

T.C.  
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİKRONİZE PERLİT KATKILI PVC MALZEMELERİN  
MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Harun GÖLŞAT

Danışman: Prof. Dr. Adnan ÖZEL

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

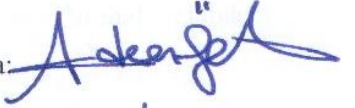
ERZİNCAN  
2019

Her Hakkı Saklıdır.

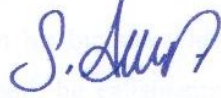
## Kabul ve Onay Sayfası

Prof. Dr. Adnan ÖZEL danışmanlığında, Harun GÖLŞAT tarafından hazırlanan bu çalışma ~~23/07/2019~~ tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans olarak oybirliği/oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Adnan ÖZEL

İmza: 

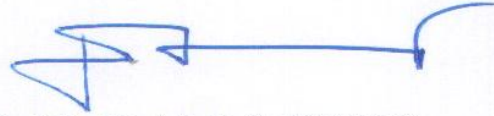
Üye : Doç. Dr. Salih AKPINAR

İmza: 

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Özgü BAYRAK

İmza: 

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun ~~23/08/2019~~ / 2019 tarih ve ~~33/5~~ ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.



**Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY**  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

“Mikronize perlit katkılı PVC malzemelerin mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 23/07/2019



**Harun GÖLŞAT**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MİKRONİZE PERLİT KATKILI PVC MALZEMELERİN MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Harun GÖLŞAT

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Adnan ÖZEL

Gerçekleştirilen bu çalışmada; Polivinil klorür (PVC) malzeme üretiminde alternatif katkı maddesi olarak mikronize filtre perliti (MFP) kullanılması ve MFP kullanımının malzemenin mekanik ve termal özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Erzincan ilinden temin edilen filtre perliti laboratuvar ölçekli mikser ile standart PVC formülasyonu içerisine ağırlıkça %2, %5 ve %10 oranlarında ilave edilmiştir. Elde edilen karışımlar kullanılarak laboratuvar ölçekli çift vidalı ekstrüder ile numune şerit imalatı gerçekleştirilmiştir.

Üretimi yapılan numunelere mekanik ve termal özelliklerinin incelenebilmesi amacı ile testler uygulanmıştır. Sertlik, yoğunluk, kül, çekme, çentikli darbe ve termal iletkenlik tayini testleri uygulanarak MFP katkı numunelerin test sonuçları standart PVC bileşim oranlarına sahip numune ile karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre MFP ilavesi ile birlikte malzemelerin mekanik özelliklerinde düşme olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında MFP ilavesinin numunelerin termal dayanımlarında artışa neden oldukları görülmüştür.

**2019, 64 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit, perlit, polivinil klorür, PVC

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **INVESTIGATION OF MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF MICRONIZED PERLITE ADDED PVC MATERIALS**

Harun GÖLŞAT

Erzincan Binali Yıldırım University  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Adnan ÖZEL

In this study; Micronized filter perlite (MFP) is used as an alternative additive in the production of polyvinyl chloride (PVC) material and the effects of MFP use on the mechanical and thermal properties of the material are aimed. For this purpose, filter perlite obtained from Erzincan was added to the standard PVC formulation with laboratory scale mixer in 2%, 5% and 10% by weight. Sample strips were produced with laboratory scale twin screw extruder using the obtained mixtures.

Tests were performed to examine the mechanical and thermal properties of the samples. Hardness, density, ash, tensile, notched impact and thermal conductivity determination tests were applied and the test results of MFP doped samples were compared with the sample with standard PVC composition ratios.

According to the results, mechanical properties of materials decreased with addition of MFP. In addition, MFP addition has been shown to increase the thermal strength of the samples

**2019, 64 Pages**

**Keywords:** Composite, perlite, polyvinyl chloride, PVC

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca çalışmalarına yön vererek gösterdiği desteklerinden dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Adnan ÖZEL'e en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

Materyal üretim ve test aşamaları için laboratuvar kullanma imkânı tanıyan Sayın Mehmet ERDOĞDU ve Sayın Bayram KARA'ya numune hazırlığı ve testlerin yapılması sırasındaki yardımlarından dolayı Sayın Eyüp İLHAN, Sayın Metin ÖZCAN ve tüm FUDEL çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Mikronize filtre perliti tedariği konusunda yardımcı olan Persan A.Ş. yetkililerine ve Sn.Ulaş AKAR'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Yine yüksek lisans eğitimim ve tez hazırlama sürecinde manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim Tülay SAHİP GÖLŞAT, çocuklarım Atabey ve Serra GÖLŞAT'a minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Harun GÖLŞAT

Haziran, 2019

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>3</b>
<b>3. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>5</b>
3.1. Polimer ve Plastik Kavramı.....	5
3.1.1. Polimerlerin tarihsel gelişimi.....	6
3.1.2. Polimerlerin ısıl ve mekanik özellikleri.....	6
3.1.3. Polimerlerin kullanım alanları .....	9
3.1.4. Polimerlerin sıcaklık altındaki davranışlarına göre sınıflandırılması.....	10
3.1.4.1. Termoplastikler .....	11
3.1.4.2. Termosetler .....	12
3.1.4.3. Elastomerler .....	12
3.2. Polivinil Klorür (PVC).....	13
3.2.1. PVC hammaddesinin sınıflandırılması .....	14
3.2.1.1. Sert PVC .....	14
3.2.1.2. Yumuşak PVC .....	15
3.2.2. PVC malzeme üretiminde kullanılan katkı maddeleri.....	15
3.2.2.1. Stabilizatörler.....	16
3.2.2.2. Kaydırıcılar .....	17
3.2.2.3. Darbe modifiye ediciler .....	17
3.2.2.4. Proses yardımcıları.....	18
3.2.2.5. Boyar maddeler .....	18
3.2.2.6. Kalsiyum karbonat (CaCO <sub>3</sub> ).....	19
3.2.3. PVC kompozit üretim yöntemleri.....	19
3.2.3.1. Ekstrüzyon ile PVC üretim yöntemi .....	20

3.3. Kompozit Malzemeler .....	21
3.3.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	25
3.3.1.1. Polimer matrisli kompozitler .....	25
3.3.2. Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	25
3.3.2.1. Partikül yapılı kompozit malzemeler .....	26
3.4. Dolgu Malzemesi Olarak Genleştirilmiş Perlit .....	27
3.4.1. Perlitin fiziksel özellikleri .....	27
3.4.1.1. Gözeneklilik .....	28
3.4.1.2. Isı ve ses yalıtıcılık .....	28
3.4.1.3. Hafiflik .....	29
3.4.2. Perlitin kimyasal özellikleri .....	29
3.4.3. Perlit üretim teknolojisi .....	30
3.4.4. Perlit kullanım alanları .....	30
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>32</b>
4.1. Kullanılan Malzemeler .....	32
4.1.1. Polivinil klorür (PVC) .....	32
4.1.2. Mikronize filtre perlit (MFP) .....	33
4.1.3. Diğer katkı maddeleri .....	34
4.2. Üretim ve Analizlerde Kullanılan Cihazlar .....	36
4.2.1. Ekstrüzyon makinesi .....	36
4.2.2. Etüv fırını .....	36
4.2.3. Nem tayini cihazı .....	37
4.2.4. Tane boyutu dağılımı analizi .....	37
4.2.5. Yoğunluk ölçüm kiti .....	38
4.2.6. Çekme testi .....	38
4.2.7. Kül miktarı tayini .....	39
4.2.8. Charpy darbe mukavemeti tayini .....	40
4.2.9. Termal iletkenlik tayini cihazı .....	41
4.2.10. Termal kamera .....	41
4.2.11. Sertlik tayin cihazı .....	42
4.2.12. Kumpas .....	42
4.3. Numunelerin Üretimi .....	43
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>47</b>
5.1. Çekme Testi Deneyi .....	47



5.2. Çentikli Darbe Testi Deneyi.....	49
5.3. Sertlik Testi Deneyi.....	50
5.4. Yoğunluk Testi Sonuçları.....	51
5.5. Termal İletkenlik Katsayısı Deneyi.....	52
5.6. Kül Testi Sonuçları.....	53
5.7. Kalıcı Termal Uzama Deneyi.....	53
5.8. Termal Kamera Görüntüleri.....	54
5.9. Genel Dış Görünüm Değerlendirmesi.....	55
5.10.Tane Boyutu Dağılımı Analizi.....	57
5.11.Su Emicilik Testi Sonuçları.....	57
<b>6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>58</b>
KAYNAKLAR.....	60
EKLER.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	65

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Monomer polimer dönüşümü şematik gösterimi .....	5
Şekil 3.2. Polimerik malzemelerde gerilme ve uzama eğrileri .....	7
Şekil 3.3. Polimerlerin gerilme ve uzama eğrisinin incelenmesi .....	8
Şekil 3.4. 2018 yılı ilk altı ay için mamul bazında plastik ürün kullanımı .....	10
Şekil 3.5. Toplam hammadde üretiminin türlerine göre sınıflandırılması .....	10
Şekil 3.6. Polimerlerin ısıl davranışına göre sınıflandırılması .....	11
Şekil 3.7. Termoplastiğin molekül dizilişi .....	11
Şekil 3.8. Termoset polimer üç boyutlu ağ yapısı .....	12
Şekil 3.9. PVC'nin üretim şeması .....	13
Şekil 3.10. PVC'nin oluşum denklemi .....	14
Şekil 3.11. Sert ve yumuşak PVC ye ait mamul resimleri .....	15
Şekil 3.12. PVC de kullanılan katkı maddeleri ve hazırlanış aşamaları .....	16
Şekil 3.13. Genel bir ekztrüzyon hattının şematik gösterimi .....	21
Şekil 3.14. Boeing 787 de kullanılan kompozit malzemelerin bölge ve oranları .....	22
Şekil 3.15. Kompozit malzemenin içyapısının şematik gösterimi .....	23
Şekil 3.16. Kompozitlerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması .....	26
Şekil 3.17. Kompozitler deki farklı bileşenlerin şekilleri .....	26
Şekil 3.18. Perlit kullanım alanları .....	31
Şekil 4.1. Petvinil S65 PVC hammaddesi .....	32
Şekil 4.2. MFP ye ait görünüm. ....	33
Şekil 4.3. Kompozit PVC üretiminde kullanılan stabilizatör .....	34
Şekil 4.4. Kompozit PVC üretiminde kullanılan TiO <sub>2</sub> .....	35
Şekil 4.5. Kompozit PVC üretiminde kullanılan CaCO <sub>3</sub> .....	35
Şekil 4.6. Laboratuvar tipi çift vidalı ekstruder. ....	36
Şekil 4.7. Hazırlık ve analiz aşamasında kullanılan laboratuvar tipi kurutma fırın .....	36
Şekil 4.8. Analiz aşamasında kullanılan Presica XM 60 nem tayin cihazı .....	37
Şekil 4.9. Tane boyutu analizinde kullanılan Malvern Mastersizer cihazı .....	37
Şekil 4.10. Yoğunluk tayininde kullanılan Presica XB 220 A yoğunluk kiti. ....	38
Şekil 4.11. Çekme testi için numune kesim kalıbı .....	38
Şekil 4.12. Zwick Z010 çekme test cihazı. ....	39
Şekil 4.13. Protherm PLF 110 kül fırını .....	39

Şekil 4.14. Zwick 135 darbe test cihazı. ....	40
Şekil 4.15. Mutronic numune kesim ve çentik açma tezgahı.....	40
Şekil 4.16. Termal iletkenlik tespitinde kullanılan C-THERM cihazı.....	41
Şekil 4.17. Fluke TİS 40 termal kamera .....	41
Şekil 4.18. Shore D sertlik ölçüm cihazı.....	42
Şekil 4.19. Mitutoyo CD-15CPX model kumpas .....	42
Şekil 4.20. Etüv de kurutulmuş ve tartılmış MFP hammaddesi.....	43
Şekil 4.21. Deneme üretiminde kullanılan tek vidalı ekstrüder.....	44
Şekil 4.22. Tek vidalı ekstrüderden alınan bozuk yüzeyli numuneler.....	45
Şekil 4.23. Çift vidalı ekstrüderde üretilen numuneler .....	45
Şekil 4.24. Çekme testi için hazırlanan numuneler ve ölçüleri.....	46
Şekil 4.25. Etüv de kurutulmuş ve tartılmış MFP hammaddesi.....	47
Şekil 5.1. MFP katkısız PVC numunesine ait çekme testi grafiği .....	48
Şekil 5.2. Ağırlıkça % 2 MFP katkılı numuneye ait çekme testi grafiği.....	48
Şekil 5.3. Ağırlıkça % 5 MFP katkılı numuneye ait çekme testi grafiği .....	48
Şekil 5.4. Ağırlıkça % 10 MFP katkılı numuneye ait çekme testi grafiği.....	49
Şekil 5.5. Numunelere uygulanan charpy darbe testi grafiği.....	49
Şekil 5.6. Numunelere uygulanan sertlik testi grafiği.....	51
Şekil 5.7. Yoğunluk ölçümü sonuçları.....	52
Şekil 5.8. Termal iletkenlik ölçüm sonuçları.....	52
Şekil 5.9. Kül testi sonuçları .....	53
Şekil 5.10. Kalıcı termal uzama testi sonuçları.....	54
Şekil 5.11. Numunelerin termal kamera görüntüleri.....	55
Şekil 5.12. MFP içermeyen standart numunedeki boyutsal çarpılma.....	55
Şekil 5.13. % 2 MFP içeren numunedeki boyutsal çarpılma.....	56
Şekil 5.14. % 5 MFP içeren numunedeki boyutsal çarpılma.....	56
Şekil 5.15. % 10 MFP içeren numunedeki boyutsal çarpılma.....	56
Şekil 5.16. MFP üzerinde yapılan tane boyutu dağılımı analizi .....	57

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3.1. Yaygın olarak kullanılan polimerler ve kullanım alanları .....	9
Tablo 3.2. PVC mamul üretiminde kullanılan bazı ısı stabilizatörleri.....	16
Tablo 3.3. PVC mamul üretiminde kullanılan bazı renklendiriciler .....	19
Tablo 3.4. PVC üretim yöntemleri ve kullanım alanları .....	20
Tablo 3.5. Perlitin fiziksel özellikleri.....	27
Tablo 3.6. Perlitin kimyasal özellikleri .....	29
Tablo 4.1. Petvinil S65/R68 PVC hammaddesi teknik özellikleri.....	32
Tablo 4.2. MFP kimyasal yapısı. ....	33
Tablo 4.3. Darbe arttırıcı katkı maddesi özellikleri. ....	34
Tablo 4.4. TiO <sub>2</sub> ye ait özellikler .....	35
Tablo 4.5. MFP içermeyen standart numune içeriği .....	43
Tablo 5.1. Çekme deneyi sonucunda elde edilen değerler .....	47
Tablo 5.2. Charpy darbe testi sonuçları .....	50

## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

BaSO <sub>4</sub>	Baryum Sülfat
CaCO <sub>3</sub>	Kalsiyum Karbonat
cm <sup>3</sup>	Santimetreküp
°C	Derece ( sıcaklık)
gr	Gram
kJ	Kilo Joule
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
m <sup>2</sup>	Metre Kare
MPa	Megapaskal
N	Newton
%	Yüzde

### Kısaltmalar

ADM	Admontin
BF	Bor Fosfat
EN	Avrupa Standartları
FBE	Fen Bilimleri Enstitüsü
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
KS	Karbon Siyahı
MA	Maleik Anhidrit
MFI	Eriyik Akış İndisi
MFP	Mikronize Filtre Perlit
PAGEV	Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı
PVC	Polivinil Klorür
TGK	Ters Gaz Kromatografisi
UV	Ultraviyole
YFK	Yer Fıstığı Kabuğu
YL	Yüksek Lisans
ZB	Çinko Borak

## 1. GİRİŞ

Polimerler günlük hayatımızın hemen her alanında oldukça fazla kullanılmaktadırlar. Kullanılan diğer malzeme çeşitleri ile kıyaslandığında hafiflik, kimyasal direnç, mekanik özellikler, birim fiyat, şekillendirilebilme kolaylıkları, atmosfer şartlarına dayanımları ve büyük bir kısmının geri dönüştürülebilir türde olması nedeni ile kullanımları günden güne yaygınlaşmaktadır.

Güncel teknolojilerin her an müthiş bir hızla ilerlemesi ile polimer malzemelerin kullanım alanlarını ve onlara duyulan ihtiyaçları arttırmaktadır. Hayatımızın neredeyse hemen her alanında polimerleri kullanılmaktadır. Polimerler kendilerine özgü yüksek özelliklerinden dolayı sadece malzeme bilimcilerin değil farklı alanlarda, farklı disiplinlerde çalışan kişilerin de ilgisini çekmiştir (Deveci, 2008).

Termoplastik türlerinden biri olan polivinil klorür (PVC) değişik alanlardaki kullanımı ile karşımıza çıkmaktadır. Özellikle inşaat sektörü ve yapı endüstrisinde kapı, pencere, yüzey veya duvar kaplama, tavan kaplama, levha şeklinde kullanılarak ayrı yapı bölümleri oluşturulmasında PVC hammaddesi kullanılmaktadır. Yine inşaat sektöründe atık su, yağmur suyu vb su iletim ve taşıma hatlarında da PVC kullanılmaktadır.

Genel anlamda polimerlere ilave edilen dolgu ve katkı maddeleri sayesinde polimerin pek çok özelliği etkilenebilmektedir. İlave edilen dolgu maddeleri özgül ağırlığı, mukavemet değerlerini, yoğunluğu, termal dayanımı, termal iletkenlik değerlerini, ısı iletkenliklerini ve bunun gibi birçok özelliği değiştirebilir. Dolgu malzemelerinin bir diğer amacı da malzemenin işleme sonrası küçülmesini yani termal etki ile çekmesini önlemesidir. Dolgu maddelerinde aranacak özelliklerden bir kaçısı ise renklendirilmeye müsait olmalarıdır. Örneğin koyu renkli bir dolgu maddesi üretimi yapılacak ürün üzerinde dekoratif beklentileri olumsuz etkileyecektir. Bunun yanında beyaz bir dolgu malzemesi kullanıldığında arzu edilen birçok renk aralığında istenen görsellikte ürün imalatı yapılabilir. Bunların yanında tat ve koku ile zehirli etkilerin olmaması da arzu edilir. Bu sayede gıda endüstrisinde ve benzer hijyen gerektiren sektörlerde kullanımları kolaylaşır (Saçak, 2012).

Perlit doğada parçacıklar halinde bulunan ve bir takım ön işlemlerin ardından uygun olarak hazırlanmış genleştirme proseslerin de 1000°C sıcaklığa maruz kaldığında mısır gibi ani bir genleşme sağlayarak hacminin 10-20 katına ulaşabilen bir malzemedir. Genleştirilmiş perlit üstün ses ve ısı izolasyon özelliğine sahip olduğundan yapı endüstrisinde bolca kullanılmaktadır (Özdeniz, 2004).

Yaygın olarak kullanılan termoplastik türlerinin başında PVC gelir. İşlenmesinin kolay oluşu ve mekanik özelliklerinin yüksek oluşu nedeni ile birçok alanda kullanılmaktadır. PVC den üretilen mamullerin işlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemler ise ekstrüzyon, enjeksiyon, termoforming ve kalenderleme olarak adlandırılan üretim yöntemleridir. PVC polimeri beyaz veya sarı renkli, genelde toz şeklinde bulunur. Genelde %53 ila %55 arasında klor içerirler. PVC polimeri üretildiği hali ile işlenmeye uygun değildir. Bu sebeple üretimlerinden sonra amaca yönelik bir takım katkı maddeleri ilavesi gerekebilir. Bu katkı maddeleri ısı stabilizatörleri, alev geciktirici katkılar, renklendirici pigmentler, plastikleştirici plastifiyanlardan, darbe dayanım arttırıcılardan oluşabilir (Aslankılıç, 2008).

Çalışmamızın ana konusu doğal bir volkanik kayaç olan perlite hammaddesi ile PVC hammaddesinin uygun yöntemler ile birleştirilerek üstün özellikli, ısı ve ses yalıtım değerleri yüksek kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmektir.

Çalışma da dolgu malzemesi olarak mikronize filtre perlit (MFP) kullanılarak PVC kompozit malzemenin ısı ve ses izolasyon değerlerinin iyileştirilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Yine nispeten ucuz olan perlit hammaddesinin dolgu olarak kullanılması sonucu son ürün birim fiyatlarının düşürülmesi ve ülkemizde oldukça fazla bulunan perlit madenine alternatif bir kullanım alanı oluşturmak amaçlanmıştır.

