



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FARKLI DOLGU MALZEMELERİ KULLANILARAK
PVC VE ATIK PVC ESASLI TAHTA KOMPOZİT
ÜRETİMİ

AHMET HAYRULLAH SEVİNÇ

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2019

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI DOLGU MALZEMELERİ KULLANILARAK
PVC VE ATIK PVC ESASLI TAHTA KOMPOZİT
ÜRETİMİ

AHMET HAYRULLAH SEVİNÇ

Bu tez,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
DOKTORA
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2019

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Ahmet Hayrullah SEVİNÇ tarafından hazırlanan “Farklı Dolgu Malzemeleri Kullanılarak PVC ve Atık PVC Esaslı Tahta Kompozit Üretimi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 01 / 03 / 2019 tarihinde oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ (DANIŞMAN)
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Metin KÖSE (ÜYE)
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa DOLAZ (ÜYE)
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Burhan KARAKOÇ (ÜYE)
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnönü Üniversitesi

Dr.Öğretim Üyesi Fatih KANTARCI (ÜYE)
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnönü Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. MUSTAFA YAZICI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Ahmet Hayrullah SEVİNÇ



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

**FARKLI DOLGU MALZEMELERİ KULLANILARAK PVC VE ATIK PVC
ESASLI TAHTA KOMPOZİT ÜRETİMİ
(DOKTORA TEZİ)**

AHMET HAYRULLAH SEVİNÇ

ÖZET

Bu tez çalışmasında; farklı dolgu malzemeleri kullanılarak üretilen PVC kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla PVC kompozitte kullanılan kalsit dolgusu yerine %25 ve %50 oranlarında barit, bor cevher atığı, cam tozu, kuvars, Afşin-Elbistan uçucu külü, yüksek fırın cürufu, perlit, pomza, diatomit ve vermikülit katkıları ikame edilmiştir. Ayrıca atık PVC'nin mühendislik özelliklerine etkisini incelemek için saf PVC'den %25 ve %50 oranlarda ikame edilmiştir. Üretilen PVC kompozitlerin birim hacim ağırlığı, 2, 24, 48, 168 saatlik su emme oranı, ultrasonik ses geçiş hızı, ısı iletim katsayısı, lineer soğurma katsayısı, TS EN 13501-1'e göre yangına mukavemet sınıfı belirlenmiş, UL 94 yanma testi ve taber aşınma testi gibi fiziksel testler uygulanmıştır. Aynı zamanda bu kompozitlerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi kapsamında eğilme ve çekme dayanımı, elastisite modülü, yüzeye dik ve yüzeye paralel çekme vida tutma gücü ve izod darbe dayanımı testleri uygulanmıştır. Ayrıca TGA ve SEM analizleri yapılarak detaylı incelemelerde bulunmuştur. Yapılan çalışmada barit katkılı PVC kompozit örneği mekanik ve fiziksel testlerde en iyi değerler verdiği deneysel olarak gözlenmiştir. Ancak ısı iletim katsayısı en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Kullanılan katkıların PVC kompozit üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılmasının uygunluğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: PVC, Kompozit, Mineral Katkılar, Barit, Fiziksel Özellikler, Mekanik Özellikler

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mart / 2019

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ

Sayfa sayısı: 163

**PVC AND WASTE PVC BASED WOOD COMPOSITE PRODUCTION BY USING
DIFFERENT FILLER MATERIALS
(Phd. THESIS)**

AHMET HAYRULLAH SEVİNÇ

ABSTRACT

In this study, physical and mechanical properties of PVC composites produced with different filler materials were investigated. For this purpose, instead of the calcite filler in the PVC composites, barite, boron ore wastes, glass powder, quartz, Afşin-Elbistan fly ash, ground granulated blast furnace slag, perlite, pumice, diatomite and vermiculite were used 25% and 50% by weight. Besides, in order to investigate the effect of waste PVC on engineering properties, 25% and 50% of pure PVC were substituted. Unit weights, 2, 24, 48, 168 hours water absorption values, ultrasonic pulse velocities, thermal conduction coefficients, linear absorption coefficients and fire resistance class according to TS EN 13501-1 were determined and UL 94 burning tests and taber abrasion tests were subjected as physical tests. At the same time, in order to determining the mechanical properties of the composites, bending and tensile tests, Young modulus, parallel and perpendicular screw withdrawal strength and izod impact strength tests were performed. Besides, detailed investigations were performed by TGA and SEM investigations. In the study, barite added PCV composites were shown the best experimental results. But, thermal conduction coefficient of the composite was the maximum. It is exhibited that the additive used in the study are appropriate as filler materials for PVC composite production.

Key Words: PVC, Composite, Mineral Admixtures, Barite, Physical Properties, Mechanical Properties

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering, March / 2019

Supervisor: Prof.Dr. Hüseyin TEMİZ

Page number: 163

TEŞEKKÜR

Tez çalışmanın yürütülmesi ve yazım aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarına yapmış olduğu katkı ve yardımlar için değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Mustafa DOLAZ'a ayrıca teşekkür ederim. Yapmış olduğum çalışmadaki lineer soğurma katsayısının bulunması, yorumlanması ve tezimin değerlendirilmesi için yapmış olduğu katkı ve yardımlardan dolayı Sayın Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında altyapı imkânlarını benimle paylaşan Çabasan Tekstil Sanayi Ve Ticaret Aş., Çbs Ambalaj Sanayi Ve Ticaret Ltd.Şti., Çbs Balcı Gıda Ve Tarım Ürün. Sanayi Ticaret Ltd.Şti., Moteks Modern Tekstil Tic. Ve San. Aş., Kahramanmaraş Ticaret Ve Sanayi Odası Yönetim Kurulu Başkan V.Şahin BALCIOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Lisans, yüksek lisans ve doktora öğrenim süresince her zaman yanımda olan sevgili arkadaşım Dr. Muhammed Yasin DURGUN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca bu zorlu süreçte maddi manevi desteğini esirgemeyen ve her anımda yanımda olan kıymetli eşim Melike SEVİNÇ ve oğlum Yusuf SEVİNÇ'e gönülden teşekkürü bir borç bilirim. Bu günlere gelmemde büyük payı olan ve desteklerini sürekli hissettiğim değerli aileme teşekkürlerimi sunarım. K.S.Ü. İnşaat Mühendisliği bölümünde bulunan hocalarıma ve deneysel çalışmalarda desteklerini esirgemeyen K.S.Ü. İnşaat Mühendisliği bölümündeki öğrencilerime de sonsuz teşekkür ederim.

Mart 2019
KAHRAMANMARAŞ

Ahmet Hayrullah SEVİNÇ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	2
2.2. Kaynak Özetleri	3
2. KURAMSAL TEMELLER	20
2.1. Polimerler	20
2.1.1. Polimerlerin genel özellikleri	20
2.1.2. Polimerlerin termal özellikleri	21
2.1.3. Polimerlerin kimyasal özellikleri	24
2.1.3.1. Termosetler	25
2.1.3.2. Elastomerler	25
2.1.3.3. Termopolimerler	25
2.2. PVC	26
2.2.1. Monomer üretimi	26
2.2.2. PVC'nin ısı bozunması	28
2.2.2.1. Oksijensiz ortamda bozulması	28
2.2.2.2. PVC'nin ısı ve oksidatif bozunması	29
2.2.3. PVC'nin özellikleri	31
2.2.4. PVC işleme yöntemleri	31
2.2.4.1. Ekstrüzyon işleme yöntemi	31
2.2.4.2. Kalenderleme yöntemi	32
2.2.4.3. Kalıplanma metodu	32
2.2.5. PVC'nin içerisine konulan katkı maddeleri	33
2.2.5.1. Yağlayıcı katkı maddeleri	34
2.2.5.2. İşleme kolaylaştırıcı katkı maddeleri	34
2.2.5.3. Darbe ayarlayıcı katkı maddeleri	34
2.2.5.4. Plastikleştirici katkı maddeleri	35
2.2.5.5. Dolgu maddeleri	36
2.2.6. PVC'nin türleri, kullanım alanları ve değerlendirilmesi	36
2.3. Kompozit Malzeme	37
2.3.1. Polimer kompozitler	40

2.3.1.1.	Odun polimer kompozitler (OPK	40
2.3.1.2.	OPK’lerde kullanılan katkı maddeler	41
2.3.1.3.	Ekstrüzyon metodu ile OPK üretimi	43
2.3.1.4.	OPK’nin özellikleri ve kullanım yerleri	46
2.4.	Radyasyon	48
2.4.1.	Radyasyon kaynakları	49
2.4.2.	Radyoaktivite	49
2.4.3.	Radyasyon tehlikelerinden korunma yöntemleri	51
2.4.4.	Gama Işın Detektörleri	51
2.5.	Barit	52
2.6.	Bor	52
2.7.	Cam tozu	54
2.8.	Diatomit	54
2.9.	Kuvars	55
2.10.	Uçucu Kül	55
2.11.	Yüksek Fırın Cürufu	56
2.12.	Perlit	57
2.13.	Pomza	58
2.14.	Vermikülit	58
2.15.	Kalsit	59
2.16.	Talaş	60
3.	MATERYAL VE METOT	61
3.1.	Materyal	61
3.1.1.	Deneysel çalışmada kullanılan matris malzemeleri	61
3.1.2.	Deneysel çalışmada kullanılan dolgu malzemeleri	62
3.1.3.	Deneysel çalışmada kullanılan kimyasal katkı malzemeleri	64
3.2.	Metot	66
3.2.1.	PVC kompozitlerin üretimi	66
3.2.2.	Birim hacim ağırlığının belirlenmesi	69
3.2.3.	Su emme ve kalınlık şişme oranının belirlenmesi	69
3.2.4.	Ultrasonik ses hızının belirlenmesi	70
3.2.5.	Isı İletim katsayısının belirlenmesi	71
3.2.6.	Yangın dirençlerinin belirlenmesi	72
3.2.7.	Lineer soğurma katsayısının belirlenmesi	75
3.2.8.	Eğilme dayanımı ve elastisite modülünün belirlenmesi	77
3.2.9.	Çekme dayanımı ve elastisite modülünün belirlenmesi	78
3.2.10.	Vida tutma gücünün belirlenmesi	80
3.2.11.	Aşınma dayanımının belirlenmesi	82
3.2.12.	İzod darbe dayanımının belirlenmesi	83
3.2.13.	TGA analizi	85
3.2.14.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi	86
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	87
4.1.	Birim Hacim Ağırlığı Sonuçları	87
4.2.	Su Emme ve Kalınlık Şişme Oranı Sonuçları	88
4.3.	Ultrasonik Ses Hızı Sonuçları	92
4.4.	Isı İletim Katsayısı Sonuçları	94
4.5.	Yanma Testi Sonuçları	95
4.6.	Lineer Soğurma Katsayısı Sonuçları	98

4.7.	Eğilme Dayanımı ve Elastisite Modülü Sonuçları	102
4.8.	Çekme Dayanımı ve Elastisite Modülü Sonuçları	109
4.9.	Vida Tutma Gücü Sonuçları	114
4.10.	Aşınma Dayanımı Sonuçları	119
4.11.	İzod Darbe Dayanımı Sonuçları	121
4.12.	TGA Analizleri	122
4.13.	SEM Analizleri	139
5.	SONUÇLAR	142
	KAYNAKLAR	145
	ÖZGEÇMİŞ	159



ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2. 1 Termopolimerlerin yükselen ısıdaki halleri (Gökalp, 2006).....	23
Şekil 2. 2 OPK üretiminde kullanılan polimerlerin çalışma sıcaklıkları (Gökalp, 2006)	23
Şekil 2. 3 Fenol formaldehit polikondenzasyon tepkimesi (Frihart, 2005).	24
Şekil 2. 4 Vinilklorür monomeri (Aslankılıç, 2008)	26
Şekil 2. 5 Etilen esaslı vinil klorür monomeri üretimi (Aslankılıç, 2008)	27
Şekil 2. 6 Dikloroetan oluşumu (Aslankılıç, 2008)	27
Şekil 2. 7 Asetilen esaslı vinil klorür monomeri üretimi (Aslankılıç, 2008).....	27
Şekil 2. 8 PVC'nin ısı oksidatif bozunmasının mekanizması (Aslankılıç, 2008)	30
Şekil 2. 9 Uygunlaştırıcının içyapıda gerçekleştirdiği görev (Gassan ve ark., 1999).	42
Şekil 2. 10 Birleştiricinin içyapıda gerçekleştirdiği görev (Gassan ve ark., 1999).	42
Şekil 2. 11 Katkı maddelerin ve selülozun hidroksil ile reaksiyonu (Gassan ve ark., 1999).	43
Şekil 2. 13 Geleneksel ikiz vidalı ekstruder cihazlara ait vida örnekleri (Gökalp, 2006)	45
Şekil 2. 14 OPK'nin çeşitli kullanım yerleri (Gökalp, 2006).....	48
Şekil 2. 15 Radyasyonların birbirine göre soğurulması (Örtlek, 2015).....	51
Şekil 3. 1 Çalışmada kullanılan PVC, Atık PVC ve referans PVC karışımı	61
Şekil 3. 2 Deneysel çalışmalarda kullanılan bazı dolgu malzemeleri	62
Şekil 3. 3 Pomza, bor cevher atığı ve yüksek fırın cürufu.....	63
Şekil 3. 4 Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal katkıları	65
Şekil 3. 5 Çalışmanın iş akış şeması.....	66
Şekil 3. 6 Hatalı karışım (a) ve referans karışım (b) örnekleri	66
Şekil 4. 1 PVC kompozit numunelerin birim hacim ağırlığı	87
Şekil 4. 2 PVC kompozit numunelerin 2 saat sonundaki su emme oranları	89
Şekil 4. 3 PVC kompozit numunelerin 24 saat sonundaki su emme verileri	90
Şekil 4. 4 PVC kompozit numunelerin 48 saat sonundaki su emme verileri	91
Şekil 4. 5 PVC kompozit numunelerin 168 saat sonundaki su emme verileri	92
Şekil 4. 6 PVC kompozit numunelerin ultrases geçiş hızları	93
Şekil 4. 7 PVC kompozit numunelerin ısı iletim katsayıları	94
Şekil 4. 8 PVC kompozitlerin dikey yanma testi sonrası görünümü.....	95
Şekil 4. 9 PVC kompozitlerin dikey yanma testi sonrası görünümü.....	96
Şekil 4. 10 PVC kompozit numunelerin lineer soğurma katsayıları	100
Şekil 4. 11 PVC kompozit numunelerin radyasyon geçirgenlik değerleri	101
Şekil 4. 12 PVC kompozit numunelerin eğilme testi sonrası görünümü.....	102
Şekil 4. 13 A50 numunesinin eğilme testi sonrası görünümü	102

Şekil 4. 14	PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımı sonuçları	104
Şekil 4. 15	Kompozit numunelerin özgül eğilme dayanımı sonuçları	106
Şekil 4. 16	PVC kompozit numunelerin elastisite modülü sonuçları	107
Şekil 4. 17	Kompozit numunelerin özgül elastisite modülü sonuçları	108
Şekil 4. 18	Kompozit numunelerin çekme deneyi sonrası görünümü	109
Şekil 4. 19	A50 ve BA50 numunelerin çekme deneyi sonrası görünümü	109
Şekil 4. 20	PVC kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları	111
Şekil 4. 21	Kompozit numunelerin özgül çekme dayanımı sonuçları	112
Şekil 4. 22	PVC kompozit numunelerin elastisite modülü sonuçları	113
Şekil 4. 23	Numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma gücü testi sonrası görünümü	114
Şekil 4. 24	Numunelerin yüzeye paralel çekme vida tutma gücü testi sonrası görünümü ..	114
Şekil 4. 25	PVC kompozit numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma gücü sonuçları	115
Şekil 4. 26	Numunelerin yüzeye dik çekme özgül vida tutma gücü sonuçları	116
Şekil 4. 27	PVC kompozit numunelerin yüzeye paralel çekme vida tutma gücü sonuçları ..	117
Şekil 4. 28	Numunelerin yüzeye paralel çekme özgül vida tutma gücü sonuçları	118
Şekil 4. 29	PVC kompozit numunelerin aşınma testi sonrası görünümü	119
Şekil 4. 30	PVC kompozit numunelerin aşınma kayıpları	120
Şekil 4. 31	PVC kompozit numunelerin izod darbe dayanımı sonuçları	121
Şekil 4. 32	Numunelerin özgül izod darbe dayanımı sonuçları	122
Şekil 4. 33	R numunesinin TGA analizi	123
Şekil 4. 34	B25 numunesinin TGA analizi	124
Şekil 4. 35	B50 numunesinin TGA analizi	124
Şekil 4. 36	BA25 numunesinin TGA analizi	125
Şekil 4. 37	BA50 numunesinin TGA analizi	126
Şekil 4. 38	BP25 numunesinin TGA analizi	126
Şekil 4. 39	BP50 numunesinin TGA analizi	127
Şekil 4. 40	C25 numunesinin TGA analizi	128
Şekil 4. 41	C50 numunesinin TGA analizi	128
Şekil 4. 42	D50 numunesinin TGA analizi	129
Şekil 4. 43	K25 numunesinin TGA analizi	130
Şekil 4. 44	K50 numunesinin TGA analizi	130
Şekil 4. 45	P25 numunesinin TGA analizi	131
Şekil 4. 46	P50 numunesinin TGA analizi	132
Şekil 4. 47	UK25 numunesinin TGA analizi	132
Şekil 4. 48	UK50 numunesinin TGA analizi	133

Şekil 4. 49 YFC25 numunesinin TGA analizi.....	134
Şekil 4. 50 YFC50 numunesinin TGA analizi.....	134
Şekil 4. 51 V25 numunesinin TGA analizi	135
Şekil 4. 52 V50 numunesinin TGA analizi	136
Şekil 4. 53 Saf PVC'nin TGA analizi (Vadukumpully ve ark., 2011)	137
Şekil 4. 54 Referans numunesinin SEM görüntüsü.....	139
Şekil 4. 55 A50 numunesinin SEM görüntüsü	139
Şekil 4. 56 BA50 numunesinin SEM görüntüsü	140
Şekil 4. 57 D50 numunesinin SEM görüntüsü	140
Şekil 4. 58 U50 numunesinin SEM görüntüsü	140
Şekil 4. 59 YFC50 numunesinin SEM görüntüsü	141



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2. 1 PVC'nin kullanım alanları (Titow, 1984).	37
Çizelge 2. 2 OPK'de kullanılan katkı maddeleri ve etkileri (Mali ve ark., 2003).....	41
Çizelge 2. 3 Odun ve plastiğin birbirine göre üstünlükleri.....	46
Çizelge 2. 4 OPK'lerin kullanım alanları	47
Çizelge 3. 1 PVC, Atık PVC ve referans PVC karışımının kimyasal özellikleri	61
Çizelge 3. 2 PVC ve atık PVC'nin fiziksel özellikleri	62
Çizelge 3. 3 Malzemelerin kimyasal özellikleri	63
Çizelge 3. 4 Malzemelerin fiziksel özellikleri	64
Çizelge 3. 5 Kimyasal katkıların kullanım oranları (%).....	65
Çizelge 3. 6 Kompozit numunelerin karışım oranları	67
Çizelge 4. 1 UL94'e göre dikey yanma sınıflama kriterleri (Tuzcu, 2010).	96
Çizelge 4. 2 PVC kompozit numunelerinin dikey yanma sonuçları.....	97
Çizelge 4. 3 PVC kompozit numunelerin lineer soğurma katsayıları	99
Çizelge 4. 4 PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımı testi sonuçları.....	103
Çizelge 4. 5 PVC kompozit numunelerin çekme dayanımı testi sonuçları	110
Çizelge 4. 6 TGA analizlerinden elde edilen veriler	137

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Atık PVC
AC	: Alternatif Akım
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
ASTM	: Amerikan Standardı
B	: Bor Cevher Atığı
BA	: Barit
BaSO₄	: Baryum Sülfat
B₂O₃	: Bor Oksit
BP	: Bazaltik Pomza
C	: Cam Tozu
CaO	: Kalsiyum Oksit
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
Cl	: Klor
D	: Diatomit
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
EN	: European Norm
FAO	: Gıda ve Tarım Organizasyonu
Fe₂O₃	: Demir Oksit
FTIR	: Fourier Dönüştürücü Kızılötesi Spektroskopisi
H	: Hidrojen
HCl	: Hidrojen Klorür

K	: Kuvars
K₂O	: Potasyum Oksit
keV	: Kilo Elektron Volt
MgO	: Magnezyum Oksit
MPa	: Mega Pascal
Na₂O	: Sodyum Oksit
nm	: Nano Metre
O	: Oksijen
OH	: Hidroksit İyonu
OPK	: Odun Polimer Kompozit
P	: Perlit
P₂O₅	: Fosfor Pentoksit
PbO	: Kurşun oksit
PE	: Polietilen
PS	: Polistiren
PP	: Polipropilen
PPS	: Polifenilin Sülfür
PVA	: Polivinilalkol
PVP	: Polivinilpirolidon
R	: Referans
SiO₂	: Silisyum Oksit
SO₃	: Kükürt Tri Oksit
SEM	: Scannig Elektron Microscope
TEM	: Transmisyon Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TS	: Türk Standardı
V	: Vermikülit

VCM	: Vinilklorür monomeri
UK	: Uçucu Kül
UV	: Ultraviole Radyasyon
XRD	: X-Işını Kırınımı Yöntemi
XRF	: X-Işını Floresans Spektrometresi
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
µm	: Mikron Metre
α	: Alfa
β	: Beta
γ	: Gama

1. GİRİŞ

Ahşap tarihin ilk çağlarından beri birçok farklı alanda kullanılan ağaç kökenli bir malzemedir. Bu malzemenin uzun yıllar boyunca tercih edilme sebebi; doğal, estetik ve hafif olmasıdır. Teknolojinin gelişmesi ve daha nitelikli ürünlere ihtiyaç duyulması sayesinde ahşap esaslı farklı ürünler ortaya çıkmıştır. Bu durum ahşap esaslı ürün çeşitliliğini artırmıştır. Son yıllarda ahşap; mobilya, kâğıt ve kereste sektörü gibi büyük işletmelerde hammadde olarak kullanılmaktadır (Youngs, 2001). Ahşabın birçok avantajı olmasına rağmen dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar;

- Kerestelerde mantar ve mikroorganizmaların bulunması,
- Ahşabın nemli ortamlarda su emme ve şişme oranlarının yüksek olması nedeniyle mekanik ve fiziksel özelliklerinin değişmesi,
- Yanıcı bir malzeme olması,
- Böceklenme ve kurtlanma nedeniyle şekil değişiklikleri meydana gelmesidir (Hill, 2006).

Orman kaynaklarındaki azalma, yangın, heyelan ve çevresel baskılar orman endüstrisinde ahşap dışı yeni kaynaklara yönelme ihtiyacı hissettirmiştir (Kabakçı, 2009).

Polimer ve polimer kökenli ürünler, günümüzde hem ürün çeşitliliği hem de üretim hacmi bakımından büyük gelişme göstermektedir. Kolay şekillendirilebilir, hafif ve korozyona dayanıklı olması gibi birçok özelliğe sahip bu malzemeler; elektronik cihazlarda, inşaat, tekstil, makine, uçak, otomobil ve orman ürünleri sanayisi gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1990 yılında dünyada polimer malzeme kullanımı 86 milyon ton iken, 2003 yılında ise 176 milyon tondur (Gökalp, 2006). 2018 yılında ise dünyada polimer kullanımı yaklaşık olarak 350 milyon tondur (Plastics Europe, 2018). 2012 yılında Türkiye’de polimer malzeme kullanımı 7,6 milyon ton iken 2018 yılında ise yaklaşık olarak 10,2 milyon tona ulaşmıştır (Pagev, 2016; Pagev, 2018). Polipropilen (PP), polietilen (PE) ve polivinil klorür (PVC) en çok kullanılan polimer hammaddeleridir. 2018 yılında dünyada en çok kullanılan polimer hammaddesi PP olmuştur ve toplam polimer kullanımının %19,3’ünü kapsamaktadır. PVC ise kullanım açısından 3. sırada yer alırken, dünyadaki toplam polimer kullanımının %10,2’sini oluşturmaktadır (Plastics Europe, 2018).

Günümüzde ileri teknoloji uygulamaları için sürekli olarak yeni ve nitelikli malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle ileri teknoloji ürünleri olarak kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin üretilmeye başlanmasından günümüze kadar, bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir. Kompozit malzemelerden biri de odun-polimer kompozitlerdir (OPK). PVC, PE, PP gibi polimerler ve dolgu malzemeleri OPK üretiminde kullanılabilir. Organik ve inorganik dolgu maddeleri kullanılarak üretilen OPK, ahşaba göre düşük su emme ve şişme değerlerine sahip olma avantajları taşımaktadır (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). Bu kompozitlerin maliyetinin düşürülmesi, fiziksel ve/veya mekanik özelliklerinin artırılması amacıyla mika, kalsiyum karbonat ve kil gibi inorganik materyaller kullanılmaktadır (Kabakçı, 2009). Ayrıca OPK'nin birçok özelliğini geliştirmek için kimyasal katkıları da kullanılmaktadır. İşleme yardımcılar, darbe ayarlayıcılar, kaydırıcılar, stabilizerler, ısı ve ışık kararlaştırıcılar, köpük oluşturmalar gibi birçok kimyasal katkı maddesi istenilen ürün özelliklerine göre kullanılmaktadır (Mali ve ark., 2003).

Gün geçtikçe OPK ürünlerinin kalitesi artmaktadır. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'ndeki birçok üniversitede OPK'nin özelliklerinin geliştirilmesi için çalışmalar yürütülmektedir (Gökalp, 2006; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). OPK'ler dış ortamda kullanım açısından ahşap esaslı ürünlere göre üstün özelliklere sahiptir. Bu üstün özelliği sayesinde OPK hem ahşap esaslı ürünlerin pazarlarında hem de dış mekânlarda kullanılan ürün pazarlarında da yerini almaya başlamıştır (Gökalp, 2006).

OPK ürünleri dünyada büyük bir pazar hacmine sahiptir. 2005 yılında bu pazarda Amerika'nın ürün miktarı yaklaşık olarak 700 milyon tona ve bu ürünlerin ekonomik değeri ise 1,3 milyar dolara ulaşmıştır (Karus, 2005). Ülkemizde OPK üretim ve teknolojisi açısından diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında endüstriyel boyutta herhangi bir ilerleme olmamıştır (Gökalp, 2006).

1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Dünya maden potansiyeli bakımından Türkiye, barit, kuvars, kalsit, pomza, perlit, diatomit ve vermikülit gibi madenlerde önemli miktarda rezerve ve bu ürünlerde yüksek rekabet gücüne sahiptir. Aynı zamanda sanayi gücünün yüksek olduğu Türkiye, sanayi yan ürünleri ve atıkları bakımından da yüksek bir potansiyele sahiptir (DPT, 2001).

Türkiye’de çok sayıda termik santral bulunmaktadır. Afşin-Elbistan termik santrali ise en büyük ve en fazla kül açığa çıkan termik santralidir. Afşin-Elbistan termik santralinin uçucu külü, sınıfsız bir kül olduğundan çimento ve beton üretimde kullanılamamaktadır (Tokyay, 1989; Tuğal, 1989; Mahyar ve Erdoğan, 2015). Bu külün tez çalışması kapsamında dolgu malzemesi olarak değerlendirilerek ekonomiye katkı sağlaması beklenmektedir. Bu çalışmadan elde edilecek olumlu sonuçlar doğrultusunda söz konusu külün ülke genelinde yeni bir alanda daha aktif bir şekilde değerlendirilmesine imkân sağlanması planlanmaktadır. Demir çelik fabrikalarının bir atığı olan yüksek fırın cürufu ve bor madeni çıkarılırken oluşan ve az oranda B_2O_3 içeren cevher atıkları da aynı amaçlarla değerlendirilmiştir. Ülkemizde bol miktarda bulunan bu atıkların değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır. Ayrıca Türkiye’de yıllık yaklaşık %30 oranlarında atık cam yeniden değerlendirilmektedir. Bu çalışmada cam tozu da kullanılarak bu oranın artırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada barit, kuvars, kalsit, pomza, perlit, diatomit, cam tozu, vermikülit, bor cevher atığı, Afşin-Elbistan uçucu külü ve yüksek fırın cürufu gibi dolgu malzemeleri içeren PVC esaslı kompozitler üretilmiştir. Aynı zamanda üretilen PVC kompozitler geri dönüşümlü olup tekrar kullanılabilir. Kullanılan dolgu malzemelerinin kendilerine has özellikleri, PVC ile birleştirilerek oluşacak kompozitlerin farklı mekanik ve fiziksel özellikleri ayrı ayrı deneysel olarak incelenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan birçok dolgu malzemesi PVC kompozitlerde kullanılmamış ya da üzerlerinde az sayıda çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak, rekabet gücü yüksek olan bu madenlerin değerlendirilmesi, atık malzemelerin değerlendirilmesi ve malzeme özelliklerine katkı noktasında elde edilecek sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde; bu tez çalışmasının literatüre, bilime, sanayi ve teknolojiye katkı sağlaması beklenmektedir.

1.2. Kaynak Özetleri

Bu çalışmada; barit, bor cevher atığı, cam tozu, kuvars, kalsit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, perlit, pomza, diatomit ve vermikülit katkılı PVC kompozitler üretilmiştir. Üretilen numunelerin mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalara bu bölümde yer verilmiştir.

Saad ve ark.(1999), çok çeşitli dolgu maddeleri kullanarak ürettikleri PVC kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri araştırmışlardır. Dolgu malzemeleri ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 oranlarında kullanılmıştır. PVC kompozitlere plastikleştirici olarak dioktil flatat ve

klorlu parafin ilave edilmiştir. Yangın geciktirici ve sertlik özelliklerini incelemek amacıyla alüminyum hidroksit, magnezyum hidroksit ve kalsiyum hidroksit gibi dolgu malzemeleri kullanılmıştır. Çekme dayanımı ve elektrik özelliklerini incelemek için; barit, kalsiyum karbonat, kaolin, kuvars ve talk gibi katkıları filler malzemesi olarak ilave edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; referans numuneye kıyasla alüminyum hidroksit, magnezyum hidroksit ve kalsiyum hidroksit içeren numunelerin yangın geciktirici özelliklerinin iyileştiği belirtilmiştir. Filler oranı arttıkça yangın geciktirici özelliğinin iyileştiği ve en iyi sonucu alüminyum hidroksit katkısının verdiği ifade edilmiştir. Shore sertliği incelendiğinde; hidroksit katkı oranı arttıkça daha yüksek sertlik değerleri verdiği ve en yüksek sertlik değeri %40 oranında magnezyum hidroksit katkılı numunede elde edildiği belirtilmiştir. Çekme özellikleri incelendiğinde; kuvars ve barit katkısı kalsit katkısına oranla daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Kalsiyum karbonatın en iyi dielektrik özelliklere (en yüksek geçirgenlik ve en düşük dielektrik kayıp) sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Wang ve ark. (2003), baryum sülfat katkılı PP kompozitlerinin ara yüzey özelliklerini mekaniksel olarak araştırmışlardır. PP'nin özel işlem görmüş baryum sülfat tanecikleri ile sertleştirilebildiği belirtilmiştir. Ara yüzey özellikleri iki aşamada incelenmiştir. İlk aşamada; ara yüzey bağ ayrılması oluşurken, yeterli oranda yapışma sağlanamadığı vurgulanmıştır. Ayrıca inorganik taneciklerin gerilme aktarımı yaptığı ve çatlakları dengelediği belirtilmiştir. Bağ ayrılması yoluyla matris kırıntılarının plastik deformasyonu sırasında gerilme koşullarını tamamladığı ifade edilmiştir. Diğer aşamada ise, PP matris ve dolgu taneleri arasındaki modifiye arayüz dolguların nükleasyon kabiliyetini artırdığı ve PP zincirlerinin hareketini engelleyici etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu durumun matris içinde daha mükemmel ve daha küçük taneli PP kristallerinin oluşumuna neden olduğunu ve bağ ayrılmasına bağlı olarak matrisin plastik deformasyonunu desteklediğini ifade etmişlerdir.

Kodal (2009), yapmış olduğu tez çalışmasında barit, kalsit, talk ve kaolin katkılı PP kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Dolgu malzemeleri PP polimerinden ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 oranlarında ikame edilmiştir. Kompozitlere sertlik, yoğunluk, çekme ve darbe testleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda; dolgu katkı oranı arttıkça yoğunluk değerlerinin arttığı ve en yüksek yoğunluk değerlerini barit katkılı numunelerin verdiği tespit edilmiştir. Dolgu oranı arttıkça sertlik değerlerinin arttığı ve en yüksek sertlik değerlerini kalsit katkılı numunelerin verdiği ifade edilmiştir. Katkı

oranı arttıkça çekme dayanımı değerlerinin düştüğü ve katkılar kıyaslandığında; barit ve kalsit katkılarının diğer katkılara göre daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Darbe dayanımı değerlerinin katkı oranı arttıkça düştüğü ifade edilmiştir.

Baydar (2016), yapmış olduğu tez çalışmasında; farklı dolgu malzemeleri kullanarak ürettiği PVC kompozitlerin termal, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. PVC kompozitlerde ağırlıkça farklı oranlarda kalsiyum karbonat ve %6, 9, 12, 15 oranlarında barit, karbon siyahı, kaolin ve yer fıstığı gibi katkılar filler malzeme olarak ilave edilmiştir. Kalsiyum karbonat katkısı referans numune dolgu malzemesi olarak belirlenmiştir. Kompozitlere yoğunluk, kalıcı termal uzama, termal stabilite, vicat yumuşama sıcaklığı, soğukta darbe mukavemeti, charpy darbe mukavemeti, sertlik deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda barit oranı arttıkça; kalıcı termal uzama değerlerinin azaldığı, yoğunluk değerleri, termal stabilite süreleri, vicat yumuşama sıcaklığı değerleri ve sertlik değerlerinin ise arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca soğukta darbe mukavemeti testi yapıldıktan sonra numunelerde kırılma oluşmadığı belirtilmiştir. Baryum sülfat, karbon siyahı, kaolin ve yer fıstığı gibi dolgu malzemeleri kullanılarak üretilen kompozitlerin yüksek darbe dayanımı gerektirmeyen durumlarda kullanımının uygun olduğu ifade edilmiştir.

Ağrılı (2001), baritin dünya pazarında kullanım alanlarını ağırlıklı olarak sondaj (%90), kimya (%7) ve dolgu (%3) sektörü olduğunu belirtmiştir. Barit yüksek özgül ağırlığından dolayı zemin kaplamasında, radyasyonu zırlama malzemesi olarak ve sesin şiddetini azaltmada kullanılmaktadır (Gachter ve Müller, 1993; Akgün ve ark., 2007; Kılınçarslan ve ark., 2007; Akkurt ve ark., 2008).

Özorak (2014), yaptığı tez çalışmasında bor atığı katkılı doymamış epoksi reçine kompozitler üretmiştir. Kompozitlerde ağırlıkça %10, 20, 30, 40, 50 ve 60 oranlarında bor atığı kullanılmıştır. Referans numunede dolgu malzemesi olarak %10-60 oranlarında kuvars katkısını kullanmıştır. Numunelerin viskozite, su emme, aşınma, sertlik, çekme, darbe, basınç gibi özellikleri incelenmiştir. Bor atığı katkılı numunenin, kuvars katkılı numuneye göre yaklaşık 15 kat daha yüksek viskozite değerine sahip olduğunu belirtmiştir. Bunun nedeni olarak bor atığının yüksek yüzey alanına sahip olması ifade edilmiştir. Kuvars katkılı numunelerin sertlik değerlerinin, bor atığı katkılı numunelere oranla daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. %20-60 oranlarında kuvars ve bor atığı katkılı kompozitlerde; katkı miktarının artmasıyla çekme dayanım değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Basınç dayanımı değerlerinin bor atığı oranının artmasıyla arttığı belirtilmiştir. %20 oranında bor

atığı katkılı kompozit numunede en yüksek dayanım değeri elde edilmiştir. Kuvars katkılı kompozitlerde ise miktarın artmasıyla dayanımda azalmalar olduğu ifade edilmiştir. Su emme ve boşluk oranı incelendiğinde; kil esaslı bor atığının daha fazla su emdiği ve daha fazla boşluk içerdiği belirtilmiştir. Aşınma açısından iki malzemenin birbirine benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Korozyon sonuçları incelendiğinde; asidik ortamlara karşı bor katkılı numunelerin daha iyi direnç gösterdiği ve kuvars katkılı kompozitlere göre daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir. Bor atığı taneciklerinin homojen bir şekilde reçine içerisinde dağıldığı tespit edilmiştir. Kuvarsta ise çökelmeler olduğu belirtilmiştir.

Akgün (2015), yaptığı tez çalışmasında çeşitli B_2O_3 içeriğinde susuz boraks, kalsine tinkal, yoğunlaştırılmış tinkal ve öğütülmüş kolemanit katkılı doymamış polyester kompozitler üretmiştir. Doymamış polyester kompozitlerde ağırlıkça %2, 5 ve 10 bor mineralleri kullanılmıştır. Numunelere fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), termogravimetrik analizi (TGA), dinamik mekanik analizi (DMA) ve taramalı elektron mikroskopu analizi (SEM) gibi testler uygulanmıştır. Mekanik etkileri incelendiğinde; en iyi sonuçları %68 oranında B_2O_3 içeren boraks katkılı numunede elde edilmiştir. Boraks katkısı düşük oranlarda kullanıldığında mekanik etkilerin iyileştiği ve yüksek oranlarda kullanımında ise mekanik etkilerin azaldığı belirtilmiştir. FTIR incelemesinde, özellikle yüksek oranlarda polistiren oluşumu ve oksitlenme tepkimeleri olduğu tespit edilmiştir. Yüksek oranlarda, katkısız poliester reçinenin camsı geçiş sıcaklığını $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $74\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselttiği belirtilmiştir. TGA sonuçlarına göre; kompozitlerin termal kararlılığı, polyester zincirler ile mineraller arasında kimyasal bağ bulunmaması sebebi ile termal stabiliteyi önemli ölçüde değiştirmediği ifade edilmiştir. SEM taramaları incelendiğinde; katkı oranı arttıkça topaklanma olduğu tespit edilmiştir.

Güzel ve ark. (2016), kolemanit ve üleksit katkılı epoksi kompozitlerin özelliklerini araştırmışlardır. Bor minerallerini ağırlıkça %3, 5, 10 ve 20 oranlarında kullanılmıştır. X-ışını kırınımını (XRD), SEM ve TGA gibi test yöntemleri ile kompozitlerin içyapı ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Ayrıca vicat yumuşama sıcaklığı, su emme, çekme, elastisite modülü ve sertlik testleri de numuneler üzerine uygulanmıştır. Çekme özelliklerinin sertleştirici katkı eklendiğinde iyileştiği belirtilmiştir. %5 oranında katkı ilave edildiğinde yüksek çekme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Katkı oranı arttıkça çekme dayanımının azaldığı belirtilmiştir. Elastisite modülünün çekme dayanımına paralel sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Kolemanit ve üleksit katkılarının da benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Sertlik özellikleri incelendiğinde; mineral oranı arttıkça sertlik

değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Mineral oranı arttıkça vicat yumuşama sıcaklığının azaldığı ve yoğunluk değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Referans numuneye göre katkı miktarı arttıkça su emme oranının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Minerallerin mükemmel korozyon direnci ve güçlü yapışma özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir. TGA grafikleri incelendiğinde; kolemanitin referans numuneye göre termal özelliklerinin iyileştiği ve üleksit katkısından daha iyi bir sinerjistik etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Kompozitlerin, soğuk ortamlarda direncinin oldukça yüksek çıktığı belirtilmiştir. Kompozitlerin inşaat, kaplama, döşeme vb. birçok endüstriyel alanda başarılı bir şekilde değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

Bor minerallerinin inşaat, çimento, cam, kimya, enerji, metalürji, seramik ve ilaç gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Bor atıkları ise çimento (%24), tuğla (%30), emaye, silika refrakter ve seramik (%40) sanayisinde yeniden değerlendirilmektedir (Demirel ve ark., 2017).

Kansu (2005), yapmış olduğu tez çalışmasında cam küre, kalsiyum karbonat ve talk katkılı PP kompozitlerin; ısı, fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Bu katkı malzemeleri PP yerine ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 oranlarında ikame edilmiştir. Numunelerin vicat yumuşama, erime akış, yoğunluk, setlik, eğilme ve darbe dayanımı özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; tüm katkılar incelendiğinde katkı oranı arttıkça yoğunluk değerlerinin arttığı ve katkılar içinde en düşük yoğunluk değerini cam küre katkısının verdiği tespit edilmiştir. Cam küre ve kalsitin küresel şekilli olması sebebi ile talktan daha yüksek akış değerleri verdiği belirtilmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde; katkı oranı arttıkça tüm dolguların sertlik değerlerinin arttığı ve en iyi sertlik değerini kalsit dolgusunun verdiği ifade edilmiştir. Kalsit katkısı vicat yumuşama sıcaklığı, ısıyla deformasyon sıcaklığı ve elastisite özelliklerinin iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kalsitin en belirgin özelliğinin yüksek darbe dayanımına sahip olduğu ifade edilmiştir. Kalsit katkı oranı arttıkça; darbe dayanımı değerlerinin arttığı ve cam küre katkı oranı arttıkça; darbe dayanımı değerlerinin düştüğü belirtilmiştir. Cam küre oranı arttıkça vicat yumuşama sıcaklık değerinin arttığı ve ısıyla deformasyon sıcaklık değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Kalsit ve cam küre oranı arttıkça eğilme dayanımı değerlerinin düştüğü fakat elastisite değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Kalsitin cam küreye oranla daha iyi eğilme dayanımı değerleri verdiği tespit edilmiştir.

Janjus ve ark. (2012), atık cam tozu katkılı atık PP kompozitlerin tokluk özelliklerini incelemiştir. Bu amaçla 0,5 mm'den küçük tane boyutlu cam tozu %5, 10, 15, 20, 25 ve

30 oranlarında kullanılmıştır. %10, 20 ve 30 oranlarında cam tozu ve PP karışımı öğütölüp yeniden kompozit üretimi yapılmış ve altı kez geri dönüşüm işlemi yapılan kompozitlerin darbe dayanımı etkileri incelenmiştir. Cam tozunun katkı oranının darbe dayanım değerlerini değıştirmediği ve referans numunesinin darbe dayanım değerinden düşük çıktığı belirtilmiştir. Cam tozunun, altı kez tekrar kullanmasıyla bileşenlerin ayrılmadığını ve darbe mukavemeti özelliklerinin önemli ölçüde değışmeden geri dönüştürüleceğı tespit edilmiştir. Bu durumun ekonomik açıdan büyük katkı sağlayacağı ifade edilmiştir.

Heriyanto ve Sahajwalla (2018), PP (%40) ve talaş (%60) içeren odun polimer köpük kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerde talaş yerine ağırlıkça %5-30 oranlarında cam tozu kullanımının fiziksel ve mekanik etkileri araştırılmıştır. Ürettikleri kompozitlerin yangın dayanımı, 24 saatlik su emme ve kalınlık artışı oranı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü ve sertlik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; eğilme dayanımı incelendiğinde; %10 cam tozu katkısı ile en yüksek eğilme dayanımı elde edildiğı ve referans numuneye göre %6,5 oranında eğilme dayanımının daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca cam tozu oranı (%15-30) arttıkça eğilme dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir. Cam tozu ilavesiyle elastisite modülü değerleri 2,584-5,271 GPa arasında çıktığı belirtilmiştir. Cam tozu oranı arttıkça elastisite modülü ve yoğunluk ($0,9-1,27 \text{ g/cm}^3$) değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Elastisite modülü değerleri arttıkça uzama değerlerinin düştüğü belirtilmiştir. Cam tozu oranı arttıkça su emme (%13,8-17,3) ve kalınlık şişme oranının (%1,4-0,9) azaldığı tespit edilmiştir. Cam tozu oranı arttıkça yanma karakteri özelliklerinin iyileştiğı ifade edilmiştir.

Savcı ve Dikmen (2015), camı; beton üretiminde, agrega, dolgu malzemesi ve puzolanik katkı olarak kullanmışlardır. Şerit ve yol kaplamalarında kullanılan boyalara cam tozu ilave edilmesiyle trafik işaretlerinin gece daha parlak gözüktüğünü ifade etmişlerdir. Ayrıca cam tozlarının asfalt beton kaplama karışımlarında filler malzeme olarak kullanıldığını belirtmişlerdir.

Namie ve ark.(2011), alüminyum oksit ve kuvars ile güçlendirilmiş epoksi polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 120 μm tane boyutunda alüminyum oksit (Al_2O_3) ve 60 mikron tane boyutunda kuvars katkıları %20, 30 ve 40 oranlarında kullanılmıştır. Numunelerin çekme, eğilme, basınç, darbe ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; kuvars ve Al_2O_3 oranı arttıkça çekme dayanımı değerlerinin arttığı ve elastisite modülü değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı incelendiğinde; Al_2O_3 oranı arttıkça dayanım değerlerinin arttığı belirtilmiştir.

%20 ve 30 oranlarında kuvars katkısı, eğilme dayanım değerlerini artırdığı ve %40 katkı oranında ise eğilme dayanım değerini azalttığı tespit edilmiştir. Kuvars ve Al_2O_3 oranı arttıkça basınç dayanımının, darbe dayanımının ve sertlik değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Al_2O_3 katkısının kuvars katkısından daha iyi performans sergilediği ifade edilmiştir.

Ateş and Barnes (2012), sertleştirme işlem sıcaklığının polyester reçine kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlar. Bu amaçla, kompozit yapıda dolgu malzemesi olarak kuvars seçilmiştir. %72-86 oranlarında kuvars katkı kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklarda kürlenmiş kompozit malzemenin farklı yüklerde basınç dayanımı özellikleri incelenmiştir. Yüksek sıcaklıkta ürettikleri numunelerin basınç dayanımı değerleri, oda sıcaklığında ürettikleri numunelerin basınç dayanımı değerlerine kıyasla genellikle daha düşük olduğu belirtilmiştir. En yüksek basınç dayanımı değerini 50 °C’de %78 kuvars katkılı ve 75 °C’de %72 kuvars katkılı kompozitlerde elde etmişlerdir. İdeal kürlenme sıcaklığının 75 °C olduğu ifade edilmiştir.

Balaga ve ark. (2015), kuvars kumu ve cam elyaf katkılı Polyamid-6 kompozitlerin mekanik ve içyapı özelliklerini incelemişlerdir. Katkılar ikili ve tekli olarak kullanılmıştır. Katkılar, ikili karışımlar için %7,5 ve 15, tekli karışımlar için %15 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Numunelerin çekme ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Çekme dayanımı incelendiğinde; referans numunesinin çekme dayanımı 42 MPa, %15 oranında kuvars katkılı numunenin çekme dayanımı 44 MPa ve %30 oranında kuvars katkılı numunenin çekme dayanımı 35 MPa değerlerini verdiği belirtilmiştir. Cam fiber katkısı oranı arttıkça çekme dayanımı değerlerinin arttığı tespit etmişlerdir. Kuvars ve cam fiber oranı arttıkça sertlik değerlerinin arttığı ve katkı türüne göre incelendiğinde benzer sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Yüksek saflıktaki kuvarsların optik, elektronik ve elektrik gibi kullanım alanları bulunmaktadır. Ayrıca kuvars öğütüldüğünde, cam, beton, deterjan, zımpara, boya, seramik, dolgu ve metalurji alanlarında da kullanılmaktadır (DPT, 2001).

Xie ve ark. (2004), PVC/kalsit nano kompozitlerini kalsit nano parçacıkları varlığındaki vinil klorürü in situ polimerizasyon ile sentezlemişlerdir. Numunelerin reolojik, termal ve mekanik özelliklerini DMA, TGA, kapiler reolojisi, darbe ve çekme testleri ile incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; kalsit nano parçacıklarının PVC matrisin içerisinde ortalama %5’lik kısmının vinil klorür in situ polimerizasyon aşamasında düzenli dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Kalsitin PVC fazının, uzun zincir hareketlerini kısıtlaması

sonucu termal bozunma olduğu ve camsı geçiş sıcaklıklarını yükselttiği belirtilmiştir. Kúresel nano boyutlu parçacıklarının bilye etkisi ile eridiği numunelerin viskozite değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. Bu durum numunelerin kayma gerilimi arasındaki viskozite hassasiyetinin saf PVC'den daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Aynı zamanda saf PVC'ye oranla daha sert, tok özellikler gösterdiği belirtilmiştir. Elastisite modúlü, maksimum gerilme kuvveti, kırılmadaki uzama ve çentikli charpy dayanımı enerjisinde yaklaşık %5 oranda ideal özelliklere ulaşıldığı ifade edilmiştir. Darbe ve çekme sonrası kalsitin gerilme arttırıcı olarak nano parçacıklar çevresindeki matrisin bozulmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Zhang ve ark. (2004), nano kalsit katkılı izotaktik propilen kompozitler üretmişlerdir. Nano kalsit parçacıklarının propilen matris içerisinde zayıf bir dağılım gösterdiği belirtilmiştir. Az miktarda iyonik olmayan ayarlayıcı katkı kullanımı, kalsit parçacıklarının dağılımını geliştirdiği ifade edilmiştir. Kompozitlerin içyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kalsit parçacıklarının varlığı kúresel kristallerin oluşum hızını yavaşlattığı ve β -formunda propilenin oluşumunu başlatması sebebi ile küçük ve kusurlu propilen kristallerinin oluşumuna neden olduğu belirtilmiştir. Propilen/kalsit kompozite sadece %1,5'lik ayarlayıcı katkı eklendiğinde çekme özellikleri değişmediği ama izod darbe dayanımı değerlerini önemli oranda arttırdığı ifade edilmiştir.

Demir ve ark. (2008), köpük PVC kompozit karışımına ağırlıkça %2,5, 5, 10 ve 20 oranlarında kalsit ve zeolit ekleyerek fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Ürettikleri kompozitlerin yoğunluk, su emme ve basınç dayanımı etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; zeolit ve kalsit oranı arttıa teorik yoğunluk değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Zeolit ve kalsit katkısının deneysel yoğunlukları incelendiğinde; %2,5 ve 10 oranlarında yoğunluk değerlerini azalttığı, %5 ve 20 oranlarında ise yoğunluk değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Kalsitin zeolite göre daha fazla yoğunluk değerlerine sahip olduğu ifade edilmiştir. %2,5, 5 ve 10 oranlarında zeolit katkısının toplam boşluk hacmini arttırdığı ve %20 oranında katkının ise toplam boşluk hacmini azalttığı belirtilmiştir. Kalsit oranı arttıa toplam boşluk hacminin azaldığı ifade edilmiştir. Saf PVC köpük kompozitin basınç dayanımı ve elastisite modúlü değerleri sırasıyla 7,29 MPa ve 2,2 MPa çıkmıştır. Zeolit ve kalsit katkı oranları arttıa basınç dayanımı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Zeolit ve kalsit katkılı örneklerin tamamının elastisite modúlü değerleri, referans numunesinin elastisite modúlü değerinden daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Zeolitin kalsite göre daha iyi mekanik değerlere sahip

olduğu ifade edilmiştir. Zeolit ve kalsit katkılı PVC köpüklerin sert bir yapıya sahip olması nedeniyle sandviç panellerde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Maged ve ark. (2004), kalsiyum karbonatın genellikle plastik bazlı mobilya, boru, otomotiv gibi birçok alanda doğal öğütülmüş veya kaplanmış olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Arslan (2001), kalsiyum karbonatın genellikle PVC, poliamid ve PP gibi polimerlerde doğal malzemesi olarak kullanıldığını belirtmişlerdir.

Uçucu küller yaygın olarak çimento ve inşaat sanayinde kullanılmaktadır. Kimya, seramik, cam, döküm-metal sanayi, zemin stabilizasyonu, sondaj, buzlanmanın önlenmesi ve maden alanında filler malzemesi olarak farklı kullanım alanları da bulunmaktadır. Afşin-Elbistan uçucu külü dışında diğer uçucu küller genel olarak TS 639'da belirtilen sınır değerlere uygun olduğu için çimento ve inşaat alanında kullanılmaktadır. Afşin-Elbistan uçucu külü ise standart dışı kül olduğundan kullanılmamaktadır (Aruntaş, 2006; Temiz ve ark., 2009). Bu kül yüksek CaO ve SO₃ içeriği nedeni ile de kullanılamamaktadır. Ayrıca Afşin-Elbistan termik santrali Türkiye'nin en büyük termik santralidir ve yılda 3 milyon ton uçucu kül çıkmaktadır (Mahyar ve Erdoğan, 2015; Şahin ve ark., 2015).

Sayhan (2010), yapmış olduğu tez çalışmasında PVC plastisollere uçucu külün dolgu malzemesi olarak kullanımının uygunluğunu araştırmıştır. Soma uçucu kül katkısı ağırlıkça %4,8, 9,1 ve 13,1 oranlarında dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca kalsit katkısını referans numunesinin dolgu malzemesi olarak belirlenmiştir. Kalsit katkısı ağırlıkça %4,8, 9,1 ve 13,1 oranlarında kullanılmıştır. Numunelerin mikroyapı, reoloji ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; soma uçucu külü katkı oranı arttıkça yüzey sertlik değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Kalsit oranı arttıkça çekme dayanımı değerlerinin arttığı ifade edilmiştir. %4,8 ve 9,1 oranlarında uçucu kül katkısı çekme dayanımı değerlerini artırdığı ve %13,1 oranında ise uçucu kül katkısı çekme dayanımı değerini azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca uçucu kül katkılarının içerisinde en yüksek çekme dayanımı değerini %9,1 oranında katkılı numunede elde edilmiştir. Uçucu kül etkisinin karıştırma hızı, sıcaklık ve konsantrasyona göre farklı özellikler gösterdiğini vurgulamıştır. Uçucu kül katkısının PVC plastisoller için dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Khoshnoud ve ark. (2014), C sınıfı ve F sınıfı uçucu kül katkılı sert PVC köpük kompozitlerin mikroyapı, mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Farklı tip uçucu kül katkıları ağırlıkça %6 ve 40 oranlarında kullanılmıştır. Kompozitlerin DMA, TGA,

diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), SEM gibi termal ve içyapı özellikleri incelenmiştir. Aynı zamanda numunelere yoğunluk, eğilme ve çekme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Çalışmanın sonunda; C sınıfı uçucu külün PVC matris ile daha iyi etkileşime girdiği ve F sınıfı uçucu külle kıyasla PVC köpük kompozitlerin özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği belirtilmiştir. C sınıfı uçucu kül katkılı numunelerin yoğunluk değerleri, F sınıfı uçucu kül katkılı numunelerin yoğunluk değerlerine oranla düşük çıktığı ifade edilmiştir. Bu durumun F sınıfı uçucu kül katkısı PVC matris içerisinde daha iyi dağılım göstermesi ve PVC matris ile etkileşime girmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Uçucu kül tipinin sertlik değerlerini değiştirmediği tespit edilmiştir. C sınıfı kül içeren kompozitlerin F sınıfı uçucu kül katkılı kompozitlere göre çekme ve eğilme mukavemeti ve elastisite modülü değerlerinin daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Bu durumun matris ile kül arasında daha iyi bir ara yüzey etkileşimi olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. C sınıfı külün F sınıfı külle oranla daha yüksek darbe dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Sushma ve Kumar (2014), yaptıkları çalışmada uçucu kül katkılı PVC kompozitlerin çekme ve sertlik özelliklerini incelemişlerdir. Uçucu külü ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında PVC'den ikame edilmiştir. Çekme özellikleri incelendiğinde; %20 oranına kadar uçucu kül katkısı kullanılması durumunda çekme dayanımı değerlerini artırdığı ve %30 oranında uçucu kül katkısı kullanıldığında ise çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Aynı zamanda uçucu kül içeren numunelerin tamamının çekme dayanımı değerleri, referans numunesinden yüksek olduğu belirtilmiştir. Vickers sertliği incelendiğinde; çekme dayanımına paralel sonuçlar elde edilmiş ve tüm katkı oranlarının referanstan daha yüksek çıktığı ifade edilmiştir.

Khoshnoud ve Abu-Zahra (2018), yaptıkları çalışmalarda farklı inceliklerdeki uçucu kül içeren köpük PVC kompozitlerin içyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 25 ve 50 µm tane boyutlarındaki uçucu kül ağırlıkça %10 oranında kullanılmıştır. Ayrıca referans numunesinde dolgu malzemesi olarak elenmemiş uçucu kül kullanılmıştır. Kompozitlerin X-ışını floresans spektrometresi (XRF), çekme, DMA ve sertlik etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; 25 µm boyutunda uçucu külün kimyasal analizinde CaO oranını artırdığı ve 50 µm boyutunda ise SiO₂ oranını artırdığı tespit etmişlerdir. Çekme özellikleri incelendiğinde; referans numuneye göre 25 µm boyutunda uçucu kül katkılı numunenin çekme dayanımı değerinin arttığı ve 50 µm boyutunda uçucu katkılı numunenin ise çekme dayanımı değerinin düştüğü belirtilmiştir. PVC/uçucu kül kompozitlerin performansının

parçacık boyutu ile ilişkili olmadığı ifade edilmiştir. SiO₂ ve CaO, uçucu kül katkılı kompozitlerin özelliklerini arttırmada en etkili malzemenin metal oksitler olduğu belirtilmiştir. Küçük boyutlu uçucu kül katkılı kompozitler, yüksek yüzey alanlarının yanı sıra yüksek kalsiyum ve silikon oksit içeriği nedeniyle daha iyi mekanik ve viskoelastik performans ve mikro yapısal özellikler sergilediği belirtilmiştir.

Pradeep (2015), cam fiber ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu katkılı epoksi polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Ortalama 5 nm büyüklüğünde öğütülmüş yüksek fırın cürufunu %5, 10 ve 15 oranlarında kullanmıştır. Numunelere çekme, eğilme, basınç, darbe ve sertlik testleri uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre; yüksek fırın cürufu katkı oranı arttıkça mekanik özelliklerin arttığı ve aynı zamanda yüksek fırın cürufunun bu yüzdeleri arasında %15'e sahip olan numunenin en yüksek özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. %15 oranında cüruf kullanıldığında; çekme dayanımını %35 oranında, basınç dayanımını %45 oranında, eğilme dayanımını %44 oranında ve sertlik değerini %313 oranında arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca izod darbe dayanımını %104 oranında ve charpy darbe dayanımını %23 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.

