

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**BAZALT LİFLERLE TAKVİYE EDİLMİŞ ATIK ARAÇ AKÜ
POLİMERLERİNDEN KOMPOZİT ÜRETİMİ-KOMPOZİTLERİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Müslüm ÇOLAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Anabilim Dalı. İnşaat Mühendisliği

DANIŞMAN
Doç. Dr. Alper POLAT

TUNCELİ-2023

**T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BAZALT LİFLERLE TAKVİYE EDİLMİŞ ATIK ARAÇ AKÜ
POLİMERLERİNDEN KOMPOZİT ÜRETİMİ-KOMPOZİTLERİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Müslüm ÇOLAK
(200150030)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anabilim Dalı. İnşaat Mühendisliği

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Alper POLAT**

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BAZALT LİFLERLE TAKVİYE EDİLMİŞ ATIK ARAÇ AKÜ
POLİMERLERİNDEN KOMPOZİT ÜRETİMİ-KOMPOZİTLERİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Müslüm ÇOLAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 20/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza

Doç. Dr. Yılmaz KISMET
(Munzur Üniversitesi)

BAŞKAN

İmza

Doç. Dr. Alper POLAT
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Sedat SAVAŞ
(Fırat Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

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

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza
Müslüm ÇOLAK

Danışman
Doç. Dr. Alper POLAT

TEŞEKKÜR

Bu çalıŐmanın yűrűtűlmesi esnasında desteęini esirgemeyen, gűsterdięi sabır ve emekleri için deęerli danıŐmanım Doç. Dr. Alper POLAT'a, katkılarından dolayı Munzur Ŭniversitesi Műhendislik Fakűltesi Makina Műhendislięi Ana Bilim Dalı Őđretim Ŭyesi Doç. Dr. Yılmaz KISMET'e ve benden her tűrlű maddi manevi yardımlarını esirgemeyen deęerli aileme teŐekkűr ederim.

Műslűm ÇOLAK
TUNCELİ - 2023



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLOLAR LİSTESİ	VI
RESİMLER LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİKLER ve ÖZELLİKLERİ	2
2.1. Polimer Bilimi ve Plastikler	2
2.2. Molekül Yapıları ve Polimerizasyon Dereceleri	3
2.2.1. Termoplastikler	6
2.2.2. Termosetler	6
2.2.3. Elastomerler.....	8
2.3. Polimerlerin Özellikleri ve Üretim Yöntemleri.....	8
2.3.1. Mekanik ve termal özellikleri.....	11
2.3.2. Kimyasallara karşı dayanımları.....	12
2.3.3. Ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon ile üretim.....	12
2.3.4. Diğer üretim teknikleri	14
3. TERMOPLASTİKLER ve TERMOPLASTİK KOMPOZİTLER	15
3.1. Poliolenfinler	15
3.1.1. Polipropilen	16
3.2. Termoplastik Matrisli Kompozitler	17
3.2.1. Termoplastik kompozitlere elyaf eklenmesi ve elyaf çeşitleri	22
3.3. Bazalt Elyaf Takviyeli Termoplastikler	25
3.4. Termoplastik Kompozitlerin Karakterizasyonu	28
4. POLİMER MALZEMELERDE GERİ DÖNÜŞÜM	32
4.1. Geri Dönüşüm Yöntemleri	33
4.1.1. Mekanik geri dönüşüm	33
4.1.2. Kimyasal geri dönüşüm.....	33
4.2. Atık akülerin yönetimi.....	33
4.2.1. Atık akülerin geri dönüşümü	34
5. METARYEL VE YÖNTEM	37
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	37
5.2. Mekanik Karışım ve Eriyik Akış Analizi	37
5.3. Eriyik Akış Analizi (MFI).....	38
5.4. Ekstrüzyonda Homojen Karışım	39
5.5. Ekstrüzyon Sonrası Akış Analizleri	41
5.6. Plastik Enjeksiyon ile Numune Üretimi	41
5.7. Üretilen Numunelerin Karakterizasyonu.....	43
5.7.1. Mekanik testler	43
5.7.2. Termal testler.....	45
5.7.3. Morfolojik analiz	46

6. TEST SONUÇLARI.....	48
6.1. Eriyik Akış Analiz Sonuçları	48
6.1.1. Çekme test sonuçları	51
6.1.2. Üç nokta eğilme gerilmesi.....	54
6.1.3. İzod darbe mukavemeti	55
6.2. Elektron Mikroskobu Sonuçları (SEM/EDS).....	56
6.3. Termogravimetrik (TGA/DTA) Analiz Sonuçları	62
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	65
8. KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Polimerlerin molekül yapıları.....	3
Şekil 2.2.	Polimeri oluşturan zincir şekilleri.....	4
Şekil 2.3.	Kopolimerleri oluşturan monomerlerin diziliş şekilleri	5
Şekil 2.4.	Termoplastik yapıdaki polimerlerin zincir yapıları	6
Şekil 2.5.	Termoset polimerlerin zincir yapıları	7
Şekil 2.6.	Propilen monomer ve polipropilen polimerler	10
Şekil 2.7.	Ekstrüzyon ünitesi	13
Şekil 2.8.	Şematik olarak plastik enjeksiyon makinesi.....	14
Şekil 3.1.	Karaçam odun unu takviyeli PP kompozitlerin çekme direnci verileri.....	20
Şekil 3.2.	Karaçam odun unu takviyeli PP kompozitlerin eğilme direnci verileri	21
Şekil 3.3.	Karaçam odun unu takviyeli PP kompozitlerin darbe direnci verileri	21
Şekil 3.4.	BTKP'nin kırılma yüzeyi mikro morfolojisi (A) PB ₁₀ (B) PB ₂₀	27
Şekil 4.1.	Akü imalatında kullanılan kurşun, sülfürik asit ve plastik kullanımı.....	34
Şekil 4.2.	Türkiye'deki akü dönüşümünün akım şeması	36
Şekil 5.1.	Enjeksiyon ile üretilen Tıp 1A standart çekme çubuklarının teknik ölçüleri ...	42
Şekil 6.1.	Bazalt elyaf oranına bağlı olarak karışımların eriyik akış indeksindeki değişim.....	48
Şekil 6.2.	Bazalt elyaf oranına bağlı olarak çekme gerilmesindeki değişim	52
Şekil 6.3.	Bazalt elyaf oranına bağlı olarak E-modülündeki değişim.....	53
Şekil 6.4.	Dolgu maddesi ağırlık oranına bağlı olarak eğilme gerilmesindeki değişim. ..	54
Şekil 6.5.	Dolgu maddesi ağırlık oranına bağlı kırılma enerjisindeki değişim.....	55
Şekil 6.6.	Ağırlıkça %90 saf PP ,%10 geri dönüşümden elde edilen PP ve bazalt elyaf dolgusu içermeyen numuneye ait TGD/DTA değişimi	62
Şekil 6.7.	Ağırlıkça %70 saf PP ,%20 geri dönüşümden elde edilen PP ve %10 bazalt elyaf içeren numuneye ait TGD/DTA değişimi.....	63
Şekil 6.8.	Ağırlıkça %50 saf PP ,%30 geri dönüşümden elde edilen PP ve %20 bazalt elyaf içeren numuneye ait TGD/DTA değişimi.....	64

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Polimerlerin sınıflandırılması.....	6
Tablo 2.2.	Termosetlerin, termoplastiklere göre dezavantajları.....	8
Tablo 2.3.	Polimer matrislerin termal ve mekanik özellikleri.....	9
Tablo 3.1.	Polipropilene ait teknik özellikleri.....	17
Tablo 3.2.	2007 yılında global kompozitlerin dağılımı.....	18
Tablo 3.3.	PP ve FK'nın karışım oranları.....	19
Tablo 3.4.	PP ve FK'nın mekanik test değerleri.....	19
Tablo 3.5.	Kompozit numunelerin karışım oranları.....	20
Tablo 3.2	Bazalt kayasının kimyasal bileşimi.....	25
Tablo 3.3.	Bazalt elyafın mekanik özelliklerinin diğer elyaflarla karşılaştırılması.....	25
Tablo 3.4.	PP,PB ₁₀ ve PB ₂₀ numunelerinin mekanik özellikleri.....	26
Tablo 3.5.	Bazalt elyaf, PP ve PPGMA'nın ağırlıkça karışımı sonucu mekanik özellikler.....	27
Tablo 5.1.	Karışımlarda kullanılan Saf PP , Akü geri dönüşümünden elde edilen PP ve Bazalt elyaf tozu oranları.....	37
Tablo 6.1.	Polipropilen PETOPLen EH122 malzemesine ait MFR ile yoğunluk değerleri.....	49
Tablo 6.2.	Numunelerin üretiminde kullanılan dolgu maddeleri ve içerikleri oranları ve kısaltmaları.....	51
Tablo 6.3.	Farklı karışım oranlarına göre çekme mukavemeti değerleri.....	51
Tablo 6.4.	Farklı karışım oranlarına göre Elastite Modülü değerleri.....	51
Tablo 6.5.	Farklı karışım oranlarına göre üç nokte eğilme gerilmesine ait değerler.....	54
Tablo 6.6.	Farklı karışım oranlarına göre kırılma enerjisine ait değerler.....	55
Tablo 6.7.	EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları ...	57
Tablo 6.8.	EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları	59
Tablo 6.9.	EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları	62

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1.	Bazalt elyaf tozu ve geri dönüşümden elde edilen polipropilen karışımı	28
Resim 3.2.	Çekme test cihazı (Şişmanoğlu, 2020).....	29
Resim 5.1.	JPT EQUIPMANT XRL-400A Markasına ait Melt Flow Index eriyik akış tespit cihazı.	38
Resim 5.2.	BES35 LD-tek vida extrüder makinası ve ekstrüde işlemi için hazırlanmış saf PP,geri dönüşümden elde edilen PP ve bazalt elyaf tozu içeren karışım .	40
Resim 5.3.	Granül eldesi için kullanılan kırıcı	40
Resim 5.4.	Ekin 100 marka plastik enjeksiyon makinası.....	41
Resim 5.5.	Plastik enjeksiyon kalıbı ve üretilen numenler	42
Resim 5.6.	Shimadsu ag-x 10” ile gerçekleştirilen çekme ve üç nokta eğilme deneyleri	44
Resim 5.7.	Darbe Test Cihazı.....	45
Resim 5.8.	DTG 60 TGA/DTA cihazı.....	46
Resim 5.9.	HITACHI SU 3500 taramalı elektron mikroskobu	47
Resim 6.1.	Ağırlıkça %90 saf PP ,%10 geri dönüşümden elde edilen PP ve bazalt elyaf dolgusu içermeyen numuneye ait kesit görüntüsü.	56
Resim 6.2.	EDS analizine ait spektrum sonucu.....	57
Resim 6.3.	Ağırlıkça %70 saf PP ,%20 geri dönüşümden elde edilen PP ve %10 bazalt elyaf içeren numuneye ait kesit görüntüleri.....	57
Resim 6.4.	EDS analizi için seçilen yüzey	58
Resim 6.5.	%10 bazalt elyaf katkılı numunenin EDS analizine ait spektrum sonucu.....	59
Resim 6.6.	Ağırlıkça %50 saf PP ,%30 geri dönüşümden elde edilen PP ve %20 bazalt elyaf içeren numuneye ait kesit görüntüsü	60
Resim 6.7.	EDS analizi için seçilen yüzey	61
Resim 6.8.	EDS analizine ait spektrum sonucu.....	61

SEMBOLLER LİSTESİ

ΔH	: Entalpi değişimi
T_g	: Camsı geçiş sıcaklığı
T_m	: Erime sıcaklığı
T_c	: Kristallenme sıcaklığı
$^{\circ}C$: Santigrat derece
Σ	: Gerilme
ϵ	: Birim Şekil değiştirme
E	: Elastize Modülü
$\sigma_{\check{c}}$: Çekme Dayanımı
σ_{ak}	: Akma Dayanımı



KISALTMALAR LİSTESİ

AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
Si-O-Si	: Siloksan fonksiyonel grup
XRD	: X-ışını kırınımı
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
GDEPP	: Geri Dönüşümden Elde Edilen Polipropilen
TGA	: Termogravimetrik analiz
NTE	: Nadir Toprak Elementleri
PP	: Polipropilen
PÜ	: Poliüretan
FTIR	: Fourier transform kızılötesi spektroskopisi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
KET	: Karbon elyaf tozu
BET	: Bazalt Elyaf Tozu
MFI	: Eriyik akış cihazı

ÖZET

Bu çalışmada, akü atıklarının geri dönüşümü için alternatif bir yöntem geliştirilmesi amaç edinilmiştir. Bu çerçevede polipropilen esaslı akü atıkları ile saf polipropilenden oluşan karışımlara ağırlıkça farklı oranlarda doğal bir mineral lif malzemesi olan bazalt elyaf eklenerek kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Oluşturulan ilk karışımlarda sadece saf PP ve PP esaslı akü atıkları kullanılmış olup daha sonra bu karışımlara ağırlıkça %3, %6, %10 ve %20 oranlarında bazalt elyaf lifi ile takviyelendirilmiştir. Karışımlarda artan bazalt elyaf oranına bağlı olarak PP esaslı akü atıklarının oranı arttırılırken saf PP oranı azaltılmış ve bu şekilde toplamda beş farklı karışım oranında sahip kompozitler üretilmiştir. Elde edilen karışımlar öncelikle mekanik olarak bir mikserde hazırlandı. Bu mekanik karışımların kütesel ve hacimsel akışkanlıklarının belirlenmesi için öncelikle eriyik akış analizi gerçekleştirildi ve elde edilen akışkanlık değerlerine göre ekstrüzyon ve enjeksiyon makinelerindeki çalışma sıcaklıkları belirlendi. Öncelikle mekanik olarak hazırlanmış olan bu karışımlar üç bölge ısıtmaya sahip tek vida ekstrüzyon makinasına dökülerek yaklaşık olarak 200 °C’de homojen hale getirildi. Bu homojen karışımlar ekstrüzyon makinasının kalıp kısmında tel şeklinde çekilerek su havuzuna daldırıldı ve soğutulduktan sonra kırıcıdan geçirilerek 2 mm ebatlarında granüller elde edildi. Elde edilen bu granüller numune üretimi için plastik enjeksiyon makinasına döküldü ve burada belirli sıcaklık ve basınçlarda kalıba püskürtüldü. Bu şekilde her bir karışım oranına ait olacak şekilde yaklaşık olarak 50 adet numune üretildi. Üretilen bu numunelerin mekanik termal ve morfolojik analizleri yapıldı. Numunelerin mekanik olarak çekme gerilmesi, üç nokta eğilme gerilmesi ve izod darbe dayanımları test edildi ve elde edilen değişimler grafiklerle gösterilerek tartışıldı. Termal olarak ise farklı karışım oranlarına sahip bu numunelerin TGA/DTA analizleri gerçekleştirildi ve bu sayede ısı artışına bağlı olarak ortaya çıkan kütle kayıpları ile erime ve yanma sıcaklıkları belirlendi. Farklı karışım oranlarında bazalt elyaf ve PP içeren numunelerin fiziksel bağlanma mekanizmaları da bu numunelerin kesitlerinin elektron mikroskobu altında görüntülenmesi ile tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Polipropilen, Bazalt elyaf, Atık aküler, Mekanik özellikler, Termal özellikler

ABSTRACT

Production of Composites by Reinforcing Basalt Fibers to Polymers Obtained from Battery Recycling-Investigation of Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Composites

In this study, it is aimed to develop an alternative method for the recycling of battery waste. In this context, composite materials have been developed by adding basalt fiber, a natural mineral fiber material, in different weight ratios, to the mixtures consisting of polypropylene-based battery wastes and pure polypropylene. Only pure PP and PP-based battery wastes were used in the first mixtures, and then basalt fiber fibers were reinforced at 3%, 6%, 10% and 20% by weight of these mixtures. Depending on the increased basalt fiber ratio in the mixtures, the ratio of PP-based battery wastes was increased, while the ratio of pure PP was decreased, and composites with a total of five different mixing ratios were produced. The resulting mixtures were first prepared mechanically in a mixer. In order to determine the mass and volumetric fluidities of these mechanical mixtures, firstly, melt flow analysis was performed and the operating temperatures in the extrusion and injection machines were determined according to the obtained fluidity values. These mixtures, which were first prepared mechanically, were poured into a single screw extruder with three zone heating and homogenized at approximately 200 °C. These homogeneous mixtures were drawn in the form of wire in the mold part of the extruder and immersed in the water pool, and after cooling, they were passed through the crusher and granules of 2 mm dimensions were obtained. These granules obtained were poured into the plastic injection machine for sample production and sprayed into the mold at certain temperatures and pressures. In this way, approximately 50 samples were produced for each mixing ratio. Mechanical, thermal and morphological analyzes of these samples were made. Mechanical tensile stress, three-point bending stress and Izod impact strength of the samples were tested and the obtained changes were discussed by showing graphics. Thermally, TGA/DTA analyzes of these samples with different mixing ratios were carried out, and in this way, mass losses due to heat increase and melting and combustion temperatures were determined. The physical bonding mechanisms of the samples containing basalt fiber and PP in different mixing ratios were also determined by imaging the sections of these samples under the electron microscope.

Keywords: Polypropylene, Basalt fiber, Waste batteries, Mechanical properties, Thermal properties

1. GİRİŞ

Genel olarak malzemeler; metaller, seramikler ve organik malzemeler olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Bu üç malzeme sınıfının bazı güçlü ve zayıf yönleri vardır. Kompozitler, malzemelerden iki veya daha fazlasının üstün özelliklerinin makro düzeyde tek bir malzemede birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelerdir. Kompozitler esas olarak matris ve takviye edici malzemedan oluşmaktadır (Kaya, 2015).

1945’li yıllardan itibaren havacılık sanayisinin büyümesiyle birlikte farklı formlarda malzeme ihtiyaçlarını artırmıştır. Kompozit malzemelerde bu gereksinimler dâhilinde gelişmiştir. Kompozitlerin ilk kullanım alanları uçak ve uzak sanayisi olmuş daha sonra çeşitli alanlarda kullanımları artmıştır (Arıcasoy, 2006).

Modern teknolojik yenilikler üstün özelliklere sahip malzeme gereksinimi arttırmaktadır. Son dönemlerde mekanik ve termal özelliklerinin avantajları sebebiyle kompozit malzemelere olan ilgi artmaktadır. Kompozitler düşük maliyetli, yüksek mukavemetli, hafif, nem ve ısı dirençleri yüksek malzemelerdir. Kompozit malzemelerin bu mekanik ve termal özelliklerini kullanarak malzeme tasarımındaki esneklik geliştirilebilir (Shishevan vd., 2017).

Kompozitler matrislerine göre metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli olarak üç gruba ayrılmaktadır. Polimer matrisli elyaf takviyeli kompozit malzemelerin son yıllarda havacılık, savunma, ev aletleri ve iş ekipmanları, yapı sektörü, gıda sektörü, korozyon dayanımlı ürünler, elektrik ve elektronik, inşaat, denizcilik, otomotiv endüstriyel alanlarda kullanımı oldukça artmıştır (Durgun, 2014; Yurttaş ve Afşar, 2000).

Litaratürde yapılan çalışmalarda takviye edici olarak genellikle karbon,cam kullanılmıştır. Bazalt elyaf kullanılarak kompozit malzeme üretilmesi diğer lifler gibi üzerinde çalışmalar yapılan bir konu olmuştur. Bazalt lifler yüksek ısı dirençleri, yüksek alkali dayanımı, asidik ve tuzlu su ortamına karşı dayanıklıdır (URL-1, 2013).

Bu tez çalışmasının amacı ise kullanım ömrünü tamamlamış akülerdeki polimer malzemeyi geri dönüştürerek üretilcek olan polimer matrisli bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin (PBEK) maliyet analizini ve mekanik özelliklerini tespit etmektir. Polimer olarak ise polipropilen (PP) kullanılacaktır. PP’nin belirli bir oranı ise ömrü tükenmiş akülerin koruyucu kapaklarından elde edilecektir. Bu sayede ekonomik maliyet azaltılacaktır. Ayrıca ömrü tükenmiş akülerin geri dönüşümüyle elde edilecek katma değeri yüksek ürünler elde edilirken de çevreye yarar sağlamak amaçlanmaktadır.

2. PLASTİKLER ve ÖZELLİKLERİ

2.1. Polimer Bilimi ve Plastikler

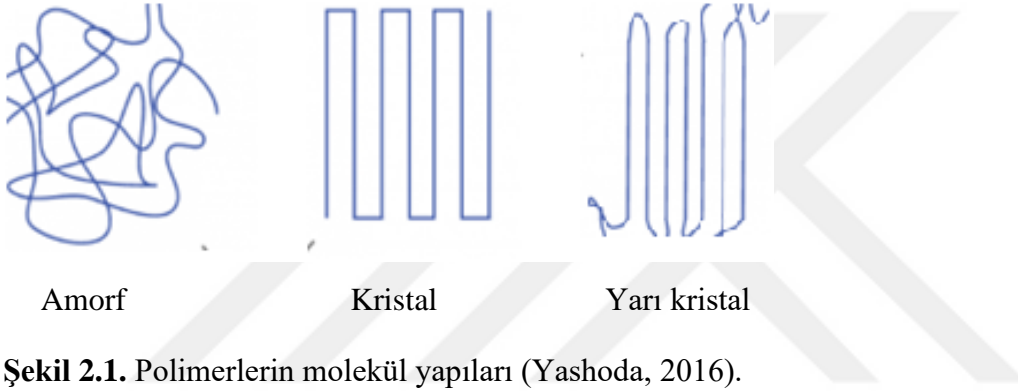
Plastikler, son on yılda en yaygın kullanılan mühendislik malzemelerinden biri haline geldi. Son beş yılda plastik üretimi çelik üretimini geride bıraktı. Hafif olmaları, işleme kolaylıkları ve korozyon dirençleri nedeniyle plastikler, otomotiv, havacılık ve uzay ve tüketici ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastik hammaddelerin formları levha, çubuk, çubuk, toz, pelet ve granül olarak piyasada yaygın olarak bulunabilmektedir. Üretim sürecinin yardımıyla istenilen boyut ve dokulara kalıpla şekillendirilebilir. Yüksek yüzey kalitesi, kapsamlı işleme ihtiyacını ortadan kaldırır. Bu yetenek, uygun maliyetli parça üretimi sağlar (Campbell Jr. ,2003).

Polimerler monomerlerin birlikte meydana getirdikleri yapılardır. Polimerlar esas olarak karbon (C) ,azot (N), oksijen (O) ve hidrojen (H) atomlarından oluşurlar. Evrende doğal ve sentetik formlarda bulunan polimerler molekül ağırlığı yüksek olan plastiklerinde oluşumunda rol oynarlar. Plastikler, birbirlerine bağlı uzun zincir yapılardan oluşup gaz, ham petrol, kömür gibi maddelerden oluşabilir. Plastikler doğal polimerlerden de oluşabilir. Doğal polimerler basit yapılı olup içinde karbon atomu bulundurduğu için çok kolay parçalanabilir. Örnek olarak selüloz, nişasta, doğal kauçuğu verebiliriz. Plastikler doğal, yarı sentetik ve sentetik olarak bulunabilir. Amerika Birleşil Devletlerinde kimyacı bilim adamı Hyatt selüloiti Hint yağı yerine kafur ağacının özünden elde ettiği yağı kullanarak hazırlamış ve kafur ağacının özünün plastikleştirici özelliğini ortaya koymuştur. İlerleyen yıllarda polimer kimyasında kaydedilen gelişmeler ile farklı sentez reaksiyonları geliştirilmiş ve polimerler çeşitlendirilmiştir. Özellikle son 50 yılda kaydedilen bu gelişmeler neticesinde günümüzde yıllık 400 milyon ton plastik üretilebilmektedir (Güler, Çobanoğlu, 1997).

Polimerlerin kullanımı özellikle 1970’li yıllardan itibaren artmıştır. Bu artışın nedeni teknolojinin ilerlemesi ile insan ihtiyaçlarında ki artışa cevap verebilmek için ucuz, kolay bulunabilen ve kolay üretilebilen hammaddelere olan eğilimin artmasından kaynaklanmaktadır (Güler, Çobanoğlu, 1997).

2.2. Molekül Yapıları ve Polimerizasyon Dereceleri

Polimerlerin çeşitli sınıflandırmaları vardır. En birincil olarak polimerleri oluşturan monomerlerin çeşitlerine göre tek tip monomerin birleşmesiyle bir araya gelen homopolimer ve iki veya daha fazla monomerin birleşmesiyle oluşan heteropolimerlerdir. İkinci sınıflandırma ise amorf, kristal ya da kristal olmak üzere malzeme özelliklerine göre yapılmaktadır. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi kristal polimerler düzgün şekilde birleşmiş ağ yapısına sahipken amorf yapı polimerler rastgele birleşmiş bir molekül yapısına sahiptir (Yashoda, 2016).



Şekil 2.1. Polimerlerin molekül yapıları (Yashoda, 2016).

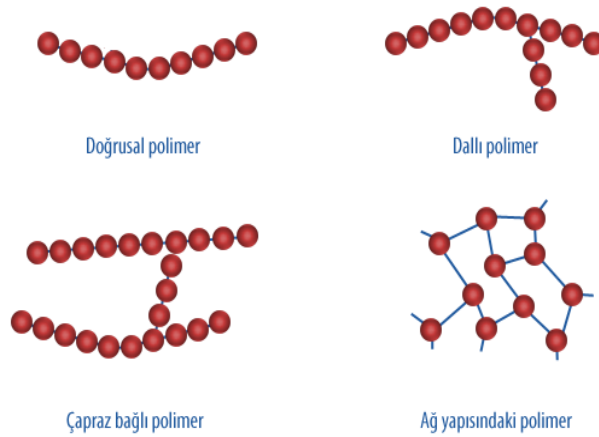
Polimerler için üç farklı polimerleşme reaksiyonundan bahsedilebilir; polimerizasyon, poliadisyon, polikondenzasyon. Aktif merkezleri bulunmayan monomerlerin bir araya gelmesi ile daha büyük molekül zinciri oluşturulmasına polimerizasyon denir. Bu reaksiyon sonucu oluşan maddelerden bir kısmı polietilen ve polipropilendir. Polimerizasyon reaksiyonunda aynı türden monomerler bir araya gelirken, poliadisyon reaksiyonunda farklı türden ufak moleküllerin bir araya gelmekte ve daha büyük polimer zincir oluşmaktadır. Poliadisyon reaksiyonuna poliüretan ve elyaf üretimleri örnek verilebilir. Polikondenzasyon reaksiyonu ise farklı türden monomerlerin bir araya gelerek daha büyük polimer zinciri oluşturması ve yan ürün oluşmasıyla gerçekleşir. Bu yan ürün su, amonyak vb. olabilir. Örneğin polyester bu şekilde üretilmektedir (Saylan, 1991).

