T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM ELYAF/KALSİT DOLGULU POLİETİLEN VE GERİ DÖNÜŞÜM PET POLİMER HİBRİT KOMPOZİT GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

SEVİNÇ KARADAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. BURCU D. ÇORBACIOĞLU

İSTANBUL, 2014

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM ELYAF/KALSİT DOLGULU POLİETİLEN VE GERİ DÖNÜŞÜM PET POLİMER HİBRİT KOMPOZİT GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Sevinç KARADAĞ tarafından hazırlanan tez çalışması 17.12.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Burcu D. Çorbacıoğlu

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Burcu D. Çorbacıoğlu

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Sema Baykara

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ahmet Ekerim

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Bu çalışma, Mir Araştırma ve Geliştirme A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tezim boyunca yaptığı katkılardan dolayı danışmanım Yrd. Doç. Dr. Burcu ÇORBACIOĞLU'na teşekkür ederim.

Bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren ve sabırla yardımcı olan Mustafa DOĞU ve İsminur GÖKGÖZ'e müteşekkirim.

Deneysel çalışmalarda bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım Betül KAHRAMAN, Fatih YILDIRIM ve Tuğba GÜVEN'e teşekkür ederim.

Benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve bu çalışmanın asıl mimarları olan sevgili AİLEM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kasım, 2014

Sevinç KARADAĞ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

KISALTMA LİSTESİ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

ŞEKİL LİSTESİ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

ÇİZELGE LİSTESİ .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**i

ÖZET ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

ABSTRACT.....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**v

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1. Literatür Özeti 1

1.1.1. Polimerler..... 1

1.1.2. Kompozit Malzemeler..... 14

1.1.3. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyon Testleri 26

1.2. Tezin Amacı 36

1.3. Hipotez 36

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM 37

2.1. rPET/HDPE/EGMA Polimer Harmanının Hazırlanması..... 37

2.2. Kalsit Dolgulu rPET/HDPE Polimer Kompozitlerinin Hazırlanması..... 40

2.3. Cam Elyaf Takviyeli rPET/HDPE Polimer Kompozitlerin Hazırlanması 41

2.4. Kül Testi..... 41

2.5. Yoğunluk Testi..... 42

2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İle Analiz 43

2.7. Eriyik Akış İndeksinin (MFI) Belirlenmesi 43
2.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Analizi 43
2.9. Mekanik Testler 44
2.9.1. Çekme Testleri 45
2.9.2. Üç Nokta Eğme Testleri 46
2.9.3. Darbe Testleri 47
BÖLÜM 3
BULGULAR VE TARTIŞMA 49
3.1. Kül Testi 49
3.2. Yoğunluk Testi 50
3.3. Morfolojik Özellikler 51
3.4. Reolojik Özellikler 54
3.5. Termal Özellikler 56
3.6. Mekanik Özellikler 57
3.6.1. Çekme Özellikleri 59
3.6.2. Eğme Özellikleri 60
3.6.3. Darbe Özellikleri 61
3.7. Maliyet Analizi 62
BÖLÜM 4
SONUÇ VE ÖNERİLER 67
KAYNAKLAR 74

SİMGE LİSTESİ

σ	Gerilim
F	Kuvvet
P	Yük
E	Gerinim
α	Düşme açısı
β	Yükseliş açısı
Δ	Değişim
L	Uzunluk
A	Kesit alanı
N	Newton
kg	Kilogram
h	Yükseklik
G	Ağırlık
ρ	Yoğunluk
g	Gram

KISALTMA LİSTESİ

HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat
rPET	Geri dönüşüm polietilen tereftalat
PO	Poliolefin
EGMA	Etilen glisidil metakrilat
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
MFI	Eriyik akış indeksi
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil klorür
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
PC	Polikarbonat
PA	Poliamid
PTFE	Politetrafloroetilen
PES	Polietersülfon
PEK	Polieterketon
PBT	Polibütilen tereftalat
EAA	Etilen akrilik asit kopolimer

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Polietilen molekülü 1
Şekil 1.2 Polimer zincirlerinin (moleküllerinin) basit gösterimleri 2
Şekil 1.3 Polietilen molekülü bağlanma şekli 2
Şekil 1.4 Polimerlerin sınıflandırılması 5
Şekil 1.5 Katılma polimerizasyonu 6
Şekil 1.6 Etilen glikol ve teraftalik asit kondensasyonuyla PET eldesi 11
Şekil 1.7 Etilen glikol ile dimetil teraftalatın reaksiyonuyla PET sentezlenmesi 11
Şekil 1.8 Kompozit malzemenin örnek gösterimi 14
Şekil 1.9 Kompozit malzemelerin matrislere göre sınıflandırılması 16
Şekil 1.10 Termosetler 18
Şekil 1.11 Termoplastikler 19
Şekil 1.12 Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler 20
Şekil 1.13 Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması 21
Şekil 1.14 Takviye elemana göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması 22
Şekil 1.15 Sünek elastik malzemenin gerilme-şekil değiştirme diyagramı 27
Şekil 1.16 Deney çubuklarının çekme deneyi boyunca gösterdiği davranış 28
Şekil 1.17 Gevrek ve sünek malzemelerin kırılma şekilleri 29
Şekil 1.18 Üç noktalı eğme deneyi kuvvet diyagramı 30
Şekil 1.19 Charpy kenardan darbe deneyi için tek çentikli numune 31
Şekil 1.20 Darbe deneyi cihazının çalışma prensibi 31
Şekil 1.21 MFI deneyi şematik gösterimi 32
Şekil 1.22 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) 33
Şekil 1.23 DTA ve DSC cihazının şematik gösterimi 34
Şekil 1.24 DSC ile gözlenebilecek üç olaya ait eğriler 34
Şekil 1.25 SEM optik kolonu 35
Şekil 2.1 Çift vidalı ekstrüder hattı -1 38
Şekil 2.2 Çift vidalı ekstrüder hattı-2 39
Şekil 2.3 Ekstrüderden çıkan malzeme 40
Şekil 2.4 Cam elyaf takviyeli rPET/HDPE/EGMA polimer kompozit granülleri 41
Şekil 2.5 Kül testi sonrası krozede kalan numune 42
Şekil 2.6 Yoğunluk ölçümü 42

Şekil 2.7 MFI test cihazı 43
Şekil 2.8 DSC cihazı 44
Şekil 2.9 Çekme testi numunesi 45
Şekil 2.10 Çekme cihazının görünümü 45
Şekil 2.11 Üç nokta eğme testi cihazı 46
Şekil 2.12 Üç nokta eğme testi numunesi 46
Şekil 2.13 Darbe testi cihazı 47
Şekil 2.14 Darbe testi numunesi 48
Şekil 2.15 Darbe testi sonrası test numunesi 48
Şekil 3.1 Kompozit malzemelerin SEM görüntüleri 53
Şekil 3.2 Hazırlanan kompozit malzemelerin MFI değerlerinin kalsit ve cam elyaf içeriğine göre değişimi 56
Şekil 3.3 Polimer hibrit kompozitlerinin çekme dayanımlarının kalsit ve cam elyaf içeriğine göre değişimi 59
Şekil 3.4 Polimer hibrit kompozitlerinin eğme dayanımlarının kalsit ve cam elyaf içeriğine göre değişimi 60
Şekil 3.5 Polimer hibrit kompozitlerinin darbe dayanımlarının kalsit ve cam elyaf içeriğine göre değişimi 61
Şekil 3.6 Hazırlanan kompozitlerin karşılaştırılması 66

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Bazı önemli polimerlerin ilk üretim yılları 3
Çizelge 1.2 Kompozit malzemelerin yapısı..... 15
Çizelge 2.1 Çalışmada kullanılan çift vidalı ekstrüderin özellikleri 37
Çizelge 2.2 Çalışmada kullanılan hammaddeler 37
Çizelge 2.3 Çalışmada kullanılan hammaddeler 40
Çizelge 2.4 Çalışmada kullanılan hammaddeler 41
Çizelge 2.5 Çekme testi numunesinin ölçüleri..... 45
Çizelge 2.6 Üç nokta eğme testi numunesinin ölçüleri..... 46
Çizelge 2.7 Darbe test numunesinin ölçüleri 48
Çizelge 3.1 Kompozit malzemelerin kül testi sonuçları 49
Çizelge 3.2 Kompozit malzemelerin yoğunluk testi sonuçları 50
Çizelge 3.3 rPET/HDPE/EGMA polimer kompozitlerinin eriyik akış indeksi (MFI)..... 55
Çizelge 3.4 Harmanların ve kompozitlerin kalorimetrik karakterizasyonu..... 56
Çizelge 3.5 rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına eklenen kalsit ve cam elyafın mekanik özellikler üzerindeki etkisi..... 58
Çizelge 3.6 Hazırlanan kompozit malzemelerin maliyetleri..... 62
Çizelge 3.7 Hazırlanan kompozitlerin karşılaştırılması..... 63

ÖZET

CAM ELYAF/KALSİT DOLGULU POLİETİLEN VE GERİ DÖNÜŞÜM PET POLİMER HİBRİT KOMPOZİT GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Sevinç KARADAĞ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Burcu D. ÇORBACIOĞLU

Polimer malzemelerin özelliklerini geliştirmek ve maliyetlerini düşürmek için çeşitli ürünler takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ile geri dönüşüm polietilen tereftalat (rPET) polimer harmanının mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, geri dönüşüm ürünlerinin kullanılarak çevrenin korunmasına katkıda bulunulması da bu çalışmanın amaçları arasındadır. rPET/HDPE polimer harmanına çeşitli oranlarda cam elyaf (% 4, % 9, % 13) ya da kalsit (% 7, % 17, % 25) eklenerek kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Bu malzemeler SEM görüntüleri, MFI testi, DSC analizi ve mekanik testlerle (çekme, eğme ve darbe) karakterize edilerek morfolojik, reolojik, termal ve mekanik özellikler incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda saf HDPE'ye %20 oranında rPET ve uyumlaştırıcı olarak %3 EGMA eklenmesiyle malzeme özelliklerinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Ancak SEM görüntüleri, HDPE ve rPET polimerleri arasındaki adezyonun yeterince sağlanamadığını göstermektedir. Cam elyaf ve kalsitin düşük oranlarında malzemelerin mekanik özelliklerinde iyileşmeler olmuş; ancak oranlar arttıkça malzeme özellikleri olumsuz etkilenmiştir. Çalışmanın sonunda; (1) rPET'in saf HDPE'ye eklenerek maliyetin düşürülmesi ve geri dönüşüme katkıda bulunulmasının mümkün olduğu, (2) belli oranlarda yapılan kalsit ve cam elyaf takviyesinin rPET/HDPE polimer kompozitlerinin özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Söz konusu bileşenler

arasındaki adezyonu arttırmak için uyumlaştırıcı türü ve miktarı üzerinde daha ileri araştırmalar yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), geri dönüşüm polietilen tereftalat (rPET), cam elyaf, kalsit

ABSTRACT

FORMING AND CHARACTERIZATION OF GLASS FIBER/CALCITE REINFORCED POLYETHYLENE AND RECYCLE PET HYBRID COMPOSITES

Sevinç KARADAĞ

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asc. Prof. Dr. Burcu D. ÇORBACIOĞLU

Various products are used as reinforcement elements to improve the properties of polymeric materials and to reduce costs. This study aimed to enhance the mechanical properties of high density polyethylene (HDPE) and recycled polyethylene terephthalate (rPET) polymer blend. In addition, contribution to environmental protection by using recycled products is one of the objectives of this study. Composite materials were prepared by adding various ratios of glass fiber (4%, 9%, and 13%) or calcite (7%, 17%, and 25%) into rPET/HDPE polymer blend. Morphological, rheological, thermal and mechanical properties of these composites were examined by SEM images, MFI tests, DSC analysis and mechanical tests (tensile, bending and impact tests). Results of the tests showed that the addition of 20% rPET into virgin HDPE in the presence of 3% EGMA as compatibilizer improves the properties of material. However, SEM images pointed that sufficient adhesion between polymers could not be achieved. Glass fiber and calcite in low rates improved mechanical properties; but, the material properties were negatively affected by the increasing rates. From this study it can be concluded that, it is possible (1) to reduce costs and contribute to recycling by adding rPET into virgin HDPE, and (2) to improve the properties of rPET/HDPE polymer composites by adding calcite and glass fiber within certain ratios. Further research on

compatibilizer type and amount is needed to increase the adhesion between respective components.

Keywords: high density polyethylene (HDPE), recycled polyethylene terephthalate (rPET), glass fiber, calcite

BÖLÜM 1

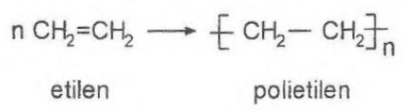
1. GİRİŞ

Polimerler varoluşumuzdan bu yana hayatımızın parçasıdır. Selüloz (ağaç), nişasta (patates, buğday vb.), sünger, gömlek, tarak, diş fırçası, yapıştırıcı, plastik torbalar ve bardaklar, otomobil iç aksamları gibi birçok alanda günlük yaşamımızda polimer örnekleriyle karşılaşılmaktadır [1]. Kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte polimerlerin geridönüştürülmesi oldukça popüler hale gelen bir konudur. Kirliliği azaltmaya ve hammadde kaynaklarının korunmasına yönelik mevcut çevre politikaları da günümüzde plastik geri dönüşümünü teşvik etmektedir [2].

1.1. Literatür Özeti

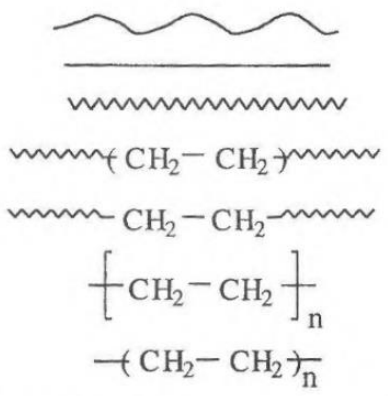
1.1.1.Polimerler

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu makro moleküllerdir. Söz konusu monomerler uygun koşullar altında polimerizasyon reaksiyonuyla birbirleriyle kimyasal bağ yaparak polimer moleküllerine oluştururlar. Şekil 1.1'de etilen monomerinin, polietilen polimerine dönüşümü gösterilmiştir [1];



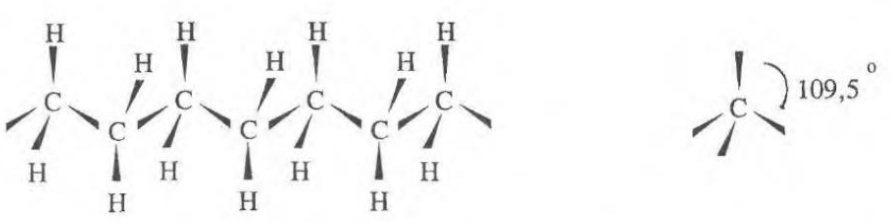
Şekil 1.1 Polietilen molekülü

Çok sayıda küçük molekülün art arda kimyasal bağlarla bağlanmasıyla zincire benzeyen büyük bir molekül yapısı ortaya çıkar. Bu nedenle polimer molekülü, polimer zinciri ve makromolekül kavramaları birbirleri yerine kullanılır. Polietilen molekülünün doğrusal zincir yapısı basitçe Şekil 1.2'deki gibi gösterilebilir [1].



Şekil 1.2 Polimer zincirlerinin (moleküllerinin) basit gösterimleri [1]

Burada karbon (C) atomları birbirleriyle -C-C-C-C-C- gibi doğrusal olarak bağlanmaz. Atomlar arasında kovalent bağlar oluşur ve zincir boyunca sp3 hibritleşmesine bağlı olarak karbon atomları düzgün dörtyüzlü geometrisine göre dizilir (Şekil 1.3) [1].



Şekil 1.3 Polietilen molekülü bağlanma şekli [1]

Bir polietilen molekülü ortalama 50000 atom içerir ve zincir uzunluğu 25 000 A° gibi bir değer alır [1].

1.1.1.1.Polimerin Tarihsel Gelişimi

Doğal polimerler çok eski tarihlerden bu yana endüstriyel amaçlı kullanılmaktadır. En çok kullanılanlara kauçuk-selüloz, nişasta örnek verilebilir. Doğal polimerler, işlemedeki sorunlar ile ürünlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin yetersiz olması sebebiyle zamanla çeşitli katkılarla modifiye edilmiş ve yarı sentetik polimerler ortaya çıkmıştır [3].

1770 yılında doğal kauçuk, işaretleri sildiği için silgi (rubber) adını almıştır. 1839 yılında Amerika'da Goodyear tarafından kükürt ile vulkanize edilen kauçuk, kullanışlı hale getirilerek su geçirmez botlar, yağmurluklar, lastik gibi ürünler üretilmiştir [3].

İkinci büyük plastik grubunun ilk ürünü selüloid 1868 yılında Amerika'da üretilmiştir. Doğal bir polimer olan pamuk selülozu nitrik asit ve kamfor ile etkileştirilerek yarı sentetik selüloide dönüştürülmüş, fotoğraf filmi ve bilardo topu gibi malzemelerin yapımında kullanılmıştır [3].

Üretilen ilk sentetik polimer fenol-formaldehittir. 1907 yılında üretilen bu polimer telefon ahizeleri gibi plastik eşyaların üretiminde kullanılmıştır. 1924 yılında Hermann Staudinger, "Makromolekül Hipotezi" ile Nobel ödülü kazanmıştır [3].

Ölçüm yöntemlerindeki gelişmeler neticesinde 1930 yılından sonra makromoleküllerin yapısı aydınlatılabilmiş, doğal makromoleküller analiz edilmeye başlanmıştır. Bu alandaki imkânları gören kimya endüstrisi çalışmalarını hızlandırmış ve 1927 yılında IG-Farben (BASF) Bayer ve 1929 yılında Hoecst firmaları polistireni patent altında üreterek hizmete sunmuşlardır [3].

Bazı önemli polimerlerin ilk üretim yılları Çizelge 1.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1.1 Bazı önemli polimerlerin ilk üretim yılları [3]

1930 Stiren-bütadien kauçuk	1943 Silikonlar
1936 Poli (vinil klorür)	1944 Poli (etilen tereftalat)
1936 Polikloropren (neopren)	1947 Epoksiler
1936 Poli (metil metakrilat)	1948 ABS reçineleri
1936 Poli (vinil asetat)	1955 Polietilen, Lineer

1937 Polistiren	1956 Poliformaldehidler
1939 66-Naylon	1957 Polipropilen
1941 Politetrafloroetilen	1957 Polikarbonat
1942 Doymamış poliesterler	1964 İyonomer reçineleri
1943 Polietilen, dallanmış	1965 Poliiminler
1943 Butil kauçuk	1974 Aromatik poliamidler
1943-6 Naylon	
1943 Polietilen, dallanmış	

Polimerler hafif, ucuz, kolay şekil alabilme, yeterli mekanik özellikler, korozyona dayanıklılık gibi çeşitli avantajları sayesinde makine, kimya, tekstil, endüstri ve fizik mühendisliği gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Son 10 yılda başta polipropilen (PP) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) olmak üzere termoplastiklerin kullanımında ciddi bir artış vardır [3].

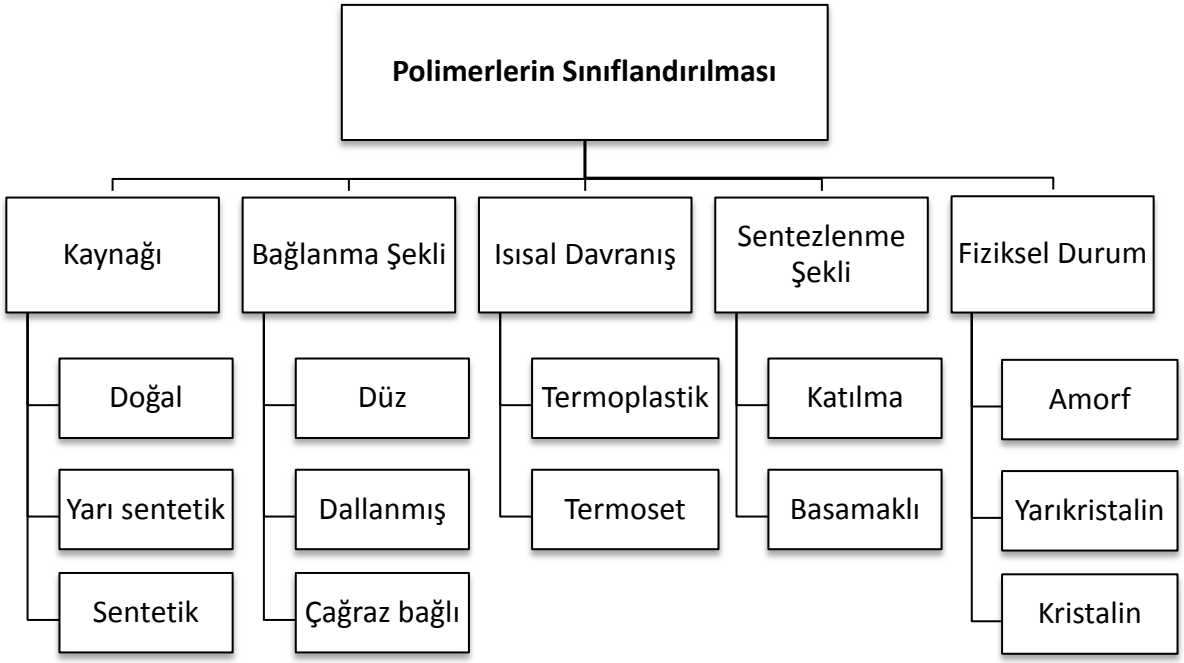
Günümüzde üretilen polimerleri aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz.

- Genel amaçlı polimerler: PE, PP, PS, PVC
- Mühendislik polimerleri: ABS, PC, PA, Polyester, Polifenilenoksit.
- Özellikli polimerler: PTFE, PES, PEK

Ülkemizdeki polimer endüstrileri plastikler, kauçuklar ve sentetik fiberler (elyaflar) olmak üzere üç ana grup altında değerlendirilmektedir [4].

1.1.1.2.Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerleri inceleyebilmek için sınıflandırılmaları gerekir. Amaca uygun olarak kaynağına göre, bağlanma şekline göre, ısısal davranışlarına göre, sentezlenme şekillerine göre, fiziksel durumlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırmalar yapılabilir [5]. Polimerlerin sınıflandırılmaları Şekil 1.4'te verilmektedir.



Şekil 1.4 Polimerlerin sınıflandırılması

1.1.1.3.Polimerlerin Elde Edilmesi

Monomer adı verilen birimlerden polimer moleküllerinin sentezlendiği tepkimelere polimerizasyon denir. Monomerlerdeki ikili bağlar bu tepkime sırasında serbest hale geçerek tek bağlı yapıları, tek bağlı yapılar da birleşerek polimerleri oluşturur [3].

Polimerizasyon tepkimeleri genel işleyiş mekanizmaları açısından;

- Basamaklı polimerizasyon
- Katılma polimerizasyonu

adları verilen iki temel polimerizasyon yöntemi altında toplanırlar. Basamaklı polimerizasyonla elde edilen polimere basamaklı polimer, katılma polimerizasyonuyla elde edilen polimere katılma polimeri denir [5].

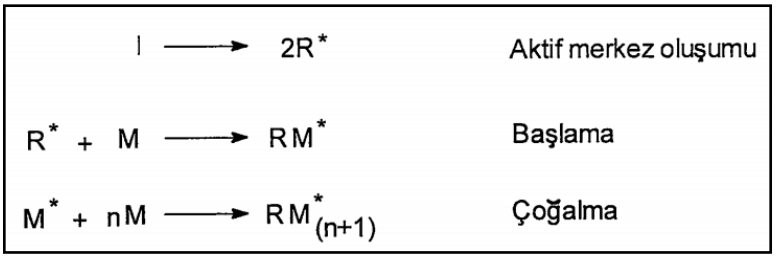
I. Basamaklı Polimerizasyon

Genel olarak büyüklükleri farklı iki molekül arasında meydana gelen basamaklı polimerizasyon reaksiyonunun en önemli örneği kondensasyon reaksiyonudur. Küçük moleküller bağlanarak polimer moleküllerini meydana getirirken diğer bazı moleküller

de oluşur. Reaksiyona giren maddelerin yapısına göre su, amonyak, karbondioksit, sodyum bromür, klorlu hidrojen, azot, metanol vb. küçük moleküller yan ürün olarak ortaya çıkar. Polimerler birbirinin aynı birimlerden oluşabileceği gibi iki veya daha çok çeşitli birimlerden de oluşabilir. Bu polimerizasyon türü ile polimerleşen monomerler başlıca vinil ve dien monomerleri olup etilen ve bütadienin türevleri olarak incelenebilir [5].