Güneş ve ark. (2017), öğütülmüş yüksek fırın cürufu katkılı epoksi polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunu ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 oranlarında kullanmışlardır. Numunelere aşınma, shore sertliği ve yüzey pürüzlülük testleri uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre; sertlik ve yüzey pürüzlülüğü değerleri yüksek fırın cürufu oranı arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Katkı oranı arttıkça aşınma oranının azaldığı ifade edilmiştir. Sonuç olarak; yüksek fırın cürufunun, epoksi bazlı polimer kompozitlerde bir katkı maddesi olarak kullanılmasının, aşınma direnci, sürtünme katsayısı ve yüzey kalitesinde belirgin bir iyileşme olduğu belirtilmiştir.

Zhang ve ark. (2018), %20 oranında kalsiyum sülfat lifi içeren köpük PVC kompozit karışımına ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranlarında propenoik asit boya cürufu eklenerek fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Ürettikleri kompozitlerin kimyasal yapısı, ısı direnci, görünür yoğunluk ve basınç dayanımı gibi fiziksel ve mekanik etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; cüruf katkısının siyano grupları, üre, biuret ve amid bağlantılarının nisbi oranlarını ayarlayarak iç içe geçen polimer ağını değiştirdiği gözlemlenmiştir. %10 oranında cüruf içeren kompozitin TGA analizinde bir bükülme noktası olduğu, %50 oranında ağırlık kaybı ve 389,3 °C'den 416,2 °C'ye kadar artan bozulma sıcaklığı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, cüruf kullanımı daha büyük köpük sertliği sağlayan küçük ve homojen hücresel yapılar oluşturduğu belirtilmiştir. Her ne

kadar cüruf ilavesi daha yüksek yoğunluklu kompozit numuneler üretilse de, referans numuneye kıyasla basınç dayanımında 0,6 ila 3,5 kat bir iyileşme olduğu ifade edilmiştir.

Mattausch ve ark. (2014), genleştirilmiş perlit katkılı PP kompozitlerin morfolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ortalama 0,5 ve 0,15 mm tane boyutlarında iki farklı perliti ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranlarında kullanılmıştır. Numunelerin çekme dayanımı ve içyapı özellikleri incelenmiştir. Genleşmiş perlitin eklenmesiyle sertleşme meydana geldiğinden Young modülünün önemli oranda arttığı belirtilmiştir. Çekme dayanımı incelendiğinde; referans numuneye göre düşük çıktığı ifade edilmiştir. Katkıların tane boyutlarındaki farkı, çekmede elastisite modülü değerlerini değiştirmedeği belirtilmiştir. Perlit katkısı, %10 oranlarına kadar kullanıldığında çekme dayanımı değerlerini artırdığı ve %15 oranında kullanıldığında ise çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü ifade edilmiştir. Kompozitlerde dolgu malzeme seçiminde, daha küçük tane boyutu (içyapı) ve yeterli ara yüzey yapışma olmasına dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Altuntaş ve ark. (2017), perlit tozu katkılı PP katkılı kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Perlit tozu ağırlıkça %10, 15 ve 20 oranlarında kullanılmıştır. Numunelerin çekme dayanımı, çekmede elastisite modülü, eğilme dayanımı, eğilmede elastisite modülü ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Perlit oranı arttıkça eğilme ve çekme dayanımı değerlerinin azaldığı ve elastisite modülü değerleri arttığı belirtilmiştir. Katkı oranı arttıkça sertlik değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Perlit katkısı, kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştirebileceği ifade edilmiştir. Eğilme ve çekme dayanım değerleri incelendiğinde; kompozit numunelerin dayanım değerlerinde düşüş olduğunu belirtilmiştir. Elastisite modülü değerinde %60'a varan artışlar olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonunda; kompozit üretiminde perlitin katkı olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Spoerk ve ark. (2017), genleştirilmiş perlit katkılı PP kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ortalama 20 ve 80 µm tane boyutlarında iki farklı perlit katkıları ağırlıkça %7,5, 15, 22,5 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Numunelerin çekme dayanımı, çekmede elastisite modülü, rötre ve içyapı özellikleri incelenmiştir. 20 µm tane boyutuna sahip perlit katkısı %30 oranında kullanımı ile referans numuneye kıyasla büzülmede %34'lük önemli bir azalma olduğu belirtilmiştir. 2 farklı katkı türünün kompozitlerin içerisine iyi dağıldığı ifade edilmiştir. Çekme dayanımı incelendiğinde; 80 µm tane boyutuna sahip perlit katkılı numunelerin çekme dayanımı değerleri referans numuneye oranla daha düşük çıktığı belirtilmiştir. 20 µm tane boyutuna sahip perlit katkılı numunelerin çekme dayanımı değerleri ise referans numunesine yakın sonuçlar verdiği

ifade edilmiştir. Ayrıca en yüksek çekme dayanımı değerini %20 oranında ve 20 µm tane boyutuna sahip perlit katkılı numunede elde edilmiştir. Numunelerin tamamının elastisite modülü değerleri, referans numunesinin elastisite modülü değerinden yüksek çıktığı belirtilmiştir.

Şahin ve ark. (2014), pomza katkılı polifenilin sülfür (PPS) kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Pomza ağırlıkça %1, 3, 5 ve 10 oranlarında kullanılmıştır. Termal özellikler, TGA ve DSC yöntemleri ile incelenmiştir. Ayrıca, sertlik, çekme dayanımı gibi mekanik özellikler de incelenmiştir. Çekme dayanımı incelendiğinde; saf PPS'ye kıyasla pomza katkılı kompozitlerin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, %5 oranında pomza katkılı kompozitlerde en yüksek çekme dayanımı değeri elde edilmiştir. %10 oranında katkı %5 oranına göre daha az çekme dayanımı değeri ve saf PPS'den daha yüksek dayanım değeri bulunmuştur. Pomza oranı arttıkça sertlik değerlerinin arttığı belirtilmiştir. TGA analizinde, PPS matrisine pomza eklenmesinin bozunma sıcaklıkları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ifade edilmiştir. Öte yandan, pomza ilavesiyle maksimum bozunma sıcaklığının arttığı belirtilmiştir.

Akkuş ve ark. (2016), pomza ve talaş katkılı PP kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Pomza katkısı hacimce %10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında talaş yerine kullanılmıştır. Numunelere su emme, kalınlık artışı ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda; talaş yerine pomza kullanıldığında, artan katkı miktarı, kompozitlerin kalınlık artışı ve su emme değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. Referans numune karşılaştırıldığında, %50 pomza katkısı %86 oranında daha az su emdiği belirtilmiştir. Talaş katkısının su emme değerinin pomza katkısından daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. 28 günlük şişme miktarları incelendiğinde; kompozitlerin %0-2 arasında değişmekte olduğu ve referansa göre %50 pomza katkısı %138 oranında daha az kalınlık artışı görüldüğü belirtilmiştir. Artan pomza miktarına bağlı olarak eğilme dayanımı düştüğü ve referans numuneye göre %48 oranında daha az eğilme dayanımı elde edildiği ifade edilmiştir. Bu bulgulara göre, pomzanın polimer kompozit üretiminde dolgu olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Ramesan ve ark. (2016), pomza katkılı Polivinilalkol/Polivinilpirolidon (PVA/PVP) kompozitlerin morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Pomza katkısı ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında kullanılmıştır. Numunelere FTIR, ultraviyole (UV), XRD, SEM, DSC, TGA analizleri yapılmış, çekme dayanımı ve elektriksel etkileri incelenmiştir. XRD sonucuna göre; pomza parçacıklarının polimer zinciri ile etkileşimi nedeniyle kompozitin

dağınık yapısının azaldığı tespit edilmiştir. Pomza katkı oranı arttıkça kompozitlerin termal stabilitesi artmıştır. Alternatif akım (AC) elektriksel iletkenlik, dielektrik sabiti ve pomza yüklü PVA/PVP'nin dielektrik kayıp faktörü, farklı yüklerde frekansın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Pomzanın elektriksel özellikleri, %10 oranına kadar arttığı ve daha sonra iletkenlik ve dielektrik özelliklerin azaldığı belirtilmiştir. Pomza katkılı numunelerin iletkenlik değerinin daha yüksek olması, polimer-dolgu maddesi etkileşiminin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Pomza oranı arttıkça kompozitlerin çekme dayanımı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Katkılı kompozitlerin mekanik, ısı ve elektriksel özellikleri verilerine göre, elektronik cihazlarda hassas membran, sensör ve koruyucu malzeme olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Pomzanın gözenekli yapısı nedeniyle düşük yoğunluk değerlerine sahiptir. Bu sebeple yüksek ısı ve yangın yalıtım özellikleri göstermektedir. Aynı zamanda kimyasallara dayanıklıdır. Bundan dolayı endüstriyel uygulamalarda giderek daha fazla tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir (Kitiş ve Kaplan, 2007; Ersoy ve ark.,2010; Felekoğlu, 2012; Nozahic ve ark.,2010).

Liang (2009), farklı inceliklerde öğütülmüş diatomit katkılı PP kompozitlerin darbe ve içyapı özelliklerini incelemiştir. 5, 7 ve 13 µm inceliğinde öğütülmüş diatomit %5, 10 ve 15 oranlarında kullanılmıştır. İzod ve charpy testleri numunelere uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre; %5 oranında diatomit katkısı, çentikli darbe kuvveti (U çentikli, V çentikli, dar genişlikte V çentikli ve geniş çentikli örnekler dahil), doğrusal bir hızla arttığı belirtilmiştir. Dolgu %5'ten fazla olduğunda, diatomit katkılı kompozitlerin çentikli darbe kırılma mukavemeti, dolgu maddesinin artmasıyla hafifçe değişirken, %5 katkıya göre artış hızının azaldığı tespit edilmiştir. Katkılı numunelerin tamamı referans numuneye göre daha fazla darbe dayanımı değerleri elde edilmiştir. 7 µm inceliğinde ve %10 oranında diatomit katkılı kompozitin, çentikli darbe kırılma mukavemeti en yüksek değerleri vermiştir. SEM incelemelerinde; diatomit katkısı PP matris içindeki dispersiyonunun genel olarak homojen olduğu ve kırılma yüzeyinin çok düzensiz olduğu ifade edilmiştir.

Zhan ve ark. (2013), diatomit katkılı PVC kompozitlerin ısı kararlılığını, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Diatomit katkısı ağırlıkça %20, 40, 60 ve 80 oranlarında kullanılmıştır. Numunelere TGA, çekme, eğilme, darbe ve aşınma testleri yapılmıştır. TGA analizine göre; diatomit oranı arttıkça kompozitlerin kütle kaybının ve kütle kaybı oranının düştüğü tespit edilmiştir. Katkı oranı arttıkça kompozitlerin darbe,

çekme ve eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Ancak elastisite modülü değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Katkının artmasıyla birlikte kompozitlerin aşınma direnci ve termal stabilitesinin arttığı ifade edilmiştir. Çalışmanın sonucunda optimum katkı kullanım oranının; %40 oranında olduğu belirtilmiştir.

Wu ve ark. (2018), diatomit katkılı PVC kompozitlerin, ısı kararlılığı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 10 µm tane boyutunda öğütülmüş diatomit ağırlıkça %0,5, 1, 1,5 ve 2 oranlarında kullanılmıştır. FTIR, TGA, SEM analizleri yapılmış ve darbe, çekme testleri numunelere uygulanmıştır. TGA analizine göre; kompozitlerin ilk bozunma aşamasının 240-370 °C sıcaklık değerleri arasında gerçekleştiği belirtilmiştir. 400-510 °C aralığı, karbon zincirinin termal ayrışması nedeniyle oluşan ikinci bozunma aşaması olduğu ifade edilmiştir. Katkı oranı arttıkça kompozitlerin darbe dayanım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Çekme mukavemeti incelendiğinde; kompozitlerin değerleri birbirine çok yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Katkı oranlarına bağlı olarak çekme mukavemeti değerleri küçük bir farkla azaldığı ve dar bir aralıkta dalgalandığı tespit edilmiştir. Az miktarda diatomit katkısı kullanıldığında kompozitlerin çekme mukavemetini etkilemediği belirtilmiştir.

Diatomit, tek hücreli bitki diatomlarının iskelet kalıntılarından oluşan bir tür doğal silikat malzemesidir. Oldukça gözenekli yapısı, iyi kimyasal kararlılığı, ısıya dayanıklı kalitesi, düşük yoğunluğu ve geniş yüzey alanı nedeniyle, diatomit takviye malzemesi, filtre malzemesi, oda dekorasyonunda kaplama ve katalizör taşıyıcı olarak kullanılabilir (Liang, 2009; Zhang ve ark., 2013; Khezri ve Fazlı, 2017).

Genleştirilmiş vermikülit yanmazlık özelliği, yüksek su emme kapasitesi, kimyasal olarak aktif olmaması (inert) ve düşük ısı iletim katsayısına sahip olması sebebiyle tercih edilmektedir. Ayrıca beton ve alçıpanda agrega olarak kullanımı, ısı ve ateşe olan dayanıklılığı nedeniyle yüksek sıcaklık ve ses yalıtımında da kullanılmaktadır (Konta, 1995; Tomanec ve ark., 1997; Obut ve Girgin, 2002; Silva Jr ve ark., 2003; Bergaya ve ark., 2006; Hindman, 2006)

Qian ve ark. (2011), vermikülit içeren poliüretan kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerde poliüretan yerine ağırlıkça %1,4, 2,7 ve 5,3 oranlarında vermikülit kullanımının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ürettikleri kompozitlere TGA, yükleme-boşaltma, çekme dayanımı, elastisite modülü testleri yapılmıştır. Ayrıca içyapı incelemeleri için transmisyon elektron mikroskobu (TEM) kullanılmıştır. Çalışmanın

sonucunda; %1,4-2,7 oranında vermikulit katkısının çekme dayanımı değerlerini artırdığı ve %5,3 oranında vermikulit katkısının çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. %2,7 oranında vermikulit katkısının %10,3 oranında çekme dayanımı değerini artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca vermikulit oranı arttıkça çekme elastisite modülü değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Yükleme ve boşaltma testinde; vermikulit ve polimer matrisi arasındaki büyük arayüzey etkileşimi, iç sürtünmeyi ve kalıcı deformasyonu arttırdığı ifade edilmiştir.

Zeng ve ark. (2012), pet ve vermikulit içeren kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerde pet yerine hacimce %1-5 oranlarında fosfonyum vermikulit kullanımının fiziksel ve mekanik etkileri araştırılmıştır. Kompozitlerin yoğunluk, TGA analizi, çekme dayanımı, elastisite modülü özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; vermikulit katkısı arttıkça yoğunluk değerlerinin düştüğü belirtilmiştir. %1-3 oranında vermikulit katkısının çekme dayanımı değerleri artmış ve %5 oranında vermikulit katkısının çekme dayanımı değerleri düşmüştür. Ayrıca vermikulit oranı arttıkça çekmede elastisite modülü değerleri de artmıştır.

Li ve ark. (2013), PP (%55) ve talaş (%40) içeren odun polimer köpük kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerde PP yerine hacimce %1-7 oranlarında organik vermikulit kullanımının fiziksel ve mekanik etkileri araştırılmıştır. Kompozitlerin 2 saatlik su emme oranı, eğilme ve çekme dayanımı, elastisite modülü ve izod darbe dayanımı özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; %1 ve %3 oranında vermikulit katkısının su emme oranını azalttığı ve %5 ve %7 oranında vermikulit katkısının su emme oranını artırdığı tespit edilmiştir. %1-3 oranında vermikulit katkısının eğilme ve çekme dayanımını değerlerini artırdığı ve %5-7 oranında vermikulit katkısının eğilme ve çekme dayanımını değerlerini düşürdüğü ifade edilmiştir. Ayrıca vermikulit oranı arttıkça eğilme ve çekmede elastisite modülü değerlerinin de arttığı belirtilmiştir. Çentikli izod darbe dayanımı değerleri vermikulit oranı arttıkça düştüğü tespit edilmiştir.

Macheca ve ark. (2017), Poliamid-11 ve farklı incelikte vermikulit içeren nanokompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerde, Poliamid-11 yerine ağırlıkça %10 oranlarında vermikulit kullanımının kimyasal ve mekanik etkileri araştırılmıştır. Kompozitlerin; alev geciktirici özellikleri, SEM ve çekme dayanımı, elastisite modülü etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Elektron mikroskobu incelemelerinde; polimer matrisinde, vermikulit nanopartiküllerinin farklı yapıları ve dispersiyon seviyeleri görülmüştür. Vermikulitin eklenmesiyle çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin

arttığı belirtilmiştir. Koni kalorimetre testinde; vermikülit katkılı numune, saf Poliamid-11 numunesine kıyasla en yüksek ısı bırakma oranı verdiği ve duman üretim hızını azalttığı ifade edilmiştir. İki çeşit vermikülit katkısının, polimer matris içinde heterojen yayılmasına rağmen, yangın testinde daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Birçok dolgu malzemesinin; PVC kompozitlerde kullanılmamış veya az sayıda çalışılmış olduğu literatür incelemelerinde görülmektedir. Bu durum bu çalışmanın önemini daha da artırmakta ve literatüre önemli kaynak kazandırmaktadır.

.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Polimerler

Polimerler, oda sıcaklığında genellikle katı halde bulunurlar. Bu malzemeler basınç ve ısı etkisi ile kolayca istenilen biçimde şekillendirilir. Polimerler petrol, kömür ve doğal gaz esaslı olarak üretilir (DPT, 2001).

Polimerler, kolayca şekil verilebilmesi sebebiyle birçok endüstri için büyük bir öneme sahiptir. Bu malzemelerin kolay ve hızlı üretilmesi, ekonomik olması ve birçok teknolojik özelliğinin gelişmesi kullanım miktarında artışa sebep olmuştur. Buna bağlı olarak oluşan atık miktarında belirgin bir şekilde artış ortaya çıkmıştır. Türkiye'deki yıllık katı atık miktarı yaklaşık 25.150.000 tondur. Polimer atıklar ise bu miktarın yaklaşık 2.050.000 tonunu oluşturmaktadır. Bu da ortalama yıllık atık miktarının %8'ini oluşturmaktadır. (DİE, 2003).

Polimerlerin doğada çok uzun yıllar boyunca bozunmadan kalabilmesi çevre problemleri oluşturmaktadır. Bu problemler, gelecekte gündemi ciddi anlamda meşgul edecektir. Bu problemlerin çözümü için polimerlerin farklı kullanım alanları oluşturulmasına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılması daha olumlu etki oluşturacağını düşündürmektedir (Karakuş, 2008).

Ülkemizdeki polimer sanayindeki hammaddelerin yaklaşık %90'ı termopolimer ürünlerden oluşmaktadır. Bu termopolimerin yaklaşık %35'i yerli üretimde kullanılmakta ve bu polimerlerin çoğunluğunu PETKİM-Petrokimya Holding A.Ş. firması üretmektedir. PETKİM petrol türevi kimyasal üretimi yapan Kocaeli Yarımca ve İzmir Aliağa'da; PVC, Polistren (PS), PP ve PE gibi polimer hammaddeleri ile glikol, karbon karası ve etilen gibi temel kimyasal ürünler elde edilmektedir (Bektaşoğlu, 2005).

2.1.1. Polimerlerin genel özellikleri

Polimer ürünler; termopolimer ve termoset olmak üzere iki temel gruba ayrılırlar. Termopolimerler; ısı ve basınç etkisi ile polimer özellikleri değişmediğinden sürekli olarak şekillendirilebilirler. Termopolimerlerin yorulma direncine bağlı olarak kullanıma süreleri değişmektedir (Long ve ark, 2003).

Termopolimerler zati ağırlıkları altında yaklaşık olarak 50 ile 115 °C arasında bozunurlar. Ancak bazı durumlarda ise polimer türlerine bağlı olarak yaklaşık olarak 275 °C

sıcaklıklarda bozunmaya başlarlar. Bu sebeple termopolimerin işlenme aşamasında sıcaklık değerleri iyi kontrol edilmelidir. Termosetler ise, ısı ve basınç etkisi ile bir kez biçimlendirildikten sonra tekrar şekil verilemeyen polimerlerdir. Sadece bir kere işlenebilirler. Bunun sebebi ise termosetlerin biçimlendirme aşamasında kimyasal değişim etkisi ile ağ yapısına dönüşmesidir. Buna bağlı olarak polimer özelliğini kaybederek katı bir madde halini alır. Bu katı madde torna, freze gibi biçimlendirme makinelerinde istenildiği gibi işlenebilir. Piyasada pek çok çeşit termoset bulunur. Termosetin farklı türleri göz önünde bulundurulduğunda; genellikle 60 ile 150 °C sıcaklık değerleri arasında kararlı yapıya sahiptir. Ancak bazı özel türleri ise 230 °C sıcaklık değerlerinde bile kararlı yapısını korumaktadırlar. Polimer malzemelerin yapısı, molekül ağırlığı, çapraz bağ oluşturma derecesi ve atomların kristal sistemlerindeki diziliş biçimi üretilen ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen unsurlardır. Polimerler, metal ve farklı tip malzemelere göre değişik özelliklere sahiptirler (Clemons, 2002).

Polimerler, metal malzemelere göre kimyasallara karşı daha dayanıklıdır. Termopolimerler zayıf tuz ve asit ortamlarında etkilenmemekte ancak organik çözücülerde çözünür ve buna bağlı olarak şişerler. Kuvvetli baz ve asitlerden kimyasal olarak etkilenirler. Termosetlerin kimyasallar ile temasında bozunmanın ilk başladığı bölgeler; polimer malzemenin kullanım aşamasındaki eğilme, büzülme gibi gerilmeler etkisi ile oluşan çatlaklardır. Polimer malzemelerin kimyasal dirençleri reaktif malzemenin türü ve yoğunluğu, polimerik yapısına, uygulanan kuvvete, sıcaklığa, yüzey pürüzlülüğüne ve morfolojisine bağlıdır. Kısa zamanlı polimer-kimyasal çevre etkileşimi; çekme deneyi ve uzun zamanlı etkileşim ise sürtünme deneyi ile belirlenirler (Akkurt, 1991).

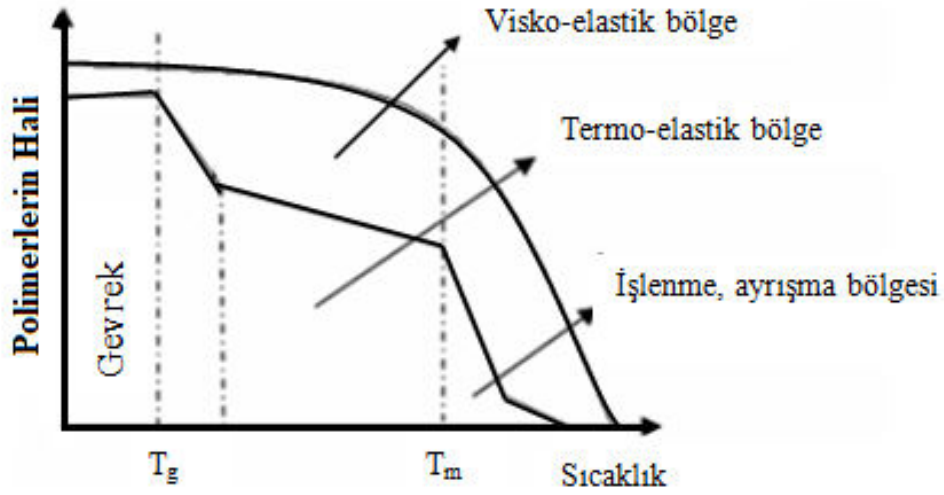
2.1.2. Polimerlerin termal özellikleri

Termal özellikler, polimerlerin en önemli özelliklerden biridir. Polimerlerin çoğu 100 ile 180 °C sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilirler. Politetrafloraetan ve polifenilen sülfid gibi polimerler ise 250 °C sıcaklığa dayanıklıdır. Polimerler geniş bir sıcaklık aralığında yumuşarlar. Polimerlerin yüksek sıcaklıkta kullanılabilirliğini belirleyen parametre yumuşama ve sapma sıcaklığıdır. Bulunan yumuşama ve sapma sıcaklık değerleri polimerlerin maksimum kullanma sıcaklıkları değildir. Aynı zamanda düşük şiddetli zorlamalar ya da uzun periyotlu yüklemelerde, daha fazla sıcaklıklara da dayanabilmektedirler. Bu malzemelerin, belirli sıcaklıkta yumuşamaları aslında yalnız malzeme seçimi ile ilgili ön bilgi vermektedir (Long ve ark, 2003).

Isıl iletkenlik, polimerlerde bir başka önemli özelliktir. Polimerlerin ısı iletimi genellikle düşük değere sahiptir. Metal malzemelerinin ısı iletkenlik değeri $200-1000 \times 10^5$ cal/cm.sn°C arasında değişmektedir. Polimer malzemelerinin ısı iletkenlik değeri ise $0,2-0,8 \times 10^5$ cal/cm.sn°C arasında değişmektedir (Clemons, 2002). Bu malzemelerin düşük ısı iletkenlik değerlerine sahip olması tekrarlanan yüklerin ya da sürtünmenin neden olduğu sıcaklık büyümesine yol açmaktadır. Aynı zamanda bu durum polimer içerisinde ısı artışına ve ısı yorulmaya da sebep olmaktadır. Bu yorulmayı azaltmak için polimerlere katkı malzemeleri ilave edilmektedir. En yaygın kullanılan katkı malzemeleri alüminyum, bakır gibi metal tozları ya da karbon, cam lifi gibi çeşitli liflerdir. Katkı ilave edilen polimer malzemelerin ısı iletkenlik değeri yaklaşık olarak on kat daha yüksek değere çıkabilmektedir. Epoksitlerin $0,4-30 \times 10^5$ cal/cm.sn°C arasında değişen ısı iletkenlik değeri katkı kullanıldığında $80-250 \times 10^5$ cal/cm.sn°C değerlerine erişebilmektedir. Polimerlerin ısı iletkenlik değeri, yönelme ve kristallik oranı derecesi gibi yapısal etkenlere bağlıdır. Kristallik oranı derecesi ve yönelme artar ise ısı iletkenlik değeri de artmaktadır (Clemons, 2002).

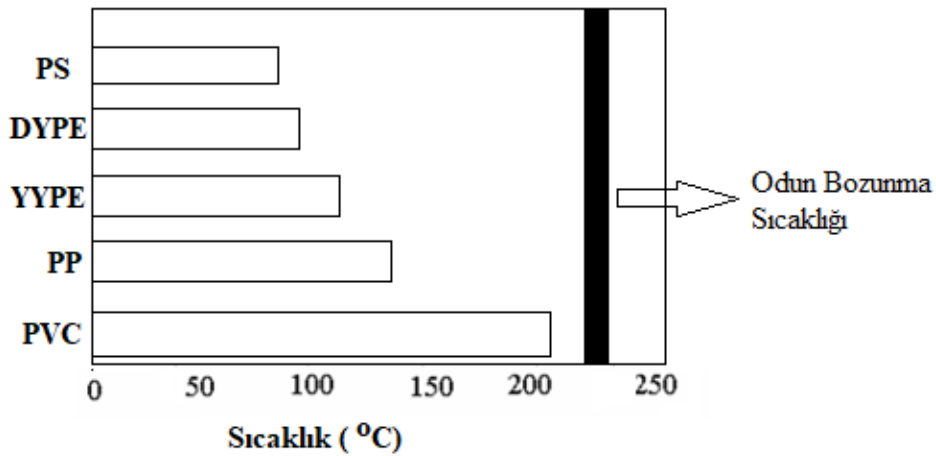
Polimerlerin ısı genişmesi, molekül ağırlığına ve yapısal etkenlere bağlı olmaktadır. Polimerlerin işlenmesinde önemli bir sorun olan ısı genişme katsayısı, metal malzemelere göre çok daha büyüktür. Takviye amacıyla liflerin kullanılması polimerlerin ısı genişme değerlerini önemli oranda azaltmaktadır. PS malzemesine %60 oranında cam lifi takviye edildiğinde ısı genişme katsayısı %50 oranında azalmaktadır (Gökalp, 2006).

Polimer malzemelerin kristallik oranı derecesinin ve çapraz bağ yoğunluğunun artmasına bağlı olarak ısı genişme katsayısı azalmaktadır. Polimerin yönelme doğrultusundaki katsayı azalırken dik doğrultusundaki katsayı ise artmaktadır. Isı genişme değeri, polimerlerin ergime sıcaklığı (T_m) ve camsı geçiş (T_g) sıcaklığının üzerinde ya da altında farklı olmaktadır. Şekil 2.1’de termopolimerlerin değişen sıcaklık değerlerinde durumlarını gösteren faz diyagramı verilmiştir (Gökalp, 2006).



Şekil 2. 1 Termopolimerlerin yükselen ısıdaki halleri (Gökalp, 2006)

Polimerlerin ısıya karşı gösterdiği direnç çok önemli bir etkidir. Genellikle termopolimerler basınçsız ortamda 65-120 °C sıcaklık değerleri arasında, bazı türleri ise yaklaşık 260 °C gibi sıcaklık değerine ulaştığında bozunmaktadır (Gökalp, 2006). Termosetler termopolimerlere kıyasla daha sert ve ısıya daha dayanıklıdır. Bu malzemeler yüksek sıcaklık değerlerine ulaştığında kömürleşerek bozunurlar. Termosetler yaygın olarak 150-230 °C arasında değişen sıcaklığa sürekli olarak maruz kalabilmektedir. Ayrıca bazı özel termoset türleri ise 600 °C sıcaklığa dayanabilirler. Cam ve asbest gibi dolgu maddeleri polimerlerin ısı kapasitelerini artırır (Long ve ark, 2003). OPK üretiminde kullanılan PS, düşük yoğunluklu polietilen (DYPE), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), PP ve PVC'nin çalışma sıcaklıkları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 OPK üretiminde kullanılan polimerlerin çalışma sıcaklıkları (Gökalp, 2006)

2.1.3. Polimerlerin kimyasal özellikleri

Polimerler monomer denilen kimyasal birimlerden oluşan zincir biçiminde bir yapı ve yüksek molekül ağırlığına sahip sentetik malzemelerdir. Tek monomer polikondenzasyon, polimerizasyon ve poliadisyon gibi tepkimeler aracılığıyla diğer monomer moleküller ile birleşerek çok fazla sayıda birimlerden meydana gelen, çok uzun zincir şeklinde bir büyük molekül oluşmaktadır. Bu monomer dizilimine polimer adı verilmektedir (Gökalp, 2006).

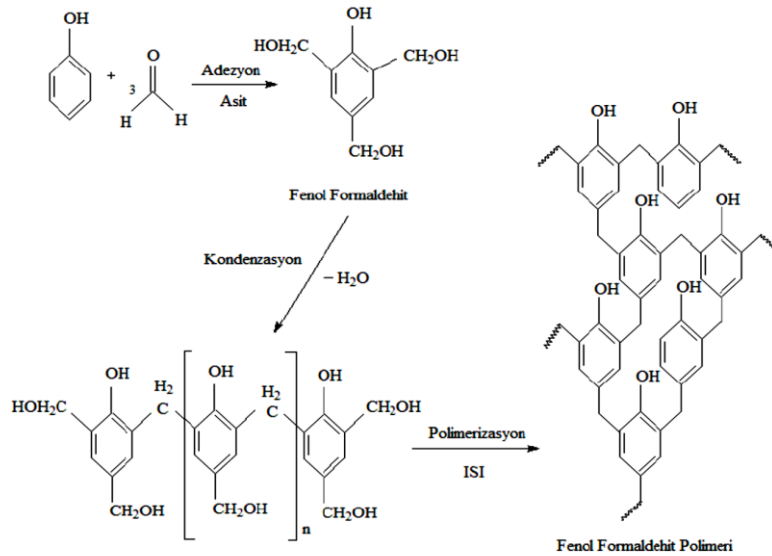
Polimerizasyon çift bağa sahip moleküllerin, zayıf bağın açılması ile büyük moleküllerin birleşmesinin tepkimesidir. Örnek olarak etilenin polietilene dönüşmesi verilebilir (Akkurt, 1991).



Etilen

Polietilen

Polikondenzasyon ise, reaksiyon yeteneği olan noktalara sahip moleküllerin büyük moleküller halinde birleşme tepkimesidir. Bu aşamada sistemden uzaklaştırılması gereken düşük moleküllü bir yan ürün ayrışır. Polikondenzasyon tepkimesi Şekil 2.3’de gösterilmiştir (Frihart, 2005).



Şekil 2. 3 Fenol formaldehit polikondenzasyon tepkimesi (Frihart, 2005).

Poliadisyon ise; reaksiyon yeteneğine sahip olan grupların iki monomerinin moleküllerinde hidrojen atomunun yer değiştirmesi ile büyük moleküller şeklinde birleşirler. Bu tepkime sonucunda yan ürün oluşmaz. Farklı malzemelerin üretiminde veya son kullanım gibi bazı uygulama alanlarında polimer kullanmak oldukça uygundur. Polimer malzemeler farklı bir

polimerle veya katkılarla birleştirilerek kullanılabilir. Polimerler sıcaklığa gösterdikleri dirence göre üç gruba ayrılır (Akkurt,1991). Bunlar;

- Termosetler
- Elastomerler
- Termopolimerlerdir.

2.1.3.1. Termosetler

Küçük monomer moleküllerini uzun ve aralarında kuvvetli bağ bulunan polimer molekülleri haline getiren kimyasal tepkimeler sonucu termosetler oluşmaktadır. Termosetler üç boyutlu kovalent bağların oluşması sebebi ile oldukça rijit malzemelerdir. Termosetler bozunduktan sonra tekrar ısı verildiğinde yumuşamazlar. Yüksek sıcaklarda kovalent bağların kopması sonucu termosetler kömürleşir. Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek mekanik dayanım gerektiren uygulamalarda, genellikle termosetler kullanılmaktadır. Melamin, fenolikler, poliüretan, epoksi ve üre formaldehit termoset polimer grubu içinde yer alırlar (Akkurt, 1991; Clemons, 2002).

2.1.3.2. Elastomerler

Oda sıcaklığında kendi boyutunun en az iki katına kadar uzayabilen ve uzamaya neden olan yük kaldırıldığında tekrar eski boyutuna geri dönebilen, kalıcı şekil değiştirmeyen ve karşılıklı olarak bağ oluşturmuş polimerlere elastomer adı verilir. Elastomerler genel olarak iki farklı türü bulunur. Bunlar, sentetik ve doğal kauçuk elastomer çeşitleridir (Frihart, 2005).

2.1.3.3. Termopolimerler

Termopolimerler, ısıtıldığında homojen bir sıvı haline gelen ve soğutulduğunda sertleşen bir polimer türüdür. Termopolimerler, dayanıklı bir ağ yapısına sahip değildirler. Bu polimerlerin molekülleri birbirine Van der Waals bağları ile bağlanırlar. Eğer termopolimer bir ürün camsı geçiş sıcaklığında ısıtılırsa, yumuşamaya başlar ve sıcaklık değeri yükseldikçe viskozitesi azalır. Termopolimerler, ekstrüzyon ya da kalıba enjekte etme gibi tekniklerle, yüksek sıcaklıklarda tekrar eritilip biçimlendirilebilirler. Bu şekillendirme sırasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar. PE, PVC ve PP gibi polimerler termopolimer grubuna girmektedir. Termoset polimerlerde sertleşme ilk sıcaklık artışıyla birlikte başlar ve kısa sürede polimerleşme gösterir. Bunun tersine termopolimerler,

sıcaklık artışıyla tekrar tekrar yumuşayıp eriyebilirler. Polimer zincirleri yapısı ile termopolimerler daha iyi bir ayrıma tabi tutulabilir (Long ve ark, 2003).

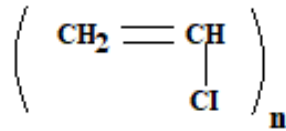
2.2. PVC

1940 yılından beri en önemli polimer türlerinden biri olarak kabul gören PVC, üretim miktarı bakımından termopolimer reçineler arasında poliolefinlerden sonra ve stiren polimerlerinden önce gelerek ikinci sırada yer almıştır. Dünya genelindeki üretilen toplam polimerin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır (Braund, 2004). PVC kolay işlenebilmesi ve yüksek mekanik özelliklere sahip olması sebebi ile farklı uygulamalarda kullanılabilmektedir (Xu ve ark., 2006).

PVC amorf polimerler içerisinde yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir. Bunlar açık sarı ya da beyaz renkli toz polimerlerdir. Normal PVC yaklaşık olarak %55 oranında klor içerir. PVC'yi 60 °C sıcaklığa kadar işlemek mümkündür. Bu dereceden daha fazla sıcaklıklarda ısıtıldığında, klorlanmış hidrokarbonlar tarafından çözünmeye başlar. Kimyasallara karşı dayanıklıdır. Alkol, benzin ve su PVC'yi etkilemez. PVC, elektroliz özelliği yüksek ve yanmayan bir polimerdir. Bu polimer 140 °C sıcaklıkta yavaş ve 170 °C sıcaklıkta ise kolayca HCl ayrılması ile parçalanmakta ve PVC'de çift bağ meydana gelmektedir. Polimerin daha kararlı olması için kimyasal katkıları katılır. PVC'nin esnek ve sert olarak iki farklı kullanım alanı vardır (Gökalp, 2006).

2.2.1. Monomer üretimi

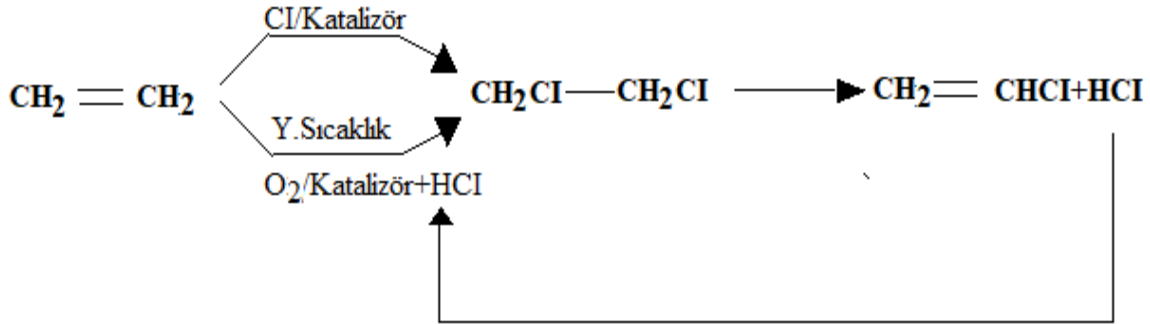
Ticari PVC üretimi, vinilklorür monomerinin (VCM) polimerizasyonu sonucunda oluşmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Vinilklorür monomeri (Aslankılıç, 2008)

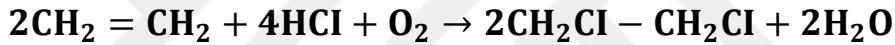
VCM'nin üretimi, asetilen ve etilen kökenli olmak üzere iki farklı tepkime ile gerçekleştirilmektedir. Kararlı süreç olarak adlandırılan ve sürekli olarak uygulanan işlemde, etilen ilk önce dikloroetana dönüştürülür. Bu aşamada, etilenin dikloroetana klorinasyonu ve oksiklorinasyonu aynı anda gerçekleşmektedir (Şekil 2.5) ve daha

sonrasında oluşan dikloroetan ürünü pirolize uğratarak vinilklorüre dönüşür (Izdebska ve Thomas, 2015).



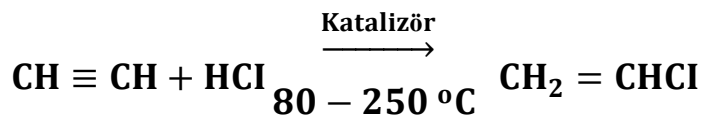
Şekil 2. 5 Etilen esaslı vinil klorür monomeri üretimi (Aslankılıç, 2008)

Etilenin sıvı veya buhar fazında, doğrudan katalitik klorinasyonu ile meydana gelen dikloroetan, damıtılır ve piroliz olayı ile vinilklorüre dönüşür. Bu aşamada HCl'de yan ürün olarak oluşur, bunun bir kısmı oksiklorinasyon yoluyla dikloroetan üretirken kullanılır (Şekil 2.6) (Aslankılıç, 2008).



Şekil 2. 6 Dikloroetan oluşumu (Aslankılıç, 2008)

ABD'de uzun süredir uygulanmakta olan etilen dönüşümünün kararlı süreci, hammadde olarak petrol esaslı etilenin kullanıldığı, vinilklorür için üretim tesislerinin kurulmasına ortam sağlamıştır. Etilen ürünün maliyeti, asetilen ürünün maliyetinden daha az olduğu için, bu süreç ile büyük hacme sahip üretimlerin gerçekleştirilmesi mümkün olmuştur. Asetilenden vinilklorüre dönüşüm (Şekil 2.7), 1960'lardan önce, özellikle Avrupa ülkelerinde büyük endüstriyel öneme sahipti. Asetilenin etilene göre dönüşüm süreci kıyaslandığında, daha az maliyetli tesis kurulumu, düşük işletim maliyeti öngörmesi ve küçük ölçekte verimlilik artışı sağlaması bakımından daha avantajlıdır. Ancak asetilen süreci yoğun bir seçenektir ve petrol türevi asetilen etilenden daha maliyetlidir. Bununla birlikte, asetilen kömürden de elde edilebildiği için bu süreç, hammaddenin çok olması ve küçük ölçekte üretim kapasitesi yeterli olduğu sürece sadece bir seçenek olarak kalacaktır (Aslankılıç, 2008).



Şekil 2. 7 Asetilen esaslı vinil klorür monomeri üretimi (Aslankılıç, 2008)

VCM, atmosferik basınçta ve oda sıcaklığında renksiz bir gazdır. VCM'nin patlama eşiği ise havada hacimce %4-20'dir. Sınai üretimde kullanılan VCM, yüksek basınç altında sıvı halde saklanır (Chandra, 2015). Kloroetaninkine benzer anestezik özelliğe ve kokuya sahiptir. 1970'lerde tespit edilen kanserojen etkisi sebebi ile VCM tehlikeli madde kabul edilmektedir. Bu sebepten dolayı, vücut ile doğrudan temasını ve havadaki derişimin tesis içerisinde, ilgili kanunlarca belirlenmiş sınırlar dışına çıkmasını engelleyecek birtakım önlemler alınması zorunludur (Aslankılıç, 2008).

2.2.2. PVC'nin ısı bozunması

2.2.2.1. Oksijensiz ortamda bozulması

PVC, içerisinde yaklaşık olarak %55 oranında klor içeren bir polimer olduğundan dolayı ısı bozunmaya çok elverişlidir. Ana zincirdeki klor atomları, ısı ve ışıktan etkilenecek hidrojen klorür açığa çıkması ile çifte bağ oluşumuna neden olurlar (Montaudo ve Puglisi, 1991). HCl gazının açığa çıkması PVC'nin ısı bozunmasının belirtisidir. Ardından renk değişimi (açık sarıdan, önce kırmızımsı kahverengiye, daha sonra da bazı durumlarda gözlemlendiği üzere siyaha kadar varan değişimler) görülür. Son aşamada ise polimerin fiziksel, kimyasal ve elektriksel özellikleri kaybolur. PVC, nispeten ısı kararsızlığa sahip olduğundan ve işleme süreçleri için kararlılaştırma gerektirdiğinden, PVC'nin ısı bozunması ile ilgili literatürde çok sayıda araştırma makaleleri bulunmaktadır (Braun, 1981; Starnes, 2002).

Araştırmacıların tamamı, PVC'nin ısı bozunma mekanizmasında, iki ana bozunma aşaması olduğunu kabul etmektedirler. Birinci aşama, dehidroklorinasyon ile HCl ayrılması ve polien oluşumudur. Literatürde mekanizmanın ayrıntıları ile ilgili değişik görüşler belirtilmekle birlikte, PVC'nin ısı bozunmasının genel olarak fermuar açılması adı verilen bir zincir mekanizması ile ortaya çıkan HCl oluşumuyla devam ettiği kabul edilmektedir (Vadukumpully ve ark., 2001; Gong ve ark., 2004; Radhakrishnan ve ark., 2007). Dehidroklorinasyon reaksiyonu, komşu klorür ve hidrojen atomlarının polimer zinciri boyunca birbirlerinden gitgide uzaklaşmasından ve sonunda zincirin açılarak bozulmasından oluşur. Zincirden kopan klorür ve hidrojen atomlarının bozulmadan önce bağlı olduğu karbon atomları arasında çift bağ oluşmaya başlar, bu da zincirin henüz bozulmamış kısmındaki ve karbon atomlarına göre 3,4 konumundaki klorür atomu ile çok aktif bir alil klorür yapısı oluşturur (Braun, 1981; Starnes, 2002; Aslankılıç, 2008).

İkinci aşamada, HCl ayrılmasıyla izole çift bağlar oluşturduğu ve dehidroklorinasyonun allilik klor atomlarının aktivasyonu ile hızlandığı düşünülmektedir. Konjuge polien yapılarının oluşumu yaklaşık 25 veya daha kısa çift bağlar seviyesinde sonlanır (Levchik ve Weil, 2005). Bu aşama boyunca, benzen, naftalen ve birbirini izleyen polien moleküllerinin dealkilasyonu gerçekleşir. Ardından, klor (Cl) eriyikten serbest kaldığında, polien molekülleri yeniden düzenlenir, siklizasyon ve çapraz bağ reaksiyonları ile alkil aromatik hidrokarbonlar ve kömür kalıntısı oluşur. Bu poliaromatik yapıların artması ve katran oluşumu, yüksek miktarda ara tür ve izomerleri içerir (Marongiu ve ark, 2003).

2.2.2.2. PVC'nin ısı ve oksidatif bozunması

PVC'nin ısı ve oksidatif bozunması, ısı bozunmasına göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu durumda ısı bozunma aşamalarıyla birlikte eş zamanlı olarak meydana gelen ürünlerin oksidasyonu da söz konusudur. Oksijenin, PVC'nin bozunması üzerindeki ana etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- PVC'nin, oksijen tarafından hızlandırılan, ısı dehidroklorinasyonu; ana zincirde meydana gelen bölünmeler (oksijen bulunmadığı ortamda bu durum gözlenmez),
- HCl ayrılması (oksijen varlığında ısı işlem görmüş PVC'den HCl ayrılması daha hızlı gerçekleşir) sonucu meydana gelen renk değişimidir (Aslankılıç, 2008).

PVC'nin ısı oksidatif bozunmasının mekanizması Şekil 2.8'de verilmiştir.

Şekil 2. 8 PVC'nin ısıls oksidatif bozunmasının mekanizması (Aslankılıç, 2008)

Ön ısıt işlem görmüş PVC'den HCl oluşum hızı, polien miktarının artması ve oksijenin kısmi basınç oluşturması ile artar. 200 °C'nin üzerinde, termal oksidatif HCl açığa çıkışı kendi kendine hızlanan bir yapı kazanır (Aslankılıç, 2008).

Polienlerin oksidasyonlarında peroksi radikalleri yapıya çifte bağ ekleyebilirler ya da hidrojen atomunun kopmasına neden olabilirler. 5 ya da 6 üyeli halkalardan oluşan halkalı peroksitler meydana gelir (Aslankılıç, 2008).

PVC'nin pratik kullanımı için ısıl ve oksidatif kararlılık gereklidir. Mekanik özellikler ısıl bozunma reaksiyonlarından etkilenirler. Konvansiyonel antioksidanlar, bazı ikincil reaksiyonları engelleyerek mekanik özelliklerdeki kaybı azaltırlar (Yu ve ark., 2016).

2.2.3. PVC'nin özellikleri

PVC, ısısal özellikler bakımından diğer amorf termopolimerler ile benzer özellikler gösterir. Saf PVC'nin kırılma indisi 1,537 olup, renksiz ve şeffaf bir polimerdir. Fakat katkı maddeleri ihtiva eden PVC opak ya da şeffaf olabilir. PVC organik karakteristiğe sahip bir yalıtkandır. PVC'nin yüzey ve hacimsel mukavemeti polimerin türüne, katkı malzemelerinin türüne ve kullanım oranına göre değişkenlik göstermektedir. Çoğunlukla katkı malzemeleri, PVC'nin yüzey ve hacimsel mukavemetlerini azaltır (Hazer, 1993; Kuyulu, 2001; Aydın, 2004).

PVC polimerinin bazı özellikleri, camsı geçiş sıcaklığından öncesinde ve sonrasında değişiklik gösterir. Bu polimerden üretilen bir maddenin ağırlığı, polimer cinsi ve içine konulan katkı malzemelerine göre değişkenlik gösterir. Ayrıca işlenme sırasında erime basıncı ile birlikte PVC'nin yoğunluğu, yaklaşık $1,41 \text{ t/m}^3$ değerindedir. PVC'nin sabit bir erime sıcaklığı bulunmamakta bunun yerine camsı geçiş sıcaklığı göstermektedir. Bu sıcaklık değerleri $65-85 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındadır. Bu geçiş sıcaklığı değerleri polimerin türüne, içyapısına ve deney yöntemine göre değişiklik gösterirler. Polimere plastikleştirici katkı maddesi ilave edilmesi, geçiş sıcaklık değerlerini düşürür. PVC polimerin boşluklu olması zincir boyu ile ilişkilendirilen K değerinin azalması ile paralellik gösterir. Boşluklu PVC'ye plastikleştirici katkı maddesi eklenirse, üründe homojen dağılım sağlanır ve film, tabaka çeşidi ürünlerin niteliğini arttıırırlar. Bu durumda çoğu PVC türünün görünür yoğunluğu $0,45-0,65 \text{ t/m}^3$ değerlerine kadar düşmektedir. Aynı K verilerine sahip PVC türü; ticari kütle polimerizasyonu ile üretilen ürünün, süspansiyon polimerizasyonu ile üretilen ürünlerden daha fazla yoğunluk değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir (Saçak, 2002).

2.2.4. PVC işleme yöntemleri

3 çeşit PVC işleme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar; kalıplama, kalenderleme ve ekstrüzyon yöntemleridir. Birçok PVC'den elde edilen ürünler bu yöntemlerden yararlanılarak farklı alanlarda kullanılmaktadır (Kuyulu, 2001).

2.2.4.1. Ekstrüzyon işleme yöntemi

Polimer bir malzemenin akışkan duruma getirilerek belirli bir form elde edilmesi için dar ve şekilli kalıplardan basınç ile iletilmesi olayına "ekstrüzyon" adı verilir. Plastikleştirici katkı maddesi ilave edilmiş veya hiç eklenmemiş PVC'nin ekstrüzyon ile boru üretimi ve

kablo kılıflama, en bilinen uygulamalardır. Ekstrüzyon yöntemi ile PVC, ok şekline dönüştürülmüş granül, renk ilave edilmiş granül ya da toz şeklindeki karışımlardır. Atık PVC'nin tekrar ekstruder ile işlenmesi istenirse, atık PVC'de atmosferden absorbe edilen ve tıkanmadan oluşan suyun kurutulması gerekir. Bu ekstrüzyon metodu ile aşağıdaki özel PVC işlemleri yapılabilir (Kuyulu, 2001).

liforP *şekillendirilmesi,

*Hortum ve boru biçimlendirme,

olbaK *yalıtımı ve kılıf oluşturma,

noyzütskE *-üfleme ile kalıplama,

*Panel olarak şekillendirilmesi.

2.2.4.2. Kalenderleme yöntemi

PVC'nin şerit ve levha haline getirilmesi için kalenderleme metodu ile şekil verilir. Bu metodun çalışma mantığı birbirine karşı dönen çift vida ya da silindir arasındaki açıklıktan malzemenin geçirilerek şerit ve film haline dönüştürülmesidir. Kalenderlemenin üstünlük özellikleri sebebiyle, ekstrüzyon ile levha ve şerit üretimi geri planda kalmaktadır. Kalenderleme işlemi farklı malzemelerde de uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları; suni deri yapımı ve kumaş kaplamasıdır. Aynı zamanda PVC'den imal edilmiş sert ve yumuşak yer döşemeleri de bu yöntem ile üretilirler (Kuyulu, 2001).

2.2.4.3. Kalıplanma metodu

Düşük sıcaklıklarda yumuşama özelliği ve makine içerisinde oluşan sıcaklıkları sebebi ile plastikleştirici ihtiva eden PVC ile kolaylıkla kalıplama işlemi yapılabilir. Kalıplama işlemi sırasında PVC kalıptan çıkmadan önce başka kalıplarda termopolimer gibi soğutulmalıdır ve ardından kalıp yeniden işlem için ısıtılmalıdır. Bu polimerin kalıplanması kompresyon ve enjeksiyon kalıplama olarak iki biçimde gerçekleştirilir. Bu iki metodun çalışma prensibi, basınç etkisi ile polimere şekil vermesidir. PVC polimerin enjeksiyon ile kalıplanması plastikleştirici eklenerek veya eklenmeden iki farklı şekilde düşünülebilir (Kuyulu, 2001).

Plastikleştirici eklenmeden PVC'nin enjeksiyon sistemi ile bazı PVC elemanlar üretilir. Bunlardan bazıları; şişeler, sert PVC boru ilave parçaları ve elektrik parçalarıdır. Diğer kalıplama türü PVC parça üretimi için kullanışlı değildir. Fakat bazı uygulamalarda

kompresyon metodu kullanılarak plaklar, levha ve bazı polimer malzemelerin üretilmesi ve yüzey kısımlarının parlatılması sağlanabilir (Kuyulu, 2001).

2.2.5. PVC'nin içerisine konulan katkı maddeleri

İşlenmemiş PVC'de ısı ve ışığın etkisiyle kimyasal tepkimeler oluşmaktadır. PVC işlenmeden önce ısı ve ışık etkisini azaltmak için birçok katkı malzemesi kullanılır. Malzemenin ısı etkisiyle kararlı halinin bozulması durumunda kurumaya, erime işlemine ve polyene zincirinin yıkımına sebep olmaktadır. Temel malzeme olarak; karbon monoksit ve diğer aromatik hidrokarbonların oluşması sonucu hidrokarbona dönüşmektedir. Fotokimyasal bozunmalara neden olan dış uygulamalardan gelen birçok farklı faktörler bulunmaktadır. UV etkilerine karşı, dayanıklılığın azalması veya tükenmesi ile kurutulmuş PVC'nin renginin bozulmasına ve ekstruder cihazında mekanik problemlere sebep olmaktadır. Çok geniş fonksiyonlu katkı maddeleri bu ve diğer sorunlara engel olmak için kullanılmakta, polimer ihtiva eden katkı malzemeleri birçok soruna çözüm için özel olarak katılmaktadır. Stabilizer, mukavemet artırıcı, alev geciktirici, UV sabitleyici, yağlayıcı, ısı ve ışık dengeleyici, plastikleştirici gibi katkılar PVC ürün için gerekli ve önemli olanlarıdır (Aydın, 2004).

PVC polimer üretim aşamasında ürün çeşidine bağlı olarak ilave katkı malzemelerin kullanılması gereklidir. Genel olarak bir PVC üretim için gerekli olabilecek reçete şöyledir:

- PVC hammaddesi,
- Plastifiyanlar,
- Stabilizerler ve İşleme kolaylaştırıcılar,
- Yağlayıcılar,
- Dolgu malzemeleri,
- Dayanım arttırıcılar,
- UV sabitleyiciler.

Yukarıda bahsedilen malzemeler ile birlikte alev geciktiricileri ve renklendirici gibi katkılar da kullanılmaktadır. Çok farklı çeşitleri olan PVC formülleri için kullanım alanlarına ve son ürünün özelliklerine göre yukarıdaki verilen reçete de ayarlamalar yapılarak farklı PVC ürünler meydana gelmektedir (Aydın, 2004).

2.2.5.1. Yağlayıcı katkı maddeleri

PVC'nin işlenme aşamasında sürtünme ve ısı ile meydana gelen kuvvetleri azaltmak için formülasyona, yağlayıcı olarak bilinen düşük yoğunluklu katkıları ilave edilir. Bu katkıları polimerin daha kolay işlenmesini sağlarlar. Kötü katkı seçimi ya da kullanılan yağlayıcıların miktarının fazla veya az olması durumunda ise üretim yapılan makinenin parçalarına bu katkıları yapışarak katı madde birikmesine neden olur. Bu durum üretimin durması ve makinenin onarılması gerektiğini gösterir. Yağlayıcıların, iç ve dış yağlayıcı olmak üzere iki türü bulunur (Aydın, 2004).

Dış yağlayıcılar ekstruderin metal parçaları ile PVC arasında ara yüzey oluşturur ve erimiş PVC'nin metal parçalara yapışmasını önlerler. PVC'nin işleme makinesi içerisindeki hareketi dış kaydırıcı bileşenine bağlıdır. Aynı zamanda bu katkıları jelleşme aşamasında polimer parçacıkları arasındaki sürtünmeyi engelleyerek ısı birikimini azaltır ve jelleşme olayına engel olurlar (Aydın, 2004).

PVC ile daha iyi uyum sağlayan katkı türü iç yağlayıcılardır. Bu tür katkıları PVC polimeri içerisinde iyi çözünmekte ve polimerin molekül kuvvetlerini güçsüzleştirerek moleküller arası sürtünme kuvvetini azaltmakta, PVC'nin akışkanlığını ve ürün kalitesini artırmaktadır. İç yağlayıcı katkıları yalnızca PVC'nin işleme özelliklerine etkilemelidir. Fakat bu tür katkıların birçok türü, camsı geçiş sıcaklık değerlerini ve PVC'nin bazı özelliklerini azaltırlar (Aydın, 2004).

2.2.5.2. İşleme kolaylaştırıcı katkı maddeleri

İşleme kolaylaştırıcı katkı maddeleri, plastikleştirici katılmamış PVC'nin işlenme özelliklerini kolaylaştırırlar. Bu tür katkıları PVC ile uyumluluk gösterirler. Polistiren akrilonitril ve polimetil metakrilat gibi işleme kolaylaştırıcı katkıları amorf polimerlerdir. Bu tip katkıları PVC taneciklerinin kolaylıkla kaynaşmasını sağlar ve erimiş PVC'nin viskozite değerlerini değiştirirler. İşleme kolaylaştırıcılar kaynaşma aşamasının ilk zamanlarında PVC parçacıkları arasındaki ilişkiyi arttırırlar ve PVC parçacıklarının kolaylıkla mevcut şekillerini bozarak kaynaşma işleminin gerçekleşmesini sağlarlar (Aydın, 2004).

