



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



METALİK CÜRUF VE BACA KÜLÜ DOLGULU KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MİNE NALBANTLI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı
Polimer Bilimi ve Teknolojisi Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. İLYAS KARTAL

EŞ DANIŞMAN
Prof.Dr. HALİL DEMİRER

İSTANBUL, 2023



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



METALİK CÜRUF VE BACA KÜLÜ DOLGULU KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MİNE NALBANTLI

(526618020)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. İLYAS KARTAL

EŞ DANIŞMAN

Prof.Dr. HALİL DEMİRER

İSTANBUL, 2023



Anneme..

TEŞEKKÜR

Eğitim hayatım ve yaşamım boyunca aldığım bütün kararların arkasında durmamı sağlayan ve her koşulda her an yanımda olan çok değerli **anneme, babama, ablama ve abime,**

Tez çalışmamın deneysel aşamalarında tüm imkanları sağlayan, proje içeriğinin belirlenmesi, nasıl bir yol izlenebileceği, ellerindeki cihazların kullanımı ve öğretilmesi konularında bana destek olan Yalova Üniversitesi'nden **İdris KARAGÖZ'e**

Bu tez çalışması sürecinde nasıl bir yol izleyeceğimi, kendimi nasıl geliştirebileceğimi ve neler katabileceğimi bana gösteren, sahip olduğu bilgi birikimi ile bana yardımcı olan, gelişmem konusunda bana destek veren değerli tez danışmanım **Doç.Dr. İlyas KARTAL'a** ve eş danışmanım **Prof.Dr. Halil DEMİRER'e,**

Tez çalışmamın mekanik testlerinin yapılması konusunda laboratuvarını açan ve cihazların kullanılması konusunda destek sağlayan **Prof. Dr. Münir Taşdemir** ve **Arş.Gör. Elif Ulutaş'a,**

Tez sürecim boyunca gerek sahip olduğu bilgi birikimini paylaşan gerekse iş hayatı ve yüksek lisans sürecinde beni her zaman destekleyen değerli yöneticim **Mustafa GÖÇMENTÜRK'e,**

Tez çalışmamın termal analizi konusunda yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili **Göksenin ÇÖMLEKÇİ'ye,**

Tez aşamasında her zor durumda kaldığımda yanımda olan destek veren fikirleri ile beni hep ileriye taşıyan en önemlisi her zaman başaracağıma inanan en yakın arkadaşım sevgili **Ezgi KAYA'ya,**

İlk günden son güne kadar ellerinden gelen her şeyi yapan, olumsuz bir durumda, düştüğüm zaman kalkmam için her zaman yanımda olan, bilgilerini paylaşan, bilmediklerimizi de beraber öğrendiğimiz ve beni destekleyen arkadaşlarıma teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR

ÖZET	v
ABSTRACT	vii
SEMBOLLER	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xiv
BÖLÜM 1 POLİMERLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ	1
1.1 Polimerin Tanımı	1
1.1.1 Termoplastik polimerler	1
1.1.2 Termoset polimerler	2
1.1.3 Elastomer polimerler	3
1.2 Polimerlerin Özellikleri	4
1.2.1 Polimerlerin fiziksel özellikleri	4
1.2.1.1 Camı geçiş sıcaklığı	4
1.2.1.2 Polimerlerin ısı karşısındaki davranışı	5
1.2.1.3 Maksimum kullanım sıcaklığı	5
1.2.1.4 Isıl bozunma sıcaklığı	6
1.2.2 Polimerlerin mekanik özellikleri	7
BÖLÜM 2 KOMPOZİT MALZEMELER	8
2.1 Kompozit Malzemenin Tarihçesi	8
2.2 Kompozit Malzemenin Tanımı ve Özellikleri	8
2.3 Kompozit Malzemelerin Bileşenleri, Özellikleri ve Sınıflandırılması	10
2.3.1 Matris malzemelerine göre sınıflandırılması	10

2.3.1.1 Metal matrisli kompozit (MMCs) malzemeler.....	11
2.3.1.2 Seramik matrisli kompozit malzemeler (CMCs)	14
2.3.1.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler (PMCs).....	15
2.3.2 Takviye malzemesi türüne göre kompozitler	16
2.3.2.1 Dolgu malzemeleri	16
2.3.2.2 Katkı malzemeleri	25
2.4 Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları	30
2.5 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	33
BÖLÜM 3 POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER	34
3.1 GENEL BİLGİ	34
3.2 Polimer Matrisli Kompozitler.....	35
3.2.1 Termoplastik Matrisli Polimer Kompozitler	35
3.2.2 Termoset polimer kompozitler	37
3.3 Polimer Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	40
3.3.1 El yatırması	40
3.3.2 Pultrüzyon	42
3.3.3 Presto kalıplama	42
3.3.4 Ekstrüzyon.....	43
3.3.5 Enjeksiyon kalıplama	46
3.4 Literatür Taraması	48
BÖLÜM 4 POLİETİLEN	52
4. 1 Polietilen Tanımı	52
4.2 Polietilenin özellikleri	55
4.2.1 Mekanik özellikler.....	56
4.2.2 Termal Özellikler	58
4.3 Polietilen Malzeme Çeşitleri	60

4.3.1 Düşük yoğunluklu Polietilen (LDPE)	60
4.3.2 Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)	61
4.4 Polietilen Katkıları.....	61
4.5 Polietilenin Kullanıldığı Alanlar	63
4.5.1 LDPE Uygulamaları.....	64
4.5.2 HDPE Uygulamaları	65
4.5.3 HDWPE ve UHMWPE Uygulamaları	67
4.5.4 Kalıplama Uygulamaları için PE.....	67
4.5.5 Dielektrik Malzeme Olarak PE	68
BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	70
5.1 Kullanılan Malzemeler	70
5.1.1 Polietilen.....	70
5.1.2 Baca külü.....	71
5.1.3 Metalik cüruf.....	71
5.2 Deneysel Yöntem	71
5.2.1 Kompozit malzemenin oluşturulması.....	71
5.2.1.1 Öğütme Cihazı.....	71
5.2.1.2 Harmanın hazırlanması	72
5.2.1.3 Ekstrüzyon cihazı	73
5.2.1.4 Enjeksiyon Cihazı	74
5.2.2 Mekanik Testler.....	75
5.2.2.1 Çekme testi.....	75
5.2.2.2 Darbe Testi	76
5.2.2.3 Eğilme testi.....	78
5.2.3 Termal analizler.....	78
5.2.3.1 DSC analizi	78

5.3.FTIR	80
5.4 SEM (Scanning Electron Microscopy).....	81
5.5 XRF Cihazı	82
6.DENEYSEL SONUÇLAR.....	83
6.1 MEKANİK TESTLERİN SONUÇLARI	83
6.1.1 Darbe Testi Sonuçları.....	84
6.1.2 Çekme Testi Sonuçları	84
6.1.3 Eğilme Testi Sonuçları	86
6.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Sonuçları.....	88
6.3 SEM Analizi Sonuçları.....	90
6.4 XRF Analizi Sonuçları	93
BÖLÜM 7 TARTIŞMA VE SONUÇ	95
KAYNAKÇA	97
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Kompozit malzemeler otomotiv, denizcilik, havacılık, tekstil, savunma sanayi gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kompozit esaslı malzemelerin önemli bir kısmı polimer matrisle birlikte katkı ve dolgu malzemeleri içeren ürünlerden oluşmaktadır. Dolgu malzemelerinin en önemli avantajı maliyeti önemli ölçüde düşürmesidir. Bununla beraber mekanik özelliklere sağladığı katkılarla birçok avantaj da sağladığı bilinmektedir. Dolgu malzemeleri genel olarak seramik esaslı olup oksitli yapılar sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada da oksit esaslı dolgulardan baca külü ve metalik cüruf tozu kompozit üretiminde kullanılması amaçlanmaktadır.

Baca külü, yanma ürünü olarak tanımlanmakta olup santrallerde elektrik üretmek amacıyla yakılan kömürden elde edilen atık bir üründür. Metalik cüruflar ise bir metal malzemesinin oksitlenmesi sonucunda dövme gibi üretim işlemleri sırasında ortaya çıkan metalik atıklardır. Santrallerdeki yanma sonucu oluşan atık baca küllerin ve metallerin yanması sonucunda atık metalik cürufların çoğu işlem yapılmadan tamamen bertaraf edilmektedir. Uçucu kül ve metalik cüruf tozu hafiflik, mikro tane boyutu, amorf yapısı, yerel kaynaklardan kolayca üretilebilmesi ve ucuzluk gibi avantajlara sahip olması nedeniyle polimerik kompozitlerde kullanımları elverişlidir. Çalışmada baca külü ve metalik cüruf tozu kompozit uygulamalarında kullanımı ile termik santrallerin ve metalik cüruf oluşan döküm, dövme gibi sektörlerde çevresel etkilerinin azaltılması, kompozit üretim maliyetinin düşürülmesi, atık depolama miktarının ve gaz emisyonunun azaltılması, doğal kaynakların korunması sağlanması amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışmada fabrikalarda atık olarak belirlenen bu iki hammaddeyi kullanarak çevreye duyarlı mekanik özellikleri de iyileştirilmiş kompozit malzemeler elde edilmiştir. Baca külü ve metalik cüruf dolgu malzemesi önce öğütülerek mikro boyutlara getirilmiştir. Daha sonra farklı oranlarda (% 5-10-15-20) (hem ayrı ayrı, hem de beraber) matris malzemesine ilave edilerek kullanılabilirliği incelenmiştir. Farklı yüzdelerde kullanılan dolgu malzemelerinin polimerle olan en uygun katkı oranı belirlenmesi amaçlanmıştır.

Belirlenen oranlardaki numunelerin harmanları hazırlanarak ekstrüder yöntemi ile granül ve enjeksiyon yöntemi ile de kalıp numune haline getirilmiştir. Numunelere mekanik (darbe, eğilme, çekme), termal (DSC), içerik (XRF, FTIR, EDX) ve yüzey morfolojisi (SEM) testleri uygulanmıştır.

İki ana dolgu malzemesinin mekanik ve termal testlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirmede PEMC%10 numunesinin çekme testi sonuçlarında en yüksek modüle ve dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir. Eğilme testi sonuçlarında ise PEMC %10 ve PEMC %15 numunelerine ait sonuçların mekanik özellikleri iyileştirici yönde olduğu bulunmuştur. Darbe testi sonuçlarında ise darbe dayanımının dolgu malzemelerinin etkisiyle düştüğü fakat aralarındaki farkın $0,52 \text{ kJ/m}^2$ olduğu bulunmuştur.

Termal analiz sonuçlarında dolgu malzemelerinin ergime sıcaklığını yükselttiği saptanmıştır. İçerik malzemelerinde yer alan bileşiklerinden ergime sıcaklığı yüksek olan Fe_2O_3 ve SiO_2 bileşiklerinden kaynaklı ergime sıcaklığının yükseldiği söylenebilir.

SEM analizleri değerlendirildiğinde ise baca külü numunelerinde matris ile uyumsuz bir yüzey görülmüş olup metalik cüruf numunelerinde ise matris ile uyum sağladığı görülmüştür. Baca külünün içeriğinde düşük mekanik mukavemet gösterdiği numunelerde yer alan boşluklar sebebiyle olduğuna karar verilmiştir.

Tüm analiz sonuçlarını değerlendirdiğimizde ilgili alanlarda istenilen mekanik özelliklere göre metalik cüruf ve baca külünün kullanılabileceğine karar verilmiştir. Aynı zamanda sürdürülebilir bir çevre için atık değerlendirilmesinin yapılması ve matris bileşeninin harmanda daha az kullanılarak kompozit malzeme maliyetinin azaltılması sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Uçucu kül, metalik cüruf, yüksek yoğunluklu polietilen, kompozit malzeme, mekanik ve termal özellikler, geri dönüşüm

ABSTRACT

Composite materials are widely used in many fields such as automotive, marine, air, textile, defense industry. An important part of composite materials consists of polymer matrix and products containing additives and filling materials. The main advantage of filler materials is that it significantly reduces cost. However, it is known that it provides many advantages with its additives to mechanical properties. Filling materials are generally ceramic based and oxidized structures are frequently preferred. In this study, it is aimed to be used in the production of fly ash and metallic slag powder composites, which are oxide based fillings.

Fly ash is defined as combustion product and it is a waste product obtained from coal burned to generate electricity in thermal power plants. Metallic slags are wastes produced after forging as a result of oxidation of a metal material. As a result of the burning of waste fly ash and metals formed by the combustion of coal in thermal power plants, most of the waste metallic slag is completely eliminated without any treatment. In this study, using these two raw materials determined as waste in factories, hybrid composite materials with environmentally sensitive mechanical properties will be obtained.

In this study, fly ash and metal slag filling material will be first grinded and brought to micro dimensions. Then, its usability was investigated in different ratios (5-10-15-20%) (both separately and together). It is aimed to determine the most suitable additive ratio of the filler materials used in different percentages with the polymer.

The blends of the samples in the determined ratios were prepared and obtained into granules by the extruder method and into molded samples by the injection method. Mechanical (tensile, flexure, impact), thermal (DSC), content (XRF, FTIR, EDX) and surface morphology (SEM) tests were applied to the samples.

Evaluation of the mechanical and thermal tests of the two main filling materials was made. In the evaluation, it was determined that the PEMC%10 sample had the highest modulus and strength in the tensile test results. In the bending test results, the results of PEMC 10% and PEMC 15% samples were found to improve the mechanical properties. In the impact test results, it was found that the impact strength decreased with the effect of the filling materials, but the difference between them was 0.52 kJ/m².

In the thermal analysis results, it was determined that the filling materials increased the melting temperature. It can be said that the melting temperature increased due to Fe_2O_3 and SiO_2 compounds, which have a high melting temperature, among the compounds in the ingredient materials.

When the SEM analyzes were evaluated, a surface incompatible with the matrix was observed in the chimney ash samples, and it was observed that it was compatible with the matrix in the metallic slag samples. It was decided that the fly ash content showed low mechanical strength due to the voids in the samples.

When we evaluated all the analysis results, it was decided that metallic slag and fly ash could be used in the relevant areas according to the desired mechanical properties. At the same time, waste evaluation was made for a sustainable environment and the cost of composite material was reduced by using less of the matrix component in the blend.

Keywords: Fly ash, metallic slag, high density polyethylene, composite material, mechanical and thermal properties, recycle

SEMBOLLER

Δ	: Delta değişim
T_m	: Ergime sıcaklığı
T_g	: Camsı Geçiş Sıcaklığı
T_c	: Kristallenme Sıcaklığı
nm	: Nanometre
MPa	: Mega paskal
mm	: Milimetre
kJ	: Kilo Joule
H	: Hidrojen
GPa	: Giga paskal
F	: Flor
E_m	: Elastik Modülü
E_f	: Fiber Modülü
E	: Elastisite Modülü
cm ³	: Santimetre küp
Cl	: Klor
μm	: Mikrometre
°C	: Derece
σ	: Gerilim
ε	: Şekil değiştirme

KISALTMALAR LİSTESİ

ABS	: Akrilonitrilbutadien Stiren
BK	: Baca Külü
CMC	: Seramik Matrisli Kompozit
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
MC	: Metalik Cüruf
MMC	: Metal Matrisli Kompozitler
PAI	: Poliamid İmid
PBT	: Polibütlen tereftalat
PC	: Polikarbonat
PMC	: Polimer Matrisli Kompozit
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinil Klorür
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopisi
UHMWPE	: Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen
VLDPE	: Çok Düşük Yoğunluklu Polietilen
XRF	: X Işını Floresans Spektrometrisi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1	Amorf, yarı kristal ve tam kristal polimerlerin gösterimi [1]	5
Şekil 1. 2	Polimer maddeler için gerilme-gevşeme eğrisi	7
Şekil 2. 1	Kompozit malzemenin şematik gösterimi	9
Şekil 2. 2	Kompozit malzemelerin yapı bileşenleri	9
Şekil 2. 3	Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	10
Şekil 2. 4	Metal matrisli kompozit	11
Şekil 2. 5	(a) Sürekli alümina fiber/magnezyum alaşımlı kompozitin enine kesiti. (b) Bir silisyum karbür partikül/alüminyum alaşımlı kompozitin tipik mikro yapısı.	12
Şekil 2. 6	Metal matrisli kompozit örnekleri [2]	14
Şekil 2. 7	Seramik Matrisli Kompozit örnekleri	15
Şekil 2. 8	Polimer Matrisli kompozit örnekleri	16
Şekil 2. 9	Kireç taşı görüntüsü	19
Şekil 2. 10	Talk görüntüsü	20
Şekil 2. 11	Odun talaşı görüntüsü	21
Şekil 2. 12	Cam elyaf ürünleri (Keçe, tek uçlu fitil, çok uçlu fitil,kırpma)	23
Şekil 2. 13	Uçucu külün morfolojisini gösteren SEM görüntüsü.	24
Şekil 2. 14	Plastikleştiriciler.....	28
Şekil 2. 15	Kompozit malzemelerin uygulama alanları	32
Şekil 3. 1	Termoplastik kompozit malzeme örnekleri	38
Şekil 3. 2	Termoset polimer kompozit örnekleri.....	40
Şekil 3. 3	El yatırması üretim yöntemi.....	41
Şekil 3. 4	Pultrüzyon üretim yöntemi.....	42
Şekil 3. 5	Pultrüzyon üretim yöntemi ile elde edilmiş polimer matrisli kompozit	43
Şekil 3. 6	Prete kalıplama üretim yöntemi.....	44
Şekil 3. 7	Ekstrüzyon üretim yönteminin şematik gösterimi	45
Şekil 3. 8	Ekstrüzyon makinesi	46
Şekil 3. 9	Enjeksiyon makinesinin şematik gösterimi.....	47
Şekil 4. 1	Polietilen malzemelerin sınıflandırılması	52
Şekil 4. 2	Etilen molekülü (C_2H_4 : moleküler ağırlık =28)	53
Şekil 4. 3	Zamana karşı polietilen yenilikleri.	54
Şekil 4. 4	Eriyik indeksleyicinin şeması.	55

Şekil 4. 5 Komonomer seviyesine karşı tek bölgeli katalize polietilen yoğunluğu	56
Şekil 4. 6 Polietilen için stres-gerinim eğrisinin şekli üzerinde polimer yoğunluğunun, test hızının ve sıcaklığın etkisi	58
Şekil 4. 7 Sıvıların 20 °C'de 920 ve 960 kg/m ³ Yoğunluktaki Polietilenler Tarafından 30 Günlük Daldırma Sonrası Emilmesi.....	59
Şekil 4. 8 PE malzeme çeşitleri	67
Şekil 5. 1 Baca külü görüntüsü.....	71
Şekil 5. 2 Metalik cüruf görüntüsü.....	71
Şekil 5. 3 Fiziksel Öğütme Cihazı.....	72
Şekil 5. 4 Öğütme öncesi ve sonrası metalik cüruf görselleri	72
Şekil 5. 5 Ekstrüzyon cihazı	74
Şekil 5. 6 Ekstrüder cihazında elde edilen granüller	74
Şekil 5. 7 Enjeksiyon Cihazı	75
Şekil 5. 8 Enjeksiyon kalıplama ile elde edilen numuneler	75
Şekil 5. 9 Çekme testi düzeneği	76
Şekil 5. 10 Çentik açma cihazı	77
Şekil 5. 11 Darbe testi düzeneği.....	77
Şekil 5. 12 Eğilme Testi	78
Şekil 5. 13 DSC cihazı çalışma prensibi	79
Şekil 5. 14 DSC cihazı	79
Şekil 5. 15 DSC termogramları (PEMC/PEBK)	80
Şekil 5. 16 DSC termogramları (PEMCBK)	80
Şekil 5. 17 FTIR cihazı [4].....	81
Şekil 5. 18 SEM Cihazı	81
Şekil 5. 19 XRF Cihazı	82
Şekil 6. 1 Darbe dayanımı test sonuçları.....	84
Şekil 6. 2 Çekme Testi sonuçları grafikleri.....	85
Şekil 6. 3 Dolgu oranına göre çekme modülünün değişimi	85
Şekil 6. 4 Dolgu oranına göre çekme dayanımının değişimi	86
Şekil 6. 5 Eğilme testi sonuç grafikleri	86
Şekil 6. 6 Dolgu oranına göre eğilme modülünün değişimi.....	87
Şekil 6. 7 Dolgu oranına göre eğilme dayanımının değişimi	87

Şekil 6. 8 FTIR sonuçları	89
Şekil 6. 9 a) PEMCBK %5 - %15 b) PEMCBK %10 - % 10	90
Şekil 6. 10 PEMC %15 numunesi SEM görüntüsü.....	91
Şekil 6. 11 PEBK %15 SEM görüntüsü	91
Şekil 6. 12 EDX analizi için seçilen alan	92
Şekil 6. 13 PEMCBK %10 - % 10 EDX analizi	92



TABLO LİSTESİ

Tablo 1. 1 Termoplastik polimerlerin özellikleri (Van de Valde ve Kiekens, 2001)	2
Tablo 1. 2 Bazı termoset malzemelerin özellikleri (Mallick, 2008)	3
Tablo 1. 3 Bazı polimerlerin maksimum kullanım sıcaklığı ve bozunma sıcaklığı (Kocaokutgen, 2012)	6
Tablo 2. 1 Metal matrisli kompozitlerde kullanılan tipik takviyeler	12
Tablo 2. 2 Dolgu malzemelerinin sınıflandırılması	17
Tablo 2. 3 Odun unu uygulamaları bileşenler	21
Tablo 2. 4 Polimerlerde kullanılan Tipik Plastikleştiriciler (Wilson, 1995)	29
Tablo 2. 5 Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları	33
Tablo 3. 1 El yatırması üretim yönteminin avantaj ve dezavantajları	41
Tablo 4. 1 Polietilenin özellikleri	57
Tablo 4. 2 Polietilenin Elektriksel Özellikleri	60
Tablo 4. 3 Malzemelerin kullanım	65
Tablo 4. 4 LDPE, LLDPE ve HDPE'nin MFI'si ile bazı uygulamalar arasındaki ilişki	66
Tablo 5. 1 Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Özellikleri	70
Tablo 5. 2 Harman içeriklerinde kullanılan numune tipleri	73
Tablo 6. 1 PE/MC/BK dolgulu numunelerin mekanik test sonuçları	83
Tablo 6. 2 DSC sonuçları	88
Tablo 6. 3 PEMCBK %10-%10 analiz sonuçları	93
Tablo 6. 4 Metalik Cüruf XRF analizi sonuçları	93
Tablo 6. 5 Baca Külü XRF analizi sonuçları	94

BÖLÜM 1 POLİMERLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

1.1 Polimerin Tanımı

Polimerler uygun koşullarda farklı birimlerle birleşerek büyük moleküller oluşturulmasını yatkın fonksiyonel grupları bulunan monomer adı verilen bileşiklerin tepkimesi ile oluşan yapılardır. Polimer birbirine kimyasal bağlarla bağlanmış çok sayıda monomerik birim içerir. Monomer birimlerinden başlayarak polimerik yapının elde edilmesine yol açan tepkimeler bütününe ise polimerleşme tepkimeleri veya polimerizasyon denir. Tanım olarak polimerler büyüklüğe bağlı kalarak oligomerden makromoleküllere kadar olan sınırdaki yer alan tüm yapılardır. (Seçkin, 2015)

Plastik tanımı polimerler ile çok karıştırılmaktadır. Plastik mühendisleri birliğine göre plastik şekillenebilen veya kalıplanabilen veya içinde dolgu maddesi, renklendirici, plastikleştirici, lubrikant vb. katkıları içeren malzemenin kalıplanıp işlenmiş son ürün haline denir. (Seçkin, 2015)

Polimerlerin sınıflandırılması Carothers tarafından 1929 yılında yapılmış, polimerlerin yapısal özellikleri ve monomer tepkinlik farklılıklarına bağlı kalarak kondenzasyon ve katılma polimerleri olarak sınıfa ayrılmıştır. Günümüzde aşağıda belirtilen yöntemlere göre sınıflandırılmaktadır.

- Molekül ağırlığına göre sınıflandırılma,
- Doğada bulunup bulunmamasına göre doğal veya sentetik,
- Organik ve inorganik olmasına göre,
- Zincirin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre,
- Isıya karşı gösterdiği davranışa göre,
- Sentezleme tepkimesine göre,

Aynı zamanda polimerler işleme yöntemlerine ve geri dönüşüm özelliklerine göre de sınıflandırılırlar. (Seçkin, 2015)

1.1.1 Termoplastik polimerler

Termoplastikler doğrusal moleküler zincirlerden oluşur ve bu polimer ısıtıldığında yumuşar ve soğutulduğunda sertleşir. Termoplastik polimerler, çok çeşitli plastik malzemelerle temsil edilir. Üç tip termoplastik polimer vardır:

-Kristal termoplastikler, genellikle düzenli bir düzenleme sunan moleküler zincirlerle yarı saydamdır. Diğer türlere kıyasla bu polimerler daha fazla mekanik darbe dayanımına sahiptir. Bu tip polimerlere örnek olarak polipropilen (PP), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) verilebilir. (Bicerano,2002),

- Amorf termoplastikler, genellikle rastgele düzenlenmiş moleküllerle şeffaftır. Bu tip polimerlerin örnekleri polivinil klorür (PVC), polimetilmetakrilat (PMMA), polikarbonat (PC), polistiren (PS) ve Akrilonitrilbutadien stirendir (ABS). (Ultem, 2017)

- Yarı kristalli polimerler, kristalli polimerlerin ve amorf polimerlerin birleşik özelliklerini sunar. Bu grubun temsili polimerleri, poliester,polibütlen tereftalat (PBT) ve Poliamid İmid (PAI). (Nicholson, 2017)

Bu polimerler, onları birçok uygulama için uygun kılan benzersiz özellikler (fiziksel, termal ve elektriksel) sunar(**Tablo 1.1**). Enjeksiyon modelleme işlemi, bilgisayar faresi gibi farklı türde parçaların imalatına izin veren polimer işlemenin ana tekniğidir. Bu plastik malzemeler, termoplastik polimerlerin ucuz, hafif ve dayanıklı olması nedeniyle çok çeşitli uygulamalar için çeşitli ürünler ile kullanılabilir. (Schlosser ve ark., 2003)

Tablo 1. 1 Termoplastik polimerlerin özellikleri (Van de Valde ve Kiekens, 2001)

Properties	Limits	Type of Polymer					
		PP	LDPE	HDPE	PC	PBT	PAI
ρ (g/cm ³)	Upper	0.920	0.925	1.000	1.24	1.35	1.45
	Lower	0.899	0.910	0.941	1.19	1.23	1.38
T _g	Upper	-10	-125	-100	150	45	290
	Lower	-23	-	-133	140.5	20	244
$\sigma_{\max}$ (MPa)	Upper	41.4	78.6	38	72	55.9	192
	Lower	26	4	14.5	53	51.8	90
E (GPa)	Upper	1.776	0.38	1.490	3	2.37	4.4
	Lower	0.95	0.055	0.413	2.3	-	2.8

1.1.2 Termoset polimerler

Termoset polimerler, geri dönüşü olmayan polimerizasyon sonucunda üretilirler. Bu tip polimerler kimyasal reaksiyon veya ısı ile kürenirler. Erimez ve çözünmez malzeme haline gelir.

Günlük tüketici ürünleri ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarım ve üretim esnekliğinin yanı sıra istenen özellik kombinasyonlarını sağlayabilirler. Bununla birlikte, bir termoset formülasyonunun verimli seçimi, fiziksel

ve mekanik davranışının ve bunları etkileyen faktörlerin temel olarak anlaşılmasını gerektirir. (Tablo 1.2)

Termosetlerin özelliklerini gözden geçirmenin zorluklarından biri, monomer, katalizör, çapraz bağlayıcı, zincir genişletici, kütleme programı ve dolgu maddeleri ve lifler gibi katkı maddelerinin birleştirilmiş seçeneklerine bağlı olarak çok çeşitli özelliklerin elde edilebiliyor olmasıdır. Bazı termoset malzemelere Epoksi reçineler, fenolik reçineler, Poliüretan (PU), silikonlar, vinilesterler (PVC) örnek verilebilir. (Mullins ve ark., 2018)

1.1.3 Elastomer polimerler

Elastomer, yapısında elastisite barındıran polimer malzemelerdir. Termoplastik polimerlerle arasındaki farkları Cl, H, F, S, O ve C gibi organik bileşik oluşturan elementlerden meydana gelen molekül zincirlerinin az da olsa doymamış C içeren belirli bölgelerden çapraz bağlarla bağlı olmalarından kaynaklanır. Bu özellikleri onlara yüksek oranda birim şekil değiştirme kabiliyetini kazandırır.

Tablo 1. 2 Bazı termoset malzemelerin özellikleri (Mallick, 2008)

Properties of Commonly Used Thermoset Polymer Resin				
Property	UP	Vinyl Ester	Epoxy	Phenolic
Density (g cm ⁻³)	1.2	1.2	1.2–1.3	1.3
Tensile modulus (GPa)	4.0	3.3	4.5	3.0
Tensile strength (MPa)	80	75	130	70
Strain to failure (%)	2.5	4	2–6	2.5
Cure shrinkage (%)	5–12	5.4–10.3	1–5	—
CTE (10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	80	50	110	10
T _g (°C)	80	80	180	—
Service temperature (°C)	60–200	100	90–200	120–200

Mekanik zorlanmalar esnasında çapraz bağlar açılmaya başlarlar bu sebepten ötürü uzama kapasiteleri 10 kata kadar çıkabilir. Üzerlerindeki kuvvet ortadan kalktığında ise şekil değişimi yok olur ve eski uzunluklarına geri dönerler.

Plastik deformasyona gelince, termoplastikler gibi zayıf, ikincil Van der Waals bağlarıyla bağlanmadıklarından, yüksek sıcaklıklarda zincir kaymaları meydana gelmez, viskoz davranış görülmez. Çekme eğrilerine malzemenin plastik şekil değiştirmeden kırıldığı

görülür. Lastik üretimi elastomerlerin endüstriyel anlamda en fazla kullanıldığı alanlardan biridir. (Alemán ve ark., 2007)

1.2 Polimerlerin Özellikleri

Polimerlere ait olan özellikler, polimeri oluşturan kimyasal yapıtaşları ve oluşan makro yapılar arasında gerçekleşen fiziksel etkileşimlere bağlıdır. Bu etkiler polimerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında morfolojisi ve son ürün olarak kullanımı ve geri dönüşümünü etkilemektedir. Bu özellikler:

- Düşük yoğunluk
- Düşük sürtünme katsayısı
- Korozyon direncinin iyi olması
- Kalıplanabilme
- İstenilen yüzeylerin elde edilmesi
- Boyut kararlılığı
- Ekonomik olması
- Mekanik özellik ve ısı dayanımının azlığı
- Farklı renklerde elde edilebilme

Endüstriyel ve akademik çalışmalarda polimer malzeme seçiminde fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri değerlendirilir. (Seçkin, 2015)

1.2.1 Polimerlerin fiziksel özellikleri

Polimerlerin fiziksel özellikleri arasında camsı geçiş sıcaklığı, termal kararlılık, ısıl bozunma sıcaklığı yer alır.

1.2.1.1 Camsı geçiş sıcaklığı

Camsı Geçiş Sıcaklığı, " T_g " polimer malzemelerin temel ayırt edici özelliklerinden birisidir. Maddenin camsı özelliklerini kaybedip viskoz özellikler kazanmaya başladığı sıcaklık sınırı olarak değerlendirildiği sıcaklık camsı geçiş sıcaklığı olarak adlandırılır. Erime sıcaklığından her zaman daha düşüktür. Camsı geçiş sıcaklığını etkileyen faktörler; dallanma ve çapraz bağ olarak değerlendirilebilir. Çapraz bağ varsa bağ dönmesi zorlaşır ve T_g artar. Dallanma varsa hacim artar, yoğunluk azalır ve T_g azalır.