II. Katılma (Zincir) Polimerizasyonu

Çok sayıda doymamış molekülün tekli bağlarla bileşmesiyle gerçekleşen polimerizasyon türüdür. Reaksiyonu başlatan serbest radikal, katyon veya anyon niteliğindeki aktif merkezlerdir. Katılma polimerizasyonunda monomerlerin bağlarından biri, polimerizasyonu başlatan reaktif tanecik tarafından kırılır. Oluşan nükleofil, elektrofil veya radikaller sayesinde monomerler birbirine katılarak makromolekül zincirini oluştururlar. Reaksiyon ilerledikçe ortamdaki radikaller çeşitli yollarla (dallanma, yeni çift bağ oluşturma, başka bir radikalle reaksiyon) etkinliklerini kaybeder ve polimerizasyon işlemi sona erer [5].



Şekil 1.5 Katılma polimerizasyonu [6]

Katılma polimerizasyonu basamakları Şekil 1.5'te gösterilmektedir. Burada; I başlatıcıyı, R* aktif merkezi, M monomeri, $RM^*_{(n+1)}$ ucunda aktif merkez bulunan polimer zincirini ifade etmektedir. Katılma polimerizasyonu; anyonik, katyonik ve serbest radikal sistemler olmak üzere üç grupta incelenmektedir [6].

1.1.1.4.Polimerlerin Özellikleri

Çözünürlük

Benzer benzeri çözer ifadesi polimerlerin çözünürlüğü konusunda da geçerlidir. Her polimer, kendi yapısına benzeyen maddenin içerisinde çözünür. Polimerin çözünebilmesi için polimer-çözücü etkileşiminin, polimer-polimer etkileşiminden daha büyük olması gerekmektedir. Polimerlerin çözünmesi iki aşamada gerçekleşir. Önce çözücü molekülleri polimer matrisi içerisine yavaşça girerek şişkin bir jel oluşturur, sonrasında polimer ile çözücü molekülleri arasındaki karşılıklı etkileşmeler kuvvetli ise çözünme gerçekleşir. Çözünmenin tam olarak gerçekleştiği sistemlerde polimer zincirleri tamamen açılır ve gevşerken, iyi çözünmenin sağlanamadığı çözücülerde polimer zincirleri açılmaz. Polimerlerin çözünmesi yavaş bir olaydır, yüksek molekül ağırlığına sahip bir polimerin çözünmesi bazen günler hatta haftalar alabilir [5].

Polimerlerin çözünürlüğüne etki eden başlıca faktörler [5];

- Zincir uzunluğu arttıkça çözünürlük azalır.
- Zincir bağları gevşek polimerlerde, çözünürlük azdır.
- Zincirler arası çapraz bağ ve kovalent bağ olan polimerler hiçbir çözücüde çözünmezler.
- Kristal bölgeleri fazla olan polimerlerde çözünme zordur.

Termal Özellikler

Genelde polimerlerde kristal ve amorf bölgeler bir arada bulunmaktadır. Kristal bölgeler malzemeye sertlik ve kırılganlık, buna karşılık amorf bölgeler malzemeye tokluk verir. Dolayısıyla malzemenin kristalinite derecesi mekanik özelliklerinde çok önemlidir. Düzenli yapılar ya da lineer zincirler kristal oluşumunu kolaylaştırır. Moleküller arası çekim kuvvetleri de kristaliniteyi arttırmaktadır. Polimerlerin termal özellikleri, erime (T_m) ve camsı geçiş (T_g) sıcaklıkları ile tanımlanır. Polimer zincirleri camsı geçiş sıcaklığı olan T_g'nin altında donmuş bir yapıda, T_g'nin üzerinde ise kauçuksu durumdadır. Bu sıcaklıkları yan gruplar ya da zincirin sertliği belirlemektedir [5].

Doğrusal bir polimer, yeterince yüksek sıcaklıklarda amorf, kauçuksu bir eriyiktir. Zincirler birbiri içine giren yumak görünümünde olup bir konformasyondan öbürüne rastgele dönme ve bükünme devinimleri yaparlar. Yeterince düşük sıcaklıklarda ise aynı polimer sert bir katıdır. Bir polimer soğutulduğu zaman birbirinden tamamen ayrı iki mekanizma ile katı hale geçebilir. Bunlardan biri kristallenme, öbürü ise camsılaşmadır. Bazı polimerlerde kristallenme önemli bir olay olduğu halde, bazılarında camsılaşma öne geçer. Bir polimerik maddenin ne tür pratik uygulamaya elverişli olduğu, başlıca T_m (kristal erime noktası) ve T_g (camsı geçiş sıcaklığı) ile belirlenir [5].

Polimerlerin yumuşama sıcaklıkları, T_g, ve kristal erime sıcaklıkları, T_m, bu maddelerin kullanılabilirlik limitlerini belirleyen önemli büyüklüklerdir. Kısmen kristal bir polimerin katı bir madde olarak kullanılabilmesi için çalışma sıcaklığı hem T_g hem de T_m'nin altında olmalıdır. Öte yandan bir polimer, plastik olarak kullanılacaksa T_g'nin üzerinde T_m'nin altında bir sıcaklıkta bulunmalıdır. Erime sıcaklığı T_m'de, polimer katı halden sıvı hale dönüşür. Yumuşama sıcaklığı T_g'de ise, katı halden elastik hale geçiş olur. Isısal geçişleri belirlemek amacıyla polimerlerin çeşitli özelliklerinin sıcaklıkla değişimini incelemek gerekir. Gerek T_g gerekse T_m'nin belirlenmesinde diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) en çok kullanılan iki tekniktir [5].

Mekanik Özellikler

Polimer zincirlerinin deformasyon kuvvetlerine maruz kaldığında gösterdiği davranışlar incelenerek malzemenin mekanik özellikleri hakkına bilgi elde edilir. Polimerik malzemenin kullanım alanına göre mekanik özelliklerini koruması beklenir. Bu amaçla çeşitli testler yapılarak malzemelerin uzama, akma, kopma gibi deformasyonları incelenir ve mekanik özellikleri belirlenir [7].

Polimerik malzemelerin en önemli mekanik bilgileri, sabit hızda çekilen malzemenin uzamasındaki değişimlerin sürekli kaydedilmesiyle oluşturulan "çekme gerilmesi-uzama" eğrisiyle elde edilir. Ayrıca polimerik malzemeler kullanım alanlarının genişliğine bağlı olarak çeşitli makinelerde yük ve titreşim etkisinde kalır. Bu etkinin birikimiyle malzemenin deforme olup kopmasına *yorulma* denir. Malzemenin yorulma özelliklerinin incelenmesi için yapılan çeşitli testlerle çekme, basma, eğme kuvvetlerinin malzemeye etkileri incelenir. Bunların yanı sıra polimerik malzemelerin

ani bir darbeye gösterdikleri çarpma direnci önemli bir mekanik özelliktir. Malzemenin çarpma enerjisini yapı içinde dağıtma özelliğine bağlı olarak iki tip kırılma gerçekleşmektedir [7].

- Gevrek kırılma
- Gevrek olmayan kırılma (sünek kırılma)

Enerji absorblama yeteneği düşük olan polimerler (örneğin camsı geçiş sıcaklığının altındaki amorf polimerler) gevrek kırılma gösterirken; çarpma enerjisini yapı içinde çok kolay dağıtan polimerler enerjiyi absorbe eder, kırılma yüzeylerinde uzamaya bağlı önemli oranda deformasyon görülür [7].

1.1.1.5.Çalışmada Kullanılan Polimerler

Bu çalışmada polimer matris olarak; etilen glisidil metakrilat (EGMA) ile uyumlaştırılmış yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polietilen teraftalat (PET) karışımı kullanılmıştır. Söz konusu polimerler ile ilgili genel bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)

Bu çalışmaya konu olan polimerlerden biri yüksek yoğunluklu polietilendir (HDPE). Polietilen en fazla üretilen polimerdir, toplam plastikler arasında %40 tüketim oranıyla birinci sıradadır. Alçak, orta, yüksek ve çok yüksek yoğunluk türlerinde üretilen polietilenin yaygın olanları alçak (LDPE) ve yüksek yoğunluklu (HDPE) olanlarıdır [8].

Polietilen, katılma polimerizasyonuyla üretilir. Etilen (CH_2) monomerleri, polimerleşmeyi başlatıcı bir katalizör ile polimerleşir ve polietilen oluşur. Granül, film, levha, profil vb. birçok şekilde piyasa sürülen, alçak ve yüksek yoğunlukta olan türleri bulunan bir termoplastiktir. Bugün polietilen kolay üretilen, problemsiz kullanılan ucuz bir ürün olarak dünya piyasalarının başta gelen plastiklerindendir. Ülkemizde PETKİM tarafından "Petilen" adıyla üretilmektedir [8].

Günümüzde birkaç farklı yöntemle elde edilen yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), ASTM standartlarında Tip III ve Tip IV olarak tanımlanmaktadır. % 90 oranında kristal içeren HDPE'ye, "doğrusal (lineer) polietilen" de denir. Bağıl yoğunluğu 0,940 g/cm^3 ve üzeridir [9].

HDPE, radikal polimerizasyonunda yüksek basınç uygulanır. Koordinasyon polimerizasyonunda alçak basınç ve 50-75°C sıcaklıkta katalitik sentez yapılır. Katalizör olarak heptanda çözünmüş titantetraklorid ve alüminyumal kil kullanılır. Polimerizasyon ısısı soğutularak giderilir. Granül veya toz formunda polimer elde edilir. HDPE diğer bir sentez yönteminde ise; "metal oksit katalizörlü polimerizasyon"da etilen gazı parafinde çözülür, işlem 60-200°C sıcaklık ve 35 atm basınç altında belirli bir süre devam eder. Soğutma ve çözücü buharlaştırılmasından sonra ürün elde edilir [8]. PETKİM A.Ş.'nin kurulu HDPE kapasitesi 96.000 ton/yıldır, 2013 yılı üretimi ise 84.821 ton olmuştur [9].

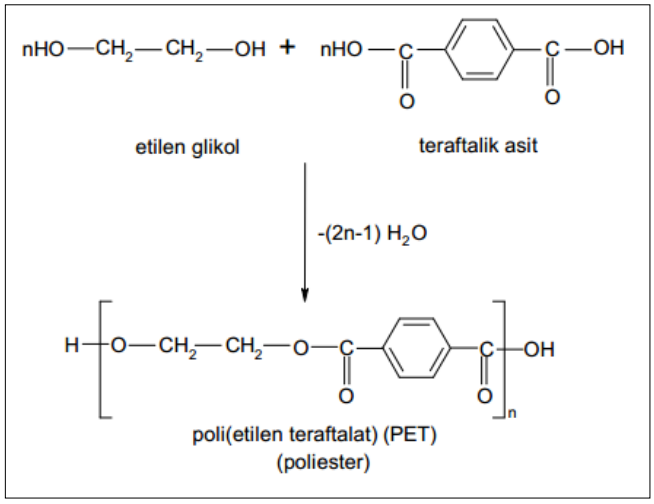
Görünüm itibariyle LDPE'ye benzeyen HDPE, çok daha serttir ve molekül kütlesi 150000-400000 civarındadır. Kimyasal madde direnci yüksektir, 100°C'nin üzerine kadar sıcaklığa dayanabilir; ancak ışık ve açık hava koşullarına karşı dayanıklı değildir. Bazı özel katkı maddeleriyle bu özellik iyileştirilebilir. Mekanik özellikleri çok iyidir, çekme ve darbe dayanımı yüksektir. Çekme dayanımı 225-350 kgf/cm^2 civarındadır. Yine katkı maddeleri yardımıyla mekanik özellikleri geliştirilebilir. Enjeksiyon, ekstrüzyon, film çekme, döner kalıplama, toz kaplama gibi birçok prosese uygundur. Elektriksel uygulamalara çok elverişlidir [8].

HDPE'nin oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Basınçlı borular, gaz dağıtım boruları, şişe ve bidonlar, oyuncaklar, makine parçaları, elektronik eşya yapımında kullanılmaktadır. Suya dayanıklı olduğu için tekne vb. yapımında da tercih edilmektedir [8].

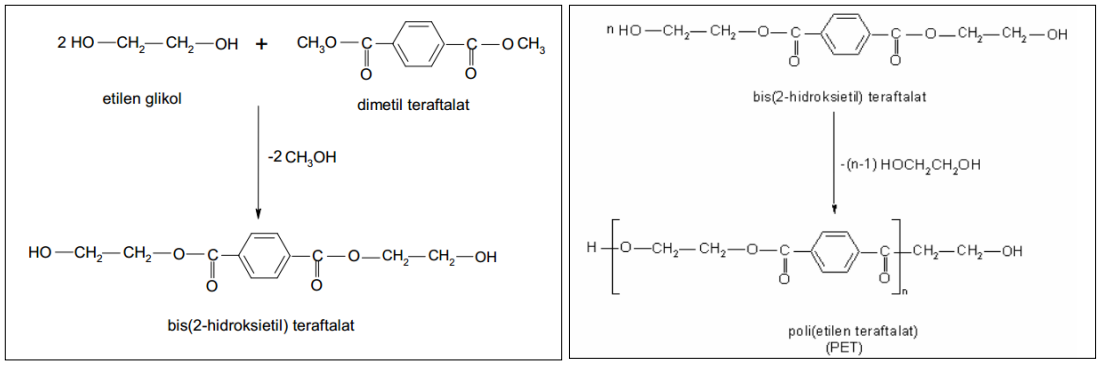
Polietilen Teraftalat (PET)

Bu çalışmada kullanılan ikinci polimer polietilen teraftalattır (PET). Proses için geridönüşüm amaçlı, atık PET şişeleri tercih edilmiştir.

PET tereftalik asit, bazen de dimetil tereftalat ile etilen glikolun tepkimesinden elde edilir [8]. Şekil 1.6 ve 1.7'de PET üretim reaksiyonları gösterilmektedir.



Şekil 1.6 Etilen glikol ve teraftalik asit kondensasyonuyla PET eldesi [1]



1. Aşama 2. Aşama

Şekil 1.7 Etilen glikol ile dimetil teraftalatın reaksiyonuyla PET sentezlenmesi [1].

PET çekme dayanımı (600 - 700kgf/cm^2) yüksek olan bir termoplastiktir. Sıcaklık altında zor yumuşar, ekstrüzyon sıcaklığı 270-320°C'dir. Enjeksiyonla şişirme kalıplamaya uygun olan PET günlük hayatta oldukça yaygın biçimde kullanılır. Zayıf asitlere ve bazlara, birçok çözücüye karşı direnci iyidir [8].

Gıda ambalaj filmleri, dosya gömlekleri, bant şeritleri, su şişe ve damacanaları üretiminde kullanılır [1], [8]**.** Ayrıca tekstil sanayinde de kullanımı yaygındır, polyester polimer grubunun en önemli ve en yaygın kullanılan türüdür. Nitekim polyester terimi genellikle PET'i ifade etmek için kullanılmaktadır [10].

Etilen-glisidil Metakrilat (EGMA)

HDPE ve PET kullanımı oldukça yaygın olan polimerlerdir. PET'in kimyasal dayanımı ve HDPE'nin ekstrüderde işlenebilme özelliklerinin birleştirilerek daha nitelikli bir malzemenin geliştirilmesi uzun zamandır çalışılan bir konudur [11]. Ancak HDPE ve PET birbiri içinde çözünmeyen polimerlerdir [12]. Bu nedenle hazırlanan harmanların iki polimer arasındaki uyumsuzluğa bağlı olarak mekanik özellikleri çok düşüktür ve bu haliyle kullanılması mümkün değildir [11].

PET ve HDPE'nin karışmamasının sebebi, molekül yapılarının, polarlıklarının ve kristal davranışlarının birbirlerinden tamamen farklı olmasıdır. Molekül zincirleri arasındaki olumsuz etkileşim, polimer karışımdaki yüzey gerilimin çok yüksek olmasına ve bu da karıştırma sırasında bileşenlerin dağılımının zorlaşmasına sebep olur. Bu olumsuz etkileşim aynı zamanda kararsız morfolojiye, yüzeyler arası adezyonun zayıf olmasına ve tüm bunların sonucunda mekanik özelliklerin düşük olmasına neden olur [13].

Yapılan araştırmalarda HDPE ve PET polimerlerinin karıştırılabilmesi için en umut vadeden yöntemin maleik anhidrit (MA) ya da glisid metakrilat (GMA) reaktif gruplarını içeren uyumlaştırıcıların eklenmesi olduğu görülmüştür [14]. Pietrasanta vd. yürüttükleri çalışmada, GMA ile fonksiyonlaştırılan poliolefinlerin enjeksiyon kalıplama makinesinde direkt uygulanmasıyla HDPE/PET sisteminin uyumlaştırılmasının mümkün olduğuna dikkat çekmiştir [15]. Dagli ve Kamdar, HDPE/PET sistemine etilen-glisidil metakrilat (EGMA) eklenmesinin etkileri üzerinde durmuş, en iyi sonucun EGMA'nın önce HDPE ile harmanlanması ardından PET ile ekstrüde edilmesiyle elde edildiğini raporlanmışlardır. Tüm bileşenlerin birlikte harmanlandığı yöntemle de başarılı sonuçlar elde edilmiştir [16].

Kalfoglou vd. tarafından yapılan çalışmada ise rPET/HDPE harmanları için dört farklı uyumlaştırıcı araştırılmıştır. Bunlar etilen-glisidil metakrilat kopolimeri (E-GMA), etilen-etil akrilat glisidil metakrilat terpolimeri (E-EACR/LA), maleik anhidrid aşılı hidrojene stiren-bütadien-stiren kopolimeri (SEBS-g-MA) ve MA-modifiye etilen-metil akrilat kopolimeri (E-MeA-g-MA). rPET/HDPE/uyumlaştırıcı harmanları 70/20/10 oranlarında (% ağırlık) hazırlanmıştır. Çekme ve darbe testleri, optik ve elektron mikroskopisi, termal analiz yapılmış olup en ayırt edici analizler olan morfolojik analiz ve çekme testi

sonuçlarına göre uyumlaştırıcı etkisi E-GMA>E-EA-GMA>SEBS-g-MA>E-MeA-g-MA sırasıyla azalmıştır [2].

Yao vd. tarafından yapılan çalışmada PET/HDPE harmanı için uyumlaştırıcı olarak HDPE-g-maleik anhidrit (HDPE-g-MA) ve EGMA kullanılmıştır. EGMA, polietilen yapısında reaktif GMA birimleri içeren bir kopolimerdir. EGMA'nın, GMA epoksi grubuyla PET'in karboksilik ve hidrolik uç grupları arasında kurulan kimyasal ağ sayesinde mekanik özellikleri HDPE-g-MA'ya göre daha iyi hale getirdiği görülmüştür [13].

Jabarin vd. tarafından yapılan çalışmada HDPE/PET blendlerinin uyumluluğu maleik anhidrit aşılı poliolefin reçinesiyle arttırılmıştır. Uyumlaştırıcı oranı %5'te sabit tutulup HDPE ve PET oranları değiştirilmiştir. Üçlü harman sistemlerinin mekanik özellikleri uyumlaştırıcı olmayan ikili sistemlere göre çok daha iyi çıkmıştır. Buna göre uyumlaştırıcının iki polimer arasında kısmi çözünme sağladığı sonucuna varılmıştır [11]. Normalde eriyik içindeki polimerler karışmıyorsa, kristal olmayan polimer (HDPE) diğer polimerin kristalizasyonunu etkilemez. Ancak bu çalışmada PET oranı azaldıkça PET'in kristallenmesinin azaldığı görülmüştür. İkili harmanlarda ise kristallenmede değişiklik olmamıştır. Bu durumda uyumlaştırıcının iki polimer arasında kısmi çözünme sağladığı ve buna bağlı olarak PET kristalizasyonunun bileşimden etkilendiği söylenebilir [11].

Literatürdeki birçok çalışma uyumlaştırıcı olarak E-GMA kullanılmasının, PET/HDPE harmanlarının işlenebilirliğini ve fiziksel/mekanik performansını geliştirdiğini göstermektedir [14], [15], [16], [17], [18]. EGMA'nın GMA grupları PET'in hem hidroksil hem de karboksil gruplarıyla etkileşime girerek polimerler arası bağlanmayı sağlamaktadır [18]. Bu nedenle yapılan çalışmada uyumlaştırıcı olarak etilen-glisidil metakrilat (EGMA) tercih edilmiştir. Oran olarak yine literatürde daha önce başarılı sonuç alınmış olan ağırlıkça % 3 EGMA kullanılmasına karar verilmiştir [18]. Örneğin; Pluta vd. tarafından yapılan çalışmada geri dönüşüm ürünü PET ve HDPE polimerlerinden oluşan harmanların uyumlaştırılması için maleatlanmış stıren-etilen / bütilen-stiren blok kopolimeri (SEBS-g-MA) ve etilen-glisidil metakrilat kopolimeri (EGMA) kullanılmıştır. Minör fazın dağılımı uyumlaştırıcı eklenmesiyle iyileştirilmiş, deneyler sonunda en iyi sonuç EGMA ile elde edilmiştir. %75 HDPE ve %25 PET içeren blendler için en iyi uyumlaştırıcı %3 EGMA olarak bulunmuştur.

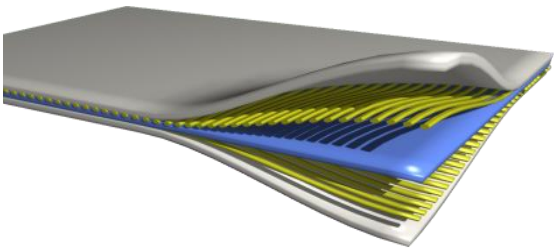
1.1.2.Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler eski çağlardan bu yana günlük hayatımızın bir parçasıdır. Kompozit malzemenin en ilkel örneklerinden biri, toprağın saman ve suyla karıştırılmasıyla elde edilen ve inşaat malzemesi olarak kullanılan kerpiçtir. Kerpiç üretiminde de olduğu gibi kompozit malzeme, bir takviye maddesinin bir matris ile birleştirilmesi veya içerisinde dağıtılmasıyla elde edilen özellikleri geliştirilmiş malzemedir. Matris olarak bir polimer, metal ya da seramik kullanılabilir. Takviye malzemesi olarak ise çeşitli elyaflar, keçe, dokuma veya inorganik kimyasalların kullanımı mümkündür [8].

Kompozit malzeme ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte klasik malzemeler yeterli gelmemekte, bu nedenle daha yüksek ısıl, mekanik ve kimyasal özelliklere sahip malzemeler araştırılmakta ve üretilmektedir. Kompozit malzemelerin yumuşak çelikten dayanıklı, titandan sert ve alüminyumdan hafif türleri yapılmış olmasına rağmen bu konudaki araştırmalar devam etmektedir. Mevcut yönelim, kompozit malzemelerin gelecekte de çok önemli mühendislik malzemelerinden olacağını göstermektedir [8].

1.1.2.1.Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Kompozit malzemeler, bilhassa polimer kompozitler birçok avantaja sahip ürünlerdir. Bu avantajlar arasında yüksek mukavemet, termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleri saymak mümkündür. Kompozit malzemeler sertlik ve dayanıklılık bakımından metallerle yarışabilecek durumda olmalarının yanı sıra, metallere göre daha hafif olmalarıyla da büyük avantaj sağlar [20].