Polimerlerin zincir şekli, monomerlerin zincir içindeki dizilişlerine bağlıdır. Monomer zincirleri, lineer, dallanmış ve çapraz bağlı yapılar şeklinde olabilirler. Lineer zincir yapısındaki polimerler, monomerlerin yan yana bağlanmasıyla oluşur ve uygun çözücülerde çözülebilirler. Dallanmış zincir yapısına sahip polimerlerde, ana zincire bağlı yan zincirler bulunur ve özellik olarak lineer zincir yapısındaki polimerlerle benzerlik

gösterirler. Şekil 2.2’de belirtildiği gibi, lineer ve dallanmış zincirli yapılar çoğunlukla termoplastiklerde görülür ve bu polimerler defalarca yeniden şekillendirilebilirler. Ancak, çapraz bağ zincirli yapılar termoset polimerlerde görülür (Akyüz, 1999).

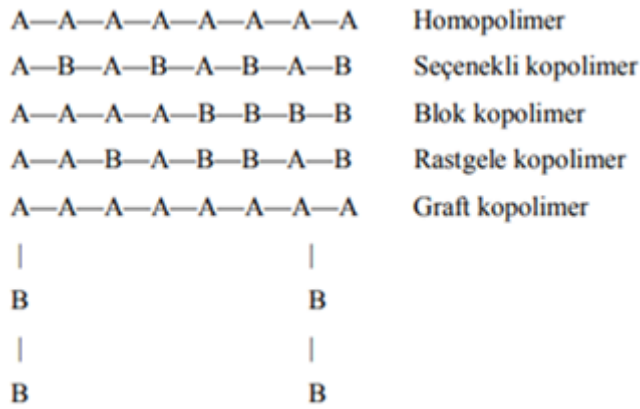
Bazı polimerler, hem amorf hem de kristal yapıda bulunabilirler. Yarı kristalli bir polimer, amorf ve kristal bölgelerin karışımıdır (Auerbach, 2021). Örneğin, termoset polimerler yanal bağlarla birbirine bağlıdır ve bu nedenle yerleşimleri değiştirilemez, bu yüzden termosetler daima amorf bir yapıdadırlar. Termoplastikler ise dış kuvvetler veya ısı farklılıkları nedeniyle amorf veya yarı kristal/kristal hale gelebilirler. Tamamen kristalli bir polimer bulunmamaktadır, çünkü bu malzeme çok kırılabilir olacaktır. Kauçuklar, düzensiz heliks şeklinde zincirleri bulunan polimerlerdir ve bu zincirler gelişigüzel yerleştirilmiştir. Ancak, polimer herhangi bir kuvvetle şekil değiştirirse, heliks zincirleri açılarak birbirleriyle paralel hale gelir ve böylece polimer kristalleşir, moleküller arasındaki bağlar artar ve malzeme sertleşir. Kuvvet olmadığında, polimerin eski haline geri dönecektir. Ancak, şekil değiştirme esnasında heliks zincirlerinde birbirlerine göre kaymalar meydana gelirse, yapı eski haline tam olarak geri dönemeyebilir ve malzeme kalıcı şekil değiştirme oluşturabilir (Akyüz, 1999).

Polimerlerin üç boyutlu yapısı, ana zincirler ile ara zincirlerin birbirleriyle bağlanmasına bağlıdır. Çapraz bağlama işlemi, vulkanizasyon yöntemiyle gerçekleştirilir ve bu şekilde elastik kauçuklar çapraz bağlanır. Bazı polimerler, yoğun çapraz bağları nedeniyle ağ yapılı polimer olarak adlandırılır. Bu polimerler, herhangi bir çözücüde çözünmezler ancak sadece çözücü etkisiyle şişirilebilirler. Bu tür polimer malzemeler, kendilerine özgü mekanik ve termal özelliklere sahiptirler. Şekil 2.2’de, polimer molekülünde görülebilecek dallanma tipleri gösterilmektedir (Akyüz, 1999).



Şekil 2.2. Polimeri oluşturan zincir şekilleri

Polimerler, yapılarına göre homopolimer ve kopolimer olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Homopolimer, sadece bir monomerin tekrarlanmasıyla oluşurken, kopolimer iki farklı monomerin polimerizasyonu sonucu oluşur. Örneğin, etilen monomerinin polimerizasyonu sonucu polietilen, propilen monomerinin polimerizasyonu sonucu ise polipropilen homopolimerleri oluşur. Eğer polimerin sentezinde üç farklı monomer kullanılırsa, buna terpolimer denir (Altınkaynak, 2011). Şekil 2.3'te kopolimerleri oluşturan monomerlerin diziliş şekilleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Kopolimerleri oluşturan monomerlerin diziliş şekilleri (Öksüz, 1999)

Polimerlerin içinde yineleyen birim sayısı polimerizasyon derecesi olarak tanımlanır. Tekrar eden monomerin molekül ağırlığı ile polimerleşme derecesinin çarpımı polimerin molekül ağırlığına eşit olmaktadır.

$$M_p = D_p \times M_m$$

M_p ; Polimerin molekül ağırlığı

M_m ; Monomerin molekül ağırlığı

D_p ; Polimerleşme derecesi

Makromoleküllerin özellikleri incelendiğinde, molekül ağırlığının artması ile polimerin mekanik özelliklerinin de arttığı görülür. Ancak, aynı zamanda bu tür polimerlerin yumuşama ve erime olasılıklarının da arttığı belirtilir. Makromoleküller, küçük molekülden farklı olarak heterojen bir yapıya sahiptir ve moleküllerin ağırlıkları farklılık gösterdiği için sadece ortalama bir ağırlıktan bahsedilebilir. Ayrıca, makromoleküllerin ergiyik haldeki viskozite değerleri, küçük molekülden daha yüksektir. Polimerler, camı geçiş sıcaklığı olarak adlandırılan bir sıcaklıkta katılaşır. Bu sıcaklık, malzemenin özelliklerini anlamak için önemlidir ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) veya

termogravimetrik analiz yöntemleriyle belirlenebilir (Hazer, 1991). Polimerler fiziksel özelliklerine göre en genel haliyle tablo 2.1’de gösterildiği gibi beş farklı grupta sınıflandırılır.

Tablo 2.1. Polimerlerin sınıflandırılması (Hazer, 1991)

Fiziksel yapısına göre	Kaynağına göre	Kimyasal yapısına göre	Zincir şekline göre	Mekanik özelliklerine göre
Termoplastikler	Doğal	Organik	Düz zincirli	Akışkan
Termosetler	Yapay	İnorganik	Dallanmış	Yüksek elastik
Elastomerler			Çapraz bağlı	Katı

2.2.1. Termoplastikler

Termoplastikler, polimerizasyon yoluyla elde edilen ve polimerlerin en önemli grubunu oluşturan malzemelerdir. Bu malzemeler, ısınma sonucu yumuşar ve soğuduğunda sertleşirler. Zincirler arasında Van der Waals bağları bulunan termoplastikler, zincir içinde kovalent bağlara da sahiptir. Bu kovalent bağlar, esnek doğrusal zincirlerden oluşan yapıların elastik deformasyona uğramasına izin verir. Şekil 2.4’te zincir yapıları gösterilen termoplastikler, tekrar tekrar eritilebilir ve kimyasal değişime uğramazlar. Kristal, yarı kristal veya amorf olan termoplastikler genellikle sünek bir yapıya sahiptir ve mekanik özellikleri uygulanan yükün hızına, süresine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişebilir (Kısmet, 2016).



Şekil 2.4. Termoplastik yapıdaki polimerlerin zincir yapıları (Ay, 2008)

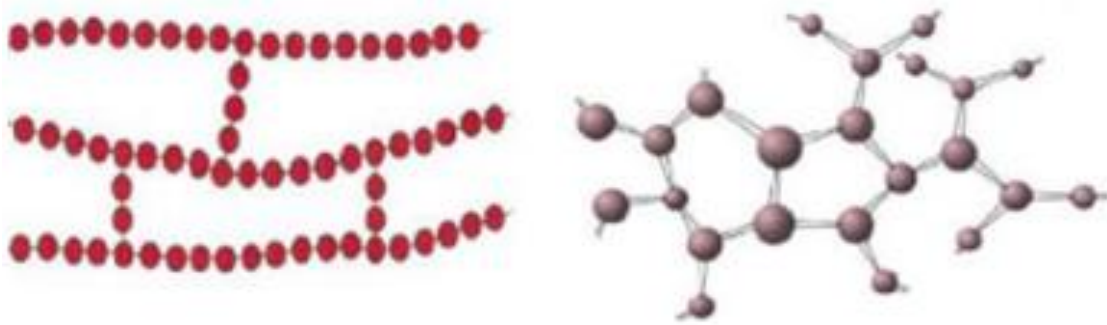
2.2.2. Termosetler

Termoset reçineler günlük hayatta evlerde, araçlarda, işyerlerinde ve sanayinin birçok alanında yaygın olarak kullanılan bir polimer türüdür. Her şeyden önce düşük

maliyet, kullanım oranını artıran önemli faktörlerden biridir. Termosetler soğuğa karşı kırılğan olmayıp 300 °C sıcaklığa kadarda dayanıklıdır. Sert ve parlak yüzeyli yalıtkan özellikli malzemelerdir. Yağ, solvent ve olumsuz hava koşullarına dayanıklı mükemmel mekanik özelliklere sahiptirler (Megep, 2006).

Termoset malzemeler, torna, freze gibi makinelerde işlenebilen çeşitli tipleriyle piyasada bulunmaktadır. Genellikle saf halleri kullanılmaz ve farklı dolgu maddeleri ile takviye edilirler. Bu takviyeler, termosetlerin yapılarına göre farklı sıcaklıklarda kararlılıklarını artırır. Örneğin, 230 °C 'ye kadar olan sıcaklıklarda kararlı olan termosetler, 230 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda bozulabilirler (Altınışik, 2007).

Termosetler genel olarak polikondenzasyon yoluyla üretilirler ve yüksek sıcaklıklarda sertleşirler, mekanik özelliklerini korurlar. Termoplastiklerden farklı olarak geri dönüştürülemezler. Uzun ömürlüdürler ve ilk yatırım maliyetleri termoplastiklere göre daha uygundur. Termoset matris malzemeler sertleşmesini önlemek amacıyla dondurularak muhafaza edilirler, bu sayede raf ömürleri 6 ila 18 ay arasında olabilir. Kimyasal etkilere maruz kalmalarına rağmen termoset reçinelerde çözünme meydana gelmez. Fenolik reçineler, epoksi reçineler ve alkidler termosetlerin önemli örneklerindendir. Termoset polimerlerin zincir yapıları Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Ay, 2008).



Şekil 2.5. Termoset polimerlerin zincir yapıları (Ay, 2008)

Tüm bu mükemmel özelliklerine rağmen termoplastik polimerlere göre dezavantajları da vardır. Dezavantajlar Tablo 2.2'de gösterilmiştir (Mazumdar, 2001).

Tablo 2.2. Termosetlerin, termoplastiklere göre dezavantajları (Mazumdar, 2001)

Termoplastikler	Termosetler
Çözücü dirençleri yüksektir	Çözücü dirençleri kötüdür.
Sıcaklık ve basınç altında yumuşak hale gelir ve tamir edilebilir.	Düşük gerilimlerde dahi kopma gerçekleşir.
Tekrar işlenebilme özelliğine sahiptir.	Tekrardan işlenemezler
Uzunca bir süre bekletebileniler.	Düşük raf ömürlerine sahiptirler

2.2.3. Elastomerler

Elastomerlerin en önemli özelliği yüksek elastikiyet kabiliyetleri ve uygulanan kuvvetin etkisi kaybolduğunda tekrar eski haline dönebilmeleridir. Bu özellikleri, farklı şekillerde kalıplanabilme, yalıtkanlık, darbelere karşı dayanıklılık gibi avantajlarla birleşerek, en verimli mühendislik malzemelerinden biri olmalarını sağlamaktadır. Elastomerler, endüstriyel makinelerdeki hidrolik ve pnömatik contalar gibi birçok farklı uygulamada kullanılmakla birlikte, termoset ve termoplastikler kadar yaygın değildir. Elastomer örnekleri olarak, doğal kauçuk veya suni kauçuklar verilebilir (Birinci, 2020).

Şayet bir elastomer amorf bir ağ yapısına sahip ise polimerin sahip olduğu zincirlerin farklı hareketleri rahatlıkla yapabilmesine ve çekim kuvvetlerinin moleküller arasında minimum olmasına olanak sağlar. Aynı zamanda elastomerlerin çapraz bağları tersinir bir yapıda esnekliğin oluşmasına neden olur (Yalın, 2010).

2.3. Polimerlerin Özellikleri ve Üretim Yöntemleri

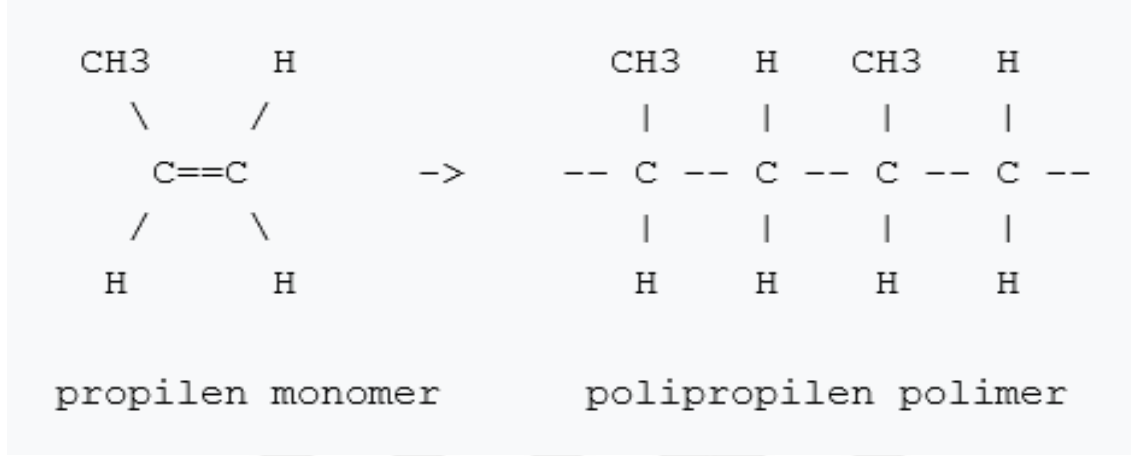
Polimerler; ucuz olmaları, kolay şekil alabilmeleri ve farklı amaçlar için kullanılabilmelerinin yanı sıra korozyona karşı dirençlidir. Öncelikli olarak kaplama sanayinde olmak üzere endüstride pek çok alanda tercih edilen polimerlerin küresel olarak talebi ve ihtiyacı günden güne artmaktadır. Polimerler, ihtiyaç doğrultusunda istenilen özelliklere sahip, kalıplama kolaylığından elektrik kablolarına kadar pek çok geniş uygulama alanında kullanılabilen malzemelerdir (Hazar Yoruç ve Uğraşkan, 2017). Tablo 2.3'te oda sıcaklığında bazı polimer matrislerin termal ve mekanik özellikleri verilmiştir (Sheikh-Ahmad, 2009).

Tablo 2.3. Polimer matrislerin termal ve mekanik özellikleri (Sheikh-Ahmad, 2009)

	Yoğunluk (mg/m ³)	Young Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	K (W/m°C)	C _p (Kj/kg°C)	α(10 ⁻⁶ °C)	T _g (°C)	T _m (°C)
TERMOSETLER									
Doymamış Polyester	1,10-1,23	3,1-4,6	50-75	1,0-6,5	0,17- 0,22	1,30-2,30	55- 100	70-	-
Epoksi	1,10-1,20	2,6-3,8	60-85	1,5-8,0	0,17- 0,20	1,05	45- 65	65- 175	-
Fenolikler (Bakalit)	1,00-1,25	3,0-4,0	60-80	1,8	0,12- 0,24	1,40-1,80	25- 60	300	-
Bismaleimid	1,20-1,32	3,2-5,0	48-110	1,5-3,3	-	-	-	230- 345	-
Vinilesterler	1,12-1,13	3,1-3,3	70-81	3,0-8,0	-	-	-	70-	-
TERMOPLASTİKLER									
Polipropilen	0,90	1,1-1,6	31-42	100-600	0,11- 0,17	1,8-2,4	80- 100	-20- 5	165-175
Poliamid (nylon)	1,10	2,0	70-84	150-300	0,24	1,67	80	55- 80	265
Polifenilen sülfid	1,36	3,3	84	4,0	0,29	1,09	49	85	285
Polieter eter keton	1,26-1,32	3,2	93	50	0,2	1,34	40- 47	145	345
Polietersülfon	1,37	3,2	84	40-80	0,26	1,0	55	225	-

Tablo 2.3'te K termal iletkenlik, Cp öz ısı, α termal genleşme katsayısı, Tg camısı geçiş sıcaklığı ve Tm ise erime sıcaklığıdır.

PP, otomotiv, tekstil ve gıda sektörü vb. birçok alanda kullanılan termoplastik bir polimerdir. Monomer propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilen PP, asit ve bazlara karşı aşırı derecede dirençlidir (Küçükkaya, 2018). Şekil 2.6'da propilen monomer ve polipropilen polimerlerin atomik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Propilen monomer ve polipropilen polimerler (Küçükkaya, 2018)

PP, yorulmaya karşı çok iyi direnç göstermektedir. Ayrıca maliyeti düşüktür. Bu yüzden ticari alanlarda kullanımı oldukça geniştir. Yüksek darbe dayanımlı, sürtünme katsayısı düşük olup, çok iyi elektrik yalıtımı sağlamaktadır. Kimyasal direnci iyidir. Tüm termoplastik işleme süreçlerine uygundur. PP'nin, erime sıcaklığı 130 ile 171 °C arasındadır (Küçükkaya, 2018).

Genel olarak PP'nin teknik özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Düşük özgül ağırlık,
- Yüksek kimyasal dayanım,
- Yüksek elektriksel dayanım,
- Yüksek çekme dayanım,
- Düşük aşınma dayanım,
- Düşük atmosferik etkilere dayanım (Küçükkaya, 2018).

Polimerler, kimyasal olarak tekrarlayan yapıya sahip uzun zincir molekülleridir. Bu moleküllerin birleşmesiyle oluşan polimerler, doğal ya da sentetik kaynaklı olabilirler. Genel olarak sınıflandırılmaları, yapısına, sentez yöntemlerine ve kullanım alanlarına göre yapılır.

Yapısına göre sınıflandırıldığında, polimerler üç grupta toplanabilirler. Bunlar; lineer polimerler, dallı polimerler ve ağ yapılı polimerlerdir. Lineer polimerler, tek bir zincir şeklinde uzanan moleküllerdir. Dallı polimerler ise ana zincir molekülüne yan zincirlerin bağlandığı polimerlerdir. Ağ yapılı polimerler ise ana zincir moleküllerinin birbirine çapraz bağlarla bağlandığı ve üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturduğu polimerlerdir.

Sentez yöntemlerine göre sınıflandırıldığında, polimerler iki grupta toplanabilirler. Bunlar; polimerizasyon ve kondenzasyon reaksiyonları ile sentezlenen polimerlerdir. Polimerizasyon reaksiyonları, tek tip monomerlerin birleştirilmesiyle gerçekleştirilirken, kondenzasyon reaksiyonları, farklı monomerlerin birleştirilmesiyle oluşur.

Kullanım alanlarına göre sınıflandırıldığında, polimerler üç grupta toplanabilirler. Bunlar; termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir. Termoplastikler, ısıtıldıklarında yumuşayabilen ve soğuduklarında yeniden sertleşebilen polimerlerdir. Termosetler ise ısıtıldıklarında sertleşen ve geri dönüşümü olmayan polimerlerdir. Elastomerler ise yüksek elastikiyet kabiliyeti olan ve darbeye karşı dayanıklı olan polimerlerdir.

Sonuç olarak, polimerler geniş bir alanda kullanılan ve hayatımızın birçok alanında yer alan malzemelerdir. Yapısına, sentez yöntemlerine ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaları, bu malzemelerin özelliklerinin anlaşılmasına ve daha verimli kullanımlarının sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Stevens,1999).

2.3.1. Mekanik ve termal özellikleri

Termoplastik malzemelerin mekanik ve termal özelliklerini belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mekanik analizde, kompozit malzemelerin etkileri esas olarak çekme, sıkıştırma ve eğme gibi dış kuvvetlerin etkisiyle gözlenir. Bu mekanik testler, malzemelerin mukavemetini, stresini, yorulmasını, tokluğunu, modülünü ve sertliğini ölçer. (URL-1, 2013).

Daha önce bahsedildiği gibi, termoplastik polimerler yapısal olarak şekilsiz veya yarı kristal/kristaldir. Aynı zamanda camsı geçiş sıcaklıklarına bağlı olarak katı veya viskoz sıvı olarak fiziksel davranış sergilerler. Yapısal ve fiziksel farklılıkları termoplastiklerin mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Aynı zamanda, termoplastikler hem viskoz hem de elastiktir. Bu tür malzemelere viskoelastik malzemeler denir (Altınkaynak, 2011).

Mekanik analize ek olarak, termoplastiklerin termal davranışını belirlemek çok önemlidir. Özellikle dolgu takviyeli termoplastiklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve

bu özelliklerin malzeme ısıtıldığında, soğutulduğunda veya belirli bir sıcaklıkta tutulduğunda nasıl değiştiğini belirlemek mümkündür. Bu analizlerde kullanılan en yaygın yöntemler şunlardır: Teknikler, Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC), Dinamik Mekanik Analiz (DMA) ve Diferansiyel Termal Analizi (DTA) içerir. Bu teknikler sayesinde faz geçişleri, erime özellikleri ve kristalleşme mekanizmaları gibi malzeme özellikleri belirlenir (Denkdaş, 2006).

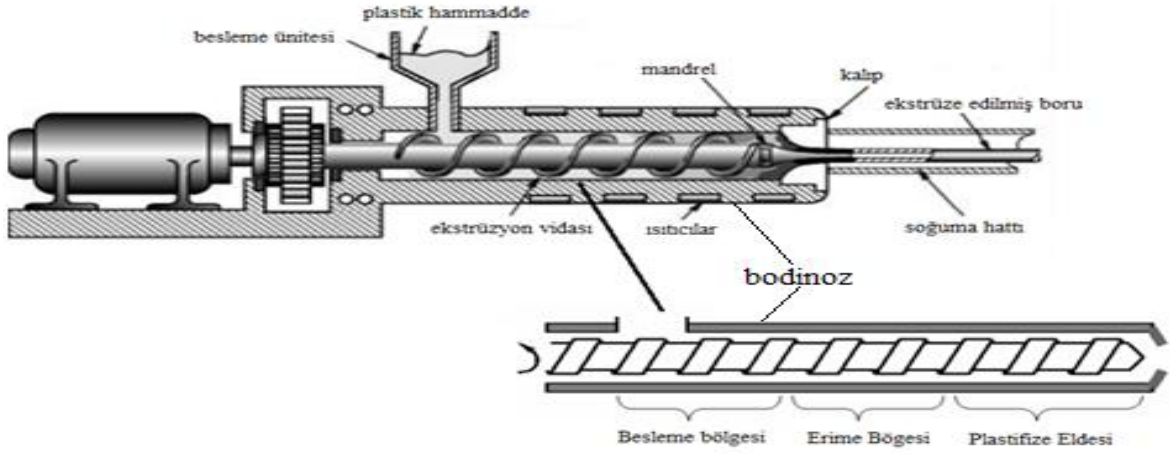
2.3.2. Kimyasallara karşı dayanımları

Termoplastikler, kimyasallara karşı yüksek dayanıklılık gösteren termosetlerle benzer özelliklere sahiptir. Ayrıca, farklı atomik yapıları nedeniyle metaller kadar korozyona uğramazlar ve bu nedenle çürümezler ve paslanmazlar. Bu özellikleri sayesinde, termoplastikler günümüzde birçok alanda tercih edilmektedir, örneğin ev aletleri, otomobil parçaları, gıda ve kozmetik sanayilerinde sıkça kullanılmaktadırlar (Akyüz, 2001).

Polimerler genel olarak üç farklı yıpranma mekanizmasıyla karşı karşıyadır. Bu mekanizmalar, kimyasal bağın kovalent veya iyonik olmasına bağlı olarak radikal, iyonik ve iyono-radikal olmaktadır. Polimerlerin birçok özelliği, molekül zincirlerinin uzunluklarından yola çıkılarak tanımlanır. Ancak, bu molekül zincirlerindeki kısalma, yıpranma mekanizmalarıyla sonuçlanabilir ve bu özelliklerin doğrudan etkilenmesine neden olabilir. Fiziksel yıpranmalar, termal ve mekanik etkenler, fotokimyasal veya iyonizasyon etkileri tarafından oluşturulurken, kimyasal yıpranmalar, dolgu maddeleri ve farklı ajanlar gibi termoplastiklerde kullanılan materyallerden kaynaklanabilir. Kimyasal yıpranmaya neden olan durumlara örnek olarak oksidasyon, çözülme, yumuşama ve gerilme çatlama verilebilir (Haydar, 2011).

