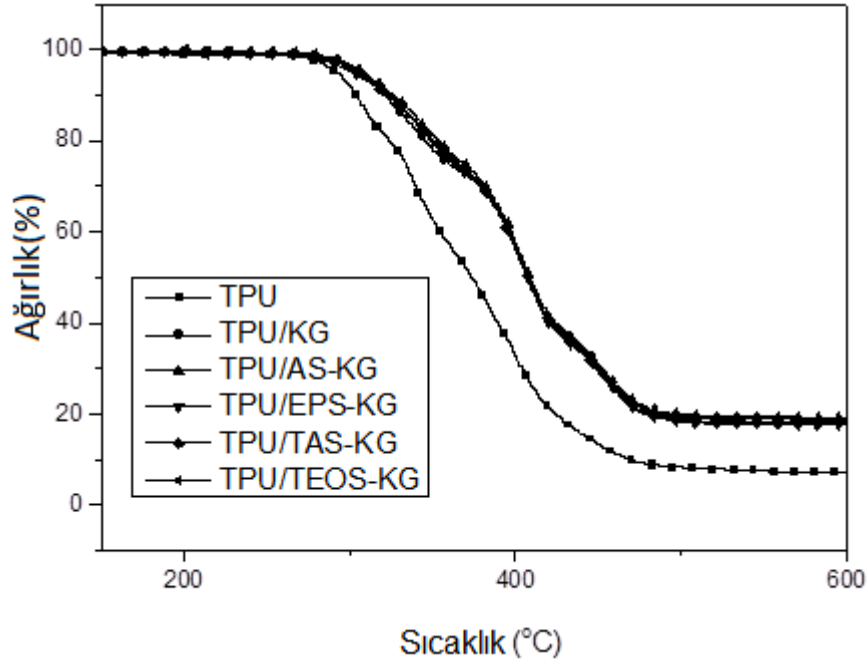


Şekil 6.19. TPU/TEOS-Diatomit kompozitinin kırılma yüzeyi görüntüsü.

## 6.5. TPU VE KOMPOZİTLERİN TGA EĞRİLERİ

Şekil 6.20’de görülebileceği gibi, TPU ve kompozitleri, TPU'nun yapısı nedeniyle iki basamaklı bozunma karakteristiğine sahiptir. TPU’nun bozunma basamakları 280 °C ve 460 °C dir [39,40]. Bunlardan ilki TPU’nun sert kısmındaki üretan bağları ile ve TPU’ nun yumuşak kısmındaki poliöl gruplarından kaynaklanmaktadır. Modifiye edilmemiş diatomit ve silanla modifiye edilmiş diatomit içeren kompozitlerin TGA eğrileri saf TPU ile karşılaştırıldığında diatomit ilavesinin kompozitlerin ısıl kararlılığını artırdığı görülmektedir.

Diatomit kimyasal olarak kararlı, ısıl bozulmaya karşı dirençlidir ve kompozitlerin ısıl kararlılığının artmasına neden olur [41]. Kompozitler için elde edilen TGA eğrilerine göre 280 °C ile 460 °C arasında olan ilk aşama, silanol gruplarının kondenzasyonu ve diatomit tarafından emilen suyun serbest bırakılması ile ilgilidir [42–44]. Sıcaklığın 460 °C’nin üzerine çıkarıldığı ikinci aşamada ise, diatomitteki kil mineralleri dehidroksile olmuştur ve diatomitin gözeneklerinde yapısal değişiklikler meydana gelmiştir [42,43]. Gözenekli mineraller, TGA analizi esnasında erken bozunma gösterir [45–48]. Kompozitlerin TGA eğrilerine göre, reaktif diatomit için en uygun kalsinasyon sıcaklığının 500 °C’den yüksek olmaması gerektiği söylenebilir [42]. TGA analizi sonrasında kalan son kalıntı miktarı test sırasında inorganik oksitlerin oluşumundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.20. TPU ve kompozitlerinin TGA eğrileri.