Bu çalışmada standart bir formüle sahip PVC karışımı içerisine ağırlıkça %2, %5 ve %10 oranlarında MFP ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Karışım içerisindeki katkı maddelerinin cins ve görevleri çalışma içerisinde sunulmuştur. Bu karışımlar uygun üretim hatlarında işlenerek şerit numunelere dönüştürülmüştür. Elde edilen numuneler mekanik ve fiziksel testlere maruz bırakılarak ilave edilen MFP madeninin etkileri araştırılmıştır. Isıl ve akustik yalıtım özelliği yüksek ve yeterli mekanik dayanıma sahip kompozit malzeme birçok alanda kullanılabilir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gülcihan Güzel, Yer fıstığı kabuğu (YFK) ve döküm cürufunu dolgu maddesi olarak kullanarak epoksi kompozit malzeme üretimi yapmıştır. Artan dolgu maddesi oranı ile kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimini incelemiştir. Yapılan testlerde dolgu maddesi olarak saf YFK' nın kullanılması durumunda korozyon dayanımı, soğuk atmosfer direnci, adhezyon özellikleri iyileşmiştir. Fakat YFK oranının artması ile çekme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir (Güzel, 2016).

Esra Baydar, PVC kompozit malzeme üretiminde farklı dolgu maddelerinin kompozit malzeme üzerindeki fiziksel ve mekanik etkilerini incelemiştir. Kütlece değişen oranlarda karbon siyahı (KS), YFK, baryum sülfat ( $BaSO_4$ ), dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda da ilave edilen dolgu maddelerinin termal dayanımı arttırır iken mekanik özelliklerinde düşmeye neden olduğu görülmektedir (Baydar, 2016).

Ömer Faruk Bayraktar, Çalışmasında PVC hammaddesinden üretilen kablolar üzerinde çalışmıştır. Özellikle binalarda veri ve enerji iletimine kullanılan kabloların olası bir yangın durumunda yangını başlatıcı veya başlamış bir yangını hızlandırıcı etkilerinin azaltılması veya ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle ilave olarak eklenen alev geciktirici katkı maddelerini incelemiştir. Alev geciktirici katkı olarak bor fosfat (BF), çinko borat (ZB), admontin (ADM) gibi ajanlar ile kablo imalatında kullanılan hammadde formüllerini geliştirmeye çalışmıştır (Bayraktar, 2015).

Hakkı Özer, Cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzeme üretimi yapmıştır. Termoplastik türü olarak polietilen ve polipropilen kullanarak laminasyon yöntemi ile numune üretimi gerçekleştirmiştir. Üretimini yaptığı numunelere çekme, basma, çentik darbe ve üç nokta eğme deneylerini uygulamıştır. Test sonuçları incelendiğinde termoplastik kompozit malzemeler arasında polipropilen matrisli türün en yüksek basma gerilmesi ile 142,7 MPa' a ulaştığı görülmüştür (Özer, 2015).

Hayrullah Çetinkaya, PVC matris içerisine ağırlıkça farklı oranlarda ve ortalama %22 bor içeren kil pestilini takviye malzemesi olarak kullanmıştır. Ters gaz kromatografi yöntemi ile yüzey enerjilerini tespit ederek etkilerini yorumlamıştır. Kompozit



içerisindeki kil yüzdesinin artması ile yüzey enerjilerinin de arttığını ortaya koymuştur (Çetinkaya, 2012).

Okan Akçam, Tekstil alanında kullanılan liflerin kullanım alanları ve özelliklerinin geliştirilmesini amaçlanmıştır. Çalışmada nano boyuttaki perlit madeninin bir takım öğütme ve modifiye işlemlerinin ardından tekstil sektöründe kullanımının yöntemlerini geliştirmeyi amaçlanmıştır. Bilyeli değirmenlerde 28 µm tane boyutundan yaklaşık 0,47 µm seviyesine kadar küçültülen perlit taneciklerinin polyester ile karıştırılarak %1,25 oranında perlit içeren polyester iplikler oluşturulmuştur. Yapılan testler sonucunda perlit ilavesi ile su emiciliği ve ses izolasyonu özelliklerinde ciddi bir iyileşme sağlandığı görülmüştür. Özellikle ses yalıtım konusunda 2000 Hz' den sonra perlit katkılı kumaşların daha yüksek oranda ses yutum katsayısına sahip oldukları görülmüştür (Akçam, 2011).

Hüseyin İpek, Çalışmasında cam elyaf ve polyamid kullanarak polyamid matrisli cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmiştir. Üretimde kullandığı bileşenlerin oranı %50 olarak seçilmiştir. Sıcaklık ve basınç artışı ile beraber kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin arttığı görülmüştür. Yine takviye malzemesi olan cam elyafın artan sıcaklık ile daha üstün bir şekilde ıslanarak yapıya adapte olduğu görülmüştür (İpek, 2011).

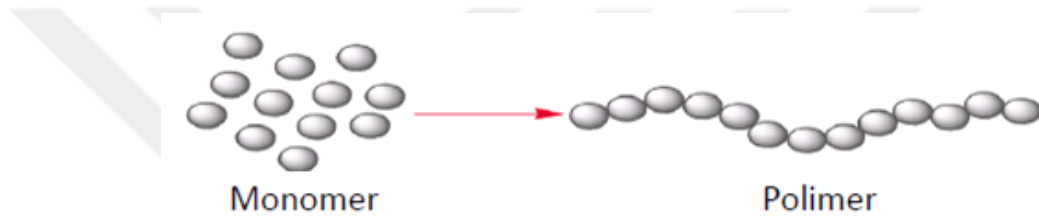
Mehmet Ali Oral, Polipropilen kompozitler ile kalsit dolgusunun ara yüzey etkileşmesinde fiziksel ve mekanik etkilerin incelenmesini gerçekleştirmiştir. Kompozit hammadde hazırlanışın da maleik anhidrit ilave edilmesi ile numunenin mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu görülmüştür. SEM incelemeleri sonucunda yüzey modifiye işleminin ardından kalsit ile polipropilen arasında uyumlu bir ara yüzey oluştuğunu gözlemlemiştir (Oral, 2006).

### 3. KURAMSAL TEMELLER

#### 3.1. Polimer ve Plastik Kavramı

Polimerler genel olarak monomer diye adlandırılan küçük moleküllerin birbirlerine eklenerek oluşturduğu uzun zincirli, molekül ağırlıkları büyük bileşikler olarak ifade edilebilir. Polimer kelimesi mer parça, poli çok anlamına gelen kelimelerin birleşimi ile oluşturulmuştur (Akyüz, 2001).

Monomer polimer dönüşümü Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.1.** Monomer polimer dönüşümünün şematik gösterimi

Monomerlerin çeşitleri ve birleştirilme şekilleri farklı olabilirler. Bu özelliklerinden dolayı ortaya çıkacak polimer çeşidi de oldukça fazladır. Monomerlere örnek olarak etilen, propilen, vinil klorür, fenol, asetonitril, formaldehit, stiren gibi organik bileşikler verilebilir. Kimyasal yapıları farklı ve yapısında birden fazla monomer bulunduran polimerlere kopolimer denir.

"Plastik" terimi Yunanca' da döküm yöntemine uygun anlamında ki "plastikos" ve dökme anlamındaki "plastos" kelimesinden türetilmiştir. Malzemenin üretim sırasında dövülebilirliği veya yoğrulabilirliği sayesinde dökülmesine, preslenmesine veya film, kutu, tabaka, tüp, lif, şişe ve farklı birçok şekle sokulabilmesine yapılan bir atıftır (Yılmaz, 2007).

Plastikler yapay olarak üretilirler yani sentetik polimerlerdir. Ahşap, pamuk, kâğıt veya yün gibi organiklerdir. Plastik üretiminde kullanılan selüloz, kömür, doğal gaz, tuz ve ham petrol gibi hammaddeler doğal ürünlerdir (PAGEV 2019).

Plastikler, adından da anlaşılabilceği gibi plastik davranış gösterebilen ve üretimlerinin belirli aşamasında ısı etki ile istenen şekle sokulabilen ve soğuduğunda bu şekli koruyan malzemelerdir.

Plastikler yapay polimerlerdir. Yani doğadaki malzemeler kullanılarak üretilen ancak doğada bulunmayan malzemelerdir.

### **3.1.1. Polimerlerin tarihsel gelişimi**

Faraday'ın 1826 yılında yaptığı çalışmada, basınç altındaki etilen gazına ışın enerjisi verilmiş ve gazın bir kısmının sıvılaştığı görülmüştür. Ayrılan sıvı fazın elementel etilen bileşiminde olduğu, fakat molekül ağırlığının etilenin iki katı bir bileşik olduğu görülmüştür. Sonraları, elementel bileşimi bir diğer madde ile aynı, fakat molekül ağırlığı diğer maddenin molekül ağırlığının katları olan bir maddenin polimer terimi ile ifade edilebileceği belirtilmiştir (Baydar, 2016).

1839 yılında ise Goodyear kauçuk ağacının öz suyunu kükürt ile kaynatarak esnek, sağlam koyu renkli bir madde elde etmiştir. Goodyear'ın bu buluşu günümüzde de kullanılmaktadır. Bunu izleyerek 1910'da bakalit, 1927'de PVC, 1929'da üre ve melamin, 1940'da poliamitin özel bir türü naylon, 1943'de polietilen, pvc, silikon ve 1948'de epoksi sentezlenmiştir.

Sentetik polimerlerin elde edilmesini açıklayan ana bilimsel ilkeler 1924–1935 yılları arasında önemli gelişme göstermiştir. Polimer tekniği 1924 yılında Hermann Staudinger'ın "Makromolekül Hipotezi"ni ileri sürmesiyle, polimer teknolojisi önemli bir yol kat etmiştir. Hipoteze göre, doğal kauçuk ve polistirenin, küçük birimleri bir arada bulunduran uzun zincirli moleküller olduğu ileri sürülmüştür. Bu sayede üretimin deneme yanılma yönteminden kurtulmasına sebep olmuştur. Daha sonrasında polimer kavramı farklı araştırmalar ile geliştirilmiş ve bugünkü şekline gelmiştir (Beşergil, 2008).

### **3.1.2. Polimerlerin ısı ve mekanik özellikleri**

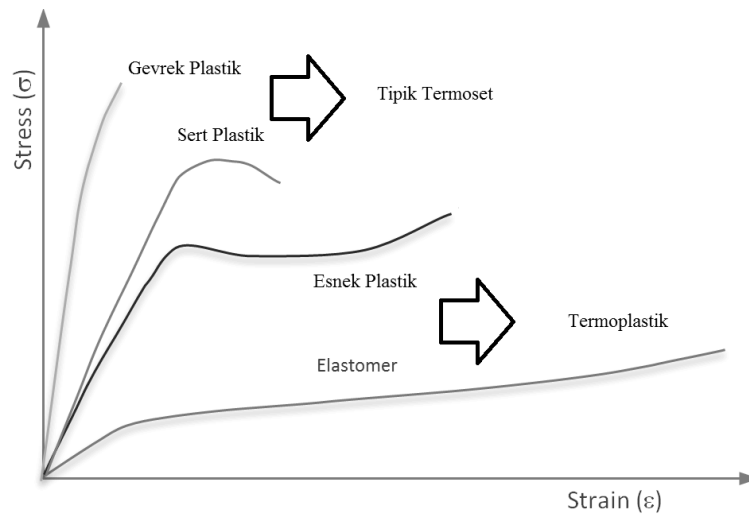
Plastikler, oda sıcaklığında genelde katı halde bulunan, ısı ve basınç kullanılarak mekanik yöntemler ile şekillendirilebilen organik polimer maddelerdir. Plastikler

nispeten yeni malzeme grupları olmasına rağmen, günlük hayatımızda oldukça yoğun kullanılan malzemelerden biridir. Bu durum plastiklerin özelliklerinin ve çeşitliliklerinin çok geniş bir aralıkta değişmesinin bir sonucudur (Yaşar, 2001).

Plastiklerin yoğunlukları yaklaşık olarak 0,8 ile 2,2 g/cm<sup>3</sup> arasında değişir, böylece metallere ve seramiklere daha hafif oldukları görülmektedir. Mekanik özellik davranışları yükleme hızı ve yüksek sıcaklık etkileri ile değişebilir (Akyüz, 2001 ; Ünal, 2006).

Plastikler de metaller gibi hem plastik hem de elastik şekil değiştirebilirler. Elastisite modülleri oldukça küçüktür. Isıl özellik olarak, karbon, hidrojen, oksijen ve azot gibi elementlerden oluşan küçük molekül ağırlıklı organik moleküller ve polimerler ancak belirli sıcaklıklara kadar yapı ve özelliklerini koruyabilmektedirler. Polimerlerin pek çoğunun kullanılabilir sıcaklık aralıkları 100°C ila 200°C seviyelerindedir. Bazı özel durumlarda bu sıcaklık limitleri birkaç yüz derece daha arttırılabilir. Genel olarak sıcaklık 500°C veya daha yükseğe çıkartılacak olursa, organik yapılar bozunur ve nispeten küçük molekül ağırlıklı parçalara bölünürler (Uçar, 2009).

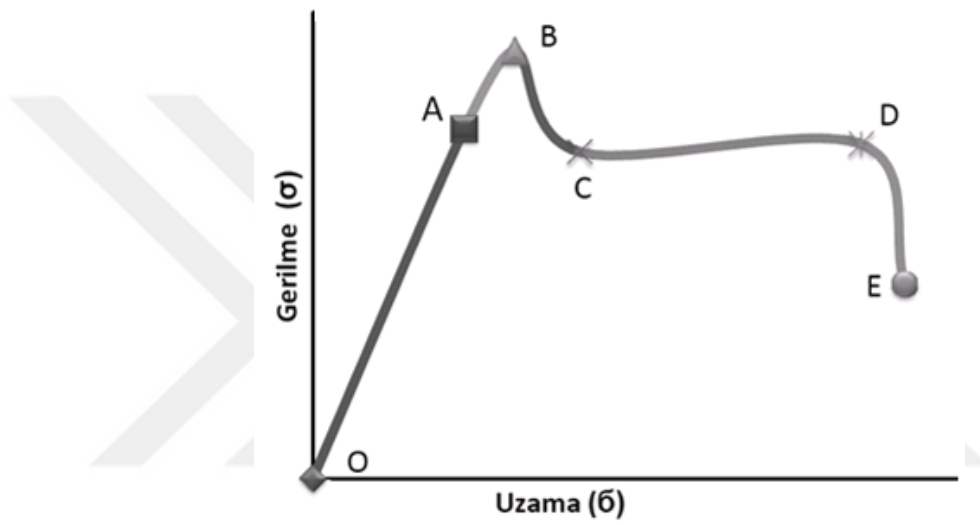
Polimerik malzemelerin mekanik özellikleri gerilme-uzama (stress-strain) davranışları ile belirlenebilmektedir. Standart numuneler belirli bir yönde gerdirilerek, davranışları kaydedilmektedir. Şekil 3.2 ile değişik polimerik malzemelerin gerilme uzama eğrileri verilmektedir.



Şekil 3.2. Polimerik malzemelerin gerilme ve uzama eğrileri (Savaşçı, 2002)

Bu davranışa göre polimerik malzemeler elyaf, sert plastikler, esnek plastikler ve elastomerler olarak dört ana gruba ayrılabilir. Her grup içerisinde oldukça fazla miktarda alt grup polimer yer almaktadır (Savaşçı, 2002).

Polimerik malzemelerin gerilme uzama eğrilerini daha ayrıntılı incelemek için camsı geçiş sıcaklığının ( $T_g$ ) üzerinde sabit bir hız ile çekme deneyi yapılmış ve Şekil 3.3'deki grafik elde edilmiştir. Grafikteki harf aralıklarına göre polimerin gösterebileceği davranışlar açıklanmıştır.



**Şekil 3.3.** Polimerlerin gerilme ve uzama eğrisinin incelenmesi (Dinçer, 1984)

O-A: Gerilme ve uzama eğrisi lineerdir. Bu aralıktaki davranış elastik deformasyondur ve eğimi elastik modülünü verir.

A-B: Gerilmedeki artış, uzamanın artmasına rağmen azalmıştır. B noktasında gerilme maksimum değere ulaşmıştır ve polimerin akma başlangıcıdır.

B-C: Polimer malzemede boyun verme etkisinin başladığı kısımdır. Akma ve plastik deformasyon çekme sürdükçe boyun üzerinde devam eder. C noktasında boyun verme tamamlanır.

C-D: Gerilme yaklaşık olarak sabittir. Moleküler zincirler akma eğilimi gösterir. Uzamanın devam ettiği sürece polimerik zincirler çekilme doğrultusunda yönelirler. Soğuk çekme veya soğuk akma denir.

D-E: Plastik akmanın bittiği ve polimerde gerilmenin yüksek hızla azaldığı bölgedir.

E: Kopmanın meydana geldiği noktadır (Dinçer, 1984).

### 3.1.3. Polimerlerin kullanım alanları

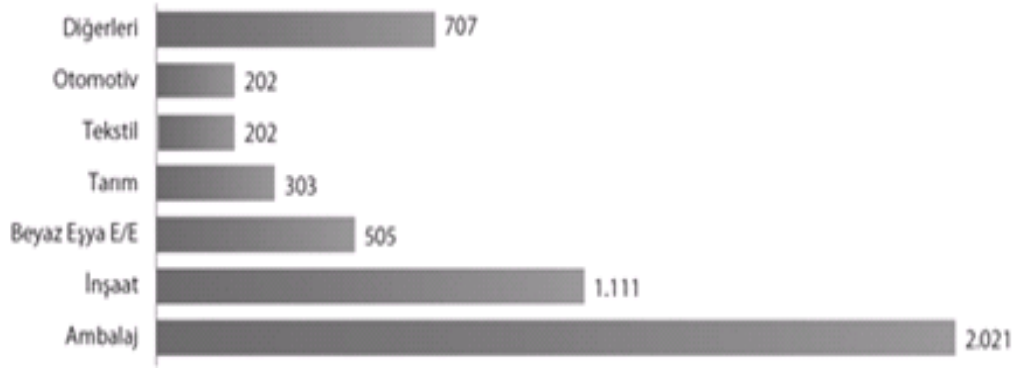
Polimerler ucuzluk, hafiflik ve kolay şekillendirilebilme özelliklerinden dolayı endüstride yoğun olarak kullanılan malzemeler haline gelmişlerdir. Polimerler günümüzde ambalaj, yapı malzemeleri ve elektrikli aletler sektörü başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (PAGEV 2019). Yaygın olarak kullanılan polimerler ve kullanım alanları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1.** Yaygın olarak kullanılan polimerler ve kullanım alanları (Baydar, 2016)

<b>Polimer İsmi</b>	<b>Kullanım Alanları</b>
Polietilen teraftalat	Polyester fiberler, film, elyaf, köpük, şişe
Yüksek yoğunluklu polietilen	Taşınmaya elverişli kap yapımı, çeşitli şişeler
Polivinil klorür	Çit malzemeleri, yiyecek dışı şişeler
Düşük yoğunluklu polietilen	Sera örtüsü, film, ambalaj, elektrik sanayi
Polipropilen	Plastik şişe, elektrik sanayi, mutfak eşyası
Polistiren	Oyuncak, tepsiler, yalıtım malzemeleri
Diğer	Akrilik, polikarbonat, naylon, diğer plastikler.

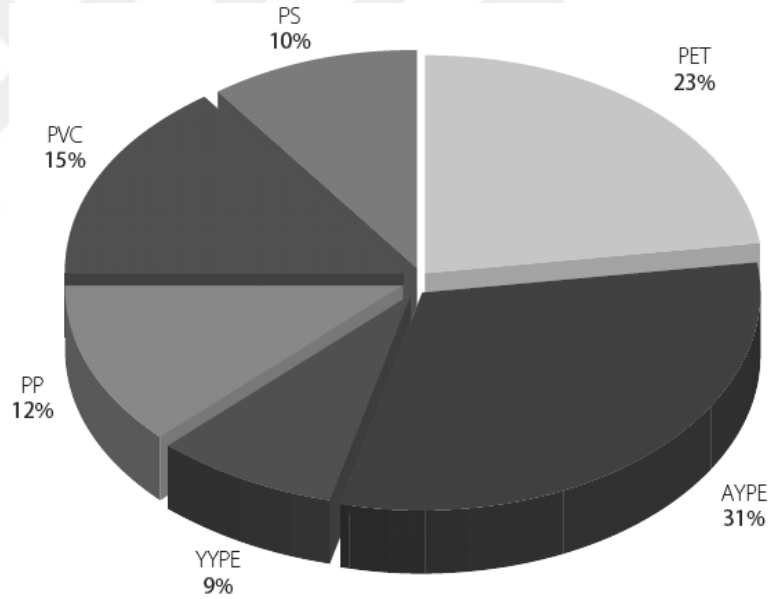
Dünya üzerinde yıllık polimer tüketimi 2015 yılı verilerine göre ortalama 120 milyon ton seviyesindedir. Bu miktar her yıl yaklaşık olarak %7 civarında artmaktadır (Erişir, 2015).

Türkiye de ise 2018 yılının ilk altı aylık döneminde 5,1 milyon tonluk toplam plastik ürün üretimi yapılmıştır. Şekil 3.4’de 2018 yılının ilk altı ayında ülkemizde kullanılan plastik malzemelerinin sektörel oranları verilmektedir.



**Şekil 3.4.** 2018 yılı mamul bazında plastik ürün kullanımı (x1000 Ton) PAGEV (2019)

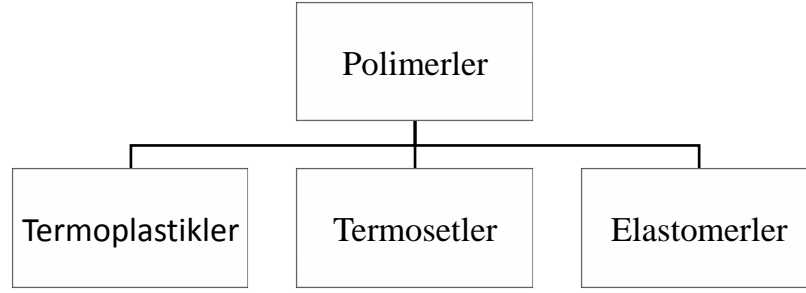
Yine 2018 yılının ilk altı aylık döneminde üretilen plastik hammaddelerin hammadde türlerine göre sınıflandırılması sonucu %31 ile en yüksek üretim oranına sahip hammadde türünün alçak yoğunluklu polietilen olduğu görülmektedir. Şekil 3.5’de toplam hammadde üretiminin türlerine göre sınıflandırılması görülmektedir.



**Şekil 3.5.** Toplam hammadde üretiminin türlerine göre sınıflandırılması PAGEV(2019)

### 3.1.4. Polimerlerin sıcaklık altındaki davranışlarına göre sınıflandırılması

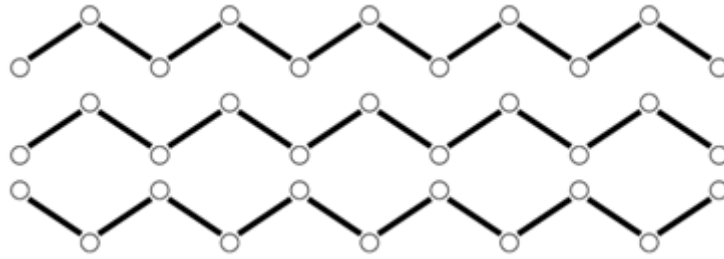
Polimerik malzemelerin değişen sıcaklık altındaki davranışları açısından termosetler, termoplastikler ve elastomerler olarak üç ana gruba ayırmak mümkündür. Polimerlerin ısıl davranışına göre sınıflandırılması Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



**Şekil 3.6.** Polimerlerin ısı davranışına göre sınıflandırılması (Baydar, 2016)

#### 3.1.4.1. Termoplastikler

Termoplastikler sıcaklıkları artırıldığında yumuşayıp akıcı hale geçen, soğutulduklarında katılaştıran, tekrar ısıtıldıklarında yine akışkan halini alan plastiklerdir. Termosetlerden farklı olarak ısıtılıp soğutulduklarında sadece fiziksel değişime uğrarlar ve bu yapıları sayesinde geri dönüşebilir üretim özelliğine sahiptirler. Şekillendirilmeleri tekrarlanabilir. Lineer ağ yapısına sahip ve genelde yumuşak malzemelerdir (Paksoy, 2008). Termoplastiklerin iç yapısı Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.7.** Termoplastiğin molekül dizilişi (Tamer, 2003)

Moleküller Şekil 3.7’deki gibi uç uca eklenerek birbirlerinden bağımsız çizgisel ve büyük moleküller oluştururlar. Bu zincirlerin aralarındaki bağ kuvvetli değildir. Dolayısı ile termoplastikler ısıtıldıklarında atom zincirleri birbirleri üzerinden kayarak malzemenin akıcılığına sebep olurlar. Soğuma durumunda ise atom zincirleri tekrar yenilenir. Termoplastiklerin ısıtılma ve soğutulma işlemleri belirli bir sayıyı aşmamalıdır. Eğer aşarsa hammadde rengi ve görünüşü bozulur eriyik akış indeksinde (MFI) artış meydana gelir (Tamer, 2003).



### 3.1.4.2. Termosetler

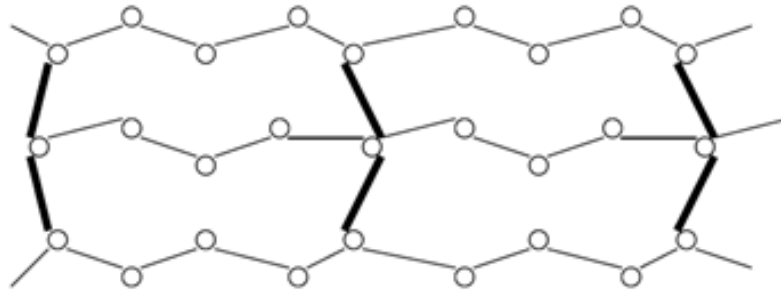
En basit tanımı ile termosetler kritik bir sıcaklığın üzerinde kalıcı olarak sertleşen ve tekrar ısıtıldıklarında yumuşamayan polimerlerdir.

Sıcaklık artışı ile yumuşayarak şekillendirilebilen ancak sıcaklık artışına devam edilmesi durumunda molekül zincirinde dallanma ve yüksek oranda çapraz bağlanma gerçekleşen polimerlerdir. Sıcaklık artışı ile sertlik ve mukavemet kazanımı gerçekleşir. Çapraz bağ oluşumu nedeniyle malzemenin kimyasal doğasında tersinmez değişimler meydana geldiğinden, bu tip malzemeler tekrar ısıtma ile ergitilemez, şekillendirilemezler. Tekrar ısıtma malzemenin yanmasına ve bozulmasına neden olabilir (Oral, 2006).

Termoset plastikler yüksek boyutsal kararlılığa sahiptirler. Darbe dirençleri genelde yüksektir. Ticari olarak geliştirilen ilk termoset Dr. Leo Baekeland tarafından 1909 yılında geliştirilmiş ve sonraları bakalit olarak adlandırılmıştır (PAGEV 2019).

Termoset polimerlere örnek olarak fenolik reçineleri, melamin, epoksi reçineleri, stiren, poliüretan, bütadien kauçuk ve nitril kauçuk sayılabilir (Yurci, 2009).

Şekil 3.8’de termoset polimerlerin üç boyutlu ağ yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Termoset polimer üç boyutlu ağ yapısı (Tamer, 2003)

### 3.1.4.3. Elastomerler

Elastomerler oda sıcaklığında kuvvet etkisi ile boyunun en az iki misline uzayabilen ve kuvvet ortadan kaldırıldığında büyük oranda ilk haline dönebilen polimerik malzemeler olarak tanımlanır.

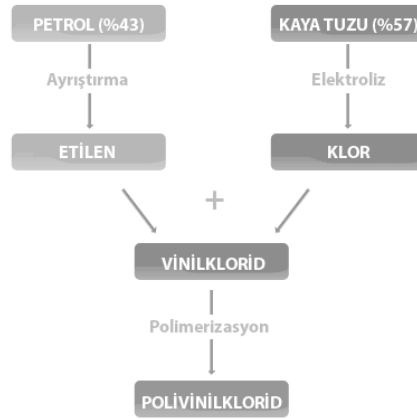
Elastomerler düşük sıcaklıklarda cam gibi sert, çok yüksek sıcaklıklarda dahi koyu sıvımsı akışkan özellikler göstermeyen, oda sıcaklığından parçalanma sıcaklığına kadar geniş bir alan içerisinde elastik özellikler gösteren seyrek çapraz bağlanmış (vulkanize olmuş) polimerik malzemeler olarak da tarif edilebilir (Erkek, 2007).

Elastomer terimi ve kauçuk terimi birbirlerinin yerine kullanılabilirler. Yüksek oranda şekil değişimlerine dayanabilen polimerlere de elastomer adı verilebilir. Atomların herhangi bir simetriye sahip olmadan kümelendikleri bir içyapı gösterir. Doğal lastikler ve sentetikler bu gruba girer. Genelde elastomerler balıkçı ağı şeklinde bir içyapıya sahiptirler (Ünal, 2006).

### 3.2. Polivinil Klorür (PVC)

PVC terimi 'polyvinil chloride' ifadesinin kısaltılmış halidir. Doğalgaz, petrol ile tuz mineralinden oluşan polimerik malzeme türüdür. Monomer halde bulunan vinil kloridin polimerizasyonu ile elde edilir. Bir takım katkı maddeleri ile harmanlandıktan sonra yüksek sıcaklıklarda şekillendirilerek plastik ürün halini alır.

PVC'nin üretim şeması Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



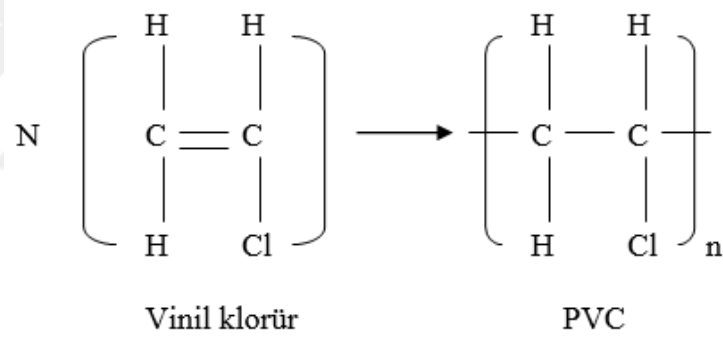
Şekil 3.9. PVC'nin üretim şeması

PVC en yoğun kullanılan termo plastik malzeme türleri arasındadır. Yaygın kullanılmasının ana sebebi ucuz oluşudur. Yüksek kimyasal direnç ve katkı malzemeleri ilavesi ile farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerde bileşiklerin yapılabilmesi de kullanımını arttırmaktadır.

PVC dünya üzerindeki toplam polimer mamul üretiminin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Yoğunluğu genelde 1,39-1,42 g/cm<sup>3</sup> aralığındadır. PVC polimerinin kesin net bir yumuşama sıcaklığı yoktur. Fakat ortalama 80°C'de yumuşamaktadır. PVC'nin yumuşama sıcaklığı plastikleştiricilerin ilavesi ile istenilen değere ulaştırılabilmektedir (Aydın, 2004).

Katkısız PVC sert yapıdadır. Halojenler barındırdığından dolayı yanmaya karşı oldukça dirençlidir. Geri dönüşüme uygun oldukları için çevre dostudur. Güneş ısınlarına dayanıklı, mekanik özellikleri iyi, kaynak ile birleştirilmeye uygun ısı iletim katsayısı düşük, boyanıp kaplanabilen bir malzemedir. PVC'nin üretim aşamasındaki son hali beyaz, şeffaf veya açık sarı renkli olabilir. Toz, eriyik harman veya pasta gibi farklı fiziksel formlarda olabilir (Meriç, 2001).

PVC'nin oluşum denklemi Şekil 3.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. PVC'nin oluşum denklemi (Aydın, 2004)

### 3.2.1. PVC hammaddesinin sınıflandırılması

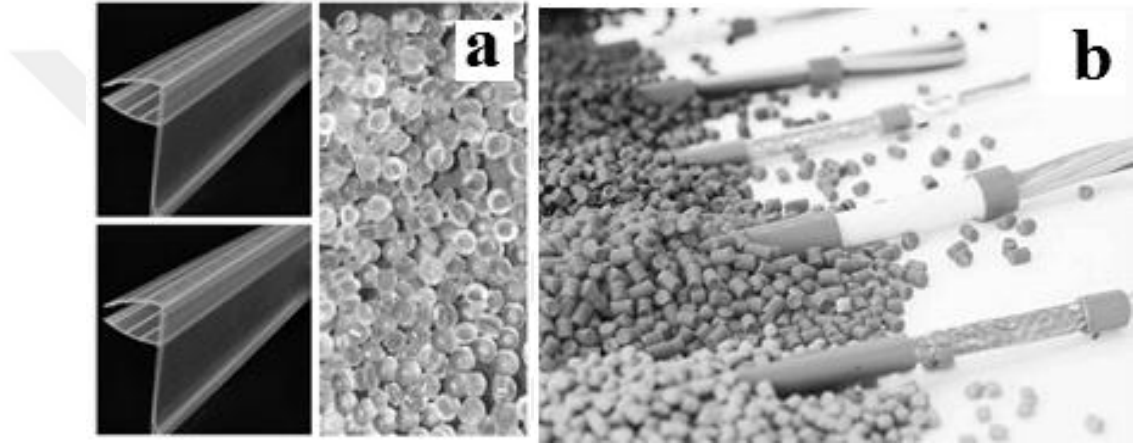
#### 3.2.1.1. Sert PVC

Plastikleştirici katkıları kullanılmadan üretilen PVC bileşimleri ve mamulleri genellikle sert PVC, rigid yada uPVC olarak isimlendirilir. Sert PVC'nin kullanım sıcaklık aralıkları -5°C ile 60°C arasındadır. Yapı ve inşaat sektöründe yoğun olarak kullanılmaktadır. Atık su boruları, plastik pencere profilleri, duvar ve tavan kaplamaları, ızgara, oluk, su tesisatı parçaları, otomotiv iç aksamaları, havalandırma boruları, vantilatör, yağ ve içecek kapları gibi malzemeler üretilmektedir (Baydar, 2016).

### 3.2.1.2. Yumuşak PVC

Plastikleştirici ilavesi ile elde edilen PVC bileşimleri yumuşak PVC, flexible ya da pPVC diye adlandırılır. Yumuşak PVC daha çok çadır, branda, kablo sanayi, yer döşemeleri, oyuncak ve eldiven yapımında kullanılmaktadır. Isıtıldığında metal yüzeylere yapışma özelliği yüksektir. İyi elektriksel yalıtım özellikleri nedeni ile kablo imalatında oldukça yoğun olarak kullanılırlar (Cengiz vd. 2008).

Sert ve yumuşak PVC ye ait mamul resimleri Şekil 3.11’de gösterilmektedir.

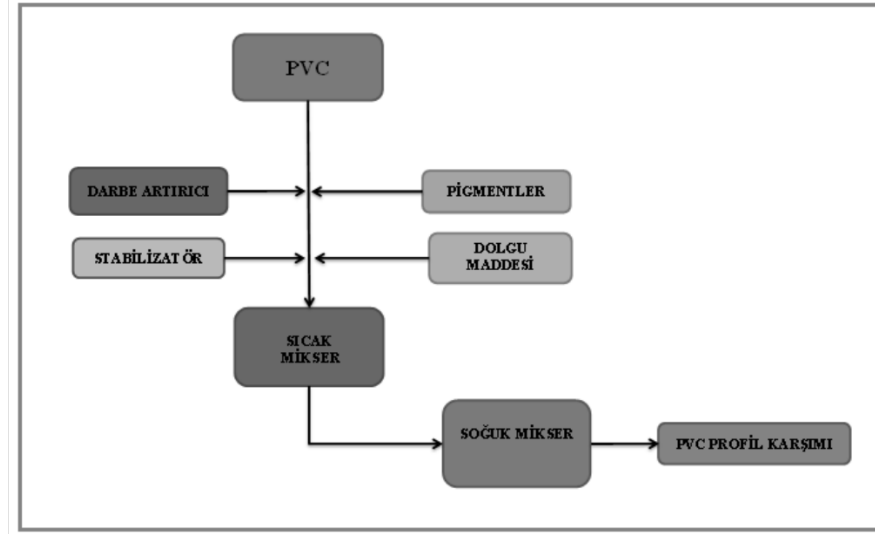


Şekil 3.11. Sert ve yumuşak PVC ye ait mamul resimleri (a) Sert pvc (b) Yumuşak pvc

### 3.2.2. PVC malzeme üretiminde kullanılan katkı maddeleri

PVC ürün imalatında ana hammadde PVC’dir. Ancak PVC ilave katkı maddeleri olmadan tek başlarına kullanıldıkları zaman kendilerinden istenen mekanik, kimyasal, fiziksel ve atmosferik özellikleri sağlayamamaktadır. Hem proses makine içerisinde plastikleşmesinin sağlanması, hem de ürüne istenilen özelliklerin verilebilmesi için bir takım katkı maddelerinin ilave edilmesi gerekmektedir. Katkılı bir PVC’nin formülasyonu genel olarak PVC reçinesi, stabilizatörler, kaydırıcılar, darbe modifiye ediciler, proses yardımcıları, dolgu maddeleri ve renk verici pigmentlerden oluşmaktadır (Kuyulu, 2001).

PVC de kullanılan katkı maddeleri ve hazırlanış aşamaları Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.12.** PVC de kullanılan katkı maddeleri ve hazırlanış aşamaları (Koç,2005)

### 3.2.2.1. Stabilizatörler

Polimerler imalat esnasında veya kullanım yerlerinde ısı enerjisi ile karşılaşabilirler. Bu etki ile PVC polimeri bozunabilir. Polimerlerin ısıl bozunmasını engellemek veya azaltmak için ilave olarak ısı stabilizatörleri olarak adlandırılan maddeler eklenir. Isı stabilizatörleri polimere aktarılan ısı enerjisini bünyesine alarak polimer zincirine gelecek enerjiyi azaltırlar (Saçak, 2012).

PVC tek başına termal dayanımı düşük olan bir termoplastik hammaddedir. Bu sebeple ısı stabilizatörü kullanılmaksızın işlenebilmesi mümkün değildir (Aydın, 2004).

PVC mamul üretiminde kullanılan bazı ısı stabilizatörleri Tablo 3.2’de verilmektedir.

**Tablo 3.2.** PVC mamul üretiminde kullanılan bazı ısı stabilizatörleri (Kuyulu, 2001)

Stabilizatörler	Kullanım Alanları
Bazik kurşun karbonat	Düşük sıcaklık ve esnek uygulama
Tri bazik kurşun sülfat	Esnek ve rijit uygulama
Organo fosfit	Rijit uygulama
Diketon	Yüksek sıcaklık ve bina dışı uygulama
Fenolik antioksidan	Bina dışı uygulama
Organotin karboksilat	Rijit uygulama

### **3.2.2.2. Kaydırıcılar**

PVC'nin ekstrüderde şekillendirilmesi sırasında oluşan baskı ve kuvvetleri azaltmak amacı ile ek olarak kaydırıcı olarak isimlendirilen düşük molekül ağırlıklı katkıların eklenmesi gerekmektedir. Bu katkılar polimerin işleme özelliklerini iyileştirmektedir. Genelde PVC içerisinde iyi çözümler ve polimer molekülleri arasında oluşan kuvvetleri zayıflatarak moleküller arası sürtünmeyi azaltırlar. Doğru dengelenmemiş kaydırıcı sistemler proses işleme ekipmanlarının yüzeyinde katı malzeme birikmesine sebep olurlar. Bu birikmenin sonucunda prosesden kötü yüzeye sahip ürün çıkışı olur. İstenmeyen bu kötü görüntünün ortadan kaldırılması amacı ile üretim hattının devreden çıkarılarak temizlenmesini gerekir. Temizlenme esnasında makine üretim dışı olacağından gereksiz zaman ve enerji israfı ile verim düşecektir. Kaydırıcılar, iç ve dış kaydırıcılar olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir.

İç kaydırıcılar PVC ile oldukça iyi uyum gösteren maddelerdir. PVC içerisinde iyi çözünüp polimer molekülleri kuvvetlerini zayıflatarak moleküller arası sürtünmeyi azaltır. Polimerin akışkanlığını yükselterek üretimin artmasını sağlamaktadır.