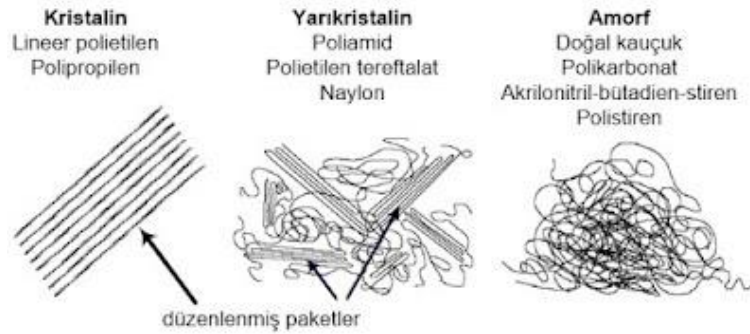
1.2.1.2 Polimerlerin ısı karşısındaki davranışı

Polimerlerin ısı karşısındaki davranışları yapılarında amorf ya da kristal bölgelerinin varlığına yakından bağlıdır. **Amorf polimerler;** Genellikle karmaşık yapılı olan polimerlerin yapısıdır.

Amorf yapıdaki polimerlerin dayanımı, sıcaklık direnci düşük, yapışkanlığı iyi, düşük sıcaklıklarda sert ve kırılgandırlar, genellikle saydamdır ve maliyeti düşüktür. Böyle bir polimer ısıtıldığında camsı geçiş sıcaklığı (T_g) adı verilen bir sıcaklıkta yumuşar. (Kocaokutgen, 2012)

Yarı kristal; Yarı kristalin yapıdaki polimerlerin dayanımı ve sıcaklık direnci düşüktür, kimyasal direnci çok iyidir, nem emilimi neredeyse hiç yoktur, elektriksel özellikleri çok iyidir ve maliyeti düşüktür. Bu tip polimerlere örnek olarak polietilen (PE), polipropilen (PP), poliamid (PA) ve polietilen tereftalat (PET) verilebilir. Polimerlerin örgüsünde amorf ve kristal bölgeler birlikte bulunur. Bu polimerler camsı geçiş sıcaklığı (T_g) altında amorf polimerler gibi kırılgandırlar. Kırılganlık özelliklerinin camsı geçiş sıcaklıklarına kadar korurlar.

Tam kristal polimerler; Serttirler ve amorf bölgeler bulunmadığından camsı geçiş göstermezler. Erime sıcaklıklarına ulaştıklarında kristal yapı kırılır ve polimerler erir.



Şekil 1. 1 Amorf, yarı kristal ve tam kristal polimerlerin gösterimi [1]

1.2.1.3 Maksimum kullanım sıcaklığı

Polimerlerden malzemeler şekillerini ve sertliklerini camsı geçiş sıcaklığına yakın noktalara kadar muhafaza edebilirler. Polimer malzemenin camsı geçiş sıcaklığının

üzerinde zincirleri eğilme-bükülme hareketleri yapabildiğinden polimerik ürünün geometrisi değişir. Polimerden yapılan malzemenin özelliklerini kaybettiği ve işlevini yitirdiği en düşük sıcaklığa **maksimum kullanım sıcaklığı** adı verilir. Polimerler genellikle camsı geçiş sıcaklığının yaklaşık $\frac{3}{4}$ katı sıcaklara kadar yapısını koruduğu belirlenmiştir. (Kocaokutgen, 2012)

1.2.1.4 Isıl bozunma sıcaklığı

Polimerler yeterince yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında, öncelikle polimer yapısındaki en zayıf kovalent bağ kırılır ve polimer bozunmaya başlar. Polimerlerin bozunmaya başladığı **sıcaklığa ısı bozunma sıcaklığı** adı verilir.

Polimerlerin buharlaştırılması için gereken enerji, polimer moleküllerinin iriliğinden kaynaklı her zaman polimerin yapısındaki kimyasal bağların kırılma enerjisinden büyüktür. (Tablo 1.3)

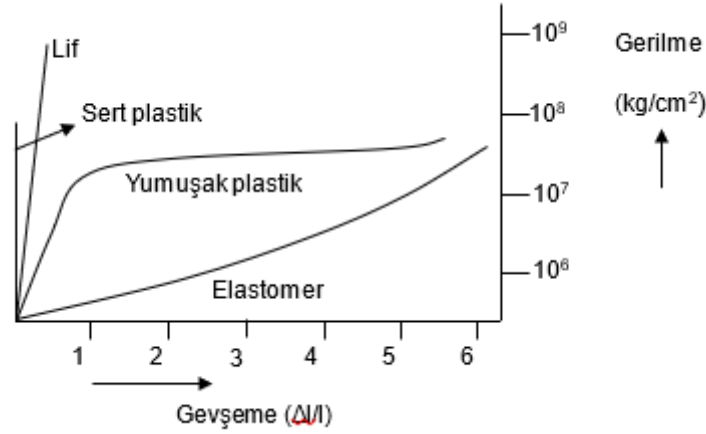
Bozunmaya uğrayan polimerin mekanik dayanım, uzama türü özellikleri zayıflar, bağ kırılmaları sonucu sistemden gaz çıkışı gözlenebilir, dış görünüşü ve rengi değişir.

Tablo 1. 3 Bazı polimerlerin maksimum kullanım sıcaklığı ve bozunma sıcaklığı (Kocaokutgen, 2012)

POLİMER	Maksimum Kullanım Sıcaklığı (°C)	Bozunma sıcaklığı(°C)
Poli(amit imit)	300	-
Poliimit	250	-
Polibenzimitazol	310	600-650
Politetrafloretillen	250	500,550
Polikarbonat	125	325-400
Naylon 6	105	300-350
Polietilen (PE)	80	340-440
Polivinilklorür (PVA)	60	200-300

1.2.2 Polimerlerin mekanik özellikleri

Polimer malzemeler maddelerin doğal ürünler yerine kullanılmasına imkan sağlayan özelliklerinden biri de mekanik özellikleridir. Mekanik özelliklerde gevşeme(uzama)-gerilme özellikleri ile incelenir. Gerilme, polimerlerin birim alanına uygulanan kuvveti (kg/cm^2), gevşeme ise örneğin bu kuvvetin etkisiyle uzamasını belirtir (başlangıçtaki boy l ise gevşeme (uzama) $\Delta l/l$ dir). (Şekil 1.2) Eğer bir malzemenin üzerindeki gerilme kuvveti artıyor gevşeme kuvveti (uzama) artmıyorsa sert rijit malzeme özelliği gösterir. Gerilmenin aynı olduğu fakat gevşemenin değiştiği diğer malzemeler de yumuşak plastik veya elastomer plastik özelliği gösterir. (Kocaokutgen, 2012)



Şekil 1. 2 Polimer maddeler için gerilme-gevşeme eğrisi

BÖLÜM 2 KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 Kompozit Malzemenin Tarihçesi

Kompozitlerin ilk kullanımları MÖ 1500'lere kadar uzanmaktadır. Erken Mısırlılar ve Mezopotamyalı yerleşimciler, güçlü ve dayanıklı binalar oluşturmak için çamur ve saman karışımı kullandıklarında kompozit malzemenin keşfi yapılmış oldu. Saman, çanak çömlek ve tekneler de dahil olmak üzere eski kompozit ürünlere takviye sağlamaya devam etti. Daha sonra MS 1200'de Moğollar ilk kompozit yayı icat etti. Tahta, kemik ve "hayvansal yapıştırıcı" kombinasyonu kullanılarak yaylar preslendi ve huş ağacı kabuğuyla sarıldı. Bu yaylar son derece güçlü ve son derece hassastı. (Nagavally, 2016)

Modern kompozit çağında bitki ve hayvanlardan elde edilen doğal reçineler tek yapıştırıcı ve bağlayıcı kaynağıydı. 1900'lerin başında vinil, polistiren, fenolik ve polyester gibi plastikler geliştirildi. Bu yeni sentetik malzemeler, doğadan türetilen reçinelerden daha iyi performans gösterdi. Ancak plastikler tek başına yapısal uygulamalar için yeterli gücü sağlayamadı. Güç ve sağlamlık sağlamak için takviye gerekiyordu. (Nagavally, 2016)

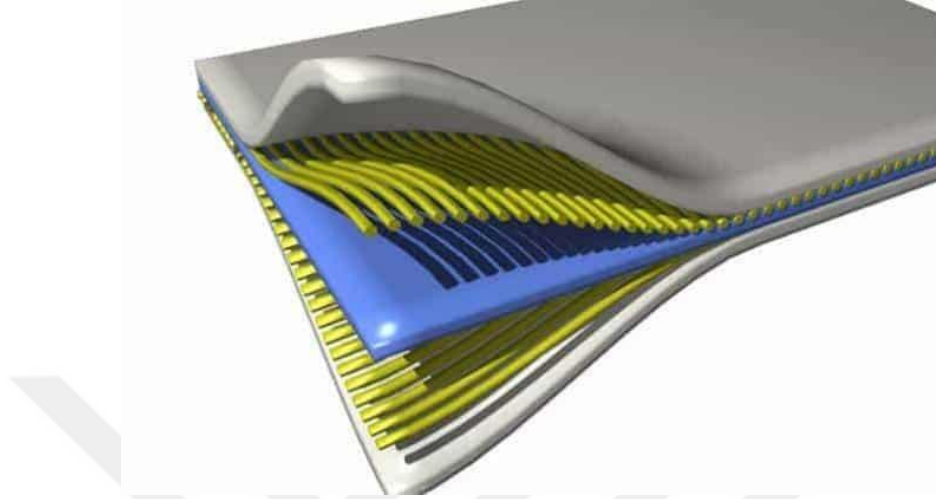
Günümüze bakıldığında zaman bilinen malzemelerin istenilen kullanım performanslarının yetersiz kalması nedeniyle daha gelişmiş özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulduğundan kompozit malzemeler tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin; ilk kullanımlarının asfalt, kerpiç ve betonarme gibi alanlarda sınırlı olmasına bakıldığında malzeme bilimi adına yeni bir konu olduğu anlaşılmaktadır.

1930'lu yıllardan itibaren ticari boyutta üretilen ve yapılan çalışmalarla birlikte hızla gelişen bir araştırma alanı olmuştur. Günümüzde birçok takviye ve matris kombinasyonları geliştirilerek kullanım alanlarına göre kompozit malzemelerin mekanik, fiziksel ve termal özellikleri geliştirilmektedir.

2.2 Kompozit Malzemenin Tanımı ve Özellikleri

Kompozit malzeme, makroskopik ölçekte iki veya daha fazla malzemedan (karışık ve birleştirilmiş) oluşan bir malzeme sistemidir. Genel olarak, bir kompozit malzeme, bir matris (polimerler, metaller veya seramikler) içine gömülmüş takviyeden (lifler, parçacıklar, pullar ve/veya dolgular) oluşur. Bileşim mikroskobik bir ölçekte (moleküler düzeyde) meydana gelirse, yeni malzemeye metaller için **alaşım** veya plastikler için

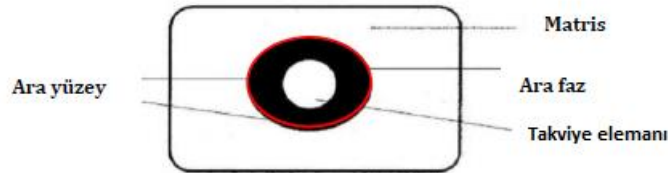
polimer denir. Matris, takviyeyi istenen şekli oluşturacak şekilde tutarken, takviye, matrisin genel mekanik özelliklerini iyileştirir. Uygun şekilde tasarlandığında, yeni birleştirilmiş malzeme, her bir malzemeye göre daha iyi mukavemet sergiler. (Şekil 2.1)



Şekil 2. 1 Kompozit malzemenin şematik gösterimi

Bilim insanları ve mühendisler kompozit malzemelerin tasarımını yaparken metalleri, polimerleri ve seramikleri özelliklerine göre birleştirmiş ve çoğunda sertlik, tokluk ve yüksek mukavemet gibi mekanik özelliklerin iyileştirilmesini göz önüne alarak çalışmalar yapmışlardır. (William ve Rethwisch, 2018).

Bu malzemeler, temel yapısal malzeme türlerinden (seramikler, metaller ve polimerler) iki veya daha fazla bileşenin bir kombinasyonunu içerir. Kompozit malzemelerin seçiminde önemli nokta her bir bileşenin üstün özellikleri sağlamaları koşuludur. (Shackelford, 2014). Kompozit malzemenin yapısının bileşenleri Şekil 2.2’de ifade edilmiştir.



Şekil 2. 2 Kompozit malzemelerin yapı bileşenleri

Kompozit malzemenin özellikleri malzeme bileşenlerine faz dağılımına ve geometrisine bağlı olarak belirlenir. Önemli değişkenlerden biri takviye bileşeninin ağırlık ya da hacim

oranıdır. Kompozit sisteminin düzenini ve homojenliği takviye bileşeninin dağılımı etkiler. (Ünal, 2006). Takviye bileşeninin boyutları ve matris içerisindeki yönelmesi, geometrisi kadar kompozitin mekanik değerlerini de oldukça çok etkilemektedir (Baydar, 2011). Ara yüzey bağını ve yük aktarımını kompozit malzemelerde takviye bileşeninin en/boy oranı belirlemektedir (Lila ve ark., 2018). Kompozit malzemelerin özelliklerini belirleyen faktörler aşağıda yer almaktadır:

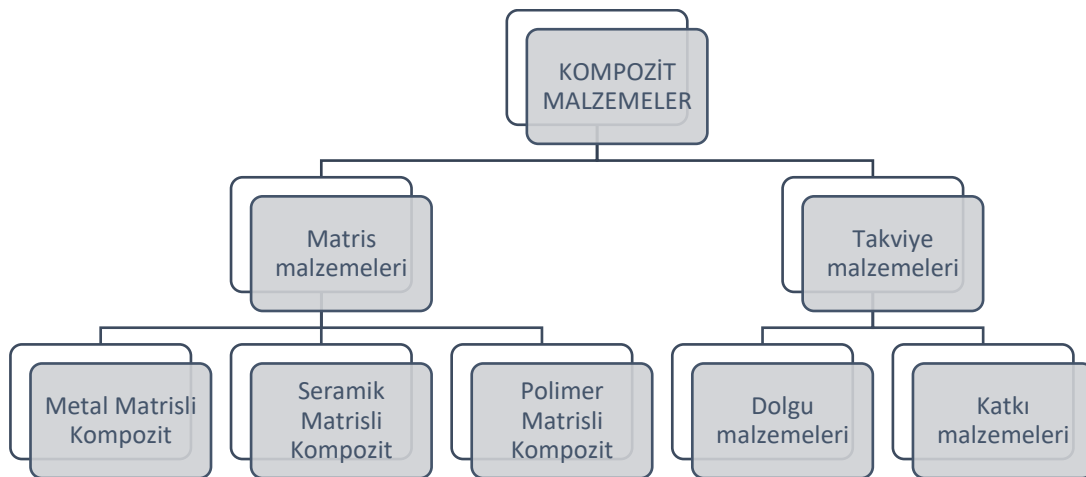
- Takviye bileşeninin özellikleri
- Matris bileşeninin özellikleri
- Ara yüzey yapışma kabiliyeti
- Takviye/matris oranı
- Takviye bileşeninin geometrisi ve matris içindeki dağılımı

2.3 Kompozit Malzemelerin Bileşenleri, Özellikleri ve Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerde farklı mekanik, termal ve fiziksel özellik kazandırmak amacıyla farklı bileşenler kullanılır. (Şekil 2.3)

2.3.1 Matris malzemelerine göre sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin elde edilmesinde farklı matris özelliklerinde malzemeler kullanılır. Metal Matris, Seramik Matris ve Polimerik Matris olarak üç ana bölümde incelenebilir.



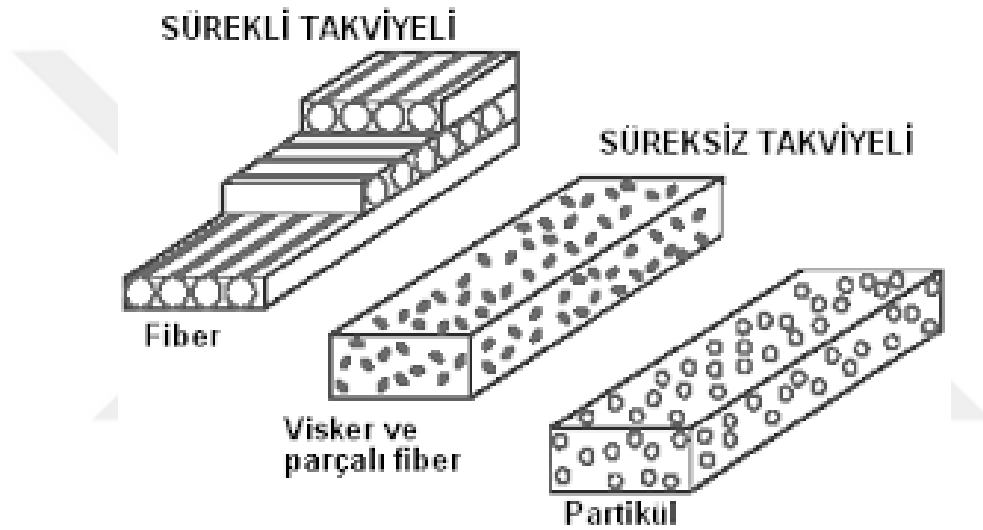
Şekil 2. 3 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

2.3.1.1 Metal matrisli kompozit (MMCs) malzemeler

Metal matrisli kompozitler, sürekli matris olarak bir metal veya alaşımdan ve parçacık, kısa lif veya olağandışı gerilme direncine ve elektriksel veya yüzey özelliklerine sahip ince filamentli bir kristal veya sürekli fiber olabilen bir takviyeden oluşur. (Şekil 2.4)

Üç çeşit metal matrisli kompozit (MMC) vardır: (Şekil 2.4)

- Parçacık takviyeli MMC'ler
- Kısa elyaf veya ince filamentli kristal takviyeli MMC'ler
- Sürekli fiber veya tabaka takviyeli MMC'ler



Şekil 2. 4 Metal matrisli kompozit

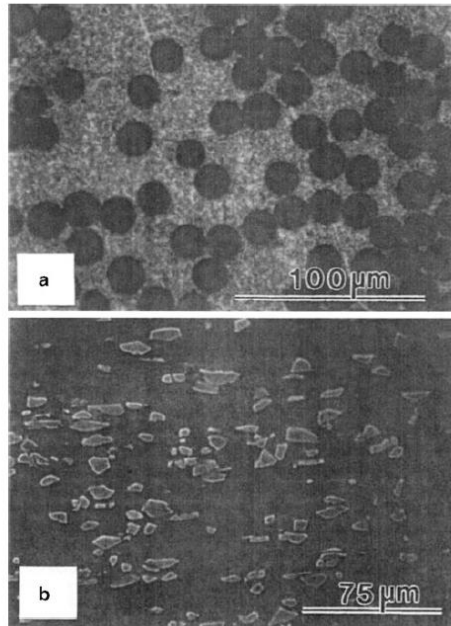
Tablo 2.1 metal matrisli kompozitlerde kullanılan bazı önemli takviyelere ve bunların görünüş (uzunluk/çap) oranlarına ve çaplarına ilişkin örnekler sunmaktadır. Parçacık veya süreksiz takviyeli MMC'ler, sürekli elyaf takviyeli kompozitlere göre ucuz oldukları ve elyaf takviyeli kompozitlere kıyasla nispeten izotropik özelliklere sahip oldukları için çok önemli hale geldi.

Şekil 2.5a, b sırasıyla sürekli alümina elyaf/magnezyum alaşımı ve silisyum karbür parçacık/alüminyum alaşımı kompozitlerinin tipik mikro yapılarını göstermektedir. Nanometre boyutunda fullerenlerin takviye olarak kullanılması denenmiştir. Çok küçük olmalarına ek olarak, fullerenler (en yaygın olanı C_{60} 'tır) hafif ve içi boştur.

Tablo 2. 1 Metal matrisli kompozitlerde kullanılan tipik takviyeler

Tip	En/boy oranı	Çap (μm)	Örnekler
Parçacık	1-4	1-25	SiC, Al_2O_3 , WC, TiC, BN, B_4C
Kısa elyaf veya ince filamentli kristal	10-1,000	0,1-25	SiC, Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$, C
Sürekli fiber	>1,000	3-150	SiC, Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$, C, B, W, NbTi, Nb_3Sn

Matris malzemeleri olarak çeşitli metaller ve bunların alaşımları kullanılabilir. Yaygın olarak kullanılan metalik matrislerden biri de Alüminyum alaşımlarıdır. Alüminyum alaşımları, düşük yoğunlukları ve mükemmel mukavemetleri, toklukları ve korozyona karşı dirençleri nedeniyle havacılık alanında önemli uygulamalar bulmaktadır.



Şekil 2. 5 (a) Sürekli alümina fiber/magnezyum alaşımlı kompozitin enine kesiti. (b) Bir silisyum karbür partikül/alüminyum alaşımlı kompozitin tipik mikro yapısı.

Bu bağlamda özel olarak anılması, çok önemli çöktürme ile sertleştirilebilir alaşımlar olan Al-Cu-Mg ve Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarıdır. Alüminyum-lityum alaşımları, çöktürme ile sertleşebilen en önemli alüminyum alaşımlarından birini oluşturur.

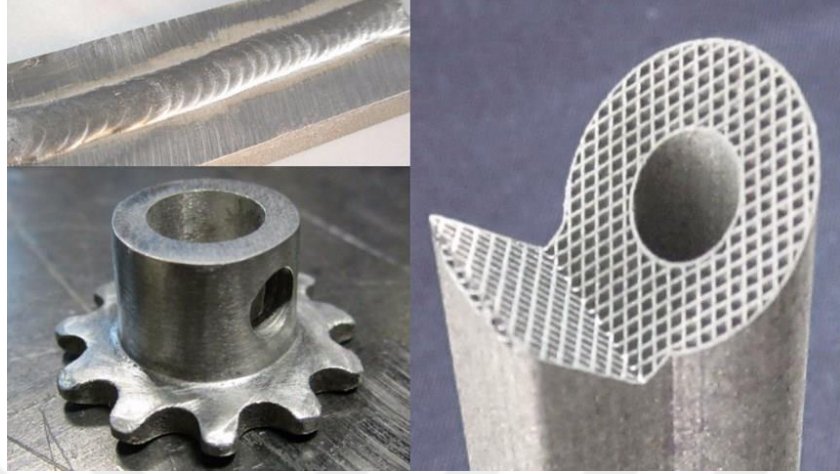
Elementi olarak alüminyuma eklendiğinde, elastik modülü artırma ve alaşımanın yoğunluğunu azaltma gibi benzersiz bir özelliğe sahiptir. Anlaşılacağı gibi, havacılık endüstrisi bu gelişmenin ana hedefi olmuştur. Al-Li alaşımları, Al-Cu-Mg ve Al-Zn-Mg-Cu alaşımları gibi çöktürmeyle sertleştirilebilir. Bununla birlikte Al-Li alaşımlarındaki çökelme sertleşmesi dizisi, geleneksel çöktürme ile sertleştirilebilir alüminyum alaşımlarında gözlenenden çok daha karmaşıktır. Genellikle bu alaşımlar, lityumun yanı sıra bir miktar bakır, zirkonyum ve magnezyum içerir.

Bir diğer metal matris malzemesine Titanyum alaşımları örnek verilebilir. Titanyum önemli havacılık malzemelerinden biridir. 4.5 g/cm^3 yoğunluğa ve 115 GPa Young modülüne sahiptir. Titanyum alaşımları için yoğunluk 4,3 ile $5,1 \text{ g/cm}^3$ arasında değişebilirken, modül 80-130 GPa aralığında olabilir. Yüksek mukavemet/ağırlık ve modül/ağırlık oranları önemlidir. Titanyum nispeten yüksek bir erime noktasına (1672°C) sahiptir ve iyi oksidasyon ve korozyon direnci ile yüksek sıcaklıklara karşı gücünü korur. Tüm bu faktörler, onu havacılık uygulamaları için ideal bir malzeme yapar. Titanyum alaşımları jet motorlarında (türbin ve kompresör kanatları), gövde parçalarında vb. kullanılır. Bununla birlikte, pahalı bir malzemedir. cm^3 ve Young modülü 115 GPa'dır. Titanyum alaşımları için yoğunluk 4,3 ile $5,1 \text{ g/cm}^3$ arasında değişebilirken, modül 80-130 GPa aralığında olabilir. Yüksek mukavemet/ağırlık ve modül/ağırlık oranları önemlidir. Titanyum nispeten yüksek bir erime noktasına (1672°C) sahiptir ve iyi oksidasyon ve korozyon direnci ile yüksek sıcaklıklara karşı gücünü korur. Tüm bu faktörler, onu havacılık uygulamaları için ideal bir malzeme yapar. Titanyum alaşımları jet motorlarında (türbin ve kompresör kanatları), gövde parçalarında vb. kullanılmaktadır. Ancak pahalı bir malzemedir.

Magnezyum ve alaşımları başka birçok hafif malzeme grubunu oluşturur. Magnezyum en hafif metallerden biridir; yoğunluğu $1,74 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Magnezyum alaşımları, özellikle dökümler, uçak dişli kutusu gövdelerinde, zincirli testere gövdelerinde, elektronik ekipmanlarda vb. kullanılır.

Bakır, yüz merkezli kübik bir yapıya sahiptir. Elektrik iletkeni olarak kullanımı oldukça yaygındır. İyi bir termal iletkenliğe sahiptir. Kolayca dökülebilir ve işlenebilir. Bir kompozitte matris malzemesi olarak bakırın ana uygulamalarından biri niyobyum bazlı

süper iletkenlerdir. Endüstride kullanılan metal matrisli kompozit malzeme örnekleri **Şekil 2.6** 'da gösterilmiştir.

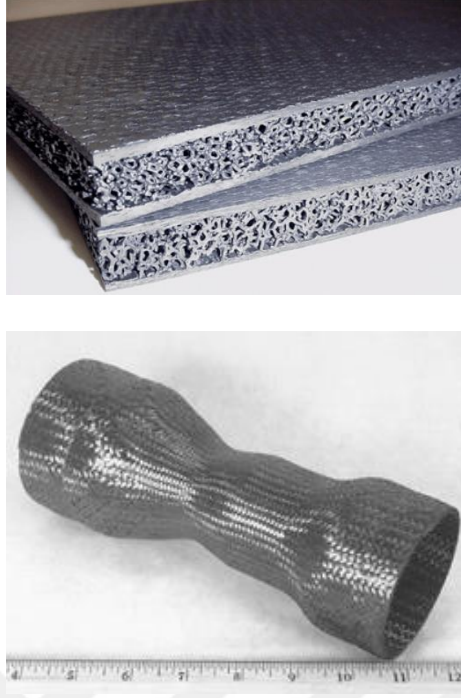


Şekil 2. 6 Metal matrisli kompozit örnekleri [2]

2.3.1.2 Seramik matrisli kompozit malzemeler (CMCs)

Seramik malzemeler genel olarak çok önemli özelliklere sahiptir: çok yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve yüksek sertlik, kimyasal eylemsizlik, düşük yoğunluk vb. Termal şoka karşı son derece hassastırlar ve imalat ve/veya işleme sırasında kolayca zarar görebilirler. Bu nedenle, seramik matris kompozitlerinde (CMC'ler) ağır basan bir hususun, seramikleri, içlerine fiberler ekleyerek sertleştirmek ve böylece, katastrofik bir arıza riski olmadan seramik malzemelerin çekici yüksek sıcaklık mukavemetinden ve çevresel direncinden yararlanmak olduğu anlaşılabılır.

Seramik olmayan matris kompozitlerdeki amaç fiberin uygulanan yükün daha büyük bir kısmını taşımasını sağlamaktır. Bu yük bölümlenmesi, fiber ve matris elastik modülü, E_f/E_m oranına bağlıdır. Seramik olmayan matrisli kompozitlerde bu oran çok yüksek olabilirken, CMC'lerde oldukça düşük ve birlik kadar düşük olabilir. CMC'lerle ilgili bir diğer ayırt edici nokta, sınırlı matris sünekliği ve genellikle yüksek üretim sıcaklığı nedeniyle, bileşenler arasındaki termal uyumsuzluğun CMC performansı üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olmasıdır. Endüstride kullanılan seramik matrisli kompozitleri **Şekil 2.7'**de örneklendirilmiştir.



Şekil 2. 7 Seramik Matrisli Kompozit örnekleri

2.3.1.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler (PMCs)

Polimerler yapısal olarak metallerden veya seramiklerden çok daha karmaşıktır. Ucuzdurlar ve kolayca işlenebilirler. Başka bir deyişle, polimerler daha düşük mukavemet ve modüle ve daha düşük kullanım sıcaklığı limitlerine sahiptir. Ultraviyole ışığa ve bazı çözücülere uzun süre maruz kalmak polimer özelliklerinin bozulmasına neden olabilir. Ağırlıklı olarak kovalent bağ nedeniyle, polimerler genellikle zayıf ısı ve elektrik iletkenleridir. Bununla birlikte, polimerler genellikle kimyasallara metallerden daha dirençlidir.

Yapısal olarak, polimerler zincirin omurgasını oluşturan kovalent olarak bağlı karbon atomlarına sahip dev zincir benzeri moleküller (dolayısıyla makromoleküller adı verilir) vardır. Polimer matrisli malzemeler ucuz, daha dayanıklı ve işleme kolaylığından dolayı günümüzde oldukça fazla sektörde kullanılmaktadır. (Şekil 2.8)



Şekil 2. 8 Polimer Matrisli kompozit örnekleri

Polimer matrisli kompozitler ile ilgili daha detaylı bilgilere **Bölüm 3**'de değinilecektir.

2.3.2 Takviye malzemesi türüne göre kompozitler

Kompozit malzemelerde takviye malzemeleri dolgu ve katkı malzemeleri olarak iki ana başlıkta incelenebilir.

2.3.2.1 Dolgu malzemeleri

Dolgu terimi genellikle kompozitte ayrı bir faz oluşturan ve önemli yükleme seviyelerinde kullanılan katı katkı maddelerine uygulanır. Bu bölüm, plastikler için hem partiküllü hem de fiber katkı maddelerini tanımlamak için dolgu maddesi terimini kullanır; literatürün çoğunda genellikle ayrı ayrı ele alınmalarına rağmen dolgu maddeleri, esas olarak maliyeti düşürmek için katı seyrelticiler olarak kullanıldıkları polimerlerin ilk günlerinden bu yana muazzam bir ilerleme kaydetti. Bugün, maliyet amaçlarından ziyade fiziksel (genellikle mekanik) özelliklerini değiştirmek için polimere daha sık dahil edilirler.

Başlangıçta dolgu maddeleri maliyeti düşürmek için kullanılırken, polimerlerin fiyatı düştükçe ve diğer faydalar gerçekleştirilip kullanıldıkça bu daha az önemli hale geldi.

Tablo 2. 2 Dolgu malzemelerinin sınıflandırılması

Dolgu malzemesi	Açıklama
Parçacık	Düşük en boy oranı. Karbonatlar ve odun unları gibi en yaygın dolgu maddeleri. Küresel dolgu maddeleri (cam ve uçucu kül gibi), partikül dolgu maddelerinin özel bir durumudur.
Platy	Talk, killer, cam pullar
Asiküler ve lifli	Cam, ahşap, selüloz, volastonit
Nano doldurucular	Bu, en az bir boyutun nano boyutta olduğu, genellikle 50 veya daha az nanometre olarak alınan dolgu maddelerini ifade eder. Bunlar partiküllü, yassı veya lifli olabilir. Bu, tütsülenmiş ve çökeltilmiş silisler ve karbon karaları gibi bazı köklü dolgu maddelerini içerir. Son örnekler nanokiller ve karbon nanotüplerdir.
Özel efekt	Alev geciktirici, kızılötesi yansıtıcı, termal ve elektriksel olarak iletken, manyetik, negatif termal genleşme, radyo opak

Tablo 2.2’de gösterildiği gibi , dolgu maddeleri tüm polimer türlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır; elastomerler, kullanılan tüm dolgu maddelerinin ağırlıkça %50'sinden fazlasını oluşturmasına rağmen , kullandıkları ana dolgu maddeleri nispeten pahalı olduğundan, değer açısından önemli ölçüde daha yüksek bir rakamdır.