## 6.6. ÇIKARIMLAR

Çekme testi sonuçları, KG'nin TPU'ya eklenmesinin gerilme mukavemeti ve yüzde uzama değerlerinde belirgin bir artışa yol açtığını göstermektedir. En yüksek çekme mukavemeti EPS-KG içeren kompozitler için elde edilmiştir. TPU'nun Shore sertliği bir miktar artmıştır. TGA analizi sonucunda, KG içeren TPU kompozitlerinin saf TPU'dan daha iyi ısıl stabiliteye sahip olduğu görülmüştür. KG ilaveleri, saf TPU'nun eriyik akış hızını artırır ve silan yüzeyi ile işlenmiş numunelerin Erime akış indeksi değerleri, modifiye edilmemiş numuneden daha düşüktür. Kompozitlerin SEM mikrografları ile yapılan morfolojik çalışmalara göre, yüzeyleri modifiye edilmemiş KG içeren kompozitler için büyük aglomerat ve boşluk oluşumları gözlenmektedir. Silanlanmış KG içeren kompozitlerde ise, KG dağılımında homojenlik ve iyi yüzey yapışması gözlemlenmiştir. Sonuç olarak silan modifikasyonları, TPU'nun mekanik ve fiziksel özelliklerini daha yüksek seviyelere çıkarır. En yüksek sonuçlar, epoksi fonksiyonel grup ile poliüretan segment arasındaki gelişmiş arayüzey etkileşimlerinden kaynaklanabilen EPS-KG dolgulu kompozitler için elde edilir.

## KAYNAKLAR

1. Internet: Zor, M., "Kompozit Malzeme Mekanik Ders Notları", [http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel\\_bilgiler.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf) (2018).
2. Bakiođlu, E., "Esnek ambalaj sektoru buyume trendinde", *Plastik Araştırma, Geliřtirme, İnceleme Dergisi (PAGEV)*, 135: 56–64 (2016).
3. Wang, H., Zhu, M., Li, Y., and Zhang, Q., "Mechanical properties of dental resin composites by co-filling diatomite and nanosized silica particles", *Materials Science And Engineering:C*, 31 (3): 600–605 (2011).
4. Miao, X., Zhu, M., Li, Y., Zhang, Q., and Wang, H., "Synthesis of dental resins using diatomite and nano-sized SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>", *Progress In Natural Science: Materials International*, 22 (2): 94–99 (2012).
5. Lamastra, F. R., Mori, S., Cherubini, V., Scarselli, M., and Nanni, F., "A new green methodology for surface modification of diatomite filler in elastomers", *Materials Chemistry And Physics*, 194: 253–260 (2017).
6. Internet: CROW(Chemical Retrieval on the Web), "Polyurethanes (PU) Properties and Applications", <http://polymerdatabase.com/PolymerBrands/PU.html> (2019).
7. Akindoyo, J. O., Beg, M. D. H., Ghazali, S., Islam, M. R., Jeyaratnam, N., and Yuvaraj, A. R., "Polyurethane types, synthesis and applications – a review", *RSC Advances*, 6 (115): 114453–114482 (2016).
8. Internet: Evcin, A., "Polimer Malzemeler", <http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2017/05/10-polimer-uygulamaları-termoplastik-polimerler.pdf> (2017).
9. Internet: Omnexus, "Complete Guide on Thermoplastic Polyurethanes (TPU)", <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/thermoplastic-polyurethanes-tpu> (2018).
10. Internet: Lynley, M., "Google Is Making a Fast Specialized TPU Chip for Edge Devices and a Suite of Services to Support It", <https://techcrunch.com/2018/07/25/google-is-making-a-fast-specialized-tpu-chip-for-edge-devices-and-a-suite-of-services-to-support-it/> (2019).
11. Yıldız, A., "Doğal Nanomateryal: Diyatomit", *SDUGEO E-Dergi*, 1: 15–20 (2012).