Şekil 1.8 Kompozit malzemenin örnek gösterimi

Kompozit malzemelerde matris fazı, takviye fazı ve arayüzey olmak üzere üç bileşen vardır. Matris, malzemenin sürekli fazıdır. Kompozit malzemelerin neredeyse % 90'ı polimer matrislerden oluşturmaktadır. Polimer kompozitlerde matris olarak termoset ve termoplastik polimerlerden söz edilebilir. Termoset matrislerin çoğunluğunu polyesterler oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra vinilester/bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplasitk grubunda ise poliamid ve polipropilen kullanımı yaklaşık %70 civarındadır. Polietilen ve polibutilen tereftalat, polietereterketon ve polietersulfon polimerleri kompozit malzemelerde matris olarak kullanılmaktadır [20].

Matris genellikle daha sünek ve daha az sert olan fazdır. Dağınık fazı bir arada tutar ve yükü paylaşır. Dağınık faz, matris içinde süreksiz formda gömülüdür; genellikle matristen daha güçlü olduğu için takviye faz olarak da adlandırır [21].

Kompozit malzemeler fiziksel olarak birbirinden farklı malzemelerin, kontrollü ve homojen dağılımını sağlayacak etkin bir karıştırma işlemiyle elde edilirler ve bileşenlerine göre üstün özellikler sergilerler [21].

Kompozit malzemenin özelliklerini aşağıdaki etmenler belirler [21]:

- Takviye elemanının özellikleri
- Matrisin özellikleri
- Takviye/matris oranı
- Takviye-matris ara yüzeyindeki yapışma kabiliyeti
- Takviye elemanının geometrisi ve matris içindeki dağılımı

Çizelge 1.2 Kompozit malzemelerin yapısı [21]

Matris Malzemeleri	**Takviye Elemanları**	**Kompozit Yapının Şekli**
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Whiskers	Film-Folya
	Pudra	Honey-Combs (Bal peteği)
	Yonga	Filaman Sarılmış Yapılar

Cam elyafı/polyester, karbon elyafı/epoksi ve aramid elyafı/epoksi birleşimleri en yoğın kullanılan kompozit malzemelerdir. Günümüzde en yaygın kullanılan kompozit bileşimi ise 1940'lı yıllarda geliştirilen CTP'dir (Cam Takviyeli Polyester - Glassfiber Reinforced Polyester, FIBERGLASS). CTP, ilk modern polimer esaslı kompozit malzemedir ve günümüzde üretilen kompozit malzemelerin %85'ini oluşturur. Çoğunlukla tekne gövdeleri, spor araçlar, paneller ve araba gövdelerinde kullanılmaktadır [21].

Kompozit malzemeler birincil olarak matris türüne göre, ikincil olarak kullanılan takviye elemanına göre sınıflandırılmaktadır.

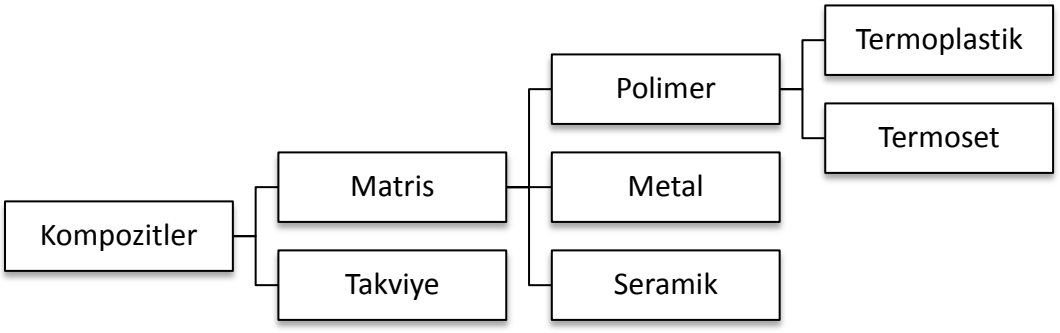
1.1.2.2.Kompozit Malzemelerin Matrise Göre Sınıflandırılması

Matris, kompozit malzemede takviye fazı bir arada tutarak yükü yayan ana fazdır. Kompozit yapılarda matrisin üç temel işlevi vardır [22]:

1. Takviye elemanlarını bir arada tutmak
2. Yükü takviye elemanlarına dağıtmak
3. Takviye elemanlarını dış etkilerden korumak

İdeal bir matris malzemesi, eklenen takviye elemanlarının etrafını sağlam ve uygun şekilde çevreleyebilmelidir. Kompozit malzemelerdeki takviye elemanlarının işlevlerini gerçekleştirebilmeleri için matris malzemesinin mekanik özellikleri büyük önem taşımaktadır. Örneğin malzemenin gerilmeye dayanımı, takviye elemanlarıyla matris arasındaki yapışmaya ve matrisin mukavemetine bağlıdır [22].

Kompozit malzemeler matris türüne göre Şekil 1.9'daki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 1.9 Kompozit malzemelerin matrislere göre sınıflandırılması [21]

I. Polimer matrisli kompozitler

Üretilen ticari kompozitlerin çoğunluğunda polimer matris kullanılır. Polimer kompozitler düşük maliyetleri ve kolay işlenebilirliği sayesinde oldukça popülerdir. Takviyesiz polimerlerin mekanik özelliklerinin düşük olması sebebiyle yapı malzemesi olarak kullanımları azdır. Polimerler, güçlü elyaflarla takviye edildiklerinde aşağıdaki özelliklere sahip polimer kompozit malzemeler elde edilir [21];

- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek sertlik
- Yüksek kırılma direnci
- İyi aşınma dayanımı
- İyi darbe dayanımı
- İyi korozyon dayanımı
- İyi yorulma dayanımı
- Düşük maliyet

Polimer kompozitlerin başlıca dezavantajları ise ısıl dirençlerinin düşük olması ve yüksek termal genleşme katsayısına sahip olmalarıdır [21].

Polimer kompozitlerin özelliklerini etkileyen parametreler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Ara yüzey adezyonu

Bir kompozit malzemenin davranışı takviye elemanı, polimer matris ve elyaf/matris ara yüzeyi bazında açıklanır. Üstün mekanik özelliklerin yakalanabilmesi için güçlü bir ara yüzey adezyonu gereklidir. Matris moleküllerinin elyaf yüzeyine kimyasal reaksiyonla ya da adsorpsiyonla yapışması, ara yüzey adezyonunun derecesini belirler. Teknolojideki gelişmeler sayesinde ara yüzeyin incelemesini kolaylaşmıştır. Ara yüzey ayrıca mezofaz olarak da adlandırılmaktadır [21].

2. Dağınık fazın şekli ve yönelimi (parçacık, elyaf, tabaka)

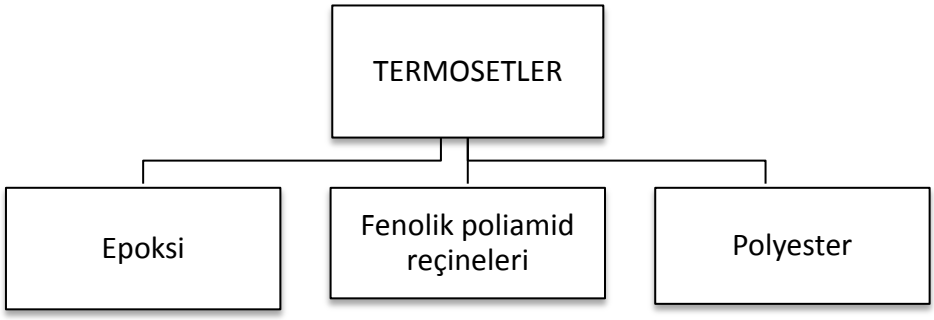
Parçacık takviye elemanları için tercih edilen bir yönelim şekli yoktur. Parçacık takviyeler esas olarak malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi ya da maliyetin düşürülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Küresel, kübik, levha şeklinde olabilecekleri gibi

düzenli ya da düzensiz geometride de olabilirler. Boyutları, tüm yönlerde neredeyse aynıdır. Tabakalı kompozit ise, ağaç örneğinde olduğu gibi tercih edilen bir yüksek mukavemet yönüne sahip iki boyutlu levha ya da panelden oluşur. Tabakalar yığılmış ve her tabaka diğerine yapışmış durumdadır, böylece yüksek mukavemet yönü birbirini izleyen her tabakada değişmektedir [21].

3. Matrisin özellikleri

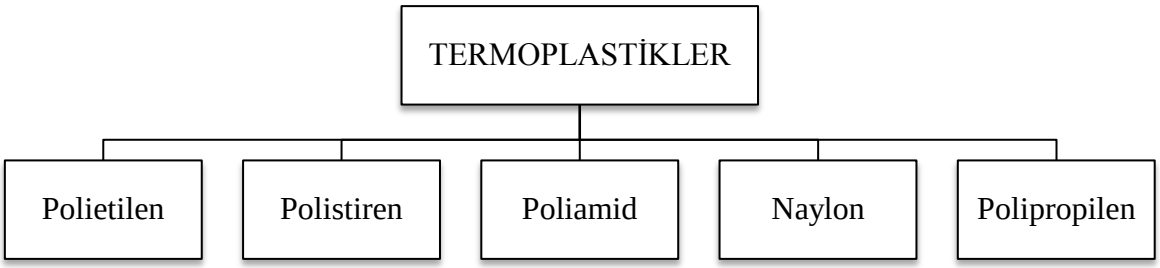
Polimerlerin hangi uygulamada kullanılabileceği, her polimerin özelliği tarafından karar verilir. Matris olarak polimerlerin başlıca avantajları düşük maliyetli, kolay işlenebilir, iyi kimyasal direnç ve düşük özgül ağırlığa sahip olmalarıdır. Diğer yandan düşük dayanımlı, düşük modüllü ve çalışma sıcaklıklarının düşük olması kullanımlarını sınırlamaktadır. Kompozitlerde termoplastik polimerler, termoset polimerler, elastomerler ve bunların karışımları kullanılmaktadır [21].

Termosetler, tüm molekülleri arasında kovalent bağlar bulunan çapraz bağlı ya da ağ yapılı bileşiklerdir. Isıya maruz kaldıklarında yumuşamazlar, bozunmaya uğrarlar. Bir kez çapraz bağlama işlemiyle sertleştirildiklerinde bir daha şekil verilemezler. Yaygın örnekleri epoksi, polyester, fenolikler, üre, melamin, silikon ve poliamidlerdir [21]. Kompozit üretiminde kullanılacak termoset polimer genelde, içerisine sertleştirici, katkı ve dolgu maddeleri karıştırılmış düşük viskoziteli ve düşük mol kütleli sıvı halindedir. Termoset çözeltilerinin kimyasal dirençleri ve bazı mekanik özellikleri termoplastiklere göre yüksektir. Ancak en önemli dezavantajları; kalıplama süresinin polimerizasyon tepkimeleri nedeniyle uzun olması, sıvı hallerinde oda sıcaklığında uzun süreli depolanamamaları, geri dönüştürülememeleri ve düşük darba dayanımlarıdır [22].



Şekil 1.10 Termosetler [21]

Termoplastikler moleküller arası güçlü, ancak molekül içi zayıf bağlara sahip doğrusal veya kollara ayrılmış zincir moleküllerinden oluşur. Isı ve basınç uygulaması ile şekillendirilebilirler, yarı kristal ya da amorf yapıdadırlar. Polietilen, polipropilen, polistiren, naylon, polikarbonat, poliasetaller, poliamid-imidler, polieter eter keton, polisülfon, polifenilen sülfit, polieter imid vb. termoplastiklere örnek verilebilir [21]. Termoplastiklerin en önemli avantajı kullanım sonrası tekrar ısıtılarak şekillenebilme özelliğine (geri dönüştürülebilir olması) sahip olmalarıdır. Bunun yanında termoplastik matrisler oda sıcaklığında sonsuz süre depolanabilme, işleme süresinin kısalığı ve onarım kolaylığı gibi özelliklerinden dolayı termosetlerden üstündürler. Birçok uygulamada termoplastikle yapılan kompozitler, termoset plastiklerin yerini almaktadır [22].



Şekil 1.11 Termoplastikler [21]

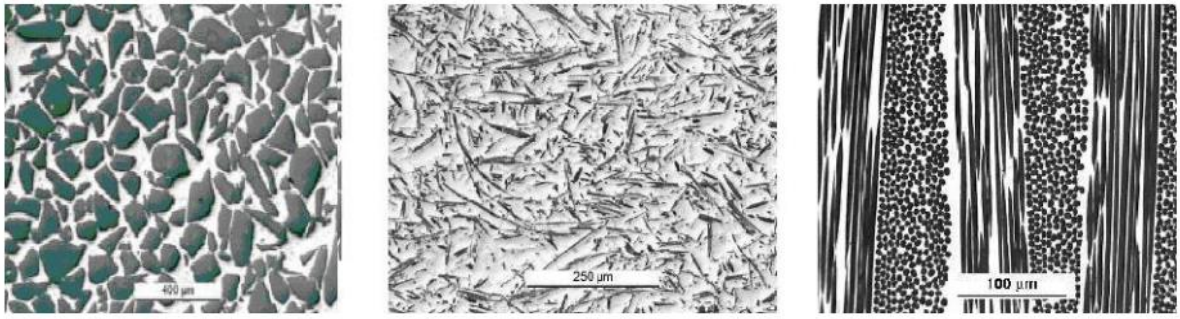
Bu çalışmada kullanılan PET atıkları termoplastik malzeme sınıfına dâhildir. PET zayıf asitlere, bazlara ve çoğu çözücülere karşı dayanıklı bir malzemedir. Ayrıca sağlamlık, sertlik, parlaklık ve yüksek darbe dayanımı gibi özellikleri üstünlükleri mevcuttur.

Elastomer ise viskoelastik özelliğe sahip polimerdir. Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında genellikle oldukça düşük Young modülü ve yüksek akma uzamasına sahiptirler. Elastik polimerden türetilen elastomer terimi, sıklıkla kauçuk (lastik) teriminin yerine kullanılmaktadır. Polimeri oluşturan monomerlerin her biri genellikle karbon, hidrojen, oksijen ve silikondan oluşmaktadır. Elastomerler normal koşullarda camsı geçiş sıcaklığı üzerinde bulunan amorf polimerlerdir, bu nedenle ciddi bir segmental hareket söz konusudur. Çevre sıcaklıklarında, kauçuklar, nispeten yumuşaktır ve deforme olabilirler. Başlıca kullanım alanları contalar, yapıştırıcılar,

kalıplanmış esnek parçalardır. Doğal kauçuk, sentetik poliizopren, polibutadien, kloropren kauçuk, bütil kauçuk, etilen propilen kauçuk, epiklorohidrin kauçuk, silikon kauçuk, flüoroelastomerler, termoplastik elastomerler, kauçuk polisülfit vb. elastomerlere örnek olarak verilebilir [21].

II. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozit malzemeler, en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin birleştirilmesiyle elde edilen yeni malzemelerdir. Tek bileşenli alaşımlarla elde edilemeyen özellikler, metal matris içerisine takviye malzemeleri eklenmesiyle elde edilmeye çalışılır. Bu takviye malzemeleri matris içerisinde sürekli ya da süreksiz fazda bulunabilir. Günümüzde üretilen metal kompozitler; elastik modülünü arttıran partikül takviyeli, yük iletimini ve dayanımı arttıran kısa elyaf takviyeli ve yüksek performans sağlayan sürekli elyaf takviyeli olmak üzere üçe ayrılır [23].



(a) (b) (c)

Şekil 1.12 Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler, a) partikül takviyeli, b) kısa elyaf takviyeli (whisker), c) sürekli elyaf takviyeli [23].

Çevresel etkenlere dayanıklı olmaları sebebiyle metal kompozitler otomobillerde, uzay araçlarında ve elektronik aletlerde kullanılmaktadır. Yoğunluklarının yüksek oluşu, yüksek sıcaklıklarda işlenebilmeleri ve takviye/matris ara yüzeyindeki korozyon eğilimi metal kompozitlerin dezavantajlarındandır [22].

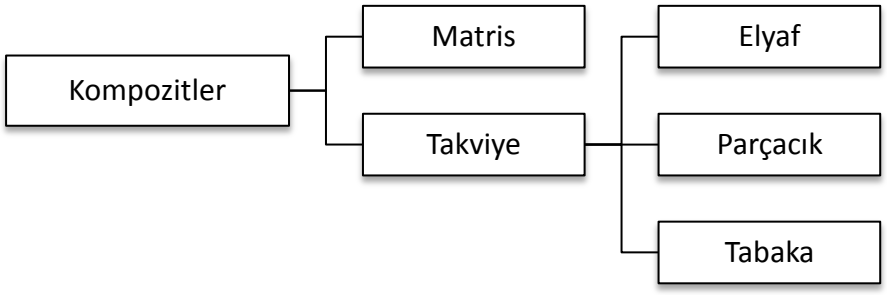
III. Seramik matrisli kompozitler

Seramikler büyük bir termal kararlılığa sahip olmalarının yanı sıra ve aşınma, sürtünme ve korozyona karşı oldukça dirençlidir. Kimyasal bağları sebebiyle çok sert ve sağlam

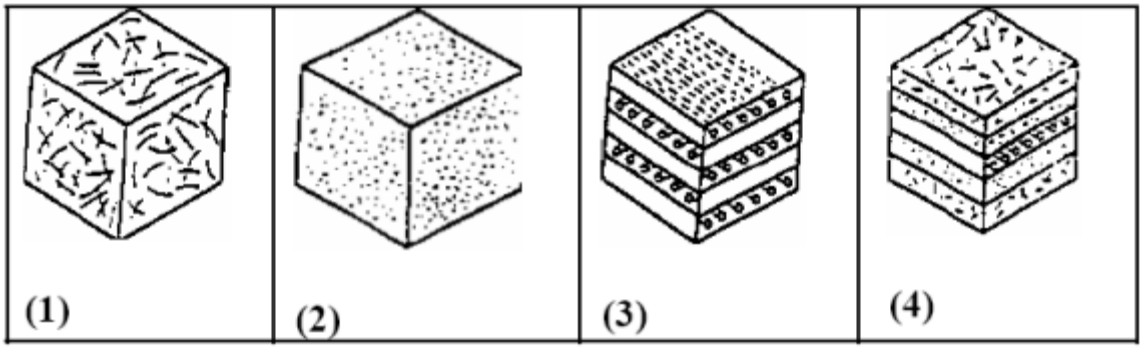
olmalarına rağmen, seramiklerin hepsi kırılgandır ve güçlükle şekillendirilebilirler. Seramiklerin çoğu çok yüksek sıcaklıklara kadar dayanımlarını korur ve termal şoka karşı dirençlidir. Sertliği arttırıp çentik duyarlılığını azaltmak seramiklere çeşitli takviye malzemelerinin eklenmesinin başlıca sebepleridir. Metal kompozitlerde olduğu gibi seramik kompozitlerde de sürekli elyaf takviyeli, kısa elyaf takviyeli ve partikül (parçacık) takviyeli olmak üzere üç tip seramik kompozit malzemeden söz edilebilir [23].

1.1.2.3.Kompozit Malzemelerin Takviye Elemanına Göre Sınıflandırılması

Takviye elemanları, kompozitlerin mekanik özelliklerindeki iyileşmeden sorumludur. Takviye malzemesinin oranına göre mekanik dayanımda artma meydana gelir. Kompozit malzemeler içerisinde bulunan takviye elemanının şekil ve matristeki dağılımına göre elyaf takviyeli, parçacık takviyeli ve tabakalı olmak üzere üçe ayrılır. Bu üç sınıflandırma dışında, farklı takviye malzemelerinin birlikte kullanılmasıyla karma kompozit malzemeler de elde edilir [21]. Şekil 1.13'te takviye elemana göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 1.13 Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması [21]



Şekil 1.14 Takviye elemana göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması
1- Elyaf Takviyeli, 2- Parçacık Takviyeli, 3- Tabakalı, 4- Karma Kompozit Malzemeler [21]

Parçacık şeklindeki takviye malzemelerinin en önemli avantajlarından biri ucuz olmalarıdır. Bunun yanı sıra, parçacık takviyeli kompozitlerin yapımı da daha kolaydır. En çok kullanılan takviye elemanları silikatlar, karbonatlar, kil, tarımsal atıklar, mika, metal tozlarıdır [21]. Kompozit malzeme yapımında başlıca kullanılan elyaf türleri ise; cam elyafı, karbon (Graphite) elyafı, aramid (Aromatic Polyamid) elyafı, bor elyafı, oksit elyafı, yüksek yoğunluklu polietilen elyafı, poliamid elyafı, polyester elyafı, doğal organik elyaflardır [19].

1.1.2.4.Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Metal malzemelere göre çeşitli üstünlükleri bulunan kompozitler, zamanla metal karşısında önemli bir yere sahip olmuştur. Hafif olmaları sebebiyle yapı malzemesi olarak kullanılabilmeleri, elyaf ile takviye edildiklerinde korozyon dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları kompozit malzemelerin önemli özelliklerindendir [19].

Kompozit malzemelerin temel avantaj ve dezavantajları aşağıda ele alınmıştır. Kompozit malzemelerle ilgili sorunların çözümü konusundaki araştırmalara aralıksız yürütülmektedir. Bu çalışmaların olumlu şekilde nihayete ermesi durumunda kompozit malzemelerin metallerin yerini alabilmeleri mümkün olacaktır. Kompozit malzemelerin avantajları aşağıdaki gibidir [19].

- Kompozit malzemelerin çekme ve eğme dayanımları birçok metale göre daha yüksektir. Bunun yanı sıra kalıplanabilme özellikleri sayesinde istenen yönde ve bölgede mukavemet kazandırılmaları mümkündür.

- Kolay işlenebilmelerinden ötürü malzeme ve işçilikten tasarruf edilir.
- Kompozit malzemelerle çok üstün elektriksel özellikler elde edilebilir. Büyük enerji nakil hatlarında kullanılabilecek kadar iyi bir iletken ve gerektiğinden de iyi bir yalıtkan olarak kullanılabilmeleri mümkündür.
- Kompozit malzemeler çevresel etkilere ve kimyasal korozyona karşı dayanıklıdırlar. Bu nedenle kimyasal madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.
- Kompozitler ısı iletimi düşük malzemelerden üretilebilir, bu sayede ısıya dayanıklı malzemeler elde edilebilir. Bazı özel katkı maddeleriyle ısı dayanımları arttırılabilir.
- Kompozit malzemelerin renklendirilmesi kolaydır ve ek maliyet gerektirmez. Kalıplama esnasında malzemeye renk pigmentleri eklenerek kalıcı boyama işlemi yapılabilir.
- Kompozit malzemeler sönümleme ve şok yutabilme özelliği gösterirler. Bu sayede çatlak yürümesi minimize edilir.

Kompozit malzemelerin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kompozit malzemelerde hava tanecikleri bulunması sebebiyle yorulma dayanımı düşer.
- Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri doğrultusuna göre değişiklik gösterebilir.
- Kompozit malzemelerin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.
- Kompozit malzemeler metallere göre daha kırılgan (gevrek) yapı gösterir. Bu nedenle daha kolay zarar görürler.
- Hammaddeleri pahalıdır, bu da maliyeti yükseltir.

Kompozitler bazı dezavantajlarına rağmen oldukça geniş kullanım alanı bulabilen malzemelerdir. Otomobil gövde ve tamponları, tekneler, konstrüksiyon malzemeleri, ev eşyaları, tarım araçları gibi birçok alanla kullanılabilmektedir.

1.1.2.5.Çalışmada Kullanılan Takviye Elemanları

Bu çalışmada PET/HDPE/EGMA polimer matrisine takviye olarak kalsit veya cam elyaf (E cam) eklenmiştir. Kalsit içeren kompozit malzemeler, kalsitin partikül şekli ve matris

içerisindeki dağılımı bakımından parçacık takviyeli kompozit malzeme sınıfına girmektedir. Cam elyaf kullanılan kompozit malzemeler ise elyaf takviyeli kompozitler sınıfına girmektedir.