Termosetler ve mühendislik termoplastikleri genellikle daha pahalı olduğundan, ticari termoplastiklere göre bunlarla maliyet tasarrufu için daha fazla alan vardır. Kapsamlı olmamakla birlikte, aşağıdaki liste bugün dolgu maddelerinin plastiklerde kullanılmasının ana nedenlerini içermektedir.

- Maliyeti azaltır.
- Isı direncini artırır.

- Sertliği artırır.
- Polimerizasyon veya kalıplama sırasında çekmeyi azaltır.
- Elektrik özelliklerini değiştirir.
- Yanıcılığı azaltır.
- Özgöl ağırlığı (yoğunluğu) değiştirir.
- Akışı değiştir.
- Basınç dayanımını artırır.
- Yağlamayı artırır.
- Aşınma direncini iyileştirir.
- Geçirgenliği azaltır.
- Çekme ve esneme güçlerini geliştirir.
- Darbe dayanımını artırır.
- Boyutsal kararlılığı iyileştirir.
- Termal iletkenliği iyileştirir.
- İşlenebilirliği geliştirir.
- Nem direncini iyileştirir.
- Parçalanabilirliği artırır. (örneğin,biyolojik olarak parçalanabilir film üretmek için eklenen nişasta dolgu maddesi)
- Kendi kendine (örn. antiblokaj) veya diğer yüzeylere yapışmayı değiştirir.
- Görünümü, opaklığı, parlaklığı değiştirir.

Kalsiyum Karbonat

Kalsiyum karbonatlar, plastik uygulamalarında kullanılan en büyük hacimli dolgu maddesidir. Bunlar, çok ince parçacıkların gerekli olduğu durumlarda sentetik çökeltilmiş kalsiyum karbonatın bazı kullanımları olmasına rağmen, esas olarak doğal formlardır. Doğal formlar genellikle öğütölmüş kalsiyum karbonatlar ve sentetik çökeltilmiş PCC türü olarak adlandırılır.(Rothon ve DeArmitt, 2017)

Ticari olarak uygun kalsit yatakları dünyanın her yerinde bulunur, ancak saflık ve köken bakımından önemli ölçüde farklılık gösterir. Kalsiyum karbonat dolgu maddelerinin ana kaynakları tebeşir, kireçtaşı ve mermerdir. (**Şekil 2.9**)



Şekil 2. 9 Kireç taşı görüntüsü

Tebeşir birikintileri en yumuşak ve en kolay işlenenlerdir. Deniz hayvanlarının iskelet kalıntılarından oluşurlar ve birbirine gevşek bir şekilde bağlanmış, yaklaşık 3 µm boyutunda yuvarlak kalsit kristallerine sahiptirler. Kireçtaşı daha serttir ve aslen tebeşire benzeyen birikintilerin konsolidasyonunun sonucudur. Mermer, yüksek basınç ve sıcaklıklarla değiştirilmiş bir kireç taşıdır.

Üretim madencilik, zenginleştirme, boyut küçültme (öğütme), kurutma ve gerektiğinde kaplamadır. Tebeşir kolayca temel kristal boyutuna kadar öğütülür ve bu yaygın olarak bulunan formdur. Kalker ve mermer aynı boyuta ulaşmak için daha yüksek öğütme enerjisi gerektirir. Tebeşirin daha fazla boyut küçültülmesi, kristallerin kırılmasını içerdiğinden, enerji gereksinimlerinde diğer formlara benzer. (Rothon ve DeArmitt, 2017)

Talk

Talk, saf haldeyken kimyasal bileşimi $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ olan ve MOH ölçeğinde 1 sertliği ile bilinen en yumuşak mineral olan doğal bir mineraldir. (Şekil 2.10)

Polimer uygulamaları, doğal kökenleri nedeniyle önemli ve değişken seviyelerde başka mineraller içeren ticari talk kullanır. Bu safsızlıklar, neredeyse tamamı saf mineralin özel özelliklerinden uzaklaşsa ve hatta birkaçı sağlık için tehlikeli olsa da, literatürde genellikle açıklanmaz.

Talk, madencilik ve ardından kırma, öğütme, zenginleştirme ve sınıflandırma ile üretilir. Kalsiyum karbonat veya kil kadar kapsamlı olmasa da, işlenebilir talk yatakları yaygındır ve ana üretim Amerika Birleşik Devletleri, Norveç, Fransa, İtalya, Hindistan, Çin ve Avustralya'dan gelmektedir. (Rothon ve DeArmitt, 2017)



Şekil 2. 10 Talk görüntüsü

Talk genellikle kalsiyum karbonatlardan daha pahalıdır ve plastiklerde kullanımı yumuşaklıklarına ve en önemlisi parçacıklarının yassı doğasına bağlıdır. Bu katmanlı yapı, geliştirilmiş sertlik etkilerine yol açar.

Odun Unu

Plastikler için orijinal dolgu maddelerinden biri olan ağaç unu, özellikle Kuzey Amerika'da ahşap polimer kompozitlerde kullanılması nedeniyle yeniden ilgi gördü. Sonuç olarak, günümüzde plastiklerde kullanılan en büyük hacimli partikül dolgu maddeleri arasında yer almaktadır. Ağaç unu, genellikle 20 US standart ağdan geçebilecek kadar ince ağaç parçacıkları olarak tanımlanır. Üretimdeki ana adımlar saflaştırma, boyut küçültme ve sınıflandırmadır. Bir miktar kurutma da genellikle gereklidir, ancak pratik nedenlerden dolayı odun unu genellikle biraz nemli olarak gönderilir. (Rothon ve DeArmitt, 2017)

Odun unu genellikle hurda ağaç kaynaklarından yapılır ve bu nedenle kullanılan çeşitli ağaç kaynakları ve türleri ile çok değişken bir malzemedir. Ana bileşenler selüloz, hemiselüloz ve lignindir.



Şekil 2. 11 Odun talaşı görüntüsü

Yağlar ve inorganik kül gibi bazı ekstrakte edilebilir maddeler de olacaktır. Bu ana bileşenlerin oranı ve küçük bileşenlerin doğası, ağaç türüne göre değişir. Tipik değerler aşağıdaki gibidir: (**Tablo 2.3**)

Tablo 2. 3 Odun unu uygulamaları bileşenler

Selüloz	%37–45 ağırlık/ağırlık
Hemiselüloz	%19–30 ağırlık/ağırlık
Lignin	%21–34 ağırlık/ağırlık
Ekstrakte Edilebilirler	%2–5 ağırlık/ağırlık
Kül	<%0,7 ağırlık/ağırlık

Odun unu uygulamaları, bir dizi önemli özellik tarafından belirlenir. Olumlu tarafı, sürdürülebilir olarak kabul edilmesinin yanı sıra, yoğunluğunun birçok dolgu maddesinden daha düşük olması ve aynı zamanda bir miktar takviye sağlamasıdır. Başlıca sınırlayıcı faktörler aşağıdaki gibidir:

Renk: Çoğu ahşabın doğal bir rengi vardır ve işleme sırasında bozulma nedeniyle daha fazla renk geliştirebilirler. Ayrıca, ışığa maruz kaldıklarında sıklıkla renk değiştirebilirler. Bu nedenlerden dolayı, ahşap polimer kompozitler genellikle oldukça koyu renklerle pigmentlidir.

Termal kararlılık (işleme sıcaklıklarını yaklaşık 200 °C ile sınırlar).

Nem içeriği: Çoğu ahşap kurduğunda atmosferdeki nemi hızla alır ve bu nedenle çoğu uygulamada kuruduktan hemen sonra işlenmelidir.

Ayrışma: Su emme, şişme ve renk değişikliği sorunları olabilir.

Dayanıklılık: Önlemek için katkı maddeleri kullanılmadığı takdirde küf ve mantar etkileri dahil olmak üzere biyolojik saldırı meydana gelebilir.

Bu problemler, termoset uygulamalarında en az öneme sahiptir ve bu malzemenin bu tür polimerlerde erken kullanımını açıklar. Bu polimerlerin işlem sıcaklıkları da nispeten düşüktür ve birçok durumda mevcut nem tolere edilebilir. Sınırlamalar termoplastiklerde çok daha önemlidir, ancak buna rağmen, günümüzde ana uygulama termoplastik matrisler kullanan ahşap polimer kompozitlerdedir; ağırlıklı olarak polietilen , ancak aynı zamanda polipropilen ve sert PVC kullanılmaktadır. (Clemons ve ark., 2010)

Cam Elyaf

Plastiklerde çeşitli elyaf türleri kullanılmasına rağmen, cam elyafları açık ara en büyük tonajı oluşturmaktadır. Bunlar, çeşitli cam bileşimlerinin eritilmesi ve döndürülmesiyle yapılır. Lifler daha sonra soğutulur ve cam yüzeyine bağlayıcı adı verilen kimyasal uygulanarak elde edilir. Bu önemli bir bileşendir ve elyaf yüzeyini korumak için gereklidir. Plastik kullanım için tasarlandığında, ayrıca polimer içindeki dağılımı ve polimerle etkileşimi iyileştirmek için katkı maddeleri içerebilir. Bunlar polimere göre değişecektir. (Rothon ve DeArmitt, 2017)

Plastik uygulamalar için tipik olan filaman çapları 9 ila 16 µm arasındadır . Elyaf uzunluğu, sürekli den çeşitli kıyılmış uzunluklara kadar değişebilir. Dokuma paspaslar da kullanılabilir. Çeşitli cam bileşimleri kullanılabilirken, kompozit uygulamaları için en yaygın tür E cam olarak bilinen türdür. Bu, iyi kimyasal ve nem direncine sahip bir borosilikat bileşimidir. Cam elyaf üretim yöntemlerine göre keçe, kırpma, tek uçlu ve çok uçlu fitil olarak 4 ana bölümde incelenebilir. (**Şekil 2.12**)

Cam elyaflar esas olarak hem termoplastiklerin hem de termosetlerin mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılır ve maliyet tasarrufu için kullanılmaz. Polimer tipine ve fiber uzunluğuna bağlı olarak çeşitli kompozit işleme yöntemleri kullanılmaktadır.



Şekil 2. 12 Cam elyaf ürünleri (Keçe, tek uçlu fitil, çok uçlu fitil,kırpma)

Çift vidalı karıştırma, ardından ekstrüzyon veya presleme termoplastikler için en yaygın olanıdır. Bu, en zor alandır, çünkü büyük özen gösterilmediği takdirde işleme sırasında lif bozulması şiddetli olabilir. Termosetlerin düşük viskoziteleri liflerin dağılmasını kolaylaştırır ve bunu çeşitli kalıplama yöntemleri takip edebilir. Kısa, kırılmış elyaf ve sürekli elyaf pultrüzyon gibi işlemlerde kullanılır. Cam paspaslar, levha kalıplama bileşiklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. (Jones, 2017)

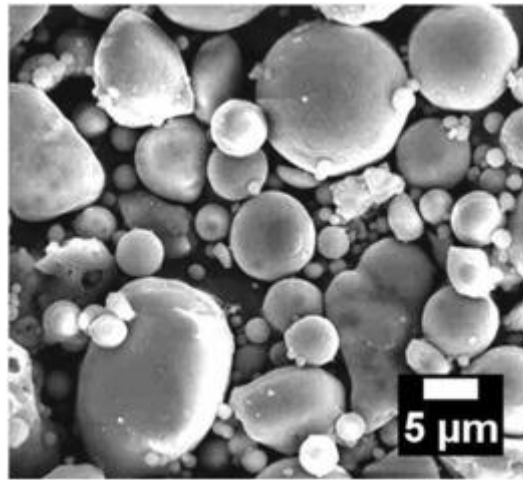
Uçucu Kül

Kömür uçucu külü, toz haline getirilmiş veya öğütülmüş kömürün yanmasından kaynaklanan bir kalıntıdır. Yanma bölgesinden ve partikül uzaklaştırma bölgesinden baca gazları yoluyla toplanmıştır. Uçucu külün kimyasal, mineralojik ve fiziksel özellikleri bir elektrik santralinden diğerine büyük farklılıklar gösterir ve yakılan kömürün bileşimine, yanma koşullarına ve bunların depolanmasına bağlıdır. Uçucu külün ana bileşimi, oksit formundaki sert mineraller ve yanmamış yumuşak karbondan oluşur. Morfolojik olarak,

uçucu kül parçacıkları, Şekil 2.13'te gösterildiği gibi, ağırlıklı olarak <1 ila >100 μm arasında değişen küresel katılar veya içi boş senosferlerdir (Thomas ve ark.,2017 ; Kumar ve ark.,2007). Polimer matrisli kompozitler için uçucu kül kullanmanın en iyi yanı, bunun bir atık ürün olması ve güçlendirme aracı olarak hizmet edebilmesidir.

Kömür uçucu külünün kullanılması

Kömür yakma ürünleri, kömürle çalışan bir termik santralden kömürün yanması sırasında elde edilen atık/kalıntı/yan ürünlerdir. Uçucu kül, pulverize kömürün yanmasından elde edilen kalıntılardan biridir. Pozolanik bir özellik sergiler, bu da onu çimento ve beton endüstrisinde (inşaat malzemeleri) bağlayıcı malzeme olarak uygulamaya uygun hale getirir. Uçucu külün dünya çapında kullanımı ticari amaçlarla geliştirilmiştir. Kömürün uygulamaları, ekonomik büyümenin yanı sıra teknik ve çevresel avantajları da kabul eden piyasaya dayanmaktadır (Robl ve diğerleri, 2017). Uçucu külün kullanımı, kömürle çalışan termik santralin tipine, yakma prosesinin tipine göre belirlenir ve ayrıca yan ürünlerin boşaltıldığı ve toplandığı prosese de bağlıdır. Büyük ölçüde kömüre bağımlı olan ülkeler, yan ürün olarak büyük miktarda uçucu kül üretmektedir (Stoch, 2015). Uçucu külün küresel olarak etkili bir şekilde kullanılmasına rağmen, önemli miktarda kömür uçucu külü kullanılmamakta ve etkin geri dönüşümü ve kullanımı için acil bir ihtiyaç talep edilmektedir (Yao ve ark., 2015). Uçucu külün dünyadaki kapsamlı uygulamalarından bazıları aşağıdaki bölümlerde belirtilmiştir.



Şekil 2. 13 Uçucu külün morfolojisini gösteren SEM görüntüsü.

Metalik Cüruf

Cüruf, metallerin veya cevherlerin eritildiklerinde oluşan ve silikatlar ve metalden daha hafif oksitler ve yoğunluk farkı nedeniyle yüzeyde biriken bir yan ürün olarak tanımlanmaktadır (Ünal ve Ark., 2014).

Cüruflar pirometalurjik proseslerde çok büyük miktarlarda üretilirler ve uygun şekilde geri dönüştürülmedikleri ve kullanılmadıkları durumda büyük oranda atık kaynağıdır. Endüstrileşmenin artmasıyla birlikte metalürjik cüruflar için düzenli depolama sahaları gerekmekte ve bertaraf maliyetleri artmaktadır. Atık malzemelerle dolan sahalar hava, toprak ve su kirliliği yaratan kirlilik kaynağı olmuşlardır. Bunlar da insan sağlığını ve bitki büyümesini etkilemektedir (Reuter ve Ark., 2004).

2.3.2.2 Katkı malzemeleri

Bir polimerin özellikleri genellikle katkı maddelerinin dahil edilmesiyle önemli ölçüde değiştirilebilir. Muhtemelen bunun en iyi bilinen örnekleri, katkı maddesi seçimindeki değişikliklerin lastikler, yağ keçeleri, akü kutuları, lateks köpük döşeme, elastik bantlar gibi çok farklı ürünler üretebildiği kauçuk teknolojisinde görülür. Plastik malzemeler arasında, özellikle polivinil klorür (PVC) ile basınçlı borular, pencere çerçeveleri, döşeme ve ev tipi yalıtım flekslerinin üretilebileceği bu kadar kapsamlı varyasyonlar elde etmek de mümkündür. (Malaika ve ark., 2017)

Bazı durumlarda, çok çeşitli son kullanımlar için polimerlerde bir katkı maddesine rastlanabilir, örneğin belirli antioksidanlar.

Fiziksel olarak katkı maddeleri dört gruba ayrılabilir: katılar, kauçuklar, sıvılar ve gazlar, bunların sonuncusu hücresel polimerlerin yapımında kullanılır. İşlev açısından, aşağıdakilerin en önemli olduğu oldukça fazla sayıda grup vardır:

- Yaşlanma karşıtı katkı maddeleri
- Renklendiriciler
- Plastikleştiriciler ve yumuşatıcılar
- Yağlayıcılar ve akış arttırıcılar
- Etki değiştiriciler
- Alev geciktiriciler

- Üfleme maddeleri

Genel olarak, katkı maddeleri, işlevleri nedeniyle bu tür gereksinimler hariç tutulmadıkça, aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- İşlevlerinde verimli olmalıdırlar.
- İşleme koşulları altında kararlı olmalıdırlar.
- Hizmet koşullarında kararlı olmalıdırlar.
- Sızdırmaz olmalı ve sıcaklıkta parlamamalıdır.
- Toksik olmamalı ve tat veya koku vermemelidirler.
- Uygun maliyetli olmalıdırlar.
- Polimerin özelliklerini olumsuz etkilememelidirler.

Bir katkı maddesinin matris bir malzemeye sızması, *katkı* maddesinin dahil edildiği polimerde ve ayrıca sıvı veya katı olabilen matris malzemede bir çözünürlüğe sahip olması durumunda meydana gelir. Bu tür bir sızma bitişik malzemeyi renklendirebilir veya başka bir şekilde kirletebilir. Sızdırmaya neden olan koşullar yerine getirildiğinde, difüzyon oluşacaktır. Bu nedenle, polimerdeki "deliklerin" boyutuna, yayılan moleküllerin boyutuna ve bu moleküllerin orijinal polimerdeki konsantrasyonuna bağlı olacaktır. T_g ve T_m değerlerinin üzerinde olan polimerlerde sızdırmaya çok daha yaygın olduğunu bulmak şaşırtıcı değildir. Kristal ise bu sıcaklığın altındaki polimerlerden etkiyi azaltmak için sızdırma eğilimi olan küçük molekülleri benzer yapıdaki daha büyük moleküllerle değiştirmek de oldukça yaygın bir uygulamadır. (Malaika ve ark., 2017)

Parlama çözünürlük ile ilişkilidir. Bir katkı maddesi, işleme sıcaklığında polimer içinde tamamen çözündüğünde ve ortam sıcaklığında kısmen çözündüğünde ortaya çıkar. Sonuç olarak, soğuma sırasında katkı maddesinin bir kısmı çözültiden dışarı atılır ve bunun bir kısmı polimer kütlesinin yüzeyinde birikebilir. Katkı maddesi işlem sıcaklığında yalnızca kısmen çözünürse, kalıntı malzeme, çözültiden atılan katkı maddesi moleküllerinin etrafında toplanabileceği çekirdekler oluşturabilir, böylece katkı maddesinin çok daha azı yüzeye çıkacaktır. Katkı maddesi işleme sıcaklığında tamamen çözünmezse veya oda sıcaklığında tamamen çözünürse parlama olmaz. (Malaika ve ark., 2017)

Antioksidanlar

Antioksidanlar, oksidasyonun zararlı etkilerine karşı korunmak için organik polimerlere eklenen kimyasallardır . Organik maddelerde (örneğin gıda, lipidler, yağlar, boyalar, polimerler) başlıca moleküler oksijen tarafından başlatılan serbest radikal oksidatif bozunma reaksiyonlarını geciktirme veya engelleme yoluyla müdahale ederler. Hidrokarbon polimerler, kimyasal yapılarına, yapılarına, fiziksel ve morfolojik özelliklerine bağlı olarak oksidasyona karşı değişen derecelerde dirence sahiptir.

Antioksidanlar, belirli bir polimerin hedef son kullanım uygulaması için kimyasal (örneğin, içsel kimyasal aktivite) ve fiziksel (örneğin, fiziksel tutma) özelliklerine uygunluğuna göre seçilir. Ek olarak, kullanımı kolay, uygun maliyetli ve güvenlik ve çevre mevzuatı gereklilikleriyle uyumlu olmalıdırlar. Katkı maddelerinin toksisitesi ve migrasyonu hakkında çoğu sağlık düzenleme otoritesi tarafından kabul edilen katı düzenlemeler, çoğu sentetik antioksidanın , insan ortamıyla doğrudan teması içeren polimer uygulamalarında (örneğin, tıbbi, gıda ambalajı) uygun olmadığı anlamına gelir . Sağlık ve tüketici talepleri, örneğin E vitamini ve göç etmeyen antioksidanlar gibi doğal ürünlerdeki son gelişmelerin arkasındaki itici güç olmuştur. (Malaika ve ark., 2017)

Renklendiriciler

Plastik bir nesnenin yüzeyi, şekli ve dokusu da ışığın saçılmasını ve yansıtılmasını, yani renk algısını etkiler. Pürüzsüz parlak bir nesne, aynı gözlemci tarafından aynı aydınlatma altında bakıldığında, aynı malzeme ve renklendiricilerle yapılmış dokulu bir nesneden daha koyu ve daha güçlü görünür. Renk, her zaman malzemenin absorpsiyon özelliklerinin ve renklendiriciler tarafından parçacığın hem yüzeyinde hem de gövdesinde saçılmasının toplamıdır. (Huff., 1994a; Huff., 1994c)

Beyaz renkler, ağırlıklı olarak gelen tüm ışığı değiştirmeden yansıtır. Siyah renkli nesneler ağırlıklı olarak gelen ışığın tamamını emer. Bunlar sınırları oluşturur ve diğer renkler, ışığın belirli dalga boylarının farklı seviyelerde soğurma ve saçılma ile renklendiricilerle etkileşime girdiği bu sınırlar arasındadır.(Huff., 1994b)

Plastik ürünler pazarı, tanımlama, güvenlik, marka tanımlama, dekorasyon ve reklam için renklendirmeyi kullanır ve tüketicinin mevcut benzer ürünler arasında ayırım yapmasını sağlar. Plastikler,yüzey baskısı veya yüzey kaplaması (boyama), metalik kaplama,

dekoratif bir film uygulaması veya bir birleştirme adımı yoluyla polimer kütlesine renklendirici katkı maddelerinin dahil edilmesi dahil olmak üzere çeşitli yöntemlerle uygulanan renge sahip olabilir ; lazer markalama gibi yeni teknolojiler de güvenlik tanımlaması, kalpazanlığın azaltılması ve ürünlerin süslenmesi için önemli hale gelmektedir.(Bayer, 2013)

Plastikleştiriciler

Plastikleştiriciler, PVC'de yaygın olarak ve diğer bazı plastiklerde daha az ölçüde kullanılmaktadır. İlk durumda, polar zincirleri ayırarak esnekliği arttırırlar ve eriyik viskozitesini azaltırlar. Plastikleştiriciler aslında polimer için yüksek kaynama noktalı çözücülerdir. Uçucu olmamaları önemli olduğundan, en az 300 bağıl molar kütleye sahiptirler. ~%10 kristallik içeren PVC söz konusu olduğunda, plastikleştiriciler molekülleri amorf bölgelerde çözerek T_g 'yi azaltır elastomerik özelliklere sahip esnek bir ağ üretmek. Sıvının doğası öyle olmalıdır ki kristalin bölgeler yok olmaz yoksa bir çözelti oluşur. (Malaika ve ark., 2017)

PVC gibi polar polimerler söz konusu olduğunda, polimerler ve plastikleştiriciler arasında bir miktar etkileşim meydana gelir, bu da ilave serbest hacim oluşturur ve T_g 'yi azaltır. Kutupsuz kauçuklarda kullanılanlar gibi geleneksel hidrokarbon yumuşatıcılarda ana etkinin sadece zincir ayrılması olması muhtemeldir.



Şekil 2. 14 Plastikleştiriciler

Tablo 2. 4 Polimerlerde kullanılan Tipik Plastikleştiriciler (Wilson, 1995)

Polimer	Fayda	Başvuru	Tipik Plastikleştirici	Tipik Konsantrasyon (phr)
Polivinil asetat)	Emülsiyonların film oluşturma sıcaklığının düşürülmesi; yapışkan bağ esnekliği	Yapıştırıcılar	Di-izo-bütil ftalat	≤15
selüloz asetat	Alt eriyik akışı; artan darbe direnci	Uzman pervazlar	di-etil ftalat	50
Poli(vinil bütiral)	Cama yapışma; cam laminatlarda enerji dağılımı	Güvenlik camında ara katman	Di-n-heksil adipat	40
nitril kauçuk	kalıplanabilirlik; geliştirilmiş soğuk esneklik	Otomotiv uygulamaları	Genel amaçlı ftalatlar	≤20
polisülfür	Azaltılmış viskozite; esneklik; daha az maliyet	Mastikler	Alkil benzil ftalatlar	30
Poliüretan	Azaltılmış viskozite; daha az maliyet	Mastikler	Di-izo-nonil ftalat	10–40
Poli(viniliden klorür)/PVC	İlerleyen yardım	Ambalaj filmi	Asetil sitrat	5

Alev geciktirici katkıları

Pek çok avantajına rağmen, çoğu plastik kolayca tutuşur ve yüksek bir ısı çıkışıyla yanar. Sonuç olarak, yangın veya alev geciktirici katkı maddeleri, uygulamalarının çoğunda çok önemli bileşenlerdir. Küresel alev geciktirici pazarı, 2014 yılında 2,2 milyon ton ve yaklaşık 6 milyar USD olarak tahmin edilen büyük bir pazardır. (Roksill, 2015). Buna rağmen, uygulamaların çoğu alev geciktirici gerektirmez ve alev geciktiricilerin çoğunluğu (%90'dan fazla) sadece dört alanda kullanılır;

- Elektrik ve elektronik
- Yapı ve inşaat
- Ulaşım
- Mobilya

Yağlayıcılar ve akış arttırıcılar

Yağlayıcı veya yağlayıcı madde terimine genellikle plastik malzemelere dahil edilen belirli katkı maddelerini tanımlamak için rastlanır. Bununla birlikte, değişen işlevlere

sahip çeşitli yağlayıcı türleri vardır ve bunları birbirinden ayırmak önemlidir. Üç ana tip aşağıdaki gibidir:

1. Aynı bileşime sahip olan veya olmayan matris malzemelere sürtündüğünde, kalıpların ve diğer bitmiş ürünlerin sürtünmesini azaltan malzemelerdir. Buradaki en iyi bilinen örnekler, dişli ve yatak uygulamalarında kullanılan poliamidlere ve diğer termoplastiklere %1-2 mertebesinde miktarlarda eklenen grafit ve molibden disülfürdür.

2. İşleme sırasında polimer bileşiminden erimiş polimer ile temas halinde oldukları işleme ekipmanının metal yüzeyleri arasındaki arayüze sızan malzemelerdir. Nihai ince film tabakası daha sonra plastik bileşimin makineye yapışmasını önlemeye yardımcı olur ve böylece normal şekilde işlemeyi kolaylaştırır. Yaygın olarak harici olarak bilinen bu tür malzemeler yağlayıcılar, polimerle düşük uyumluluğa sahiptir ve ek olarak genellikle metallere olan afinitelerini arttırmak için polar gruplara sahiptir. Yağlayıcı seçimi, yalnızca polimer tipine değil, aynı zamanda ilgili işleme sıcaklıklarına da bağlı olacaktır. PVC için tipik dış yağlayıcılar, yağ asidi, özellikle stearik asit ve bunun kalsiyum ve baryum tuzları, parafin mumu ve düşük molar kütleli polietilen gibi hidrokarbonlar ve belirli esterlerdir.

3. Üçüncü yağlayıcı grubu, polimerin eriyikte akışını destekleyen, ancak plastikleştiricilerin aksine katı hal özellikleri üzerinde çok az etkiye sahip olan düşük molar kütleli malzemeleri içerir. PVC için kullanılan dahili yağlayıcılar arasında amin grubu vardır. Yağlayıcı seçimi ve miktarı son derece kritik olabilir ve laboratuvar ölçekli ekipman üzerinde yapılan testler, tam ölçekli tesis üzerindeki davranışı yansıtmayabilir. İç kayganlaştırıcıların, plastikleştiricilerin aksine bitmiş polimer üzerinde çok az etkiye sahip olan, esas olarak düşük molar kütleli akış destekleyicileri olduğu görülmüştür.

2.4 Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları

Nispeten düşük işleme maliyetleri nedeniyle, polimer matrisli ve çimento matrisli kompozitler en yaygın kompozit türleridir. Sürekli fiber takviyeli polimer matrisli kompozitler, uçak gövdeleri gibi hafif yapılar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrik ara bağlantıları için metal parçacıklı (örneğin gümüş parçacıklar) polimer matrisli kompozitler kullanılır. Otomotiv lastikleri için karbon siyahı partiküllerle güçlendirilmiş kauçuk matrisli kompozitler kullanılmaktadır. Beton şeklindeki çimento

matrisli kompozitler, sivil altyapı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal matris, karbon matris ve seramik matris kompozitler, kendi özel pazarlarına sahip olmalarına rağmen daha az yaygındır.

Seramik-metal kompozitleri olarak bilinen ve düşük hacimli (ör., %15) seramik (ör., tungsten karbür) parçacıkları içeren metal matrisli kompozitler, matkap gibi kesici aletlerde kullanılır. Ayrıca yüksek sıcaklıklara dayanması gereken dirençlerde ve diğer elektronik bileşenlerde de kullanılırlar. Yüksek hacim fraksiyonunda (örn., %60 hacim) seramik (örn. SiC) partikülleri içeren metal matrisli kompozitler, düşük termal genleşme katsayıları nedeniyle mikroelektronik için ısı alıcı ve muhafaza olarak kullanılır. Yarı iletkenin (silikon gibi) düşük termal genleşme katsayısı nedeniyle düşük bir termal genleşme katsayısı gereklidir. Dolgu maddesi olarak grafit pulları içeren metal matrisli kompozitler, grafitin kayganlığı nedeniyle otomobil motorları için kendinden yağlamalı piston silindirleri olarak da kullanılır. Karbon fiberin alüminyum ile reaksiyonu, fiber-matris arayüzünü oluşturan kırılgan bir bileşik olan Al_4C_3 'ü oluşturmaya rağmen, sürekli karbon fiberler içeren metal matris kompozitler yapısal malzemeler olarak kullanılır. Bu reaksiyon, elyafın nikel veya titanyum di-borid (TiB_2) ile kaplanmasıyla hafifletilebilir. Bununla birlikte, bu yapısal uygulama, çok daha ucuz olan gelişmiş metal alaşımlarının zorlu rekabetiyle karşı karşıyadır.

Karbon matrisli kompozitler (oksidasyon direncini artırmak için tipik olarak silikon karbür veya diğer seramiklerle kaplanmıştır), zarar görmelerine rağmen, uzay mekiklerinin burun konileri ve ön kenarları ve kıtalararası balistik füzelerin burun konileri gibi yüksek sıcaklıklı, hafif yapılar için kullanılır. $700^{\circ}C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda oksijen varlığında karbonun oksitlenme eğiliminden. Özellikle yaygın bir karbon matrisli kompozit türü, takviye olarak karbon elyafı kullanır, böylece hem takviye hem de matris karbon olur ve malzeme bir karbon-karbon kompoziti olarak bilinir. Karbon karbon kompozitleri pazarı temel olarak havacılık ve uzay ile ilgilidir: yeniden giriş termal koruması, roket memeleri ve uçak frenleri. Diğer uygulamalar arasında fırın ısıtma elemanları, erimiş malzeme transferi, uzay aracı ve uçak bileşenleri ve ısı eşanjörleri, hava solunumlu motor bileşenleri, hipersonik araç hava çerçeve yapıları, uzay yapıları ve protez cihazları yer alır.



