

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CTP KESME ATIKLARI KULLANILARAK PVC
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE
ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arzu ÖZÜYAĞLI

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Akın AKINCI

Haziran 2016

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CTP KESME ATIKLARI KULLANILARAK PVC
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE
ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arzu ÖZÜYAĞLI

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 21 / 06 /2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile
kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr
Akın AKINCI
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr
Uğur ŞEN
Üye**

**Doç. Dr
Ali DURMUŞ
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Arzu ÖZÜYAĞLI

21.06.2016

TEŞEKKÜR

Öncelikle bütün hayatım boyunca yanımda olan, hiçbir maddi ve manevi yardımı esirgemeyen, üzerimde büyük emekleri olan sevgili annem, babam ve tüm aileme teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında fikir ve tecrübelerini paylaşmaktan çekinmeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Akın AKINCI'ya ve Yrd. Doç. Dr. Murat ÖZSOY'a ve çalışmalarına desteklerini sunmaktan çekinmeyen tüm hocalarıma, araştırma görevlilerine, Sakarya Üniversitesi çalışanlarına ve ayrıca bana yardımı dokunan herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım esnasında yardımlarıyla destek olan değerli arkadaşlarım Cem MEHMETALİOĞLU ve Ebru AKCAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Proje esnasında desteklerini esirgemeyen tüm Subor Boru çalışanlarına, sayın Seyfettin KILINÇ, Özlem YILDIZ ve Cihan Bey'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sanayi Tezleri Programı (SAN-TEZ) kapsamında Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Subor Boru San. Tic. LTD. ŞTİ.'ne (Proje no: 0116.STZ.2013-1) ve ayrıca Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2014-50-01-006) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KOMPOZİT MALZEMELER	4
2.1. Kompozit Malzemelerin Tanımlanması	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.2.1. Polimer matrisli kompozitler	8
BÖLÜM 3.	
MATRİS MALZEMESİ (PVC)	11
3.1. Genel PVC Formülasyonu	12
3.1.1. PVC hammaddesi	13
3.1.2. Stabilizatörler	13
3.1.3. Kaydırıcılar	15
3.1.4. Darbe modifiye ediciler	16
3.1.5. Proses yardımcıları	16
3.1.6. Boyar maddeler	16

BÖLÜM 4.

KATKI MALZEMELERİ	19
4.1. Kalsiyum Karbonat	20
4.2. Kesme Atığı	20

BÖLÜM 5.

PVC KOMPOZİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ	25
5.1. Kalenderleme ile PVC Kompozit Üretimi	25
5.2. Enjeksiyon ile PVC Kompozit Üretimi	26
5.3. Ekstrüzyon ile PVC Kompozit Üretimi	27
5.3.1. Boru üretim prosesi	36

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
6.1. Kullanılan Malzemeler	39
6.2. Uygulanan Ön İşlemler	39
6.2.1. Atık malzemenin kurutulması, nem tayini ve tane boyutu ayarlanması	40
6.2.2. Karışımın mikserlenmesi	41
6.3. Ekstrüzyon İle PVC Kompozit Üretimi	42
6.4. Üretilen PVC Kompozit Malzemelere Uygulanan Deneyler	45
6.4.1. Görünüm ve renk kontrolü	46
6.4.2. Yoğunluk deneyi	46
6.4.3. Sertlik deneyi	47
6.4.4. Çekme deneyi	48
6.4.5. Üç nokta eğme deneyi	51
6.4.6. Darbe deneyi	53
6.4.7. Eroziyon aşınma.....	55
6.4.8. Adheziyon aşınma	58
6.4.9. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD)	61
6.4.10. Diferansiyel termal analiz ve termo-gravimetri (DTA-TG)...	62
6.4.11. UV dayanım deneyi	63

6.4.12. Diklorometana dayanım deneyi	65
6.4.13. Optik mikroskop incelemeleri	65
6.4.14. SEM ve EDS analizi	67
6.5. Boruya Uygulanan Deneyler	67
 BÖLÜM 7.	
DENEYSEL SONUÇLAR	69
7.1. Görünüm ve Renk Kontrolü	69
7.2. Yoğunluk Deneyi.....	70
7.3. Sertlik Deneyi	71
7.4. Çekme Deneyi	72
7.5. Üç Nokta Eğme Deneyi	73
7.6. Darbe Deneyi	75
7.7. Erozif Aşınma	76
7.8. Adhezif Aşınma	80
7.9. X-Işınları Difraksiyon Analizi (XRD).....	91
7.10. Diferansiyel Termal Analiz Ve Termo-Gravimetri (DTA-TG)	99
7.11. UV Dayanım Deneyi	106
7.12. Diklorometana Dayanım Deneyi	107
7.13. Optik Mikroskop İncelemeleri	108
7.14. SEM ve EDS Analizi	114
7.15. Boruya Uygulanan Deneyler	118
 BÖLÜM 8.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	119
8.1. Genel Sonuçlar	119
8.2. Öneriler	123
 KAYNAKLAR	124
ÖZGEÇMİŞ	131

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A ₀	: Numune kesit alanı
ABS	: Akrilonitrilbütadienstiren
ASTM	: Amerikan standart (American Society for Testing and Materials)
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
CNC	: Dik işleme merkezi
CTP	: Cam fiber takviyeli polyester
d	: Yoğunluk
DTA	: Diferansiyel termal analiz
EDS	: Enerji dağılımı spektrometresi
F	: Kuvvet
HCL	: Hidrojenklorür
LiH	: Lityum Hidrid
MABS	: Metilmetakrilatbutadienstiren
MPa	: MegaPascal
N	: Newton
Pb	: Kurşun
PC	: Polikarbon
PE	: Polietilen
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistren
Psi	: İnç kareye pound cinsinden uygulanan kuvvet
PVC	: Polivinilklorür
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu

SiO ₂	: Silisyumdioksit
TG	: Termogravimetri
TS	: Türk Standardı
UV	: Ultraviyole
XRD	: X- ışınları difraksiyonu
Zn	: Çinko
ϵ	: Gerinim
σ	: Gerilme



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları	5
Şekil 2.2. Kompozitlerdeki farklı bileşen şekilleri	6
Şekil 2.3. Takviye şekline göre kompozit çeşitleri	7
Şekil 3.1. PVC polimer yapısı.....	11
Şekil 4.1. CTP boru montajı görünümü	21
Şekil 4.2. CTP boru sürekli elyaf sarma metodu	22
Şekil 4.3. Üretilen boru tabakaları şematik görünümü	23
Şekil 5.1. PVC kalenderleme prosesi şematik gösterimi	26
Şekil 5.2. Piston tipi enjeksiyon şematik gösterimi	26
Şekil 5.3. Sonsuz vidalı enjeksiyon kalıplama sistemi	27
Şekil 5.4. PVC üretimi için kullanılan mikser sistemi	28
Şekil 5.5. Ekstrüzyon sisteminde kullanılan çift vida görünümü	30
Şekil 5.6. Laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüzyon cihazı	30
Şekil 5.7. Ekstrüzyon makinası çalışma prensibi gösterimi	31
Şekil 5.8. Ekstrüder vidası bölgeleri şematik gösterimi	32
Şekil 5.9. Kalıp ve kalibre bölümleri şematik gösterimi	35
Şekil 5.10. Çekici sistemi.....	35
Şekil 5.11. Ekstrüzyon ile boru üretimi hattı	36
Şekil 5.12. Soğutma tankı	37
Şekil 5.13. PVC boru üretim hattındaki boru çekim makinesi	38
Şekil 6.1. Numune üretiminde kullanılan kesme atığı	39
Şekil 6.2. Nem tayini cihazı görünümü	41
Şekil 6.3. Titreşimli elek ve mikser	41
Şekil 6.4. Sanayi tipi ısıtıcılı mikser sistemi	42
Şekil 6.5. Üretimde kullanılan PVC mikseri	42
Şekil 6.6. Laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüzyon cihazı	43

Şekil 6.7. Kalıp ve sıcaklık bölgeleri	43
Şekil 6.8. Numunelerin üretim sıcaklıkları değerleri	44
Şekil 6.9. Vakum ve çekici ünitesi	44
Şekil 6.10. Ekstrüzyon makinesi soğutma bölümü ve atık ile üretilen boru	45
Şekil 6.11. CNC tezgahında çekme numunesi üretimi	45
Şekil 6.12. Yoğunluk ölçüm cihazı	46
Şekil 6.13. Shore D sertlik ölçüm cihazı	47
Şekil 6.14. Shore D sertlik deneyi numune boyutları	48
Şekil 6.15. Çekme deneyi numunesi tipleri	49
Şekil 6.16. Çekme deneyi için hazırlanan numune	49
Şekil 6.17. Gerilme- Genleme Grafiği	50
Şekil 6.18. Çekme deneyi cihazı	51
Şekil 6.19. Üç Nokta Eğme Deneyi Çalışma Prensibi	52
Şekil 6.20. Üç nokta eğme deneyi numune boyutları	52
Şekil 6.21. Üç nokta eğme deneyi Gerilme-Genleme grafiği	52
Şekil 6.22. Üç nokta eğme deneyi görünümü	53
Şekil 6.23. Bir darbe deneyinin şematik olarak gösterimi	54
Şekil 6.24. Deney numunesinin darbe cihazındaki konumu	54
Şekil 6.25. Darbe deneyi numune boyutları	55
Şekil 6.26. Darbe deneyi cihazı	55
Şekil 6.27. Çamur erozyonu deney düzeneği şematik gösterimi	56
Şekil 6.28. Eroziyon aşınma çalışma prensibi	56
Şekil 6.29. Eroziyon aşınma numune boyutları	57
Şekil 6.30. Deney düzeneği ve bağlama aparatı	57
Şekil 6.31. Adheziyon aşınma	58
Şekil 6.32. Pin-on disk aşınma deneyi şematik gösterimi	59
Şekil 6.33. Pin-on disk aşınma deneyi pin numunesi boyutları	59
Şekil 6.34. Pin-on disk aşınma cihazı	60
Şekil 6.35. XRD çalışma prensibi şematik gösterimi	62
Şekil 6.36. Diferansiyel termal analiz sisteminin şematik diyagramı	62
Şekil 6.37. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı	63
Şekil 6.38. UV yaşlandırma kabini	64

Şekil 6.39. Diklorometana dayanım deneyi şematik gösterimi.....	65
Şekil 6.40. Dijital optik mikroskop	66
Şekil 7.1. Üretilen numunelerin dış görünümü	69
Şekil 7.2. Farklı PVC kompozitler için yoğunluk deneyi sonuçları	70
Şekil 7.3. Farklı PVC kompozitler için Shore D sertlik değerleri	71
Şekil 7.4. Çekme deneyi sonucu elde edilen çekme, kopma mukavemeti ve kopma uzaması sonuçları.....	73
Şekil 7.5. Üç nokta eğme deneyi sonucu elde edilen çekme mukavemeti ve kopma uzaması sonuçları.....	74
Şekil 7.6. Numunelerin darbe deneyi sonucu elde edilen darbe enerjisi grafiği...	76
Şekil 7.7. 0° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri.....	77
Şekil 7.8. 15° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri	77
Şekil 7.9. 30° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri	78
Şekil 7.10. 45° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri	78
Şekil 7.11. 60° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri	79
Şekil 7.12. 75° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri	79
Şekil 7.13. 90° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri	80
Şekil 7.14. 5 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi	82
Şekil 7.15. 10 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi ...	83
Şekil 7.16. 15 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi ...	83
Şekil 7.17. 0,5 m/s hızda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi.....	84
Şekil 7.18. 1 m/s hızda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi	85
Şekil 7.19. 1,5 m/s hızda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi.....	85
Şekil 7.20. 5 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi.....	88
Şekil 7.21. 10 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi.....	88

Şekil 7.22. 15 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi.....	89
Şekil 7.23. 0,5 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi.....	89
Şekil 7.24. 1 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi.....	90
Şekil 7.25. 1,5 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi.....	91
Şekil 7.26. Dolgusuz PVC için XRD analizi sonuçları	92
Şekil 7.27. %30 kalsit dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	92
Şekil 7.28. CTP atığa yapılan XRD analizi sonuçları	93
Şekil 7.29. %5 atık dolgulu PVC kompozit numune için XRD analizi sonuçları	93
Şekil 7.30. %10 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	94
Şekil 7.31. %15 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	94
Şekil 7.32 %20 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	95
Şekil 7.33. %25 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	95
Şekil 7.34. %30 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	96
Şekil 7.35. %35 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	96
Şekil 7.36. %40 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	97
Şekil 7.37. %45 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	97
Şekil 7.38. %50 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	98
Şekil 7.39. %60 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	98
Şekil 7.40. %70 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları	99
Şekil 7.41. Dolgusuz PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları.....	100
Şekil 7.42. Kalsit dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları ...	101
Şekil 7.43. %5 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları.	102
Şekil 7.44. %10 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	102
Şekil 7.45. %15 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	102
Şekil 7.46. %20 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	103
Şekil 7.47. %25 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	103
Şekil 7.48. %30 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	103

Şekil 7.49. %35 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	104
Şekil 7.50. %40 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	104
Şekil 7.51. %45 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	104
Şekil 7.52. %50 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları	105
Şekil 7.53. %60 atık dolgulu numuneye uygulanan DTA-TG analizi sonuçları	105
Şekil 7.54. %70 atık dolgulu PVC numunenin DTA-TG analizi sonuçları	105
Şekil 7.55. Tüm numunelerin UV dayanım deneyi sonrası görünüşleri	106
Şekil 7.56. UV deneyi yapılmış ve UV deneyi yapılmamış numunelerin darbe deneyi sonuçları.....	107
Şekil 7.57. Tüm numunelerin diklorometana dayanım deneyi sonrası görünüşü	107
Şekil 7.58. Kırık yüzey optik mikroskop görüntüleri	108
Şekil 7.59. Kırık yüzey optik mikroskop görüntüleri (devamı).....	109
Şekil 7.60. Kırık yüzey optik mikroskop görüntüleri (devamı)	110
Şekil 7.61. Eroziyon aşınma sonucu farklı açılarda elde edilen en düşük aşınma oranına sahip numune optik mikroskop görüntüleri	110
Şekil 7.62. Eroziyon aşınma sonucu farklı açılarda elde edilen en düşük aşınma oranına sahip numune optik mikroskop görüntüleri (devamı)	111
Şekil 7.63. Adheziyon aşınma sonucu elde edilen en düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısına sahip numune optik mikroskop görüntüleri.....	112
Şekil 7.64. Diklorometana dayanım sonrası optik görüntüler.....	112
Şekil 7.65. Diklorometana dayanım sonrası optik görüntüler (devamı)	113
Şekil 7.66. Diklorometana dayanım sonrası optik görüntüler (devamı)	114
Şekil 7.67. Kırık yüzey SEM görüntüleri.....	115
Şekil 7.68. Kırık yüzey SEM görüntüleri (devamı)	116
Şekil 7.69. %15 atık dolgulu PVC numuneye yapılan EDS analizi sonuçları.....	117
Şekil 7.70. Üretilen borunun makro görünümü	118

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. PVC için kullanılan bazı stabilizatörler	13
Tablo 3.2. PVC formülasyonlarında kaydırıcı olarak kullanılan maddeler	16
Tablo 3.3. PVC’de Kullanılan bazı Renk Verici Pigmentler	18
Tablo 5.1. PVC üretim yöntemleri ve kullanım alanları	25
Tablo 6.1. Çekme deneyi numune boyut değerleri	49
Tablo 6.2. Eroziyon aşınma deney parametreleri	57
Tablo 6.3. Adheziyon aşınma deney parametreleri	59
Tablo 7.1. Farklı PVC kompozitler için yoğunluk ölçüm değerleri	70
Tablo 7.2. Farklı PVC kompozitler için Shore D sertlik ölçüm değerleri	71
Tablo 7.3. Çekme deneyi sonucu elde edilen çekme mukavemeti kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri	72
Tablo 7.4. Üç nokta eğme deneyi sonucu elde edilen çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri.....	74
Tablo 7.5. Numunelerin darbe deneyi sonucu elde edilen darbe enerjisi değerleri.....	75
Tablo 7.6. Adheziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen sürtünme katsayısı değerleri.....	81
Tablo 7.7. Adheziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen sürtünme katsayısı değerleri (devamı)	82
Tablo 7.8. Adheziyon aşınma deneyi sonucunda elde edilen aşınma oranı değerleri.....	86
Tablo 7.9. Adheziyon aşınma deneyi sonucunda elde edilen aşınma oranı değerleri (devamı)	87

ÖZET

Anahtar kelimeler: CTP, PVC, Atık, CaCO_3 , Fiziksel, Mekanik, Termal ve Tribolojik Özellikler

Geleneksel polivinilklorür (PVC) boru üretiminde katkı malzemesi olarak kalsiyum karbonat (CaCO_3) kullanılmaktadır. Bu çalışmada CaCO_3 yerine, sanayi atığı kullanılmıştır. Kullanılan sanayi atığı cam elyaf takviyeli polyester (CTP) boru üretiminden sulu kesim sırasında çıkmaktadır. Atık; silisyum dioksit (SiO_2), cam elyaf ve polyester reçine içermektedir. Sulu çamur halinde filter prestan çıkan atık fabrikadan alındıktan sonra kurutma öğütme ve eleme işlemleri uygulanarak toz formuna getirilmiştir. Numuneler PVC, CTP atık tozu ve prosese yardımcı maddeler mikserde karıştırılarak ekstrüzyon yöntemi ile profil şeklinde üretilmiştir. Atık toz PVC 'ye oranla ağırlıkça %5-%10-%15-%20-%25-%30-%35-%40-%45-%50-%60-%70 oranlarında katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi açısından CaCO_3 dolgulu ve dolgusuz PVC numuneleri de aynı şartlarda üretilmiş ve testler yapılmıştır. Testler sonucu bulunan en uygun formül ile atık su borusu üretimi sanayide gerçekleştirilmiştir.

Tüm PVC matrisli kompozit numunelere görünüş ve renk kontrolü, yoğunluk, shore D sertlik, çekme, üç nokta eğme, darbe deneyleri, erozif ve adhezif aşınma testleri, XRD, DTA-TG, EDS analizleri, UV dayanım ve diklorometana dayanım testleri yapılmış, optik mikroskop ve SEM görüntüleri alınmıştır. Üretilen atık su borusuna ise; çekme, darbe, boyutsal kararlılık ve vicat yumuşama sıcaklığı deneyleri yapılmıştır. PVC üretiminde geleneksel olarak kullanılan kalsiyum karbonat yerine, CTP atık toz kullanılarak daha yüksek sertlik, eğme, çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Kalsit dolgulu numunenin darbe dayanımı ise daha yüksek bulunmuştur. Atık dolgusu ile kalsit dolgulu üründen daha düşük yoğunlukta ve daha hafif malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

PRODUCTION OF PVC MATRIX COMPOSITES BY USING GRP CUTTING WASTES AND THEIR PROPERTIES

SUMMARY

Keywords: GRP, PVC, Waste, CaCO_3 , Physical, Mechanical, Thermal and Tribological Properties.

Calcium carbonate (CaCO_3) as a filler has been used in the traditional production of polyvinyl chloride (PVC) pipe. In this study, industrial waste is used instead of CaCO_3 . Used in cutting waste was emerged during the produced in glass fiber reinforced polyester (GRP) pipe production from wet cutting. Cutting waste goes to filter press system. GRP waste is including polyester resin, glass fiber, silicon dioxide (SiO_2). Cutting waste was dried, milled and then sieved. PVC, GRP waste powder and process aids were mixtured then produced in extrusion system for polymer matrix composite production. Thirteen different weight (%5-%70) percentages of cutting waste as a filler were reinforced to PVC. CaCO_3 reinforced and pure PVC were produced in extrusion system to make comparison. Waste water pipe was produced according to optimal formula found by tests.

All PVC samples were tested appearance and color control, density, shore D hardness, tensile testing, three-point flexural testing, impact testing, erosive and adhesive wear, XRD, DTA-TG, and EDS analysis, resistance to dichloromethane, UV resistance, surfaces were taken by SEM and optical microscope. The waste water pipe were tested tensile test, impact test, dimensional stability and vicat softening temperature. The PVC matrix composite which was produced by using of waste material, tensile strength and hardness values were increased and the density was decreased. CaCO_3 reinforced PVC composite higher impact resistant than waste material reinforced PVC matrix composite. GRP waste reinforced PVC matrix composite is lighter than traditional PVC composites.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Polimer ve polimer esaslı kompozit malzemelerin çeşitli endüstri dallarında kullanım oranı her geçen yıl hızla artmaktadır. Polimer matrisli kompozit malzemeler, geleneksel malzemelere göre hafiflik, düşük maliyet ve üstün mekanik, termal, kimyasal ve elektriksel özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Polipropilen (PP), polietilen (PE), polivinilklorür (PVC), akrilonitrilbütadienstiren (ABS), polikarbonat (PC), polimetilmetakrilat (PMMA) ve polistiren (PS) gibi termoplastik esaslı matris malzemeleri düşük fiyatları, kolay üretilebilmeleri ve geri dönüştürülebilir olmaları açısından, poliester, epoksi ve poliüretan gibi termoset matris malzemelerinden daha fazla miktarlarda kullanılmaktadır [1].

PVC, hem dünyada hem de Türkiye’de birçok ürünün temelini oluşturmaktadır. Yalıtım amacıyla kablo yüzeyinden, inşaat sektöründe kullanılan borulara kadar oldukça geniş bir sektör aralığında kullanılmaktadır. PVC, düşük maliyet, esneklik, hafiflik, nakliye, yerleştirme kolaylığı ve dayanıklılık gibi özellikleri sayesinde tüm dünyada atık su borularında yaygın malzemelerden biri olarak kullanılmaktadır [2-6].

PVC malzemenin monomerinde bulunan klor atomları, karbon atomlarına kovalent bağlarla bağlı olup, bu monomerlerden oluşan zincirler arasında çift kutuplu güçlü etkileşimlerin sonucunda sert bir polimer malzeme ortaya çıkmaktadır [5-8]. PVC, asit ve bazların etkilerine karşı dayanıklı bir polimer olup yoğunluğu $1,39-1,42 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir, aynı zamanda malzemenin yoğunluğu sadece polimere değil katkı maddelerine de bağlı olmaktadır [7-9].

Partikül katkı malzemeleri, genellikle maliyet ucuzlatmak için polimer malzemelerde kullanılsa da, üstün özellikli partiküllerin kullanımıyla, üretilen kompozit malzemelerin mekanik, termal, elektriksel ve kimyasal özellikleri gelişmektedir.

Örneğin cam küre, cam bilye gibi partiküllerin ilavesiyle de aşınmaya dirençli polimer kompozitler üretilmektedir [10-12].

Silisyum dioksit (SiO_2) dolgulu PVC düşük yoğunluğu ile ev gereçleri, yapı malzemeleri, otomobil sektörü, elektrik endüstrisinde kullanılmaktadır. Kalsit (CaCO_3) katkısı günümüzde yaygın olarak inşaat malzemeleri, elektrik kablolu kaplamaları, gıda sektörü, otomobil sektörü, yapı malzemelerinde kullanılmaktadır [4-12]. SiO_2 ve cam fiber katkıları; mekanik dayanımı özellikle aşınma dayanımını arttırmaları, boyut kararlılığı sağlarlar özellikle hassas ölçülerin eldesi ve uzun süre çalışacak plastik ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca ısı iletkenliği düşürmektedir. CaCO_3 dolgusu gibi ürün maliyetini düşüren katkı maddeleri aşırı oranda kullanılmadıkça mekanik dayanımı arttırmakta ve ısı iletkenliğini düşürmektedir [13]. Zhu ve arkadaşları PVC'ye SiO_2 dolgusunun çekme mukavemetini ve ısısal kararlılığı arttırdığını gözlemlemişlerdir [14].

Bu çalışmada sürekli elyaf sarma prosesi ile poliestere, cam elyaf ve kum (SiO_2) kullanarak cam fiber takviyeli poliestere (CTP) boru üretimi sırasında çıkan kesme atıklarının, PVC kompozit üretiminde CaCO_3 dolgusu yerine katkı malzemesi olarak kullanımı ile üretilen malzemelerin mekanik özellikleri araştırılmaktadır. Türkiye'de bulunan CTP boru üreticilerinin üretim kapasiteleri ile kıyaslama yapıldığında ülkemizde yaklaşık 2000 ton benzer atık her yıl doğaya atılmaktadır. Bu atık miktarına CTP sektöründe faaliyet gösteren tekne-yat üreticileri, şehir mobilyaları üreticileri de ilave edildiği zaman toplam 3000 ton/yıl atık miktarı ortaya çıkmaktadır. Cam fiber, silis kumu ve reçine içerikli atık doğaya bırakıldığında çevre açısından tehdit oluşturmasına rağmen PVC kompozit malzeme üretiminde kullanılması ile bu sorunun ortadan kalkacağı düşünülmektedir. Kullanılması düşünülen atık, katkı/takviye malzemesi olarak PVC sektörüne katkı sağlayacaktır. Atık ile üretilcek ürünlerin sektörde kullanılması ile az maliyetli daha kaliteli ürünler üretilmesi beklenmektedir.

CTP kesme atığı sulu kek halinde Subor Boru San. ve Tic. A.Ş. 'den alınmıştır. Kek halindeki bu atık etüvde kurutulmuştur. Atığa nem tayini yapılmıştır. Kurutulan atık 500 μm boyutundaki elek ile elenerek toz haline getirilmiştir. PVC içerisine farklı

oranlarda CTP kesme atığı ilave edilmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi açısından kalsit dolgulu ve dolgusuz saf PVC numuneler de üretilmiştir. Hazırlanan karışımlar ekstrüzyon makinesinden dikdörtgen profil halinde çekilmiştir. Üretilen numuneler standartlara uygun boyutta kesilmiştir. Numunelere görünüş ve renk kontrolü, yoğunluk, shore D sertlik, çekme, üç nokta eğme, darbe deneyleri, erozif, adhezif ve abrazif aşınma deneyleri, X-ışınları difraksiyonu analizi (XRD), diferansiyel termal analiz (DTA) termogravimetri (TG) ve raman analizleri, UV dayanım deneyi ve diklorometana dayanım deneyi yapılmış, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve optik görüntüleri alınmış, enerji dağılımı spektrometresi (EDS) analizi yapılmıştır.



BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Kompozit Malzemelerin Tanımlanması

Kompozitler, fazların zayıf özelliklerini düzelterek, tek başlarına olduğundan daha iyi özellikler göstermeleri amacıyla bir araya getirilen çok fazlı malzemelerdir [15]. Kompozitlere donatılı veya pekiştirilmiş malzemeler de denir [16]. Bir kompozit malzeme sürekli bir faz içinde dağılmış fazları kimyasal ve/veya fiziksel olarak sınırlayan bir malzemedir. Kompozit malzeme genellikle kendisini oluşturan malzemenin her ikisinden daha iyi veya farklı karakteristiğe sahiptir.

Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için insan tarafından üretilmelidir, farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en azından iki malzemenin kombinasyonundan oluşmalıdır, kompozit malzemeyi oluşturan ayrı malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidirler, kompozit, kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikler göstermelidir.

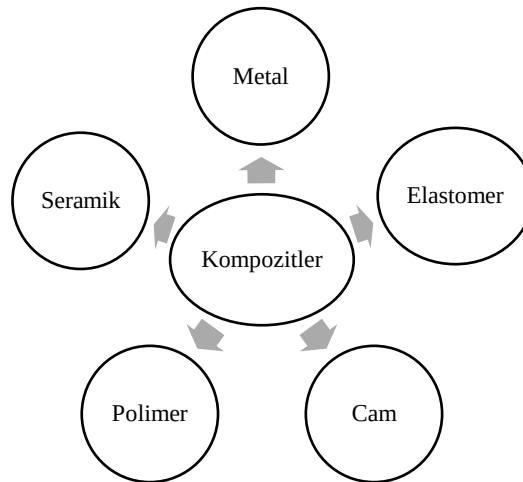
Hangi malzemenin kompozit, hangi malzemenin monolitik malzeme olduğunu ifade edebilmek için malzemelerin değişik sayıdaki yapı seviyelerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bunlar;

Atomik Seviye: Tek moleküllerin ve kristal hücrelerinin göz önüne alındığı bu seviyede tüm malzemeler, iki veya daha fazla sayıdaki farklı atomların bir arada bulunması durumunda kompozit olarak ifade edilmektedir. Bu tanıma göre iki farklı atomun bir araya gelmesi, kompozit bir malzeme oluşması için yeterli olmaktadır. İki farklı element atomunun bir katı eriyik oluşturması halinde bile meydana gelen bileşik kompozit olarak tanımlanabilmektedir. Bu malzemeler saf elementler haricinde bileşikler, alaşımlar, polimerler ve seramiklerden oluşabilmektedir [17].

Mikroyapısal Seviye: Kristal, faz, molekül ve bileşiklerin iki veya daha fazla sayıdaki kristal, molekül ve faz yapılarından meydana gelmesiyle oluşan malzemeler kompozit olarak tanımlanabilmektedir. Bu tanımlama ile geleneksel olarak homojen ve monolitik olarak değerlendirilen çok sayıda malzeme kompozit olarak sınıflanabilmektedir. Yine bu tanımlama ile tüm metalik malzemeler içinde pirinçler, bronzlar gibi tek fazlı alaşımlar monolitik olarak ele alınmaktadır. Çok fazlı bir karbon alaşımı olan çelikler ve dökme demirler kompozit sınıfına girmektedir.

Makroyapısal Seviye: Kaba olarak iki bileşenin oluşturduğu yapılardır. Bu yapılar matrisler, partiküller ve fiberleri kapsamaktadır. Kompozit olarak adlandırılan bu malzemeler farklı makrobileşenlerden oluşmaktadır. Makroyapısal seviye tanımı birçok kompoziti içermesine rağmen genel olarak kompozit olarak bilinen bazı malzemeleri kapsamamaktadır. Daha kapsayıcı olması için bileşenlerin tabiatları ve iki karakteristikleri daha göz önüne alınmaktadır [17].

Bu şartlar altında hem yapısal olarak ve hem de malzeme bileşenlerinin kompozisyonu açısından kompozit malzemelerin tanımı; "Bir kompozit malzeme, temel olarak birbiri içinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla makro bileşenin karışımından veya birleşmesinden meydana gelen malzeme sistemidir" şeklinde yapılmaktadır [17].

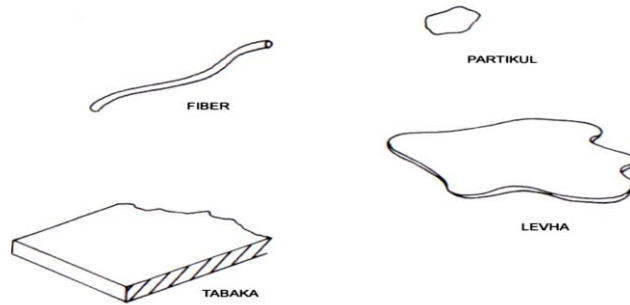


Şekil 2.1. Malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları [17]

Kompozitleri meydana getiren bileşen sınıfları çok değişik malzemelerden olabilmektedir. Şekil 2.1.'de kompozitlerin üretildiği malzeme sınıfları gösterilmektedir. Kompozitlerin üretim şartları ve uygulamaları göz önüne alındığında Şekil 2.1.'deki 5 sınıf malzemenin yanında daha birçok malzemenin de sayılabilmesi mümkündür. Kompozit sistemlerine bağlı olarak değişik sınıftaki malzemelerden en az iki grup bir araya getirilerek üstün özelliklere sahip malzemeler elde edilmektedir [18]. Bir malzemenin kompozit olabilmesi için matris ve takviye fazları arasında ara yüzeylerin mekanik veya kimyasal olarak etkileşimleri sonucu ara fazlar meydana gelmektedir [19].

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Temelde kompozit malzemeler, metalik, organik veya inorganik esaslı bileşenlerin kombinasyonundan oluşmaktadır. Kompozitlerde malzeme kombinasyonlarının sınırlanmamasına rağmen bileşenlerin şekilleri sınırlıdır. Bunun anlamı bir kompozit malzemenin ikiden fazla bileşen de içerebileceğidir.

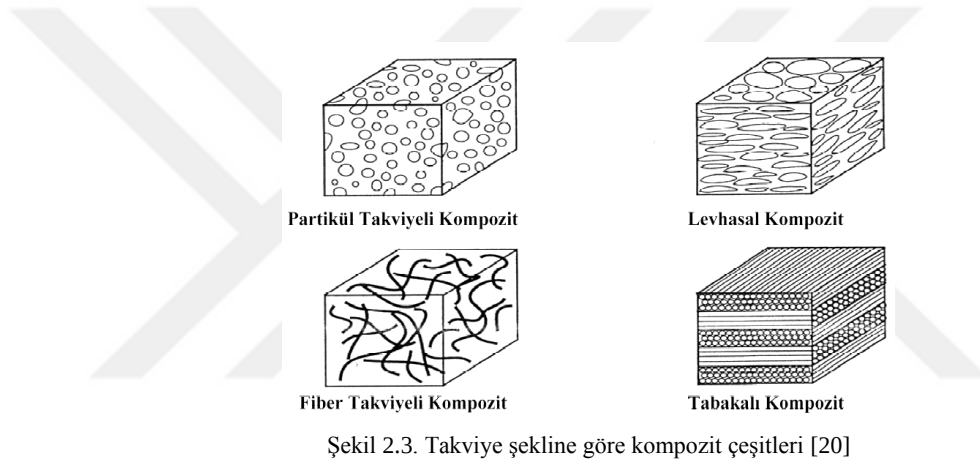


Şekil 2.2. Kompozitlerdeki farklı bileşen şekilleri [19]

Kompozitlerdeki bileşenler 4 sınıfta incelenmektedir. Şekil 2.2.'de de görüldüğü gibi kompozitlerdeki bileşenler; fiberler, partiküller, levhalar ve tabakalar olarak tanımlanmaktadır. Kompozitteki ana faz olan matrisin görevi fiber, partikül ve tabaka gibi yapı bileşenlerinin kendi bünyesinde homojen olarak dağılmasını temin etmektir. Fiberler, partiküller, tabakalar ve levhalar kompozitin içyapısını oluşturan yapısal bileşenlerdir ve genelde ilave fazlar olarak kullanılmaktadırlar. Bunun dışında bu bileşenler matris olarak da kullanılabilirler. Levhaların ve tabakaların sandviç

gibi üst üste dizilip presleme ve kontrollü sıcaklık şartlarında üretilmeleri ile matrissiz kompozitler olarak da elde edilebilmektedirler [19].

Kompozit malzemelerin doğaları ve yapılarının açıklanmasıyla bu malzemeler üzerinde sınıflandırmalar yapılmaktadır. Malzeme kombinasyonları (örneğin; metal-organik veya metal-inorganik), bileşen fazların karakteristikleri (örneğin; matris sistemleri veya tabaka yapılar), bileşenlerin dağılımları (örneğin; sürekli, süreksiz), fonksiyonları (örneğin; elektriksel veya yapısal) ve özellikleri göz önüne alınarak kompozit malzemelerin çok değişik sınıflandırmaları yapılmıştır. Yapısal bileşenlerin şekline göre yapılan genel bir sınıflandırma sistemi Şekil 2.3.'de gösterilmektedir [20].



Şekil 2.3. Takviye şekline göre kompozit çeşitleri [20]

Partikül takviyeli kompozitlerde matris malzemesi ve takviye fazı olarak partiküllerin kullanılmasıyla elde edilen kompozit malzemelerdir. Fiber takviyeli kompozitlerde takviye fazı olarak fiberler kullanılmaktadır. Levhasal kompozitlerde takviye fazı olarak düz plakalar kullanılmaktadır. Tabakalı kompozitler ise farklı bileşen tabakalarından oluşmuş kompozitlerdir [20].

Bu çalışmada partikül takviyeli kompozit malzeme üretilmiştir. Partikül takviyeli kompozitler en az iki makro ölçekli partikülün veya bir matris içine makro ölçülü partiküllerin ilave edilmesi ile elde edilen kompozitlerdir. Sürekli fiberler ve hatta levhasal takviye elemanları içeren kompozitlere göre çok daha izotropik özellikler sergilemektedir. Partikül boyutunun mikron mertebesinde olan kompozitler partikül kompozitlerin bir sınıfı iken partikül boyutunun mikron altında olduğu kompozitler

dispersiyonla sertleştirilmiş kompozitler sınıfını teşkil etmektedir. Partikül takviyeli bir kompozit malzemenin mukavemeti veya sertliği direkt olarak takviye fazının sertlik ve mukavemeti ile doğru orantılıdır. Partikül takviye malzemeleri metal, seramik veya polimer matrislerle kolaylıkla kullanılabilir. En yaygın uygulama alanları yüksek aşınma dayanımı ve yüksek servis sıcaklığı gereken alanlardır.

Kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemesine göre üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar metal, seramik ve polimer matrisli kompozitlerdir.

Metal matrisli kompozitler 1970'li yıllardan sonra yaygınlaşmıştır. Hafif metaller, kompozitler için matris malzemesi olarak çok cazip olmaktadır. Bunlar plastiklerden daha yüksek elastik modül, dayanım ve tokluğa sahip olup yüksek sıcaklıklarda özellikleri de daha iyidir. Ancak metal matrisli kompozit üretimi daha zordur. Bunlar her elyafı iyi ara yüzey bağı oluşturmazlar [20].

Seramiklerin önde gelen olumsuz özelliklerinden olan kırılgenliklerini gidermek amacıyla öne sürülen mekanizmalardan bir tanesi seramiğe takviye bir faz eklenerek oluşturulan seramik matrisli kompozitlerdir. Bununla birlikte bu ikinci faz ilavesiyle seramiğin üretimi zorlaşmakta ve yoğunluğu düşme eğilimi içerisine girmektedir. Mevcut birçok çalışma takviye fazın mevcudiyetiyle doğan heterojenliğin azalmasını amaçlamaktadır. Seramik matrisli kompozit malzemeler, seramik bir matrisin ve bir takviye elemanın veya agregat bir fazın özelliklerini bir araya getirirler. Dikkatli bir şekilde üretimi yapıldığında, mukavemet ve tokluk gibi malzeme özelliklerini, takviyesiz seramiklere oranla artırdığı belirlenmiştir [21].

2.2.1. Polimer matrisli kompozitler

Yapısal olarak polimerler çok uzun ve büyük zincir yapılı moleküllerdir. Dolayısıyla makromoleküller olarak da adlandırılabilir. Uzun zincir yapıdaki moleküller, iskelet veya omurga yapısında bir zincir oluşturarak kovalent karbon atomlarından oluşmaktadır. Küçük bir molekülden başlayarak uzun zincir yapılı bir malzeme oluşturma polimerizasyon olarak bilinmektedir. Polimerler yapısal olarak, metal ve

seramiklerden çok daha karmaşık yapılara sahiptirler. Diğer taraftan polimerler daha düşük mukavemet ve daha düşük kullanım sıcaklığı sergilemektedir. Güneş ışınlarına uzun süre maruz kalan polimerlerde ve değişik çözücü şartlarında kullanılan polimer malzemelerde polimer özelliklerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Kovalent bağlarından dolayı polimerler genelde çok zayıf iletkenlik gösterirler. Bunun yanında metallere göre kimyasal maddeler karşısında daha yüksek dirence sahiptirler. Polimerler (plastikler), düşük üretim maliyetleri, kolay şekil almaları ve amaca uygun üretilibilmeleri nedeniyle pek çok alanda kullanılmaktadır [22]. Kompozitlerin yaklaşık % 90'ı polimer (plastik) esaslı matrislerden üretilmektedir [23].

Kompozit malzemelerde polimer matris olarak kullanılan genelde üç tip polimer mevcut olup bunlar termosetler, termoplastikler ve elastomerlerdir [23].

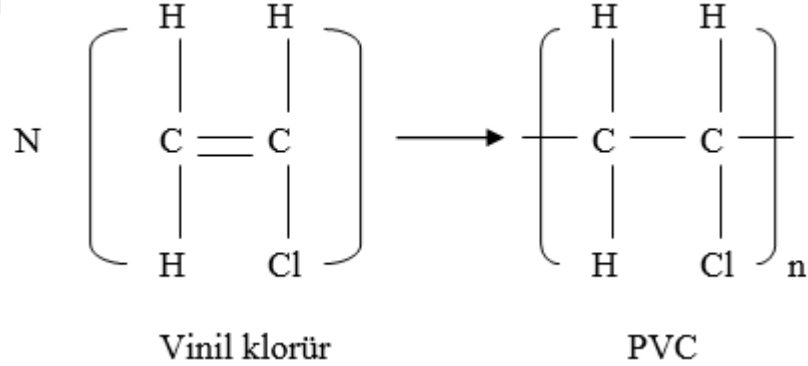
Termosetler, kovalent bağlarla, üç boyutlu olarak bağlandıkları için oldukça rijit bir yapıya sahiptirler. Çapraz bağlantılarla sertleştikleri için ısıtıldıklarında çözünmezler ve erimezler. Sıvı halde bulunan termosetler, monomer moleküllerin kimyasal reaksiyonlar sonucunda yanıl bağların birbirine bağlanmasıyla elde edilmektedir. Üretimleri sırasında gerçekleşen polimerizasyon reaksiyonu geri dönüşümlü olmadığı için ısıtılarak yumuşatılamamakta dolayısıyla şekil verilememektedir. Termoset plastikler, termoplastikler gibi tekrar tekrar kullanılmazlar fakat yeniden üretim sürecine sokulabilmektedirler. Yüksek sıcaklık reçineleri, fenolik, silikon, poliüretan epoksi ve poliester takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların fiziksel ve mekanik özellikleri, molekül büyüklüğüne, yoğunluğuna ve çapraz bağın uzunluğuna bağlıdır [23].

Elastomerler, termoset polimeri gibi çapraz bağlı olan uzun zincir moleküllerinden oluşur. Bunlar çok düşük gerilmelere maruz kaldığı zaman büyük elastik deformasyona uğrama özelliği olan polimer kompozitlerdir. Bazılarında %500 civarında elastik şekil değişikliği meydana gelebilmektedir. En önemlileri kauçuk olup iki kategoride incelenebilir: Doğal kauçuk belirli bitkilerden elde edilmektedir. Sentetik kauçuk ise termoset ve termoplastik polimerlerde kullanılmakta ve benzer polimerizasyon işlemleriyle üretilmektedir [23].

Termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşar, soğutulduklarında tekrar sertleşmektedir. Hem otomotiv sektöründe hem de uçak sanayisinde yaygın olarak kullanılan termoplastiklere, ısıl yumuşar reçineler de denir. Metallerin yaklaşık 5 katı termal genişleme katsayılarına sahiptirler. Özgül ısıları metallerin 2 katı seramiklerin 4 katıdır. Termal iletkenlikleri ise metallerden 3 kat düşüktür. Oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılmaktadır. Isıtılırsa yumuşar, sıcaklık arttıkça viskozitesi düşmektedir. Bu özelliklerinden dolayı bunlarla yapılan ürünler daha ekonomik ve daha kolay işlenebilmektedir. Hammadde olarak raf ömürleri uzundur. (raf ömrü: rafa kaldırıldığında dayanabileceği ömür) Geri dönüşüm kabiliyetleri bulunmaktadır. Yüksek süneklik oranına sahiptirler. Termoplastik mamuller, işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilmektedir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastikler, soğutucu olmaksızın depolanabilmektedir. Sertleşmeleri için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamaktadır. Üstün kırılma toklukları nedeniyle darbe dayanımları da yüksektir. Elektrik yalıtkanlık özellikleri çok iyidir [23]. Bu çalışmada matris malzemesi olarak bir termoplastik olan PVC kullanılmıştır.

BÖLÜM 3. MATRİS MALZEMESİ (PVC)

Polivinil klorür (PVC) termoplastiklerin başında gelmektedir. PVC beyaz veya açık sarı renkli toz polimerdir. PVC %53-55 klor içermektedir. Isıtıldığında klorlanmış hidrokarbonlar tarafından çözünmektedir. Asitlerin ve bazların etkisine karşı dayanıklıdır. Su, alkol ve benzin PVC'ye hiçbir etki göstermemektedir. PVC yüksek elektroliz özelliğine sahiptir ve yanmayan bir polimerdir. PVC 140°C'de yavaş yavaş, 170 °C'de ise kolaylıkla HCl ayrılmasıyla parçalanmakta ve polimerde çift bağ meydana gelmektedir. Bu nedenle polimere stabilizatörler katılmaktadır. PVC'nin oluşum denklemi Şekil 3.1.'de gösterilmektedir [24].



Şekil 3.1. PVC polimer yapısı

PVC 'nin yoğunluğu 1,39-1,42 g/cm³ arasında değişmektedir. PVC 'den yapılmış bir malzemenin yoğunluğu sadece polimere değil ayrıca katkı maddelerine de bağlı bulunmaktadır. PVC halojen içerdiğinden dolayı yanmaya karşı dirençlidir. Açık alevle temasa geldiğinde yanmamaktadır. PVC polimerinin kesin olarak tarif edilebilen bir yumuşama sıcaklığı yoktur. PVC'nin yumuşama sıcaklığını plastikleştiriciler düşürmektedir. Plastikleştiriciler ayrıca darbe direncini de arttırmaktadır. Plastikleştiricisiz PVC kırılgandır fakat -25°C'ye kadar

kullanılabilmektedir. Yaklaşık olarak 80°C’de yumuşamaktadır. İleri derecede plastikleştirici katılmış polivinil klorür lastiğimsi kıvamdadır [24].

PVC’nin mekanik özellikleri molekül ağırlığı, dağılımı ve katkı maddelerinin cins ve miktarları ile değişmektedir [24].

PVC sert ve fleksibl olarak iki çeşit kullanım alanı vardır. Sert PVC daha çok boru, pencere profili, duvar kaplamaları vb. alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar hava şartlarına dayanıklı, mukavemeti yüksek, sert ve kendi kendine yanmamazlık özelliklerine sahiptirler. Yumuşak veya fleksibl PVC türleri ise daha çok kablo sanayi, yer döşemeleri, oyuncak ve eldiven yapımında kullanılmaktadır. Özellikle düşük ısı kararlılığına sahip olan PVC ısıtıldığı zaman metal yüzeylere yapışma özelliği çok yüksektir. PVC hava şartlarına olan yüksek dayanıklılığı, kolay işlenebilmesi, metal yüzeye yapışma özelliğinin olması ve iyi elektriksel özelliklerinin buluşması nedeni ile kablo imalatında geniş yer almaktadır. Şu anda ülkemizde yapılan alçak gerilim kablolarının tamamına yakın kısmı PVC den imal edilmektedir. PVC direkt olarak ısıya maruz kaldığında hidrojen klorür (HCl) açığa çıkmakta ve PVC rengine sararmalar meydana gelmektedir. Bozunma derecesine bağlı olarak PVC rengine sırası ile sararma, kızıllaşma, kahverengi ve siyah renkler görülmektedir. Bununla birlikte ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişimler görülmektedir. Proses sırasında meydana çıkan atık gazlar ve nem vakum ile ortamdan uzaklaştırılarak bertaraf edilmektedir [25].

3.1. Genel PVC Formülasyonu

PVC üretimi proseslerinde ürün tipine bağlı olarak bazı yardımcı katkı maddeleri girilmesi zorunludur. Plastikler katkı maddeleri olmadan yalnız başlarına kullanıldıkları takdirde kendilerinden beklenen mekanik, kimyasal, fiziksel ve atmosferik şartların gerektirdiği özellikleri yerine getirememektedir. Bu sebeple PVC’den beklenen performans elde edebilmek amacıyla katkı maddeleri katılmaktadır. Genel olarak bir PVC’nin formülasyonu; PVC reçinesi, stabilizatörler,

kaydırıcılar, katkı maddeleri, darbe modifiye ediciler, proses yardımcıları ve renk verici pigmentlerden oluşmaktadır [26].

3.1.1. PVC hammaddesi

PVC ısıl olarak hassas bir termoplastik polimerdir. Reçine yüksek devirli bir karıştırıcıda yoğrulmakta ve elde edilen karışım granül haline getirilerek bir sonraki işlem için soğutulmaktadır. Son ürüne dönüşmesini sağlamak ve özelliklerini geliştirmek için bazı katkıların eklenmesi gerekmektedir [26].

3.1.2. Stabilizatörler

Isı ve ışık gibi etkiler PVC’de bozunmaya neden olmaktadır. Bu nedenle ısı stabilizatörleri PVC polimerlerinin yüksek sıcaklıklarda işlenmesi sırasında gerekli olan katkı maddeleridir. Bu stabilizatörler, PVC’nin yüksek sıcaklıkta işlenmesi sırasında ortaya çıkan HCl ile reaksiyona girerek hidroklorinasyon zincirleme reaksiyonuna engel olmaktadır. Sonuçta, polimer zinciri boyunca klorürlerin oto katalitik bir şekilde koparılması stabilizatör tarafından engellenmektedir. Ayrıca ısı stabilizatörleri PVC’de ultraviyole veya gamma ışınları nedeniyle olan bozunmalara da engel olurlar. Bir stabilizatörün seçiminde sağlanması gereken kararlılığın yanında; polimerle uygunluk, uçuculuk, koku, zehirlilik, plastik işleme metodu üzerine etkisi, ürün verimi üzerine etkisi, ekonomiklik de önemli olmaktadır [26]. PVC için kullanılan bazı stabilizatörler Tablo 3.1.’de verilmektedir.

Tablo 3.1. PVC için kullanılan bazı stabilizatörler [26]

İsim	Uygulama alanı
Bazik kurşun karbonat	Düşük sıcaklık ve esnek uygulamalar
Tri bazik kurşun sülfat	Esnek ve rijit uygulamalar
Organo fosfit	Rijit uygulamalar
Diketon	Çok yüksek sıcaklık ve hava direnci bina dış uygulamaları
Fenolik antioksidan	Bina dış uygulamaları
Organotin karboksilat	Rijit uygulamalar

Kurşun içerikli stabilizatörler PVC’de ısı stabilizatörü olarak kullanılmaktadır. Bu stabilizatörler içinde ucuzluğu nedeniyle bazik kurşun karbonat en fazla kullanılanıdır ve çok düşük bir derişimde bile ürünü opak hale dönüştürmektedir. Dibazik kurşun fosfat dış uygulamalar (boru vb.) için uygun ancak pahalı bir stabilizatördür. Tribazik kurşun sülfat opak tatbikatlar, dibazik kurşun fosfat renk verici ve opak tatbikatlarda kullanılmaktadır. Kurşun stearat da hem stabilizatör hem de kaydırıcı olarak kullanılır. Ancak kurşun içerikli stabilizatörler, zehirlidir ve şeffaflık istenen uygulamalarda kullanılamamaktadır. Zehirli oluşları sıkı düzenlemelere tabidir. Kurşun stabilizatörlerin çoğu pasta olarak veya granül halinde satılır. İnorganik metal tuzlarından sodyum karbonat, baryum silikat ve baryum polifosfat da stabilizatör olarak kullanılabilir [26].

Metallerin organik yağ asitleri ve organik asitlerle yaptığı stearat, asetat, benzoat ve karbonsilat sabun karışımları da PVC stabilizatörü olarak işlev görmektedir. En yaygın kullanımı olan karışık sabunlar baryum-kadmiyum, baryum-çinko ve kalsiyum-çinko karbonsilatdır. Kadmiyum ve çinko sabunları plastiğin rengini korumakta ve klorürleri değiştirerek oluşan HCl’i absorblayarak plastiğe kararlılık kazandırmaktadır. Metal sabunları katı veya sıvı halde olabilirler ve katı metal sabunlarının kaydırıcılık özellikleri de bulunduğu için sert uygulamalarda kullanılmaktadır. Kalsiyum-çinko sabunları zehirli olmayan stabilizatörler olup, gıda maddeleri paketleme malzemelerinde kullanılmaktadır [26].

Kalay içerikli stabilizatörler tetravalent veya mono, dialkali kalay bileşikleridir. Dialkali kalayların özellikleri, taşıdıkları alkil gruplarına (R) ve asit gruplarına (Y) bağlıdır. Dialkali kalay bileşiklerinin zehirliliği, alkil zincirinin C sayısı arttıkça azalmaktadır. Bu nedenle yiyeceklere temas eden PVC malzemelerde ısı stabilizatörü olarak oktil grubu içeren kalay bileşikleri kullanılmaktadır. Isı stabilizatörü olarak kullanılan bir başka sınıf organokalay bileşiği ise, kükürt içeren tiyo-kalay bileşikleridir. Dibutil kalay bis (izo-oktilmerkaptasetat) bu tür bir bileşik olup, polimere mükemmel ısı kararlılığı ve şeffaflık vermektedir. Ancak genelde tiyo-kalay bileşikleri kötü kokuludur ve ısıya dayanıklılıkları zayıftır. Kalay bileşiklerinin bu sonuçlarını ortadan kaldırmak için modifiye edilmiş veya harmanlanmış stabilizatörler

hazırlanmıştır. Kalay stabilizatörlerinin en olumsuz yönü, fiyatlarının yüksek oluşudur [26].

3.1.3. Kaydırıcılar

PVC'nin işlenmesi sırasında ortaya çıkan baskı ve kuvvetleri azaltmak için ortama kaydırıcı olarak adlandırılan düşük molekül ağırlıklı maddeler katılmaktadır. Bu maddeler polimerin işleme özelliklerini geliştirmekte ve iyileştirmektedir. Kötü dengelenmiş kaydırıcı sistemler işleme ekipmanının yüzeyinde katıların birikmesine ve sonuçta ekipmanın devreden çıkarılıp temizlenmesine neden olmaktadır. Kaydırıcılar, temelde iç ve dış kaydırıcılar olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

Dış kaydırıcılar işleme sıcaklıklarındaki PVC bileşimleri ile uyumsuzluk gösteren (PVC içinde çözünmeyen veya homojen bir şekilde dağılmayan) maddelerdir. Dolayısıyla bu tür kaydırıcılar PVC bileşikleri ile işleme ekipmanlarının metal yüzeyleri arasında ara yüz olarak davranmakta ve erimiş PVC'nin işleme ekipmanına yapışmasına engel olmaktadır. PVC'nin işleme ekipmanı içindeki davranışı dış kaydırıcı içeriğine bağlıdır. Ayrıca bu maddeler jelleşme işlemi sırasında polimer partikülleri arasındaki sürtünmeyi azaltarak ısı birikimini geciktirmekte ve jelleşmeyi engellemektedir.

İç kaydırıcılar PVC ile daha iyi uyumluluk gösteren maddelerdir. Bunlar, PVC içerisinde iyi çözünmekte ve polimer molekülleri kuvvetleri zayıflatarak moleküller arası sürtünmeyi azaltmakta, polimerin akışkanlığını arttırmakta ve üretimin yükselmesini sağlamaktadır. İdeal bir iç kaydırıcı PVC'nin sadece işleme özelliklerini etkilemelidir. Ancak iç kaydırıcıların Çoğu PVC'nin camsı geçiş sıcaklığı (T_g)'yi ve diğer bazı özelliklerini düşürmektedir. İç kaydırıcıların kullanılmasıyla plastik yüzeyine yazı yazılması ve yüzeyin boyanması sırasında bir sorunla karşılaşmamaktadır. PVC için kullanılan kaydırıcılar Tablo 3.2.'de verilmektedir [27].

Tablo 3.2. PVC formülasyonlarında kaydırıcı olarak kullanılan maddeler [27]

İç Kaydırıcılar	Dış Kaydırıcılar
Parafin mum	1,2-hikroksistearik asit
Düşük yoğunluklu polietilen	Stearik asit
Karboksil asit ester	Hidrokarbonlar
Gliserol ester	Yağ asitleri
Montanik asit ester	Okside polietilen

3.1.4. Darbe modifiye ediciler

Darbe modifiye edici maddeler, PVC'ye sertlik kazandıran lastiğimsi maddelerdir ve PVC ile karıştırıldıklarında ayrı bir faz oluşturmaktadır. PVC sert bir polimer olmasına rağmen bazı PVC uygulamaları, basit rijit formülasyonlardan daha yüksek sertlik veya düşük sıcaklıklarda sertlik istemektedir. Bu tür uygulamalar için PVC formülasyonuna darbe modifiye ediciler katılmaktadır. PVC'de darbe modifiye edici olarak şeffaflık isteyen uygulamalarda metil- metakrilat-butadien-stiren (MABS) kopolimeri kullanılır. Kopolimerin refraktif indisi PVC'ninki ile aynı olacak şekilde üretilmektedir. Ayrıca akrilik lastikler, kopolimerleri dış uygulamalarda kullanılan PVC'ler için darbe modifiye edici olarak kullanılır [26].

3.1.5. Proses yardımcıları

Proses yardımcıları, rijit PVC formülasyonlarının işleme özelliklerini geliştirmeye yarayan ve PVC ile uyumluluk gösteren polimetilmetakrilat ve polistiren akrilonitril gibi amorf polimerlerdir. Bu maddeler PVC taneciklerinin (partiküllerinin) füzyonunu (kaynaşmasını) kolaylaştırmakta ve polimer eriyiğinin viskozitesini değiştirmektedir. Bu yardımcılar kaynaşmanın ilk aşamasında PVC partikülleri arasındaki ilişkiyi arttırmakta ve partiküllerin daha kolay şekillerini kaybedip kaynaşmasını sağlamaktadır [27].

3.1.6. Boyar maddeler

Plastiklerin boyar maddelerle renklendirilmesinde amaç, ürünün daha güzel görünmesidir. Boyar maddeler ile plastikleri renklendirmek için 3 yöntem vardır.

Bunlar; ürünün formülasyonuna boyar madde katarak renklendirme, ürünün üretimi sırasındaki renklendirme ve üretimden sonra ürünün yüzeyinin boyanmasıdır.

Ürünün formülasyonuna boyar madde katarak renklendirme yönteminde, boyar madde polimer ile çok iyi bir şekilde karıştırılmalı ve homojen bir karışım elde edilmelidir. Bunu sağlamak için de toz veya granül halindeki plastik ile boyar madde karıştırıcılarla birbirlerine karıştırılmakta ve bu karıştırma sırasında sürtünme sonucu oluşan statik elektrik yükü nedeniyle boyar madde toz veya granüller polimerin yüzeyine yapışmaktadır. Ortama bu yapışmayı kolaylaştıran maddelerin eklenmesiyle renklendirme daha da kolay hale gelir. Ürünün üretimi sırasındaki renklendirme ise, plastik maddeyi şekillendiren makinelerde yapılır. Üretimden sonra ürünün boyanması ise, ürüne renk vermede en çok uygulanan yöntemdir. Son şekli verilmiş plastik madde, boyar maddenin bir çözücünde veya sudaki çözeltisine daldırılarak veya üzerine boyar madde çözeltisinin püskürtülmesiyle renklendirilmektedir.

Plastik boyar maddeler, pigmentler ve boyalar olmak üzere 2 sınıftırlar. Pigmentler katıldıkları ortamda çözünmeyen maddelerdir ve plastiklerde dağılarak şeffaf veya opak renk vermektedir. Boyalar ise sadece şeffaftırlar, ışığı emer ve dağıtmaktadır. Bunun nedeni de boyalarla pigmentlerin partikül büyüklüklerinin farklı olmasıdır. Pigment partikülleri daha büyük olup, ışığı kırar ve ayırmaktadır. Dolayısıyla boyaların sağladığı yüksek şeffaflığı sağlayamamaktadır. Renk verici olarak pigmentler organik veya inorganik, doğal veya yapay kökenli olabilmektedir.

İnorganik pigmentler özgül ağırlığı yüksek ve partikülleri büyük olan maddelerdir ve boyalara göre yüzey alanları az olmaktadır. Sert PVC basınçlı boru üretiminde beyaz renk verici olarak kullanılan pigment, titan dioksit (TiO_2)'dir. Bu pigment ucuzluğu, boyama gücü, opaklığı reaksiyona az girmesi ve mükemmel ısı dayanıklılığından dolayı her zaman tercih edilmektedir. PVC dahil plastiklerde kullanılan diğer pigmentler, demir oksitleri ve kursun kromat bileşikleridir. Ayrıca verdikleri renklere göre inorganik pigmentler beyaz, mavi, kırmızı, sarı, yeşil, kahverengi ve metalik pigmentler olarak da sınıflandırılmaktadır. Polimer boyar maddelerinin diğer sınıfı olan organik boyaların boyama gücü pigmentlere göre daha fazladır ve bunlar organik

çözücü ile polimerde daha kolay ve çabuk çözünmektedir. PVC plastiğinde en çok kullanılan organik boyalar Isoindolinones boyaları, tetrakloromaroon ve karbon siyahıdır. Karbon siyahı plastiğe siyah renk vermesinin yanında plastiği UV ışınlarına karşı kormakta, termal kararlılığını ve fiziksel özelliklerini arttırmakta ve antistatik madde olarak işlev görmektedir. PVC’de kullanılan bazı pigmentler Tablo 3.3.’te verilmiştir [6].

Tablo 3.3. PVC’de kullanılan bazı renk verici pigmentler [6]

Verilen Renk	Sentetik İnorganik Pigmentler	Sentetik Organik Pigmentler
Siyah	Karbon siyahı ve demir oksit	Anilin siyahı
Beyaz	Titan oksit	-
Kırmızı	Kadmiyum kırmızısı ve kurşun molibdat	Azo kırmızısı, Perilen kırmızısı ve isoindolinone
Kırmızı-kahverengi	İndian demir oksit	-
Sarı	Krom sarısı	Azo sarısı
Yeşil	Krom yeşili	Ftalosiyanin yeşili
Mavi	Krom mavisi	Ftalosiyanin mavisi

BÖLÜM 4. KATKI MALZEMELERİ

Katkı maddeleri hem rijit hem de plastikleştirilmiş PVC'ye katılmaktadır. Katkı maddelerinin katılma nedenleri olarak ürünün maliyetini düşürmek, ürünü sağlamlık ve sertlik vermek, ürünün ısıya karşı dayanıklılığını geliştirmek, direncini arttırmak, ürünün görünüşünü ve yoğunluğunu değiştirmek sayılabilmektedir.

Katkı maddeleri küresel ve sferoidal maddeler olup, polimerle aralarında azda olsa bir çekme kuvveti olduğundan kolaylıkla polimerlere karışmaktadır. Formülasyonda katkı maddesi oranı arttıkça polimer daha kırılgan bir yapıya sahip olmaktadır. Katkı maddeleri inert katkı maddeleri ve reaktif (etkin) katkı maddeleri olarak iki kısma ayrılırlar. İnert katkı maddeleri, içine katıldıkları plastiklerde; yoğunluğun artması, elastiklik modülü ile sıkıştırılmaya ve esnetilmeye dayanımının artması, kalıpta büzülme miktarının azalması, sertliğin artması ve işlenmiş ürün yüzey özelliklerinin iyileşmesi, ısıyla deformasyon sıcaklığının artması, ürün maliyetinin düşürülmesi beklenmektedir. Reaktif katkı maddeleri ise içine katıldıkları plastiklerde kopma mukavemeti ve kopma geriliminin artması, elastik modülünün artması, esnekliğin azalması, ısıyla deformasyon sıcaklığının artması, kalıpta çekme miktarının azalması, darbe dayanımının artması, yük altında soğuk akma özelliğinin iyileşmesi beklenmektedir [27].

Katkı maddesi olarak karbonatlar (kalsiyum karbonat), silikatlar (talk, asbest, kaolin, mika, çeşitli silikatlar), silisyum dioksit (SiO_2), çeşitli mineraller, alüminyum trihidrat, metal oksitler, karbon siyahı, organik katkı maddeleri (odun talaşı, öğütülmüş fındık vb. kabuğu), cam elyaf, içi dolu veya boş cam kürecikler, karbon ve aramid elyaf kullanılmaktadır [27]. Kullanılacak katkı madde miktarı amaca bağlı olarak değişmektedir. Örneğin basınçsız boru uygulamalarında kalsiyum karbonat katkı

maddesi olarak kullanılmakta ve PVC polimerinin her 100 kg'ına 15 – 20 kg katılmaktadır [28].

4.1. Kalsiyum Karbonat

Kalsit (CaCO_3) PVC sektöründe katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. CaCO_3 minerali inert bir katkı malzemesidir, fiziksel ve mekanik özellikler ile düşük maliyet arasında dengeyi sağlamaktadır. CaCO_3 alev geciktirici, darbe mukavemetini artırıcı ve beyaz renk verici özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Kalsiyum karbonatın en önemli özelliği, PVC'ye katıldığında su absorpsiyon yüzdesini arttırmasıdır. Belirtilen olumsuz etkiyi önlemek ve CaCO_3 'ın PVC içindeki dağılımını arttırmak amacıyla kalsiyum karbonatın yüzeyi kaplanmaktadır. CaCO_3 kalıp çekmesini, çekme mukavemetini ve uzamayı azaltmaktadır. Kaplamalı kalsit tipleri kullanıldığı zaman darbe mukavemeti, boyutsal kararlılık ve uzun süreli ısı dayanımını arttırmaktadır [28].

4.2. Kesme Atığı

Bu çalışmada katkı malzemesi olarak cam fiber takviyeli poliestere (CTP) boru kesme atığı kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan kesme atığı, CTP boru üretiminde borunun boyca kısaltılması, conta kanalı açılması ve ek parçalarının şekillendirilmesi sırasında ortaya çıkmaktadır. Kullanılan atık pres sisteminden kazanılmaktadır. Filtre pres sistemi kullanılarak, mamül halindeki CTP boruların, sulu kesim işlemi sırasında ortaya çıkan atığın suyu uzaklaştırılmakta ve kek halinde atık çıkmaktadır.

CTP borunun birçok üstün özelliği bulunmaktadır. Korozyona dayanıklı, metal olmayan malzemeden üretilmektedir. Bu nedenle işletme zorlukları ve masrafları yoktur. Beton borunun 1/10, çelik borunun 1/4 ağırlığındadır. Sürtünme kayıplarının az olması, daha düşük pompaj enerjisi gerektirmektedir. Metal ve beton esaslı borulara göre, daha küçük boru çaplarıyla aynı debinin geçirilmesini sağlamaktadır. Kireç ve tortu oluşturmamaktadır. CTP boruların minimum 50 yıl hizmet süreleri bulunmaktadır. Zemin üstüne veya altına döşendiği gibi su altına da döşenmektedir.

Contalı manşon bağlantılarıyla tam sızdırmazlık sağlamaktadır. Esneme özelliğine sahiptir. Deprem bölgelerinde başarıyla uygulanmaktadır. Eski hatların yenilenmesinde (relining) mevcut boruların içine döşenebilmektedir Şekil 4.1.'de sahada yapılan CTP boru montajı görünümü verilmektedir [29].



Şekil 4.1. CTP boru montajı görünümü [29]

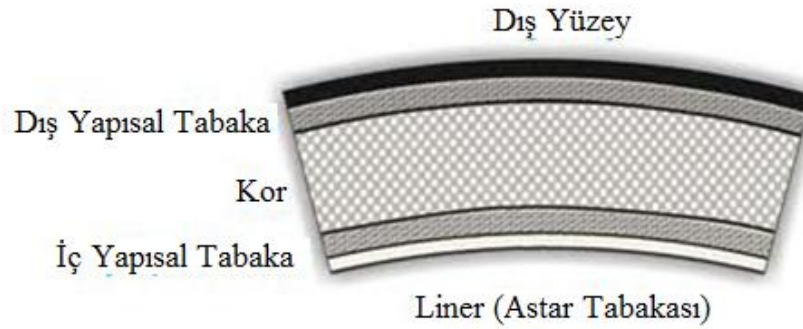
CTP boru sürekli elyaf sarma metodu ile üretilmektedir. Üretimin gerçekleştirildiği makine ana şaft, üzerine monte edilen mandreller ve silindirik yapıyı oluşturmak üzere mandreller üzerine monte edilen kirişler üzerine sarılmış olan sürekli banttan oluşmaktadır. Kirişler döndükçe, bant aksel olarak mandrelin ucuna doğru hareket etmekte ve kompozit yapıyı oluşturacak ana ve yardımcı malzemelerin gereken miktarlarda mandrel üzerine uygulanması sağlanmaktadır. Kalıp ayırıcı, yüzey bandı, poliester, kırpık ve sürekli elyaf ve yüzey bandı olacak şekilde uygulanmaktadır. Bu arada katkı malzemesi borunun yapısal katmanı içine homojen bir şekilde tatbik edilmektedir. Açıklanan aşamalardan sonra, boru mandrel üzerinde ilerlemeye devam ederek ısıtma bölgesinden geçmekte ve sertleşmenin gerçekleşmesinden sonra istenilen uzunlukta otomatik olarak kesilmektedir. Kanalizasyon ve benzeri atık sular nedeniyle korozyon ortamlarında kullanılacak borular için, borunun iç tabakasına özel bir poliester uygulama imkanına da sahiptir. Borunun diğer katmanlarında ise farklı poliester uygulanarak maliyeti düşürmek mümkün olmaktadır. Şekil 4.2.'de CTP borunun sürekli elyaf sarma metodu ile üretimi görülmektedir [29].



Şekil 4.2. CTP boru sürekli elyaf sarma metodu [29]

Poliester, ana üretim makinesine pompalanırken, sertleştirici dahili hattaki mikser yardımıyla önceden aktive edilmiş poliestere uygulanmaktadır. Böylece yeni karışım, borunun üretim anında istenilen özelliklerine uygun olarak bir jelleşme süresine sahip olmaktadır. Sonra, poliester karışımının birleştireceği kompozit yapıyı oluşturan diğer maddeler, otomatik kontrollü bir şekilde sırayla uygulanmaktadır. Hammaddelerin uygulanmasından sonra oluşan bu kompozit yapı, ekzotermik reaksiyon ile sertleşmenin meydana geldiği aşamada ısıtıcıların arasından ilerlemeye devam etmektedir. Daha sonra, borunun ilerleme hızıyla senkronize olarak çalışan otomatik kesme ünitesi yardımıyla, boru kesilmektedir. Bir sonraki aşamada ise kalibrasyon ünitesinde eğer ihtiyaç varsa, borunun iki ucu kalibre bölgesi boyunca gereken dış çapa gelmesi için kalibrasyona tabi tutulmakta ve ağız kısmı kesilmektedir. Bu noktada borunun üretimi tamamlanmış olup hidrostatik basınç deney makinesinde deney edilebilir hale gelmektedir. Boru gerçek montaj şartlarında maruz kalacağı muhtemel kuvvetleri simüle edecek şekilde bu üniteye yerleştirilmekte ve belirlenen sürede basınç sızdırmazlık deneyi gerçekleştirilmektedir. Sürekli elyaf sarma tekniği, kalite, hız ve ekonomi dikkate alındığında en gelişmiş teknolojidir. Bu prosesde mevcut ekipmanlarla 300–4000 mm çapları arasında, 32 atm'e kadar basınçta CTP boru üretilabilmektedir.

Proseste üretilen borular lineer, iç yapısal tabaka, kor, dış yapısal tabaka olarak 4 bölümden oluşmaktadır. Yapısal tabakalarda elyaf takviyesi bulunmaktadır. Kor bölgesi silika kumdan oluşmakta ve bu bölge borunun rijitlik özelliğini sağlamaktadır. Şekil 4.3.'te tabakalar verilmektedir [29].



Şekil 4.3. Üretilen boru tabakaları şematik görünümü [29]

CTP boruları cam elyaf takviye malzemeleri, termoset poliester reçine kum katkı kullanılarak üretilmektedir. Kesintisiz (hoop) ve kırılmış (chop) cam elyaflar beraber kullanılmaktadır. Rijitliği arttırabilmek için kor bölgesine kum takviyesi yapılmaktadır. Poliester reçine olarak; vinil ester, izofitalik, terafitalik, ortaftalik gibi reçineler kullanılmaktadır. Poliester reçinenin viskozitesi çok yüksektir. Viskozitenin azaltılması (akışkanlığın arttırılması) amacıyla reçine stiren ile inceltilmektedir. Reçinenin kürleşme hızını arttırmak için peroksit, kürleşmeyi daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirebilmek için ise kobalt kullanılmaktadır. CTP boru, üretim hattında çelik bantların üzerinde yapılmaktadır. Çelik bant ile borunun birbirine yapışmaması ve kolay ayrılabilmesi için relase film kullanılmaktadır. Üretim sonrasında ise relase film boru içinden çıkartılmaktadır. CTP boru iç ve dış yüzeylerinde pürüzsüz bir görüntü elde edebilmek için cam elyaf esaslı yüzey bandı kullanılmaktadır [29]. Kesme atığı üretimden anlaşıldığı üzere SiO_2 , cam fiber parçacıkları ve poliester içermektedir.

Zhu ve arkadaşları polimetilmetakrilat (PMMA), SiO_2 nano partiküllerin sentezi ve PVC kompozitlerin mekanik özellikleri adlı çalışmalarında, PMMA ve SiO_2 nano partiküller kullanılarak sulu bir çözelti hazırlamıştır. Daha sonra bu partikülleri, PVC matriks içinde kullanmış ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Zhu ve arkadaşları PVC'ye SiO_2 dolgusunun çekme mukavemeti ve ısısal kararlılığın arttığını %5 SiO_2 ve PVC matris ara yüzünde iyi bir yapışma olduğu gözlemlemişler ve sonuç olarak mekanik özelliklerin artabileceğini göstermişlerdir [14].

Kaya' ya göre SiO_2 PVC'ye yüksek elastiklik modülü, çekme mukavemeti ve ergime akış indeksi kazandırmakta ve aşınma direnci artarken, yoğunluk azalması

gözlemlenmektedir. Cam katkı malzemeleri PVC'ye yüksek eğilme modülü, çekme direnci ve erime indeksini artmasına rağmen darbeye karşı direnci azalmaktadır. Silika katkı malzemesi ile PVC'de aşınma direnci artmakta, yoğunluk azalması gözlemlenmektedir. Cam elyafın öğütülerek kullanılması PVC içerisinde iyi bir dağılım sağladığı gibi PVC'yi mükemmel bir şekilde takviye etmektedir. Öğütülmüş cam elyaf, PVC'nin mekanik özelliklerini arttırmaktadır [4]. Cam bilye, katı camsı kürecik yapısındadır ve plastik malzemelerde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Cam bilye ile yüksek termal dayanım elde edilebilir. Cam bilye, küresel şekline bağlı olarak iç direncin dispersiyonuna yardımcı olur, ayrıca lamellar yapısına sahip diğer katkı malzemelerine kıyasla plastiklerin kırılma dayanımını azaltmaktadır [30].

BÖLÜM 5. PVC KOMPOZİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ

PVC'nin ekstrüzyon, kalenderleme (şerit ve levha haline getirme) ve kalıplama olmak üzere üç tür üretim yöntemi vardır. Bu üretim yöntemleri kullanılarak PVC'nin birçok alanda uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamaların bazıları Tablo 5.1.'de verilmektedir [31].

Tablo 5.1. PVC üretim yöntemleri ve kullanım alanları [31]

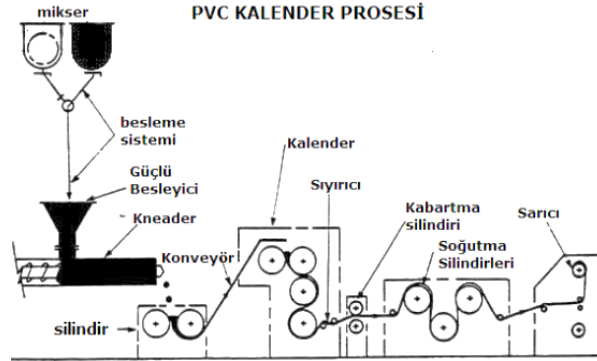
Üretim Yöntemleri	Plastikleştirilmemiş Uygulama	Plastikleştirilmiş Uygulama
Kalenderleme	Yer döşeme karoları, paketleme tabakaları, fil ve folyo, yüzme havuzu kaplamaları, dekoratif kaplamalar, sert tabakalar	Yer karoları, oyuncak yapımı
Enjeksiyon	Boru bağlantı parçaları, elektrik ve ekipmanları, yatak yuvaları	Ayakkabı, sandalet ve ayakkabı topukları
Ekstrüzyon	Basınçlı boru, sulama ve pis su boruları, şişe profilleri, tüpler, filmler, kablolar, kayışlar	Su ve hava hortumları

5.1. Kalenderleme ile PVC Kompozit Üretimi

Kalenderleme, şerit ve levha üretiminin temel uygulaması olup, prensip olarak birbirine karşı dönen iki merdane arasındaki açıklıktan malzemenin geçirilerek film ve şerit haline getirilmesidir. Kalenderlemenin üstünlükleri nedeniyle, ekstrüzyonla şerit ve levha üretimi ikinci plana kalmaktadır. Kalenderleme yoluyla yapılan bazı uygulamalar kumaş kaplaması ve suni deri yapımıdır. Ayrıca PVC'den yapılmış yumuşak ve sert yer döşemeleri de kalenderleme ile üretilmektedirler [32].

Kalender prosesleri kompleks ve kapsamlı birkaç adımdan oluşmaktadır. Öncelikle bileşimi oluşturan malzemeler homojen olarak karıştırılmaktadır. Karıştırma sırasında 100 °C ısıya çıkılıp daha sonra soğutma işlemi yapılmaktadır. Diğer bölümde karışım erimektedir. Homojenleştirme ve erime işlemlerinden sonra malzeme kalendere

girmektedir. Kalenderden geçen ürün film veya şerit şeklinde olmaktadır. PVC kalenderleme prosesi Şekil 5.1.'de verilmektedir [32].

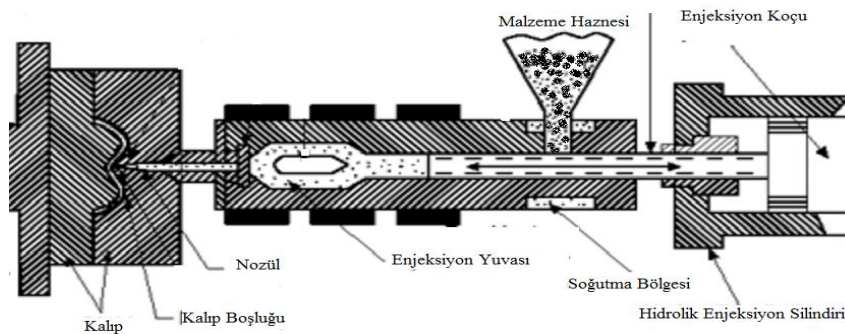


Şekil 5.1. PVC kalenderleme prosesi şematik gösterimi [32]

5.2. Enjeksiyon ile PVC Kompozit Üretimi

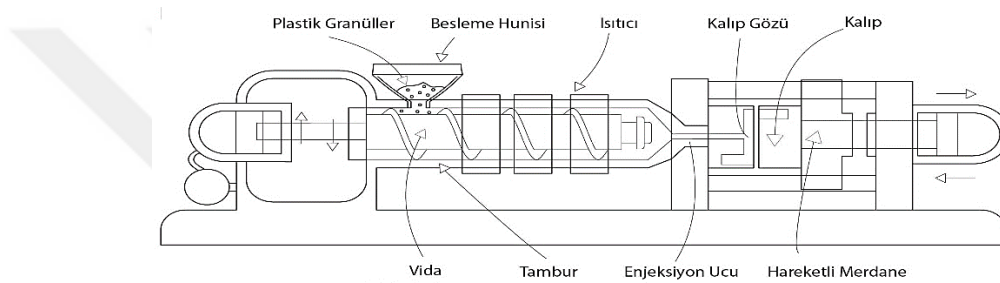
Bu metotta, üretilecek malzeme ısı etkisiyle akışkan hale getirildikten sonra bir piston ya da vidaya uygulanan basınçla kalıp boşluğuna itilmektedir. Temel olarak iki tip enjeksiyon kullanılmaktadır.

Pistonlu preslerde, dalıcı bir iç pistonla donatılmış bir silindirin çeperlerine temas ettiğinde akışkan hale gelen malzeme, hidrolik sistemle çalışan bir pistonla kalıba itilmektedir. Bu presler çok yalındır, ancak yüksek düzeyde bir enjeksiyon basıncı gerektirmekte ve malzemenin akışkanlaştırılması sırasında geçen süre nedeniyle hızlı bir çevrimin uygulanmasına el vermemektedir. Şekil 5.2'de piston tipi enjeksiyonun şematik gösterimi verilmektedir [33].



Şekil 5.2. Piston tipi enjeksiyon şematik gösterimi [33]

Vidalı preslerde huniden beslenen malzeme, helisel bir vidada akışkan hale getirilmektedir. Vidanın asıl işlevi, malzemeyi ısıtılmış çepelere temas ettirerek ve iyice karışıp homojen bir yapı elde ederek memeye yani, çıkışa doğru itmektir. Düzenli aralıklarla memede biriken malzeme, piston gibi çalışan vidanın çok hızlı devinimiyle kalıba püskürtülmektedir. Kalıp dolmakta ve soğutularak, polimer sertleştirilmesi sağlanmaktadır. Parça, kalıp açılarak çıkartılmaktadır. Aynı anda, vida; başlangıç noktasına geri dönmekte, besleme hunisinden katı hammaddeyi almakta ve ikinci periyot başlamaktadır. Şekil 5.3.'te sonsuz vidalı enjeksiyon kalıplama sistemi şematik gösterimi verilmektedir [33].



Şekil 5.3. Sonsuz vidalı enjeksiyon kalıplama sistemi [33]

Her iki durumda da kalıp, enjeksiyon ve soğutma işleminden sonra arka bölümün geri itilmesiyle açılmakta ve parça kalıptan dışarı alınmaktadır. Enjeksiyonla kalıplama, sıcaklık, basınç ve çevrim süresi gibi üç temel unsura bağlıdır. Birbirleriyle doğrudan ilişkili bu parametreler özenle denetlenmelidir. Aşırı basınç önce yükseltgenmeye, sonra karbonlaşmaya yol açmakta, bu da bitmiş parçanın üzerinde lekeler ve yanıklara neden olmaktadır. Malzemenin akışkanlığının, enjeksiyon parametreleri seçiminde önemli etkisi olmaktadır [33]. Plastikleştiricisiz PVC'nin enjeksiyonlanması ile bazı sert PVC boru ekleme parçaları, şişeler ve elektrik ekipmanları üretilmektedir [31].

5.3. Ekstrüzyon ile PVC Kompozit Üretimi

Ekstrüzyon üretiminde kullanılacak hammaddeler reçeteye uygun şekilde ayarlandıktan sonra ekstrüzyona gelmeden önce PVC üretimi için tasarlanan ısıtıcılı mikserde karıştırılmaktadır. PVC mikserde dozajlanan ürün kanatların yüksek devri nedeniyle sürtünmeden dolayı 120°C sıcaklığa kadar karıştırılmaktadır. 120°C

sıcaklığa ulaşan ürün sıcak mikserdeki boşaltma şutundan soğutucu miksera nakli yapılmakta ve karışım 45 dereceye kadar soğutulmaktadır, uygun sıcaklığa ulaşan karışım hammadde dinlenme bunkerlerine nakledilmektedir [26]. Hammadde neminin alınması ve stabilizatörün eriyip homojen bir karışım elde edilmesi amacıyla mikser sistemi kullanılmaktadır [34]. Sanayide PVC için kullanılan mikser Şekil 5.4.'te verilmektedir.



Şekil 5.4. PVC üretimi için kullanılan mikser sistemi [34]

Plastik bir maddenin akıcı hale getirilerek belirli bir şekil vermek üzere, dar ve şekilli kalıplardan basınçla geçirilmesi olayına “ekstrüzyon” denilmektedir. Plastikleştirici katılmış veya katılmamış PVC’nin ekstrüzyon ile özellikle boru üretimi ve kablo kılıflama en belli başlı uygulamalardır. Ekstrüzyonda kullanılan PVC, granül veya toz halindeki karışımlardır. Eğer PVC hurdalarının tekrar ekstrüderde kullanılmaları istenirse, hurda da atmosferden emilen ve tıkanmadan kalan suyun kurutulması gerekmektedir. Ekstrüzyon yoluyla profil çekimi (şekillendirilmesi), boru ve hortum çekimi, kablo izolasyonu ve kılıflama, ekstrüzyon üfleme ile kalıplama ve levha çekimi yapılabilmektedir [35]. Ekstrüzyon yöntemi, polimerin erimesi için gerekli ısı teminine göre, polimerin yumuşatılmasına göre ve vida sayısına göre üç şekilde sınıflandırılmaktadır.

Polimerin erimesi için gerekli ısı teminine göre iki çeşit ekstrüzyon bulunmaktadır. Polytropik karakterli ekstrüderde polimerin erimesi diğer bir deyişle reçinenin yumuşaması için gerekli ısı iç sürtünme ısısının yanısıra kovana (silindire) monte edilen elektirikli ısıtıcı bantların verdiği ısı ile karşılanmaktadır. Adiabatik karakterli

ekstrüderde ise sisteme dışardan ısı verilmemektedir. Polimerin erimesi için gerekli ısı, sonsuz vidanın (helezonun) dönmesi ile karşılanmaktadır. Ancak bu sistemde vidanın dönme sayısı polytropik karakterli ekstrüdere göre daha fazladır. Üretimin başlamasından sonra sabit bir sıcaklık eldesinin zor olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Polimerin yumuşatılmasına göre iki çeşit ekstrüzyon bulunmaktadır. Kuru ekstrüzyonda reçinenin yumuşaması sadece ısı ve iç sürtünmelere dayanmaktadır. Islak ekstrüzyonda, yüksek sıcaklıklarda alevlenme ve yanma tehlikesi gösteren selüloz nitrat gibi reçinelerde yumuşatma bir çözelti yardımı ile yapılmaktadır. Bu yöntemde, daha düşük sıcaklıkta ısıtma yapılmaktadır.

Vida sayısı bakımından da iki çeşit ekstrüzyon bulunmaktadır. Tek vidalı ekstrüderler genellikle üretim miktarlarının düşük olduğu durumlarda kullanılan ve tercih edilen makinelerdir. Tek vidadan oluşan bu makineler genellikle granül, boru, film üretiminde ve şişirme makinelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çift vidalı ekstrüderler ısıya hassas plastiklerin ekstrüzyonunun tek vidalı ekstrüderlerle problemlili olması özellikle sürtünmenin de bu problemi arttırıcı etki yapması işlemin çok vidalı ekstrüderlerde gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Çift vidalı ekstrüderlerde, sürtünmenin etkisi azaltılmakta ve ekstrüder içindeki basınç farkından dolayı malzemenin özellikle yüksek basınca sahip kalıp bölgesinden daha düşük basınca sahip bölgelere vida boyunca geriye akması önlenmektedir. Birbirine paralel iki vida kullanılan bu ekstrüder sisteminde PVC ve granül hammaddeleri, kapı-pencere profili, değişik ebatlarda borular, özel tip profiller, karmaşık profiller gibi ürünler üretilmektedir [36]. Şekil 5.5.'te çift vidalı sistem görülmektedir.



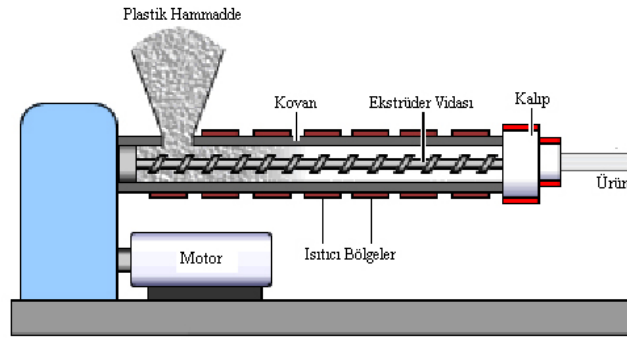
Şekil 5.5. Ekstrüzyon sisteminde kullanılan çift vida görünümü

PVC tek veya çok vidalı ekstruderlerde başarıyla çekilebilmektedir. Tek vidalı ekstruderler genellikle plastifiyan katılmış PVC ve çift vidalı ekstruderler rijit PVC karışımları için kullanılmaktadır [4]. Bu çalışmada tüm numuneler çift vidalı ekstrüzyon ile üretilmiştir. Çalışmada kullanılan laboratuvar tipi ekstrüzyon cihazı Şekil 5.6.'da verilmektedir.



Şekil 5.6. Laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüzyon cihazı

Genellikle granül ya da toz halinde bulunan plastik hammaddesi bir besleme tankından ekstruder vidasına beslenmektedir. Plastik vida kovanı boyunca, kovan etrafındaki ısıtıcılar ve vidanın dönmesi ile içeride oluşan “kesme (shear)” ile ısınarak hareket etmektedir. Plastiğin sıkışması için vida dişlerinin derinliği vida boyunca azalmaktadır. Ekstruder çıkışında plastik eriyiği istenilen şekilde bir ekstrudat oluşturulmak üzere bir kalıptan geçmektedir [35]. Ekstrüzyon makinesi çalışma prensibi Şekil 5.7.'de gösterilmektedir [35].



Şekil 5.7. Ekstrüzyon makinası çalışma prensibi gösterimi [35]

Bir ekstrüzyon ünitesi ekstrüder, kalıp, kalibre, çekici, kesici ve depolama ünitelerinden meydana gelmektedir. Ekstrüder kalıba gönderilecek malzemeleri istenilen basınç ve sıcaklıkta kalıba pompalayarak kalıpta üretilmek istenen geometrinin şekli verilmektedir. Kalıp çıkışında kalibreye giden malzemeye hem son şekli verilmekte hem de bir miktar soğutulmaktadır. Daha sonra malzemenin istenilen sıcaklığa düşmesini sağlayan soğutma bölgesine geçilmektedir. Bir sonraki kısım olan çekicinin hızı ile istenirse oynama yapılarak malzemenin boyutları değiştirilebilmektedir. Son olarak ürün istenilen uzunluklarda kesilerek depolanmaktadır [36].

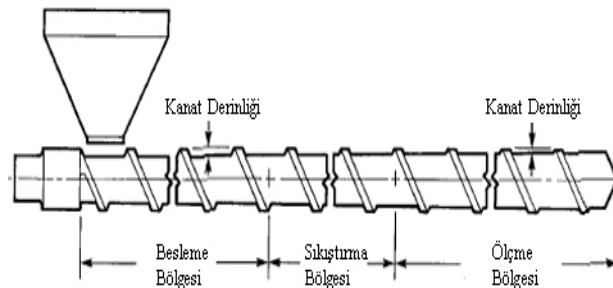
Ekstrüzyon üretim yönteminde kullanılan sistem çoğunlukla bir üretim hattı olmasına rağmen, ekstrüzyon işlemini gerçekleştiren ekstrüder, sistem içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bir ekstrüder genel olarak besleme hunisi, kovan, vida mekanizması, ısıtıcılar ve tahrik sisteminden oluşmaktadır [37].

Besleme hunisi; katı granül veya toz halinde ekstrüdere yapılacak olan besleme işlemi için gereklidir. Plastik ekstrüzyon üretim yöntemi dahilinde iki türlü besleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Doğrudan besleme işlemi, ekstrüzyon işleminde kullanılacak olan matris ve takviye elemanlarının ayrı ayrı besleme hunisinden ilave edilmesiyle gerçekleşmektedir. Dolaylı besleme işlemi ise ekstrüzyon işleminde kullanılacak olan matris ve takviye malzemesi önceden karıştırılıp sisteme verilmektedir.

Kovan; içerisinde vida mekanizmasını barındırmaktadır. Boş bir silindir geometrisine sahiptir. Ergime olayı kovanın içerisinde meydana gelmektedir. Vidanın kovan

içerisindeki malzemeyi, dönerek ileri doğrultuda yönlendirmesi, artan sıcaklıkla beraber basıncında artmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı kovan malzemesi yüksek sıcaklığa ve yüksek basınca dayanıklı bir yapıya sahip olmalıdır. Aynı zamanda ergiyen matris malzemesi bir plastik olduğundan dolayı, kovan malzemesiyle ergiyen matris malzemesi arasındaki sürtünme koşulları dikkate alınmalıdır. Vida bir tahrik sistemi dahilinde yataklanmış olduğu düzlem dahilinde kovanla eş merkezli olarak dönme hareketi yapmaktadır. Vida yüzeyi oldukça pürüzsüz olmalıdır. Dolayısıyla vida üzerine üretilmesi istenen malzemenin karakteristiklerini karşılayan kaplama işlemleri yapılabilmektedir. Dönme hareketi yapan vida aynı zamanda mesnetli bir yapıya sahiptir. Kovan içerisinde artan sıcaklık ve basıncın da etkisiyle vida mekanizması çeşitli zorlamalara maruz kalmaktadır. Bunlardan en önemlileri eğilme ve burulma etkisidir. Böylelikle anlaşılmaktadır ki; vida mekanizması dayanımı yüksek çelik malzemeden imal edilmelidir [37].

Ekstrüder vidası makinenin en önemli bölümüdür, tüm olaylar vida etrafında gelişmektedir. Malzemenin ileriye doğru hareketi vidanın dönmesi ile olmakta, vida plastiğin ısıtılmasına büyük katkıda bulunmakta ve aynı zamanda malzemenin homojenleşmesini de sağlamaktadır. En basit terimlerle, vida değişik çapta bir rotun etrafını sarmış helisel kanatlardan oluşmaktadır. Vida kanadından kanadına olan dış çap genelde rot boyunca sabittir. Vida ile kovan arasındaki açıklık ise genelde küçüktür. Temel olarak bir ekstrüder vidası besleme, sıkıştırma ve ölçme olmak üzere 3 bölgeden oluşmaktadır. Ekstrüder vidasının bölgeleri Şekil 5.8.'de verilmektedir [38].



Şekil 5.8. Ekstrüder vidası bölgeleri şematik gösterimi [38]

Besleme bölgesinin işlevi plastiğe ön bir ısıtma işlemi uygulamak ve sonraki bölgeye taşımaktır. Bu bölgenin tasarımı önemlidir, çünkü sabit vida derinliği bir sonraki bölgenin boş bırakmayacak kadar yeterli ve aynı zamanda bir sonraki bölgeyi fazla sıkıştırmayacak kadar az plastiği besleyebilmelidir. Ekstrüder kovanındaki taşıma işlemi vidanın dönmesi ile sağlanmaktadır. Vidanın dönmesi ile sağlanan bu akışa sürüklenme akışı denilmektedir. Ekstrüder kalıbından akış, kalıp giriş ve çıkışındaki vida tarafından sağlanan basınç farkı sayesinde olmaktadır. Çıkıştaki basınç sabit atmosferik basınç olduğundan, ekstrüder çıkışı (output) direkt olarak kalıp girişindeki ya da kalıp kafasındaki basınç ile belirlenmektedir. Bu bölgenin en uygun tasarımı hammaddenin çeşidi, şekli ve plastiğin sürtünme özellikleri ile belirlenmektedir. Hammadde olarak kullanılacak olan plastiğin sürtünme davranışları elde edilecek olan plastik eriyik üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Sıkıştırma bölgesinde, vida derinliği kademeli olarak azalmaktadır. Böylece plastiğin sıkışması ve basıncın artmasıyla eriyerek homojen bir hal alması sağlanmaktadır. Bu sıkıştırma işleminin hava boşluklarının alınması ve daha düşük kalınlıklarda malzeme üzerindeki ısı aktarımını artırmak gibi iki temel amacı bulunmaktadır. Sıkıştırma sırasında ortaya çıkan hava ve nem gaz alma ünitesi bulunan makinelerde gaz alma ünitesinden dışarı çıkmakta, gaz alma ünitesi bulunmayan makinelerde oluşan gaz hareketin ters yönüne giderek huniden dışarı çıkmaktadır.

Ölçme bölgesinde vida derinliği yine sabittir, fakat besleme bölgesine nazaran vida derinliği daha azdır. Bu bölgede homojenleşmiş plastik sabit hızda mümkün olduğu kadar yüksek basınçla kalıba pompalanmaktadır. Ölçme bölgesinde malzemenin kalıba uniform sıcaklık ve basınçta girmesi için homojenleştirme yapılmaktadır. Bu bölge uniform bir kanalda viskoz bir eriyik içerdiği için analiz edilmesi gereken en doğru yerdir [39].

Ekstrüderi ısıtma işlemi, makineyi çalıştırabilmek için uygun sıcaklığa getirmek, normal bir operasyon için istenilen sıcaklıkları elde etmek ve ayarlamak amacı ile gereklidir. Ekstrüderi ısıtmanın elektrik, akışkan ve buhar ile ısıtma olmak üzere üç yöntemi vardır. Elektrik ile ısıtma ekstrüderi ısıtmak için en çok kullanılan yöntemdir.

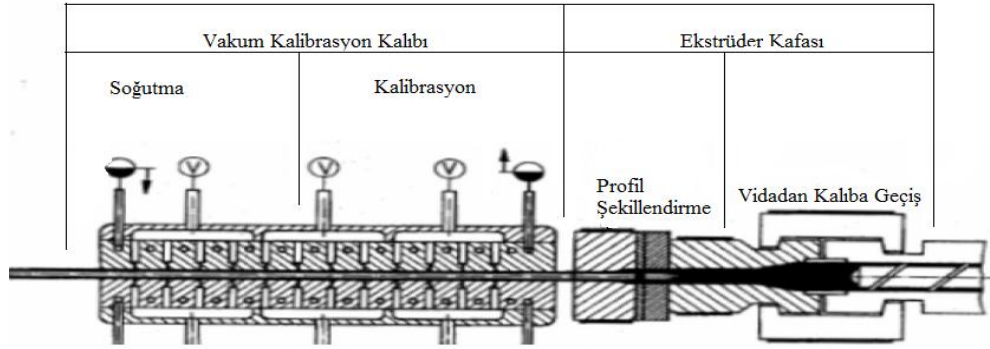
Ekstrüzyon prosesinde iki ısı kaynağı vardır. Bunlardan birisi ekstrüder etrafına sarılan ısıtma elemanlarıdır, diğeri ise sürtünmeden ve plastik içindeki viskoz ısı oluşumundan kaynaklanmaktadır. Sürtünme ile oluşan ısı plastik parçacıklarının kendi aralarında birbirleri ile ve kovan ve vida yüzeyine sürtünmesi ile oluşmaktadır. Viskoz ısınma ise plastik eriyiğın vidanın dönmesi ile gerilmesinden oluşmaktadır. Viskoz ısınma plastiğın viskozitesi ve eriyik içerisindeki kesme gerilimi ile belirlenebilmektedir [40]. Yüksek plastik eriyik viskozitesi sonucu viskoz ısı oluşumu önem kazanmaktadır. Pratikte çoğı ekstrüderde asıl ısı kaynağı sürtünmeden ve viskoz akıştan kaynaklanan ısıdır. Bu durum daha çok yüksek vida hızlarında geçerlidir. Düşük vida hızlarında, ekstrüder etrafına sarılan ısıtma elemanlarının dolgusu daha da artmakta ve viskoz ısınmanın etkisi azalmaktadır. Kovan ısıtıcıları genelde ekstrüzyon prosesine çok az bir katkıda bulunmaktadır.

Ekstrüzyon üretim sisteminde kullanılan ekstrüder bir vida mekanizmasına sahiptir. Bu vidanın proses itibarıyla belirli bir devirde dönmesi gerekmektedir. Bu da genellikle bir elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Vidanın devir sayısı malzemeden malzemeye değışeceğı gibi, üretilen mamulün geometrisine ve hacmine göre değışmektedir. Bundan dolayı vidanın döndürülmesinde kullanılan elektrik motorunun devri ayarlanabilir nitelikte olmaktadır [41].

Kalıp, çıkış kesiti vasıtası ile malzemeye şeklini veren kısımdır. Kalıptan akış, kalıp girişindeki ve kalıp çıkışındaki basınç farkı ile sağlanmaktadır. Kalıp malzemeye son şeklini verememekte, çünkü kalıp çıkışında şişme olmaktadır. Kalıp çıkışında sıcak olan eriyik soğuduğı süreye kadar şekil değışimine maruz kalmaktadır. Kalıp içerisinde malzeme mümkün olduğı kadar az tutulmalı ve kalıp içerisinde ölü noktalar olmamasına özen gösterilmelidir. Her iki durumda da malzemenin içeride yüksek sıcaklığa uzun süre maruz kalmasından dolayı yapısında bozulmalar gözüküebilmektedir. Kalıp dizaynında tüm bu etkenler göz önüne alınmalıdır.

Kalibre (ölçülendirme kalıbı) kalıptan eriyik halde gelen malzemeyi soğutarak sıcaklığını erime noktasının altına kadar düşürmekte ve katılaştırmaktadır. Bunun yanı sıra yarı bitmiş ürünün şekilsel rijitliğini de dıştan vakumlama, içten vakumlama,

sürtünmeyle vakumlama vb. gibi yöntemlerle sağlamaktadır. Uzun kalibreler ürünün ölçülerindeki küçülmeden dolayı konik yapılmaktadırlar. Şekil 5.9.'da kalıp ve kalibre bölümleri şematik olarak gösterilmektedir [39].



Şekil 5.9. Kalıp ve kalibre bölümleri şematik gösterimi [39]

Ekstrüderden çıkan ürün bir çekiş ünitesi yardımı ile sürekli olarak çekilmektedir. Çekiş ünitesi genellikle bir palet sisteminden oluşmaktadır. Hareket ederek dönen paletler arasında sıkıştırılan ürün paletin hareketi ile sürekli olarak çekilmektedir. Temas yüzeyleri boy ve genişlik olarak profil çeşitlerine göre değişen caterpillar çekicide, invertör kontrolü bulunmaktadır. Bu sayede ekstrüderin mal çıkış oranına göre hız ayarlanabildiği gibi hız kontrol cihazları aracılığı ile hassas metraj ayarı yapılabilmektedir. Ürünün gereğinden hızlı çekilmesi gerilen plastiğin kopmasına neden olabilmektedir. Aynı zamanda gerilen ürün kopmasa bile çekişin yarattığı gerilme ile istenilen boyut değerlerini yitirebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı çekiş hızı ayarlanırken dikkatli davranılmalıdır. Şekil 5.10.'da üretimde kullanılan çekici sistemi görülmektedir.

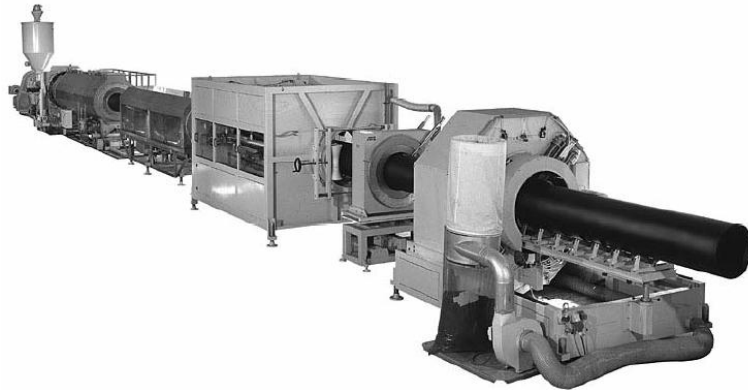


Şekil 5.10. Çekici sistemi

Üretimde çekici sistemlerinden sonra kesim ünitesinde kesim yapılmaktadır. Ekstrüzyon sisteminin mantığı sürekli üretimdir. Çekiciden çıkan ürün, kesme ünite bölgesine ilerlemektedir. Burada ürünün uç kısmı ürüne kılavuzluk yapan deneyerenin hem önünde hem arkasında bulunan iki saplama arasından geçirilmektedir. Encoderli kesme yönteminde sistemin çalışması, ürünün sürekli üretilmesidir. Ayarladığımız ölçüye gelince deneyerenin hem giriş hem de çıkış yönünde bulunan pnömatik tutma lastikleri ürüne yukarıdan aşağıya baskı yaparak ürünü tutmaktadır. Aynı anda ise deneyere ürünü kesmektedir. Kesme esnasında kesim ünitesi üzerindeki deneyere de iki taraflı tekerlekli bir mil üzerinde çekicinin hızı oranında ilerlemektedir [42].

5.3.1. Boru üretim prosesi

Bir plastik boru üretim hattı en temel şekilde plastiği işleyen ve istenilen şekli veren ekstrüder ve kalıp sistemi, kalıptan çıkan borunun boyutlarını ayarlayan bir kalibre ve vakum sistemi, vakumdan çıkan boruyu soğutmak için soğutma ünitesi, boru üzerine gerekli yazıları yazan bir yazıcı sistemi, sürekli olarak boruyu çeken bir çekici, boruyu istenilen boyutlarda kesen bir kesici sistemi ve paketleme ünitesinden oluşmaktadır. Plastiğin ekstrüderde işlenmesi ve kalıptan çıkması önceki başlıklarda incelenmiştir. Ekstrüzyon ile boru üretim hattı Şekil 5.11.'de verilmektedir [43].



Şekil 5.11. Ekstrüzyon ile boru üretimi hattı [43]

Eriyik halde ve istenilen şekilde kalıptan çıkan plastik malzeme, dış çap ayarlaması amacı ile vakum ünitesi içerisine yerleştirilmiş kalibreye girmektedir. Kalibre istenilen çapa göre ayarlanmış ve etrafı deliklerle örülmüş silindir şeklinde bir aпарattır. Plastik

bu kalibrenin içerisinde geçerken, kalibre etrafındaki deliklerden plastiğe vakum uygulanmaktadır. Böylece plastik istenilen dış çap değerine getirilmektedir.

Vakum esnasında soğuk su püskürtülerek plastiğin soğuması sağlanmaktadır. Soğuma sayesinde kalibreden çıkan boru hemen hemen istenilen dış çap boyutuna gelmiştir. Kalibreden çıkan boru vakum içerisinde ilerlerken soğumaya devam etmektedir. Kalıptan yüksek sıcaklıkta çıkan henüz eriyik haldeki plastik boru kalibreye girdikten sonra soğumanın etkisi ile malzemenin ısı genleşme özelliğinden dolayı çapta daralma meydana gelecektir. Kalibre bölgesinde uygulanan vakum basıncı, malzemenin ağırlığından dolayı çökmesini engellemeli ve soğumadan dolayı olan çap daralmasını karşılamalıdır. Kalibre boyunca ΔT sıcaklık farkını borunun soğuma hızı belirlemektedir. Proses sırasında, kalibre boyunca oluşacak olan ΔT sıcaklık farkı, plastiğin kalıptan çıkış sıcaklığına ve boru üretim hattının hızına bağlıdır. Dış çapın büyüklüğüne göre vakum ünitelerinin sayısı artırılabilir. Vakum ünitelerinde uygulanan vakum değerleri plastik borunun dış çapı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Plastik kalibreye girdiğinde, plastiğin dış çeperlerini kalibreye yapıştıracak kadar vakum uygulanmazsa, dış çap istenilen değerden daha düşük çıkmaktadır. Vakum ünitesinden çıkan boru soğutma ünitelerine girerek soğumaya devam etmektedir.

Soğutma ünitelerinde boru devamlı sirküle olan su ile soğutulmaktadır. Soğutma üniteleri genelde fiskiyeli sistemlerdir. Soğuk su fiskiyeler yardımı ile ünite içerisinde sürekli bir şekilde geçen boru üzerine püskürtülmektedir. Şekil 5.12.'de sanayide kullanılan soğutma tankı gösterilmektedir [43].



Şekil 5.12. Soğutma tankı [43]

Soğutma ünitesinden çıkan boru, boru özelliklerinin ve üretim bilgilerinin üzerine yazılması için bir yazıcıdan geçmektedir. Yazıcı, boruya yazılması istenilen bilgileri boru üzerine sürekli bir şekilde mürekkebi püskürterek yazmaktadır. Plastik boru üretimi sürekli bir proses olduğundan, boru ekstrüder kafasından çıktıktan sonra üretim hattının diğer ucuna yerleştirilmiş bir paletli çekici sistemi ile devamlı olarak çekilmektedir. Şekil 5.13.'te PVC boru üretim hattındaki çekim makinesi gösterilmektedir [43].



Şekil 5.13. PVC boru üretim hattındaki boru çekim makinesi [43]

Çekicinin hızı aynı zamanda üretimin hızıdır. Çekicinin boruyu çekme hızı ekstrüderden borunun çıkış hızına göre ayarlanmaktadır. Çekme işlemi hızlı olursa boru kafadan çıkıp kalibreye girerken henüz çok sıcak olduğundan kopabilmektedir. Çekme hızı yavaş olursa boru yine aynı yerde şişerek üretimin durmasına neden olabilmektedir. Ayrıca çekme hızının borunun et kalınlığı ve dış çapı üzerinde de etkileri vardır. Çekicinin hızı ekstrüder vida devrine, ekstrüder vida devride hammaddenin ekstrüdere verildiği gramaj miktarına göre ayarlanmaktadır. Gramaj artırılırsa ekstrüder vida devri de artacağından ekstrüder kafasından çıkan borunun hızı artmaktadır, bu nedenle çekici hızı da artırılmalıdır.

Çekiciden hemen sonra boru istenilen uzunlukta kesilmek üzere kesici ünitesine girmektedir. Kesicide kesilen borular, boru devirici ile bir araya toplanmakta ve paketlenmektedir [43].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Kullanılan Malzemeler

Numune üretiminde, matris malzemesi olarak tane boyutu 40 mikron altı olan PVC kullanılmıştır. PVC toz ve kalsit SİNTAŞ Plastik ve Metal San. Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Akdeniz Kimya San. Tic. A.Ş.'den temin edilen akropan stabilizatör olarak kullanılmıştır. Akropan Ca/Zn bazlı metal bileşiğidir. Sert PVC basınçlı boru üretiminde beyaz renk verici olarak kullanılan titanyumdioksit (TiO_2) Sayman Kimyevi Maddeler San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Takviye malzemesi olarak Subor Boru San ve Tic. A.Ş. 'den temin edilen CTP kesme atığı kullanılmıştır. Numune üretiminde kullanılan kesme atığı Şekil 6.1.'de verilmektedir.



Şekil 6.1. Numune üretiminde kullanılan kesme atığı

6.2. Uygulanan Ön İşlemler

Öncelikle üretilecek atık su borusunun geleneksel üretim yöntemi araştırılmıştır. Uygulanan yöntemde belli bir reçetede PVC ve katkı maddeleri hazırlanmakta ve toz karışımı PVC üretimi için tasarlanan bir mikserle beslenmektedir. Daha sonra karışım ekstrüzyon makinesine verilmektedir.

Günümüzde uygulanan karışım miktarını öğrenebilmek için PVC boru üreticileri ile görüşülmüş ve literatür araştırması yapılmıştır [28]. Alınan bilgilere göre PVC atık su borusu reçetesi PVC'ye oranla; %30 oranında kalsit (katkı malzemesi), %3,2 stabilizatör (akropan), %1 beyazlatıcı (titan) ve az miktarda boya karışımı olarak belirlenmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi açısından aynı reçete ile kalsit dolgulu numune üretimi gerçekleştirilmiştir.

Kalsit katkı malzemesi yerine CTP kesme atığının katkı malzemesi olarak kullanımı düşünülmüştür. Uygunluğunun araştırılması için değişik oranlarda CTP kesme atığı PVC'ye takviye malzemesi olarak ilave edilmiştir. Ayrıca kalsit ve kesme atığı dolgusu olmadan PVC numune de üretilmiştir. Tez konusu olan PVC matriksli CTP kesme atığı katkı takviyeli kompozit için PVC'ye oranla; %3,2 akropan, değişik oranlarda (%5-%10-%15-%20-%25-%30-%35-%40-%45-%50-%60-%70) CTP kesme atığı ve %1 titan reçetelerine göre üretim yapılması uygun görülmüştür.

6.2.1. Atık malzemenin kurutulması, nem tayini ve tane boyutu ayarlanması

Atık sulu kesme çamuru kek halinde Subor Boru San ve Tic. A.Ş.'den alınmıştır. Kek halindeki atık etüvde 48 saat boyunca 90°C'de kurutulmuştur. Atığa kurutulmadan önce ve kurutulduktan sonra nem tayini Mettler Toledo HX204 model nem tayini cihazında yapılmıştır. ASTM D 6980-12 standardına göre numunenin başlangıç ağırlığı kaydedilmekte, sonra bir halojen radyatörle numune kurutulmakta ve bir yandan da entegre bir terazi sürekli olarak numune ağırlığını kaydetmektedir. Toplam ağırlık kaybı nem oranı olarak yorumlanmaktadır [44]. Nem tayin cihazı Şekil 6.2.'de gösterilmektedir. Kek halindeki atığa yapılan nem tayini sonucunda atığın %31 nemli olduğu bulunmuştur. Atık etüvde kurutulduktan sonra numuneye yapılan nem tayini sonucunda ise atığın %0,189 nem ihtiva ettiği bulunmuştur.



Şekil 6.2. Nem tayini cihazı görünümü

Kurutulan atık mikserde karıştırılarak ufalanmıştır. Daha sonra 500 μ m boyutundaki elek ile titreşimli elekte 10 dakika elenerek tane boyutu ayarlaması yapılmıştır. Kullanılan titreşimli elek ve mikser Şekil 6.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Titreşimli elek ve mikser

6.2.2. Karışımın mikserlenmesi

PVC tozu, akropan, değişik oranlarda CTP kesme atığı ve titan ile karışım hazırlanmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapılabilmesi açısından dolgusuz PVC ve %30 kalsit dolgulu PVC karışımları da hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar atık hariç sanayi tipi ısıtıcılı mikserde karıştırılmıştır. Ayrıca boru üretimi yapılacak karışım sanayi tipi ısıtıcılı mikser kullanılarak karıştırılmıştır. Mikser sıcaklığı önce 110°C'ye kadar sürtünme kuvveti etkisiyle yükselmiş ve daha sonra 45°C'ye soğumaya bırakılmıştır. Sanayi tipi mikser Şekil 6.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 6.4. Sanayi tipi mikser sistemi

Hazırlanan PVC karışıma atık oranları laboratuvarda eklenmiş olup mikserde 30 dk. karıştırılmış ve daha sonra 24 saat dinlendirilmiştir. Üretimde kullanılan PVC mikseri Şekil 6.5.'te gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Üretimde kullanılan PVC mikseri

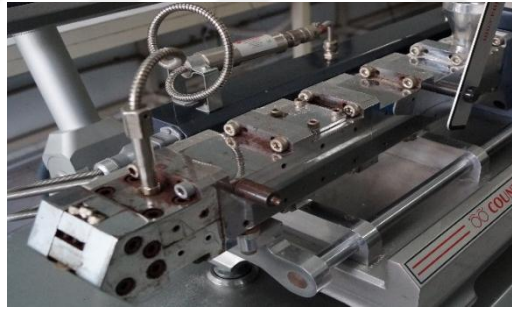
6.3. Ekstrüzyon İle PVC Kompozit Üretimi

Dinlendirilen karışım proje kapsamında alınan laboratuvar tipi ekstrüzyon cihazına beslenmiştir. Ekstrüzyon makinesi çift vidalı sistemdir. Laboratuvar tipi ekstrüzyon cihazı Şekil 6.6.'da gösterilmektedir. Vida çapı 20mm ve boyu ise 450 mm'dir. Sisteme ek olarak vakumlu su soğutmalı kalibrasyon ve çekme ünitesi bulunmaktadır. Besleme silosu 4 kg toz ürün almaktadır. Besleme, vida hızı ve bölge sıcaklıkları

dokunmatik panelde uygun şekilde ayarlanmaktadır. Ekstrüzyon sıcaklıkları 5 bölge olarak ayarlanmıştır. 3. Bölge ergime bölgesi ve 5. Bölge ise kalıp bölgesidir, 5. Bölgeden PVC kompozit profil şeklinde çıkmaktadır. Kalıp ve sıcaklık bölgeleri Şekil 6.7.'de görülmektedir.

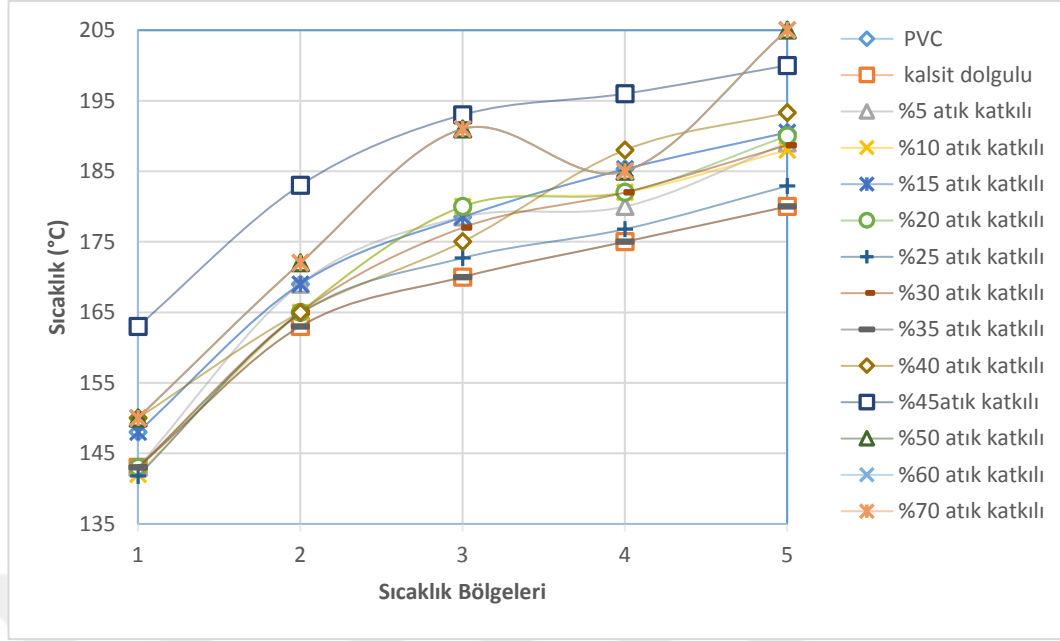


Şekil 6.6. Laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüzyon cihazı



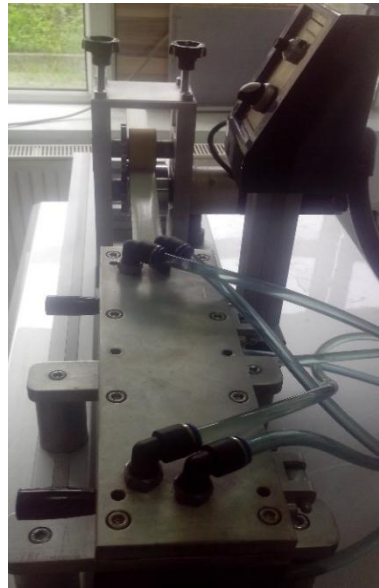
Şekil 6.7. Kalıp ve sıcaklık bölgeleri

PVC, kalsit dolgulu, %5-%10-%15-%20-%25-%30-%35-%40-%45-%50-%60-%70 atık dolgulu kompozit üretim sıcaklıkları Şekil 6.8.'de verilmektedir.



Şekil 6.8. Numunelerin üretim sıcaklıkları değerleri

Ekstrüderden çıkan karışıma dıştan vakum uygulanarak şekil verilme işlemi yapılmıştır. Ayrıca bu vakum ünitesi su ile soğutulmaktadır. Vakum ünitesinden sonra çekici sistemi bulunmaktadır. Üretimde çekme hızı vida hızı ile orantılı olarak ayarlanmıştır. Tüm numuneler 20 dev/dk vida hızında çekilmiştir. Uygun uzunluğa gelen profilin kesim işlemi Bosch marka kesici ile yapılmıştır. Vakum ünitesi, çekici ve profil şeklindeki ürün Şekil 6.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 6.9. Vakum ve çekici ünitesi

Optimum sonuçlarla belirlenen karışım sanayide boru halinde çekilmiştir. Laboratuvar tipi ekstrüzyonda bulunan sıcaklık değerleri sanayi tipi ekstrüzyona uygulanmış ve başarılı bir şekilde atık su borusu üretimi gerçekleştirilmiştir. Sanayide kullanılan ekstrüzyon makinesi soğutma bölümü ve atık ile üretilen boru Şekil 6.10.'da görülmektedir.



Şekil 6.10. Ekstrüzyon makinesi soğutma bölümü ve atık ile üretilen boru

6.4. Üretilen PVC Kompozit Malzemelere Uygulanan Deneyler

Ekstrüzyondan çıkan polimer kompozit malzemelere ASTM standartında belirtilen deneyler yapılmıştır. Atık ile üretilen PVC malzemelerin boru veya pencere profili olarak kullanımı düşünülmektedir. Bu nedenle TSE standartlarında belirtilen bazı deneyler de yapılmıştır. Numuneler ekstrüzyon hattından profil şeklinde çıkmıştır. Sanayide üretilen ürün boru şeklinde çıkmıştır. Daha sonra standartta belirtilen boyutlara uygun olarak bilgisayar kontrollü dik işleme (CNC) tezgahında işlenmiştir. Şekil 6.11'de CNC tezgahında çekme numunesi üretimi görülmektedir.



Şekil 6.11. CNC tezgahında çekme numunesi üretimi

6.4.1. Görünüm ve renk kontrolü

Herhangi bir büyütme yapılmaksızın çıplak gözle muayene edildiğinde; ekstrüzyondan çıkan ürün yüzeyleri pürüzsüz ve temiz olmalı, bu standartta belirtilen performans özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek çatlak, kabarma, kirlilik, gözenek, çukur veya benzeri diğer yüzey kusurları olmamalıdır. Borular ve ekleme parçaları renklendirilmiş olmalıdır. Atık su borusu için tercih edilen renk gridir. Renk borunun her tarafında üniform dağılmış olmalıdır. Tüm numunelere TS 275 1 EN 1329 numaralı standarda göre görünüş ve renk kontrolü yapılmıştır [45].

6.4.2. Yoğunluk deneyi

Maddelerin 1 cm^3 'ünün gram cinsinden kütlesine yoğunluk (özkütle) denilmektedir. Yoğunluk (d) ile gösterilmektedir. Bir maddenin yoğunluğundan söz ederken sabit bir sıcaklıktaki yoğunluğundan söz edilmelidir. Sıcaklık değiştiğinde maddenin hacmi değişeceğinden yoğunluğu da değişmektedir [46].

Yoğunluk kiti ile katı ve sıvı maddelerin yoğunluğu öğrenilmektedir. Üretilen numunelerin yoğunluk değerleri oda sıcaklığında RADWAG AS 220/C/2 marka yoğunluk kitiyle ölçülmüştür. Numunelerin havada ağırlıklarının ölçümü yapılmış, cam beher içerisindeki saf suyun içerisine konulmuştur. Yoğunluk değeri, numuneler bu suyun içerisindeyken terazinin hafızasında kayıtlı olan yazılım yardımıyla otomatik olarak hesaplanmıştır. Yoğunluk deneyi ASTM D792 standardına göre yapılmıştır [47]. Yoğunluk ölçüm cihazı Şekil 6.12.'de verilmektedir.



Şekil 6.12. Yoğunluk ölçüm cihazı

6.4.3. Sertlik deneyi

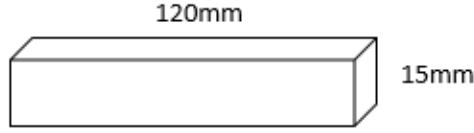
Sertlik genel anlamda malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Sertlik deneyi; küçük bir temas kuvveti ile büyük bir batma kuvveti altında batma ucunun numune içinde ilerlediği derinlikler arasındaki farkın ölçülmesidir. Sabit stant üzerinde belli kuvvet ile plastik numuneye batırılan iğnenin derinliği ölçülerek plastiğin göreceli sertlik derecesinin tayini yapılmaktadır. Ucun gerisinde bulunan yay plastiğin sertliğine göre gerilmekte ve yayın gerilmesine bağlı olarak plastiğin sertliği belirlenmektedir [25].

Çalışmada sertlik ölçümleri ASTM D2240 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Batıcı uç ve kullanılan ağırlığa göre sınıflandırılmaktadır. Ölçüm için standartlarda belirtildiği gibi sert kauçuk, termoplastik elastomerler, sert plastikler ve sert termoplastikler için tercih edilen Shore D ölçüm cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçen bu aletin 0'dan 120'ye kadar bölünmüş ve buna göre sertliği gösteren ölçeği (skalası) bulunmaktadır [48]. Kullanılan shore D sertlik ölçüm cihazı Şekil 6.13.'de verilmektedir.



Şekil 6.13. Shore D sertlik ölçüm cihazı

Standarta göre 15 x 120 mm boyutunda numuneler hazırlanmış ve her numuneden 10 ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümlerin ortalaması verilmiştir. Sertlik deneyi numune boyutları Şekil 6.14.'te verilmektedir.

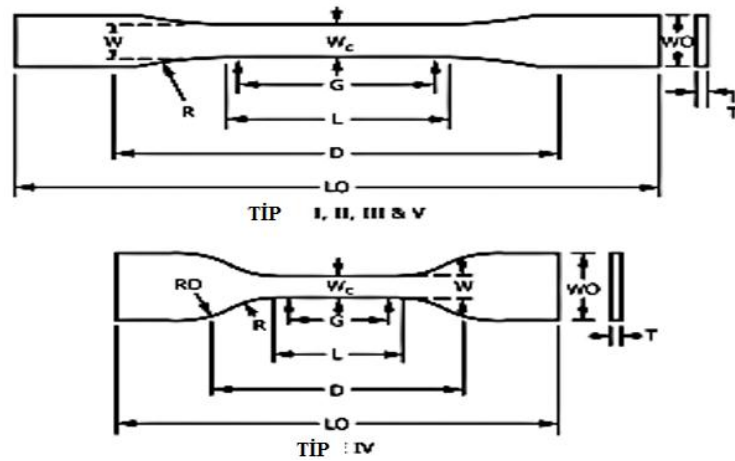


Şekil 6.14. Shore D sertlik deneyi numune boyutları

6.4.4. Çekme deneyi

Çekme deneyi malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklere göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılmaktadır. Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilmektedir. Çekme, malzemenin birim alanı başına uygulanan kuvvet türünden verilmektedir [49].

Çekme mukavemeti deneyleri ASTM D638 (Standard Deney Method For Tensile Properties of Plastic) standardına uygun olarak yapılmıştır. Polimer kompozitlere uygulanan çekme deney standart numune şekli Şekil 6.15.'de boyut parametreleri (W, WO, G, R, D ve LO) ise Tablo 6.1.'de verilmektedir [50].



Şekil 6.15. Çekme deneyi numunesi tipleri [50]

Tablo 6.1. Çekme deneyi numune boyut değerleri [50]

Bölgeler	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5
W (mm)	13	6	19	6	3,18
L (mm)	57	57	57	33	9,53
WO (mm)	19	19	29	19	9,53
LO (mm)	165	183	246	115	63,5
G (mm)	50	50	50	25	7,62
D (mm)	115	135	115	65	25,4
R (mm)	76	76	76	14	12,7

Numune kalınlığı (T) 3,2 mm olduğu için tip 1 boyut bilgileri esas alınmıştır. Kesilen numune görüntüsü Şekil 6.16.'da verilmektedir.



Şekil 6.16. Çekme deneyi için hazırlanan numune

Çekme gerilmesi, malzemeye tek eksenli olarak ters yönde etkiyen kuvvetlere göre komşu moleküllerin birbirlerine göre ters yönde hareket etmeye zorlanması sonucu elde edilmektedir. Gerilim (σ) adı verilen bu değer, aşağıdaki bağıntıda gösterildiği

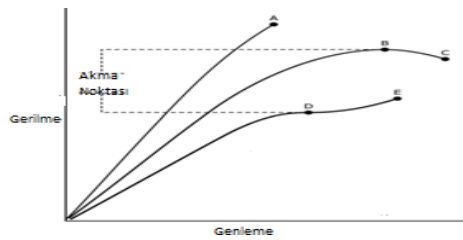
gibi kuvvetin (F), malzemenin birim alanı (A_0) başına uygulanan kısımdır (Denklem 6.1)

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (6.1)$$

Gerilimin genel birimi kuvvet/alan olarak verilmektedir. Sayısal değerleri için ise çoğu kez Pascal (Pa, N/m^2), Megapascal (MPa, N/mm^2), Psi (lb/in^2) türü birimler kullanılmaktadır. Yüklemin malzeme boyutlarında yaptığı değişikliklere uzama (ϵ) adı verilmektedir. Malzemeler çekme geriliminde uzama ile boyutlarını değiştirerek deformasyona uğramaktadır. Ayrıca uzama tanımı, malzeme boyutundaki değişimin (Δl), malzemenin ilk boyutuna (l_0) oranı şeklindedir. Bu değer yüzde olarak verilirse % uzama adını almaktadır (Denklem 6.2). Gerilim birimsizdir, ancak uygulamada cm/cm, m/m türü birimlerle kullanılmaktadır.

$$\% \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad (6.2)$$

Tipik bir polimerin gerilim-genleme davranışı Şekil 6.17.'de verilen grafikte gösterilmektedir. Akma mukavemeti, malzemenin kalıcı şekil değiştirmeden çıkılabilecek en üst gerilme sınırıdır. Belirli miktar kalıcı uzamanın olduğu (örneğin %0,2 veya 0,002 mm/mm) gerilme değeri akma dayanımı olarak alınmaktadır. Çekme mukavemeti (MPa) malzemenin dayanabildiği maksimum gerilim kuvveti grafik üzerinden hesaplanmaktadır. Aynı şekilde malzemenin kopması için uygulanan maksimum kuvvet ve bu kuvvetin sonucunda malzemenin uğradığı deformasyon da grafik üzerinden hesaplanabilmektedir.



Şekil 6.17. Gerilme- genleme grafiği [50]

A, E ve C noktaları kopma gerilmesi ve kopma uzaması değerlerini vermektedir. B ve D noktaları ise akma gerilmesi ve akma uzaması değerlerini vermektedir [49].

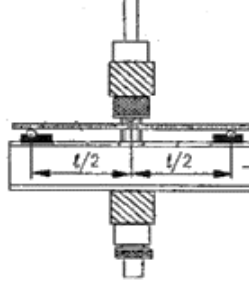
Çekme deneyleri Zwick/Roell Z050 cihazında oda sıcaklığında ve 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir [50]. Her çekme deneyi en az 5 kere tekrarlanmış olup, tüm sonuçlar ortalama değer olarak verilmiştir. Şekil 6.18.'de kullanılan çekme deneyi cihazı gösterilmektedir.



Şekil 6.18. Çekme deneyi cihazı

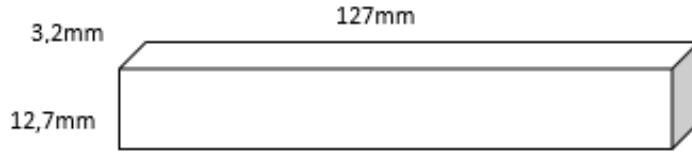
6.4.5. Üç nokta eğme deneyi

Çekme mukavemeti deneyi ile benzer çalışma prensibine sahip olan üç nokta eğme deneyi ASTM D 790–03 standardına uygun olarak yapılmıştır [51]. Eğme gerilmesi veya mukavemeti; bir anlamda çekme ve basma gerilmelerinin malzemeye eş zamanlı etkidiği andaki mekanik özelliği ifade etmektedir. Sabit köprü şeklinde duran malzemenin üzerine uygulanan kuvvetin birim alan başına maksimum miktarının tespit edilmesi şeklindedir. Malzeme iki adet silindir üzerine yatay şekilde yerleştirilmekte ve üçüncü silindir tarafından kuvvet uygulanarak birim alan üzerine etkiyen kuvvet bulunmaktadır. Üç nokta eğme deneyi çalışma prensibi Şekil 6.19.'da görülmektedir [49].



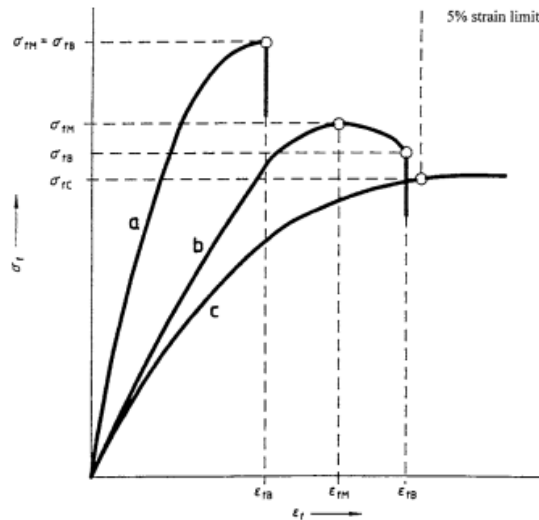
Şekil 6.19. Üç Nokta Eğme Deneyi Çalışma Prensibi [49]

ASTM D790 standardına göre numune 12,7 mm genişlik, 127 mm uzunluk ve 3,2 mm kalınlık ölçülerine sahip olmalıdır [51]. Üç nokta eğme deneyi numune boyutları Şekil 6.20.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.20. Üç nokta eğme deneyi numune boyutları

Cihaz maksimum %5 uzamada duracak şekilde ayarlanmaktadır. Üç nokta eğme deneyi yapıldığında çekme grafiğine benzer grafik şekil 6.21.'de verilmektedir [51].



Şekil 6.21. Üç nokta eğme deneyi Gerilme-Genleme grafiği [51]

Akma başlamadan kırılan numunelerde a eğrisi görülmektedir. %5 deformasyon sınırına gelmeden kırılan ama akma gösteren numunelerde b eğrisi görülmektedir. %5

deformasyon sınırına geldiğinde hala kırılmamış numunelerde ise c eğrisi görülmektedir.

Üç nokta eğme deneyleri Zwick/Roell Z050 cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Cihaz maksimum %5 uzamada duracak şekilde ayarlanmıştır. Her deney en az 5 kez tekrarlanmış olup ortalama değerler alınmıştır. Üç nokta eğme deneyi görünümü Şekil 6.22.'de gösterilmektedir.



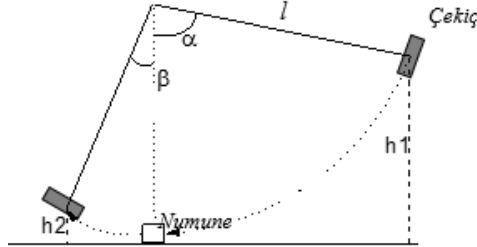
Şekil 6.22. Üç nokta eğme deneyi görünümü

6.4.6. Darbe deneyi

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Bu deneyin temel prensibi bir l uzunluğundaki sarkacın ucundaki belli bir G ağırlığına sahip çekiç belli bir h_1 yüksekliğinden numuneyi kırması için serbest bırakılmaktadır. Serbest bırakılmadan önce çekicinin potansiyel enerjisi $G.h_1$ iken numune kırıldıktan sonra belli bir h_2 yüksekliğine çıkan çekicinin potansiyel enerjisi $G.h_2$ olmaktadır. Bu durumda kırılma enerjisi denklemi aşağıda verilmektedir (Denklem 6.3).

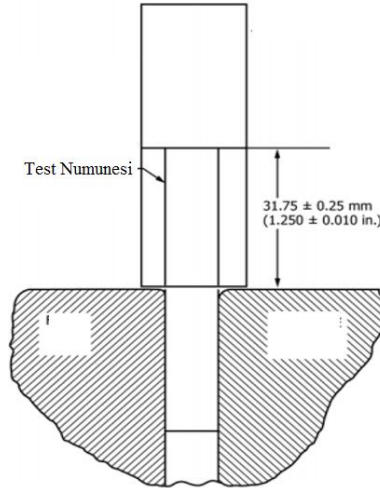
$$KE = G.(h_1 - h_2) = G.l.(Cos\beta - Cos\alpha) \quad (6.3)$$

Burada l sarkaç boyudur. Buradan, β salınım açısı ve h_2 yüksekli ne kadar az gerçekleşirse kırılan o malzemenin ne kadar çok darbe direnci yada yüksek tokluk gösterdiği anlaşılmaktadır. Deneyin prensibi şematik olarak Şekil 6.23.'te gösterilmektedir.



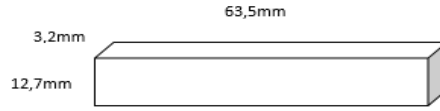
Şekil 6.23. Bir darbe deneyinin şematik olarak gösterimi

Genellikle Charpy ve Izod olarak iki tipte darbe deney yöntemi bulunmaktadır. Temel prensip aynıdır. Charpy deney numunesi yatık olarak Izod deney numunesi dik olarak darbe deney cihazına yerleştirilmektedir [49]. Numunelere ASTM D4812 standardına göre çentiksiz izod darbe deneyi yapılmıştır. Deney numunesini darbe cihazındaki konumu şematik olarak Şekil 6.24.'de verilmektedir [52].



Şekil 6.24. Deney numunesinin darbe cihazındaki konumu [52]

ASTM D4812 standardına göre numune 12,7 mm genişlik, 63,5 mm uzunluk ve 3,2 mm kalınlık ölçülerine sahip olmaktadır [52]. Darbe deneyi numune boyutları Şekil 6.25.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.25. Darbe deneyi numune boyutları

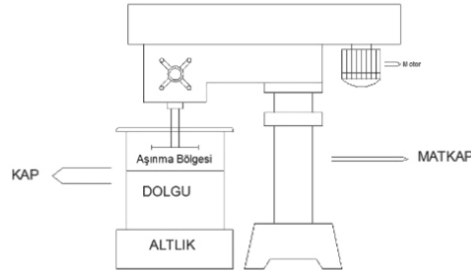
Darbe deneyi laboratuvar tipi Alarge marka darbe cihazında yapılmıştır. Numuneler 5,5 joule (J)'luk çekiç ile darbe deneyine tabi tutulmuştur. Kullanılan darbe deneyi cihazı Şekil 6.26.'da gösterilmektedir.



Şekil 6.26. Darbe deneyi cihazı

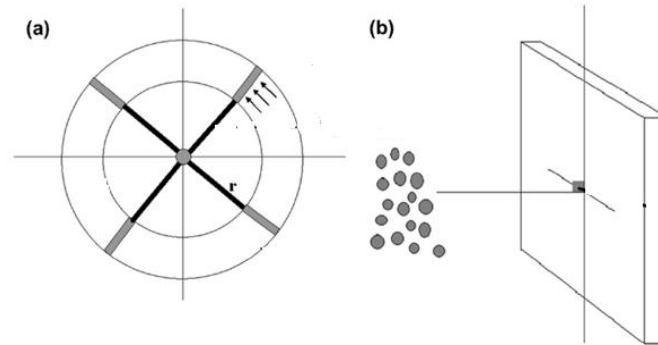
6.4.7. Eroziyon aşınma

Yapı, şekil ve boyut bakımından birbirinden farklı özelliklere sahip olan partiküller, sıvı ya da gaz akımı sayesinde temasta bulundukları katı yüzeylere darbeler uygulayarak katı yüzeyin hasara uğramasına neden olmaktadır. Bu tarzdaki aşınmaya erozyon aşınması denilmektedir. Erozyon aşınması farklı durum ve ortamlarda meydana gelebilmektedir [53]. Çamur erozyonunda katı parçacıklar ve sıvının oluşturdukları fiziksel karışımın yüzeye çarpması sonucu aşındırma söz konusu olmaktadır [54]. Deney düzeneğinin şematik gösterimi şekil 6.27.'de görülmektedir.

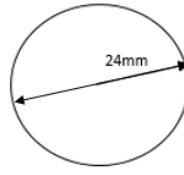


Şekil 6.27. Çamur erozyonu deney düzeneği şematik gösterimi

Çarpma hızı, çarpma açısı, parçacık tipi, parçacık şekli, parçacık boyutu, aşındırıcı parçacıkların sertliği, aşındırıcı parçacık akış oranı, hedef malzeme özellikleri ve çevresel parametreler katı parçacık erozyon aşınmasını etkileyen en önemli parametreler arasında gösterilmektedir [55]. Dik çarpma açısı partiküllerin numuneye 90° lik açıyla çarpması kabul edilirken eğik çarpma açıları ise 0° ile 90° lik açılar arasında olarak kabul edilmektedir. Eroziyon aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden biri olan çarpma açısı, deney numunelerinin yerleştirildiği numune tutucunun kendi eksenini etrafında döndürülmesiyle değiştirilebilmektedir. Şekil 6.28.'de numunelerin bağlandığı aparat ve malzeme yüzeyi ile ilgili temas açıları gösterilmektedir. Aparatlara uygun olarak 24 mm çapında hazırlanan numuneler Şekil 6.29.'da gösterilmektedir [56].



Şekil 6.28. Eroziyon aşınma çalışma prensibi (a) Numunelerin bağlandığı aparat ve dönme yönü (b) Malzeme yüzeyi ile ilgili temas açısı [56]



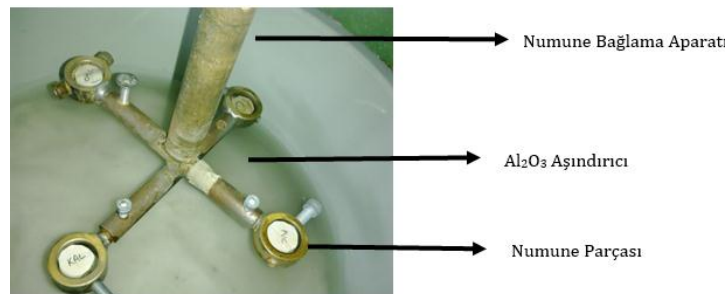
Şekil 6.29. Erozif aşınma numune boyutları

Erozif aşınmada aşındırıcı partikül olarak alümina (Al_2O_3) kullanılmıştır. $500\mu\text{m}$ altı partikül boyutu olarak seçilmiştir. %50 alümina %50 su karışımı hazırlanmış numunelere 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° ve 90° 'lik açıyla 500 rpm dönüş hızında 30 dakika boyunca erozif aşınma deneyi uygulanmıştır. Deney parametreleri Tablo 6.2.'de verilmektedir.

Tablo 6.2. Erozif aşınma deney parametreleri

Parametreler (Birimler)	Deneyisel Koşullar
Dönme Hızı (rpm)	500
Dönme Zamanı (min)	30
Hız (m/s)	1
Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	23 ± 2
Temas Açıları	0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90°
Aşındırıcı Parçacık Tipi/Boyutu (mikron)	Al_2O_3 (500 mikron altı)

Kullanılan deney düzeneği ve numuneler Şekil 6.30.'da gösterilmektedir.



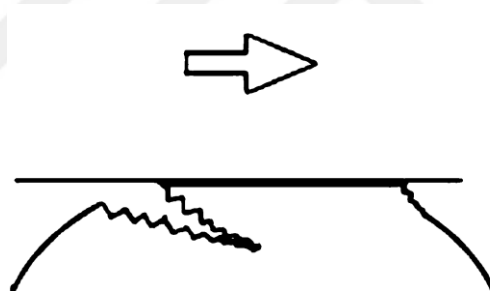
Şekil 6.30. Deney düzeneği ve bağlama aparatı

Numunelerin yoğunluk (d), ilk ağırlık (m_1) ve son ağırlıkları (m_2) ölçülerek aşınma oranı (g/mm^3) bulunmuştur [56] (Denklemler 6.4).

$$\text{Aşınma Oranı} = \frac{(m1 - m2)}{(dxm1)} \quad (6.4)$$

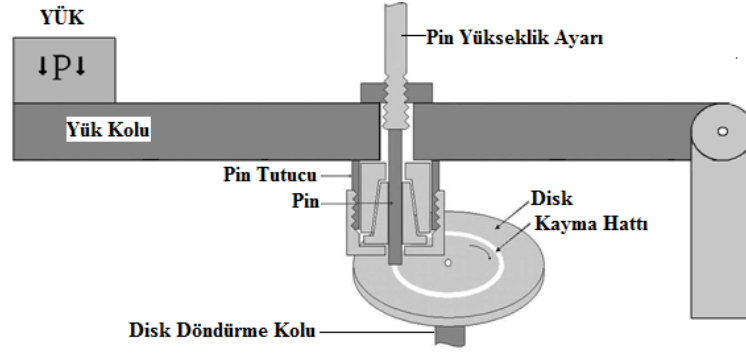
6.4.8. Adhezif aşınma

Adhezif aşınma kayma ve yapışma aşınması olarak da bilinen bir aşınma türüdür. İki düzgün katı cismin yağlamalı veya yağlamasız ortamda kayma teması ile oluşmaktadır. Adhezyon ara yüzeydeki pürüzlerin teması ile meydana gelmekte ve bu temas noktaları kayma ile kesilmektedir. Bununla birlikte bir yüzeyden kopan parçalar diğer yüzeye yapışabilmektedir. Kayma devam ettiğinde diğer yüzeye yapışmış olan parçalar tekrar orijinal yüzeye yapışabilmekte veya her iki yüzeyden bağımsız aşınma partikülü olabilmektedir. Şekil 6.31.'de adhezif aşınmanın görünümü verilmektedir [57].



Şekil 6.31. Adhezif aşınma

Aşınma deneyleri değişik deney düzeneklerinde yapılmaktadır. Aşınma deneylerinde en yaygın deney donanımlarından birisi, bir disk (Silindir veya dikdörtgen) üzerine bastırılan pimdir. "Disk üzerinde pim" metodunun başka şekilleri de vardır. Ancak ana fikir hep aynıdır. Bu tip asimetrik düzenlemelerde, pim ya da blok çoğu zaman numunedir ve bu parçanın aşınma hızı ölçülmektedir. Diğer parça olan disk ise, "dış yüzey" olarak isimlendirilmektedir. Şekil 6.32.'de pin-on disk aşınma deneyi şematik gösterimi verilmektedir.

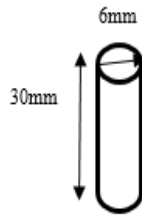


Şekil 6.32. Pin-on disk aşınma deneyi şematik gösterimi [58]

Numuneye uygulanacak olan yük için bir yük kolu bulunmaktadır, bu kolun bir ucuna ağırlık asmak, diğer ucuna da kolu dengede tutmak için gerekli olan tertibat bağlanmaktadır. Kolun tezgâha bağlandığı noktada da, kolun aşağı yukarı ve sağa sola hareketini sağlamak için rulman kullanılmaktadır [58].

Ağırlık kaybının ölçülmesi için 10^{-4} veya 10^{-5} hassasiyetindeki teraziler kullanılmaktadır. Aşınma oranı mm^3/m olarak bulunmaktadır.

Numunelere pin-on disk aşınma deneyi ASTM G99-05 standardına uygun olarak yapılmıştır. PVC matrisli numune ile çalışıldığı için pirinç alaşımı disk malzemesi olarak kullanılmıştır. Disk çapı 30mm, pin numunesi çapı 6mm ve pin numunesi boyu 30 mm olarak belirlenmiştir [59]. Pin numunesi boyutları Şekil 6.33.'te gösterilmektedir.



Şekil 6.33. Pin-on disk aşınma deneyi pin numunesi boyutları

Pin numuneleri tablo 6.3.'te verilen hız ve yüklerde oda sıcaklığında 500 m kayma mesafesinde deneye tabi tutulmuşlardır.

Tablo 6.3. Adhezif aşınma deney parametreleri

Parametreler (Birimler)	Deneysel Şartlar
Uygulanan Yükler (N)	5,10 ve 15
Hızlar (m/s)	0,5, 1 ve 1,5
Sıcaklık (°C)	23±2
Nem (%)	65±1
Kayma mesafesi (m)	500

Pin-on disk aşınma cihazı Şekil 6.34.'te verilmektedir.



Şekil 6.34. Pin-on disk aşınma cihazı

Uygulanan sürtünme kuvvetinin (F) iki yüzey arasındaki normal kuvvete (N) oranı sürtünme katsayısını (μ) vermektedir [60-62] (Denklem 6.5)

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (6.5)$$

Aşınma oranı hacim kaybının sürtünme mesafesi (S) ve uygulanan yüke (P) oranı ile bulunmaktadır [60-62] (Denklem 6.6). Hacim kaybı ise ağırlık kaybının (ilk ağırlık(m_1)-son ağırlık(m_2)) yoğunluğa (d) oranı ile bulunmaktadır [59] (Denklem 6.7).

$$\text{Aşınma Oranı} = \frac{\text{Hacim Kaybı}}{(\text{SxP})} \quad (6.6)$$

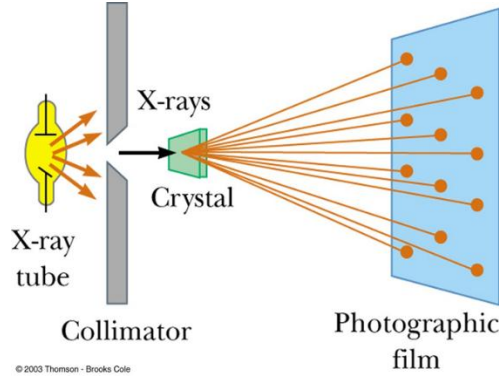
$$\text{Hacim Kaybı} = \frac{(m1-m2)}{d} \quad (6.7)$$

Deney numunelerinin yukarıda verilen formüller yardımıyla sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri bulunmuştur.

6.4.9. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD)

XRD her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanmaktadır. X-ışınları kısa dalga boyuna sahip elektromanyetik ışınlar olarak bilinmektedir. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlamaktadır. X-ışını difraksiyon analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmemekte ve çok az miktardaki numunelerin dahi analizlerinin yapılmasını sağlamaktadır. İlk kez Max Van Laue tarafından kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişleri X-ışını kırınım desenleri kullanılarak incelenmiştir.

X-ışınları kristalin üzerine geldiğinde elektronlar tarafından soğurulmakta ve elektron salınımı yapmaya başlamaktadır. Salınan bu elektronlar bir x-ışını kaynağı gibi davranarak her yöne x-ışınları fotonları yaymaktadır. Kristalin farklı bölümlerinden saçılan bu fotonlar, toplanarak ölçülebilmekte bir x ışını şiddeti oluşturmaktadır. Kristal üzerine gönderilen sürekli bir X-ışını demeti kristal içinde difrakte olmaktadır. Difrakte olan ışınlar belirli doğrultularda yoğunlaşmaktadır. Bu doğrultular kristalin tabakalarından yansıyan dalgalar arasındaki yapıcı girişime karşılık gelmektedir. Difraksiyon paterni (kırınım deseni) bir fotoğraf filmi üzerine kaydedilmektedir [63]. Şekil 6.35.'de XRD çalışma prensibi gösterilmektedir.

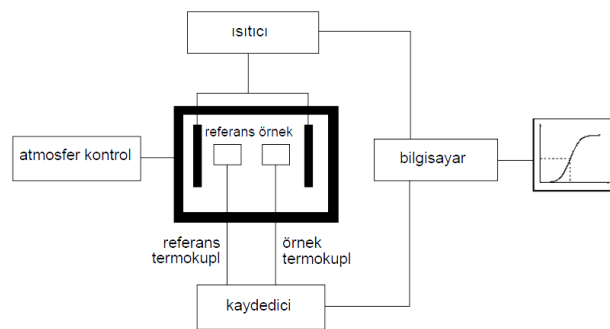


Şekil 6.35. XRD çalışma prensibi şematik gösterimi [63]

XRD analizi numunelere Rigaku marka D/MAX/2200/PC model XRD cihazında $1.54059\text{\AA}$ dalga boyuna sahip Cu/K-alpha1 radyasyonu kullanılarak yapılmıştır.

6.4.10. Diferansiyel termal analiz ve termo-gravimetri (DTA-TG)

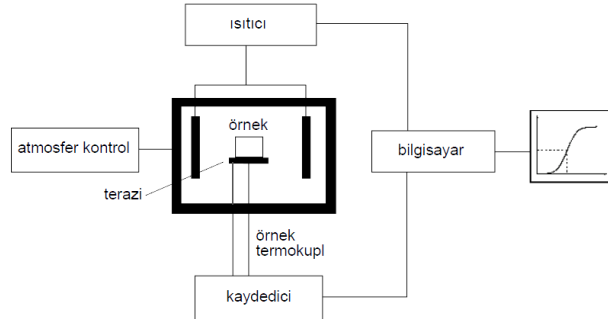
DTA yönteminde numune ve termal olarak inert olan referans maddeye aynı sıcaklık programı uygulanmaktadır. İkisi arasındaki fark, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir. Bu iki madde birlikte ısıtılmakta ve sıcaklık lineer bir şekilde arttırılmaktadır. Numune ve referans arasındaki sıcaklık farkı sıcaklığın fonksiyonu olarak izlenmektedir. Isı değişiklikleri fiziksel veya kimyasal olayların bir sonucudur. Diferansiyel termal analiz sistemi şematik diyagramı Şekil 6.36.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.36. Diferansiyel termal analiz sisteminin şematik diyagramı [64]

Termo-gravimetrisinin esası, bir maddedenin sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen reaksiyonların, kütledeki değişimlerin özel bir terazide sürekli olarak tartılması

yardımı ile incelenmesidir. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı Şekil 6.37.'de görülmektedir.



Şekil 6.37. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı [64]

DTA-TG analizi ise bir malzemenin sıcaklık artışı ile bünyesinde meydana gelen termal ve gravimetrik değişimleri belirlemekte kullanılmaktadır. Malzeme bünyesinde meydana gelen ağırlık değişimleri (su kaybı, organik madde uzaklaşması gibi) termogravimetri (TG), ekzotermik yada endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri diferansiyel termal analiz (DTA) cihazı ile tespit edilmektedir. Malzemelerin sıcaklık artışı ile uğradığı ağırlık kayıplarının ve bünyelerinde meydana gelen reaksiyonların hangi sıcaklıklarda meydana geldiği böylelikle malzemelerin termal davranışları belirlenmektedir [64].

Tüm numunelere DTA-TG analizi NETZSCH marka STA 449F1 model cihazında, 0° ile 1000° C sıcaklıklar arasında azot ortamında yapılmıştır. Referans malzemesi olarak Al₂O₃ seçilmiştir.

6.4.11. UV dayanım deneyi

Polimer malzemelerde güneşin etkisiyle zamanla parlaklık kaybı, tebeşirlenme, çatlama, çizilme, puslanma, kabarma, gevreklik, dayanıklılık kaybı, oksidasyon ve renk değişimi gözlenmektedir [27]. Güneş UVA, UVB ve UVC bantlarında ultraviyole radyasyon yaymaktadır. Ancak, güneşten gelen UV ışınlarının etkilerini gözlemlemek uzun zaman alabilmektedir. Bu nedenle UV dayanım deneyi

için morötesi (UV) lambaları kullanılarak deneyin hızlandırılması sağlanmaktadır [65].

Atmosferin çözücü özelliği nedeniyle sadece % 5-7'ye kadar UV ışını yeryüzüne ulaşmaktadır. UV ışını; UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) ve UV-C (200-280 nm) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. UV-C en çok zarar veren dalga boyu olmasına rağmen atmosfer tarafından emilmektedir. UV-A ve UV-B bölgeleri yüzey işlemi sistemi katmanında bozunmaya neden olmaktadır. UV-B bölgesinde daha kısa dalga boylu enerji en yüksek bozunmaya sebep olmaktadır. UV-B bölgesindeki enerji seviyesi polimer kaplamalarda karbon-nitrojen, karbon-karbon, nitrojen-hidrojen, karbon-oksijen, karbon-hidrojen bağlarını kırarak düzeydedir. UV-A bölgesinde daha uzun dalga boyları olup; enerji karbon-nitrojen bağlarını kırarak güçte değildir. Deneylerde UV ışığına daha yakın ışıma yaptıkları ve katmanlarda keskin değişiklikler meydana getirdikleri için genellikle, karbon lambası, xenon lambası ve floresan lambaları tercih edilmektedir. UV Deneyi, UV ışınları yayan lambalarla, yüzeyde yoğunlaşan nemin etkilerinin ardışık periyotlarla uygulandığı deney kabinlerinde yapılmaktadır. Kullanılan ve UV ışını yayan floresan lambaların içerdikleri dalga boyları güneş ışığına göre daha yüksek enerji içermektedir [66].

Üretilen malzemelerde UV dayanımını arttıracak herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır. Ultraviyole dayanım deneyi TS 8106 ISO 4892 numaralı standarda göre floresan lambalar kullanılarak UV yaşlandırma kabininde yapılmıştır [67]. UV yaşlandırma kabini Şekil 6.38.'de verilmektedir.



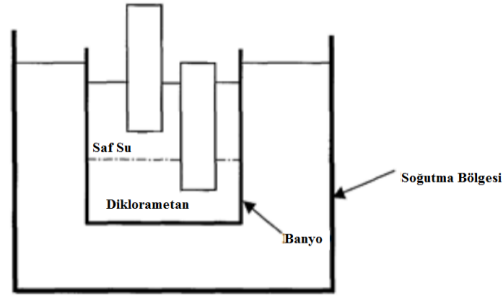
Şekil 6.38. UV yaşlandırma kabini [67]

Numunelerdeki renk değişimini anlayabilmek için numunelerin belli kısmına alüminyum bant yapıştırılmış ve deney sonrası bu bantlar kaldırılmıştır. UV deneyi sonrası dayanımı ölçmek için numunelere darbe deneyi yapılmıştır.

6.4.12. Diklorometana dayanım deneyi

PVC atık su borularında kullanım esnasında oluşabilecek hasarları önceden simüle edebilmek için diklorometana dayanım deneyi yapılmaktadır.

20 mm genişlik, 80 mm uzunluk ve 6 mm kalınlık ölçülerine sahip numunelere diklorometana dayanım deneyi TS EN 580 numaralı standarda göre yapılmıştır. Numuneler yarısı diklorometan diğer yarısı ise saf su ile doldurulmuş banyoda 15°C sıcaklıkta 30 dk. boyunca bekletilmiştir. Saf su ve diklorometan birbirine karışmamakta ve yoğunluğu nedeniyle diklorometan dibe çökmektedir. Banyonun 15°C sıcaklıkta sabit kalabilmesi için banyo dışında bir soğutma bölgesi bulunmaktadır. Numuneler 30 dk. bekletildikten sonra saf su bölgesine getirilmektedir. Daha sonra numunelerde herhangi bir bozulma olup olmadığı kontrol edilmektedir. Deney parçasında kabarma dışında herhangi bir bozulma olmaması gerekmektedir [68]. Şekil 6.39.'de diklorometana dayanım deneyinin şematik gösterimi verilmektedir.

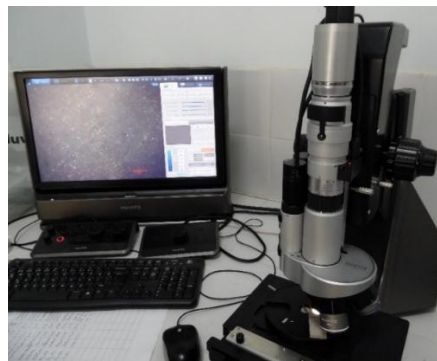


Şekil 6.39. Diklorometana dayanım deneyi şematik gösterimi

6.4.13. Optik mikroskop incelemeleri

Optik mikroskop, incelenen numunenin mikroyapısının ince detaylarını tanımak ve açığa çıkarmak için çeşitli merceklerin kombinasyonu şeklinde dizayn edilmiştir. Geçirgen olmayan yüzeylerde ışık numuneden yansıdıktan sonra görüntü oluşturulmaktadır [69].

Çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzeylerin, erozif, adhezif ve abrasif aşınma sonunda elde edilen en düşük sürtünme katsayısı ve en düşük aşınma oranına sahip numunelerin ve diklorometana dayanım deneyi sonrası numunelerin yüzeylerinden optik mikroskop görüntüleri Huvitz marka dijital optik mikroskop ile alınmıştır. Kullanılan mikroskop Şekil 6.40.'da verilmektedir.



Şekil 6.40. Dijital optik mikroskop

6.4.14. SEM ve EDS analizi

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektromanyetik lenslerle inceltiren elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme imkanı sunmaktadır. Mikroskopta oluşturulan resimler, elektron demetinin malzeme ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışınlar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak oluşturulmaktadır.

Enerji dağılımı spektrometresi (EDS) analizi herhangi bir örnek veya örnek üzerindeki ilgili küçük bir alanda elementel kompozisyonu tanımlamak için kullanılan bir tekniktir. SEM cihazında bulunan EDS analizi, örnek üzerine taramalı bir elektron demeti düşürülerek gerçekleştirilmektedir. Bu elektronların bazıları numune içindeki elektronlar ile çarpışarak elektronların yörüngelerinden çıkması sağlanmaktadır. Boşalan pozisyonlar x-ışınları yayan yüksek enerjili elektron tarafından doldurulmaktadır. Yayılan x-ışınları analiz edilerek, numunenin elementel kompozisyonu tespit edilebilmektedir [70].

Numunelerin çekme sonucu elde edilen kırık yüzeyleri altın ile kaplandıktan sonra SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizi düşük vakum altında yapılmıştır. Deney için jeol markalı JSM 6060 model cihaz kullanılmıştır. Analiz yapılmadan önce numunelere iletkenlik kazandırmak için altın (Au) kaplama yapılmıştır.

6.5. Boruya Uygulanan Deneyler

Elde edilen optimum formülasyonla ve sanayi tipi bir ekstrüzyon cihazında boru üretimi gerçekleştirilmiştir. Kesimi gerçekleşen borunun uç kısmının diğer boruya montajını sağlamak amacıyla çap genişletme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem muf açma olarak adlandırılmaktadır. Boruya muf açma işlemi başarılı bir şekilde yapılmıştır. Sanayide üretilen atık dolgulu boruya görünüş ve renk kontrolü, darbe deneyi, Vicat yumuşama sıcaklığı tayini deneyi ve boyutsal kararlılık deneyleri yapılmıştır.

Görünüş ve renk kontrolü TS 275 EN 1329 numaralı standarda göre yapılmıştır [45]. ASTM 4812 numaralı standarda göre darbe deneyi yapılmıştır [52].

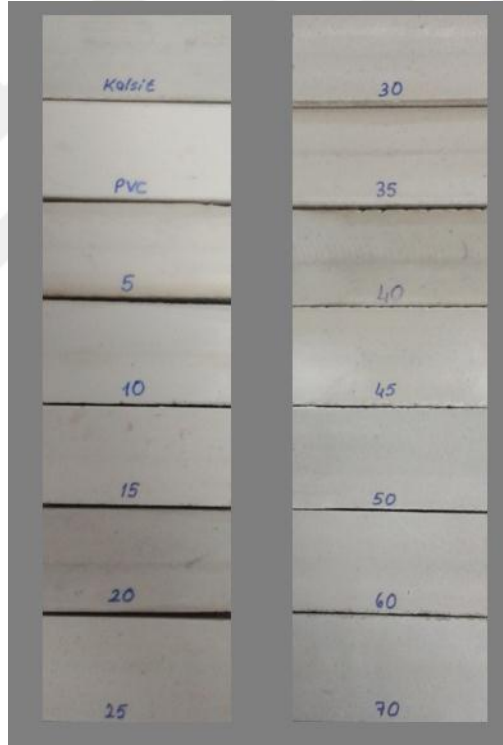
Vicat yumuşama sıcaklığı tayini deneyi TS EN 727 numaralı standarda göre yapılmıştır. Boru ve ekleme parçasından kesilerek hazırlanan deney parçasına sabit bir yük (50 ± 1) N uygulanarak sıcaklık düzenli bir şekilde artırılmaktadır. Batma ucunun deney parçasının yüzeyine 1 mm gömüldüğü andaki sıcaklık tespit edilmektedir. 1 mm penetrasyon sıcaklığı, °C cinsinden vicat yumuşama sıcaklığı (VYS) olarak gösterilmektedir [71].

TS EN 2505 numaralı standarda boyutsal kararlılık deneyleri yapılmıştır. Belirli uzunluktaki bir boru parçası bir sıvı banyosuna veya hava ısıtmalı etüv içine yerleştirilmekte ve burada belirli bir sıcaklıkta belirli bir süreyle tutulmaktadır. Boru parçasının işaretlenmiş kısmının uzunluğu, aynı koşullar altında ısıtma işleminden önce ve sonra ölçülmektedir. Eski halini alabilme özelliği, uzunluktaki değişimin ilk uzunluğa oranı olup yüzde olarak verilmektedir. Isıtma işleminden sonra deney parçasının yüzeyinin görünüşünde değişiklik olmamalıdır. Atık PVC su boruları için deney sıcaklığı 150°C olarak belirlenmiştir. Boyutsal değişim %5'den küçük veya eşit olmalıdır [72].

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Görünüm ve Renk Kontrolü

Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve dolgusuz PVC numunelerin dış görünümü Şekil 7.1.'de verilmektedir.



Şekil 7.1. Üretilen numunelerin dış görünümü

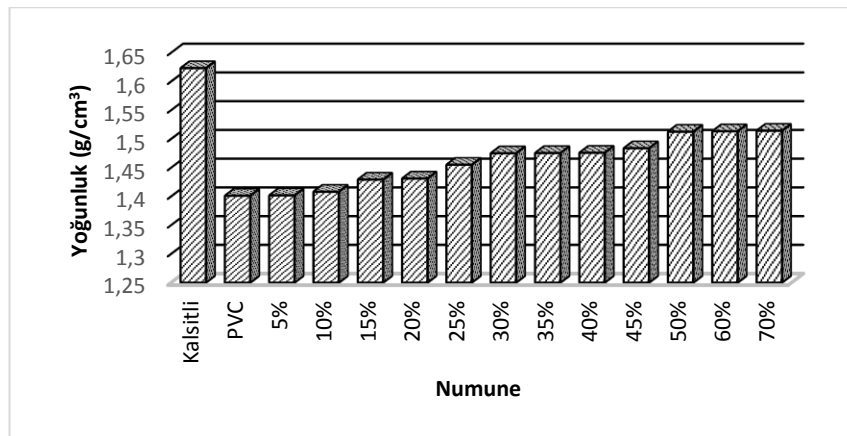
Üretilen numunelerin deneye uygun olduğu görülmüştür. Numunelerde çatlak, kabarma, kirlilik, gözenek, çukur veya benzeri diğer yüzey kusurları görülmemektedir.

7.2. Yoğunluk Deneyi

Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve saf PVC numunelerin yoğunluk ölçümleri Tablo 7.1.'de verilmektedir. Tüm numunelerin yoğunluk deneyi sonuçlarını içeren grafik ise Şekil 7.2.'de verilmektedir.

Tablo 7.1. Farklı PVC kompozitler için yoğunluk ölçüm değerleri

Numune Adı	Yoğunluk(g/cm ³)
Kalsitli	1,6232
PVC	1,4012
5%	1,4018
10%	1,4082
15%	1,4293
20%	1,4312
25%	1,4551
30%	1,4751
35%	1,4755
40%	1,476
45%	1,4838
50%	1,5126
60%	1,5134
70%	1,5143



Şekil 7.2. Farklı PVC kompozitler için yoğunluk deneyi sonuçları

Üretilen saf PVC yoğunluğu 1,40 g/cm³ tespit edilmiştir. Mengenoğlu ve arkadaşları PVC yoğunluğunu 1,35 g/cm³ olarak bulmuşlardır [73]. Weller ve arkadaşlarına göre rijit PVC'nin yoğunluğu 1,43 g/cm³ olarak verilmiştir [74]. En yüksek yoğunluk değeri

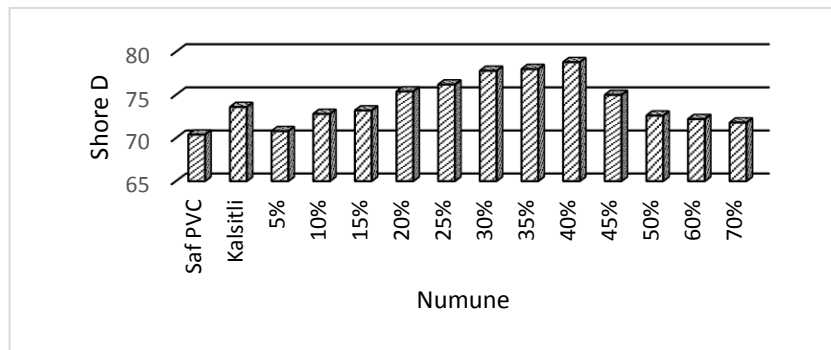
kalsit dolgulu numunede görülmüştür. PVC' ye eklenen atık oranı arttıkça yoğunluk artmıştır. Tüm sonuçlar, kalsit dolgulu numuneden daha düşük çıkmıştır.

7.3. Sertlik Deneyi

Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve saf PVC numunelerin Shore D sertlik ölçüm değerleri Tablo 7.2.'de verilmektedir. Tüm numunelerin Shore D sertlik ölçümleri grafiği ise Şekil 7.3.'te verilmektedir.

Tablo 7.2. Farklı PVC kompozitler için Shore D sertlik ölçüm değerleri

Numune	Sertlik (Shore D)
PVC	70,4
Kalsitli	73,6
5%	70,8
10%	72,8
15%	73,2
20%	75,4
25%	76,2
30%	77,8
35%	78
40%	78,8
45%	75
50%	72,6
60%	72,2
70%	71,8



Şekil 7.3. Farklı PVC kompozitler için Shore D sertlik değerleri

Saf PVC sertlik değeri 70,4 Shore D bulunmuştur. Bensemra ve arkadaşları rijit PVC sertlik değerine 80 Shore D olarak bulmuşlardır [75]. %40 atık dolgulu PVC kompozit

numunenin sertlik değeri ise 78,8 Shore D bulunmuştur. PVC' ye eklenen atık oranı arttıkça %40 atık dolgulu numuneye kadar sertlik artmış daha sonra ise sertlikte düşüş görülmüştür. En yüksek sertlik değeri % 40 atık dolgulu numunede gözlemlenmiştir.

7.4. Çekme Deneyi

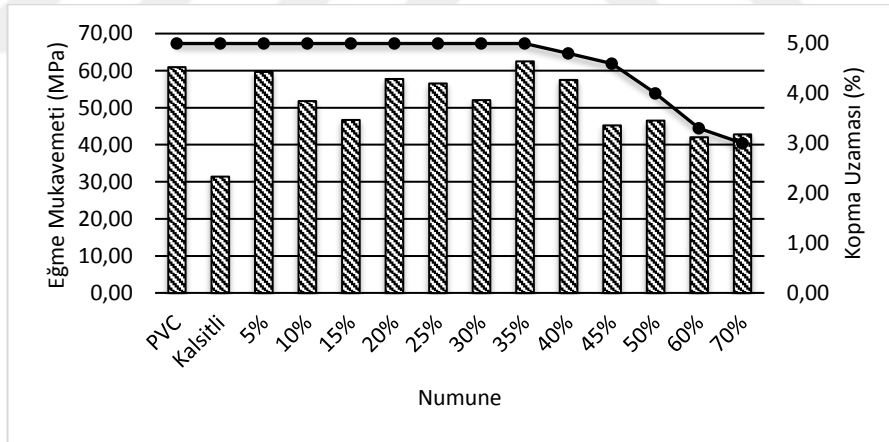
Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve saf PVC numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme mukavemeti kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri Tablo 7.3.'te verilmektedir. Tüm numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme mukavemeti kopma mukavemeti ve kopma uzaması sonuçları grafiği Şekil 7.4.'te verilmektedir.

Tablo 7.3. Çekme deneyi sonucu elde edilen çekme mukavemeti kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri

Numune	Çekme mukavemeti (MPa)	Kopma mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PVC	46,80	30,24	7,62
Kalsitli	25,70	25,70	3,92
5%	45,10	45,10	4,60
10%	44,10	44,10	5,10
15%	39,08	39,08	4,40
20%	34,00	34,00	4,50
25%	32,28	32,28	3,98
30%	31,00	31,00	3,30
35%	32,30	32,30	4,00
40%	28,70	28,70	3,27
45%	29,20	29,20	3,20
50%	28,60	28,60	4,10
60%	26,70	26,70	2,80
70%	25,90	25,90	2,80

Tablo 7.4. Üç nokta eğme deneyi sonucu elde edilen eğme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri

Numune	Eğme mukavemeti (MPa)	Kopma uzaması (%)
PVC	60,90	5,00
Kalsitli	31,40	5,00
5%	59,60	5,00
10%	51,80	5,00
15%	46,70	5,00
20%	57,70	5,00
25%	56,50	5,00
30%	52,00	5,00
35%	62,50	5,00
40%	57,50	4,80
45%	45,20	4,60
50%	46,50	4,00
60%	42,00	3,30
70%	42,80	3,00



Şekil 7.5. Üç nokta eğme deneyi sonucu elde edilen eğme mukavemeti ve kopma uzaması sonuçları

Standarda göre üç nokta eğme deneyinde kopma uzaması %5'e geldiğinde deney bitmektedir. Sadece %40-%45-%50-%60-%70 atık dolgulu numuneler %5 uzamaya gelmeden kopmaya uğramışlardır. Saf PVC eğme mukavemeti değeri 60,90 MPa olarak bulunmuştur. Shah ve arkadaşları rijit PVC'ye yapılan üç nokta eğme deneyi sonucu eğme mukavemetini 57 MPa olarak bulmuşlardır [78]. Faruk ve arkadaşları ise eğme mukavemetini 69,4 MPa olarak bulmuşlardır [79]. En yüksek eğme mukavemeti

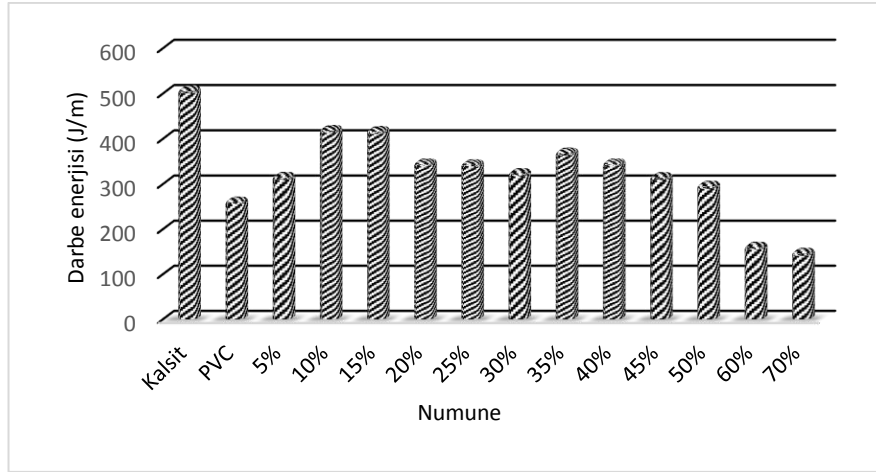
değeri 62,50 MPa olup %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. En düşük eğme mukavemeti değeri ise 31,40 MPa olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür.

7.6. Darbe Deneyi

Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve saf PVC numunelerin darbe deneyi sonucunda elde edilen darbe enerjisi değerleri Tablo 7.5.'te verilmektedir. Tüm numunelerin darbe deneyi sonucunda elde edilen darbe enerjisi sonuçları grafiği Şekil 7.6.'da verilmektedir.

Tablo 7.5. Numunelerin darbe deneyi sonucu elde edilen darbe enerjisi değerleri

Numune	Darbe enerjisi (J/m)
Kalsit	511,67
PVC	265,75
5%	320,5
10%	424,25
15%	422
20%	350,25
25%	348,25
30%	328,75
35%	374,25
40%	350,25
45%	320
50%	301
60%	165,75
70%	152,25

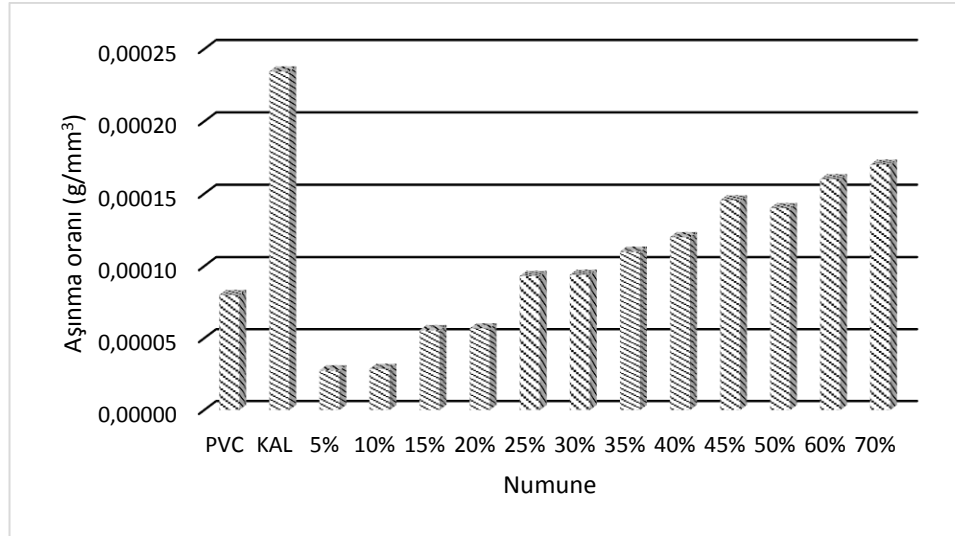


Şekil 7.6. Numunelerin darbe deneyi sonucu elde edilen darbe enerjisi grafiği

Saf PVC darbe enerjisi değeri 265,75 J/m ($28,72 \text{ kJ/m}^2$) olarak bulunmuştur. Zeng ve arkadaşları saf PVC darbe enerjisini $23,3 \text{ kJ/m}^2$ olarak bulmuşlardır [77]. Matuana ve arkadaşları PVC darbe enerjisi değerini 215 J/m olarak bulmuşlardır [80]. En yüksek darbe enerjisi değeri 511,67 J/m olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Zeng ve arkadaşları kalsit dolgusunun PVC darbe dayanımının arttırdığını bulmuşlardır [77]. Atık dolgulu numunelerin kırılma enerjisi PVC numuneye göre yüksek çıkmıştır.

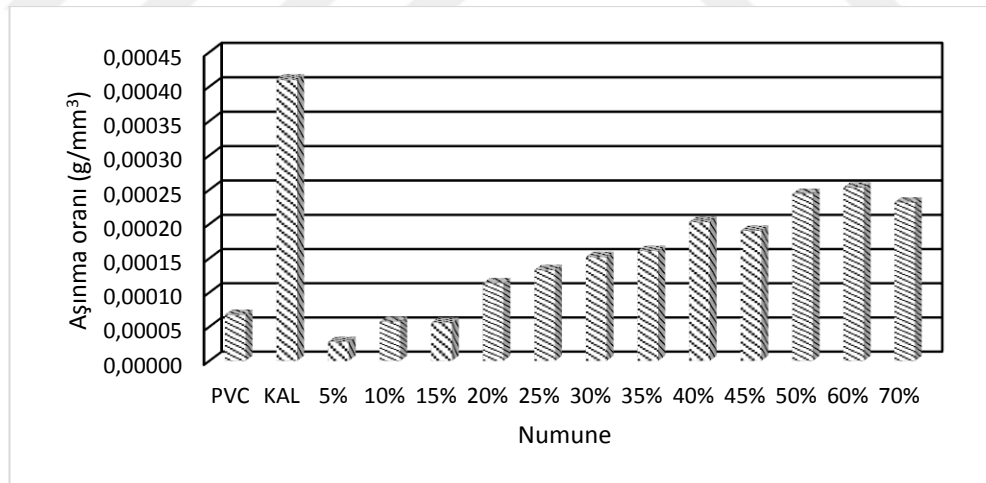
7.7. Eroziyon Aşınma

Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve saf PVC numunelerin 0° açı ile yapılan eroziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri Şekil 7.7.'de, 15° açı ile yapılan eroziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri Şekil 7.8.'de, 30° açı ile yapılan eroziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri Şekil 7.9.'da, 45° açı ile yapılan eroziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri Şekil 7.10.'da, 60° açı ile yapılan eroziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri Şekil 7.11.'de, 75° açı ile yapılan eroziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri Şekil 7.12.'de ve 90° açı ile yapılan eroziyon aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri Şekil 7.13.'de verilmektedir.



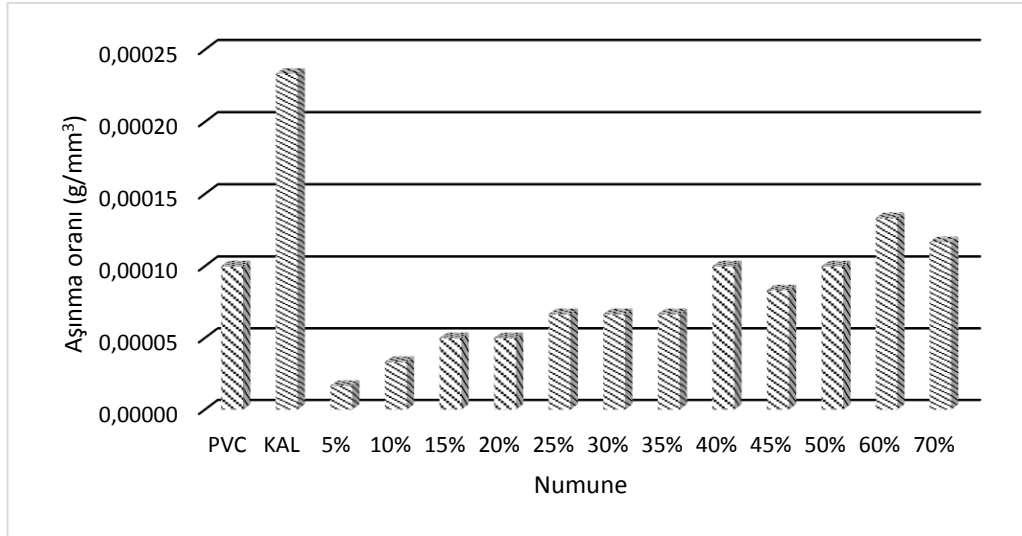
Şekil 7.7. 0° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri

0° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu en yüksek aşınma oranı değeri 0,00023 g/mm³ olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık katkı oranı arttıkça aşınma oranının arttığı görülmektedir. En düşük aşınma oranı 0,00003 g/mm³ olup %10 atık dolgulu numunede görülmüştür.



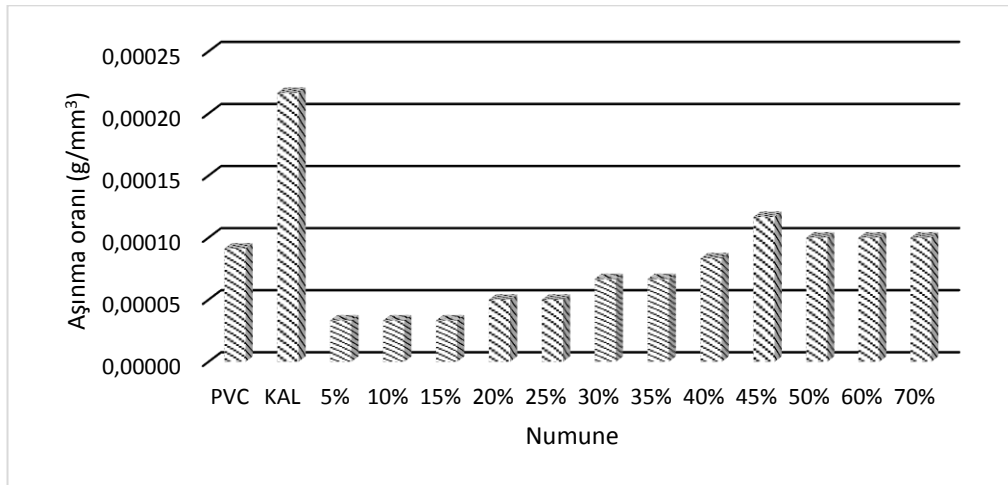
Şekil 7.8. 15° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri

15° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu en yüksek aşınma oranı değeri 0,00041 g/mm³ olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık katkı oranı arttıkça aşınma oranının arttığı görülmektedir. En düşük aşınma oranı 0,00003 g/mm³ olup %5 atık dolgulu numunede görülmüştür.



Şekil 7.9. 30° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri

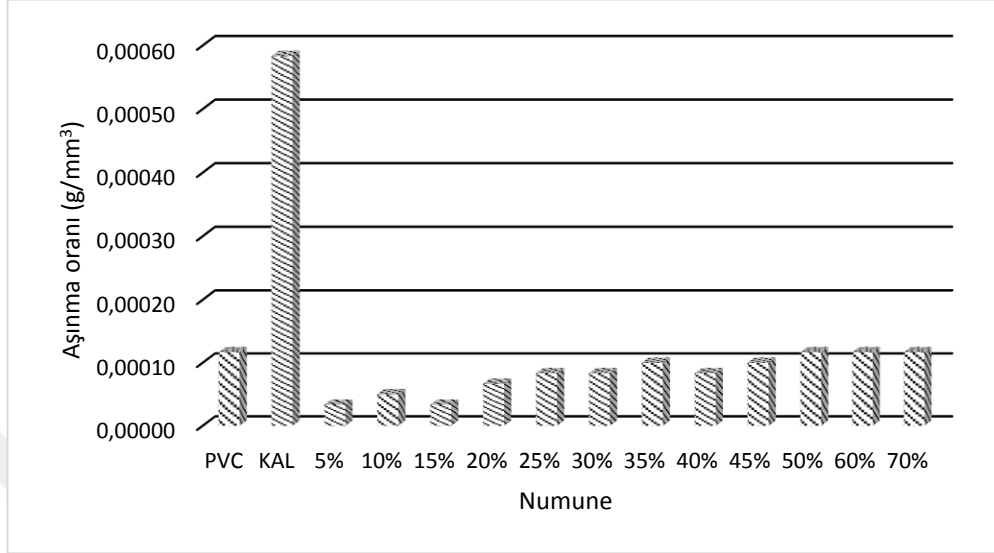
30° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu en yüksek aşınma oranı değeri 0,00023 g/mm³ olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık katkı oranı arttıkça aşınma oranının genel olarak arttığı görülmektedir. En düşük aşınma oranı 0,00002 g/mm³ olup %5 atık dolgulu numunede görülmüştür. %50 atık dolgulu numuneye kadar olan aşınma oranı değerleri saf PVC aşınma oranından daha düşük çıkmıştır.



Şekil 7.10. 45° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri

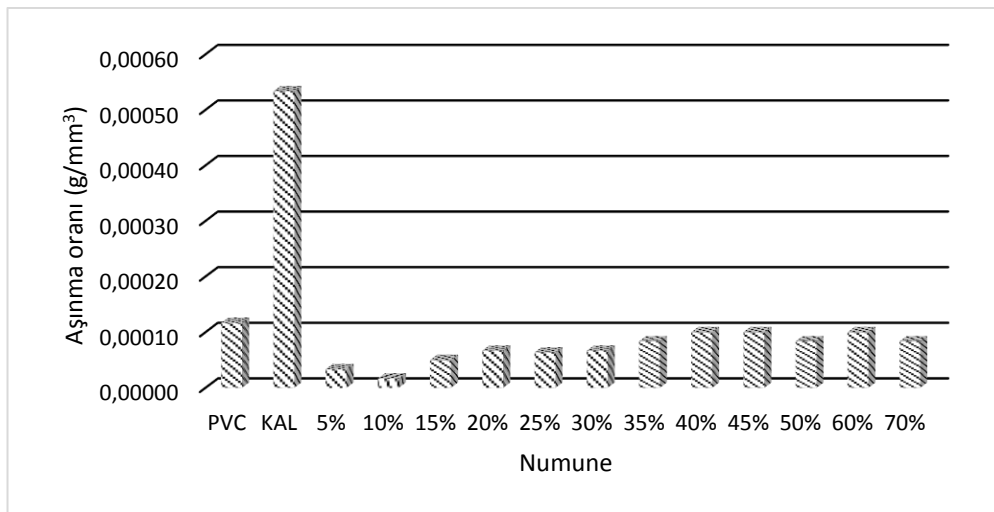
45° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu en yüksek aşınma oranı değeri 0,00022 g/mm³ olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık katkı oranı arttıkça aşınma oranının genel olarak arttığı görülmektedir. En düşük aşınma oranı 0,00002 g/mm³

olup %15 atık dolgulu numunede görülmüştür. %40 atık dolgulu numuneye kadar olan aşınma oranı değerleri saf PVC aşınma oranından daha düşük çıkmıştır.



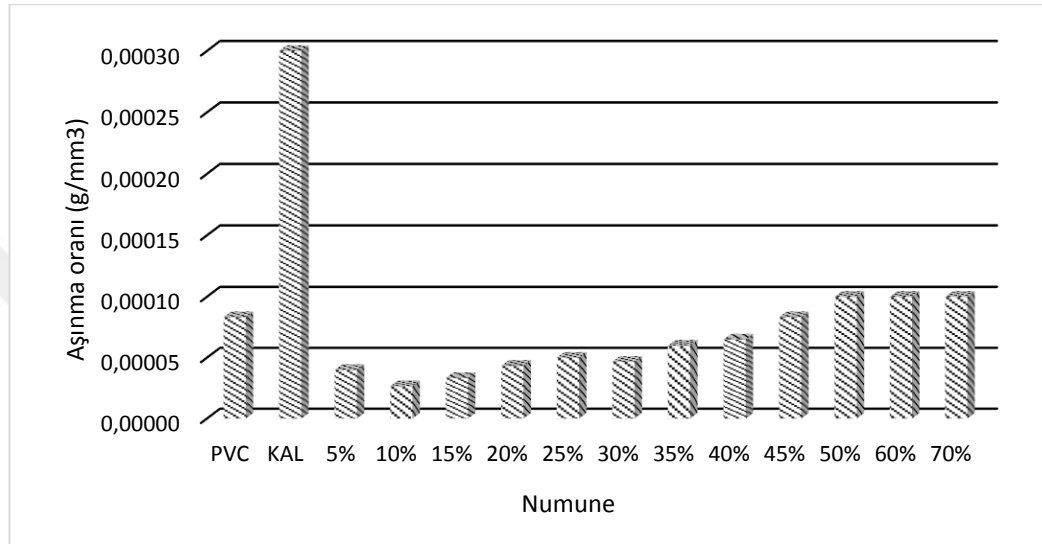
Şekil 7.11. 60° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri

60° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu en yüksek aşınma oranı değeri 0,00058 g/mm³ olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık katkı oranı arttıkça aşınma oranının genel olarak arttığı görülmektedir. En düşük aşınma oranı 0,00003 g/mm³ olup %15 atık dolgulu numunede görülmüştür. Tüm atık dolgulu numunelerin aşınma oranı değerleri saf PVC aşınma oranından daha düşük çıkmıştır.



Şekil 7.12. 75° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri

75° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu en yüksek aşınma oranı değeri 0,00053 g/mm³ olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık katkı oranı arttıkça aşınma oranının genel olarak arttığı görülmektedir. En düşük aşınma oranı 0,00002 g/mm³ olup %10 atık dolgulu numunede görülmüştür. Tüm atık dolgulu numunelerin aşınma oranı değerleri saf PVC aşınma oranından daha düşük çıkmıştır.



Şekil 7.13. 90° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu elde edilen aşınma oranı değerleri

90° açı ile yapılan erozif aşınma deneyi sonucu en yüksek aşınma oranı değeri 0,00030 g/mm³ olup kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık katkı oranı arttıkça aşınma oranının genel olarak arttığı görülmektedir. En düşük aşınma oranı 0,00003 g/mm³ olup %10 atık dolgulu numunede görülmüştür. %40 atık dolgulu numuneye kadar olan aşınma oranı değerleri saf PVC aşınma oranından daha düşük çıkmıştır.

7.8. Adhezif Aşınma

Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve saf PVC numunelerin adhezif aşınma deneyi sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerleri Tablo 7.6. ve Tablo 7.7.'de verilmektedir. Adhezif aşınma deneyi sonucu 5 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi Şekil 7.14.'te, 10 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi Şekil 7.15.'te, 15 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi Şekil 7.16.'da, 0,5 m/s hızda

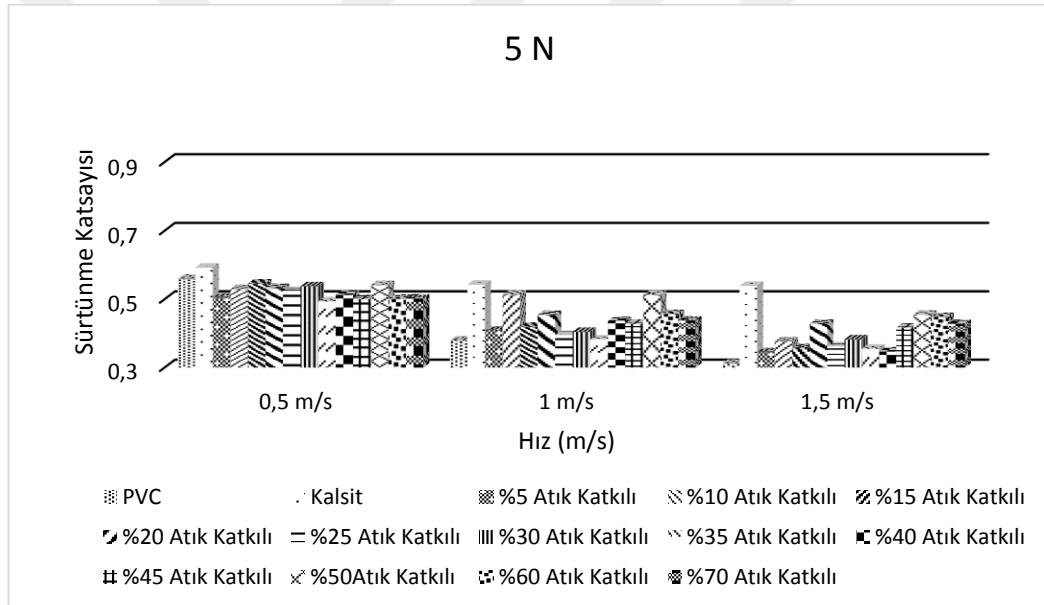
yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi Şekil 7.17.'de, 1 m/s hızda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi Şekil 7.18.'de ve 1,5 m/s hızda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi Şekil 7.19.'da verilmektedir.

Tablo 7.6. Adhezif aşınma deneyi sonucu elde edilen sürtünme katsayısı değerleri

Malzeme	Yük, N	Sürtünme Katsayıları (μ)		
		Hız (m/s)		
		0,5 m/s	1 m/s	1,5 m/s
PVC	5 N	0,55966	0,37896	0,31155
	10 N	0,4599	0,33704	0,32406
	15 N	0,57445	0,51137	0,34066
Kalsit	5 N	0,59227	0,54242	0,53881
	10 N	0,55669	0,55506	0,41288
	15 N	0,55324	0,5837	0,42103
%5 Atık Dolgulu	5 N	0,50469	0,40781	0,34465
	10 N	0,52749	0,4417	0,34934
	15 N	0,49799	0,4202	0,36355
%10 Atık Dolgulu	5 N	0,52988	0,51316	0,37648
	10 N	0,52971	0,41254	0,35942
	15 N	0,52628	0,42967	0,38094
%15 Atık Dolgulu	5 N	0,54588	0,41917	0,35678
	10 N	0,48351	0,40001	0,35189
	15 N	0,43099	0,40674	0,37697
%20 Atık Dolgulu	5 N	0,53305	0,45395	0,42812
	10 N	0,45577	0,39872	0,39057
	15 N	0,54605	0,40036	0,39099
%25 Atık Dolgulu	5 N	0,52395	0,39514	0,36206
	10 N	0,47662	0,39067	0,36056
	15 N	0,48595	0,45122	0,38166
%30 Atık Dolgulu	5 N	0,53801	0,40459	0,38275
	10 N	0,48585	0,37853	0,38288
	15 N	0,48932	0,40047	0,38388
%35 Atık Dolgulu	5 N	0,4936	0,38221	0,35537
	10 N	0,40001	0,38417	0,33761
	15 N	0,40001	0,32742	0,33665
%40 Atık Dolgulu	5 N	0,51251	0,43574	0,3468
	10 N	0,43761	0,39665	0,36104
	15 N	0,43665	0,39143	0,38862

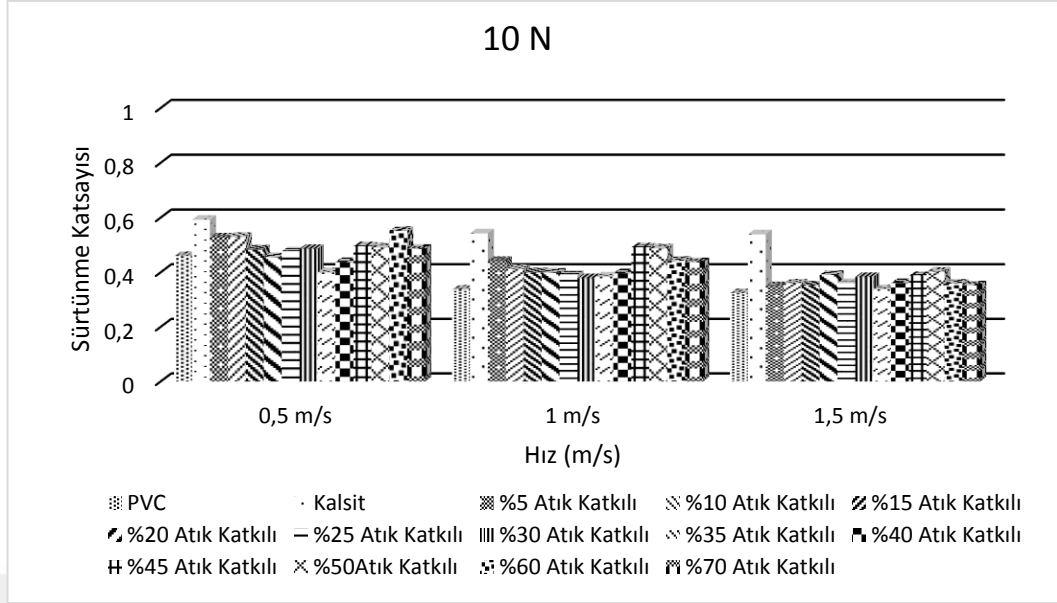
Tablo 7.7. Adhezif aşınma deneyi sonucu elde edilen sürtünme katsayısı değerleri (devamı)

	5 N	0,5	0,42792	0,41686
%45 Atık Dolgulu	10 N	0,49588	0,49199	0,38664
	15 N	0,56052	0,41537	0,40408
%50 Atık Dolgulu	5 N	0,54123	0,51253	0,45467
	10 N	0,49158	0,48795	0,40217
	15 N	0,44223	0,42672	0,37048
%60 Atık Dolgulu	5 N	0,49091	0,4563	0,44767
	10 N	0,55163	0,44216	0,35851
	15 N	0,56391	0,43664	0,43927
%70 Atık Dolgulu	5 N	0,5018	0,43726	0,42725
	10 N	0,48593	0,43683	0,35245
	15 N	0,55491	0,41572	0,35874



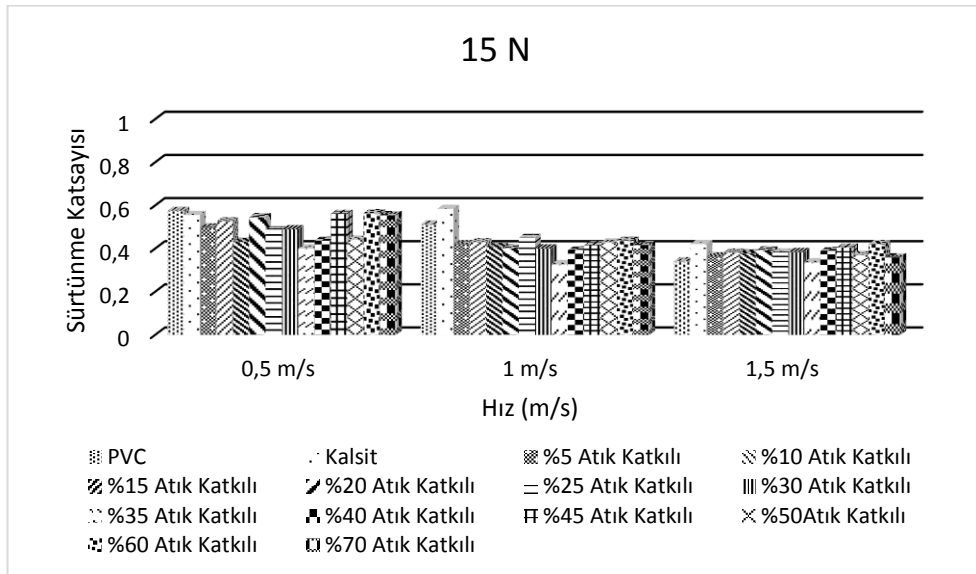
Şekil 7.14. 5 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

5 N yükte tüm hızlarda en yüksek sürtünme katsayısı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Hızın artışına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerleri tüm numunelerde azalma göstermiştir. Genel olarak atık dolgusu arttıkça belli bir orana kadar sürtünme katsayısında düşüş gözlemlenmiş daha sonra ise artış göstermiştir. 0,5 ve 1 m/s hızlarda en düşük sürtünme katsayısı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. 1,5 m/s hızda ise en düşük sürtünme katsayısı PVC numunede görülmüştür.



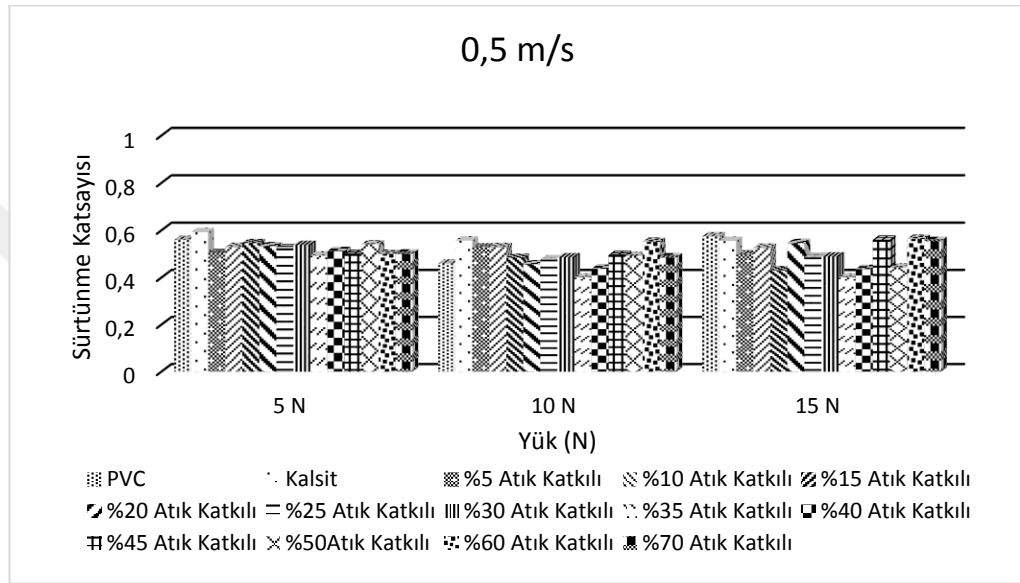
Şekil 7.15. 10 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

10 N yükte tüm hızlarda en yüksek sürtünme katsayısı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Hızın artışına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerleri tüm numunelerde azalma göstermiştir. Genel olarak atık dolgusu arttıkça belli bir orana kadar sürtünme katsayısında düşüş gözlemlenmiş daha sonra ise artış göstermiştir. 0,5 ve 1,5 m/s hızlarda en düşük sürtünme katsayısı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. 1 m/s hızda ise en düşük sürtünme katsayısı PVC numunede görülmüştür.



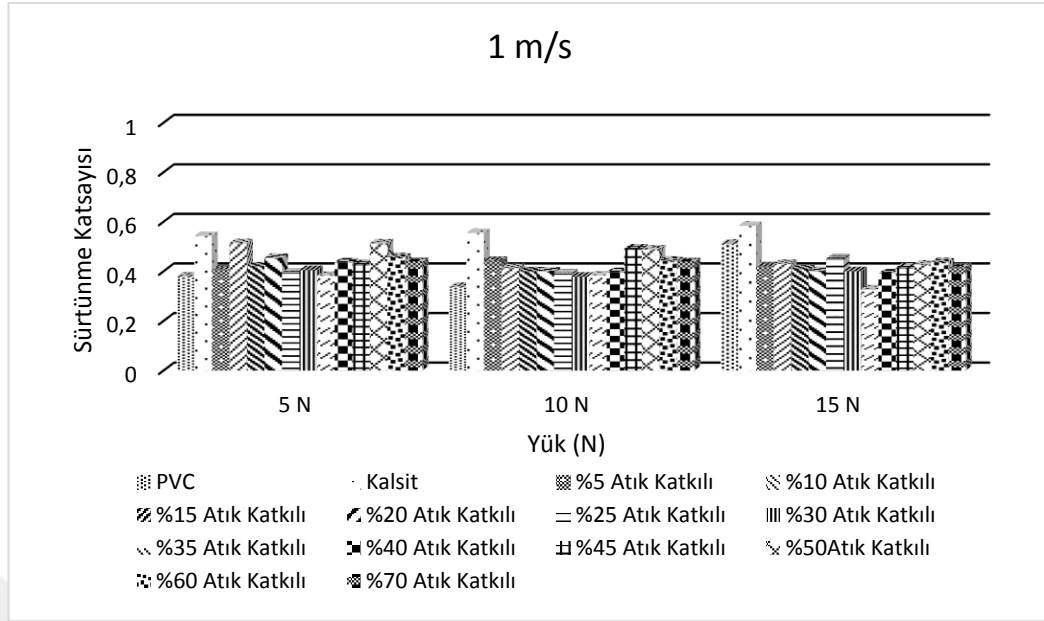
Şekil 7.16. 15 N yük altında hıza bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

15 N yükte 1 ve 1,5 m/s hızlarda en yüksek sürtünme katsayısı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. 0,5 m/s hızda ise en yüksek sürtünme katsayısı PVC numunede görülmüştür. Hızın artışına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerleri tüm numunelerde azalma göstermiştir. Genel olarak atık dolgusu arttıkça belli bir orana kadar sürtünme katsayısında düşüş gözlemlenmiş daha sonra ise artış göstermiştir. Tüm hızlarda en düşük sürtünme katsayısı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür.



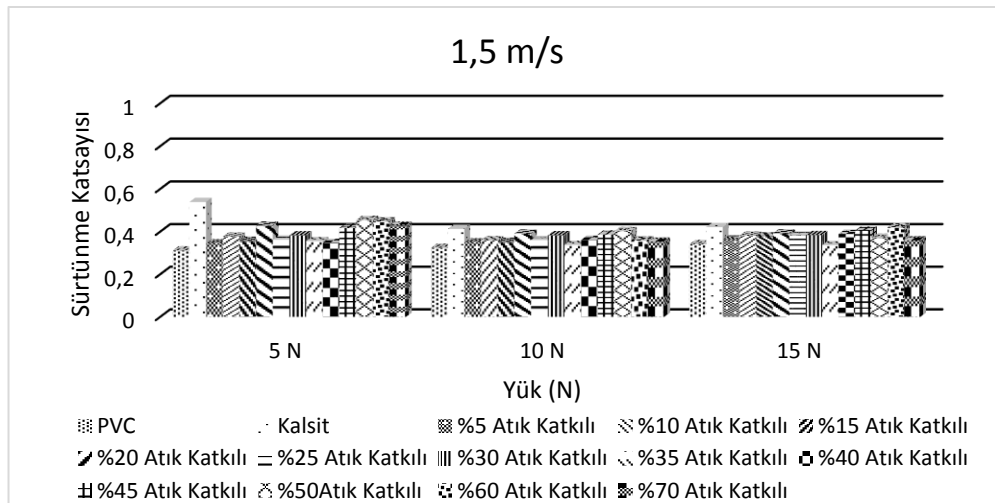
Şekil 7.17. 0,5 m/s hızda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

0,5 m/s hızda uygulanan tüm yüklerde en düşük sürtünme katsayısı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. 5 ve 10 N yük altında en yüksek sürtünme katsayısı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. 15 N yük altında ise en yüksek sürtünme katsayısı PVC numunede görülmüştür. Genel olarak atık dolgusu arttıkça belli bir orana kadar sürtünme katsayısında düşüş gözlemlenmiş daha sonra ise artış göstermiştir. Genel olarak uygulanan yük arttıkça tüm numunelerde sürtünme katsayısında azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 7.18. 1 m/s hızda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

1 m/s hızda uygulanan 5 N ve 15 N yük altında yüklerde en düşük sürtünme katsayısı %35 atık dolgu numunede görülmüştür. 10 N yük altında ise en düşük sürtünme katsayısı saf PVC numunede görülmüştür. Uygulanan tüm yüklerde en yüksek sürtünme katsayısı kalsit dolgu numunede görülmüştür. Genel olarak atık dolgusu arttıkça belli bir orana kadar sürtünme katsayısında düşüş gözlemlenmiş daha sonra ise artış göstermiştir. Genel olarak uygulanan yük arttıkça tüm numunelerde sürtünme katsayısında azalma gözlemlenmiştir. Fakat kalsit dolgu numunede yük arttıkça sürtünme katsayısında artış görülmüştür.



Şekil 7.19. 1,5 m/s hızda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

1,5 m/s hızda uygulanan tüm yüklerde en yüksek sürtünme katsayısı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Genel olarak uygulanan yük arttıkça tüm numunelerde sürtünme katsayısında azalma gözlemlenmiştir. 1,5 m/s hızda 15 N yük altında en düşük sürtünme katsayısı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. 5 ve 10 N yük altında ise en düşük sürtünme katsayısı PVC numunede görülmüştür.

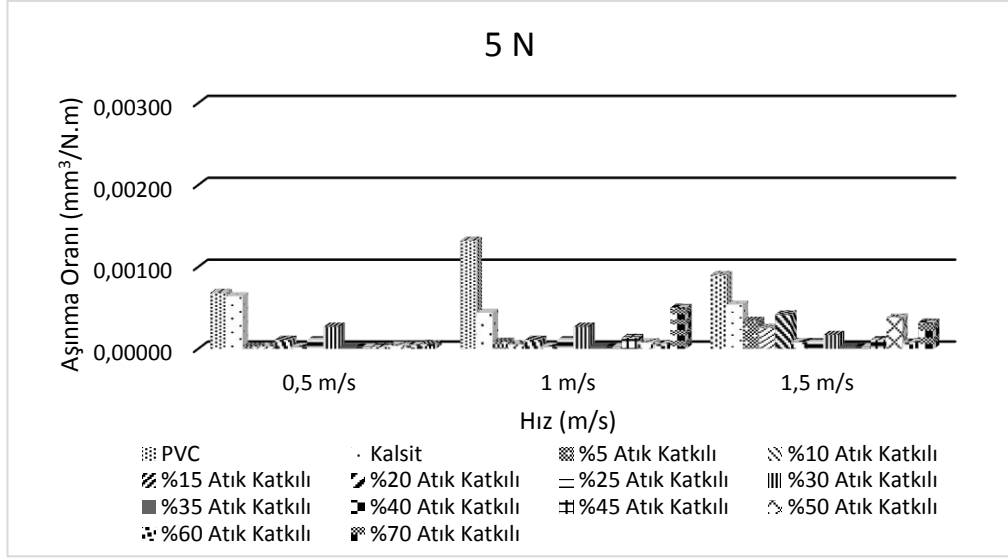
Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve saf PVC numunelerin adhezif aşınma deneyi sonucunda elde edilen aşınma oranı değerleri Tablo 7.8. ve Tablo 7.9.'da verilmektedir. Tüm numunelerin adhezif aşınma deneyi sonucu 5 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi Şekil 7.20.'de, 10 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi Şekil 7.21.'de, 15 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi Şekil 7.22.'de, 0,5 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi Şekil 7.23.'te, 1 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi Şekil 7.24.'te ve 1,5 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi Şekil 7.25.'te verilmektedir.

Tablo 7.8. Adhezif aşınma deneyi sonucunda elde edilen aşınma oranı değerleri

Malzeme	Yük, N	Aşınma Oranı [mm ³ /N.m]		
		Hız (m/s)		
		0,5 m/s	1 m/s	1,5 m/s
PVC	5	0,00068	0,00132	0,0009
	10	0,00057	0,00011	0,0007
	15	0,00028	0,00009	0,00109
Kalsit	5	0,00064	0,00044	0,00054
	10	0,00016	0,00096	0,00052
	15	0,00032	0,00108	0,00039
%5 Atık Dolgulu	5	0,00003	0,00009	0,00034
	10	0,00004	0,00027	0,0004
	15	0,00011	0,00025	0,00036
%10 Atık Dolgulu	5	0,00003	0,00006	0,00026
	10	0,00006	0,00061	0,00051
	15	0,00009	0,00026	0,00015
%15 Atık Dolgulu	5	0,00011	0,00011	0,00042
	10	0,00028	0,0002	0,00019
	15	0,00022	0,00029	0,00033

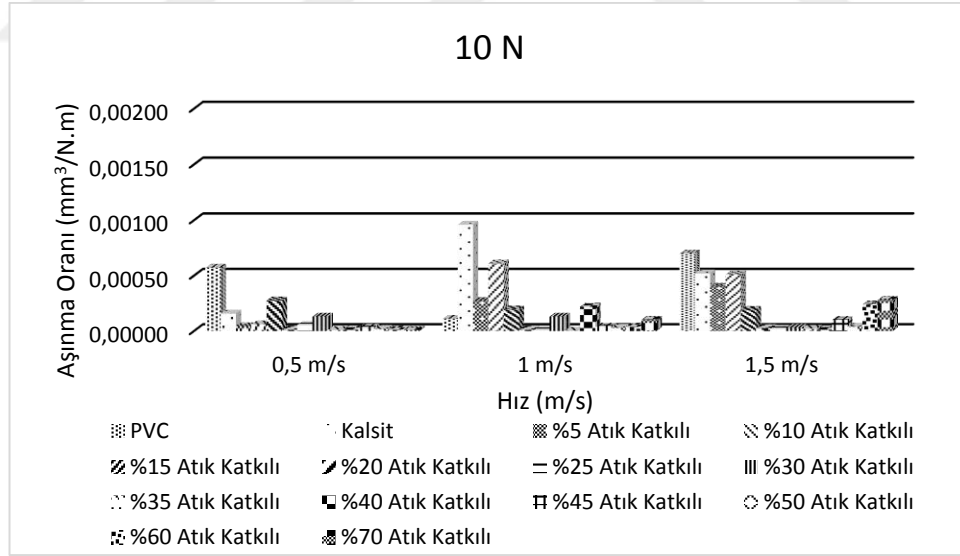
Tablo 7.9. Adhezif aşınma deneyi sonucunda elde edilen aşınma oranı değerleri (devamı)

%20 Atık Dolgulu	5	0,00002	0,00003	0,00008
	10	0,00001	0,00001	0,00003
	15	0,00001	0,00001	0,00005
%25 Atık Dolgulu	5	0,00011	0,00011	0,00008
	10	0,00005	0,00001	0,00002
	15	0,00005	0,00003	0,00011
%30 Atık Dolgulu	5	0,00027	0,00027	0,00017
	10	0,00013	0,00013	0,00003
	15	0,00013	0,00013	0,00013
%35 Atık Dolgulu	5	0,00002	0,00003	0,00002
	10	0,00001	0,000003	0,00002
	15	0,00001	0,00001	0,00002
%40 Atık Dolgulu	5	0,00003	0,00003	0,00003
	10	0,00001	0,00022	0,00001
	15	0,00001	0,00005	0,00001
%45 Atık Dolgulu	5	0,00002	0,00013	0,00011
	10	0,00003	0,00004	0,0001
	15	0,00001	0,00038	0,00027
%50 Atık Dolgulu	5	0,00004	0,00008	0,0005
	10	0,00002	0,00003	0,00004
	15	0,00001	0,00016	0,0002
%60 Atık Dolgulu	5	0,00004	0,00006	0,00008
	10	0,00001	0,00004	0,00024
	15	0,00003	0,00019	0,00023
%70 Atık Dolgulu	5	0,00006	0,0005	0,00032
	10	0,00001	0,0001	0,00028
	15	0,00009	0,00011	0,00026



Şekil 7.20. 5 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi

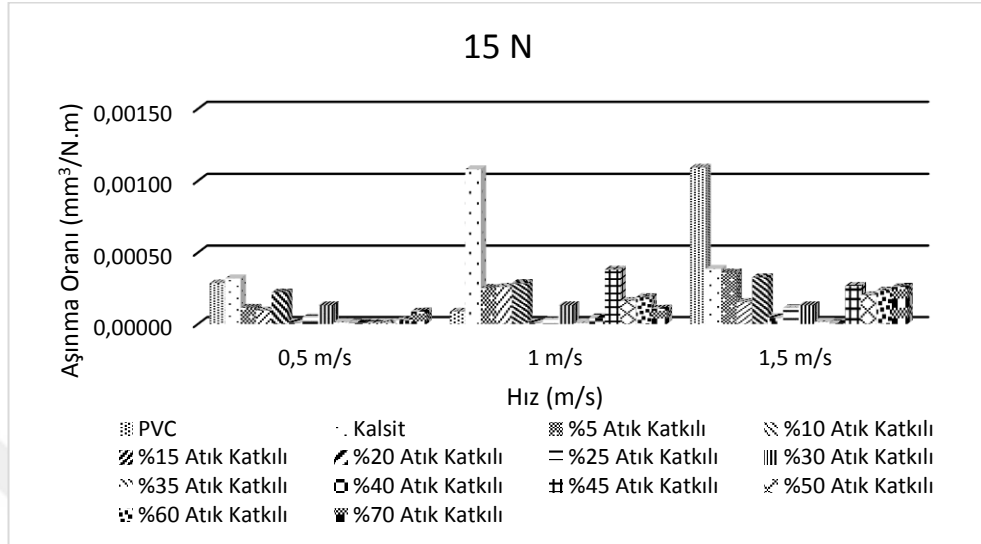
5 N yük altında tüm hızlarda en yüksek aşınma oranı PVC numunede görülmüştür. En düşük aşınma oranı ise %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. Hız arttıkça genel olarak tüm dolgulu numunelerin aşınma oranında artış görülmüştür.



Şekil 7.21. 10 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi

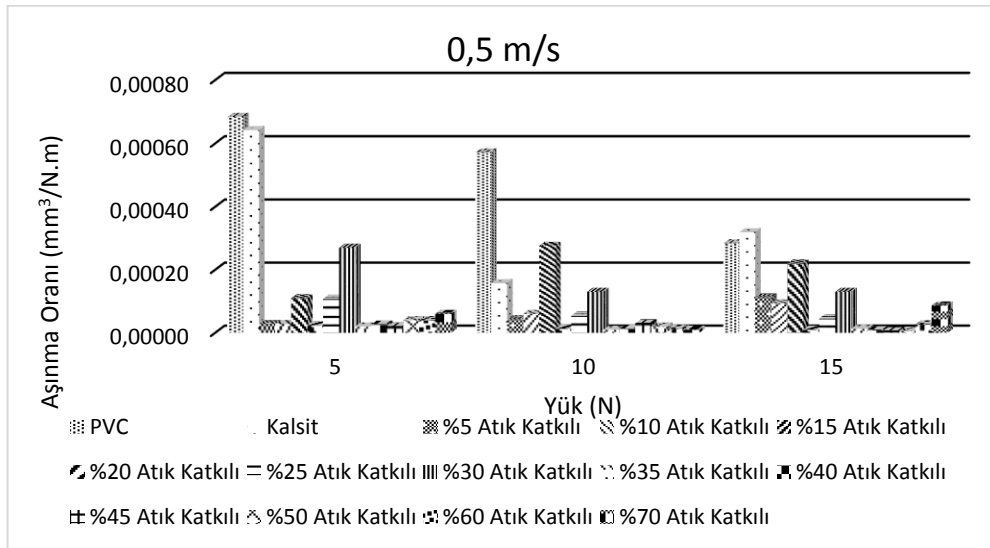
10 N yük altında 0,5 ve 1,5 m/s hızlarda en yüksek aşınma oranı PVC numunede görülmüştür. 1m/s hızda ise en yüksek aşınma oranı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. 0,5 m/s hızda en düşük aşınma oranı %35 atık dolgulu numunede

görülmüştür. 1 ve 1,5 m/s hızda ise en düşük aşınma oranı %30 atık dolgulu numunede görülmüştür.



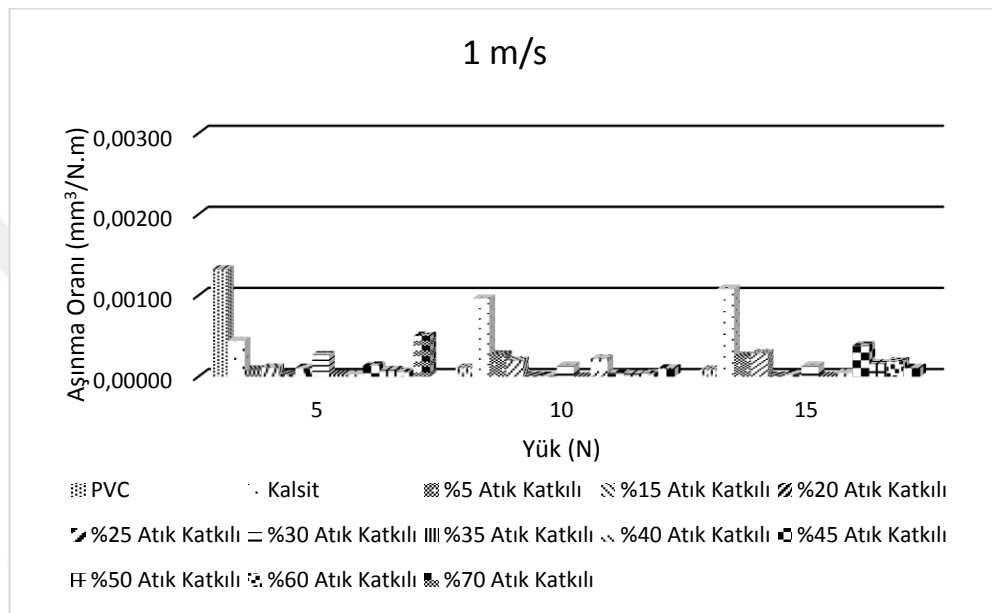
Şekil 7.22. 15 N yük altında hıza bağlı olarak aşınma oranının değişimi

15 N yük altında 1,5 m/s hızda en yüksek aşınma oranı PVC numunede görülmüştür. 0,5 ve 1m/s hızlarda ise en yüksek aşınma oranı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. 1 m/s hızda en düşük aşınma oranı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. 0,5 ve 1,5 m/s hızda ise en düşük aşınma oranı %40 atık dolgulu numunede görülmüştür.



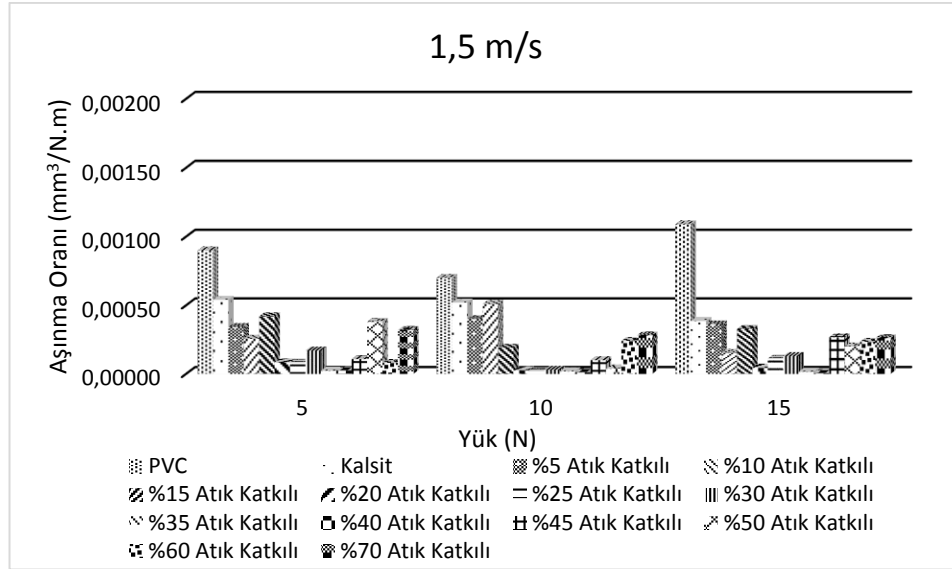
Şekil 7.23. 0,5 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi

0,5 m/s hızda 5 ve 10 N yük altında en yüksek aşınma oranı PVC numunede görülmüştür. 15 N yük altında ise en yüksek aşınma oranı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. 5 ve 10 N yük altında en düşük aşınma oranı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. 15 N yük altında ise en düşük aşınma oranı %40 atık dolgulu numunede görülmüştür. 10 N yük altında genel olarak atık dolgusu arttıkça aşınma oranında düşüş görülmüştür.



Şekil 7.24. 1 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi

1 m/s hızda 5 N yük altında en yüksek aşınma oranı PVC numunede görülmüştür. 10 ve 15 N yük altında ise en yüksek aşınma oranı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Uygulanan tüm yükler altında en düşük aşınma oranı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. 5 ve 10 N'luk yükler altında genel olarak atık dolgusu arttıkça aşınma oranında düşüş görülmüştür.



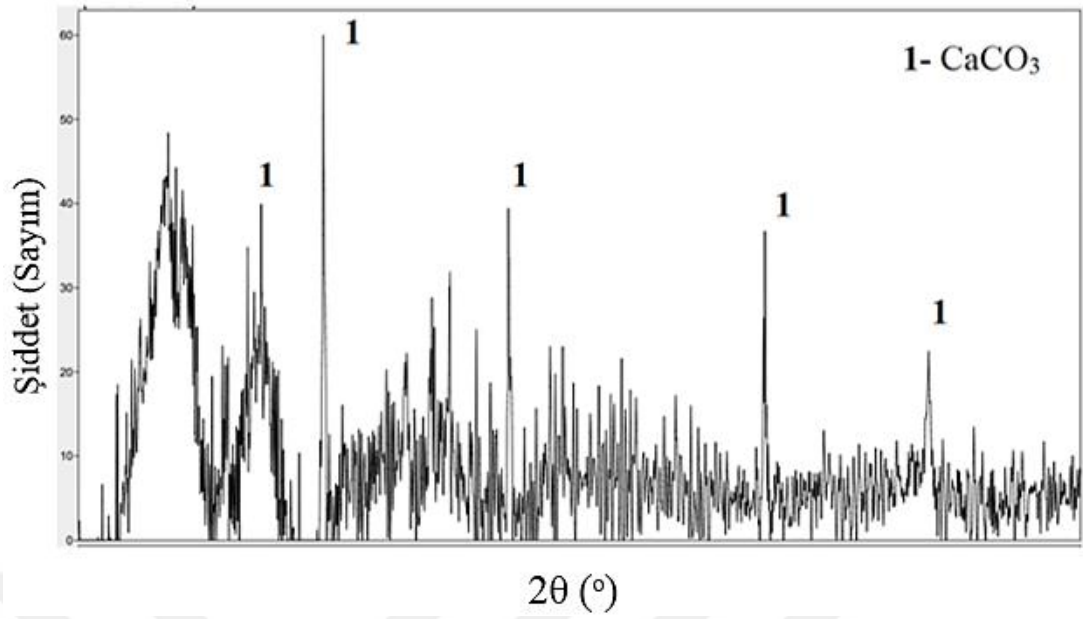
Şekil 7.25. 1,5 m/s hızda yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi

1,5 m/s hızda uygulanan tüm yükler altında en yüksek aşınma oranı PVC numunede görülmüştür. 5 ve 10 N'luk yükler altında en düşük aşınma oranı %35 atık dolgulu numunede görülmüştür. 15 N yük altında ise en düşük aşınma oranı %40 atık dolgulu numunede görülmüştür. Genel olarak atık dolgusu arttıkça aşınma oranı belli bir orana kadar düşmüş sonrasında ise artış görülmüştür.

Tüm yük ve hızlara bakıldığında en düşük aşınma oranı değeri 0,000003 mm³/N.m olup %35 atık dolgulu numunede 10 N yük altında 1 m/s hızda görülmüştür. Bu değerlerdeki sürtünme katsayısı 0,378 olarak bulunmuştur. Tüm yük ve hızlara bakıldığında en düşük sürtünme katsayısı değeri 0,336 olup %35 atık dolgulu numunede 15 N yük altında 1,5 m/s hızda görülmüştür. Bu değerlerdeki aşınma oranı değeri ise 0,00002 mm³/N.m olarak bulunmuştur.

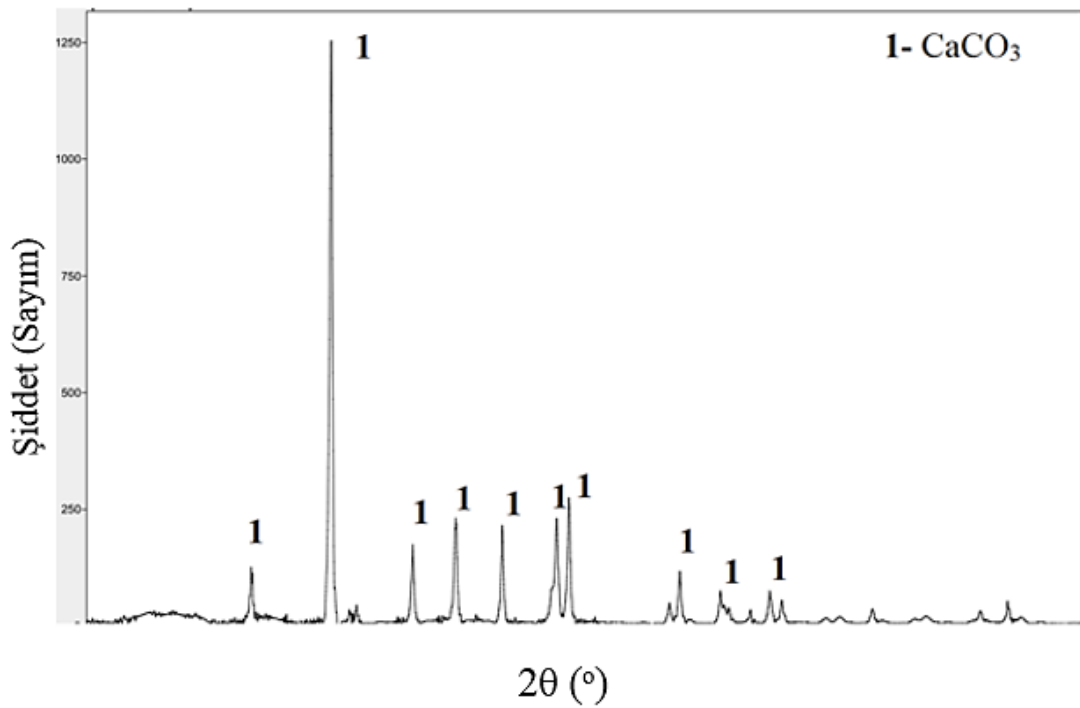
7.9. X-Işınları Difraksiyon Analizi (XRD)

Dolgunsuz PVC numuneye yapılan XRD analizi sonuçları Şekil 7.26.'da, kalsit dolgulu numuneye yapılan XRD analizi sonuçları Şekil 7.27.'de, CTP atığa yapılan XRD analizi sonuçları Şekil 7.28.'de ve tüm atık dolgulu numunelere yapılan XRD analizi sonuçları Şekil 7.29 ve Şekil 7.40 arasında verilmektedir.



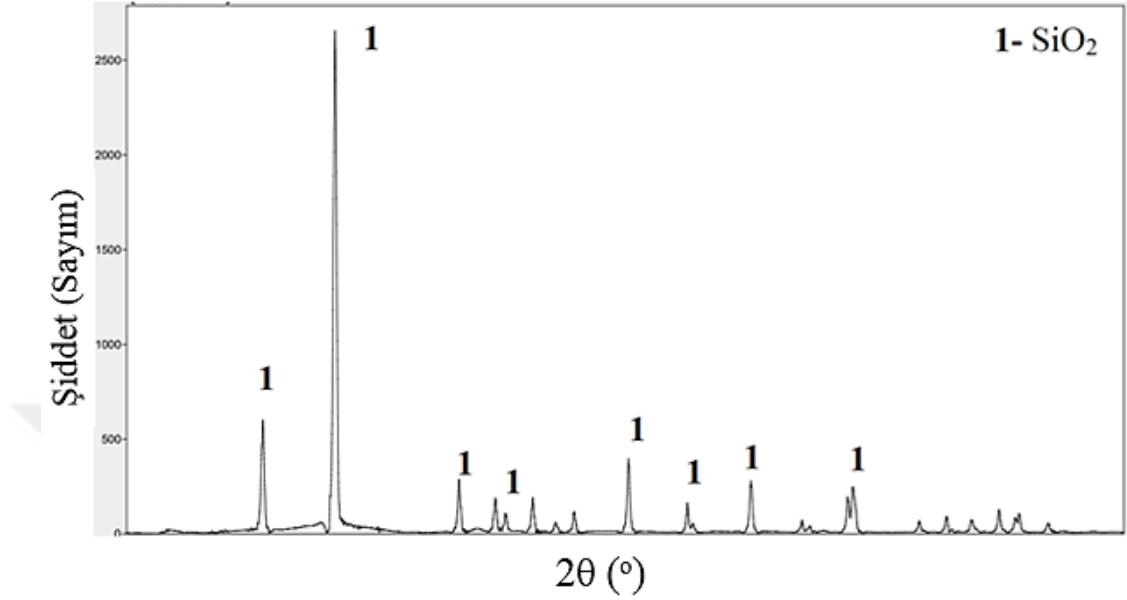
Şekil 7.26. Dolgusuz PVC için XRD analizi sonuçları

Saf PVC üretiminde kaydırıcı ve stabilizatörler kullanılmıştır. Bu ürünler kalsit (CaCO_3) (1) içermektedir. PVC amorf yapıda olduğu için XRD analizinde pik vermemektedir [81]. Bu nedenle amorf bölgelerin PVC olduğu düşünülmektedir.



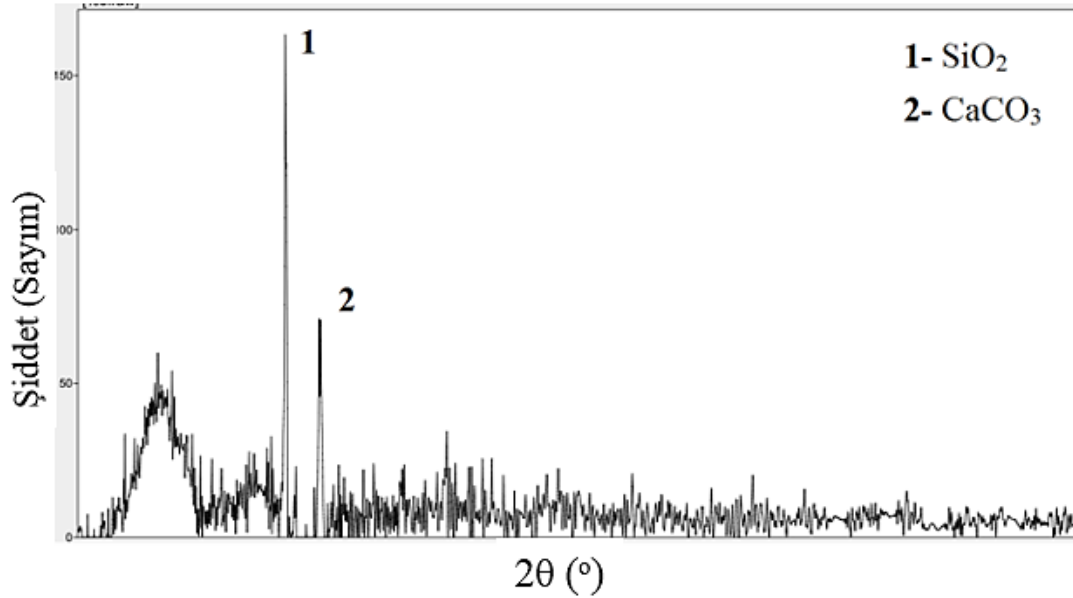
Şekil 7.27. %30 kalsit dolgulu numune için XRD analizi sonuçları

Kalsit dolgulu PVC numunesine uygulanan XRD analizi sonucunda katkıdan gelen kalsit (1) görülmektedir. Amorf bölgelerin ise PVC olduğu düşünülmektedir.

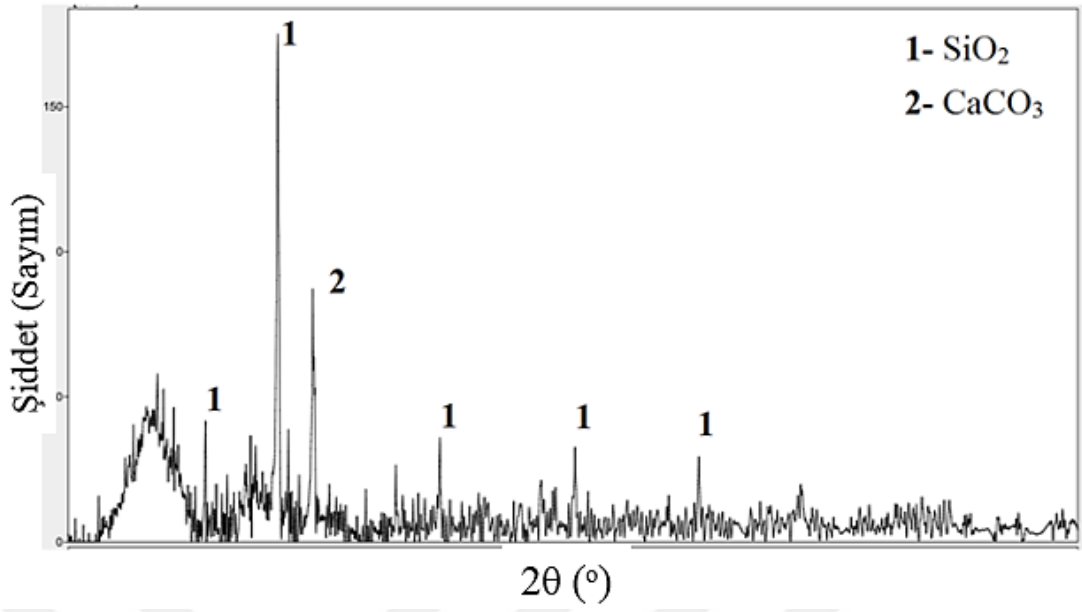


Şekil 7.28. CTP atığa yapılan XRD analizi sonuçları

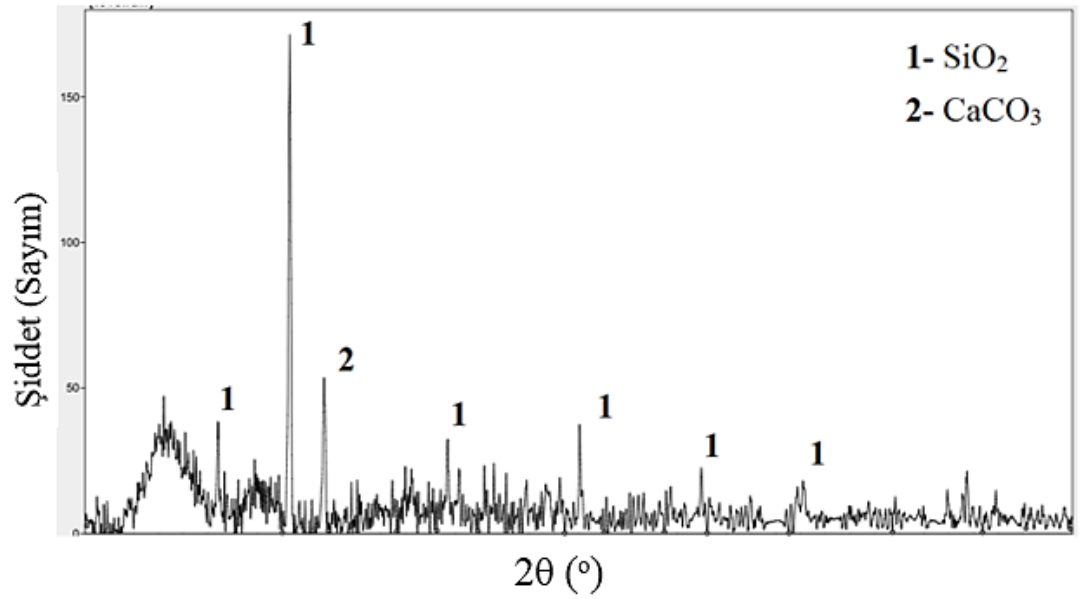
Atığa yapılan analizde, atığın içeriğindeki kumdan gelen SiO₂ (1) görülmektedir.



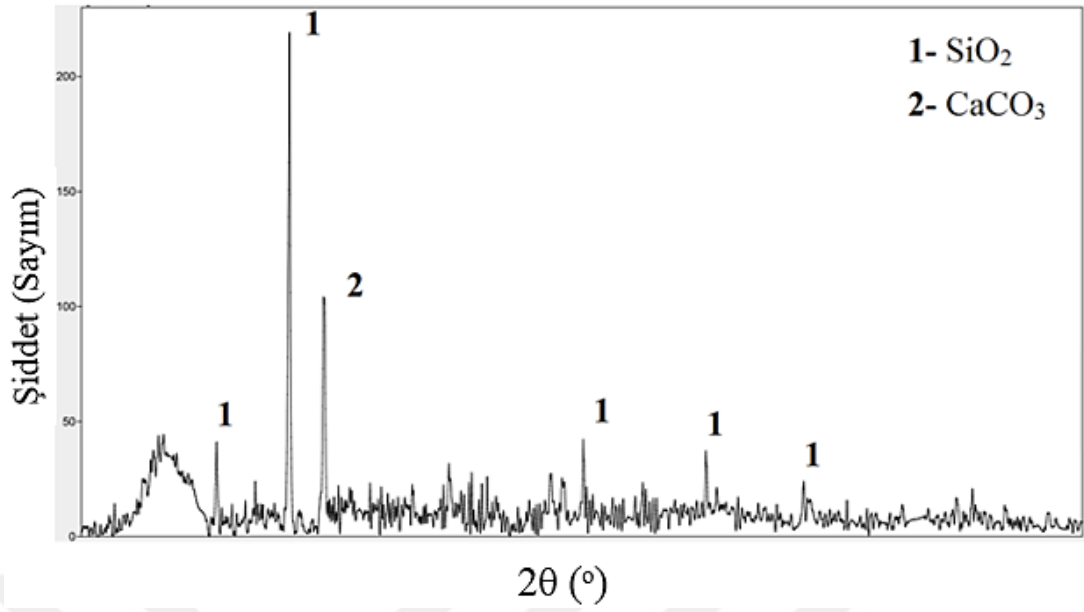
Şekil 7.29. %5 atık dolgulu PVC kompozit numune için XRD analizi sonuçları



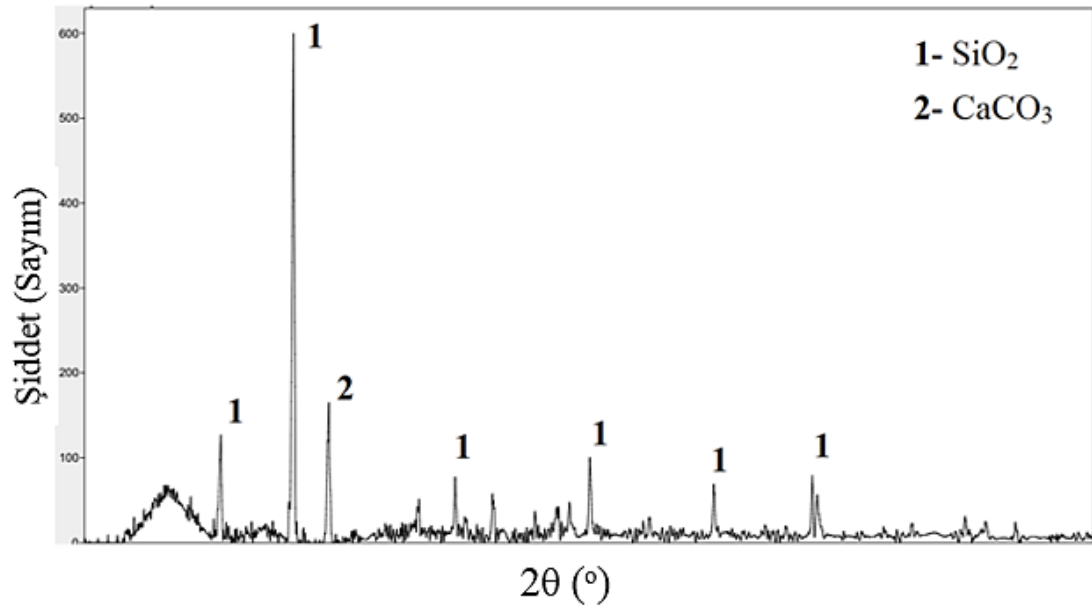
Şekil 7.30. %10 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



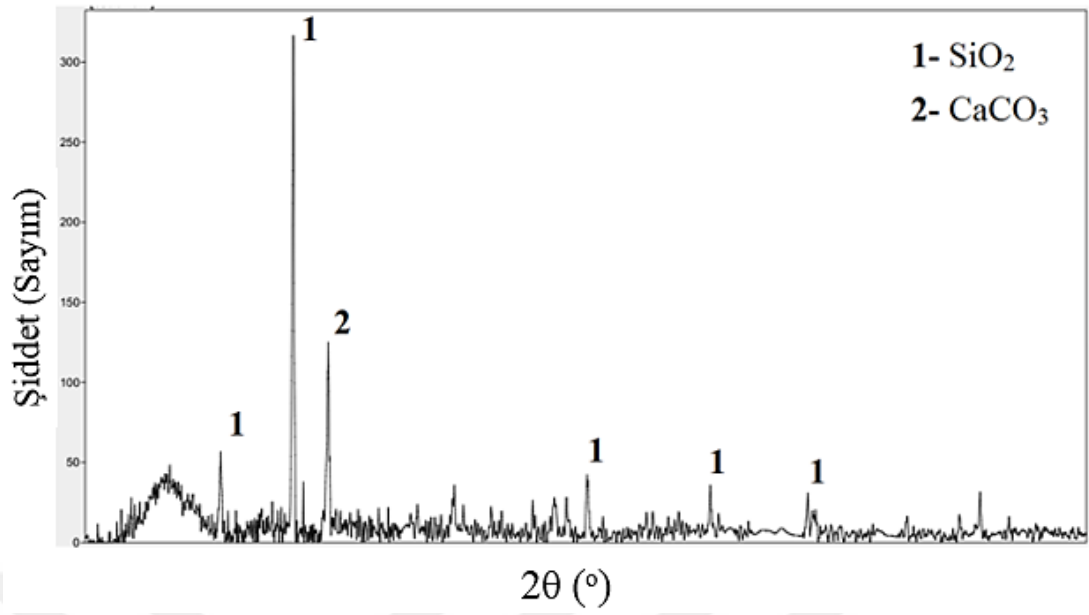
Şekil 7.31. %15 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



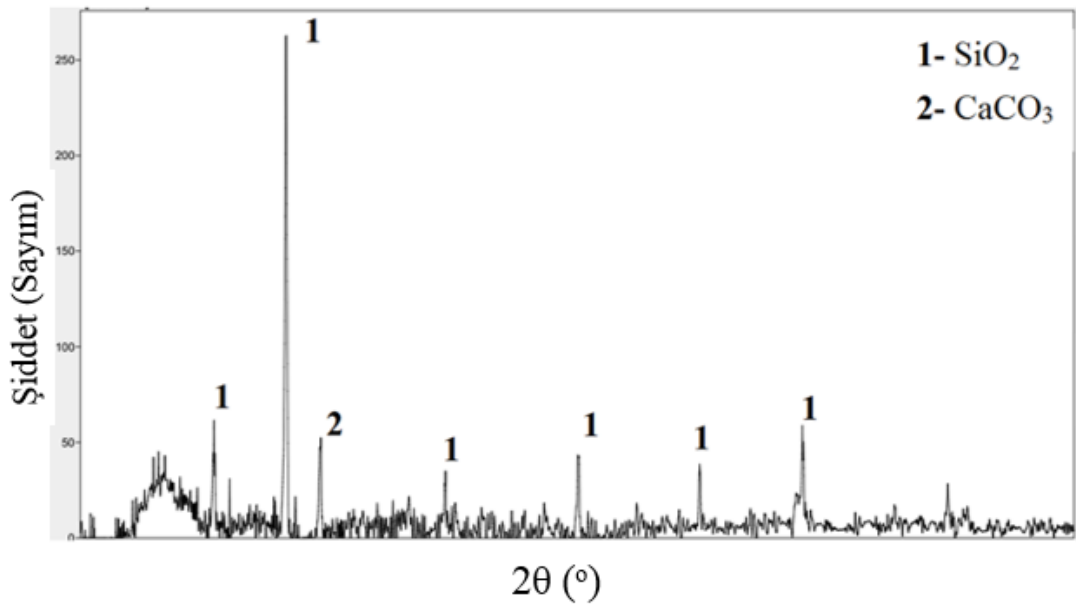
Şekil 7.32. %20 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



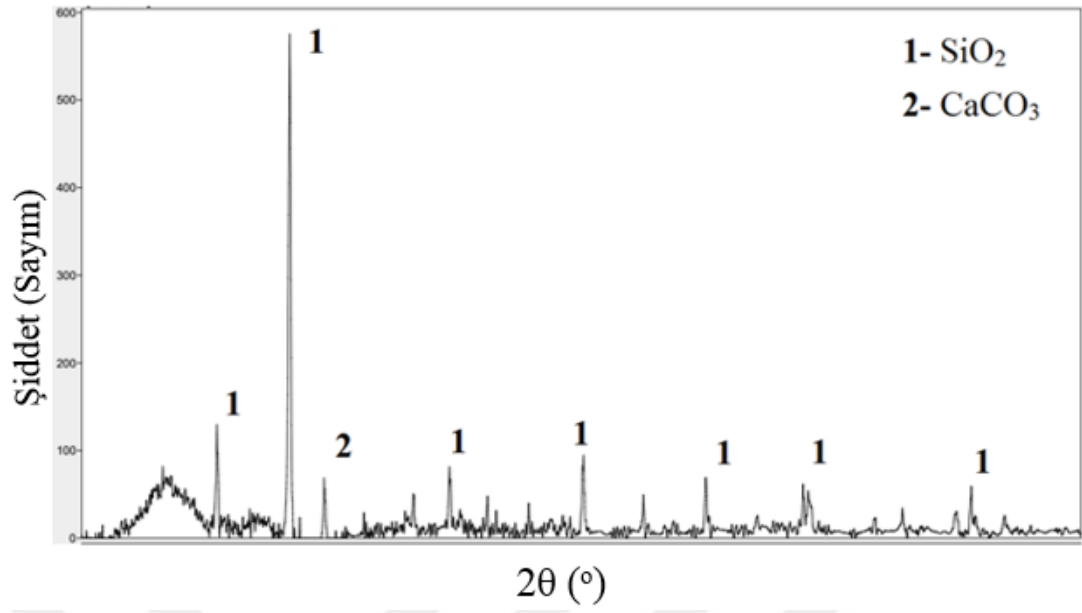
Şekil 7.33. %25 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



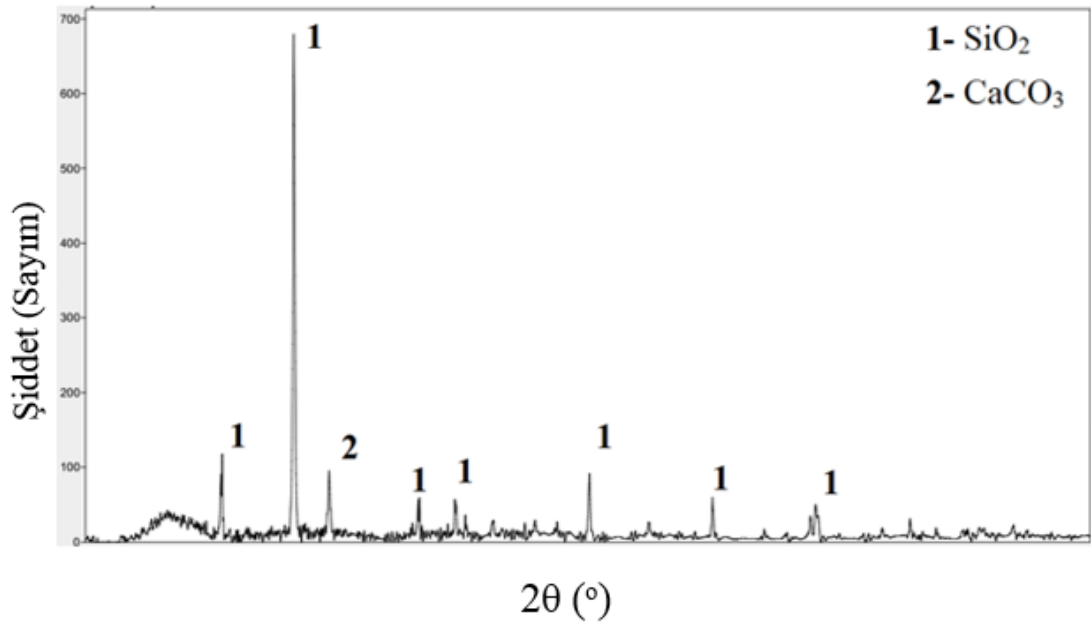
Şekil 7.34. %30 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



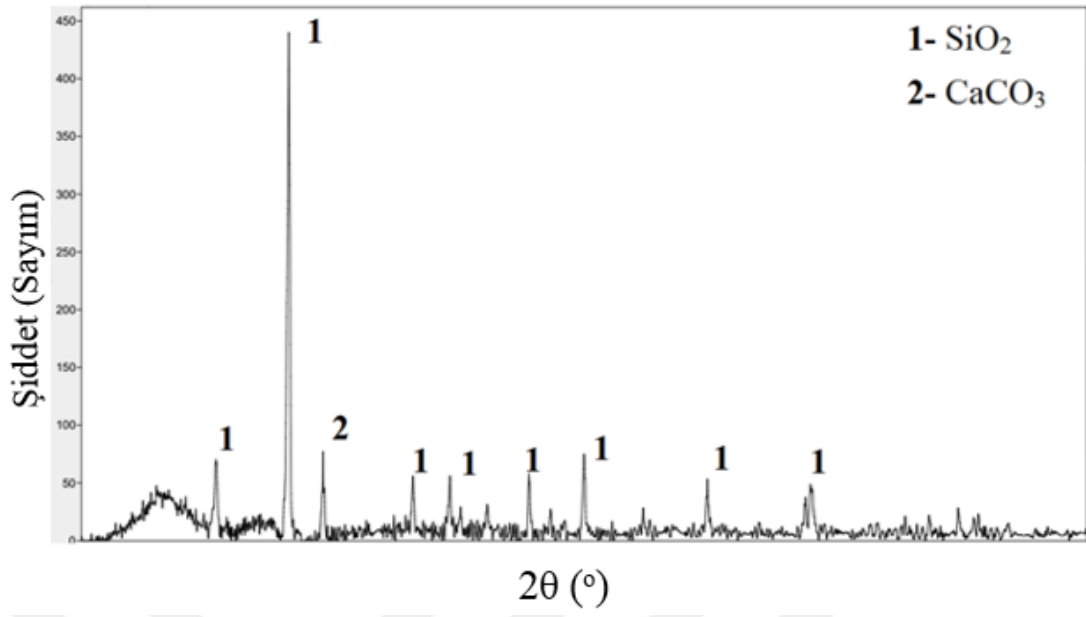
Şekil 7.35. %35 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



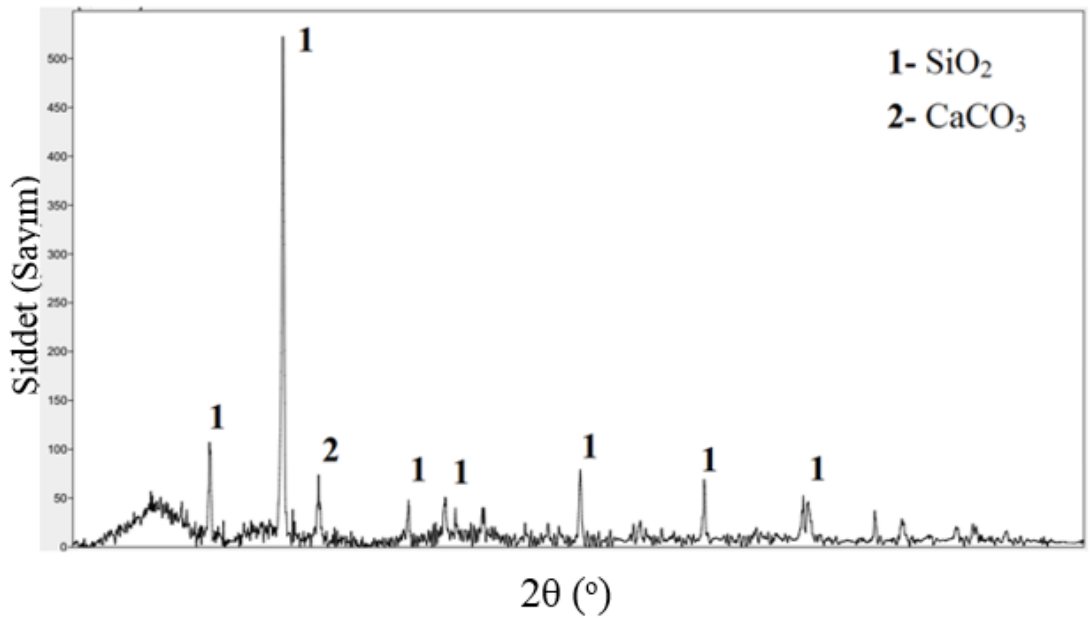
Şekil 7.36. %40 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



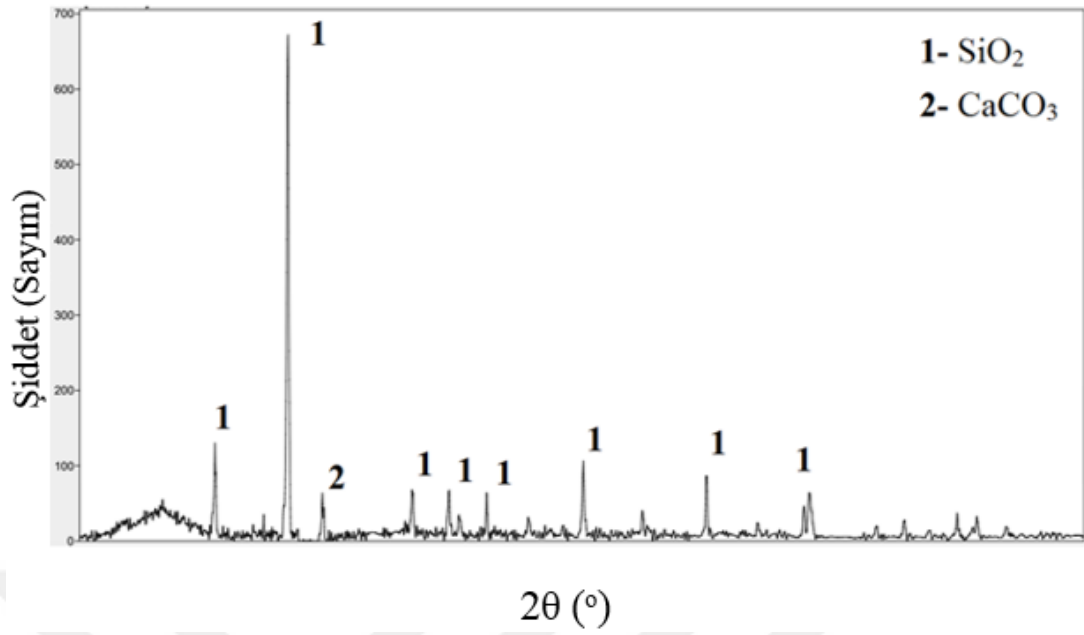
Şekil 7.37. %45 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



Şekil 7.38. %50 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları



Şekil 7.39. %60 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları

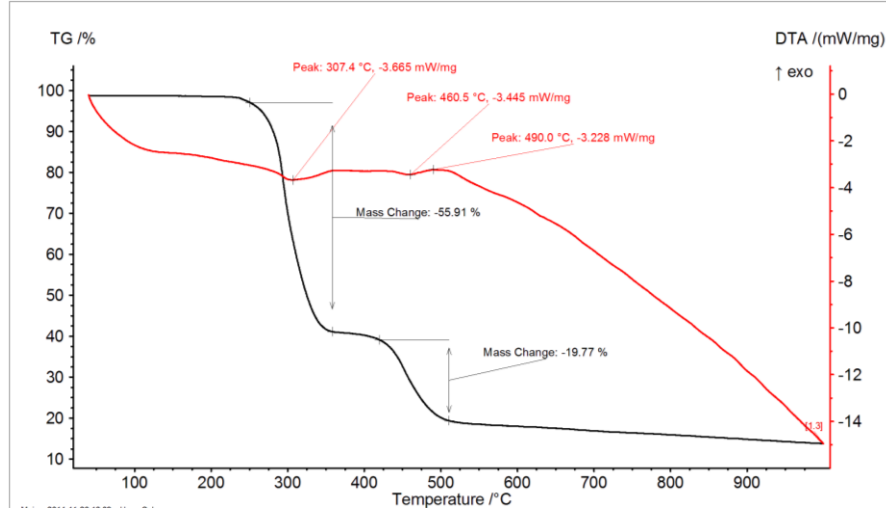


Şekil 7.40. %70 atık dolgulu numune için XRD analizi sonuçları

Beklendiği üzere atık dolgulu numunelerde atıktan gelen SiO_2 (1), stabilizatörden gelen CaCO_3 (2) bileşikleri görülmektedir. Tüm atık dolgulu numunelerde amorf bölgeler bulunmakta ve atık dolgusu arttıkça bölgelerin azaldığı görülmektedir. Amorf bölgelerin ise PVC olduğu düşünülmektedir.

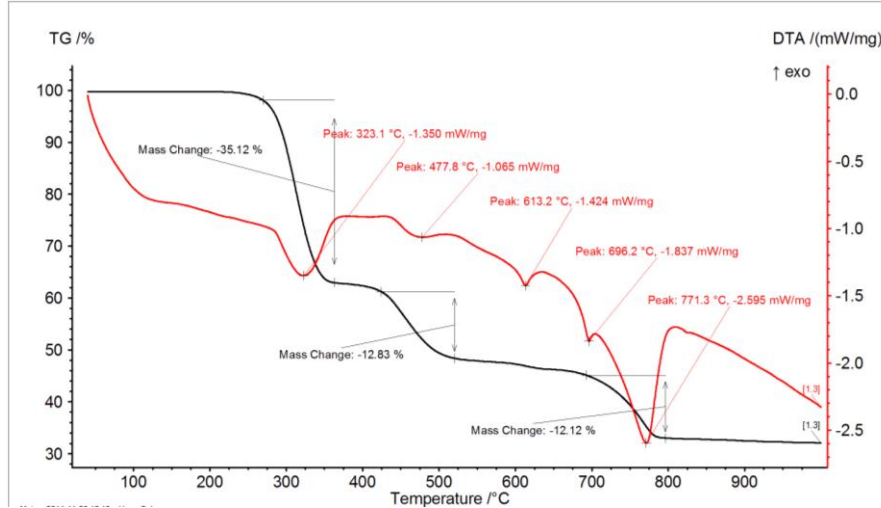
7.10. Diferansiyel Termal Analiz Ve Termo-Gravimetri (DTA-TG)

Dolgusuz PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları Şekil 7.41.'de, kalsit dolgulu numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları Şekil 7.42.'de ve tüm atık dolgulu numunelere yapılan DTA-TG analizi sonuçları Şekil 7.43 ve Şekil 7.54 arasında verilmektedir.



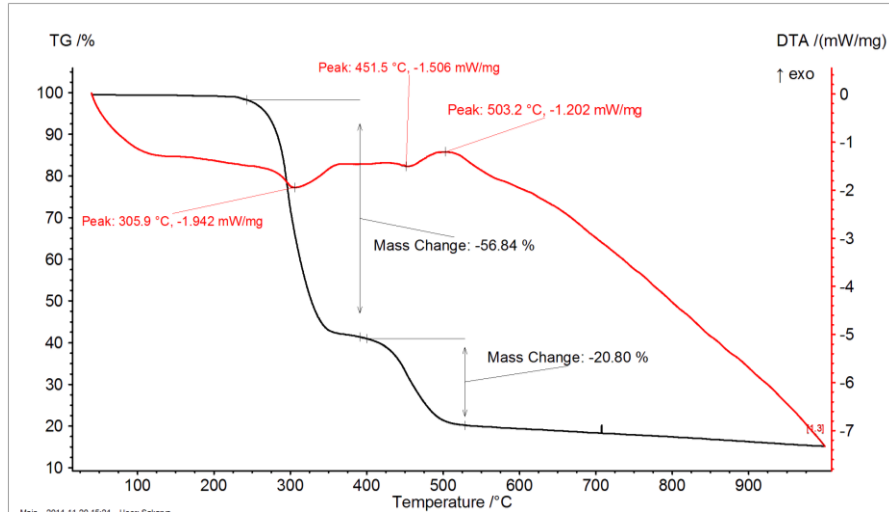
Şekil 7.41. Dolgusuz PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları

307°C civarında endotermik reaksiyon ve ani ağırlık kaybı meydana gelmiştir. %50,91 ağırlık kaybı oluşmuştur. Araştırmalara göre bu reaksiyon ve ağırlık kaybı PVC prolizi ile açıklanabilmektedir. Lee ve arkadaşlarına göre PVC malzemelerde 250-400°C arasında PVC prolize uğramakta ve küçük hidrokarbonlarla birlikte hidrojen klorür (HCL) açığa çıkmaktadır. Bu reaksiyon endotermik bir reaksiyondur. Ani olarak ağırlık kaybı meydana gelmektedir. Ayrıca 490°C’de ekzotermik reaksiyon meydana gelmektedir, bu reaksiyon yanma reaksiyonudur [82]. %19,77 ağırlık kaybı oluşmuştur. Loay ve arkadaşlarına göre saf PVC’ye proliz yapılmıştır ve 200-350°C arasında HCL gazı açığa çıkmıştır. Ayrıca Metan (CH_4), benzen (C_6H_6), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), hidrojenioksit (H_2O) gibi gazlar önemli miktarlarda açığa çıkmıştır. Benzen, CO ile birlikte düşük bir sıcaklıkta (200°C) ortaya çıkmaya başlamaktadır. Dehidroklorinasyon aşamasında benzen şeklinde hidrokarbonların bir bölümü HCl ile birlikte salınmaktadır [83].

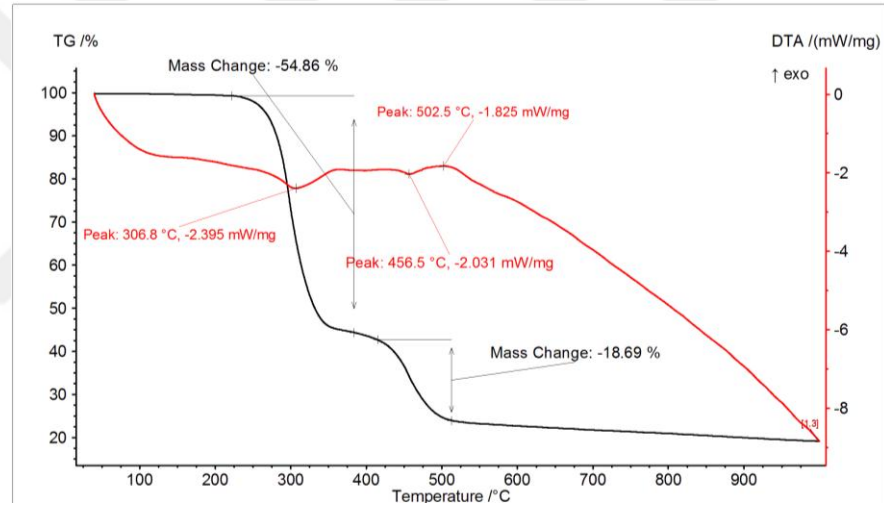


Şekil 7.42. Kalsit dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları

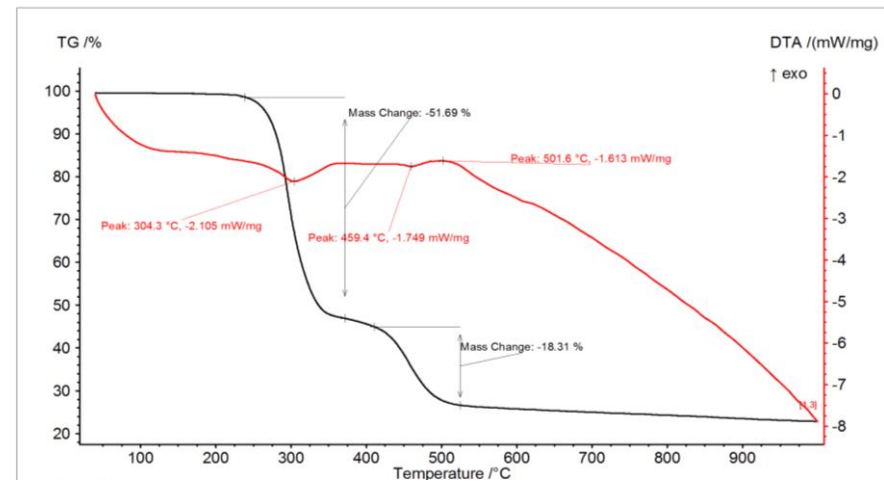
323°C civarında endotermik reaksiyon ve ani ağırlık kaybı meydana gelmiştir. %35,12 ağırlık kaybı oluşmuştur. Ağırlık kaybının saf PVC'ye oranla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin kalsit dolgusu olduğu düşünülmektedir. Araştırmalara göre bu reaksiyon ve ağırlık kaybı PVC prolizi ile açıklanabilmektedir. PVC bozunması sonucu HCl gazı ve benzeri gazların önemli miktarlarda açığa çıktığı söylenebilmektedir. 510°C civarında oluşan ekzotermik reaksiyonu ise yanma reaksiyonu olduğu düşünülmektedir [82-83]. %12,83 ağırlık kaybı oluşmuştur ve kalsit dolgusunun yanma sonucu oluşan ağırlık kaybını azalttığı görülmektedir. Kalsit dolgusu olduğu için 610-690°C civarında oluşan endotermik reaksiyonun bağıl nemin bünyeden uzaklaştığı düşünülmektedir. 800°C civarında oluşan endotermik reaksiyonun ise kalsinasyon reaksiyonu olduğu düşünülmektedir. %12,12 kadar ağırlık kaybı oluşmuştur. Ağırlık kaybının ise CO₂ çıkışından olduğu düşünülmektedir [84].



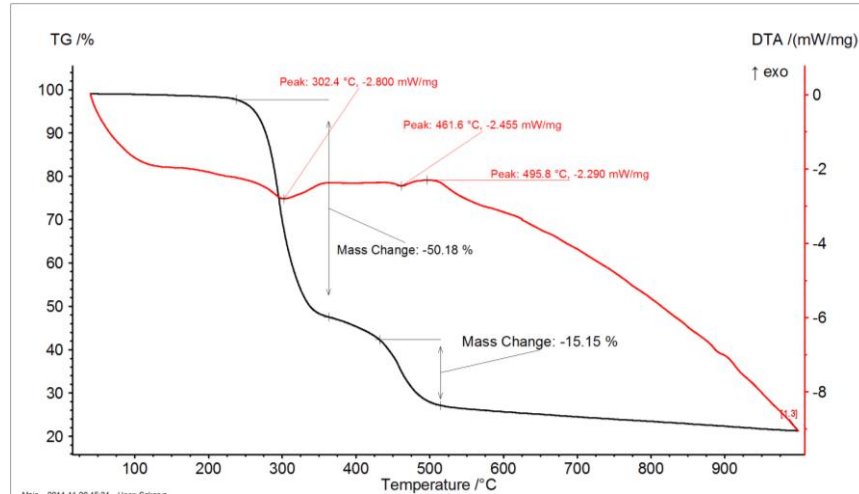
Şekil 7.43. %5 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları



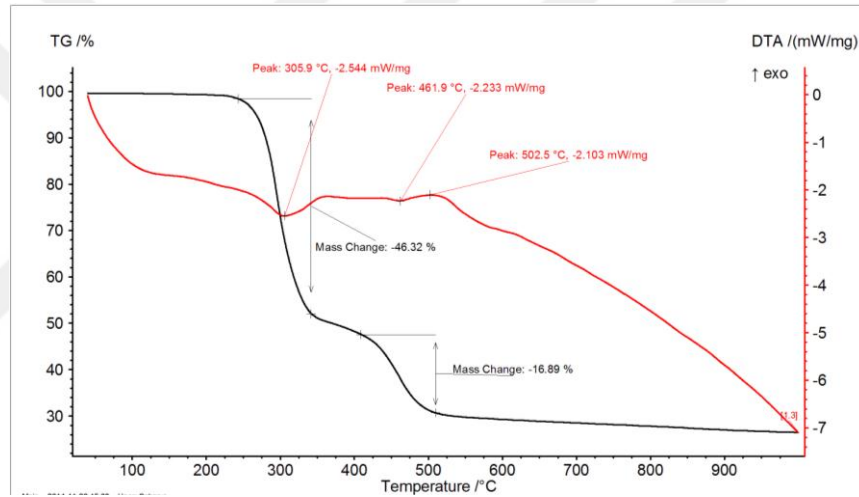
Şekil 7.44. %10 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları



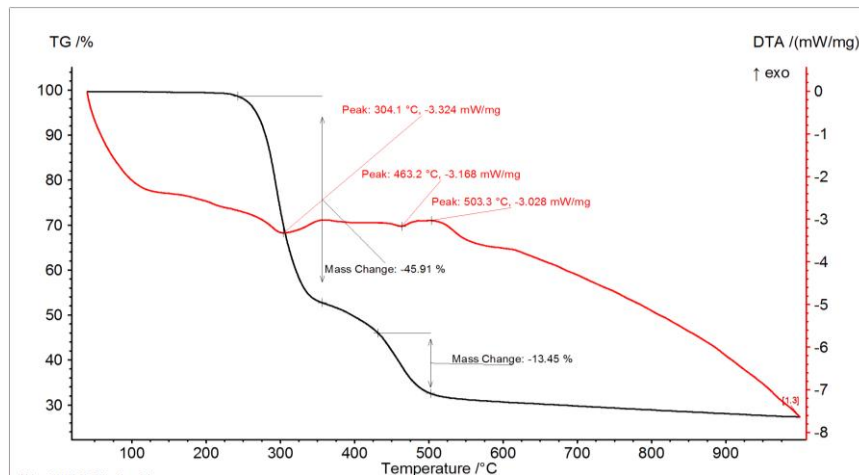
Şekil 7.45. %15 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları



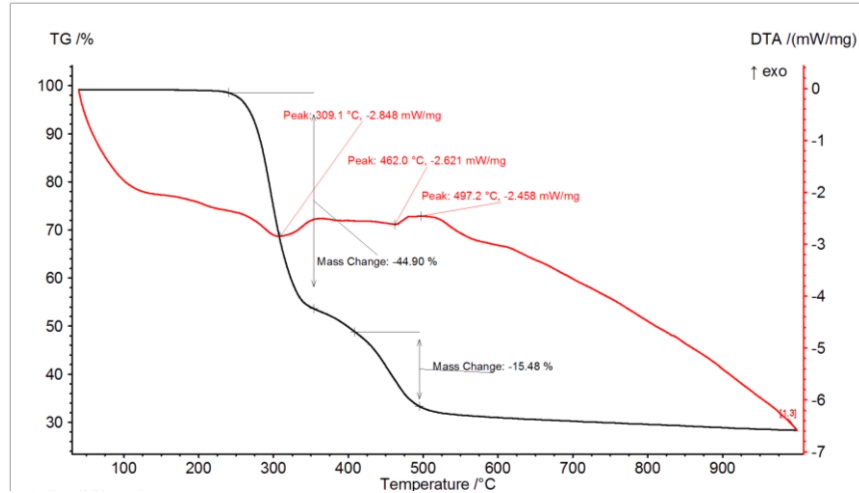
Şekil 7.46. %20 atık dolgulı PVC numuneıe yapılan DTA-TG analizi sonuçları



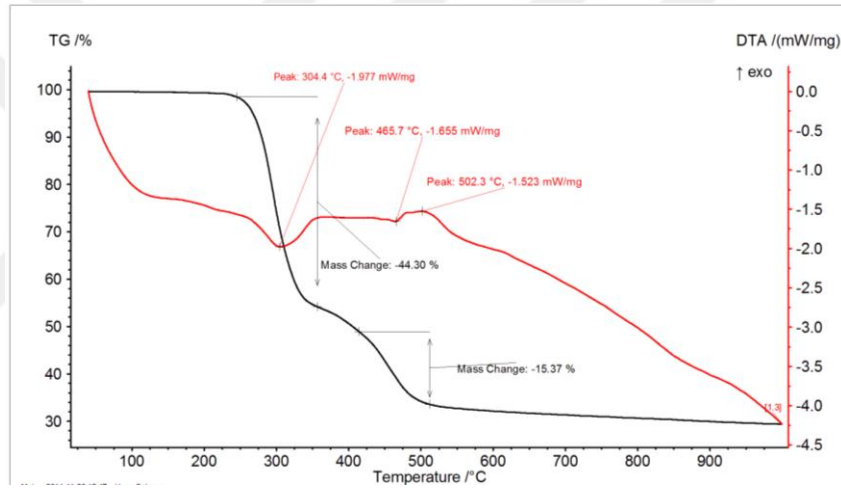
Şekil 7.47. %25 atık dolgulı PVC numuneıe yapılan DTA-TG analizi sonuçları



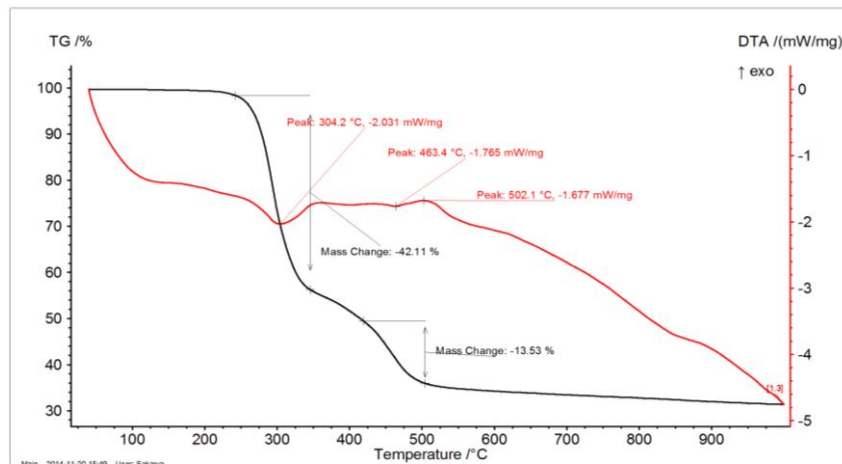
Şekil 7.48. %30 atık dolgulı PVC numuneıe yapılan DTA-TG analizi sonuçları



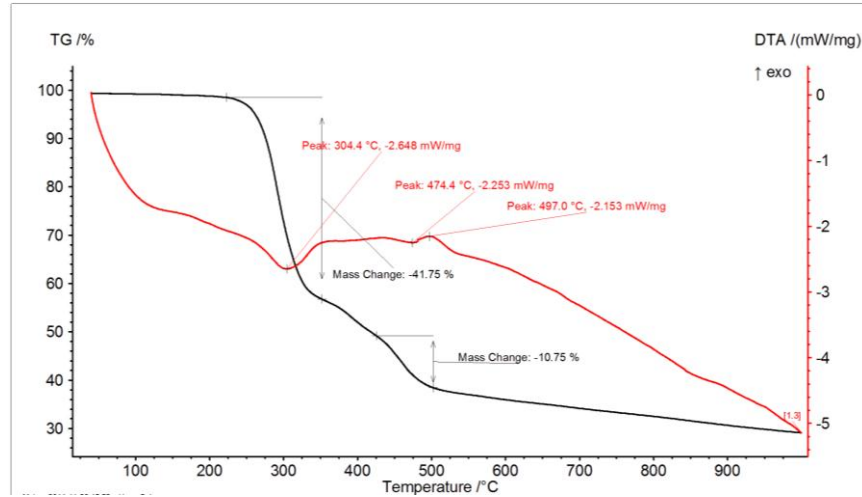
Şekil 7.49. %35 atık dolgulı PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları



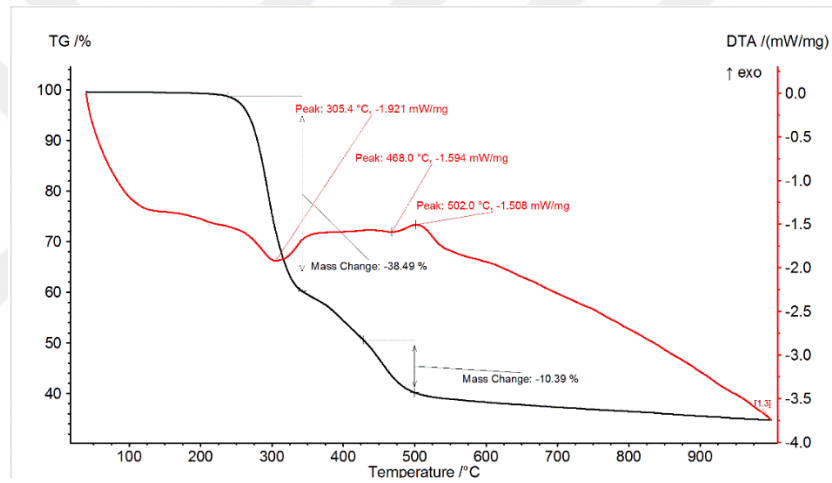
Şekil 7.50. %40 atık dolgulı PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları



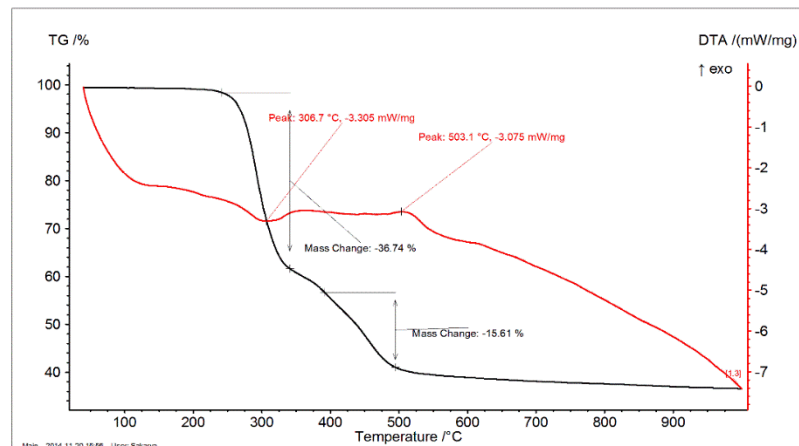
Şekil 7.51. %45 atık dolgulı PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları



Şekil 7.52. %50 atık dolgulu PVC numuneye yapılan DTA-TG analizi sonuçları



Şekil 7.53. %60 atık dolgulu numuneye uygulanan DTA-TG analizi sonuçları

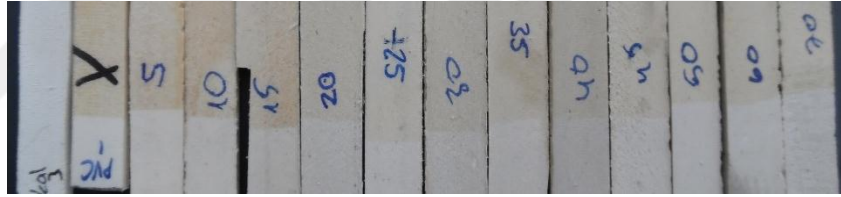


Şekil 7.54. %70 atık dolgulu PVC numunenin DTA-TG analizi sonuçları

Tüm atık dolgulu numunelerde 290°C ve 380°C civarında endotermik reaksiyon ve ani ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Sonuçlara göre atık dolgusu arttıkça 290°C ve 380°C civarında oluşan ağırlık kaybı azalmaktadır. 490°C ve 560°C civarında oluşan ekzotermik reaksiyonu ise yanma reaksiyonu olduğu düşünülmektedir [82-83]. %5 atık dolgulu numunedeki bu sıcaklıklar arasındaki ağırlık kaybı saf PVC ile benzer ağırlık kaybına uğramıştır. %20 atık dolgulu numuneden itibaren atık dolgulu numunelerin yanma sonucu oluşan ağırlık kaybını %5 oranında azalttığı görülmektedir.

7.11. UV Dayanım Deneyi

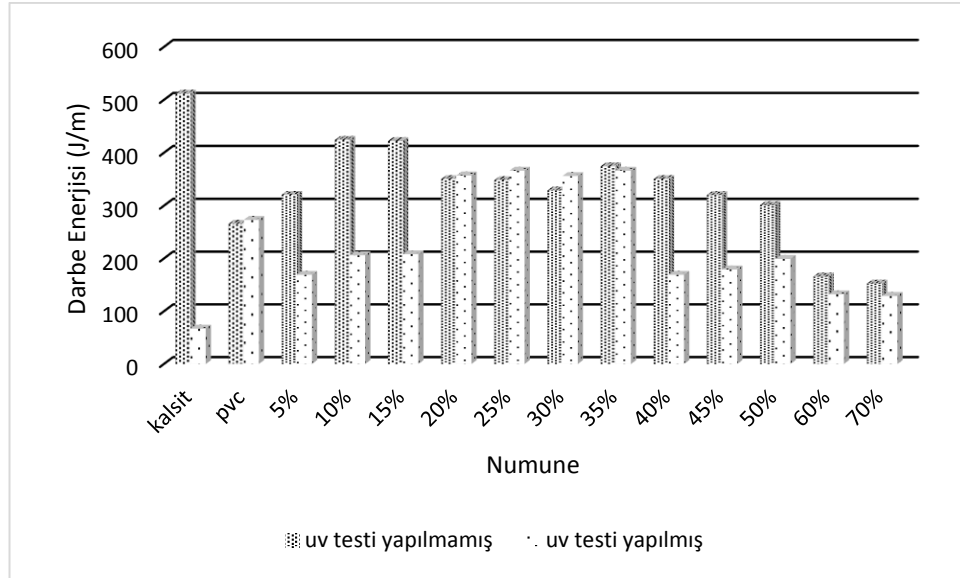
Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve dolgusuz PVC numunelerin UV dayanımı sonrası görünümleri Şekil 7.55.'de verilmektedir.



Şekil 7.55. Tüm numunelerin UV dayanım deneyi sonrası görünümleri

Standartta göre uygulanan bant deneyi sonrası çıkarılmış ve renk değişimine bakılmıştır. Numunede renk değişimi olursa UV dayanımı olmadığı söylenmektedir. Şekil 7.55.'de görüldüğü üzere kalsit dolgulu numuneler hariç tüm numunelerde renk değişimi olduğu için UV dayanımı yok denilmektedir. Kamışlı ve arkadaşlarına göre kalsit dolgulu PVC profil UV dayanım deneyi sonrası renk değiştirmemiştir [85].

UV deneyi yapıldıktan sonra tüm numunelere tekrar darbe deneyi yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve dolgusuz PVC numunelerin UV deneyi yapılmış ve UV deneyi yapılmamış darbe deneyi sonuçları Şekil 7.56.'da verilmektedir.

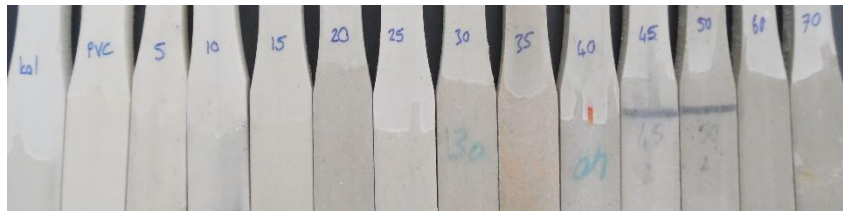


Şekil 7.56. UV deneyi yapılmış ve UV deneyi yapılmamış numunelerin darbe deneyi sonuçları

Grafikte görüldüğü üzere kalsit dolgulu, %5, %10, %15, %40, %45, %50, %60, %70 atık dolgulu numunelerin darbe enerjisi UV deneyi yapıldıktan sonra düşmüştür. Renk değişimi olmamasına rağmen UV deneyi yapılmış numunelerdeki en düşük darbe enerjisi değeri kalsit dolgulu numunede görülmüştür. PVC ve %20-%25-%30-%35 atık dolgulu numunelerde ise bir değişim gözlemlenmemiştir. UV deneyi yapılmış numunelerdeki en yüksek darbe enerjisi değeri ise %35 atık dolgulu numunede görülmüştür.

7.12. Diklorometana Dayanım Deneyi

Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve dolgusuz PVC numunelerin diklorometana dayanım deneyi sonrası görünüşleri Şekil 7.57.'de verilmektedir.

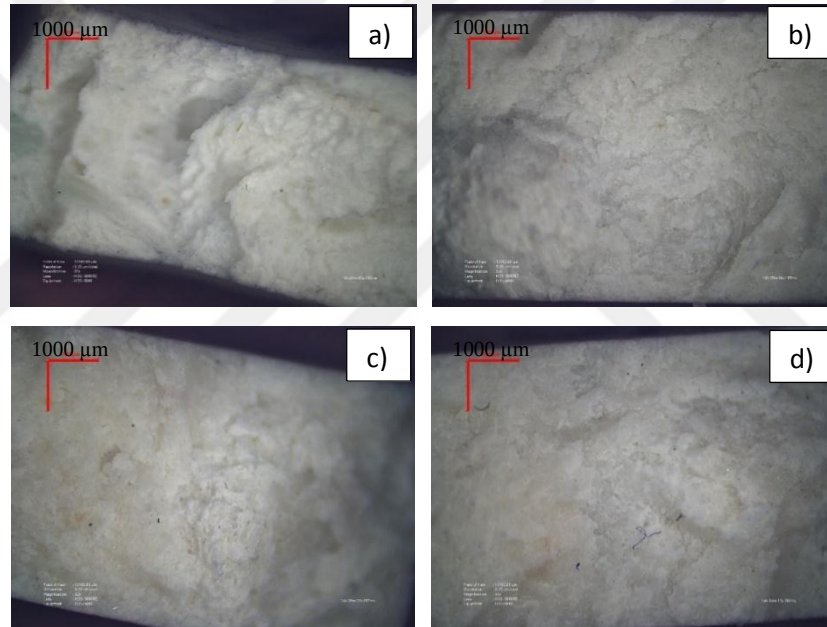


Şekil 7.57. Tüm numunelerin diklorometana dayanım deneyi sonrası görünümü

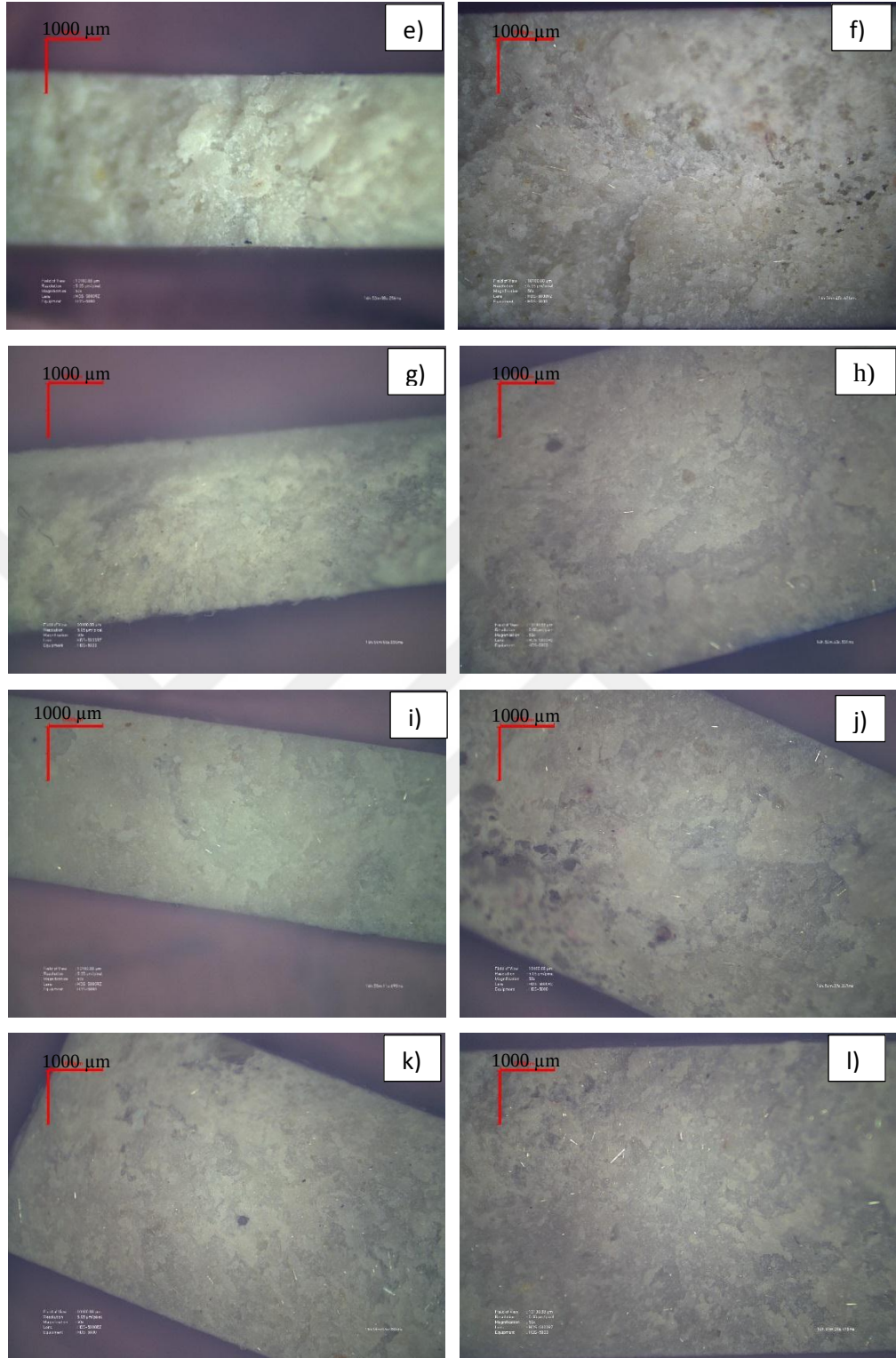
Standartta numunelere gözle bakıldığında kabarma dışında bir bozulma olmaması gerektiği söylenmektedir. Tüm numunelerde kabarma dışında bir bozulma görülmemiştir.

7.13. Optik Mikroskop İncelemeleri

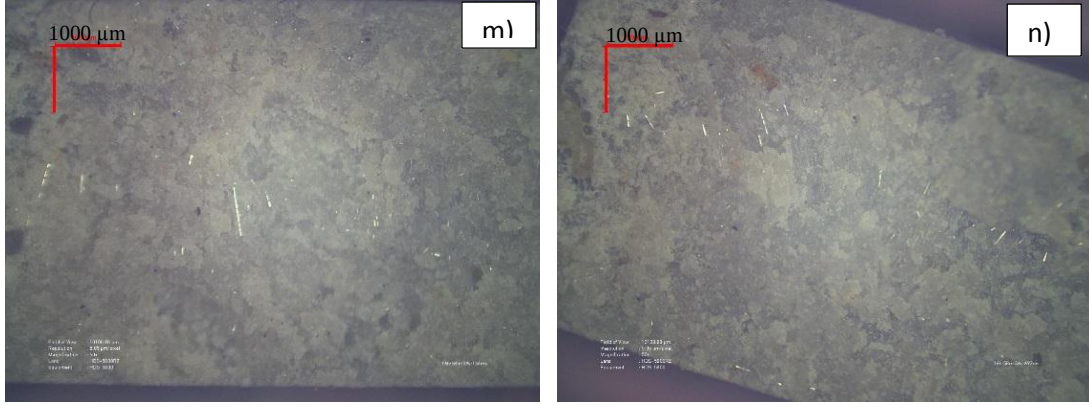
Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve dolgusuz PVC numunelerin çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.58., Şekil 7.59. ve Şekil 7.60'ta verilmektedir. Görüntüler 50X büyütmede alınmıştır.



Şekil 7.58. Kırık yüzey optik mikroskop görüntüleri a) Dolgusuz PVC b) Kalsit dolgulu PVC c) %5 atık dolgulu PVC kompozit d) %10 atık dolgulu PVC kompozit e) %15 atık dolgulu PVC kompozit f) %20 atık dolgulu PVC kompozit g) %25 atık dolgulu PVC kompozit h) %30 atık dolgulu PVC kompozit i) %35 atık dolgulu PVC kompozit j) %40 atık dolgulu PVC kompozit k) %45 atık dolgulu PVC kompozit l) %50 atık dolgulu PVC kompozit m) %60 atık dolgulu PVC kompozit n) %70 atık dolgulu PVC kompozit



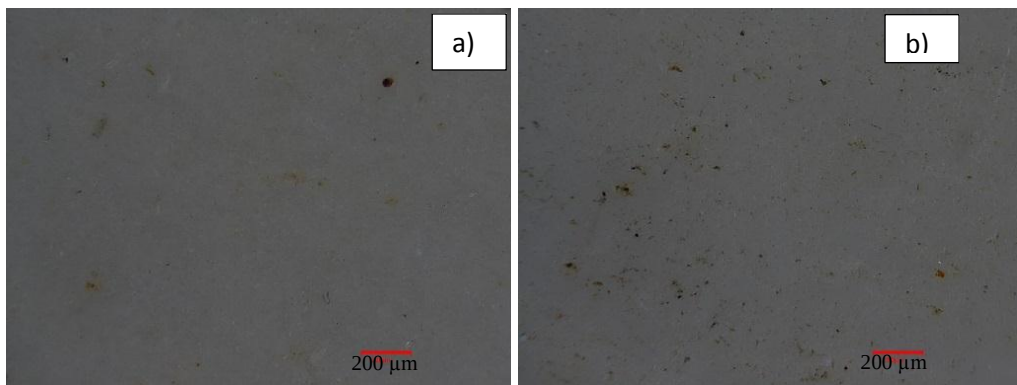
Şekil 7.59. Kırk yüzey optik mikroskop görüntüleri a) Dolgunsuz PVC b) Kalsit dolgulu PVC c) %5 atık dolgulu PVC kompozit d) %10 atık dolgulu PVC kompozit e) %15 atık dolgulu PVC kompozit f) %20 atık dolgulu PVC kompozit g) %25 atık dolgulu PVC kompozit h) %30 atık dolgulu PVC kompozit i) %35 atık dolgulu PVC kompozit j) %40 atık dolgulu PVC kompozit k) %45 atık dolgulu PVC kompozit l) %50 atık dolgulu PVC kompozit m) %60 atık dolgulu PVC kompozit n) %70 atık dolgulu PVC kompozit (devamı)



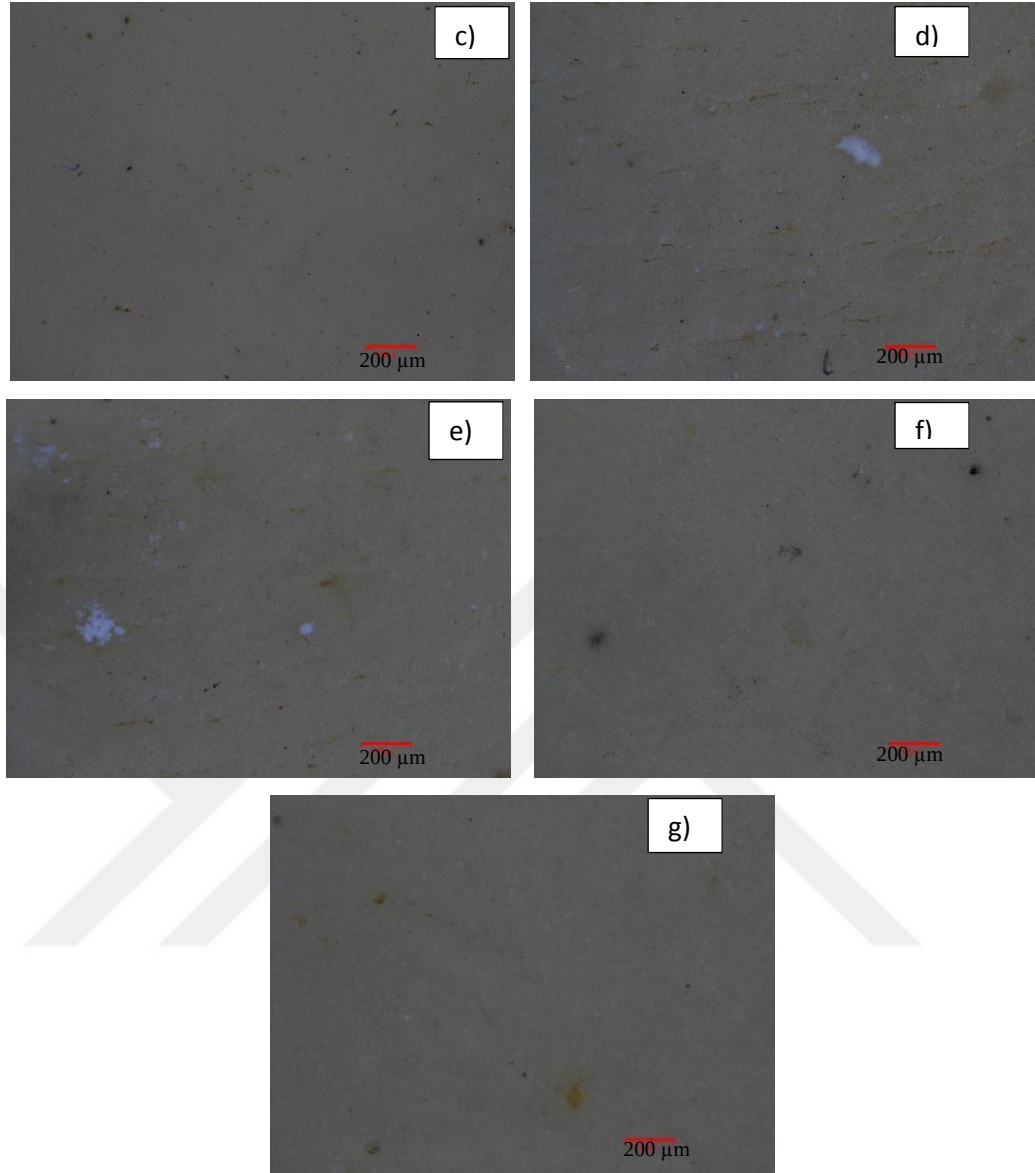
Şekil 7.60. Kırık yüzey optik mikroskop görüntüleri a) Dolgusuz PVC b) Kalsit dolgulu PVC c) %5 atık dolgulu PVC kompozit d) %10 atık dolgulu PVC kompozit e) %15 atık dolgulu PVC kompozit f) %20 atık dolgulu PVC kompozit g) %25 atık dolgulu PVC kompozit h) %30 atık dolgulu PVC kompozit i) %35 atık dolgulu PVC kompozit j) %40 atık dolgulu PVC kompozit k) %45 atık dolgulu PVC kompozit l) %50 atık dolgulu PVC kompozit m) %60 atık dolgulu PVC kompozit n) %70 atık dolgulu PVC kompozit (devamı)

Tüm numunelerde sünek kırılma olduğu görülmektedir. Ayrıca atık dolgulu numunelerde cam fiberler parlak şekilde görülmektedir. Atık dolgusu arttıkça numunelerdeki cam fiber oranının arttığı gözlenmektedir.

Erozif aşınma sonunda farklı açılarda elde edilen en düşük aşınma oranına sahip numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.61. ve Şekil 7.62.'de verilmektedir. Görüntüler 200X büyütmede alınmıştır.



Şekil 7.61. Eroziyon aşınma sonucu farklı açılarda elde edilen en düşük aşınma oranına sahip numune optik mikroskop görüntüleri a) 0° açı için %10 atık dolgulu PVC numune b) 15° açı için %5 atık dolgulu PVC numune c) 30° açı için %5 atık dolgulu PVC numune d) 45° açı için %15 atık dolgulu PVC numune e) 60° açı için %15 atık dolgulu PVC numune f) 75° açı için %10 atık dolgulu PVC numune g) 90° açı için %10 atık dolgulu PVC numune



Şekil 7.62. Eroziyon aşınma sonucu farklı açılarda elde edilen en düşük aşınma oranına sahip numune optik mikroskop görüntüleri a) 0° açı için %10 atık dolgulu PVC numune b) 15° açı için %5 atık dolgulu PVC numune c) 30° açı için %5 atık dolgulu PVC numune d) 45° açı için %15 atık dolgulu PVC numune e) 60° açı için %15 atık dolgulu PVC numune f) 75° açı için %10 atık dolgulu PVC numune g) 90° açı için %10 atık dolgulu PVC numune (devamı)

Eroziyon aşınma numunelerine yapılan optik mikroskop görüntülerinde partiküllerin çarpmasıyla aşınma izlerinin oluştuğu görülmektedir. En derin aşınma izlerinin 45° açıda oluştuğu fark edilmektedir.

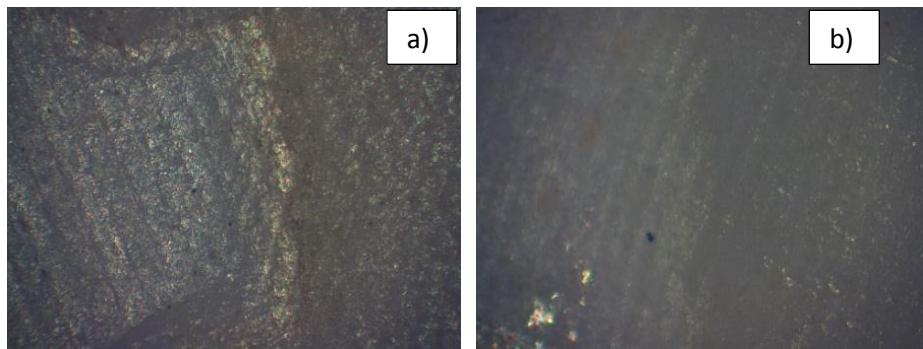
Adheziyon aşınma sonucunda en düşük sürtünme katsayısı 1 m/s hızda, 10 N yükte ve en düşük aşınma oranı değeri 1,5 m/s hızda 15 N yükte elde edilen numunelerin 200X büyütmede optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.63.'de verilmektedir.



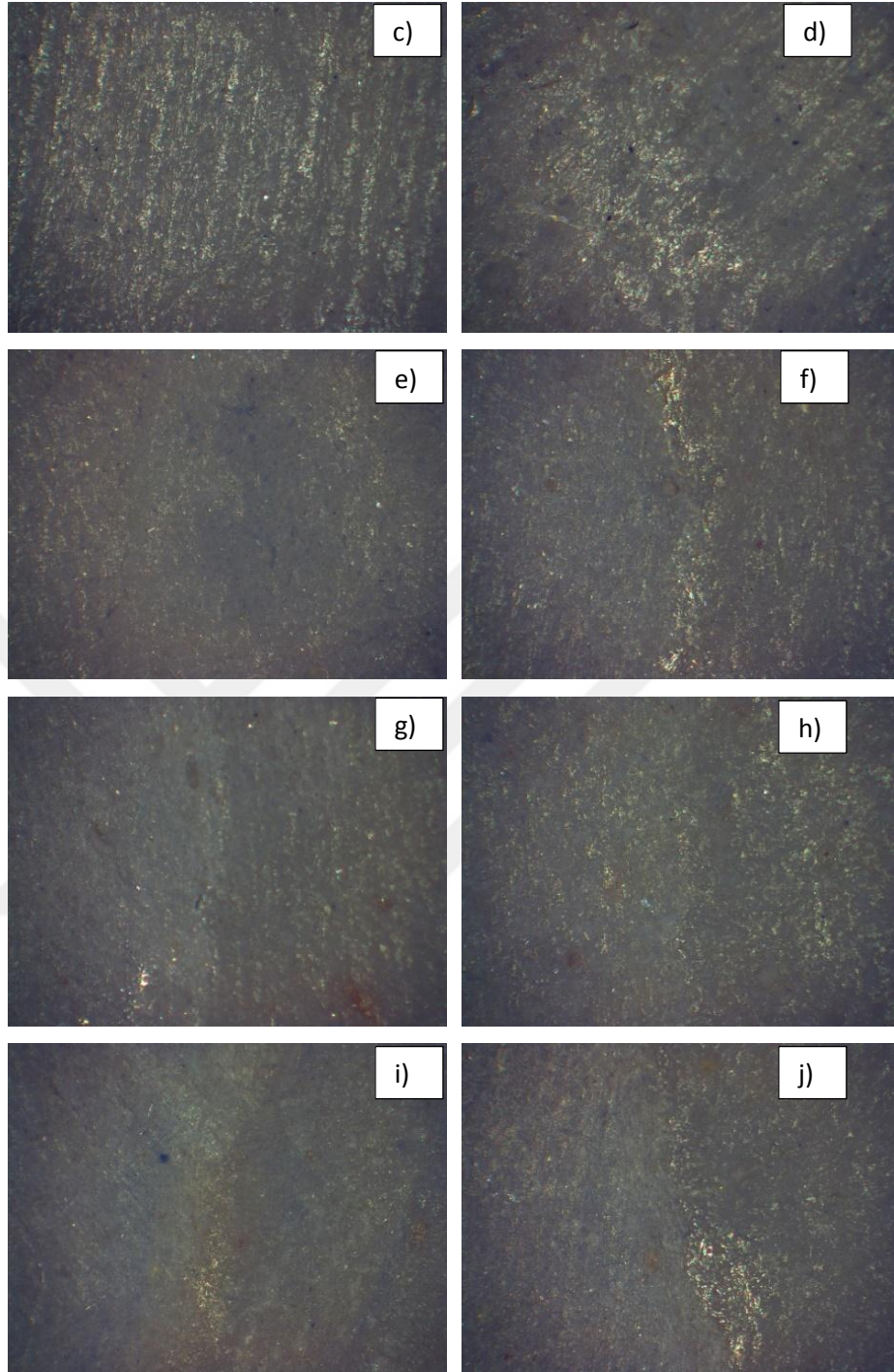
Şekil 7.63. a) En düşük sürtünme katsayısına sahip %35 atık dolgulu PVC numune b) En düşük aşınma oranına sahip %35 atık dolgulu PVC numune

Görüntülerdeki sarı renkli bölgelerin adhezif aşınma deneyinde disk olarak kullanılan pirinç malzemesine ait olduğu düşünülmektedir. Malzemelerdeki aşınma yönü net bir biçimde görülmektedir. Sürtünme ile ısı artması sonucunda tüm numunelerde renk değişimi meydana gelmiştir. Aşınma sırasında numuneden kalkan parçacıkların yüzeye tekrar yapıştığı görülmektedir.

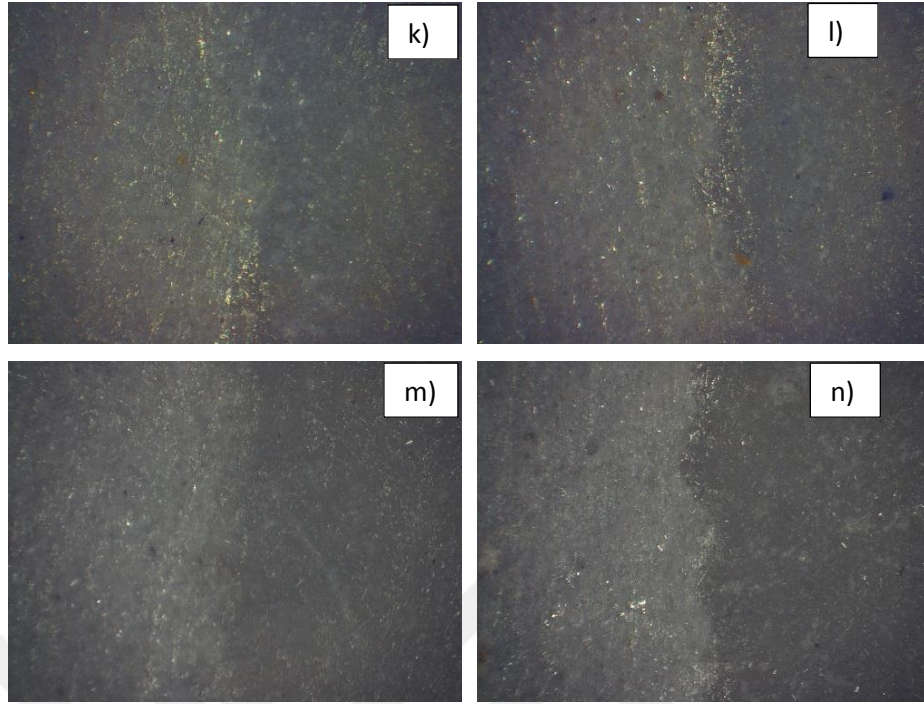
Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve dolgusuz PVC numunelerin diklorometana dayanım deneyi sonrası gözle muayenesi yapıldıktan sonra, numune mikroyapısında değişim olup olmadığına bakılması için numunelerin yüzeylerinden optik mikroskop görüntüleri de alınmıştır. Optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.64., Şkil 7.65. ve Şekil 7.66'da verilmekte olup görüntüler 50X büyütmede alınmıştır.



Şekil 7.64. Diklorometana dayanım sonrası optik görüntüler a) Dolgusuz PVC b) Kalsit dolgulu PVC c) %5 atık dolgulu PVC kompozit d) %10 atık dolgulu PVC kompozit e) %15 atık dolgulu PVC kompozit f) %20 atık dolgulu PVC kompozit g) %25 atık dolgulu PVC kompozit h) %30 atık dolgulu PVC kompozit i) %35 atık dolgulu PVC kompozit j) %40 atık dolgulu PVC kompozit k) %45 atık dolgulu PVC kompozit l) %50 atık dolgulu PVC kompozit m) %60 atık dolgulu PVC kompozit n) %70 atık dolgulu PVC kompozit



Şekil 7.65. Diklorometana dayanım sonrası optik görüntüler a) Dolgusuz PVC b) Kalsit dolgulu PVC c) %5 atık dolgulu PVC kompozit d) %10 atık dolgulu PVC kompozit e) %15 atık dolgulu PVC kompozit f) %20 atık dolgulu PVC kompozit g) %25 atık dolgulu PVC kompozit h) %30 atık dolgulu PVC kompozit i) %35 atık dolgulu PVC kompozit j) %40 atık dolgulu PVC kompozit k) %45 atık dolgulu PVC kompozit l) %50 atık dolgulu PVC kompozit m) %60 atık dolgulu PVC kompozit n) %70 atık dolgulu PVC kompozit (devamı)

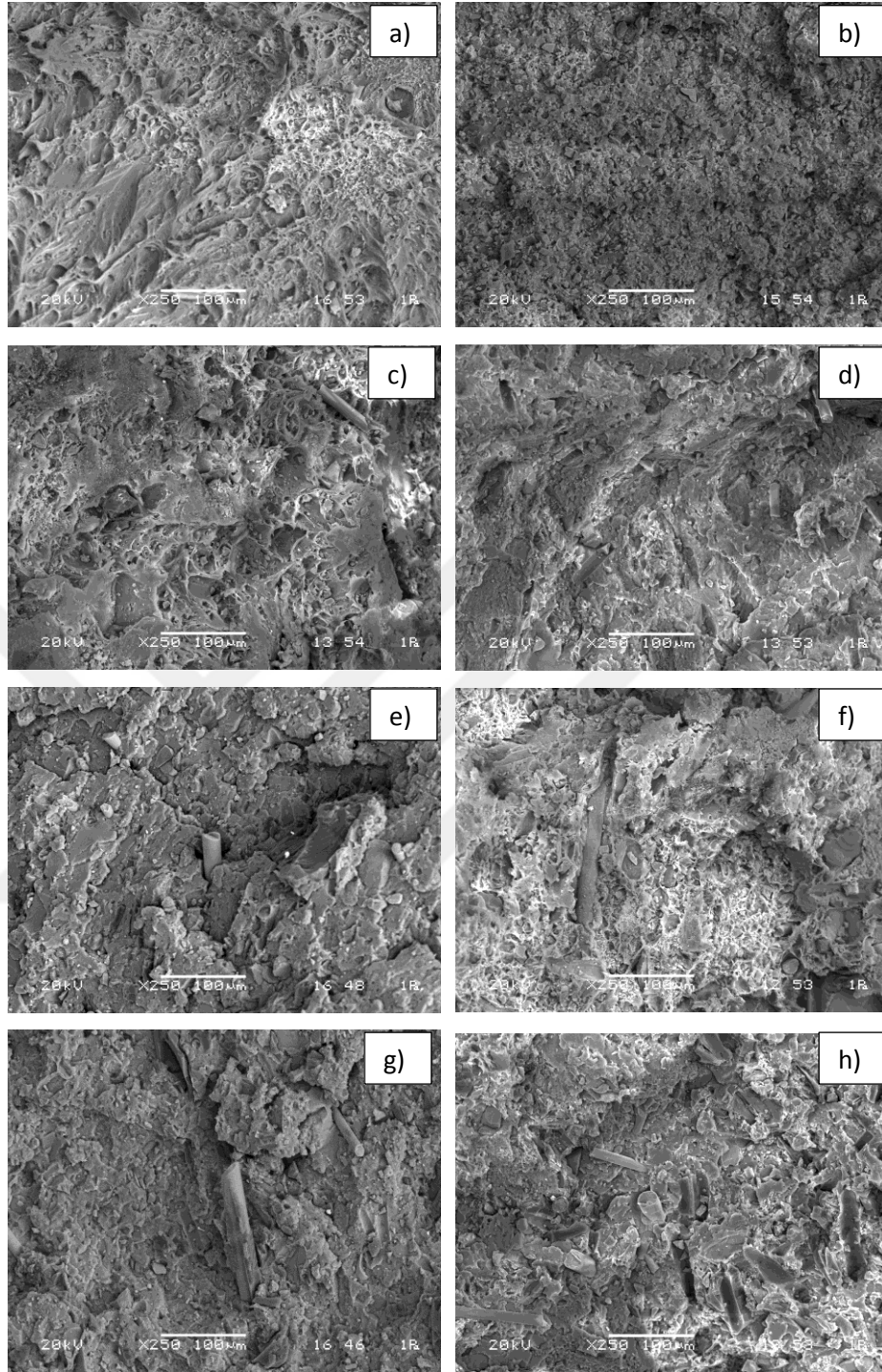


Şekil 7.66. Diklorometana dayanım sonrası optik görüntüler a) Dolgusuz PVC b) Kalsit dolgulu PVC c) %5 atık dolgulu PVC kompozit d) %10 atık dolgulu PVC kompozit e) %15 atık dolgulu PVC kompozit f) %20 atık dolgulu PVC kompozit g) %25 atık dolgulu PVC kompozit h) %30 atık dolgulu PVC kompozit i) %35 atık dolgulu PVC kompozit j) %40 atık dolgulu PVC kompozit k) %45 atık dolgulu PVC kompozit l) %50 atık dolgulu PVC kompozit m) %60 atık dolgulu PVC kompozit n) %70 atık dolgulu PVC kompozit (devamı)

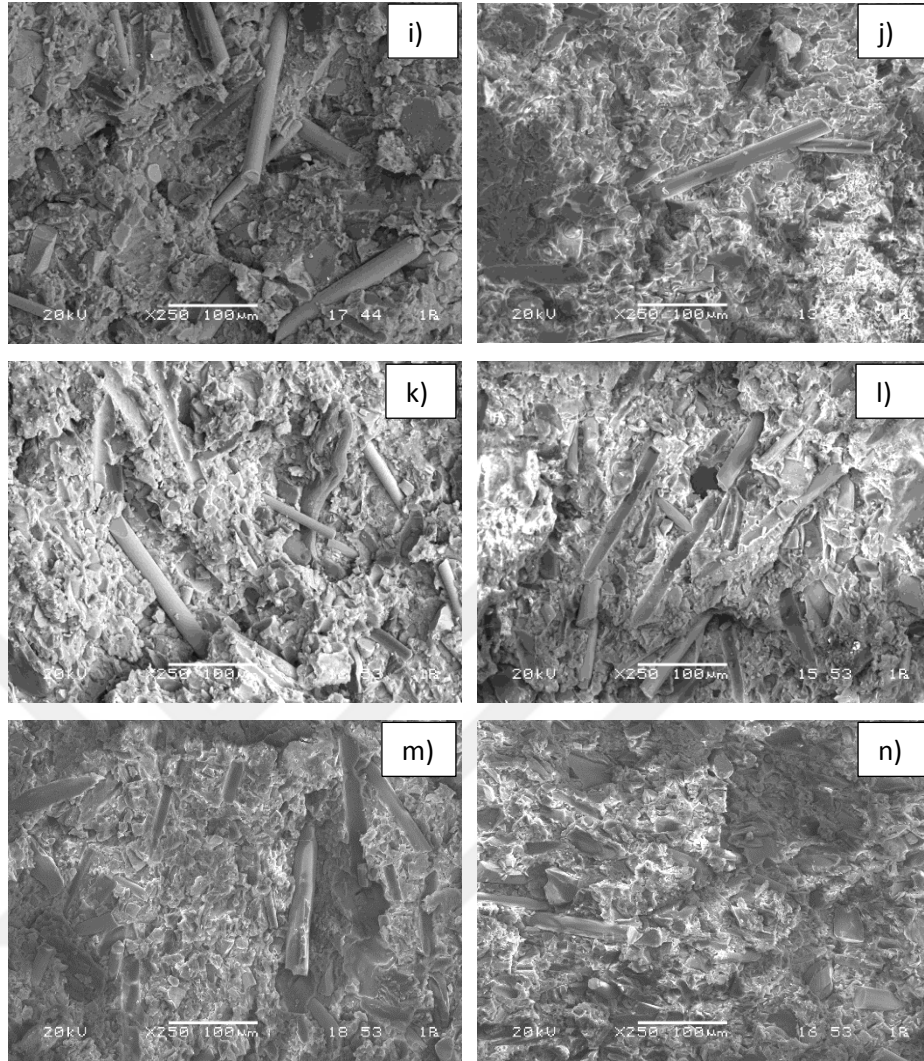
Diklorometana dayanım deneyi sonrası numunelere optik mikroskop ile bakıldığında herhangi bir kusur olmadığı görülmektedir. Ton farklılıkları kabarma sonucu oluşmuştur.

7.14. SEM ve EDS Analizi

Farklı oranlarda kesme atığı içeren PVC matrisli kompozitlerin, kalsit dolgulu ve dolgusuz PVC numunelere yapılan çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzeylerinden alınan taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 7.67. ve Şekil 7.68.'de verilmektedir. Görüntüler 250X büyütmede alınmıştır.



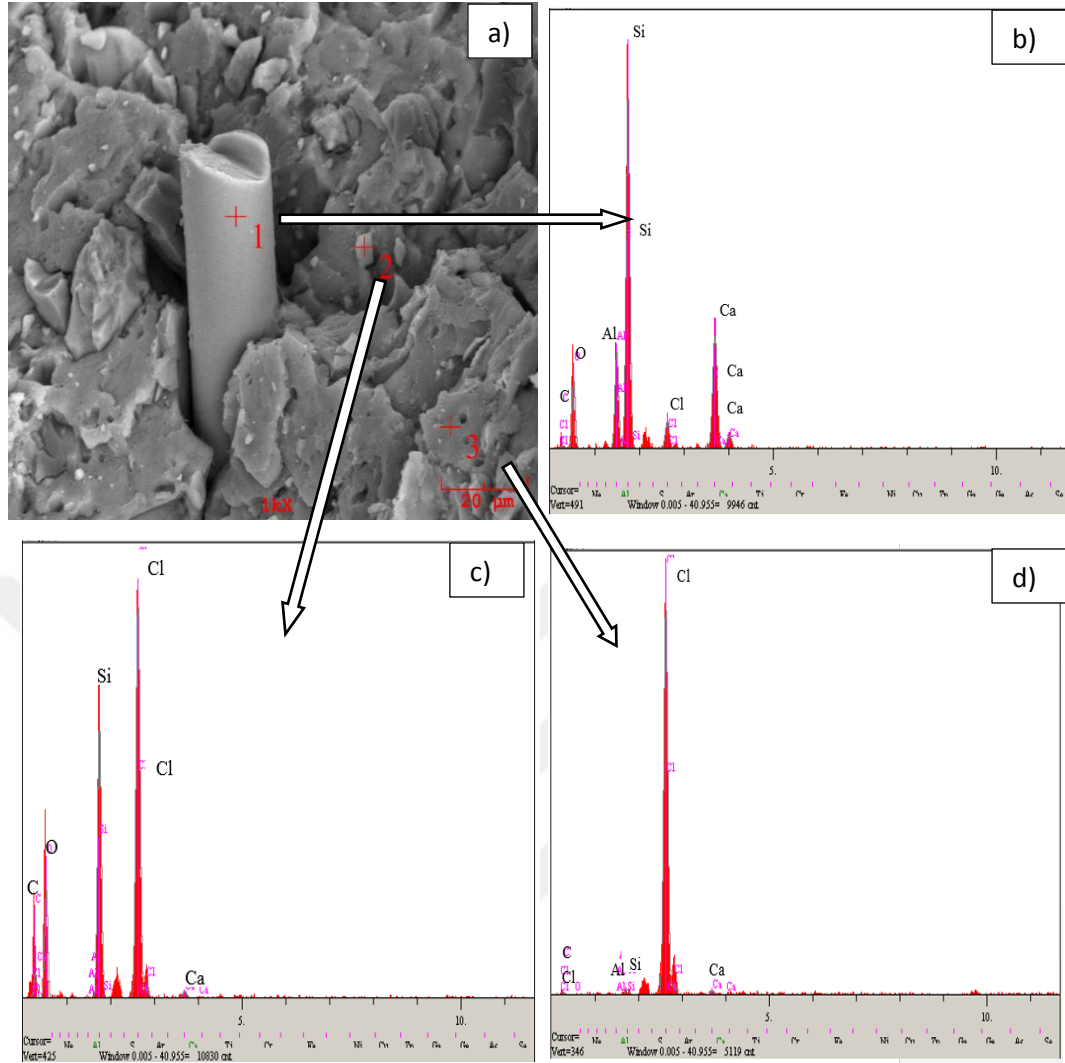
Şekil 7.67. Kırık yüzey SEM görüntüleri a) Dolgusuz PVC b) Kalsit dolgulu PVC c) %5 atık dolgulu PVC kompozit d) %10 atık dolgulu PVC kompozit e) %15 atık dolgulu PVC kompozit f) %20 atık dolgulu PVC kompozit g) %25 atık dolgulu PVC kompozit h) %30 atık dolgulu PVC kompozit i) %35 atık dolgulu PVC kompozit j) %40 atık dolgulu PVC kompozit k) %45 atık dolgulu PVC kompozit l) %50 atık dolgulu PVC kompozit m) %60 atık dolgulu PVC kompozit n) %70 atık dolgulu PVC kompozit



Şekil 7.68. Kırık yüzey SEM görüntüleri a) Dolgusuz PVC b) Kalsit dolgulu PVC c) %5 atık dolgulu PVC kompozit d) %10 atık dolgulu PVC kompozit e) %15 atık dolgulu PVC kompozit f) %20 atık dolgulu PVC kompozit g) %25 atık dolgulu PVC kompozit h) %30 atık dolgulu PVC kompozit i) %35 atık dolgulu PVC kompozit j) %40 atık dolgulu PVC kompozit k) %45 atık dolgulu PVC kompozit l) %50 atık dolgulu PVC kompozit m) %60 atık dolgulu PVC kompozit n) %70 atık dolgulu PVC kompozit (devamı)

PVC numunenin sünek kırılma gösterdiği net bir biçimde görülmektedir. Atık dolgusu oranı arttıkça cam fiber oranının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca görüntülerde cam fiber ve SiO₂ kumun matrisle uyumlu olduğu görülmektedir. Atık dolgusu arttıkça cam fiber oranının arttığı da görülmektedir.

Görüntülerdeki yapıların içeriklerini kanıtlamak için atık dolgulu numunelerden bir seçilmiş ve EDS analizi yapılmıştır. %15 atık dolgulu PVC numuneye yapılan EDS analizi sonuçları Şekil 7.69.'da verilmektedir.

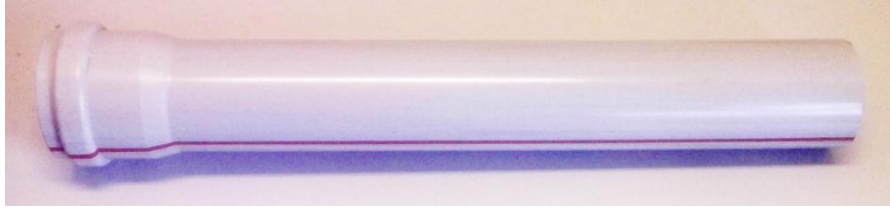


Şekil 7.69. %15 atık dolgulu PVC numuneye yapılan EDS analizi sonuçları a) numune SEM görüntüsü b) 1 numaralı bölge EDS analizi c) 2 numaralı bölge EDS analizi d) 3 numaralı bölge EDS analizi

1 numaralı noktada görülen cam fibere yapılan analizde Si ve O elementlerinin varlığı piklerle gösterilmiştir. Ayrıca PVC'den gelen Cl elementi de analizde görülmüştür. 2 numaralı noktaya yapılan analizde Si, O ve Cl elementlerinin varlığı piklerle gösterilmiştir. Si ve O elementlerinin atıktaki kumdan geldiği düşünülmektedir. 3 numaralı noktaya yapılan analizde Cl elementlerinin varlığı piklerle gösterilmiştir. Cl elementinin matris malzemesi olan PVC'den geldiği düşünülmektedir.

7.15. Boruya Uygulanan Deneyler

Tüm sonuçlara bakılarak ve fiyat performans ilişkisi düşünüldüğünde %35 atık dolgulu numunenin uygun olduğu düşünülmüş ve üretim sonrası görünüm ve renk kontrolü yapılmıştır. Borunun makro görünümü Şekil 7.70.'de gösterilmektedir.



Şekil 7.70. Üretilen borunun makro görünümü

Boruya gözle muayene yapıldığında herhangi bir kusurla karşılaşılmamıştır. Boru boya eklenmemesine rağmen standartta belirtilen gri renge sahiptir. Renk homojen olarak dağılmıştır.

Eklenen yeni katkı malzemesi ile 1 metre boru başına ağırlık %0,05 düşmüştür. 50 kg. hammadde ile geleneksel katkıya göre 6 metre daha uzun boru üretimi gerçekleştirilmiştir.

Üretilen boruya darbe deneyi üniversitemiz laboratuvarında yapılmış darbe enerjisi 394 J/m bulunmuştur. Üniversitemizde laboratuvar tipi ekstrüzyon cihazında üretilen %35 atık dolgulu numunenin darbe enerjisi 374,4 J/m olarak bulunmuştur. Sanayide üretilen boru ile laboratuvarda üretilen profil değerlerinin benzer olduğu görülmektedir.

Sanayide üretilen boruya yapılan vicat yumuşama deneyi sonucu vicat yumuşama sıcaklığı 80°C bulunmuş ve boru deneyde başarılı olmuştur. Pan ve arkadaşları PVC'ni vicat yumuşama sıcaklığını 78°C olarak bulmuşlardır [86]. PVC ile benzer vicat yumuşama sıcaklığı bulunduğu görülmektedir. Standartta belirtilen şartlarda yapılan deneyde üretilen boruda %4 boyut değişimi gözlenmiştir. Standartta en çok %5 boyutsal değişim olması gerekmektedir. Boru bu deneyte başarılı olmuştur.

BÖLÜM 8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Genel Sonuçlar

Numuneler PVC, CTP atık tozu ve prosese yardımcı maddeler mikserde karıştırılarak ekstrüzyon yöntemi ile profil şeklinde üretilmiştir. Atık toz PVC 'ye oranla ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35, %40, %45, %50, %60 ve %70 oranlarında katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi açısından CaCO₃ dolgulu ve dolgusuz PVC numuneleri de aynı şartlarda üretilmiş ve numunelere görünüş ve renk kontrolü, yoğunluk, shore D sertlik, çekme, üç nokta eğme, darbe deneyleri, erozif, adhezif ve abrazif aşınma deneyleri, XRD, DTA-TG, Raman, EDS analizleri, UV dayanım ve diklorometana dayanım deneyleri yapılmış, numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri alınmıştır. Deneyler sonucu bulunan en uygun formül ile atık su borusu üretimi gerçekleştirilmiştir.

Atığa yapılan nem tayini sonuçlarına bakıldığında atığı kurutmada başarılı olunduğu görülmektedir.

Üretilen numunelerin görünüş ve renk kontrolü deneyine uygun olduğu görülmüştür. Numunelerde çatlak, kabarma, kirlilik, gözenek, çukur veya benzeri diğer yüzey kusurları görülmemektedir.

Atık dolgusu ile üretilen numunelerin yoğunluğu kalsit dolgusu ile üretilen numunelerin yoğunluğundan daha düşüktür. Buna bağlı olarak aynı miktarda hammadde ile daha uzun üretim gerçekleştirilebileceği öngörülmüştür.

En yüksek sertlik değeri %40 atık dolgulu numunelerde görülmüştür. Kalsit dolgulu numunenin sertlik değeri düşük çıkmıştır. . PVC' ye eklenen atık oranı arttıkça %40 atık dolgulu numuneye kadar sertlik artmış daha sonra ise sertlikte düşüş görülmüştür.

En düşük çekme ve kopma mukavemeti kalsit dolgulu numunede görülmüştür. PVC'ye eklenen atık oranı arttıkça genel olarak çekme ve kopma mukavemetinde düşüş görülmüştür. %35 atık dolgulu numunede ise artış görülmüştür. En yüksek % kopma uzaması saf PVC numunede ve en düşük % kopma uzaması kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Fiyat performans oranı düşünüldüğünde çekme ve kopma mukavemeti uygun olan katkı oranının %35 olduğu öngörülmüştür.

Üç nokta eğme deneyinde kopma uzaması %5'e geldiğinde deney bitmektedir. %40, %45, %50, %60 ve %70 atık dolgulu numuneler %5 uzamaya gelmeden kopmaya uğramışlardır. En yüksek çekme mukavemeti %35 atık dolgulu numunede görülmüştür ve %5 kopma uzamasına geldiğinde hala kopma gözlemlenmemiştir. En düşük çekme mukavemeti ise kalsit dolgulu numunede görülmüştür.

Darbe deneyine göre en yüksek darbe enerjisi kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık dolgulu numunelerin darbe enerjisi PVC numuneye göre yüksek çıkmıştır. Atık dolgulu numuneler arasında fiyat performans oranı düşünüldüğünde en uygun değer %35 atık dolgulu numune olduğu görülmüştür.

Erozif aşınma deneyine göre her açıda en yüksek aşınma oranı kalsit dolgulu numunede görülmüştür. Atık katkı oranı arttıkça genel olarak aşınma oranının arttığı görülmektedir. Kalsit dolgulu numune için en yüksek aşınma oranı 75° açıda yapılan aşınmada çıkmıştır. Atık dolgulu numunelerde ise tüm açılarda düşük aşınma oranı görülmüştür.

Adhezif aşınma deneyine göre en yüksek sürtünme katsayısı ve aşınma oranı 15 N yük ve 0,5 m/s hızda PVC numunede diğer tüm yük ve hızlarda kalsit dolgulu numunede görülmüştür. En düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı ise %35 atık dolgulu

numunede görülmüştür. Atık dolgulu numuneler genelde PVC numuneye göre daha düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı göstermiştir.

XRD sonuçlarına göre atık dolgulu numunelerde atıktan gelen SiO_2 , stabilizatörden gelen CaCO_3 bileşikleri görülmüştür. Ayrıca amorf bölgeler de görülmektedir. Amorf bölgelerin PVC ve cam fiberleri gösterdiği düşünülmektedir. Üretilen PVC numuneye yapılan deney sonucuna göre stabilizatörden gelen CaCO_3 , LiH bileşiği ve amorf bölgeler görülmüştür. Amorf bölgelerin PVC olduğu düşünülmektedir. Kalsit dolgulu numunede ise CaCO_3 bileşiği ve amorf bölgeler görülmüştür. Atık dolgusu arttıkça amorf bölgelerin azaldığı görülmüştür.

Atık dolgulu, kalsit atkılı ve dolgusuz PVC numunede benzer DTA-TG sonuçları elde edilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi 260°C ve 380°C civarında endotermik reaksiyon ve ani ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Araştırmalara göre bu reaksiyon ve ağırlık kaybı PVC prolizi ile açıklanabilmektedir. Sonuçlara göre atık dolgusu arttıkça 290°C ve 380°C civarında oluşan ağırlık kaybı azalmaktadır. 500 ve 590°C civarında oluşan ekzotermik reaksiyonu ise yanma reaksiyonu olduğu düşünülmektedir. %20 atık dolgulu numuneden itibaren atık dolgulu numunelerin yanma sonucu oluşan ağırlık kaybını %5 oranında azalttığı görülmektedir. Ayrıca kalsit dolgulu numunede ek olarak 800°C civarında kalsinasyon görülmektedir.

UV dayanım deneyine göre kalsit dolgulu numune hariç tüm numunelerde renk değişimi olduğu için uv dayanımının olmadığı görülmüştür. Renk değişimi olmamasına rağmen UV deneyi yapılmış numunelerdeki en düşük darbe enerjisi değeri kalsit dolgulu numunede görülmüştür. PVC ve %20, %25, %30, %35 atık dolgulu UV yapılmış numunelerde ise bir değişim gözlemlenmemiştir. UV deneyi yapılmış numunelerdeki en yüksek darbe enerjisi değeri ise %35 atık dolgulu numunede görülmüştür.

Diklorametan deneyine göre tüm numunelerin diklorametan dayanımının olduğu görülmüştür. Numunelerde kabarma dışında bir bozulma görülmemiştir.

Çekme sonucu kırılma yüzeylerine yapılan optik incelemelerde tüm numunelerin sünek kırılma gösterdiği kanıtlanmıştır. Ayrıca atık dolgulu numunelerde cam fiberler parlak şekilde görülmektedir. Atık dolgusu arttıkça numunelerdeki cam fiber oranının arttığı gözlenmektedir. Eroziyon aşınma sonucunda numunelere yapılan optik mikroskop görüntüleri sonucunda partiküllerin çarpmasıyla aşınma izlerinin olduğu görülmektedir. En derin aşınma izlerinin 45° açıda olduğu fark edilmektedir. Adheziyon aşınma sonucunda numunelere yapılan optik mikroskop görüntülerinde sarı renkli bölgelerin adheziyon aşınma deneyinde disk olarak kullanılan pirinç malzemesine ait olduğu düşünülmektedir. Malzemelerdeki aşınma yönü net bir biçimde görülmektedir. Sürtünme ile ısı artması sonucunda tüm numunelerde renk değişimi meydana gelmiştir. Aşınma sırasında numuneden kalkan parçacıkların yüzeye tekrar yapıştığı görülmektedir. Abrasif aşınma sonucunda numunelere yapılan optik mikroskop görüntülerinde 320 numaralı zımpara ile yapılan deneylerde aşınma izlerinin daha derin olduğu görülmektedir. Görülen sarı lekelerin sürtünme ile oluşan ısı sonucu olduğu düşünülmektedir. Diklorometana dayanım deneyi sonrası numunelere optik mikroskop ile bakıldığında herhangi bir kusur olmadığı görülmektedir. Ton farklılıkları kabarma sonucu oluşmuştur.

SEM incelemelerinde atık dolgusu oranı arttıkça cam fiber oranının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca görüntülerde cam fiber ve SiO₂ kumun matrisle uyumlu olduğu görülmektedir. EDS analizinde ise cam fiber, SiO₂ ve PVC varlığı kanıtlanmıştır.

Tüm sonuçlara bakılarak ve fiyat performans ilişkisi düşünüldüğünde %35 atık dolgulu numunenin uygun olduğu düşünülmüş ve sanayi tipi bir ekstrüzyon cihazında boru üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimde kullanılan miktar ve çıkan ürün hesaplanarak aynı miktarda ürünle kalsit dolgusuna göre daha uzun ürün elde edildiği görülmüştür. Ürün görünüm açısından uygun olup muf açma ünitesinde başarılı bir şekilde kullanıma uygun boyutlarda muf açılmıştır. Boru görünüm ve renk kontrolü vicat yumuşama sıcaklığı ve boyutsal kararlılık deneylerinden başarılı bir şekilde geçmiştir.

8.2. Öneriler

Atık dolgusunun, kalsit dolgusu yerine; ticari olarak PVC atık su borularında ve pencere profil üretimlerinde kullanılması önerilmektedir.

Darbe dayanımı istenilen yerlerde kullanılacaksa darbe dayanımını arttırıcı konularak üretim yapılması önerilmektedir.

Pencere profili gibi güneş ışığına maruz kalacak ürünlerin üretiminde UV dayanımını sağlayan katkıları ile üretilmesi önerilmektedir.

Yapılacak benzer çalışmalarda ürüne korozyon aşınması yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Bekhet, N.E., Tribological Behavior Of Drawn Polypropylene. *Wear*, 236(1):55-61, 1999.
- [2] Mann, D., Automotive plastics & composites - worldwide markets & trends to 2007. Elsevier, New York, U.S.A, pp. 28-67, 1999.
- [3] Zweifel, H., Amos S.E., *Plastics additives handbook*. Hanser, Cincinnati, U.S.A, pp. 901-948, 2001.
- [4] Kaya, F., *Ana hatlarıyla plastikler ve katkı maddeleri*. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, pp. 63-195, 2005.
- [5] Heiberger, C., *Encyclopedia of PVC, Second Edition: Compounding Processes, Product Design, and Specifications Volume 3*. CRC Press, New York, U.S.A, pp. 284, 1992.
- [6] Ambrogi, V., Brostow, W., Carfagna, C., Pannico, M., Persico, P., Plasticizer migration from cross-linked flexible PVC: Effects on tribology and hardness. *Polymer Engineering & Science*, 52(1):211-217, 2012.
- [7] Cowley, W. E., Design aspects of butt welded thermoplastic pipes. *International Journal of Materials in Engineering Applications*, 1(6):323-327, 1979.
- [8] Balkaya, M., Sağlamer, A., Moore, I. D., Conta bağlantılı PVC boruların deformasyon davranışının laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi. *İTÜ Dergisi*, 10(4):153-162, 2012.
- [9] Tanoğlu, M., Toğulga, M., *Kompozit malzemeler ve jeotermal uygulamaları*. Jeotermal Enerji Semineri, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir, pp. 407-419, 23-25 Kasım, 2005.
- [10] Weidenfeller, B., Internal friction studies of particulate filled polypropylene. *Materials Science and Engineering: A*, 442(1):371-374, 2006.
- [11] Chen, N., Wan, C., Zhang, Y., Effect of nano-CaCO₃ on mechanical properties of PVC and PVC/Blendblend. *Polymer Deneying*, 23(1):169-174, 2003.

- [12] Bryant, W. S., Wiebking, H. E., The Effect of Calcium Carbonate Size and Loading Level on the Impact Performance of Rigid PVC Compounds Containing Varying Amounts of Acrylic Impact Modifier. ANTEC Conference Proceedings, San Francisco, U.S.A, pp. 1-5, 5-9 Mayıs, 2002.
- [13] Akdogan, A., Plastiklere ilave edilen katkı malzemeleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, pp.5-13, 2009.
- [14] Zhu, A., Shi, Z., Cai, A., Zhao, F., Liao, T., Synthesis of coreshell PMMA-SiO₂ nanoparticles with suspension dispersion polymerization in an aqueous system and its effect on mechanical properties of PVC composites. Polymer deneying, 27(5):540-547, 2008.
- [15] McMahon, C.J., Weaver, R., Structural Materials: a textbook with animations. Enfield Publishing, Canada, pp.321-365, 2004.
- [16] Onaran, K., Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1999.
- [17] Akbulut H., Kompozit Malzemeler. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2002.
- [18] Schwartz, M., Composite Material Handbook. McGraw-Hill Inc, New York, USA, 1992.
- [19] Sabancı, Ş., Fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin enjeksiyon yöntemi ile üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, pp. 11-22, 2005.
- [20] Miracle, D. B., Donaldson L.S., ASM Handbook: Vol.21, Composites. ASM International, Ohio, U.S.A, 2001.
- [21] Lee, W., Rainforth, W.M., Ceramic Microstructures: Property Control by Processing. Chapman&Hall, London, UK, 1994.
- [22] Budinski, G., Engineering Materials Properties and Selection. Prentice Hall, New Jersey, USA, pp.119-145, 1996.
- [23] Smallman, R. E., Bishop, R. J., Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering. Butterworth Heinemann, Oxford, UK, pp.350-375, 1999.
- [24] Aydın, H., PVC üretimi ve katkı maddeleri. Osmangazi Üniv., Fen Edebiyat Fak., Kimya bölümü, Eskişehir, pp.17-19, 2004.
- [25] Hazer, B., Polimer teknolojisi. KTÜ Matbaası, Trabzon, pp.45-50, 1993.
- [26] Kuyulu, A., Polimerlerin İşlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, pp.16-34, 2001.

- [27] Rothon, N., Particulate Fillers for Polymers. iSmithers Rapra Publishing, Shropshire, UK, 10-209, 2000.
- [28] Katz, H. S., Mileski, J. V., Handbook of fillers for plastics. Springer Science & Business Media, New York, U.S.A., 1987.
- [29] Staff, A., Fiberglass Pipe Design Volume 45. American Water Works Association, Denver, U.S.A, 2005.
- [30] MEGEP, Plastik Teknolojisi Yapısal Temel Deney Yöntemleri. Ankara, Türkiye, pp.10–29, 2012.
- [31] Akkurt, S., Plastik Malzeme Bilgisi. Birsen Yayınevi, İstanbul, pp.53-70 1991.
- [32] Bourgeois, J. L., Agassant J. F., Calendering of PVC: Defects in calendered PVC films and sheets. Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics, 14(3):367-385, 1977.
- [33] Akyüz, Ö.F., Plastikler Ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş. Pagev Yayınları, İstanbul, 2001.
- [34] Pişkin, E., Polimer Teknolojisine Giriş. İnkılap Kitabevi, İstanbul, pp.115-146, 1987.
- [35] Crawford, R.J., Plastic Engineering. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2002.
- [36] Savaşçı, T., Uyanık, N., Akovalı, G., Ana Hatları İle Plastikler Ve Plastik Teknolojisi. Pagev Yayınları, İstanbul, 2002.
- [37] EKŞİ, O., Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 2007.
- [38] Vegt, A.K., From Polymers To Plastics. Delft University Press, Delft, Nedherlands, 2002.
- [39] Reuwendaal, C., SPC Statistical Process Control in Injection Molding and Extrusion, Hanser Publications, Berlin. Germany, pp.5-13, 2001.
- [40] Rosato, D.V., Plastics Processing Data Handbook. Springer Science & Business Media, New York, U.S.A, 2000.
- [41] Rosato, D. V., Schott, N. R., Rosato, M. G., Plastics Institute of America Plastics Engineering, Manufacturing & Data Handbook. Springer Science & Business Media, Massachusetts, U.S.A, 2001.

- [42] Turaçlı, H., Ekstrüzyon Teknolojisine Giriş. PAGEV Yayınları, İstanbul, pp.35-60, 2003.
- [43] Deveci, S., Plastik boru üretimine değişik parametrelerin etkisinin incelenmesi, Yıldız Teknik Üniv., Fen Bilimleri Enst., pp.17-24, 2005.
- [44] ASTM D6980–12, Standard Deney Method for Determination of Moisture in Plastics by Loss in Weight. 2012.
- [45] TS 275 1 EN 1329, Plastik Boru Sistemleri-Plastik Borular ve Ekleme Parçaları Boyutların Ölçülmesi ve Yüzeylerin Gözle Muayenesi. 1999.
- [46] Marghitu, D. B., Mechanical engineer's handbook. Academic Press, New York, U.S.A, 2001.
- [47] ASTM D792, Standard Deney Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. 2013.
- [48] ASTM D2240, Standard Deney Method for Rubber Property Durometer Hardness Shore Hardness. 2010.
- [49] Stuart, B. H., Polymer analysis. John Wiley & Sons., New York, U.S.A, pp.210-234, 2008.
- [50] ASTM D638, Standard Deney Method for Tensile Properties of Plastics. 2014.
- [51] ASTM D790, Standard Deney Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. 2010.
- [52] ASTM D4812, Standard Deney Method for Unnotched Cantilever Beam Impact Resistance of Plastics. 2012.
- [53] Fidan, S., Sınmazçelik, T., Polimerler ve Polimer Kompozitlerde Katı Partikül Erozyonunun Mekanizmaları ve Malzeme Performansını Etkileyen Faktörler. 13.Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi, İstanbul, Türkiye, 9-11 Kasım, 2006.
- [54] Arnell, R.D., Davies, P.B., Halling, J., Whomes, T.L., Tribology Principles and Design Applications. 1991, Springer-Verlag, New York, U.S.A, pp.68-70, 1991.
- [55] Sundararajan, G., Roy, M., Solid particle erosion behaviour of metallic materials at room and elevated temperatures. Tribology International, 30(5):339–359, 1997.

- [56] Unal, H., Mimaroglu, A., Arda, T., Friction and wear performance of some thermoplastic polymers and polymer composites against unsaturated poliester. *Applied Surface Science*, 252(23):8139-8146, 2006.
- [57] Bhushan, B., *Introduction to Tribology*. John Wiley & Sons, New York, U.S.A, pp.332-333, 2002.
- [58] Arnell, R.D., Davies, P.B., Halling, J., Whomes, T.L., *Tribology Principles and Design Applications*. Macmillan, Hampshire, UK, pp.68-70, 1991.
- [59] ASTM G99-05, *Standard Deney Method for Wear Deneying with a Pin-on-Disk Apparatus*. 2010.
- [60] Yılmaz, F., *Sürtünme ve Asınma*. 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, Türkiye, pp.229-247, 11-15 Haziran, 1997.
- [61] Çelikyürek, İ., *Demir Aluminantların Borlanması ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi*. Eskişehir Osmangazi Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, pp.107-108, 2006.
- [62] Sarıkaya, Ö., *Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri*. Sakarya, Türkiye, pp.1-60, 2007.
- [63] Suryanarayana, C., Norton, M. G., *X-ray diffraction: a practical approach*. Springer Science & Business Media, New York, U.S.A, pp.3-19, 2013.
- [64] Cazes, J., *Analytical instrumentation handbook*. CRC Press, Boca Raton, U.S.A, pp.491-503, 2004.
- [65] Kayaalp, Ö., *Effects Of Zinc Oxide Nano Particles On Antibacterial And Uv Stabilizing Effects Of Wood Coatings*. Ege University, Master Of Science Thesis, pp.16, 2012.
- [66] Koleske, V. J., *Paint and Coating Deneying Manual: fourteenth edition of the Gardner-Sward handbook*. American Society for Deneying and Materials, Philadelphia, U.S.A, pp.643-653, 1995.
- [70] TS 8106-3 EN ISO 4892-3, *Plastikler- laboratuvar ışın kaynaklarına maruz bırakma metotları- floresan UV lamba*. 2006.
- [68] TS EN 580, *Plastics piping systems, Unplasticized polyvinyl chloride pipes - Deney method for the resistance to dichloromethane at a specified temperature*. 2003.
- [69] Brundle, C. R., Evans, C. A., Wilson, S., *Encyclopedia of materials characterization: surfaces, interfaces, thin films*. Gulf Professional Publishing, Boston, U.S.A, pp.57-60, 1992.

- [70] Goldstein, J., Newbury, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Romig Jr, A.D., Lyman, C. E., Lifshin, E., Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: a text for biologists, materials scientists, and geologists. Plenum Press, New York, U.S.A, pp.1-366, 2012.
- [71] TS EN 727, Plastik boru ve kanal sistemleri termoplastik boru ve ekleme parçaları vıcat yumuşama sıcaklığının (vys) tayini. 1995.
- [72] TS EN ISO 2505, Termoplastik borular-uzunluğundaki değişim, deney yöntemi ve parametreler. 2010.
- [73] Mengeloglu, F., Matuana, L. M., Mechanical properties of extrusion-foamed rigid PVC/wood-flour composites. Journal of Vinyl and Additive Technology, 9(1):26-31, 2003.
- [74] Juntunen, R. P., Kumar, V., Weller, J. E., Bezubic, W. P., Impact strength of high density microcellular poly (vinyl chloride) foams. Journal of Vinyl and Additive Technology, 6(2):93-99, 2000.
- [75] Bensemra, N., Bedda, A., Belaabed, B., Study of the properties of rigid and plasticized PVC/PMMA blends. In macromolecular symposia, 202(1):151-166, 2003.
- [76] Chen, C., Teng, C. C., Yang, C. H., Fusion, electrical conductivity, thermal, and mechanical properties of rigid poly (vinyl chloride)(PVC)/carbon black (CB) composites. Journal of applied polymer science, 99(5):2167-2173, 2006.
- [77] Zeng, X. F., Wang, W. Y., Wang, G. Q., Chen, J. F., Influence of the diameter of CaCO_3 particles on the mechanical and rheological properties of PVC composites. Journal of Materials Science, 43(10):3505-3509, 2008.
- [78] Shah, B. L., Matuana, L. M., Heiden, P. A., Novel coupling agents for PVC/wood-flour composites. Journal of Vinyl and Additive Technology, 11(4):160-165, 2005.
- [79] Faruk, O., Matuana, L. M., Reinforcement of rigid PVC/wood-flour composites with multi-walled carbon nanotubes. Journal of Vinyl and Additive Technology, 14(2):60-64, 2008.
- [80] Matuana, L. M., Park, C. B., Balatinecz, J. J., Cell morphology and property relationships of microcellular foamed pvc/wood-fiber composites. Polymer Engineering & Science, 38(11):1862-1872, 1998.

- [81] Chen, C. H., Teng, C. C., Tsai, M. S., Yen, F. S., Preparation and characterization of rigid poly (vinyl chloride)/MMT nanocomposites, II. XRD, morphological and mechanical characteristics. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 44(15):2145-2154, 2006.
- [82] Lee, G. S., Song, Y. J., Recycling EAF dust by heat treatment with PVC. *Minerals engineering*, 20(8):739-746, 2007.
- [83] Saeed, L., Tohka, A., Haapala, M., Zevenhoven, R., Pyrolysis and combustion of PVC, PVC-wood and PVC-coal mixtures in a two-stage fluidized bed process. *Fuel Processing Technology*, 85(14):1565-1583, 2004.
- [84] Perez-Rodriguez, J. L., Duran, A., Centeno, M. A., Martinez-Blanes, J. M., Robador, M. D., Thermal analysis of monument patina containing hydrated calcium oxalates. *Thermochimica Acta*, 512(1):5-12, 2011.
- [85] Kamışlı, F., Turan, C., Kalsit kaplamasının PVC kapı ve pencere profillerinin beyazlığına ve parlaklığına etkisi. 11. Ulusal Kimya Kongresi, Eskişehir, Türkiye, 2-5 Eylül, 2004.
- [86] Pan, M., Shi, X., Li, X., Hu, H., Zhang, L. Morphology and properties of PVC/clay nanocomposites via in situ emulsion polymerization. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(1):277-286, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Arzu Özüyağlı 15.06.1990 da Çorum'da doğdu. İlk ve orta öğretim eğitimini Bahçelievler İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2008 yılında Çorum Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini 2012 yılında bitirdi. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitime başladı. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde Subor Boru San. ve Tic. A.Ş. ile ilgili yürütülen Ar-Ge projesinde ve Toyota Boshoku Türkiye ile ilgili yürütülen Ar-Ge projesinde 2012-2015 yılları arasında çalıştı. Bu süre içerisinde proje başvuru dosyası hazırlama, üretim, kalite deneyleri ve raporlama çalışmalarında faal olarak görev yaptı. Subor ile yapılan proje ile ilgili bir adet patentin buluş sahiplerinden biridir. Şu anda Asaş Grup bünyesinde PVC Ar-Ge mühendisi olarak görev yapmaktadır.