Takviyeli kompozitler, geri dönüşüm malzemelerinin önemli bir uygulama alanı olarak değerlendirilmektedir. Bazı özelliklerin iyileştirilmesi için termoplastiklere dolgu maddeleri eklenmesi sanayide oldukça yaygındır. Kalsiyum karbonat, ahşap tozu ve cam elyafı, plastiğin sertliğini arttırmak için sıkça kullanılır. Cam elyaf en çok kullanılan termoplastik takviye maddesidir. Yüksek çekme dayanımı, yüksek kimyasal dayanım ve mükemmel yalıtım gibi istenen birçok özelliğe sahiptir. Kalsit ($CaCO_3$) ise, plastik endüstrisinde üretim maliyetini azaltmak için yaygınca kullanılmaktadır. Polimer harmanlarının cam elyaf ve kalsiyum karbonatla takviye edildiği çalışmalar literatürde mevcuttur [23].

I. Cam elyaf

Cam elyaf, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılandır. Cam elyaf silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda, magnezyum oksit gibi geleneksel cam üretim hammaddelerinden üretilmektedir. Homojen bir karışım elde edebilmek amacıyla hammaddeler öğütülür ve iyice karıştırılır. Yüksek sıcaklık altında sıvı hale geldikten sonra bobinlere sarılarak farklı çaplarda cam lifleri elde edilir. Cam lifleri, demet haline getirilmeden önce, bağlayıcı adı verilen bir kimyasal bileşim ile kaplanır. Bağlayıcı cinsi, kompozit malzeme içinde cam elyafının performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Kompozit malzemelerin mukavemeti matris-cam bağının kuvveti ile doğru orantılıdır. Bağ kuvveti, bağlayıcı kimyasal içindeki reaktif grupların türüne bağlıdır [25] .

Elyaflar işlem sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Cam elyafı halen aramid ve karbon elyaflarından daha yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir. Farklı cam elyaf türlerinden bahsedilebilir.

A Cam: Pencerelerde ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitlerde çok fazla kullanılmaz.

C Cam: Kimyasal korozyona karşı oldukça dirençlidir. Mekanik özellikleri E camına göre daha düşük ve maliyeti de daha yüksektir. Depolama tanklarında kullanılır [26].

E Cam: Mukavemeti, modülü ve elektriksel özellikleri iyidir [26]. Kompozit malzemelerde en çok kullanılan cam türüdür. Düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su emiş oranı özelliklerine sahiptir. Türkiye'de Sişecam Grubuna bağlı olan Cam Elyaf Sanayii A.Ş. tarafından E camı elyafı üretilmektedir. Hem yurtiçine, hem yurtdışına satış yapan firma 1976'dan beri faaliyet göstermekte olup Avrupa'nın önemli elyaf üreticilerinden biridir [19].

S cam: Yüksek mukavemet ve elastik modüle sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini muhafaza edebilir. Maliyeti E ve C camına göre daha yüksektir [26].

II. Kalsit

Kimyasal formülü $CaCO_3$ olan kalsit, kristal tane boyutu 1 mm-10 cm arasında olan kireçtaşının yapıtaşı olan bir mineraldir [27]. Çeşitli şekillerde kristal halde bulunan camsı parlaklıkta, renksiz saydam yapıdadır. Kolay öğütülür ve beyaz renkli bir toz elde edilir, sertliği Mohs skalasına göre 3, yoğunluğu ise 2,6-2,7 g/cm^3 civarındadır [28].

Kalsit kullanımı, ülke sanayilerinin gelişmişliği hakkında bilgi edinilmesinde kullanılan bir ölçütlerden biridir. Ülkemiz kalsit rezervleri bakımından çok zengindir ve 1980'lerde 2-3 olan üretici sayısı günümüzde 20'ye yaklaşmıştır. Türkiye kalsit tüketimi ise 1980'li yıllarda 20-30.000 ton/yıl iken 2000'lere gelindiğinde 300.000 t/yıl'a yaklaşmıştır ve bu miktar hızla artmaktadır [28].

Kalsit, çevreye zararı en düşük mineraldir. Birçok ülkede toprağa gübreleme amacıyla katılır ve kirlenen göllerdeki asit derecesini düşürmek için kullanılır [28]. 1-100 mm boyutuna öğütülen kalsit, "mikronize" ticari adıyla satılır. Genellikle dolgu ve kaplama sanayiinde kullanılır. Boya, lastik, kağıt, plastik, hayvan yemi, tarım, ilaç vb. birçok sektörde kullanım alanı bulmaktadır [27, 28]. Kalsitin tane boyutu kullanım yerine göre değişmektedir. Örneğin plastik sektöründe en büyük tane boyutu 36-38 µm'a kadar olabilirken, kâğıt sanayinde kalsit boyutunun 18-20 µm büyüklüğünü aşmaması istenmektedir [29]. Beyazlık, ucuzluk ve kazandırdığı özellikler nedeniyle sıkça

kullanılan bir dolgu maddesidir. ABD ve Avrupa'da plastik sektöründe yıllık kullanılan kalsit dolgusu miktarı 3 milyon ton üzerindedir [28].

Doğal halde ya da kaplanmış halde kullanımı söz konusu olduğu gibi genellikle steraik asit ile kaplanır. Dolgu maddelerinin malzeme içerisindeki dağılımı ve adezyonunun zayıf olması kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Plastik sektöründe sıkça kullanılan kalsitin polarlığı ve yüzey alanının büyük olması, polimer matris içerisinde dağılmasını ve stabilize olmasını zorlaştırmaktadır. Dağılımı kolaylaştırmak ve polimer ile uyumunu arttırmak amacıyla kalsit, steraik asit ile kaplanabilir [30]. Malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi adına yapılan bir çalışmada kalsit dolgulu ve dolgusuz HDPE, LDPE ve LLDPE kompozitlerinin mekanik özellikleri ve kompleks eriyik viskoziteleri araştırılmıştır. Kompozitler HDPE, LDPE ve LLDPE polimerlerine ağırlıkça %50 kalsit partikülleri eklenerek çift vidalı ekstrüderde hazırlanmıştır. Çalışma sonunda %50 kalsit dolgulu polietilen kompozitlerinin, çekme dayanımı ve kompleks eriyik viskoziteleri dolgusuz olanlardan daha yüksek çıkmıştır [31].

1.1.3.Kompozit Malzemelerin Karakterizasyon Testleri

Bu çalışmanın karakterizasyon bölümünde; çekme testi, üç nokta eğme testi ve darbe testi gibi mekanik testler, eriyik akış indeksi (MFI), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır.

1.1.3.1.Çekme Testi

Malzemelerin dayanım ve şekil değiştirme özelliklerini belirlemede kullanılan en yaygın test çekme deneyidir. Deneyler dinamometre ile yapılır ve özel hazırlanan deney çubuklarıyla yürütülen testte malzemenin gerilme-uzama grafiğinin oluşturulması amaçlanır. Malzemeleri mukavemetini öğrenebilmek amacıyla yapılan ilk deneydir ve günümüzde hala sıkça kullanılmaktadır [32].

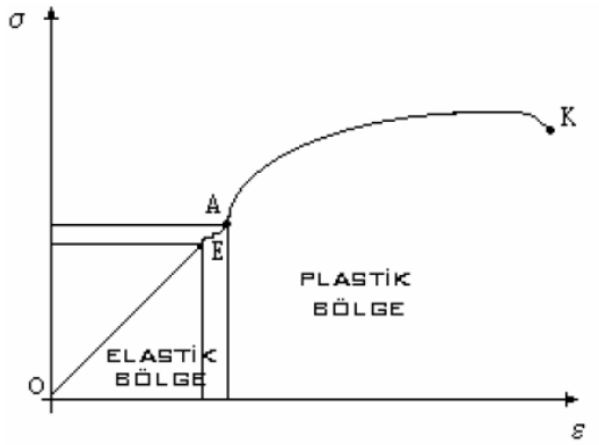
Önceden belirlenen bir kuvvetle çekilen malzeme, zamanla uzama ve nihayetinde kopma davranışı gösterir. Çekme, malzemenin birim alanı başına uygulanan kuvvet türünden verilir. Gerilim (σ) adı verilen bu değer, aşağıdaki bağıntıda gösterildiği gibi malzemenin birim alanı (A_o) başına uygulanan kuvvettir (F) olarak ifade edilir [33].

$$\sigma = F / A_o \quad (1.1)$$

Gerilimin genel birimi “kuvvet/alan”dır. Sayısal değerleri için ise çoğu kez Pa (Pascal, N/m^2), Mpa (10^6Pa), Psi (lb/in^2) türü birimler kullanılır. Kuvvet uygulanması sonucu malzeme boyutlarında meydana gelen değişime gerinim (ε) adı verilir. Malzemeler çekme geriliminde, uzama ile boyutlarını değiştirerek deformasyona uğrarlar. Gerinim, malzeme boyutundaki değişimin (ΔL) malzemenin ilk boyutuna (L) oranıdır [33].

$$\varepsilon = \Delta L / L \quad (1.2)$$

Gerinim birimsiz bir niceliktir; ancak uygulamada cm/cm, m/m türü birimlerle ifade edilir.

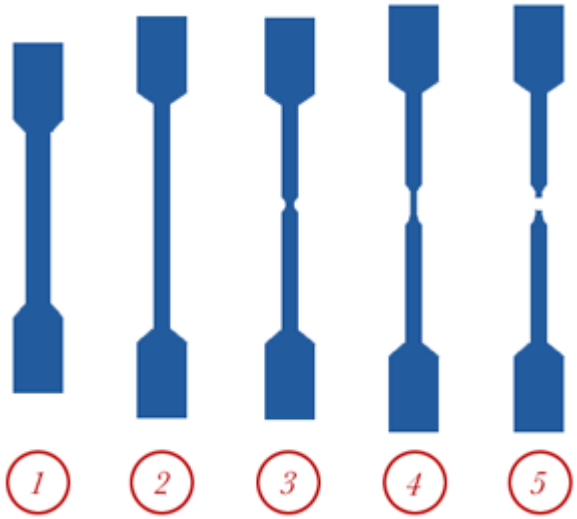


Şekil 1.15 Sünek elastik malzemenin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Malzemelerde uygulanan kuvvet sonrası kalıcı şekil değişimi görülmemesi elastik davranış olarak tanımlanmaktadır. Elastik davranış sergilen bir cisim, uygulanan kuvvetle birlikte şekil değiştirir; ancak kuvvet etkisi ortadan kalktığında eski haline geri döner. Bu durum Şekil 1.15’te gösterilen gerilme-şekil değiştirme diyagramında *elastik sınır* olarak tanımlanır (E noktası). Çekme kuvveti artırılacak olursa lineerlik ortadan

kalkar ve eğrinin yatay eksene paralel gittiği görülür. Bu durumun başladığı A noktasına *akma sınırı* adı verilir. Akma sınırını geçen kuvvetlerde, malzeme elastik olma özelliğini kaybeder ve plastik şekil değişikliği başlar. Bu bölgede uygulanan gerilmeler kaldırıldığında cisim eski şekline geri dönmez, kalıcı plastik sekil değişimleri oluşur. K noktası ise *kopma sınırını* göstermektedir.

Malzemelerin yük altında plastik deformasyona uğraması istenmeyen bir durumdur. Plastik deformasyondan kaçınılması için sünek malzemelerin akma gerilimi, gevrek malzemelerin ise kopma gerilimi çekme deneyleri ile tespit edilir.



Şekil 1.16 Deney çubuklarının çekme deneyi boyunca gösterdiği davranış [32]

Malzemenin rijitlik ölçüsü, elastisite modülü (E) ile ölçülür. Elastisite modülü, elastik sınırlar içerisinde geçerli olan Hooke yasası (1.3) ile bulunur [34].

$$E = \frac{\varepsilon}{\sigma} \tag{1.3}$$

Burada; E: Elastisite modülü (MPa), σ : Gerilme (MPa), ε : Gerinim olarak tanımlanır. σ ve ε ifadelerini ayrı ayrı yazacak olursak;

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \tag{1.4}$$

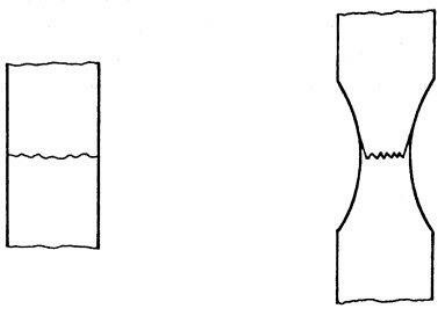
$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{1.5}$$

İfadeleri elde edilir. Böylelikle elasitisite modülü (E) aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$E = \frac{P.L}{A.\Delta L} \tag{1.6}$$

Burada; P: Yük (N), A: Yükün uygulandığı kesit alanı (mm^2), L: Uzunluk (mm^2), ΔL: Uzama miktarı (mm^2). Yüksek E değerine sahip malzemeler, elastik yükleme altında boyut ve şeklini korur. Malzeme karakteristiğinin belirlenmesi açısından E, önemli bir ölçüttür.

Kuvvet altındaki malzemeler, deformasyon durumuna göre gevrek (*İng; brittle*) ya da sünek (*İng; ductile*) kırılma gösterir (Şekil 1.17).



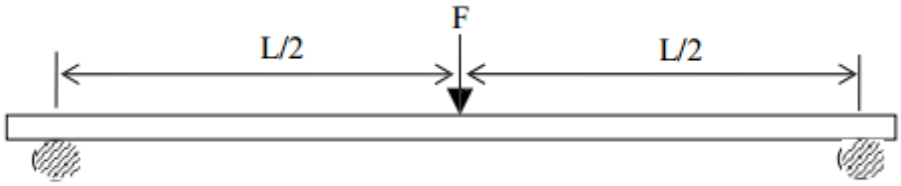
(a) (b)

Şekil 1.17 Gevrek ve sünek malzemelerin kırılma şekilleri,
(a) Gevrek malzemenin kırılması (büzülme yok), (b) Sünek malzemenin kırılması (büzülme var) [34].

Sünek kırılma büyük enerji gerektirirken gevrek kırılma az enerji gerektirir. Gevrek kırılma ani ve zamansız olduğu için istenmeyen bir durumdur. Özellikle kış aylarında sıkça görülür ve oldukça tehlikelidir.

1.1.3.2.Eğme Testi

Malzemelerin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini ölçmek amacıyla eğme testleri uygulanır. Üç noktalı eğme deneyi, eğme testleri içerisinde en yaygın olarak kullanılanıdır. Test numunesi yatay bir pozisyonda destekler üzerine uzunlamasına konulur ve numunenin üzerine tam ortasından kuvvet uygulanır (Şekil 1.18) [35]. Yön değiştirmeksizin uygulanan eğme kuvveti sonunda malzemede oluşan şekil değişikliğine eğilme denir.



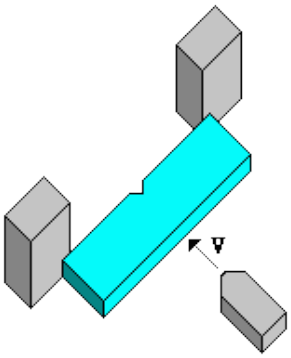
Şekil 1.18 Üç noktalı eğme deneyi kuvvet diyagramı [35]

Deney boyunca F kuvveti arttırılırken, malzemenin tam ortasında oluşan sehim değeri ölçülür. Ölçülen değerler sonucu kuvvete karşılık gelen sehim grafiği elde edilir. Eğme deneyi sonunda kalitatif sonucun yanı sıra eğme momenti, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve eğilme miktarı gibi kantitatif değerler de hesaplanır.

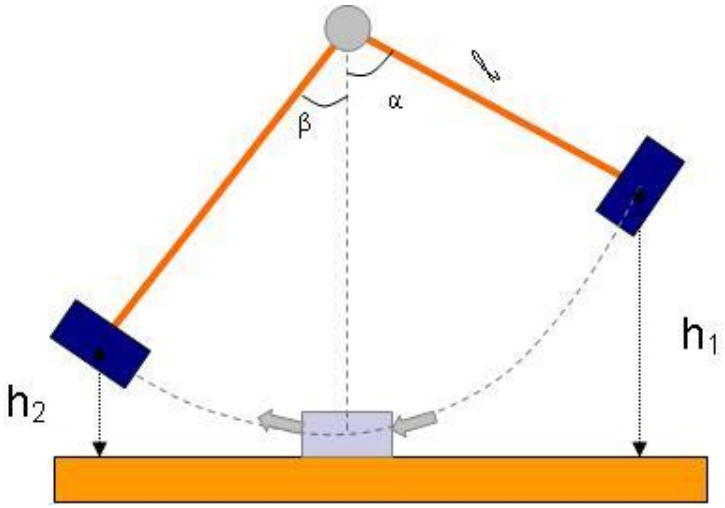
Eğme testi genellikle kırılgan ve gevrek malzemeler için yapılır. Malzeme kırılana kadar kuvvet uygulanmaya devam edilir; ancak sünek malzemeler kolaylıkla şekil verilebilir olduklarından, bu malzemelerde kırılma gözükmeden deney sonuçlandırılır [35].

1.1.3.3.Darbe Testi

Malzemelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek ve numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gerekli enerji miktarını belirlemek için yapılır. Numunenin darbeye maruz bırakılma şekline göre, yaygın olarak iki tip darbe deneyi yapılmaktadır. Bunlar, numunenin yatay olarak yerleştirildiği Charpy darbe deneyi ve numunenin dikey olarak yerleştirildiği İzod darbe deneyidir. Belirli bir yükseklikten (sarkaç) bırakılan yük, numuneye çarpar ve deney numunesi yüksek, hemen hemen sabit bir hızla eğilir [36].



Şekil 1.19 Charpy kenardan darbe deneyi için tek çentikli numune [37].



Şekil 1.20 Darbe deneyi cihazının çalışma prensibi

Deney cihazı şematik olarak Şekil 1.19'daki gibidir. G ağırlığına sahip sarkaç h_1 yüksekliğine çıkarılır bu konumda G.h_1 enerjisine sahiptir. Serbest bırakılan sarkaç numuneye çarparak kırar ve h_2 yüksekliğine çıkar. Bu konumda enerjisi G.h_2 haline gelir. Başlangıçtaki ve sondaki iki potansiyel enerji değeri arasındaki fark numunenin kırılması için gerekli olan enerjidir. Darbe direnci olarak da adlandırılan bu değer şöyle hesaplanır [36]:

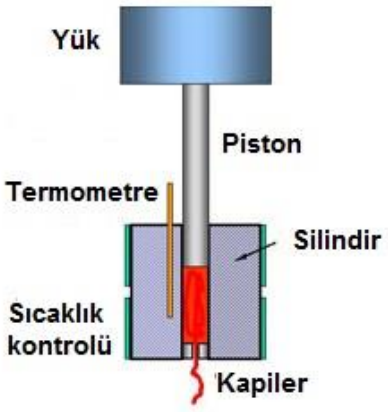
$$E = G(h_1 - h_2) = G.L(cos\beta - cos\alpha) \quad (1.7)$$

Burada; G: Sarkacın ağırlığı (kg), L: Sarkacın ağırlık merkezinin sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m), h_1: Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m), h_2:Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m), α: Düşme açısı (derece), β: Yükseliş açısı (derece).

Çentik darbe dayanımı; absorbe edilen enerjinin numune kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır. Darbe dayanımı kg.m ya da kg.m/cm^2 olarak ifade edilir.

1.1.3.4.Eriyik Akış İndeksi (MFI) Deneyi

Akışkanlık, ürünün işlenmesinde ve kalıplanmasında kritik bir öneme sahip olan, bu nedenle de kontrolü oldukça önemli parametrelerden biridir. Termoplastik bir polimer eriyiğin akış kolaylığının ölçüsü "eriyik akış indeksi (MFI - *melt flow index*)" ile tanımlanmaktadır. Şekil 1.21'de görülen deney düzeneği yardımıyla söz konusu malzemelerin MFI değerleri bulunabilir. Deney, her polimerik malzemenin kendine özgü sıcaklık koşullarında, belirli bir yük uygulanarak belirli çapta silindirik bir kalıptan geçirilmesi esasına dayanmaktadır [38, 39].



Şekil 1.21 MFI deneyi şematik gösterimi [38]

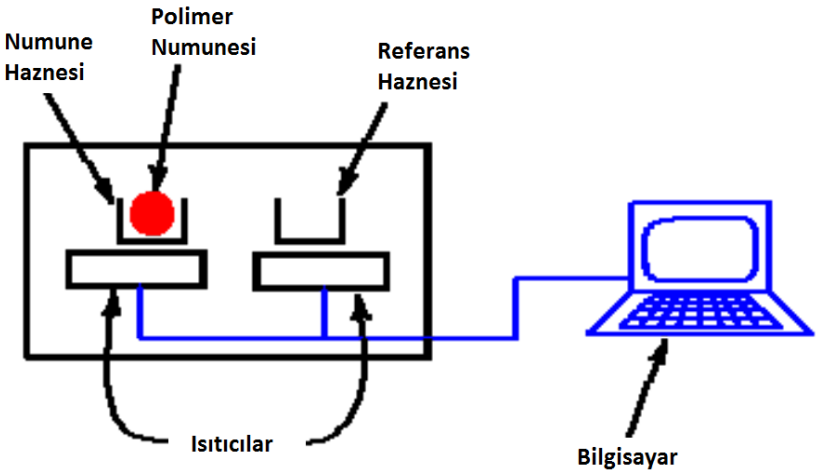
Malzeme bir çubuk yardımı ile önceden ısıtılmış silindirin içerisine sıkıştırılır ve test başlatılır. Silindir içerisine doldurulan polimer granülleri ısı yardımıyla eriyik haline gelir ve yük uygulanmasıyla birlikte aşağı doğru hareket eder. Kalıp ucundan çıkan parçalar uygun zaman aralıkları ile (örneğin 30 saniye) kesilir ve hassas terazide tartılır. Kalıptan

toplamda 10 dakika içerisinde geçen malzemenin kütle olarak ifadesi (gram) erime akış indeksi (MFI) olarak adlandırılır [38, 39].

1.1.3.5.Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), bir malzemenin ısı kapasitesinin (Cp) sıcaklıkla nasıl değiştiğini inceleyen bir termal analiz metodudur ve termal analiz teknikleri arasında en yaygın kullanılanlarındandır [40]. Bu analiz metodunda, ısıtılan ya da soğutulan bir madde ile ortam arasındaki ısı alışverişleri sıcaklığa bağlı olarak izlenir. Sabit basınç altında incelenen örneğin DSC grafiklerinden sıcaklık ve entalpi değişimleri gözlenebilir [41].

Bilinen miktardaki numune ısıtılarak veya soğutularak, ısı kapasitesinin ısı akışına bağlı olarak nasıl değiştiği gözlenir. Bu sayede erime, camsı geçiş, faz değişimi gibi geçişlerin tespit edilmesi olanaklı hale gelir. DSC sağladığı bu kolaylıklar sayesinde ilaç, polimer, gıda, kâğıt, baskı, imalat, tarım, yarı iletkenler ve elektronik gibi birçok endüstri dalında kullanılmaktadır [42].