12. Özbey, G. ve Atamer, N., "Kizelgur (Diatomit) hakkında bazı bilgiler", **10. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi**, Ankara, 493–502 (1987).
13. Çetin, M. ve Taş, B., "Biyolojik orijinli tek doğal mineral: Diyatomit", **Tübav (Türk Bilim Araştırma Vakfı) Dergisi**, (5/2): 28–46 (2012).
14. Uygun, A., "Diatomit Jeolojisi ve yararlanma olanakları", **Bilimsel Madencilik Dergisi**, 15 (5): 31–38 (1976).
15. Uygun, A., "Hırka (Kayseri) diyatomit yatağının jeokimyası ve oluşumu", **Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni**, 19 (2): 127–132 (1976).
16. Yıldız, A., Gürel, A., ve Okutan, D., "Tahar-Güzelöz (Nevşehir) diyatomitlerinin fizikokimyasal özellikleri ve kullanılabilirliği", **MTA Dergisi**, 157: 171–191 (2018).
17. Baylak, H. M. and Bozyiğit, R., "Geological and geomorphological evaluation of Melendiz stream basin", **Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 40: 74–87 (2018).
18. Sıvacı, R. ve Dere, Ş., "Melendiz Çay'ının (Aksaray-Ihlara) Epipelik Diyatome Florasını Mevsimsel Değişimi", **C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi**, 27 (1): (2006).
19. Aruntaş, H. Y., Albayrak, M., ve Tokyay, M., "Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması", **Turkish Journal Of Engineering And Environmental Sciences**, 22 (4): 337–344 (1998).
20. Yıldız, A., "Seydiler (Afyon) diyatomit cevherinin jeolojisi ve izolasyon tuğlası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans, **Afyon Kocatepe Üniversitesi**, (1997).
21. Bentli, İ., Ediz, N., and Tatar, İ., "Beneficiation of Kutahya-Alayunt diatomite by calcination", **Proceedings of 10th International Mineral Processing Symposium**, İzmir, (2004).
22. Temel, Ş., "Diatomit, Sepiyolit ve Mikalı Kum'un Kuru Zenginleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, (2014).
23. Bircan, A. and Urfalıoğlu, S., "Türkiye diyatomit envanteri", **Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü**, Ankara, (1968).
24. Ivanov, S. E. and Belyakov, A. V., "Diatomite and its applications", **Glass And Ceramics**, 65 (1): 48–51 (2008).
25. Çeşmeci, Z., Mısırlı, R., and Göktaş, A. A., "Evaluation of Diatomite as Filters Prepared by Extrusion", **III. Seramik Kongresi**, İstanbul, 457–462 (1996).

26. Martinovic, S., Vlahovic, M., Boljanac, T., and Pavlovic, L., "Preparation of filter aids based on diatomites", *International Journal Of Mineral Processing*, 80 (2-4): 255–260 (2006).
27. Erkan, Z. E. and Malayoğlu, U., "Kağıt-Karton Sanayiinde Kullanılan Endüstriyel Hammaddeler ve Özellikleri", *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, (2001).
28. Tosun, K., Felekoğlu, B., Baradan, B., and Altun, İ. A., "Portland Limestone Cement Part I - Preparation of Cements", *Teknik Dergi*, 3 (20): 1337–1355 (2009).
29. Hanna, S. B., Ibrahim, S. S., Wahsh, M. M. S., and Mansour, T. S., "Diatom heat insulating material combined by ceramic bond", *African Journal Of Engineering Research*, 2 (2): 26–38 (2014).
30. Kaya, A. İ., "Kompozit Malzemeler ve Özellikler", *Putech & Composite Poliüretan Ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29: 38–45 (2016).
31. Internet: Temiz, V., "Makine Elemanları I-II Ders Slaytları: Mühendislik Malzemeleri", <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Malzeme.pdf> (2019).
32. Şahin, Y., "Polimer Malzemelere Giriş", 1. Baskı, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, (2006).
33. Vasiliev, V. V. and Morozov, E. V., "Mechanics and Analysis of Composite Materials", 1. Ed., *Elsevier*, Great Britain, (2007).
34. Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", 1. Baskı, *Gazi Kitabevi*, Ankara, (2000).
35. Internet: Bruker Optics Inc., [http://www.laboaragon.com/docs/marcas/bruker/FTIR\\_ALPHA\\_brochure\\_EN.pdf](http://www.laboaragon.com/docs/marcas/bruker/FTIR_ALPHA_brochure_EN.pdf) (2014).
36. Internet: SEM Laboratory, <http://dce.karabuk.edu.tr/icerikGoster.aspx?K=S&id=1056&BA=en> (2013).
37. Internet: CHP Trading, "Hitachi High-Tech", <http://www.chpt.co.kr/product/goods.php?pageNum=&subNum=&GCODE=G1354858661303&CODE=> (2012).
38. Tayfun, U., Kanbur, Y., Abaci, U., Guney, H. Y., and Bayramli, E., "Mechanical, flow and electrical properties of thermoplastic polyurethane/fullerene composites: Effect of surface modification of fullerene", *Composites Part B: Engineering*, 80: 101–107 (2015).