2.2.5.3. Darbe ayarlayıcı katkıları

Darbe ayarlayıcı katkıları, PVC polimere sertlik kazandırır. PVC ile kullanıldığında ayrı bir faz oluşturur. PVC sert bir malzeme olsa bile bazı PVC uygulamalarında daha fazla sertlik

ya da düşük sıcaklıklarda sertlik istenir. Bu durumda darbe ayarlayıcı katkı kullanılır. PVC’de darbe ayarlayıcı olarak şeffaflık istenilen uygulamalarda metil-metakrilat-butadien-stiren kopolimeri kullanılır. Bu kopolimerin refraktif değeri PVC ile aynı olacak biçimde üretilir. Aynı zamanda akrilik lastikler, dış etkilere maruz kalacak yerler için üretilen PVC için darbe ayarlayıcı katkı olarak kullanılmaktadır (Aydın, 2004).

2.2.5.4. Plastikleştirici katkıları

Plastikleştirici katkı polimere ilave edildiğinde işleme özelliklerini kolaylaştıran, plastikiyetin artmasını ya da genişlemesini sağlayan malzemelerdir. Birçok polimer katı, kırılğan ve uzama yapmayan özelliktedir. Bu durumda plastikleştirici katkı eklendiğinde bu özelliklerinde iyileşme ya da azalma görülür. Bu katkı maddeleri çoğunlukla organik esastır ve aynı zamanda yüksek kaynama sıcaklık değerlerine sahiptir. Ayrıca, katkıları yüksek molekül ağırlıklı sıvılar ya da erime noktası düşük olan katılar şeklindedir. Fosforik ve karboksilik asit esterleri en yaygın olarak kullanılan plastikleştirici katkı malzemeleridir. Poliglikoller, sülfonamidler, bazı hidrokarbonlar ve eterler kullanımı az olan plastikleştirici katkı malzemeleridir. Ayrıca elastomerik veya düşük molekül ağırlıklı sıvı polimerler plastikleştirici görevi yaparlar (Aydın, 2004).

PP, PE ve PS gibi bazı polimerler plastikleştirici katkı ilave edilmeden de işlenebilir. Ancak selüloz nitrat, asetat, bütirat ve PVC polimerin bazı türleri plastikleştirici katkı ilave edilmeden işlenemezler. Bu katkı türünde polimere uygunluk ve yüksek plastikleştirme özellikleri olması gerekir. Plastikleştirici katılarda, uygun termal özellikleri sağlaması, ışığı geçirilmesi, uçuculuğu az olması, soğuk ortamlara dayanıklılığı, polimer malzemeye yapışma özelliği, yanıcı olmaması, iyi elektrik özelliklere sahip olması ve toksik olmaması gibi özellikler aranmaktadır. Bu tip katkıların polimere uygunluğu, katkı ile polimer arasında oluşan çekim kuvvetine bağlıdır. Bu tip katkıları çoğunlukla polimerlerin işleme sıcaklık değerlerini düşürdüğü için polimerlerin bozunmasını önlemektedir (Aydın, 2004).

Plastikleştirici katkıları genellikle polimerin işleme aşamasında sağladığı kolaylığın yanı sıra nihai kullanımına da katkı sağlamaktadır. Bu katkıının sağladığı yararları şunlardır; daha iyi iç yağlayıcı fonksiyonuyla işleme kolaylığını da artırır, makine içerisinde bulunan parçalara polimer malzemenin yapışmasını engeller, düşük sıcaklıklarda erime viskozitesini düşürür ve daha yüksek polimer kararlılığı sağlamaktadır (Aydın, 2004).

2.2.5.5. Dolgu maddeleri

Dolgu malzemeleri, hem sert hem de plastikleştirici katkı eklenmiş PVC'ye ilave edilirler. Dolgu malzemelerinin konulma sebebi ürünün ucuz olmasını sağlamak, sağlamlılığını ve sertliğini artırmak, ısıya karşı direncini artırmak, mukavemet kazandırmak, nihai ürünün görünüm ve yoğunluk değerlerini değiştirmektir. Dolgu malzemeleri küresel ve sferoidal yapıya sahip malzeme olduğundan ve polimer ile arasında az oranda çekim kuvveti olduğu için polimer malzemeye rahatlıkla karışırlar. Formülasyonda dolgu malzeme miktarı arttıkça polimer daha gevrek hale gelir. Kalsit, kaolin, cam, karbon, selülozik malzemeler, karbonhidratlar ve bazı metal oksitler dolgu malzemesi olarak kullanılır (Clemons, 2002; Wolcott ve Smith, 2004). Üründe istenilen amaca uygun olarak dolgu malzemesinin miktarı değişmektedir. Mesela basınçsız boru üretimlerinde genellikle kalsit dolgu malzemesi kullanılmakta ve PVC'ye ağırlıkça %15-20 oranlarında katılmaktadır (Aydın, 2004).

2.2.6. PVC'nin türleri, kullanım alanları ve değerlendirilmesi

PVC polimeri, üretildiği şekli itibarıyla işlenmeye yatkın bir polimer değildir. Bundan dolayı içerisine katkı maddeleri katıldıktan sonra şekillendirilirler. Plastikleştirici katkı ilave edilen PVC bileşimleri, yumuşak PVC olarak bilinir. Bu ürünlerde amaçlanan özellikleri elde etmek için gerekli plastikleştiriciler yüksek miktarlarda konulurlar. Plastikleştiricilerin kullanılmaması durumunda PVC PVC bileşimleri ve ürünleri sert PVC olarak adlandırılır. PVC toz, eriyik harman ve pasta gibi değişik fiziksel formlarda üretilir. Ticari ürünler uygulama alanlarına göre ve istenilen standartlara uygun olarak piyasaya sunulur (Braund, 2004). Ticari PVC bileşimlerinin genel çeşitleri ve yaygın uygulama alanları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 PVC'nin kullanım alanları (Titow, 1984).

PVC işleme türleri	PVC türü	Kullanım alanları
Ekstrüzyon	Sert	-Boru, pencere, profiller -Elektrik iletim hattı, levha
	Yumuşak	-Elektrik tel ve kablo kaplamaları -Hortum, conta ve profil
Enjeksiyon	Sert	-Boru fittingleri -Elektrik kutuları
	Yumuşak	-Ayakkabı, oyuncak -Conta ve halka
Şişirme	Sert	-Şişe, kavanoz ve diğer kaplar
Toz Kaplama	Yumuşak	-Bulaşık makinesi sepeti ve mobilyalar
Pasta	-	-Kumaş ve kâğıt kaplama, -Döküm ve spreyleme

PVC, geri dönüşümü olabilen termopolimer bir malzemedir. Yapı sektöründe kullanılan sert PVC'ler, işlenmemiş PVC ile karıştırıldıktan sonra rahatlıkla geri dönüşüm yapılabilir bir duruma gelir. PVC iki şekilde yeniden değerlendirilebilir. Bunlar, geri dönüşüm ve dolgu malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca değerlendirilemeyen atık PVC yakılarak yok edilir (Aydın, 2004).

PVC su ve kimyasallara karşı dayanıklıdır. Ayrıca dolgu malzemesi olarak çok yavaş çöker. Yapılan bir çalışmada; yanmış PVC'nin 25 yıl sonra kütle değişimi incelenmiştir. 25 yıl geçmesine rağmen yanmış PVC'nin kütlelerinde azalma olmadığı görülmüştür (Moller ve ark., 1995). Bu durum PVC'nin dolgu maddesi olarak kullanılmasını ön plana çıkarmıştır.

2.3. Kompozit Malzeme

II. Dünya savaşı sırasında mevcut geleneksel malzemelerin tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi yeni malzeme arayışı doğurmuştur. O zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). Belirli bir amaca yönelik olarak iki veya daha fazla malzemelerin bir araya getirilmesiyle

oluşan ürünlere kompozit malzeme denilmektedir. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Yani, amaçlanan doğrultuda bileşenlerde daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir (Akbulut, 2013). Bu malzemelerin, belirli uygulama alanları için üstün mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmek amacıyla belli özel konfigürasyonda farklı fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarından çok fazlı malzeme olarak da bilinmektedir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

Kompozit malzemeler ilk çağlardan beri kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler yeni bulunan bir malzeme grubu olmayıp, doğada var olan yapılardan hareketle, farklı özelliklere sahip malzemelerin birleştirilmesi sonucu elde edilmektedirler. Sümerler tarafından kullanılan kerpiç, ilk kompozit malzemelerden biridir. Beton, betonarme ve asfalt en yaygın kullanılan kompozit malzemelerdendir (Schwartz, 1997; Akbulut, 2013).

Kompozit malzemeler metalik, organik veya inorganik malzemelerden oluşur. Kompozit malzemeler genel olarak iki temel fazdan oluşmaktadır. Birincisi, sürekli ve ana faz olan kompozit bileşenlerini bir arada tutan ve yükü dağıtan matris fazıdır. Diğeri ise matris içerisinde dağılmış vaziyette bulunan, matrisin dayanımını artıran takviye fazıdır. Ayrıca matris ve takviyenin birbiri ile olan kenetleme kalitesini belirleyen ara yüz bölgesi de bulunmaktadır. Bu bölge bazı araştırmacılarca ayrı bir faz olarak değerlendirilmektedir (Haris, 1986; Yıldırım, 2005; Akbulut, 2013).

Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir. Bunlar genel olarak şöyle sıralanabilir:

- Yüksek rijitlik ve dayanım
- Yüksek korozyon direnci,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklık kapasitesi
- Yüksek yorulma dayanımı,
- İyi termal ve iletkenlik,
- Hafiflik,
- Çekicilik ve estetik görünüm vb. (Ersoy, 2005; Akbulut, 2013).

Bütün bu özellikler aynı zamanda oluşmaz ve herhangi bir uygulama için böyle bir gereksinime ihtiyaç da yoktur. Özellikleri bilinen bileşenlerden yararlanılarak bir kompozit malzemenin bazı özellikleri hesaplanabilir. Fakat yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar, uygun matris ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür (Bilen, 2003).

Bu avantajlar yanında bazı dezavantajları da mevcut olup, bunlar:

- Pahalı olması,
- Üretimin güçlüğü,
- İşlenmesinin güç olması yanında maliyetin yüksek oluşu ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi,
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün olmayışı,
- Kırılma uzamasının az oluşu gibi faktörler sayılabilir.

Kompozit malzemelerde hedef, farklı malzemelerin özelliklerinin en uygun şekilde kullanılması, hatta oluşan kompozit malzemenin daha üstün özelliklerde elde edilmesidir (Bilen, 2003; Akbulut, 2013). Kompozitler genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler;

- ✓ Matris türüne göre kompozit malzemeler

1. Polimer Matrisli Kompozitler

2. Seramik Matrisli Kompozitler

3. Metal Matrisli Kompozitler

- ✓ Takviye türlerine göre kompozit malzemeler

1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

2. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler

- ✓ Katman sayısına göre kompozit malzemeler

1. Çok Katmanlı Kompozit Malzemeler

2. Hibritler (Bilen, 2003).

2.3.1. Polimer kompozitler

Polimer ve polimer kompozitlerin önemi son yıllarda tüm dünyada fark edilmeye başlamıştır. Endüstriyel alanlarda mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi olması nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan polimer kompozitler, hafif olmakla birlikte yüksek dayanımına sahiptirler. Dolayısıyla bu iki özelliğin bir araya gelmesi polimer kompozitleri tercih edilen önemli bir malzeme haline getirmiştir. Bununla birlikte tasarımına göre esneklik, durabilite, sertlik, darbe dayanımı, termal yalıtıklılık, çatlak direnci ve yorulma direnci gibi özelliklere de sahip olabilir. Bu şekilde sanayide malzeme kalitesi bakımından ciddi eksiklikler giderilebilmiştir. Çünkü yukarıda belirtilen özelliklerin geleneksel malzemelerde bir arada bulunması imkânsızdır. Günlük hayatımızda devamlı kullandığımız malzemelerin üretiminde de kullanıldıkları gibi ileri teknoloji içeren üretimlerde de sıkça yer almaktadırlar (Tavlı, 2004; Öksüz ve Yıldırım, 2005). Polimer matrisi güçlendirmek veya maliyetleri düşürmek amacıyla odunsu atıklar, organik ve inorganik maddeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin beraber kullanılmasıyla oluşan polimer kompozitlere odun polimer kompozit (OPK) denilmektedir (Güller, 2001).

2.3.1.1. Odun polimer kompozitler (OPK)

OPK; farklı odun atıkları ile polimerlerin karışımından oluşan malzemelerdir. OPK üretimi, detayları az bilinen çok farklı özelliklerdeki bilimsel disiplin, teknik ve yapıya sahip iki endüstrinin bir araya getirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Polimer üretimi polimer endüstrisi tarafından bilinirken, orman ürünleri endüstrisi için daha çok inşaat ürünleri pazarında bilinmekte ve kullanılmaktadır. OPK'nin başlangıcı 1900'li yıllara dayanmaktadır. OPK, ilk olarak fenol-formaldehit ve odun tozlarının bir araya getirilmesiyle (bakalit) Rolls-Royce arabalarında vites kolu olarak 1916'da üretilmiştir. Modern üretimi ise 1970'li yıllarda İtalya'da ve daha sonra 1990'lı yıllarda ABD'de yapılarak dünya genelinde yaygınlaşmıştır (Clemons, 2002).

Polimer endüstrileri son yıllarda şaşırtıcı bir biçimde gelişmiştir. OPK'nin gelişimini etkileyen belirsizlikler malzeme ve üretim kalitesinin artması ile giderilmiştir. Son yıllarda bu konuda en ilgi çeken gelişme olarak başta ABD ve Kanada olmak üzere birçok gelişmiş ülkelerde OPK'nin kullanımının yaygınlaşması giderek artmaktadır. Dolayısıyla bu kompozitler; polimer endüstrisinde hızla büyüyen bir sektör ve yeni bir malzeme sınıfı olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde bu ürün büyük bir pazar payı bulmuştur. Bu pazardaki üretim hacmi ve payı gittikçe artmaktadır (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

2.3.1.2. OPK’lerde kullanılan katkı maddeleri

Katkı maddeleri, OPK’nin hem üretim işlemini geliştirmek ve kolaylaştırmak, hem de ürün özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. OPK’ler karmaşık, dikkat isteyen ve çok fazla özel teknoloji gerektiren ürünlerdir. Formülasyonları çok farklı bağları ve geniş sıralı katkı maddelerini içermektedir. Bu katkı maddeleri ürün yoğunluğunu düşürmekte ya da üretimi geliştirip, verim ve ürün sağlamlığını artırmaktadır (Mali ve ark., 2003).

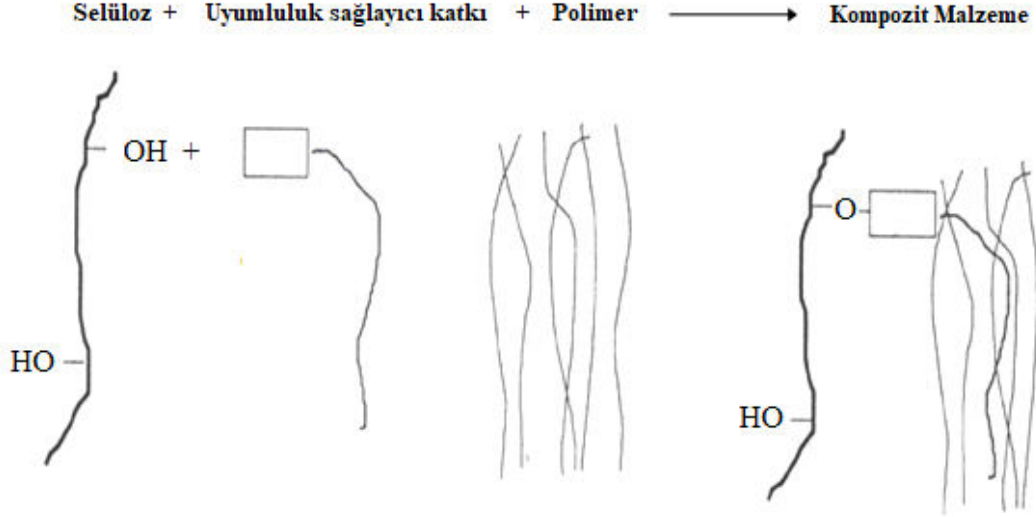
OPK’ler dış ortamlarda kullanıldıklarında UV, yağmur, kar ve nemden kaynaklanan rutubet, donma, erime gibi etkenlere ve mantar atağına maruz kalabilmektedir. Kompozit malzemelerin yapıları bozulmadığı sürece içerisindeki bitkisel lifler bu faktörlerden etkilenmez. Ayrıca fiziksel ve mekanik dirençleri değişmez. Dış ortamda kullanılacak kompozitin özelliklerinin bozulmasını minimuma indirmek için farklı tiplerde katkı maddeleri kullanılması gerekmektedir (Gökalp, 2006).

Literatürde gelecek yıllarda, polimer kompozit üretiminde katkı maddelerinin kullanımının artacağı belirtilmektedir (Mali ve ark., 2003; Gökalp, 2006). Renklendirici ve yağlayıcı madde kullanımı üzerinde durulmaktadır. Anti-mikro bakteriyel maddeler, UV sabitleyiciler ve birleştiriciler gibi diğer katkı maddeleri kullanılırsa ürünün kullanım ömrü ve sağlamlık özellikleri çok daha iyileşecektir (Mali ve ark., 2003). Çizelge 2.2’de OPK’de kullanılan katkı maddeleri ve levha üzerindeki fonksiyon ve etkileri verilmiştir.

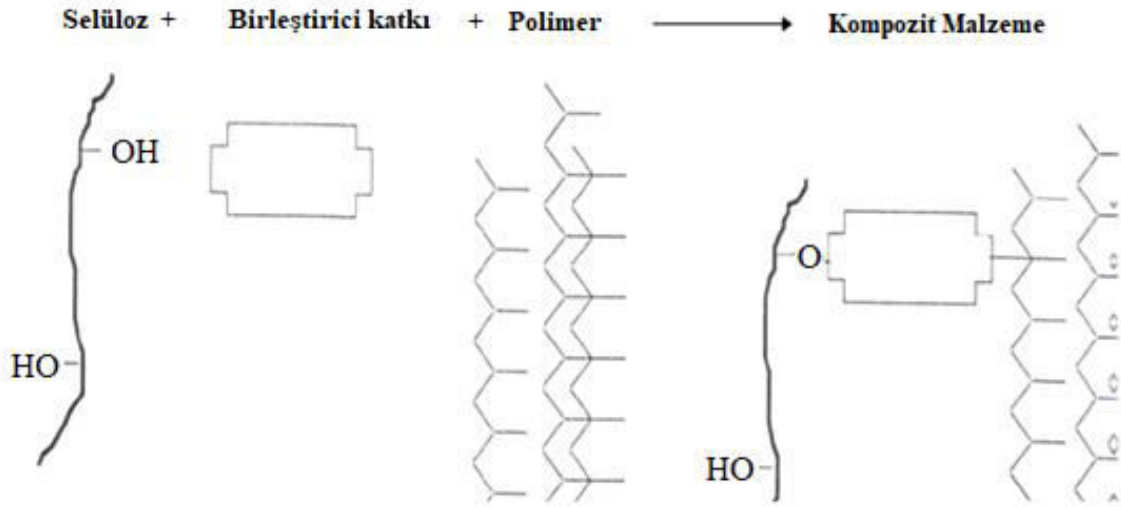
Çizelge 2. 2 OPK’de kullanılan katkı maddeleri ve etkileri (Mali ve ark., 2003)

Katkı Maddeleri	Fonksiyon / Etki
Birleştirici ve uyumluluk sağlayıcılar	* Odun liflerinin polimer bağlar içinde yayılmasına yardım eder. *Darbe, bükülme ve gerilme direncini artırır. *Su absorpsiyonunu azaltır *Mekanik özelliklerini rutubet ile yaşlanmaya karşı daha iyi koruma sağlar.
Antioksidan/ UV Kararlılaştırıcılar	*Üretim ve kullanım süresince bozulmaya karşı korur.
Anti-mikrobiyaller	*Dış kullanım koşullarına maruz kalan kompozitin özelliklerinin bozunmasını minimize eder.
Yangın Önleyiciler	Yüzey üzerinde alevin yayılmasını geciktirir ya da kabuk yanıcılığını azaltır.
Köpük yapıcılar	*Hücrel içyapı oluşturur. *Kompozitin gerçek bir odun gibi davranmasına izin verir. *Parçalıklık olarak yoğunluğu azaltır, eğilme direncini artırır, ağaç işleme aletlerinin kaliteli işlem yapmasını ve hızlanmasını sağlar. *Geri dönüşüm zamanı hızlanır. *Maliyeti düşürür.

Polimer malzeme ile odun selülozünün birbirine bağlanmasındaki katkı maddelerinin rolü aşağıdaki gibidir (Gassan ve ark., 1999). Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da uygunlaştırıcı ve birleştirici katkı maddelerinin içyapıda gerçekleştirdiği görev gösterilmiştir.

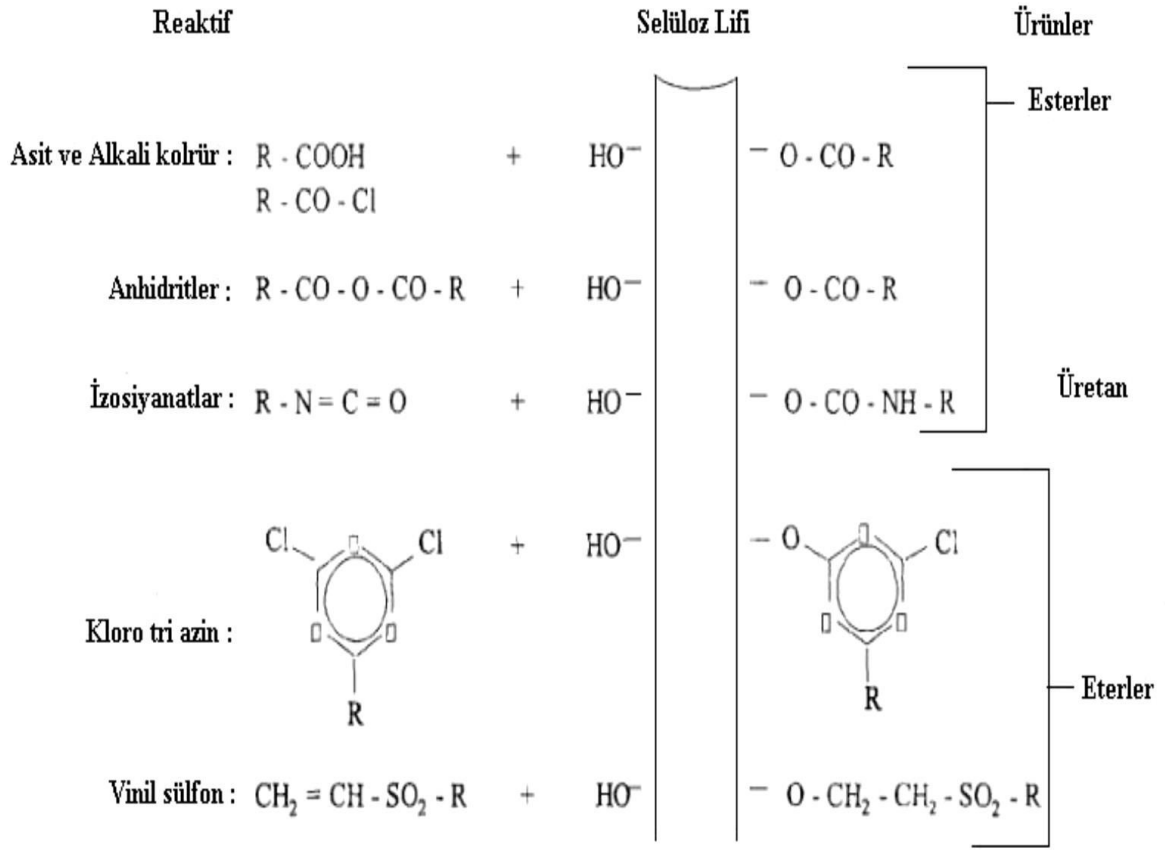


Şekil 2. 9 Uygunlaştırıcının içyapıda gerçekleştirdiği görev (Gassan ve ark., 1999).



Şekil 2. 10 Birleştiricinin içyapıda gerçekleştirdiği görev (Gassan ve ark., 1999).

Şekil 2.11'de değişik katkı maddelerinin selülozun hidroksil bağları ile reaksiyonu aşağıda gösterilmiştir (Gassan ve ark., 1999).



[R: Alkil ya da polimerik zincir]

Şekil 2. 11 Katkı maddelerin ve selülozun hidroksil ile reaksiyonu (Gassan ve ark., 1999).

2.3.1.3. Ekstrüzyon metodu ile OPK üretimi

Ekstrüzyon, termopolimer üretimi için çok yaygın kullanılan bir üretim metodudur. Dünyanın her yerindeki üreticiler çok geniş çeşitlilikte üretim gerçekleştirmektedir. Bunlara örnek olarak; polimer borular, filmler, levhalar, profiller ve kablo kaplamaları verilebilir. Bir kısmı hariç neredeyse tüm termopolimer malzemeler; katkı malzemeleri, dolgular dışında sayısız reaksiyon maddeleri de dâhil olmak üzere, birçok ilave madde kullanılarak ekstrüzyon metodu ile üretilebilmektedir. Geleneksel bir ekstruder bir ya da iki adet dönen vidadan oluşur (Robbins ve Alan, 2001).

2.3.1.3.1. Tek vidalı ekstruder

Modern ekstruder cihazlar, hammaddelerin vidalardan yararlanılarak taşınmasına yardımcı olur. Vida, bir şaft etrafına sarılı, helezon şeklinde metal paralel halkalar olarak tanımlanabilir. Vida hareketinin gerçekleştiği silindirik duvarlara sahip kanal ise vidanın devrinsel hareketiyle makaslama ya da parçalanma etkisine maruz kalan alanı temsil eder.

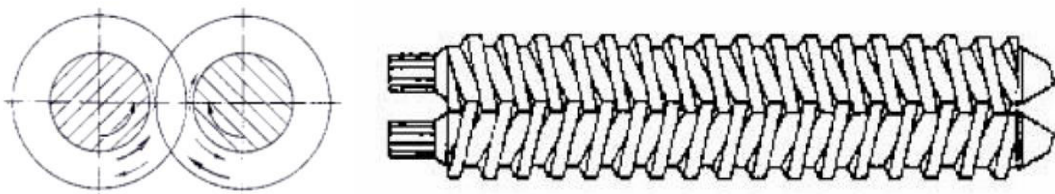
Silindirik duvarlarda meydana gelen sürtünme ve vida hareketi, malzemenin ileri doğru çekilmesini ve malzemenin vida ile birlikte aynı yolda ilerlemesini sağlar (Martelli, 2003). Malzemenin ileri doğru taşınma oranı vida yolu çapı ve açısıyla, kanal derinliği ve vidanın dönme hızı ile orantılıdır (Robbins ve Alan, 2001).

Polimer işleme süreçlerinde gerekli olan yüksek basınç ve sıcaklık altında, yüksek akışkanlığa sahip sıvılar ile çalışmak oldukça uygundur. Ekstrüzyon işlemi esnasında sürüklenme yüzeyini artırmak için vidanın hareket ettiği kanal uzunluğu artırılabilir. Kanal boyu ile vida çapı oranı tek vidalı ekstrüzyon işlemi için oldukça önemli bir veridir. Boy-çap oranının artması yüksek sürtünme meydana getirmekte ve bu sebeple benzer ekstrüzyon koşullarında çok daha fazla ileri doğru taşınım ortaya çıkmaktadır (Stevens, 2005).

Ekstruder cihazı üzerinde bulunan kontrol panelleri sayesinde, kullanılan hammaddeye ya da üretim profiline göre program yapılabilir ve üretim bandının hızını ayarlayabilir. Tek vidalı ekstruder cihazlarda vidanın içine yerleştirildiği silindir çok bölgeli tasarlanır. Bu sayede farklı bölgelere farklı sıcaklıklar uygulanabilmektedir. Hammaddenin, olması gereken sıcaklığın üzerine çıkması halinde problemlerle karşılaşılabilir. Bu nedenle, kullanılan soğutma fanları ile sıcaklık sabit tutulabilir.

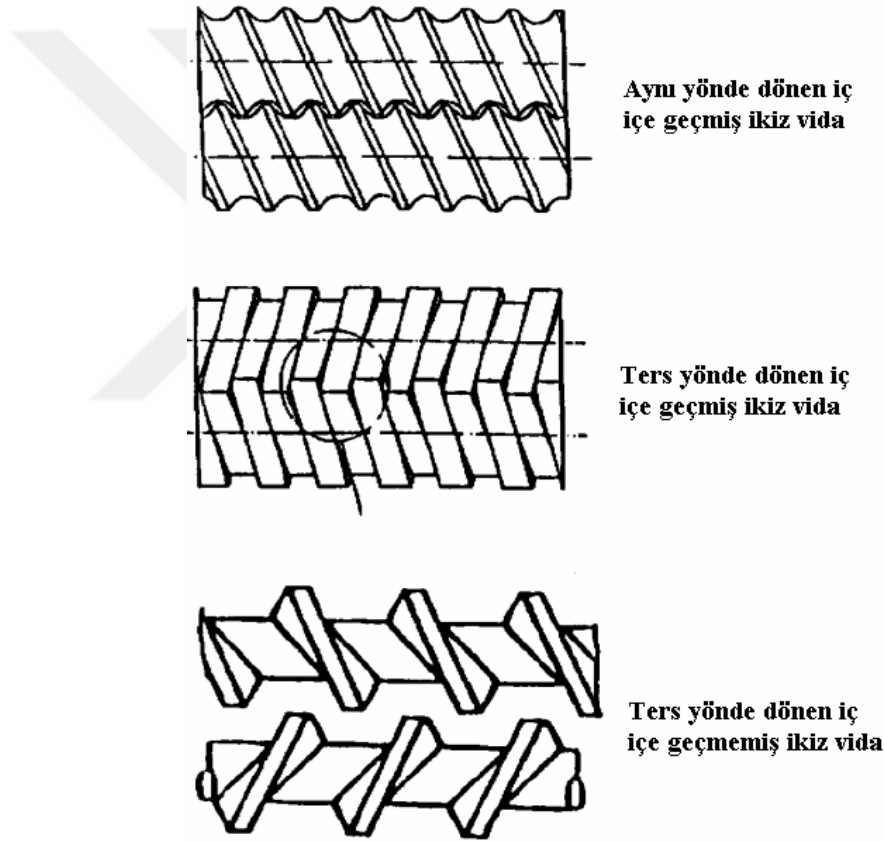
2.3.1.3.2. İkiz vidalı ekstruder

İkiz vidalı ekstruder cihazlar, çoğunlukla, basınç ve karıştırmaya ihtiyaç duyulan ve tek vidalı ekstruder cihazlarının yetersiz kaldığı üretimlerde kullanılır (Şekil 2.12). Çift vidalı ekstruder cihazının vida dişleri içi içe geçmiş vidalı gibi olanlar ve olmayanlar olarak ikiye ayrılır. Burada ileri doğru akış, öncelikli olarak vida ve kanal arasında gelişen sürtünme ile sağlanır. İç içe geçmiş vidalı ekstruder cihazlar ise malzemenin vida adımlarının birinin üzerinden, diğerine geçmesi sağlamaktadır. Bu sayede malzeme homojen bir şekilde karışmaktadır. İç içe geçmiş vidalara sahip ikiz vidalı ekstruder cihazında malzeme sürtünme gücü olmaksızın ilerlemektedir.



Şekil 2. 12 Geleneksel ikiz vidalı ekstruderin görünüşü (Schwarz, 2005).

Vidalar, aynı yönde dönenler ve birbirine ters yönde dönenler olmak üzere sınıflandırılabilir. Aynı yönde dönen vidalar, aynı yönde ilerleme sağlarlarken ters yönde dönen vidalar farklı yönde hareket ederler (Martelli, 2003). Ters yönde dönen vidalı ekstruder cihazlar, özel profil uygulamaları için gerekli olan yüksek basıncı üretme yeteneğine sahip ekstruder cihazlardır. Aynı yönde dönen vidalı ekstruder cihazlar benzer yüksek basıncı sağlayamamakta, fakat sahip olduğu kusursuz vida tasarımı sayesinde çok iyi karıştırma ve kısa zamanlı bir üretim işlemi sağlamaktadır. Çok kısa üretim zamanı malzemelerin hepsinin aynı parçalanma enerjisi ve sıcaklığa maruz kalmasını sağlar (Rosen, 2003). Şekil 2.13’de geleneksel ikiz vidalı ekstruder cihazlara ait vida örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 13 Geleneksel ikiz vidalı ekstruder cihazlara ait vida örnekleri (Gökalp, 2006)

Huber (2006), iç içe geçmiş dişlere sahip ve aynı yönde dönen ikiz vidalı ekstruder cihazların, sıvı termopolimer ve odun liflerinin birleşmesi için gerekli olan bağlar arası homojen dağılımı ve birleştirmeyi gerçekleştirecek özellikte olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca aynı üretim sürecinde, ısıl bozunma ve lif kırılmasının minimize edildiğini belirtmiştir.

2.3.1.4. OPK'nin özellikleri ve kullanım yerleri

OPK ürün olarak bazı avantajlı özelliklere sahiptir. Son zamanlarda geleneksel mühendislik odun ürünleri üzerine yapılan başarılı çalışmalara rağmen, odun malzemesinin çevre koşullarına maruz kalması durumunda su emme sebebi ile kalınlık artımı ve biyolojik bozulmalar gibi etkilere karşı gösterdiği hassasiyet sebebiyle kullanımı kısıtlanmaktadır. Termopolimerlerin OPK'lere katılması malzemenin su alım miktarı üzerine önemli bir engel oluşturur (Puppin, 2001). Ayrıca odun esaslı malzemelerden üretilen ürünlerin dayanımı ve ürün tasarımına etkisi üzerine çok az çalışma yapılmıştır (Gökalp, 2006). Katı termopolimerler ile kıyaslandığında, OPK'ler farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahiplerdir. Bazı koşullar altında odun ilavesi termopolimerlerinin erime ya da yumuşama sıcaklığını artırabilmektedir (Puppin, 2001).

OPK'lerin üretim açısından da bazı olumlu özellikleri bulunmaktadır. Dökme kalıp yöntemiyle üretilen kapı göbekleri hariç geleneksel odun kompozitlerinden prizmatik malzemeler üretmek için düz presler kullanılmaktadır. Malzemelere herhangi bir biçim verebilmek için ikincil üretim adımları ve tipik biçme ve birleştirme işlemlerine gerek yoktur. Bu üretim Termodin yöntemiyle yonga levha üretimine benzetilmektedir (Bozkurt ve Göker, 2005). Ekstrüzyon yöntemleri OPK üretiminde yüksek özellikli şekillerin verildiği lineer parçaların üretimine yoğunlaşmaktadır. Bu teknik son ürün maliyeti ve birçok üretim adımını azaltacak avantajlara sahiptir (Puppin, 2001). Çizelge 2.3'te odun ve plastiğin birbirine göre üstünlükleri verilmiştir.

Çizelge 2. 3 Odun ve plastiğin birbirine göre üstünlükleri

	Özellikler	Talaş	Polimer
Maliyet	Ürün maliyeti	+	
	Amortisman		+
	İşlenebilme	+	
Fiziksel özellikler	Yoğunluk	+	
	Rutubet direnci ve boyutsal kararlılık		+
	Isı ile genleşme	+	
	Elastikiyet modülü	+	
	Mekanik dirençler	+	+
	Yüzey kalitesi	+	
Çevresel etki	Serbest karbondioksit		+
	Üretim sırasında enerji kullanımı		+
	Geri dönüştürülebilme	+	

OPK'lerin sahip olduğu bu olumlu özelliklerin yanında bazı olumsuz özellikler de taşımaktadır. Katı termopolimerler, diğer sentetik ve mineral esaslı kompozitler ile kıyaslandığında bir takım dezavantajlara sahiptir. Su absorpsiyonu ve kalınlık artımı OPK'ler de daha yüksek iken katı termopolimerlerde yok denecek kadar azdır. Odunun polar yapısı ve termopolimerlerin polar olmayan yapısı bağlanmayı sağlayabilmek için yüzey aktivasyon metotlarını ve birleştirici katkı maddelerini gerektirir. Diğer liflerin bağlayıcı polimer içinde tamamen dağılması nasıl zor ise, odun dolgularının da polimer içinde dağılımı o derece zordur. Bu yüzden uygun karıştırma teknikleri ve dağıtıcı katkı maddeleri kullanılarak etkili bir karışım elde etmek gerekmektedir (Pagev, 2004). OPK'i başta Amerika ve Avrupa'da olmak üzere dünyada birçok kullanım alanına sahiptir ve bu kullanım alanları Çizelge 2.4'te verilmiştir (URL-1).

Çizelge 2. 4 OPK'lerin kullanım alanları

Dış Mekân	İç Mekân
- Dış cephe kaplamaları	- Raflarda
- Gemi döşemelerinin yapımı ve tren yolları	- Kapı, pencere çerçeveleri ve elemanları
- Bahçe mobilyası ve mimarisi	- Mutfak dolapları
- Korkuluk ve parmaklık yapımı	- Süpürgelik yapımı
- Birinci sınıf işçilikler	- Döşeme kaplaması olarak
- Çit ve çit destekleri	- Ofis mobilyaları
-Kablo döşemesi işlemleri	- Ses yalıtımı gereken yerlerde
- Merdiven ve tırabzan yapımı	

OPK'nin polipropilen ile üretilen ürünlerin tipik kullanım alanı otomobil üretim sanayi ve yan sanayi ürünleridir. Ayrıca bu kompozitler inşaat ürünlerinde de kullanılmaya başlanılmıştır. PVC kompozitleri önemli kullanım yerleri bulmuştur. Şekil 2.14'te OPK'lerin çeşitli kullanım yerleri gösterilmiştir (Gökalp, 2006).



Şekil 2. 14 OPK'nin çeşitli kullanım yerleri (Gökalp, 2006)

2.4. Radyasyon

Radyasyon, doğal veya yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı bir yapı oluşturabilmeleri için dışarı attıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga biçiminde taşınan fazla enerji olarak adlandırılır. Radyasyon esas itibarıyla “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyon olarak iki kısımda incelenebilir. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütesiz radyasyondur. Dalga tipi radyasyon, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/saniye) hareket ederler. Parçacık ve dalga tipi radyasyonlar da ikiye ayrılır. Bunlar, “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilir. İyonlaşma, radyasyonla etkileşime giren herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil tüm canlıların vücudunda da ortaya çıkabilir (URL-2).

Radyoaktiflik, 1895 yılında Wilhelm Röntgen'in x-ışınlarını bulmasından sonra, 1896 yılında Henry Becquerel'in uranyumun, gözle görülmeyen ışınlar yaydığını keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu buluşların ardından Marie ve Pierre Curie tarafından başka radyoaktif elementler bulunarak izole edilmiştir. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özellikleri ise, Ernest Rutherford tarafından ortaya konulmuştur (URL-2).

2.4.1. Radyasyon kaynakları

Yeryüzündeki tüm cansız ve canlılar her gün havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ilaveten insanlar tarafından üretilen suni radyasyon kaynaklarının ışınlamına maruz kalmaktadırlar. Topraktaki radyoaktivite ise uranyum, toryum ve bu radyoizotopların bozunum serilerinde yer alan diğer radyoaktif malzemelerden kaynaklanır. Havadaki doğal radyasyon, ya yeryüzündeki çeşitli çatlaklardan çıkan radyoaktif gazlardan özellikle de radon gazından ya da kozmik ışınlardan kaynaklanmaktadır. Sudaki radyasyon ise gerek havadaki gerekse topraktaki bu radyoaktif kaynakların su ile etkileşiminin bir sonucudur (URL-2).

Bazı radyoaktif maddeler vücudumuzda da bulunmaktadır. Bu maddelerin en önemli olanları potasyum, radyum ve karbondur. Suni radyasyon insanlar tarafından farklı amaçlar ile üretilmiş radyoaktif izotopların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu radyasyon kaynakları tedavi etmek amacı ile radyoterapide, teşhis etmek için röntgen, tomografi ve sintigrafi taramalarında çoğunlukla kullanılmaktadır. Aynı zamanda endüstride kalite kontrol, gıda sanayiinde ürünlerin raf ömrünü artırmak için sterilizasyonda ve nükleer reaktörlerde enerji üretiminde radyoaktif malzemelerden yararlanmaktadır (Tüysüz ve ark., 2004).

2.4.2. Radyoaktivite

Doğada kararlı bir çekirdeğe sahip atom sayısı çok azdır. Bir çekirdeğin kararlı olabilmesi için, belli sayıda nötrona ve protona sahip olması gerekir. Bu sayıların dışına çıkıldığı zaman, çekirdekler kararsız bir yapıya dönüşürler. Kararlı hale gelebilmek için parçalanan bu tür çekirdekler, "radyoaktif çekirdek" olarak adlandırılırlar. Ağır elementlerin çoğu radyoaktif özelliklere sahiptir (Berber, 2005).

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Herhangi bir şekilde müdahale edilip yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Üstel bir fonksiyon şeklinde zayıflayan bir tempo ile azalarak tükeninceye kadar devam eder. Buna radyoaktif bozunma denir (Mavi, 2004).

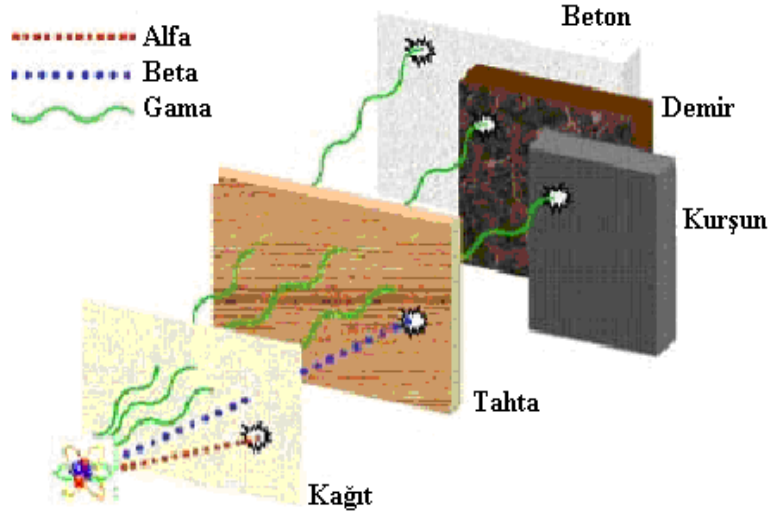
Radyoaktif çekirdekler kararlı bir nötron/proton oranına ulaşınca kadar, bozunmayı sürdürürler. Bozunma sürecindeki radyoaktif çekirdekler, alfa (α), beta (β) ve gama (γ) radyasyonlarından birini veya birkaçını yayınlamaya çalışır (Berber, 2005). Genel olarak radyoaktif bozunmanın 3 türü vardır. Bunlar alfa, beta ve gama bozunmasıdır.

Alfa bozunması: Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığını yayınlamaya çalışır. Polonyum, radyum ve amerikyum alfa saçan birkaç radyonüklite örnek olarak verilebilir (Berber, 2005).

Beta bozunması: Üç farklı beta bozunma türü bulunur. İlk bozunma türü; kararsızlık çekirdekteki nötron fazlalığından kaynaklanıyorsa, nötronlardan birinin proton ve elektron haline dönüşmesi şeklindedir. İkinci bozunma türü; kararsızlık nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan birinin nötron ve pozitif yüklü elektrona dönüşmesi ile gerçekleşir. Son bozunma ise proton fazlalığından dolayı kararsızlık söz konusu ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanması şeklinde meydana gelir. Elektronla bir proton birleşerek, nötron ve nötrino haline dönüşür. Tritiyum, kripton, strontyum, yttriyum ve thalliyum beta saçan birkaç radyonüklite örnek olarak verilebilir (Berber, 2005).

Gamma bozunması: Çekirdekteki enerji fazlalığı nedeniyle veya nüklid bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra çoğunlukla hemen kararlı durumuna geçemez, bozunma sonucu oluşan nüklid, hala yarı kararlı durumdadır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini, elektromanyetik özellikte olan bir gama radyasyonu şeklinde hemen yayımlar. Kobalt, sezyum, iridyum, radyum ve amerikyum gama saçan birkaç radyonüklite örnek olarak verilebilir (Berber, 2005).

Alfa, beta ve gama ışınlarının birbirlerine göre soğurulması Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2. 15 Radyasyonların birbirine göre soğurulması (Örtlek, 2015)

2.4.3. Radyasyon tehlikelerinden korunma yöntemleri

Radyasyondan korunmanın temel esası, bedenin maruz kalacağı radyasyon miktarının mümkün olan en düşük seviyeye indirilmesidir. “Verilebilecek en düşük radyasyon seviyesi” (ALARA) ile çalışmak radyasyon ile çalışmanın temel esasıdır. Bu bakımdan radyasyon tehditlerinden korunmada 3 ana etken vardır. Bunlar;

- Radyasyon kaynağına olan mesafe
- Işınlama zamanı
- Radyasyon kaynağı ile araya konulacak bir engel

şeklindedir (Durmaz, 2002).

2.4.4. Gama Işın Detektörleri

Nükleer radyasyonu belirlemek için kullanılan tüm detektörler aynı çalışma prensibine sahiptirler. Radyasyon detektör sistemine girer, detektör malzemesinin atomları ile tepkimeye girer, enerjisinin bir miktarı ya da hepsi yok olur ve atom yörüngelerinden daha düşük enerjili elektronların salınmasına sebep olur. Bunun sonucunda elektronlar sayılır ve analiz etmek için elektronik sistem aracı ile akım pulsuna veya voltaj biçimine çevrilir. Detektör malzeme türünün belirlenmesi ölçülecek radyasyonun seviyesine bağlıdır. Gama ışınlarının ölçümünde:

- Yarı iletken Detektör malzemeler
- Sintilasyon Detektör malzemeleri

çoğunlukla kullanılan detektör malzemelerdir.

Bu detektör malzemelerin çalışma prensibi, gama ışınları kullanılan malzeme içerisinde iyonlaşarak enerji yok olması esasına dayanır.

2.5. Barit

Barit endüstrisi, 1845 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde başlamış ve Türkiye'de 1964 yılından sonra gelişme göstermiştir. Baritin yüksek oranda baryum içeren kimyasal formülü $BaSO_4$, özgül ağırlığı yaklaşık $4,5 \text{ t/m}^3$, mohs skalası 2,5-3,5, kristal yapısı ortorombik olan bir malzemedir. Bazen sarı, beyaz, gri ve renksiz olabilir. Barit pahalı olmayan bir mineraldir ve sondaj, dolgu ve kimya sektöründe kullanılmaktadır. Türkiye barit miktarı dünya rezervinin yaklaşık %7'si kadardır. Barit yatakları Konya, Kahramanmaraş, Muş, Antalya ve Kütahya'da yer alır. Türkiye'nin yıllık öğütülmüş barit tüketim miktarı yılda 12,000 ton civarındadır. Dünya barit üretiminin %85-90'ı sondaj sektöründe kullanılmaktadır. Baritin özgül ağırlığının yüksek olması, düşük aşındırıcılığa sahip olması, yüksek basınç ve ısıya karşı kararlı olması, manyetik özelliğinin bulunmaması, kolay ve uygun maliyetle temin edilmesinden dolayı bu sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam endüstrisinde değişik baryum bileşikleri kullanılmaktadır. Boya sanayisinde beyazlatıcı ve inceltici olarak kullanılmaktadır. Öğütülmüş, barit asfalta katkı olarak kullanıldığında; havaalanı pistleri ve teknik özellikleri yüksek yol kaplamaları üretilmektedir. Baryumun X-ışınlarını, karşı zırhlama özelliğinden dolayı hastanelerde, nötronları zırhlama özelliği nedeni ile atom reaktörlerinde kullanılır (DPT, 2001).

2.6. Bor

Tarihte ilk olarak yaklaşık 4000 yıl önce Babiller Asya kıtasından boraks ithal etmiştir ve bu malzemeyi altın işletmeciliğinde kullanmışlardır. Borik Asit ise 18. yüzyıl başında borakstan yapılmış, 19. yüzyıl başında ise elementer bor elde edilmiştir (Moseman, 1994). Bor, biri amorf ve altısı kristalin polimorf yapısında olmak üzere, farklı allotropik yapılarda bulunur. Bor elementinin kimyasal özellikleri tane büyüklüğüne ve morfolojisine bağlı olarak değişmektedir. Bor, periyodik cetvelde "B" simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan geçiş elementidir. Bor serbest halde doğada

bulunmaz. Bor mineralinin 200'den fazla çeşidi olduğu bilinmektedir (Uluköy ve Can, 2006).

Endüstriyel açıdan önemli bor bileşikleri arasında boraks, kolemanit, üleksit gibi ana bileşikler bulunur ve bunların altında probertit, kernit, datolit, sodyum perborat szyabelit, sasolit, boraks pentahidrat, susuz boraks, boraks dekahidrat, borik asit, susuz borik asit ve hidroborasit gibi bileşenler mevcuttur. Bor bileşiklerinin B_2O_3 oranına göre sınıflanmakta ve ne kadar yüksek B_2O_3 içeriğine sahip ise o kadar değerli kabul edilmektedir. Bor madenleri, topraktan çıkarıldıktan sonra kırma, eleme, yıkama ve öğütme işlemlerinin ardından, ilgili sanayilerin kullanımına hazır hale getirilmektedir (Ölçen, 2001).

Ticari olan ve Türkiye yatakları açısından önemli olan bor mineralleri;

- *Kernit (Razorit) ($Na_2B_4O_7 \cdot H_2O$)*: Doğada renksiz olarak bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95'tir. %51 oranında B_2O_3 içeriğine sahiptir.
- *Kolemanit ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$)*: Kristal yapısı Monoklinik yapıya sahiptir. Sertliği 4-4,5 özgül ağırlığı 2,42'dir. %50 oranında B_2O_3 içeriğine sahiptir ve bileşikler arasında en yaygın olanıdır.
- *Pandermit (Priseit) ($Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$)*: Doğada beyaz renkte bulunur. Kireçtaşına benzemektedir. %49,8 oranında B_2O_3 içeriğine sahiptir.
- *Üleksit ($NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$)*: Beyaz ve gri renklerde bulunabilir. %43 oranında B_2O_3 içeriğine sahiptir
- *Boraks (Tinkal) ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)*: Tabiatla çoğunlukla renksiz ve saydam olarak bulunabilir. Sertliği 2-2,5 ve özgül ağırlığı 1,7'dir. %36,6 oranında B_2O_3 içeriğine sahiptir.

Dünya toplam bor rezervinin yaklaşık %72'si Türkiye'de bulunmaktadır. Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek'te bor işletme tesisleri bulunmaktadır. Bor bileşiklerin cam, seramik, deterjan ve sabun, tarım, nükleer, inşaat-çimento, yalıtım, yangın önleme sektörlerinde çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır (Oruç ve ark., 2004).

Bor işleme tesislerinde açığa çıkan atık miktarının yılda 600.000 ton olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Yaman ve Maraşoğlu, 1998; Güyagüler, 2001). Tinkal işleme tesisinde çıkan cevher atığı montmorillonit, dolomit ve kalsitten oluşmaktadır (Sabah ve Yeşilkaya, 2000). Kolemanit işleme tesisinden çıkan atıklar montmorillonit, kalsit, klorit ve biyotit içermektedir (Bozkurt, 1989). Bor atıkları

genellikle seramik, tuğla ve çimento sektöründe kullanılmaktadır (Oruç ve ark., 2004).

2.7. Cam tozu

Cam, yüksek sıcaklıklarda erimiş halde iken hızlı bir şekilde soğutulduğunda amorf yapıya sahip olur. Cam fiziki görünümü açısından katı bir maddedir. Ama belirli bir erime noktası olmadığından aslında aşırı soğutulmuş sıvıdır. Doğada obsidiyen ve kuvars şeklinde bulunmaktadır. Cam üretiminde kum, dolomit, soda, feldspat ve kalker gibi ana malzemeler, yardımcı malzemeler kullanılır. Yardımcı malzeme olarak cam kırığı da sayılabilir. Cam kırığı ve kum, hammaddelerin %70'ini oluşturmaktadır. Hammaddeler belli oranlarda karıştırılır ve yaklaşık 1500 °C ısıtılır. Bu sıcaklıklarda ergimiş cam kontrollü bir şekilde ısıtılarak istenilen özellikte üretilmiş olur. Genellikle soda-kireç silikat camlar günlük kullanımda evlerimizdeki pencere ve kapılardaki camlar olup ayrıca şişe yapımında da kullanılmaktadır (Gökşen, 2018).

Ülkemizde pencere, kapı ve şişe gibi ürünlerden yıllık 120.000 ton cam atık ortaya çıkmaktadır. Atık camların farklı renkli olması nedeniyle, az kısmı tekrar kullanılmakta ve büyük kısmı ise doğaya atılmaktadır. Atık cam, doğada uzun yıllar çözünmeden kalır ve atık camın doğaya bırakılması çevreyi kirletmektedir. Atık camın uygun alanlarda değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Turgut, 2007).

2.8. Diatomit

Diatomit, algler sınıfında olan diatomelerin silisli kabuklarının depolanması ile oluşmuş fosil karakterli bir sedimanter kayadır. Diatome içinde yaşadığı bölgenin suyundan elde ettiği silisten yapılmış kabuk içinde yerleşmiş çok küçük bir protoplazmadır. Geniş ve sığ havzalar, çok miktarda suda erimiş silis ve temiz sular, gelişmesini sağlayan ve hızlandıran faktörlerdir. Ölen diatomelerin dibe çöken kabukları birikerek diatomit yataklarını oluşturmaktadır. Diatomeler ilk defa 65-135 milyon yıl önce Kretase çağında çok büyük miktarlara ulaşmışlar ve bugün ticari değeri olan yatakların büyük bir bölümü ise 7-27 milyon yıl önce oluşmuşlardır. Diatomeler bugün de denizlerde ve göllerde yaşamlarını sürdürmektedirler. Diatome kavrısı amorf silis ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) yapısındadır. Rezervler, oluşma ortamının yapısı ve şartlarına bağlı olarak, genellikle kil, volkanik kül, kum ve organik kalıntılar ihtiva ederler. Ticari değeri olan kayaların %86-94'ünü silis, geri kalan kısmını ise alüminyum, demir ve muhtevadaki kilden gelen alkaliler tamamlar.

Diatome kabuğunun opal sertliği 4,5-6,0 arasında iken kayacın sertliği yaklaşık 1,5'tir. Genellikle gevşek ve hafif yapılı olup rengi beyazdan açık bej, gri ve koyu kahverengiye kadar değişebilir. Ağırlığının üç katı su emebilir. %85-90 oranında yüksek gözenekli yapıya sahiptir. Isı iletkenliği 100-300 °C de 0,08 KCal/m².°C.h mertebesindedir. Ergime noktası içerisinde bulunan safsızlıklara bağlı olarak 1000-1590 °C arasında değişir. Diatomit birçok kimyasal maddeye karşı inert olup yalnız yüksek sıcaklıkta kuvvetli bazlardan ve asit olarak da sadece hidroflorik asitten etkilenir. Ham diatomitin çeşitli şekillerde işlenmesiyle elde edilen aktif diatomit ürünleri doğal, kalsine, flaks-kalsine olmak üzere başlıca üç gruba ayrılır. Diatomitin filtre, dolgu, yalıtım, refrakter ve hafif yapı malzemesi, aşındırıcı ve gübrelerde kullanımı mevcuttur. Toplam miktarın yaklaşık olarak 100 milyon ton civarı olduğu ve oldukça kaliteli kaynaklarımızın bulunduğu belirtilmektedir. (DPT, 2001).

2.9. Kuvars

Kuvars minerali en çok magmatik kayalarda bulunmakla birlikte, sedimantasyon yoluyla oluşabilir. Kuvarsın formülü SiO₂'tir. Mohs sertliği 7, özgül ağırlığı 2,65, ergime sıcaklığı 1785 °C olan ve yer kabuğunda oldukça sık görülen minerallerden biridir. Kuvars minerali erimemekle beraber, sadece hidroflorik asitte çözünür. Piezoelektrik ve piroelektrik özellikler gösterir. Düzgün ve temiz kristalli kuvars, optik ve elektronik sanayinde, frekans filtrelerinde ve süs taşı olarak kullanım alanları mevcuttur. Süt ve camı kuvarsların; boya, cam, deterjan, metalürji, seramik, endüstrisinde aşındırıcı ve dolgu maddesi olarak kullanım alanı da bulunmaktadır (DPT, 2001).

2.10. Uçucu Kül

Gelişmekte olan ülkelerin enerji tüketimlerinin artmasına bağlı olarak enerji ihtiyacını karşılamak için hidroelektrik ve termik santraller kurulmaktadır. Özellikle düşük kalorili kömür yatakları yakınına büyük kapasiteli termik santraller inşa edilmektedir. Ancak, enerji üretiminin artırılması kül üretiminin de artmasına neden olmaktadır. Bu küllerin santrallerden uzaklaştırılması ya da depolanması çevre kirliliğine neden olmaktadır (Tokyay ve Erdoğan, 1998).

Termik santrallerinde taş kömürü ya da linyit yakıtlı elektrik üretilir. Yanmanın sonucunda farklı özelliklerde gazlar ve atıklar oluşur. Bu atıkların önemli bir kısmı bacalardan çıkan

gazlarla birlikte uçup giden küllerdir. Bunların bacalardan çıkıp gitmelerine izin verilmemelidir. Aksi takdirde çevreyi kirletir. Bu küller elektrostatik ya da filtre torbaları ile tutulur. (Atış, 2000). Uçucu küllerin, taşıma ve depolanması büyük bir sorundur. Uçucu küller kuru ya da sulandırılmış olarak depolanmakta ve bu durum çevrenin kirliliği riski oluşturmaktadır (Özcan, 1997). Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, bu bileşenlerin miktarları uçucu külün çeşidine göre değişmektedir (Türker ve ark., 2003).

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşenlerine göre ASTM C 618 (2005) ve TS EN 197-1 (2012) standartları kullanılmaktadır. ASTM C 618 (2005) standardına göre uçucu küller iki gruba ayrılırlar. Bitümlü kömürden üretilen $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam yüzdesi %70'den fazla ve CaO yüzdesi %10'un altında olduğunda F sınıfı uçucu küller olarak adlandırılır. F sınıfı uçucu küller yalnız puzolanik özellik gösterirler. Bitümlü kömür veya linyitten üretilen $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam yüzdesi %50'den fazla ve CaO yüzdesi %10'un üstünde olduğunda C sınıfı uçucu küller olarak adlandırılır. Bu küller puzolanik özelliğinin yanında bir miktar bağlayıcı özelliğe de sahiptirler. (Türker ve ark., 2004). Afşin-Elbistan uçucu külü yüksek oranda CaO ve SO_3 içerdiğinden bu iki sınıfa da uymamaktadır ve değerlendirilememektedir.

2.11. Yüksek Fırın Cürufu

Demir cevherinin içerisinde bulunan saf demiri elde etmek için, içerdiği yabancı maddelerden ve oksitlerden arındırılması gerekir. Bu işlemleri yerine getirebilmek amacıyla demir cevherleri, yüksek fırın adı verilen fırınlarda yüksek sıcaklıklarda ısıtılıp, eritilmektedir. Bu fırınlarda kok kömürü kullanılmakta ve cevher içerisinde bulunan yabancı maddelerden uzaklaştırmak için kalker taşı ile birlikte ısıtılmaktadır. Fırındaki sıcaklık etkisiyle, kok kömürünün karbonu, demir oksitin içerisinde bulunan oksijenle birleşip karbon monoksit ve karbondioksit oluşturarak fırını terk eder. Geride, eriyik durumdaki demir ile birlikte, yine eriyik durumdaki kireç, kok kömürünün külü, silis, alümin ve diğer yabancı maddelerden oluşan atık malzemeler kalmaktadır. Bu atık malzemeye “cüruf” adı verilmektedir. Eriyik malzemeler fırının alt ucunda toplanmaktadır. Yüksek fırından eriyik bir durumda, atık malzeme olarak dışarı alınan cüruf yaklaşık 1500 °C sıcaklıkta olduğundan, cürufun herhangi bir amaçla kullanımı, ancak soğutulmasının ardından mümkün olmaktadır. Uygulanan soğutma yöntemi ve hızına bağlı olarak, soğutulmuş duruma getirilen malzeme oldukça değişik yapısal

karakteristikler göstermektedir. Cüruf, çimento katkı maddesi, beton agregası, hafif yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Erdoğan, 1993; Erdoğan, 1995).

2.12. Perlit

Perlit asidik karakterli volkanik bir camdır. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit hem de bunun genleştirilmesiyle elde edilen ürünler için kullanılmaktadır. Perlit 750–1200 °C sıcaklık arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genleşerek camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşür. Perlit ilk hacminin 20 katına kadar genleşebilmektedir. Bu ürüne genleştirilmiş perlit denir (DPT, 2001).

Perlit içerisindeki gözenekler genelde birbiri ile bağlantılıdır. Perlitin içerdiği gözenekler camsı bir zarla yalıtılmış olup gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda değişim göstermektedir. Bu sebeple, yalıtımı yüksek ve suda bile yüzebilecek kadar hafif olan bir kayac biçimindedir. Perlitin genellikle kimyasal yapısında SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O ve diğer oksit bileşenler bulunmaktadır.

Perlit içindeki silis oranının yüksek olması aşındırıcılık özelliği sağlamaktadır. Düşük yoğunluklu perlitler bu özelliklerinden dolayı, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan perlit ve pomzalar bünyesinde bulunan; alüminyum, demir, magnezyum, kalsiyum bileşenlerinin bulunması nedeniyle, yapı malzemesi üretimine uygun olduğu ve yüksek mukavemet isteyen inşaat sahalarında, yer döşemelerinde ve yapısal özelliklerinden dolayı oldukça kullanılabilir bir özellik göstermektedir (Gündüz ve ark, 1998).

Türkiye perlit rezervi 4,5 milyar ton düzeylerindedir. Bu rakam tahmini dünya rezervlerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Dünyada üretilen ham perlitin büyük bölümü genleştirilmiş şekilde tüketilmektedir. Genleştirilmiş perlit mükemmel ısı ve ses yalıtım özelliği nedeniyle kullanımı hayli yaygın bir yapı malzemesidir. Ülkemiz perlit yatakları bakımından zengin kaynaklara ve kapasiteye sahip olmasına rağmen yurtiçi talep çok sınırlı sayılardadır. Çok iyi bir yalıtım malzemesi olan perlit iç tüketimdeki gerekli ivmeyi bir türlü kazanamamıştır. Türkiye'deki perlit tüketiminin %60'ın inşaatın, %20'si sanayinin, %17'si tarımın ve %3'ünde diğer kullanım alanlarına ait olduğu görülmektedir (DPT, 2001).

2.13. Pomza

Pomza volkanik kökenli bir kayadır. Asidik magma, bazik magmaya nispeten daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın akışkan olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Basıncın artmasıyla asidik malzeme ile birlikte magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç boşalması, ani genişlemelere neden olur. Bu esnada bünyedeki uçucu bileşenler çok hızlı bir şekilde uzaklaşırlar. Bünyeyi terk eden gazların ardından geride erimiş küresel parçalar, atmosferle temas eder etmez hızla soğurlar. Böylelikle pomza oluşur (Gündüz ve ark., 1998).

Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler genelde bağlantısız olduğundan hafif, suda uzun süre yüzebilen, permeabilitesi düşük ve yalıtımı oldukça yüksektir. Sertliği Mohs skalasına göre 5-6 aralığındadır. Kimyasal olarak %75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Kayacın içerdiği SiO_2 oranı, kayaca abrasif özellik kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergilemektedir. Al_2O_3 bileşimi ise ateş ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Na_2O ve K_2O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir. Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde, iki tür pomza oluşmaktadır. Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Bazik pomza; koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı 1-2 civarındadır. Asidik pomza; beyaz, kirli görünümde ve grimsi beyaz renkte olup yoğunluğu bazik pomzadan daha hafif özgül ağırlığı 0,5-1 civarındadır. Türkiye, pomza rezervleri açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Araştırma yapılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar m^3 'lük pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Rezervler İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmıştır (DPT, 2001).

2.14. Vermikülit

Mineralojik olarak tek başına farklı bir grubu temsil eden vermiculit, endüstriyel olarak genişleme özelliğine sahip tüm mika grubu minerallerini de kapsayan genel bir terim olarak kullanılmaktadır. Vermiculiti sulu magnezyum, alüminyum, demir silikat olarak da tarif etmek mümkündür. Vermiculit, monoklinik sistemde kristallenir, dilinimi muntazamdır. Yeşil, sarımsı kahve ve hatta siyah renkte olabilir. Sertliği, Mohs ölçeğine göre 1,2 ile 2,0 arasında değişir, özgül ağırlığı 2,5'tir. Vermiculit yüksek sıcaklıklarda aniden ısı şokuna

tabi tutulduğunda C eksenini boyunca akordiyon gibi uzamaktadır. Bu karakteristik genişlemenin yapıda bulunan kristal suyunun, ani olarak buharlaşması sonucu oluşan buhar basıncından kaynaklandığı düşünülmektedir. Isısal genişleme olayının, henüz tam olarak açıklanamamasının nedeni, ağırlıkça toplam aynı miktarda su içeren numunelerin dahi farklı oranlarda genişlebilmeleridir. Kimyasal bileşim ve yapraklar arasında bulunan su moleküllerinin hangi bağlarla yapıya tutunduğu, genişleme olayını etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Genişleme sonucunda malzemenin yığın yoğunluğu, yaklaşık 10 kat azalarak, $0,8 \text{ g/cm}^3$ 'den $0,08 \text{ g/cm}^3$ 'e düşmektedir. Yığın yoğunluğundaki düşüş, vermikülitin kalitesine ve genişletirmenin yapıldığı fırın performansına bağlı olmakta ve ısıtma işlemi sonucunda yaklaşık 30 katlık bir genişleme sağlanabilmektedir (URL-3).

Genleşmiş malzeme, en çok ısı ve ses yalıtımı amaçlı ve zirai uygulamalarda kullanılmaktadır. Vermikülit, bütün killerle son derece iyi kompozit malzeme oluşturduğundan, genişmiş malzeme içeren alçı ve diğer karışımlardan; yapılarda ateşe dayanıklı eleman, ses yalıtkanı, nem ve su yoğunlaşmasına karşı koruyucu, panel duvar, beton duvar ve tavanlarda dekoratif malzeme olarak kullanılmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan saha gözlemleri ve değerlendirmeler sonucunda genişleme özelliği daha iyi olan 2.750.000 ton muhtemel rezervli tüvenan vermikülit ile düşük kaliteli 2.475.000 ton muhtemel rezervli tüvenan vermikülit cevheri belirlenmiştir (DPT, 2001).

2.15. Kalsit

Kalsit bir mineral adı olup karbonatlı kayalarla oluşturan bu mineralin kimyasal yapısı CaCO_3 'dür. Çeşitli şekillerde kristal halde bulunan kalsit, (rombaeder, skalenoeder şeklinde kristallenir) camsı parlaklıkta ve renksiz saydam yapıdadır. Kolay öğütülür ve beyaz renkli bir toz elde edilir, sertliği Moh's skalasına göre 3, özgül ağırlığı ise 2,6-2,7 civarındadır (DPT, 2001).

Mikronize boyutlarda kuru veya yaş sistemde öğütülmüş kalsitler;

- Kâğıt, boya, seramik ve gıda sektörü
- Plastik ve kablo sektörü
- İnşaat sektöründe sıva, macun, derz dolgusu üretimi
- Yapıştırıcılar
- Halı tabanı, yer müşambası sektöründe kullanılmaktadır (DPT, 2001).

2.16. Talaş

Kereste, panel malzeme, mobilya, yapı malzemesi gibi orman ürünlerinin üretimi ve işlenmesi esnasında önemli miktarlarda odun talaşı, tozu ve odun artıkları ortaya çıkmaktadır. Gıda ve tarım organizasyonuna (FAO) göre ülkemizde, 2004 yılı itibariyle 5.615.000 m³ kereste üretimi gerçekleştirilmiş ve bu üretim esnasında yaklaşık 600.000 m³ odun parçası ve talaşı ortaya çıkmıştır (FAO, 2005).



3. MATERYAL VE METOT

3. 1. Materyal

3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan matris malzemeleri

Bu çalışmada kullanılan PVC (S23/59 - K58) Petkim'den temin edilmiştir. Atık PVC, atık pencereler toplanıp, öğütülüp ve elenerek elde edilmiştir. Atık PVC, Kahramanmaraş bölgesinden temin edilmiştir. Bu malzemelerin resimleri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3. 1 Çalışmada kullanılan PVC, Atık PVC ve referans PVC karışımı

PVC, atık PVC ve referans PVC karışımının kimyasal içerikleri Çizelge 3.1'de ve PVC ve atık PVC'nin fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 PVC, Atık PVC ve referans PVC karışımının kimyasal özellikleri

Malzemeler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	PbO	TiO ₂	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cl	H	C
PVC	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	0,2	52,9	9,3	37,3
Atık PVC	0,6	0,4	17,7	0,3	2,97	4,8	-	0,1	-	0,4	38,4	6,8	27,1
PVC Karışım	0,5	0,2	45,5	1,3	1,6	1,9	1,5	0,4	0,1	0,3	24,5	4,3	17,3

Çizelge 3. 2 PVC ve atık PVC'nin fiziksel özellikleri

Malzemeler	Yoğunluk (g/cm ³)	Tane Boyutu (µm)
PVC	1,40	70
Atık PVC	1,63	70

3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan dolgu malzemeleri

Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler; cam tozu, genleştirilmiş perlit ve kavak ağacı talaşı Kahramanmaraş bölgesinden, uçucu kül Afşin- Elbistan termik santralinden, bazaltik pomza Osmaniye bölgesinden, bor cevher atığı Etimaden A.Ş. Bigadiç bor tesisinden, diatomit Kayseri bölgesinden, barit Barit Maden Türk A.Ş. Bahçe tesisinden, kuvars Kocaeli bölgesinden, yüksek fırın cürufu İskenderun Demir Çelik tesisinden, genleştirilmiş vermikülit Sivas bölgesinden ve kalsit Niğde bölgesinden temin edilmiştir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).



Şekil 3. 2 Deneysel çalışmalarda kullanılan bazı dolgu malzemeleri



Şekil 3. 3 Pomza, bor cevher atığı ve yüksek fırın cürufu

Bor atığı, barit, cam tozu, diatomit, kuvars, uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC), perlit, bazaltik pomza, vermikülit, kalsit, atık PVC, PVC ve referans PVC karışımının kimyasal içerikleri Çizelge 3.3'te, fiziksel analizleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Malzemelerin kimyasal özellikleri

Malzemeler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cl	CaO	MgO	PbO	TiO ₂	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	B ₂ O ₃	BaSO ₄
Kalsit	-	0,1	-	-	99,4	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Diatomit	85,1	6,3	1	-	1,4	0,8	-	0,3	2	-	0,1	-	-	-
Barit	1,1	0,4	0,1	-	0,6	0,3	-	-	-	-	-	-	-	93,9
Pomza	42,8	13,1	10,3	-	14,1	7,1	-	1,85	3,6	-	0,6	0,2	-	-
YFC	40,3	12,6	1,1	0,01	35,2	7,1	-	0,7	0,4	0,1	0,7	-	-	-
Kuvars	99,5	0,2	0,01	-	0,01	0,02	-	-	0,1	-	0,05	-	-	-
Bor Atığı	32,5	9,8	5,7	-	13,6	8,8	-	-	0,1	-	0,8	-	18,9	-
Cam Tozu	68,7	1,1	0,2	-	9,5	3,7	-	-	14,6	0,3	0,6	0,4	-	-
UK	11,6	5,1	5,1	0,5	54,6	1,5	-	0,5	0,2	19,7	0,4	0,6	-	-
Vermikülit	42,6	14,1	13,6	-	-	13,1	-	-	1,2	-	1,4	-	-	-
Perlit	68,6	11,3	1,3	-	2,6	1,3	-	-	2,8	-	2,7	-	-	-

Çizelge 3. 4 Malzemelerin fiziksel özellikleri

Malzemeler	Yoğunluk (g/cm ³)	Tane Boyutu (µm)
PVC	1,40	70
Atık PVC	1,63	70
Talaş	0,69	177
Kalsit	2,73	50
Diatomit	2,08	50
Barit	4,12	50
Pomza	2,90	50
YFC	2,86	50
Kuvars	2,60	50
Bor Atığı	2,52	50
Cam Tozu	2,45	50
UK	2,25	50
Vermikülit	1,76	50
Perlit	1,97	177

3.1.3. Deneysel çalışmada kullanılan kimyasal katkı malzemeleri

Deneysel çalışmalarda PVC kompozit üretiminin daha kaliteli ürün elde edebilmek için kimyasal katkılar kullanılmıştır. PVC'nin işleme kolaylığını ve extruderden daha rahat çıkmasını sağlamak için yağlayıcı katkı kullanılmıştır. Bu ürün akrilik polimerdir ve özgül ağırlığı 1,05'tir. PVC'nin darbe ve reolijik performansını ayarlamak için mukavemet artırıcı katkı kullanılmıştır. Bu ürün akrilik esaslı ve özgül ağırlığı 1,38'tir. PVC kompozit numunesinin düşük yoğunluk, yüksek erime dayanımı ve pürüzsüz yüzey elde etmek için işleme kolaylaştırıcı katkı kullanılmıştır. Bu ürün akrilik esaslı ve özgül ağırlığı 0,97'dir. PVC'de mükemmel ısı ve ışık kararlılığı sağlamak, aynı zamanda ekstruderin iç ve dış kısmında yağlayıcı etki elde etmek amacıyla ısı ve ışık dengeleyici katkı kullanılmıştır. Ürün Ca/Zn esaslıdır ve özgül ağırlığı 1,52'dir. PVC ekstrüzyon işleminde darbe etkilerini ayarlamak ve UV ışığına maruz kaldığında fiziksel özelliklerini korumak amacıyla ticari ürün olan UV dengeleyici katkı kullanılmıştır. Bu ürün kloru polietilen termoplastik reçinedir ve özgül ağırlığı 1,15'tir.

PVC kompozitin yoğunluğunu ayarlamak amacıyla köpük oluşturucu katkıları kullanılmıştır. Kimyasal adı azodikarbonamit olan, sarı renkli ekzotermik köpük oluşturucudur. Bu ürün yaklaşık 140 °C bozunmaya başlayarak 140-180 ml/g gaz açığa çıkarmaktadır ve özgül ağırlığı 1,65'tir. kimyasal adı sodyumbikarbonat olan, beyaz renkli endotermik köpük oluşturucudur. Bu ürün yaklaşık 105 °C bozunmaya başlayarak 180-220 ml/g gaz açığa çıkarmaktadır ve özgül ağırlığı 2,20'dir. PVC kompozit üretiminde kullanılan kimyasal katkıların hacimce kullanım oranları izelge 3.5'te ve resimleri şekil 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3. 5 Kimyasal katkıların kullanım oranları (%)

Katkı Tipi	Kullanım Oranı (%)
Yağlayıcı	9
Mukavemet artırıcı	11
İşleme kolaylaştırıcı	40
Isı ve ışık dengeleyici	13
UV dengeleyici katkı	15
Endotermik köpük oluşturucu	8
Ekzotermik köpük oluşturucu	4

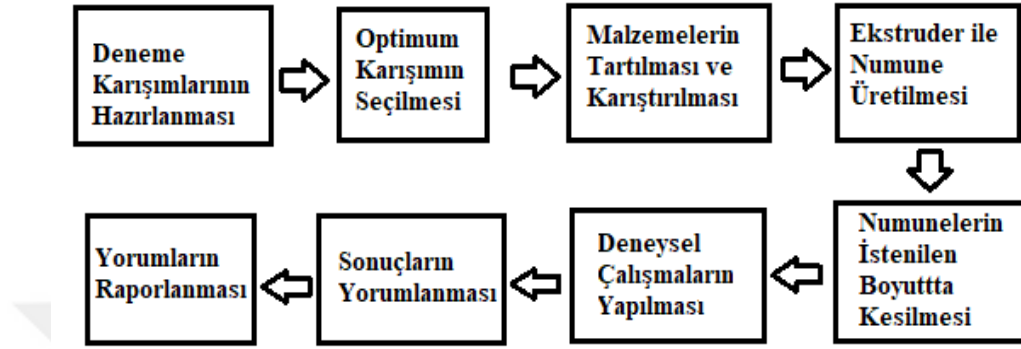


şekil 3. 4 Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal katkıları

3. 2. Metot

3.2.1. PVC kompozitlerin üretimi

Farklı dolgular kullanılarak üretilecek PVC kompozit numuneler için çalışma programı Şekil 3.5’te iş akış şeması olarak verilmiştir.



Şekil 3. 5 Çalışmanın iş akış şeması

Kompozit üretimine başlamadan önce birçok deneme karışım yapılarak referans karışım için en uygun karışım oranı belirlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6 Hatalı karışım (a) ve referans karışım (b) örnekleri

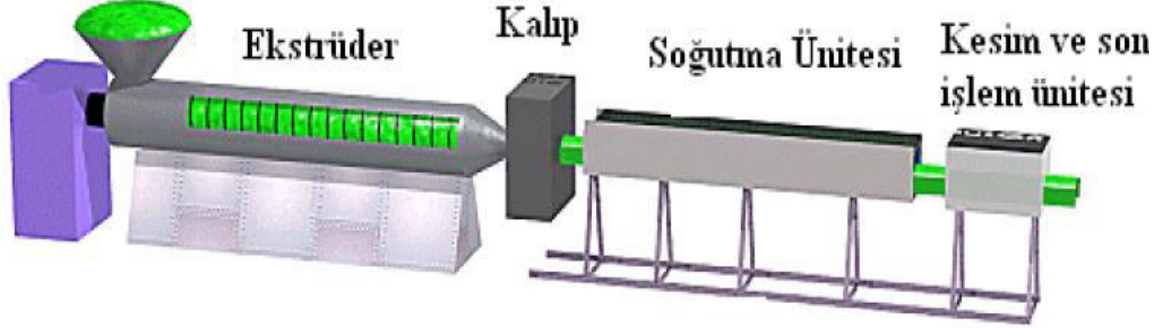
Optimum referans karışım oranı belirlendikten sonra; PVC, atık PVC, talaş ve kimyasal katkıları sabit tutulmuş ve dolgu malzemesi olan kalsit yerine ağırlıkça %25 ve %50 oranlarında farklı mineral katkı malzemeleri ikame edilmiştir. Ayrıca atık PVC’nin mekanik ve fiziksel etkilerini görmek için, saf PVC yerine %25 ve %50 oranlarında atık PVC ikame edilen 2 farklı karışım da hazırlanmıştır. Kompozit numunelerin hacimce karışımların oranları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3. 6 Kompozit numunelerin karışım oranları

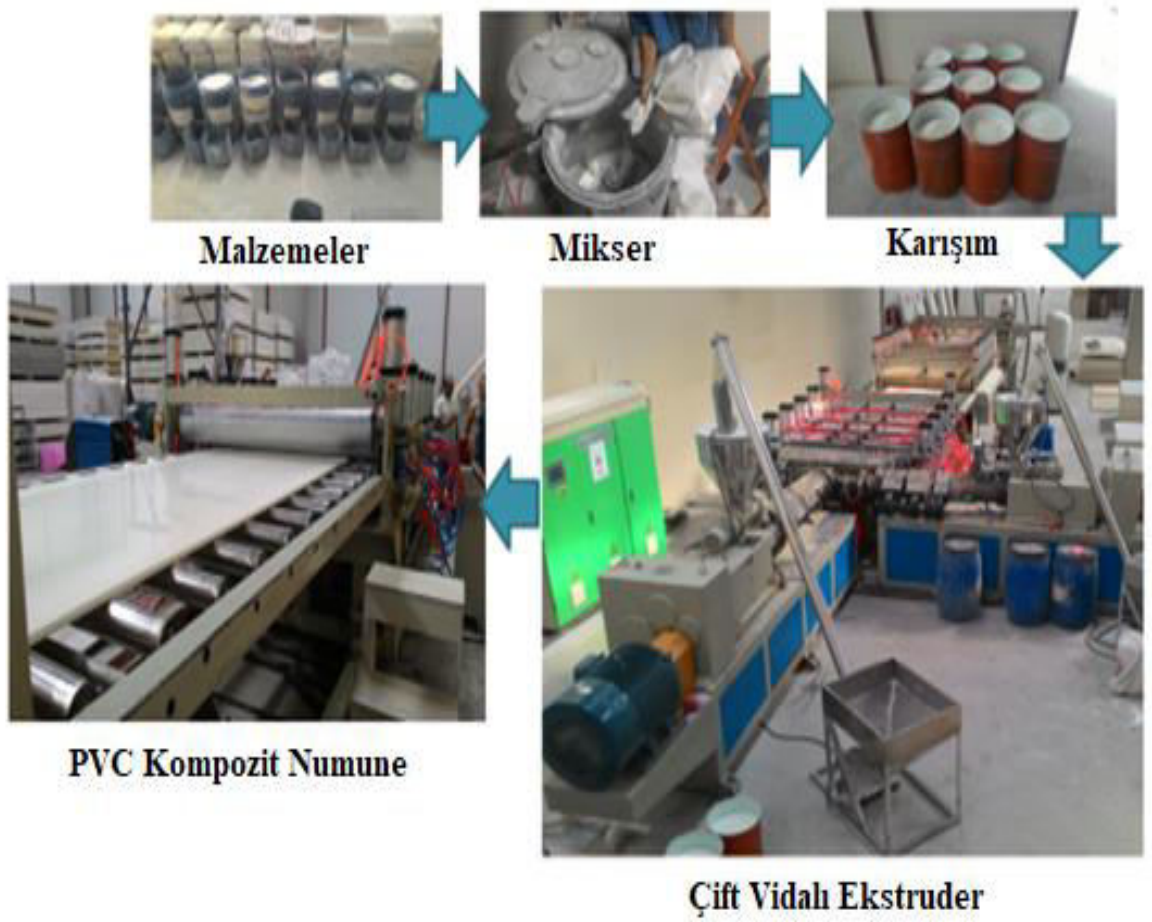
Numune İsimleri	PVC (%)	Atık PVC (%)	Talaş (%)	Kimyasal Katkılar (%)	Kalsit (%)	Mineral Katkılar (%)	Mineral Katkı Türü
R	50	10	5	15	20	-	-
A25	37,5	22,5	5	15	20	-	Atık PVC
A50	25	35	5	15	20	-	
BA25	50	10	5	15	15	5	Barit
BA50	50	10	5	15	10	10	
B25	50	10	5	15	15	5	Bor Cevher Atığı
B50	50	10	5	15	10	10	
C25	50	10	5	15	15	5	Cam Tozu
C50	50	10	5	15	10	10	
D25	50	10	5	15	15	5	Diatomit
D50	50	10	5	15	10	10	
K25	50	10	5	15	15	5	Kuars
K50	50	10	5	15	10	10	
UK25	50	10	5	15	15	5	Afşin-Elbistan Uçucu Külü
UK50	50	10	5	15	10	10	
YFC25	50	10	5	15	15	5	Yüksek Fırın Cürufu
YFC50	50	10	5	15	10	10	
BP25	50	10	5	15	15	5	Bazaltik Pomza
BP50	50	10	5	15	10	10	
P25	50	10	5	15	15	5	Perlit
P50	50	10	5	15	10	10	
V25	50	10	5	15	15	5	Vermikülit
V50	50	10	5	15	10	10	

Çizelge 3.6’da verilen karışım oranlarına göre PVC, atık PVC, talaş, kalsit, diğer dolgu malzemeleri ve kimyasal katkıları hassas terazide tartılmıştır. Bu malzemeler kuru şekilde harmanlanıp 300 dm³ kapasiteli delta marka mikserle konulmuştur. Karışımın homojen olması için yaklaşık 120 °C sıcaklığa ulaşabilen mikser ile 20 dakika karıştırılmıştır. Mikserden çıkan karışım kovalara konularak oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. 80x156 mm konik çift vidalı, vidanın uzunluk/çap (L/D) oranı 33/1, vida dönme hızı dakikada 30 devir, 33 kW’lık ısıtma gücü ve 55 kW motor gücüne sahip ekstruderin besleme ünitesine konulmuştur. Ekstruder 155, 160 ve 165 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklık olacak şekilde ayarlanmıştır. Karışım, besleme ünitesinden vida kısmına gelirken sürtünme ve sıcaklık etkisi ile erimiş ve vida ile ileri doğru hareket etmeye başlamıştır. Vidanın dönmesi ile daha homojen hale gelen karışım ekstruderin çıkış noktası olan kalıp bölümüne ilerlemektedir. Kalıptan çıkan karışım soğutma ünitesinden geçtikten istenilen boyutta

kesilmiştir. Ekstrüder şematik görünümü Şekil 3.7’de ve PVC kompozit üretim şeması Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3. 7 Ekstruder’in şematik görünüşü(Uluşen,2008)



Şekil 3. 8 PVC kompozit üretim şeması

3.2.2. Birim hacim ağırlığının belirlenmesi

50x50 mm boyutlarında PVC kompozit numunelerin birim hacim ağırlığı deneyi TS EN 323 (1999) standardına göre yapılmıştır. Numuneler hassas terazide ($\pm 0,01$) tartılmış ve dijital kumpas ($\pm 0,01$) ile boyutları ölçülmüştür (Şekil 3.9). Buna göre birim hacim ağırlığı aşağıdaki eşitliğe (3.1) göre hesaplanmaktadır.

$$BHA = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Burada,

BHA: Birim hacim ağırlığı (kg/m^3)

m: numune ağırlığı (kg)

V: numune hacmi (m^3)



Şekil 3. 9 PVC kompozit numunelerin boyutlarının ölçülmesi ve tartılması

3.2.3. Su emme ve kalınlık şişme oranının belirlenmesi

PVC kompozit numuneler TS EN ISO 62 (2009) standardına göre su emme deneyi ve TS EN ISO 175 (2010) standardına göre kalınlık şişme deneyine tabi tutulmuştur. 2, 24, 48 ve 168 saat su alma miktarının ve kalınlık artışının belirlenmesinde 50x50x12 mm boyutlarında 6 adet numune kullanılmıştır. Her deney numunesi 0,01 g hassasiyetli terazide tartılmış ve 0,01 cm hassasiyetli dijital kumpas ile 5 farklı noktadan ölçüm alındıktan sonra 20 ± 1 °C sıcaklıktaki suya numuneler birbirine değmeyecek şekilde

konulmuştur. Deney süresi tamamlanan numuneler sudan dışarı alınıp bir bez ile silinmiş ve terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. Ayrıca 5 farklı noktadan kalınlıkları ölçülmüştür. Kullanılan su her defasında değiştirilmiştir. Buna göre su emme oranı aşağıdaki eşitlikte (3.2) ve kalınlık artışı oranı aşağıdaki eşitliğe göre (3.3) hesaplanmıştır.

$$SE = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (3.2)$$

$$KA = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada,

SE: Su emme oranı (%)

M₁: Islak ağırlık (g)

M₀: Kuru ağırlık (g)

KA: Kalınlık artış oranı (%)

h₁: Islak kalınlık (mm)

h₀: Kuru kalınlık (mm)

3.2.4. Ultrasonik ses hızının belirlenmesi

Ses hızı ile malzemelerin yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Malzemenin, boşluk miktarı azaldıkça, ses geçiş hızı daha fazla olmaktadır. Malzemeye verici probdan gönderilen ses üstü dalga alıcı probdan alınmaktadır. Malzeme içerisinden ses üstü dalganın geçiş hızı aşağıdaki eşitliğe göre (3.4) hesaplanmıştır.

$$V = \frac{l}{t} \times 10^6 \quad (3.4)$$

Burada;

V = P dalga hızı (m/s)

l= numune kalınlığı (m),

t = P dalgasının geçme süresi (mikrosaniye).

Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi 120x120x12 mm boyutlarında olan kompozit numunelere uygulanmıştır (Şekil 3.10). Her bir numune için 5 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Deneye

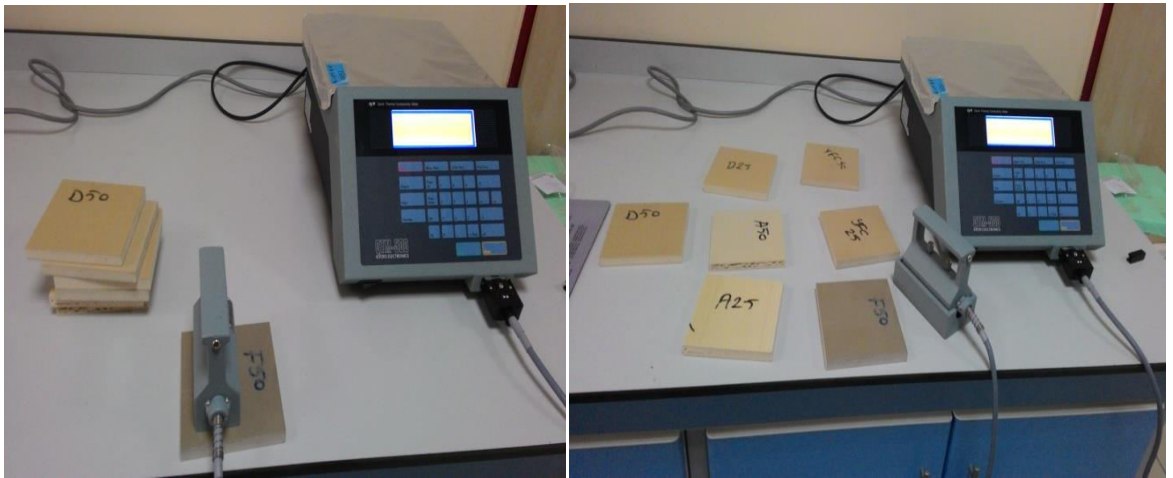
başlamadan kalibrasyonu yapılmıştır. Daha sonra deney aletinin 2 probu kompozit yüzeylerine yerleştirilmiş ve ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3. 10 PVC kompozit numunelerin ultrases hızının ölçülmesi

3.2.5. Isı İletim katsayısının belirlenmesi

Isı iletim katsayısı testi ASTM C 1113-90 (1990) standardına göre yapılmıştır. 120x120x12 mm boyutlarında kompozit numunelere uygulanmıştır (Şekil 3.11). KEM marka QTM-500 model termal iletkenlik ölçüm cihazı ile ısı iletim katsayısı ölçülmüştür.



Şekil 3. 11 PVC kompozit numunelerin ısı iletim katsayısının ölçülmesi

3.2.6. Yangın dirençlerinin belirlenmesi

Genişliği 13 mm, uzunluğu 125 mm ve kalınlığı 12 mm olan kompozit numunelerin yanma testi UL 94 (2011) standardına göre yapılmıştır. UL 94 (2011) standardına göre yanma deneyi, dikey (V) ve yatay (H) yanma olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Dikey yanma için 10 adet, yatay yanma için 6 adet numune hazırlanmıştır. PVC kompozit numunelere iki farklı şartlandırma uygulanmıştır. Birincisi 48 saat boyunca 23  C’de ve %50 bağıl nem koşulları altında bekletilmiştir (şekil 3. 12). Diğeri ise 1 hafta boyunca 70  C’de etüvde bekletilmiştir (şekil 3. 13).



şekil 3. 12 PVC kompozitlerin 48 saat 23  C’de ve %50 bağıl nemde şartlandırılması



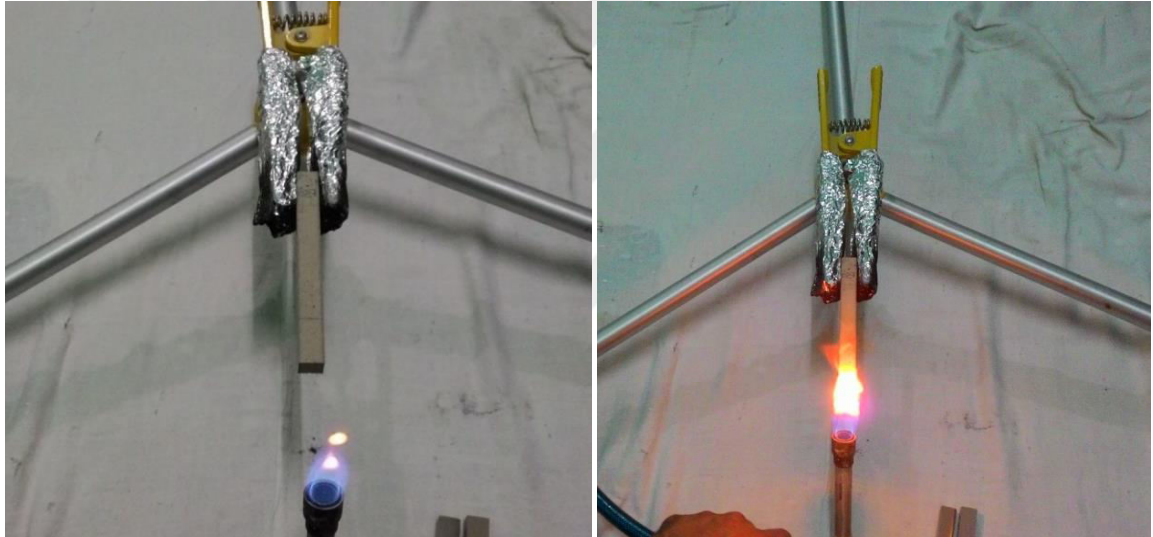
Şekil 3. 13 PVC kompozitlerin 70 °C’de 1 hafta süresince şartlandırılması

Dikey yanma testinde (Şekil 3.14); yanma beki için 20 mm yüksekliğinde mavi alev elde edilmelidir. Alev beki üst ucu ile numune alt ucu merkezi arası mesafe 10 mm olmalıdır. Alev beki ayarlandıktan sonra, numune 10 saniye boyunca aleve maruz bırakılmalıdır. Aleve maruz kaldıktan sonra alev beki çekilir. Yanma sonrası alev sönme zamanı t_1 ölçülür. Birinci alev sonrası numune ikinci defa 10 saniye aleve maruz bırakılır. İkinci alev sonrası sönme zamanı t_2 ve parlama sonrası zamanı t_3 ölçülür.



Şekil 3. 14 PVC kompozitlere dikey yanma testi uygulanması

Yatay yanma testindeki her bir numune, başlangıç noktasından itibaren 25 mm ve 100 mm iki çizgi ile işaretlenir (Şekil 3.15). Alev beki numuneye 45° derece açı ile 30 saniye boyunca uygulanır ve sonrasında uzaklaştırılır. Yanma 25 mm'ye ulaştığında kronometre çalıştırılmalıdır. Yanma uzunluğu 25 mm'den sonraki mesafedir (Tuzcu, 2010).



Şekil 3. 15 PVC kompozitlere yatay yanma testi uygulanması

Ayrıca 1500 x 1000 mm ve 1500 x 5000 mm boyutlarında PVC kompozit numune için yangına tepki deneyi TS EN 13823:2010+A1 (2014) standardına göre TSE İzmir EX laboratuvarında yapılmıştır.

Numuneler L köşe olacak şekilde kutu çelik profile monte edilmiştir. Deney dört aşamada gerçekleşmiştir. Birinci aşamada, teknik sorumlunun 60 saniye içinde numune ve alev düzeneği için son kontrolleri yapması gerekir. İkinci aşamada, yanma odası içerisindeki ana bekler çalışırken oksijen ve karbondioksit değerleri 120 saniye boyunca kaydedilir. Üçüncü aşamada ise oda içerisinde numunelerden uzak noktadaki ilk bek 30 kW değerinde propan yakar ve oda içerisindeki oksijen ve karbondioksit değerleri kaydedilir. Son

aşamada (300 s sonra), numunenin önündeki bek 30 kW değerinde propan kullanılarak yanmaya başlar. Bek yanarken numunede bir süre sonra yanmaya ve yangına tepki göstermeye başlar. Sistem 120 – 300 saniye arasında elde edilen verilerin dışında oluşmaya başlayan farkların numune kaynaklı olduğunu algılayarak sonuç vermeye başlamıştır. Bu durumda sistem, açığa çıkan karbon dioksit miktarını, oksijen tüketimini ve sıcaklık değişimlerini kaydederek yanma enerjisini hesaplar. Bu hesaplamalar sonucu yangın testi uygulanan numunenin Total Heat Release (THR) – yanma sırasında açığa çıkan toplam ısı enerjisi ve Fire Growth Rate (FIGRA) – birim zamandaki ısı artışı / yangın yayılma hızı verileri elde edilir. Bu veriler ile TS EN 13501-1+A1 (2013) standardına göre kompozitin yangın sınıfı belirlenmiştir (Kasapseçkin,2015).

3.2.7. Lineer soğurma katsayısının belirlenmesi

120 x 120 x 12 mm boyutlarında PVC kompozit numunelere radyasyon soğurma testi uygulanmıştır (Şekil 3.16). K.S.Ü. Fizik Bölümü Radyasyon Laboratuvarında Am 241 (59,60-26-17,7 keV) ve Fe-55 (5,96 keV) gama ışın kaynakları kullanılarak numunelerin lineer soğurma katsayıları aşağıdaki eşitliğe göre (3.5) hesaplanmıştır.

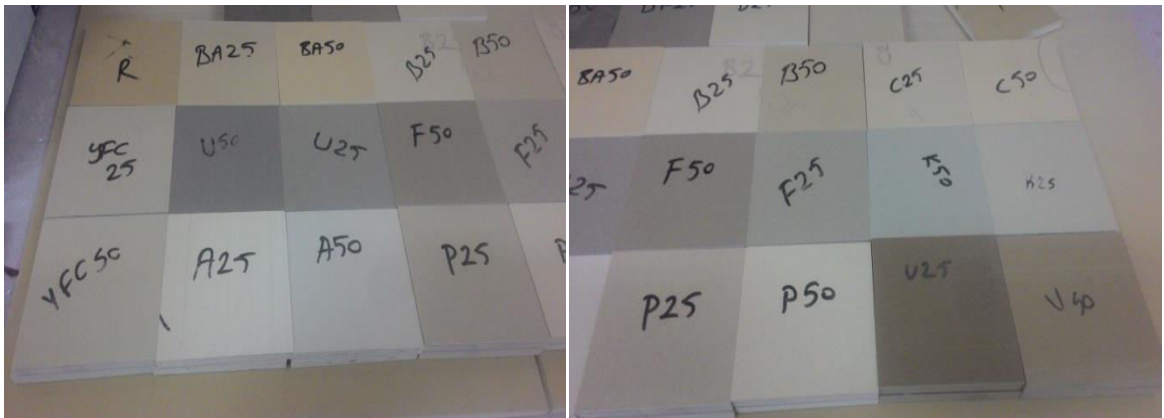
$$I = I_0 e^{-\mu \cdot t} \quad (3.5)$$

Burada;

I= Numune varken geçen X ışınları

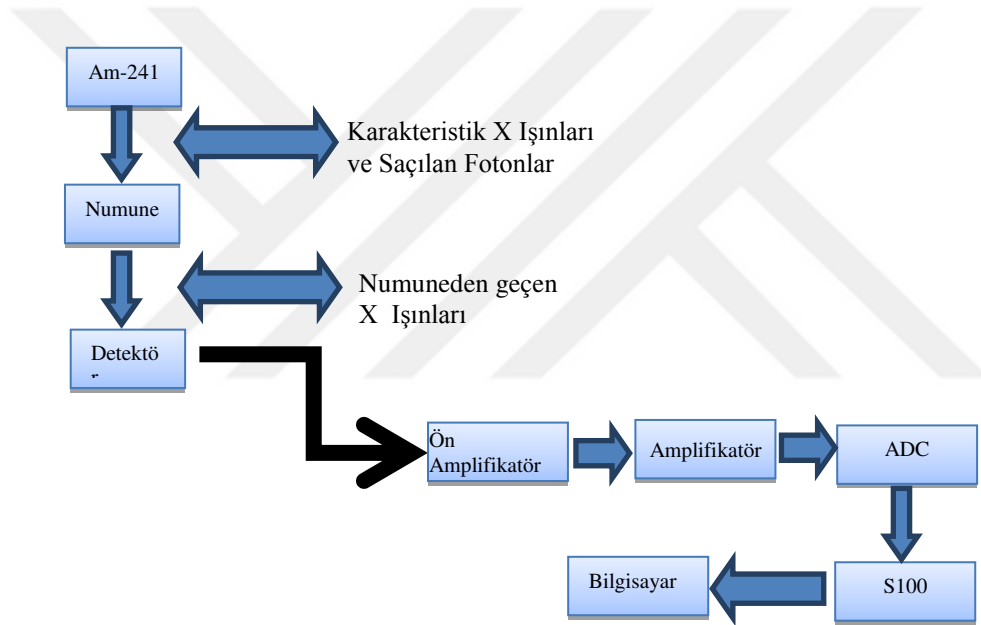
I₀= Numune yokken geçen X ışınları

t = Kalınlık (cm)

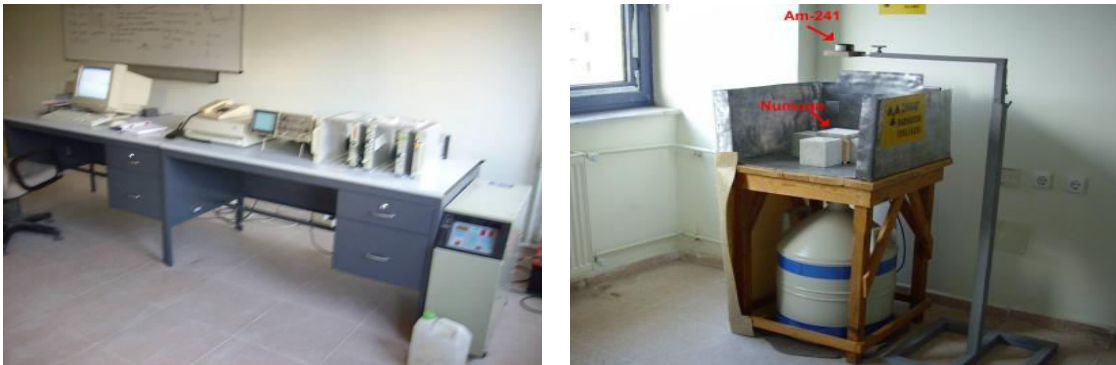


Şekil 3. 16 Lineer soğurma testi için hazırlanan numuneler

Deney sistemi Şekil 3.17’de verilmiştir. Deney sisteminde 59,6 keV Canberra marka Si (Li) yarı iletken katı hal detektörü kullanılmıştır. Si(Li) yarı iletken katı hal detektörü, yarı iletken silisyum kristalin örgü boşluklarına lityum atomları difüzlenen, 2 mm kalınlığında, 12,5 mm² aktif alanlı ve 500 Volt ters besleme voltajı ile beslenen bir detektör olup vakum altındadır (Canberra, 1995). Lityum -196 °C’de sıvı azot içerisinde daldırılmış ve termal denge sağlanmıştır. Am 241 ve Fe-55’den gelen X ışınları ön amplifikatör yardımıyla birkaç milivolt seviyesinde elektrik pulslarına çevirir. Ardından amplifikatöre ulaşan pulsları 0-10 Volt seviyesine yükseltilir. Bu pulsları, ADC’de sayısal verilere dönüştürülür. Bu veriler, büyüklüklerine göre 4096 kanallı ekranda, enerjilerine uygun kanallarda pikler oluştururlar. Böylelikle farklı sayı ve enerjilerde gelen pulslar, ekranda, incelenen numunenin karakteristik X ışınları spektrumunu verir (Şekil 3.18).



Şekil 3. 17 Lineer soğurma testi akış şeması



Şekil 3. 18 X ışını sayan bilgisayar sistemi ve deney anından bir görüntü

3.2.8. Eğilme dayanımı ve elastisite modülünün belirlenmesi

20x240x12 mm boyutların PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımı ve eğilmede elastisite modülü TS EN ISO 178 (2011) standardına göre bulunmuştur. Eğilme deneyi, Zwick/Roell Z010 Universal Test cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.19). Deney parçasının yerleştirildiği silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık 212,4 mm olarak ayarlanmıştır. Yük deney parçasının yüzeyine değişmez bir hızla olarak yüklenmiş ve deney hızı 2 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımı aşağıdaki eşitliğe göre (3.6) hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{1,5x F_{\max} x l}{b^3} \quad (3.6)$$

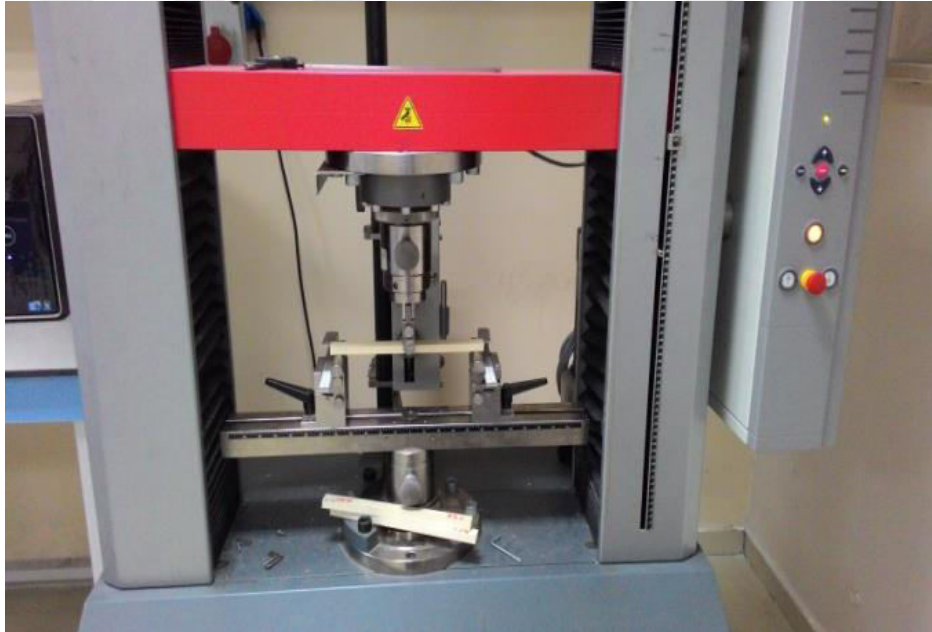
Burada,

σ : Eğilme mukavemeti (MPa)

$F_{\max}$: Numunenin kırılma anında uygulanan maksimum yük (N)

l : Silindirik mesnetlerin arasındaki uzaklık (mm)

b : Numunenin eni (mm)



Şekil 3. 19 Eğilme cihazı

Elastisite modülü eğilme dayanımı testiyle bulunmuştur (Şekil 3.20). PVC kompozit numunelerin elastisite modülü aşağıdaki eşitliğe göre (3.7) hesaplanmıştır.

$$EM = \frac{\Delta F \cdot l^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta l} \quad (3.7)$$

Burada,

EM: Elastisite Modülü (MPa)

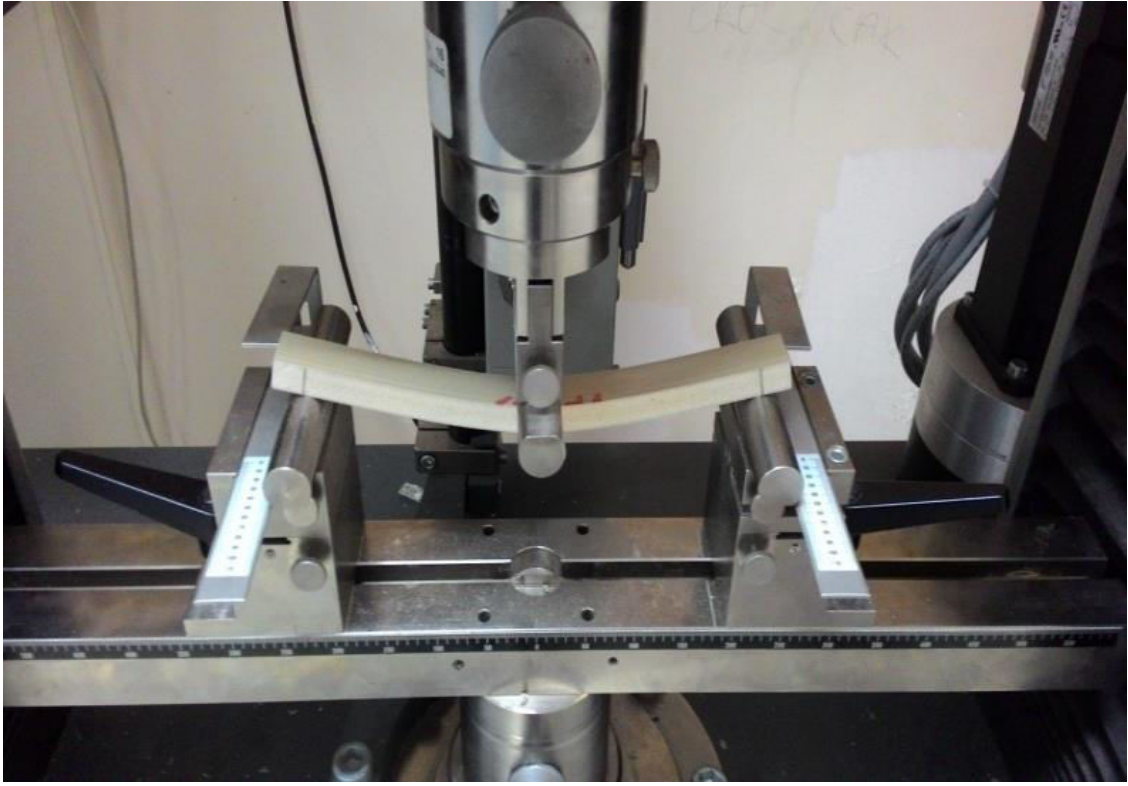
ΔF : Elastik bölgedeki yük farkı (F2-F1) (N)

l: Silindirik mesnetlerin arasındaki uzaklık (mm)

b: Numunenin eni (mm)

h: Numunenin kalınlığı (mm)

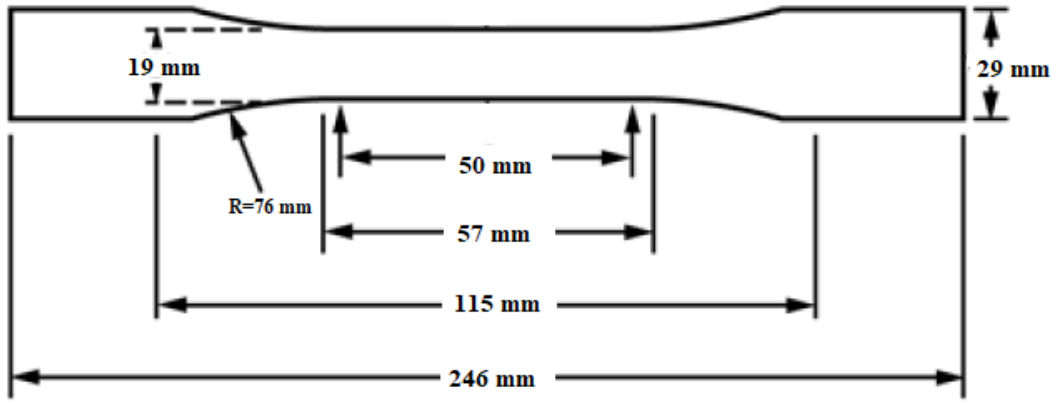
Δl : Yük etkisi ile numune oluşan uzama (mm)



Şekil 3. 20 Deney anından bir görüntü

3.2.9. Çekme dayanımı ve elastisite modülünün belirlenmesi

PVC kompozit numunelerin çekme dayanımı ve çekmede elastite modülü ASTM D638 (2005) standardına göre bulunmuştur. ASTM D638 standardına göre 7-14 mm kalınlıklarında tip III şeklinde çekme numunesinin boyutları kullanılmıştır (Şekil 3.21 ve Şekil 3.22).



Şekil 3. 21 ASTM D638 (2005) standardına göre tip 3 şeklinin numune boyutları

Çekme dayanımı deneyi Zwick/Roell Z010 Universal Test cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.24). Deneyde yükleme hızı 5 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. PVC kompozit numunelerin çekme dayanımı aşağıdaki eşitliğe göre (3.8) hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{b \cdot l} \quad (3.8)$$

Burada,

σ : Çekme mukavemeti (MPa)

$F_{\max}$: Numunenin kırılma anında uygulanan maksimum yük (N)

l ve b : Numunenin enkesit boyutları (mm^2)



Şekil 3. 22 ASTM D638'e göre PVC kompozit çekme numuneleri

PVC kompozit numunelerin çekme deneyi esnasında uzamalarını ölçmek için 2 adet ekstansometre Şekil 3.23'teki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 23 Çekme deneyinde uzamaların tespiti için ekstansometreye konulması

3.2.10. Vida tutma gücünün belirlenmesi

PVC kompozit numunelerin vida tutma gücü ASTM D1037 (2012) standardına göre yapılmıştır. Deneyde; 50x50x12 mm boyutunda kompozit numuneler ve 4x50 mm ölçülerinde metal sunta vidası kullanılmıştır. Numuneler yüzeye dik yönde ve yüzeye paralel yönde numune kalınlığı kadar vidalanmıştır (Şekil 3.24). Vida tutma gücü deneyi Zwick/Roell Z010 Universal Test cihazında yapılmıştır (Şekil 3.25 ve Şekil 3.26). Deneyde yükleme hızı 10 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. PVC kompozit numunelerin Vida tutma gücü aşağıdaki eşitliğe göre (3.9) hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{d \cdot l} \quad (3.9)$$

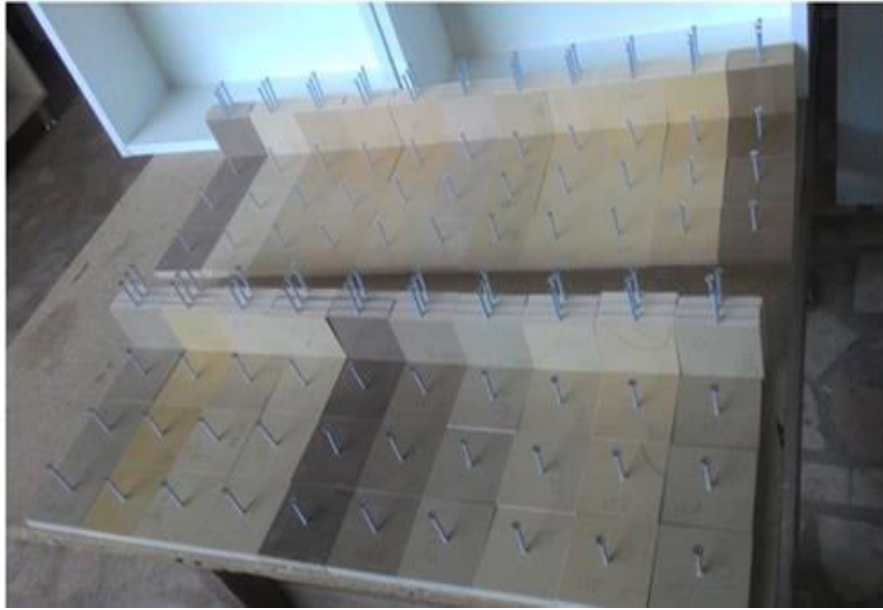
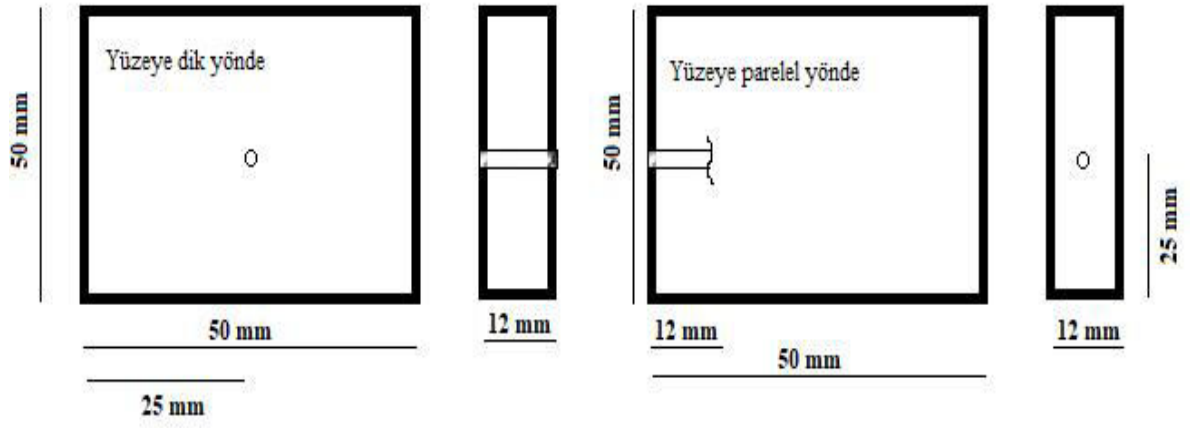
Burada,

σ : Vida tutma gücü (MPa)

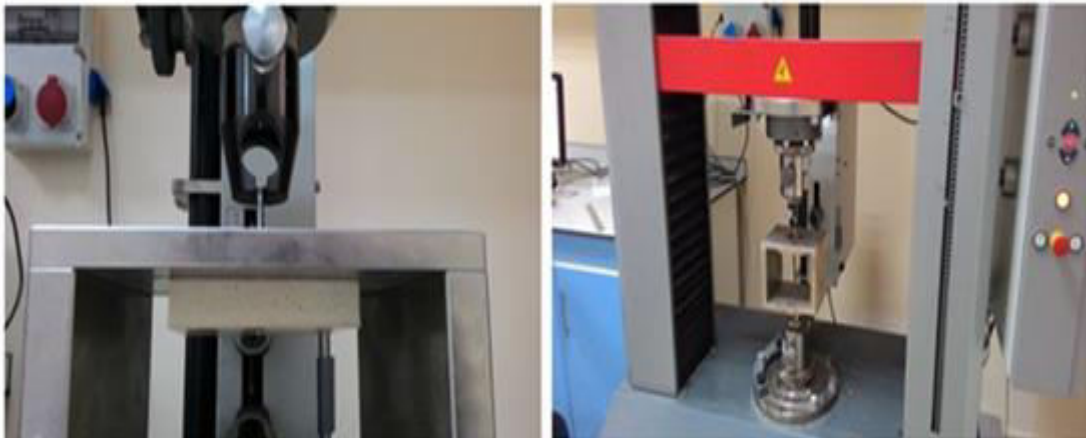
$F_{\max}$: Numunenin kırılma anında uygulanan maksimum yük (N)

l : Vidanın numuneye girme derinliği (mm)

d : Vidanın çapı (mm)



Şekil 3. 24 Vidalama kesiti ve kompozitlerin vidalanması



Şekil 3. 25 Numune yüzeyine dik yönde vida çekme deneyi



Şekil 3. 26 Numune yüzeyine paralel yönde vida çekme deneyi

3.2.11. Aşınma dayanımının belirlenmesi

PVC kompozit numunelerin aşınma dayanımı ASTM D 4060 (2010) standardına göre bulunmuştur (Şekil 27). Deneyde; 3 adet 100x100x6 mm boyutlarında PVC kompozit numuneler kullanılmış ve numunelerin yüzey merkezlerine 10 mm çapında delik açılmıştır (Şekil 3.27). Taber aşındırma testinde; Cs-17 aşındırıcı, 1000 g ağırlık kullanılmıştır (Şekil 3.28). Taber aşınma cihazının dönen platformunun hızı 72 rpm'dir. 1000 devir sonrası aşınma kayıpları hesaplanmıştır.



Şekil 3. 27 Aşınma deneyi için kullanılan numuneler



Şekil 3. 28 Taber aşınma cihazı

3.2.12. İzod darbe dayanımının belirlenmesi

PVC kompozit numunelerin İzod darbe testi TS EN ISO 180 (2006) standardına göre yapılmıştır. 65x12x4 mm boyutunda kompozit numuneler 0,01 mm hassaslıkta dijital kumpas ile ölçülmüştür (Şekil 3.29).

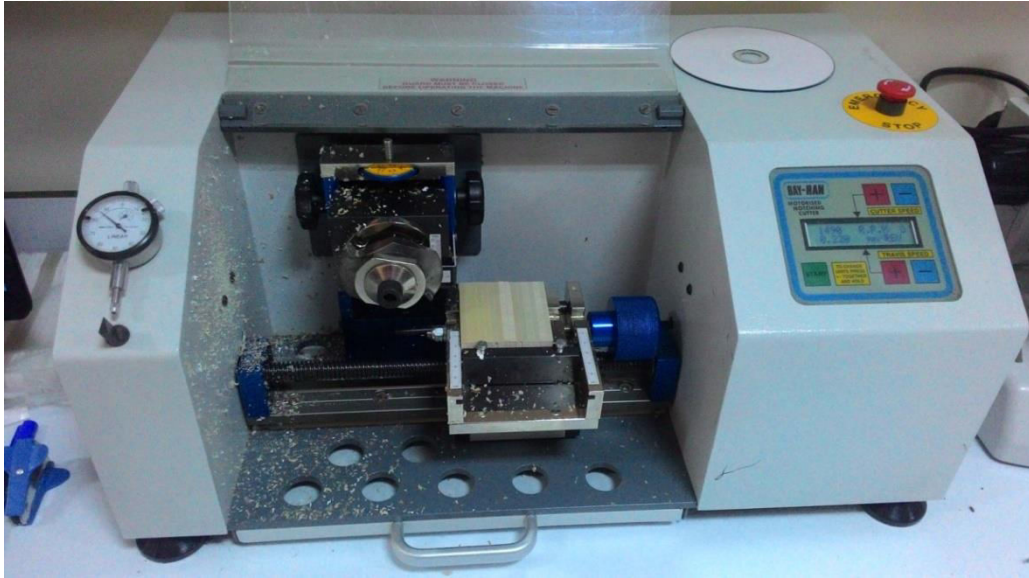


Şekil 3. 29 Numunelerin dijital kumpas ile kalınlıklarının ölçülmesi

İzod darbe deneyi HIT5.5P Zwick/Roell Universal Test cihazında yapılmıştır (Şekil 3.30). Test öncesi numunelere Polytest RayRan cihazıyla çentik açılmıştır (Şekil 3.31 ve Şekil 3.32). Numuneler test makinesine yerleştirilerek deneye başlanmış numunenin kırılması için gerekli enerji belirlenmiştir.



Şekil 3. 30 İzod test cihazı



Şekil 3. 31 Çentik açma cihazı



Şekil 3. 32 Çentik açılan numuneler

PVC kompozit numunelerin İzod darbe dayanımı aşağıdaki eşitliğe göre (3.10) hesaplanmıştır.

$$D = \frac{Q}{t \cdot b} \quad (3.10)$$

Burada,

D : İzod darbe dayanımı (kJ/m²)

Q : Numunenin kırılması için gerekli enerji (J)

t : Numunenin kalınlığı (m)

b : Numunenin genişliği (m)

3.2.13. TGA analizi

TGA analizleri için kompozit numuneler toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen numunelere EXSTAR TG/DTA6300 cihazı ile TGA analizi yapılmıştır (Şekil 3.33).



Şekil 3. 33 TGA deney cihazı

TGA analizi azot gazı altında gerçekleştirilmiştir. Analiz sıcaklık 20°C/dk'lık ısıtma hızı ile 20°C'den 750°C'ye çıkarılarak yapılmıştır.

3.2.14. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

SEM analizi için kompozit numunelerden küçük parçalar kesilmiştir. Küçük kesilen numuneler altın kaplama ile kaplanmıştır (Şekil 3.34). Numuneler ZEISS LS10 cihazı ile SEM analizleri yapılmıştır (Şekil 3.35).



Şekil 3. 34 Kompozit numunelerde alınan parçalara altın kaplama yapılması

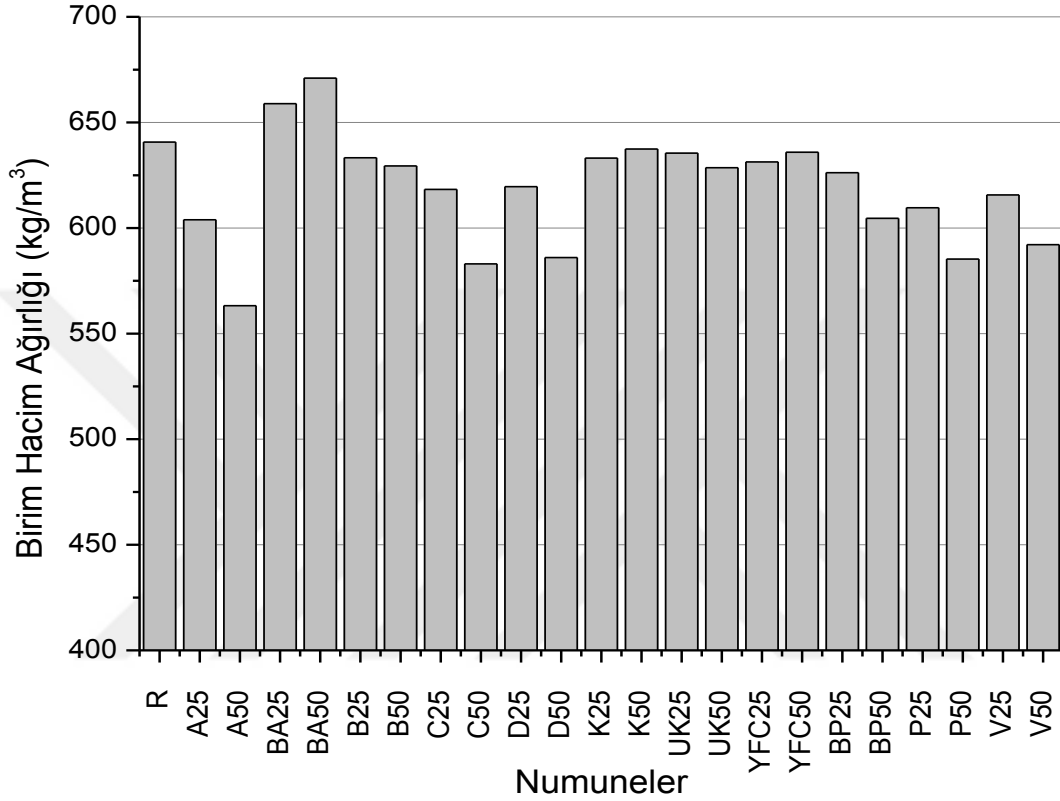


Şekil 3. 35 SEM cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4. 1. Birim Hacim Ağırlığı Sonuçları

TS EN 323 (1999) standardına göre bulunan PVC kompozit numunelerin birim hacim ağırlıkları Şekil 4.1’de verilmiştir.



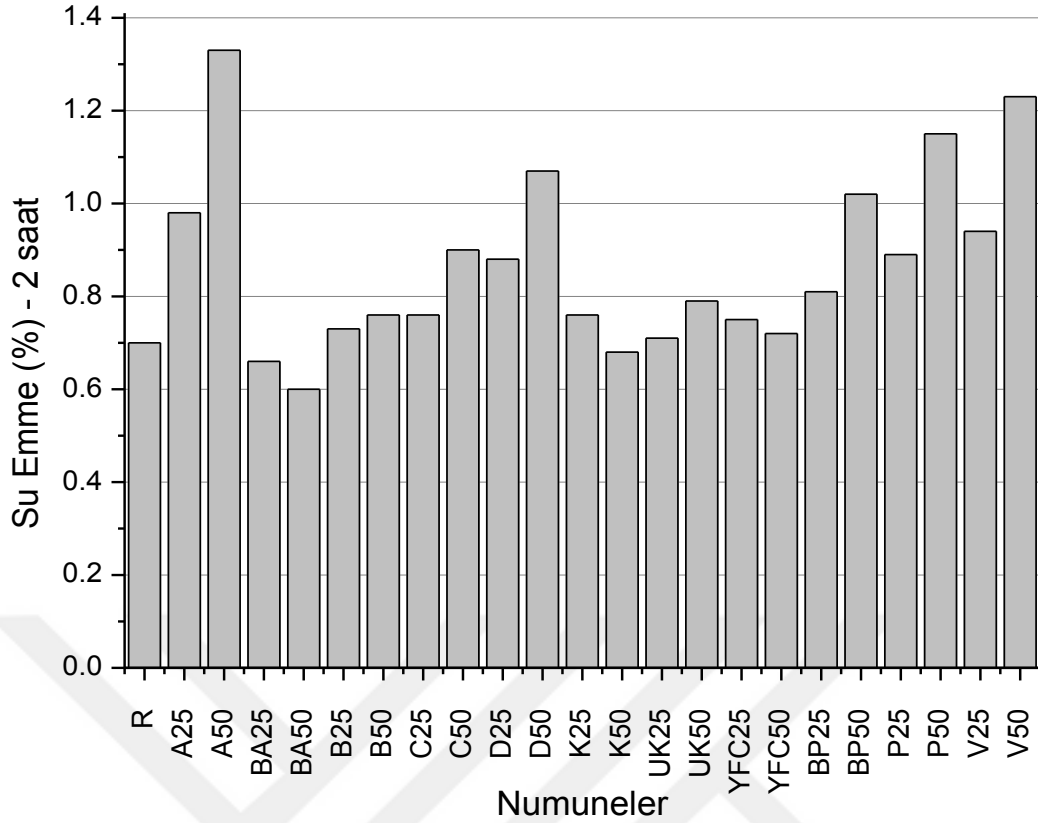
Şekil 4. 1 PVC kompozit numunelerin birim hacim ağırlığı

Kompozit numunelerin birim hacim ağırlıkları $563,2-671 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir (Şekil 4.1). En yüksek birim hacim ağırlığı değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %4,7 oranında daha fazladır. Bu durum baritin yoğunluğunun yüksek olması ile açıklanabilir. En düşük birim hacim ağırlığı değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %12,1 oranında daha azdır. Atık PVC'nin yapısında, yüksek miktarda CaO bulunmaktadır (bkz. Çizelge 3.1). Malzemede CaO miktarının yüksek olması, saf PVC oranının azalmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak yapıyı sıkılaştıran ve boşluksuz olmasını sağlayan PVC fazındaki bu azalma, yapının daha boşluklu olmasına neden olmaktadır. Birim hacim ağırlık değerinde meydana gelen bu azalma, boşluk artışı ile açıklanabilir.

Birim hacim ağırlığı, katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, cam tozu, diatomit, UK, bazaltik pomza, genişletilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça birim hacim ağırlığı değerleri düşmüştür. Bu durum malzemelerin kendi yoğunluklarının düşük olması ile açıklanabilir. Bor cevher atığı oranı arttıkça, birim hacim ağırlığı değeri çok az oranda azalmıştır. Bu, cevher atığının yoğunluğunun kalsite oranla az miktarda düşük olmasıyla ilişkilidir. Kuvars ve YFC oranı arttıkça birim hacim ağırlık oranı az miktarda artmış ve referans numunenin birim hacim ağırlığı değerine yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum, kuvars ve kalsit malzemelerin yoğunluklarının birbirine yakın olması ile açıklanabilir. Barit oranı arttıkça birim hacim ağırlığı değeri artmıştır. Baritin yoğunluğunun yüksek olması bu sonuca yol açmıştır. Kayın türü kontrplak (Plywood) levhanın birim hacim ağırlığı 750 kg/m^3 , yönlendirilmiş yonga levha (OSB) levhanın birim hacim ağırlığı 650 kg/m^3 , MDF levhanın birim hacim ağırlığı 836 kg/m^3 'tür (URL-4). Diğer ahşap esaslı ürünler ile karşılaştırıldığında %25 ve %50 barit katkılı numuneler hariç diğer PVC kompozit numunelerin tamamı 650 kg/m^3 'ten düşük çıkmıştır. PVC kompozit numunelerin birim hacim ağırlıkları; aynı kalınlıkta, ahşap ve ahşap esaslı plakalarla karşılaştırıldığında daha hafif olduğu görülmüştür. Bu durumda diğer ürünler ile yapılan yapı malzemelerinden daha hafif olacağı görülmektedir. Kompozitlerin hafif olması aynı zamanda nakliye giderlerinin de azalmasını sağlayacaktır. Ayrıca taşıma ve kurulum evreleri düşünüldüğünde; üretilmiş hafif ürünler üretici ve tüketici açısından tercih nedenidir. Binalarda bölme duvarı, dış cephe kaplaması olarak kullanıldığında birim hacim ağırlığının düşük olması, yapıya gelen yükleri azaltarak taşıyıcı elemanlarının boyutlarını da azaltacaktır. Fakat birim hacim ağırlığının düşük olması genelde mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir.

4. 2. Su Emme ve Kalınlık Şişme Oranı Sonuçları

TS EN ISO 62 (2009) standardına göre bulunan PVC kompozit numunelerin 2, 24, 48 ve 168 saat sonundaki su emme değerleri Şekil 4.2-4.5'de verilmiştir. TS EN ISO 175 (2010) standardına göre numunelerin kalınlık artışı oranları bulunmuştur.

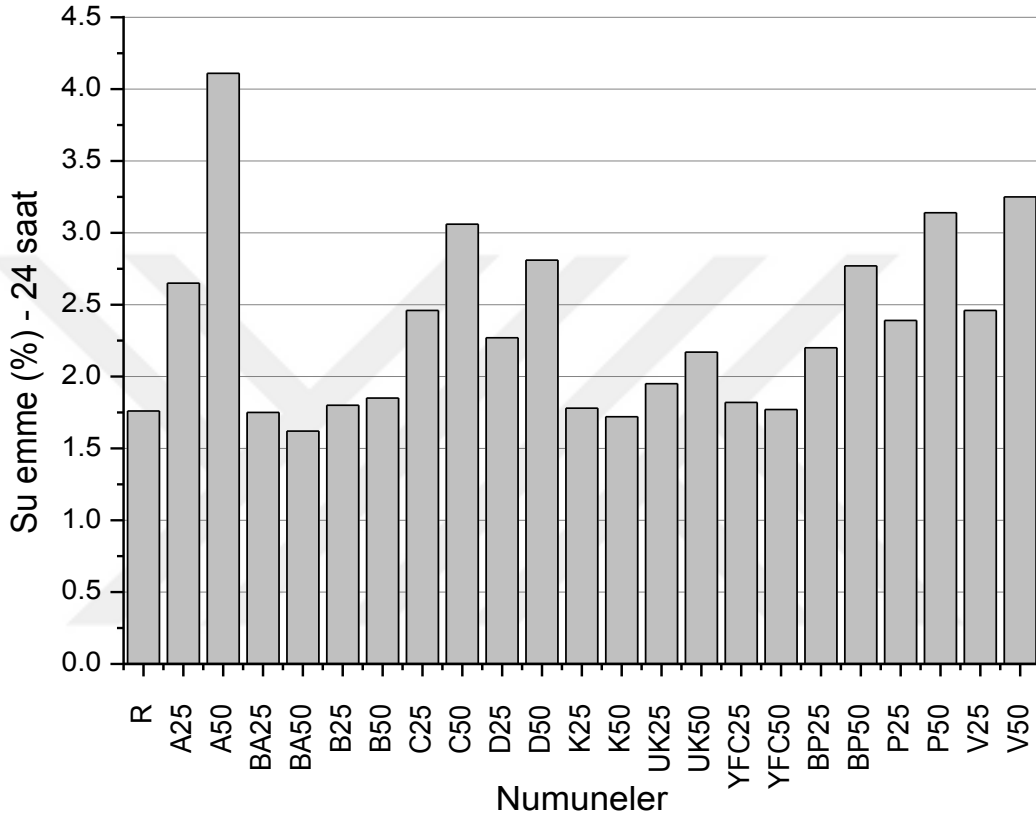


Şekil 4. 2 PVC kompozit numunelerin 2 saat sonundaki su emme oranları

PVC kompozit numunelerin 2 saat sonundaki su emme oranları %0,60-1,33 arasında değişmektedir (Şekil 4.2). En az su emme değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %14,3 oranında daha azdır. Bu durum barit katkılı kompozitlerin daha az boşluk içermesi ve baritin kalsitten daha az su emmesi ile açıklanabilir (Yaşar ve Erdoğan, 2003; Topçu ve Uğurlu, 2012). En fazla su emme değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %90 oranında daha fazladır. Bu durum A50 numunesinin boşluk oranının daha yüksek olmasıyla açıklanabilir.

Katkı türüne göre su emme oranları incelendiğinde; atık PVC, bor cevher atığı, cam tozu, diatomit, UK, bazaltik pomza, genleştirilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça su emme değerleri yükselmiştir. Bu durum belirtilen malzemelerden üretilen kompozitlerin düşük birim hacim ağırlık değerleri ve boşluk yapısı ile ilişkilidir. Kuvars ve YFC oranı arttıkça su emme oranı azalmış ve referans numune değerlerine yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum, kuvars içeren numunenin ve referans numunesinin boşluk miktarının birbirine yakın olması ve kuvarsın kalsite oranla daha az su emmesi ile açıklanabilir. Barit oranı arttıkça su emme oranı azalmıştır. Şişmeye bağlı kalınlık artış oranları incelendiğinde; kompozit numunelerin hiç birinde şişme görülmemiştir.

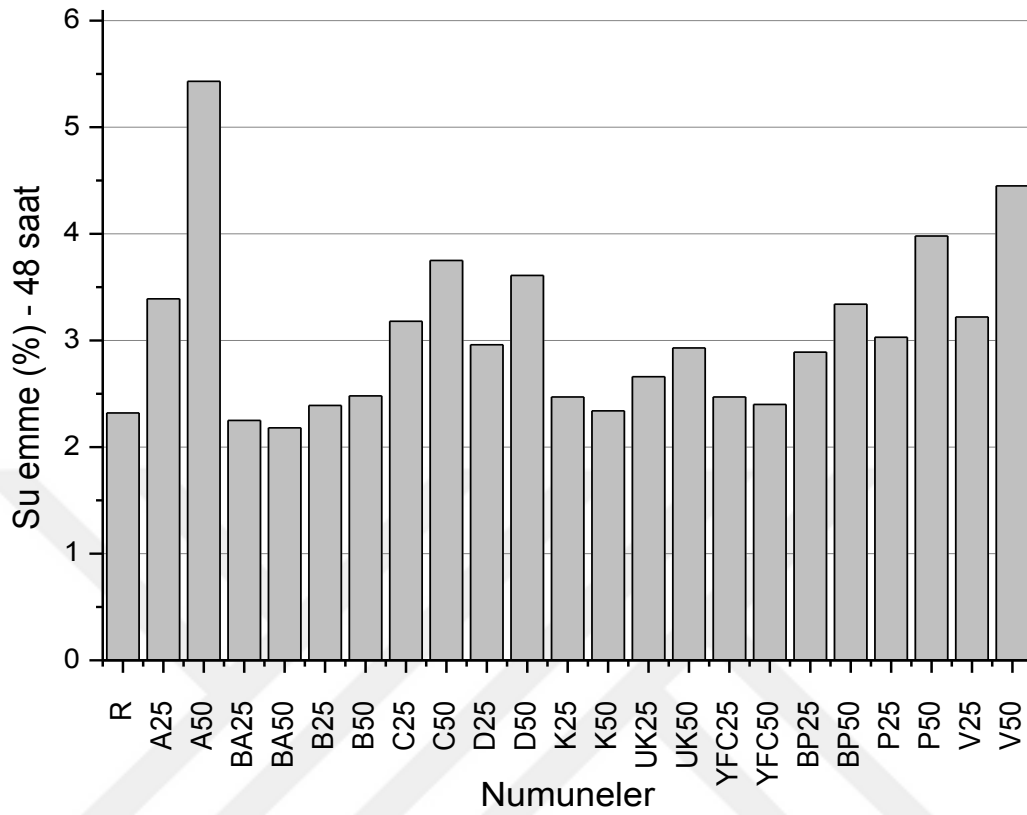
Ayrılmış (2000), dört farklı ağaç türünden yapılan MDF'lerin 2 saatlik su emme ve kalınlık artışı oranlarının sırasıyla %3,2-4,5 ve %1,1-2,1 arasında olduğunu belirtmiştir (Ayrılmış, 2000). Bal ve Bektaş (2000), üç farklı ağaç türünden üretilen plywood numunelerinin 2 saatlik su emme ve kalınlık artışı oranlarının sırasıyla %13,1-30,8 ve %1,0-2,6 arasında olduğunu ifade etmişlerdir. Özsoylu (2016), OSB numunelerin 2 saatlik su emme ve kalınlık artışı oranlarını sırasıyla %55,8-65,4 ve %27,1-35,5 arasında bulmuştur.



Şekil 4. 3 PVC kompozit numunelerin 24 saat sonundaki su emme verileri

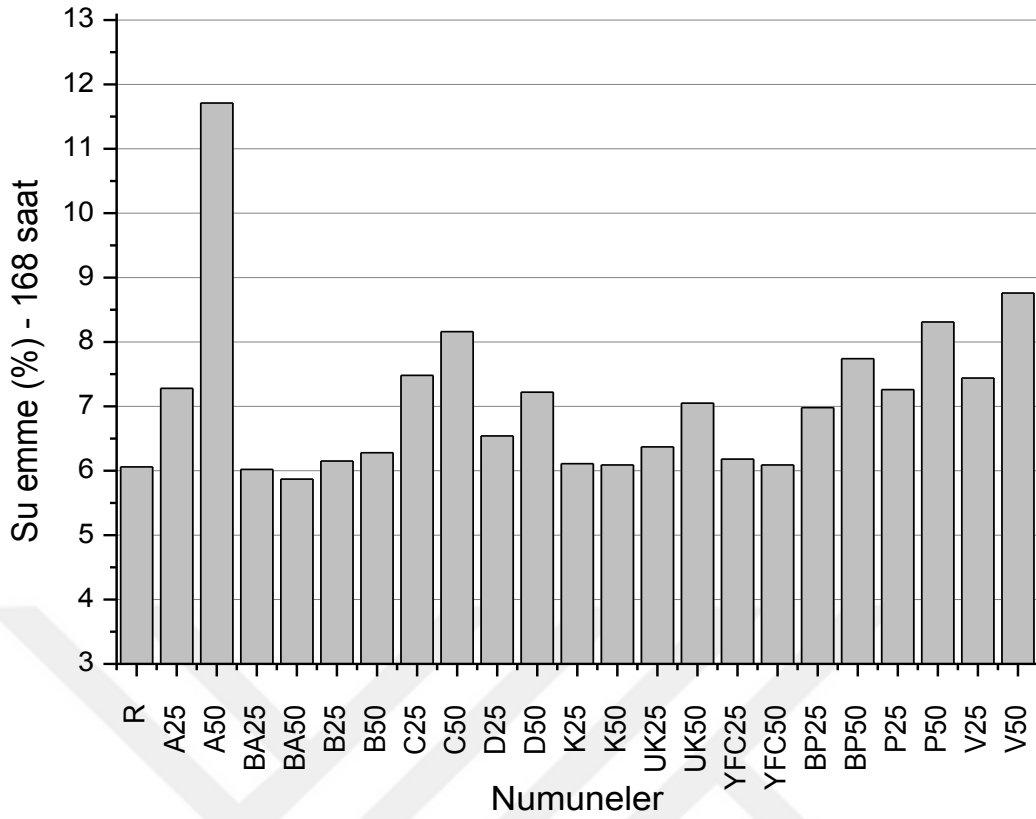
PVC kompozit numunelerin 24 saat sonundaki su emme oranları %1,62-4,11 arasında değişmektedir (Şekil 4.3). En az su emme değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %8 oranında daha azdır. En fazla su emme değerini A50 numunesi vermiş ve bu değer referans numunesine göre %133,5 oranında daha fazladır. 24 saatlik su emme sonundaki kalınlık artış oranları incelendiğinde; tüm kompozit numunelerde şişme görülmemiştir. Ayrılmış (2000), dört farklı ağaç türünden yapılan MDF'lerin 24 saatlik su emme ve kalınlık artışı oranlarını sırasıyla %14,3-18,2 ve %6,2-8,1 arasında bulmuştur. Bal ve Bektaş (2000), üç farklı ağaç türünden üretilen plywood numunelerin 24 saatlik su emme ve kalınlık artışı oranlarını sırasıyla %29,3-63,3 ve %3,3-4,9 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Özsoylu (2016), OSB numunelerin 24 saatlik su

emme ve kalınlık artışı oranlarının sırasıyla %70,8-80,1 ve %29,6-43,8 arasında olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 4. 4 PVC kompozit numunelerin 48 saat sonundaki su emme verileri

PVC kompozit numunelerin 48 saat sonundaki su emme oranları %2,18-5,43 arasında değişmektedir (Şekil 4.4). En az su emme değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %6 oranında daha azdır. En fazla su emme değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %134,1 oranında daha fazladır. 48 saatlik kalınlık artış oranları incelendiğinde; kompozit numunelerin hiç birinde şişme görülmemiştir.

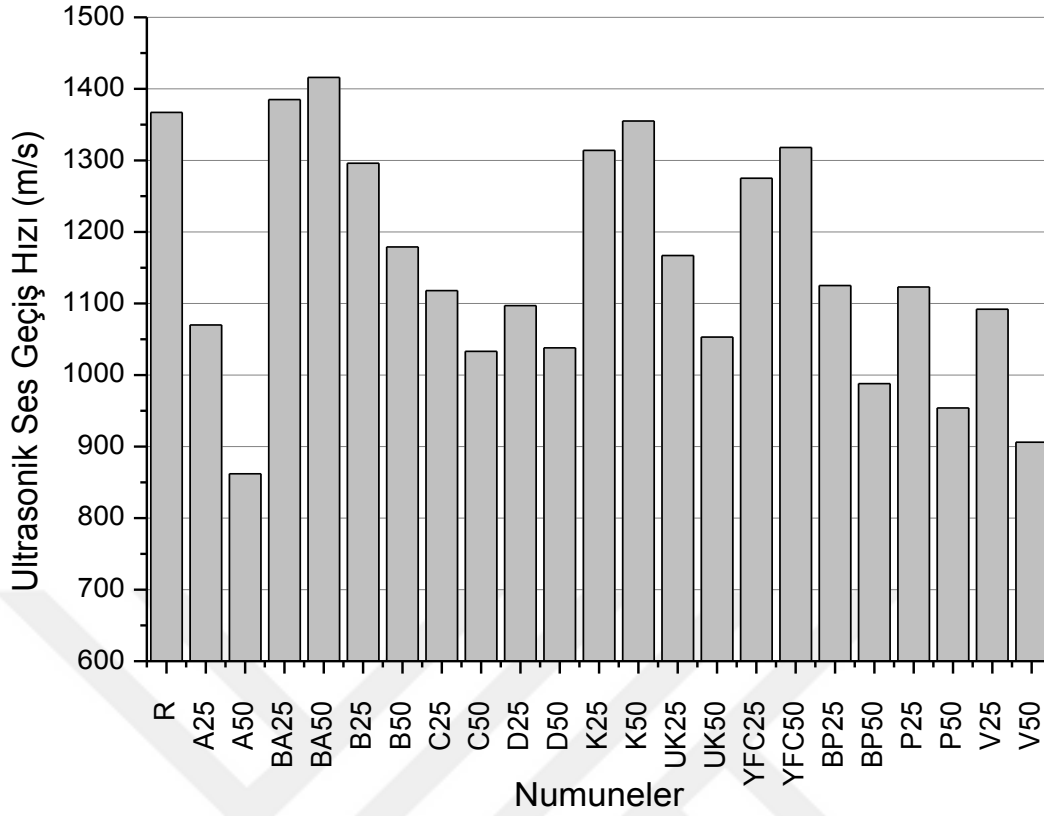


Şekil 4. 5 PVC kompozit numunelerin 168 saat sonundaki su emme verileri

PVC kompozit numunelerin 168 saat sonundaki su emme oranları %5,87-11,71 arasında değişmektedir (Şekil 4.5). En az su emme değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %3,14 oranında daha azdır. En fazla su emme değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %93,2 oranında daha fazladır. 168 saat sonunda kalınlık artış oranları incelendiğinde; kompozit numunelerin hiç birinde şişme görülmemiştir. Bal ve Bektaş (2000), üç farklı ağaç türünden üretilen plywood numunelerin 168 saatlik su emme ve kalınlık artışı oranlarının sırasıyla %39,7-89,7 ve %3,4-5,8 arasında olduğunu belirtmişlerdir. Tüm ölçüm süreleri için en düşük su emme oranını %50 barit katkılı numune vermiştir. PVC kompozit numunelerin su emme ve kalınlık artışı oranları mevcut ahşap ve ahşap esaslı diğer plakalara kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu malzeme banyo, mutfak vb. gibi ıslak zeminlerde, rıhtım ve iskele gibi su ile temas halinde olan yerlerde kullanılabilir.

4. 3. Ultrasonik Ses Hızı Sonuçları

PVC kompozit numunelerin ultrasonik ses hızı testi sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir.



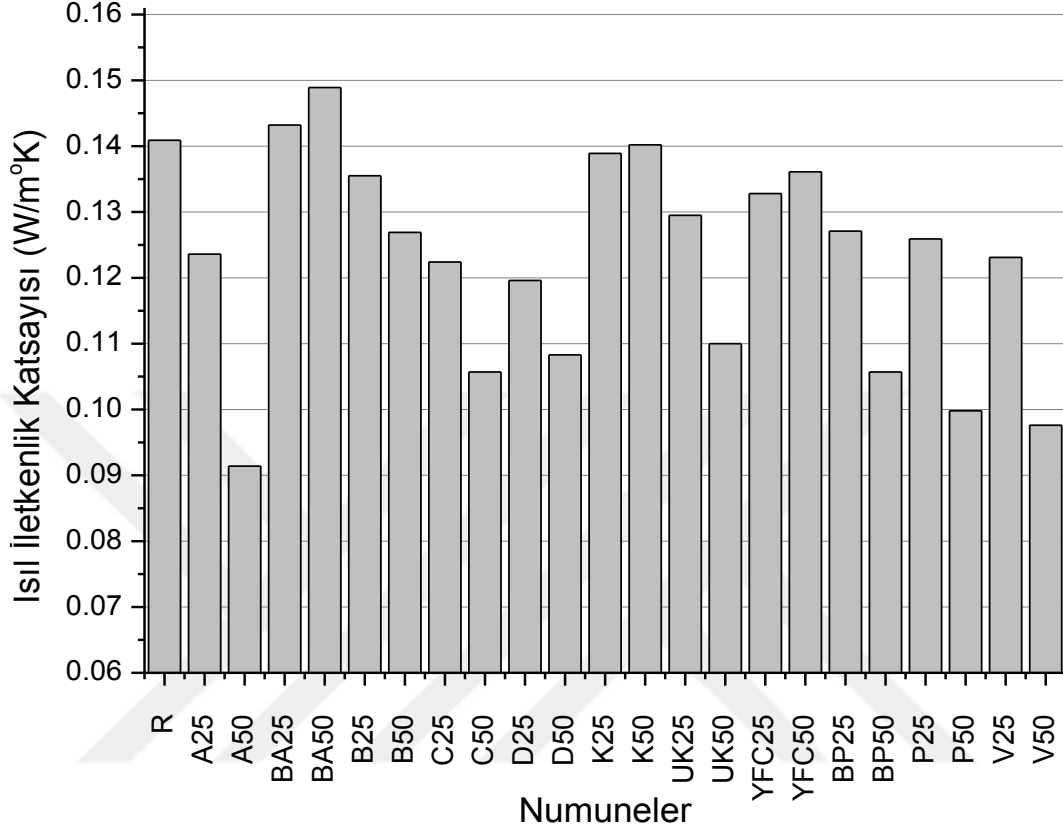
Şekil 4. 6 PVC kompozit numunelerin ultrases geçiş hızları

Kompozit numunelerin ultrases geçiş hızları 862-1416 m/s arasında değişmektedir (Şekil 4.6). En yüksek ultrases geçiş hızı değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %3,6 oranında daha fazladır. Bu durum barit katkılı kompozitin daha yüksek yoğunluklu olması ve içerdiği barit katkısı nedeniyle daha sıkı bir içyapıya sahip olması ile açıklanabilir. En düşük ultrases geçiş hızı değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %36,9 oranında daha azdır. Atık PVC'nin su emme sonuçlarında da görüldüğü gibi, atık PVC katkılı örneklerin yapısındaki boşluk miktarının daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum ultrases geçiş hızını yavaşlatmaktadır.

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, bor cevher atığı, cam tozu, diatomit, UK, bazaltik pomza, genişletilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça ultrases geçiş hızı değerleri düşmüştür. Kuvars ve YFC oranı arttıkça ultrases hızı az oranda artmış ve referans ultrases geçiş hızı değerine yakın sonuç vermiştir. Barit oranı arttıkça ultrases geçiş hızı değeri artmıştır. Diğer ahşap esaslı malzemelerin birim hacim ağırlıkları fazla olduğu için ultrases geçiş hızlarının yüksek olacağı aşikârdır. Ses yalıtımının arandığı durumlarda takviye malzeme olarak kullanılabilir.

4. 4. Isı İletim Katsayısı Sonuçları

ASTM 1113-90 (1990) standardına göre bulunan PVC kompozit numunelerin ısı iletim katsayısı sonuçları Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4. 7 PVC kompozit numunelerin ısı iletim katsayıları

Kompozit numunelerin ısı iletim katsayıları 0,0914-0,1489 W/m²K arasında değişmektedir (Şekil 4.7). En yüksek ısı iletim katsayısı değerini BA50 numunesi vermiş ve bu değer referans numunesine göre %5,7 oranında daha fazladır. Bu, numunenin boşluk miktarının düşük olduğu ultrases sonuçlarında da görülmektedir. Bu durum ısı iletkenlik katsayısını da etkilemektedir. En düşük ısı iletim katsayısı değerini A50 numunesi vermiş ve bu değer referans numunesine göre %35,1 oranında daha azdır. Bu numunenin de boşluk yapısına dair bilgi, ultrases hızı ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ultrases sonuçlarını destekler niteliktedir.

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, bor cevher atığı, cam tozu, diatomit, UK, bazaltik pomza, genleştirilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça ısı iletim katsayısı değerleri düşmüştür. Kuvars ve YFC oranı arttıkça ısı iletim katsayısı değeri az miktarda artmış ve referans numunesinin ısı iletim katsayısı değerine yakın sonuç vermiştir. Barit

oranı arttıkça ısı iletim katsayısı değeri artmıştır. Isı iletim katsayısı sonuçları genel olarak birim hacim ağırlığı ve ultrasonik ses hızı sonuçları ile paralellik göstermektedir.

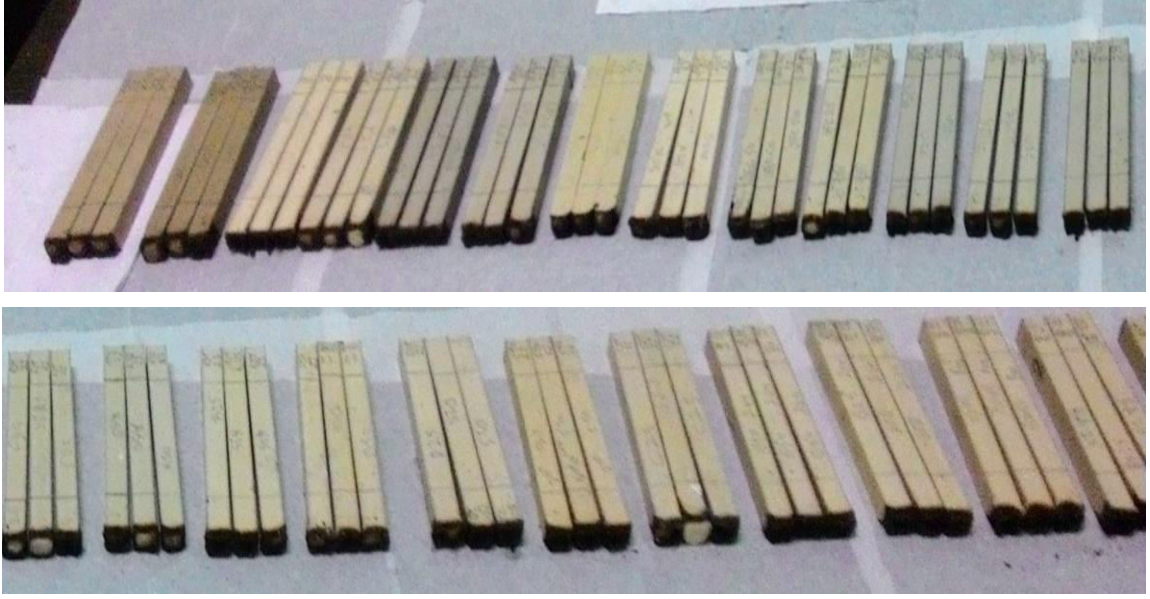
Korkmaz ve ark. (2017), 12 mm kalınlığında 35 çeşit OSB'nin ısı iletim katsayıları 0,120-0,202 W/m²K arasında olduğunu belirtmişlerdir. TS 825 (2013) standardına göre; kontrplak (0,8 t/m³) için 0,13 W/m²K, OSB (0,7 t/m³) için 0,13-0,17 W/m²K, odun lifi levhalar (MDF-HDF) (0,6 t/m³) için 0,13 W/m²K olarak belirtilmiştir. %25 ve %50 oranlarında diatomit, %50 oranında uçucu kül, pomza, perlit, cam tozu ve vermikülit katkılı kompozitler 0,12'den daha düşük ısı iletim katsayısı değerleri vermiştir. Bu numuneler, standartların öngördüğü değerlerin oldukça altındadır. Bu durumda üretilen PVC kompozitler, diğer ahşap esaslı plakalara göre ısıyı daha iyi yalıtılmaktadır. Fakat PVC kompozitler ısı yalıtım malzemesi sınıfına girmemektedir. Isı yalıtımının arandığı yerlerde takviye malzeme olarak kullanılabilir.

4. 5. Yanma Testi Sonuçları

PVC kompozit numunelerin UL94 (2011) standardına göre dikey yanma testi sonrası görüntüsü Şekil 4.8'de ve yatay yanma testi sonrası görüntüsü Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4. 8 PVC kompozitlerin dikey yanma testi sonrası görünümü



Şekil 4. 9 PVC kompozitlerin dikey yanma testi sonrası görünümü

UL94 (2011) standardına göre dikey yanma kriterleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. V0 sınıfından V2 sınıfına gidildikçe malzemelerin yanma eğilimleri artmaktadır (Tuzcu, 2010). PVC kompozit numunelerinin dikey yanma sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 UL94’e göre dikey yanma sınıflama kriterleri (Tuzcu, 2010).

Kriterler	V0	V1	V2
Her bir numune için alev sonrası zamanı	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
5 numune için toplam alev sonrası zamanı	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
2. alevden sonra korlaşma süresi	≤ 30 s	≤ 60 s	≤ 60 s
Numunenin tamamen yanması	Hayır	Hayır	Hayır
Numunenin altındaki pamukta tutuşma	Hayır	Hayır	Evet

Çizelge 4. 2 PVC kompozit numunelerinin dikey yanma sonuçları

Numuneler	Alev uygulama Süresi	Alev Alma Süresi	Sönme Süresi	Yanma Sınıfı
R	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
A25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
A50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
BA25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
BA50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
B25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
B50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
C25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
C50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
D25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
D50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
K25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
K50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
UK25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
UK50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
YFC25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
YFC50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
BP25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
BP50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
P25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
P50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
V25	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0
V50	20 saniye	Yanmadı	Yanmadı	V0

UL94 (2011) standardına göre yanma kriteri, et kalınlığı 3mm'den büyük olan numuneler için yanma oranı 38 mm/dakikadan az ise HB (kendiliğinden sönen) malzemesi olarak sınıflandırılır. Bütün PVC kompozit numunelerin yatay yanma sınıflandırması HB olarak belirlenmiştir. UL94 standardına göre yapılan yatay ve dikey yanma testlerinde elde edilen sonuçlar, üretilen kompozitlerde ana fazın PVC olması, katkı maddelerinin bunun yanında çok az miktarda kalmaları nedeniyle kendi özelliklerini gösterememişlerdir. Deney sonuçlarında baskın eğilim, PVC malzemesinin yanmazlık özelliği olarak ortaya çıkmıştır.

PVC kompozit numunenin TS EN 13501-1+A1 (2013) standardına göre; yanma sırasında açığa çıkardığı toplam ısı miktarı değeri (THR) 0-600 saniye için 51,6 MJ. Bu sonuca göre yanma deneyi sırasında birim zamandaki yangın büyüme hızı (FIGRA) 553,6 W/s olarak hesaplanmıştır. TS EN 13501-1+A1 (2013) standardına göre, yangına mukavemet sınıfları, yangın büyüme hızı ≤ 120 W/s ise sınıf B, ≤ 250 W/s ise sınıf C, ≤ 750 W/s ise sınıf D, FIGRA > 750 W/s ise sınıf E olarak sınıflandırılır. PVC kompozit numunesinin yangına mukavemet sınıfı D'dir.

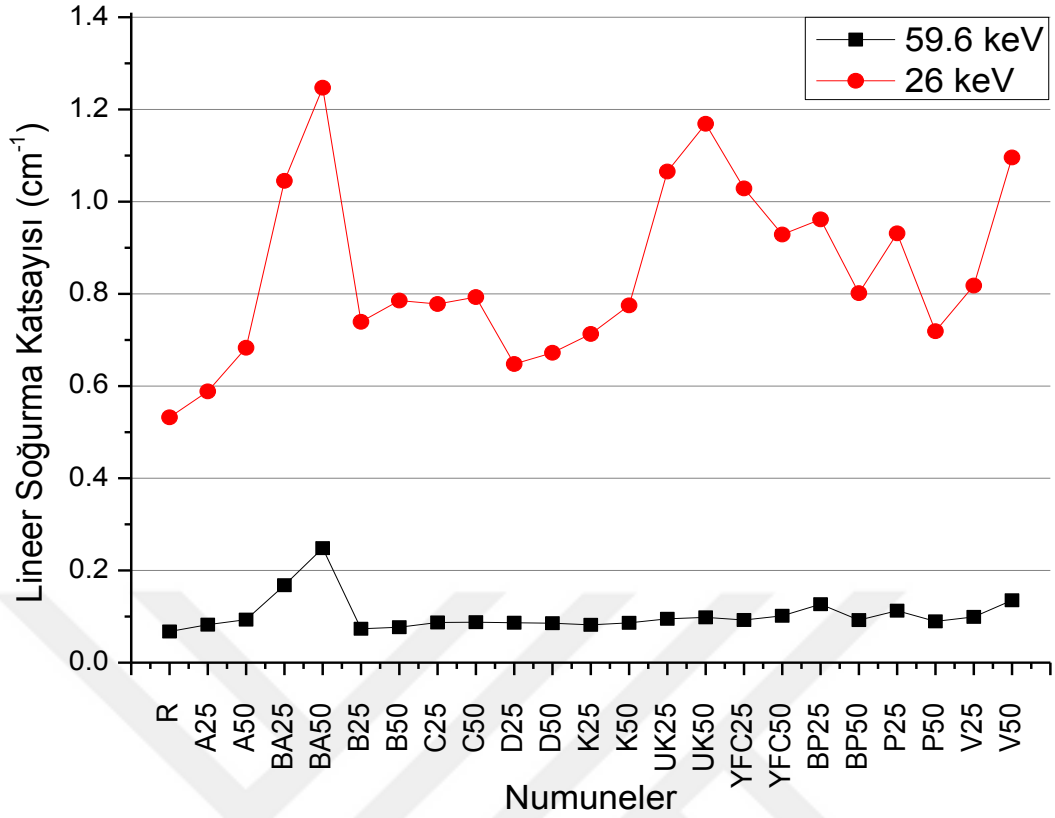
TS EN 13986:2004+A1 (2015) standardına göre, ahşap esaslı levhalar için yangına tepki özellikleri, 600 kg/m^3 'den yoğun olan orta sert lif levhalar için D sınıfı, 400 kg/m^3 'den daha az yoğunlukta olan orta sert lif levhalar için E sınıfı olarak belirtilmiştir. $401-599 \text{ kg/m}^3$ yoğunlukta olan orta sert lif levhalar için yangın sınıfı E olarak belirtilmiştir (Tuzcu,2010). PVC kompozitlerin yangın mukavemet sınıfı diğer ahşap esaslı plakalara göre yüksek ve bazı ahşap esaslı plakalar ile benzer sonuçlar vermiştir. Yangın olasılığının olduğu ortamlarda yangın geciktirici katkılar kullanılabilir ya da ek koruyucu önlemler alınabilir.

4. 6. Lineer Soğurma Katsayısı Sonuçları

59,6, 26, 17,7 ve 5,96 keV enerji seviyesinde PVC kompozit numunelerine yapılan radyasyon soğurma testinin sonuçları Çizelge 4.3'de ve Şekil 4.10'da verilmiştir. Ancak 5,96 keV enerji seviyesinde yapılan lineer soğurma testinde tüm numuneler X ışınlarını geçirmediği yani soğurduğu için Çizelge 4.3'de verilmemiştir.

Çizelge 4. 3 PVC kompozit numunelerin lineer soğurma katsayıları

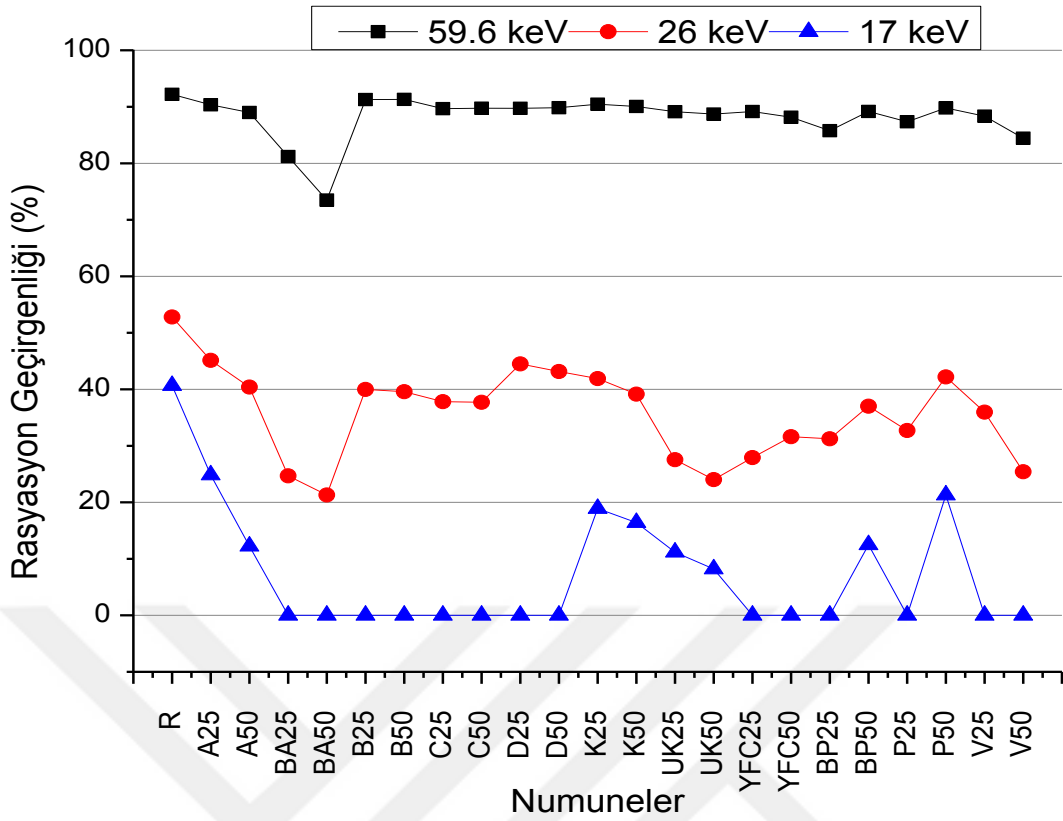
Gama Enerjileri		59,6 keV		26 keV		17,7 keV	
Numune	Kalınlık (cm)	I ₀	I	I ₀	I	I ₀	I
R	1,20	149332	137702	3742	1976	841	342
A25	1,23	149332	134931	3742	1689	841	209
A50	1,25	149332	132899	3742	1512	841	103
BA25	1,24	149332	121256	3742	924	841	0
BA50	1,24	149332	109751	3742	797	841	0
B25	1,24	149332	136327	3742	1496	841	0
B50	1,18	149332	136371	3742	1481	841	0
C25	1,25	149332	133915	3742	1415	841	0
C50	1,23	149332	134042	3742	1411	841	0
D25	1,25	149332	134006	3742	1665	841	0
D50	1,25	149332	134173	3742	1615	841	0
K25	1,22	149332	135102	3742	1568	841	159
K50	1,21	149332	134502	3742	1465	841	138
UK25	1,21	149332	133116	3742	1031	841	94
UK50	1,22	149332	132481	3742	899	841	69
YFC25	1,24	149332	133162	3742	1045	841	0
YFC50	1,24	149332	131647	3742	1183	841	0
BP25	1,21	149332	128092	3742	1169	841	0
BP50	1,24	149332	133169	3742	1385	841	105
P25	1,20	149332	130457	3742	1224	841	0
P50	1,20	149332	134109	3742	1579	841	179
V25	1,25	149332	131923	3742	1346	841	0
V50	1,25	149332	126102	3742	951	841	0



Şekil 4. 10 PVC kompozit numunelerin lineer soğurma katsayıları

Kompozit numunelerin 59,6 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayıları 0,0676-0,2484 cm^{-1} ve 26 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayıları 0,532-0,1247 cm^{-1} arasında değişmektedir (Şekil 4.10). En yüksek lineer soğurma katsayısı değerini BA50 numunesi vermiştir. Literatürde baritin yüksek oranda baryum içermesi sebebi ile doğal ve kurşuna alternatif radyasyon bir zırhlama malzemesi olarak kullanılmıştır (Akkurt ve ark., 2005; Kılınçarslan ve ark., 2007; Binici ve ark., 2014). En düşük lineer soğurma katsayısı değerini R numunesi vermiştir. Bunun sebebi referans numunesinin düşük birim hacim ağırlığına sahip olması ve bu numunenin yapısında yüksek atom numaralı elementler içermemesi ya da az oranda içermesi ile ilişkilendirilmiştir (Kaçar, 2006).

Katkı türüne göre incelendiğinde; cevher bor atığı, cam tozu, kuvars, YFC ve UK içeren numunelerin lineer soğurma katsayıları, referans numunenin lineer soğurma katsayısından yüksek çıkmıştır. Ancak katkı oranı arttıkça lineer soğurma katsayıları neredeyse hiç değişmemiştir. Bazaltik pomza ve perlit katkısı %25 oranlarında kullanıldığında, sonuçlar yüksek iken %50 oranında kullanıldıklarında düşme gözlemlenmiştir. Gama ışınlarını zırhlamak amacıyla kullanılan malzemelerin yüksek atom numaralı elementlere sahip ve özgül ağırlığının yüksek olması ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Kaçar, 2006).

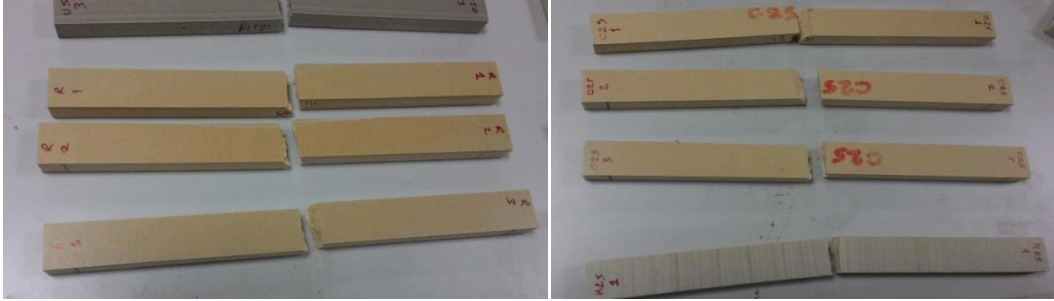


Şekil 4. 11 PVC kompozit numunelerin radyasyon geçirgenlik değerleri

Kompozit numunelerin 59,6 keV enerji seviyesinde radyasyon geçirgenlik değerleri %73,5-92,2 ve 26 keV enerji seviyesinde radyasyon geçirgenlik değerleri %21,3-52,8 arasında değişmektedir (Şekil 4.11). En çok radyasyon geçiren R numunesi ve en az radyasyon geçiren BA50 numunesidir. Ayrıca, vermikülit ve YFC katkı oranı arttıkça radyasyon geçirgenlik değerleri düşmüştür. Bu iki katkı arasında en iyi sonucu vermikülit katkısı vermiştir. Literatürde; vermikülitin alternatif koruyucu malzemelerle karşılaştırıldığında, düşük maliyetli ve hafif olmasının nakliye ve depolama gibi iki önemli problemi çözeceği belirtilmiştir. Vermikülitin ekolojik açıdan kurşuna göre daha zararsız bir gama zırhlayıcı malzeme olduğu vurgulanmıştır (Tufan ve ark., 2017). Hastanelerde kullanılan tıbbi cihazların ve havalimanında kullanılan X-ray cihazının radyasyon enerji büyüklüğü 35-60 keV arasındadır (McCaffrey ve ark., 2007). 59,6 keV gama enerjisini tamamen soğurmak yani zırhlamak için referans numunesinin 15,41 cm kalınlığında olması gerekmektedir. Bu enerji seviyesinde BA25 numunesi 6,38 cm, BA50 numunesi 4,68 cm, BP25 numunesi 8,72 cm, V50 numunesi 7,97 cm ve diğer PVC kompozit numuneler 10-14 cm arasında kalınlığa sahip olması durumunda hastanelerde zırh malzemesi olarak kullanılabilir.

4. 7. Eğilme Dayanımı ve Elastisite Modülü Sonuçları

Kompozit numunelerin eğilme testi sonrası görüntüleri Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4. 12 PVC kompozit numunelerin eğilme testi sonrası görünümü

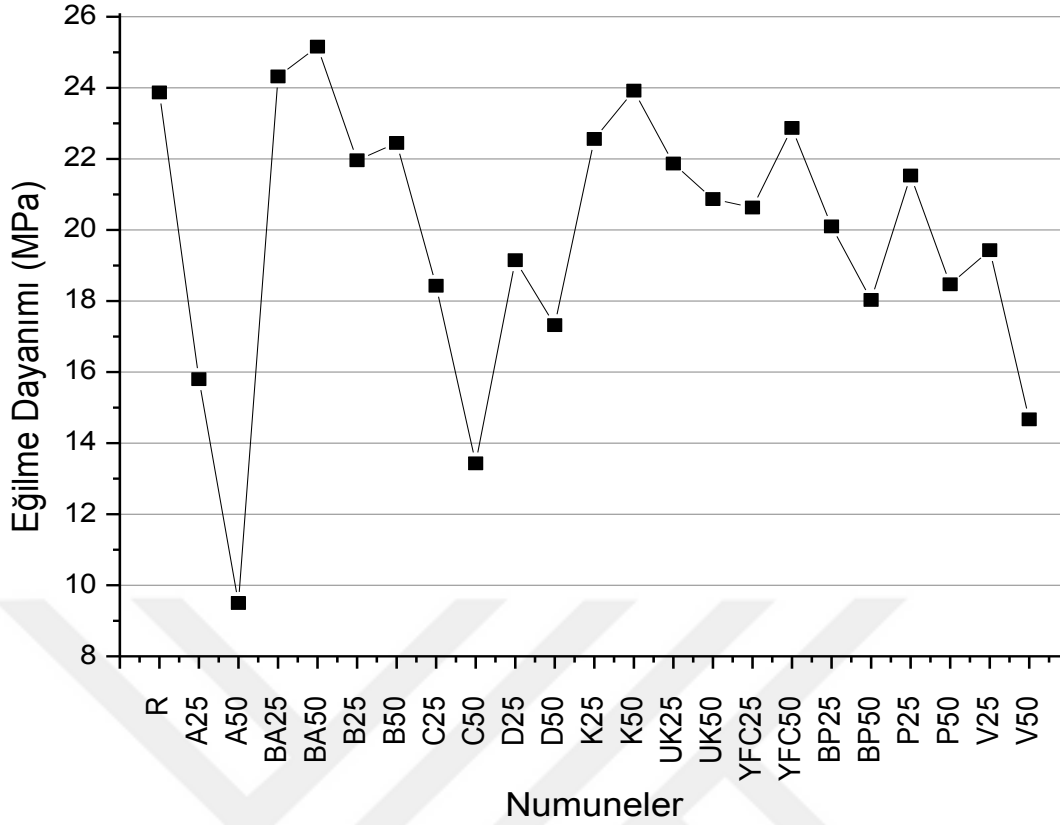


Şekil 4. 13 A50 numunesinin eğilme testi sonrası görünümü

TS EN ISO 178 (2011) standardına göre bulunan PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımı, elastisite modülü ve uzama sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Kompozit numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Şekil 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4. 4 PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımı testi sonuçları

Numuneler	Eğilme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Uzama (%)
R	23,87	1597	6,35
A25	15,80	1136	9,73
A50	9,50	717	13,97
BA25	24,32	1675	5,63
BA50	25,16	1711	5,17
B25	21,96	1390	7,80
B50	22,45	1438	6,93
C25	18,43	1221	9,86
C50	13,43	808	11,45
D25	19,15	1299	8,51
D50	17,32	1085	10,39
K25	22,56	1535	6,94
K50	23,92	1548	6,06
UK25	21,87	1253	7,10
UK50	20,87	1160	8,20
YFC25	20,63	1213	9,67
YFC50	22,87	1343	6,40
BP25	20,10	1380	8,61
BP50	18,03	1217	9,93
P25	21,53	1260	7,43
P50	18,47	1273	9,47
V25	19,43	1330	9,15
V50	14,67	887	11,04



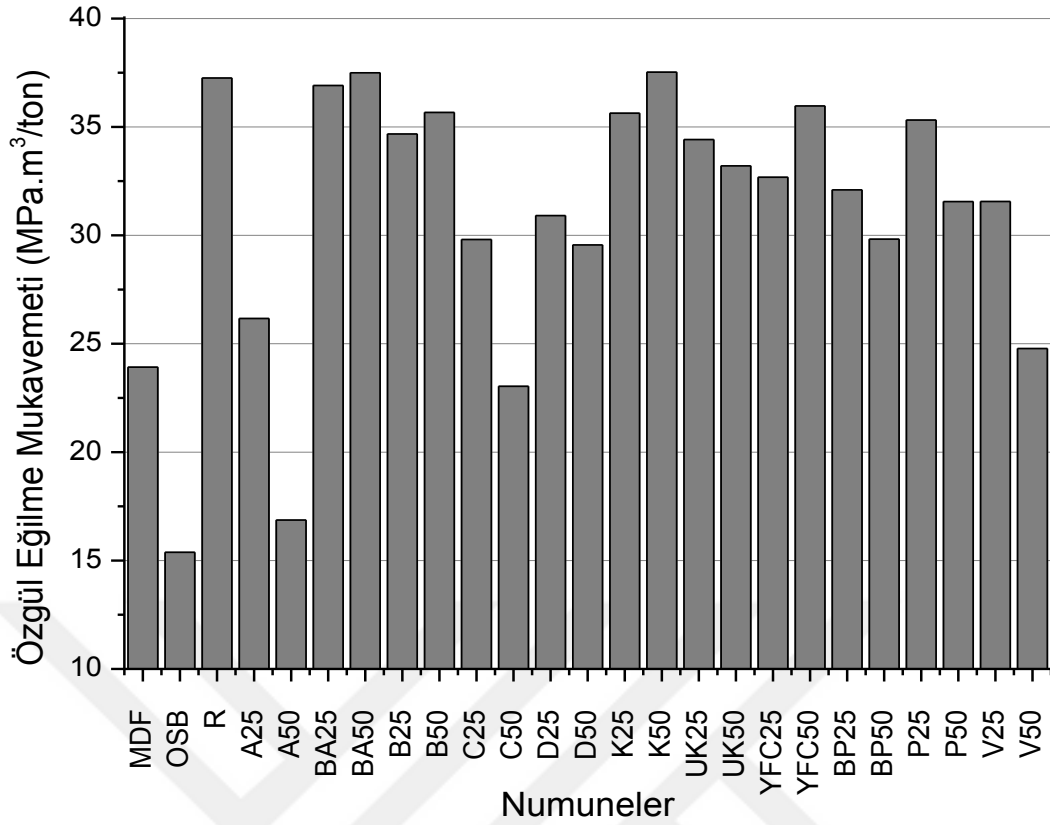
Şekil 4. 14 PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımı sonuçları

Kompozit numunelerin eğilme dayanımları 9,5-25,16 MPa arasında değişmektedir (Şekil 4.14). En yüksek eğilme dayanım değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %5,40 oranında daha fazladır. Bu durum, barit katkılı kompozitlerin daha az boşluk içermesi ile açıklanabilir (bkz. Şekil 4.6). En düşük eğilme dayanım değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %60,20 oranında daha azdır. Bu, A50 numunesinin boşluk oranının daha yüksek olması ile ilişkilendirilebilir.

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, cam tozu, diatomit, UK, bazaltik pomza, genleştirilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça eğilme dayanım değerleri düşmüştür. Kuvars, YFC ve bor cevher atığı oranı arttıkça eğilme dayanım değeri az oranda artmış ve referans eğilme dayanım değerine yakın sonuç vermiştir. Barit oranı arttıkça eğilme dayanım değeri artmıştır. Mekanik dayanımlardaki artış ve azalışın sebebi; küçük boyutlu boşluk hacmine sahip numunelerin, büyük boyutlu boşluk hacmine sahip numunelere oranla daha iyi mekanik özellikler sergilemesi olarak belirtilmiştir (Matuana ve ark., 1998). Genel olarak malzemelerin yoğunluk ile mekanik özellikleri arasında doğrudan bir ilişki vardır. Yoğunluk değeri arttıkça, mekanik özelliklerde artar.

TS EN 622-5 (2011) standardına göre; genel kullanım amaçlı kullanılan 12-19 mm kalınlığında MDF'lerin eğilme dayanımı minimum 20 MPa olarak belirtilmiştir. TS EN 312 (2012) standardına göre; genel kullanım amaçlı 13-20 mm kalınlığında levhaların (OSB) eğilme mukavemeti minimum 10 MPa olarak belirtilmiştir (Tuzcu, 2010). Gündüz ve Yılmaz (2005), 16 farklı işletmeye ait OSB'lerin eğilme dayanımlarının 8,43-16,89 MPa arasında değiştiğini belirtmişlerdir. OSB malzemesine oranla PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımları daha yüksek çıkmıştır. %25 ve %50 oranlarında cam tozu, diatomit, vermikülit ve %50 oranında pomza katkılı kompozitler, MDF malzemesinin minimum değerinden daha düşük sonuçlar vermiştir.

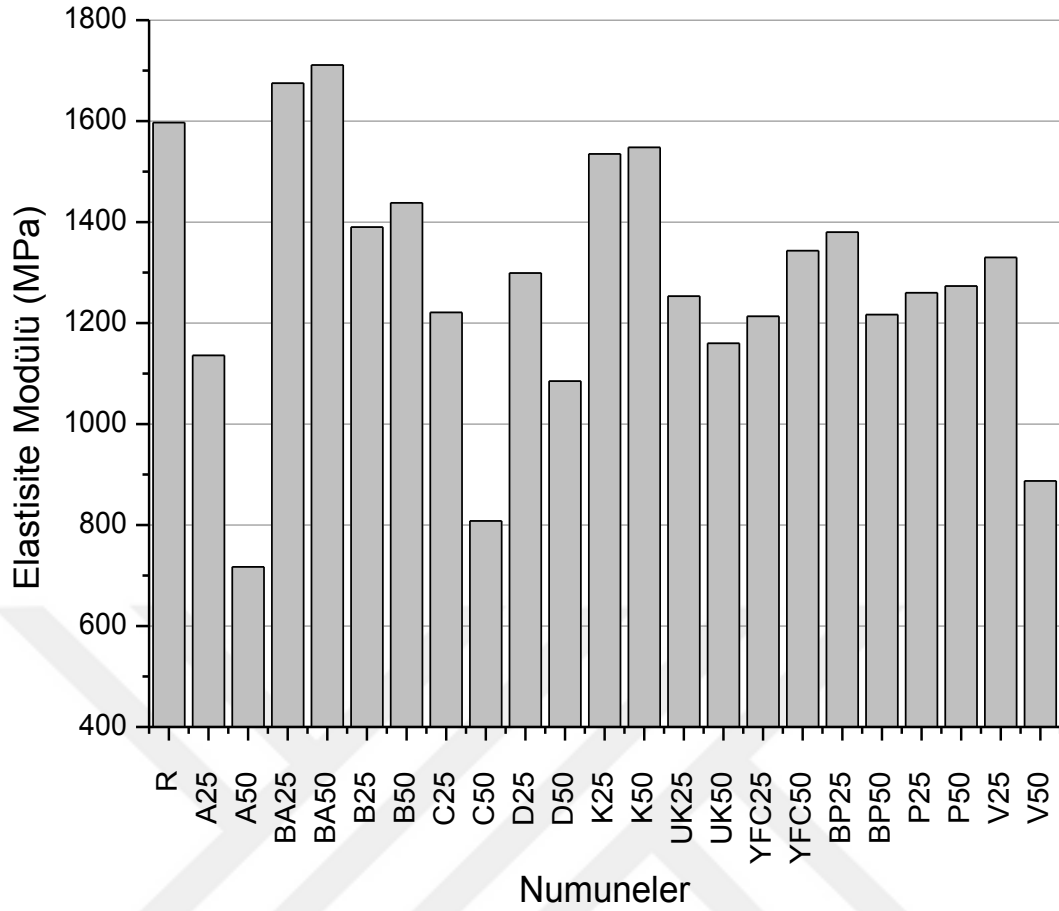
Malzemelerin mukavemet değerleri birbirleri ile karşılaştırılmak istendiğinde, sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için karşılaştırılacak malzemelerin birim hacim ağırlıklarının birbirlerine yakın olması istenir. Ancak bu durum her zaman mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda özgül eğilme mukavemeti değerlerinden yararlanmak daha doğru olacaktır. Özgül eğilme mukavemeti, malzemelerin dayanım değerlerinin birim hacim ağırlıklarına oranlanmaları ile elde edilir. Böylece birim hacim ağırlık farklılıkları bir bakıma ortadan kaldırılmış ve birim hacim ağırlık başına düşen dayanım değerleri değerlendirilmiş olur. PVC numunelerin eğilme dayanımları ile ahşap esaslı malzemelerin eğilme dayanımlarını karşılaştırmak için özgül eğilme mukavemeti (mukavemet/birim hacim ağırlık) hesaplanmış ve özgül mukavemet değerleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4. 15 Kompozit numunelerin özgül eğilme dayanımı sonuçları

PVC kompozitlerin eğilme dayanımları, MDF'nin eğilme dayanımı ile karşılaştırıldığında; %25 ve %50 oranlarında cam tozu, diatomit, vermikülit ve %50 oranında pomza katkılı kompozitler, MDF malzemesinin minimum değerinden daha düşük sonuçlar vermiştir. Ancak; PVC kompozitlerin özgül eğilme dayanımları, MDF'nin özgül eğilme dayanımı ile karşılaştırıldığında; sadece C50 ve A50 numunelerinin özgül eğilme dayanımları düşük sonuçlar vermiştir (Şekil 4.15). En yüksek eğilme dayanımını veren BA50 numunesinden, MDF'nin eğilme dayanımından %26 oranında daha yüksek sonuç elde edilmiştir. Fakat özgül eğilme mukavemetleri karşılaştırıldığında bu oran %57 olmuştur. En düşük eğilme dayanımını veren A50 numunesinden, MDF'nin eğilme dayanımından %53 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak, özgül eğilme mukavemetleri karşılaştırıldığında bu oran %29 olmuştur. Eğilme dayanımı arttıkça daha uzun açıklıklı parçalar kullanılabilir. Böylece, istenilen boyutlarda tasarım ve üretim imkanı elde edilmiş olur. Bu durum tasarımcı ya da üretici için istenilen durumdur.

Kompozit numunelerin elastisite modülü sonuçları Şekil 4.16'da verilmiştir.



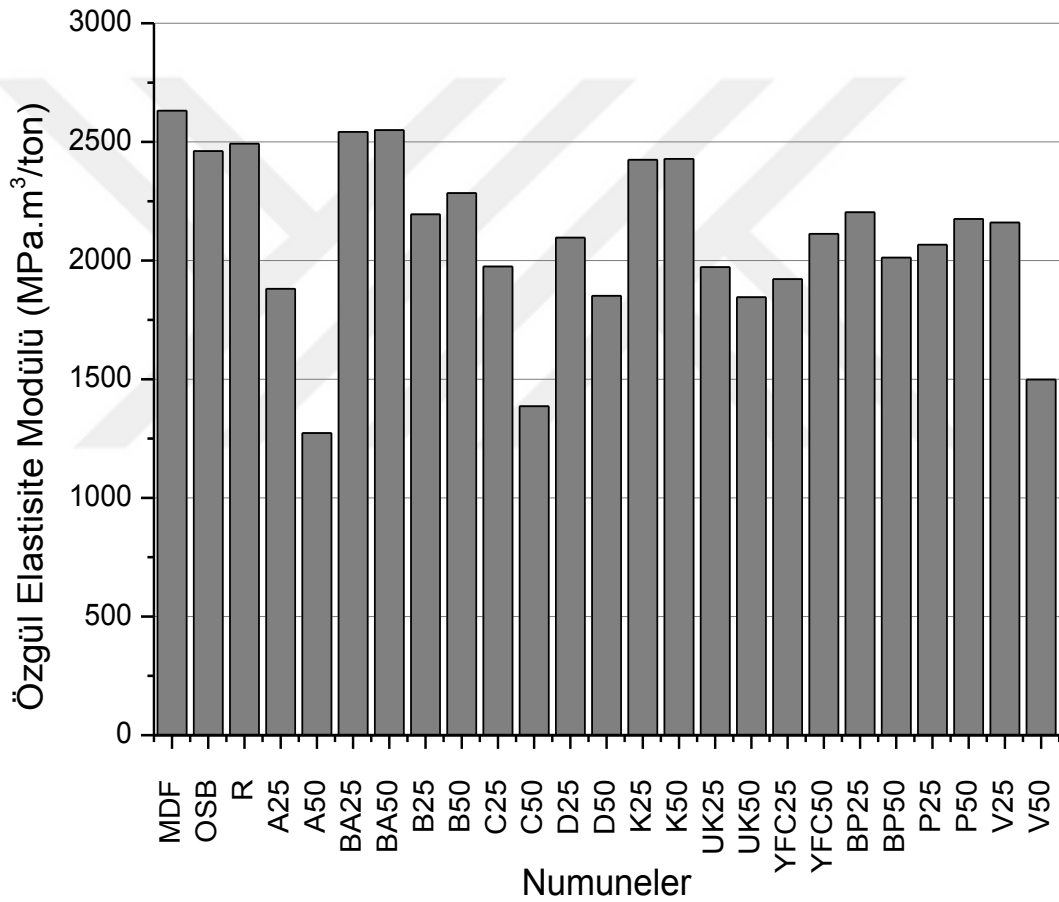
Şekil 4. 16 PVC kompozit numunelerin elastisite modülü sonuçları

Kompozit numunelerin elastisite modülü değerleri 717-1711 MPa arasında değişmektedir (Şekil 4.16). En yüksek elastisite modülü değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %7,14 oranında daha fazladır. Bu durum daha az boşluklu ve daha sıkı yapıya sahip olmasıyla açıklanabilir. En düşük elastisite modülü değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %55,10 oranında daha azdır. Bu, yüksek boşluk içeriği ve daha gevşek yapıya sahip olması ile ilişkilendirilebilir.

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, cam tozu, diatomit, UK, bazaltik pomza, genleştirilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça elastisite modülü değerleri düşmüştür. Kuvars, YFC ve bor cevher atığı oranı arttıkça elastisite modülü değeri az oranda artmış ve referans elastisite modülü değerine yakın sonuç vermiştir. Barit oranı arttıkça elastisite modülü değeri artmıştır. Matuana ve ark. (1998), yüksek oranda boşluk içeren numunelerin çatlak ya da kusur oluşturarak erken bozulmaya yol açtığına ve bununda numunelerde kuvvet ve sertliğin azalmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir.

TS EN 622-5 (2011) standardına göre; genel kullanım amaçlı kullanılan 12-19 mm kalınlığında MDF'lerin elastisite modülü değeri minimum 2200 MPa olarak belirtilmiştir. TS EN 312 (2012) standardına göre; genel kullanım amaçlı kullanılan 13-20 mm kalınlığında levhaların (OSB) eğilme mukavemeti minimum 1600 MPa olarak belirtilmiştir (Tuzcu, 2010).

PVC numunelerin elastisite modülü değerleri ile ahşap esaslı malzemelerin elastisite modülü değerlerini daha sağlıklı olarak karşılaştırmak için, özgül elastisite modülü değerleri (elastisite modülü/birim hacim ağırlık) hesaplanmış ve bu değerler Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4. 17 Kompozit numunelerin özgül elastisite modülü sonuçları

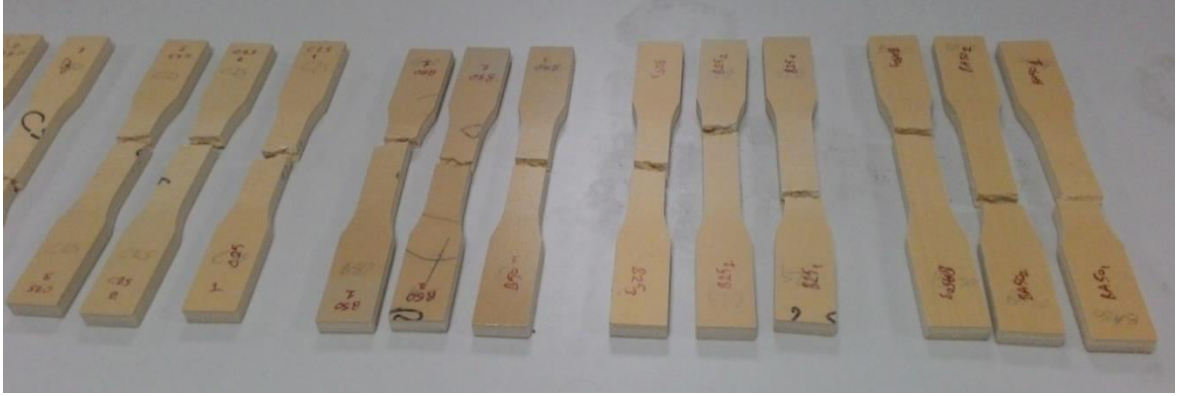
En yüksek elastisite modülü değerini veren BA50 numunesinden, MDF'nin elastisite modülü değerinden %22 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Fakat özgül elastisite modülü değeri olarak karşılaştırıldığında bu oran %3 olmuştur (Şekil 4.17). En düşük elastisite modülü değerini veren A50 numunesinden, MDF'nin elastisite modülü değerinden %67 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak, özgül elastisite modülü

değeri olarak karşılaştırıldığında bu oran %52 olmuştur. En yüksek elastisite modülü değerini veren BA50 numunesi, OSB'nin elastisite modülü değerinden %7 oranında daha yüksek çıkmıştır.

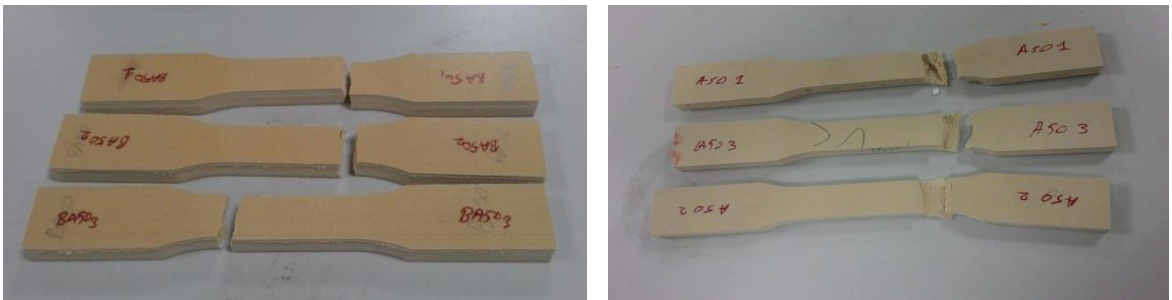
Fakat özgül elastisite modülü değeri olarak karşılaştırıldığında bu oran %4 olmuştur. En düşük elastisite modülü değerini veren A50 numunesinden, OSB'nin elastisite modülü değerinden %55 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak, özgül elastisite modülü değeri olarak karşılaştırıldığında bu oran %48 olmuştur.

4. 8. Çekme Dayanımı ve Elastisite Modülü Sonuçları

ASTM D638 (2005) standardına göre yapılan çekme deneyi sonrası numunelerin resimleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4. 18 Kompozit numunelerin çekme deneyi sonrası görünümü



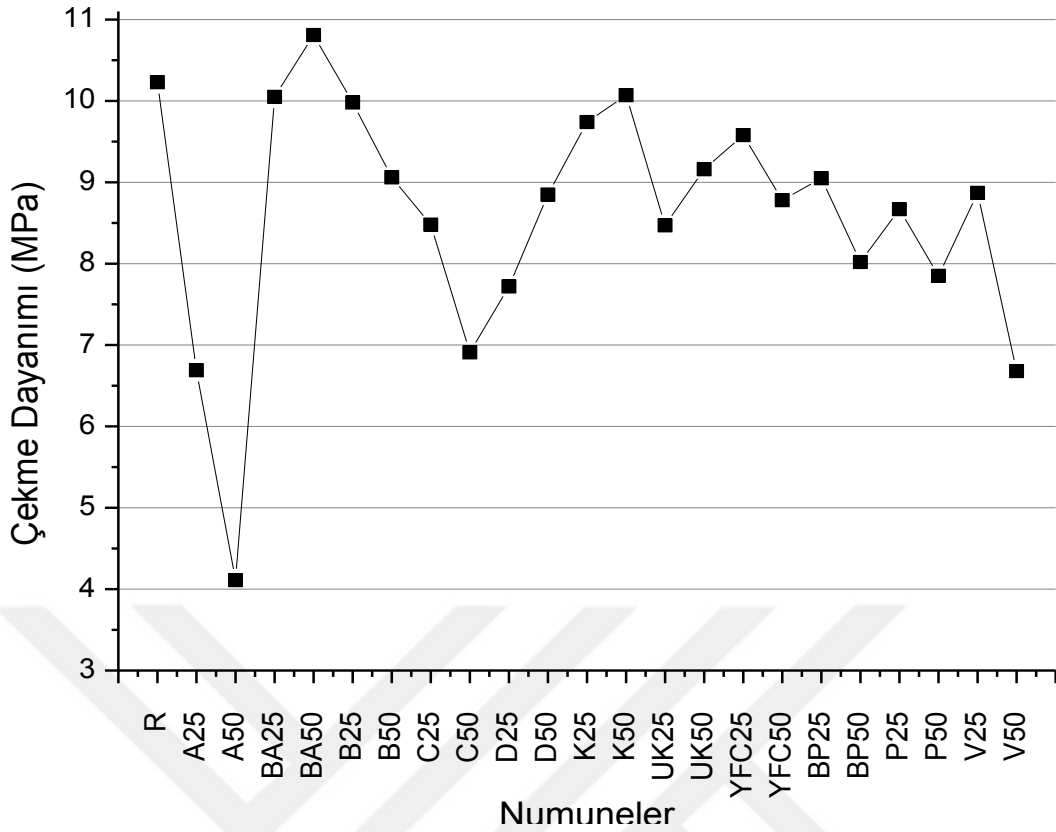
Şekil 4. 19 A50 ve BA50 numunelerin çekme deneyi sonrası görünümü

PVC kompozit numunelerin çekme dayanımı, elastisite modülü ve uzama sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4. 5 PVC kompozit numunelerin çekme dayanımı testi sonuçları

Numuneler	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Uzama (%)
R	10,23	764	14,82
A25	6,69	469	7,45
A50	4,11	364	4,86
BA25	10,05	773	13,95
BA50	10,81	819	16,74
B25	9,98	743	15,34
B50	9,06	721	12,71
C25	8,48	618	10,95
C50	6,91	458	7,30
D25	7,72	583	9,18
D50	8,85	645	11,36
K25	9,74	719	13,25
K50	10,07	772	14,74
UK25	8,47	530	12,60
UK50	9,16	608	13,80
YFC25	9,58	630	18,93
YFC50	8,78	599	10,63
BP25	9,05	624	12,68
BP50	8,02	609	10,80
P25	8,67	675	12,31
P50	7,85	633	9,80
V25	8,87	604	10,71
V50	6,68	474	8,13

Kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.20’de verilmiştir.

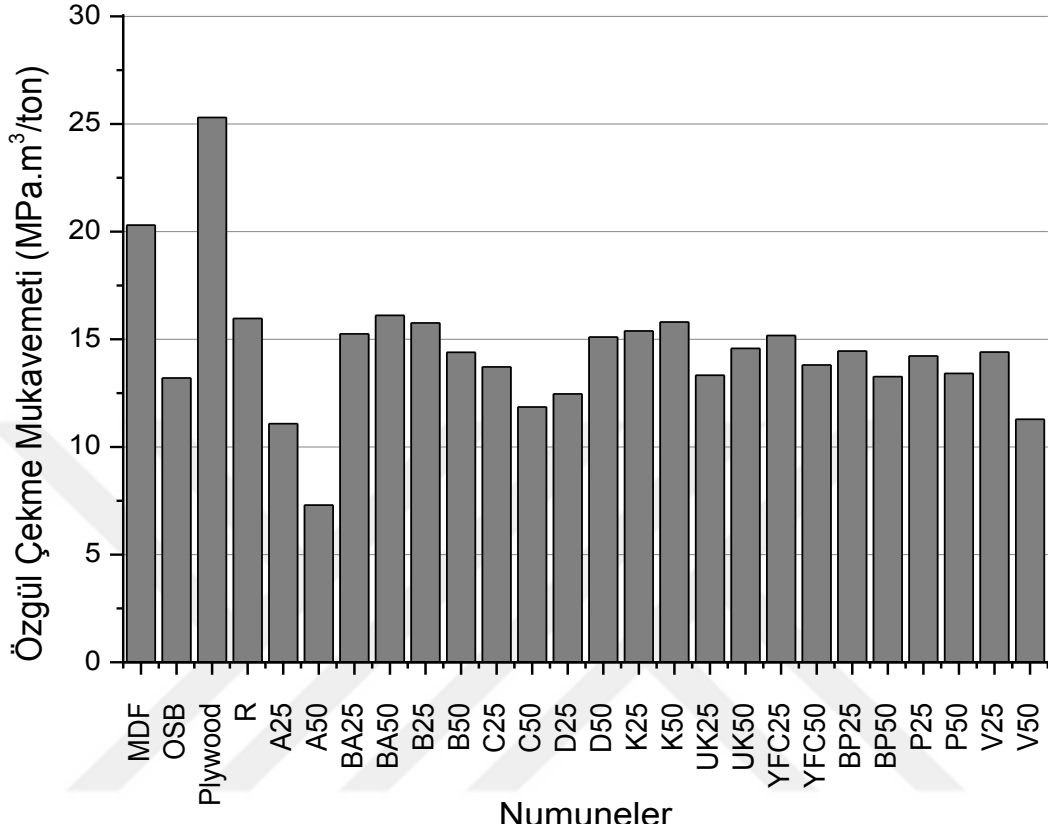


Şekil 4. 20 PVC kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları

Kompozit numunelerin çekme dayanımları 4,11-10,81 MPa arasında değişmektedir (Şekil 4.20). En yüksek çekme dayanımı değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %5,67 oranında daha fazladır. Bu durum dolgu-matris ara yüzey aderansı ile ifade edilmiştir (Das ve Satapathy, 2011). En düşük çekme dayanımı değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %59,82 oranında daha azdır. Bu düşük mukavemet ve sertlik özellikleri esas olarak ekstrüzyon işlemi ile köpürtülmüş numunelerin zayıf hücre morfolojisinden kaynaklanmaktadır (Matuana ve ark., 1998).

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, bor cevher atığı, cam tozu, YFC ve vermikülit oranı arttıkça çekme dayanımı değerleri düşmüştür. Barit, kuvars, diatomit, bazaltik pomza, genişletilmiş perlit ve UK oranı arttıkça çekme dayanımı değerleri artmıştır. ASTM D 3500-14 (2014) standardına göre çekme dayanımı; 10,30-27,60 MPa arasında ve OSB'nin 6,9-10,30 MPa arasında olduğu belirtilmiştir (Youngquist, 1999). Bledzki ve ark. (1998), 12 mm kalınlığında MDF'nin çekme mukavemetinin 17 MPa olduğu belirtmişlerdir. PVC kompozit numuneler OSB malzemesini çekme dayanımı değerlerine benzer sonuçlar vermiş ancak diğer ahşap esaslı malzemelere göre daha düşük sonuçlar vermiştir.

PVC numunelerinin çekme dayanımları ile ahşap esaslı malzemelerin çekme dayanımlarını karşılaştırmak için özgül çekme mukavemeti (mukavemet/birim hacim ağırlık) hesaplanmış ve özgül mukavemet değerleri Şekil 4.21’te verilmiştir.



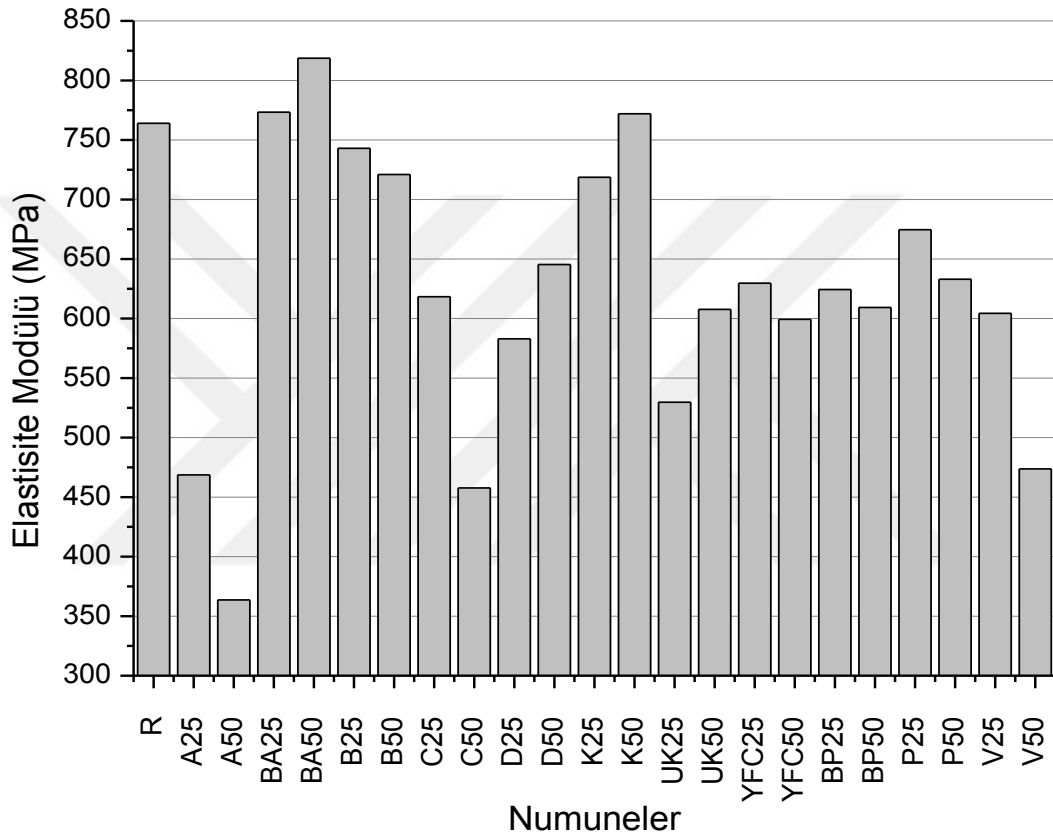
Şekil 4. 21 Kompozit numunelerin özgül çekme dayanımı sonuçları

En yüksek çekme dayanımını veren BA50 numunesinden, MDF’nin çekme dayanımından %36,4 oranında daha azdır. Fakat özgül çekme mukavemeti karşılaştırıldığında bu oran %20,6 olmuştur (Şekil 4.21). En düşük çekme dayanımını veren A50 numunesinden, MDF’nin çekme dayanımından %75,8 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak, özgül çekme mukavemeti karşılaştırıldığında bu oran %64 olmuştur.

En yüksek çekme dayanımını veren BA50 numunesinden, OSB’nin ortalama çekme dayanımından %25,7 oranında daha fazladır. Fakat özgül çekme mukavemeti karşılaştırıldığında bu oran %22 olmuştur. En düşük çekme dayanımını veren A50 numunesinden, OSB’nin ortalama çekme dayanımından %52,2 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak, özgül çekme mukavemeti karşılaştırıldığında bu oran %44,7 olmuştur.

En yüksek çekme dayanımını veren BA50 numunesinden, plywoodun ortalama çekme dayanımından %56,7 oranında daha azdır. Fakat özgül çekme mukavemeti karşılaştırıldığında bu oran %36,3 olmuştur. En düşük çekme dayanımını veren A50 numunesinden, plywoodun ortalama çekme dayanımından %78,4 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak, özgül çekme mukavemeti karşılaştırıldığında bu oran %71,1 olmuştur.

Kompozit numunelerin elastisite modülü sonuçları Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4. 22 PVC kompozit numunelerin elastisite modülü sonuçları

Kompozit numunelerin elastisite modülü değerleri 364-819 MPa arasında değişmektedir (Şekil 4.22). En yüksek elastisite modülü değerini BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %7,16 oranında daha fazladır. Bunun nedeni, dolgu maddesi ile polimer matrisi arasındaki kuvvetli etkileşimin bir sonucu olarak polimer hareketliliğini azaltabilen dolgu maddesi tarafından sağlanan sertliğin artması ile ifade edilmiştir (Sreekanth ve Bambole, 2009). En düşük elastisite modülü değerini A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %52,40 oranında daha azdır. Bu durum, köpük yoğunluğu ve hücre yapısı ile bağlantılıdır (Patterson, 1997; Plefenning ve Ross, 1991).

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, bor cevher atığı, cam tozu, YFC, bazaltik pomza, genişletilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça elastisite modülü değerleri düşmüştür. Kuvars, diatomit, UK ve barit oranı arttıkça elastisite modülü değerleri artmıştır. Uluata (2011), elastisite modülünü, dış kuvvetler tarafından etki altında bulundurulmuş bir sistemde; malzemenin doğal büyüklüğünü ve şeklini koruması için zorlayan ve yük kaldırıldığında tekrar eski durumuna ulaştırılmasına neden olan özellik şeklinde ifade etmiştir. Malzemelerin elastisite modülleri büyüdükçe, sertliklerinin arttığını ve sünekliklerinin azaldığını belirtilmiştir.

4. 9. Vida Tutma Gücü Sonuçları

PVC kompozit numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma gücü testi sonrası görüntüsü Şekil 4.23'te ve yüzeye paralel çekme vida tutma gücü testi sonrası görüntüsü Şekil 4.24'de verilmiştir.

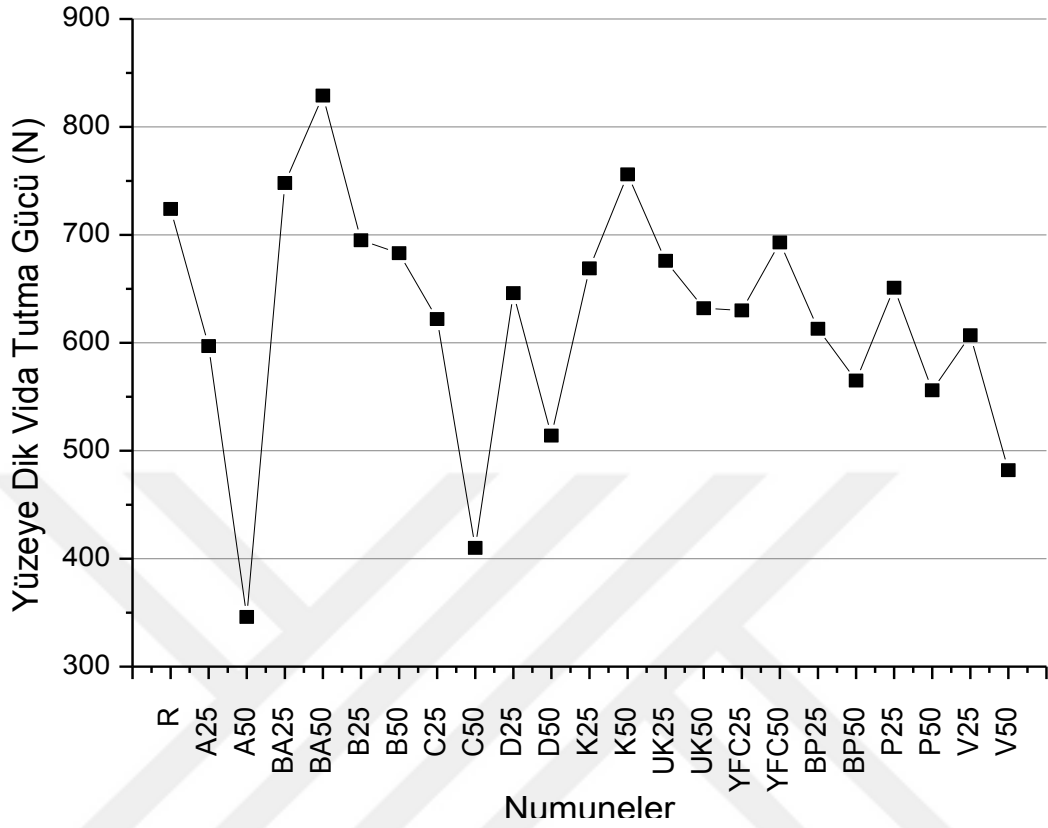


Şekil 4. 23 Numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma gücü testi sonrası görünümü



Şekil 4. 24 Numunelerin yüzeye paralel çekme vida tutma gücü testi sonrası görünümü

ASTM D1037 (2012) standardına göre bulunan PVC kompozit numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerleri Şekil 4.25'te verilmiştir.



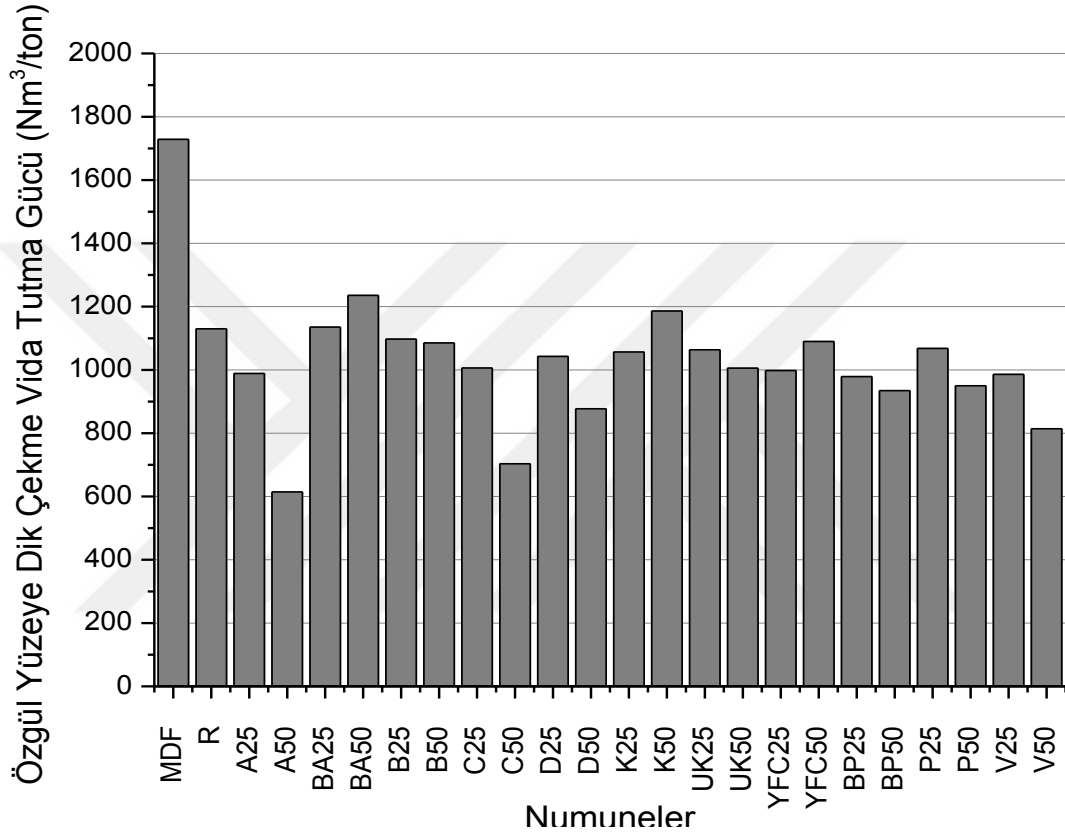
Şekil 4. 25 PVC kompozit numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma gücü sonuçları

Kompozit numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerleri 346–829 N arasında değişmektedir (Şekil 4.25). En yüksek yüzeye dik çekme vida tutma gücünü BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %14,50 oranında daha fazladır. Bu durum numunenin boşluk oranının az olması ve daha sıkı yapı oluşturması ile açıklanabilir. En az yüzeye dik çekme vida tutma gücünü A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %52,21 oranında daha azdır. Bu numunenin boşluk oranının fazla olması sebebiyle düşük tutma direncine yol açması ile açıklanabilir.

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, bor cevher atığı, cam tozu, diatomit, UK, bazaltik pomza, genleştirilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerleri düşmüştür. Barit, kuvars ve YFC oranı arttıkça yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerleri artmıştır. Bu durum numunelerin yoğunlukları ile ilişkilidir. Numunenin yoğunluğunun, fazla olmasıyla daha sıkı yapıya sahip olması, az olmasıyla ise daha boşluklu yapıya sahip olması ile açıklanabilir. Youngquist (1999), MDF ve suntanın

yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerlerini sırayla 1445 N ve 900-1100 N olarak bulmuştur.

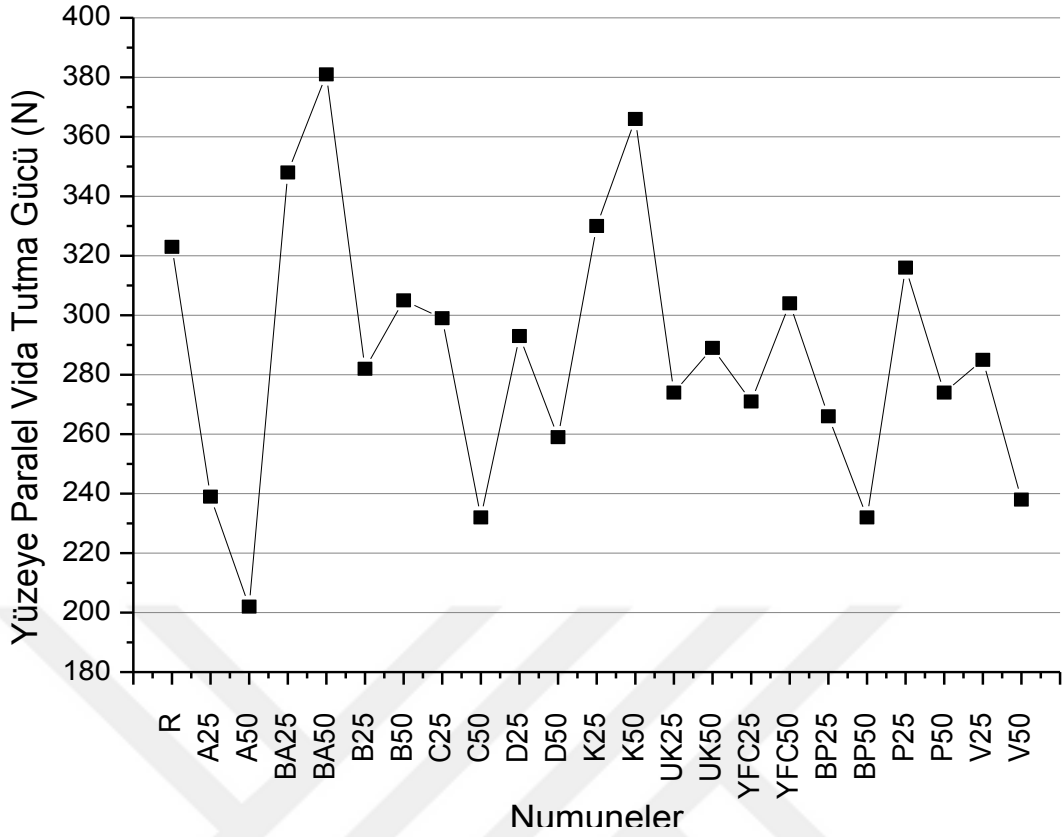
PVC numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma güçleri ile ahşap esaslı malzemelerin yüzeye dik çekme vida tutma güçlerini karşılaştırmak için özgül yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerleri (yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerleri/birim hacim ağırlık değerleri) hesaplanmış ve bulunan değerler Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4. 26 Numunelerin özgül yüzeye dik çekme vida tutma gücü sonuçları

En yüksek yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerini veren BA50 numunesinden, MDF’nin yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerinden %42,6 oranında daha azdır. Fakat yüzeye dik çekme özgül vida tutma gücü değeri karşılaştırıldığında; bu oran %28,5 olmuştur (Şekil 4.26). En düşük yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerini veren A50 numunesinden, MDF’nin yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerinden %76,1 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak, yüzeye dik çekme özgül vida tutma gücü değeri karşılaştırıldığında bu oran %64,5 olmuştur.

PVC kompozit numunelerin yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerleri Şekil 4.27’de verilmiştir.



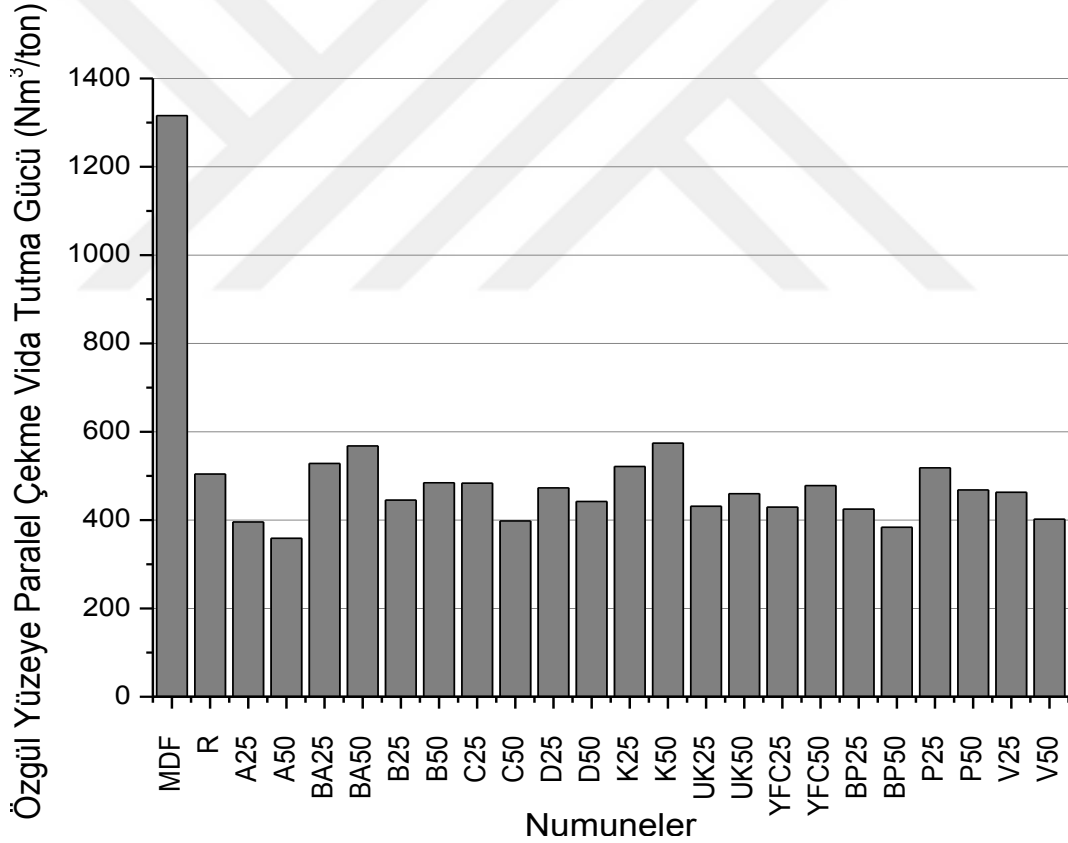
Şekil 4. 27 PVC kompozit numunelerin yüzeye paralel çekme vida tutma gücü sonuçları

Kompozit numunelerin yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerleri 202–381 N arasında değişmektedir (Şekil 4.27). En yüksek yüzeye paralel çekme vida tutma gücünü BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %17,96 oranında daha fazladır. Bu, numunenin daha az boşluk içermesi ile açıklanabilir. En düşük yüzeye paralel çekme vida tutma gücünü A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %37,46 oranında daha azdır. Bu durum, numunenin daha fazla boşluk içermesi ile ilişkilendirilebilir.

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, cam tozu, diatomit, bazaltik pomza, genişletilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerleri düşmüştür. Barit, bor cevher atığı, kuvars, UK ve YFC oranı arttıkça yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerleri artmıştır. Youngquist (1999), MDF ve suntanın yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerlerini sırayla 1110 N ve 800 N olarak elde etmiştir. Kompozit numunelerin tamamı bu malzemelerin değerlerinden düşük çıkmıştır. Vida tutma gücünün değerlerini yükseltmek için malzemenin birim hacim ağırlığının artırılması gerekmektedir. TS EN 312 (2012) ve TS EN 622-5 (2011) standartlarında, vida tutma gücü için sınır bir değer belirtilmemiştir. Ancak mekanik montajla oluşturulan sabit-

hareketli parçaların rijitliği, büyük oranda bağlantı elemanları ve malzemenin bu elemanlara vereceği tepkilerle yakından ilgili olduğu belirtilmiştir. Öte yandan ahşap endüstrisinde kullanılan bağlantı elemanlarının çeşitliliği ile uygulamadaki farklılıkların, malzemelerin bu elemanlara vereceği tepkilerde farklılaşmalara sebebiyet verdiği bildirilmiştir. Vida tutma gücü için, literatürle yapılan kıyaslamaların ne kadar sağlıklı olduğu sorgulanmalıdır. Çünkü kıyaslamalarda kullanılan vida ve deney metodu farklılıklarının, doğru analiz yapılabilmesine olanak tanımayacağı düşünülmektedir (Kasapseçkin, 2016).

PVC numunelerin yüzeye paralel çekme vida tutma güçleri ile ahşap esaslı malzemelerin yüzeye paralel çekme vida tutma güçlerini karşılaştırmak için özgül yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerleri (yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerleri/birim hacim ağırlık değerleri) hesaplanmış ve bulunan değerler Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4. 28 Numunelerin özgül yüzeye paralel çekme vida tutma gücü sonuçları

En yüksek yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerini veren BA50 numunesinden, MDF’nin yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerinden %65,4 oranında daha azdır. Fakat yüzeye paralel çekme özgül vida tutma gücü değeri karşılaştırıldığında bu oran %56,8 olmuştur (Şekil 4.28). En düşük yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerini

veren A50 numunesinden, MDF'nin yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerinden %81,6 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak, yüzeye paralel çekme özgül vida tutma gücü değeri karşılaştırıldığında bu oran %72,7 olmuştur.

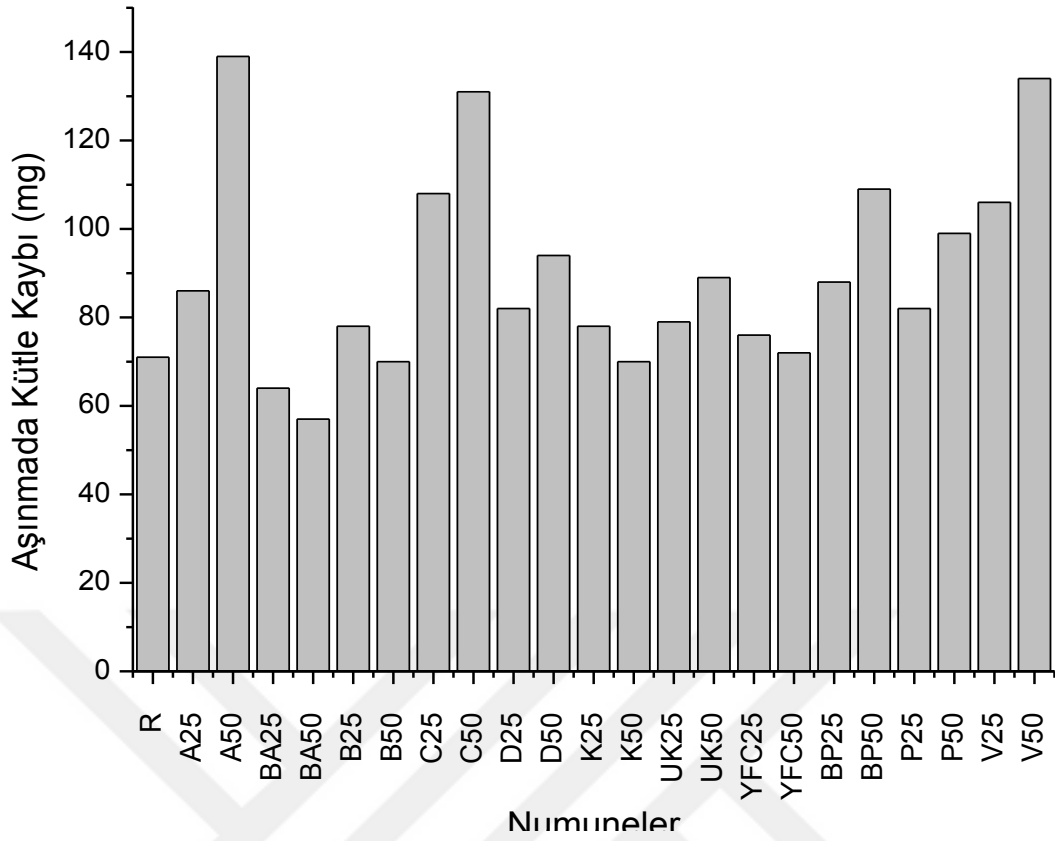
4. 10. Aşınma Dayanımı Sonuçları

PVC numunelerin aşınma testi sonrası görüntüsü Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4. 29 PVC kompozit numunelerin aşınma testi sonrası görünümü

ASTM D4060 (2010) standardına göre bulunan PVC kompozit numunelerin 1000 devir aşınma deneyi sonrası kayıpları Şekil 4.30'da verilmiştir.



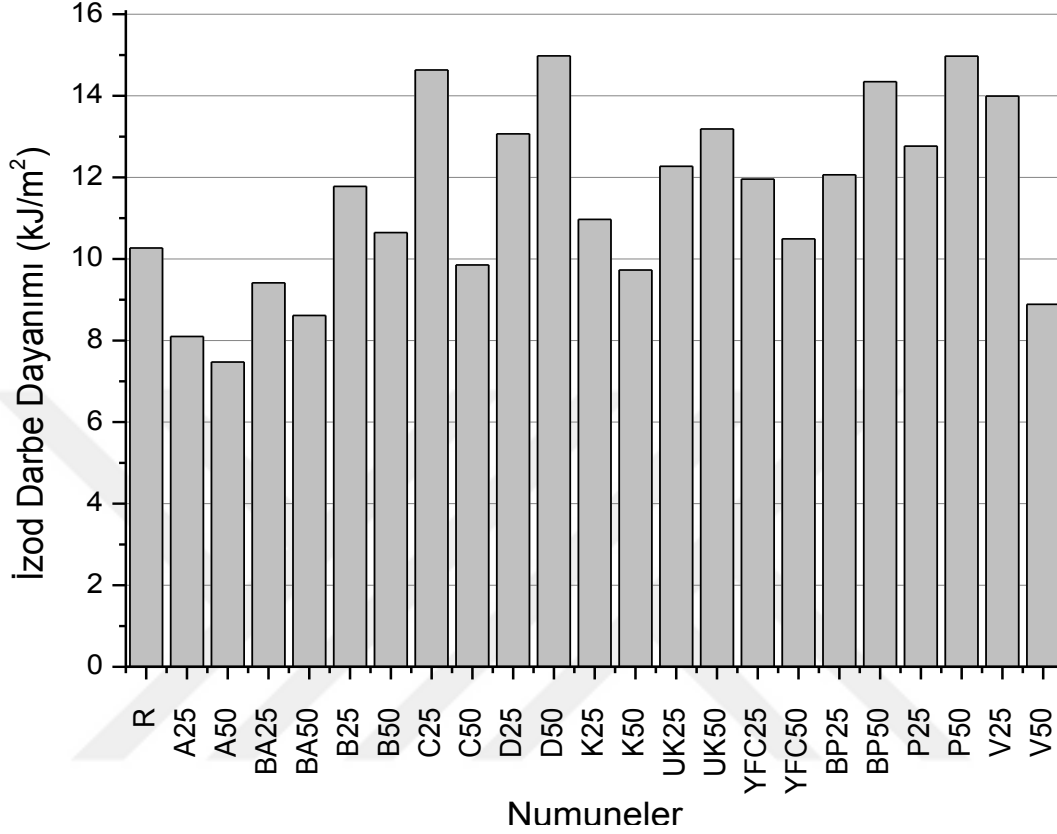
Şekil 4. 30 PVC kompozit numunelerin aşınma kayıpları

Kompozit numunelerin aşınma kayıpları 57–139 mg arasında değişmektedir (Şekil 4.30). En düşük aşınma kaybını BA50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %19,72 oranında daha azdır. Bu durum, üretilen ürünün daha sıkı bir içyapıya sahip olması ile açıklanabilir. En yüksek aşınma kaybını A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %95,77 oranında daha fazladır. Bu durum A50 numunesinin matris fazının boşluklu yapısının direncini azaltmasıyla ifade edilebilir.

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, cam tozu, diatomit, UK, bazaltik pomza, genleştirilmiş perlit ve vermikülit oranı arttıkça aşınma kayıpları artmıştır. Barit, bor cevher atığı, kuvars ve YFC oranı arttıkça aşınma kayıpları azalmıştır. Ito ve ark. (2011), Nylon-6/mmt nano kompozit film kaplı laminat parkelerin 1000 devir aşınma kayıpları 210-270 mg arasında olduğunu belirtmişlerdir. PVC kompozit numunelerin tamamı laminant parkenin aşınma değerlerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Poliüretan reçine zemin kaplamasının 1000 devir aşınma kaybı 80 mg, poliüre zemin kaplamasının aşınma kaybı 50 mg, epoksi zemin kaplamasının aşınma kaybı 50 mg olduğu bildirilmiştir (URL-5). PVC kompozitlerin aşındırıcı kuvvetlere maruz kalan dış ve iç ortamlarda kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.

4. 11. İzod Darbe Dayanımı Sonuçları

TS EN ISO 180 (2006) standardına göre bulunan PVC kompozit numunelerin izod darbe dayanımları Şekil 4.31’de verilmiştir.

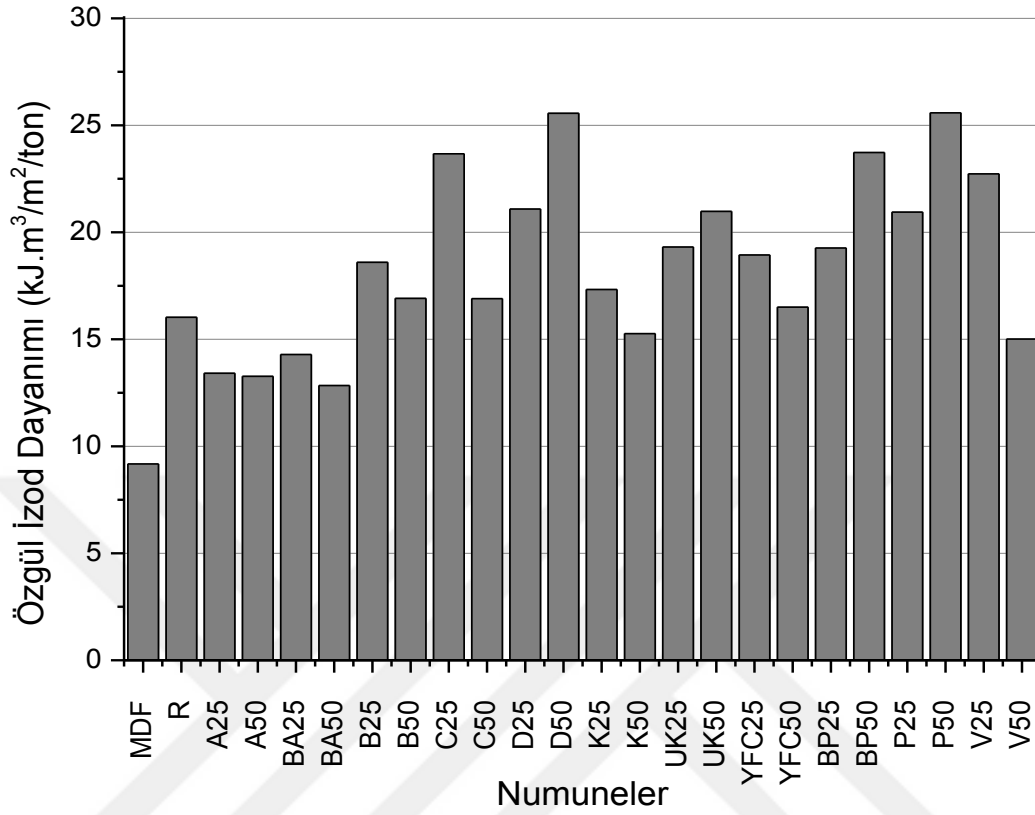


Şekil 4. 31 PVC kompozit numunelerin izod darbe dayanımı sonuçları

Kompozit numunelerin izod darbe dayanımları 7,47–14,98 kJ/m² arasında değişmektedir (Şekil 4.31). En yüksek izod darbe dayanımını D50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %45,87 oranında daha fazladır. En düşük izod darbe dayanımını A50 numunesi vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %27,23 oranında daha azdır. izod darbe dayanımlarının büyük veya küçük olmasını etkileyen en önemli faktörün, üretilen numunenin içyapısının büyük veya küçük boşluklu olması olduğu bilinmektedir (Matuana, 1998).

Katkı türüne göre incelendiğinde; atık PVC, barit, bor cevher atığı, cam tozu, kuvars, YFC ve vermikülit oranı arttıkça izod darbe dayanımı değerleri düşmüştür. Diatomit, UK, bazaltik pomza ve genişletilmiş perlit oranı arttıkça izod darbe dayanımı değerleri artmıştır. Bonnia ve ark. (2004), poliüretan reçine ve kauçuk ağacı kullanılarak yapılmış 4 farklı MDF’nin izod darbe dayanımlarının 6,4-11,45 kJ/m² ve 4 farklı ticari MDF’nin izod darbe dayanımlarının 4,0-8,82 kJ/m² arasında olduğunu belirtmişlerdir. Darbe yükü etkisi

altında kalınabilecek ortamlarda üretilen PVC kompozitlerin diğer ahşap esaslı ürünlere kıyasla tercih edilebilir olduğu görülmüştür.



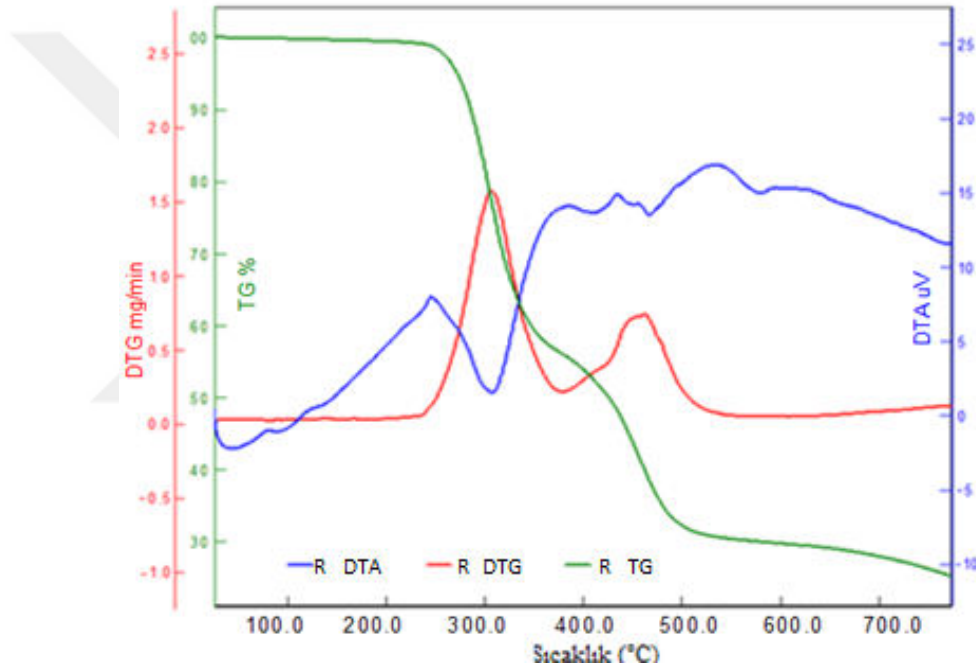
Şekil 4. 32 Numunelerin özgül izod darbe dayanımı sonuçları

En yüksek izod darbe dayanımı değerini veren BA50 numunesinden, MDF'nin izod darbe dayanımı değerinden %65,4 oranında daha azdır. Fakat özgül izod darbe dayanımı değeri karşılaştırıldığında bu oran %56,8 olmuştur (Şekil 4.28). En düşük izod darbe dayanımı değerini veren A50 numunesinden, MDF'nin izod darbe dayanımı değerinden %81,6 oranında daha düşük sonuç elde edilmiştir. Ancak özgül izod darbe dayanımı değeri karşılaştırıldığında bu oran %72,7 olmuştur.

4. 12. TGA Analizleri

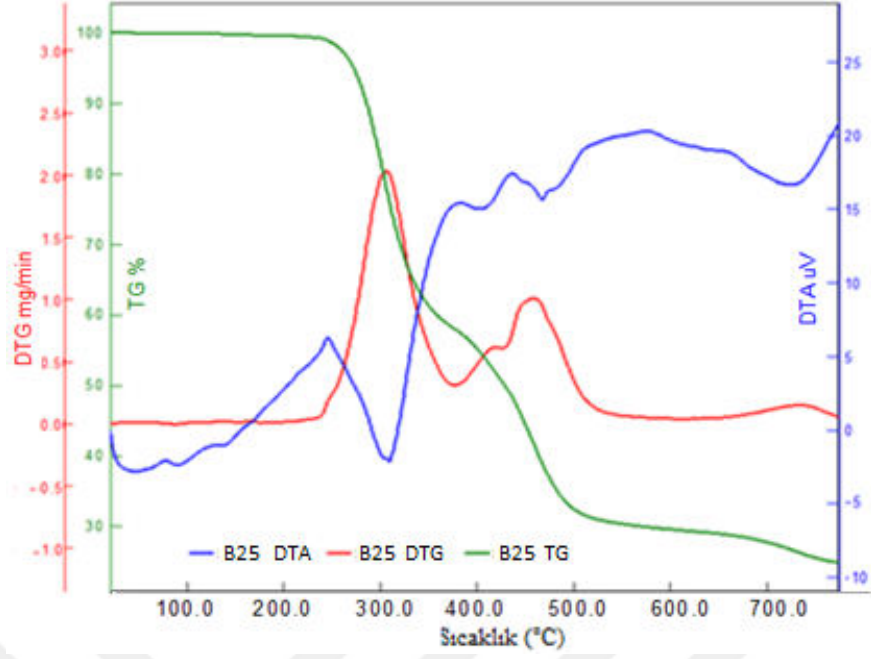
TS EN ISO 11358-1 (2014) standardına göre bulunan PVC kompozit numunelerin TGA analizleri Şekil 4.33-4.52'de verilmiştir. TGA analizinden elde edilen veriler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Yeşil çizgiyle gösterilen TG eğrisi, deney malzemesinin ağırlık kaybına uğradığı sıcaklığı belirtir. Bu kayıp malzemenin bozunduğunu ya da buharlaştığını gösterir. Kırmızı çizgi ile gösterilen DTG eğrisi, ağırlık kaybının en fazla hangi sıcaklıkta oluştuğunu belirtir. Ayrıca kütle kayıp hızını gösteren verilere DTG eğrileri ismi de verilmektedir (Çelebioğlu, 2016). Mavi çizgiyle gösterilen DTA eğrisi, deney numunesi ile termal olarak inert olan referans madde (Al_2O_3) arasındaki sıcaklık farkını gösterir ve uygulanan sıcaklığın fonksiyonu olarak incelenir. Grafikte görülen pikler endotermik ya da ekzotermik olabilir. Düz giden bir pik birden düşüşe geçebilir ve bu orada endotermik bir değişiklik olduğunu gösterir. Düz giden bir pik birden yükselişe de geçebilir ve bu da orada ekzotermik bir değişiklik olduğunu gösterir (Pope, 1977).



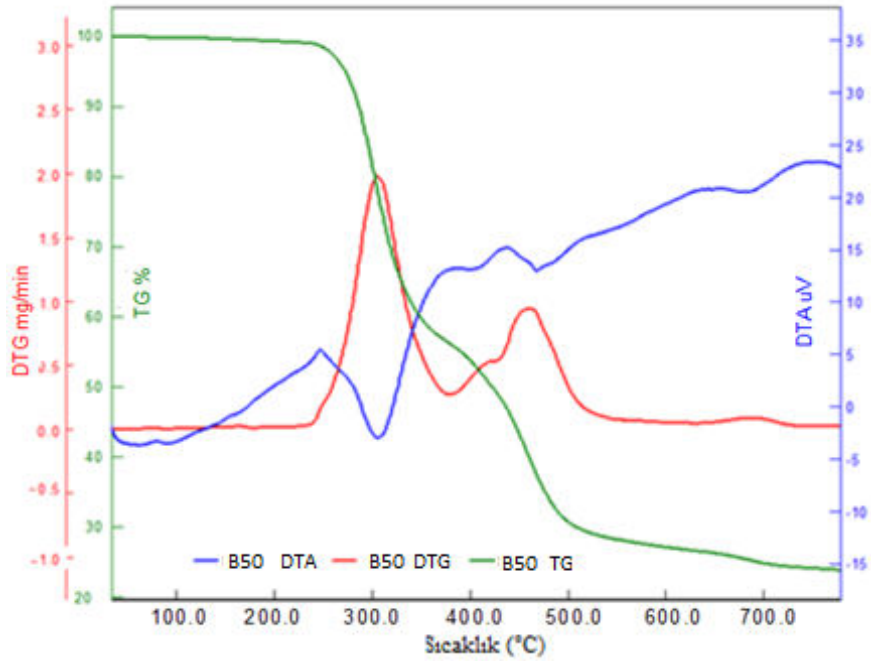
Şekil 4. 33 R numunesinin TGA analizi

R numunesinin 1. bozunma aşaması, 210,9 °C ile 373,2 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.33). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 307,15 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %42,8'dir. 2. bozunma aşaması, 385,8 °C ile 497,0 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 463,46 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %21,6'dır. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %25,18'dir.



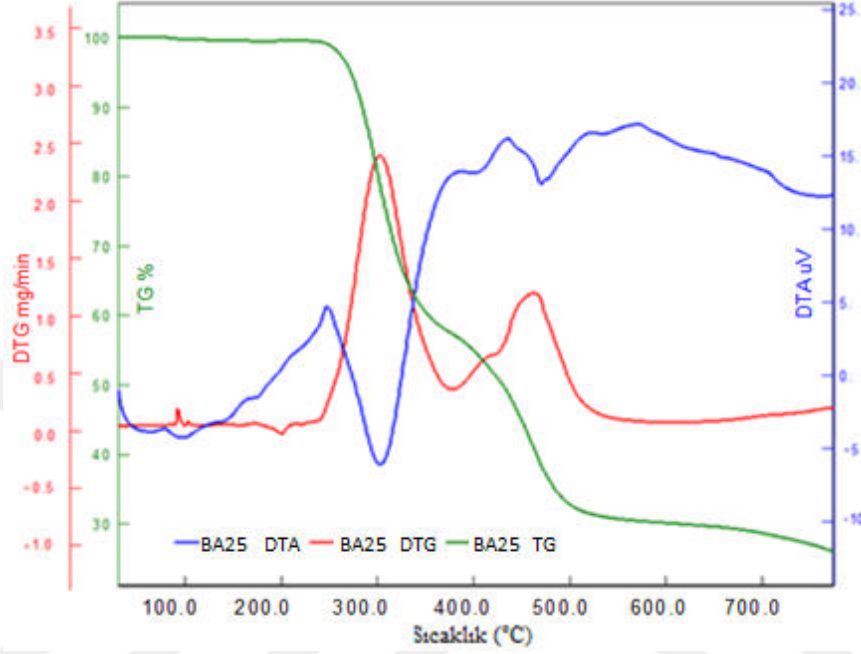
Şekil 4. 34 B25 numunesinin TGA analizi

B25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 198,9 °C ile 379,7 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.34). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 309,8 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %41,5'dir. 2. bozunma aşaması, 385,6 °C ile 502,7 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 468,04 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %24,9'dur. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %24,85'dir.



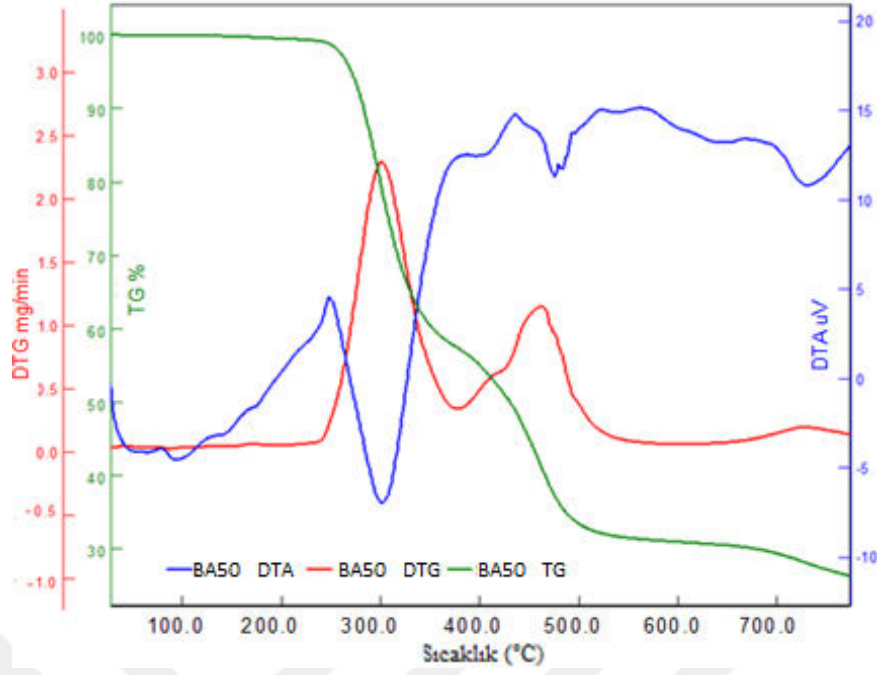
Şekil 4. 35 B50 numunesinin TGA analizi

B50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 223,4 °C ile 380,6 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.35). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 306,3 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %43,1'dir. 2. bozunma aşaması, 384,9 °C ile 496,5 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 463,70 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %24,4'tür. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %23,78'dir.



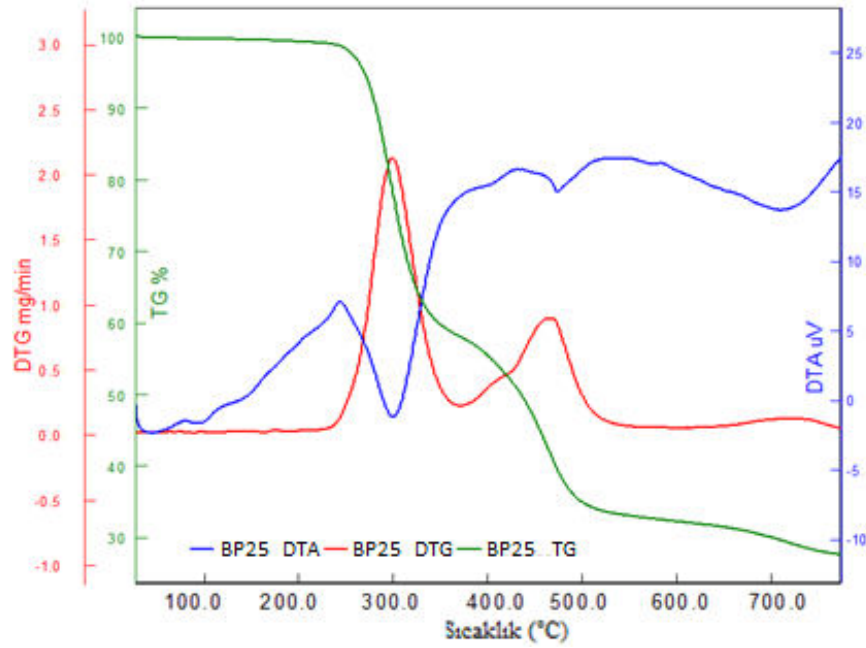
Şekil 4. 36 BA25 numunesinin TGA analizi

BA25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 219,2 °C ile 376,6 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.36). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 302,41 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %42,2'dir. 2. bozunma aşaması, 384,8 °C ile 497,9 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 464,16 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %23,8'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %26,01'dir.



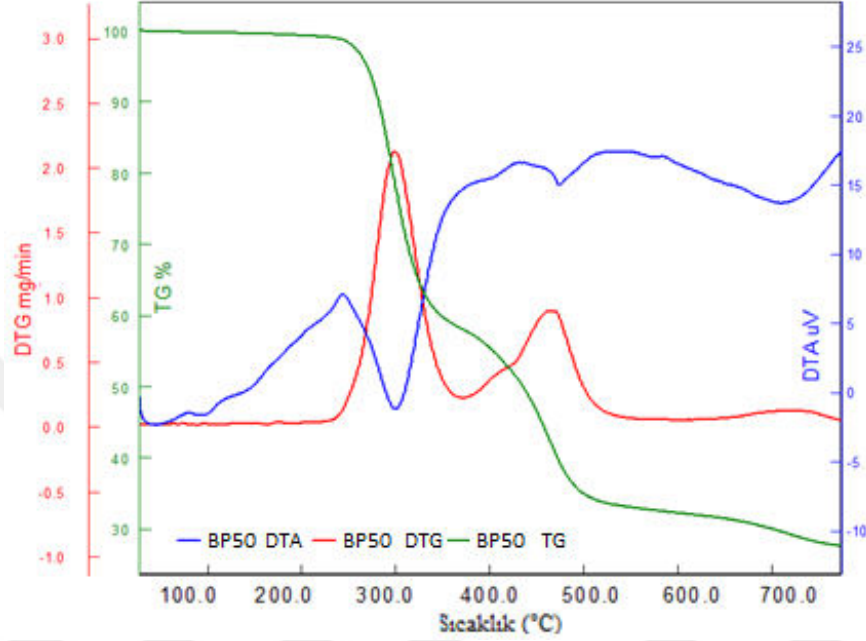
Şekil 4. 37 BA50 numunesinin TGA analizi

BA50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 220,5 °C ile 373,0 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.37). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 301,6 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %41,5'tir. 2. bozunma aşaması, 381,7 °C ile 496,6 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 463,43 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %23,7'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %26,30'dur.



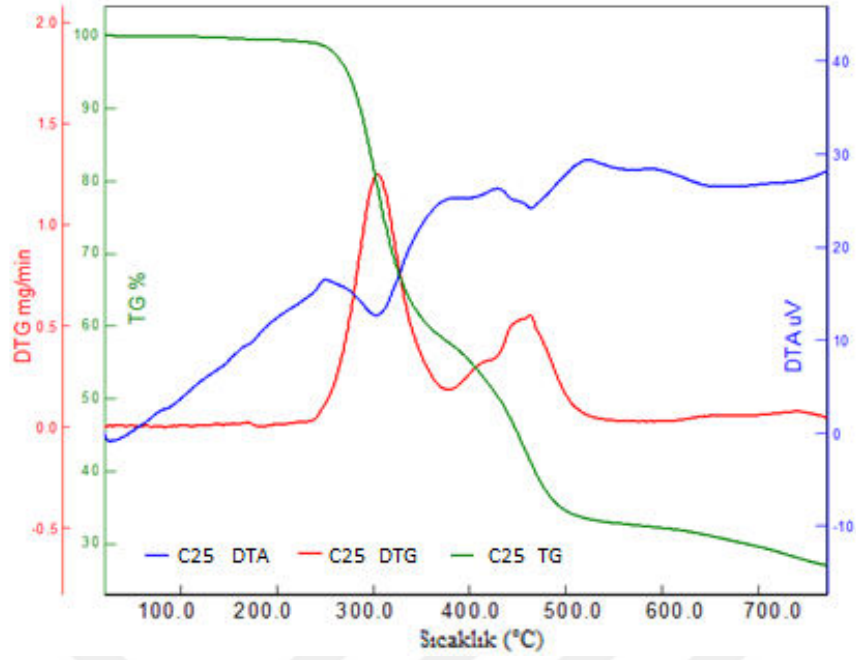
Şekil 4. 38 BP25 numunesinin TGA analizi

BP25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 176,0 °C ile 364,3 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.38). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 300,38 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %39,6'dır. 2. bozunma aşaması, 387,2 °C ile 495,9 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 462,70 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %21,2'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %28,04'tür.



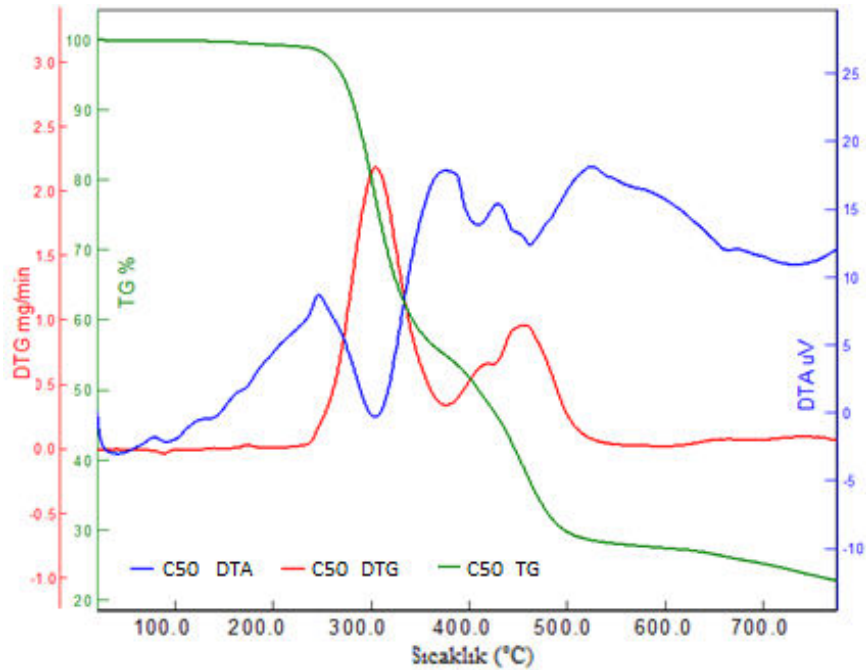
Şekil 4. 39 BP50 numunesinin TGA analizi

BP50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 212,9 °C ile 361,8 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.39). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 299,1 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %40,3'tür. 2. bozunma aşaması, 371,1 °C ile 498,8 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 463,47 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %23,0'dır. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %27,60'tır.



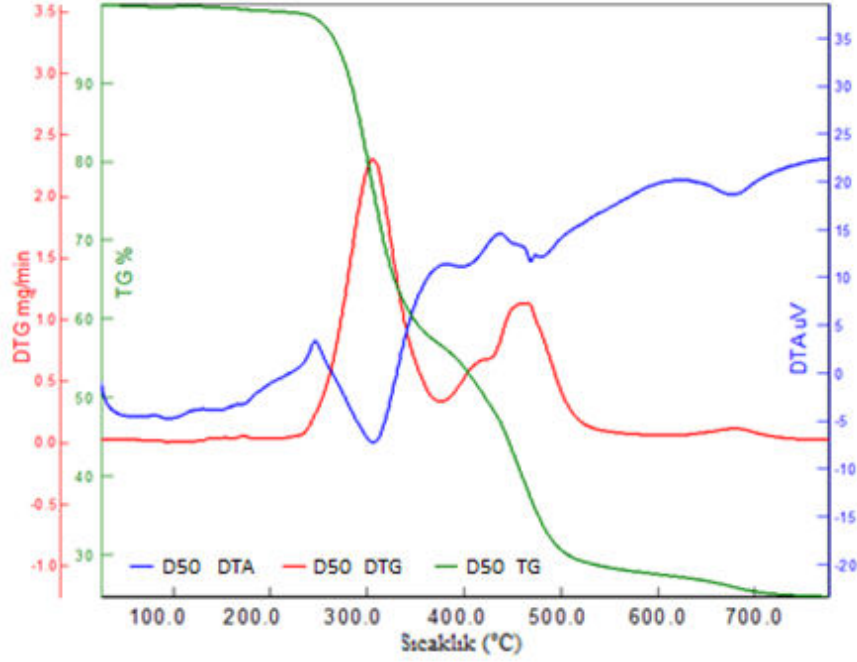
Şekil 4. 40 C25 numunesinin TGA analizi

C25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 218,8 °C ile 369,5 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.40). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 305,03 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %40,7'dir. 2. bozunma aşaması, 376,2 °C ile 494,0 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 463,13 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %22,8'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %27,00'dir.



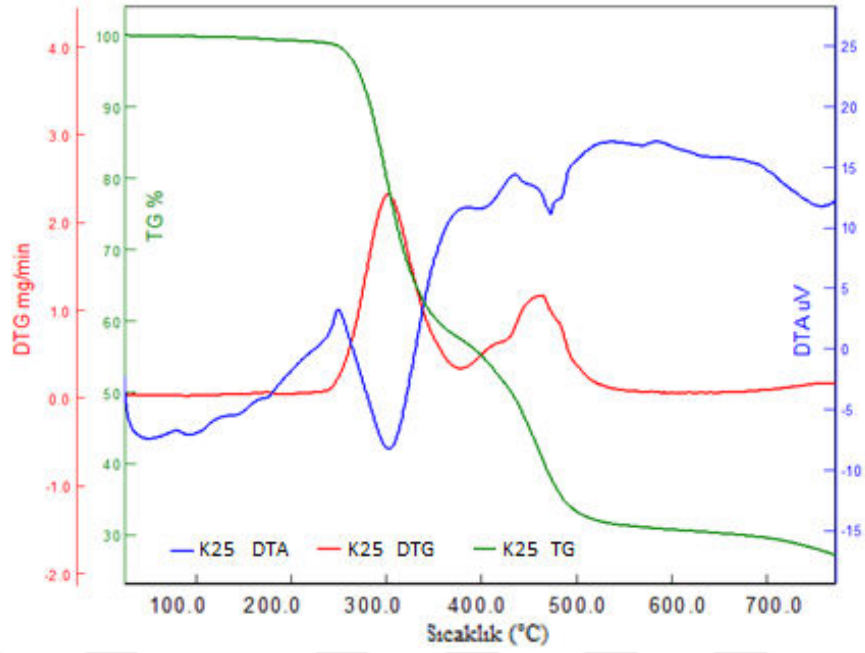
Şekil 4. 41 C50 numunesinin TGA analizi

C50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 199,7 °C ile 376,2 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.41). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 304,61 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %44,1'dir. 2. bozunma aşaması, 377,9 °C ile 498,0 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 462,72 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %24,9'dur. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %22,72'dir.



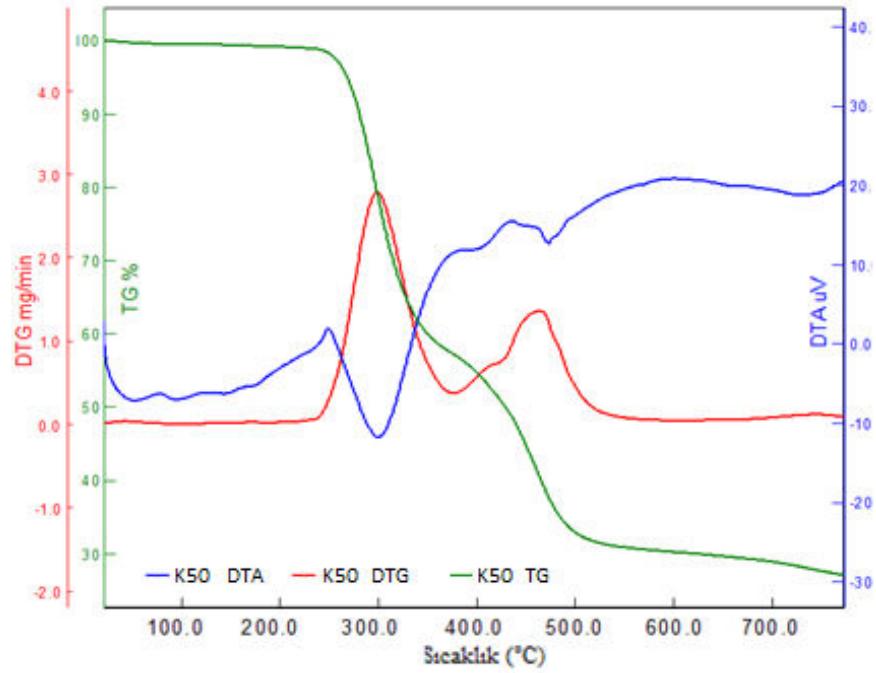
Şekil 4. 42 D50 numunesinin TGA analizi

D50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 221,2 °C ile 372,0 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.42). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 306,39 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %41,9'dur. 2. bozunma aşaması, 382,1 °C ile 497,5 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 467,64 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %25,5'tir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %24,99'dur.



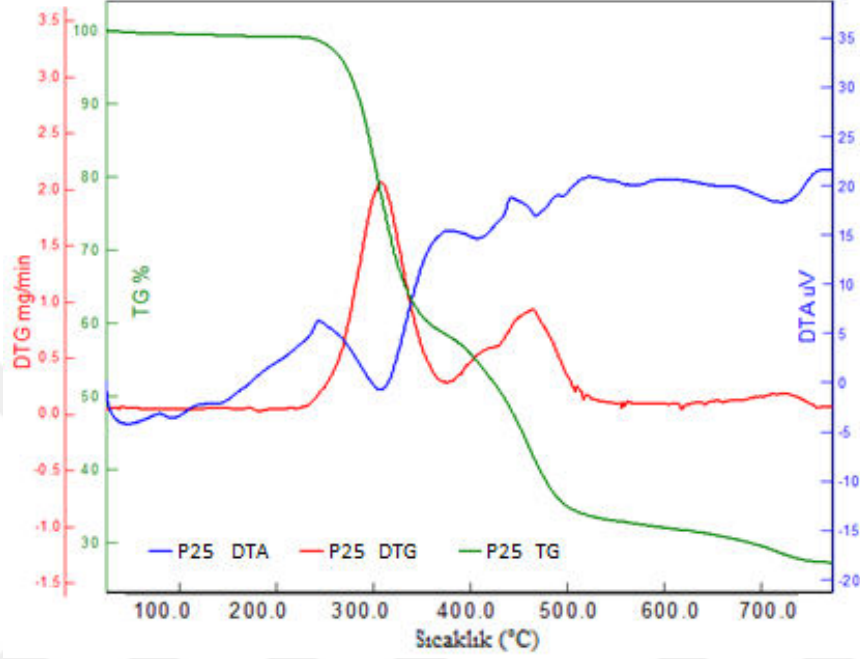
Şekil 4. 43 K25 numunesinin TGA analizi

K25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 202,2 °C ile 365,3 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.43). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 302,29 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %40,7'dir. 2. bozunma aşaması, 379,6 °C ile 497,2 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 462,00 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %23,7'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %27,12'dir.



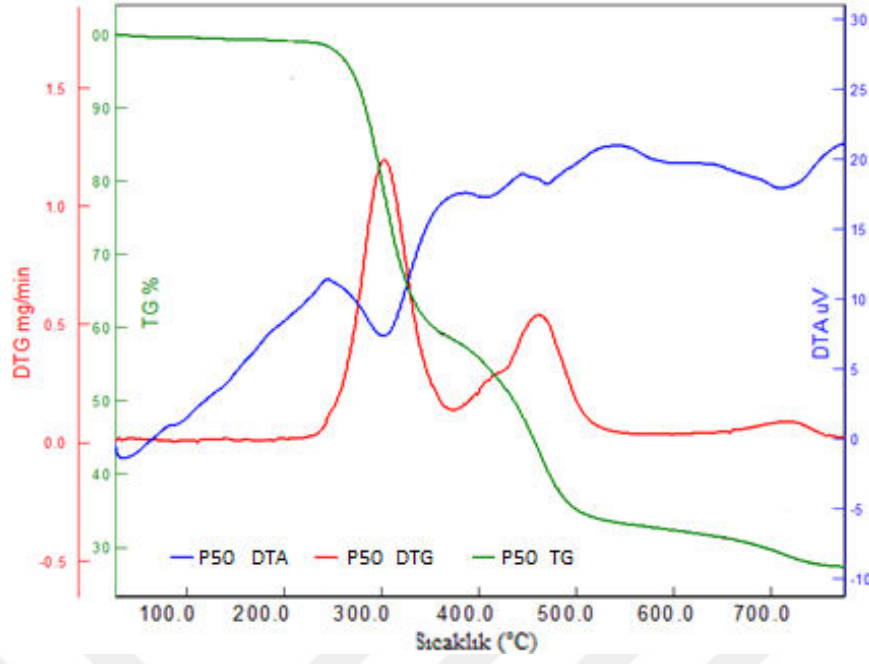
Şekil 4. 44 K50 numunesinin TGA analizi

K50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 197,9 °C ile 369,7 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.44). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 298,98 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %41,3'tür. 2. bozunma aşaması, 376,4 °C ile 495,6 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 467,49 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %23,8'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %27,04'tür.



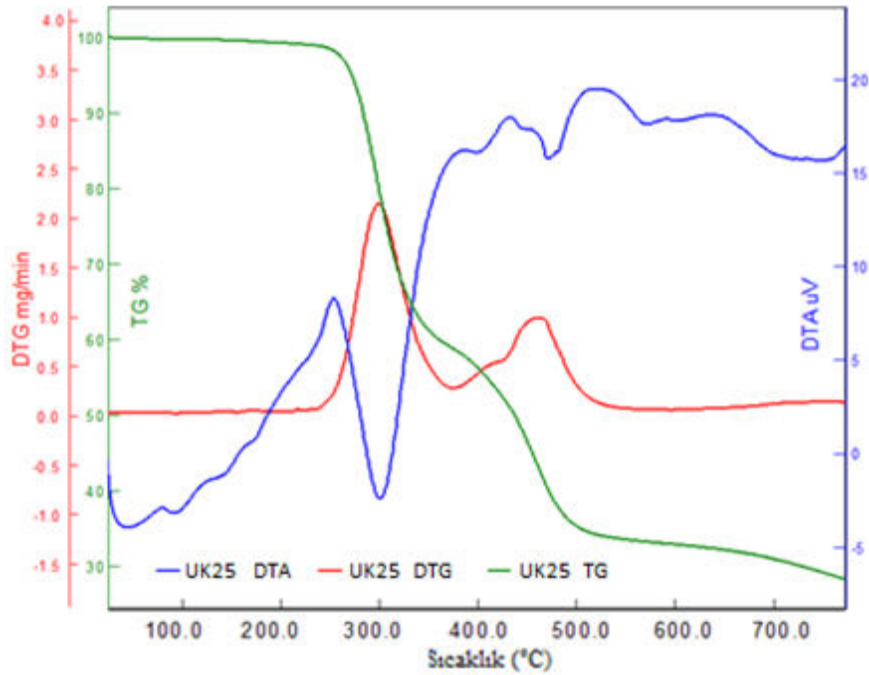
Şekil 4. 45 P25 numunesinin TGA analizi

P25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 216,4 °C ile 374,6 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.45). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 307,66 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %40,5'tir. 2. bozunma aşaması, 376,3 °C ile 494,5 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 464,58 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %22,8'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %27,18'dir.



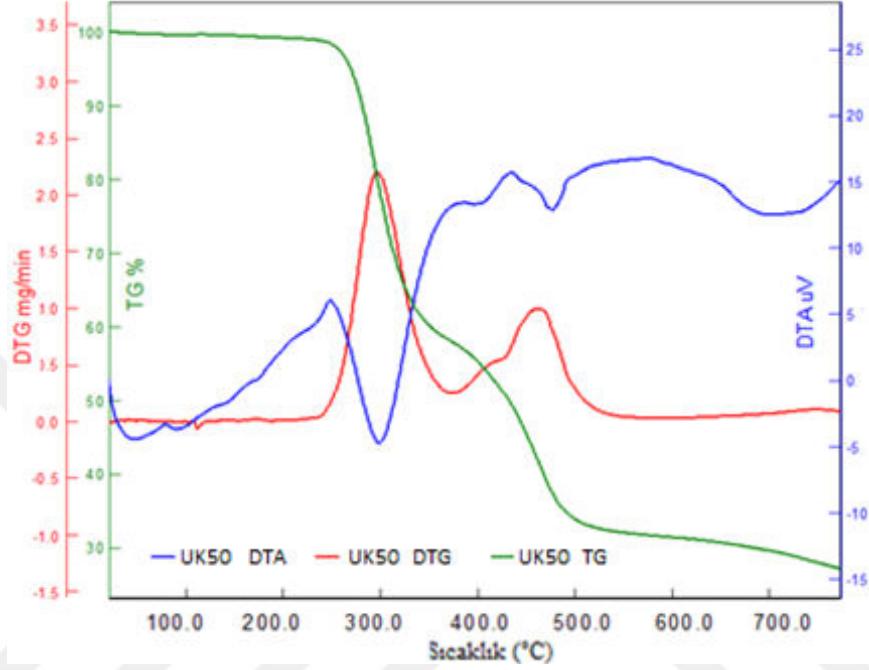
Şekil 4. 46 P50 numunesinin TGA analizi

P50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 206,2 °C ile 362,9 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.46). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 303,19 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %39,8'dir. 2. bozunma aşaması, 373,9 °C ile 494,6 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 460,56 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %22,5'tir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %27,27'dir.



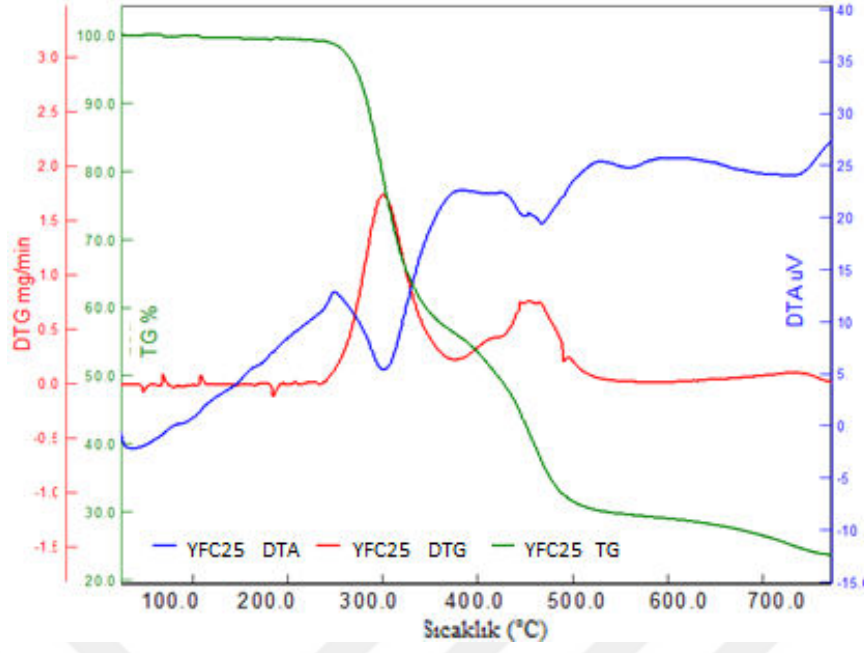
Şekil 4. 47 UK25 numunesinin TGA analizi

UK25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 208,8 °C ile 373,3 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.47). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 299,80 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %40,2'dir. 2. bozunma aşaması, 375,9 °C ile 497,9 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 463,38 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %23,2'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %28,33'tür.



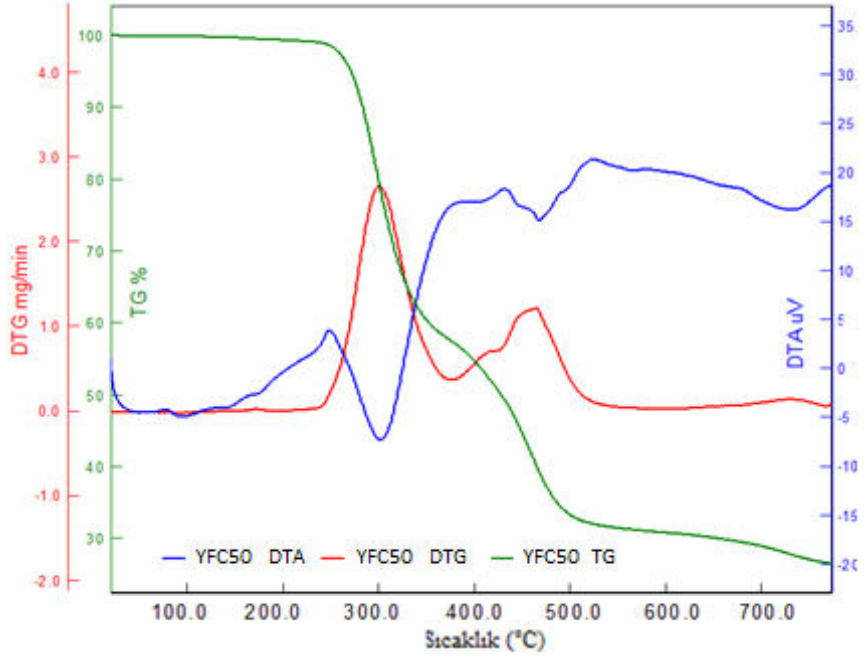
Şekil 4. 48 UK50 numunesinin TGA analizi

UK50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 206,3 °C ile 374,2 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.48). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 297,50 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %41,2'dir. 2. bozunma aşaması, 380,2 °C ile 499,2 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 462,84 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %23,5'tir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %27,13'tür.



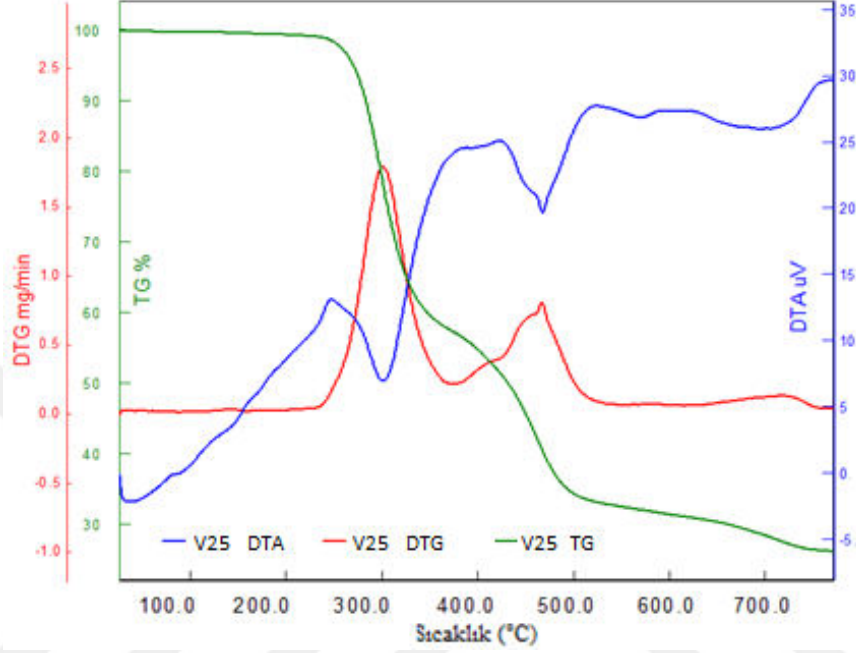
Şekil 4. 49 YFC25 numunesinin TGA analizi

YFC25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 205,1 °C ile 373,0 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.49). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 300,73 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %42,9'dur. 2. bozunma aşaması, 376,9 °C ile 496,6 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 465,59 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %24,3'tür. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %23,63'tür.



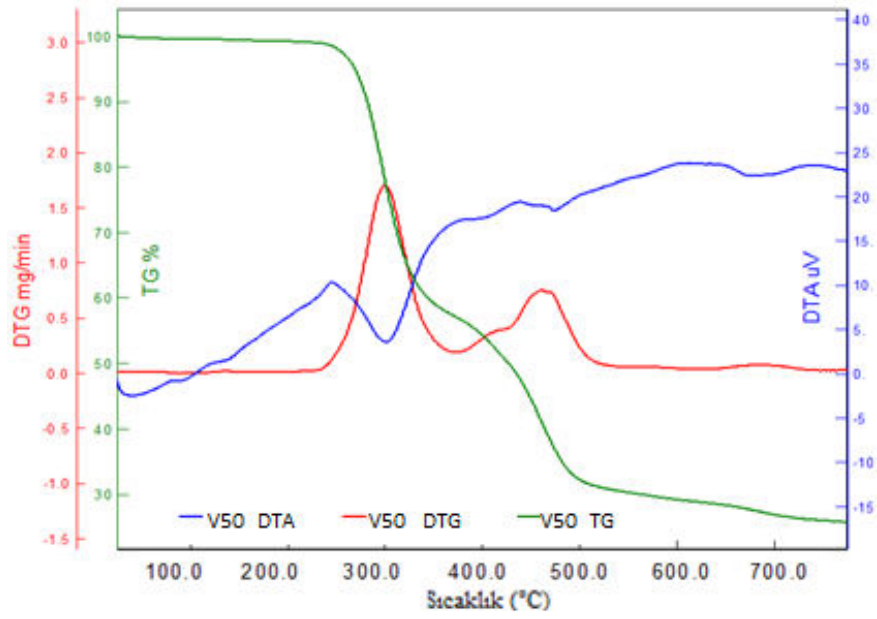
Şekil 4. 50 YFC50 numunesinin TGA analizi

YFC50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 211,1 °C ile 375,8 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.50). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 301,58 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %41,8'dir. 2. bozunma aşaması, 376,6 °C ile 498,3 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 465,96 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %24,0'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %26,50'dir.



Şekil 4. 51 V25 numunesinin TGA analizi

V25 numunesinin 1. bozunma aşaması, 209,1 °C ile 374,8 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.51). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 301,38 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %42,1'dir. 2. bozunma aşaması, 380,3 °C ile 490,6 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 467,08 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %21,4'tür. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %26,07'dir.

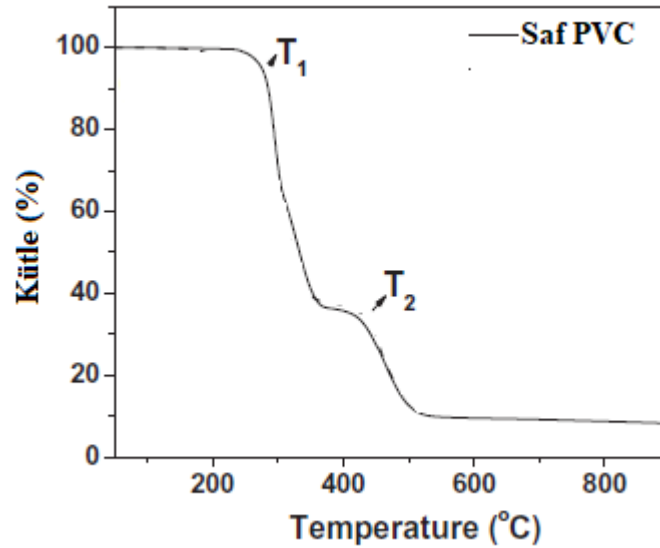


Şekil 4. 52 V50 numunesinin TGA analizi

V50 numunesinin 1. bozunma aşaması, 214,2 °C ile 364,6 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.52). Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 300,08 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %41,3'tür. 2. bozunma aşaması, 374,8 °C ile 493,8 °C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Bu aşamada maksimum bozunma sıcaklığı 461,00 °C'dir. Maksimum kütle kaybı %24,1'dir. 775 °C sıcaklıkta numunenin kalan kütlesi %25,70'dir.

Çizelge 4. 6 TGA analizlerinden elde edilen veriler

Numuneler	1.Aşama Bozunma			2.Aşama Bozunma			775 °C'de kalan kütle (%)
	Sıcaklık Aralığı (°C)	DTG _{max} (°C)	Kütle Kaybı (%)	Sıcaklık Aralığı (°C)	DTG _{max} (°C)	Kütle Kaybı (%)	
R	210,9-373,2	307,15	42,8	385,8-497,0	463,46	21,6	25,18
B25	198,9-379,7	309,8	41,5	385,6-502,7	468,04	24,9	24,85
B50	223,4-380,6	306,3	43,1	384,9-496,5	463,70	24,4	23,78
BA25	219,2-376,6	302,41	42,2	384,8-497,9	464,16	23,8	26,01
BA50	220,5-373	301,6	41,5	381,7-496,6	463,43	23,7	26,30
BP25	176-364,3	300,38	39,6	387,2-495,9	462,70	21,2	28,04
BP50	212,9-361,8	299,1	40,3	371,1-498,8	463,47	23,0	27,60
C25	218,8-369,5	305,03	40,7	376,2-494,0	463,13	22,8	27,00
C50	199,7-376,2	304,61	44,1	377,9-498,0	462,72	24,9	22,72
D50	221,2-372	306,39	41,9	382,1-497,5	467,64	25,5	24,99
K25	202,2-365,3	302,29	40,7	379,6-497,2	462,00	23,7	27,12
K50	197,9-369,7	298,98	41,3	376,4-495,6	467,49	23,8	27,04
P25	216,4-374,6	307,66	40,5	376,3-494,5	464,58	22,8	27,18
P50	206,2-362,9	303,19	39,8	373,9 -494,6	460,56	22,5	27,27
UK25	208,8-373,3	299,80	40,2	375,9-497,9	463,38	23,2	28,33
UK50	206,3-374,2	297,50	41,2	380,2-499,2	462,84	23,5	27,13
YFC25	205,1-373,0	300,73	42,9	376,9-496,6	465,59	24,3	23,63
YFC50	211,1-375,8	301,58	41,8	376,6-498,3	465,96	24,0	26,50
V25	209,1-374,8	301,38	42,1	380,3-490,6	467,08	21,4	26,07
V50	214,2-364,6	300,08	41,3	374,8-493,8	461,00	24,1	25,70



Şekil 4. 53 Saf PVC'nin TGA analizi (Vadukumpully ve ark., 2011)

Saf PVC'nin TGA analizi ve PVC kompozitlerin TGA analizleri benzer çıkmıştır. Saf PVC'nin iki aşamalı bozunma işlemi vardır. İlk termal ayrışma başlangıç sıcaklığı T_1 ve ikinci ayrışma başlangıç sıcaklığı T_2 olarak gösterilir (Şekil 4.53). T_1 ve T_2 bölgesinde çok

büyük kütle kaybı görülür. T₁ bölgesi saf PVC'nin prolizi ile ağırlık kaybının olduğu bölgedir. PVC sıcaklık etkisi ile HCl kaybederek bozunur. PVC'nin dehidroklorinasyon sonucunda C-H bağından bir hidrojen ayrılır ve uzun zincirli polien oluşur. Saf PVC için ilk bozunma (T₁) 180-377 °C aralığında ve maksimum kütle kaybı yaklaşık 300 °C'de gözlenmiştir (Vadukumpully ve ark., 2001; Gong ve ark., 2004; Radhakrishnan ve ark., 2007; Zhu ve ark., 2008; Bai ve ark., 2011). Çizelge 4.6'da verilen PVC kompozitlerin ilk bozunma sıcaklığı ile saf PVC'nin bozunma sıcaklığı benzer çıkmıştır. Saf PVC'nin kütle kaybı ise yaklaşık %60'tır. PVC kompozit numunelerin kütle kayıpları %39,6-%43,1 arasında değişmektedir. PVC kompozit numunelerin kütle kayıpları saf PVC kütle kaybı değerinden daha iyidir. Bu durum, talaş, mineral dolgular ve kimyasal katkıları ile ilgilidir. Mineral dolgular ve kimyasal katkıları PVC'nin termal bozunmasını iyileştirmiştir. Aynı zamanda talaş katkılı PVC'den daha düşük kül oluşturması ile ilgili olabilir (Bai ve ark., 2011).

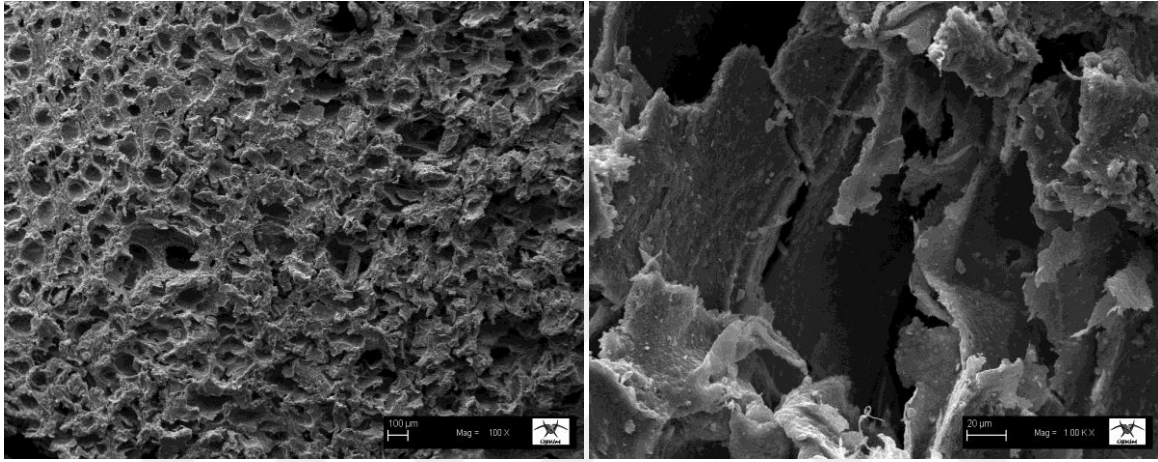
Bozulmanın ikinci aşaması 375 °C'de (T₂) başlar ve en yüksek sıcaklık (T_{max2}) 490 °C'de sona erer. Maksimum kütle kaybı yaklaşık 460 °C'de gözlenmiştir. Bu durum Polien zincirinin termal bozunması ile konjüge zincirlerin molekül içi reaksiyonu sonucu uçucu aromatik ve alifatik bileşikler oluşturması ile açıklanabilir (Vadukumpully ve ark., 2001; Gong ve ark., 2004; Radhakrishnan ve ark., 2007; Zhu ve ark., 2008; Bai ve ark., 2011). Saf PVC'nin kütle kaybı ise yaklaşık %30'dur. PVC kompozit numunelerin kütle kayıpları %21,2-%25,5 arasında değişmektedir. PVC kompozitlerin ikinci bozunma sıcaklığı ile saf PVC'nin bozunma sıcaklığı benzer çıkmıştır.

Saf PVC 800 °C'de kalan kütlesi %8 iken, PVC kompozit numunelerin kalan kütleleri %23,63-28,33 arasında değişmektedir. Saf PVC'den farklı olarak kalsit (CaCO₃) ilavesi ile 3. bozunma aşaması oluşmuştur. Bu bölgede; CaCO₃ bozunması ve CaCO₃ tarafından geciktirilen bir miktar PVC bozunmasına karşılık gelmektedir. CaCO₃ katkısı numune miktarını artırdığı için difüzyon direncini arttırmıştır. Bu durum ikinci bozunmanın uzantısı olarak kabul edilebilir. Aynı zamanda PVC'nin metal karbonatlar ile termal dehidroklorinasyonu sonucu HCl oluşturan alkali metal klorürlerin emilmesiyle geciktirildiğini göstermektedir (Vadukumpully ve ark., 2001; Gong ve ark., 2004; Karayıldırım ve ark., 2006; Zhu ve ark., 2008).

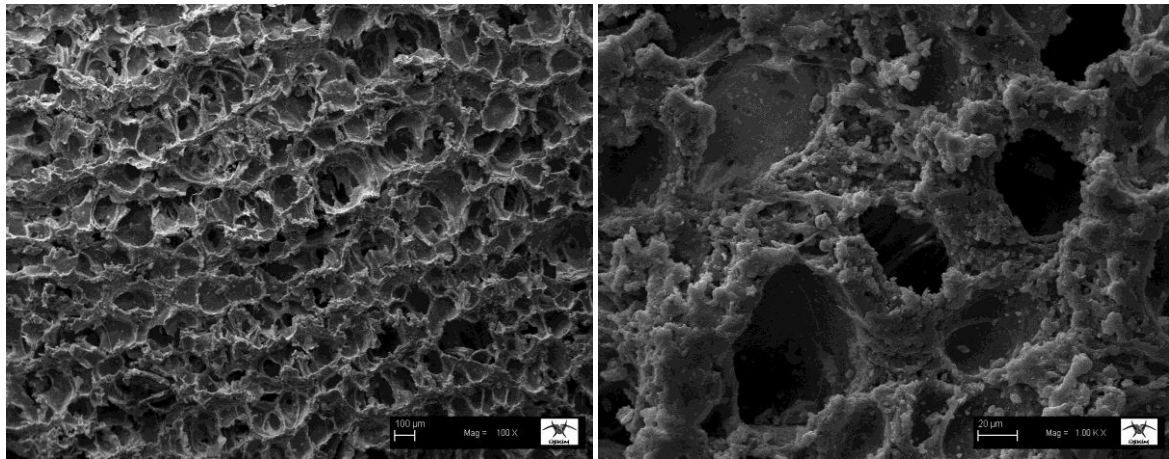
4. 13. SEM Analizleri

R, A50, BA50, D50, U50 ve YFC50 kompozit numunelerin SEM görüntüleri Şekil 4.54-Şekil 4.59’de verilmiştir.

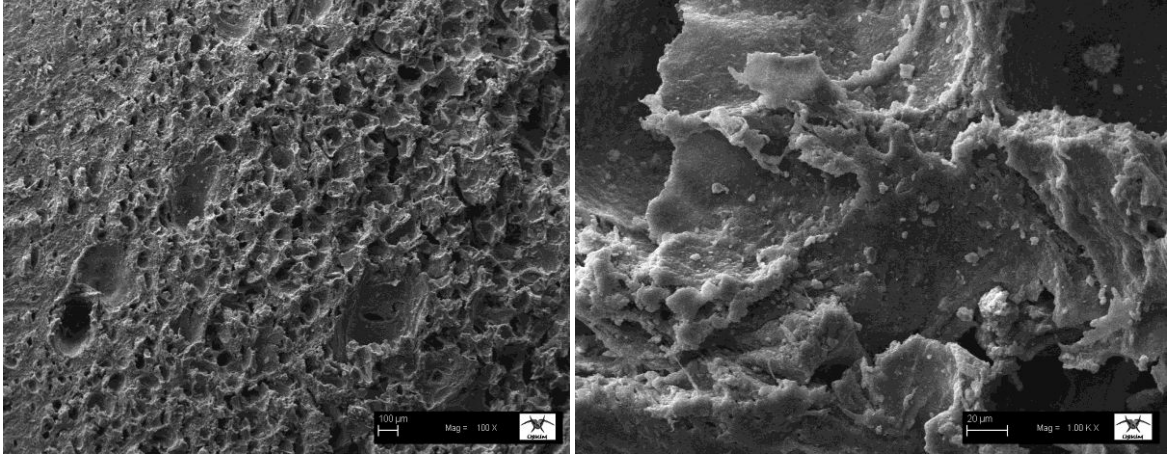
SEM görüntüleri incelendiğinde; köpük oluşumuna bağlı olarak boşluklar olduğu görülmüştür. En boşluklu yapı olarak A50 numunesi en sıkı yapı olarak da BA50 numunesi görülmektedir. Ana matris PVC’nin etrafında dağınık biçimde kalsit taneleri gözükmemektedir. Genel olarak PVC kompozitlerin köpükleşme etkisi ile içyapıları birbirine benzemektedir.



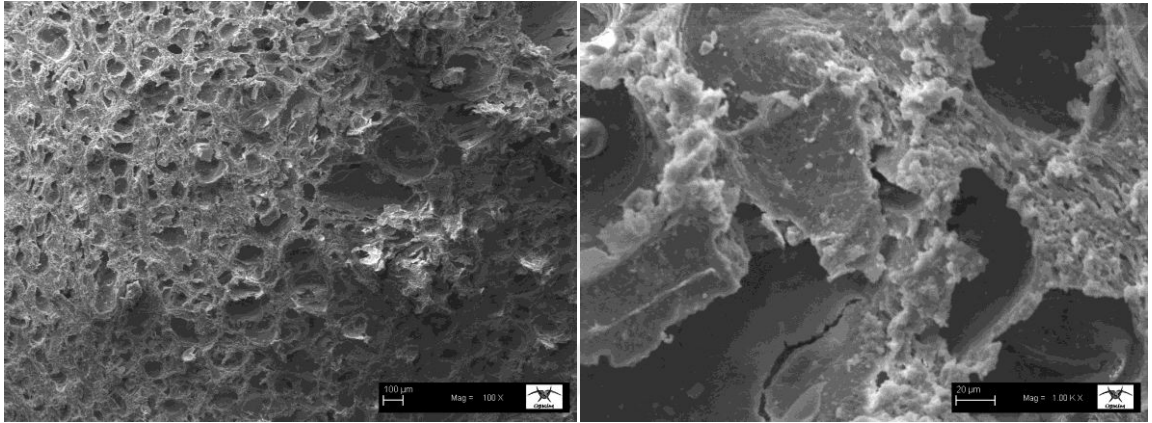
Şekil 4. 54 Referans numunesinin SEM görüntüsü



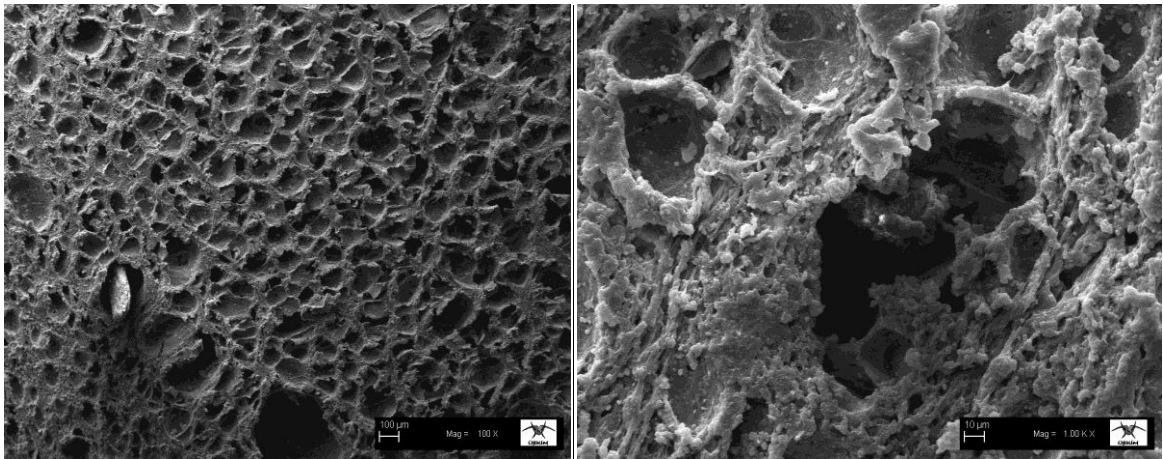
Şekil 4. 55 A50 numunesinin SEM görüntüsü



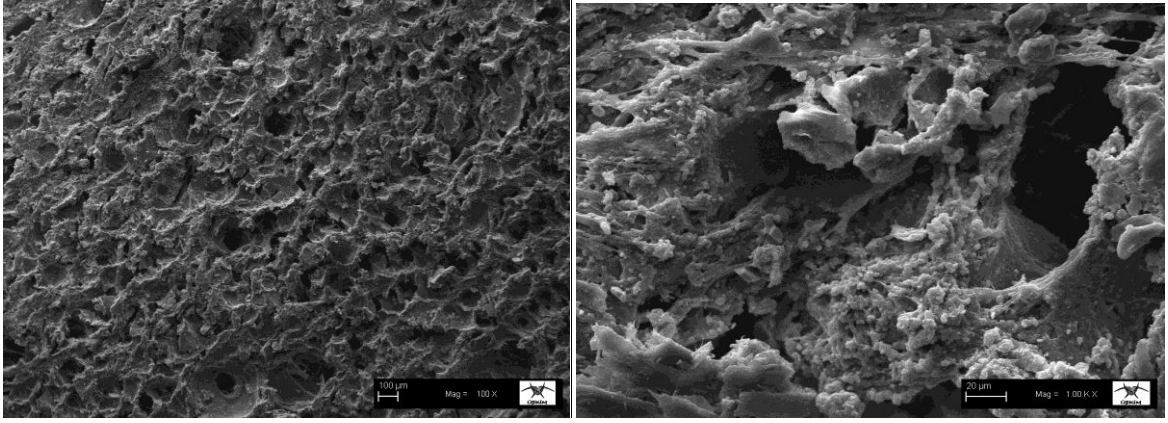
Şekil 4. 56 BA50 numunesinin SEM görüntüsü



Şekil 4. 57 D50 numunesinin SEM görüntüsü



Şekil 4. 58 U50 numunesinin SEM görüntüsü



Şekil 4. 59 YFC50 numunesinin SEM görüntüsü

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında; barit, bor cevher atığı, cam tozu, kuvars, kalsit, Afşin-Elbistan uçucu kül, yüksek fırın cürufu, perlit, pomza, diatomit ve vermikülit katkılı PVC kompozitler üretilmiştir. Üretilen numunelerin mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1. PVC kompozit numunelerin birim hacim ağırlık değerleri $563,2-671 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. En yüksek birim hacim ağırlığı değerini %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %4,7 oranında daha fazladır. En düşük birim hacim ağırlığı değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %12,1 oranında daha azdır.

2. PVC kompozit numunelerin 2 saat sonundaki su emme oranları %0,60-1,33 arasında değişmektedir ve bu numunelerde kalınlık artışı görülmemiştir. En az su emme değerini %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %14,3 oranında daha azdır. En fazla su emme değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %90 oranında daha fazladır.

PVC kompozit numunelerin 24 saat sonundaki su emme oranları %1,62-4,11 arasında değişmektedir ve bu numunelerde kalınlık artışı görülmemiştir. En az su emme değerini %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %8 oranında daha azdır. En fazla su emme değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %133,5 oranında daha fazladır.

PVC kompozit numunelerin 48 saat sonundaki su emme oranları %2,18-5,43 ve arasında değişmektedir ve bu numunelerde kalınlık artışı görülmemiştir. En az su emme %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %6 oranında daha azdır. En fazla su emme değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %134,1 oranında daha fazladır.

PVC kompozit numunelerin 168 saat sonundaki su emme oranları %5,87-11,71 arasında değişmektedir ve bu numunelerde kalınlık artışı görülmemiştir. En az su emme %50

oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %3,14 oranında daha azdır. En fazla su emme değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %93,2 oranında daha fazladır.

3. PVC kompozit numunelerin ultrases geçiş hızları 862-1416 m/s arasında değişmektedir. En yüksek ultrases geçiş hızı değerini %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %3,6 oranında daha fazladır. En düşük ultrases geçiş hızı değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %36,9 oranında daha azdır.

4. PVC kompozit numunelerin ısı iletim katsayıları 0,0914-0,1489 W/m°K arasında değişmektedir. En yüksek ısı iletim katsayısı değerini %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %5,7 oranında daha fazladır. En düşük ısı iletim katsayısı değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %35,1 oranında daha azdır.

5. PVC kompozit numunelerin tamamı UL 94 dikey ve yatay yanma testi sonucunda yanma sınıfı Vo olarak belirlenmiştir.

6. PVC kompozit numunelerin TS EN 13501-1'e göre yangına mukavemet sınıfı D olarak belirlenmiştir.

7. PVC kompozit numunelerin 59,6 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayıları 0,0676-0,2484 cm⁻¹ ve 26 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayıları 0,532-0,1247 cm⁻¹ arasında değişmektedir. Bu enerji sınıflarında en çok radyasyon geçiren referans PVC kompozit numunesidir ve en az radyasyon geçiren %50 oranında barit içeren kompozit numunesidir.

8. PVC kompozit numunelerin eğilme dayanımları 9,5-25,16 MPa arasında ve elastisite modülü değerleri 717-1711 MPa arasında değişmektedir. En yüksek eğilme dayanımı değerini %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %5,4 oranında daha fazladır. En düşük eğilme dayanımı değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %60,20 oranında daha azdır.

9. PVC kompozit numunelerin çekme dayanımları 4,11-10,81 MPa arasında ve elastisite modülü değerleri 364-819 MPa arasında değişmektedir. En yüksek çekme dayanımı değerini %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer

referans numunesine göre %5,67 oranında daha fazladır. En düşük çekme dayanımı değerini %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %59,82 oranında daha azdır.

10. PVC kompozit numunelerin yüzeye dik çekme vida tutma gücü değerleri 346-829 N, yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerleri 202-381 N arasında değişmektedir. En yüksek yüzeye dik ve yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerini %50 oranında barit içeren numune vermiştir ve bu değer referans numuneye oranla sırasıyla %14,50 ve %17,96 oranında daha fazladır. En düşük yüzeye dik ve yüzeye paralel çekme vida tutma gücü değerini %50 oranında atık PVC içeren numune vermiştir ve bu değer referans numuneye oranla sırasıyla %52,21 ve %37,46 oranında daha fazladır.

11. PVC kompozit numunelerin 1000 devir sonrası taber aşınma kayıpları 57-139 mg arasında değişmektedir. En düşük aşınma kaybını %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %19,72 oranında daha azdır. En yüksek aşınma kaybını %50 oranında atık PVC içeren kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %95,77 oranında daha fazladır.

12. PVC kompozit numunelerin izod darbe dayanımları 7,47-14,98 kJ/m² arasında değişmektedir. En yüksek izod darbe dayanımı değerini %50 oranında diatomit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %45,87 oranında daha fazladır. En düşük izod darbe dayanımı değerini %50 oranında barit içeren PVC kompozit numune vermiştir ve bu değer referans numunesine göre %27,23 oranında daha azdır.

Sonuç olarak; barit, kuvars ve YFC katkılarının PVC kompozitlerde kullanımının mekanik etkileri ve su emme oranlarında meydana getirdiği iyileşme sebebi ile ıslak zeminlerde, nemli ortamlarda ve dayanım gerektiren uygulamalarda bu malzemelerin kullanılabilmesi söylenebilir. Isı ve ses yalıtım özelliklerini geliştiren bor cevher atığı, cam tozu, UK, perlit, pomza, diatomit ve vermikülit gibi katkıları ısı ve ses yalıtımı istenilen yerlerde PVC kompozitler içerisinde kullanılabilir. Yangın mukavemetinin önemli olduğu durumlarda bu malzemelerin oranları artırılabilir. Bu tez çalışması kapsamında PVC kompozit üretiminde doğal mineral katkıların yanı sıra birçok farklı atık malzemenin değerlendirmesi araştırılmış ve böylece bu atıkların çevresel zararlarının minimuma indirgenmesi hedeflenmiştir. İleri ki çalışmalarda; PVC kompozit üretiminde farklı atıkların değerlendirilmesi ve yüksek oranlarda mineral dolgular kullanılarak üretilen kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal etkileri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Ağrılı, H., 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2621-ÖİK: 632, DPT Yayınları Ankara, 29-44.
- Akbulut, H., 2013. Kompozit Malzemeler Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Sakarya.
- Akgün, A.M., 2015. Poliesterlerin Bor Mineralleri ile Güçlendirilmesi. Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Bilim ve Teknolojisi Anabilim Dalı. Ankara. 129s.
- Akgün, Y., Durmuş, A., Durmuş, A., 2007. Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri, 7. Ulusal Beton Kongresi. İstanbul.
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Mavi, B., 2005. The Shielding of γ -Rays by Concretes Produced with Barite . *Progress in Nuclear Energy*, 46 (1): 1-11.
- Akkurt, I., Altındağ, R., Başyigit, C., Kılınçarslan, S., 2008. The Effect of Barite Rate on The Physical and Mechanical Properties of Concretes Under F-T Cycle, *Materials and Design*, 29 (9) ,1793-1795.
- Akkurt, S., 1991. Plastik Malzeme Bilgisi, İ.T.Ü., baskı no:1, Birsen Yayınevi, Makine Fakültesi, İstanbul.
- Akkuş, M., Ulay, G., Ayrılmış, N., 2016. Pomza Tozu Takviyeli Ahşap Polipropilen Kompozitlerin Karakterizasyonu International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'16), April 6-8, Nevsehir, Turkey
- Altuntaş, E., Özdemir, F., Çiçekler, M., Salan, T., Küçük, İ., Arıkan, A.K., 2017. Evaluation of Perlite and Lignocellulosic Wastes in Wood Plastic Composite Production. IMCOFE 2017/ ROME 512,517.
- Arslan, İ., H., 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2618-ÖİK: 629, DPT Yayınları Ankara, 53-69.
- Aruntaş, H.Y., 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (1): 193-203.
- Aslankılıç, Z., 2008. Alev Geciktirici Katkı Maddelerinin PVC Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul. 62 s.
- ASTM Standard C 618, 2005. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.
- ASTM Standard C 1113-90, 1990. Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire.
- ASTM Standard D 638, 2005. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic.

- ASTM Standard D 1037-12, 2012. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.
- ASTM Standard D 3500-14, 2014. Standard Test Methods for Structural Panels in Tension.
- ASTM Standard D 4060-10, 2010. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser.
- Ateş, E., Barnes, S., 2012. The Effect of Elevated Temperature Curing Treatment on The Compression Strength of Composites with Polyester Resin Matrix and Quartz Filler. *Materials and Design*, 34; 435-443.
- Atış, C.D., 2000. Yüksek Oranda Uçucu Kül Kullanımı İle Üretilen Betonun Aşınma Direnci. *İMO Teknik Dergi*, 11 (45): 2217-2230.
- Aydın, H., 2004. PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri, Eskişehir.
- Ayrılmış, N., 2000. MDF'nin Teknolojik Özellikleri Üzerine Ağaç Türünün Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. 227 s.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., 2012. Kayın, Kavak ve Okaliptüs Kaplamalarından Üretilen Kontrplakların Bazı Fiziksel Özellikleri. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13: 143-149.
- Bai, X., Wang, Q., Sui, S., Zhang, C., 2011. The Effects of Wood-Flour on Combustion and Thermal Degradation Behaviors of PVC in Wood-Flour/Poly(Vinyl Chloride) Composites. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 91: 34–39.
- Balaga, Z., Biedak, D., Gnatowski, A., 2015. Examinations Of Properties And Structure Of Polymer Composites With Quartz Filler. *Polish Society of Composite Materials*, 15 (4): 228-232.
- Baydar, E., 2016. Farklı Dolgu Maddeli Pvc Kompozit Malzemelerinin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya. 93s.
- Bektaşoğlu, S., 2005. Plastik İşleme Sanayi Ürünleri Raporu, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi.
- Berber, H., 2005. Radyoaktivite. http://www.aof.edu.tr/kitap/EHSM/1222/unite_13.pdf (Erişim Tarihi: 17.02.2018)
- Bergaya, F., Lagaly, G., Vayer, M., 2006. Cation And Anion Exchange, in: Bergaya, F., Theng, B.K.G., Lagaly, G. (Eds.): *Handbook of Clay Science*, Elsevier, pp. 979.
- Bilen, M., 2003. MgAl₂O₄/Al Kompozit Malzeme Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 88s.
- Binici, H., Aksoğan, O., Sevinç, A.H., Küçükönder, A., 2014. Mechanical and Radioactivity Shielding Performances of Mortars Made with Colemanite, Barite,

Ground Basaltic Pumice and Ground Blast Furnace Slag. *Construction and Building Materials*, 50: 177-183.

- Birinci, E., 2011. Asetillendirilmiş Sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) Odun Unu İle Yeni Odun Plastik Kompozitlerinin Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş. 96s.
- Bledzki, A.K., Gassan, J., Theis, S. 1998. Wood-filled thermoplastic composites. *Mechanics of Composite Materials*, 34 (6): 563-568.
- Bonnia, N.N., Ahmad, S.H., Zakaria, S., Ali, E.S., 2004. Comparison on Tensile and Impact Strength of Medium Density Fiberboard (MDF) Fabricated From Empty Fruit Bunch (EFB) and Rubber Wood. Lignocellulose: Materials for The Future from The Topics: proceedings of the 3rd USM-JIRCAS Joint International Symposium, 9-11 March, Penang, Malaysia.
- Bozkurt, R., 1989. Mineralojik İncelemelerin Cevher Zenginleştirmedeki Rolüne İki Örnek, *Anadolu Üniversitesi Müh-Mim. Fakültesi Dergisi*, 5 (1): 15-21.
- Bozkurt, Y., Göker, Y., 2005. Yonga levha Endüstrisi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 3311/372, İstanbul.
- Braun, D., 1981. Developments in Polymer Degradation. Applied science, London, 3, 101-133.
- Braun, D., 2004, Poly (vinyl chloride) on The way from the 19th Century to The 21st Century, *Journal of Polymer Science*, 42 (3): 578-586.
- Chandra, R., 2015. Environmental Waste Management. ISBN: 9781498724753, Print book, Pages: 586.
- Clemons, C., 2002. Plastic Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries, *Forest Prod. J.*, 52(6): 10–18.
- Crawford, R.J., 1985. Plastic and Rubbers; Engineering Desing and Applications, MEP, London.
- Çelebioğlu, N., 2016. Polimer Yapı İçerisinde Sentezlenen Zno Nanoparçacıklarının Spektroskopik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı. 132s.
- Das, A., Satapathy, B.K., 2011. Structural, Thermal, Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Cenosphere Filled Polypropylene Composites. *Materials & Design*, 32: 1477-1484.
- Demir, H., Sipahioğlu, M., Balköse, D., Ülkü, S., 2008. Effect of Additives on Flexible PVC Foam Formation. *Journal of Materials Processing Technology*, 195 (1-3): 144–153.

- Demirel, B., Nasıroğlu, S., 2017. Bor Mineralleri ve Atıklarının Çimentoda Kullanılma Stratejileri, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 29(1): 95-100.
- DİE, 2003. Çevre İstatistikleri, Belediye Çevre Envanteri Anket Sonuçları, Ankara.
- DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri III (Kuars kumu, Kuvarsit, Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT:2547-ÖİK:563, Ankara.
- DPT, 2001. Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu genel endüstri mineralleri I (asbest-grafit-kalsit-fluorit-titanyum) çalışma grubu raporu, Ankara.
- DPT, 2001. Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu toprak sanayii hammaddeleri III (kuars kumu-kuvarsit-kuvars) çalışma grubu raporu, Ankara.
- DPT, 2001. Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu toprak sanayii hammaddeleri III (pomza-perlit-vermikülit-flogopit-genleşen killeri) çalışma grubu raporu, Ankara.
- DPT, 2001. Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, madencilik Öik raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu genel endüstri mineralleri IV (Bentonit-Barit-Diatomit-Aşındırıcılar) çalışma grubu raporu, Ankara.
- Durmaz, H., 2002. Radyasyon Zırhlaması Amacıyla Karbonlu Yapı Çeliklerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 245s.
- Erdoğan, T.Y., 1995. Beton Oluşturan Malzemeler – Çimentolar, Türkiye Hazır Beton Birliği.
- Erdoğan, M., 1993. İstanbul ve Dolayının Yapay Agrega Potansiyeli, 3. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi, Adana.
- Ersoy, B., Sarıışık, A., Dikmen, S., Sarıışık, G., 2010. Characterization of acidic pumice and determination of its electrokinetic properties in water. *Powder Technology*, 197: 129-135.
- Ersoy, M.S., 2005. Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Gong, F., Feng, M., Zhao, C., Zhang, S., Yang, M., 2004. Thermal Properties of Poly(vinyl chloride)/Montmorillonite Nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 84: 289-294.
- FAO, 2005. Statistical databases, Forestry data (2004).

- Felekoglu, B., 2012. A Method for Improving The Early Strength of Pumice Concrete Blocks By Using Alkyl Alkoxy Silane (AAS). *Construction and Building Materials*, 28 (1): 305-310.
- Frihart, C.R., 2005. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites USDA. Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, s.215-259.
- Gachter, R., Müller, H., 1993. *Plastics Additives Handbook*, Fourth edition, Hanser/Gardner Publications, 525-561.
- Gassan, J., Bledzki, A.K., 1999. Correlation Between Structure and Properties of Cellulose-Based Fibers and Their Effects on Composite Properties, The Fifth International Conference on Woodfiber- Plastic Composites.
- Gökalp, E., 2006. Odunsu Materyal Kullanımının Polyester Esaslı (Mermerit) Levhaların Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 116s.
- Gökşen, Y., 2018. Uçucu Külün ve Cam Tozunun Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 98s.
- Güneş, I., Uygunoğlu, T., Evcin, A., Ersoy, B., 2017. Investigation of Wear Strength of Blast Furnace Slag Blended Polymer Materials, *Acta Physica Polonica A*, 132 (3): 599-603.
- Guzel, G., Sivrikaya, O., Deveci, H., 2016. The Use of Colemanite and Ulexite as Novel Fillers in Epoxy Composites: Influences on Thermal and Physico-mechanical Properties. *Composites Part B: Engineering*, 100: 1–9.
- Güller, B., 2001. Odun Kompozitleri. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 2: 135-160.
- Gündüz, G., Yılmaz, A.Z., 2005. Türkiye’de 16 Farklı Tesiste Üretilen Yonga Levhaların Teknolojik Özellikleri, ZKÜ, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7 (8): 49-57.
- Gündüz, L., Sarıısık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, D., Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt I, s.288, ISPARTA.
- Güyagüler, T., 2001. Türkiye Bor Potansiyeli, IV. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Köse, Arslan&Tanrıverdi (ed), İzmir, 18-27.
- Haris, B., 1986. *Engineering Composite Materials*. The Institute of Metals, London, 15: 84-91.
- Hazer, B., 1993. Polimer Teknolojisi. KATÜ Fen Edebiyat Fakültesi.
- Heriyanto, Pahlevani, F., Sahajwalla, V., 2018. Waste Glass Powder – Innovative Value-Adding Resource for Hybrid Wood-Based Products. *Journal of Cleaner Production*, 195: 215–225.

- Hill, C.A.S., 2006. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. ISBN: 978-0-470-02172-9, 206s.
- Hindman, J.R., 2006. Vermiculite. In Kogel, E., Trivedi, N. C., Barker, M., and Krukowski, S. T. Industrial Minerals and Rocks, 7th ed., pp. 1015-1027.
- Huber, K.A., 1996. Twin Screw Extruder Processing of Wood Fiber-Plastic Composites. In: Proc. Wood fiber-plastic composites: virgin and recycled wood fiber and polymers for composites, Forest products Society, Madison, WI., 60.
- Ito, M., Sakamoto, T., Uehara, M., Tsuruta, K., Tamura, K., Mutoh, H., Nagai, K., 2011. Combustion Behavior and Application of Polyolefin-Based Floor Sheet Laminated with Nylon-6/Clay Nanocomposites Film. *Fire and Materials*, 35(3): 171–181.
- Izdebska, J., Thomas, S., 2015. Printing on Polymers, 1st Edition, Fundamentals and Applications, PrintBook ISBN : 9780323374682 ,Pages: 444.
- Janjuš, Z., Petrović, A., Jovović, A., Prokić-Cvetković, R., Ilić, P., 2012. Testing the Toughness of Polypropylene Filled with Glass Powder, *Contemporary Materials*, 3 (1), 116-122.
- Kaçar, A., 2006. Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, 74s.
- Kansu, Y., 2005. Cam küre, CaCO₃ ve Talk Dolgulu Polipropilen Hibrit Kompozitlerin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 46-80.
- Karakuş, K., 2008. Üniversitemizdeki Polietilen ve Polipropilen Atıkların Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 74s.
- Karayıldırım, T., Yanık, J., Yuksel, M., Sağlam M., Vasile C., Bockhorn, H., 2006. The Effect of Some Fillers on PVC Degradation. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 75: 112–119.
- Karus, M., 2005. Woodfiber-plastic composites, VTT Technical Research Centre, Finland.
- Kasapseçkin, M.A., 2015. Mantar Aglomere ve Orta Yoğunluklu Lif Levha (Mdf) Tabakalarıyla Oluşturulmuş Kompozit Malzemenin İç Mekan Donatı Elemanlarında Levha Olarak Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı, 106 s.
- Khezri, K., Fazli, Y., 2017. Polystyrene/Mesoporous Diatomite Composites by in Situ Simultaneous Reverse and Normal Initiation Technique for Atom Transfer Radical Polymerization. *Polymer Science, Series B*, 59 (1): 109-116.

- Khoshnoud, P., Gunashekar, S., Jamel, M., Abu-Zahra, N., 2014. Comparative Analysis of Rigid PVC Foam Reinforced with Class C and Class F Fly Ash. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2: 554-565.
- Khoshnoud, P., Abu-Zahra, N., 2018. The Effect of Particle Size of Fly Ash (FA) on The Interfacial Interaction and Performance of PVC/FA Composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 1: 1-8.
- Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., Akkurt, İ., 2007. Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırlama amacıyla kullanımının araştırılması. *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (2): 393-399.
- Kitiş, M., Kaplan S.S., 2007. Advanced Oxidation of Natural Organic Matter Using Hydrogen Peroxide and Iron-Coated Pumice Particles. *Chemosphere*, 68(10): 1846-1853.
- Kodal, M., 2009, Polipropilen ve Dolgu Maddeleri ile Hazırlanan Karışımların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-30.
- Konta, J., 1995. Clay and Man: Clay Raw Materials in the Service of Man. *Applied Clay Science*, 10: 275-335.
- Korkmaz, M., Yapıcı, F., Kılınç, İ., Taşdemir, N., 2017. Üretim Faktörlerinin Yönlendirilmiş Yongalevhaların Isı İletkenlik Katsayısı Değeri Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6 (3): 932-939.
- Kuyulu, A., 2001. Polimerlerin İşlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü.
- Levchik, S.V., Weil, E.D., 2005. Overview of the Recent Literature on Flame Retardancy And Smoke Suppression in PVC, *Polymers for Advanced Technologies*, 16: 707-716.
- Li, X., Lei, B., Lin, Z., Huang, L., Tan, S., Cai, X., 2013. The Utilization of Organic Vermiculite to Reinforce Wood-Plastic Composites with Higher Flexural And Tensile Properties. *Industrial Crops and Products*, 51: 310-316.
- Liang, J., 2009. Impact Fracture Toughness and Morphology of Diatomite-Filled Polypropylene Composites. *Polymer Engineering & Science*, 49 (8): 1603-1607.
- Long, T.E., McGrath, J.E., Turner, S.R., 2003. Polymers, Synthesis Introductory Article. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, from Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition), Pages 751-774.
- Macheca, A.D., Focke, W.W., Kaci, M., Panampilly, B., Androsch, R., 2017. Flame Retarding Polyamide 11 with Exfoliated Vermiculite Nanoflakes. *Polymer Engineering & Science*.

- Maged, A.O., Ayman, A., Ulrich, W.S., 2004. Influence of Excessive Filler Coating on The Tensile Properties of LDPE-Calcium Carbonate Composites”, *Polymer*, 45: 1177-1183.
- Mahyar, M., Erdoğan, S.T., 2015. Phosphate-activated High-calcium Fly Ash Acid-Base Cements. *Cement and Concrete Composites*, 63: 96-103.
- Mali, J., Sarsama, P., Suomi, L., Lindberg, M., Kortelainen, S., 2003. Wood Fiber Plastic Composites, VTT Technical Research Centre, Finland,
- Marongiu, T., Faravelli, T., Bozzano, G., Dente, M., Ranzi, E., 2003, Thermal Degradation of Poly(vinyl chloride), *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 70 (2): 519-553.
- Martelli, F.G., 2003. Twin-screw Extruders: a Basic Understanding, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Mattausch, H., Laske, S., Cirar, K., Flachberger, H., Holzer, C., 2014. Influence of Processing Conditions on The Morphology of Expanded Perlite/Polypropylene Composites. *AIP Conference Proceedings*, 1593 (1): 482-486.
- McCaffrey, J.P., Shen, H., Downton, B., Mainegra-Hing, E., 2007. Radiation Attenuation by Lead and Non-Lead Materials Used in Radiation Shielding Garments. *Medical Physics*, 34 (2): 530-537.
- Mengeloglu, F., Karakus, K. 2008. Polymer-Composites from Recyled High Density Polyethylene and Waste Lignocellulosic Materials. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (2): 211-217.
- Moller et al., 1995. Environmental Project No. 313, Ministry of the Environment, Danish Environmental Protection.
- Montaudo, G., Puglisi, C., 1991. Evaluation of Aromatics in The Thermal Degradation of Poly(Vinyl Chloride), *Polymer Degradation and Stability*, 33: 229-262.
- Moseman, R.F., 1994. Chemical Disposition Of Boron İn Animals And Humans, *Environ Health Perspect.* ,November; 102 (Supp.17), p.113–117.
- National Health and Medical Research Council and National Occupational Health and Safety Commission. Recommendations for limiting exposure to ionising radiation Guidance note: NOHSC:3022. Canberra: Australian Government Publishing Service; 1995.
- Namie, I.A., Ibrahim, A.A., Hassan, M.F., 2011. Study the Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced With silica (quartz) and Alumina Particles The Iraq. *Journal for Mechanical and Material Engineering*, 11 (3): 486-506.
- Nozahic, V., Amziane, S., Torrent, G., Saïdi, K., De Baynast, H., 2012. Design of green Concrete Made of Plant-Derived Aggregates and a Pumice–Lime Binder. *Cement and Concrete Composites*, 34 (2): 231–241.

- Obut, A., Girgin, İ., 2002. Hydrogen Peroxide Exfoliation of Vermiculite and Phlogopite. *Minerals Engineering*, 15 (9): 683-687.
- Oruç, F., Sabah, E., Erkan, Z.E., 2004. Türkiye’de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir, Türkiye.
- Öksüz, M., Yıldırım, H., 2005. Effect of calcium Carbonate on the Mechanical and Thermal Properties of Isotactic Polypropylene/Ethylene Vinyl Acetate Blend. *Journal of Applied Polymer Science*, 96 (4): 1126-1137.
- Ölçen, N., 2001. “Bor madeninin enerji alanındaki önemi”, Uludağ Üniversitesi Makine Müh. Tez.
- Örtlek, E., 2015. Mısır, Buğday ve Ayçiçeği Sapı Külü ile Barit ve Kolemanit Katkılı betonların mühendislik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 125s.
- Özcan, M., 1997. Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Küllerinin Beton Özelliklerine Etkisi ve Etkinlik Katsayılarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens., İstanbul.
- Özlüsoylu, I., 2016. Silan İlavesinin Yönlendirilmiş Yonga Levhaların (OSB) Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 18 (2): 1-8.
- Özorak, C., 2014. Bor Atığı Katkılı Polimer Kompozitlerin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 87s.
- Pagev, 2004. Türkiye polimer sektörü raporu, Türkiye. www.pagev.org
- Pagev, 2018. Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2018/3 Aylık, Türkiye. www.pagev.org
- Pagev, 2016. Türkiye Plastik Sektör Raporu, Türkiye. www.pagev.org
- Patterson, J., 1997. Vinyl Foam: Effect of Density on Physical Properties. SPE Antec Tech Papers, p. 3560-3567.
- Pfenning, J.L., Ross, M., 1991. *Plastics Compounding*. May/June issue, 89-94s.
- Plastics Europe, 2018. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. *Plastics – the Facts 2018*. www.plasticseurope.org (Erişim Tarihi: 05.02.2019)
- Pope, M.I., 1977. *Pope Differential Thermal Analysis: A Guide to the Technique and Its Applications*. Publisher: John Wiley and Sons Ltd., ISBN-13: 9780471259589, Chichester, United Kingdom, 197s.
- Pradeep, A.V., 2015. Effect of Blast Furnace Slag on Mechanical Properties of Glass Fiber Polymer Composites. *Procedia Materials Science*, 10: 230–237.

- Puppini, G., 1996. Resin and wood fiber composite profile extrusion method, U.S. Patent no. 5882564, 2001; Laver, T.C., Extruded synthetic wood composition and method for making same. U.S. Patent No. 5516472.
- Qian, Y., Lindsay, C. I., Macosko, C., Stein, A., 2011. Synthesis and Properties of Vermiculite-Reinforced Polyurethane Nanocomposites. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3 (9): 3709–3717.
- Radhakrishnan, N., George, V., Thomasb, M.R., Gopinathan, N., 2007. Thermogravimetric Analysis of PVC/ELNR Blends. *Polymer Degradation and Stability*, 92 (2):189-196.
- Ramesan, M.T., George, A., Jayakrishnan, P., Kalaprasad, G., 2016. Role of Pumice Particles in The Thermal, Electrical and Mechanical Properties of Poly(Vinyl Alcohol)/Poly(Vinyl Pyrrolidone) Composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 126 (2): 511–519.
- Robbins, A.E., 2001. The State of The Recycled Plastics Industry, Plastic Lumber TreadAsso., (PLTA), 3.
- Rosen, S.L., 2003. Fundamental principles of polymeric materials, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.
- Saad, A.L.G., Sayed, W.M., Ahmed, M.G.M., Hassan, A.M., 1999. Preparation and Properties of Some Filled Poly(Vinyl Chloride) Compositions. *Journal of Applied Polymer Science*, 73 (13): 2657–2670.
- Sabah, E., Yeşilkaya, L., 2000. Farklı Tipte Polimerlerle Kırka Boraks İşletmesi Tinkal Konsantratörü Atıklarının Çökeltme Davranışlarının İncelenmesi, *Cevher Hazırlama, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Derneği Yayını*, 3: 1-12.
- Saçak, M., 2002. Polimer Kimyasına Giriş, Gazi Kitapevi, Ankara.
- Savcı, S., Dikmen, Ç.B., 2015. İnşaat Sektöründe Geri Dönüşüm Kaynağı Olarak Cam Malzemelerin Yeniden Kullanımı 2. Uluslar arası sürdürülebilir yapılar sempozyumu, 28-30 Mayıs, Ankara.
- Sayhan, İ., 2010. Uçucu Külün PVC Plastisoller İçerisinde Alternatif Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması. İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 90 s.
- Schwartz, M.M., 1997. Composite Materials. Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Schwarz, O., Ebeling F.W., Furth B., 2005. Kunststoffverarbeitung, 3. edition, ISBN-13: 978-3834330376, Vogel-Buchverlag ,Würzburg.
- Silva, U.G.Jr., Melo, M.A.F, Silva, A.F., Farias, R.F., 2003. Adsorption of Crude Oil on Anhydrous and Hydrophobized Vermiculite. *J Colloid Interface Sci. Apr*, 260 (2): 302-304.
- Spoerk, M., Sapkota, J., Weingrill, G., Fischinger, T., Arbeiter, F., Holzer, C., 2017. Shrinkage and Warpage Optimization of Expanded-Perlite-Filled Polypropylene

- Composites in Extrusion-Based Additive Manufacturing. *Macromolecular Materials and Engineering*, 302(10): 1700143 (1-13s).
- Sreekanth, M.S., Bambole, V.A., 2009. Effect of Particle Size and Concentration of Flyash on Properties of Polyester Thermoplastic Elastomer Composites. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 8: 237-248.
- Starnes, W.H.Jr., 2002, Structural and Mechanistic Aspects of The Thermal Degradation of Poly(Vinyl Chloride), *Progress in Polymer Science*, 27: 2133-2170.
- Stevens, M.J., 2005. Extruder principles and operation, Elsevier Applied Science Publisher, New York.
- Sushma, S.P., and Kumar, A.K., 2014. Hardness and Tensile Testing of PVC and Fly Ash Composite, Advance Research and Innovations in Mechanical, Material Science, Industrial Engineering and Management - ICARMMIEM-2014, 273-277.
- Şahin, A.E., Yıldırım, Y., Avcu, E., Fidan, S., Sırmazçelik, T., 2014. Mechanical and Thermal Properties of Pumice Powder Filled PPS Composites. *Acta Physica Polonica A*, 125 (2): 518–520.
- Şahin, M., Mahyar, M., Erdoğan, S.T., 2015. Afşin Elbistan Uçucu Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İçeren Çimentosuz Bağlayıcılar Hazırlanması. 9th National Congress on Concrete, Antalya, Turkey.
- Tavlı, A., 2004. Mineral Dolguların Polipropilen/Elastomer Kompozitlerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Temiz, H., Binici, H., Zülkadiroğlu, Ö.F., 2009. Termik Santral Külü Katkılı Betonların Yol Kaplaması Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (1): 53-61.
- Titow W.V., 1984, PVC technology, Elsevier, New York, 0-85334-249-0.
- Tokyay, M., 1989. Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonlarının Hidratasyon ve Pozzolanik Reaksiyonlara Etkileri: Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongre, Ankara, 389 - 401.
- Tokyay, M., Erdoğan, K., 1998. Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu. *TÇMB Yayınları*, TÇMB/ARGE/Y-98.3.
- Tomanec, R., Popov, S., Vucinic, D., Lazic, P., 1997. Vermiculite from Kopaonik (Yugoslavia). *Characterization and Processing Physicochem. Probl. Miner. Process*, 31 (1): 247–254.
- Topçu, İ. B., Uğurlu, A., 2012. Barit ile Üretilmiş Ağır Betonlar Üzerine Bir Çalışma. *TMH*, 474: 51-57.
- TS EN 197-1, 2012, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 312, 2012. Yonga levhalar - Özellikler, Ahşap Esaslı Levhalar, TSE, Ankara.

- TS EN 323, 1999. Birim Ağırlığının Tayini, Ahşap Esaslı Levhalar, TSE, Ankara.
- TS EN 622-5, 2011. Lif levhalar - Özellikler - Bölüm 5: Kuru işlemler levhalar (mdf) için gerekler, Ahşap Esaslı Levhalar, TSE, Ankara.
- TS 825, 2013. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, TSE, Ankara.
- TS EN 13501-1+A1, 2013. Yapı Mamulleri ve Yapı Elemanları, Yangın Sınıflandırması Bölüm 1: Yangın Karşısındaki Davranış Deneylerinden Elde Edilen Veriler Kullanılarak Sınıflandırma, TSE, Ankara.
- TS EN 13823:2010+A1, 2014. Yapı Ürünleri için Yangına Tepki Deneyleri-Tek Bir Yakma Unsuru ile Isıl Etkiye Maruz Kalan-Döşemeler Haricindeki Yapı Ürünleri, TSE, Ankara.
- TS EN 13986:2004+A1, 2015. Yapılarda Kullanılan Ahşap Esaslı Levhalar-Karakteristikler, Uygunluğun Değerlendirilmesi ve İşaretleme, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 62, 2009. Plastikler-Su Absorpsiyonunun Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 175, 2010. Plâstikler-Sıvı Kimyasal Maddelere Daldırıldıklarında Oluşan Etkilerin Tayini - Deney metotları, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 178, 2011. Plastikler-Eğilme Özelliklerinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 180, 2006. Plastikler-İzod Darbe Mukavemetinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 11358-1, 2014. Plastik-Polimerlerin Termogravimetri (TG) - Bölüm 1: Genel prensipler, TSE, Ankara.
- Tuğal, M., 1989. Uçucu Küllerden Tuğla Tipi Bir Yapı Malzemesi Elde Edilmesi. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Tufan, Ç., Gülbiçim, H., Türkan, M., 2017. "The Investigation of Vermiculite as an Alternating Shielding Material for Gamma Rays", *Radiation Physics and Chemistry*, 130: 112-117.
- Turgut, P., 2007. Kireçtaşı ve Cam Tozunun Briket Yapımında kullanılması. 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye, 29 Kasım-1 Aralık.
- Tuzcu, H., 2010. Isı Yalıtımı ve Otomotiv Endüstrilerinde Kullanılan Yanmaya Dirençli Poliüretan Esaslı Malzemelerin Tutuşma ve Yanma Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 86 s.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğinobalı, A., 2003. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, *TÇMB Yayınları*, Ankara.
- Tüysüz, M.Z., Yorulmaz, N., Bozkurt, A., 2004. Co-60 Radyoterapi Kaynağı için Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı. Türk Fizik Derneği 22. Fizik Kongresi Bildiriler Kitapçığı, Bodrum.

- UL 94, 2011. Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. ISBN 0-7629-0082-2.
- Uluata, A., 2011. Ağaç Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etki Eden Faktörler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18: (1-4). Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/ataunizfd/issue/2999/41609>
- Uluköy, A., Can, A.Ç., 2006. Çeliklerin Borlanması. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (2): 189-198.
- Uluşen, T., 2008. Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Kimyasal Kaplama İşlemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne, 62s.
- URL-1, 2002. Wood-Plastic Composites, A technical review of materials, processes and applications. www.tangram.co.uk (Erişim Tarihi: 10.06.2018)
- URL-2, 2018. www.aof.anadolu.edu.tr (Erişim Tarihi: 10.06.2018),
- URL-3, 2018. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/vermikulit> (Erişim Tarihi: 27.09.2018)
- URL-4, 2018. <http://www.korutas.com> (Erişim Tarihi: 29.12.2018)
- URL-5, 2018. <https://www.flowcreteasia.com> (Erişim Tarihi: 21.09.2018)
- Wang, K., Wu, J., Ye, L., Zeng, H., 2003. Mechanical Properties and Toughening Mechanism of Polypropylene/Barium Sulphate Composites, *Composites: Part A*, 34: 1199-1205.
- Wolcott, M.P., Smith, P.M., 2004. Opportunities and Challenges for Wood Plastic Composites in Structural Applications, In: Proceedings of Progress in Wood Fiber–Plastic Composites, Toronto, ON, 1–10.
- Wu, G., Ma, S., Bai, Y., Zhang, H., 2018. The Surface Modification of Diatomite, Thermal, and Mechanical Properties of Poly(Vinyl Chloride)/Diatomite Composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 25 (2): 1-9.
- Xie, X., Liu, Q., Li., R.K., Zhou, X., Zhang, Q., Yu, Z., Mai, Y., 2004. Rheological and mechanical properties of PVC/CaCO₃ nanocomposites prepared by in situ polymerization, *Polymer*, 45: 6665-6673.
- Xu, Z. P., Saha, S.K., Braterman, P.S., D'souza, N.D., 2006. The Effect of Zn, Al Layered Double Hydroxide on Thermal Decomposition of Poly(vinylchloride), *Polymer degradation and stability*. 91 (12): 3237-3244.
- Vadukumpully, S., Paul, J., Mahanta, N., Valiyaveetil S., 2011. Flexible Conductive Graphene/Poly(Vinyl Chloride) Composite Thin Films with High Mechanical Strength and Thermal Stability. *Carbon* 49, 198-205.

- Yaman, C., Maraşoğlu, M., 1998. Bor Minerali Atıklarından Üretilen Camsı Maddenin Olası Kullanım Alanları, IV. Seramik Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 97-102.
- Yaşar E., Erdoğan Y., 2003. Ceyhan (Adana) Kireçtaşlarının Agrega olarak Betonda Kullanılabilirliği. İstanbul: III Ulusal Kırmataş Sempozyumu.
- Yıldırım, R., 2000. Ceviz Kabuğundan Polimer Kompozit Levha Üretimi ve Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Youngquist, J.A., 1999. Wood-based composites and panel products. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. General technical report FPL; GTR-113: Pages 10.1-10.31
- Youngs, R.L., 2001. Wood: History of Use. Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition), pp. 9641-9646.
- Yu, J., Sun, L., Ma, C., Qiao, Y., Hong, Y.H., 2016. Thermal Degradation of PVC: A review. *Waste Management*, 48: 300–314.
- Zeng, X., Cai, D., Lin, Z., Cai, X., Zhang, X., Tan, S., Xu, Y., 2012. Morphology and thermal and mechanical properties of phosphonium vermiculite filled poly(ethylene terephthalate) composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 126 (2):601–607.
- Zhan, F., Chen, N.C., Zhang, X.H., Huang, B., Wu, Z.N., Zhu, Q., 2013. Abrasion Properties and Thermal Stabilities of Poly(vinyl chloride)/Diatomite Composites. *Advanced Materials Research*, 833: 317–321.
- Zhang, G., Cai, D., Wang, M., Zhang, C., Zhang, J., Wu, Z., 2013. Microporous. *Mesoporous Mater.*, 165: 106.
- Zhang, Q., Ma, P., Yang, Y., Pan, X., Zhang, J., Xiang, L., 2018. Reinforcement of Recycled Paint Slag Hybrid-Filled Lightweight Calcium Sulphate Whisker/PVC Foam Composites. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6 (1): 520-526.
- Zhang, Q., Yu, Z., Xie, X., Mai, Y., 2004, Crystallization and Impact Energy of Polypropylene/Caco₃ Nanocomposite With Nonionic Modifier. *Polymer*, 45: 5985-5994.
- Zhu, X.G., Jiang, J.H., Yan, Y., Chi, Cen, K.F., 2008. TG-FTIR Analysis of PVC Thermal Degradation and HCl Removal. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 82: 1–9.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Ahmet Hayrullah SEVİNÇ
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.06.1986 Ümraniye
Medeni hali : Evli
Telefon : (0344) 300 4132
e-posta : ahsevinc46@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	KSÜ-Erciyes Ü./İnşaat Müh. Böl.	2019
Yüksek lisans	KSÜ /İnşaat Müh. Böl.	2011
Lisans	Erciyes Ü. YMMF / İnşaat Müh. Bölümü	2007
Lise	Ankara Cumhuriyet Lisesi	2003

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2009	Ankara Yapınet Yapı Denetim	Y. Kontrol Mühendisi
2009-2010	Andırın Kaymakamlığı	Kontrol Mühendisi
2010-2011	Çağlayancerit Kaymakamlığı	Kontrol Mühendisi
2011-2018	K.S.Ü. Elbistan M.Y.O. İnşaat Prg.	Öğretim Görevlisi
2018-(Devam)	K. İstiklal Ü. E. M.Y.O. İnşaat Prg.	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

- Durgun, M. Y., **Sevinç, A.H.**, 2019. High Temperature Resistance of Concretes With GGBFS, Waste Glass Powder, and Colemanite Ore Wastes After Different Cooling Conditions. *Construction and Building Materials*, 196: 66-81.
- Sevinç, A.H.**, Durgun, M. Y., Eken, M., 2017. A Taguchi Approach for Investigating The Engineering Properties of Concretes Incorporating Barite, Colemanite, Basaltic Pumice And Ground Blast Furnace Slag. *Construction and Building Materials*, 135: 343-351.
- Binici, H., Aksoğan, O., **Sevinç, A.H.**, Çinpolat, E., 2015. Mechanical and Radioactivity Shielding Performances of Mortars Made With Cement Sand And Egg Shells. *Construction and Building Materials*, 93: 1145-1150.
- Binici, H., Aksoğan, O., **Sevinç, A.H.**, Küçükönder, A., 2014. Mechanical And Radioactivity Shielding Performances Of Mortars Made With Colemanite Barite Ground Basaltic Pumice And Ground Blast Furnace Slag. *Construction and Building Materials*, 50: 177-183.
- Binici, H., Küçükönder, A., Eskin, S., **Sevinç, A.H.**, Kara M., 2013. Investigation of Radioactivity Penetration of Light And Heavy Materials. *Advances in Civil and Environmental Engineering*, 1 (1): 22-36.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

- Sevinç, A.H.**, Durgun, M.Y., 2018. Utilization of Ground Steelmaking Slag and Fly Ash as Filler Materials Instead of Fine Aggregates in High Strength Concretes. I. Uluslararası Battal Gazi Multidisipliner Çalışmalar Konferansı, 3: 2672-2682. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Sevinç, A.H.**, 2018. Utilization of Silica Fume And Zeolite As Filler Materials In Concretes. I. Uluslararası Battal Gazi Multidisipliner Çalışmalar Kongresi, 3: 2578-2587. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Durgun, M.Y., **Sevinç, A.H.**, 2018. Investigating the Effect of Different Waste Materials on High Temperature Resistance of Mortars. 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies, 369-369. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
- Sevinç, A.H.**, Durgun, M.Y., 2018. Investigating the Effect of Silica Fume on Afşin-Elbistan Fly Ash Based Geopolymer Concretes. 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies, 370-370. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

- Sevinç, A.H.,** Durgun, M.Y., 2018. Performance of Low Quality Fly Ash Based Geopolymer Concrete Using GGBFS. 2nd International Symposium on Multidiciplinary Studies and Innovative Technologies, 91-94. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Durgun, M.Y, **Sevinç A.H.**, 2018. Fire Resistance of Mineral Modified Concretes at Later Ages. 2nd International Symposium on Multidiciplinary Studies and Innovative Technologies, 95-100. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Durgun, M.Y., **Sevinç, A.H.**, Özdemir, A., 2018. Evaluating Afşin-Elbistan Fly Ash as Geopolymer Concrete Raw Material with Blast Furnace Slag Incorporation. International Congress on Engineering and Life Science, 905-910. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Sevinç, A.H,** Durgun, M.Y., 2018. Investigating the Effectiveness of Some Mineral Materials on Residual Strength of Concretes after Fire: A Taguchi Analyze. International Congress Engineering and Life Sciences, 911-917. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Durgun, M.Y., **Sevinç, A.H.**, 2017. A preliminary study on fire resistance of concretes produced with waste materials under different cooling conditions. 1st International Symposium on Multidiciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT2017) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
- Sevinç, A.H.**, Durgun, M.Y., 2017. Modification of fly ash based eco-friendly geopolymer concretes with blast furnace slag and waste glass powder. 1st International Symposium on Multidiciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT2017) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
- Binici, H., Dolaz, M., **Sevinç, A.H.**, Balcioğlu, Ş., 2015. Engineering Properties of Barite Pumice Diatomite and Quartz Added Reinforced Foam PVC Composites. International Journal of Arts Sciences (IJAS) International Conference for Technology and Science, 9(1), 235-250. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Sevinç, A.H,** Eken, M., Durgun, M.Y., 2015. Investigating Some Durability Properties of Concretes Incorporating Lightweight and Heavyweight Aggregates as Fine Aggregates. International Journal of Arts Sciences (IJAS) International Conference for Technology and Science, 9(1), 289-302. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Sevinç, A.H.**, Durgun, M.Y., Eken, M., Binici, H., 2015. Investigating The Radiation Absorption and Thermal Properties of Composite Materials Incorporating Waste Eggshell Waste Sawdust and Pumice. 1st International Conference on Environmental Science and Technology (ICOEST), 1(1), 180-188. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Binici, H., **Sevinç, A.H.**, Eken, M., Kara, M., 2013. Isolation Material Production Using Sunflower Stalk and Textile Wastes. 2nd International Conference on Renewable Energy Research and Applications (Poster)

Uluslararası kitaplar veya kitaplardaki bölümler:

- Durgun, M.Y., **Sevinç, A.H.**, 2018. Investigating The Effect of Different Waste Materials on High Temperature Resistance of Mortar. Current Academic Studies In Engineering Sciences, Yayın evi: IVPE, Editör: Prof. Dr. Serdar SALMAN, Doç. Dr. Duygu KAVAK, Dr. Ali KILIÇER, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 1580, ISBN:978-9940-540-51-7. 747-757s.
- Sevinç, A.H.**, Durgun, M.Y., 2018. Investigating The Effect of Silica Fume on Afşin-Elbistan Fly AshBased Geopolymer Concretes. Current Academic Studies In Engineering Sciences, Yayın evi: IVPE, Editör: Prof. Dr. Serdar SALMAN, Doç. Dr. Duygu KAVAK, Dr. Ali KILIÇER, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 1580, ISBN:978-9940-540-51-7. 759-767s.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

- Binici, H., **Sevinç, A.H.**, Efe, V., 2015. Atık Gazete Kağıdından Yalıtım Malzemesi Üretimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (2): 13-23.
- Binici, H., **Sevinç, A.H.**, Geçkil, H., 2015. Atık Demir Tozu Katkılı Harç Ve Betonların Durabilite Özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (1): 1-16.
- Binici, H., **Sevinç, A.H.**, Eken, M., Demirhan, C., 2014. Mısır Koçanı Esaslı Yalıtım Malzemesi Üretimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (2): 13-26.
- Binici, H., Görür, E.B., **Sevinç, A.H.**, Eken, M., 2014. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Hidro Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (1): 27-37.
- Binici, H., Temiz, H., **Sevinç, A.H.**, Eken, M., Küçükönder, A., Ergül, T., 2013. Atık Pil Kömürü ve Yumurta Kabuğunun Radyasyon Tutucu Materyal Olarak Üretimde Kullanılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences*, 16 (1): 8-14.
- Binici, H., Küçükönder, A., **Sevinç, A.H.**, Eken, M., Tüfenk, N., 2013. Atık Kâğıt ve Mukavvaların Yalıtım Malzemesi ve Radyasyon Tutucu Materyal Olarak Üretiminde Kullanılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (1): 21-29.
- Binici, H., Temiz, H., **Sevinç, A.H.**, Eken, M., Kara, M., Şayir, Z., 2013. Alüminyum Talaşı Bims ve Gazbeton Tozu İçeren Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9 (1): 1-15.
- Binici, H., **Sevinç, A.H.**, Eken, M., 2012. Ayçiçek Sapı ve Tekstil Atıkları İle Yalıtım Malzemesi Üretimi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (2): 1-5.

- Binici, H., **Sevinç, A.H.**, Durgun, M.Y., Koluçolak, M., 2011. Kum Boyutunda Yüksek Fırın Cürufu ve Pomza Katkılı Beton Boruların Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 14 (3): 33-44.
- Binici, H., **Sevinç, A.H.**, Durgun, M.Y., 2011. Pomza Barit Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Dayanımı ve Sülfat Direnci. *Teknolojik Araştırmalar Dergisi*, 7 (1): 39-51.
- Binici, H., **Sevinç, A.H.**, Durgun, M.Y., 2010. Barit Bazaltik Pomza Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 13 (1): 1-13.