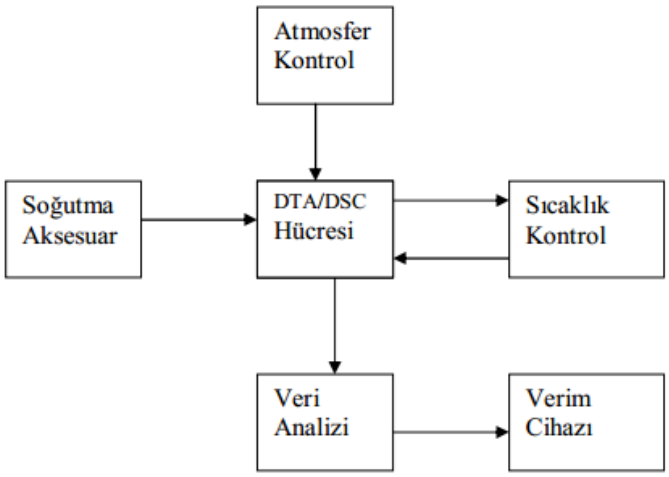


Şekil 1.22 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) [43]

DSC düzeneği iki temel bölümden oluşmaktadır (şekil 1.22, 1.23); ölçüm bölümü ve sıcaklığın takip edilip ısı akışının ayarlandığı bilgisayar. Ölçüm bölümünde iki adet hazne bulunur. Bunlar analizi yapılacak numunenin konulduğu numune haznesi ve genellikle boş bırakılan referans haznesidir. Her iki hazne de ısıtıcı üzerindedir. Bir bilgisayar

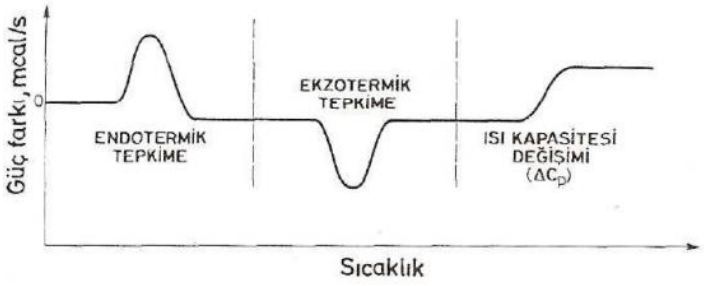
arayüzü vasıtasıyla her iki haznenin de ısınma oranını ayarlamak mümkündür, genellikle 10 °C/dk olarak ayarlanır [43].

Haznelerdeki bileşenler farklı olduğu için ısı absorpsiyonları da farklı olacaktır. Deney sırasında haznelerin sıcaklıklarını eşit tutabilmek için haznelerden birine daha az ya da daha fazla ısı verilmesi gerekmektedir. DSC analizinin sonucu, her iki hazneyi de eşit sıcaklıkta tutmak için haznelerden birine verilen ek ısı miktarıdır. Diğer bir deyişle DSC deneyinin çıktısı, her iki ısıtıcının çıkış ısıları arasındaki farkların sıcaklığa karşı çizilen grafiğidir [43].



Şekil 1.23 DTA ve DSC cihazının şematik gösterimi [40]

DSC eğrileri, verilen ısının sıcaklığa karşı çizilen grafikleridir (şekil 1.24). Pik yüksekliği termodinamik, pik genişliği ise kinetik ile ilgilidir [44].

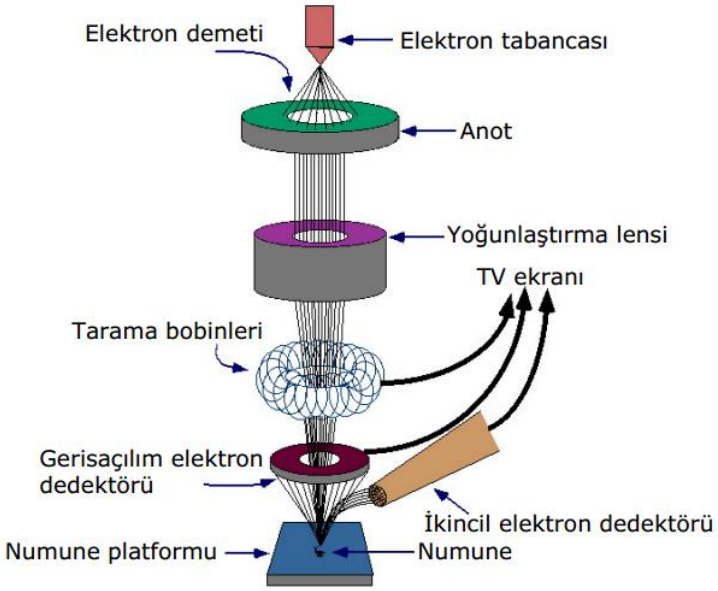


Şekil 1.24 DSC ile gözlenebilecek üç olaya ait eğriler [44]

1.1.3.6.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektromanyetik lenslerle inceltilen elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme imkânı sunar. Mikroskopta oluşturulan resimler, elektron demetinin malzeme ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışımalar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak oluşturulur [45].

Taramalı elektron mikroskobu optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır (Şekil 1.25). Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır [45].



Şekil 1.25 SEM optik kolonu [46]

Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune 10^{-4} Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır. Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda

oluşan çeşitli elektron ve ışımaları toplayan detektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır [45].

1.2. Tezin Amacı

Kirliliği azaltmaya ve hammadde kaynaklarının korunmasına yönelik mevcut çevre politikaları plastik geri dönüşümünü teşvik etmektedir. Plastikler içerisinde poliolefinler (PO) ve PET yüksek miktarlarının geri dönüşümü söz konusu olduğu için özellikle dikkat çekicidir. Polimer harmanları alanındaki zorluk, karışık haldeki plastikleri geri dönüştürürken aynı zamanda özelliklerin ve maliyetin kabul edilebilir seviyelerde kalmasını sağlamaktır [2].

Bu çalışmanın amacı; kullanımı oldukça yaygın olan HDPE'nin PET, cam elyaf ve kalsit ile takviye edilerek malzeme özelliklerinin iyileştirilmesidir. Geri dönüşüme katkıda bulunmak amacıyla geri dönüşüm polietilen tereftalat (rPET) kullanılacak olup ilk etapta rPET/HDPE harmanları hazırlanacak ve sonrasında bu harmanlara çeşitli oranlarda cam elyaf ya da kalsit eklenerek harmanın özelliklerindeki değişim izlenecektir.

1.3. Hipotez

Polimerik malzemelerin özelliklerini geliştirmek ve maliyetlerini düşürmek için çeşitli ürünler takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, en çok tercih edilen polimerlerden yüksek yoğunluklu polietilene (HDPE) çeşitli takviyeler katılarak malzeme özelliklerinin iyileştirilebileceği ve takviye malzemelerinde geri dönüşüm ürünleri kullanılarak çevrenin korunmasına katkıda bulunulabileceği düşüncesiyle ortaya çıkmıştır. Takviye malzemesi olarak rPET, cam elyaf ve kalsitin denenmesi planlanmış ve EGMA kullanılarak bu malzemelerin HDPE ile karışır duruma getirilmesi hedeflenmiştir. Takviye malzemesi türü ve miktarının, kompozit malzemelerin morfolojik, termal, reolojik ve mekanik özelliklerine etki edeceği ve uygun tür ve oranlarda kullanıldığında malzeme özelliklerini geliştireceği öngörülmektedir.

BÖLÜM 2

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. rPET/HDPE/EGMA Polimer Harmanının Hazırlanması

Atık PET şişelerden elde edilen kırılmış rPET numuneleri etüvde 100 ^{0}C'de 2 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından, ağırlıkça %20 rPET (geri dönüşüm PET), %3 EGMA (uyumlaştırıcı) içeren rPET/HDPE/EGMA polimer harmanı, özellikleri Çizelge 2.1'de verilen çift-vidalı ekstrüderde hazırlanmıştır (Şekil 2.1, 2.2).

Çizelge 2.1 Çalışmada kullanılan çift vidalı ekstrüderin özellikleri

Ticari Adı	Tipi	Vida Çapı	Vida boyu / vida çapı	Maksimum Kapasite
Xinda PSHJ-35	Eş yönlü – iç içe geçmiş	36 mm	44	25 kg/sa

Ekstrüder çalışma sıcaklığı 260 ^{0}C ve vida hızı 14 Hz olarak ayarlanmıştır. Kullanılan hammaddelerin özellikleri Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2 Çalışmada kullanılan hammaddeler

Malzeme Adı	Tedarik Edilen Yer
HDPE	Halene – H

PET	Geridönüşüm (su şişeleri)
EGMA	LOTADER®



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.1 Çift vidalı ekstrüder hattı -1; a) genel görünüm, b) sıcaklık kontrol panosu, c) hız kontrol panosu.



(a)





(b) (c)

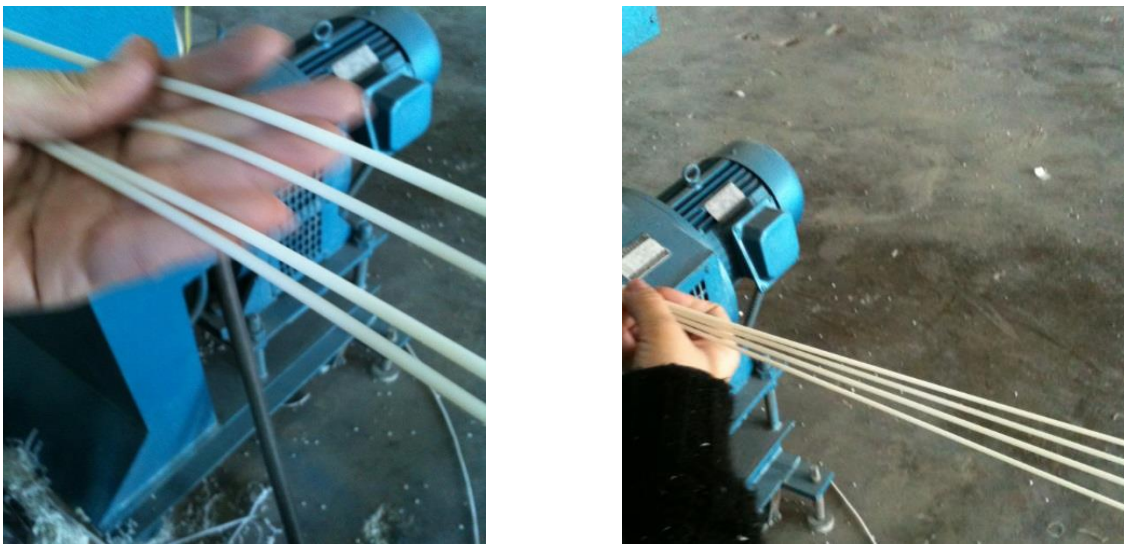
Şekil 2.2 Çift vidalı ekstrüder hattı-2; a) hammadde besleme, b) ürün çıkışı, c) soğutucu ve kırıcı

2.2. Kalsit Dolgulu rPET/HDPE Polimer Kompozitlerinin Hazırlanması

Bölüm 2.1'de hazırlanan rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına; %7, %17 ve %25 oranlarında mikronize kalsit eklenerek kompozit malzemeler elde edilmiştir. Malzemelerin tamamı özellikleri Çizelge 2.1'de verilen çift-vidalı ekstrüderde hazırlanmıştır. Ekstrüder çalışma sıcaklığı 260 ^{0}C ve vida hızı 14 Hz olarak ayarlanmış, Çizelge 2.3'te verilen hammaddeler kullanılmıştır. Ektrüderden çıkan malzeme kırıcıda granül hale getirilmiştir (Şekil 2.3).

Çizelge 2.3 Çalışmada kullanılan hammaddeler

Malzeme Adı	**Tedarik Edilen Yer**
rPET/HDPE/EGMA	Bölüm 2.1
Kalsit	Anadolu mikronize



Şekil 2.3 Ekstrüderden çıkan malzeme

2.3. Cam Elyaf Takviyeli rPET/HDPE Polimer Kompozitlerin Hazırlanması

Bölüm 2.1'de hazırlanan rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına; %4, %9 ve %13 oranlarında cam elyaf eklenerek Bölüm 2.2'de belirtilen koşullarda yeni kompozit malzemeler elde edilmiştir (Şekil 2.4). Kullanılan hammaddeler ve özellikleri Çizelge 2.4'te yer almaktadır.

Çizelge 2.4 Çalışmada kullanılan hammaddeler

Malzeme Adı	**Tedarik Edilen Yer**
rPET/HDPE/EGMA	Bölüm 2.1
Cam elyaf	Şişecam A.Ş. (E-cam, kısa)



Şekil 2.4 Cam elyaf takviyeli rPET/HDPE/EGMA polimer kompozit granülleri

2.4. Kül Testi

Hazırlanan kompozit malzemelerin organik kısımları 650 ^{0}C'de Protherm PLF120/5 marka kül fırınında yakılarak uzaklaştırılmıştır (Şekil 2.5). Test sonrası yakılan numuneden arta kalanlar hassas terazide tartılarak numunenin orijinal ağırlığından çıkarılıp kompozit malzemelerin inorganik katkı oranları hesaplanmıştır.



Şekil 2.5 Kül testi sonrası krozede kalan numune

2.5. Yoğunluk Testi

Deneyde öncelikle numunenin havada görünür kütlesi tartılır ve kaydedilir. Sonrasında numune destek üzerinde bulunan daldırma kabı içerisindeki daldırma sıvısına (etil alkol) tel üzerinde asılı bir şekilde daldırılır. Daldırılmış numune 0,1 mg doğrulukla tartılır. Yapılan ölçümlerin sonrasında numunenin belirlenen sıcaklıktaki yoğunluğu, ρ_S g/cm^3 olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

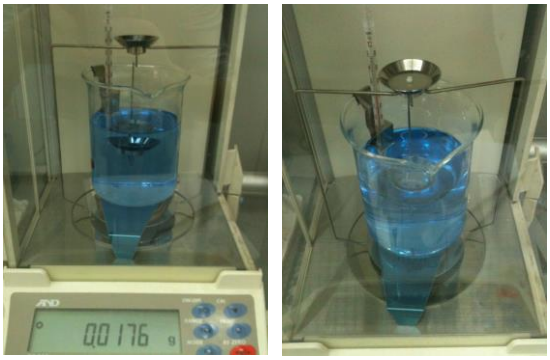
$$\rho = \frac{A}{A-B}\rho_0 \qquad (2.1)$$

Burada;

A= Havadaki ağırlık, g

B= Sudaki ağırlık, g

ρ_0 = Sıvının Yoğunluğu, g/cm^3



Şekil 2.6 Yoğunluk ölçümü

2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İle Analiz

Bölüm 2.1, 2.3 ve 2.3'te hazırlanan kompozitlerin yüzey morfoloji analizi FEI Quanta FEG 250 marka (acceleration voltage of 20kV) SEM cihazı ile yapılmıştır. SEM analizi yapılmadan önce numunelerin yüzeyleri ince film şeklinde altın- paladyum karışımı ile kaplanmıştır (Quorum Technologies SC7620 Mini Sputter Coater).

2.7. Eriyik Akış İndeksinin (MFI) Belirlenmesi

Eriyik akışk indeksi olan MFI testi, Şekil 2.6'da gösterilen Devotrans marka MFI test cihazı ile yapılmıştır. Bu testte, malzeme 270 ^{0}C sıcaklık ile eritilerek üzerine 5 N yük uygulanmış ve bu yük altında kılcal bir borudan 10 dakika içerisinde ne kadar malzemenin aktığı belirlenmiştir.



Şekil 2.7 MFI test cihazı

2.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Analizi

Bölüm 2.1, 2.2 ve 2.3'te hazırlanan kompozitlerin termal analizleri Perkin Elmer DSC 4000 model diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7). Bu analizde kompozit malzemenin erime ve bozunma sıcaklıkları gibi termal geçişleri incelenmiştir. Numuneler önce 40 °C'den 300 °C'ye kadar ısıtılıp sonra 300 °C'den 40 °C'ye tekrar soğutulmuştur. Isıtma ve soğutma hızı 10 °C/dk olarak ayarlanmıştır. Erime sıcaklığı, kristalizasyon sıcaklığı ve kristallik derecesi hesaplanmıştır.



Şekil 2.8 DSC cihazı

Numunelerin kristallik derecesi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\text{Kristallik derecesi} = (\Delta H_{numune}/\Delta H_{\%100\ kristal}) \times 100$$

ΔH_{numune} ; numunenin erime ısısı (J/g)

$\Delta H_{\%100\ kristal}$; saf kristalin erime ısısı (J/g)

$\Delta H_{\%100\ kristal}$ PET için 119,8 J/g, PE için 293,0 J/g değerindedir [47].

2.9. Mekanik Testler

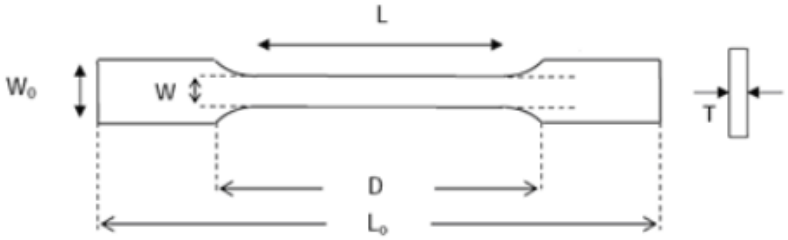
Bölüm 2.1, 2.3 ve 2.3'te hazırlanan kompozit malzemelerin mekanik testleri aşağıda açıklanan cihazlar ve yöntemlere göre oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan mekanik testlerde aşağıda verilen standartlar temel alınmıştır;

- Çekme testi: TS EN ISO 527-5
- Üç nokta eğme testi: TS 985 EN ISO 178
- Darbe testi: TS EN ISO 179-1

2.9.1.Çekme Testleri

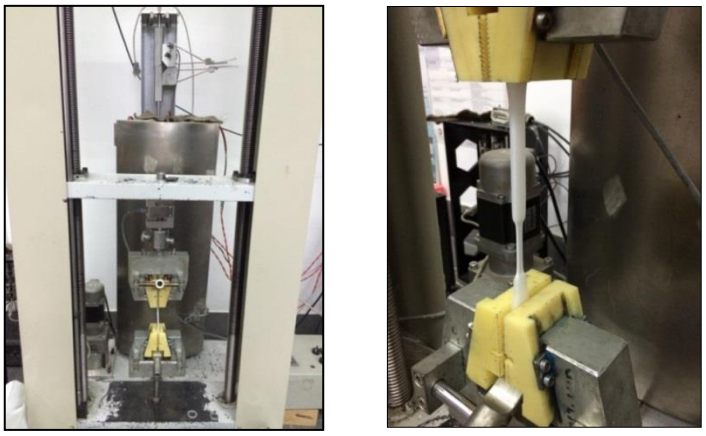
Çekme testleri TS EN ISO 527-5 standardına uygun olarak yapılmıştır [48]. Şekil 2.8 ve Çizelge 2.5'te verilen özelliklerde hazırlanan numunelere, MARES AG-I marka çekme cihazında çekme testleri uygulanmıştır (Şekil 2.9). Çekme hızı 50 mm/dk olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2.9 Çekme testi numunesi

Çizelge 2.5 Çekme testi numunesinin ölçüleri

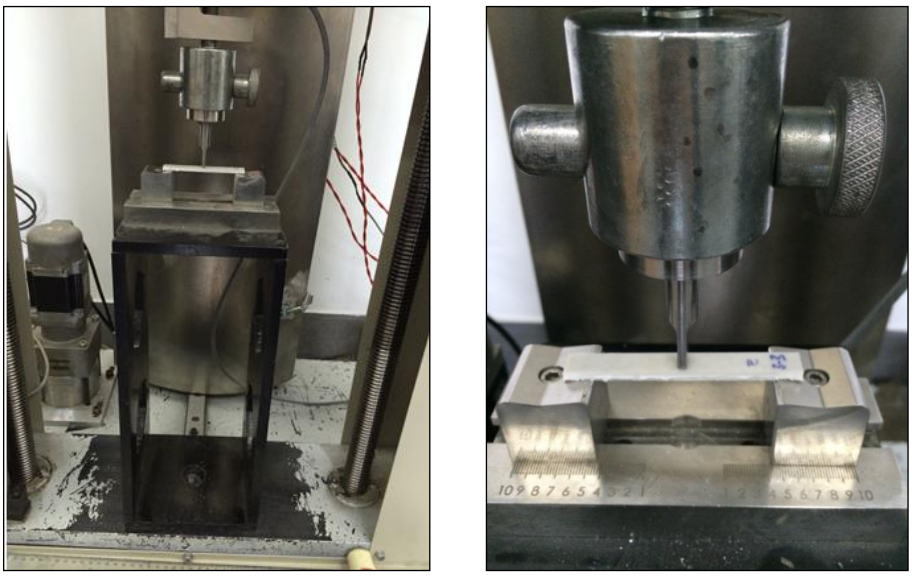
Çekme Testi Numunesi	**Ölçü**
W -Boğaz bölümün genişliği, mm	10
D – iki kulak arasındaki uzunluk, mm	70
T – kalınlık, mm	4



Şekil 2.10 Çekme cihazının görünümü

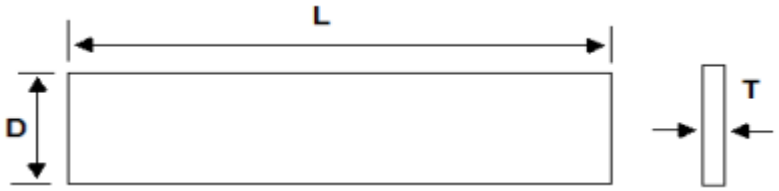
2.9.2.Üç Nokta Eğme Testleri

Üç nokta eğme testleri TS 985 EN ISO 178 standardına uygun olarak yapılmıştır [49]. MARES AG-I (Şekil 2.10) çekme cihazı ile gerçekleştirilen deneylerde, çene aralığı 64 mm ve çekme hızı - 50 mm/dk olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 2.11 Üç nokta eğme testi cihazı

Test numunelerinin şekli ve boyutları Şekil 2.11 ve Çizelge 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.12 Üç nokta eğme testi numunesi

Çizelge 2.6 Üç nokta eğme testi numunesinin ölçüleri

Eğme Testi Numunesi	**Ölçü, mm**

L– numunenin uzunluğu	64
T– numunenin kalınlığı	3
D– numunenin genişliği	12

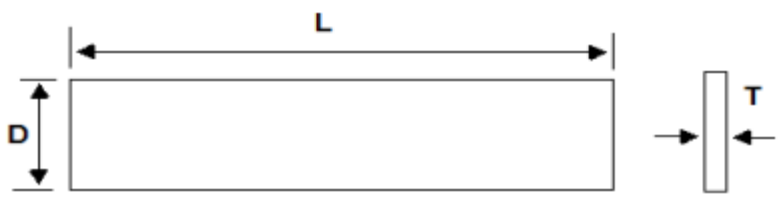
2.9.3.Darbe Testleri

Darbe testleri Devotrans AG-I marka cihazda (Şekil 2.12), TS EN ISO 179-1 standardına uygun olarak yapılmıştır [50].



Şekil 2.13 Darbe testi cihazı

Çizelge 2.7 ve Şekil 2.13'te özellikleri verilen numunelere, deneyler öncesinde Devotrans çentik açma cihazıyla 2 mm çentik açılmıştır.

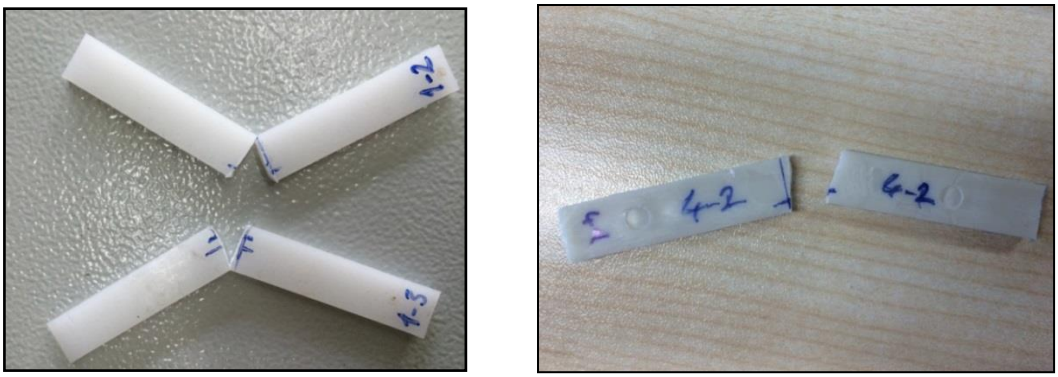


Şekil 2.14 Darbe testi numunesi

Çizelge 2.7 Darbe test numunesinin ölçüleri

Darbe Testi Numunesi	**Ölçü, mm**
L– numunenin uzunluğu	8
T– numunenin kalınlığı	4
D– numunenin genişliği	10

Darbe testi sonrası numuneler Şekil 2.14'te görüldüğü gibi kırılmıştır.