Şekil 2. 15 Kompozit malzemelerin uygulama alanları

Biyomedikal uygulamalar, durumların, hastalıkların ve sakatlıkların teşhis ve tedavisi ile hastalıkların ve durumların önlenmesi ile ilgili olanları kapsar. Bunlar arasında implantlar (örneğin kalçalar, kalp kapakçıkları, deri ve dişler), cerrahi ve teşhis cihazları, kalp pilleri (kalp atışı üzerinde elektriksel kontrol sağlayan, elektrik kablolarıyla kalbin duvarına bağlanan cihazlar), elektrik veya elektrik toplamak veya göndermek için elektrotlar bulunur.

Teşhis veya tedavi için optik sinyaller, tekerlekli sandalyeler, engellilere yardım için cihazlar, egzersiz ekipmanı, farmasötik ambalaj (ilacın vücuda kontrollü salınımı için veya başka amaçlar için) ve teşhis ve kimyasal analiz için aletler (kan analizi için ekipman gibi) ve idrar). İmplantlar, biyolojik olarak uyumlu (kan gibi sıvılarla uyumlu), korozyona dayanıklı, aşınmaya dayanıklı, yorulmaya dayanıklı ve bu özelliklerini onlarca yıl boyunca koruyabilen malzemelerden yapılmaları gerektiğinden özellikle zordur.

Karbon özellikle biyouyumlu bir malzemedir (altından daha fazla), bu nedenle implantlar için karbon-karbon kompozitleri kullanılır. Biyouyumlu polimer matrisli kompozitler de implantlar için kullanılmaktadır. Elektriksel olarak iletken polimer matrisli kompozitler, teşhis amaçlı elektrotlar için kullanılır. Eczacılık için biyolojik olarak parçalanabilen polimer matrisli kompozitler kullanılır.

2.5 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin yüksek mukavemet, darbe dayanımı ve hafif olmaları sebebiyle birçok sektöre ev sahipliği yapmaktadır. Kompozit malzemelerin kullanım amacına göre farklı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir. (Tablo 2.5)

Tablo 2. 5 Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Çekme ve eğilme dayanımlarının birçok metale göre daha yüksek olması	Üretim zorluğu
Kalıplanabilme özellikleri sayesinde istenen yönde ve bölgede mukavemet kazanma	İşleme güçlüğü ve buna bağlı olarak gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi
Çok üstün elektriksel özellikler	Geri dönüşümün güç olması
Gerektiğinde iyi iletken ve yalıtkan özellikler	Gevrek yapıya sahip olması
Çevresel etkilere ve kimyasal korozyona karşı dayanıklılık	Hava tanecikleri bulunması sebebiyle düşük yorulma dayanımı
Termal özelliklerin iyileştirilebilmesi	Metallere göre daha kırılğan(gevrek) yapı
Kolay renklendirilmesi	Daha kolay zarar görme
Yüksek dayanım ve rijitlik (katılık)	Hammaddeleri pahalı ve maliyeti yüksek
Yüksek yorulma dayanımı (uzun yorulma ömrü)	Daha kolay zarar görme
Mükemmel aşınma direnci	Hammaddeleri pahalı ve maliyeti yüksek
Yüksek sıcaklık kapasitesi	Kırılma uzamasının düşük olması
Düşük ağırlık ve yoğunluk	Plastik matrisler için sınırlı kullanım sıcaklığı
Çekicilik ve estetik görünüm	

BÖLÜM 3 POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER

3.1 GENEL BİLGİ

Polimer matrisli kompozitler (PMK'ler) günümüzde ucuz olmaları katkı maddeleri ile birlikte yüksek mukavemete elde edilebilmesi nedeniyle oldukça fazla alanda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle son dönemlerde ucuzluk, hafiflik, yüksek mukavemet ve işlenebilme kolaylığı sağlayabilmesi nedenlerinden dolayı mühendislik uygulamalarında birçok alana hizmet etmektedir.

Polimer matrisli kompozit bir malzemenin gerilme özellikleri genellikle takviyenin ve polimerik matrisin doğasına, takviyenin matrise dağılma derecesine, takviyenin en/boy oranına bağlıdır, takviyenin kompozit içindeki yönelimi, takviye ile matris arasındaki ara yüzey kalitesine bağlıdır (Serrano ve diğerleri, 2014).

Matris ve takviye arasında iyi bağlanmış ve dayanıklı ara yüzeylerin oluşturulması, polimer matrisli kompozitlerde kritik bir sorundur. Kompozitlerin mekanik özellikleri, takviye ve matris arasındaki etkili yük transferi ile belirlenir. Yük aktarım verimliliği, takviye-matris yapışma kalitesine bağlıdır. Ara yüzey bağı ne kadar güçlü olursa, yük aktarma kapasiteside o kadar büyük olur. Dolayısıyla, ara yüzeyin mukavemeti ve stabilitesi, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar (Etcheverry ve diğerleri, 2013).

Orijinal olarak cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitler yapmak için geliştirilmiş birçok teknik, diğer elyaflarla da kullanılabilir. Cam elyaf takviyeli polimer kompozitler, en büyük PMC sınıfını temsil eder. Polimerik matris malzemeleri, uygun şekilde termosetler ve termoplastikler olarak sınıflandırılabilir.

Termoplastikler ve termosetlerde, takviye malzemelerinin kullanılması mekanik özelliklerde iyileşme sağlamanın ekonomik bir yoludur. Bu takviye şekli, malzemenin geleneksel tekniklerle işlenmesine izin verir.

Termoplastik polimer matrisli kompozitler; sertlik ve yüksek özgül mukavemeti termosetlere kıyasla daha iyi darbe mukavemeti, sonsuz raf ömrü, geri dönüşümü daha kısa işlem döngü süresi, yapılabildiğinden mühendislik ve yapısal uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılabilir. Termoplastik polimer matrisli kompozitlerin

geri dönüştürülebilme özelliklerinden dolayı da oldukça sık kullanılmaktadırlar. (Thomason ve Vlug, 1995).

Termoplastik matrisli kompozitler, 1980'lerin ortalarından bu yana artan bir ilgi kazanmıştır. Kısa işlem süreleri, termoset matrisli kompozitlere göre belirgin avantajları nedeniyle, gelişmiş kırılma tokluğu, yüksek hasar toleransı ve mikro çatlak oluşumuna karşı iyi direnç ve yüksek sıcaklıklarda yeniden şekillendirme veya yeniden kalıplama imkanı ile birçok endüstriyel alanda kullanımları olduğu görülmektedir (Russo ve diğerleri, 2013).

Termosetler polimer kompozitler ise kürleme sırasında sertleşirler. Sertleşme veya çapraz bağlanma, uygun kimyasal maddeler ve/veya ısı ve basınç uygulamasıyla termosetlerde meydana gelir. Geleneksel olarak, bu amaç için termal enerji (200 C veya üzeri ısıtma) sağlanır. Ancak bu süreç, termal gradyanlar, artık gerilmeler ve uzun kürleşme süreleri problemlerini beraberinde getirir. Artık gerilmeler, laminantın bükülmesi, fiber dalgalılığı, matris mikro çatlaması ve kat delaminasyonu ile giderilebildikleri simetrik olmayan veya çok kalın PMC laminantlarında ciddi sorunlara neden olabilir. Bu türdeki polimer kompozitlerin geri dönüşümü oldukça zordur.

3.2 Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer kompozit malzemeler bir polimer matris ve katkı malzemeleri ve takviye malzemesinden oluşmaktadır. Bu bölümde matris malzemesi polimer olan yapıların iki temel sınıfı olarak bilinen termoplastik ve termoset polimerler ile ilgili bilgi verilecektir.

3.2.1 Termoplastik Matrisli Polimer Kompozitler

Polimer malzemenin işleme sıcaklığı ve basıncı altında şekillendirilebilen ve geri dönüştürülüp tekrardan şekillendirilebilen plastiklere **termoplastik** denir. Yapılarında çapraz bağ bulundurmazlar ve molekül yapıları lineerdir. Moleküller içinde zayıf Van der Waals bağları bulunur. Polimerin moleküler zinciri boyunca olan kimyasal değerlik bağları çok kuvvetlidir. Moleküller arasında güçlü, molekül içi zayıf bağlara sahip lineer veya dallanmış yapıli molekülerin birleşimidir ve polimer zincirleri katı(rijit) bir yapıya sahip değildir. Bu nedenle, hasara toleranslı ve darbe dayanımı yüksek malzemelerdir. Isıl özellikleri iyi ve ısıtılmaları ile moleküller arası bağlar zayıflar ve yumuşayıp eriyik forma geçerler. Bu özellikleri sayesinde kolay şekil alıp kalıplanırlar ve eritilip

katılaştırılarak tekrar kullanılabilirler. Isıtılıp tekrar soğutulmaları ile malzemenin mikro yapısında bir değişiklik oluşmaz. Bu işlem buharlaşma veya diğer etkiler nedeniyle malzeme yapısını etkilemediği sürece yapılabilir. Isıtılmaları sonucunda sadece fiziksel değişime uğrarlar. Tekrar kullanımları ve düşük enerji maliyeti gibi üstün avantajlar sağlamaktadır. Termosetlerin ihtiyaç duyduğu kürleme (çapraz bağlanma) işlemi gerektirmemeleri nedeniyle seri üretim olanakları mevcuttur. (Sabancı, 2005; Ünal, 2013; Merter, 2009; Güğöl, 2018; Baydar, 2011; Karadağ, 2014; Şahin, 2015; Çetin, 2016).

Termoplastik malzemeler yüksek sıcaklıklarda süneklik kazanan metallere benzerler. Metallerde olduğu gibi, termoplastik polimerlerin sünekliğinin soğutma ile azaldığı belirtilmelidir. Termoplastikler ve metaller arasındaki en önemli fark termoplastik malzemelerin işleme sıcaklığı metal malzemelere göre düşüktür. Termoplastikleri deforme ederek yumuşaması amacıyla ikincil bağların aşılması için gereken sıcaklık termoplastikler için 100 °C civarındadır ve bu sıcaklıkta önemli ölçüde deformasyon sağlanır. Bununla birlikte metalik bağ, tipik alaşımlarda genellikle sünme deformasyonunu 1000 °C'ye yakın sıcaklıklarla sınırlar (Shackelford, 2014).

Termoplastik polimerler, yüksek moleküler düzene sahip kristalin yapılı ve zincir içi ya da zincirler arası bükülmeleri sonucunda polimer molekül zincirlerinin belirli bir düzende olmadığı amorf yapılı olarak iki sınıfa ayrılırlar. Pratikte molekül zincirlerinin karmaşık fiziksel yapısı nedeniyle tamamen kristalin yapı mümkün olmadığı için kristalin yapının yarı kristalin eğilimi bulunmaktadır. Polimer zincir büyüklüğü tam bir kristalin yapı oluşumunu engellemektedir ve bölgesel kristallenmeler oluşmaktadır. Amorf yapının gelişiğüzöl molekül zincirleri, sıcaklığın artması ile ısıtma sırasında birbirlerinden uzaklaşarak viskoz yapı oluşur. Termoplastiklerin az miktarda su absorblama özelliği vardır ve kristalin olmayan amorf yapılı olanlar için çözücü dayanımına dikkat edilmelidir. Isıl özellikleri ve üretimde işleme koşullarını, kristallik derecesi belirler.

Termoplastikler, oda sıcaklığında katı haldedirler ve düşük sıcaklıklarda sert halde bulunup ısıtıldıklarında yumuşarlar. Genellikle oda sıcaklığında sıvı halde bulunan termosetlerin sertleşmeleri için gereken katkı maddesi veya katalizör gibi ilave bileşenlere termoplastiklerin ihtiyaçları yoktur. Termoset malzemelerden daha tokurlar. Bazı termoplastiklerin istenilen şekli alması için çözücüye ihtiyacı olabilmektedir. Yüksek süneklik, yüksek kopma uzaması ve iyi elektrik yalıtkanlığına sahiptirler ve

işleme süreleri kısa ve onarımları kolaydır. Poliamidler (PA, N6, N66, vb), poliolefinler (PE, PP, PB vb), PVC, polieterler (PEEK, POM, vb), polistirenler (PS, ABS, vb), akrilik (PMMA), polikarbonat (PC), polibutilen tereftalat (PBT), polietilen tereftalat (PET) ve poliasetal en çok kullanılan termoplastiklerdir (Gügöl, 2018; Baydar, 2011; Karadağ, 2014; Çetin, 2016).

Geri dönüşüm kapasitesi, uzun raf ömrü, üstün kırılma tokluğu ve güvenli çalışma ortamı şartlarına sahip olmaları termoplastik polimerlerin avantajları arasında yer alır. Termosetlere göre prosesleri daha zor ve hammaddeleri maliyetlidir. Fakat hızlı ve hatalı üretimin termoset plastiklere göre daha az olması nedeniyle tercih edilmektedirler. (Ünal, 2013; Baydar, 2011)

Termoplastik malzemeler günümüzde endüstriyel sektörde hayatı kolaylaştırıcı olarak oldukça farklı alanlarda kullanılmaktadır. Çeşitli kullanım alanlarına aşağıdaki görsellerde yer verilmiştir. (Şekil 3.1)

3.2.2 Termoset polimer kompozitler

Düşük molekül ağırlıklı monomer moleküllerinin kimyasal reaksiyon ile oluşturduğu güçlü bağ yapılı polimer matris malzemelerine **termoset polimer** adı verilir. Çapraz bağlı (kovalent bağ kaynaklı) ve üç boyutlu yapıdaki polimerlerdir. Çapraz bağ, hareketi engellediğinden çapraz bağ artışı ile sertlik artar. Sertlikteki artış darbe dayanımının düşmesine neden olur ve malzeme daha kırılğan olur. Çapraz bağın neden olduğu boyutsal kararlılık ile ısı denge ve yüksek sıcaklıklara dayanım sağlanır. Çapraz bağlanma; kondenzasyon, polimerizasyon ya da kürlenme ile oluşur.

Çapraz bağ oluşturan bağların yapısal karakteri ve uzunluğu, yapının yoğunluğu mekanik özellikleri etkiler. Kimyasal direnç ve bazı mekanik özellikleri termoplastiklerden yüksektir.

Oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Katı hale gelmeleri için sertleştirici, katalizör veya enerji gereksinimleri bulunmaktadır ve sertleşme ile üç boyutlu yapı elde edilir. Isı ve çözücülere karşı dirençlidirler ve ısıya maruz kaldıklarında yumuşamaz fakat bozunurlar.



Şekil 3. 1 Termoplastik kompozit malzeme örnekleri

Bir ya da iki bileşenli olabilmektedirler ve termoplastiklerden moleküler olarak daha rijittirler. Soğutulduktan sonra tekrar ısıtıldıklarında çapraz bağlar nedeniyle tekrar eritmeleri mümkün değildir. Bunun diğer bir nedeni de polimerizasyonun tersinir olmamasıdır. Bu yüzden termoplastik polimer kompozitlerde geri dönüşüm yapılamaz. Polimerizasyon işleminde reaktivlik, moleküller arasındaki zincir yapısıdır. Akıcılık özelliği istenildiği durumda kısmen polimerleşmiş termoset polimerin kalıplanması sağlanır. Kalıplama sırasında çapraz bağlanma olayı gerçekleşir ve akıcılık ortadan kalkar (Sabancı, 2005; Ünal,2013; Güğül, 2018; Baydar, 2011; Karadağ, 2014; Şahin, 2015).

Termoset polimerler çapraz bağlanma ile sertleştikleri için üretilen parçalar imalat sıcaklığında (200-300 °C aralığında) kalıptan çıkarılabilir. Termosetlerin aksine,

termoplastiklerden kalıplama ile elde edilen ürünlerin formunun bozulmasını önlemek için kalıpta soğutulmalıdır. Isıyla sertleşen termoset polimerler iki kategoriye ayrılır: ısıyla sertleşenler ve elastomerler. Termosetlerin geri dönüştürülememesi ve genel olarak daha az değişkeni işleyebilmesi dezavantajlarındanadır. Filmler, köpükler ve kaplamalar gibi termoplastikler için bulunan birçok uygulamaya ek olarak, termosetler için yapıştırıcılar önemli bir uygulama alanıdır. Yapıştırıcı, termoplastiklerdeki moleküler zincirler arasındakine benzer şekilde ikincil kuvvetlerle yüzeyleri birleştirmeye yarar (Shackelford, 2014).

Belirli sıcaklık aralığında çapraz bağlanma (kürlenme) işlemi ile sertleşerek son şeklini alan termoset reçinelerin kürlenme çevrim süresi arttığında üretim hızının düşmesine neden olmaktadır. Kürlenme işlemine tabi tutulduktan sonra termoset malzemeye tekrar şekil verilip geri dönüşümü yapılamaz. Çapraz bağlanma yoğunluğu kürlenme derecesini belirler (Baydar, 2011; Ünal, 2013).

Proses süreci, çapraz bağlanmayla birlikte polimerizasyon reaksiyonlarının tamamlanması nedeniyle termoset malzemelerde daha uzundur. Üretim prosesleri monomerlerin bir araya geldiği reaktörde başlar ve kalıplama işlemi ile sonlanır. Proseslerinde özel kalıp-takımlar gerekmez ve ara yüzey oluşturmak için özel bağlayıcılara ihtiyaç yoktur. Poliester, epoksi ve vinilester en bilinen termosetler olmakla beraber fenolik, silikon, poliüretan, üreformaldehit, melamin, bismaleimid ve poliimidler de kullanılmaktadır (Ünal, 2013; Güğöl, 2018; Baydar, 2011; Karadağ, 2014; Çetin, 2016; Kocabaş, 2014).

Kalıplama işlemleri genellikle basınçlı kalıplama veya transfer kalıplama ile yapılır. Düşük maliyet sağlamak amacıyla için enjeksiyon kalıplama yönteminin geliştirildiği de bilinmektedir (CTP Teknolojisi, 1990). Bazı termoset polimer kompozit örnekleri **Şekil 3.2'**de gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Termoset polimer kompozit örnekleri

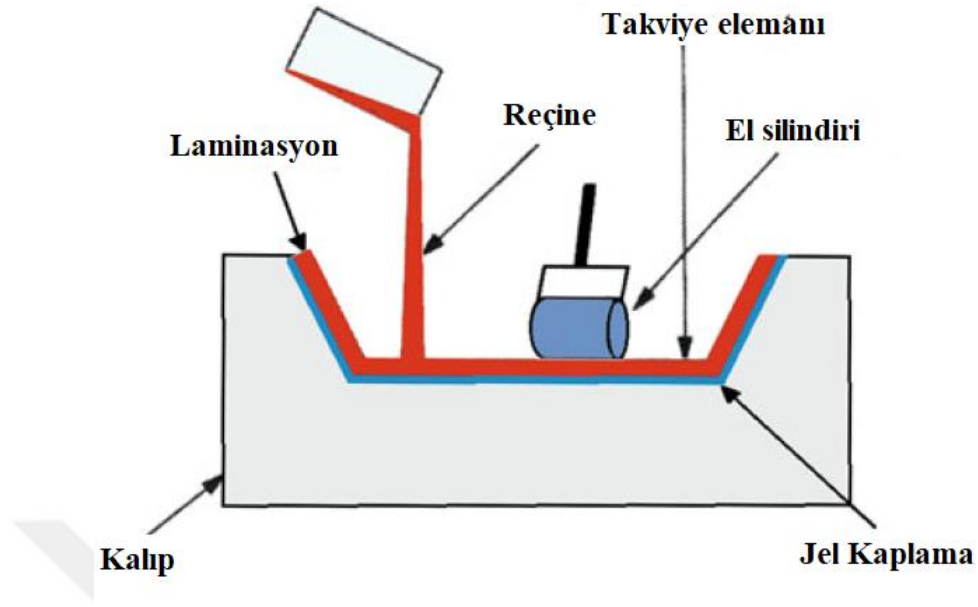
3.3 Polimer Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Polimer matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemi seçilirken belirleyici kriterler; malzeme çeşidi, üretim miktarı, ürün boyutu, üretim hızı, üretim şartları ve maliyet olmaktadır. Takviyeli ürünlerin takviyesiz ürünlerden üstün özelliklere sahip olması için polimer kompozit üretim yöntemi önemli rol oynamaktadır. Termoset ve termoplastik malzemeler için çeşitli üretim yöntemleri bulunmaktadır (Günaydın, 2018). Bu bölümde, termoplastik ve termoset polimer kompozitleri hazırlama yöntemleri hakkında bilgi özetlenmiştir.

3.3.1 El yatırması

Bu yöntem açık bir kalıplama işlemidir. Reçine ve hızlandırıcı emdirilmiş takviye elamanı kalıbın üzerine yerleştirilir. Sıkıştırma, hava ceplerini sıkıştırmak için bir rulo veya vakum kullanılarak yapılır. Reçine sertleştirme süresi, hızlandırıcı miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak birkaç dakikadan birkaç saate kadar değişir. (Gay, 2015).

Yönteme ait uygulama Şekil 3.3’de verilmektedir. Isıl işlem olmaksızın katalizör ve sertleştiriciler ile sertleşme sağlanır. Reçine emdirilmiş takviye elemanları oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta kür işlemi için kurumaya bırakılır. Sertleşmeden



Şekil 3. 3 El yatırması üretim yöntemi

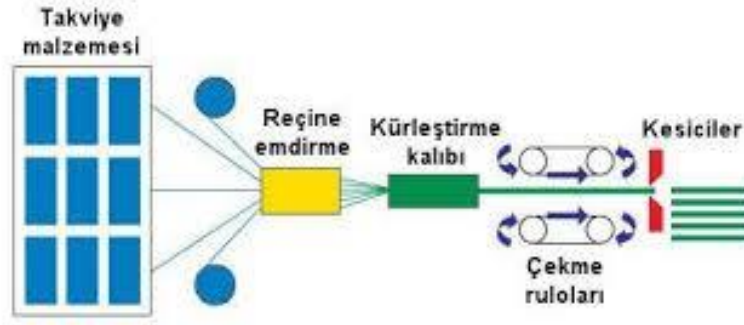
sonra ürün kalıptan çıkarılıp çapakları temizlenir. Ürün olarak sandal, radar kılıfı, tank, boru, teçhizat malzemeleri, şekilli levhalar ve otomobil parçaları örnek verilebilir (Budinski, 1996; Johnson, 1986). Üretim yöntemine ait avantajlar ve dezavantajlar bulunmaktadır. (**Tablo 3.1**)

Tablo 3. 1 El yatırması üretim yönteminin avantaj ve dezavantajları

Avantajları;	Dezavantajları;
Uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılması	Çalışan tecrübesine bağlı bir üretim yönteminin olması
Öğreniminin kolay bir yöntem olması	İnsan sağlığı açısından zararlı madde ile çalışılması
Kullanılan ekipmanların düşük maliyetli- olması (Oda sıcaklığında kür olabilen reçineler için)	
Geniş tedarikçi ve malzeme kolaylığının bulunması	

3.3.2 Pultrüzyon

Bu işlemde, esas olarak eksenel olarak yönlendirilmiş liflere sahip polimer matrisli kompozitlerin bölümleri üretilir. Şekil 3.4 bu işlemin bir şemasını göstermektedir.



Şekil 3. 4 Pultrüzyon üretim yöntemi

Takviye malzemesi bir kısımdan sürekli üretim şeklinde gelir. Bir miktar enine mukavemet sağlamak için bunlara mat veya çift eksenli kumaş eklenebilir. Bunlar, bir katalizör içeren bir reçine banyosundan geçirilir. Bundan sonra, reçine emdirilmiş lifler, fazla polimeri çıkarmak için bir dizi siliciden ve daha sonra ısıtılmış kalıba girmeden önce bir kolimatörden geçer. Fitillerin tamamen ıslanması çok önemlidir. Soyulmuş fazla reçine reçine banyosuna geri döndürülür. Isıtılmış kalıp, üretilecek bitmiş bileşenin şekline sahiptir. Reçine kalıpta kürlenir ve kompozit dışarı çekilir. Hattın sonunda parça, uçan testere ile sabit bir uzunlukta kesilir. Tipik olarak, proses sürekli olarak 10-200 cm/dk hızında üretim yapabilir. Kesin hız, reçine tipine ve üretilen parçanın kesit kalınlığına bağlıdır. 1,25 m genişliğe kadar %60' dan fazla lif hacim oranına sahip pultrude profiller rutin olarak yapılabilmektedir. Pultrüzyonla elde edilen bir ürün örneği, Şekil 3.5'de gösterilmektedir. Gösterilen içi boş yamuk şekilli ürün, karbon fiberden yapılmış bir helikopter ön cam direğidir ve yüksek sıcaklıklı bir vinil ester reçine matrisi kullanılmıştır.

3.3.3 Preste kalıplama

Polimer şekillendirme ve kalıplama işlemindeki en eski üretim yöntemlerinden biridir. Proses koşulu olarak 1–2 bar basınç uygulayabilen bir prese yerleştirilen empenye edilmiş takviyeler kalıp arasında şekillendirilir.



Şekil 3. 5 Pultrüzyon üretim yöntemi ile elde edilmiş polimer matrisli kompozit

Polimerizasyon, ortam sıcaklığında veya daha yüksek bir sıcaklıkta gerçekleşir. Süreç, orta büyüklükteki seriler için uygun ve günde birkaç düzine parça üretilir. Otomotiv ve havacılık ikincil parçaları için kullanılır. (Gay, 2015). Preste kalıplama yöntemi **Şekil 3.6'da** verildiği gibidir.

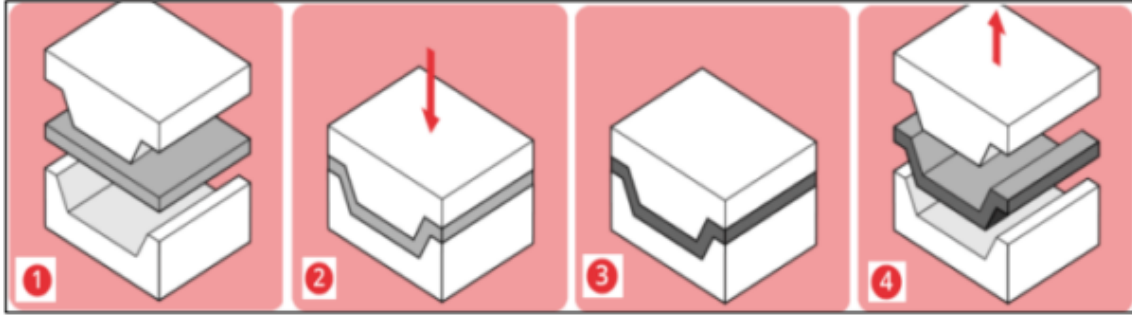
3.3.4 Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, yüzlerce yıldır metalin eritildiği ve sıhhi tesisat endüstrisi için boru üretmek üzere kalıplar boyunca zorlandığı metal endüstrisinden plastik endüstrisine uyarlanmıştır. Ekstrüzyon işlemini kullanan plastikler esas olarak termoplastiktir, ancak kauçuk endüstrisi kauçuk malzemelerin termosetlenmesi için ekstruderler kullanır. Ekstrüde edilen daha yaygın plastiklerden bazıları şunlardır:

- Polietilen
- Polivinil klorür (PVC)
- Polistren
- ABS

Ekstruderler ayrıca plastik endüstrisi tarafından temel birleştiriciler olarak kullanılır. Plastik termoplastik matris ve reçine harmanlanıp, tepeye monte edilmiş bir huniden ekstruderin kovanına beslenir. Plastik ekstrüzyon işleminde, renklendiriciler ve UV

inhibitörleri gibi sıvı veya peletlenmiş formlardaki katkı maddeleri sıklıkla kullanılabilir. Ekstrüzyonun kalıbı, bu durumda, çapı 0.125 inç olan bir dizi deliktir. Bu kalıp tipi, malzemenin taşınmasını kolaylaştırmak amacıyla kullanılmaktadır.

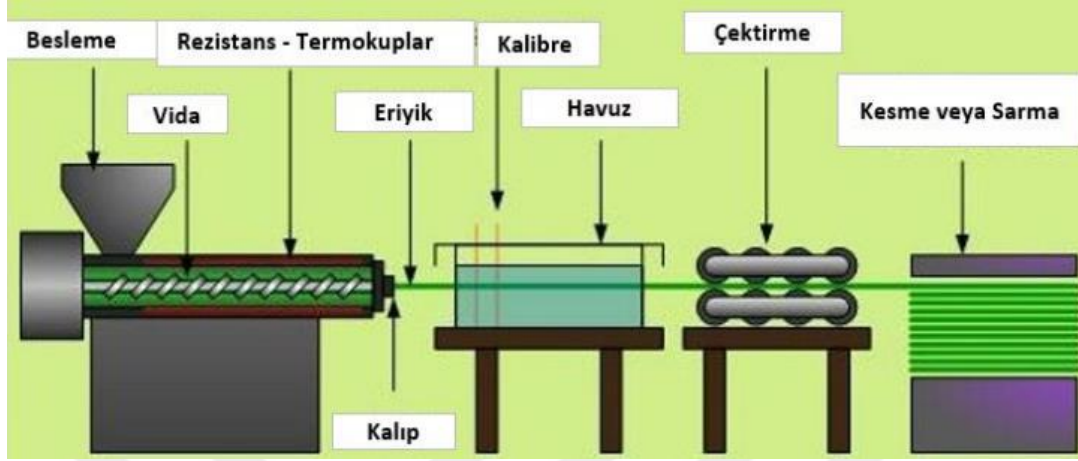


Şekil 3. 6 Prestek kalıplama üretim yöntemi

Ekstrüder kovanından harmanlanan malzemeler daha sonrasında vida ile temas eder. Döner vida, plastik reçineyi, reçineye bağlı olarak istenen erime sıcaklığına ısıtılan kovanın içine doğru iter. Çift ve tek vidalı olmak üzere iki çeşit ekstrüder bulunmaktadır. Çoğu işlemde, reçinenin önde girdiği arkadan kovanın sıcaklığını kademeli olarak artıran üç veya daha fazla bağımsız PID (orantılı-integral-türev kontrolör) sistemi ile sıcaklık profili ayarlanır. Bu, plastik reçinenin kovandan itilirken kademeli olarak erimesine izin verir ve polimerde bozulmaya neden olabilecek aşırı ısınma riskini azaltır. (Muccio, 1997) Vidalar sayesinde tamamen karışan ve polimer kompozit malzemeyi oluşturan hammaddeler daha sonra kırıcı plakadan geçer ve sonra reçine kalıba girer. Kalıp, nihai ürüne profilini veya şeklini veren şeydir ve erimiş plastiğin silindirik bir profilden ürünün profil şekline eşit şekilde akması için tasarlanmalıdır. Bu aşamadaki düzensiz akış, profilin belirli noktalarında istenmeyen gerilimler içeren bir ürün üretecektir. ("The Extrusion Process", t.y.).

Soğutma genellikle ekstrüdatın bir su banyosundan çekilmesiyle elde edilir. Plastikler mükemmel termal yalıtkanlardır ve bu nedenle çabuk soğumaları çok zordur. Bir tüp veya boru ekstrüzyon hattında, sızdırmaz bir su banyosu, yeni oluşan ve hala erimiş olan tüp veya borunun çökmesini önlemek için dikkatlice kontrol edilen bir vakum kullanır. Ürün soğuduktan sonra makaraya sarılabilir veya daha sonra kullanmak üzere uzunluklara

kesilebilir (“The Extrusion Process”, t.y.). Ekstrüder sistemine ait görsel **Şekil 3.7’de** şematik **Şekil 3.8’de** ise endüstriyel bir makine örneği verilmiştir.



Şekil 3. 7 Ekstrüzyon üretim yönteminin şematik gösterimi

Prosesin plastik enjeksiyon kalıplama ile pek çok ortak noktası vardır, ancak proses genellikle sürekli olması bakımından farklılık gösterir. Ekstrüzyon, genellikle sürekli uzunluklarda birçok benzer profil sunabilirken, enjeksiyon ile kalıplamada bitmiş ürün, sıvı reçineyi bir kalıptan ekstrüde etmek yerine bir kalıptan çıkarılır (“The Extrusion Process”, t.y.).

Ekstrüzyon işleminde elde edilmiş plastik ile ilgili en önemli husus plastik malzemenin ebatı ve homojen oluşudur. Örneğin, PVC borular, binlerce uzunluk gerektiren bir sipariş için ekstrüzyonlanabilir ve belirli uzunluklarda kesilebilir. İlk gereklilik, boru çeperinde delik olmaması ve ikincisi de çeper kalınlığının ve boru çapının spesifikasyon dahilinde olmasıdır. (Muccio., 1997)



Şekil 3. 8 Ekstrüzyon makinesi

3.3.5 Enjeksiyon kalıplama

Enjeksiyon yönteminde akışkan haldeki polimer basınç altında kapalı bir kalıp içerisine doldurulur ve soğutma işleminden sonra kalıp açılarak ürün elde edilir.

Enjeksiyon yöntemi, ekstrüzyon yöntemi ile birlikte termoplastik, termoset polimerlerin şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Enjeksiyon kalıplama enjeksiyon makinesi adı verilen sistem kullanılarak yapılır **Şekil 3.9**. Enjeksiyon makinesi içerisinde; enjeksiyon makinesi, hidrolik sistem, kalıp sistemi, itici sistem ve kontrol paneli bulunmaktadır.

Enjeksiyon sistemi;

Besleme hunisi, kovan ve piston veya vida bulunur.

Hidrolik sistem;

Sonsuz vidanın dönmesi, itme sisteminin çalışarak kalıbı kapatması ve kalıbı basınç altında tutması için gerekli gücü sağlar.

Kalıp sistemi;

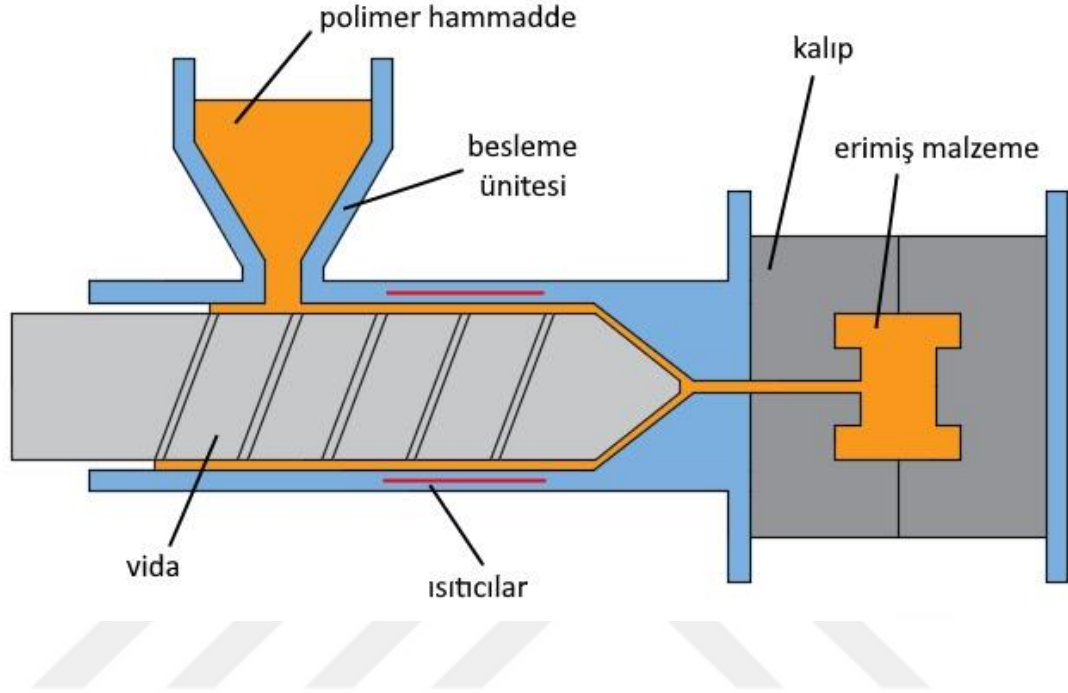
Kalıbın bağlantı elemanları ve parçalarını, soğutma elemanlarını, kalıp boşluğunu, enjeksiyon deliğini içerir.

İtici sistem;

Kalıbı açıp kapatır ve kalıbın hareketli parçasını taşır.

Kontrol paneli;

Sıcaklık, basınç, enjeksiyon hızı, vida konumu ve dönme hızı gibi işlem parametrelerini denetler ve ayarlar.



Şekil 3. 9 Enjeksiyon makinesinin şematik gösterimi

Enjeksiyon makinesi üretim esnasında polimeri ergitme, ergimiş polimerin kalıba enjeksiyonu, ürünün soğutulması ve alınması şeklinde dört ana işlem gerçekleşir. (Muccio,1997)

Besleme hunisinden kovan girişine alınan polimer vida yardımı ile kovan boyunca kalıbın bulunduğu yöne doğru taşınır. Bu sırada kovan etrafında elektrikli ısıtıcılar ve viskoz akış nedeniyle polimer ısınır ve erir. Eriyen polimer taşınırken homojenleşme meydana gelir. Vida hareketi ile getirilen ergimiş polimer erimiş malzemenin toplanacağı kalıba doldurulur ve vidayı geri itmeye başlar. Kalıp içerisi polimerle dolduktan sonra vida polimerin kalıbın içerisini tam doldurması amacıyla bir süre basınç uygulamaya devam eder. Gerekli basıncı uyguladıktan sonra vida geri çekilir ve dönme hareketiyle yeni enjeksiyon için beslenen ergimiş malzemeyi biriktirmeye başlar. Aynı anda ergimiş polimerin dolduğu kalıba soğutma işlemi uygulanır. Soğutulan kalıp açılarak ürün dışarı alınır ve kapağı kapatılarak ikinci baskıya hazır hale getirilir.

Enjeksiyon ile üretilen malzemeler oldukça fazladır. Gözlük çerçeveleri, tıraş bıçakları, plastik tabak, kaşık, çatal, plastik kalemler, oyuncaklar, spor ayakkabı tabanları termoplastik; üre-formaldehit, fenol-formaldehit ve doymamış poliesterler enjeksiyonla şekillendirilen termosetlere örnek verilebilir. (Saçak, 2017)

3.4 Literatür Taraması

Son zamanlarda yapılan çalışmalara bakıldığında polimerlere katkı malzemesi eklenerek hem maliyet düşürücü hem mukavemet artırıcı hem de atık malzemelerin değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yaygın olarak yapılmaktadır. Takviye malzemeleri polimere maliyeti düşürmek amacıyla kullanılan bileşimlerdir. Takviye malzemeleri kullanılırken polimer ile uyumu ve polimer malzemesine hangi özelliğin katılması isteniyorsa ağırlıkça o yüzdede kullanılmalıdır.

Literatür çalışmalarını incelediğimizde kompozit malzeme üretiminde atık malzemelerin ve birçok farklı dolgu malzemesinin kullanıldığı görülmüştür.

Koleva ve arkadaşları, 2011 potansiyel bir atık türü olan metalürjik cüruf dolgu malzemesi ile kompozit malzeme elde etmişlerdir. Rafine edilmiş ve ergitilmiş metalürjik cüruf kullanmışlardır. Bileşenler içerisinde atık cam olarak ikinci bir yapıda dolgu malzemesi kullanmışlardır. Atık cam numunesi televizyon camından elde edilmiştir. Elde edilen kompozitlerde rafine edilmiş Cüruf-R %10-%20 televizyon camı ve ergitilmiş Cüruf-M %10-%20 televizyon camı şeklinde kompozisyon belirlenmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, yoğunluk, termal genleşme katsayısı incelenmiştir. Mekanik ve fiziksel özellikler incelendiğinde en uygun numune kompozisyonunun Cüruf-M+% 20 TV-camı olduğu tespit edilmiştir.

Başka bir çalışmada ise Koleva ve arkadaşları, 2011 gözenekli kompozit malzeme üretimi için Fe-Ni cürufu ve atık televizyon camını kullanmıştır. En iyi mekanik özelliklere sahip Cüruf-M- %TV camı numunelerini tanecik boyut dağılımı farklı kompozit numunelerde mekanik ve fiziksel özellikleri araştırmışlardır. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla fraksiyonu -1,0+0,5 Cüruf-M içeren kompozitler erime ve deformasyona daha belirgin bir eğilim gösterdiğini daha küçük tanecikli fraksiyonu -0,250 +0,125 Cüruf-M içeren kompozitlerin ise ısıtılma işlemde $T \geq 1000^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar daha kararlı olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda yoğunluk, gözenekli yapı ve mekanik özellik olarak 950 °C/2 saatte sinterlenmiş cürufun parçacık boyutu -0,250+0,125 mm olan Cüruf-M+%40 TV-cam numunesi en düşük gözenekliliği ve en iyi mekanik özellikleri göstermiştir.

Mulana ve arkadaşları, 2023 gözenek boyutu 60-80 mikron olan hindistancevizi lifi, takviye veya dolgu maddesi olarak uçucu kül (250 gözenek), kompozit matris olarak polyester reçine, kimyasal işlem için sodyum hidroksit (NaOH) ve metil etil keton peroksit içermektedir. Hindistan cevizi lifi malzemede %0,5,10,15,20 baca külü bileşimi ise %0,15,25,35 olarak belirlenmiştir. Kompozit malzeme eldesinde sıkıştırma ile kalıplama kullanılmıştır. Hindistan cevizi lifi/uçucu kül dolgu oranının hibrit kompozitin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için yapılan araştırmaya göre, uçucu kül oranı ile hibrit kompozitin yoğunluk artışı, hindistancevizi lifinden daha yüksektir. Hibrit kompozitin su emilimi, hindistancevizi lifinin uçucu küle oranı arttıkça arttığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda hibrit kompozitin genişlemesi hindistancevizi lifinin uçucu küle oranı arttıkça arttığını tespit etmişlerdir.

Koleva, 2005, Doymamış poliester reçinesi ile atık kauçuk malzemesini kullanarak kompozit malzeme elde etmiştir. Ağırlıkça maximum %12 kauçuk malzeme kullanmışlardır. Polimer kompozitin mukavemet özellikleri, darbe mukavemeti, çekme kopma mukavemeti değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, kauçuk içeriğinin artmasıyla kopmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve basma dayanımının azaldığını göstermiştir. Sebebinin ise yapı özellikleri ile ilgili olduğu sonucuna varmışlardır. Düşük konsantrasyonlarda çalışılan yakın etkileşim ve kümelenme nedeni ile kauçuk partiküllerin sertleşme ajanı olmaktan çok kusurlu davranış sergilediği kanaatine varmışlardır. Çalışmanın sonucunda bir sonraki kompozit malzemelerde ağırlıkça %10 kauçuk malzeme sınırlandırılması yapılmasına karar verilmiştir.

Zheglova& Rashev, 2003 dolgu malzemesi olarak atık alçı-elyaf ve matris olarak ise epoksi ve poliester kullanmışlardır. Alçı-elyaf tozunun maksimum miktarını ağırlıkça (%0-20) olarak tanımlamışlardır. Elde edilen kompozit malzemenin yoğunluk ve sertlik gibi fiziksel özellikleri, dolgu içeriğinin bir fonksiyonu olarak mukavemet ve elektrik özellikleri ölçülmüştür. Dolgu içeriği arttığında, 7'ye kadar olan içeriklerde hem çekme hem de basma dayanımları keskin bir şekilde azalır. %10'a kadar içeren kompozitlerde darbe dayanımı arttığını; %10'dan sonraki kompozitlerde azalış olduğunu görmüşlerdir.

Epoksi reçine bazlı analiz edilen tüm malzemeler doymamış polyester reçine bazlı malzemelerden daha yüksek elektriksel dayanıma sahip olduğunu bulmuşlardır.

Fırınlarda yakılarak üretilen katı partikül emisyonunu hapsetmek için kullanılan iyon bazlı elektril filtrelerinden çıkan tozlar bir atık kaynağıdır. Bu filtrelerden çıkan tozların kimyasal bileşimi çeşitli uygulamalara göre hem organik hem de inorganik kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanılabilen mineral oksit karışımlarıdır. Koleva, (2007) filtrelerden çıkan Bulgaristan Maritza Iztok 2 termik santralının elektro filtreleri tarafından toplanan atık toz (125-250 µm) matris olarak doymamış poliestere ve yüksek etkili polistiren kullanarak kompozit malzeme elde etmişlerdir. Elde edilen malzemelerin mukavemet özellikleri incelenmiştir. Atık içeren kompozitler için yapılan deneylerle elde edilen sonuçlar, atık varlığının incelenen dayanıklılık özelliklerini etkilediğini ve bu etkinin bileşimdeki atık miktarına bağlı olduğunu göstermiştir. Üzerinde çalışılan konsantrasyon aralığında atık, darbe dayanımını ağırlıkça %20'ye kadar düşürür. % atık içeriği bu durumda darbe dayanımı değerleri artar ancak işleme özellikleri kötüleşir. Atık ayrıca saf polyester reçineye kıyasla eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin düşmesine neden olur. Yüksek etkili polistiren malzemesinde ise darbe mukavemeti açısından değil, aynı eğilme ve basma dayanımının arttığı görülmüştür.

Yuanwen ve arkadaşları, (1999) Atık selüloz (akçağaç unu) ve yüksek yoğunluklu polietilen ile kompozit malzeme elde etmiş ve elde edilen malzemelerin termal özelliklerini incelemiştir. Termal özellikler TGA/DTA analizleri yapılarak incelenmiştir. Selüloz ağırlıkça %9,19- 4,60 aralığında matris ile kullanılmıştır. Uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit ve alev geciktirici madde olarak ise magnezyum hidroksit kullanılmıştır. HDPE matrisine akçağaç unu ilavesinin oksidasyonunu ve yanmasını kolaylaştırdığı, maleik anhidritin ise kompozitlerin termal davranışları üzerinde çok az etkiye sahip olduğunu ve magnezyum hidroksitin ise kompozitlerin alev geciktiriciliğini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Dilek Kumlutaş ve arkadaşları (2003), Alüminyum dolgulu yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin termal iletkenliğin dolgu içeriğinin konsantrasyonuna göre değişkenliğini incelemiştir. Metalik dolgular (40- µm) Alüminyum parçacıklarının hacmine göre %10'a kadar oldukça iyi termal iletkenlik değerleri olduğu görülürken %10'nun üzerindeki numunelerin termal iletkenliği düşürdüğü görülmüştür.

Taşdemir ve Gülsoy, 2008 Demir tozunun (Fe) polistiren (PS), Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen olmak üzere üç farklı matris malzemesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Demir tozu kompozit malzemelere hacimce %5-10-15 katılmıştır. Dolgusuz HDPE, PP ve PS ile karşılaştırıldığında, polimerlerin akma ve çekme dayanımı, % uzama ve Izod çentikli darbe dayanımının azaldığı, %hacimsel Fe artışıyla birlikte elastisite modülü ve Shore D sertliğinin arttığı bulunmuştur. Daha ayrıntılı olarak, hacim% Fe, HDPE'nin Izod darbe dayanımı üzerinde PP ve PS'den daha olumsuz etkiye sahip olduğu ancak Fe tozu ilavesi HDPE'nin sertliğini PP ve PS'ye göre daha fazla artırmıştır. Polimer kompozitler arasında, PS-Fe metal-polimer kompozitler, HDPE-Fe ve PP-Fe kompozitlere göre daha yüksek çekme akma mukavemetine ve elastisite modülüne sahip ve diğer taraftan, PS-Fe kompozitlerinin % uzaması diğer kompozitlere göre daha düşük olmuştur. Ayrıca kırılma yüzeylerinden HDPE ve PP esaslı metal-polimer kompozitlerin sünek tip kırılma, PS-Fe kompozitlerin ise gevrek tip kırılma sergilediğini tespit etmişlerdir.

Taşdemir başka bir çalışmada ise, Bu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine %10-20-30 ve 40 oranlarında pinna nobilis ilave edilerek ekstürüzyonda karışımları yapılmış ve bir polimer kompoziti elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Yüksek yoğunluklu polietilen içerisinde pinna nobilis dolgusunun artmasıyla akma mukavemeti, % uzama değeri ve darbe mukavemeti değerlerinin düştüğü görülmüştür. Kopma mukavemeti değeri ise bir miktar arttıktan sonra pinna nobilis oranının daha da artmasıyla birlikte düşüş göstermiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen içerisinde pinna nobilis oranının artmasıyla elastiklik modül, sertlik ve yoğunluk değerleri yükselmiştir.

Rong ve arkadaşları (2023) ise; atık kavak ağacı yüksek yoğunluklu polietilen kullanarak kompozit malzeme elde etmişlerdir. 50 mm × 50 mm × 2 mm boyunda kesilen kavaklar 0,3 g HDPE tozu ile kaplama yapıldı. Elde edilen kompozit malzeme sonuçları değerlendirildiğinde yüksek mukavemet, su geçirmezlik, korozyon direnci, ısı yalıtımı ve alev direnci göstermiştir. Çekme mukavemeti 200 MPa olup diğer doğal malzemeler, sentetik polimerler ve kompozit malzemelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

BÖLÜM 4 POLİETİLEN

4. 1 Polietilen Tanımı

Polietilen, etilen gazından üretilen, bugün mevcut olan en yüksek hacimli küresel plastiktir. Farklı üretim süreçleri, değişen katalizör ve komonomer türleri kullanılarak, çok çeşitli etilen homopolimerleri ve kopolimerleri üretilir. Bu kadar çok varyasyon üretebilme yeteneği, üreticilerin reçineleri ambalaj filmleri, sert kaplar, variller ve borular gibi özel uygulamalar için uyarlamasına olanak tanır. (Ronca, 2017)

Polietilen reçineler tipik olarak MI ve yoğunluklarına göre sınıflandırılır. MI, reçine moleküler ağırlığını ve işlenebilirliğini gösterirken, yoğunluk, bu tür PE reçinelerinden üretilen eşyaların sertliğini ve darbe performansını etkileyen ürün kristallliğini ölçer. PE reçinelerin sınıflandırılması aşağıdaki gibidir. (Şekil 4.1)

- Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)
- Polar etilen kopolimerleri
- Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)
- Doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)
- Çok düşük yoğunluklu polietilen (VLDPE)

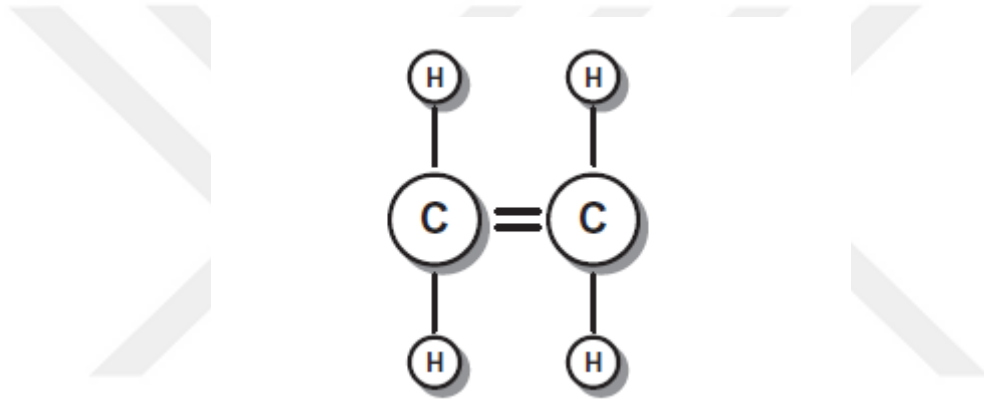
		α -Olefin content, mol %	Crystallinity degree, %	Density, g/cm ³
Resins of high density	HDPE	0 to <0.5	65 to 60	0.960 to 0.941
Resins of ultrahigh molecular weight	UHMW HDPE			0.935 to 0.930
Resins of medium density	MDPE	1 to 2	55 to 45	0.940 to 0.926
Resins of low density	LLDPE	2.5 to 3.5	45 to 30	0.925 to 0.915
Resins of very low density	VLDPE	> 4	< 25	< 0.915
Low density polyethylene, produced in high-pressure processes	LDPE	0	45 to 55	0.910 to 0.940

Şekil 4. 1 Polietilen malzemelerin sınıflandırılması

PE'nin tarihi, 1933'te Imperial Chemical Company (ICI) tarafından yüksek sıcaklık ve basınçlarda etilen reaksiyonlarını araştırırken tesadüfen LDPE'nin keşfiyle başladı. (Patel, 2009)

İlk yüksek basınçlı LDPE ticari tesisi, 1939'da ICI tarafından bir otoklav reaktörü kullanılarak inşa edildi. Daha sonra BASF, geçiş başına daha yüksek etilen dönüşümü ve dolayısıyla daha yüksek üretim oranları elde etmek amacıyla yüksek basınçlı LDPE işlemi için boru şeklinde bir reaktör geliştirdi. Bugün LDPE, otoklav ortubüler reaktörlerle benzer kimya kullanılarak hala üretilmektedir.

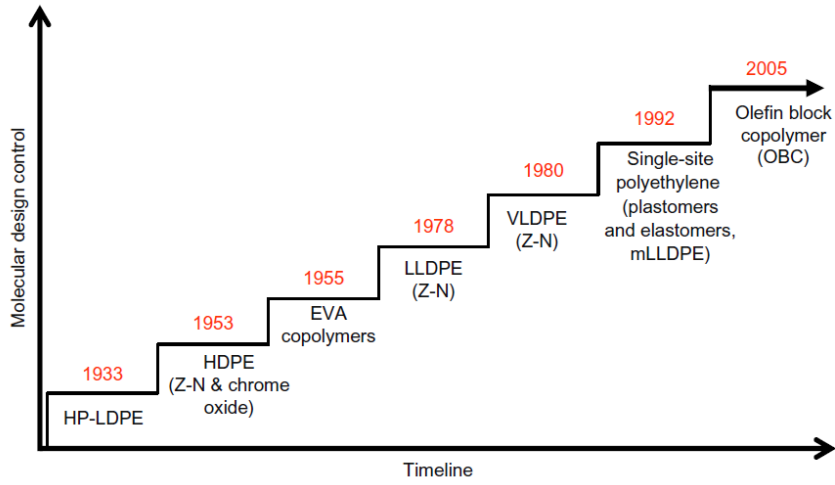
LDPE'nin temel hammaddesi etilen monomeridir. Etilen (Şekil 5.1) hafif tatlı bir kokuya sahip renksiz bir gazdır ve etan veya naftanın yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 850°C) bir buharlı krakerde parçalanmasıyla elde edilir. Etan, doğal gazda bulunur ve nafta, petrol arıtma yan ürünüdür. Etilen çok yüksek basınçlara sıkıştırılır ve LDPE üretmek için bir peroksit kullanılarak serbest radikal polimerizasyonu başlatılır.



Şekil 4. 2 Etilen molekülü (C₂H₄: moleküler ağırlık =28)

1953'te Carl Ziegler, daha düşük sıcaklıklarda ve basınçlarda PE üretimine izin veren geçiş metali kimyasını kullanarak bugün Ziegler Natta (Z-N) katalizörü olarak bilinen yeni bir katalizör sistemi geliştirdi. Yaklaşık aynı zaman diliminde, Phillips Petroleum'daki Hogan ve Banks, nispeten düşük basınçlarda silika-/alümina destekli bir krom oksit katalizörü kullanarak HDPE'yi sentezlediler (McDaniel, 2010) Bu yeni katalizörler ve işlemlerle HDPE polimerleri tanıtıldı (Benham ve ark., 2014)

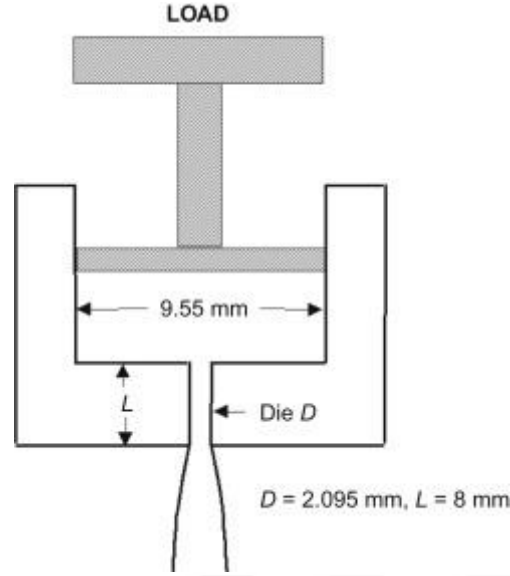
1973'te Z-N katalizör verimliliği, desteklenen bir katalizör teknolojisi kullanılarak önemli ölçüde iyileştirildi. 1978'de LLDPE polimerleri, Z-N katalizör teknolojisi kullanılarak ve bir alfa-olefin komonomer (örneğin, 1-büten, 1-heksen veya 1-okten) içeren tanıtıldı.



Şekil 4. 3 Zamana karşı polietilen yenilikleri.

1990'ların başında tanıtılan en son büyük yeni teknoloji, tek bölgesel katalize edilmiş veya metalosen ile katalize edilmiş polietilen reçineleriydi. Bu, birkaç yeni polietilenin ticari olarak piyasaya sürülmesiyle sonuçlandı. **Şekil 4.2**, zamana karşı başlıca polietilen yeniliklerini göstermektedir. Polietilen reçine seçimi genel olarak son kullanım uygulaması için ürün için gerekli olan fiziksel özelliklere dayanmaktadır. PE tipik olarak MI ve yoğunluk ile karakterize edilir. (Ronca, 2017)

Polietilen erime indeksi ise; MI veya eriyik akış indeksi, **Şekil 4.3** gösterildiği gibi belirli bir yük altında, ASTM D-1238'de açıklandığı gibi bir kalıptan 10 dakikada gram olarak ekstrüde edilmiş polimer akışını ifade eder. Koşul E tipik olarak 2,16 kg'lık bir piston yüküne sahip polietilen kaliteleri için kullanılır ve kalıp boyutları $D = 0,0825$ inç ve $L = 0,315$ inç ($D = 2,095$ mm ve $L = 8$ mm) şeklindedir. Test 190°C 'de gerçekleştirilir.



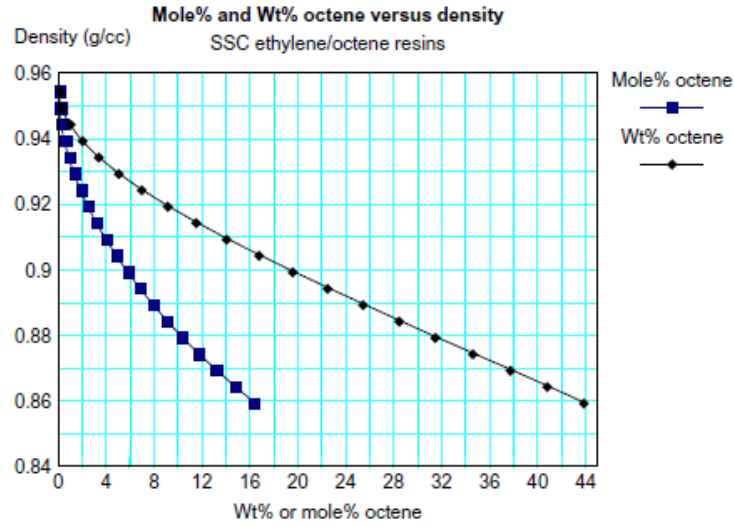
Şekil 4. 4 Eriyik indeksleyicinin şeması.

Polietilen yoğunluğu ise; Birçok polimer katılaştıklarında bazı kristal yapılar içerir. Bu polimerler, tüm polimer zincirleri kristal yapıya dahil olmadığından yarı kristallidir. Bu polimerler için, kristalleşmemiş zincir segmentleri, amorf faz olarak bilinen ikinci bir fazı oluşturur. Amorf fazdaki moleküller rastgele bir şekilde (sırasız) paketlenir. Kristal fazdaki moleküller, düzenli bir üç boyutlu düzende sıkı bir şekilde bir arada paketlenir. Bu nedenle, kristal faz, amorf fazdan daha yüksek bir yoğunluğa sahiptir. Polietilen yarı kristal bir polimerdir ve katı hal yoğunluğu $0,857$ ile $0,967 \text{ g/cm}^3$ arasında kristallığe bağlıdır. Daha yüksek katı yoğunluklara sahip reçineler daha yüksek kristallik içerir.

Şekil 4.4 homojen polietilen için okten komonomerine karşı reçine yoğunluğunu göstermektedir. LDPE'de ve bazı tek bölgeli katalize reçinelerde bulunan LCB'nin reçine yoğunluğunu/kristalinitesini de etkilemektedir.

4.2 Polietilenin özellikleri

PE, yaklaşık $80\text{--}130 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, yoğunluğu suyunkinden daha düşük olan, mum benzeri bir termoplastik yumuşatmadır. Serttir ancak orta derecede gerilme mukavemetine sahiptir, mükemmel bir elektrik yalıtkanıdır ve çok iyi kimyasal dirence sahiptir. Kütle halinde yarı saydam veya opaktır ancak ince filmler saydam olabilir.



Şekil 4. 5 Komonomer seviyesine karşı tek bölgeli katalize polietilen yoğunluğu

4.2.1 Mekanik özellikler

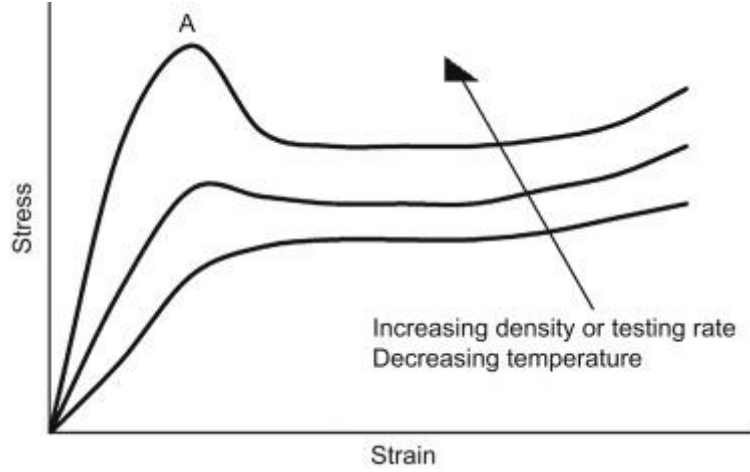
Mekanik özellikler büyük ölçüde molar kütle ve polimerin dallanma derecesine bağlıdır. Diğer polimerlerde olduğu gibi, bu özellikler ayrıca test hızına, test sıcaklığına, numune hazırlama yöntemine, numunenin boyutuna ve şekline ve PE ile sadece küçük bir dereceye kadar numunelerin testten önce şartlandırılmasına bağlıdır. **Tablo 4.2** kristallik/yoğunluk, MFI ve MMD değiştirilirken PE özellikleri arasındaki bazı genel ilişkileri göstermektedir. (Ronca, 2017)

Verilen ilişkiler, dallanma (yoğunluk) ve molar kütlenin bazı polimer özellikleri üzerindeki genel etkilerini açıkça göstermektedir, ancak farklı test koşulları altında farklı sonuçların elde edilebileceği unutulmamalıdır.

Farklı yoğunluktaki ancak aynı eriyik akış indeksine sahip polimerlerin aynı molar kütleye sahip olmadığı da unutulmamalıdır. Test hızının, sıcaklığın ve yoğunluğun çekme gerilmesi-uzama eğrileri üzerindeki genel etkileri şematik olarak Şekil 4.6'da Polietilen için stres-gerinim eğrisinin şekli üzerinde polimer yoğunluğunun, test hızının ve sıcaklığın etkisi gösterilmektedir. (Ronca, 2017)

Tablo 4. 1 Polietilenin özellikleri

	Yoğunlukta/Kristallikte Artış	Eriyik Akış İndeksinde Artış	Molar Kütle Dağılımı Azalması
Eriyik viskozitesi	Etkisi yok	Çok daha düşük	Biraz daha yüksek
Vicat yumuşama sıcaklığı	Çok daha yüksek	Biraz daha düşük	Biraz daha yüksek
Erime noktası	Çok daha yüksek	Daha düşük	Biraz daha yüksek
Kopma anında çekme dayanımı	Daha yüksek	Daha düşük	Etkisi yok
Kopma uzaması	Daha düşük	Çok daha düşük	Etkisi yok
Elastik modülü	Çok daha yüksek	Biraz daha düşük	Etkisi yok
Darbe dayanımı	çok daha düşük	Çok daha düşük	Biraz daha yüksek
Sürünmeye karşı direnç	Daha yüksek	Biraz daha düşük	Biraz daha yüksek
Çevresel stres çatlamasına karşı direnç	Daha düşük	Çok daha düşük	Biraz daha yüksek
Aşınma direnci	Daha yüksek	Biraz daha düşük	Etkisi yok
Bariyer özellikleri	Çok daha yüksek	Etkisi yok	Daha yüksek
Hava koşullarına dayanıklılık	Etkisi yok	Biraz daha düşük	Etkisi yok

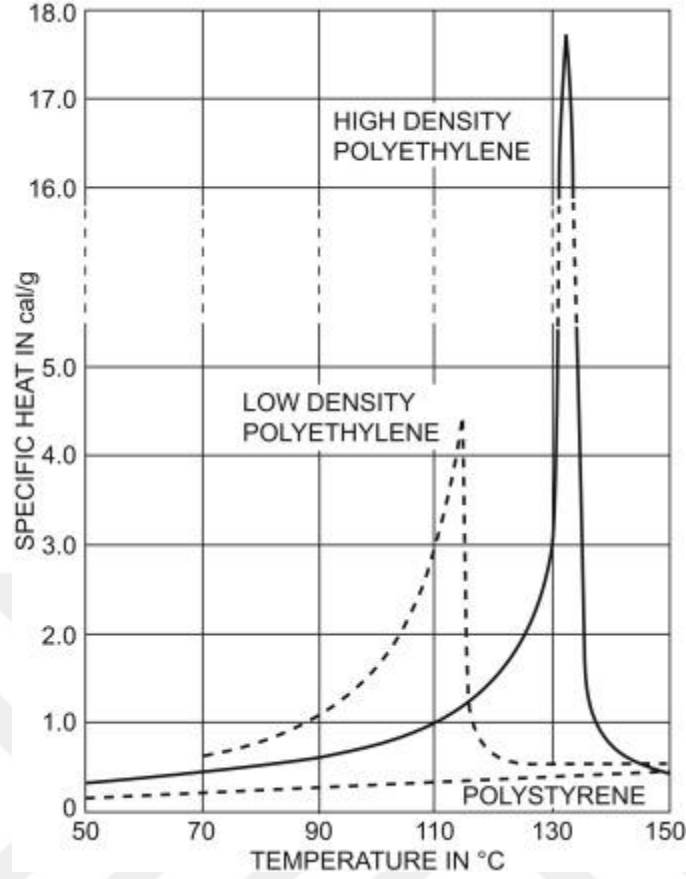


Şekil 4. 6 Polietilen için stres-gerinim eğrisinin şekli üzerinde polimer yoğunluğunun, test hızının ve sıcaklığın etkisi

4.2.2 Termal Özellikler

Oda sıcaklığında sert olan polimerler soğutulduğunda kırılgan hale gelir, ancak bazı numuneler -70°C 'ye kadar düşük sıcaklıklara ulaşılana kadar kırılgan görünmemektedir. Genel olarak, molar kütle ne kadar yüksek ve dallanma ne kadar fazlaysa, kırılganlık noktası o kadar düşüktür. Ölçülen kırılgan noktalar aynı zamanda numune hazırlama yöntemine de bağlıdır, dolayısıyla polimerin çentik duyarlı olduğunu, yani yüzey kusurlarına karşı duyarlı olduğunu gösterir.

PE'nin özgül ısısı çoğu termoplastikten daha yüksektir ve büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. PE'nin akış özellikleri geniş çapta incelenmiştir. (**Şekil 4.7**) Ticari polimerler arasındaki geniş ortalama molar kütle aralığı nedeniyle, viskoziteler büyük ölçüde değişir. Yaygın olarak kullanılan polietilenler, poliamidlerden daha yüksek ve plastikleştirilmemiş PVC ve poli(metil metakrilattan daha düşük) viskozitelere sahiptir. (Ronca, 2017)



Şekil 4. 7 Sıvıların 20 °C'de 920 ve 960 kg/m³ Yoğunluktaki Polietilenler Tarafından 30 Günlük Daldırma Sonrası Emilmesi

PE'nin yalıtım özellikleri, herhangi bir diğer dielektrik malzemeninkilerle karşılaştırıldığında olumludur. Polar olmayan bir malzeme olduğu için güç faktörü ve dielektrik sabiti gibi özellikler sıcaklık ve frekanstan neredeyse bağımsızdır. Dielektrik sabiti doğrusal olarak yoğunluğa bağlıdır ve ısıtmada yoğunluğun azalması dielektrik sabitinde küçük bir azalmaya yol açar. Veriler Tablo 4.2'deki gibidir.

Karbonil gruplarının oluşumu ile PE'nin oksidasyonu, güç faktöründe ciddi bir artışa neden olabilir. Antioksidanlar, etkiyi azaltmak için elektriksel uygulamalar için bileşiklere dahil edilir.

Tablo 4. 2 Polietilenin Elektriksel Özellikleri

Hacim direnci	10 15 –10 18 Ωcm _
Dielektrik gücü	20 kV/mm
Dielektrik sabiti	
yoğunluk = 920 kg m ⁻³	2.28
yoğunluk = 960 kg m ⁻³	2.35
Güç faktörü	$\sim 1-2 \times 10^{-4}$

4.3 Polietilen Malzeme Çeşitleri

Çoğu özelliklerinde şu veya bu şekilde farklılık gösteren yüzlerce PE sınıfı mevcuttur. Bu farklılıklar aşağıdaki değişkenlerden kaynaklanmaktadır:

1. Polimerde kısa zincirli dallanma derecesindeki değişiklik;
2. Uzun zincirli dallanma derecesindeki değişiklik;
3. Ortalama molar kütledeki değişim;
4. MMD'deki varyasyon (kısmen uzun zincirli dallanmaya bağlı olabilir);
5. Az miktarda komonomer kalıntısının varlığı;
6. Bazıları polimerle birleşebilen safsızlıkların veya polimerizasyon kalıntılarının varlığı.

Polimerin birleştirilmesi ve çapraz bağlanmasıyla başka varyasyonlar da elde edilebilir, ancak bu yönler bu aşamada dikkate alınmayacaktır.

4.3.1 Düşük yoğunluklu Polietilen (LDPE)

Düşük yoğunluklu polietilen üretimi esnasında (147-297°C) sıcaklıklarda ve yüksek basınç altında (1000 -3000 atm) yapılır. %100'e çok yakın saflıktaki eten sıkıştırılır ve reaksiyon başlatan katalizör ile bir reaktöre geçirilir. Erimiş polietilen granüller halinde

kesilir. Reaksiyona girmemiş eten geri dönüştürülür. Ortalama polimer molekülü 4000-40.000 karbon atomu içerir.

1000 karbon atomu başına yaklaşık 20 dal bulunur. Bağlı moleküler kütle ve dallanma LDPE'nin fiziksel özelliklerini etkiler. LDPE genellikle yaklaşık %50 kristallik ile şekilsiz ve saydamdır. Dallar moleküllerin birbirine yaklaşmasını önler ve bu nedenle düşük yoğunluğa sahiptir. Dallanma miktarının en çok olduğu tür, düşük yoğunluklu polietilendir.

Ekstrüzyon kaplama, ekstrüzyon, rotasyonel kalıplama, enjeksiyon kalıplama, şişirme, üfleli filmler ve döküm filmler işleme yöntemleri içerisinde. (Massey L.K., 2003)

LDPE en fazla talep gören polimerlerden biridir. Ekonomiktir ve kullanımları alanlar endüstriyel paketleme: shrink filmler, ev eşyaları ve kişisel bakım sıkılabilir şişeler olarak sayılabilir.[3]

4.3.2 Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)

HDPE polimerleri oldukça kristalli, tok malzemelerdir. Yüksek moleküler ağırlıklı yüksek yoğunluklu polietilen, HMW-HDPE, 200.000 ila 500.000 aralığında moleküler ağırlıklara sahip özel bir lineer reçine sınıfıdır. Molekül yapısı LDPE düşük yoğunluklu polietilenden farklıdır. Uzun karbon zincirleri üzerinde dallanmalar azdır. Kimyasal maddelere ve suya karşı dirençlidir. LDPE ile karşılaştırıldığında çekme ve darbe dayanımları yüksektir. Bazı dolgu maddeleriyle daha da iyileştirilmesi mümkündür. Gıda ambalajı: süt ürünleri ve şişelenmiş su, kozmetikler, tıbbi ürünler ve ev kimyasalları, otomotiv gaz tankları, 55 galonluk bidonlar, levhalar, borular, eğlence ürünleri ve jeosentetik malzemelerde kullanılmaktadır. (Massey L.K., 2002)

4.4 Polietilen Katkıları

Aşağıda, PE'de kullanılan en yaygın katkı maddelerine genel bir bakış yer almaktadır. Bu katkı maddeleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

- 1.Dolgu maddeleri,
- 2.Pigmentler,
- 3.Alev geciktiriciler,

- 4.Kayma ajanları,
- 5.Şişirme ajanları,
- 6.Kauçuklar,
- 7.Çapraz bağlama ajanları,
- 8.Antioksidanlar,
- 9.Karbon siyahı,
- 10.Antistatik katkı maddeleri.

Pek çok plastik malzemenin önemli bileşenleri olan dolgu maddeleri, polimerin kristallğine müdahale ettikleri ve genellikle düşük süneklğe sahip oldukça kırılğan ürünler verdikleri için PE ile nadiren kullanılır. Karbon karasının bir miktar takviye etkisi vardır ve çapraz bağlı polimerlerde kullanılır. Aynı zamanda, polimere bir iletkenlik ölçüsü getirilmesinde de bazı kullanımlar vardır. Silan ve titanat kenetleme ajanlarının kullanılmasıyla siyah olmayan dolgu maddeleriyle biraz daha iyi sonuçlar elde edilebilir ve doldurulmamış polimere kıyasla sertliğı ve çekme mukavemeti artırılmış bileşikler elde edilebilir. Ancak polipropilenden farklı olarak mineral dolgulu PE önemsiz kalmıştır. Bir dizi pigment PE'de kullanılabilir. Bir pigmentin temel gereksinimleri, yüksek örtme gücü/maliyet oranına sahip olması ve işleme ve servis koşullarına dayanıklı olmasıdır. PE söz konusu olduğunda, pigmentin kobalt, kadmiyum ve manganez bazlı bir dizi pigmentte gözlenen bir etki olan oksidasyonu katalize etmemesine özel dikkat gösterilmelidir. Hidratlı kromik oksit, demir mavisi, ultramarin ve anataz titanyum dioksit ile başka yan etkiler de bildirilmiştir (Bigger ve Delatycki, 1989). Elektriksel izolasyon uygulamasında kobalt mavisi gibi yaşlanmayla birlikte güç faktörünün hızlı yükselmesine neden olan pigmentlerden kaçınılmalıdır.

PE kolayca yanar ve alev geciktirici olarak çok sayıda malzeme kullanılmıştır. Bunlar arasında antimon trioksit ve bir dizi halojenli malzeme bulunur. Bununla birlikte, yanma sırasında toksik gazların ve aşındırıcı dumanların oluşması nedeniyle, bu alandaki araştırmalar, halojen içermeyen alev geciktiricilerin, örneğin, yüzeyinde yanmış bir tabaka oluşturabilen katkı maddelerinin geliştirilmesine yöneliktir.

Antistatik katkı maddeleri , toz çekiciliğini azaltmak için ve ayrıca filmlerde, belirli türdeki torba yapım ve paketlenme ekipmanlarında kullanım davranışını iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir zamanlar antistatik bir maddenin silerek, daldırarak veya püskürterek yüzeye uygulanması daha yaygın iken, artık normal birleştirme sırasında polimer kütlesine dahil edilen ve yüzeye hareket eden antistatik maddeler artan bir şekilde kullanılmaktadır. zamanın geçişi. Bu gezici katkı maddeleri, iyonik olmayan iyonik olabilir, burada birincisi genellikle polar reçineler için tercih edilirken, ikincisi daha çok polar reçineler için kullanılır.

PE. Antistatik ajanın hidrofilik bir kafası ve hidrofobik bir kuyruğu vardır: göç, molekülün hidrofilik başlığı yüzeye çıkarmasına ve ortam nemini çekmesine izin verir, bu da yükün dağılmasına yardımcı olur. Bu yaklaşımın avantajı, ekstra kaplama işleminin kaçınılması ve ayrıca normal kullanımla kaldırılan herhangi bir malzeme tabakasının yerini kütleden dışarı çıkacak olan malzeme alır. Bu tür "antistatların" seçimi kritiktir ve özellikle kullanılan polimerlere ve gereken termal stabiliteye bağlı olacaktır. Belirli bir polimer için, maddenin üretimden sonra mümkün olan en kısa sürede antistatik bir tabaka oluşturmak için sınırlı bir uyumluluğa ve yüksek bir difüzyon hızına sahip olması gerekir. PE ve polipropilen için üç ana tip antistat kullanılır: gliserol monostearat, etoksillenmiş yağ asidi aminleri ve dietanolaminler. Son zamanlarda, kendinden iletken polimerlerin geliştirilmesiyle, bu polimerler, nem seviyesinden bağımsız olma avantajıyla, yükleri taşıma yetenekleri nedeniyle antistatik maddeler olarak kullanılmıştır. (Ronca, 2017)

4.5 Polietilenin Kullanıldığı Alanlar

Şimdiye kadar açıklanan çok çeşitli PE türleri ve dereceleri göz önüne alındığında, PE'nin şu anda polimer endüstrisine hakim olması şaşırtıcı olmamalıdır. PE'nin yaygın kullanımına yol açan özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- 1.Düşük maliyetli;
- 2.Kolay işlenebilirlik;
- 3.Mükemmel elektriksel yalıtım özellikleri;

- 4.Mükemmel kimyasal direnç;
- 5.Düşük sıcaklıklarda bile tokluk ve esneklik;
- 6.İnce filmlerin makul netliği;
- 7.Koku ve toksisiteden arınmış;

Birçok paketleme, inşaat ve tarım uygulaması için yeterince düşük su buharı geçirgenliği. Bunlara, bu malzemenin işlenmesi ve özellikleri ile ilgili çok miktarda bilginin mevcut olduğu ve özelliklerinin makul ölçüde iyi bilindiği ve genel olarak halk tarafından anlaşıldığı gerçeği de eklenebilir.

Polimerin sınırlamaları şunlardır:

- 1.Düşük yumuşama sıcaklığı;
2. Sertlik eksikliği (bazı uygulamalarda bir sınırlama, diğerlerinde ise bir erdem);
- 3.Oksidasyona yatkınlık (ancak PE bu açıdan diğer birçok polimerden daha iyidir);
- 4.Malzemenin toplu olarak opaklığı;
- 5.Balmumu benzeri görünüm;
- 6.Zayıf darbe direnci;
- 7.Düşük gerilme mukavemeti (önceki bölümde tartışıldığı gibi yönlendirilmiş UHMWPE'nin kayda değer istisnası dışında);
- 8.Yüksek gaz geçirgenliği .

Birçok amaç için bu sınırlamalar ciddi değildir, ancak diğer durumlarda doğru polimer seçimi, katkı maddeleri, işleme koşulları ve son işlem önemli ölçüde yardımcı olabilir.

4.5.1 LDPE Uygulamaları

LDPE film için başlıca uygulamalar arasında ağır hizmet çuvalları, çöp çuvalları, taşıma torbaları, gıda ambalajı için shrink film, inşaat endüstrisi için film, tarımsal amaçlar ve genel ambalajlama yer alır. Bu alandaki bir teknik gelişme, LDPE film formülasyonlarında %20'ye varan oranda etilen-propilen kauçuğun kullanımının artmasıdır. Bu, karşılık gelen karıştırılmamış LDPE ile karşılaştırıldığında karışımların iyileştirilmiş düşük sıcaklık özelliklerinden ve daha yüksek darbe mukavemetinden

kaynaklanmaktadır. VLDPE'ler, çok iyi düşük sıcaklık darbe özelliklerine sahip olduklarından, dondurulmuş gıda ambalajlarında ilgi görmektedir.

Tablo 4. 3 Malzemelerin kullanım

Proses	LDPE	LLDPE	HDPE
Şişirme	%1	%0,1	%28
Enjeksiyon kalıplama	%4	%6	%14
Film	%37	%48	%13
Ekstrüde ürünler	%7	%6	—
İhracat	%24	%22	%14
Ekstrüzyon kaplama	%12	—	—
Boru	—	—	%11
Çarşaf	—	—	%4

4.5.2 HDPE Uygulamaları

HDPE günümüzde, her biri belirli bir işleme yöntemi veya uygulaması için optimize edilmiş, 0,25 ile 40 arasında değişen MFI ve 946 ile 964 kg m⁻³ arasındaki yoğunluklarla çeşitli sınıflarda mevcuttur . Basıncılı borular için geliştirilmiş çift modlu MMD de mevcuttur; burada yüksek molar kütle bileşeni darbe dayanımı, tokluk, sağlamlık ve iyi ESC direnci sağlarken daha düşük molar kütle tepe noktası akış davranışını iyileştirir.

HDPE film büyük ölçüde market, çöp ve derin dondurucu poşetlerinde kullanılmaktadır. HDPE'nin (ve onun çapraz bağlı versiyonu olan PEX'in) bir diğer önemli kullanım alanı borulardır. Kullanım alanları, evsel su ve gaz borularını, tarımsal boruları ve daha küçük ölçekte tükenmez kalem için mürekkep borularını içerir. Bu

uygulama alanında, son zamanlarda, 1000 mm'ye kadar çaplara sahip ve 0,6-1,0 MPa basınçlara dayanabilen su borularında çatlamaya karşı dirençleri nedeniyle bimodal polimerlere özel bir ilgi vardır . Bu tür borular, eskiyen beton ve dökme demir içme suyu dağıtım şebekelerinin yeniden döşenmesinde kullanılmıştır.

Tablo 4. 4 LDPE, LLDPE ve HDPE'nin MFI'si ile bazı uygulamalar arasındaki ilişki

Polimer	MFI	Uygulamalar
LDPE	0.3	Ağır hizmet tipi çantalar, endüstriyel çuvallar
	0,5	Shrink filmler, çöp kutuları, küçük üfleli kalıplanmış kaplar, ilaç ambalajları
	2.0	Genel amaçlı torbalar, ekstrüde süt torbaları, düşük gerilimli güç kablolarının yalıtımı
	22	Enjeksiyon kalıplı ürünler
LLDPE	0.9	Şişirilmiş film, Laminasyon
	2.2	Cast film, streç film
	16	Enjeksiyon kalıplı ürünler
HDPE	0,35	Şişirme kalıplı ürünler ve şişeler
	4	Enjeksiyon kalıplı palet, ev eşyaları, oyuncaklar
	6.5	Borular
	18	Enjeksiyon kalıplı ev eşyaları, ince cidarlı gıda kapları

4.5.3 HDWPE ve UHMWPE Uygulamaları

Yüksek molar kütleli HDPE (HMW-HDPE), şişirilmiş film ve zorlu kalıplama ve yapısal kullanımlar için kullanılır. Örnekler, tehlikeli kimyasalları ve basınçlı boruları paketlemek için üfleme kalıplanmış varillerdir.

Molar kütleleri 3000–6000 kg/mol⁻¹ aralığında olan çok yüksek (ultra yüksek) molar kütleli polietilenler (VHMWPE veya UHMWPE), üstün aşınma direnci, düşük sıcaklık tokluğu ve düşük sürtünme katsayısı ile şiddetli koşullarda kullanılır. Cevher işleme ve gıda işleme, halatlar gibi çalışma koşulları, biyomedikal bir malzeme olarak ve hattabalistik uygulamalar Bu tür malzemeler, aşınma direncini daha da geliştirmek için bazen peroksitlerle çapraz bağlanır.

4.5.4 Kalıplama Uygulamaları için PE

PE, önemli bir enjeksiyon kalıplama malzemesidir. Enjeksiyon kalıplama için kullanılan LDPE yüzdesi sadece yaklaşık %5 iken, pazarın bir kısmını HDPE, polipropilene kaptırmış olsa da gerçek tonaj önemlidir. ve etilen-vinil asetat kopolimerleri. Ek olarak, LDPE ve HDPE karışımlarının önemli ölçüde kullanımı vardır. Oyuncaklardan kimya tesislerine, elektrik bağlantı parçalarından contalara, burçlardan birçok endüstriyel ürüne kadar çok geniş bir ürün yelpazesi yapılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama, HDPE ile hem yüzde hem de mutlak olarak biraz daha önemlidir. Kullanımlar arasında endüstriyel kaplar, kasalar, kovalar, yemek kapları, kaplar ve kapaklar, ev eşyaları, oyuncaklar ve çok sayıda başka uygulama yer alır.



Şekil 4. 8 PE malzeme çeşitleri

A collage of various plastic products. In the top left, a green recycling bin with a 'Plastic' label and a recycling symbol is filled with colorful plastic waste. Next to it are several plastic bags, including a red one with 'MIND' printed on it. Below the bin are two stacked plastic bowls, one red and one blue. In the center, there are several rolls of plastic sheeting in blue, white, green, and yellow. To the right, a close-up shows a stack of white and black foam blocks. At the bottom, there are several large black and blue plastic pipes and a coiled blue plastic hose.

4.5.5 Dielektrik Malzeme Olarak PE

68

bağlı PE'nin kullanılması genellikle faydalıdır. PE köpük, binalarda yalıtkan olarak veya beton, tuğla ve blok işlerinde genleşme derzi dolgusu olarak kullanılır.

Yukarıdaki uygulamalar üretilen PE'nin %90'ından fazlasını tüketmesine rağmen, bir dizi başka önemli nihai kullanım vardır. İpler, balık ağları ve kumaşlar için filamentler, YYPE için önemli bir çıkış noktasıdır; toz polimerler daldırma kaplama, alevle püskürtme, rotasyonel kalıplama ve diğer çıkışlar için kullanılırken fabrikasyon sac kimya fabrikasında önemlidir.

Benzer bir kavram, elyaf veya sentetik odun hamuru olarak bilinen selüloz benzeri bir morfolojiye sahip ürünlerle sonuçlanan HDPE çözeltilerinin işlenmesi için de geçerlidir. Mühürlenebilirlik ve iyileştirilmiş ıslak mukavemet gibi özellikler vermek için kağıt ve özel panoları bitirmek için kullanılırlar. Ayrıca fayans yapıştırıcıları, tiksotropik maddeler, pil ayırıcılar ve çay poşetleri gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanıldıkları bildirilmektedir. (Ronca,2017)

PE'ye yönelik en büyük zorluk diğer malzemelerden değil, kendi başarısının bir sonucu olarak ortaya çıkıyor. Her yıl ambalajlama için kullanılan çok büyük miktarlardaki PE, istenmeyen düzeyde bir çöple sonuçlanmıştır. Halkın direnişinin ve bazı ülkelerdeki mevzuatın (örneğin, şu anda Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nin bazı bölümleri, Hindistan ve Afrika dahil olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde yürürlükte olan hafif plastik poşet yasağı) sonucunda, Ambalaj için PE kullanımı gelecekte kısıtlanabilir.

BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada matris malzemesi olarak HDPE polimeri ve dolgu malzemesi olarak ise metalik cüruf ve uçucu kül kullanılmıştır.

5.1.1 Polietilen

Matris malzemesi olarak kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) DOW™ HDPE KT 10000 UE ticari ismi ile The DOW Chemical firmasından granül halinde temin edilmiştir. İlgili teknik özellikler **Tablo 5.1**'de verilmiştir.

Tablo 5. 1 Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Özellikleri

Fiziksel Özellikleri	Birimi
Yoğunluk	0.964 g/cm ³
Erime indeksi 190°C/2.16 kg 190°C/5.0 kg	8.0 g/10 min 22 g/10 min
Kalıp çekme-Akış	% 2.1
Mekanik Özellikler	Birimi
Gerilme direnci Verim Kırma	29.0 MPa 32.0 MPa
Çekme Uzaması	% 800
Eğilme Modülü	1050
Darbe	Birimi
Çekme Darbe Dayanımı	77.0 kJ/m ²
Sertlik(Shore D)	66
Termal Özellik	Birimi
Vicat yumuşama sıcaklığı	131°C
Ergime sıcaklığı	127-135°C

5.1.2 Baca külü

Çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan Baca külü hammaddesi Silvan Sanayi fabrikasından temin edilmiştir. Temin edilen numune fabrikadan çıkan atık bir numunedir. Malzemenin görüntüsü Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5. 1 Baca külü görüntüsü

5.1.3 Metalik cüruf

Çalışmada kullanılan metalik cüruf Balıkesir Yarış Kabini fabrikasından temin edilmiştir. Malzeme döküm sonrasında çıkan atık bir malzemedir. (Şekil 5.2)



Şekil 5. 2 Metalik cüruf görüntüsü

5.2 Deneysel Yöntem

5.2.1 Kompozit malzemenin oluşturulması

5.2.1.1 Öğütme Cihazı

Dolgu malzemeleri Uçucu kül ve Metalik Cüruf Marmara Üniversitesi Kompozit laboratuvarında her öğütme işleminde 20 sn programlanarak öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. (Şekil 5.3)



Şekil 5. 3 Fiziksel Öğütme Cihazı

Öğütme işlemi yapıldıktan sonra malzemeler harman hazırlayabilecek hale gelmiş ve tanecik boyutu 200 mikrona düşmüştür. Aşağıdaki iki fotoğrafta öğütme öncesi ve sonrası görseller bulunmaktadır. Yapılan öğütme işleminin amacı malzemelerin daha homojen ve ekstrüder işlemi esnasında daha iyi ergimesini sağlamaktır. (Şekil 5.4)



Şekil 5. 4 Öğütme öncesi ve sonrası metalik cüruf görselleri

5.2.1.2 Harmanın hazırlanması

Malzemeler mekanik öğütme işleminden sonra 500 gram olacak şekilde ekstrüdere verilmek üzere harman oluşturulmuştur.

Harman içeriğinde;

Polietilen(PE) matris malzemesi Baca külü (BK) ve Metalik cüruf(MC) dolgu malzemesi Gliserin ise kayganlaştırıcı olarak kullanıldı. Malzemelerin harman içeriğindeki bileşenleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Tablo 5.2)

Tablo 5. 2 Harman içeriklerinde kullanılan numune tipleri

Numune Tipi	Gliserin(%)	PE(%)	BK(%)	MC(%)
PEBK	%1	79	20	-
PEBKMC	%1	79	10	10
PEMC	%1	79	-	20
PEMCBK	%1	79	15	5
PEMCBK	%1	79	5	15
SAF HDPE	-	100	-	-

5.2.1.3 Ekstrüzyon cihazı

Ekstrüzyon cihazı matris, dolgu ve takviye malzemelerinin kullanarak kompozit malzeme eldesinde kullanılır. Detaylı bilgi Bölüm 3.2’de Polimer Kompozitlerin Üretim yöntemlerinde verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan matris ve dolgu malzemelerinin kompozit malzemeye dönüştürmek amacıyla **Tablo 5.2’de** bulunan harman kompozisyonlarında Yalova Üniversitesinde bulunan Gülnar Marka Çift Vidalı Ekstrüder cihazı kullanılmıştır.

HDPE çalışma sıcaklığına uygun olarak 220-200-190-190 °C olarak ekstrüderde belirlenmiştir. Hazırlanan farklı kompozisyonlardaki harmanlar **Şekil 5.5** de bulunan kovandan beslenerek ergitme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ergiyen malzeme ekstrüder cihazının çıkışından bir havuza gelerek kademli soğutulup daha sonra kırpıcıya verilerek granül haline getirilmiştir. (**Şekil 5.6**)



Şekil 5. 5 Ekstrüzyon cihazı



Şekil 5. 6 Ekstrüder cihazında elde edilen granüller

5.2.1.4 Enjeksiyon Cihazı

Enjeksiyon Cihazı Ekstrüder işleminden sonra malzemeleri belirli kalıplardaki şekilleri vermek için kullanılmıştır. Detaylı bilgi Bölüm 3.2’de Polimer Kompozitlerin Üretim yöntemlerinde verilmiştir.

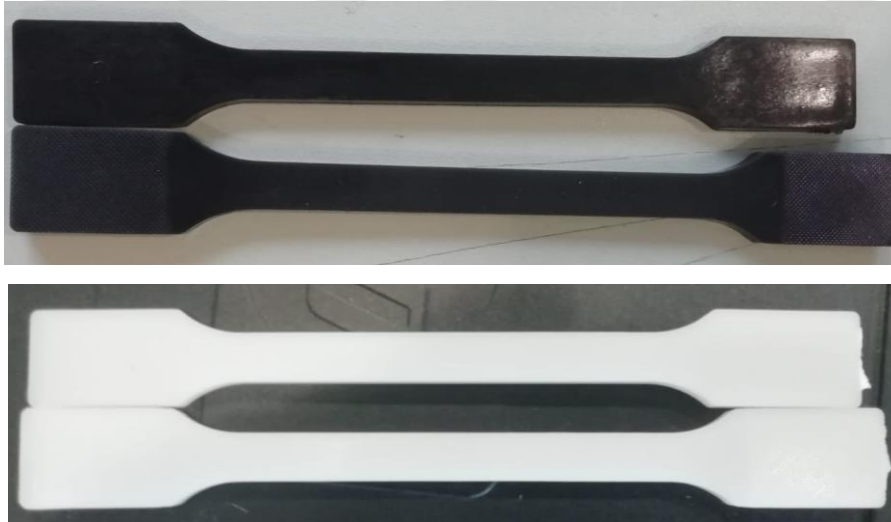
Ekstrüder cihazında üretilen granüller 80°C 24 saat etüvde bekletilerek içerisindeki nemi uzaklaştırılmıştır. Nemi uzaklaştırılan granüller Yalova Üniversitesinde bulunan Engel Marka Enjeksiyon Cihazında kovana beslenerek sonsuz vidalı silindir içerisinde ergiyerek cihazda yer alan piston yardımıyla kalıp numunesi elde edilmiştir. Sıcaklıklar HDPE’ne uygun dört bölge için 210-200-190-180° C olarak belirlenmiştir. (Şekil 5.7)



Şekil 5. 7 Enjeksiyon Cihazı

5.2.2 Mekanik Testler

Malzemelerin mekanik davranışlarını analiz etmek amacıyla mekanik mukavemet testleri yapılır. Bu çalışmada elde edilen dog bone numuneleri için (Şekil 5.8) bölümdeki alt başlıkta yer alan testler yapılmıştır.



Şekil 5. 8 Enjeksiyon kalıplama ile elde edilen numuneler

5.2.2.1 Çekme testi

Mekanik testler için hazırlanan numunelerden ‘dog bone’ olarak adlandırılan standart test numunesine Zwick marka universal test cihazında kopma testi uygulanmıştır Test için

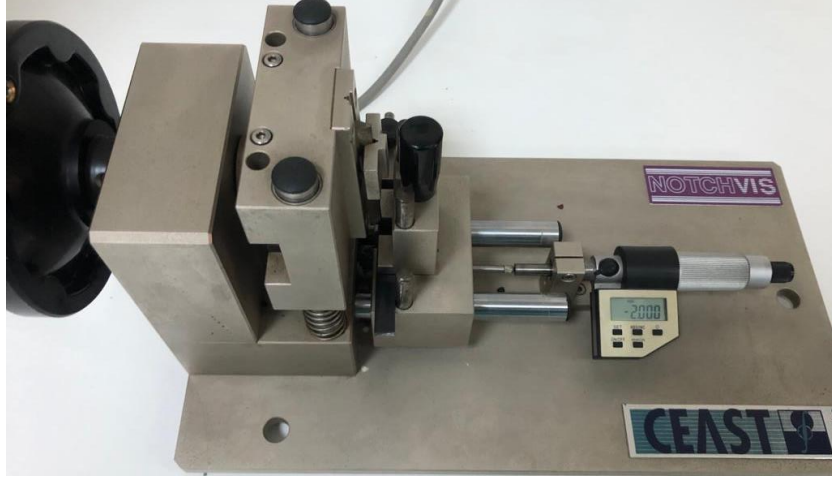
numuneye ait et kalınlığı ve genişlik verileri girilip 5 adet numune için değerler elde edilmiştir. Test 50 mm/dk hızda gerçekleşmiş olup numune kalınlığı 4 mm genişliği ise 10 mm olarak ölçülmüştür. ISO 572-2 Tip 1-B numaralı standarda uygun olarak çekme testi uygulanmıştır.(Şekil 5.8)



Şekil 5. 9 Çekme testi düzeneği

5.2.2.2 Darbe Testi

Darbe deneyi tek noktadan yükleme altında kırılmaya karşı olan direnci bulmak için kullanılmıştır. Izod darbe testinde çekiç 8 cm'lik numunelere çentik ve orta noktasından dikey olarak vurmuştur. Marmara üniversitesinde bulunan Zwick marka universal test cihazında edilmiştir. Test cihazı uygun Joule aparatı ile işlem öncesinde ayarlanmıştır. Numuneye ait et kalınlığı ve genişlik verileri girilmiştir. NOTCHV1s çentik açma cihazı çentik açmak amacıyla kullanılmıştır. Numunelere 2 mm çentik açılmıştır. (Şekil 5.10)



Şekil 5. 10 Çentik açma cihazı

Izod Darbe Testi verilerinin hesaplanmasında belirli yükseklikten bırakılan çekicin malzemeyi kırması için gereken potansiyel enerjisi ölçülür. Ölçülen değerler kJ/m^2 cinsinden bulunur ve 15 adet numunenin değerleri alınıp ortalama değer kaydedilmiştir. Izod darbe testi için TSE’de yer alan TS EN ISO 180:2000 numaralı standarda uygun olarak testler yapılmıştır(Şekil 5.11)



Şekil 5. 11 Darbe testi düzeneği

5.2.2.3 Eğilme testi

Eğilme testi, Şekil 5.9’da gösterilen Zwick marka universal test cihazı ile TS EN ISO 178 numaralı standarda uygun olarak yapılmıştır. Eğilme numuneleri enjeksiyondan elde edilen dog bone numunelerinden kesilerek 11 cm’lik numunelere uygulanarak numunelerin et kalınlığı ve genişlik verileri girilmiştir. Destek aralığına yatay olarak uygun bir şekilde yerleştirilen numuneye orta noktasından kuvvet uygulanmıştır. (Şekil 5.12)



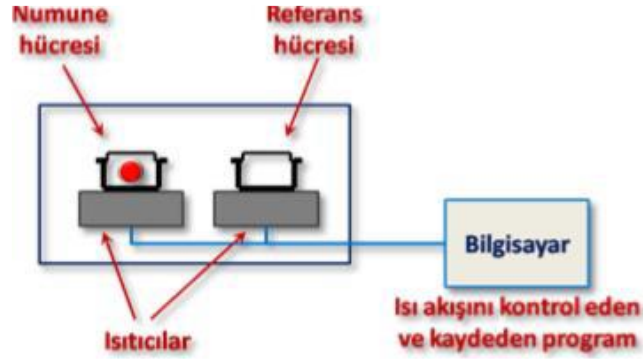
Şekil 5. 12 Eğilme Testi

5.2.3 Termal analizler

5.2.3.1 DSC analizi

DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetri) cihazı bir malzemenin belirli sıcaklıklar altında ısı kapasitesini (C_p) farkını belirleyen bir termal analiz yöntemidir. Yöntemde malzeme soğutulup ısıtılarak malzemenin ortam ile ısı alışverişi gözlemlenir. DSC analizi ile erime sıcaklığı (T_m), kristallenme sıcaklığı (T_c), camsı geçiş sıcaklığı (T_g), faz değişimi gibi ayırt edici özellikler elde edilir. (Şekil 5.13)

Yapılan çalışmada Diferansiyel Taramalı Kalorimetri testi Şişecam Bilim ve Teknoloji merkezinde bulunan Mettler Toledo cihazında yapılmıştır. Yapılan testte HDPE, BK ve MC katkılı numunelerin erime sıcaklıkları ve kristallenme sıcaklıkları araştırılmıştır.(Şekil 5.14)



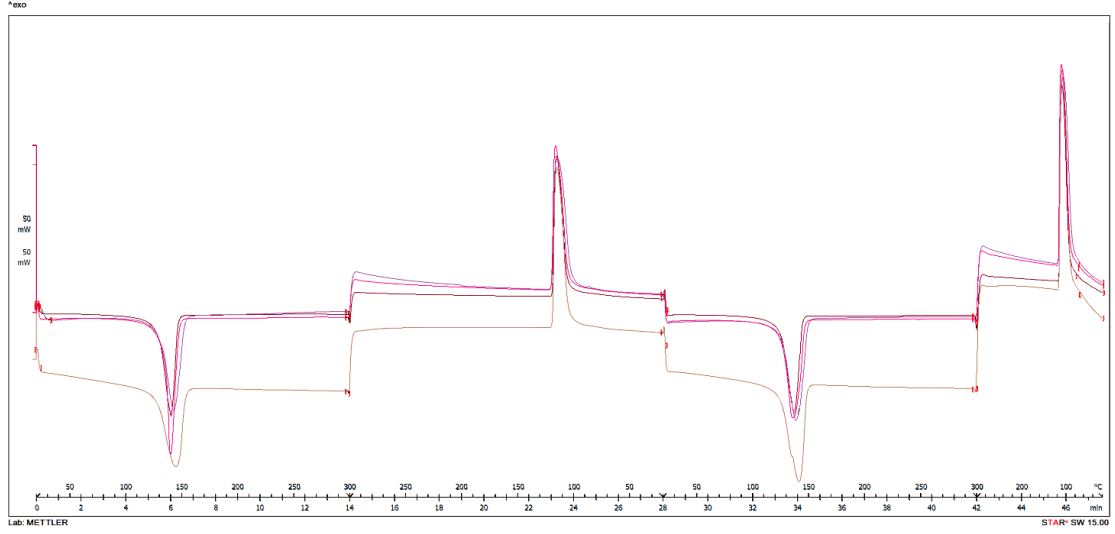
Şekil 5. 13 DSC cihazı çalışma prensibi

Aynı zamanda segment gazı olarak kullanılan N_2 gazının akışı 50m/min olarak belirlenmiştir. HDPE/BK/MC numunelerine ait ölçümler azot atmosferi altında aynı ısıtma ve soğutma hızlarında 20 °C/dk olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. DSC analizi önce soğutma (300-20 °C'), daha sonra ısıtma yapılmış (20°C-300°C) ve oda sıcaklığında sona ermiştir.



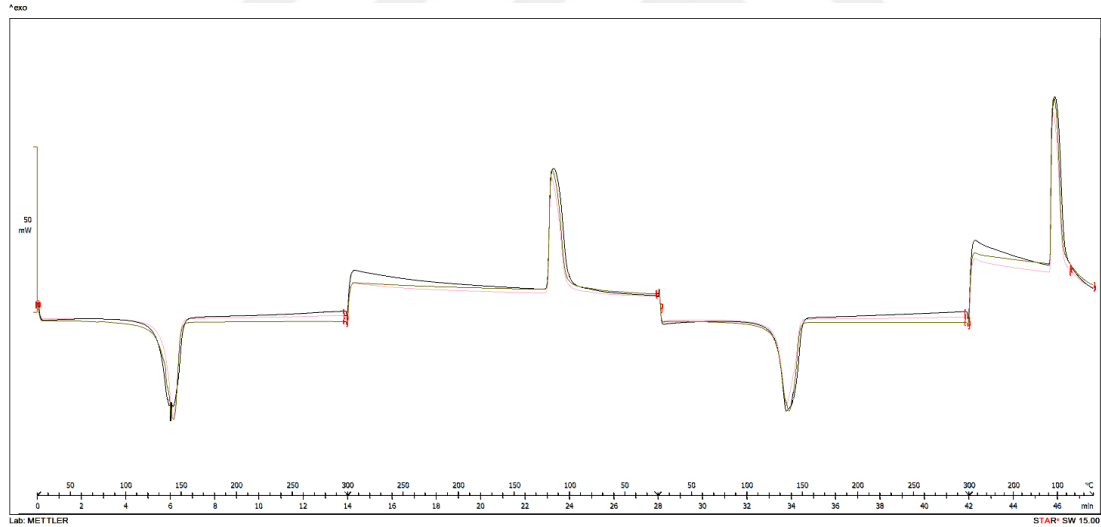
Şekil 5. 14 DSC cihazı

DSC termogramlarında aşağı doğru olan pikler ergime (T_g) yukarı doğru çıkan pikler ise kristalleşme (T_c) değerlerini ifade etmektedir. PEBKMC numunelerine ait Şekil 5.13'de yer alan termogramda PEMC %15 numunesi PEMC %10, PEBK %10-%15 piklerinden farklı çıkmıştır. Diğer numunelerin değerleri birbiri ile eş değer çıkmıştır. (Şekil 5.15)



Şekil 5. 15 DSC termogramları (PEMC/PEBK)

Yüksek yoğunluklu polietilen malzemenin ise DSC termogramında T_g değeri -70°C T_m değeri ise 135°C 'dir. (Taşdemir, 2018) Farklı kompozisyonlarda harmanlanan (%5,10 ve %15) PEMCBK numunelerine ait DSC termogramları ise benzer çıkmıştır. (Şekil 5.16)

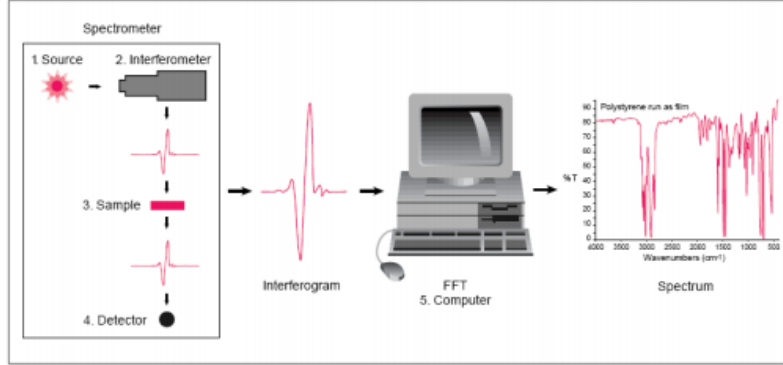


Şekil 5. 16 DSC termogramları (PEMCBK)

5.3.FTIR

Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), bir tür titreşim spektroskopisidir. FTIR matematiksel Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen bir kimyasal analitik yöntemdir. (Şekil 5.17) Çalışmada yapılan

malzemenin yapısını test etmek adına İzel Kimya’da bulunan JASCO FT/IR-4200 ile analizler yapılmıştır.



Şekil 5. 17 FTIR cihazı [4]

5.4 SEM (Scanning Electron Microscopy)

SEM görüntüleri Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Test Laboratuvarında bulunan ZEISS EVO MA 10 cihazıyla alınmıştır (Şekil 5.16). Taramalı elektron mikroskobu (SEM), katı numunelerin yüzeyinde çeşitli sinyaller üretmek için odaklanmış yüksek enerjili elektron ışını kullanır. Elektron numunesi etkileşimlerinden türetilen sinyaller dış morfoloji (doku), kimyasal bileşim ve kristal yapı ve numuneyi oluşturan malzemelerin yönü dahil olmak üzere numune hakkında bilgi verir.



Şekil 5. 18 SEM Cihazı

5.5 XRF Cihazı

X-ışını floresansı, katılar, sıvılar ve tozlar dahil olmak üzere çok çeşitli numune türlerinin kimyasal bileşimini belirlemek için kullanılabilen analitik bir tekniktir. Metalik cüruf ve baca külü numunelerinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Analizler Şişecam Cam Elyaf Balıkesir Fabrikasında yapılmış ve Rigaku model XRF cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5. 19 XRF Cihazı

6.DENEYSEL SONUÇLAR

6.1 MEKANİK TESTLERİN SONUÇLARI

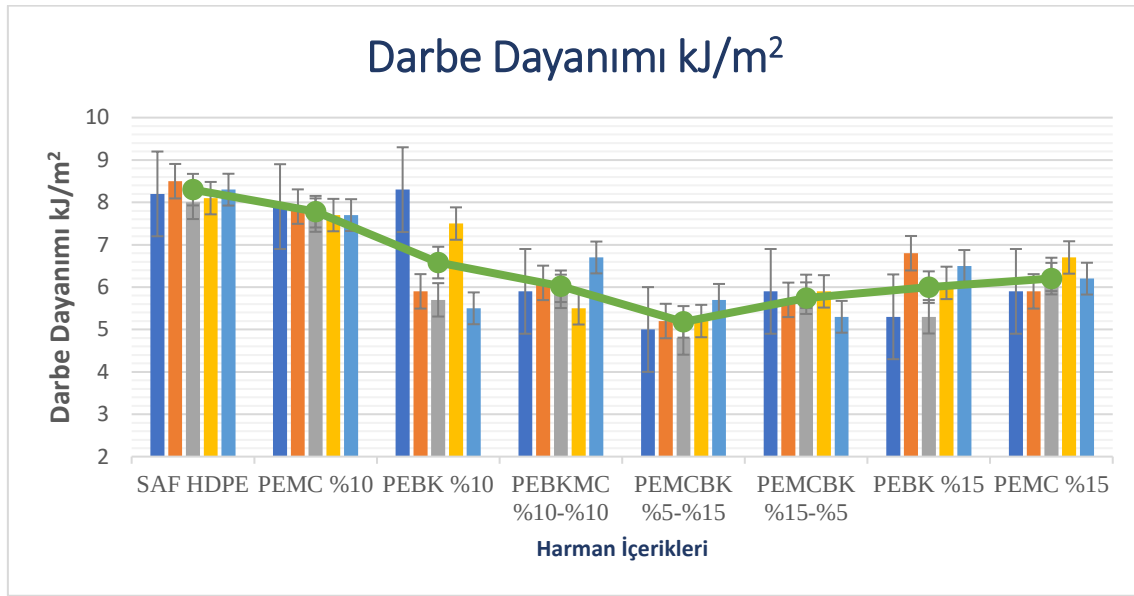
Yapılan çalışmada atık geri kazanımı ve polimer kompozit malzemesinin yüzdesinin düşürülerek maliyetinin azaltılması amacıyla farklı oranlarda beraber/ayrı ayrı dolgu malzemesi olarak metalik cüruf ve baca külü matris olarak ise Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) kullanılmıştır. Metalik döküm işleminin sonucunda alınan cüruf ve termik santral çıkışı alınan baca külünün matris malzemesi ile daha iyi karışmasını sağlamak amacıyla tanecik boyutları 200 µm düşürülmüştür. Enjeksiyon sonucu elde edilen malzemelerin mukavemet değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. **(Tablo 6.1)**

Tablo 6. 1 PE/MC/BK dolgulu numunelerin mekanik test sonuçları

NUMUNE TİPİ	Çekme testi			Eğilme Testi		Darbe
	Modülü (MPa)	Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Modülü (MPa)	Dayanım (MPa)	Dayanım (kJ/m ²)
SAF HDPE	795	27,2	120	1020	43	8,3
PEMC %10	877	26,7	8,4	1230	53,7	7,78
PEBK %10	850	25,4	8,3	1180	60,8	6,58
PEBKMC %10-%10	858	25,3	8,3	1190	59,5	6,02
PEMCBK %5-%15	840	25	8,2	1120	56,9	5,18
PEMCBK %15-%5	843	24,5	8,4	1117	57,6	5,74
PEMC %15	888	26,7	8,6	1210	55,5	6,56
PEBK %15	843	26	8,4	1112	57,8	6

6.1.1 Darbe Testi Sonuçları

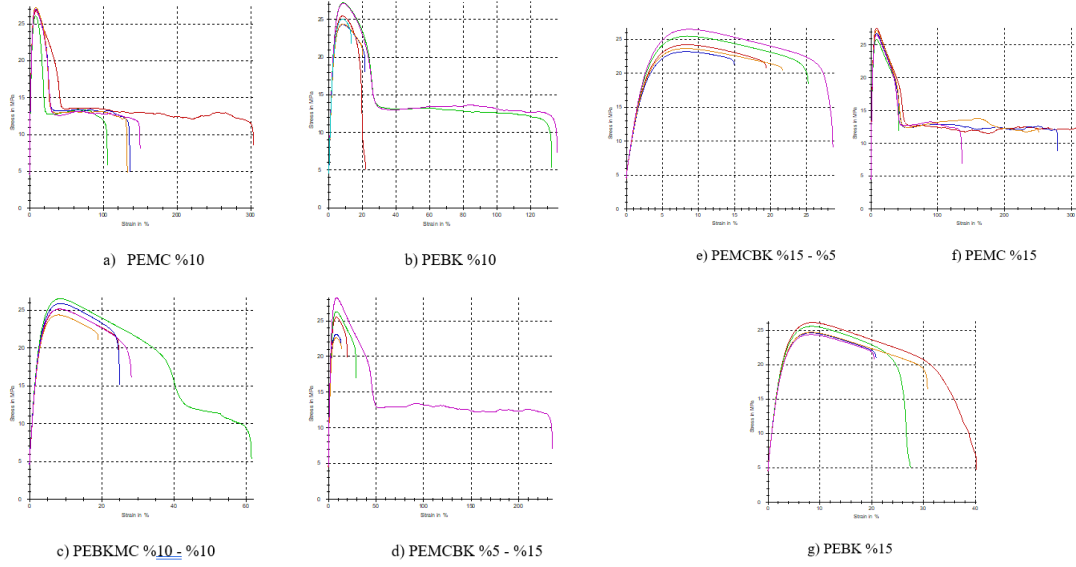
Çentikli Izod Çentikli Darbe testi sonucunda farklı kompozisyonlara ait numunelerin 5 adet ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümlere değerlerde ortalama olarak en yüksek ve standart sapma değerinde ise en düşük kompozisyon PEMC %10 numunesinde belirlenmiştir. Şekil 6.1’ de numunelere ait sonuçlar grafik şeklinde verilmiştir. Grafiğe bakıldığında PEMC %10 numunesi en yüksek iken PEMCBK %5-%15 numunesi ise en düşük darbe dayanımına sahiptir. Saf HDPE numunesinin izod çentikli darbe testlerinde 8,3 kJ/m² olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 1 Darbe dayanımı test sonuçları

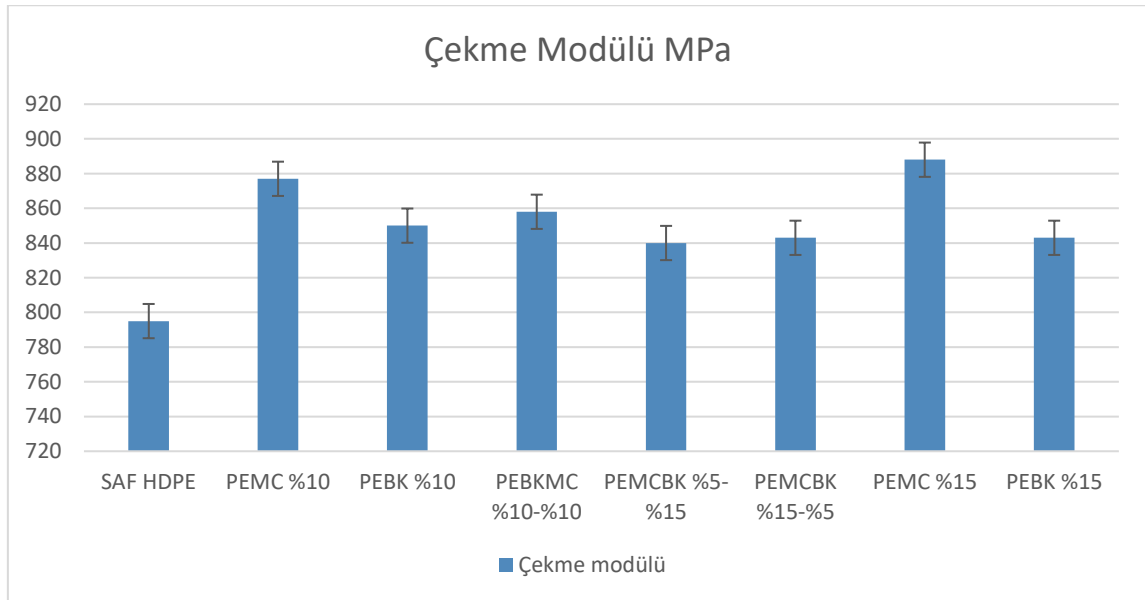
6.1.2 Çekme Testi Sonuçları

Çekme testinde malzemeler yukarı yönde bir kuvvet ile çekilir. Testin sonucunda çekilen malzemeler birim zamandaki uzamasına karşı üzerine aldığı yüke göre malzemenin çekme mukavemeti ve modülü belirlenir. Çekme testi uygulanan numunelere ait Gerilim/Gerinim grafikleri Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6. 2 Çekme Testi sonuçları grafikleri

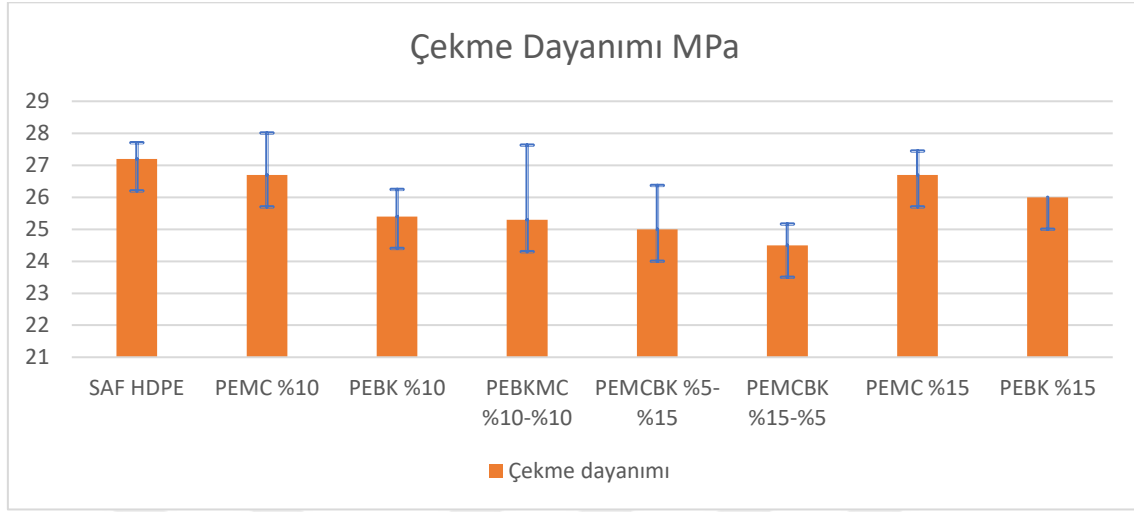
Gerilim/gerinim grafiğinde HDPE malzemesi elastik deformasyona uğradığı bölgenin çekme modülü hesaplanmıştır. Çekme modülü malzemenin dayanıklılığı ile ilgili bilgi verir. Numuneler içerisinde Elastite Modülü en yüksek PEMC %15 kompozisyonunda bulunmuştur. En düşük modüle sahip kompozisyon ise PEMCBK %15 numunesinde görülmüştür. (Şekil 6.3)



Şekil 6. 3 Dolgu oranına göre çekme modülünün değişimi

Çekme dayanımı ise malzemenin kırılınca veya kopuncaya kadar karşılayabileceği çekme gerilmesini ifade eder. Numuneler değerlendirildiğinde PEMC%10 ve PEMC%15

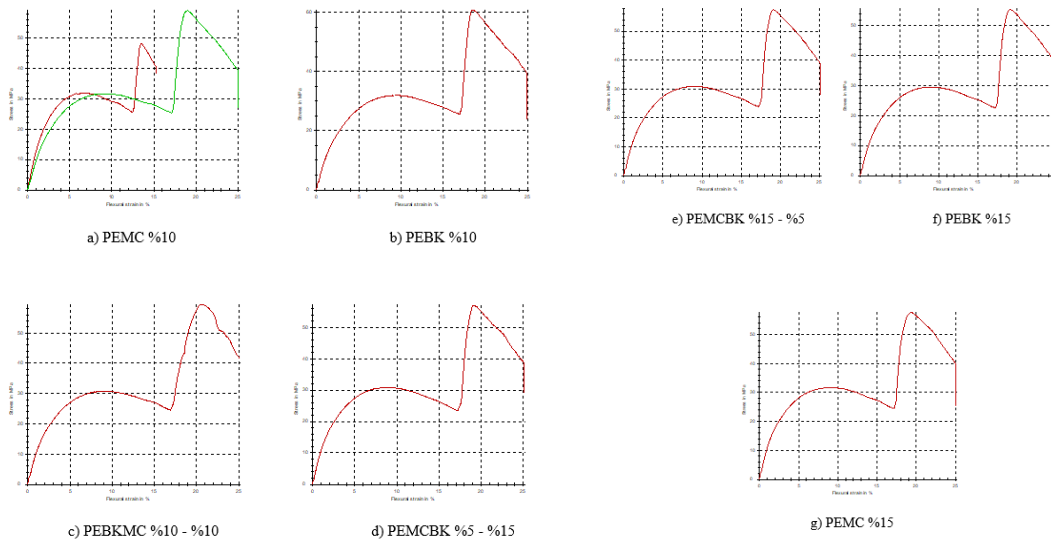
numuneleri en yüksek; PEMCBK %15 numunesi ise en düşük çekme dayanımına sahiptir. **Şekil (6.4)**



Şekil 6. 4 Dolgu oranına göre çekme dayanımının değişimi

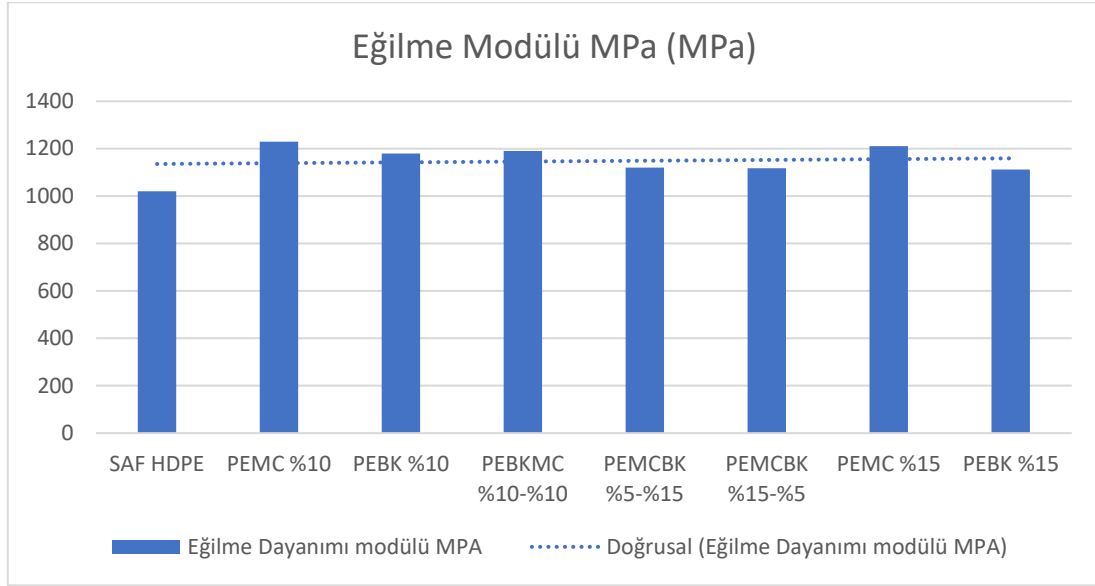
6.1.3 Eğilme Testi Sonuçları

Eğilme testinde malzemeler üç noktalı eğme testine tabi tutulmuştur. Testin sonucunda çekilen malzemeler birim zamandaki eğilmesine karşı üzerine aldığı yüke göre malzemenin eğilme mukavemeti ve modülü belirlenir. Eğilme testi uygulanan numunelere ait Gerilim/ Eğilmede Gerinimi grafikleri **Şekil 6.5'** de verilmiştir.



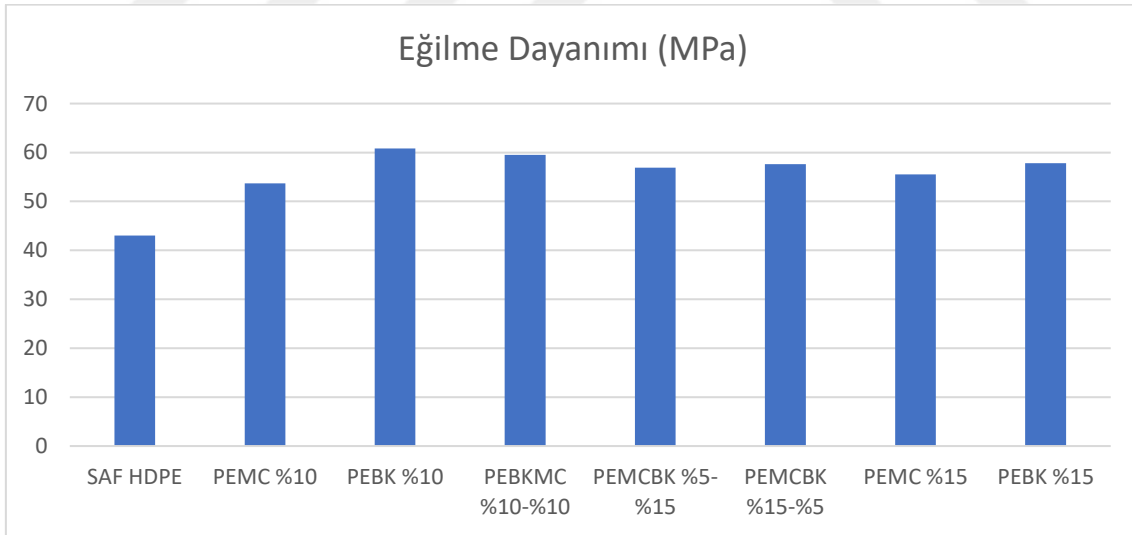
Şekil 6. 5 Eğilme testi sonuç grafikleri

Eğilme testi sonuçları değerlendirildiğinde PEMC %10 ve PEBK %15 numuneleri en yüksek PEMCBK %15-%5 ve PEMC %15 en düşük modüle sahiptir.



Şekil 6. 6 Dolgu oranına göre eğilme modülünün değişimi

Eğilme dayanımı saf HDPE numunesine göre en yüksek PEBK %10 ve en düşük PEMC %10 numuneleri olarak belirlenmiştir. (Şekil 6.6)



Şekil 6. 7 Dolgu oranına göre eğilme dayanımının değişimi

6.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Sonuçları

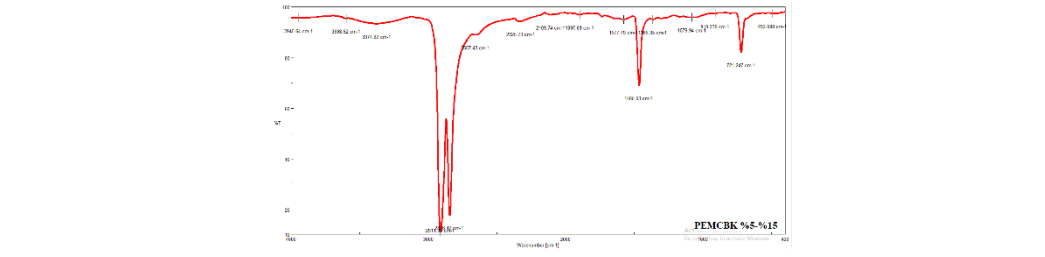
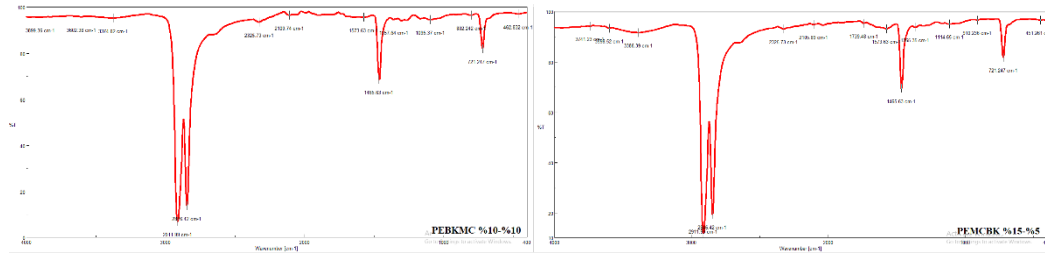
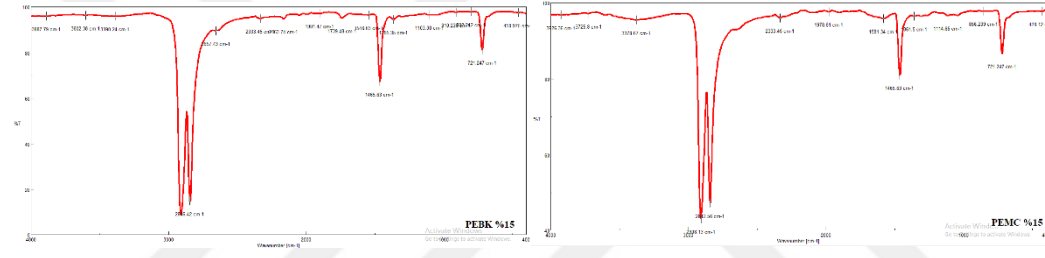
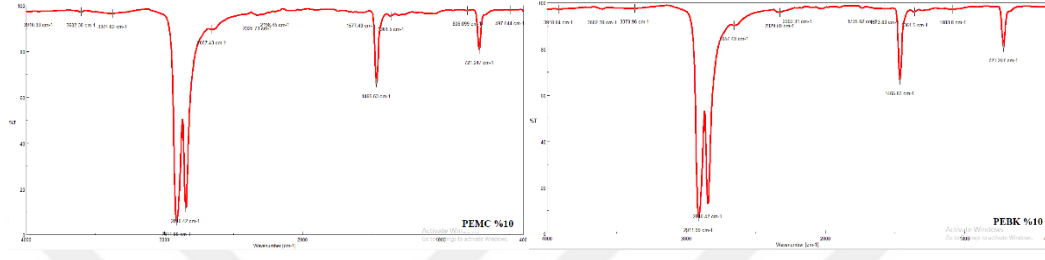
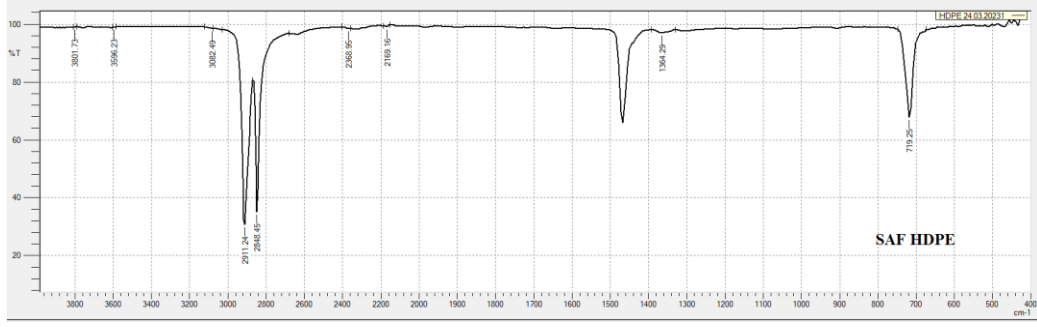
Yapılan DSC analizi sonucunda Tablo 6.2’de yer alan sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Saf HDPE ergime sıcaklığının BK ve MC katkısı ile yükseldiği sonucuna varılmıştır. (Tablo 6.2)

Tablo 6. 2 DSC sonuçları

NUMUNE TİPİ	Ergime Sıcaklığı T_m (°C)	Kristallenme Sıcaklığı T_c (°C)
SAF HDPE	137	122
PEMC %10	141,67	115
PEBK %10	143,33	114,17
PEBKMC %10-%10	141,67	115,83
PEMCBK %5-%15	140,83	114,15
PEMCBK %15-%5	143,33	115
PEMC %15	145	115
PEBK %15	140	116,34

6.3 FTIR (Fourier Transformlu Infrared) Sonuçları

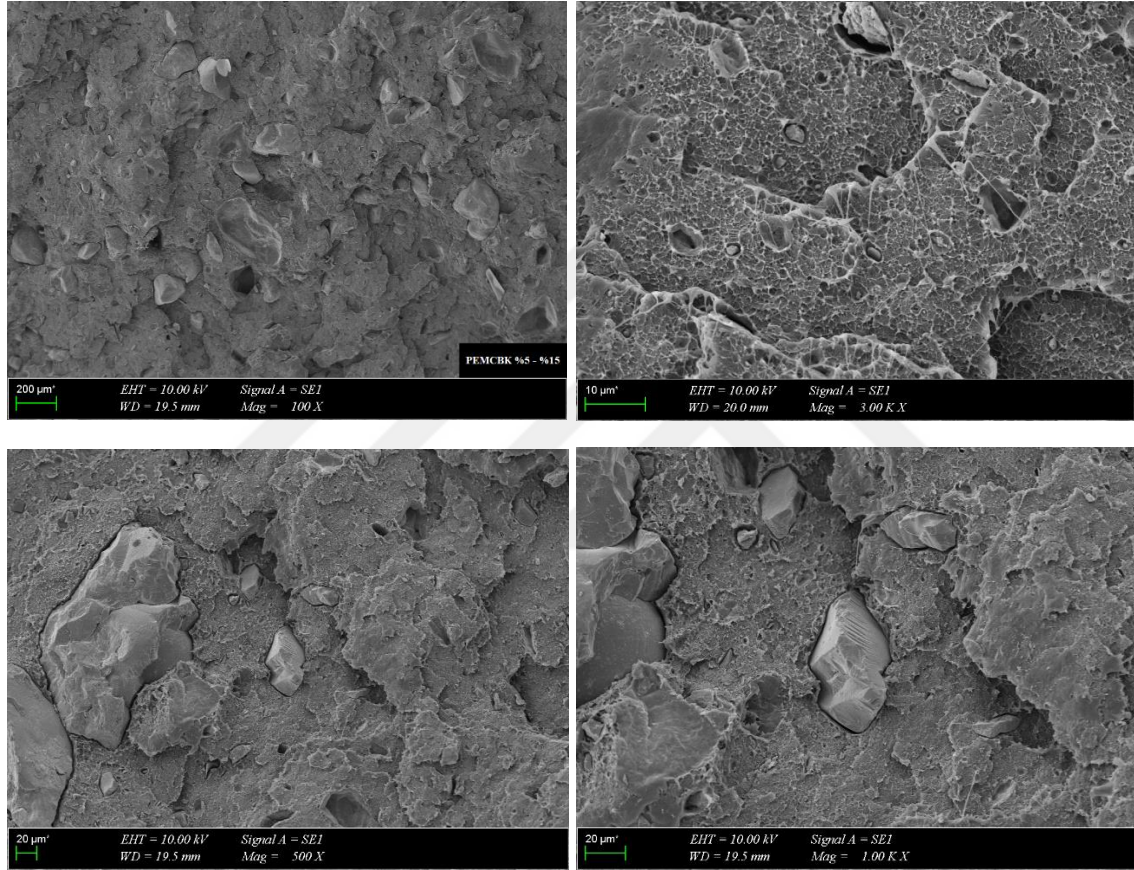
FTIR analizi sonucunda yüzdece HDPE yoğunluklu olan numunelerde C=C ve C-H bağlarına ait pikler görülmüştür. 4000-2500 cm^{-1} bölgesindeki piklerin C-H gerilmesi 2500-1800 cm^{-1} bölgesinde üçlü bağların 1800-1500 cm^{-1} bölgesinde ise C=C gerilmesi 1500-400 cm^{-1} parmak izi bölgesi denilen bölgede ise C-H eğilmesine rastlanılmıştır.



Şekil 6. 8 FTIR sonuçları

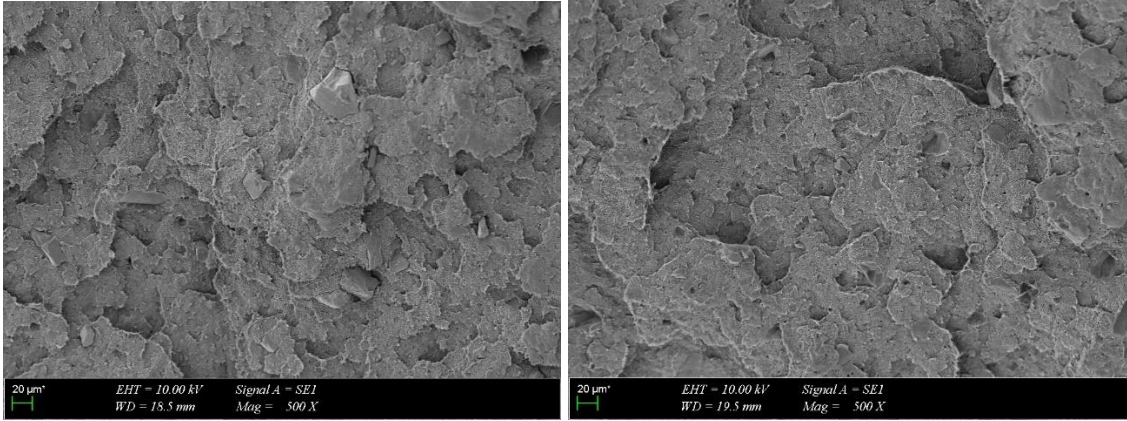
6.3 SEM Analizi Sonuçları

Hazırlanan PEMCBK kompozitlerin darbe testinden sonra alınan kırık yüzeyli numunelerinin yüksek oranda büyütülmüş görüntüleri verilmiştir. Tez çalışması kapsamında metalik cüruf ve baca külü numunelerinin HDPE matrisinde dolgu olarak kullanılması ve matris ile uyumunu değerlendirmek amacıyla bu test gerçekleştirilmiştir.



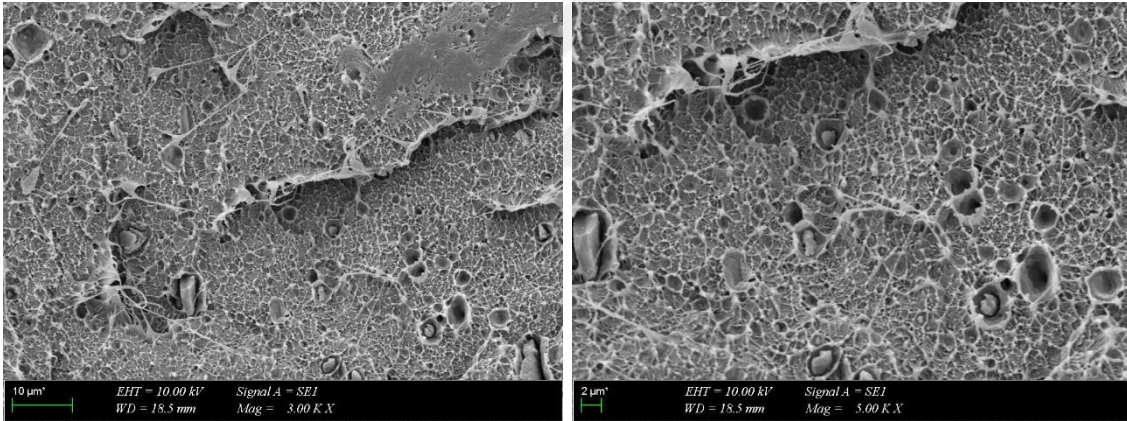
Şekil 6. 9 a) PEMCBK %5 - %15 b) PEMCBK %10 - % 10

Polimer matrisinde farklı oranlarda kullanılan MC ve BK dolgu malzemelerinin görüntüleri Şekil 6.9 da verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde metalik cürufta yer alan metal elementlerin matris içerisine gömülü bir şekilde bağlandığını ve baca külünün ise matris içerisinde boşluklar yarattığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. 10 PEMC %15 numunesi SEM görüntüsü

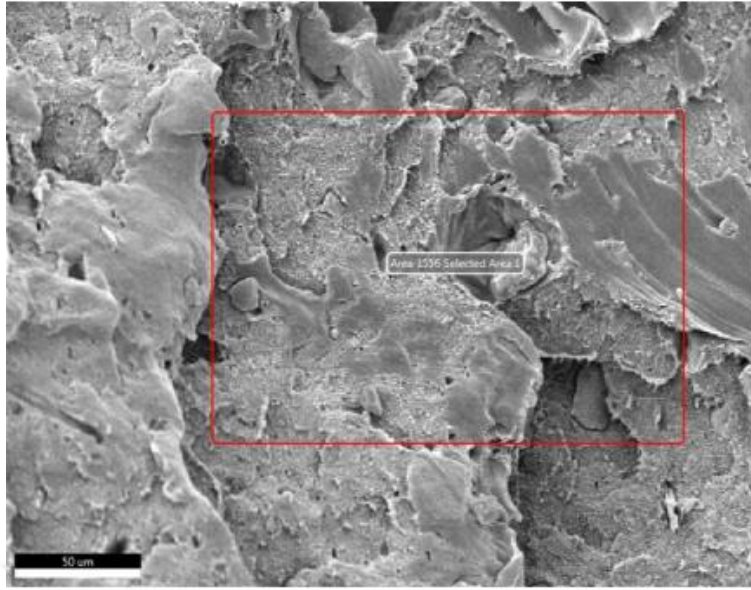
Şekil 6.10'da PEMC %15 numunesine ait SEM görüntüsü yer almaktadır. SEM görüntüsünde matriste herhangi bir boşluk bırakmadan dolgu malzemesinin yüzeyi kapladığı görülmüştür.



Şekil 6. 11 PEBK %15 SEM görüntüsü

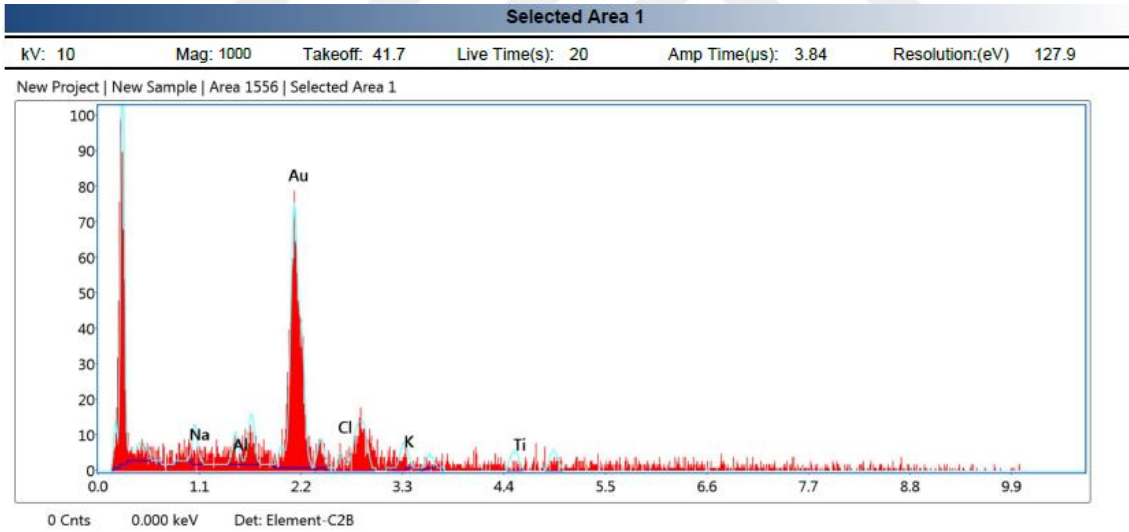
Şekil 6.11'de ise PEBK %15 numunelerine ait SEM görüntüleri yer almaktadır. SEM görüntüsüne bakıldığında baca külü malzemesinin matris yüzeyi ile uyum sağlayamadığı ve yüzeyde boşluklar yaratarak mekanik özellikleri düşürdüğü görülmüştür.

Şekil 6.12 de yer alan görüntüde ise PEMCBK %10-%10 numunesinde yapılan EDX analizine ait görüntüler verilmiştir. Seçili alan belirlenerek alandaki elementlerin yoğunluğu belirlenmiştir.



Şekil 6. 12 EDX analizi için seçilen alan

Şekil 6.12’de kırmızı olarak belirlenen alanda yer alan elementlerin yoğunlukları aşağıdaki görselde verilmiştir.



Şekil 6. 13 PEMCBK %10 - % 10 EDX analizi

Görselde belirtilen elementlerin yüzdece ağırlıkları ve yüzdece atomik yoğunlukları aşağıdaki tablodaki gibidir. (Tablo 6.3)

Tablo 6. 3 PEMCBK %10-%10 analiz sonuçları

Element	Weight	Atomic	Error
NaK	3.33	12.94	29.53
AlK	2.35	7.77	32.06
AuM	72.09	32.66	7.68
ClK	3.01	7.58	26.72
KK	7.71	17.61	25.97
TK	11.51	21.44	18.6

6.4 XRF Analizi Sonuçları

Baca külü ve metalik cüruf hammaddelerine XRF analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde metalik cüruf dolgu malzemesinde en yüksek yoğunlukta Fe_2O_3 bileşiği saptanmıştır. Daha sonra yüzdece MnO bileşiğine rastlanmıştır. **(Tablo 6.4)**

Tablo 6. 4 Metalik Cüruf XRF analizi sonuçları

	Bileşik	%
1	Fe_2O_3	98,5
2	MnO	0,7
3	SiO_2	0,405
4	Al_2O_3	0,172
5	Cr_2O_3	0,063
6	MgO	0,0401
7	Na_2O	0,0332
8	SO_3	0,0226
9	CaO	0,0117
10	P_2O_5	0,00629

Baca külü hammaddesinin sonuçları değerlendirildiğinde SiO₂ bileşiği %81,2 ile en yüksek yoğunlukta en yüksek yoğunlukta bileşik olarak bulunmuştur. (Tablo 6.5)

Tablo 6. 5 Baca Külü XRF analizi sonuçları

	Bileşik	%
1	SiO ₂	81,2
2	Al ₂ O ₃	5,74
3	Cr ₂ O ₃	4,61
4	Fe ₂ O ₃	3,26
5	MgO	1,76
6	K ₂ O	1,14
7	Na ₂ O	1,05
8	ZrO ₂	0,397
9	TiO ₂	0,265
10	CaO	0,096
11	F	0,0816
12	MnO	0,0788
13	Rb ₂ O	0,0586
14	SO ₃	0,0555
15	V ₂ O ₅	0,0348
16	Co ₃ O ₄	0,0331
17	NiO	0,0233
18	Cl	0,0191
19	ZnO	0,018
20	P ₂ O ₅	0,0172

BÖLÜM 7 TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında yüksek yoğunluklu polietilen malzemesi ve metalik cüruf ve baca külü dolgulu kompozitleri için geri dönüşümü, mekanik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesi incelenmiştir. Numunelerin çekme dayanımı, elastisite modülü, üç nokta eğilme dayanımı, darbe dayanımı, ergime sıcaklığı, kristallenme sıcaklığı, malzemenin bileşen analizi ve yüzey morfolojisi incelenmiştir. Atık değerlendirilmesi dışında dolgu malzemelerinin etkisi incelenmiştir. Harman kompozisyonlarında (%5-%10%15) beraber/ayrı ayrı kullanılmış ve polimer matrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mekanik test sonuçları değerlendirildiğinde;

- Çekme testi deneylerinde; Çekme modülü en yüksek olan harman kompozisyonu PEMC %10 numunesi olduğu görülmüştür. Baca külü dolgusu numunelerinde polimer matrisi modülünü düşürdüğü görülmüştür. Metalik cürufun pozitif yönde attırdığı fakat ağırlıkça en uygun %10 dolgu malzemesi uygun olduğu belirlenmiştir. SAF HDPE ile karşılaştırıldığında dolgu malzemelerinin etkisinin çekme modülünü artırıcı yönde olduğu görülmüştür. Çekme dayanımı değerlendirildiğinde ise; PEMC %10 ve PEMC %10 en yüksek dayanıma sahiptir. SAF HDPE ile karşılaştırıldığında ise dayanımların yakın olduğu görülmüştür.
- Eğilme testi deneylerinde; Eğilme modülü sonuçları değerlendirildiğinde PEMC %10 ve PEBK %15 numuneleri en yüksek PEMCBK %15-%5 ve PEMC %15 en düşük modüle sahiptir. Eğilme dayanımı sonuçları değerlendirildiğinde; en yüksek PEBK %10 numunesi en düşük PEMC %10 numunesi olduğu görülmüştür. Numune sonuçlarının SAF HDPE numunelerine yakın olduğu fakat ağırlıkça %10 PEMC numunesinin en yüksek modüle sahip olduğu görülmüştür.
- Darbe testleri değerlendirildiğinde; Darbe dayanımları SAF HDPE malzemesine göre düşmüş olup en yakın numunenin diğer testlerde görüldüğü gibi PEMC %10 olduğu görülmüştür.
- DSC analizi değerlendirildiğinde; Numunelerin ergime ve kristallenme sıcaklıkları benzer çıkmıştır. SAF HDPE numunesi ile karşılaştıracak olursak ergime sıcaklığının arttığı görülmüştür.

- FTIR analizinde; Kompozit malzeme yüzdece HDPE ağırlıklı olduğu için FTIR analizinde pikler C=C ve C-H bağları ağırlıklı çıkmış, Metalik cüruf ve baca külü piklerine rastlanılamamıştır.
- SEM analizinde; Metalik cüruf ve baca külü numunelerine ait yüzey morfolojisi incelenmiş baca külü içeren numunelerde matris ile uyum sağlayamadığı ve matris ile birleştiği noktalarda boşluklar oluşturarak mukavemet sonuçlarının düşmesine sebep olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda metalik cüruf dolgulu numuneler yüksek mukavemet istenilen alanlarda kullanılabildiği; sünek özellik istenilen malzemelerde ise baca külü kullanılabileceği görülmüştür. Darbe testlerinde ise metalik cüruf dolgusunun dayanımının baca külüne göre yüksek olduğundan darbe mukavemeti istenilen durumlarda metalik cüruf katkı malzemesi olarak kullanılabileceği saptanmıştır.

KAYNAKÇA

Alemán, J. V., Chadwick, A. V., He, J., Hess, M., Horie, K., Jones, R. G., Kratochvíl, P., Meisel, I., Mita, I., Moad, G., Penczek, S., Stepto, R. F. T., (2007) Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic-organic hybrid materials, *Pure and Applied Chemistry*. 79 (10): 1801

Baydar, D. G. (2011) Sürekli cam fiber takviyeli polipropilen kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu. (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul). Erişim adresi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Benham, E., McDaniel M., (2014) Ethylene polymers, HDPE. *Encycl Polym Sci Technol* (4th ed.);5:484-515.

Bicerano, J., (2002) *Prediction of Polymer Properties*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.

Bigger, S.W., Delatycki, O., 1989. *Journal of Materials Science* 24, 1946-1952.

in flax fibre reinforced composites. *Polym. Test*, 20, 885–893.

Kocaokutgen H., (2012), *Polimer Kimyası ve Endüstrisine Giriş, İkinci Baskı, Yeni Zamanlar Dağıtım, Samsun*.

Koleva M. i Zheglova A., Vassilev V., Fidancevska E., (2011), *Composites Containing Waste Materials, Advances in Composite Materials, University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia*.

Koleva, M. (2005). Rubber waste/UP polymer systems for insulation materials. *Proceedings of 6th International Scientific Conference “Advances in plastics technology” APT’05*, pp. 2005, ISBN 83-917693-4-8, Katowice, Poland, November 2005.

Koleva, M., Zheglova, A., Vassilev, V., Fidancevska, E., Milosevski, M., Vassilev, G. (2007), Strength characteristics of polymer composites with waste dust from power production, *Proceedings of International Scientific Conference UNITEH’07*, ISSN 1313-230X, Gabrovo, Bulgaria, November 2007.

Kumlutaş D., Tavman İ.H., Çoban M.T., (2003), Thermal conductivity of particle filled polyethylene composite materials, *Composites Science and Technology* 63, 113-117.

Lila, M. K., Singhal, A. Banwait, S. S., Singh, I. (2018). A recyclability study of bagasse fiber reinforced polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability Volume 152* (272-279). Advance online publication.

Mallick P.K., (2008), *Fiber Reinforced Composites*, 3rd edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 61.

Massey L.K., 2003, *Permeability Properties of Plastics and Elastomers, A Guide to Packaging and Barrier Materials*, 219-226.

Massey L.K., 2003, *Permeability Properties of Plastics and Elastomers, A Guide to Packaging and Barrier Materials*, 237-247.

McDaniel, MP., 2010, A review of the Phillips supported chromium catalyst and its commercial use for ethylene polymerization. *Advance Catal*, ;53:123-606.

Mulana F., Aulia M.P., Aprilia S., (2023), Fly Ash/Coconut Fiber reinforced polymer Composites: Effect on physical properties(Density, water Absorption, and thickness Swelling), *Materials Today*.

Mullins, M.J., Liu D., Sue H.J., (2018), *Thermosets*, Second Edition, 35–68.

Nagavally R.R., (2016) *Composite Materials - History, Types, Fabrication Techniques, Advantages, And Applications*, *Proceedings of 29th IRF International Conference*, 978-93-86083-69-2.

Nicholson, J., (2017) *The Chemistry of Polymers*, Royal Society of Chemistry: London, UK.

Patel, RM., 2009 *Polyethylene: an account of scientific discovery and industrial innovations*. ACS Symp Ser, (Innovations in Industrial and Engineering Chemistry), 71-102.

Ronca S., 2017, *Brydsın'S Plastic Materials, Polyethylene*, Chapter 8, Eight Edition, 247-278.(Technical Trade Literature ICI).

Saçak, M., (2017) *Polimer Teknolojisi*, Dördüncü Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara.

Sadik W.A., El-Demerdash A.G., Abokhateeb A.E.A., Elessawy N.A., (2021), Innovative high-density polyethylene/waste glass powder composite with remarkable mechanical, thermal and recyclable properties for technical applications, *Heliyon* 7, e06627.

Schlosser, E.; Nass, B., Wanzke, W., (2003) Flame Retardant Combination for Thermoplastic Polymers L.

Seçkin, T., (2015) Polimer Kimyası, Birinci Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Shackelford, J. F. (2014). *Introduction to Materials Science For Engineers* (8th ed.). University of California, Davis, Pearson.

Taşdemir M., (2018), Plastik Malzemelerin Test Teknikleri, Birinci Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Taşdemir M., (2021), Investigation of Properties of High Density Polyethylene (HDPE)/Pinna Nobilis Polymer Composites, GU J Sci, Part A, 8(2): 208-217.

Taşdemir M., Gülsoy H.Ö., (2008) Mechanical Properties of Polymers Filled with Iron Powder, International Journal of Polymeric Materials, 57:258-265.

The Extrusion Process. (t.y.). Plastic Techonolgy portal içinde. Erişim adresi <https://www.ptonline.com/knowledgecenter/profile-extrusion/profile-extrusion-fundamentals/history-and-fundamentals-of-extrusion>U.S. Patent 6,547,992,

Ultem, L., STM, U.S., (2017) Ultrablend, S. Polymer Science Dictionary; Springer: Dordrecht, The Netherlands,ISBN 978-94-024-0893-5.

Ünal, A. R. (2013). Geri dönüşmüş termoplastik matrisli kompozitlerin otomotiv endüstrisinde uygulaması. (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul). Erişim adresi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Van de Velde, K., Kiekens, P.,2001, Thermoplastic polymers: Overview of several properties and their consequences.

William, D. J. ve Rethwisch, D. G., 2018, Fundamentals of Materials Science and Engineering An Integrated Approach (5th ed.). Wiley Binder Version.

Xiao R., Yub Q., Ye H., Shi Y., Sheng Y., Zhang M., Nurani P., Gebd S., (2023), Visual design of high-density polyethylene into wood plastic composite with multiple desirable features: A promising strategy for plastic waste valorization,Journal of Building Engineering, 63:105445.

Yuanwen W., İsarov A. V., O'Connell C., (1999) Thermal analysis of high density poeethylene-maple woodfour composites, Thermochemica Acta, 340-341, 205-220.

Zheglova A., Rashev G., (2003), Mechanical and Electrical Properties of Composite Materials based on Polyester Resins and Gypsumfiber. Proceedings of International Conference TECHNOMER'2003, (ISBN 3-00-008212-3).

İnternet kaynakları

- [1]. http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/1_18.html
- [2]. <https://www.additivemanufacturing.media/articles/strong-heat-resistant-lightweight-metal-matrix-composite-demonstrates-additive-manufacturings-promise-for-new-materials>
- [3]. <https://www.eymenpetrokimya.com.tr/poiletilen-nedir-ne-ise-yarar/>
- [4]. <https://malzemebilimi.net/ftir-nedir-atr-ve-iletim-tekniklerinin-karsilastirilmesi.htm>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

Diller : Türkçe, İngilizce

EĞİTİM BİLGİLERİ

2019 Şubat – 12 Nisan : Marmara Üniversitesi

Yüksek Lisans Polimer Bilimi ve Teknolojisi

14.11.2013 – 14.06.2018 : Yıldız Teknik Üniversitesi

Lisans Kimya Mühendisliği (%100 İngilizce)

14.11.2009 – 14.06. 2013 : Uluğbey Anadolu Lisesi

Lise

EĞİTİM BİLGİLERİ

10.08.2020	: Şişecam Cam Elyaf Geliştirme Mühendisi
17.12.2019-10.08.2020	: Şişecam Genel Merkez Proje Stajyeri
2015-2016	: Kimya Teknolojileri Kulübü Yönetim Kurulu
10.07.2018 – 03.09.2018	: SCA Yıldız Kağıt ve Kişisel Bakım ŞTD. Proje stajyeri
10.07.2017-04.08.2018	: CLK İlaç Laboratuvar stajyeri

PROJELER

Dijital İkiz Projesi	: Üretim sahasında yer alan verilen dijitalleştirilerek regresyon analizlerinin yapılması
Yüksek Lisans Projesi	: Metalik Cüruf ve Baca Külü Dolgulu Kompozit malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi
Lisans Projesi	: MOF kaplamalı Polimerik Membranlardan Pervaporasyon ile Bütanol kimyasalının uzaklaştırılması
Proses Dizayn Projesi	: Bütanol Üretiminin Chemcad ile dizayn edilmesi
SCA Yıldız Kağıt ve Kişisel Bakım ŞTD.	: NO PAIN: Islak mendili yeni ürün