2.3.3. Ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon ile üretim

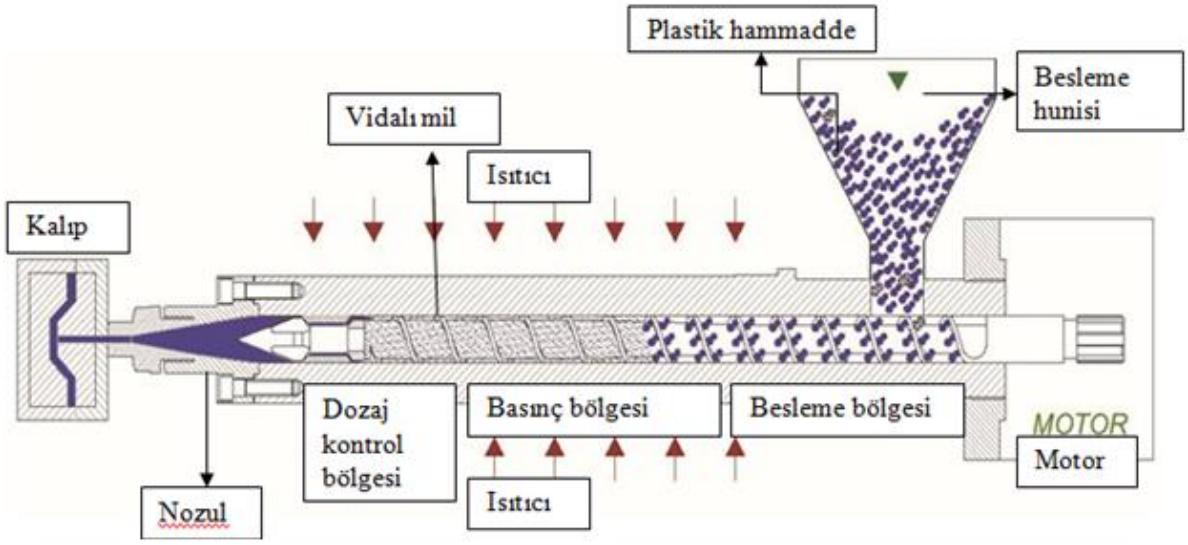
Ekstrüzyon işlemi, toz veya granül halindeki plastik malzemelerin, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi bir plastik hammaddenin besleme ünitesine boşaltılmasıyla başlar. Malzeme, spiral biçimli ekstrüzyon vidası sayesinde beslenir, taşınır, karıştırılır, ergitilir ve homojen hale getirilir. Bu işlem, plastiklerin şekillendirilmesinde sıkça kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 2.7. Ekstrüzyon ünitesi (Hüner, 2008)

Ekstrüzyon işlemi, granül veya toz haldeki plastik malzemelerin besleme bölümünden huni aracılığıyla boşaltılmasıyla başlar. Vida, malzeme besler, karıştırır, taşır, eritir ve homojen hale getirir. Isıtıcı rezistanslar etkisiyle malzeme erir ve homojen hale gelir. Daha sonra malzeme vidanın ucundan istenilen yapıda plastifize halde boşaltılır ya da bağlanan bir kalıp ile şekillendirilir. Ürünün yığılmasını önlemek için genellikle bir su kanalından geçirilir. Ekstrüzyon makineleri, sürekli bir proses sistemine sahip olup, plastik ürünlerin aynı kesitte, istenilen uzunlukta ve kesintisiz olarak elde edilmesini sağlar. Plastik boru ve profil gibi ürünler, genellikle termoplastik malzemeler kullanılarak üretilirler. Ekstrüzyon işleminde açık kalıplama yaygın olarak kullanılır (Akyüz, 1999., Hüner, 2008., Yılmaz, 2007).

Plastik enjeksiyon kalıplama, karmaşık yapıdaki parçaların seri bir şekilde üretilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Bu yöntem sayesinde oyuncaklardan ev eşyalarına, bazı elektronik eşyalara kadar birçok farklı alanda enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş parçalar kullanılmaktadır. En önemli avantajı ise seri üretim için uygun olmasıdır. Bu yöntem ile termoplastiklerin şekillendirilmesi en kolay ve hızlı şekilde gerçekleştirilir. Şekil 2.8'de plastik enjeksiyon makinesinin şematik olarak gösterimi yapılmıştır.



Şekil 2.8. Şematik olarak plastik enjeksiyon makinesi (Hüner, 2008)

Termoplastik malzemelerin enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretimi oldukça yaygın bir yöntemdir ve birçok farklı sektörde kullanılır. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, malzeme granül halinde hazırlanarak besleme hunisinden enjeksiyon kalıplama makinesine aktarılır. Vida, hem dairesel hem de doğrusal hareket yaparak malzemeyi kalıplamak için gerekli şekli almasını sağlar. Isıtıcılar yardımıyla malzeme eritilir ve viskoz hale gelir. Vida uç kısmına yaklaştıkça, malzeme enjeksiyon kalıbına püskürtülür. Malzeme kalıpta belirli bir süre soğutulduktan sonra kalıp açılarak nihai ürün elde edilir. Bu yöntem, karmaşık yapıdaki parçaların seri üretiminde oldukça kullanışlıdır ve termoplastik malzemelerin şekillendirilmesinde en yaygın yöntemdir (Akyüz, 1999., Yılmaz, 2007).

2.3.4. Diğer üretim teknikleri

Termoplastiklerden malzeme üretmek için sadece ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon teknikleri kullanılmıyor. Şişirerek kalıplama, vakum şekillendirme ve dönerek kalıplama gibi yöntemler de mevcuttur (Saçak, M., 2005).

3. TERMOPLASTİKLER ve TERMOPLASTİK KOMPOZİTLER

3.1. Poliolefinler

Pliolefinler, bir polimerizasyon işlemi yoluyla petrol veya doğal gazdan üretilir. Bu süreçte, kısa kimyasal zincirler (monomerler) bir katalizör aracılığıyla daha uzun zincirler (polimerler) oluşturmak için birleşir. Polimerler katı termoplastiklerdir ve işlenebilirler. Film ve zar ekstrüzyonu yapılarak işlenebildikleri gibi kalıplama yapılarak da işlenebilirler. Film kalınlığı, hafif gıda ambalajlarından tarımsal uygulamalara uygun ağır filmlere kadar çeşitli boyutlarda ürünler üretmek için ayarlanabilir. Kalıplama işlemi, bir polimerin bir ekstrüderde ısıtılmasını ve sıkıştırılmasını, ardından gerektiğinde katılacağı bir kalıba dökülmesini içerir. Poliolefinler; polipropilen ve polietilen günümüzde kullanımda olan en büyük termoplastik grubunu oluşturan polimerlerdir. Endüstriyel paketleme, tel kaplama, medikal paketleme, gıda kapları vb. başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (URL-2, 2008).

İyi mekanik özellikleri, çok yönlü oluşları, uzun yıllar dayanıklılığını koruyabilmesi, hafifliği ve düşük üretim maliyetleri de tercih sebebidir. Poliolefinler, organik veya inorganik malzemeler tarafından kolaylıkla bozunmazlar. UV ışınlarına maruz kalsa bile bozulması zaman alır. Suyu sevmeyen bir yapısı vardır. Ömrü uzatmak ve mekanik özellikleri iyileştirmek için bazı katkı maddeleri ile birlikte kullanılırlar.

Poliolefinler, bu polimerler gibi, termoplastik polimerlerdir ve fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler tarafından bozunmaya karşı hassastırlar. Bu bozunmaya etki eden faktörler mekanik ve termal faktörlerin yanı sıra oksidasyon, fotodegradasyon ve biyodegradasyon olarak da adlandırılır (Gülşen, 2017).

Polipropilen (PP) ; ambalaj ve etiketler, tekstil ürünleri (ipler, termal iç çamaşırlar ve halılar gibi), kırtasiye malzemeleri, plastik parçalar ve tekrar kullanılabilir kaplar, laboratuvar ekipmanları, hoparlörler, otomotiv parçaları, polimer banknotlar gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Uygulamalar için kullanılan bir termoplastik polimer olan Polipropilen, propilen monomerinden türetilir ve bu yapıların birçoğu solvante, baza ve aside dirençli çok sert bir polimerdir (URL-2, 2018).

Polietilen kalıplanabilir, ekstrüde edilebilir ve çeşitli şekillerde kalıplara dökülebilir. Ucuz olduğu için ağırlıklı olarak inşaat sektöründe kullanılır ve kolay kalıplanıp şekil verilir. Bu nedenle yağmur oluklarında kullanıma uygundur. Polietilen çok az su emen sert, güçlü,

dayanıklı, boyutsal olarak kararlı bir malzemedir. Mükemmel bir gaz engelleyicidir ve asitler, yağlar ve petrol gibi kimyasallara karşı mükemmel dirence sahiptir. Oldukça şeffaf ve renksiz olabilir, ancak daha kalın kısımlar çoğunlukla opak ve beyazımsıdır. Polietilen çok iyi kendi kendine sönme özelliğine ve UV direncine sahiptir (URL-2, 2018).

3.1.1. Polipropilen

Polipropilenler saf propilenin (%95,5) polimerizasyonu ile üretilir. Polipropilen, izoaktif polipropilen olarak elde edilebilmesi için bazı farklı özelliklerdeki katalizörlerle reaksiyon ettirilir. Polimerizasyon ve yıkamadan sonra Polipropilen granüller halinde elde edilir (Lee ve Jang, 1999).

Polipropilen, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı ekonominin birçok sektöründe oldukça değerlidir. Bu malzemeler birçok özelliği endüstriyel açıdan özellikle arzu edilir. Bunlardan biri de çeşitli maddelere karşı yüksek kimyasal direncidir. Özellikle, polipropilen kimyasal asitler, bazlar ve çözücüler için çok nötrdür. Öte yandan benzen, metil klorür ve karbon tetraklorür gibi apolar sıvılara karşı dayanıklı değildir. Polipropilenin düşük su buhar geçirgenliği diğer önemli bir özelliğidir. Mükemmel ısı yalıtım parametrelerine ek olarak, bu malzeme ayrıca yüksek hava geçirgenliği ve su emme eksikliği ile de karakterize edilir. Sonuç olarak, ondan yapılan teneke kutular, şişeler, valizler ve diğer çeşitli ürünler optimum nem direncine sahiptir. Polipropilen kokusuzdur ve işlenmesi nispeten kolaydır. Özellikle, PP'nin termoplastik özellikleri onu çeşitli şekil ve boyutlardaki ürünlerin imalatı için uygun bir malzeme yapmaktadır. Soğuduktan sonra kütle orijinal sertliğine geri döner (URL-3, 2021).

Polipropilen (PP) çok iyi bir fiziksel ve mekanik özellik dengesine sahiptir, üretimi kolaydır, Diğer malzemelere göre düşük maliyeti nedeniyle en yaygın kullanılan polimer türlerinden birisidir. Ayrıca PP polimerleri diğer mühendislik polimerlerine göre daha düşük yoğunluklara sahiptir. Ayrıca ağırlık azaltmanın gerekli olduğu alanlarda kullanımını vurgular (Kyriaki ve Ark. 2007. , Jİ-Zhao ve Ark. 2007).

Polipropilen mükemmel kimyasal dirence sahiptir. Alkol ve deterjan solüsyonlarına karşıda dayanıklıdır. Bazı çeşitler sulu asit ve tuz çözeltilerinden etkilenmez. Güneş ışınlarına dayanıklı olmakla birlikte Ultraviyole ışınlarına da dayanımı düşüktür ve polipropilenden üretilmiş malzeme yüzeylerinde güneş ışınlarından bozulmalarından dolayı

meydana gelir. Polimer oksidasyonu sıcaklıkla artar, Oksidasyonu önlemek için eklenen karbon siyahı, polimerin ısıl yaşlanma oranının da artış meydana getirmektedir (Saçak, 2012).

Düşük yoğunluklu olefinik sert bir plastik olan polipropilen, çok iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Mekanik özellikleri bozulduğu için 0°C'nin altında kullanılması özellikle tercih edilmez. Polipropilen yaklaşık 160°C'lik bir erime sıcaklığına sahiptir ve 0°C ila 100°C aralığında kullanılabilir. Polipropilen çok ucuzdur ve mükemmel darbe dayanımı ve yorulma direncine sahiptir. Elektrik yalıtımına ve düşük sürünme katsayısına sahiptir. Birçok kimyasala karşı mükemmel dirence sahiptir, bu nedenle çürümez veya paslanmaz (Tripathi D. , 2002).

Tablo 3.1. Polipropilene ait teknik özellikleri (Tripathi D., 2002)

Polipropilen		
Kimyasal Özellikler	Değer	Birim
Gerilme Mukavemeti	31	MPa
Basma Mukavemeti	45	MPa
Darbe Dayanımı	8.39	j/cm
Kopma Esnemesi	200	%
Çekme Modülü	1.3	Gpa
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluk	0.93	g/cm ³
Erime Sıcaklığı	160	°C
Kristalleşme Sıcaklığı	111	°C
Camsılaşıma Sıcaklığı	-10	°C
Yük Altında Eğilme (HDT)	102	°C

Bununla birlikte, PP polimerleri, yüksek kalıp büzülmesi, düşük sertlik, düşük darbe direnci ve düşük kuruma direnci gibi dezavantajlara sahiptir. Kayma koşullarında yüksek sürtünme katsayısı gibi dezavantajları da vardır. PP polimerlerinin mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirmenin en kolay yolu cam, karbon ve aramid lifleri gibi takviye elemanları ve çeşitli katkı maddelerinin kullanılmasıdır. (Jia ve Ark. 2005, Zahng ve Ark. 2009)

3.2. Termoplastik Matrisli Kompozitler

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla bileşenden oluşan bir malzemedir. Bir kompozit malzeme, arayüz boyunca iki veya daha fazla bileşenin kombinasyonu ile

oluşturulan bir yapı olarak basitçe tanımlanabilir. Bileşik bir yapı oluştururken, bileşenler tipik olarak özelliklerini korur (Rosato, 1997, Yurttaş ve Afşar, 2000).

Kompozitlerin, çeşitli endüstrilerde kullanımları zamanla artmaktadır. Bu malzemeler hafif oluşu ve yorulmaya karşı iyi bir direnç sergilemesi nedeniyle savunma, otomotiv, havacılık ve yenilenebilir enerji endüstrilerinde kullanılabilir (Pai vd., 2021). Tablo 3.2’de 2007 yılında global kompozitlerin yüzdesel dağılımı görülmektedir (Sarasini ve Santulli, 2013).

Tablo 3.2. 2007 yılında global kompozitlerin dağılımı (Sarasini ve Santulli, 2013)

Uygulama Alanları	%
İnşaat	25,10
Denizcilik	5,60
Taşıma	22,30
Boru ve tank	13,50
Elektrik/Elektronik	17,20
Tüketim malları	9,20
Rüzgâr enerjisi	3,30
Havacılık	0,30
Diğer	3,50

Günümüz teknolojisi, metallerin yerine plastik kullanımını artırmaktadır. Yüksek mukavemet, hafiflik ve iletkenlik gibi konularda araştırmalar devam etmektedir. Termoplastiklerin farklı özelliklerini iyileştirmek için farklı takviye elemanları kullanılır, böylece termoplastik matrisli kompozitler geliştirilir. Bu kompozitler, farklı kombinasyonları etkili bir şekilde denememize ve kompozitlerin özelliklerini geliştirmemize olanak tanır (Kısmet ve Wagner, 2019., Kısmet ve Dogan, 2022).

Yapılan bazı çalışmalarda termoplastik kompozit malzemelerin tokluğu termoset kompozit malzemelere oranla daha yüksek bulunmuştur. Termoplastik kompozitlerin termoset kompozitlere göre %57.3 daha yüksek özgül enerji absorpsiyonuna sahiptir (Tan ve Falzon, 2016).

Kompozitler tipik olarak bir matrise (polimerler, metaller, seramikler, vb.) gömülü takviyelerden (lifler, parçacıklar, vb.) oluşur. Matris takviyeyi tutar. Takviyeli malzemeler, matrisin mekanik özelliklerini iyileştirebilir (Shubhra ve Ark, 2013).

Kompozit işleme teknolojisi, kompozit malzeme endüstrisinin gelişimi için temel ve ön koşuldur. Kompozit malzemelerin uygulama kapsamının genişletilmesiyle, kompozit malzeme endüstrisi hızla gelişmektedir. Eski işleme teknikleri olgunlaşmaya devam etmekte

ve birçok yeni yöntem ortaya çıkmaktadır. Şimdiye kadar polimer, termoplastiklerin ve duroplastik kompozitlerin işlenmesi için uygundur. Matris kompozitlerin üretimi için 20'den fazla işleme yöntemi vardır. Enjeksiyonla kalıplama ve ekstrüzyon işlemleri genellikle süreksiz elyaf takviyeli termoplastikler üretmek için kullanılır (Osswald, Tim A, Gandhi 2020).

Termoplastik polimerler sıcaklığa maruz bırakıldıkları zaman polimer zincirleri ayrılmakta ve tekrardan işleme tabi tutulmalarını sağlamak için birbirleri üzerinde kaymalar görülmektedir. Yüksek yoğunluklu polietilen, Polipropilen ve polivinil klorür, doğal elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan en yaygın termoplastiklerdir (Klyosov, 2007).

Akbaş ve arkadaşları çalışmalarında PP esaslı polimer kompozitlere, fındık kabuklarını (FK) farklı oranlarda ekleyerek mekanik özelliklerde oluşan değişimleri incelemiştir. Bu çalışmada kompozit üretiminde kullanılan karışım oranları Tablo 3.3'te verilmiştir (Akbaş ve Ark. , 2013).

Tablo 3.3. PP ve FK'nın karışım oranları (Akbaş vd., 2013)

Kompozit Grupları	Kabuk Oranı (%)	Polipropilen (PP) (%)
PP	-	100
FK1-PP	30	70
FK2-PP	40	60
FK3-PP	50	50

Bu çalışmada yapılan mekanik testler sonucunda oluşan çekme direnci, çekmede elastikiyet, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet ve darbe direnci Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. PP ve FK'nın mekanik test değerleri (Akbaş vd., 2013)

Kompozit Grupları	Çekme Direnci (MPa)	Çekmede Elastikiyet (MPa)	Eğilme Direnci (MPa)	Eğilmede Elastikiyet (MPa)	Darbe Direnci (J/m)
PP	23,87	384,52	32,22	968,72	26,74
FK1-PP	8,34	248,26	16,55	847,24	72,90
FK2-PP	6,69	240,05	13,86	822,73	58,21
FK3-PP	5,66	233,22	11,96	745,90	43,55

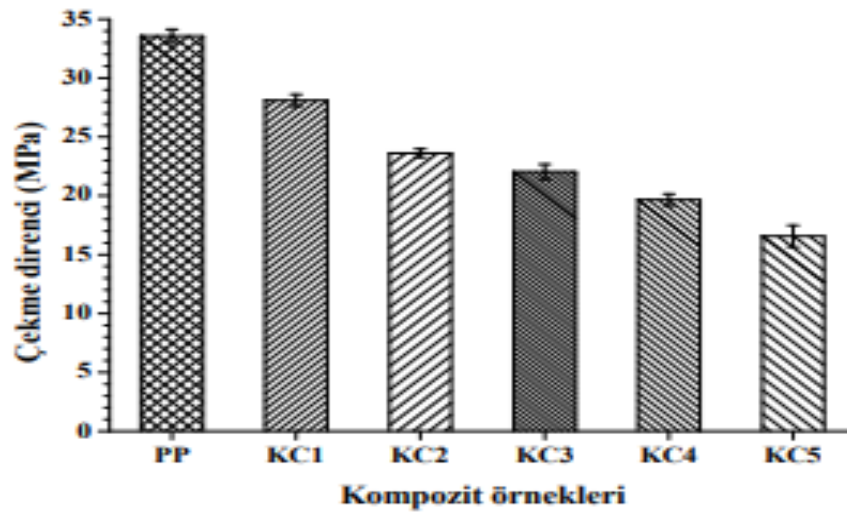
Yapılan testler sonucunda PP miktarının azaltılıp bunun yerine FK eklenmesiyle mekanik özelliklerde azalma meydana geldiği görülmektedir. Mekanik testlerde en iyi sonucu FK katkısız PP numune vermiştir (Akbaş vd., 2013).

Narlıoğlu ve arkadaşları, karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada kompozit malzeme üretimi için lignoselülozik dolgu maddesi olarak karaçam odunu kullanılmıştır. Kompozit numunelerin karışım oranı Tablo 3.5'te gösterilmiştir (Narlıoğlu vd., 2018).

Tablo 3.5. Kompozit numunelerin karışım oranları (Narlıoğlu ve Ark., 2018)

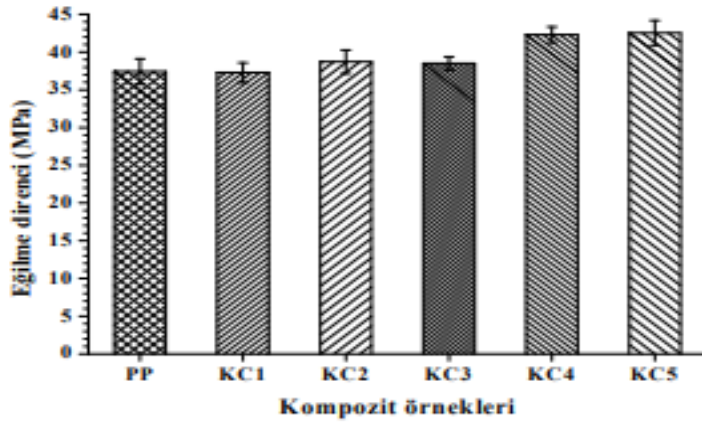
Numuneler	Lignoselülozik (%)	Polimer (%)
PP	-	PP (100)
KC1	Karaçam odunu (10)	PP (90)
KC2	Karaçam odunu (20)	PP (80)
KC3	Karaçam odunu (30)	PP (70)
KC4	Karaçam odunu (40)	PP (60)
KC5	Karaçam odunu (50)	PP (50)

Kompozitlerin mekanik özelliklerini ölçmek için çekme, eğilme ve darbe direnci testleri yapılmıştır. şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te numunelerin sırasıyla çekme, eğilme ve darbe direnci değerleri görölmektedir (Narlıoğlu ve Ark., 2018).



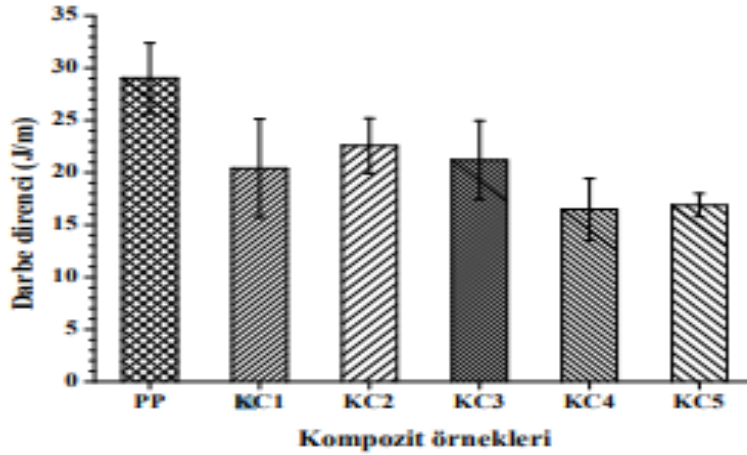
şekil 3.1. Karaçam odunu takviyeli PP kompozitlerin çekme direnci verileri (Narlıoğlu ve Ark, 2018)

Kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri, kompozit karışımına ilave edilen lif oranındaki artış ile kademeli olarak dūřuř gösterebilir (Bengtsson vd., 2007; Khoathane vd., 2008; Ku vd., 2011). şekil 3.1'de göröldüğü üzere PP kompozitlere karaçam odunu ilave edilmesiyle çekme direnci azalmıştır.



Şekil 3.2. Karaçam odunu takviyeli PP kompozitlerin eğilme direnci verileri (Narlıoğlu ve Ark., 2018)

Yapılan birçok çalışmada doğal lif ilaveli kompozitlerde lif katkı oranındaki artış ile kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde ve elastikiyet modülü değerlerinde artış tespit edilmiştir (Bengtsson vd., 2007; Farshid vd., 2010). Şekil 3.2’de polimer matrisine takviye edilen odunu katılım oranı artışı ile kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. Karaçam odunu takviyeli PP kompozitlerin darbe direnci verileri (Narlıoğlu ve Ark. 2018)

Saf PP polimer matrisin darbe direnci değeri 29.04 J/m olarak tespit edilmiştir. Öte yandan odunu ilaveli kompozitler arasında en yüksek darbe direncini 22.56 J/m değeri ile %20 odunu ilaveli kompozit numune, en düşük darbe direncini ise 16.48 J/m ile %40 odunu ilaveli kompozit numune göstermiştir (Narlıoğlu ve Ark., 2018).

3.2.1. Termoplastik kompozitlere elyaf eklenmesi ve elyaf çeşitleri

Kompozit malzemeler esas olarak matris ve takviye edici elemanlardan oluşur. Kompozitlerin en önemli özelliklerinden olan mekanik dayanımları için seçilecek takviye edici malzeme tercihi çok önemlidir. Çünkü kullanılacak takviye edici eleman kompozitin mukavemet ve rijitliğini arttırmakla beraber kompozite gelen yükü de taşımaktadır. Genelde kırılğan yapıda olan takviye edici elemanları dış etkilerden korumak matris malzemenin görevi olup takviye edici malzemenin gerilme ve yüklenmeleri taşıyabilmesi için matris malzemenin takviye edici malzemedan ayrılmadan birbirlerine bağlanma mekanizmalarının güçlü olması gerekmektedir. (Kısmet ve Dogan, 2022, Polat, 2019).

Kompozit malzemelerde, yük taşıyıcı olarak kullanılan ve boyutları en az 20 katı olan esnek malzemeler, genellikle elyaf olarak tanımlanır. Bu tür malzemeler, takviyelendirme işlevi görür ve gereken dayanıklılık ve sağlamlığı sağlar. Takviyeler, çoğu durumda elyaf veya parçacıklardan oluşur. Ancak, parçacık takviyeli elyaflar zayıf ve kırılğandır. Elyaf türü, uzunluğu, geometrisi, yönü ve bileşimi faktörleri, bir kompozitin performansını etkileyen önemli faktörlerdir. Elyafın yönlenmesi, kompozit yapının mukavemetinde kritik bir rol oynar (Kalpakjian,2001).

Polimer matrisli kompozitler söz konusu olduğunda, yalnızca matris ve takviye elemanlarının uyumluluğu değil, aynı zamanda gerekli mukavemete sahip nihai ürün için optimum üretim sürecinin seçimi de önemlidir. Örneğin, kısa ve uzun liflerle güçlendirilmiş termoplastik matrislere sahip kompozit ürünler, plastik enjeksiyon kalıplama işlemleriyle geliştirilebilir. Benzer şekilde, ekstrüzyon teknikleri, istenen homojenliğe sahip elyaf takviyeli kompozit karışımlar elde etmek için kullanılabilir (Kısmet, 2012., Orman, 2019).