Şekil 2.15 Darbe testi sonrası test numunesi

BÖLÜM 3

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma sonunda 1 adet polimer harmanı (rPET/HDPE/EGMA), 3 adet kalsit içeren polimer hibrit kompozit (rPET/HDPE/EGMA/kalsit) ve 3 adet cam elyaf içeren polimer hibrit kompozit (rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf) üretilmiştir. Üretilen bu malzemelere uygulanan testlerin sonuçları aşağıda verilmektedir. Bu bölümde, kompozit malzemelerin adlandırılmasında Çizelge 3.1'de yer alan kodlamalar kullanılmıştır.

3.1. Kül Testi

Hazırlanan kompozit malzemelerin katkı oranlarını doğrulamak amacıyla kalsit ve cam elyaf eklenen numunelere kül testi yapılmıştır. Testlerin sonuçları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Kompozit malzemelerin kül testi sonuçları

Numune Adı	**Kompozit Malzeme Bileşimi (% Ağırlıkça)**	**Ekstrüder Çıkışı Katkı Oranı (% Ağırlıkça)**	**Kül Testi Sonucu Katkı Oranı (% Ağırlıkça)**
1	HDPE	-	-
2	rPET/HDPE/EGMA 20/80/3	-	-
3	rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/7	7	7,23 ± 0,05

4	rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/17	17	17,21 ± 0,03
5	rPET/HDPE/EGMA/ kalsit 620/80/3/25	25	24,60 ± 0,7
6	rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/4	4	4,41 ± 0,06
7	rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/9	9	8,88 ± 0,02
8	rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/13	13	13,14 ± 0,05

3.2. Yoğunluk Testi

Hazırlanan polimer kompozitlerin yoğunlukları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kompozit malzemelerin yoğunluk testi sonuçları

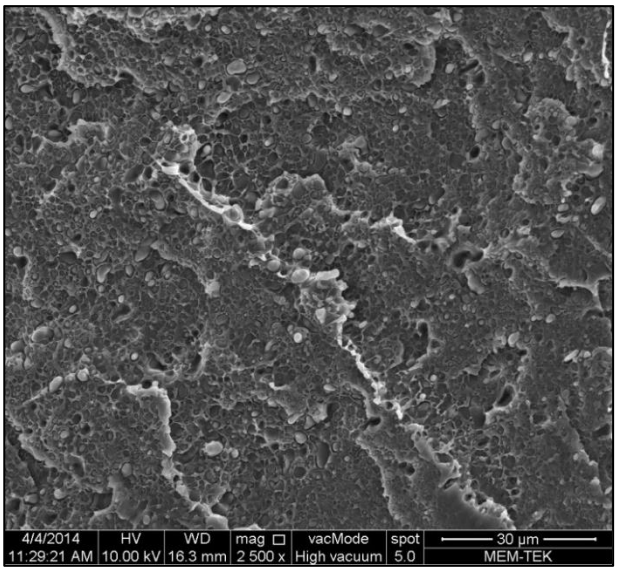
Kompozit Malzeme Bileşimi (% Ağırlıkça)	**Yoğunluk (g/cm^3)**
HDPE	0,9431 ± 0,0008
rPET/HDPE/EGMA 20/80/3	1,0051 ± 0,0009
rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/7	1,0629 ± 0,0010
rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/17	1,1356 ± 0,0015
rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/25	1,2165 ± 0,0013
rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/4	1,0357 ± 0,0010
rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/9	1,0632 ± 0,0007
rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/13	1,0947 ± 0,0016

HDPE matrisine eklenen takviye madde (kalsit, cam elyaf) oranı arttıkça kompozit malzemenin yoğunluğunda artış gözlenmiştir.

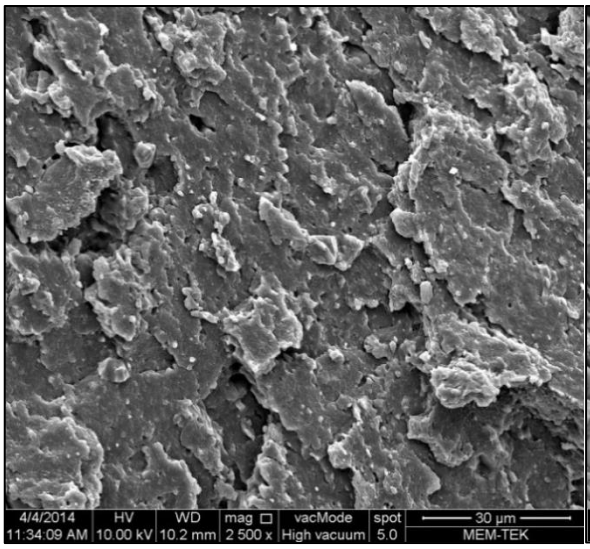
3.3. Morfolojik Özellikler

Hazırlanan kompozit malzemelerin SEM görüntüleri Şekil 3.1'de verilmektedir. rPET/HDPE/EGMA harmanına ait SEM görüntüleri (Şekil 3.1a) incelendiğinde rPET parçacıklarının HDPE matris içerisine dağıldığı; ancak yüzeyde boşlukların olduğu görülmektedir. Bu boşluklar stres toplanma noktaları görevi görüp malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir.

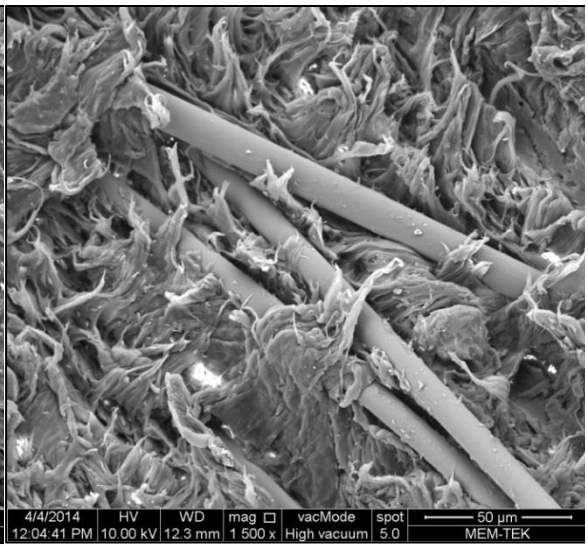
Uyumlaştırıcı, parçacıkların birleşmesini ve buna bağlı arayüzey geriliminde meydana gelen düşüşü engelleyerek morfolojiyi kontrol altına alır. Literatürde yapılan çalışmalarda uyumlaştırıcıların, dağılan fazın büyüklüğünü etkilediği görülmüştür. Artan uyumlaştırıcı oranının, arayüzeydeki adezyonu arttırdığı ve dağılan fazın boyutunu küçülttüğü rapor edilmiştir [51]. Bu çalışmada uyumlaştırıcı olarak kullanılan EGMA, fazlar arası adezyonu arttırarak polimer matrisin cam elyafın etrafını sarmasını sağlamaktadır. Cam elyaf takviyeli PP/PE harmanları ile yapılan bir araştırmada PP-g-MA'nın MA gruplarının, cam elyaf yüzeyindeki hidroksil gruplarıyla reaksiyona girdiği bulunmuştur [52]. Aynı şekilde EGMA'nın MA'ya göre daha reaktif olan GMA uçları cam elyaf ile etkileşime girerek takviye ile polimer matris arasındaki adezyona katkıda bulunur. Ancak elde edilen SEM görüntülerinde fazlar arası dağılımın yeterince iyi olmadığı gözlenmektedir.



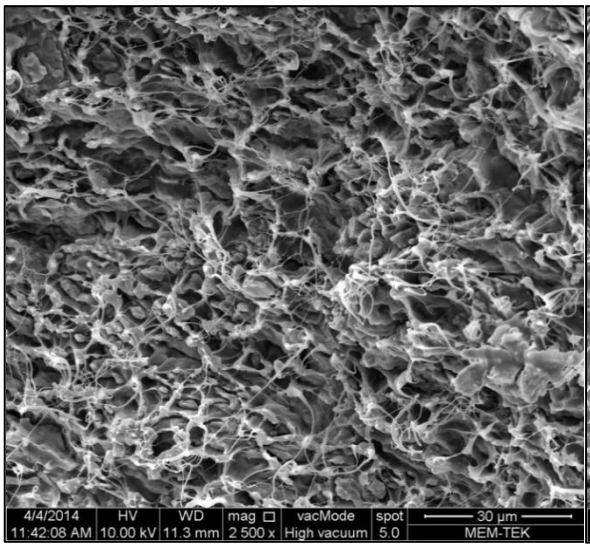
a) rPET/HDPE/EGMA 20/80/3 (x2500)



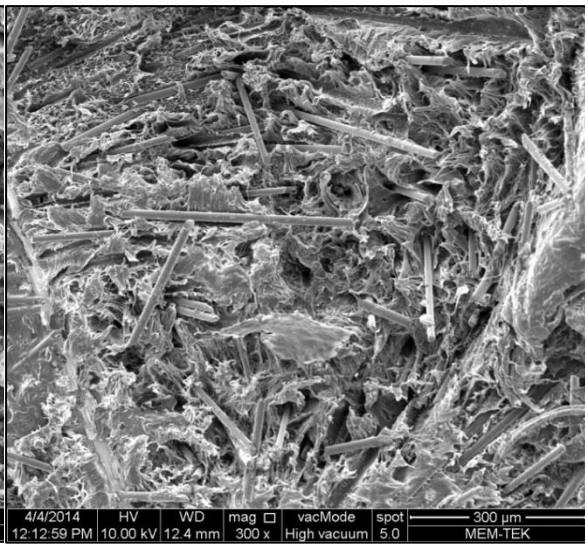
b) rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/7
SEM görüntüleri (x 2500)



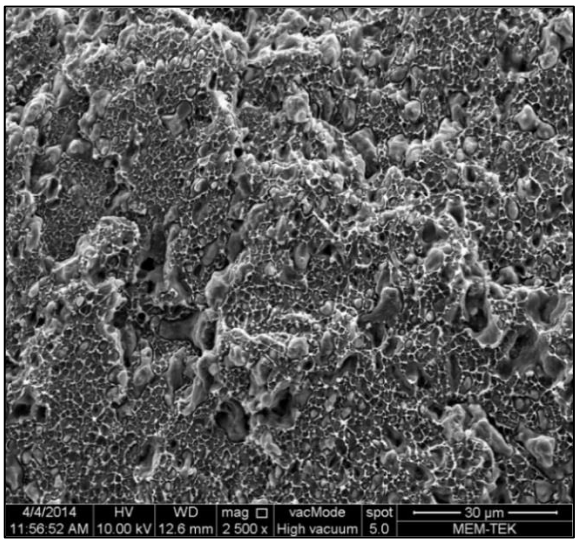
e) rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/4
SEM görüntüleri (x 1500)



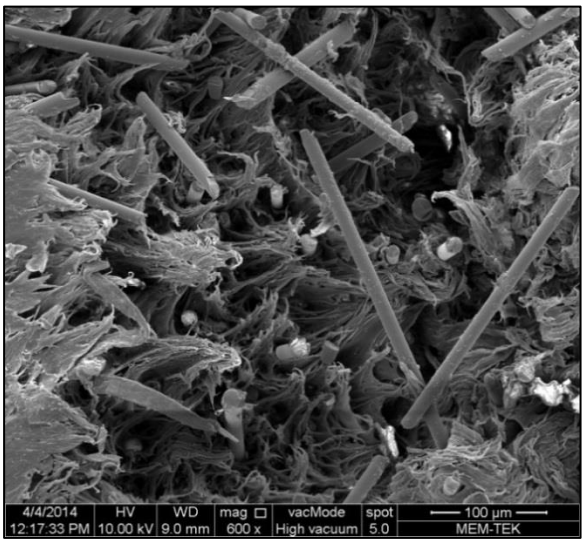
c) rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/17 SEM görüntüleri (x 2500)



f) rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/9 SEM görüntüleri (x 300)



d) rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/25 SEM görüntüleri (x 2500)



g) rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/13 SEM görüntüleri (x 600)

Şekil 3.1 Kompozit malzemelerin SEM görüntüleri

%4, %9 ve %13 oranlarında cam elyaf takviye edilerek hazırlanan rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf hibrit kompozitlerinin kırılma yüzeyleri Şekil 3.1 e, f, g'de gösterilmektedir. Elde edilen SEM görüntülerinde cam elyafların yapı içerisinde düzensiz bir yönelim gösterdiği görülmüştür. Malzemenin ekstrüderden çıktıktan sonra kırıcıdan geçirilmesi dışında herhangi bir yönelim işlem yapılmadığı için bu beklenen bir

durumdur. Görüntülerde ayrıca polimer harmanının cam elyaf parçacıklarının etrafını iyi saramadığı görülmektedir. Bu durumun, uyumlaştırıcının yeterli etkiyi gösterememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [23, 52].

% 7, % 17 ve % 25 oranlarında kalsit ilave dilerek hazırlanan rPET/HDPE/EGMA/kalsit hibrit kompozitlerinin kırılma yüzeyleri Şekil 3.1 b, c, d'de gösterilmektedir. Uyumlaştırıcı olarak kullanılan EGMA'nın, kalsit parçacıklarının dağılımını ve fazlar arası adezyonu arttırması beklenmektedir [23]. Daha önce bu konuyla ilgili yapılmış araştırmalar literatürde mevcuttur. HDPE matrise dolgu olarak kalsit ve uyumlaştırıcı olarak SEBS-g-MA eklenip mekanik özelliklerdeki değişimin araştırıldığı bir çalışmada; kalsitin alkali özelliği ile MA'nın asidik yapısının güçlü bir asit-baz etkileşiminin oluşmasına ve polimer ile dolgu yüzeyi arasında iyonik bağın kurulmasına neden olduğu bulunmuştur [53]. Mermer parçalarının ($CaCO_3$) dolgu malzemesi olarak kullanıldığı bir başka çalışmada ise PET matrisi ile olan etkileşim incelenmiştir. SEM analizi sonucunda, mermer parçacıkları ve PET arasındaki adezyon kuvvetinin iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, mermer parçalarının PET içerisinde iyi bir düzeyde dağılmış olduğu ve amaçlandığı gibi homojenasyonun sağlandığı gözlenmiştir [54].

Bu çalışmada ise elde edilen SEM görüntülerine göre (Şekil 3.1), kalsit ile matris arası uyumun %7 kalsit dolgulu olan malzemede % 17 ve %25'e göre kısmen daha iyi olduğu söylenebilir. Ancak kalsit oranı arttıkça parçacıklar arası boşluğun arttığı ve kalsitin belli bölgelerde daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, malzemede heterojenliğe sebep olarak karakterizasyon test sonuçlarının olumsuz etkilenmesine sebep olabilir.

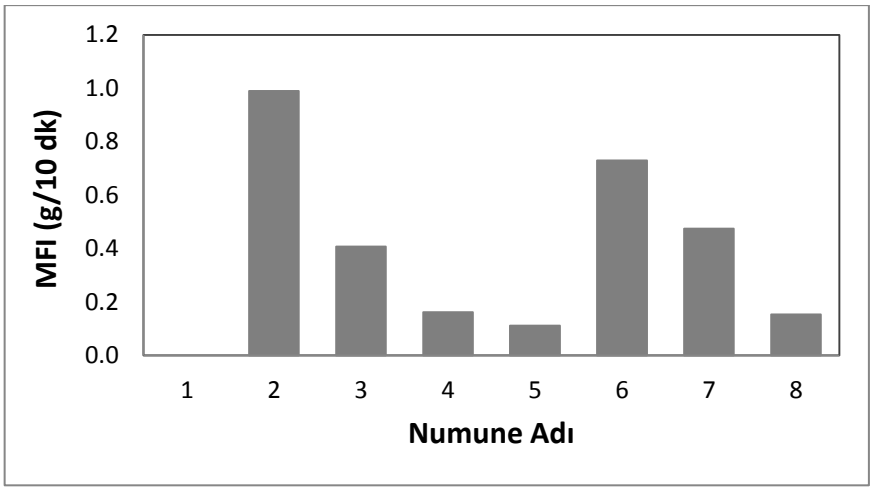
3.4. Reolojik Özellikler

Hazırlanan kompozit malzemelerin eriyik akış indeksleri (MFI) Çizelge 3.3 ve Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Testlerin yapıldığı 270 ^{0}C sıcaklıkta HDPE bozunmaya uğradığı için karşılaştırma yapılamamıştır; ancak bu durumda HDPE'nin MFI değerinin kompozit malzemelerden daha yüksek olduğu açıktır. Yapılan testler neticesinde; saf HDPE'ye, rPET ve uyumlaştırıcı (EGMA) eklenmesiyle hazırlanan rPET/HDPE/EGMA (20/80/3) polimer harmanının MFI değerinin, saf HDPE'ye göre daha az olduğu görülmüştür. Saf PET'in MFI değeri, saf HDPE'ye göre daha düşük olduğu için bu azalma beklenen bir durumdur [55, 56].

rPET/HDPE/EGMA (20/80/3) polimer harmanına artan oranlarda kalsit ve cam elyaf eklenmesiyle MFI değerindeki düşüş devam etmiştir. Kalsit ve cam elyafın, normal eriyik akışı bozarak zincir segmentlerinin hareketini engellediği ve böylece MFI değerinde azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Benzer sonuçlara literatürdeki çalışmalarda da rastlanmıştır [23, 57, 58]. Eriyik içerisindeki elyafların düzensiz dağılımı malzemenin viskoelastikliğini önemli derecede etkileyerek moleküler zincirlerin hareketini engellediği bilinmektedir [59, 60, 61, 62].

Çizelge 3.3 rPET/HDPE/EGMA polimer kompozitlerinin eriyik akış indeksi (MFI)

Numune Adı	**Bileşim (% Ağırlıkça)**	**MFI (g/10 dk)**
1	HDPE	-
2	rPET/HDPE/EGMA 20/80/3	0,99
3	rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/7	0,41
4	rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/17	0,16
5	rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/25	0,11
6	rPET/HDPE/EGMA /cam elyaf 20/80/3/4	0,73
7	rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/9	0,48
8	rPET/HDPE/EGMA /cam elyaf 20/80/3/13	0,15



Şekil 3.2 Hazırlanan kompozit malzemelerin MFI değerlerinin kalsit ve cam elyaf içeriğine göre değişimi

3.5. Termal Özellikler

rPET/HDPE/EGMA harmanlarına cam elyaf veya kalsit ($CaCO_3$) eklenmesinin erime ve kristallenme davranışları üzerindeki etkileri Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Çizelge 3.4'te, T_m, ΔH_m ve T_c simgeleri erime sıcaklığı, erime ısısı ve bozunma sıcaklığına karşılık gelmektedir. Kristallik yüzdesi X_c ile ifade edilmiştir.

Çizelge 3.4 Harmanların ve kompozitlerin kalorimetrik karakterizasyonu

Malzeme Bileşimi (% ağırlıkça)	**HDPE bileşeni**				**rPET bileşeni**			
	T_c (^{0}C)	**T_m (^{0}C)**	**ΔH_m (J/g)**	**X_c (%)**	**T_c (^{0}C)**	**T_m (^{0}C)**	**ΔH_m (J/g)**	**X_c (%)**
rPET	-	-	-	-	173,28	254,44	39,26	32,77
HDPE	109,90	134,08	191,94	65,51	-	-	-	-
rPET/HDPE/EGMA 20/80/3	112,72	131,11	131,85	45,00	-	249,01	6,13	5,12
rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/7	109,79	135,8	137,99	47,1	194,14	252,43	8,93	7,46

rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/17	113,10	131,74	103,04	35,17	192,37	251,15	6,85	5,72
rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/25	113,53	133,85	90,27	30,81	191,63	251,06	6,36	5,31
rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/4	112,43	131,68	132,41	45,19	-	251,22	8,89	7,42
rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/9	112,17	132,04	123,04	41,99	-	251,22	8,39	7,01
rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/13	111,87	131,42	117,54	40,12	-	251,60	7,08	5,91

Cam elyaf takviyesi yapılan polimer kompozitlerde, HDPE ve rPET bileşenlerinin erime sıcaklıklarında (T_m) önemli bir değişim olmamıştır. Benzer sonuçlara daha önce HDPE/PBT/cam elyaf kompozitleriyle yapılan bir çalışmada da ulaşılmış, cam elyafın HDPE ve PBT'nin erime sıcaklığına etki etmediği bulunmuştur [63]. Cam elyaf takviyesinin T_m ve T_c üzerinde önemli bir etkisi olmazken, HDPE ve rPET bileşenlerinin kristallenme derecesini (X_c) azalttığı gözlenmiştir.

Kalsit ($CaCO_3$) eklenerek yapılan kompozitlerde, HDPE ve rPET bileşenlerinin erime (T_m) ve kristallenme (T_c) sıcaklıklarında önemli bir değişlik olmazken, kalsit oranının artması her iki bileşenin de kristallik derecesini (X_c) düşürmüştür. Kalsit partiküllerinin çekirdeklenme ajanı gibi davranıp kristallenmeyi arttırması beklenebilir [64, 65]. Ancak kristallenme derecesindeki bu düşüşün sebebinin EGMA olduğu düşünülmektedir. Benzer sonuçlara daha önceki çalışmalarda da rastlanmıştır. Uyumlaştırıcı eklenmesi T_m ve T_c üzerinde etki göstermezken $\%X_c$'yi düşürdüğü görülmüştür [23, 66].