Dış kaydırıcılar genellikle PVC içerisinde çözünmeyen maddelerden seçilir. Adaptasyonu az veya hiç olmadığından işleme sırasında PVC eriyiğın yüzeyine etki eder. Dolayısıyla prosesin metal yüzeyi ile polimer eriyiğın ara yüzeyine göç eden dış kaydırıcı molekülleri, sıcak yüzeye yapışmayı engeller ve proses içerisinde sıcak metal yüzey ile eriyik arasında oluşan sürtünme etkilerini azaltır. Bu sayede ürünün işlenebilirliğı kolaylaşmakta ve nihai ürünün yüzey görünüşünün daha iyi olmasına yardımcı olmaktadır. Dış kaydırıcılara örnek olarak parafin, vaks, ester, etilen, stearamid ve disteril ftalat verilebilir

### **3.2.2.3. Darbe modifiye ediciler**

Bir kısım plastik maddeler şoklara ve darbelere karşı dirençli değildirler. Graft ve kauçuk polimerleri gibi elastomerlerin, plastiğeye ilave edilmesiyle, darbeye olan dayanıklılıkları artırılmaktadır. Plastiğeye eklenen yumuşak maddeler, sert ve kırılğan olan plastiğın maruz kalacağı darbeyi absorbe etmektedir (Kaya,2005).

Darbe modifiye edici maddeler PVC ile karıştırıldıklarında ayrı bir faz oluşturmaktadır. PVC sert bir polimer olmasına rağmen bazı PVC uygulamaları, basit rijit formülasyonlardan daha yüksek sertlik veya daha düşük sıcaklıklarda sertlik istemektedir. Bu tür uygulamalar için PVC formülasyonuna darbe modifiye ediciler ilave edilebilmektedir. Bu tür katkıların kokusuz ve tatsız olması, kolay akıcılık göstermesi, dengeli eriyik akışı ve renklendirilmede zorluk çıkarmaması beklenir. (Kuyulu, 2001)

#### **3.2.2.4. Proses yardımcıları**

Proses yardımcıları, sert PVC formülasyonlarının işlenebilme özelliklerini geliştirmeye yarayan ve uyumluluk gösteren amorf polimerlerdir. Bu maddeler PVC taneciklerinin kaynaşmasını kolaylaştırmakta ve polimer eriyiğinin viskozitesini değiştirmektedir. Bu yardımcılar kaynaşmanın ilk aşamalarında PVC partikülleri arasındaki ilişkiyi arttıırırlar. Bu sayede PVC molekülleri şekillerini daha kolay kaybederler.

#### **3.2.2.5. Boyar maddeler**

Plastik malzemelerin görünümündeki estetik ve dekoratif görünümler renklendirme ile sağlanır. Toz veya granül halindeki plastik ile boyar madde karıştırıcılar ile birbirlerine karıştırılmaktadır. Bu karışım sırasında moleküllerin birbirleri ile sürtünmeleri sonucu oluşan statik elektrik yükü nedeniyle boyar madde toz veya granüller polimerin yüzeylerine kolaylıkla yapışmaktadır. Ortama bu yapışmayı kolaylaştıran maddelerin eklenmesiyle renklendirme daha da kolay hale gelir. Saydam, şeffaf veya opak olabilirler. Titanyum dioksit en yaygın kullanılan beyaz pigment olup, boya, kaplama, plastik, kağıt, mürekkep, fiber, gıda ve kozmetik ürünlerinde beyazlık ve donukluk sağlaması amacıyla oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır. Kullanılacak ana hammadde ve diğer katkıları ile arzu edilen renk tonlarına bağlı olarak genelde %0.5 ile %2 aralığında uygulanırlar (Baydar, 2016).

PVC mamul üretiminde kullanılan bazı renklendiriciler Tablo 3.3'de verilmektedir.

**Tablo 3.3.** PVC mamul üretiminde kullanılan bazı renklendiriciler

<b>Renk</b>	<b>Kullanılan katkı malzemesi</b>
Beyaz	Titanyum dioksit
Gümüş	İnce alüminyum tozu
Sarı	Titan, krom, kadmiyum sarısı
Kırmızı	Demir iki oksit
Siyah	Karbon siyahı
Parıltılı görünüm	Mika veya kurşun karbonat

### **3.2.2.6. Kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>)**

Profilde pürüzsüz bir yüzey elde etmek, mekanik ve termal özelliklerini artırmanın yanında maliyeti düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Plastik endüstrisinde kullanılan en önemli dolguların başındadır. Polimerin yaşlanma belirtilerini geciktirir. Kimyasal saflık kazandırır. Renk yapısından dolayı renkli ürün üretimine son derece uygundur. Aşındırıcı özelliği olmamasından dolayı proses üzerinde aşındırıcı etki oluşturmayarak ekipmanın çalışma ömrünü kısaltmaz. İnce cidarlı malzemelerde esneme ve büzülme önler. İnce tane yapısındaki dolgu, darbe mukavemetini düşürmeden sertliği arttırabilir. Zehirsiz, kokusuz ve tatsızdır. Bu sebeple gıda endüstrisinde kullanımı yaygındır (Baydar, 2016).

Çoğunlukla klasik maden işleme yöntemleri ile işlenirler. Öğütüldükten sonra sınıflandırılırlar. Böylelikle elde edilen ürünler CaCO<sub>3</sub> olarak adlandırılırlar. Plastik sektöründeki CaCO<sub>3</sub> kullanımının %90'ından fazlası klasik öğütme ile elde edilmektedir (Yurdakul, 2011).

### **3.2.3. PVC kompozit üretim yöntemleri**

PVC mamul üretiminde en fazla kullanılan proses teknikleri ekstrüzyon yöntemi, enjeksiyon yöntemi, ısı ve vakum etkili termoforming yöntemi, kalenderleme, döndürerek kalıplama ve şişirerek kalıplama yöntemleridir (Saçak, 2012).

Farklı üretim yöntemleri kullanılarak PVC'nin birçok alanda uygulamaları gerçekleştirilmektedir.



PVC üretim yöntemleri ve bazı uygulama alanlarına yönelik yöntemler Tablo 3.4'te verilmektedir.

**Tablo 3.4.** PVC üretim yöntemleri ve kullanım alanları (Akkurt,1991)

<b>Yöntem</b>	<b>Kullanım alanları</b>
Ekstrüzyon	Basınçlı borular, sulama ve pis su boruları, hava hortumları, şişe, profil, tüpler, filmler, kablolar, kayışlar.
Enjeksiyon	Boru bağlantı parçaları, elektrik ve ekipmanları, yatak yuvaları Ayakkabı, sandalet ve ayakkabı topukları
Kalenderleme	Yer döşeme karoları, fil ve folyo, yüzme havuzu kaplamaları, dekoratif kaplamalar, sert tabakalar.

### **3.2.3.1. Ekstrüzyon ile PVC üretim yöntemi**

Plastik mamullerin hassas ölçülerde, sabit bir kesitte istenilen uzunlukta üretiminde kullanılmaktadır. Enjeksiyon prosesinde bitmiş sabit formda ürün elde edilirken ekstrüzyonda kesitleri sabit formda fakat uzunlukları istenilen boyda ürünler üretilebilir. Profil, çubuk, boru, yassı veya yuvarlak film, levha, çeşitli laminasyon ürünleri olmak üzere çok değişik formlarda ürünler üretilebilir.

Genel anlamda plastik hammaddesi ve katkı maddeleri karıştırılarak üzerine uygulanan sıcaklık ve yüksek basınç ile homojen ve akıcı hale getirilir. Daha sonra belirli bir şekil vermek üzere istenilen ölçülerde şekillendirilen bir kalıptan geçirilerek form verilir. Bu makine ekstruder adı ile de anılır. Plastik mamul üretiminin yaklaşık %30'u bu yöntemle gerçekleştirilir (Demirci, 2015).

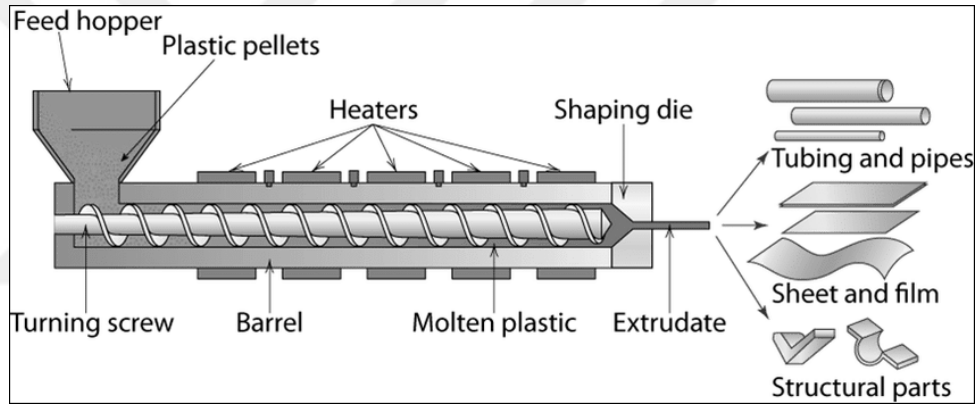
Ekstruderleri oluşturan ana kısımlar; motor, redüktör grubu, kovan kısmı, burgu ve ana gövdedir. Bu ana birimlerin haricinde mamulün özelliklerini etkileyen çok sayıda yardımcı ünite de ekstrüderlerde bulunmaktadır.

Genel kısımları ile üretim rezistanslar sayesinde kontrollü olarak ısıtılan kovanda eriyen polimer malzemenin, kovan içerisinde bulunan ve harici motor vasıtası ile döndürülen mil hareketi ile kalıba doğru yüksek basınçla sürülmesi ile gerçekleşir. Bu aşamanın sonucunda plastik mamul şekillendirme gerçekleştirilmiş olur.

Tez kapsamında numune üretiminde çift vidalı ekstrüder kullanıldığından dolayı özelliklerinden kısaca bahsedilecektir.

Çift vidalı ekstruderler yaklaşık 50 yıldan daha uzun bir süredir plastik sektöründe kullanılmaktadır. Plastik hammaddelerinin katkıları, stabilizatörler, boyalar ve diğer ilave malzemeler ile homojen bir şekilde karıştırılmasında kullanılır. Renk masterbatchlerinin baz polimer ile organik veya inorganik pigment üretiminde, mineral veya cam elyaf dolgulu bileşen üretiminde, geri dönüşüm malzemelerinin katkı ilavesi ile granül hale getirilmesinde ve özellikle son yıllarda bio plastik uygulamalarında kullanılmaktadır.

Genel bir ekstrüzyon hattının şematik gösterimi Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Genel bir ekstrüzyon hattının şematik gösterimi. (Anonim)

### 3.3. Kompozit Malzemeler

Genel bir ifade ile donatılı malzeme sistemidir. Birbiri içerisinde çözünmeyen, birbirlerinden oldukça farklı şekil ve malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla bileşenden oluşurlar. Kompozitler kendisini oluşturan malzemelerden farklı özellikler gösterebilmelidir. Esasen kompozit malzeme üretimindeki asıl amaç arzu edilen fiziksel, mekaniksel, elektriksel veya diğer özellikler bakımından farklı malzeme üretimini gerçekleştirmektir (Akbulut, 2002).

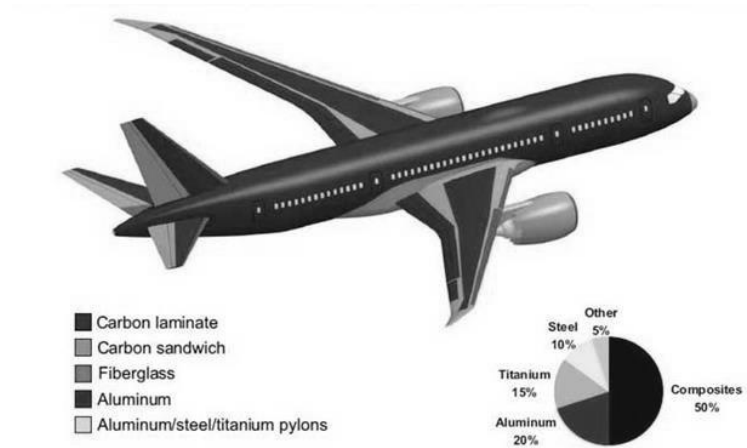
Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin makro seviyede birleşimleri amaçlanır. Yani herhangi özel bir cihaz kullanılmadan gözle yapılan kontrollerde yapıyı oluşturan bileşenlerin tespit edilebilmesi gerekir.

Fark edilebilmeyi oluşturan sebep heterojen yapıda olmasıdır. Dolayısı ile bu özellikleri kompozit malzemeleri alaşım malzemelerden ayırır. Birbirleri içerisinde çözünmeyen bileşenlere sahip olması alaşım olarak adlandırılmasını engeller.

En genel anlamda bir malzemenin kompozit olarak adlandırılabilmesi için birtakım özellikleri karşılaması beklenir. Bu özellikler malzemenin insan üretimi olması, en az iki veya daha fazla mekaniksel ve fiziksel özellikleri farklı olan, farklı ara yüze sahip malzemelerin bileşimleri olması istenir. Tek başına tek bileşen ile elde edilemeyen özellikleri karşılaması beklenir. Kompozitlerde kendisini oluşturan bileşenlerin en iyi özelliklerinin bir arada toplanması arzu edilir.

Kompozit malzeme üretimi için öncelikle ihtiyaç duyulan parçanın çalışma bölgesi ile ilgili minimum gereksinimlerin tespit edilmesi gerekmektedir. İmalat yöntemi, çevresel koşullar, maliyet, fiziksel ve mekaniksel özellikler gibi birçok faktör ve değişken özenle incelenmelidir. Tasarım aşamasında özellikle dikkat edilmesi gereken konu kompozitlerin makro bir yapı ile oluştuklarından dolayı anizotropik özellik gösterebilmesidir. Kompoziti oluşturan yapı farklı yönlerden gelebilecek etkilere farklı tepkiler verebilir. Bu sebeple tasarım analizleri konusunda özen gösterilmelidir (Onat, 2015).

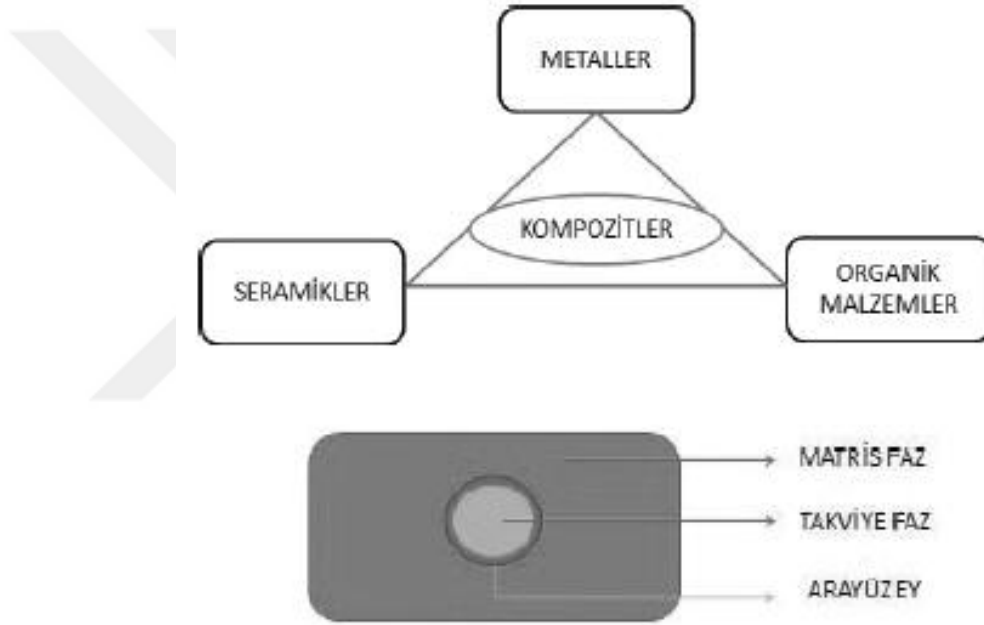
Boeing 787’de kullanılan kompozit malzemelerin bölgeleri ve oranları ile ilgili bilgiler Şekil 3.14’de verilmektedir.



**Şekil 3.14.** Boeing 787’de kullanılan kompozit malzemelerin bölge ve oranları (Researchgate, 2019)

Kompozit malzeme, genelde takviye edici unsuru barındıran çekirdek yapı ve bu yapı çevresinde hacimsel bir dolgu oluşturan matris malzemesinin bileşiminden oluşur. Takviye edici malzemeler kompozitlerin yük taşıma kapasitelerinin artırılması amacı ile kullanılır. Matris malzemesinin görevi ise yük altındaki malzeme grubunu dağılmadan bir arada tutmak ve yükü takviye elemanlarına aktarmaktır. Kompozit malzemelere betonarme yapılar, sunta, kerpiç, asfalt örnek verilebilir.

Şekil 3.15’de matris ve takviye malzemesinin gösterildiği tipik bir kompozit malzeme yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 3.15.** Kompozit malzemenin iç yapısının şematik gösterimi (Kaya,1995)

Özgül ağırlıklarının düşük olması sayesinde hafif yapı sektöründe kullanımları yaygındır. Yine korozyon dayanımı, ısı, ses ve elektrik özellikler bakımından fiber takviyeli kompozitler üstünlük sağlamaktadırlar. Kompozit alanındaki çalışmaların daha da ilerlemesi ile olumsuz özelliklerin tamamen ortadan kaldırılması ve ileride metalik malzemelere göre ciddi bir alternatif olacakları öngörülmektedir (Onat, 2015).

Kompozit malzemelerin eğilme ve çekme mukavemetleri bazı metalik malzemelere göre daha yüksek olabilmektedir. Anizotropik özelliklerinden dolayı farklı yönlerde farklı mukavemet değerleri görülebilir.

Kompozitler daha az malzeme ile daha ekonomik tasarımların yapılmasına imkan verir. Birçok farklı bileşen ile katmanları farklı ürünler elde edilebilir. Kompozit malzemeler ile yapılan büyük ve karmaşık parçalar, tek parça halinde üretilerek işçilik ve malzemedan tasarruf sağlayarak verimi artırır. Dayanıklılıklarının, yoğunluklarına bölünme değeri yüksektir. Yine elastiklik modüllerinin ağırlıklarına oranları da yüksektir (Keskingöz, 2010).

Uygun malzeme seçimi ile çok yüksek elektriksel özellikler sağlayabilirler. Termal iletim katsayıları düşük malzemeler ile oluşturulan ısıya dayanım özellikleri sayesinde yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme özelliği kazanabilirler. Sünek yapı ile titreşimleri sönümleyerek şok darbelerini yutabilirler. Metal matrisli kompozitler hariç atmosferik şartlardan, korozyon ve kimyasal etkilerden etkilenmezler. Bu sebeplerden otürü kimyasal madde tankları, aspiratör, borular ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılırlar.

Bunun yanında kompozitlerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan hammaddeler nispeten pahalı ürünlerdir. Örneğin uçakların gövde kaplamasında kullanılan karbon malzemenin m<sup>2</sup> fiyatı yaklaşık 50 Amerikan Doları seviyelerindedir. Katmanlı olarak hazırlanan kompozitlerde katmanlar arasındaki kesme mukavemeti oldukça düşüktür. Malzemelerin kaliteleri doğrudan üretim yöntem ve proseslerine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite çıktısı elde etmek genelde zordur. Bazı tür kompozitlerde kullanılacak hammaddenin belirli bir raf ömrü vardır. Diğer birçok malzemede olduğu gibi geri dönüşüm olarak kullanılmaları sınırlıdır (Demircan, 2009).

Genelde kompozit malzemeler kendilerinin oluşturan yapı malzemeleri ve bileşim şekillerine göre iki sınıfa ayrılır. Daha özel bir ifade ile matris yapıları ve takviye edici malzeme türlerine göre sınıflandırılabilirler. Matris ve takviye elemanı yapıyı oluşturan iki ana maddedir. Bunların dışında üçüncü bir bileşen olarak, katkı maddeleri ilave edilebilir (Yalçın, 2010).

Matris malzemesi, takviye edilen malzeme ve diğer karışım elemanlarını bir arada tutarak malzemenin arzu edilen özelliğe sahip olmasını sağlar. Matris türleri genelde metal, plastik ve seramik şeklindedir (Özgan, 2019).

### **3.3.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması**

Matris malzemesi kompozit malzeme yapısı içerisinde sürekli formda bulunur. Son ürünün şeklini formunu korur, takviye malzemelerini bir arada tutar. Son ürünün çalışma ortamı ve kullanım sıcaklığını belirler ayrıca yapıya etkiyen dış kuvvetleri içerisindeki takviye malzemesine iletir (Zeren, 2013).

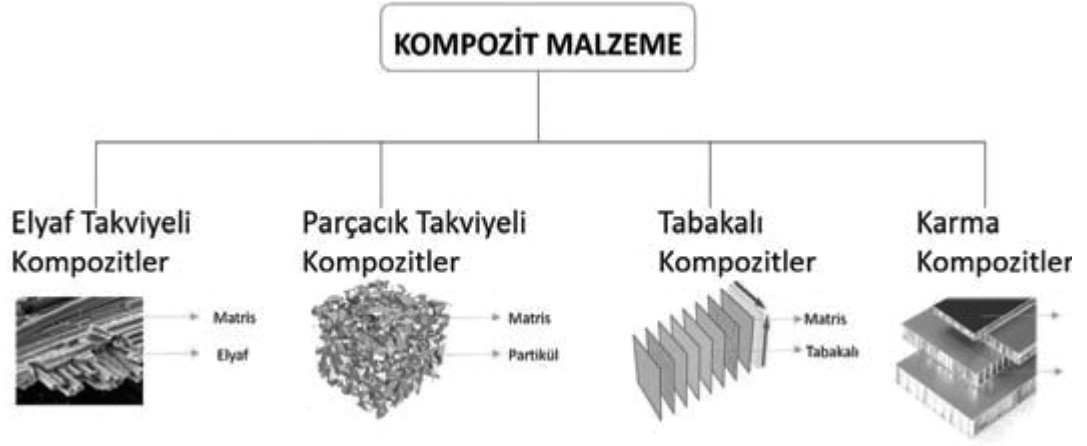
#### **3.3.1.1. Polimer matrisli kompozitler**

Polimerler yapı bakımından metal ve seramiklere nazaran oldukça karmaşık yapıdadırlar. Bunun yanında polimerler çok daha düşük mukavemet ve kullanım sıcaklığı değerlerine sahiptirler. UV ışınlarının etkisi ile veya değişik çözücü kimyasalların kullanılması ile polimerlerde bozulmalar görülebilmektedir. Kovalent bağ yapılarından dolayı iletkenlikleri oldukça düşüktür. Polimer veya plastik matrisli kompozitler üretim maliyetlerinin düşük olması ve şekillendirilebilme kolaylığı nedeni ile pek çok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde üretilen kompozitlerin yaklaşık %90'ı polimer matrisli kompozitlerden oluşmaktadır (Özüyağlı, 2016).

Polimer matrisli kompozitler otomotiv sektöründen, ambalaj sektörüne varıncaya kadar çok çeşitli alanlarda kullanım alanı bulmuşlardır. Malzemenin pratik ve hafif oluşu geliştiricileri özellikle mekanik özelliklerin iyileştirilmesi üzerindeki çalışmalara yönlendirmektedir. Polimer matrisli kompozitlerin diğer endüstriyel alanlardaki kullanımı da günden güne artmaktadır (Kıralp ve ark, 2006).

### **3.3.2. Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması**

Takviye malzemeleri arzu edilen mekanik ve fiziksel özellikleri oluşturmak üzere kullanılırlar. Bu malzemelerin yapıları sürekli veya kesikli formda olabilirler. Dağılımları, kullanılan miktarları, yönelimleri malzemenin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Parçacık, tabaka, karma, elyaf takviyeli olarak sınıflandırılabilirler. Tez çalışmamız partikül takviyeli kompozit içerdiğinden dolayı sadece partikül yapıları kompozitlerden bahsedilecektir. Şekil 3.16'da takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması gösterilmektedir.

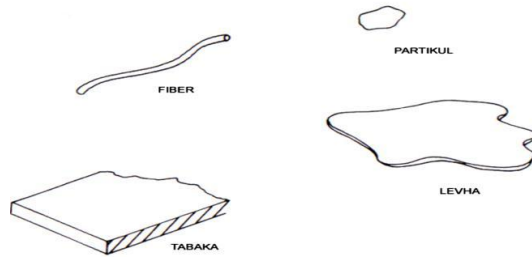


Şekil 3.16. Kompozitlerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması

### 3.3.2.1. Partikül yapıli kompozit malzemeler.

Kompozit malzeme karışımına ilave edilen takviye edici malzemenin yapısı parçacıklar halinde ise bu isim ile adlandırılırlar. Parçacık dağılımının boyutundan dolayı bütün yönlerde aynı davranışı gösterirler. Yapının mukavemet değerleri içerisindeki parçacıkların sertlikleri ile yakından ilgilidir. Yapı makro şekildedir yani bileşenler birbirleri içerisinde çözünmezler.

Şekil 3.17’de bileşen şekillerine göre kompozit takviye elemanları gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Kompozitler deki farklı bileşenlerin şekilleri

Matris malzeme içerisine bir başka malzemenin parçacıklar şeklinde ilavesi sayesinde oluşurlar. Tek boyutlu veya iki boyutlu makro partikül veya boyutsuz olarak kabul edilen mikro yapıdaki partiküllerin matris ile beraber oluşturdukları malzemelerdir. İlave gömülen katkı malzemesinin boyutu 1 $\mu$ m’den ufak ve elyaf hacim oranı maksimum %25 olmalıdır (Onat, 2015).

### 3.4. Dolgu Malzemesi Olarak Genleştirilmiş Perlit

Perlit en genel ifade ile volkanik bir cam türüdür. Lavların soğuması esnasında mikro yapılarındaki kırılmalar ile oluşur. Bazı türleri kırıldıklarında inci gibi parıldayan küçük kürecikler olduğundan inci anlamını ifade eden perl kelimesinden türetilerek dilimize girmiştir. Perlit diğ er volkanik cam ve taş türlerinden ayıran en önemli fark yapısında %2 ila %6 aralığında bulunan sudur (Aslan, 2015).

Perlit 750°C ile 1200°C aralığındaki bir sıcaklıkta ani olarak ısıtıldığı zaman yapısında bulunan suyun ani şekilde buharlaşması ile hacminin yaklaşık 15 ila 20 katı kadar genişleyerek gözenekli düşük yoğunluklu köpüksü bir yapı halini alır (Zincir, 2015).

#### 3.4.1. Perlitin fiziksel özellikleri

Perlitin kayaç haldeki genel görünümü gözenekli, kolay kırılabilen, ince taneli el ile dağılabilen ve kumtaşı yapısındaki haldedir. Ham perlit ile genleştirilmiş perlit farklı fiziksel özellikler sunmaktadırlar (Kalaycı, 2016).

Perlit malzemesinin fiziksel özellikleri Tablo 3.5’de gösterilmektedir.

**Tablo 3.5.** Perlitin fiziksel özellikleri (Kalaycı, 2016)

Özellik	Değer
Renk	Beyaz, gri ve tonları, genleştiğinde beyaz.
Sertlik (Mohs)	5-6
Özgül ağırlık	2200-2400 kg/m <sup>3</sup>
Gevşek yoğunluk	32-100 kg/m <sup>3</sup>
Yumuşama noktası	871-1093 °C
Isı iletkenlik	0,04 W/Mk
pH	6,5-8



### **3.4.1.1. Gözeneklilik**

Perlit tanecikleri içerisinde bulunan boşluk miktarının taneciğin toplam hacmine oranı olarak ifade edilebilir. Bu özellik perlite emicilik ve yüzeyde soğurma özelliği verir. (Zincir, 2015)

Perlitte bulunan gözenekli yapı bir çok çalışma alanında kullanılmasına imkan tanımaktadır. Suları kirliliklerden arındırma işlemlerinde kullanılabilir. Fakat ısı yalıtımı istenen durumlarda gözenekli yapı sayesinde oluşan su emicilik istenmeyen bir durumdur. Gözenek içerisinde dolan su ısı iletkenliğini arttırmaktadır. Silikon veya alternatif farklı maddeler ile gözenekler pasifleştirilerek hidrofobik özellik kazandırılabilir. Bu gözenekli yapı süzme ve filtreleme işlemlerinin yapıldığı proseslerde kullanılabilir (Ceviz, 2016).

### **3.4.1.2. Isı ve ses yalıtıcılık**

Yoğunluğunun düşük olması, gözenekli yapısı sayesinde ısı ve ses yalıtımında önemli bir malzemedir. Perlit dolgusunun 24°C sıcaklıktaki ısı iletkenlik değerleri yoğunluğa bağlı olarak değişmektedir. Örneğin 32 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip perlitin ısı iletim katsayısı 0,040 W/mK iken 180 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip perlitin ise 0,055 W/mK olarak değişkenlik gösterebilir. Aynı sıcaklığa sahip ortamda cam yününün ısı iletim katsayısı 0,037 W/mK değerindedir. Bu da perlitin üstün yalıtım özelliğini ifade etmektedir. Bu özellikler bile tek başına perlit kullanımı için yeterli faktörlerdir (Zincir, 2015).

Kalınlığı 5 cm olan bir yalıtım malzemesi düşündüğümüzde gevşek dolgulu perlit kullanıldığı takdirde ses yalıtımı seviyesi 13 dB, cam yünü kullanıldığı durumda 12 dB, strafor kullanıldığında ise 13 dB seviyesinde olacaktır. Günümüzde oldukça yoğun kullanılan yalıtım malzemelerine neredeyse eşit değerlerde avantaj sağlamaktadır. Bunun haricinde ucuz ve dayanıklı olması da ilave bir üstünlüktür. Yine büyük hacimli mekanlarda perlit katkılı ürünlerin kullanılması akustik ve yankılanma problemi çözümünde katkı sağlamaktadır (Akçam, 2011).

### 3.4.1.3. Hafiflik

Hafiflik gözenekli yapıya sahip olmanın ortaya çıkardığı bir özelliktir. Genleşme oranı ve tane boyutu dağılımına bağlı olarak genleşmiş perlitin birim hacim ağırlıkları çok farklı değer aralıklarında seyretmektedir. Prefabrik yapı malzemesi üretiminde çeşitli dolgu malzemelerinin kullanımında hafiflik arzu edilen bir özelliktir (Akçam, 2011).

### 3.4.2. Perlitin kimyasal özellikleri

Genleşmiş olması, genleşmemiş olması, çıkarıldığı yer gibi etkilerden dolayı farklı türlerdeki perlitler bileşimlerini oluşturan elementlerin etkisi ile farklı özellikler gösterebilirler. Genelde sülfat, nitrat, ağır metal, organik madde ve radyoaktif element içermediklerinden dolayı oldukça saflardır (Kalaycı, 2016). Tipik bir perlitin kimyasal analizi Tablo 3.6'da verilmektedir.

**Tablo 3.6.** Perlit kimyasal bileşimi (Zincir, 2015)

<b>Tür</b>	<b>Oran ( %)</b>
SiO <sub>2</sub>	71,0-75,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,5-18,0
Na <sub>2</sub> O	2,9-4,0
K <sub>2</sub> O	0,5-5,0
CaO	0,5-2,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1-1,5
MgO	0,02-0,5
TiO <sub>2</sub>	0,03-0,2
H <sub>2</sub> O	2,0-5,0
MnO <sub>2</sub>	0-0,1
SO <sub>3</sub>	0-0,2
FeO	0-0,1
Cr	0-0,1
Toplam Klorürler	Eser-0,2
Toplam Sülfatlar	Hiç yok
SiO <sub>2</sub>	71,0-75,0

Perlit genel olarak hidrolik asit ve konsantre sıcak alkali asitte çözünür. Mineral konsantre asitlerde erime %2 dolayındadır. Seyreltilmiş mineral ve zayıf konsantre asitlerde ise %0,1 dolaylarında erir (Akçam, 2011).

Perlit yalıtım ve hafiflik bakımından kendisi ile rekabet edebilecek diğer ürünlerden yanmazlık özelliği sayesinde daha da üstündür. Bunun yanında yüksek sıcaklıklarda uzun süre bozunmadan kalabilmektedir. Doğru şekilde planlanıp uygulanan perlit tabakaları büyük yangınlarda taşıyıcı çelik aksamı, zarar görmeden 4 saate kadar koruyabilmektedir (Zincir, 2015).

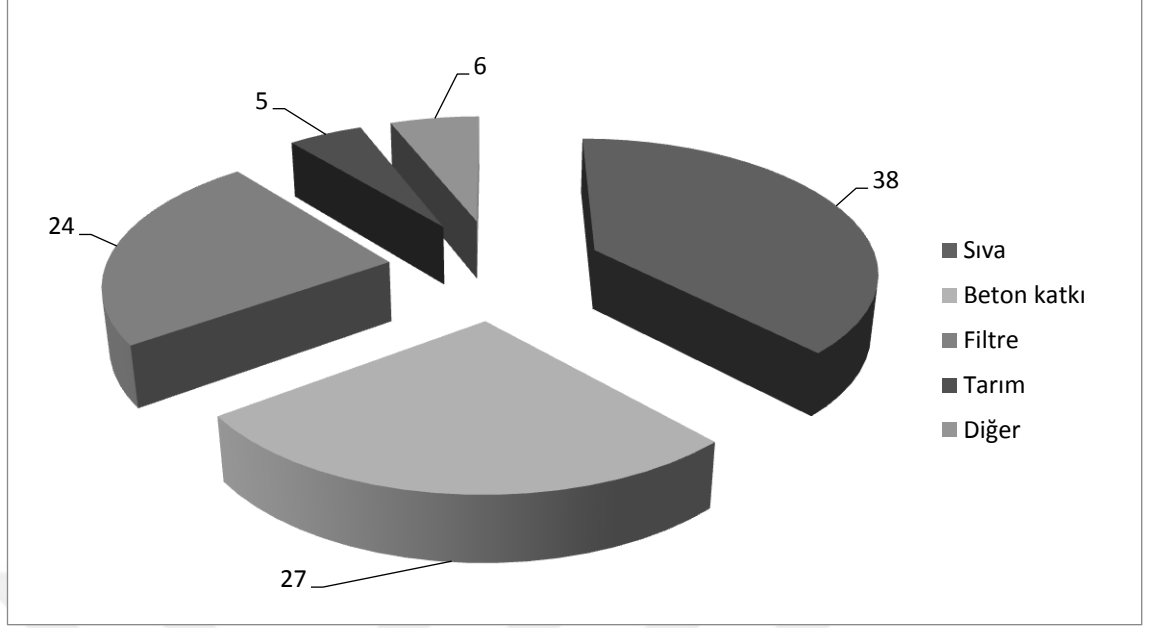
### **3.4.3. Perlit üretim teknolojisi**

Perlit geliştirilmesinde en etkili faktörlerin başında yapısında bulunan su miktarı ve kimyasal yapısındaki  $\text{Na}_2\text{O}$  ile  $\text{K}_2\text{O}$  oranları gelmektedir. Genleştirme için 0,1 mm'den daha küçük olmak üzere öğütülmüş olması gereklidir. Arzu edilen tane boyutuna getirilen ham perlit yapısındaki gevşek su buharının uzaklaştırılması amacı ile önce  $350^\circ\text{C}$  de 25-30 dakika kadar ön ısıtma işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra yüksek sıcaklıktaki fırında ani olarak birkaç saniye içerisinde ısıtılarak yapısındaki suyun aniden su buharına dönüşmesi sağlanır. Bu esnada malzeme genişerek köpüksü yapıya bürünür. Bu gözenekli yapıda bulunan boşluklar sayesinde perlit ilk hacminin yaklaşık 4 ila 30 katına kadar çıkarılmış olur (Kalaycı, 2016).

### **3.4.4. Perlit kullanım alanları**

Ham perlitin kullanım alanı genişlemiş perlitin kullanım alanına göre daha dardır. Genleştirilmiş perlit hafif, ısıya dayanıklı ve doğal ses izolasyonu sağlayan bir malzemedir. Üretimi yapılan perlitin yarısından fazlası inşaat sektöründe kullanılmaktadır.

Şekil 3.18'de üretilen perlitin kullanım alanları gösterilmektedir.



**Şekil 3.18.** Perlit kullanım alanları (Kalaycı, 2016)

Tekstil alanında denim kumaşların görsel efekt yapımında ve temizliğinde kullanılır. Gıda sektöründe yağların, meyve sularının ve gıda alanında kullanılan diğer birçok sıvının süzme işleminde kullanılır. Sıvılaştırılmış gazların taşınmasında ve muhafazasında kullanılan son derece düşük sıcaklık tanklarının izolasyonunda kullanılır. Genleştirilmiş perlit tarımda köklendirme ortamı olarak da kullanılabilir (Kalaycı, 2016).

## 4. MATERYAL ve YÖNTEM

### 4.1. Kullanılan Malzemeler

#### 4.1.1. Polivinil klorür (PVC)

Kompozit malzeme üretiminde matris olarak PVC kullanılmıştır. Ticari kodu Petvinil S65/R68 olan hammadde PETKİM firmasından temin edilmiştir. Ürünün fiziksel özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Petvinil S65/R68 PVC hammaddesi teknik özellikleri

Deney ismi	Birimi	Değeri	Test metodu
Yığın yoğunluğu	g/cm <sup>3</sup>	0,52-0,60	TS 448 EN ISO 60
Tane boyut dağılımı			
>0,250 mm	Kütlece %	Maksimum 6	ISO13320
>0,063 mm	Kütlece %	Maksimum 92	ISO13320
Uçucu madde	Kütlece %	Maksimum 0,3	TS EN ISO 1269
K sayısı	-	66-70	TS EN ISO1628-2
Viskozite değeri	cm <sup>3</sup> /g	109-122	TS EN ISO 1628-2
Kirlilik	Adet/dm <sup>2</sup>	Maksimum 60	TS EN ISO 1265

Çalışma kapsamında kullanılan PVC hammaddesi Petvinil S65/R68 in görseli Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.1.** Petvinil S65 PVC hammaddesi

#### 4.1.2. Mikronize filtre perliti (MFP)

Takviye malzemesi olarak kullanılan MFP, Persan firmasından temin edilmiştir. Erzincan Mollaköy bölgesi açık maden işletmesinden alınan ham perlitin genleştirilmesi sonucunda elde edilmiştir.

Ham perlitin Persan firması tarafından TS EN 196-2'ye göre yapılmış olan kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** MFP kimyasal yapısı (PERSAN A.Ş)

MFP Kimyasal yapısı	(%)
CaO	1,72
SiO <sub>2</sub>	70,96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,16
MgO	0,28
LOI	3,27
K <sub>2</sub> O	4,65
Na <sub>2</sub> O	3,2

Çalışma kapsamında kullanılan MFP ye ait görsel Şekil 4.2'de verilmektedir.



**Şekil 4.2.** MFP'ye ait görünüm

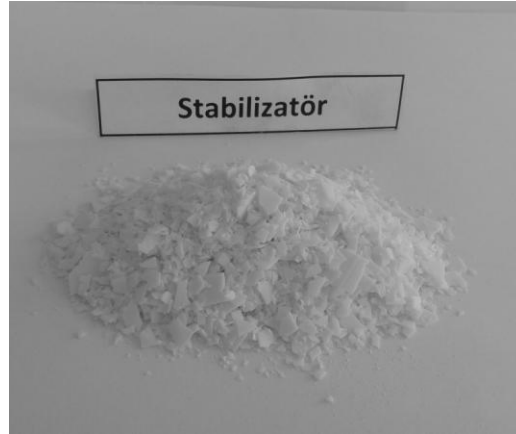
#### 4.1.3. Diğer katkı maddeleri

Darbe arttırıcı olarak üretimi yapılacak olan kompozit malzeme karışımında DOW firmasına ait KM-1 ticari kodlu darbe arttırıcı kullanılmıştır. Kullanılan KM-1'e ait özellikleri içeren Tablo 4.3'de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Darbe arttırıcı katkı maddesi özellikleri

<b>Deney ismi</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
Yığın yoğunluğu	g/cm <sup>3</sup>	0,414
Tane boyutu dağılımı		
>0,250 mm	Kütlece %	60
>0,060 mm	Kütlece %	7
>0,045 mm	Kütlece %	25

Isı stabilizatörü olarak üretimi yapılacak kompozit malzeme karışımında Ca / Zn esaslı ısı stabilizatörü kullanılmıştır. Şekil 4.3'de kullanılan stabilizatöre ait görsel sunulmaktadır.



**Şekil 4.3.** Kompozit üretiminde kullanılan stabilizatör

Boyar madde olarak beyaz toz halinde TiO<sub>2</sub> malzemesi kullanılmıştır. Kullanım amacı ürüne beyaz renk vermek ve ultraviyole ışık etkisi ile renk değişiminin engellenmesini sağlamaktır. Tablo 4.4'de TiO<sub>2</sub> nin özellikleri verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan TiO<sub>2</sub> ye ait görsel Şekil 4.4'de sunulmaktadır.

**Tablo 4.4.** TiO<sub>2</sub>' ye ait özellikler

<b>Deney ismi</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
Yoğunluk (ISO 787)	g/cm <sup>3</sup>	4,0
TiO <sub>2</sub> oranı (ISO 591)	%	≥%92
Standart (ISO 591)	R	R2



**Şekil 4.4.** Kompozit üretiminde kullanılan TiO<sub>2</sub>

Kompozit malzeme üretiminde dolgu maddesi olarak HisarCal St-99 numaralı CaCO<sub>3</sub> kullanılmıştır. Kullanılan CaCO<sub>3</sub> e ait görsel Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



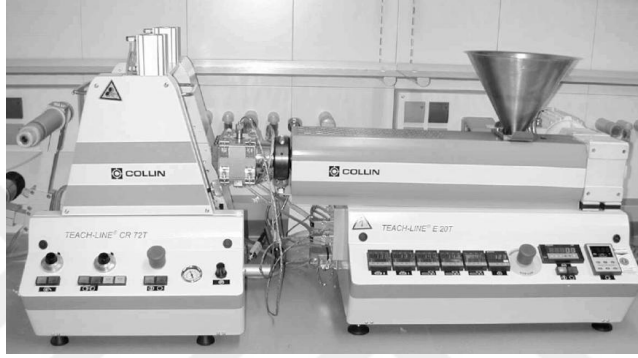
**Şekil 4.5.** Kompozit üretiminde kullanılan CaCO<sub>3</sub>



## 4.2. Üretim ve Analizlerde Kullanılan Cihazlar

### 4.2.1. Ekstrüzyon makinesi

Numune şerit üretimi için, laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüder kullanılmıştır. Tüm malzemeler ekstrüdere besleme yapılmadan önce homojen bir şekilde karışım elde edebilmek amacı ile laboratuvar tipi sıcak soğuk mikserde karıştırılmıştır. Laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüder Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüder

### 4.2.2. Etüv fırını

Persan firmasından temin edilen MFP kompozit malzeme üretiminde kullanılmadan önce kurutulmuştur. Perlitin kurutulması ve kalıcı termal uzamanın tayininde sirkülasyon fanı bulunan Nüve FN 500 tipi etüv fırını kullanılmıştır. Etüv fırını Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Hazırlık ve analiz aşamasında kullanılan laboratuvar tipi kurutma fırını

#### 4.2.3. Nem tayini cihazı

Persan firmasından temin edilen MFP nin kompozit içerisinde kullanılmadan önce ve kurutma yapıldıktan sonra nem tespiti işleminde Presica XM 60 nem tayin cihazı kullanılmıştır. Nem tayini cihazı Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Analiz aşamasında kullanılan Presica XM 60 nem tayin cihazı

#### 4.2.4. Tane boyutu dağılımı analizi

MFP’nin kompozit içerisinde kullanılmadan önce tane boyutu dağılımının tespitinde Malvern Mastersizer 2000 cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait görsel Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Tane boyutu dağılımı analizinde kullanılan Malvern Mastersizer 2000 cihazı

#### 4.2.5. Yoğunluk ölçüm kiti

Malzeme ve üretilen numunelerin yoğunluğunun TS EN ISO 1183-1 metot A standardına uygun olarak ölçümleri Presica XB 220A cihazında yapılmıştır. Şekil 4.10'da cihaza ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.10. Yoğunluk tayininde kullanılan Presica XB 220 A yoğunluk kiti

#### 4.2.6. Çekme testi

Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile ISO 527-1 standartlarına uygun çekme testleri uygulanmıştır. Oda sıcaklığında yapılan testlerde Zwick marka Z010 model test cihazı kullanılmıştır. Cihaz 10 kN luk yükleme kapasitesine sahiptir. Extansometre çeneler üzerindedir. Testler 5 mm/dk sabit yükleme hızlarında yapılmıştır. Ağırlıkça %0, %2, %5, %10 perlit içeriğine sahip şeritler test standartlarına uygun olarak kalıp yardımı ile kesilmiştir. Kullanılan kesim kalıbına ait görsel Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Çekme testi için numune kesim kalıbı

Her bir numune için üç adet test parçası hazırlanarak cihaz çalışma eksenine paralel olarak yerleştirilerek çeneler vasıtası ile sabitlenmiştir. Bu işlem sayesinde deney parçasının dayanabildiği yük ve uzama değerleri ölçülmüştür. Çekme testi cihazına ait görsel Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Zwick Z010 çekme test cihazı

#### 4.2.7. Kül miktarı tayini

Üretilen malzemelerin içerisine ilave edilen inorganik yapının yani perlitin kütlece seviyesinin tespiti amacı ile kül testi uygulanmıştır. Testler Şekil 4.13’de görülen Proterm PLF 110 model kül fırınında gerçekleştirilmiştir. Kül miktarı tayini testleri ISO 3451-1 standartlarına göre yapılmıştır



Şekil 4.13. Protherm PLF 110 kül fırını

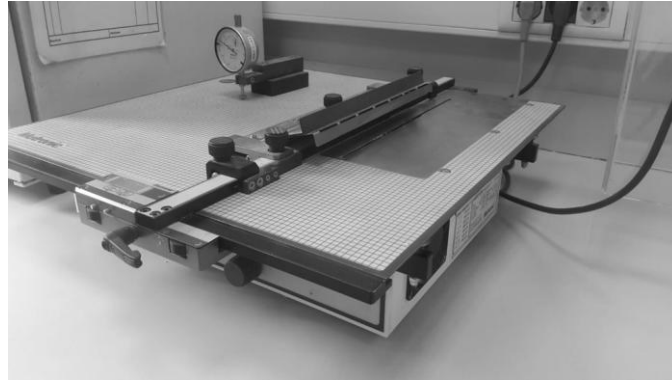
#### 4.2.8. Charpy darbe mukavemeti tayini

Charpy darbe mukavemeti deneyi TS EN ISO 179-2 standartlarına göre yapılmıştır ve deneyde Zwick 135 model test cihazı kullanılmıştır. Test cihazına ait görsel Şekil 4.14'de verilmektedir.



Şekil 4.14. Zwick 135 darbe test cihazı

Deney numunelerinin ölçülere uygun hazırlanması ve her iki yüzeylerine V şeklinde çentik açılması ise Mutronic marka kesim cihazı ile yapılmıştır. Kesim cihazı Şekil 4.15'de gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Mutronic numune kesim ve çentik açma tezgahı

#### 4.2.9. Termal iletkenlik tayini cihazı

Numunelerin termal iletkenlik katsayılarının belirlenmesinde C-THERM termal iletkenlik tespit cihazı kullanılmıştır. Cihaz hassas sensörü sayesinde üzerine koyulan malzemenin termal iletkenlik katsayısını W/mK cinsinden belirlemektedir. Ölçüm yapılacak malzemenin düz ve pürüzsüz bir yüzeyi cihazın sensörü ile temas ettirilir ve cihaz sensör ile numune arasındaki sıcaklık etkileşiminden faydalanarak malzemenin termal iletkenlik sabitini tespit eder. Şekil 4.16’da termal iletkenlik tespitinde kullanılan C-THERM cihazı görülmektedir. Numuneler kompozit kategorisinde olduğundan sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi için 5 mm kalınlığında numune hazırlanmıştır.



Şekil 4.16. Termal iletkenlik tespitinde kullanılan C-THERM cihazı

#### 4.2.10. Termal kamera

Numuneler oda sıcaklığında bekletildikten sonra 50°C sıcaklıkta bulunan etüv fırınında iki dakika bekletilerek termal kamera ile yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklıklar birbirleri ile mukayese edilerek perlit katkısının etkileri yorumlanmıştır. Şekil 4.17’de kullanılan Fluke TİS 40 termal kamera görülmektedir



Şekil 4.17. Fluke TİS 40 termal kamera

#### 4.2.11. Sertlik tayin cihazı

Hazırlanan numunelere uygulanan sertlik testi ISO 868 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Rijit termoplastik malzemelere uygulanan Shore D testi uygulanmıştır. Cihazın batma ucu numune üzerine temas ettirilmesi ile yapılmaktadır. Cihaz üzerindeki kol vasıtası ile her bir numuneye üçer kez 15 s boyunca uygulanmış ve alınan sonuçların ortalaması bulunmuştur. Sertlik ölçüm cihazına ait görsel Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18. Shore D sertlik ölçüm cihazı

#### 4.2.12. Kumpas

Numune hazırlığı ve termal uzamanın tayini testi ölçümlerinde Mitutoyo CD-15CPX model kumpas kullanılmıştır. Şekil 4.19'da kumpas görülmektedir.



Şekil 4.19. Mitutoyo CD-15CPX model kumpas

### 4.3. Numunelerin Üretimi

Testlerde kullanılacak numunelerin üretimi amacı ile Persan firmasından temin edilen MFP kullanılmadan önce kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Malzemeler öncelikli olarak etüv fırınında 60°C de 6 saat kurutulmuştur. Daha sonra ise 85°C rejime ulaşılmış fırında 6 saat olmak üzere toplam 12 saat süresince bünyesinde bulunan su buharının uzaklaştırılması amacı ile kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra MFP oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Kullanım anına kadar bekletilecek olan MFP nin nem miktarında değişim olmaması için 100'er gramlık paketler halinde tartılmıştır. Ardından Şekil 4.20'de görüldüğü gibi kilitli poşetlerde muhafaza edilmiştir.



Şekil 4.20. Etüv de kurutulmuş ve tartılmış MFP hammaddesi

MFP ilave edilecek standart karışım PVC, CaCO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, darbe arttırıcı ve ısı stabilizatörü içermektedir. Standart karışım oranları Tablo 4.5'de gösterilmektedir.

**Tablo 4.5.** Standart PVC karışım bileşen oranları

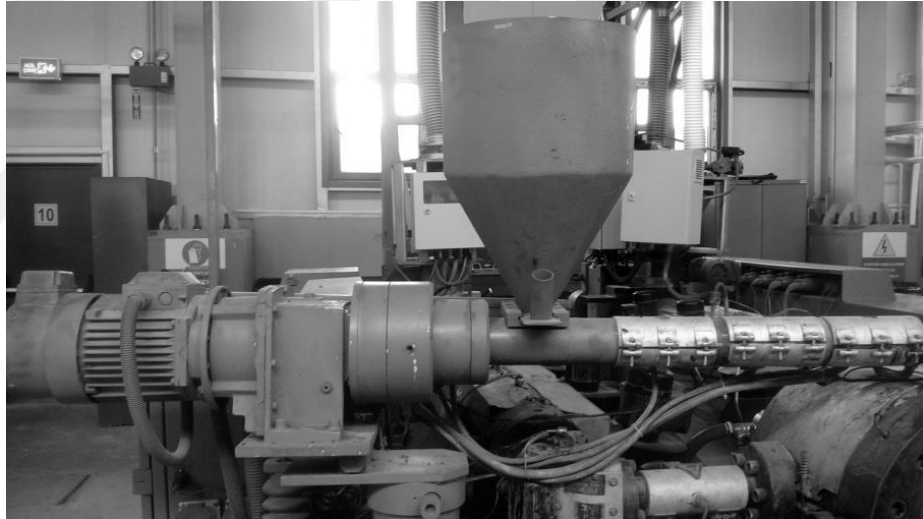
<b>Hammadde türleri</b>	<b>Oranları (%)</b>
PVC	79,5
CaCO <sub>3</sub>	9,5
Darbe arttırıcı	4,7
Stabilizatör	2,5
TiO <sub>2</sub>	3,8
<b>Toplam</b>	<b>100</b>



Ağırlıkça tabloda belirtilen oranlarda karışım yapılabilmesi amacı ile hammadde ve katkı maddeleri hassas terzide tartılarak karışım yapılacak mikserde ilave edilmiştir. Karışımı oluşturan malzemelerin birbirleri içerisinde homojen şekilde karışmaları doğrudan elde edilecek ürün kalitesine etki edeceğinden bu aşamadaki mikserleme işleminin yapılması son derece önemlidir.

Mikserde karışımı yapılan standart hammadde formülasyonuna ek olarak yine ağırlıkça %2, %5 ve %10 oranlarında MFP karışımı doğrudan ilave edilmiştir. Böylece deneme üretimi için %2, %5 ve %10 oranındaki hammadde karışımları hazırlanmıştır.

Elde edilen karışımlar ilk olarak deneme amacı ile tek vidalı ekstrüder kullanılarak numune üretilmeye çalışılmıştır. Bu aşamada kullanılan tek vidalı ekstrüdere ait görsel Şekil 4.21’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.21.** Deneme üretiminde kullanılan tek vidalı ekstrüder

Ekstrüderde deneme üretiminden önce altı bölgeden oluşan kovan sıcaklıkları 170°C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta 55 d/dak da deneme üretimi yapılmıştır. Üretim sonucunda ortaya çıkan ürün tam olarak karışmamış, yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip ve tam olarak işlenmemiş şekildedir.

Deneme çalışmasına devam edilmesine müteakip ekstrüder motoru kovan bölgesindeki hammaddenin donması sonucunda kilitlenerek üretime imkân tanımamıştır. Deneme üretimi sonucunda ortaya çıkan bozuk yüzeyli ürüne ait resimler Şekil 4.22’de verilmektedir.

Tek vidalı ekstrüderde deneme üretimi yapılmasının sonucunda PVC şerit üretimi için tek vidalı ekstrüderin uygun olmadığı anlaşılmıştır. Tez çalışmasının devam edebilmesi adına numune üretimlerinin çift vidalı ekstrüderde gerçekleştirilmesi kararlaştırılmıştır.



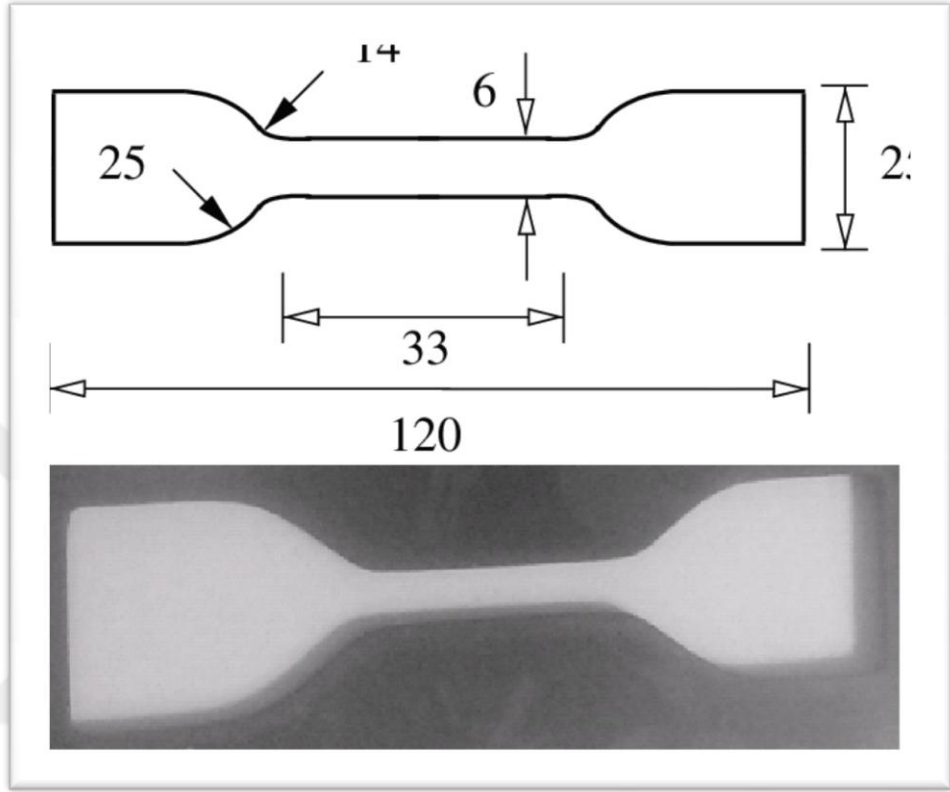
**Şekil 4.22.** Tek vidalı ekstrüderden alınan bozuk yüzeyli numuneler

Gerekli şerit numunelerinin üretilebilmesi için çift vidalı ekstrüderde üretim denemeleri yapılmıştır. Laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüderde bölge sıcaklıkları 170°C olarak girilmiştir. Numune alınacak kafa bölgesi kalıbı için 2 mm x 50 mm ölçülerinde kalıp boşluğu bulunan malzeme tel erezyon yöntemi ile imal edilmiştir. Daha sonra deneme numune üretimine geçilmiştir. Çift vidalı ekstrüderden alınan numunelere ait görseller Şekil 4.23’de verilmektedir.



**Şekil 4.23.** Çift vidalı ekstrüderde üretilen numuneler

Elde edilen numuneler uygulanacak testlere hazır hale getirilmek üzere boyutlandırılmıştır. Çekme testinde kullanılmak üzere çekme test kalıbı kullanılarak pres ile kesilmiş ve Şekil 4.24'deki gibi çekme testlerine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.24. Çekme testi için hazırlanan numuneler ve ölçüleri.

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 5.1. Çekme Testi Deneyi

Katkısız ve farklı oranlarda MFP içeren numunelere uygulanan çekme deneyi sonucunda çekme mukavemeti, kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 5.1’de verilmektedir.

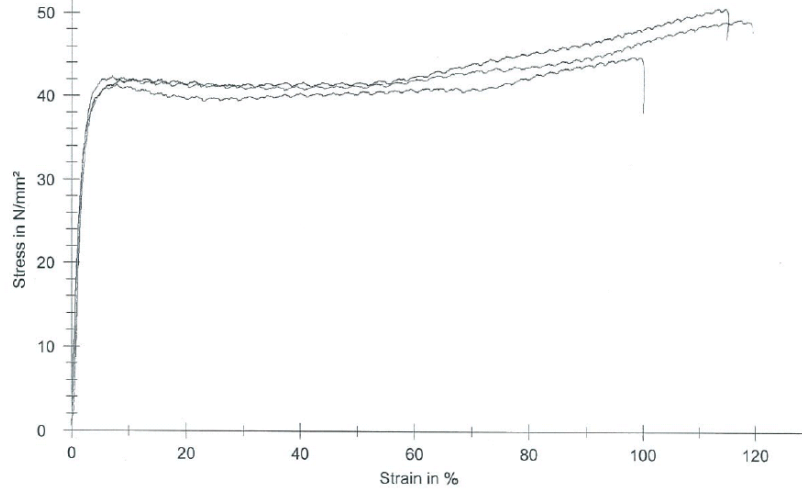
**Tablo 5.1.** Çekme deneyi sonucunda elde edilen değerler

Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PVC	48,26 ± 3,02	44,19± 5,34	111,61± 10,18
%2 MFP	37,88 ± 0,71	35,41 ± 1,12	52,16 ± 3,40
%5 MFP	37,18 ± 0,24	32,63 ± 0,80	36,71 ± 22,41
%10 MFP	35,56 ± 0,21	33,30 ± 0,49	36,43 ± 8,08

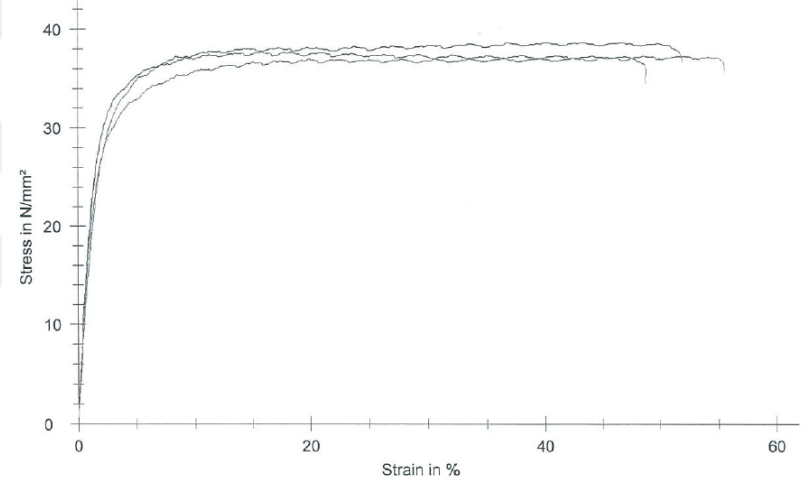
MFP katkısı olmayan PVC kompozit numunenin kopma mukavemeti 46,91 MPa olarak bulunmuştur. Mengenoğlu ve arkadaşları saf PVC kopma mukavemetini 32,2 MPa olarak bulmuşlardır. Chen ve arkadaşları 40 MPa, Zeng ve arkadaşları ise 41,3 MPa olarak bulmuşlardır (Özüyağlı, 2016).

En düşük çekme mukavemeti ağırlıkça %10 MFP dolgulu numunede görülmüştür. En düşük kopma mukavemeti ise ağırlıkça %5 MFP dolgulu numunede 32,63MPa olarak ölçülmüştür.

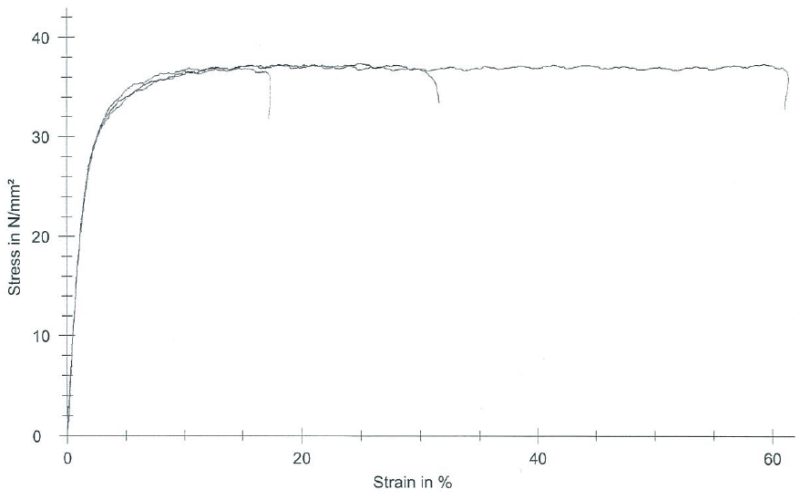
Her bir numune için üç çekme testi uygulanmış ve değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır. Çekme testlerinde uygulamalar malzemelerin üretim eksenine paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Numunelere uygulanan çekme testlerine ait grafikler Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de verilmiştir.



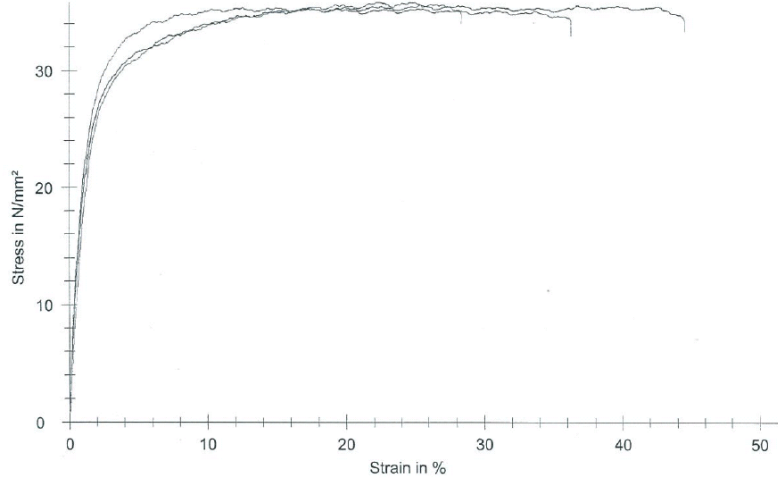
**Şekil 5.1.** MFP katkısız PVC numunesine ait çekme testi grafiği.



**Şekil 5.2.** Ağırlıkça %2 MFP katkılı numuneye ait çekme testi grafiği.



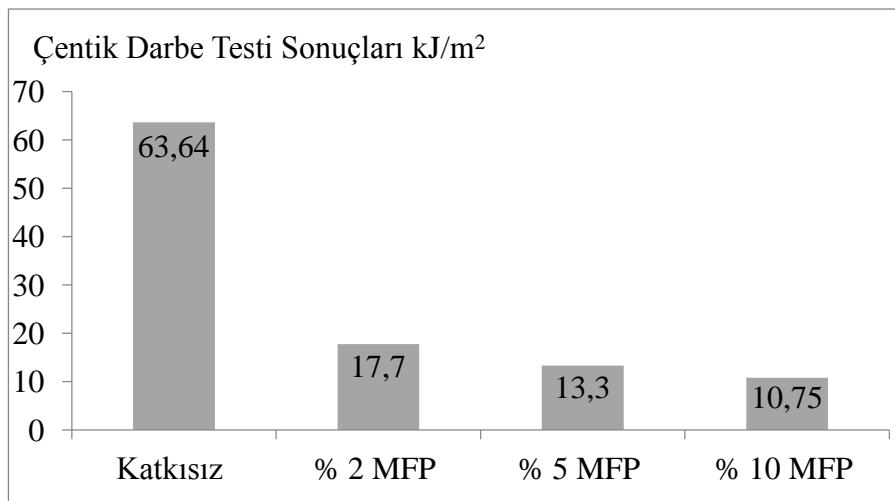
**Şekil 5.3.** Ağırlıkça %5 MFP katkılı numuneye ait çekme testi grafiği.



**Şekil 5.4.** Ağırlıkça %10 MFP katkılı numuneye ait çekme testi grafiği.

## 5.2. Çentikli Darbe Testi Deneyi

Deney numunelerinin üst boyu  $50 \pm 1$  mm, eni  $6 \pm 0.2$  mm olacak şekilde 10 adet numune hazırlanmıştır. Numunelere çentik açma aparatında, TS EN ISO 179-2 standardına göre çentik taban yarıçapı  $0.10 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$  ve çentikler arası  $3 \pm 0.1$  mm olacak şekilde çift “V” çentik açılarak deney için hazırlanmıştır. Numuneler uygulanan darbe testi sonuçları incelendiğinde en yüksek darbe testi değeri  $63,64 \text{ kJ/m}^2$  ile MFP katkısız numunede olduğu görülmektedir. Darbe testi sonuçlarına göre MFP ilavesi ile test sonuçlarında düşme olduğu görülmektedir. Ortalama değerlerin bulunduğu grafik Şekil 5.5’de gösterilmektedir.



**Şekil 5.5.** Numunelere uygulanan charpy darbe testi grafiği.

Cihazda yapılan ölçümlerde kullanılan formülasyon eşitlik 5.1'deki gibidir.

$$a_{CN} = E_c / (h \times b_N) \times 10^3 \quad (5.1)$$

$a_{CN}$  : Charp darbe mukavemeti ( kJ/m<sup>2</sup> )

$E_c$  : Deney aşamasında absorbe edilen enerjinin düzeltilmiş değeri(J)

$b_N$  :Çentik tabanı genişlik (mm)

$h$  : Deney numunesi kalınlığı (mm)

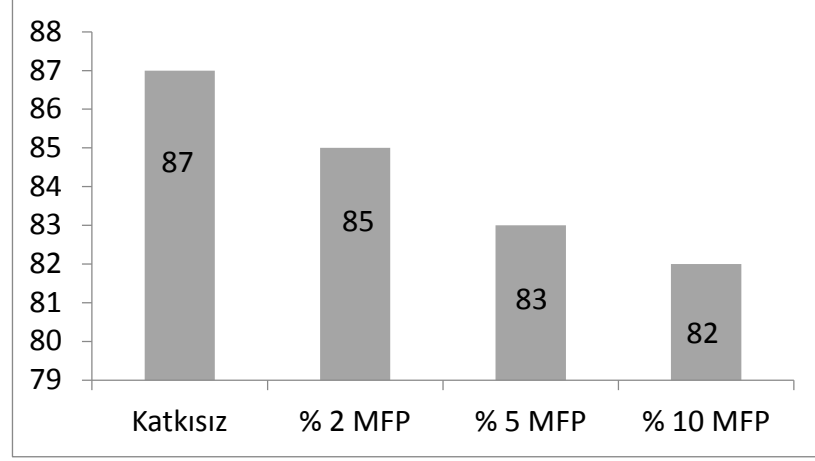
Üretilen numunelerin charpy darbe testi sonuçları Tablo 5.2'de verilmektedir. Her bir numune için toplam on adet test yapılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak sonuçlar bulunmuştur.

**Tablo 5.2.** Çentik darbe testi sonuçları (kJ/m<sup>2</sup>)

Numune	Katkısız	% 2 MFP	% 5 MFP	% 10 MFP
1	58,90	19,30	14,10	11,00
2	61,00	20,60	14,20	10,60
3	56,10	18,70	14,50	11,00
4	66,70	17,00	13,50	10,50
5	65,90	16,70	13,00	11,00
6	62,20	17,30	12,90	9,30
7	68,00	17,40	12,50	11,10
8	59,30	18,60	12,50	12,00
9	67,00	15,60	13,00	11,00
10	71,30	15,80	12,80	10,00
<b>Ortalama (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>63,64±4,84</b>	<b>17,70±1,58</b>	<b>13,30±0,73</b>	<b>10,75±0,72</b>

### 5.3. Sertlik Testi Deneyi

Sertlik testi deneyi ISO 868 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan kompozit numunelerin her birine üç adet test uygulanarak sonuçların ortalamaları alınmıştır. Sertlik testi sonuçları Şekil 5.6'da bulunmaktadır.



**Şekil 5.6.** Numunelere uygulanan sertlik testi grafiği

Baydar, (2016) çalışmasında standart katkılı PVC profilinde 77,5 Shore D sonucuna ulaşmıştır. İki çalışma arasındaki farkın kullanılan katkı maddeleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Artan MFP oranı ile beraber sertlik değerlerinde orantılı düşüş gözlenmektedir. MFP tane boyutunun yüksek olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

#### 5.4. Yoğunluk Testi Sonuçları

Kompozit numunelerin yoğunluk testleri TS EN ISO 1183/1 standardına göre uygulanmıştır. Hassas terazide numunelerin havada tartımlarının ardından  $0,867 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahip toluen sıvısı içerisinde tartılmıştır. Cihaz üzerindeki program sayesinde  $\text{g/cm}^3$  cinsinden değerler elde edilmiştir. Ölçülen değerlere ait grafik Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Ölçüm cihazının kullandığı bağıntı (5.2) de gösterilmektedir.

$$\rho = \frac{m_{S,A} \times p_{IL}}{m_{S,A} - m_{S,IL}}$$

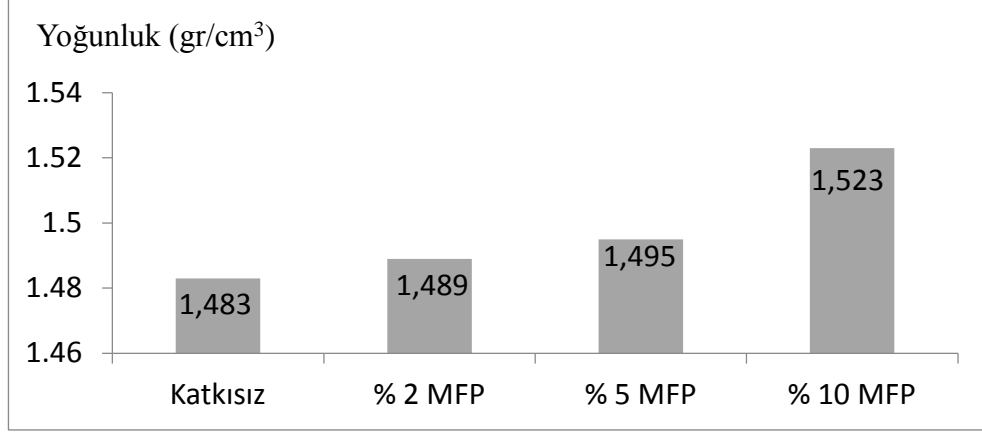
(5.2)

$m_{S,A}$  : Numunenin havada tartım kütlesi (g)

$m_{S,IL}$  : Numunenin sıvı içerisindeki kütlesi (g)

$p_{IL}$  : Kullanılan sıvının yoğunluğu ( $\text{g/cm}^3$ )



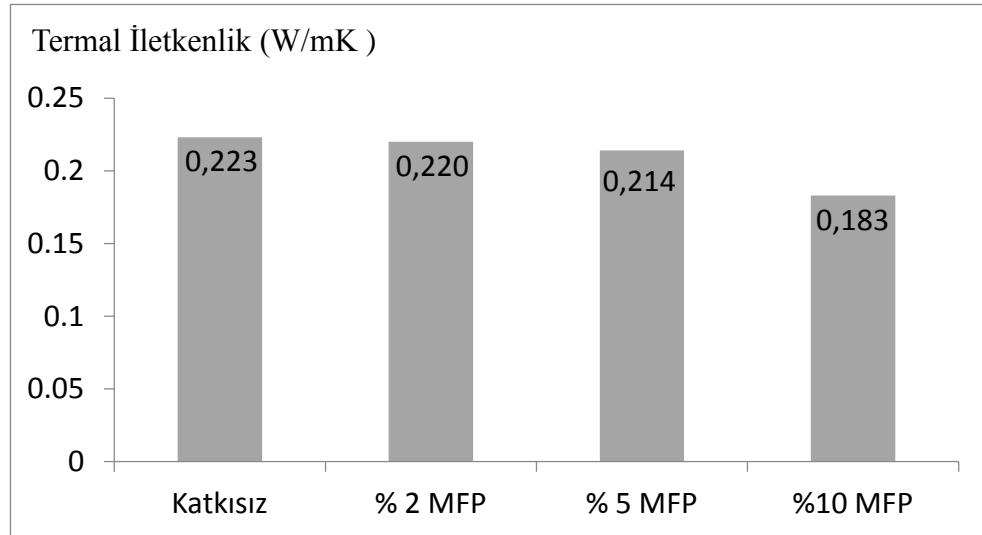


**Şekil 5.7.** Yoğunluk ölçümü sonuçları

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi MFP katkısı içermeyen numuneye ait yoğunluk 1,483 g/cm<sup>3</sup> iken, MFP katkısı ile beraber yoğunluğun arttığı görülmektedir.

### 5.5. Termal İletkenlik Katsayısı Deneyi

Elde edilen numunelerin ısı iletkenlik katsayılarının tespiti amacı ile termal iletkenlik deneyi uygulanmıştır. Her bir numuneden 3 ölçüm yapılarak elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır. Termal iletkenlik katsayılarına ait değerler Şekil 5.8’de gösterilmektedir.



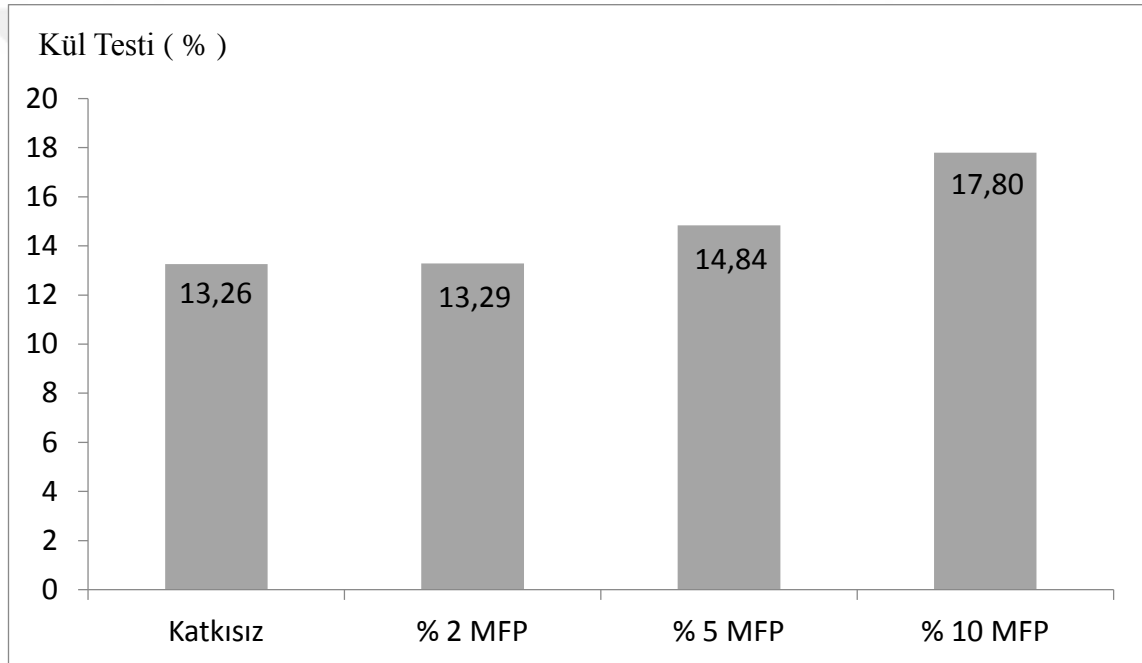
**Şekil 5.8.** Termal iletkenlik ölçüm sonuçları

Ölçüm sonuçları incelendiğinde MFP ilavesi yapılmamış numunenin ısı iletim katsayısı 0,223 W/mK iken ağırlıkça %2 MFP ilavesi ile beraber 0,220 W/mK değerine

gerilediği görülmektedir. Artan MFP oranı ile beraber termal iletkenlik katsayısında düşme gözlenmektedir.

### 5.6. Kl Testi Sonuçları

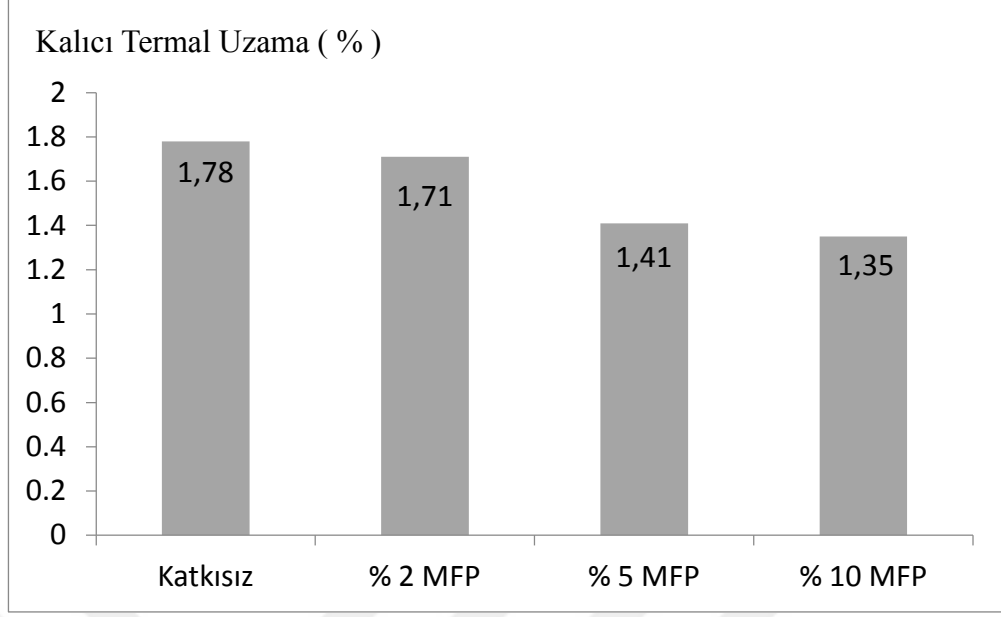
Numune hazırlığında MFP, hassas terazide tartılarak ağırlıkça istenen oranlarda standart karışım içerisine ilave edilerek karıştırılmıştır. Kl testi sonuçları incelendiğinde standart bileşime sahip numunede kül oranı %13,26 iken %2 MFP katkılı numunede %13,29 olduğu görülmektedir. Kl testi sonuçlarını içeren grafik Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Kl testi sonuçları

### 5.7. Kalıcı Termal Uzama Deneyi

Numuneler termal uzamalarının belirlenmesi amacı ile TS EN 479 standartlarına göre test edilmiştir. Deney sonuçları Şekil 5.10'da grafikte verilmiştir.

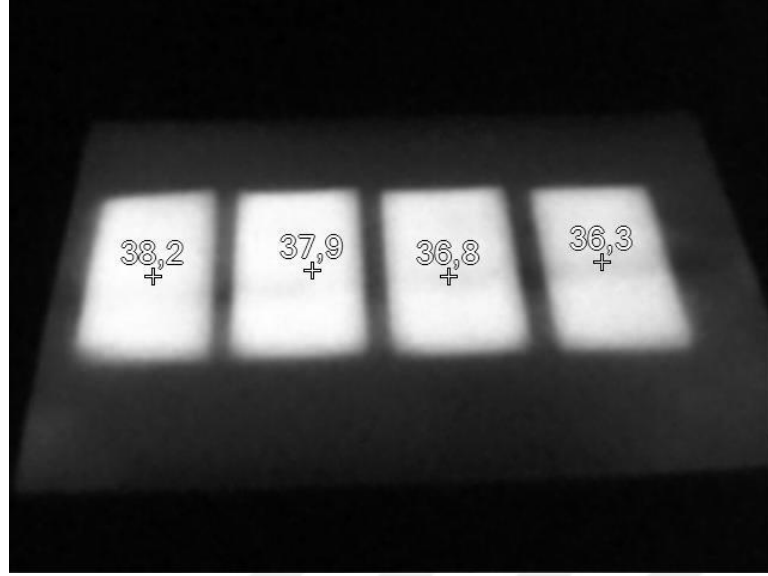


**Şekil 5.10.** Kalıcı termal uzama testi sonuçları

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi MFP içermeyen numunelerin termal uzama sonuçları %1,78 değerindedir. MFP ilavesi ile beraber artan oran etkisi ile kalıcı termal uzama değerlerinde düşüş görülmektedir. En iyi termal davranış %10 MFP ilavesi ile uygulanan numunede gerçekleşmiştir.

### 5.8. Termal Kamera Görüntüleri

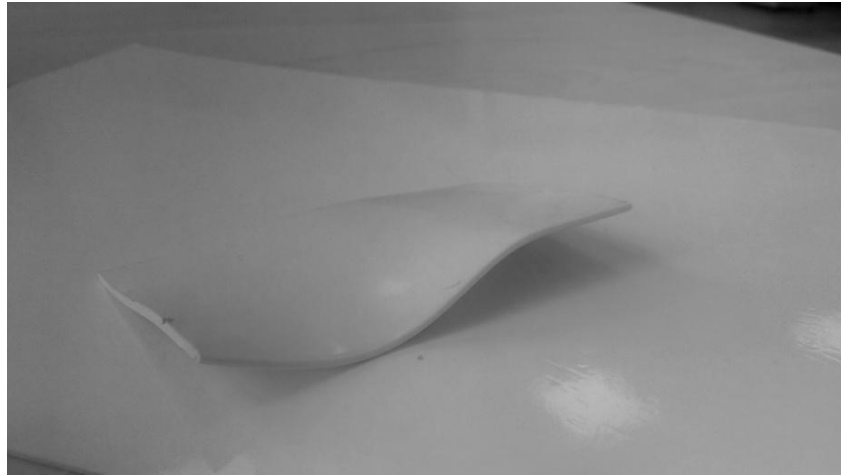
Uygulamada önceden 50°C ye kadar ısıtılmış etüve oda sıcaklığında bulunan numuneler koyulmuş ve 5 dk süre ile bekletilmiştir. 5 dk sonunda numuneler termal kamera ile resimlenerek ulaştıkları sıcaklıklar tespit edilerek mukayese edilmek istenmiştir. Deney uygulaması sonucunda MFP içermeyen standart numune 38,2°C ye ulaşmış iken %2 MFP içeren numune 37,9°C ye ulaşabilmiştir. %10 MFP içeren numunede ise sıcaklık ölçümü 36,3°C olarak ölçülmüştür. Şekil 5.11'de termal kamera görüntüsü gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre perlit ilavesi ile beraber özgül ısılarının arttığı düşünülmektedir.



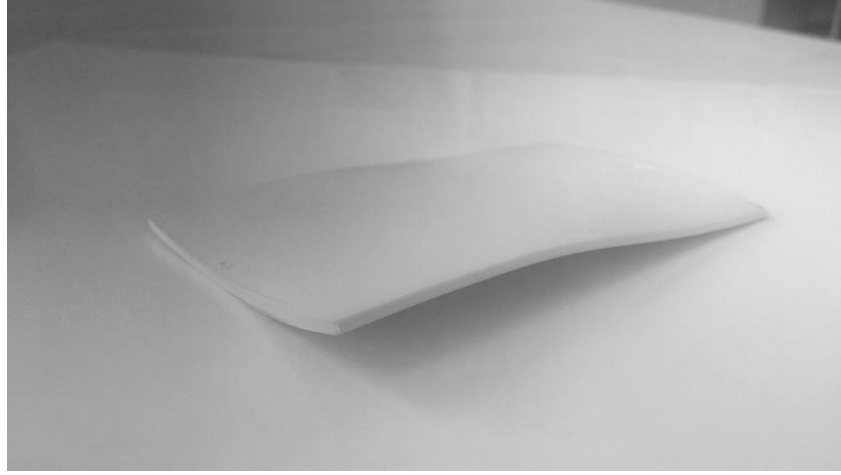
**Şekil 5.11.** Numunelerin termal kamera görüntüleri

### **5.9. Genel Dış Görünüm Değerlendirmesi**

Üretimi yapılan numunelerin gözle muayenesinde MFP içermeyen numunenin yüzey parlaklığının diğer numunelere göre fark edilebilir seviyede yüksek olduğu görülmektedir. Artan MFP oranı ile beraber yüzey görüntüsünün matlaştığı fark edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü de MFP içermeyen numunede nispeten düşük olduğu halde artan MFP katkısı ile birlikte yüzeyin daha pürüzlü olduğu görülmektedir. Numunelerdeki şekil değişimi ile ilgili görüntüler Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de verilmektedir.



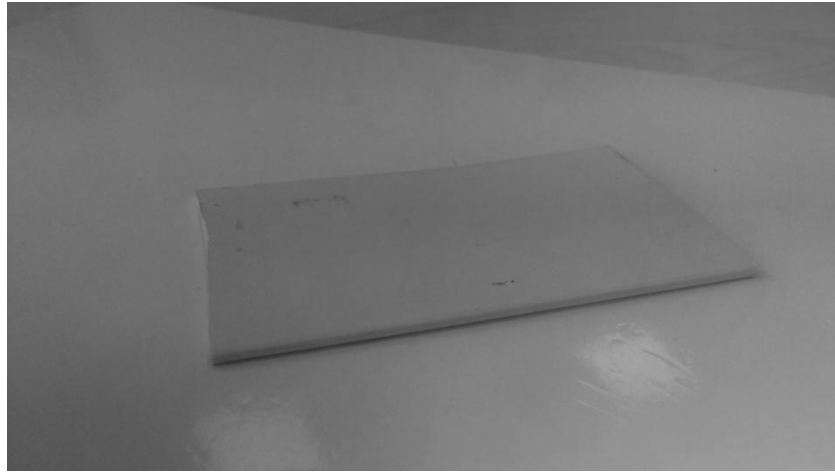
**Şekil 5.12.** MFP içermeyen standart numunedeki boyutsal çarpılma



**Şekil 5.13.** %2 MFP içeren numunedeki boyutsal çarpılma



**Şekil 5.14.** %5 MFP içeren numunedeki boyutsal çarpılma

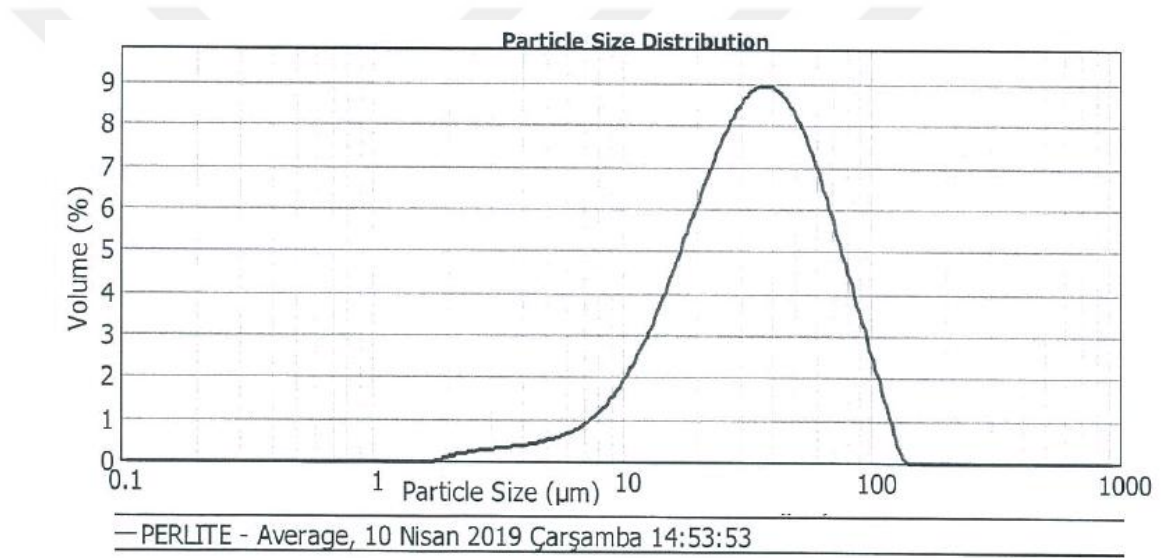


**Şekil 5.15.** %10 MFP içeren numunedeki boyutsal çarpılma

Numunelerin etüv fırınında 100°C’de 1 saat bekletilip daha sonra oda sıcaklığında soğutulması işlemlerinde MFP içermeyen standart numunede yüksek oranda boyutsal çarpılma gözlemlenmiştir. %2 MFP katkılı numunede çarpılma oranı ciddi oranda azalmıştır. %5 ve %10 MFP içeren numunelerde gözle görülür bir çarpılma fark edilmemiştir.

### 5.10. Tane Boyutu Dağılımı Analizi

Malvern mastersizer cihazı ile MFP üzerinde yapılan tane boyutu dağılımı analizine ait sonuç grafiği Şekil 5.16’da gösterilmektedir.



Şekil 5.16. MFP üzerinde yapılan tane boyutu dağılımı analizi

Test sonuçlarına göre kullanılan filtre perlitinin ortalama tane boyutu 34.016 µm olarak ölçülmüştür.

### 5.11. Su Emicilik Testi Sonuçları

Numuneler ayrı ayrı 24 saat, 48 saat ve 240 saat süren su emme testlerine tabi tutulmuştur. Hassas terazi ile yapılan ölçümler sonucunda hiçbir numunede ağırlık farkı görülmemiştir. Test sonuçları, hidrofilik yapıdaki perlitin PVC içerisinde bu özelliğini sergileyemediğini göstermektedir.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile MFP katkı maddesi ile hazırlanan PVC kompozit malzemelerin mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi yapılmıştır. Üretimi yapılan farklı karakteristikteki kompozit malzemelerin özelliklerinin tespit edilebilmesi amacı ile; çekme testi, yoğunluk testi, tane boyutu dağılımı testi, sertlik testi, termal iletkenlik testi ve sertlik testleri uygulanmıştır.

Yoğunluk test sonuçları incelendiğinde MFP katkılı kompozit malzemelerde katkı oranı arttıkça yoğunluk sonuçlarında artış olduğu görülmektedir. Bu artış MFP içermeyen standart numuneye göre %10 MFP içeren kompozit malzemede %2,69 seviyesinde olmuştur.

Termal iletkenlik testi sonuçları incelendiğinde kompozit numunelerde MFP oranının artması ile birlikte termal iletkenlik katsayılarında düşüş olduğu gözlenmiştir. Yüksek ısıl ve ses yalıtım özelliğine sahip perlitin katkı maddesi olarak kullanılma amacı ısıl ve akustik özellikleri yüksek kompozit malzeme üretiminin araştırılmasıdır. Bu bakımdan termal iletkenlik testi sonuçları tez çalışmasının ana düşüncesi ile paralel sonuç göstermiştir.

Kalıcı termal uzama testi sonuçları incelendiğinde kompozit malzemeye ilave edilen MFP oranının artması ile kalıcı termal uzamada düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu anlamda en iyi termal davranış değeri %10 MFP katkılı numunede elde edilmiştir.

Termal kamera görüntüleri ile elde edilen bilgiler sayısal verilerin haricinde yorumlama amacı ile gerçekleştirilmiştir. Bu bakımdan MFP oranındaki artışla beraber malzemenin özgül ısılarının da arttığı düşünülmektedir.

Kül testi sonuçları incelendiğinde ilave edilen inorganik malzemenin gerçekten arzu edilen seviyede karışıma aktarılıp aktarılmadığı tespit edilmiştir. Bu anlamda test sonucu karışımların homojen olduğunu doğrulamaktadır.

Numunelere uygulanan sertlik testi sonuçları irdelendiğinde artan MFP oranı ile beraber malzemelerin sertliklerinde düşüş olduğu gözlenmiştir.

Çentikli darbe testi ve çekme testi sonuçları beraber incelendiğinde MFP ilavesi ile beraber kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde ciddi düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle çekme deneyi sonucunda standart numunede kopma uzaması %111 iken %2 MFP ilavesi ile beraber bu değer %52' ye ulaşmıştır. En düşük kopma uzaması %36,43 ile %10 MFP içeren numunede gerçekleşmiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde MFP katkısı ile beraber mekanik özelliklerde ciddi düşüşler gözlenirken termal özelliklerde iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Test sonuçları incelendiğinde göze çarpan konulardan biri de MFP katkı oranının artması ile beraber sıcaklık etkisi ile malzemede oluşan çarpılmaların minimum seviyeye inmesidir. Yüksek mukavemet istenmeyen ve sıcaklık etkisi ile şekil değişiminin yüksek olduğu alanlarda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılabilir.

İnorganik ve organik iki farklı bileşenin her hangi bir yüzey modifiye işlemi uygulanmadan birbirleri ile uyumlu olmadığı düşünülmektedir. Bu anlamda sonraki çalışmalarda daha düşük tane boytuna sahip perlit katkısına önceden yüzey modifiye işlemi uygulanabilir.

Benzer çalışmaların artması ile perlit için alternatif çalışma ve uygulama alanlarının daha da çoğalacağı düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Akbulut, H. (2007) Kompozit Malzemeler. Ders Notları, *Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Sakarya, 4-11.
- Akçam, O. (2011) “Katkılı poliester filamentlerinden kumaş üretimi ve özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 4-42.
- Akkurt, S. (1991) Plastik Malzeme Bilgisi, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 52-68.
- Akyüz, Ö. F. (2001) “Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş”, *PAGEV Yayınları*, İstanbul, 18-25.
- Aslan, M. (2015) “Mikronize filtre perlitinin betonda mineral katkı malzemesi olarak kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 9-15.
- Aslankılıç, Z. (2008) “Alev geciktirici katkı maddelerinin PVC üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-9.
- Aydın, H. (2004) “PVC üretimi ve katkı maddeleri”, Bitirme Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü*, Eskişehir, 14-18.
- Baydar, E. (2016) “Farklı dolgu maddeli pvc kompozit malzemelerinin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2-12.
- Bayraktar, Ö.F (2015) “Çeşitli bor katkılı PVC kompozitlerinin karakterizasyonu ve yanma özelliklerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-16.
- Beşergil, B. (2008) Polimer Kimyası, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 16-35.
- Cengiz, F., Öztürk, B. ve Terzi A., (2008). “Camelyaf takviyeli kompozitler de dolgu maddelerinin mekanik özelliklere etkisi”, Lisans Tezi, *Gebze İleri teknoloji Enstitüsü*, Kocaeli, 5-19.
- Ceviz, A. (2008) “Atık odun talaşı kullanılarak ısı yalıtımlı dış cephe kaplama elemanının geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 4-26.
- Çetinkaya, H. (2012) “Bor endüstrisi katı atığı, PVC kompozit malzemelerinin karakterizasyonu ve birleşim oranlarının malzemelerin yüzey enerjisinin dağılım bileşeni üzerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2-18.

- Demircan, S. (2009), “Fındık kabuğu dolgulu polietilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-11.
- Demirci, S. (2015), “Yerli baritin baryum içeren pigmentlerin üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2-6.
- Deveci, H. (2008) “Karboksil gruplu stiren kopolimerleri ve modifiye polistirenlerin sentezi ve özelliklerinin incelenmesi”,Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya,1-5.
- Dinçer, T., Aras, L. (1984) Polimerlerde Mekanik Özellikler ve Karakterizasyonu, *Tumka Temel ve Uygulamalı Polimer Yayınları*, Ankara, 285-292.
- Erkek, S.(2007) “Karbon siyahı maddesi oranının farklı vulkanizasyon sistemlerinde elastomerlerin fiziko mekaniksel özellikleri üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 8-23.
- Güzel, G. (2016) “Epoksi reçinesi, yüksek fırın cürufu, yer fıstığı kabuğu tozu kompozitlerinin hazırlanması ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya,1-32.
- İpek, H. (2011) “Cam elyaf takviyeli kestamid matrisli kompozitlerin üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, Trabzon, 5-22.
- Kalaycı, F. (2016) “Perlit esaslı ısı yalıtım malzemesi üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 6-28.
- Kaya, F. (2005) Plastikler ve katkı maddeleri, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 181-190.
- Keskingöz,S.(2010),”Polietilen malzemelerin mekanik özelliklerine dolgu maddelerinin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-26.
- Kıralp, S. Ozkoc, G. Erdoğan, S. Camurlu, P. Doğan, M. ve Baydemir, T. (2006) “Modern çağın malzemesi plastikler,” *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayıncılık*, Ankara,19-24.
- Koç, S. (2005) “PVC kapı pencere sistem analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Tekirdağ, 3-14.
- Kuyulu, A. (2001) “Polimerlerin İşlenmesi”. Yüksek Lisan Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü*, 16-33.

- Meriç, H. (2001) “PVC Tanıtımı”. *A Firması Kalite Kontrol Bölümü tarafından hazırlanmış dokümanlar*, İstanbul, 6-15.
- Onat, A (2015), “Kompozit Malzemeler Ders Notu” *Sakarya Üniversitesi, Makine ve metal teknolojileri bölümü, Metalurji programı*, Sakarya, 6-35.
- Oral, M. (2006) “Effects of polymer filler interface improvements on mechanical and physical properties of CaCO<sub>3</sub> filled polypropylene composite”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 18-35.
- Özdeniz, M.B. (2004) “The effect of moisture content on sound absorption of expanded perlite plates” *Elsevier Building and Environment volume* 40, 311-318
- Özer, H. (2015) “Sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa,3-21.
- Özgan, A.O (2019) “Plastik kompozit üretiminde odun ve yumurta kabuğu kullanımının araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 4-22.
- Özüyağlı, A. (2016) “CTP kesme atıkları kullanılarak PVC matrisli kompozit malzeme üretimi ve özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 46-68.
- PAGEV. “Plastik çeşitleri” <https://www.pagev.org/polivinilklorur>  
Son erişim tarihi:03.04.2019
- PAGEV. “Plastik sektör raporla” <https://www.pagev.org/turkiye-plastik-sektor-izleme-raporu-2018-6-aylik-5b6d529aee324>  
Son erişim tarihi:03.04.2019
- Researchgate.[https://www.researchgate.net/figure/Composite-materials-in-Boeing-787-2\\_fig1\\_321659905](https://www.researchgate.net/figure/Composite-materials-in-Boeing-787-2_fig1_321659905)  
Son erişim tarihi:08.04.2019
- Saçak, M.,(2012), Polimer Teknolojisi,*Gazi Kitabevi, 4. baskı* Ankara, 73-78.
- Savaşçı, Ö. Uyanık, N. ve Akovalı, (2002) Plastikler ve Plastik Teknolojisi, *PAGEV Yayınları*, İstanbul, 23-29.
- Tamer, O.M. (2003) Pencere İmalatı, *Penta Fuarcılık Tanıtım Yayıncılık ve Organizasyon San. Tic. Ltd. Şti*, İstanbul, 3-6.
- Uçar, A. (2009) “Kalsit dolgulu polipropilen kompozitlerde sıcaklığın yaşlanma özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-27.

- Ünal, O. (2006) “Yapı malzemeleri ders notları”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Afyonkarahisar, 3-9.
- Yaşar, H. (2001) Plastikler Dünyası, *MMO Yayınları, 2. Baskı*, Ankara, 3-89
- Yılmaz, O. (2007) “ Polimer malzemelerin ekstrüzyonunun deneysel ve sayısal olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 13-21.
- Yurci, M.E.(2009) “Plastik imalat teknolojileri”. *TMMOB Ümraniye Temsilciliği Eğitim Semineri*, İstanbul, 2-7.
- Yurdakul, K. (2011) “Kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dolgulu polietilen filmlerin hazırlanması ve geçirgenlik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-38.
- Zeren, F. (2013), “Değişik oranlarda nano ve mikro boyutlardaki CaCO<sub>3</sub>'ün yüksek yoğunluklu polietilenin özelliklerine etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-20.
- Zincir, E. (2013) “Modifiye edilmiş perlit ile atık sulardan bor giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-21.

## EKLER

### YAYINLAR

Gölşat, H. (2019) “Perlit katkılı PVC kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, VI. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu, 13-15 Haziran, 2019, Ankara, (Yüksek Lisans Tezinden Yapılmıştır)



## ÖZGEÇMİŞ

Harun GÖLŞAT 1980 yılında Erzincan'da doğdu; ilk, orta ve lise öğretimini Aydın'da tamamladı. Lisans eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamladı. Lisans eğitiminin ardından yurt içi ve yurt dışında birçok alışveriş merkezi, otel, hastane projesinde çeşitli pozisyonlarda görev aldı. 2013 yılından itibaren Fırat Plastik Kauçuk San. Tic A.Ş. bünyesinde makine mühendisi olarak çalışmaktadır. İş güvenliği uzmanı olup evli ve iki çocuk babasıdır.