Karbon elyaf: Grafen nanotüpleri ve karbon nanotüpleri genellikle yüksek mukavemet, sertlik ve modül gerektiren uygulamalarda kullanılan takviyelerdir. Karbon nanotüpleri, en az % 92 karbon içeren elyaf malzemeleridir ve birkaç öncülde türetilirler, bunlar arasında poliakrilonitril (PAN), zift, suni ipek, polyester ve poliamidler yer alır (Huang X,2009). Havacılık, otomotiv ve spor endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan karbon nanotüplerinin, yüksek çekme dayanımı, düşük yoğunluk, yüksek ısıl stabilite ve uygun elektriksel iletkenlik gibi mükemmel özellikleri vardır. Karbon nanotüpleri, elyaf yönü boyunca iyi termal ve elektriksel iletkenlik sergilerler ve elyaf çekme modülü ve karbonizasyon sıcaklığı ile artan elektriksel ve termal iletkenlik, elyafın karbonlaşma sürecindeki işlem ve boyutlandırma yöntemleri ile sağlanır. Karbon nanotüpleri arasındaki

yapışmayı artırmak için karbonizasyon fırından çıkan karbon nanotüpleri farklı yüzey işlemlerine ve boyutlandırma işlemlerine tabi tutulurlar. Yüzey işlemleri genellikle karbon nanotüplerinin oksidatif ve oksidatif olmayan işlemlere tabi tutulmasıyla gerçekleştirilir (Dai Z vd. ,2011).

Cam elyafı: Elyaf takviyeli polimerlerde en sıklıkla kullanılan elyaf türüdür. Cam elyafların yapısı silikon dioksittir (SiO_2) . Cam elyafları, yüksek mukavemet, iyi sertlik, düşük maliyetli, düşük termal ve elektriksel iletkenlikleri ve yüksek çalışma sıcaklığı (500-1000 °C) ile karakterize edilir. Kompozit yapmak için yaygın olarak kullanılan iki farklı cam elyaf türü vardır.

Bunlar:

- **E-Cam:** En yaygın ve ekonomik cam elyafı türüdür. Silikon dioksit (SiO_2 %50), alüminyum oksit (Al_2O_3 %15), kalsiyum oksit ve bor oksitten oluşur. Düşük elektrik iletkenliğine sahiptir ve başlangıçta elektrik endüstrisinde kullanılmıştır

- **S-Cam:** Ana bileşenleri silikon oksit (SiO_2 %65), alüminyum oksit (Al_2O_3 %25) ve magnezyum oksit (MgO %10) olup, yüksek mukavemet ile karakterize edilir.

Belirli amaçlar için kullanılan başka cam elyafı türleri de vardır. Yıllar geçtikçe, cam kompozitler ağırlık avantajlarının yanı sıra sağlamlıkları ile karakterize edilmiştir. Karbon ve aramid elyafların hızlı gelişimi faydalar sağlasa da, bazı uygulamalarda cam kompozitler daha yaygın kullanılmaya devam etmektedir. Özellikle cam elyafların avantajları arasında ağırlık veya hacim başına düşük maliyet, kimyasal veya galvanik korozyona karşı direnç, mükemmel elektriksel özellikler ve birçok ürün geometrisi elde etme yeteneğidir.

Bu elyafların ortak bir dezavantajı, karbon elyafa kıyasla ısıl genişleme katsayıları ve modül özellikleridir. Cam elyafları, aramid elyaflarından daha zayıf gerilme özelliklerine sahiptir, ancak basınç altında daha iyi davranır.

Cam elyaflar filtrasyon için kullanılan cihazlarda, ısı ve elektrik yalıtımında, basınç kapları, otomotiv ve eğlence araçları için yapısal ürünlerdir. Ayrıca askeri ve havacılık endüstrilerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu kadar geniş bir uygulama yelpazesi ile, cam elyaflı kompozitlerin farklı uygulamalar için çeşitli şekillerde üretilebileceği ve yapısal uygulamalar için imalat tasarımlarının sınırsız olduğu açıktır (Department of use,1997).

Bazalt elyaf: Bazalt, tüm dünyada büyük miktarlarda bulunan magmatik bir kayadır. Bazalt Elyaf, lavlardan çıkarılan donmuş volkanik kayalardan çıkarılan doğal bir madde olan bazaltdan elde edilen benzersiz bir üründür. Bazalt taşı ezilir ve sıvılaşması için fırına konur.

Kayanın kendisi çok serttir, bu nedenle eski zamanlardan beri ezilmiş ve inşaat için kullanılmıştır. Bu taş mükemmel mukavemet, dayanıklılık ve termal özelliklere sahiptir. Bazalt elyafının işlenmesi cam elyafına göre daha kolaydır çünkü tek bir ham maddeden (bazalt) hiçbir katkı maddesi olmadan doğrudan yapılabilir (Singha,2012).

Bazalt lifleri, platin/rodyum alaşımli pota kabuklarına ezilir ve daha sonra fırınlara yüklenir ve burada 1500-1700°C arasında eritilir ve sıvılaştırılır. Bu lifler kıyılmış ve sürekli lif olarak üretilir. Bu elyaflar, geleneksel süreçlerle ve ekipman kullanılarak daha az enerji kullanılarak üretilir ve bu da ekonomik avantajlar sağlar (Fiore,2015).

Ayrıca bazalt liflerinin %100 doğal olduğu, hava veya su ile toksik reaksiyon göstermediği ve lifleştirme işleminin cam liflerine göre daha çevreci olduğu söylenmektedir (Jamshaid,2015).

Bazalt lifleri, hem mekanik hemde fiziksel özellikler açısından incelendiğinde yüksek modül, mukavemetli, korozyon direnci, yüksek sıcaklık direnci ve hafiflik gibi avantajlarıyla dikkat çekmiştir (Jamshaid, 2015). Cam elyafına çok benzer, ancak daha iyi termal kararlılığa, termal ve ses yalıtımına, titreşim direncine ve dayanıklılığa sahiptir (güçlü alkalilere camdan daha dayanıklıdır). Bazalt lifleri ayrıca kimyasallara ve tuzlu su ortamlarına karşı mükemmel direnç sunar (Wei ve Ark,2011).

Bazalt, rengi nedeniyle 'volkanik kaya ipeği' ya da 'altın lifi' olarak da adlandırılır. Kriyojenikten (yaklaşık -200 °C) yüksek sıcaklığa (700 ila 800 °C aralığında) kadar kullanılabilir. Bu, onu sıcaklığa dayanıklı diğer elyaflara göre harika bir ekonomik alternatif haline getirir (Militky, 2011) .

Tablo 3.2 Bazalt kayasının kimyasal bileşimi (URL-4, 2013)

Kimyevi Bileşim	Bazalt
Silikon Dioksit, SiO ₂	%49-51
Alüminyum Oksit, Al ₂ O ₃	%14-15,6
Demiroksit, FeO - Fe ₂ O ₃	%7,3-13,3
Kalsiyum Oksit, CaO	%10
Magnezyum Oksit, MgO	%6,2-16
Sodyum ve Potasyum Oksit, Na ₂ O + K ₂ O	%1,9-2,2
Titanyum Oksit, TiO ₂	%0,9-1,6
Mangan Oksit, MnO	%0,1-0,16
Bor Oksit, B ₂ O ₃	-
Floritler	-

Tablo 3.3. Bazalt elyafın mekanik özelliklerinin diğer elyaflarla karşılaştırılması

	Bazalt	E Camı	S Camı	Aramid	Karbon
Çekme Mukavemeti, MPa	3.000-4.840	3.100-3.800	4.020-4.650	2.900-3.450	3.500-4.400
Esneklik Katsayısı, GPa	93-110	72,5-75,5	83-86	70-179	230-800
Kopmada Uzama, %	3,1-6,0	4,7	5,3	2,40-3,60	0,50-1,50
Özgül Ağırlık	2,65-2,80	2,50-2,62	2,46	1,44	1,75-1,95
Azami Uygulama Sıcaklığı, °C	~650	~380	~500	~250	~400
Erime Sıcaklığı, °C	1.450	1.120	1.550	erimez!	erimez!

3.3. Bazalt Elyaf Takviyeli Termoplastikler

Literatürde bazalt elyaflarla güçlendirilmiş termoplastik matrisli kompozitlerle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Genel olarak çalışmalarda PP ve polietilen, bazalt elyaflar için termoplastik matrisler olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Fiore ve Ark., 2015).

Shishevan ve arkadaşları çalışmalarında PBEK'lerin düşük hızlı darbe tepkisini incelemiştir. Darbe anahtar parametrelerini karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerle (KTPK) karşılaştırmışlardır. Düşük hızlı darbe deneyleri 30, 60, 80, 100, 120 ve 160 J darbe

enerjilerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kompozitler %60 fiber ve %40 epoksi matris içeriğine sahiptir. Sonuç olarak, bazalt elyafların daha yüksek tokluğu nedeniyle PBEK, KTPK'ya göre daha iyi bir darbe direnci sergilemiştir (Shishevan ve Ark., 2017b).

Greco ve arkadaşları çalışmalarında bazalt liflerinin mekanik özelliklerini ve PP matrislere yapışmasını incelemişlerdir. Termoplastik matrisli kompozitlerde takviye olarak kullanıldığında bazalt liflerinin ilgili özellikleri üzerinde yüzey işleminin etkisini analiz etmek için farklı lif türleri incelenmiştir. Ticari veya prototip bazalt liflerinin, çekme modülü ve mukavemet açısından çok benzer mekanik özellikler göstermiştir (Greco ve Ark., 2014).

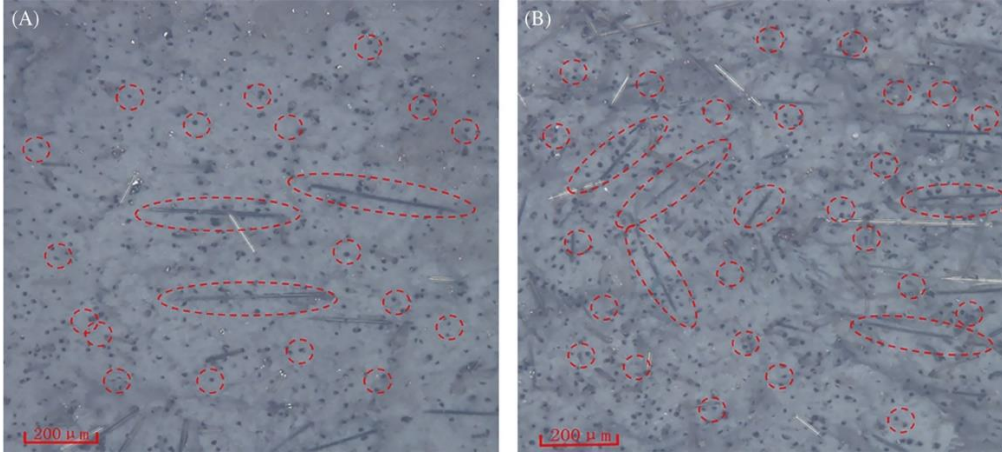
Wang ve arkadaşları bazalt elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin (BTPK) ve PP'nin mekanik özellikleri, alev geciktiriciliğini ve temel stabilitesini incelemişlerdir. Bu çalışmada, Ağırlıkça %10 ve %20 bazalt elyaflar içeren çekme numuneleri, PB₁₀ ve PB₂₀ olarak kaydedilen GB/T 1447-2005 standardına göre enjeksiyon kalıplama yöntemiyle hazırlanmıştır. Kontrol numunesi olarak bazalt elyaf katkısız (PP) numuneler kullanılmıştır (Wang ve Ark., 2020).

Mekanik özellik testleri, bir INSTRON 5985 evrensel test makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Çekme testi hızı, GB/T 1447-2005 standardına göre 2 mm/dk idi. Her malzeme için test edilen numune sayısı beş grup olup, elde edilen verilerin ortalama değeri analiz sonuçları olarak alınmıştır. Tablo 3.4'te PP, PB₁₀ ve PB₂₀ numunelerinin mekanik özellikleri gösterilmiştir (Wang ve Ark. 2020).

Tablo 3.4. PP,PB₁₀ ve PB₂₀ numunelerinin mekanik özellikleri (Wang ve Ark., 2020)

Testler	PP	PB ₁₀	Sapma (%)	PB ₂₀	Sapma (%)
Çekme mukavemeti (MPa)	12	18.79	56,6	22.91	90.8
Young modülü (GPa)	1.3	4.23	225	5.40	315
Akma mukavemeti (MPa)	16.2	16.56	6.3	20.47	26.3
Uzama (%)	85	2.70	-96.8	1.23	-98.6

Tablo 3.4'te ise çekme testlerinden sonra BTKP'lerin kırılma yüzeyinin mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.4. BTKP'nin kırılma yüzeyi mikro morfolojisi (A) PB₁₀ (B) PB₂₀ (Wang ve Ark., 2020)

Şekil 3.4'de kırmızı işaretli bölge bazı bazalt elyafların yerlerini gösterir. Çekme testleri sırasında bazalt elyafların çoğu kırıldı. Elyafın kırılması gerilme özelliklerinin iyileşmesini sağlamıştır (Wang ve Ark., 2020).

Sonuçlar bazalt elyafların PP'nin mekanik özelliklerini, alev geciktiriciliğini ve termal stabilitesini artırabileceğini göstermiştir. Bazalt lif içeriğinin artmasıyla, BTKP'lerin mukavemeti ve sertliği önemli ölçüde arttırmıştır (Wang ve Ark., 2020).

Botev ve arkadaşları PP için bir takviye maddesi olarak işlenmemiş kısa bazalt liflerinin uygunluğunu belirlemek için, birleştirme maddesi olarak bir propilen-g-maleik anhidrit (PPGMA) kullanarak farklı içerikte kısa bazalt lifleri ile doldurulmuş bir dizi ticari sınıf polipropilen üzerinde çalıştılar. Tablo 3.5'de çekme dayanımı, akma uzaması ve izod darbe dayanımı değerleri görülmektedir (Botev ve Ark., 1999).

Tablo 3.5. Bazalt elyaf, PP ve PPGMA'nın ağırlıkça karışımı sonucu mekanik özellikler (Botev ve Ark., 1999).

Numuneler	Çekme dayanımı (MPa)	Akma uzaması (%)	İzod darbe dayanımı (J/m)
PP	29.5 ± 0.20	17.5 ± 0.57	6 ± 0.3
PP+ %10 bazalt elyaf	27.1 ± 0.46	13.8 ± 0.65	25.2 ± 0.6
PP+ %20 bazalt elyaf	25.8 ± 0.33	12.1 ± 0.72	26.2 ± 2.4
PP+ %30 bazalt elyaf	25.3 ± 0.48	10.7 ± 0.60	25.3 ± 2.1
PP+ %10 bazalt elyaf + %5 PPGMA	29.8 ± 0.70	11.9 ± 0.51	28.5 ± 0.6
PP+ %10 bazalt elyaf + %10 PPGMA	31.2 ± 0.84	11.6 ± 0.37	32.6 ± 2.5
PP+ %10 bazalt elyaf + %20 PPGMA	35.5 ± 0.48	10.8 ± 0.62	32.8 ± 0.9

Bu çalışma sonucunda çekme özelliklerinin ve darbe dayanımlarının, karışımdaki bağlayıcı madde miktarının artmasıyla önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir (Botev ve Ark., 1999).



Resim 3.1. Bazalt elyaf tozu ve geri dönüşümden elde edilen polipropilen karışımı

3.4. Termoplastik Kompozitlerin Karakterizasyonu

Termoplastik kompozitlerin malzemelerin mekanik, termal ve fiziksel özelliklerini ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mekanik karakterisyonları tespiti için: Çekme, basma, eğilme, darbe ve sertlik testleri kullanılır. Termal karakterisyon tespiti için DSC, TGA, DTA testleri yapılır. Fiziksel karakterisyonları için ise FTIR ve Raman testleri uygulanmaktadır. Çekme testinde malzemeye tek ekseninde, kopuncaya kadar kuvvet uygulanır ve bu kuvvet karşısında nasıl şekil değiştirdiği çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma noktası, tokluk, elastik modül değerleri belirlenir. Resim 3.2' de çekme testi cihazı gösterilmiştir (Şişmanoğlu, 2020).



Resim 3.2. Çekme test cihazı (Şişmanoğlu, 2020)

Basma testi, numuneye sıkıştırma yükü uygulayarak bir numuneyi ezme veya kısaltma sonuçlarına dayanan bir test yöntemidir. Sıkıştırma testleri traksiyon cihazlarında da yapılırken, çekme testleri uygulanan kuvvetin tersidir. Bu testte, traksiyon cihazının alt çenesindeki iki plaka arasına standarda uygun bir numune yerleştirilir. Basınç kuvveti uygulandığında, numune içinde yanal büzülme meydana gelirken, kuvvete dik yönde genişleme gözlenir. Bu test, bir malzeme sıkıştırıldığında ortaya çıkan gerilmeleri ve gerilmeleri ölçer ve malzemenin diğer etkiler altında nasıl davrandığını belirler (Öztürk, 2020).

Malzemelerin düşey yüklere karşı mekanik dayanımını belirlemek için eğilme testleri yapılır. Bu test iki farklı şekilde yapılabilir: 3 nokta eğme veya 4 nokta eğme. Genellikle gerdirme cihazına uygun çeneler takılarak bükme testleri de yapılabilir. Eğilme özelliklerini hesaplamak için iki temel test tekniği kullanılır: 3 noktalı eğme testi ve 4 noktalı eğme testi. Örneğin binalarda kullanılan kirişler yanal yüklere maruz kalır ve eğilme momentlerine maruz kalır. Eğme testi sonuçlarından eğilme momenti (M_e), eğilme gerilimi (R_e), elastiklik modülü (E) ve sapma (δ) elde edilir. Charpy darbe testi, Izod darbe testi ve normal darbe testi, kompozit malzemelerin darbe stresini ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Özellikle termoplastik matris kompozitler için, uygulanan darbe kuvvetinin bir

sonucu olarak bir malzeme tarafından emilen darbe enerjisi miktarını belirlemek için Izod darbe testi kullanılır (Kısmet, 2012, Yalçın, 2012).

Sertlik testi, bir malzemenin çizilme ve daldırma gibi çeşitli deformasyonlara karşı direncini ölçer. Bu testler, bir delici uç ile malzeme yüzeyine nüfuz etme prensibine dayanmaktadır. Sertlik ölçümleri statik ve dinamik olmak üzere iki farklı şekilde yapılır. Statik ölçümler için Rockwell ve Vickers yöntemleri kullanılmaktadır. Dinamik sertlik ölçümlerinde, Shore yöntemi kullanılarak malzemelerin sertliği ölçülür. Shore D testi, polimer bazlı malzemelerin sertliğini ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Bu test Shore A ve D olmak üzere iki farklı şekilde yapılır. (Kısmet, 2012, Yalçın, 2012).

Termal analiz teknikleri, malzemelerin fiziksel veya kimyasal özelliklerini belirlemek için kullanılır. Kullanılan termal analiz yöntemi. Örnekler arasında Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yer alır (Kısmet ve ark. 2021, Tatlıdilli, 2020).

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizinde çok küçük bir numune alınır ve tava adı verilen küçük bir ölçüm kabına yerleştirilir. Bu madde, referans maddeyi içeren bir kap ile birlikte DSC cihazına yerleştirilir. DSC, bu numune ile bir referans arasındaki ısı akışı farkına dayalı olarak sıcaklığa bağlı bir analiz gerçekleştiren bir termal tekniktir. DSC analiz örneğinin ve referans örneğinin sıcaklığı aynı tutulmalıdır. Bu, örneğin ısıtıcıya daha fazla akım (ısı) göndererek iki malzeme arasındaki sıcaklık farkını ortadan kaldırma girişimidir. İki malzeme arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak, bu analiz endotermik veya ekzotermik tepe noktaları gösterecektir. Numune malzemesinin sıcaklığı standart malzemenin sıcaklığından yüksekse, pozitif bir sinyal üretilir ve endotermik bir eğri elde edilir. Aksi takdirde negatif sinyaller ve ekzotermik eğriler oluşur. DSC analizi, erime sıcaklığı (T_m) ve kristalleşme sıcaklığı (T_c) dışındaki malzemelerin entalpi değişimi (ΔH), camsı geçiş sıcaklığı (T_g), termal ayrışma sıcaklığı ve çapraz bağlanma sıcaklığını belirlemek için kullanılabilir (Kısmet ve Ark., 2020, Biçer, 2017).

Termogravimetri (TGA/DTA) da önemli bir termal analiz yöntemidir. Bu analiz, malzemenin kütle kaybını belirler ve malzemenin camsı geçiş sıcaklığının ve hal değişiminin bir okumasını sağlar. Bu test normal hava veya nitrojen atmosferinde yapılabilir. TGA/DTA analizinde inert bir gaz kullanılması, malzeme içinde termal ayrışmaya neden olur, ancak analizi oksijen ve hava ortamında gerçekleştirmek termo-oksidatif ayrışma eğrisi verir. TGA, malzemenin ağırlık kaybettiği sıcaklığı tespit eder (Saraç, 2021).

Diferansiyel termal analiz için kullanılan cihazlar hem izotermal hem de izotermal olmayan analiz yapabilir. DTA tekniği, bir malzemenin ısı kapasitesini değiştiren herhangi bir reaksiyonun analizine izin verir, bu nedenle özellikle seramik, cam ve mineral numuneler için geniş bir uygulama alanına sahiptir. Ayrıca faz diyagramları oluşturmak ve faz geçişlerini tespit etmek için tercih edilen bir tekniktir (Çelikbilek, 2009).



4. POLİMER MALZEMELERDE GERİ DÖNÜŞÜM

Polimerler malzeme ve enerji kaynaklarını tüketir. Düzenli depolama alanlarına atıldığında, genellikle gözden kaybolur ve kayıp bir kaynak haline gelir. Bununla birlikte, polimer malzeme ve ürünlerinde tek sorun malzeme ve enerji kaynaklarının tüketimi değildir. Polimerler yaygın olarak kullanıldıklarından ve bazı durumlarda tek kullanımlık olduklarından, artan miktarda katı atık üretirler. Polimer malzemeler; plastik ürünleri (termoplastik ve termoset), elyafları, elastomerleri, kaplamaları, yapıştırıcıları ve kompozit hibrit malzemeleri içerir (Azapagic v.d,2003).

Kullanılan polimer malzemelerin bir kısmı geri dönüştürülür. Geri dönüştürülmeyen parçalar çöplüklere gönderilir. Bu sadece değerli kaynakları israf etmekle kalmaz, aynı zamanda çevre üzerinde de olumsuz bir etkiye sahiptir. Ayrıca plastik atıkların düzenli depolama alanlarında kontrolsüz yakılması zehirli maddeler üretebilir ve havayı kirletebilir. Tüm polimer atıkları düzenli depolama alanlarına gitmez. Çöplerin çoğu şehir ve kasabaların yollarına, nehirlerine, denizlerine ve topraklarına bırakılıp saçılıyor ve bu da hayatın sağlığını ve güzelliğini olumsuz etkiliyor. “İnşa et, kullan ve imha et” uygulamasına devam etmenin, atık oluşumuna, kaynak kaybına (fiziksel ve ekonomik), çevresel tahribatlara ve artan sosyal kaygılara yol açması nedeniyle sürdürülemez olduğu açıktır. Bu nedenle, polimer malzeme ve ürünler için daha sürdürülebilir yöntemlerin tanımlanmasına ihtiyaç vardır (Azapagic v.d,2003).

Ürünün kullanım ömrü sonunda yeniden üretilmiş parçaların yeniden kullanılabilmesi, ürünün tasarımına bağlıdır. Tek tek parçaları sökmek ne kadar kolaysa, onları geri dönüşüm döngüsüne dahil etmek o kadar kolay olur. Özellikle karmaşık ürünlerin sökülmesi zordur ve parçalar zarar görerek kullanılamaz hale gelebilir. Cep telefonu, televizyon gibi birçok elektronik ürün bu şekilde tasarlanmaktadır. Burada, DFE üretim yaklaşımı sökmeyi/sökmeyi ve yeniden kullanmayı kolaylaştırır. Yeniden kullanımın önündeki üçüncü engel, müşteri algısıdır. Pek çok insan, yenilenmiş ürünlerin yenilerinden daha kötü performans gösterdiğine inanarak yeni olmayan ürünleri kabul etme konusunda isteksizdir. Bu arada tüketiciler, polimer ürünleri evlerinde yeniden kullanmaya teşvik ediliyor. Örneğin, birçok kişi düzenli olarak plastik alışveriş poşetleri, kutular ve su şişeleri kullanır. Sonuç olarak, bu ürünler, üreticinin başlangıçta amaçladığı kullanım aşamasında daha uzun süre kalır. Ancak sınırlı sayıda yeniden kullanım döngüsü nedeniyle polimer

ürünler kullanılamaz. Bu, kaynak ve atık yönetimi hiyerarşisine üçüncü bir seçenek olan geri dönüşümü getirir (Azapagic v.d,2003).

4.1. Geri Dönüşüm Yöntemleri

4.1.1. Mekanik geri dönüşüm

Mekanik olarak yapılan geri dönüşüm, plastik atıkları yeni ürünlere dönüştürmek için kırarak parçalama, yıkama, kurutma ve ekstrüzyon işlemleri gibi fiziksel ve mekanik yöntemler kullanır. Plastikler benzer ham polimerlere dahil edilmeden veya tek başına kullanılmadan önce temiz, homojen atık olarak ayrıştırılmalıdır. Bu nedenle, bilinen özelliklere sahip homojen bir atık akışı bulmak, başarılı bir geri dönüşüm için önemli bir kriterdir (Azapagic vd., 2003).

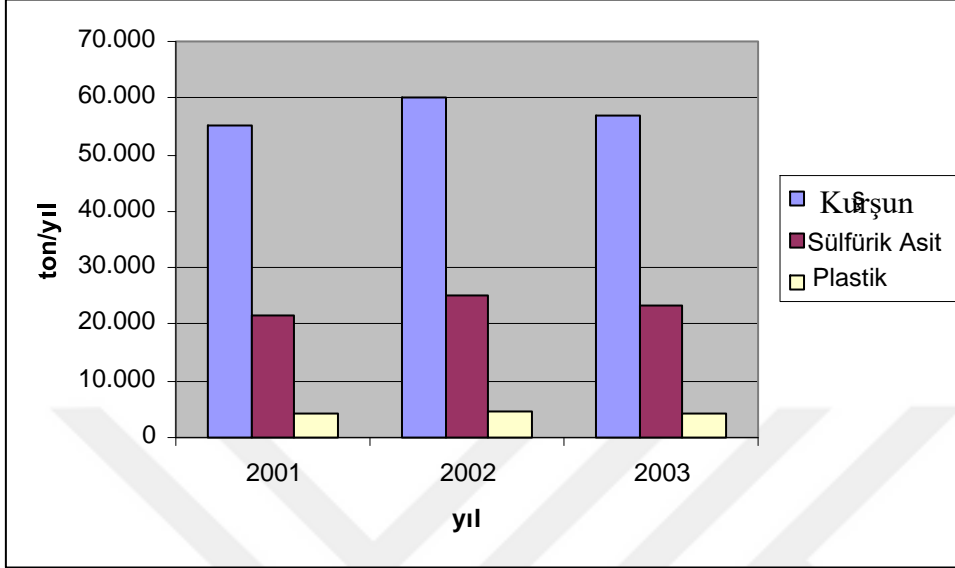
4.1.2. Kimyasal geri dönüşüm

Bu işlem aynı zamanda özellikle karışık plastik hammadde atıkları için uygun bir malzeme geri dönüşüm yöntemidir. Kimyasal işlemlerle, polimerler kimyasal bileşenlere ayrılır ve faydalı ürünlere dönüştürülür. Mekanik geri dönüşümde olduğu gibi, plastik atık da geri dönüşüm süreci spesifikasyonlarını karşılamak için bir dereceye kadar ön işlem gerektirir (Azapagic vd., 2003).

4.2. Atık akülerin yönetimi

Aküler kendisi oluşturan malzemeler dikkate alındığında tipik olarak üç ana malzemedен oluşur: kurşun, sülfürik asit ve plastik. Bu maddelerin her birinin kendine has zararlı etkileri vardır. Kullanılmış aküler kontrolsüz tesislere atılırsa veya yasa dışı bir şekilde depolanırsa, aküyü çevreleyen dış kutusunun deformasyonu veya kırılması zamanla kurşun veya kurşunla kirlenmiş sülfürik asidin çevreye salınmasına neden olabilir. Bu olay sadece toprak kirliliğine neden olmakla kalmaz, aynı zamanda göller, akarsular, nehirler ve yeraltı suları gibi içme suyu kaynaklarını da kirletir. Kullanılmış pillerin brülörde yakılması külde kurşun bırakır ve çıkan duman havaya karışan kurşun emisyonlarını artırarak hava

kirliliğine yol açar (Tombul, 2005). Şekil 4.1’de akü imalatında kullanılan kurşun, sülfürik asit ve plastiğin 3 yıl için ağırlık bakımından değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Akü imalatında kullanılan kurşun, sülfürik asit ve plastik kullanımı (Tombul, 2005)

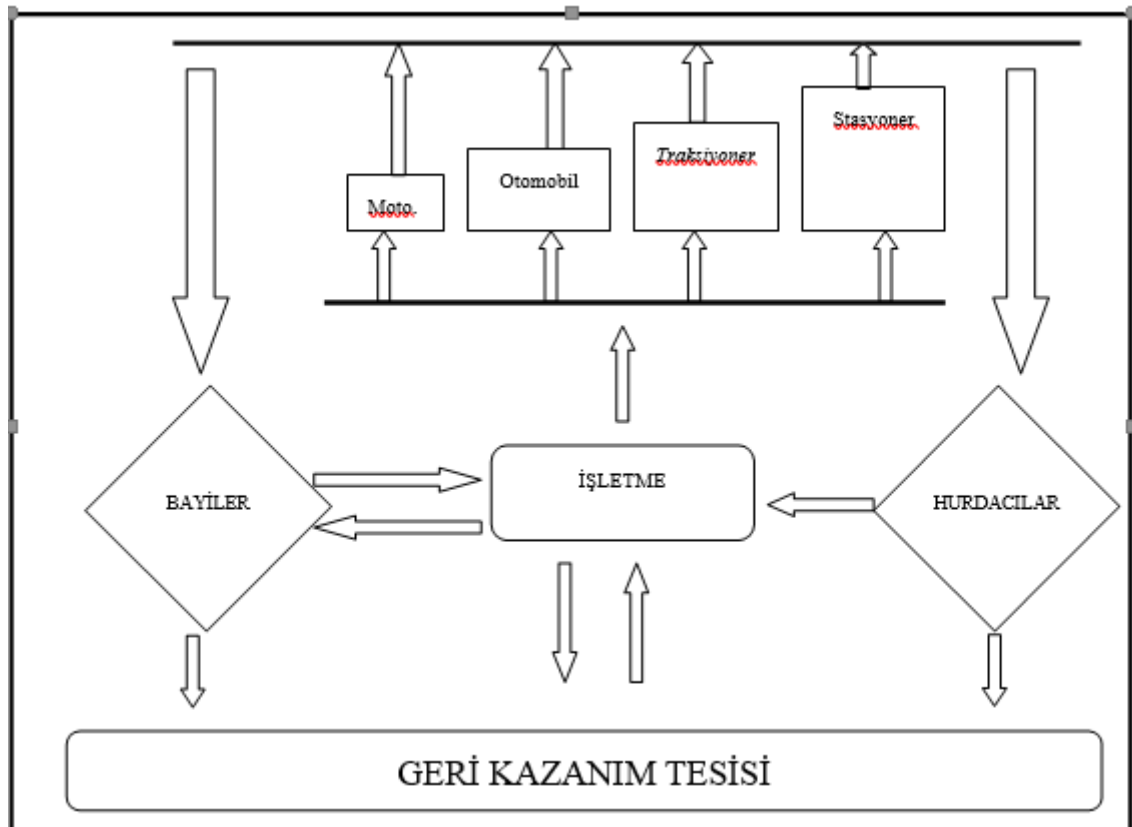
Polipropilen kasalar ve kapaklar, otomotiv akülerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Polipropilen kapakların kullanılmasının ana nedeni akü kutuları ve kapakları iyi yalıtılmalı, sızdırmaz olmalı ve mekanik ve kimyasal özelliklerini zamanla korumalıdır (Tombul, 2005).

4.2.1. Atık akülerin geri dönüşümü

Atık akülerin geri kazanımı ticari açıdan önemli bir alan olduğundan, piyasada akü toplayan irili ufaklı pek çok hurdacı bulunmaktadır. Hurda şirketleri, eski pilleri düzensiz bir şekilde toplar ve depolar. Bazı hurdacılar, kurtarılan piller karşılığında geri dönüşüm tesislerinden kurşun satın alıyor ve bu kurşunu "merdiven altı" dedikleri yerde aküleri yapmak için kullanıyor. Geri dönüşüm tesislerinden geri kazanılan kurşun, yerel ve ticari pil üreticilerinin ham madde ihtiyaçlarının çoğunu karşılamakta ve ayrıca saf kurşun, olta kurşunu ve cami kubbe kaplamaları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Atık akülerin belirli kurallara göre toplanmaması, sektörün hurdacılar ve dolayısıyla kayıt dışı bir ekonomiye dönüştüğü anlamına geliyor. Kurulan geri dönüşüm tesislerinde yeterli miktarda

kullanılmış pil bulunamadığı için kullanılmış pil pazarında rekabet başlamıştır. Sonuç olarak, kullanılmış pillerin Türkiye'deki fiyatı yurtdışına göre 2-2,5 kat arttı. Diğer bir deyişle, geri dönüşüm şirketleri, işlemek için kullanılmış pil bulmakta zorlanmakta, bu nedenle hurdacı fiyatlarını ve şartlarını kabul etmektedirler. Geri dönüşümcüler, hurdacılardan satın alınan kullanılmış pillerin asit içeriği için ödeme yapmaz. Hurda tüccarları bu nedenle bu pil asidini (sülfürik asit) ilkel bir şekilde işleyerek hem toplamada hem de nakliyede problemler, ek maliyetler ve maalesef çevreye kontrolsüz salınım olacaktır (Tombul, 2005).

Türkiye'de atık akülere uygulanan geri dönüşümünün diyagramı Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Özetle bu şema da, şirketlerin bayilerden veya hurdacılardan satın aldıkları kullanılmış aküleri içerisindeki kurşun ve plastiğin değerlendirilmesi karşılığında geri dönüşüm tesislerine göndermesidir. Geri kazanılan kurşunlar akülerin yeniden üretiminde tekrar kullanılır. Geri dönüştürülen polipropilen esaslı plastik ise gerçek piyasa değerinin çok altında olan ürünlere dönüştürülmek üzere plastik firmalarına satılır. Toplanan piller, bayiler ve hurdacılar tarafından doğrudan geri dönüşüm tesislerine satılmakta ve firmalara teslim edilmektedir. Bazı şirketler, toplanan kullanılmış pilleri distribütörler aracılığıyla geri dönüşüm tesislerine naklede (Tombul,2005).



Şekil 4.2. Türkiye'deki akü dönüşümünün akım şeması(Tombul,2005)

Makine Kimya Enstitüsü açıkladığı hurda alım fiyatlarına bakıldığında akü hurda kg bedeli 2.800,00 TL/Ton olarak Makine Kimya Enstitüsü tarafından alınmaktadır.(URL-5, 2022)

Geri dönüşümü yapılmış granül hale gelmiş polipropilen piyasada güncel olarak 8.500,00 TL/Ton olarak satılmaktadır (URL-6, 2023) .

Saf Polipropilen fiyatları ise ortalama 1.750 Amerikan Doları yani güncel kurla çarpıldığında yaklaşık olarak 34.000,00 TL/Ton olarak piyasada satılmaktadır (URL-7, 2023).



5. METARYEL VE YÖNTEM

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada PETKİM A.Ş (Türkiye) tarafından temin edilen PETOPLLEN EH102 kodlu polipropilen ve akü geri dönüşümden elde edilen polipropilen matris malzeme olarak kullanılmıştır. Dolgu maddesi olarak 100 ila 400 mikrondan tane büyüklüğüne sahip bazalt elyaf tozu (BET) kullanılmıştır. Akü geri dönüşümden elde edilen polipropilen çalışılmasının en önemli nedeni bu malzemenin piyasada bulunan tüm araç atık akülerinden elde edildiğinden kolay bulunabilir olması ve maliyetinin saf polipropilenin gerçekten değerinin çok altında olmasındandır.

5.2. Mekanik Karışım ve Eriyik Akış Analizi

Deney numunelerinin hazırlanması için Tablo 5.1’de gösterilen oranlarda toplam 5 adet farklı karışım hazırlandı

Tablo 5.1. Karışımlarda kullanılan Saf PP, Akü geri dönüşümünden elde edilen PP ve Bazalt elyaf tozu oranları.

Numune NO	Saf PP Oranı (%)	Akü Geri Dönüşümden elde edilen PP Oranı(%)	Bazalt Elyaf Oranı(%)
1	90	10	0
2	90	7	3
3	80	14	6
4	70	20	10
5	50	30	20

Elde edilecek karışımlarda dolgu malzemesi olarak saf ve geri dönüşümden elde edilen polipropilen ile ağırlıkça %3, %6, %10 ve %20 oranında bazalt elyaf tozu (BET) “Toztek” firmasına 3lt kapasiteli “çift konik mikser” kullanılarak oda sıcaklığında mekanik olarak karıştırıldı. Elde edilen karışımların akış analizleri 230 °C ve 2,160 kg yük altında ASTM D1238 (ISO1133) standartlarına uygun olacak biçimde Resim 5.1’de verilen “JPT EQUIPMANT” marka “XRL-400A” model Melt Flow Index (MFI) eriyik akış tespit cihazıyla gerçekleştirildi. Gerçekleştirilen akış analizi neticesinde karışımların hem kütleli

hem de hacimsel olarak akışkanlık değerleriyle birlikte yoğunluk değişimleri belirlenmeye çalışıldı. Yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar Bölüm-6'nın ilgili yerlerinde paylaşıldı fakat bu yapılan akış analizi neticesinde bazalt elyaf tozunun miktarındaki artışın akışkanlık da düşüşün olduğu görüldü.



Resim 5.1. JPT EQUIPMANT XRL-400A Markasına ait Melt Flow Index eriyik akış tespit cihazı

5.3. Eriyik Akış Analizi (MFI)

Termoplastik malzemeler için eriyik akış hızı testleri; bir numunenin belirli uzunluk ve çaptaki bir kalıptan belirli sıcaklık ve basınç altında geçerken kütle akış hızını (MFR) ve hacimsel akış hızını (MVR) belirleyen testlerdir. Genel olarak plastik hammadde üreten ve işleyen işletmelerde üretimde kullanılacak parametreleri kontrol etmek için faydalı bir deney olarak tanımlanmaktadır (Savaşçı ve Ark., 1998).

Tablo 5.1'de belirtilen oranlardaki mekanik karışımların kütleli ve hacimsel akışkanlık değerleri çıkarıldı. Yapılacak deneyler için daha önce mekanik karışımların eriyik akış analizi için kullanılan ve Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Polimer Bilimi ve Teknolojileri laboratuvarında bulunan Resim 5.1'de gösterilen "JPT

EQUIPMANT XRL-400A” akış tespit cihazı kullanılarak ASTM D1238 (ISO1133) standartların göre gerçekleştirilmiştir.

Deneylede Tablo 5.1’de belirtilen oranlardaki tüm karışımlar için cihaz sıcaklıkları 230 °C ve uygulama ağırlığı 2,16 kg olarak standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Kullanılan karışım ağırlığı yaklaşık olarak 6 ila 8 g arasında değişmektedir. Oluşturulan karışımlar sıcaklığı 230 C’ye ayarlanmış olan cihazın besleme ağzından huni yardımıyla dökülerek erimeye bırakılmıştır. Bu esnada 0,325 kg’lık ön yükleme ağırlığı bir piston vasıtasıyla uygulanmıştır. Bu sayede malzeme eriyik haldeyken cihazın alt kısmında bulunan memeden akmaya zorlanmıştır. İstenilen kıvamda eriyik hale gelmesi sağlanan malzeme memeden akmaya başlamasıyla piston üzerine 1,835 kg’lık ana yükleme ilave edilerek ön yüklemeyle birlikte toplamda 2,16 kg’lık yük ile akmaya zorlanmıştır. Piston seviyesi ölçüm aralığına geldiğinde cihaz otomatik olarak devreye girerek memeden akan malzeme sabit olarak her 20 saniyede bir kesilmiştir. Kesim sonucu elde edilen bu parçaların her birinin ağırlıkları hassas terazi kullanılarak belirlendi. Tartım işlerinden sonra ortalama ağırlıklar cihazın dijital panosunda bulunan ilgili yere girilerek kütle ve hacimsel akışkanlıklarında ki değişimler belirlendi. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak homojen karışımların hazırlanması için gerekli olan ekstrüzyon makinasının ısıtma bölgelerinin sıcaklıkları da yaklaşık olarak belirlenmiş oldu.

5.4. Ekstrüzyonda Homojen Karışım

Saf PP ve geri dönüşümden elde edilen PP Tablo 5.1’de belirtilen oranlara göre takviye edici bazalt elyaf tozuyla birlikte mekanik karışımı “Toztek” firmasının 3lt kapasiteli “çift konikli mikser” vasıtasıyla oda sıcaklığında yapıldı. Karışımların toplam ağırlığı 500g olacak şekilde belirlendi. Hazırlanan karışımlar Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Polimer Bilimi ve Teknolojileri laboratuvarında bulunan Resim 5.2’de görünen “BES35 LD” markasına ait tek vida ekstrüder cihazı ile yapıldı.



Resim 5.2. BES35 LD-tek vida ekstrüder makinası ve ekstrüde işlemi için hazırlanmış saf PP, geri dönüşümden elde edilen PP ve bazalt elyaf tozu içeren karışım

Üç bölge karışımı ısıtma ve bir bölge kalıp ısıtmaya sahip ekstrüzyon makinasının sıcaklık değerleri MFI sonuçları referans alınarak 230 C olarak ayarlanmıştır. Oluşturulan karışımlar her birisi 500 gr olacak şekilde cihazın besleme ünitesinden yavaş yavaş makinenin besleme haznesine dökülerek malzemelerin bu cihazda karışımları sağlanarak homojen hale gelmesi sağlanmıştır. Kalıplama kısmından silindirik bir kesite olarak akan yaklaşık 3 mm kalınlığında olan malzeme soğutma işlemi yapılması bir su havuzuna daldırılmış ve Resim 5.3'teki gösterilen kırıcıda parçalanarak yaklaşık 2-3 mm büyüklüğünde granül haline getirilmiştir.



Resim 5.3. Granül eldesi için kullanılan kırıcı

5.5. Ekstrüzyon Sonrası Akış Analizleri

Ekstrüzyonda homojen hale getirilerek hazırlanan granüllerin kütle ve hacimsel akış analizleri için daha önce eriyik akış deneylerinde kullanılan JPT EQUIPMANT XRL-400A marka cihaz kullanılarak ASTM D1238 (ISO1133) standartlarına uygun olacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde kullanılan sıcaklık ve ağırlık parametreleri ile kesme süreleri daha önce yapılan deneylerde alınan değerlerle aynı tutulmuştur. Bu sayede homojen karılma ile daha önceki mekanik karışımın kütle ve hacimsel akışkanlık değerlerine olan etkileri belirlenmiştir. Aynı zamanda yapılan bu işlem plastik enjeksiyon işlemindeki çalışma sıcaklığı hakkında ön bir bilgi edinilmiştir.

5.6. Plastik Enjeksiyon ile Numune Üretimi

Ekstrüzyon makinasında elde edilen ve soğutulan homojen karışımlar Resim 5.3'teki gösterilen kırıcıda parçalanarak yaklaşık 2-3 mm büyüklüğünde granül haline getirilmiştir.

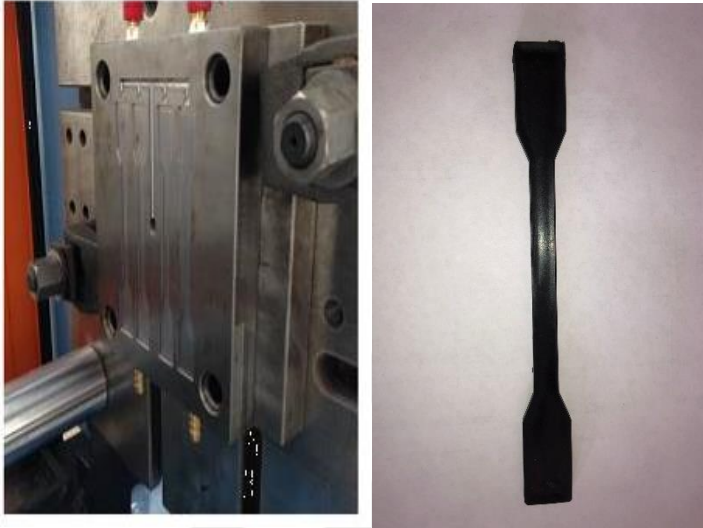
Elde edilen granüller Resim 5.4'te gösterilen Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Polimer Bilimi ve Teknolojileri laboratuvarında bulunan Ekin Marka 100 tonluk plastik enjeksiyon makinasına dökülerek kalıplara basıldı.



Resim 5.4. Ekin 100 marka plastik enjeksiyon makinesi

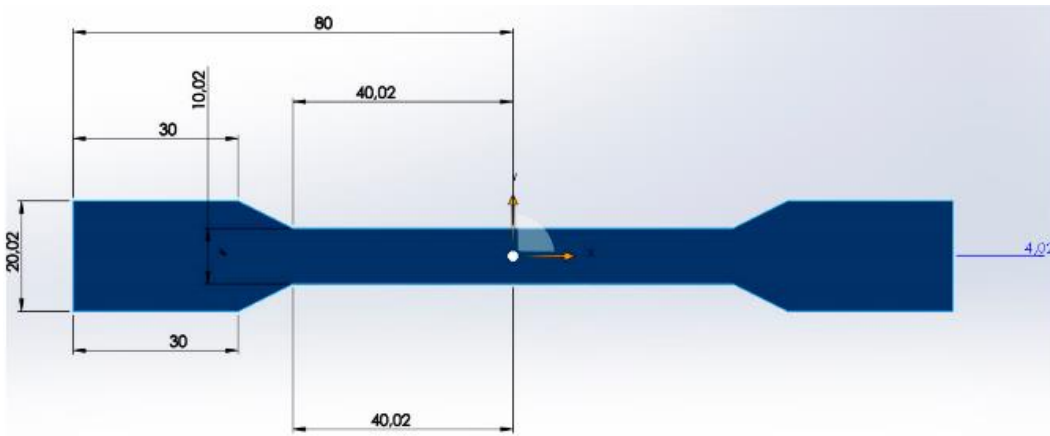
Üç bölge ısıtmalı hazneli plastik enjeksiyon makinesi, 100 tonluk bir sıkıştırma kuvvetine sahiptir. Enjeksiyon kısmı bir soğutucu ile soğutulur ve kalıp kısmı bir

şartlandırıcı ile sabit bir sıcaklıkta tutulur. Bu sıcaklık değeri genellikle enjeksiyon sırasında kullanılan erime sıcaklığının 100 °C altında belirlenir. Üretilen parçaların kalitesini sıcaklığa ek olarak enjeksiyon basıncı, ikincil basınç, ütüleme basıncı, beslenen malzeme miktarı ve soğutma süresi de etkiler. Plastik enjeksiyon ile kalıplama için 1.basınç 95bar, ikinci basınç 85 bar ütüleme basıncı 38 bar üretim parametreleri alınarak kalıplama işlemi yapılmıştır.



Resim 5.5. Plastik enjeksiyon kalıbı ve üretilen numenler

Resim 5.5’de belirtildiği gibi Tip 1A DIN ISO 527 standartlarına uygun olarak üretilen çekme çubuklarının teknik ölçüleri Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Enjeksiyon ile üretilen Tip 1A standart çekme çubuklarının teknik ölçüleri

5.7. Üretilen Numunelerin Karakterizasyonu

Şekil 5.1’de teknik ölçüleri verilen standart çekme numunelerinden tüm karışım oranlarında toplamda minimum 300 adet numune üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen testler aşağıda açıklanmaktadır.

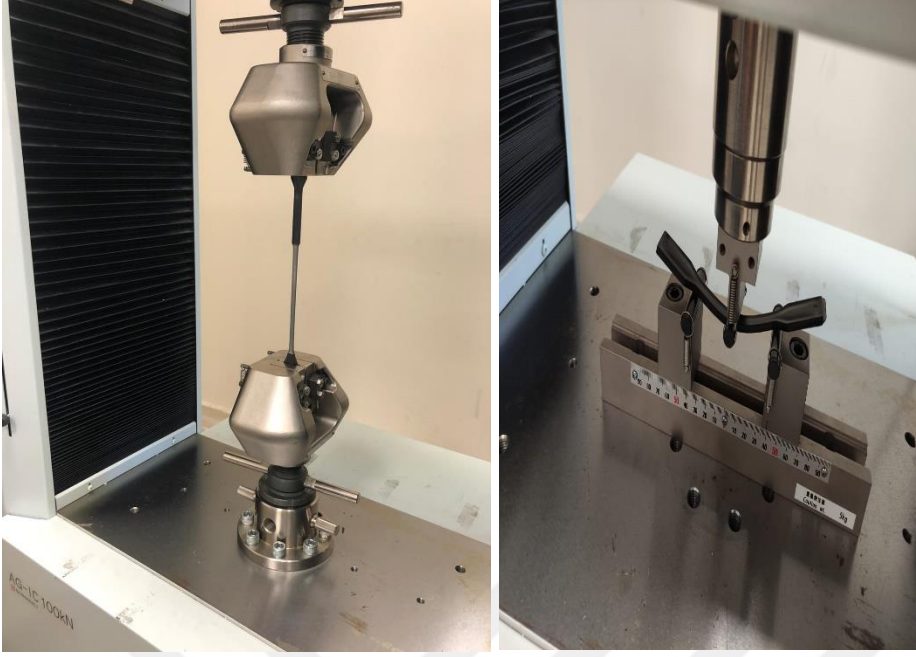
5.7.1. Mekanik testler

Mekanik testler olarak çekme, eğilme ve izod darbe testleri yapılmış olup, üretilen numunelerin her bir mekanik analizi için dolgu karışım tipi ve oranına göre üç test çubuğu kullanılmıştır.

Çekme gerilmesi;

Malzeme özelliklerinin daha iyi anlaşılması için mekanik testler gereklidir. Bu testlerden en önemlisi çekme testidir. Bu testte numune, ya kırılma oluşana ya da gerilme (gerinim) ve gerinim (boyutsal değişim) değerleri verilen değerlere gelene kadar sabit bir hızda boyuna ekseni boyunca aksenal bir kuvvete tabi tutulur ve parça çekilir. Numunenin mukavemet, yük ve uzama değerlerini ölçün. Çekme testinin temel amacı, plastik malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını ölçmektir. (Kayalı ve Ark., 1996).

Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında Shimadzu marka model “Ag-x 10t” aparat kullanılarak ASTM D 638 (DIN ISO 527) standardına göre çekme testleri yapılmıştır. Resim 5.6’da sol tarafta gösterildiği gibi cihazın çenelerine bağlanan çekme çubukları 50 mm/dak. hız ile aksenal yönde çekmeye zorlanmışlardır.



Resim 5.6. Shimadzu ag-x 10” ile gerçekteştirilen çekme ve üç nokta eğilme deneyleri

Üç nokta eğilme gerilmesi:

3 noktalı eğme testinin amacı, bir malzemenin düşey yüklere karşı dayanımını ölçmektir. Eğme testi sırasında test edilen bir numuneye bir kuvvet uygulandığında, numunenin bazı kısımlarında basınç gerilmeleri ve diğer kısımlarında malzemenin büküldüğünü gösteren çekme gerilmeleri oluşur. Bu test, bir malzemenin maksimum sehim, eğilme momenti ve modülü gibi değerleri belirlemek için kullanılabilir. (Kayalı ve ark., 1996).

ASTM D 790 (DIN ISO 178) standartlarına uygun olarak Resim 5.6’de (sağda) gösterildiği gibi gerçekleştirilen üç nokta eğilme deneyleri için 80mmx10mmx4mm ebatlarında numune kullanılmış olup eğilme hızı parametresi 10mm/dak. alınmıştır. Deneylerde malzemenin yapacağı maksimum sehim parametresi ise 6mm olarak belirlenmiştir.

İzod darbe gerilmesi:

Darbe deneyleri DIN ISO 180 standartlarına uygun olarak Elazığ Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan “INSTRON WOLPERT PW30” marka darbe cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney düzenğinde serbest düşme ile bırakılan çekiç numuneye çarparak salınımına devam etmekte çekiç tekrar geri dönerken ilk bıraktığı yükseklik ile numuneye çarptıktan sonra çıkabildiği yükseklik

arasındaki mesafe ölçülerek numuneyi dinamik yükleme altında kırmak için gereken enerji miktarı belirlenir. Resim 5.7’de “INSTRON WOLPERT PW30” marka darbe cihazı gösterilmiştir.



Resim 5.7. Darbe Test Cihazı

5.7.2. Termal testler

Numunelere yapılacak termal testler kapsamında termogravimetrik (TGA/DTA) analizler gerçekleştirildi. Eş zamanlı olarak gerçekleştirilen TGA/DTA analizlerde kullanılan numunelerin artan sıcaklık karşısında numunenin ağırlık değişimi ve referans ile arasındaki sıcaklık farkları cihazda kullanılan program aracılığıyla tespit edildi. Malzemeler kontrollü bir ısı artışı ile belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılırlar. Bu işlem için az miktarda numune kullanılması yeterlidir. Analiz sonucunda meydana gelecek kütle kayıpları (TG) ve egzotermik ya da endotermik tepkimeler neticesinde meydana gelen sıcaklık değişimleri

diferansiyel termal analiz (TGA) yöntemiyle tespit edilir. Bu analiz ile numunenin erime ve yanmasına ait olan değişimler kolaylıkla belirlenir.

Çalışmada kullanılan TGA/DTA cihazı Munzur Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Resim 5.8’de görünen “DTG 60” marka cihaz ile azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler 600 C’ye kadar dakikada 10 °C’lik ısı artışı ile ısıtılmışlardır.



Resim 5.8. DTG 60 TGA/DTA cihazı

5.7.3. Morfolojik analiz

Polimer biliminde malzemelerin fiziksel karakterizasyonlarının tespitinde sıklıkla taramalı elektron mikroskobu kullanılmaktadır. Elektron mikroskobu kompozit malzemelerde kompoziti oluşturan matris, dolgu maddesi ve diğer bağlayıcıları nano boyutta gözlemleyerek kompoziti oluşturan bu malzemelerin tamamının yerleşim ve boşluk durumları ile kompozit içindeki dağılımlarını rahatlıkla belirlenmektedir. Bu işlemi yapabilmek için incelenecek numuneden hasarsız bir parça kesiti mikroskobunun göndereceği elektronları düzgün bir şekilde yansıtacak bir malzeme ile homojen şekilde kaplanır ve numune test işlemi için hazırlanır. Daha sonra kaplanmış numune kesitine elektronlar gönderilerek yüksek kaliteli ve yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilir.



Resim 5.9. HITACHI SU 3500 taramalı elektron mikroskobu

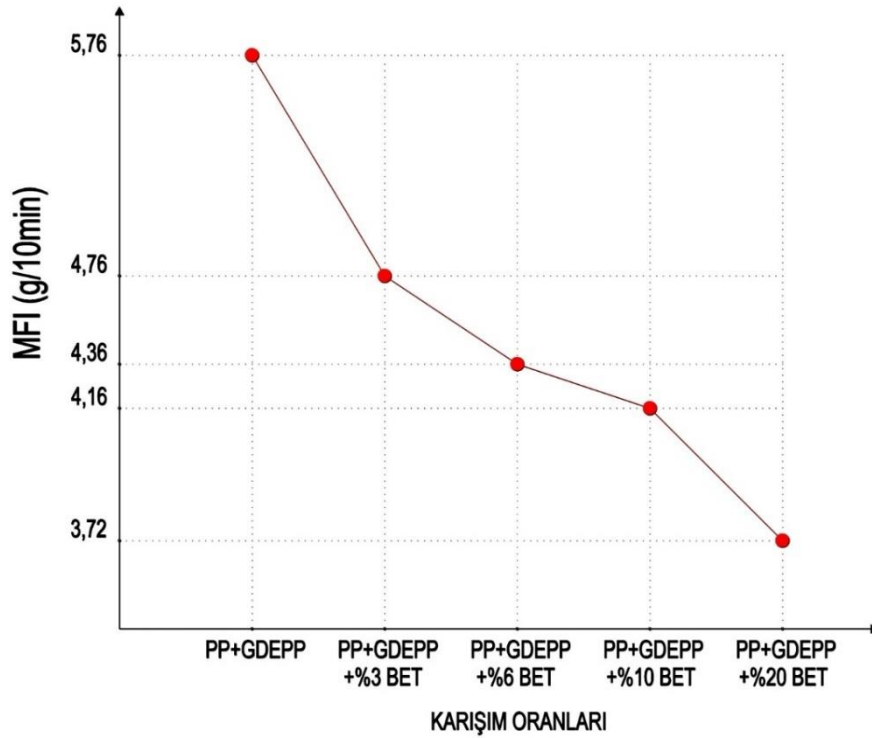
Bu çalışmada numune kesitlerinin incelenmesi için Resim 5.9’de görünen Munzur Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan HITACHI SU 3500 marka elektron mikroskobu kullanıldı. İncelenecek olan kesitlerde net görüntüler elde edilmesi için kesitlerin yüzeylerinde plastik deformasyon minimum seviyede olması gerekmektedir. Deformasyonu minimum seviyeye indirmek için numuneler gevrek kırılma edilerek kesit hazırlanmalıdır. Numune çubukları sıvı azot içerisinde dondurularak kırıldı. Kırılan numunelerden yüzeyleri deforme olmayan parçalar alınarak altın kaplama ile kaplandı ve elektron mikroskobunda incelendi. Böylelikle matris ile dolgu maddelerinin birbirleriyle tutunma mekanizmaları gözlemlendi. Farklı oranlardaki karışımlarla hazırlanan numunelerin dolgu maddelerinin oranının sonucu bağlanma ve elyaf dağılım yapıları belirlendi.

6. TEST SONUÇLARI

Bu bölümde tez kapsamında bazalt elyaf tozu dolgulu hem geri dönüşüm hem de saf polipropilen (PP) kullanılarak üretilen kompozit numunelere ait deney sonuçları verilmiştir.

6.1. Eriyik Akış Analiz Sonuçları

Bazalt elyaf tozunun dolgu maddesi olarak kullanıldığı saf ve geri dönüşümde elde edilen polipropilene ait hem mekanik karışımların hem de ekstrüzyon sonrası elde edilen homojen karışımların eriyik akış indeksi sonuçları Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Bazalt elyaf oranına bağlı olarak karışımların eriyik akış indeksindeki değişim

Gerçekleştirilen MFI deneyi neticesinde polipropilen için elde edilen değerler Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Polipropilen PETOPL EN EH122 malzemesine ait MFR ile yoğunluk değerleri (URL-8, 2022).

Polipropilen PETOPL EN EH122	Birimi	Değeri	Metodu
Erime Akış Hızı (MFR) (2160 gr, 230 °C)	gr/10 dak.	11	ASTM D-1238
Yoğunluk 23 °C	gr/cm ³	0,905	ASTM D-1505

Karışımlarda kullanılan Saf PP, akü geri dönüşümünden elde edilen PP ve Bazalt elyaf tozu oranları yapılan testlerde:

%90 Saf PP, %10 geri dönüşümden elde edilen PP, karşım için MFI hesaplamaları

Test sonucu çıkan 16 adet parçanın ortalama ağırlık değeri alınıp bu değeri cihaza veri girişi yapılarak MFR, MVR ve yoğunluk değerleri alınır, verilerin sonuçları aşağıdaki gibidir;

Ortalama ağırlık = 0.102 gr

MFR = 5,76 gr/10 dak.

MVR= 5,45 cm³/10 dak. Yoğunluk = 0,89 gr/ cm³

%90 PP , %7 geri dönüşümden elde edilen PP ve %3 bazalt elyaf tozu10 gr karşım için MFI hesaplamaları

Test sonucu elde edilen 12 adet parçanın ortalama ağırlık değeri alınarak bu değeri cihaza girilerek MFR, MVR ve yoğunluk değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

Ortalama ağırlık = 0.107 gr MFR = 4,76 gr/10 dak.

MVR= 5,12 cm³/10 dak. Yoğunluk = 0,911 gr/ cm³

%80 PP , %14 geri dönüşümden elde edilen PP ve %6 bazalt elyaf tozu10 gr karşım için MFI hesaplamaları

Test sonucu elde edilen 15 adet parçanın ortalama ağırlık değeri alınarak bu değeri cihaza girilerek MFR, MVR ve yoğunluk değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

Ortalama ağırlık = 0.103 gr MFR = 4,36 gr/10 dak.

MVR= 5,08 cm³/10 dak. Yoğunluk = 0,911 gr/ cm³

%70 PP , %20 geri dönüşümden elde edilen PP ve %10 bazalt elyaf tozu10 gr karşım için MFI hesaplamaları

Test sonucu elde edilen 18adet parçanın ortalama ağırlık değeri alınarak bu değeri cihaza girilerek MFR, MVR ve yoğunluk değeri aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

Ortalama ağırlık = 0.095 gr MFR = 4,16 gr/10 dak.

MVR= 4,55 cm³/10 dak. Yoğunluk = 0,927 gr/ cm³

%50 PP , %30 geri dönüşümden elde edilen PP ve %20 bazalt elyaf tozu10 gr karşım için MFI hesaplamaları

Test sonucu elde edilen 22 adet parçanın ortalama ağırlık değeri alınarak bu değeri cihaza girilerek MFR, MVR ve yoğunluk değeri aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

Ortalama ağırlık = 0.088 gr MFR = 3,72 gr/10 dak.

MVR= 3,65 cm³/10 dak. Yoğunluk = 1,01 gr/ cm³

Farklı oranlardaki bazalt elyaf takviyeli polipropilen kompozit malzemesine ait eriyik akış indeksindeki değışikliklere ait veriler yukarıda verilmiştir. Şekil 6.1.'de görüleceği üzere bazalt elyaf tozunun miktarının artışı ile eriyik akış indeksinde önemli bir düşüş meydana geldiği görülmüştür. Saf polipropilen malzemesinin eriyik akış indeksi 11 gr/10 dakika iken bu referans değeri %20 bazalt elyaf takviyeli polipropilen malzemesinde 3,72 gr/10 dakika olarak ölçülmüştür. Hazırlanan bu farklı oranlardaki karışımlara ait eriyik indeskleri matris malzemeye eklenecek maksimum bazalt elyaf tozu miktarıyla ilgili olarakta bilgi elde edilmiştir. Bazalt elyaf tozu polietilende daha yoğun bir malzeme olduğundan artan elyaf miktarına bağlı olarak da karışım yoğunluklarının artmış olduğu görülmüştür.

Mekanik Test Sonuçları

Bu çalışmada mekanik testler kapsamında çekme testi, üç nokta eğilme ve izod darbe testlerine ait sonuçlar aşağıda grafikler ve tablolar verilerek açıklanmıştır. Burada kullanılan saf polipropilen, geri dönüşümden elde edilen polipropilen ve bazalt elyaf tozu oranları Tablo 6.2'de belirtildiği gibi numaralandırılarak adlandırılmıştır. Daha sonra verilecek tüm grafiklerde, tablolarda ve açıklamalarda da bu adlandırmalar kullanılmıştır.

Tablo 6.2. Numunelerin üretiminde kullanılan dolgu maddeleri ve içerikleri oranları ve kısaltmaları.

Numune Adı	Saf PP Oranı (%)	Akü Geri Dönüşümden elde edilen PP Oranı(%)	Bazalt Oranı(%)	Elyaf
PP+GDEPP	90	10	0	
PP+GDEPP+%3BET	90	7	3	
PP+GDEPP+%6BET	80	14	6	
PP+GDEPP+%10BET	70	20	10	
PP+GDEPP+%20BET	50	30	20	

6.1.1. Çekme test sonuçları

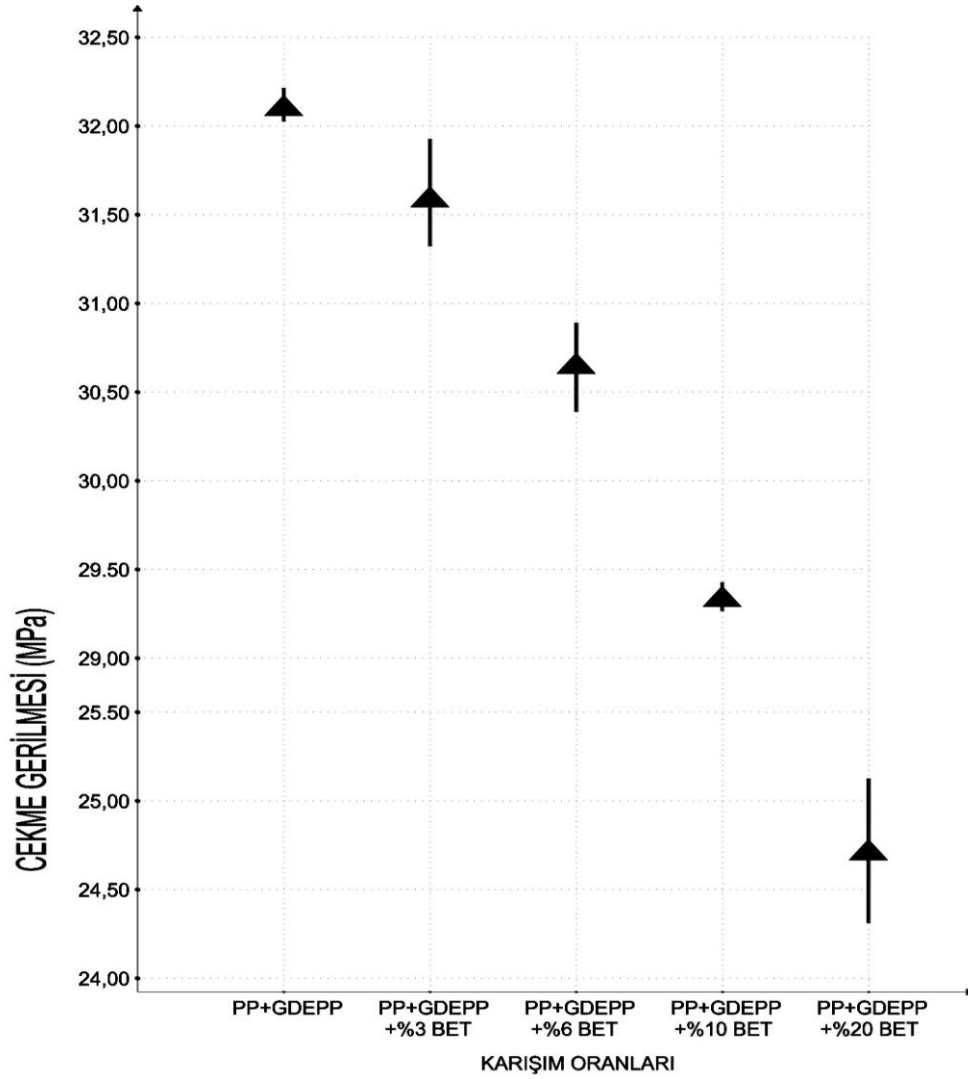
Bu çalışmada yapılan çekme testi sonucuna ait çekme gerilmesi değerleri ve bu sonuçlara ait standart sapma değerleri tablo 6.3.'de verilmiştir. Elastite modülündeki (E-modülü) değişime ait grafik de şekil 6.3.'de aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.3. Farklı karışım oranlarına göre çekme mukavemeti değerleri

	1.Test (MPA)	2.Test (MPA)	3.Test (MPA)	Ortalama (MPA)	Standart Sapma
PP+GDEPP	32,28	32,28	32,28	32,28	0,00
PP+GDEPP+%3BET	31,30	31,92	31,59	31,60	0,31
PP+GDEPP+%6BET	30,65	30,80	30,45	30,63	0,17
PP+GDEPP+%10BET	29,39	29,37	29,38	29,38	0,01
PP+GDEPP+%20BET	24,69	25,19	24,36	24,74	0,41

Tablo 6.4. Farklı karışım oranlarına göre Elastite Modülü değerleri

	1.Test (MPA)	2.Test (MPA)	3.Test (MPA)	Ortalama (MPA)	Standart Sapma
PP+GDEPP	1277	1277	1277	1277	0,00
PP+GDEPP+%3BET	1277	1273	1255	1268	11,71
PP+GDEPP+%6BET	1333	1320	1289	1314	22,60
PP+GDEPP+%10BET	1384	1378	1323	1361	33,62
PP+GDEPP+%20BET	1566	1506	1463	1511	51,73

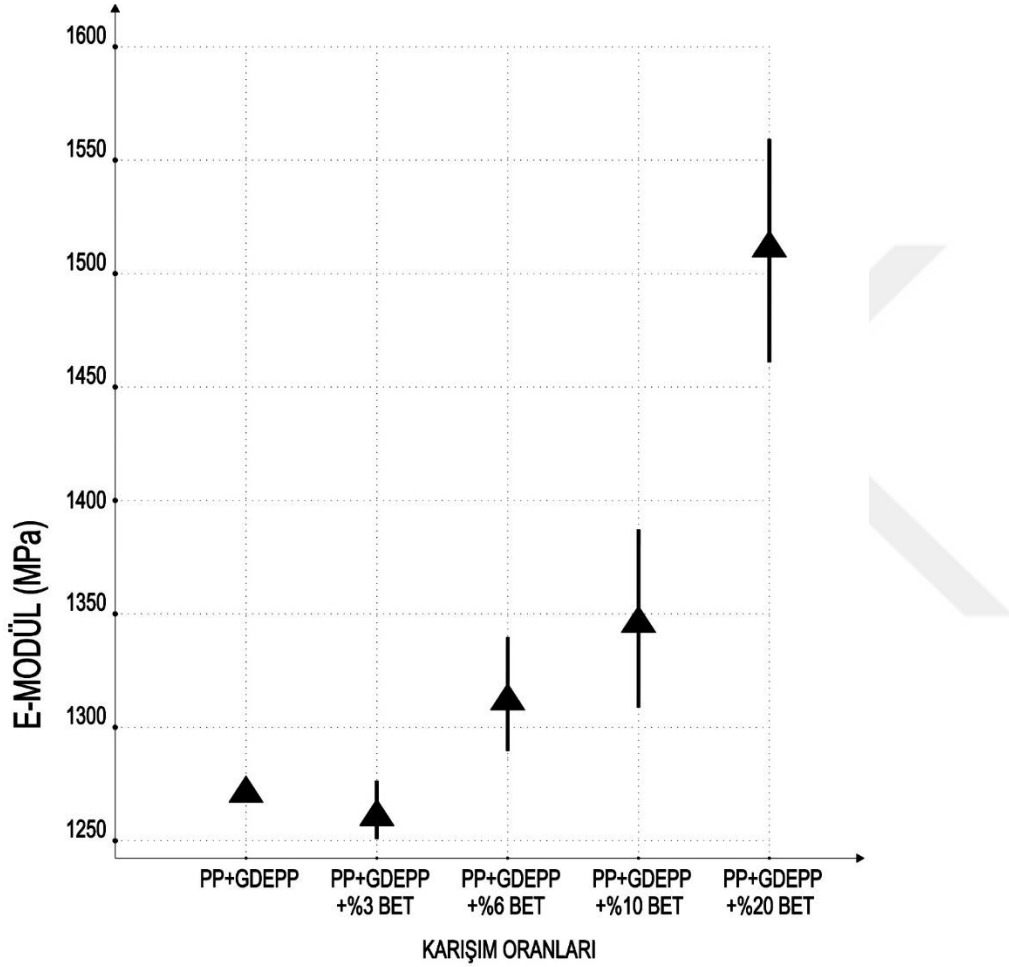


Şekil 6.2. Bazalt elyaf oranına bağlı olarak çekme gerilmesindeki değişim

Şekil 6.2'deki grafiğe göre artan bazalt elyaf tozu dolgu maddesine bağlı olarak polipropilen numunelerinin çekme mukavemetleri saf polipropilene göre bir miktar azalış göstermektedir. Bazalt elyaf takviyesi içermeyen polipropilen numunelerinin çekme mukavemet değeri 32,28 MPa iken ağırlıkça %3 bazalt elyaf takviyeli numunelerde bu değer düşüş gösterip 31,60 MPa olmuştur. Ağırlıkça %6 bazalt elyaf dolgulu numune ise 30,63 MPa olarak belirlenmiştir. Bazalt elyaf oranı %10 olan numune de düşüş devam ederek 29,63Mpa ve bazalt elyaf dolgu oranı iki katına çıkarılarak %20 bazalt elyaf tozu dolgulu hazırlanan karışımda ise düşüş çok açık bir şekilde gözlenerek 24,74 MPa olarak ölçülmüştür.

Numunelerin standart sapma aralığına bakıldığında en fazla %20 bazalt elyaf katkı malzemede olduğu görülmektedir. Standart sapma değerinin bu karışım oranında yüksek

çıkmasının sebebini polipropilen ile bazalt elyaf tozu malzemesinin hem mekanik karışımda hemde ekstrüzyonda hazırlanan karışılarda istenilen düzeyde homojenliğin yakalayamaması, numune içerisinde elyaf oranına bağlı boşlukların oluşmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Çekme testlerine grafikler ve bunların sonuçlarına ait diğer değerler ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 6.3. Bazalt elyaf oranına bağlı olarak E-modülündeki değişim

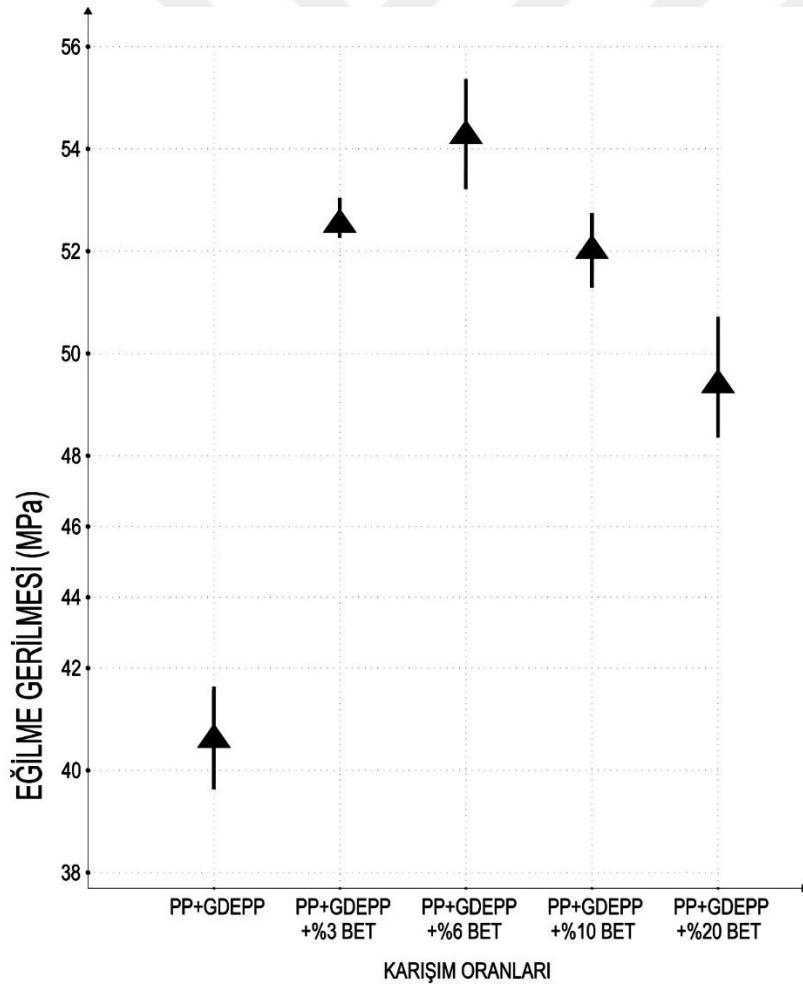
Şekil 6.3’de bazalt elyaf tozu dolgu takviyeli polipropilen numunelerinin çekme dayanımı sonucunda elastite modülündeki değişimler görülmektedir. Grafiğe göre dolgu oranlarındaki artışa bağlı olarak numunelerin E-modüllerinde artış görülmüştür. Elyaf katkısı olmayan polipropilen numunenin E-modülü 1277 MPa iken bu değer ağırlıkça %20 bazalt elyaf tozu içeren numune de bu değer 1511MPa olarak tespit edilmiştir.

6.1.2. Üç nokta eğilme gerilmesi

Üretilen farklı oranlardaki numunelere ait 3-nokta eğilme gerilmesi deneylerine ait sonuçlar ve bu değerlere ait standart sapma değerleri Tablo 6.5'te verilmiştir. Bu de değerler Şekil 6.4.deki grafiklerle açıklanmıştır.

Tablo 6.5. Farklı karışım oranlarına göre üç nokta eğilme gerilmesine ait değerler.

	1.Test (MPa)	2.Test (MPa)	3.Test (MPa)	Ortalama (MPa)	Standart Sapma
PP+GDEPP	39,60	41,62	39,83	40,35	1,10
PP+GDEPP+%3BET	53,12	53,87	52,66	53,21	0,61
PP+GDEPP+%6BET	53,43	54,75	55,43	54,53	1,01
PP+GDEPP+%10BET	52,56	52,61	51,31	52,16	0,70
PP+GDEPP+%20BET	50,43	50,50	48,18	49,70	0,73



Şekil 6.4. Dolgu maddesi ağırlık oranına bağlı olarak eğilme gerilmesindeki değişim.

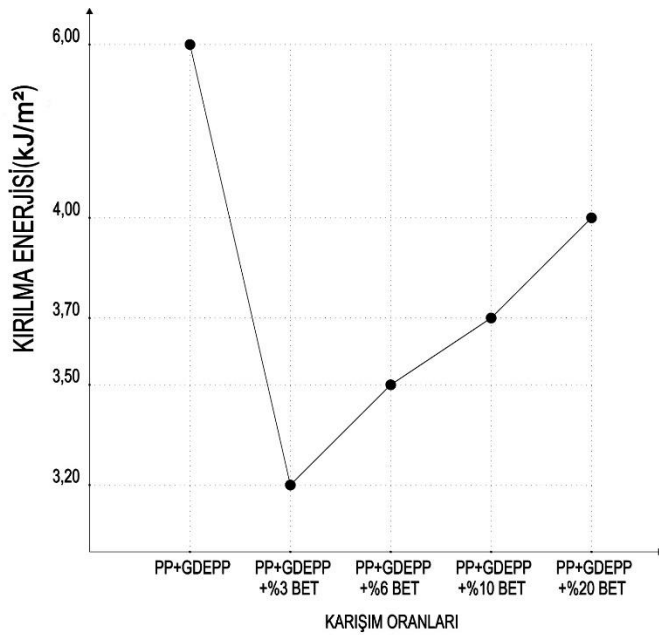
Şekil 6.4’de kullanılan bazalt elyaf miktarına bağlı olarak numunelerin düşey yüklemelere karşı dayanımı görülmektedir. Bazalt elyaf içermeyen numunelerin dayanımı 40,35 MPa civarında iken ağırlıkça %6 oranında bazalt elyaf içeren numunede önemli ölçüde artarak 53,53 MPa olarak ölçülmüştür. Her ne kadar bazalt elyaf oranında ki artışa bağlı olarak üretilen diğer numunelerde eğilme gerilmesinde bir miktar azalma meydana gelse de bazalt elyaf içermeyen numunelere kıyasla bütün numunelerde eğilme gerilmesinin artmış olduğu görülmektedir.

6.1.3. İzod darbe mukavemeti

Üretilen farklı oranlardaki numunelere ait izod darbe deneylerine ait sonuçlar Tablo 6.6 ‘da verilmiştir. Bu de değerler Şekil 6.5’deki grafikte açıklanmıştır.

Tablo 6.6. Farklı karışım oranlarına göre kırılma enerjisine ait değerler

	Ortalama (kJ/m ²)
PP+GDEPP	6
PP+GDEPP+%3BET	3,2
PP+GDEPP+%6BET	3,5
PP+GDEPP+%10BET	3,7
PP+GDEPP+%20BET	4

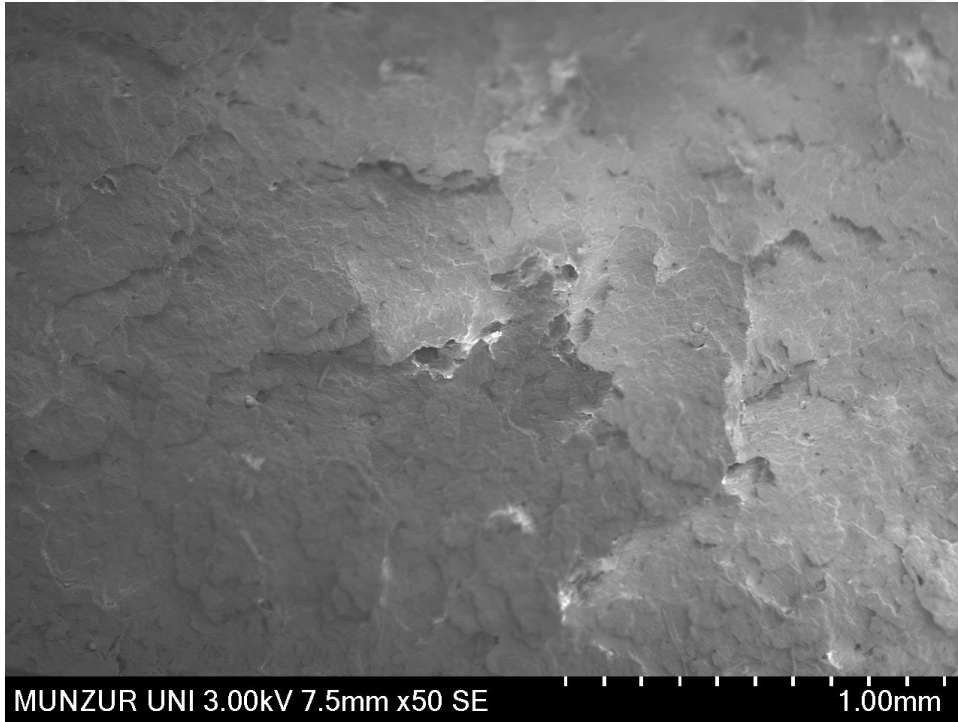


Şekil 6.5. Dolgu maddesi ağırlık oranına bağlı kırılma enerjisindeki değişim.

Şekil 6.5'teki grafiğe göre artan bazalt elyaf tozu dolgu maddesine bağlı olarak kırılma enerjilerinde düşüş olduğu buda elyaf oranı arttıkça daha düşük enerjide kırılma olacağını göstermektedir. Bu durum bazalt elyaf oranı artışının malzemenin esnekliğini olumsuz etkileyeceği ve darbe dayanımında azalma olduğunu göstermektedir

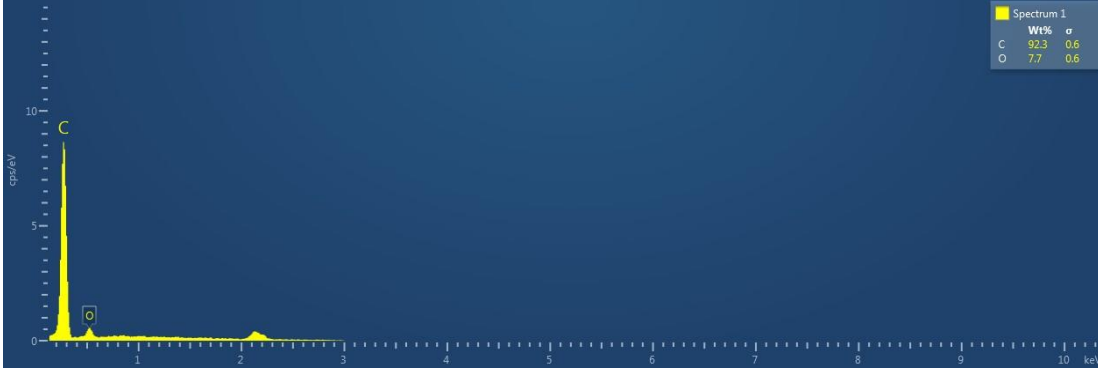
6.2. Elektron Mikroskobu Sonuçları (SEM/EDS)

Geri dönüşüm polipropilen (GDPP) ve saf polipropilen (PP) karışımlarından üretilen numunenin kesiti elektron mikroskobunda incelenmiş olup elde edilen görüntüler aşağıda verilmiştir.



Resim 6.1. Ağırlıkça %90 saf PP ,%10 geri dönüşümden elde edilen PP ve bazalt elyaf dolgusu içermeyen numuneye ait kesit görüntüsü.

Resim 6.1'de bazalt elyaf dolgusu içermeyen saf polipropilen ve geri dönüşüm polipropilenin karışımı ile üretilen numunenin kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu görüntüye göre numunenin yüzeyinin plastik deformasyondan bağımsız olmadığı görülmektedir

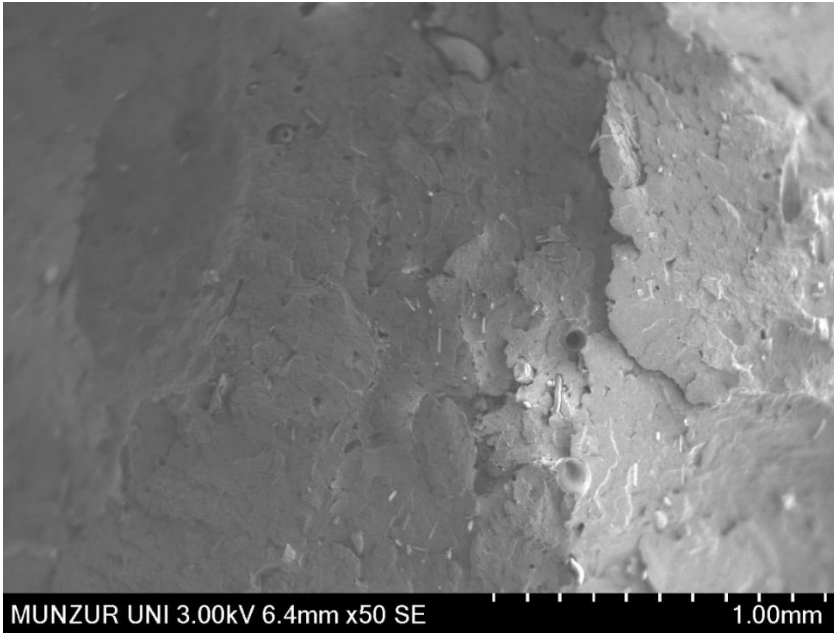


Resim 6.2. EDS analizine ait spektrum sonucu

Resim 6.2’ de görünen spektruma göre numune kesitinde C ve O atomlarının olduğu tespit edilmiş olup bu atomların ağırlıkça oranları ise Tablo 6.7’de verilmiştir. Numunede herhangi bir dolgu malzemesi kullanılmadığı için yapılan elementer analizde sadece karbon ve oksijene rastlanmıştır.

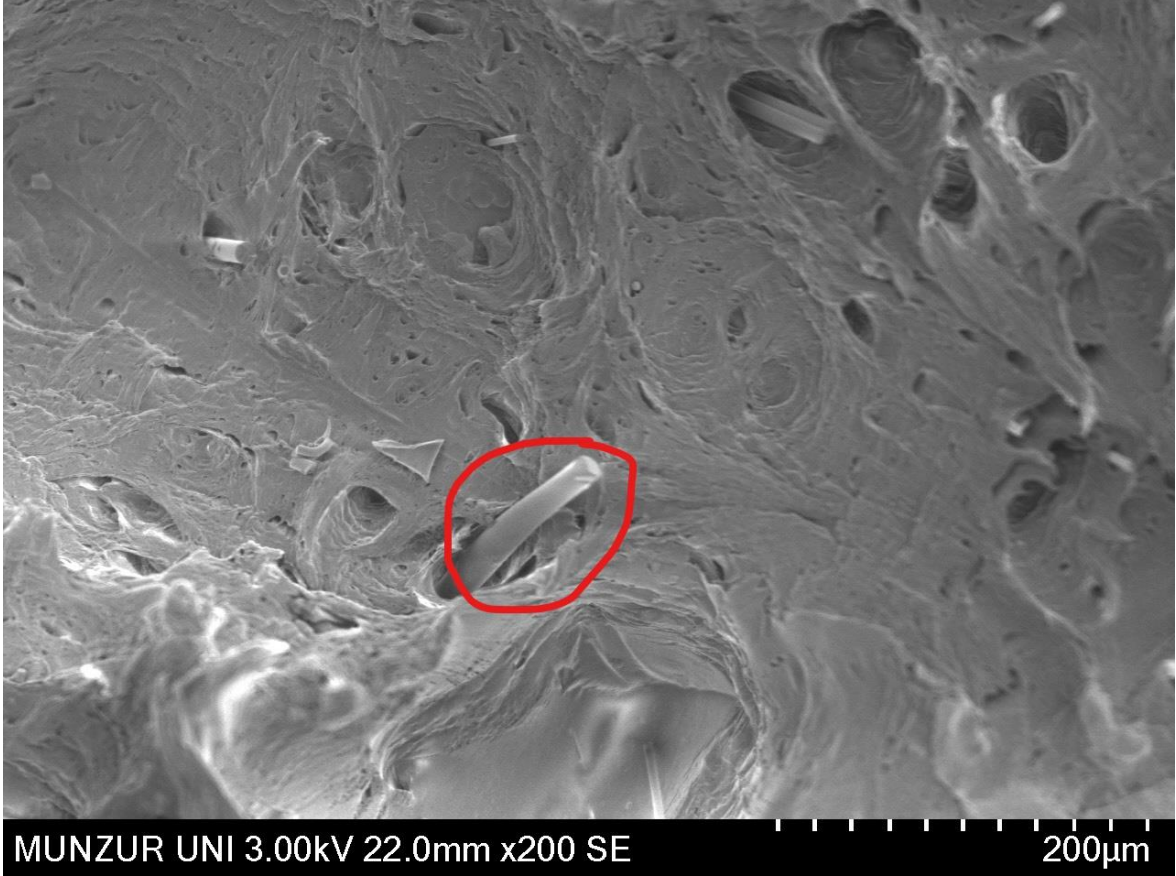
Tablo 6.7. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları

Spektrum			
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma
C (karbon)	K serisi	92,3	0,6
O (oksijen)	K serisi	6,7	0,6
Toplam		100,00	



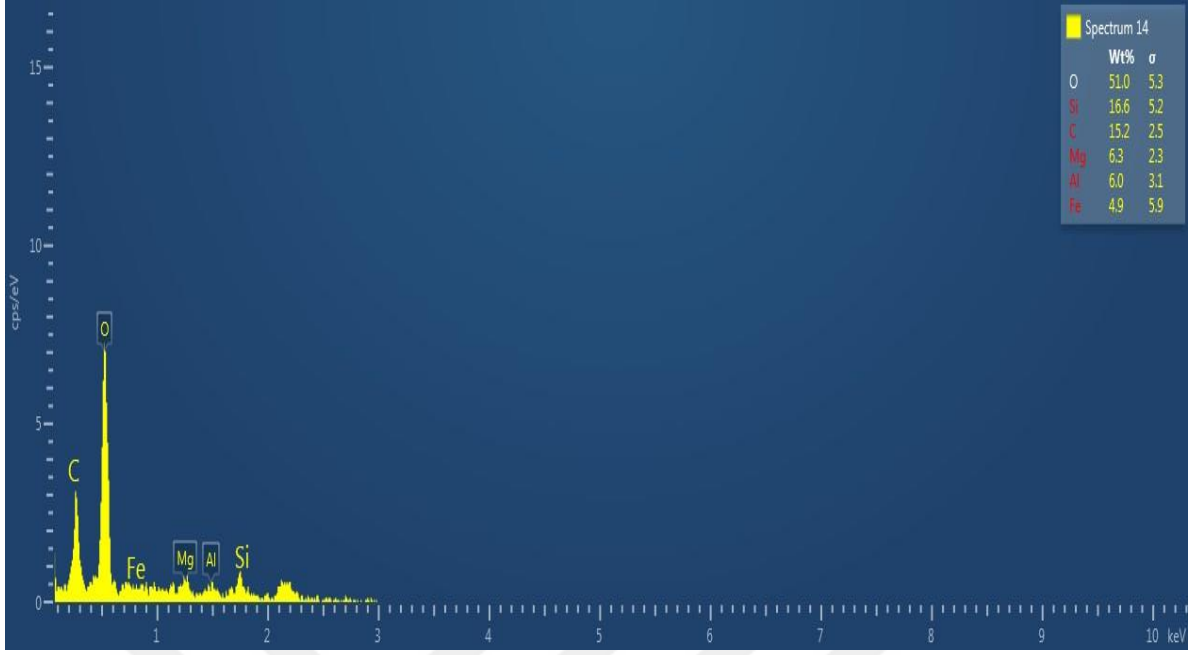
Resim 6.3. Ağırlıkça %70 saf PP ,%20 geri dönüşümden elde edilen PP ve %10 bazalt elyaf içeren numuneye ait kesit görüntüleri.

Resim 6.3’de ağırlıkça %10 bazalt elyaf dolgusu içeren numunenin kesitine ait görüntü yer almaktadır. Görüntüde anlaşılacağı üzere bu numunede bazalt elyaf dolgusu olduğundan matris malzemeye içerisinde dağınık halde elyaflar görülmektedir. Dolgu maddelerinin bir kısmının yüzeyde plastik deformasyon neden ile koptuğu ve boşlukların oluştuğu tespit edilmiştir



Resim 6.4. EDS analizi için seçilen yüzey

Resim 6.4’te EDS analizi için seçilen yüzey gösterilmiştir. Elementer analiz yapılacak bölge kırmızı ile işaretlenmiştir. Bu analiz sonucunda tespit edilen elementler ve bu elementlere ait spectrum eğrisi ve ağırlıkça kütleli ve moleküler değişimleri Tablo 6.8’de ve Resim 6.5 ‘te verilmiştir.



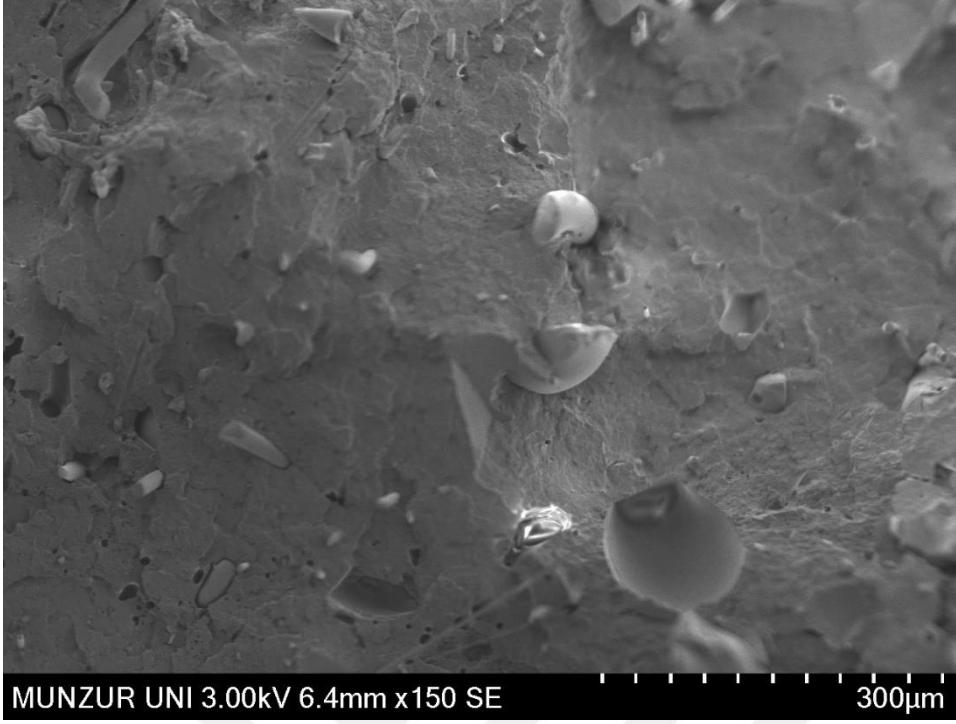
Resim 6.5. %10 bazalt elyaf katkılı numunenin EDS analizine ait spektrum sonucu

Resim 6.5'te EDS analizi sonucunda elementlere ait spektrum boyları görülmektedir. C, O ve diğer elementlerine ait detaylı bilgiler ise Tablo 6.3'de verilmiştir.

Tablo 6.8. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları

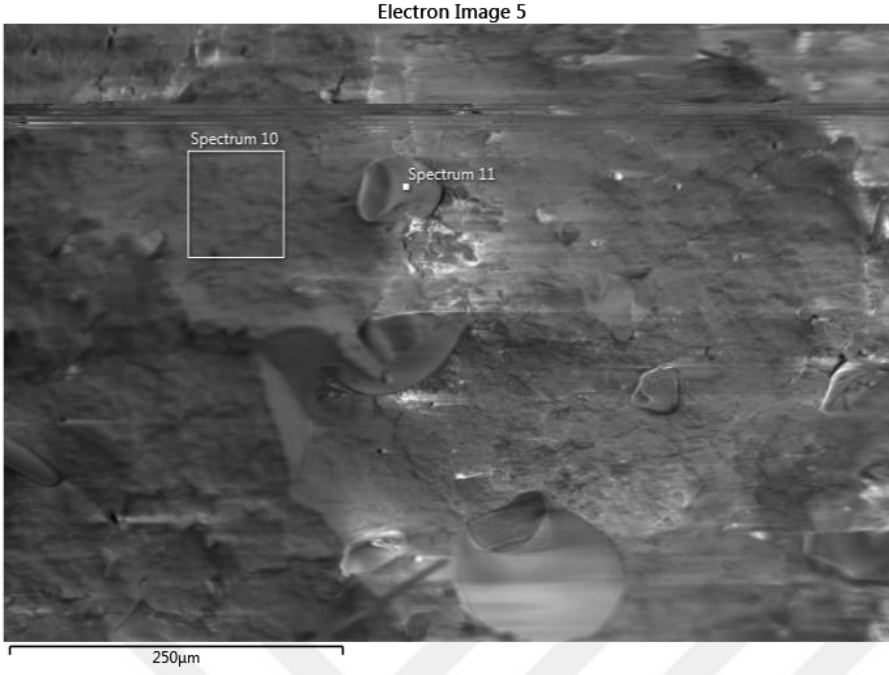
Spektrum			
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma
O (Oksijen)	K serisi	51	5.3
Si(Silisyum)	K serisi	16,6	5,2
C (Karbon)	K serisi	15,2	2,5
Mg(Magnezyum)	K serisi	6,3	2,3
Al(Alüminyum)	K serisi	6,0	3,1
Fe(Demir)	Lserisi	4,9	5,9
Toplam		100.00	

Tablo 6.3'te %10 bazalt elyaf dolgulu numuneye ait Resim 6.5'te işaretlenen bölgenin element analiz sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre daha önce dolgu malzemesi olmayan numunede yapılan analizde sadece carbon ve oksijen elementleri görülmüş ancak bu numunede bazaltın yapısında bulunan silisyum (si) , Magnezyum(Mg), Alüminyum(Al) ve Demir(Fe) elementleri de tespit edilmiştir. Aynı zamanda dolgu maddesi olan bazaltın muhtevasında bulunan elementler için spektrumda bu elementlerin gözükmesi yapılan analizin doğruluğunu destekler nitelikte olmuştur.



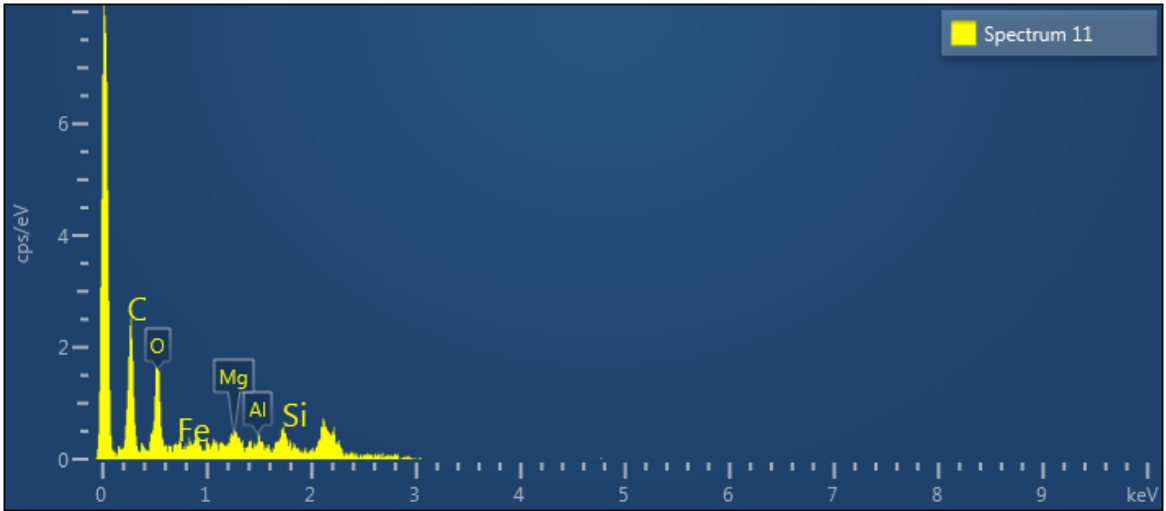
Resim 6.6. Ağırlıkça %50 saf PP ,%30 geri dönüşümden elde edilen PP ve %20 bazalt elyaf içeren numuneye ait kesit görüntüsü

Resim 6.6’da %20 bazalt elyaf dolgu maddesi içeren numuneden alınan kesite ait görüntü verilmiştir. Diğer numune kesitlerine kıyasla bu numuneye ait kesitte bazalt elyaf oranındaki artış gözle görülür bir düzeydedir. Numuneden elde edilen görüntüye göre dolgu maddeleri matris yüzeyinde net olarak tespit edilmiş ancak %10 bazalt elyaf katkılı numuneye ait görüntüde bazalt elyaf ile matris malzeme arasında belirgin boşluklar görülmesine rağmen bu karışım oranında bu boşlukların önemli bir ölçüde azaldığı görülmektedir.



Resim 6.7. EDS analizi için seçilen yüzey

Resim 6.7’de EDS analiz için seçilen yüzey Spectrum 11 noktası içerisinde gösterilmiş olup bu bölge için elementer analizi yapılmıştır. Bu sonucunda tespit edilen elementler ve bunların ağırlıkça kütesel ve moleküler değişimleri Tablo 6.9’de verilmiştir.



Resim 6.8. EDS analizine ait spektrum sonucu

Resim 6.8’de EDS analizi neticesinde elementlerin spektrum boyları görülmektedir. Tespit edilen elementlere ait detaylı bilgiler ise Tablo 6.4’de verilmiştir.

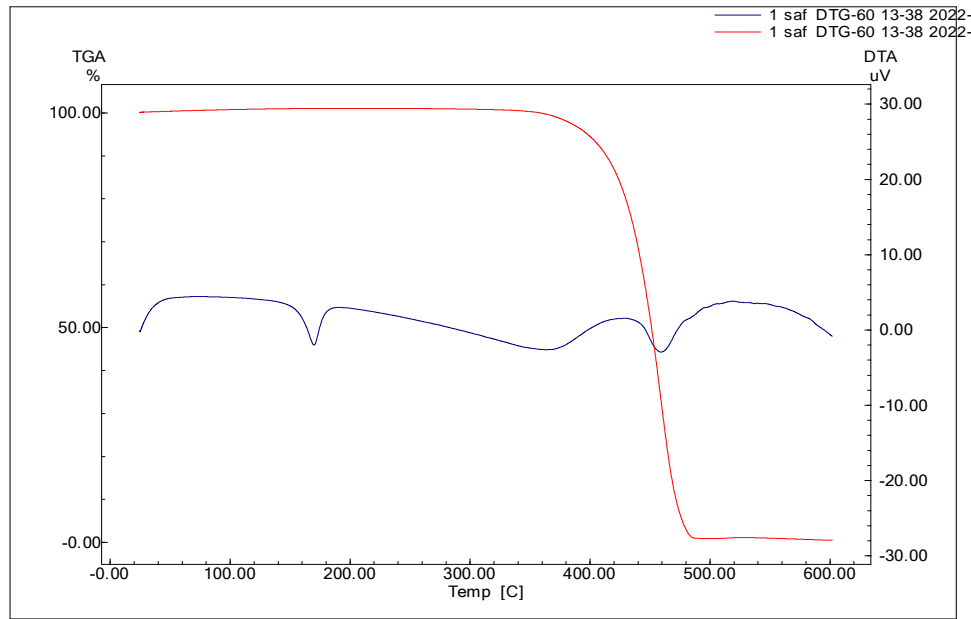
Tablo 6.9. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları

Spektrum				
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atom %
C (Karbon)	K serisi	32,95	4,13	47,58
O (Oksijen)	K serisi	25,61	3,51	27,76
Mg(Magnezyum)	K serisi	7,78	2,86	5,55
Fe(Demir)	L serisi	6,06	5,79	1,88
Si(Silisyum)	K serisi	20,86	6,18	12,88
Al(Alüminyum)	K serisi	6,75	3,82	4,34
Toplam		100.00		100.00

Tablo 6.10’da Ağırlıkça %50 saf PP ,%30 geri dönüşümden elde edilen PP ve %20 bazalt elyaf içeren numunenin element analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre elyaf katkısız numunede sadece Karbon(C) ve Oksijen (O) elementleri görülürken bazaltın muhtevasında bulunan ve daha önceki karışım oranında yapılan testte tespit edilen tüm elementler tekrar farklı ağırlık oranlarında tekrar tespit edilmiştir.

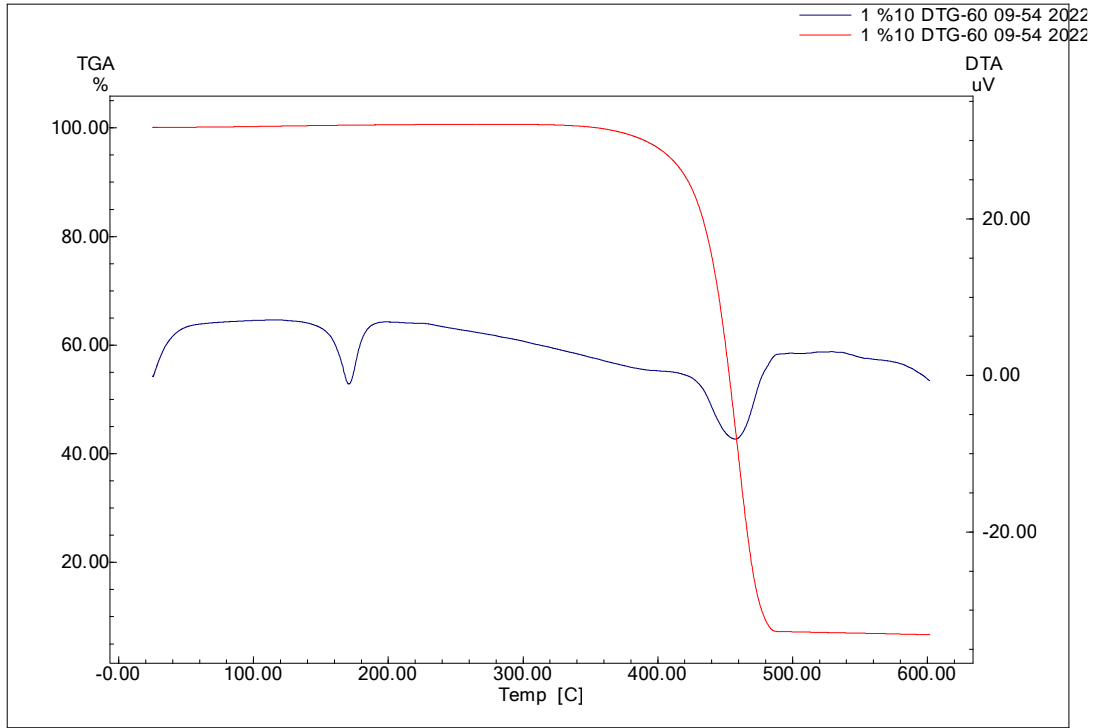
6.3. Termogravimetrik (TGA/DTA) Analiz Sonuçları

Aşağıda polipropilen matrisli ağırlıkça farklı oranlarında bazalt elyaf içeren numunelere ait TGA/DTA değişimleri grafikler ile verilmiştir.



Şekil 6.6. Ağırlıkça %90 saf PP ,%10 geri dönüşümden elde edilen PP ve bazalt elyaf dolgusu içermeyen numuneye ait TGD/DTA değişimi

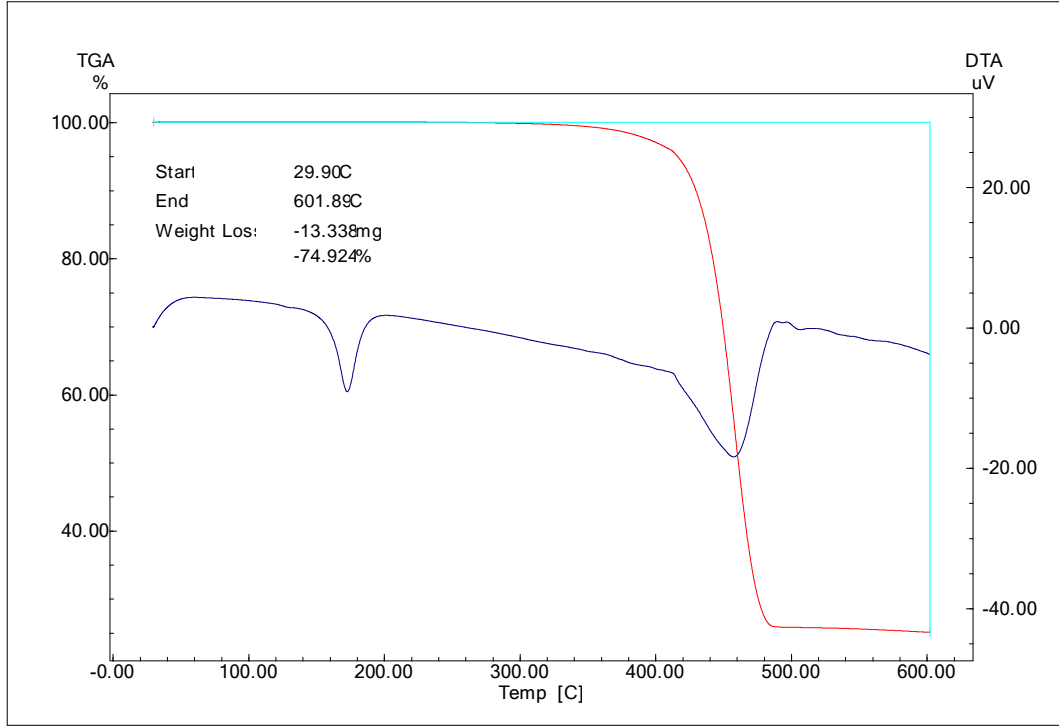
Şekil 6.6'da bazalt elyaf içermeyen numuneye ait TGA/DTA değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre teste tabi tutulan numune 150 °C'nin üzerinde ortamda ısı alarak faz değiştirmekte ve viskoz hale geçmektedir. Endotermik pik 180 °C'de iken oluşmaktadır. Numune viskoz halini yaklaşık olarak 450 °C'ye kadar korumaktadır ve herhangi bir kütle kaybı gerçekleşmemektedir. Fakat sıcaklığın artması ile malzeme yanmaya başlayarak malzemede kütle kayıpları gerçekleşmektedir. 480 °C'de ikinci endotermik pikin oluştuğu görülmektedir. 520 °C'ye kadar numunede yanma devam ederken kütlesi de azalmaktadır. Fakat 520 °C'nin üzerinde herhangi bir değişim gerçekleşmemiş olup termoplastik tamamen yanmış ve kütle sıfırlanmıştır.



Şekil 6.7. Ağırlıkça %70 saf PP ,%20 geri dönüşümden elde edilen PP ve %10 bazalt elyaf içeren numuneye ait TGD/DTA değişimi

Şekil 6.7'de Ağırlıkça %70 saf PP ,%20 GDPP ve %10 bazalt elyaf içeren numuneye ait TGA/DTA değişimleri verilmiştir. Bu grafiğe göre numune ortamdaki ısı alarak 150 °C üzerinde viskoz hale gelmiş ve yaklaşık olarak 180 °C'de bir endotermik pik oluşmuştur. Numune aynı şekilde faz değiştirmeden yaklaşık olarak 420 °C'ye kadar yapısını korumuştur. 420 °C'nin üzerinde malzeme yanmaya başlayarak numunenin kütlesinde kayıplar meydana gelmiştir. Malzeme de yaklaşık 480 °C'de ikinci endotermik pik oluştuğu görülmektedir. Bu sıcaklık itibarı ile malzemede %90 kütle kaybı oluştuğu görülmüş ve artan

sıcaklığa bağlı olarak malzemenin kütlesinde herhangi bir azalma meydana gelmemiştir. Yanmayarak geriye kalan bu kütlenin bazalt elyaf tozu olduğu söylenilebilir.



Şekil 6.8. Ağırlıkça %50 saf PP ,%30 geri dönüşümden elde edilen PP ve %20 bazalt elyaf içeren numuneye ait TGD/DTA değişimi

Şekil 6.8’de ağırlıkça %50 saf PP,%30 GDPP ve %20 bazalt elyaf içeren numuneye ait TGA/DTA değişim grafiği yer almaktadır. Bu grafiğe göre numune diğer analizlerde olduğu gibi ortamdan ısı alarak 150 °C üzerinde viskoz hale gelmiş ve yaklaşık olarak 180 °C’de bir endotermik pik oluşmuştur. Numune aynı şekilde faz değiştirmeden yaklaşık olarak 420 °C’ye kadar yapısını korumuştur. 420 °C’nin üzerinde malzeme yanmaya başlayarak numunenin kütlesinde kayıpları oluşmaya başlamıştır. Malzeme de yaklaşık 480 °C’de ikinci endotermik pik oluştuğu görülmektedir. Bu sıcaklık itibari ile malzemede yaklaşık %75 kütle kaybı oluştuğu görülmüş ve artan sıcaklık ile malzemenin kütlesinde herhangi bir azalma meydana gelmemiştir. Analiz sonucu geriye kalan bu kütlenin bazalt elyaf tozu olduğu söylenilebilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada akü geri dönüşümden elde edilen Polipropilen (PP) ile saf PP ve bazalt elyaf tozunun farklı karışım oranlarında karıştırılarak, yapılan karışımlara %0,%3,%6,%10,%20 bazalt elyaf eklenerek toplam 5 farklı orandaki karışımlardan elde edilen numunelerin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri üzerine olan etkileri incelendi.

Geliştirilen farklı oranlardaki karışımlar önce mekanik daha sonrada ekstrüzyon cihazındaki işlemin ardından granül hale getirilen numuneler homojenize olarak karıştırılıp plastik enjeksiyon makinasında kalıplara dökülerek standart çekme çubukları üretildi. Farklı oranlardaki bazalt elyaf tozu eklenerek üretilen bu numunelere yapılan analizler neticesinde ağırlıkça oranı artan bazalt elyaf tozuna bağlı olarak çekme ve izod darbe dayanımlarının bir miktar azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmaya neden olan sebeplerin hem bazalt elyaf tozu oranındaki artmasıyla numunelerde elastikte modülündeki artışla beraber esnekliğinin azaldığı numunelerin daha rijit davrandığı hem de kopan kesit parçalarında matris ve dolgu malzemesi arasında arasındaki hava boşlukları olduğunu söyleyebiliriz. Numuneler genel olarak boşluktan dolayı zayıf olan bu bölgelerden kopmuşlardır. Yapılan SEM görüntülerinde elyaf dizilim ve şekillerinin numune içerisinde heterojen bir dağılım yaptığı, bazı bölgelerde elyaf birikmeleri sergiledikleri de görülmüştür.

Üretilen numunelerle gerçekleştirilen üç nokta eğilme testlerinde ise çekme ve izod darbe testlerinin aksine karışımda kullanılan bazalt elyaf katkısının oranının artmasına bağlı olarak düşey yüklemelere karşı dayanımının arttığı görülmüştür. Bazalt elyaf bulunmayan numuneye göre düşey dayanım %6 bazalt elyaf dolgusu içeren numunelerde yaklaşık %40 oranında iyileşme olduğu görülmüştür.

Yapılan mekanik testler dışında geliştirilen farklı oranlardaki bazalt elyaf dolgu maddesinin polipropilenin reolojik özellikleri üzerindeki etkileri yapılan analizlerle incelendi. Karışım oranlarının akışkanlık değerlerinde bakıldığında saf PP'nin akışkanlık değerine göre bazalt elyaf dolgusu artırılarak hazırlanan numunelerin akışkanlığını azalarak kütleli akışkanlığını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

Maliyet olarak bakıldığında akü geri dönüşümünden elde edilen PP 'nin piyasada saf olarak satılan PP'ye göre maliyeti oldukça düşüktür. Yapılan analizlerde geri dönüşümden elde edilen PP oranındaki artış saf PP ile karışımında malzemenin fiziksel özelliğinde olumsuz bir değişim yapmamıştır. Yapılan SEM görüntülerinde karışımdaki akü geri dönüşümünden elde edilmiş PP oranındaki artışa bağlı olarak matris ve dolgu malzemesi

arasında olan boşluğun azaldığı dolayısıyla dolgu malzemesi ile matris malzeme arasındaki bağlanma mekanizmasını arttırdığı görülmüştür. Ara yüz bağlanma mekanizmasında meydana gelen bu artış hem malzemenin mekanik testler esnasında kırımı yapılan numunelerde görülen hemde SEM görüntülerinde görülen matris malzeme ile takviye edici malzemenin birbirine tam yapışmamasından kaynaklı oluşan boşluklu yapının azalmasına yardımcı olacaktır. Numunelerde oluşan boşlukların malzemenin mekanik dayanımını olumsuz etkileyen bu durumu olduğundan bu olumsuz durumu ortaya kaldırmaya yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Çevresel faktörler göz önüne alındığında bu çalışmada kullanılan hem geri dönüşümden elde edilmiş bir malzeme olan polipropilen hemde doğal bazalt kayacından elde edilmiş bazalt elyaf kullanımı ile ilgili yapılacak çalışmaların artması çevre atıklarının azalmasını daha çevreci malzemelerin üretilmesine katkısı olacağı düşünülmektedir.

8. KAYNAKLAR

- Akyüz, Ö.F.**, 1999. Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş. Pagev Yayınları, İstanbul, 41-106.
- Akbaş, S., Güleç, T., Tufan, M., Taşcioğlu, C., Peker, H., Çoruh, A.**, Fındık kabuklarının polipropilen esaslı polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 50-56.
- Altınışık, F.**, 2007. Doğal kompozit malzemelerin otomotiv sanayinde kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, 20-50, Mersin Üniversitesi, Mersin,.
- Altınkaynak H.**, 2011. Ortotik plastiklerin genel özellikleri, oksidatif ve mekanik yıpranmaları. *Sağlık Hizmetleri Dergisi*, Ankara, 10(2), 2-3.
- Aricasoy, O.**, 2006. : Kompozit sektör raporu. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, Türkiye, 7-15.
- Auerbach A.**, 2021. Thermoplastics for AM: Semi-crystalline vs amorphous. *Aniwaa*, 1-2.
- Ay, İ.**, 2008. Plastik malzemeler dersi notları. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 19-25.
- Azapagic, A., A. Emsley, and I. Hamerton**, 2003. Polymers: The environment and sustainable development. *John Wiley & Sons, Ltd.*
- Bengtsson, M., Baillif, M. Le, Oksman, K.** 2007. Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fibre-polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(8), 1922–1931.
- Botev, M., Betchev, H., Bikiaris, D., Panayiotou, C.** 1999. Mechanical properties and viscoelastic behavior of basalt fiber-reinforced polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 74(3), 523–531.
- Campbell Jr, F. C.**, 2003. Manufacturing Processes for Advanced Composites, Elsevier.
- Çelikbilek, M.**, 2009. Teo2 – Wo3 sisteminin termal ve mikroyapısal incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi* , İstanbul Teknik Üniversitesi , İstanbul, 30-40.
- Denkdaş, C.**, 2006. Gıda ile temasta bulunan plastik filmlerinin yıpranma özelliklerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 20-30.
- Durgun, İ.**, 2014. Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit parça üretimi. *7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, Türkiye.
- Dai, Z., Zhang, B., Shi, F., Li, M., Zhang, Z., Gu, Y.**, 2011. Effect of heat treatment on carbon fiber surface properties and fibers/epoxy interfacial adhesion. *Applied Surface Science*, 257, 8457-8461.
- Department of Defense of US.**, 1997. Composite materials handbook.

- Fiore, V., Di Bella, G., Valenza, A.,** 2011. Glass-basalt/epoxy hybrid composites for marine applications. *Materials and Design*, 32(4), 2091–2099.
- Güler Ç., Çobanoğlu Z.,** 1997. Plastikler, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, *Sağlık Bakanlığı TSH Genel Müdürlüğü*, Ankara, No: 46. ISBN: 975-8088-51-3, Ankara, 14-15.
- Huang X.,** 2009. Fabrication and Properties of Carbon Fibers. *Materials*, 2, 2369- 2403.
- Hüner Ü.,** 2008. Plastik esaslı kompozit malzemelerin sıcak birleştirme işlemlerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi, 20-30.
- Hazar Yoruç, A. B., Uğraşkan, V.,** 2017. Yeşil polimerler ve uygulamaları. *Afyon Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 317-338.
- Jamshaid H, Mishra R.,** 2015. A green material from rock: basalt fiber—a review. *The Journal of The Textile Institute*, 1-15.
- Jia, J.H., Chen,J.M., Zhou,H.D., Hu,L.T., Chen, L.,** 2005. Comparative investigation on the wear and transfer behaviors of carbon fiber reinforced polymer composites under dry sliding and water lubrication. *Compos. Sci. Technol.*, 65(7-8):1139–1147.
- Kalpajian S., Steven R Schmid. ,** 2001. Manufacturing Engineering and Technology, International edition. *4th Ed. Prentice Hall, Inc.* ISBN 0-13-017440- 8.
- Kaya, A.İ. ,** 2015 . Atık kâğıtlardan geri kazanılmış liflerden kompozit malzeme üretim olanaklarının araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Doktora tezi)*, Isparta, 239.
- Kayalı, E.S., Ensari, C.,** 1996. Metalik malzemelerin mekanik deneyleri, *İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi*, İstanbul.
- Küçükaya, E.** 2018. Polipropilen Nedir?
<https://www.enerjiportali.com/polipropilen-nedir-nelerlerde-kullanilir/>
- Kısmet, Y.,** 2012, Entwicklung eines verfahrens für die verwartung von pulverlackrecyclaten, *Doktora Tezi*, Berlin Teknik Üniversitesi, Berlin.
- Kısmet Y.,** 2016. Hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak poliamid 6 (PA6) ve polioksimetilenin (POM) eriyik akış indeksleri ve yoğunluklarındaki değişimlerin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 241-245.
- Kısmet, Y., Wagner, M.H.,** 2019. Mechanical, thermal, and morphological properties of powder coating waste reinforced acetal copolymer. *Polymer Testing*, 82, 106332.
- Kısmet, Y., Wagner, M.H.,** 2020. Toz boya atığı takviyeli asetal kopolimerin mekanik termal ve morfolojik özellikleri. *Polimer Testi*: 106322–0.

- Kismet, Y., Dogan, A., Wagner, M.H.**, 2021. LDPE'de dolgu maddesi olarak termoset toz boya atıkları - Mekanik termal ve morfolojik özelliklerin karakterizasyonu. *Polimer Testi* 93 , 106897–0.
- Kismet, Y., Dogan, A.**, 2022. Characterization of the mechanical and thermal properties of rape short natural-fiber reinforced thermoplastic composites. *Iranian Polymer Journal*, 31(2): 143-151.
- Klyosov, A.** 2007. Wood-plastic composites, Wiley, Germany.
- Kyriaki, K., Hiroyuki, F., Lawrence, T.D.**, 2007, Mechanical properties and morphological characterization of exfoliated graphite–polypropylene nanocomposites. *Composites: Part A*, 2007, 38:1675-1682.
- Lee, N. J., and Jang, J.**, 1999. The effect of fibre content on the mechanical properties of glass fibre mat/polypropylene composites. *Composites Part*.
- Mazumdar, S. K.**, 2001. Composites manufacturing, materials, product and process engineering, CRC Press.
- Megep.**, 2006, Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi. ‘Temel plastik enjeksiyon kalıpları 1. makine teknolojisi’ ,1-4, Ankara.
- Narhoğlu, N., Çetin, N. S., Alma, M. H.**, 2018. Karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 38–45.
- Osswald, Tim A, Gandhi, S.**, (2020). Discontinuous fiber-reinforced composites fundamentals and applications, Hanser Publications.
- Orman, A.**, 2019. Tek Yönlü termoplastik prepreglerde üretim yöntemi etkilerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi , Sakarya, 2019, 30- 32s
- Öksüz, M.**, 1999. Isıl püskürtme teknikleriyle plastik ve plastik esaslı kompozit tozlarla kaplanmış yüzeylerin mekanik ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek lisans tezi*, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Öztürk, B.**, 2020. 3B yazıcı ile üretilen sandviç yapıların statik ve dinamik yük altında davranışlarının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Pai, Y., Pai, K. D., Kini, M.V.**, 2021. A review on low velocity impact study of hybrid polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, Elsevier.
- Polat. B.**, 2019. Cam takviyeli polimer matrisli termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, 40-50.
- Rosato, D.V.**, 1997. Designing with reinforced composites: technology, performance, economics. *Choice Reviews Online*, 35(03), 35-1547-35–1547.

- Saçak, M.**, 2005, Polimer Teknolojisi, Gazi Kitapevi, Ankara, 15s.
- Saraç, Ö.**, 2021. Farklı oranlarda diatomit takviyeli silikon matrisli kompozit malzemelerin termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi , Sakarya, 74-75s.
- Sarasini, F., Santulli, C.**, 2013. "Advanced fibre-reinforced polymer (FRP) composites for structural applications: 4. Vinylester resins as a matrix material in advanced fibre-reinforced polymer".
- Saylan S.**, 1991 Takım tezgahı gövdelerinin imalinde yeni bir malzeme: polimer beton, *Doktora tezi*, Uludağ üniversitesi, Bursa, 1991, 6-7s.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., Akovalı, G.**, 1998. Plastikler ve Plastik Teknolojisi. Çantay Kitabevi, İstanbul, 1-25: 199
- Singha K.**, 2012. A short review on basalt fiber. *International Journal of Textile Science*. 2012;1(4):19-28.
- Shubhra, Q. T. H., Alam, A. K. M. M., Quaiyyum, M.A.**, 2013. Mechanical properties of polypropylene composites: A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. SAGE PublicationsSage UK: London, England.
- Sheikh-Ahmad, J.Y.**, 2009. Machining of Polymer Composites. Springer US.
- Shishevan, F. A., Akbulut, H., Mohtadi-Bonab, M.A.**, 2017. Low velocity impact behavior of basalt fiber-reinforced polymer composites. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 26(6), 2890–2900.
- Şişmanoğlu, S.**, 2020, Termoplastik poliüretan matrisli eko-kompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu. *Doktora Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük ,24s.
- Tan, W., Falzon, B. G.**, 2016. "Modelling the nonlinear behaviour and fracture process of AS4/PEKK thermoplastic composite under shear loading". *Composites Science and Technology*, 126, 60–77.
- Tombul, B.**, 2005. Akülerin çevreye zararları ve geri kazanılması. *Yüksek Lisans Tezi* ,İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tripathi, D.**, 2002. Practical guide to polypropylene, first edition, rapra technology limited, 211-234, ISBN 1-85967-282-0
- URL-1**, 2013.https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/1066/mod_resource/content/1/7.%20Polimerler.pdf , Organik Kimya – Polimerler, 1 Ağustos 2013.
- URL-2**, 2018. <https://pagev.org/poliolefinler>
- URL-3**, 2021. <https://www.products.pcc.eu/tr/blog/polipropilen-ozellikleri-uygulamasi-ve-bu-konuda-bilmeniz-gereken-her-sey/>, 29 Temmuz 2021

- URL-4**, 2013. <https://uskudar.biz/malzeme-bilgisi/bazalt-elyaf%C4%B1.html>28 28 Temmuz 2013
- URL-5**, 2022. https://www.itso.org.tr/upload/files/%5B9377%20%20%2023_09_2022%20%20Hurda%20Al%C4%B1m%20Fiyatlar%C4%B1-4-5.pdf 23 Eylül 2022
- URL-6**, 2023 . <https://www.hurdadaparavar.com/hurda-plastik-fiyatlari/> 5 Mart 2023
- URL-7**, 2023 , <https://www.hgl.com.tr/petrokimyasal-urunler-petkim-referans-fiyatlari-06-mart-12-mart-2023/> 5 Mart 2023
- URL-8**, 2022. <https://app.petkim.com.tr/QDMSFiles/File.ashx?fn=PPU-CST-TDS-0079&l=tr&fl=urunler>, 9 Aralık 2022
- Yalım, N.**, 2010. Polipropilen (Pp) / etilen-propilen-dien-monomer (epdm) termoplastik vulkanizatlarının hazırlanması ve karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 15-30.
- Yashoda, İ.**, 2016. Difference Between Amorphous and Crystalline Polymers, Pediaa,12.
- Yurttaş, Ç., Afşar, E.** 2000. CTP Teknolojisi, 4. Basım, Cam Elyaf, 8-44.
- Wang, S., Zhong, J., Gu, Y., Li, G., Cui, J.** 2020. Mechanical properties, flame retardancy, and thermal stability of basalt fiber reinforced polypropylene composites. *Polymer Composites*, 41(10), 4181–4191.
- Yılmaz, O.**, 2007. Polimer malzemelerin ekstrüzyonunun deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 20-30s.
- Zhang, X.R., Pei, X.Q., Wang, Q.H.**, 2009. Friction and wear studies of polyimide composites filled with short carbon fibers and graphite and micro SiO₂. *Mater. Des.*, 2009, 30(10):4414-4420.