3.6. Mekanik Özellikler

Kalsit ve cam elyafın mekanik özellikler üzerine olan etkilerini incelemek üzere rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına %7, %17, %25 oranlarında kalsit ve %4, %9 %13 oranlarında cam elyaf katılarak çift vidalı ekstrüderde polimer kompozit malzemeler

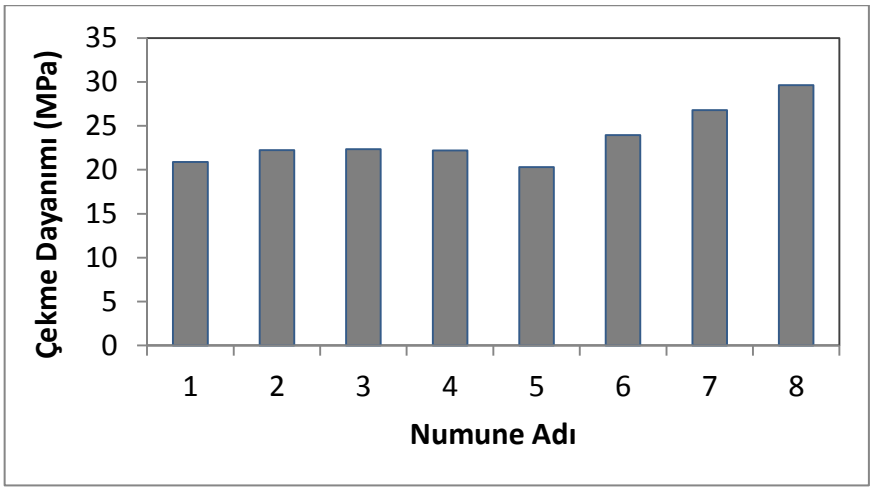
hazırlanmıştır. Hazırlanan bu malzemelere üç nokta eğme, çekme ve darbe testleri uygulanmıştır. Her bir mekanik testte kaydedilen dayanım değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına eklenen kalsit ve cam elyafın mekanik özellikler üzerindeki etkisi

Numune Adı	**Bileşim (% Ağırlıkça)**	**Çekme Dayanım (MPa)**	**Eğme Dayanım (MPa)**	**Darbe Dayanımı (kj/m^2)**
1	HDPE	20,88 ± 1,25	20,96 ± 0,38	81,74 ± 1,32
2	rPET/HDPE/EGMA 20/80/3	22,23 ± 0,37	24,19 ± 0,21	74,31 ± 1,38
3	rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/7	22,36 ± 0,08	27,23 ± 0,50	68,98 ± 2,75
4	rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/17	22,19 ± 0,16	29,83 ± 0,56	53,95 ± 2,53
5	rPET/HDPE/EGMA/kalsit 20/80/3/25	20,32 ± 0,44	31,93 ± 0,44	42,59 ± 3,68
6	rPET/HDPE/EGMA /cam elyaf 20/80/3/4	23,93 ± 0,41	28,60 ± 0,61	73,56 ± 4,14
7	rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf 20/80/3/9	26,81 ± 0,25	32,42 ± 0,50	48,53 ± 2,40
8	rPET/HDPE/EGMA /cam elyaf 20/80/3/13	29,62 ± 0,31	37,64 ± 0,15	35,47 ± 1,87

3.6.1.Çekme Özellikleri

Polimer hibrit kompozitlerin çekme testi sonunda elde edilen çekme dayanım değerleri Şekil 3.3'te verilmektedir. Malzemelerin adlandırılmasında Çizelge 3.5'te yer alan kodlamalar kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Polimer hibrit kompozitlerinin çekme dayanımlarının kalsit ve cam elyaf içeriğine göre değişimi

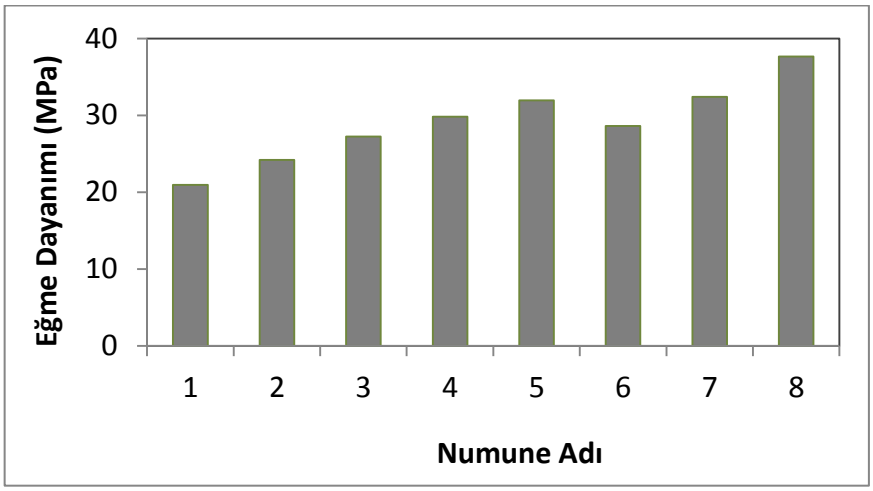
Şekil 3.3'te görüldüğü gibi saf HDPE'ye rPET eklenmesiyle çekme dayanımında iyileşme olurken, rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına eklenen kalsiyum karbonat oranının artmasıyla çekme dayanımında az miktarda düşüş meydana gelmiştir. Çekme dayanımındaki düşüşün sebebi kalsit oranı arttıkça matris faz ile kalsit ($CaCO_3$) ara yüzeyindeki adezyonun azalması, yapıda oluşan boşlukların stres toplanma noktası görevi görmesi ve buna bağlı olarak stres iletiminin az olmasıyla açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla uyum göstermektedir [67, 68].

Çekme testi sonucunda cam elyaf takviye oranı arttıkça kompozit malzemelerin çekme dayanımlarında artış meydana geldiği görülmüştür. Cam elyafın çekme dayanımı HDPE ve PET polimerlerine göre çok daha yüksek olduğundan, rPET/HDPE/EGMA/cam elyaf kompozitlerinin çekme dayanımının cam elyaf takviye oranıyla birlikte artması beklenen bir durumdur. Burada; malzemeye uygulanan stres matris yardımıyla

elyaflara iletilir, dayanımı yüksek olan elyaflar malzemenin çekme dayanımını yukarılara taşır. Elde edilen sonuçlar literatürle uyum içerisindedir [69].

3.6.2.Eğme Özellikleri

Polimer kompozitlerin üç nokta eğme testi sonunda elde edilen eğme dayanım değerleri Şekil 3.4'te verilmektedir. Malzemelerin adlandırılmasında Çizelge 3.5'te yer alan kodlamalar kullanılmıştır.

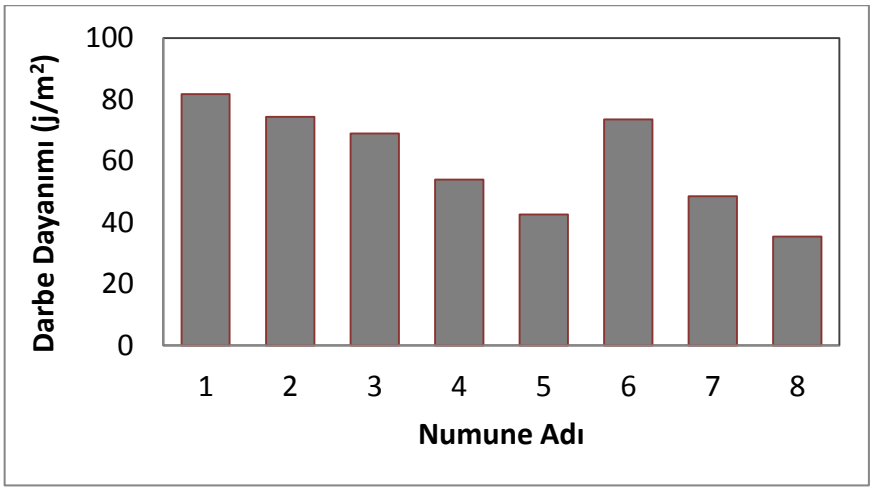


Şekil 3.4 Polimer hibrit kompozitlerinin eğme dayanımlarının kalsit ve cam elyaf içeriğine göre değişimi

Test sonuçlarına göre, rPET/HDPE/EGMA polimer harmanının saf HDPE'ye göre daha iyi eğme özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. PET, HDPE'ye göre daha iyi eğme özelliği gösterdiğinden polimer harmanın eğme dayanımındaki artış beklenen bir durumdur [70]. Ortama kalsit eklendikçe eğme özelliklerindeki iyileşme devam etmiştir [71]. Aynı etki cam elyaf takviyesiyle de elde edilmiş, artan cam elyaf oranlarında polimer hibrit kompozitlerinin eğme dayanımları beklendiği gibi artmıştır [23]. Söz konusu artış, kalsit dolgulu polimer kompozitlerde görülenden daha fazladır.

3.6.3.Darbe Özellikleri

Polimer kompozitlerin darbe testi sonunda elde edilen darbe dayanım değerleri Şekil 3.5'te verilmektedir. Malzemelerin adlandırılmasında Çizelge 3.5'te yer alan kodlamalar kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Polimer hibrit kompozitlerinin darbe dayanımlarının kalsit ve cam elyaf içeriğine göre değişimi

Test sonuçlarına göre, saf HDPE'ye rPET eklenmesiyle darbe dayanımında düşüş meydana gelmiştir. Saf PET'in darbe dayanımı HDPE'ye göre daha düşük olduğu için polimer harmanının darbe dayanımındaki düşüş beklenen bir durumdur [72]. rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına kalsit ve cam elyaf eklenmesiyle darbe dayanımında azalma görülmüştür. Bu azalmanın, takviye maddesi (kalsit ve cam elyaf) ile polimer harmanı arasındaki zayıf adezyondan kaynaklandığı düşülmektedir [68]. Polimerlere mineral dolguların eklenmesindeki yaygın amaçlardan biri maliyeti azaltmaktır. Dolgular ayrıca sertliği arttırmak, IR radyasyon absorpsiyonunu arttırmak gibi başka amaçlarla da kullanılabilir. Bununla birlikte, polimerlere katı inorganik dolgu maddelerinin ilavesinin genellikle gevrekleşmeye yol açarak darbe enerjisini önemli ölçüde azalttığı ve kullanımından kaçınılması gerektiği de oldukça yaygın bir görüştür [18]. Bu nedenle elde edilen test sonuçları, kalsit ve cam elyaf katkılarının malzemede gevrekleşmeye sebep olmasından kaynaklanmış olabilir.

3.7. Maliyet Analizi

Saf HDPE ve hazırlanan kompozit malzemelerin maliyetleri içerikleriyle birlikte Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Hazırlanan kompozit malzemelerin maliyetleri

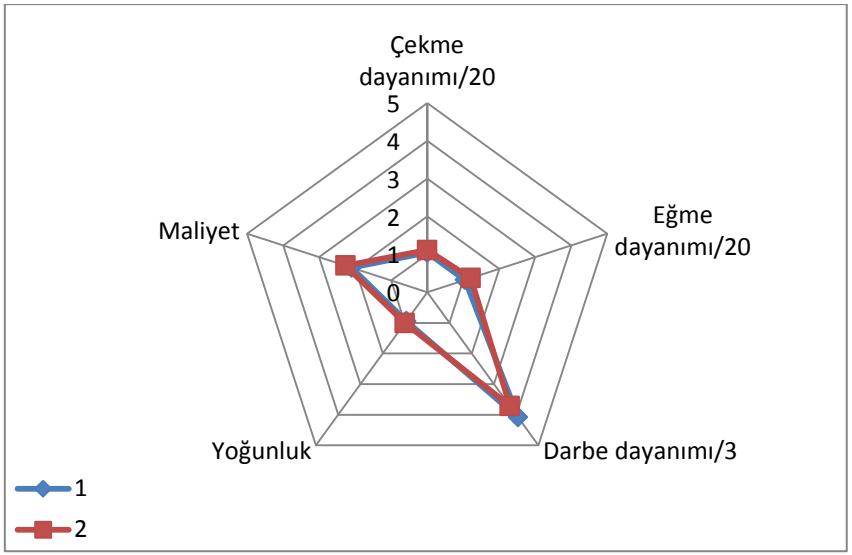
Numune Adı	**İçerik (% Ağırlıkça)**					**Fiyat (USD/kg)**					**Hammadde maliyet (USD/kg)**	**Üretim maliyet (USD/kg)**	**Toplam maliyet (USD/kg)**
	HDPE	*rPET*	*EGMA*	*Cam elyaf*	*Kalsit*	*HDPE*	*rPET*	*EGMA*	*Cam elyaf*	*Kalsit*			
1	100	0	0	0	0	2,1	1,05	6,5	1,4	0,08	2,10	0,00	2,10
2	77	20	3	0	0	2,1	1,05	6,5	1,4	0,08	2,02	0,25	2,27
3	73	20	3	4	0	2,1	1,05	6,5	1,4	0,08	1,99	0,25	2,24
4	68	20	3	9	0	2,1	1,05	6,5	1,4	0,08	1,96	0,25	2,21
5	64	20	3	13	0	2,1	1,05	6,5	1,4	0,08	1,93	0,25	2,18
6	70	20	3	0	7	2,1	1,05	6,5	1,4	0,08	1,88	0,25	2,13
7	60	20	3	0	17	2,1	1,05	6,5	1,4	0,08	1,68	0,25	1,93
8	52	20	3	0	25	2,1	1,05	6,5	1,4	0,08	1,52	0,25	1,77

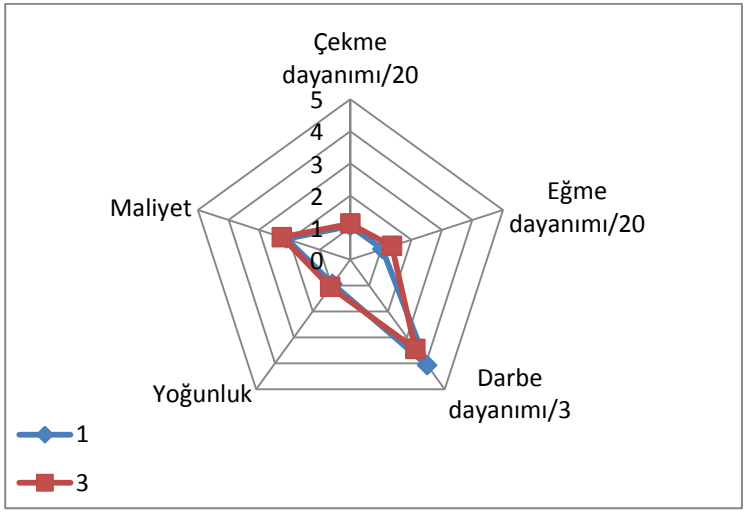
Çizelge 3.5'te toplam maliyetlere bakıldığında, katkı oranı arttıkça maliyetlerin azaldığı görülmektedir. Kullanım amacına en uygun malzeme seçimi, testler sonunda elde edilen malzeme özellikleriyle birlikte maliyetler de göz önüne alınarak yapılmalıdır. Yine kullanım amacına göre malzemenin hangi özelliklerinin daha çok dikkate alınması gerektiğine karar verilir ve optimum seçim yapılır. Buna göre, hazırlanan malzemeler mekanik özellikleri ve maliyetlerine göre çıkış noktası olan HDPE referans alınarak karşılaştırılmıştır. Yapılan değerledirme Çizelge 3.7'de ve Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

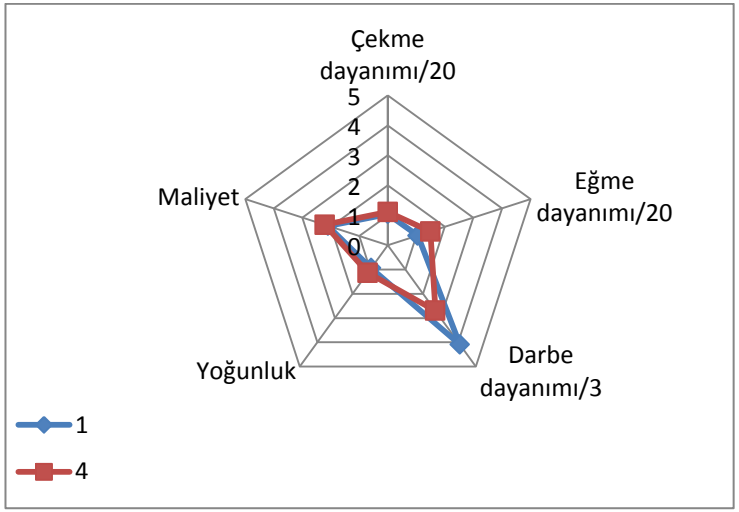
Çizelge 3.7 Hazırlanan kompozitlerin karşılaştırılması

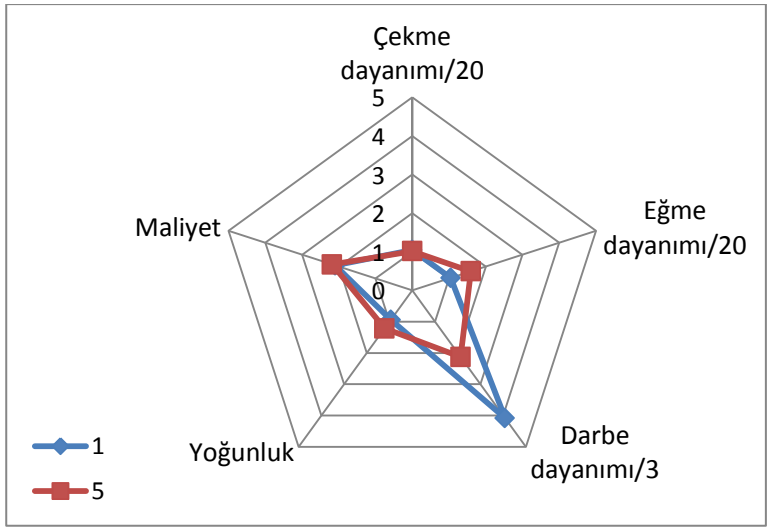
Numune Adı**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Çekme dayanımı/20*	1,04	1,11	1,12	1,11	1,02	1,20	1,34	1,48
Eğme dayanımı/20*	1,05	1,21	1,36	1,49	1,60	1,43	1,62	1,88
Darbe dayanımı/20*	4,09	3,72	3,45	2,70	2,13	3,68	2,43	1,77
Yoğunluk	0,94	1,01	1,06	1,14	1,22	1,04	1,06	1,09
Maliyet	2,10	2,27	2,24	2,21	2,18	2,13	1,93	1,77

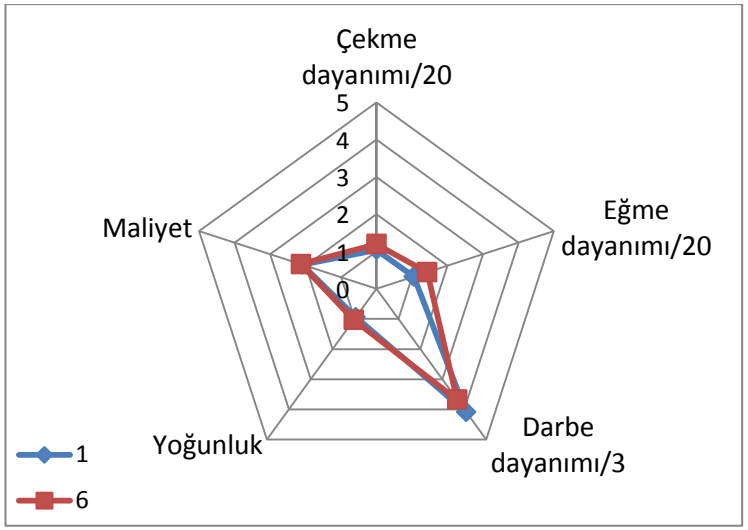
* Değerlerin grafikte aynı skalaya düşmesi için çekme, eğme ve darbe sonuçları ile bunlara karşılık gelen hedef değerler 20'ye bölünmüştür.
**Numune isimleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

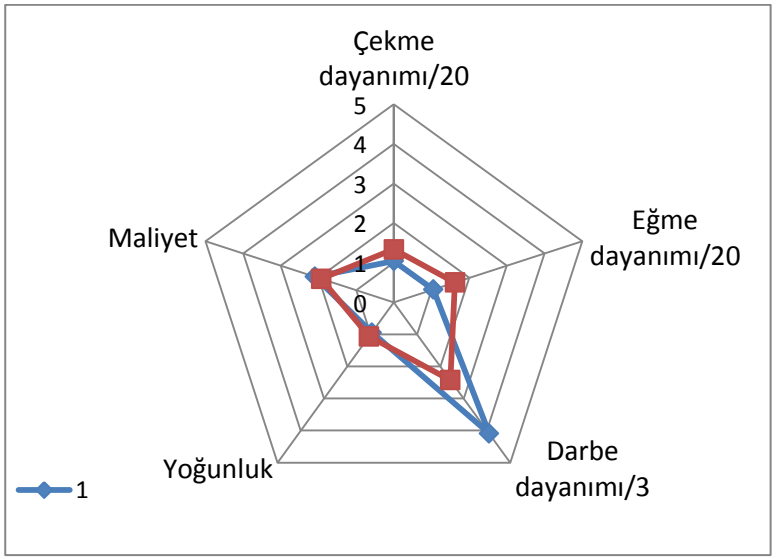

Çekme dayanımı/20
5
4
3
2
1
0
Eğme dayanımı/20
Darbe dayanımı/3
Yoğunluk
Maliyet
1
2

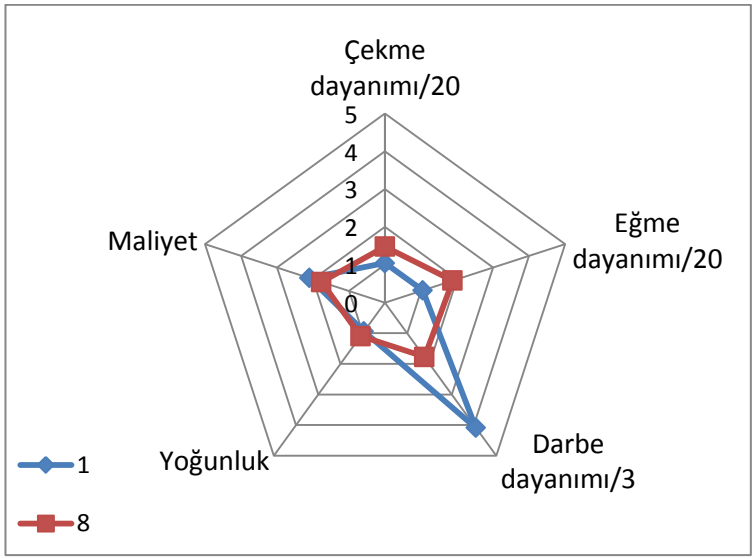

Çekme dayanımı/20
5
4
3
2
1
0
Eğme dayanımı/20
Darbe dayanımı/3
Yoğunluk
Maliyet
1
3

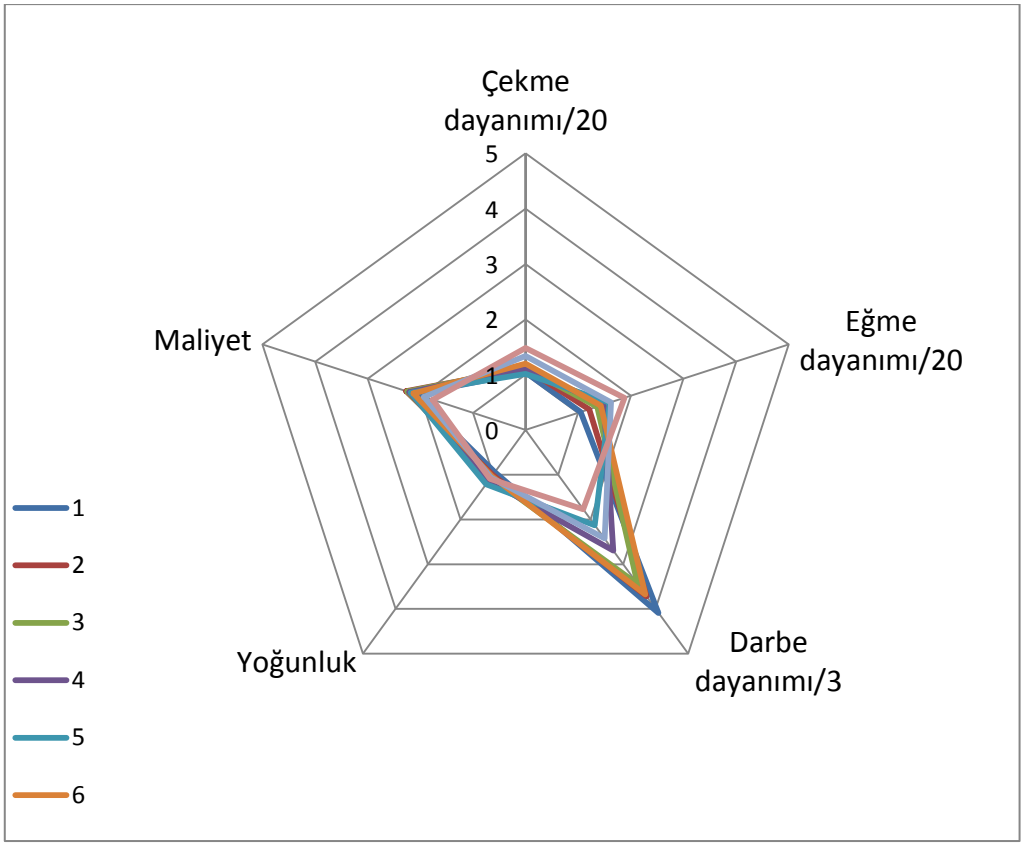

Çekme dayanımı/20
5
4
3
2
1
0
Eğme dayanımı/20
Darbe dayanımı/3
Yoğunluk
Maliyet
1
4


Çekme dayanımı/20
Eğme dayanımı/20
Darbe dayanımı/3
Yoğunluk
Maliyet
0
1
2
3
4
5
1
5


Çekme dayanımı/20
Eğme dayanımı/20
Darbe dayanımı/3
Yoğunluk
Maliyet
0
1
2
3
4
5
1
6


Çekme dayanımı/20
Eğme dayanımı/20
Darbe dayanımı/3
Yoğunluk
Maliyet
0
1
2
3
4
5
1


Çekme dayanımı/20
Eğme dayanımı/20
Darbe dayanımı/3
Yoğunluk
Maliyet
0
1
2
3
4
5
1
8



Şekil 3.6 Hazırlanan kompozitlerin karşılaştırılması

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Polimer malzemelerin özelliklerini geliştirmek ve maliyetlerini düşürmek için bu malzemeler içerisine çeşitli ürünler eklenmektedir. Bu çalışmada amaçlanan yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)'nin çeşitli katkılarla takviye edilerek mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve maliyenin düşürülmesidir. Bu amaçla ilk önce saf HDPE'ye geri dönüşüm polietilentereftalat (rPET) ve uyumlaştırıcı olarak EGMA eklenerek polimer harmanı elde edilmiş ve sonrasında bu harmana çeşitli oranlarda cam elyaf ya da kalsit eklenerek harmanın özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla hazırlanan polimer hibrit kompozitlerinin çeşitli testlerle morfolojik, reolojik, termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Üretim maliyetini düşürmek ve mekanik özellikleri iyileştirmek için polimer malzemelere katkı maddeleri eklenmesi yaygın bir uygulamadır. Polimer kompozitlerde en sık karşılaşılan sorun hidrofilik katkılarla hidrofobik polimer matrisi arasındaki uyumsuzluktur. Bu uyumsuzluk katkı ve polimer arasındaki adezyonun zayıf olmasına ve bu nedenle aralarındaki yük transferinin düşük olmasına sebep olur. Mekanik özellikler bu olgudan olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle, katkı ile polimer türüne bağlı olarak adezyonu arttırmak için çeşitli bağlayıcılar/uyumlaştırıcılar kullanılmaktadır. Söz konusu çalışmada polimer matris ile katkılar arasındaki adezyonu arttırmak için EGMA kullanılmıştır.

rPET/HDPE/EGMA harmanına ait SEM görüntüleri incelendiğinde rPET parçacıklarının HDPE matris içerisine dağıldığı; ancak yüzeyde hava boşluklarının olduğu görülmektedir. Bu boşluklar stres toplanma noktaları görevi görüp matris ile katkı

arasındaki yük iletimini düşürür. Normalde EGMA'nın fazlar arası adezyonu arttırarak polimer matrisin cam elyafın etrafını sarmasını beklenmektedir. Ancak elde edilen SEM görüntülerinde fazlar arası dağılımın yeterince iyi olmadığı gözlenmektedir. Aynı şekilde, cam elyaf içeren polimer kompozitlerde de homojenizasyonun iyi şekilde sağlanamadığı görülmüştür. Malzeme morfolojisindeki bu olumsuzlukların adezyonun zayıf olmasından kaynaklandığı, diğer bir deyişle polimer malzeme ve katkı arasındaki bağlanma istenilen düzeye erişememiştir. Bu durum uyumlaştırıcı (EGMA) miktarının düşük kalmasından kaynaklanmış olabilir.