39. Chattopadhyay, D. K. and Webster, D. C., "Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes", *Progress In Polymer Science*, 34 (10): 1068–1133 (2009).
40. Lee, H. K. and Ko, S. W., "Structure and thermal properties of polyether polyurethaneurea elastomers", *Structure And Thermal Properties Of Polyether Polyurethaneurea Elastomers*, 50 (7): 1269–1280 (1993).
41. Jeong, S.-G., Jeon, J., Lee, J.-H., and Kim, S., "Optimal preparation of PCM/diatomite composites for enhancing thermal properties", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 62: 711–717 (2013).
42. Posi, P., Lertnimoolchai, S., Sata, V., and Chindaprasirt, P., "Pressed lightweight concrete containing calcined diatomite aggregate", *Construction And Building Materials*, 47: 896–901 (2013).
43. Mu, Y., Cui, M., Zhang, S., Zhao, J., Meng, C., and Sun, Q., "Comparison study between a series of new type functional diatomite on methane adsorption performance", *Microporous And Mesoporous Materials*, 267: 203–211 (2018).
44. Benayache, S., Alleg, S., Mebrek, A., and Suñol, J. J., "Thermal and microstructural properties of paraffin/diatomite composite", *Vacuum*, 157: 136–144 (2018).
45. Hull, T. R., Witkowski, A., and Hollingbery, L., "Fire retardant action of mineral fillers", *Polymer Degradation And Stability*, 96 (8): 1462–1469 (2011).
46. Guler, T., Tayfun, U., Bayramli, E., and Dogan, M., "Effect of expandable graphite on flame retardant, thermal and mechanical properties of thermoplastic polyurethane composites filled with huntite&hydromagnesite mineral", *Thermochimica Acta*, 647: 70–80 (2017).
47. Almeida Pinto, U., Visconte, L. L. Y., Gallo, J., and Nunes, R. C. R., "Flame retardancy in thermoplastic polyurethane elastomers (TPU) with mica and aluminum trihydrate (ATH)", *Polymer Degradation And Stability*, 69 (3): 257–260 (2000).
48. Dike, A. S., Tayfun, U., and Dogan, M., "Influence of zinc borate on flame retardant and thermal properties of polyurethane elastomer composites containing huntite-hydromagnesite mineral", *Fire And Materials*, 41 (7): 890–897 (2017).

## ÖZGEÇMİŞ

Fatma KÜÇÜK 1983 Kayseri doğumludur. İlk ve Orta öğretimini Kayseri’de tamamladı. Ardından, 2003-2007 yılları arasında Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya bölümünde Lisans eğitimini tamamladı. 2007-2008 yılları arasında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Kimya Öğretmenliği Tezsiz Yüksek Lisans programında tezsiz yüksek lisans eğitimini tamamladı. Evli ve 2 çocuk annesidir.