Kalsit, düşük maliyeti ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle termoplastiklerde sıkça kullanılan bir katkı türüdür. Bu çalışmada literatürde yapılanlardan farklı olarak rPET/HDPE/EGMA polimer harmanlarına kalsit (% 7, %17 ve %25) eklenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde kalsit ile polimer matris arası uyumun %7 kalsit içeren malzemede, % 17 ve %25'e göre kısmen daha iyi olduğu söylenebilir. Burada uyumlaştırıcı varlığının, takviye fazın dağılımını ve fazlar arası adezyonu arttırması beklenmektedir. Ancak kalsit oranı arttıkça hava boşluğu oluşumunun arttığı ve kalsitin belli bölgelerde daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, malzemede heterojenliğe sebep olarak malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilir. Normalde PET ile kalsit tanecikleri arasındaki iyi bir adezyon kuvveti vardır. Polimer matrisin iyi derecede karışması sağlanamadığı için hazırlanan kompozit malzemelerde PET, kalsitin etrafını sararak malzemenin mekanik özelliklerini belirlemiş olabilir.

Eriyik akış indeksi (MFI) testleri sonucu; saf HDPE'ye, rPET ve uyumlaştırıcı (EGMA) eklenmesiyle hazırlanan rPET/HDPE/EGMA polimer harmanının MFI değerinin, saf HDPE'ye göre daha az olduğu görülmüştür. Saf PET'in MFI değeri, saf HDPE'ye göre daha düşük olduğu için bu azalma beklenen bir durumdur. rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına artan oranlarda kalsit ve cam elyaf eklenmesiyle MFI değerindeki düşüş devam etmiştir. Kalsit ve cam elyafın, normal eriyik akışı bozarak zincir segmentlerinin hareketini engellediği ve böylece MFI değerinde azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Eriyik içerisindeki elyafların düzensiz dağılımı malzemenin viskoelastikliğini önemli derecede etkileyerek moleküler zincirlerin hareketini engellediği düşünülmektedir.

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri sonucunda; cam elyaf takviyesi yapılan polimer hibrit kompozitlerde, HDPE ve rPET bileşenlerinin erime sıcaklıklarında (T_m) önemli bir değişim olmamıştır. Cam elyaf takviyesinin T_m ve T_c üzerinde önemli bir etkisi olmazken, HDPE ve rPET bileşenlerinin kristallenme derecesini (X_c) azaltmıştır. Kalsit eklenerek hazırlanan polimer hibrit kompozitlerde; HDPE ve rPET bileşenlerinin erime (T_m) ve kristallenme (T_c) sıcaklıklarında önemli bir değişlik olmazken, kalsit oranının artması her iki bileşenin de kristallik derecesini (X_c) düşürmüştür. Bu düşüşün EGMA varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. EGMA fazlar arası dağılımı arttırıp tanecik boyutunu düşürme görevi gördüğünden kristallenmeyi de düşürmüş olabilir.

Yapılan çekme testi sonucunda ise; saf HDPE'ye rPET eklenmesiyle çekme dayanımında iyileşme olurken, rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına eklenen kalsiyum karbonat oranının artmasıyla çekme dayanımında az miktarda düşüş meydana gelmiştir. Çekme dayanımındaki düşüşün sebebi kalsit oranı arttıkça polimer matris faz ile kalsit ara yüzeyindeki adezyonun azalması, yapıda oluşan hava boşluklarının stres toplanma noktası görevi görmesi ve buna bağlı olarak stres iletiminin az olmasıyla açıklanabilir. Nitekim SEM görüntülerinde de hava boşlukları oluşumları görülmektedir. Cam elyaf takviyesi ise kalsitin tam tersi etki göstererek malzemelerim çekme dayanımlarında artış meydana gelmiştir. Cam elyafın çekme dayanımı HDPE ve PET polimerlerine göre çok daha yüksek olduğundan, hazırlanan kompozitlerdeki bu özellik beklenen bir durumdur. Malzemeye uygulanan stresin, polimer matris yardımıyla cam elyaflara iletildiği ve dayanımı yüksek olan cam elyafların malzemenin çekme dayanımını da arttırdığı düşünülmektedir.

Yapılan üç nokta eğme testi sonuçlarına göre; rPET/HDPE/EGMA polimer harmanının saf HDPE'ye göre daha yüksek eğme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. PET, HDPE'ye göre daha iyi eğme özelliği gösterdiğinden polimer harmanın eğme dayanımını da arttırmıştır. Ortama kalsit eklendikçe eğme özelliklerindeki iyileşme devam etmiştir. Aynı etki cam elyaf takviyesiyle de elde edilmiş, artan cam elyaf oranlarında polimer hibrit kompozitlerinin eğme dayanımları beklendiği gibi artmıştır. Söz konusu artış, kalsit içeren kompozitlerde görülenden daha fazladır.

Polimerlere katı inorganik dolgu maddelerinin ilavesinin genellikle gevrekleşmeye yol açarak darbe enerjisini önemli ölçüde azalttığı ve kullanımından kaçınılması gerektiği yönünde yaygın bir kanı vardır. Polimer kompozitlerin darbe testi sonuçlarına göre, saf HDPE'ye rPET eklenmesiyle darbe dayanımında düşüş meydana gelmiştir. Saf PET'in darbe dayanımı HDPE'ye göre daha düşük olduğu için elde edilen sonuçlar beklenen durumu yansıtmaktadır. rPET/HDPE/EGMA polimer harmanına kalsit veya cam elyaf eklenmesiyle darbe dayanımında azalma görülmüştür. Bu azalmanın, takviye maddesi (kalsit veya cam elyaf) ile polimer harmanı (rPET/HDPE/EGMA) arasındaki zayıf adezyondan kaynaklandığı düşülmektedir. Nitekim SEM görüntülerinde bu durum açıkça görülmektedir.

Özetle bu çalışmanın sonunda aşağıdaki yargılara varılmıştır;

- HDPE'nin mekanik özelliklerinini katkı maddesi türü ve miktarına çok duyarlı olduğu görülmüştür.
- rPET'in saf HDPE'ye eklenerek maliyetin düşürülmesi ve geri dönüşüme katkıda bulunulmasının mümkün olduğu görülmüştür.
- Cam elyaf ve kalsit takviyesiyle rPET/HDPE/EGMA polimer harmanlarının çekme ve eğme dayanımlarında artış görülmüştür.
- Cam elyaf ve kalsit takviyesiyle rPET/HDPE/EGMA polimer harmanlarının darbe dayanımlarında artış görülmüştür.
- Tüm mekanik testlerde cam elyaf içeren polimer hibrit kompozitlerin özelliklerinin kalsit içeren kompozitlere göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bu durum cam elyafın üstün mekanik özelliklerin kaynaklanmış olabileceği gibi kullanılan uyumlaştırıcının (EGMA) cam elyaf-polimer matris sistemi için daha iyi sonuçlar vermiş olmasından da kaynaklanmış olabilir.
- SEM görüntülerinde polimer matris ile katkılar arası yapışmanın yeteri kadar sağlanamadığı görülmüştür. HDPE ile rPET arasındaki yapışmanın yeterli düzeye ulaşamaması, sonrasında eklenen katkı maddelerinin de yeterli dağılımı gösterememesine neden olmuş olabilir.

Bundan sonraki aşamada;

- Uyumlaştırıcı türü ve oranı üzerinde daha ileri araştırmalar yapılıp malzemelerin homojenliğinin arttırılması hedeflenmelidir.
- Kalsit partiküllerinin olası topaklaşması (aglomerasyonu) malzemede heterojenliğe ve stres birikme noktalarının artmasına sebep olmuş olabilir. Nitekim kalsit çok çabuk nem kapabilen ve buna bağlı olarak topaklaşmaya uğrayabilen bir malzemedir. Bu ihtimale karşı çeşitli kimyasallarla kaplanarak yüzey gerilimi düşürülmüş kalsit ya da tanecik boyutu daha küçük olan nano-kalsit kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Saçak, M., (2002). "Polimer Kimyası", Ankara Üniversitesi, Gazi Kitabevi.

[2] Kalfoglou, N. K., Skafidas, D. S., ve Kallitsis, J. K., (1995). "Comparison of compatibilizer effectiveness for PET/HDPE blends", Polymer, 36(23): 4453-4462, 1995.

[3] Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), (2008). "Polimer Sentezi 1", T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

[4] Kazancı, A., (2010). "Polimer Schiff Bazları ve Metal Komplekslerinin Sentezi ve Katalizör Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü".

[5] Emiroğlu, S. E., (1999). "Metil Metakrilatın Yük Transfer Kompleksleri Varlığında Serbest Radikal Fotopolimerizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü".

[6] Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), (2006) "Plastik Teknolojisi, Polimerlerin Plastik Özellikleri 2", T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

[7] Yaşar, H., (2001), "Plastikler Dünyası", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, 2. Baskı, Ankara.

[8] Polietilen, www.kimyaturk.net, 23.04.2014.

[9] Petkim Petrokimya A.Ş. 2013 Yılı Faaliyet Raporu.

[10] Altun, Ş., Ulcay, Y., (2003). "Polietilen Teraftalat (PET) Polimerinde Ekstruder İçerisinde Önemli Olan Bozunmalar", Mühendislik Bilimleri Dergisi 2003 9 (1) 89-93.

[11] Jabarin, S. A., Lofgren, E. A., ve Shah, S. B., (1992). "High-Density Polyethylene-Poly(ethylene terephthalate) Blends", In Emerging Technologies in Plastics Recycling ACS Symposium Series, American Chemical Society, Washington, DC.

[12] Torres, N., Robin, J.J., ve Boutevin, B., (2001), "Study of Compatibilization of HDPE- PET Blends by Adding Grafted or Statistical Copolymers", J. Appl. Polym. Sci.81: 2377-2386.

[13] Yao, L., ve Beatty, C., (1999), "The In Situ Compatibilization of HDPE/PET Blends", Imaging and Image Analysis Applications for Plastics, Plastic Design Library, Norwick.

[14] Jarukumjorn, K., ve Chareunkvun, S., (2007), "Compatibilization of recycled high density polyethylene (HDPE)/polyethylene terephthalate (PET) blends" , Suranaree J. Sci. Technol. Vol. 14 No. 1; January - March 2007.

[15] Pietrasanta, Y., Robin, J. J., Torres, N., Boutevin, B., (1999) "Reactive compatibilization of HDPE/PET blends by glycidyl methacrylate functionalized polyolefins", Macromol. Chem. Phys.200,142–149 (1999)

[16] Dagli, S. S., ve Kamdar, K. M., (1994), "Effects of component addition protocol on the reactive compatibilization of HDPE/PET blends", Polymer Engineering & Science (34)23: 1709–1719.

[17] Pawlak, A., Morawiec, J., Pazzagli, F., Pracella M., ve Galeski, A., (2002), "Recycling of Postconsumer Poly(ethyleneterephthalate) and High-Density Polyethylene by Compatibilized Blending", Journal of Applied Polymer Science, 86(6): 1473–1485, 7.

[18] Pluta, M., Bartczak, Z., Pawlak, A., Galeski, A., Pracella, M., (2001), "Phase Structure and Viscoelastic Properties of Compatibilized Blends of PET and HDPE Recyclates", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 82, 1423–1436, 2001.

[19] Arıcasoy, O., (2006). Kompozit Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası.

[20] Thomas, S., Joseph, K., Malhotra, S. K., Goda, K., Sreekala, M. S. (2012), Polymer Composites, Volume 1: Macro- and Microcomposites, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

[21] Ahrabi, Z., (2009), "PET Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[22] Eker, A., (2008), "Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri", Ders Notları

[23] Chareunkvun, S., (2007), "A Study of Compatibilization And Properties of Recycled High Density Polyethylene (HDPE)/Polyethylene Terephthalate (PET) Blends", Yüksek Lisans Tezi, Suranaree University of Technology Polymer Engineering.

[24] Harris, B., (1999). Engineering Composite Materials, The Institute of Materials, London.

[25] Şişecam A.Ş., "Glass Fiber Production", http://www.camelyaf.com//production/detay.aspx?SectionID=mkOyAEk1Odf2rS97ah5B9g%3d%3d&ContentID=tWJpZDpKvwBF%2fNeoMl1fBw%3d%3d, 29 Haziran 2014.

[26] USA Department of Defence, (2002). "Composite Materials Handbook, Polymer Matrix Composites Materials Usage, Design, and Analysis, Volume 3".

[27] Şahin N., (2008), "Kalsit Hakkında Bazı Bilgiler", Madencilik Bülteni, Temmuz-Eylül 2008.

[28] DPT, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I,(Asbest-Grafit-Kalsit-Fluorit-Titanyum) Çalışma Grubu Raporu, Ankara 2001.

[29] Bilen, M., (2010), "Çelikhane Curuflarından Liç - Karbonatlaştırma Prosesi ile Kalsiyum Karbonat Kazanılması", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[30] Elleithy, R. H., Ali, I., Ali, M. A., Al-Zahrani, ve S. M., (2010), "High Density Polyethylene/Micro Calcium Carbonate Composites: A Study of the

Morphological, Thermal, and Viscoelastic Properties", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 117, 2413–2421 (2010).

[31] Kwon, S., Kim, K. J., Kim, H., Kundu, P. P., Kim, T. J., Lee, Y. K., Lee, B. H., Choe, S., (2002) "Tensile Property and Interfacial Dewetting In The Calcite Filled HDPE, LDPE, and LLDPE Composites", Polymer 43 (2002) 6901–6909.

[32] Gerilim - gerinim eğrisi, http://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/gerilim-gerinim-egrisi/, 20 Nisan 2014.

[33] Stuart, B. H., (2002), Polymer Analysis, John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

[34] Kompozit Deneyleri, OMU Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Malzeme Üretim Laboratuvarı I Deney Föyü.

[35] Üç Noktalı Eğilme Deneyi, Başkent Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Makina Mühendisliği Laboratuvarı.

[36] Metalik Malzemelerin Darbe Deney Föyü, Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.

[37] ISO 179 Test Standard Explained, http://www.ides.com/property_descriptions/ISO179.asp, 07.09.2014

[38] Brittleness and the Melt Flow Index (MFI), http://www.chenesan-intl.eu/Contract%20Manufacturing/melt_flow_index.html, 07.01.2014.

[39] Cabot Corporation, M.A., U.S.A. Melt Flow Index, http://www.cabot-corp.com/wcm/download/en-us/mb/mfi.pdf, 07.01.2014.

[40] Şimsek, A., (2008) "Kızartma Yağlarının Kararlılığı Ve Termal Yöntemler ile Kalitesinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[41] Yıldız, A., Genç, Ö. ve Bektaş, S. 1997. Enstrümental Analiz Yöntemleri. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 273 s., Ankara.

[42] Perkin Elmer, (2013), FAQ Differential Scanning Calorimetry (DSC) A Beginner's Guide, 2013-2014, PerkinElmer, Inc.

[43] Advanced Lab: Differential scanning calorimetry investigation of polymers, Berlin Humboldt Üniversitesi, Fizik Enstitüsü.

[44] Ergun, Ü., (2009), "Ono ve Onno Tipindeki Schiff Bazlarının Geçiş Metalleri Komplekslerinin Termal Bozunma Tepkimelerinde Kinetik Parametrelerin Belirlenmesi ve Bazı Koordinasyon Bağ Enerjilerinin Hesaplanması", Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[45] Taramalı Elektron Mikroskobu, http://www.selcuk.edu.tr/Sayfa.aspx?birim=228&sayfa=5874&dt=1, 22 Nisan 2014.

[46] Scanning Electron Microscope, http://www.purdue.edu/ehps/rem/rs/sem.htm, 07.09.2014

[47] Wunderlich, B. ve Dole, M. (1957), "Specific heat of synthetic high polymers. VII high pressure polyethylene". J. Polym. Sci.24: 201-213.

[48] TS EN ISO 527-5: Plâstikler – Çekme Özelliklerinin Tayini – Bölüm 5: Tek Yönlü Elyaf Takviyeli Plâstik Kompozitler İçin Deney Şartları.

[49] TS 985 EN ISO 178: Plastikler- Eğilme Özelliklerinin Tayini.

[50] TS EN ISO 179-1: Plâstikler - Charpy Darbe Özelliklerinin Tayini - Bölüm 1: Ölçü Aletsiz Darbe Deneyi.

[51] Kalfoglou, N., Skafidas, D. S., ve Kallitsis, K. J., (1995) "Comparison of Compatibilizer Effectiveness for PET/HDPE blends", Polymer 36(23) 1995.

[52] Tselios, CH., Bikiaris, D., Savidis, P., ve Panayiotou, C., (1999), "Glass-fiber reinforcement of in situ compatibilized polypropylene/polyethylene blends", J. Mater. Sci.34: 385-394.

[53] Sahnoune, F., Lopez-Cuesta, J.M., ve Crespy, A. (1999). Effect of elastomer interfacial agents on tensile and impact properties of CaCO3filled HDPE. J. Mater. Sci.34: 535-544.

[54] Huang, R., Xu, X., Lee, S., Zhang, Y., Kim, B.J., ve Wu, Q., 2013. High Density Polyethylene Composites Reinforced with Hybrid Inorganic Fillers: Morphology, Mechanical and Thermal Expansion Performance, Materials 2013,6, 4122-4138.

[55] Salminen, P., 2013. Using recycled polyethylene terephthalate (PET) in the production of bottle trays. Degree Thesis, Plastics Technology, Arcada.

[56] Srinivasan, K.S.V. 1998. Macromolecules New Frontiers, Vol II: Blends of High Density Polyethylene And Polyethylene Terephthlate, Allied Publishers Ltd. New Delhi.

[57] Giraldi, M., Bartoli, J.R., Velasco, J.I., ve Mei, L.H.I., (2005), "Glass fiber recycled poly(ethylene terephthalate) composites: mechanical and thermal properties", Polym. Testing.24: 507-512.

[58] Leong, Y. W., Abu Bakar, M. B., Z. A. M., Ishak, ve Ariffin, A., (2004). Effects of Filler Treatments on the Mechanical, Flow, Thermal, and Morphological Properties of Talc and Calcium Carbonate Filled Polypropylene Hybrid Composites, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 98, 413– 426.

[59] Yamane H, Tanigawa M, Komoto S, ve Takahashi M., (1997). "Dispersed state of glass fibers and dynamic viscoelasticity of glass fiber filled polypropylene melts", Nihon Reoroji Gakk 1997;25(4):189–90.

[60] Joseph, P. V., Oommen Z., Joseph K., ve Thomas S., (2002), "Melt rheological behaviour of short sisal fibre reinforced polypropylene composites", J Thermoplast Compos 2002;15(2):89–114

[61] Otaa, W.N., Amicob, S.C., ve Satyanarayanac, K.G., (2005), "Studies on the combined effect of injection temperature ve fiber content on the properties of polypropylene-glass fiber composites", Composites Science and Technology 65(69): 873–881.

[62] Joshi, M., Maiti, S.N., ve Misra, A. (1992), "Poly(butylene terephthalate)/high density polyethylene alloys. II. Mechanical properties and rheology", J. Appl. Polym. Sci.45: 1837-1847.

[63] Joshi, M., Maiti, S.N., ve Misra, A. (1994), "Studies on the thermal, dynamic mechanical and rheological behaviourof short-glass-fiber-reinforced composites based on poly(butylene terephthalate)/high density polyethylene blends", Polymer.35 (17): 3679-3685.

[64] Pingping, Z. ve Dezhu, M. (2000), "Study on the double cold crystallization peaks of poly(ethylene terephthalate) 3. The influence of the addition of calcium carbonate (CaCO3)", Eur. Polym. J. 36: 2471-2475.

[65] Gonzalez, J., Albano, C., Ichazo, M., ve Diaz,B. (2002), "Effects of coupling agents on mechanical and morphological behavior of the PP/HDPE blend with two different CaCO3", Eur. Polym. J. 38: 2465-2475.

[66] Pracella, M., Rolla, L., Chionna, D., Galeski, A., (2002), "Compatibilization and Properties of Poly(ethylene terephthalate)/Polyethylene Blends Based on Recycled Materials", Macromol. Chem. Phys.2002, 203, No. 10/11.

[67] Tanniru, M., (2005), "On enhanced impact strength of calcium carbonate-reinforced high-density polyethylene composites", Materials Science and Engineering A 405 (2005) 178–193.

[68] Supaphol, P., Harnsiri, W., Junkasem, J., (2004), "Effects of Calcium Carbonate and Its Purity on Crystallization and Melting Behavior, Mechanical Properties, and Processability of Syndiotactic Polypropylene", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 92, 201–212.

[69] Töre, C. 2011. Kompozit malzeme temelleri polimer matrisli, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/552

[70] McLoughlin, K. M., Elliott, S. J., and Townsend, E. B., (1999). Compatibilization of polypropylene/polyethylene terephthalate blends and composites. The 57th Society of Plastics Engineers: Annual Technical Conference (pp. 2776-2780). New York city, New York.

[71] Atikler, U., Basalp, D., Tihminlioglu F., 2006. Mechanical and Morphological Properties of Recycled High-Density Polyethylene, Filled with Calcium Carbonate and Fly Ash. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 102, 4460–4467.

[72] Harper, C., A., Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites, 4th edition, McGraw-Hills Handbook.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sevinç KARADAĞ

Doğum Tarihi ve Yeri : 29.06.1987 Kastamonu

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : sevinckaradag@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Kimya Mühendisliği	Hacettepe Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Üsküdar Fen Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2011-…	Mir Ar-Ge A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi