

**PET (POLİETİLEN TEREFTALAT) ATIKLARIN ENDÜSTRİDE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Fatma Yıldız ANABAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2007

ANKARA

Fatma Yıldız ANABAL tarafından hazırlanan PET (POLİETİLEN TEREFTALAT) ATIKLARIN ENDÜSTRİDE DEĞERLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Muzaffer TALU

Tez Danışmanı, Kimya Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Çevre Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yüksel SARIKAYA

Kimya, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Muzaffer TALU

Kimya, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Günay KİBARER

Kimya, Hacettepe Üniversitesi

Tarih: 30/11/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Fatma Yıldız ANABAL

PET ATIKLARIN ENDÜSTRİDE DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatma Yıldız ANABAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2007

ÖZET

Artan çevresel sorunlar ve ekonomik gereklilik atıkların geri kazanımını ve bununla ilgili teknolojilerin gelişimini zorunlu kılmaktadır. Değerlendirilebilir atıkların depolama alanlarına gömülmesi yerine bu atıklardan ikincil hammadde elde edilmesi; hem endüstrinin hammadde ihtiyacını azaltmakta hem de ekonomiye katkı sağlamaktadır. Genelde termoplastik esaslı polimerler; tekrar kullanıma uygun malzemeler olduğundan sınırlı doğal kaynaklara bağımlılığımızı azaltabilecek malzemeler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada gittikçe artan kullanımı nedeniyle plastik atıklar arasında ilk sıralarda yer alan PET atıkların geri dönüşümü konusu tüm aşamalarıyla ele alınmıştır. PET atıkların toplama sistemi, toplanıp ayrıldıktan sonraki geri dönüşüm aşamaları ve PET geri dönüşümünü etkileyen temel faktörler detaylarıyla irdelenmiştir. Ayrıca PET atıkların geri dönüşümünde prosesi olumsuz yönde etkileyen PVC (poli vinil klorür)'nin ayrılma teknikleri

ortaya konulmuş, laboratuvar şartlarında PET ve PVC karışım çapakları bazı kimyasal maddelerle etkileştirilerek ve elektrostatik yöntem kullanılarak ayrılmaya çalışılmıştır.

Bilim Kodu : 705.1.038
Anahtar Kelimeler : PET, PVC, geri dönüşüm
Sayfa Adedi : 107
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Muzaffer TALU

TO MAKE PROFITABLE USE OF PET WASTES IN INDUSTRY**(M.Sc. Thesis)****Fatma Yıldız ANABAL****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****November 2007****ABSTRACT**

Increasing environmental issues and economic necessities have made it mandatory to have the wastes recycled and the related technology to be well developed. The wastes that can be recycled are to be used to product subsidiary products instead of being taken to the storages, in this way it reduces the industry's raw material needs and contributes to the economy. Since the thermoplastic based polymers are usually suitable for recycling, they can reduce our dependence on the limited resources. The increasing usage of plastic materials made it necessary to examine the PET wastes recycling issue to be deeply analyzed in these studies. The collection of PETs, the stage where they are separated from each other and the main factors that affect the recycling process of PETs, are analyzed in detail. Also, PVC, which affects the recycling

process of PETs negatively, have been displayed, some chemical elements that have PET and PVC mixtures have been tried to decomposed in laboratory conditions by being used electrostatic process.

Bilim Kodu : 705.1.038
Anahtar Kelimeler : PET, PVC, recycle
Sayfa Adedi : 107
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Muzaffer TALU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Muzaffer TALU'ya, yine Hocam Doç. Dr. Selim ACAR'a, çok değerli arkadaşlarım Kimya Mühendisi Betül YÜKSEL'e ve İlknur CISDIK'a, Çevre Mühendisi Emine AYDINOĞLU'na ve Cem Ferda TUNÇER'e, yine Orkan SÖZER'e ayrıca manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili anneme ve eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
İÇİNDEKİLER	xii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇEVRE, ÇEVRESEL SORUNLAR VE KATI ATIK	3
2.1. Katı Atıkların Sınıflandırılması.....	4
2.1.1. Evsel katı atık	4
2.1.2. Tehlikeli atık	4
2.1.3. Özel atık	5
2.2. Atık Oluşumu	6
2.2.1. Biriktirme	6
2.3. Geri Kazanım	7
2.3.1. Ayır toplama yöntemleri	8
2.3.2. Ayırma	8
2.4. Bertaraf	9
2.5. Katı Atık Miktarı	9
2.6. Katı Atık Kompozisyonu	10
2.7. Ambalaj Atıkları.....	12
2.7.1. Ambalaj üretimi.....	12
2.7.2. Ambalaj tüketimi	13
2.8. Plastik Ambalaj Atıkları	14
3. PET (POLİETİLEN TEREFTALAT).....	17
3.1. PET'in Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	17

Sayfa

3.2. PET Ambalajın Kullanım Alanları.....	22
3.3. Atık PET Ambalajın Toplama Sistemi.....	23
3.4. Yasal Durum	31
3.5. Yurtdışında Kaynakta Ayrı Toplama Sistemi.....	34
3.5.1. Fransa.....	36
3.5.2. Almanya.....	36
3.5.3. Belçika	37
3.5.4. İtalya	37
3.5.5. Danimarka	38
3.6. Toplanmış Atık PET Ambalajın Geri Dönüşüm Aşamaları	39
3.6.1. Ayıklama.....	40
3.6.2. Kırma	42
3.6.3. Yıkama.....	43
3.6.4. Kurutma	44
3.6.5. Ekstrüzyon	45
3.6.6. Kristalizasyon.....	46
3.6.7. Metal ayırma	46
3.7. Geri Dönüştürülmüş Atık PET'in Taşınması Gereken Koşullar	47
3.8. Atık PET'in Geri Dönüşüm Uygunluğunu Etkileyen Faktörler	48
3.8.1. Asit üreten kirleticiler	48
3.8.2. Su	48
3.8.3. Renklendirici maddeler.....	48
3.8.4. Asetaldehit.....	49
3.8.5. Diğer kirleticiler	49
3.9. Geri Dönüştürülmüş Atık PET'in Kullanım Alanları	49
3.9.1. Polyester elyaf	49
3.9.2. PET levha.....	53
3.9.3. PET şeritler.....	54
3.9.4. Mühendislik plastikleri	54
3.9.5. Şişeden şişe uygulamaları	55

Sayfa

3.10. Biyolojik Olarak Parçalanabilen Plastikler	56
3.11. Kimyasal Geri Kazanım.....	58
4. ATIK PET AMBALAJIN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE PVC’NİN ETKİLERİ	59
4.1. PVC’nin Genel Özellikleri.....	59
4.2. Literatürde Yer Alan Çalışmalar	60
4.2.1. Otomatik ayırma yöntemi	60
4.2.2. Yüzdürme yöntemi	67
4.2.3. Triboelektrostatik ayırma yöntemi	70
5. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM.....	79
5.1. Kullanılan Materyaller	79
5.2. Deneysel Yöntem	80
5.2.1. PET ve PVC’nin çözünürlük deneyleri	80
5.2.2. PET ve PVC örneklerinin IR spektroskopisi ile spektrumlarının alınması	82
5.2.3. PET ve PVC karışım örneğinden elektrostatik yöntemle PVC’nin ayrılması	82
5.2.4. Anket yöntemi	84
6. ARAŞTIRMA BULGULARI	85
6.1. PET ve PVC’nin Çözünürlük Bulguları	85
6.2. PET ve PVC Örneklerinin IR Spektroskopisi ile Spektrum Bulguları.....	87
6.3. Elektrostatik Yöntemle PVC’nin Ayırıştırılması Bulguları.....	90
6.4. Anket Bulguları	92
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR.....	99
EKLER.....	102
EK-1	103
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Atık uzaklaştırma teknolojilerinin maliyetleri	11
Çizelge 2.2. Plastik ürünlerin ortalama kullanım süreleri	15
Çizelge 2.3. 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait üretilen plastik ambalaj miktarları	15
Çizelge 3.1. PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri	19
Çizelge 3.2. Geri kazanım hedefleri	33
Çizelge 3.3. Avrupa'da son 5 yılda toplanan PET şişe miktarları	38
Çizelge 3.4. Geri dönüştürülmüş atık PET'in taşınması gereken şartlar	47
Çizelge 4.1. Triboelektrostatik ayırım testi için deneysel koşullar	74
Çizelge 4.2. İki bileşenli karışık plastikteki PVC uzaklaştırma için elektrostatik ayırımın deneysel sonucu	77
Çizelge 7.1. Çözünürlük sonuçları	97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Atık döngüsü.....	5
Şekil 2.2. Evsel atık kompozisyonu	10
Şekil 3.1. PET molekülünün tekrarlanan birimleri	18
Şekil 3.3. PET geri kazanılabilir ambalaj sembolü ve kodu	21
Şekil 3.6. Elyaf üretim süreci	50
Şekil 4.1. Polivinilklorür'ün kimyasal yapısı.....	59
Şekil 4.2. Yeşil PET(a)'in, PVC(b) ve kırmızı HDPE(c)'in farklı polimer absorpsiyon spektrumları.....	61
Şekil 4.3. PET/PVC karışımından PVC'nin ayrıştırılmasında flotasyon prosesi.....	68
Şekil 4.4. Triboelektrofikasyonun prensipleri.....	70
Şekil 4.5. Çeşitli plastiklerin triboelektrik yükleme serileri	71
Şekil 4.6. Karışık plastiklerden PVC materyalinin ayrılması için laboratuvar ölçekli triboelektrostatik ayırım sisteminin şematik diyagramı.....	72
Şekil 4.7. Partiküllerin yüklenmesini gösteren şematik diyagram	73
Şekil 4.8. Triboelektrostatik ayırım	74
Şekil 4.9. PVC ve PET materyallerinin sürtünme ekstrakt içeriği	75
Şekil 4.10. PVC ve PET materyallerinin verimi	76
Şekil 5.1. Deneme (1) IR spektrumu	88
Şekil 5.2. Deneme (2) IR spektrumu	88
Şekil 5.3. Deneme (3) IR spektrumu	89
Şekil 5.4. Deneme (4) IR spektrumu	89
Şekil 5.5. Deneme (5) IR spektrumu	90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. PET ambalaj çeşitlerinden bazıları	23
Resim 3.2. Evsel atıklarla birlikte atılmış ambalaj atıklarından bir görüntü	25
Resim 3.3. Düzensiz depolama alanında ambalaj atıklarını ayırmaya çalışanlardan bir görüntü	25
Resim 3.4. Sokak toplayıcıları	26
Resim 3.5. Tanıtım-bilgilendirme ekibi	27
Resim 3.6. Bilgilendirme çalışmaları	27
Resim 3.7. Ambalaj atıkları kumbaraları (ortada bulunan yeşil ve beyaz cam ambalaj kumbarası)	28
Resim 3.8. Karışık ambalaj atığı kumbarasına bir örnek	28
Resim 3.9. Poşetle toplama sistemi	29
Resim 3.10. Okullara yada ofislere yerleştirilen atık toplama kutularından bir örnek	29
Resim 3.11. Ambalaj atığı kafesi	29
Resim 3.12. Kaynağında ayrı toplama el ilanlarına bir örnek	30
Resim 3.13. Ambalaj atığı toplama aracı	30
Resim 3.14. Ayırma bandında ayıklama yapan insanlar	31
Resim 3.15. Balyalanmış PET şişe ambalaj atıkları	39
Resim 3.16. Balya açma makinesi	40
Resim 3.17. Balyası açılan PET ambalaj atıklarının konveyör bant ile sevki	40
Resim 3.18. Yıkama prosesi	43
Resim 3.19. Kurutma bunkerı	51
Resim 3.20. Düzelerden aşağı akan iplikler	51
Resim 3.21. İplik gerdirmesi	52
Resim 3.22. Kırıştırılmış elyaflar	52
Resim 3.23. Kırıştırma makinesi	53
Resim 5.1. Atık PET çapak örneği	79
Resim 5.2. Atık PVC çapak örneği	79

Resim	Sayfa
Resim 5.3. Yükleme sistemi	83
Resim 5.4. Elektrostatik ayırım düzeneği	83
Resim 6.1. Geri soğutucu altında gerçekleştirilen tepkime	87
Resim 6.2. Ayrılan PET ve PVC çapaklar	91
Resim 6.3. Elektrostatik ayırımla ayrılan çapaklar	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
η	İntrinsik Viskozite
T_m	Erime Sıcaklığı
Kısaltmalar	Açıklama
AAKY	Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
AB	Avrupa Birliği
ÇEVKO	Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı
DSD	Duales System Deutschland
FDA	The Federal Food and Drug Administration
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
KAKY	Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
LDPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
PC	Polikarbonat
PET	Polietilen Tereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren

1.GİRİŞ

Günümüzde teknolojiadaki gelişmeler, bir yandan toplumun hayat standardını yükseltirken diğer yandan nüfus artışı ve hızlı kentleşme ile birlikte hava, su ve toprak kirliliği gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Ortaya çıkan bu çevresel sorunlar ve doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı değerlendirilebilir atıkların özellikle de ambalaj atıklarının geri kazanımını zorunlu kılmaktadır.

Genellikle ambalaj atıkları düşük yoğunluklu ve hacimli atıklar olduğundan depolama alanlarında ciddi yer kaplamaktadırlar. Özellikle ambalaj atıkları içerisinde yer alan plastik atıkların yeniden değerlendirilmesi; plastiklerin doğada bozunmadan uzun yıllar kalması ve oluşturdıkları diğer çevresel sorunlardan ötürü gittikçe önem kazanan bir konudur. Plastik atıkların önemli miktarını; artan kullanımı ile dikkati çeken PET şişe atıkları oluşturmaktadır. PET dahil atık plastikler çöp depolama alanlarında ağırlık olarak %7 ve hacim olarak %20'lik bir yer işgal etmektedirler. Bu nedenle söz konusu atıkların çöp depolama alanlarında depolanması yerine geri kazanılması; depolama alanlarına giden atık hacmini önemli derecede azaltmakta ve depolama sahalarının ömrünü uzatmaktadır.

Bu araştırmanın amacı; PET atıkların geri dönüşümü konusunu tüm aşamalarıyla araştırmak ve PET atıkların geri dönüşüm kalitesini etkileyen temel faktörleri ortaya çıkarabilmektir. Ayrıca PET atıkların geri dönüşümünü olumsuz şekilde etkileyen; istenmeyen madde PVC'nin ayrılma tekniklerinin araştırılması ile PET atıklardan geri dönüşüm kalitesi yüksek ikincil hammadde elde edebilmektir.

Bu çalışmada laboratuvar şartlarında PET ve PVC karışım çapakları bazı kimyasal maddelerle etkileştirilerek ve elektrostatik yöntem denenerek birbirinden ayrılmaya çalışılmıştır.

Ayrıca PET atıkların geri dönüşümü konusunda; EK-1'de verilen, 2 bölüm ve 19 sorudan oluşan bir anket formu hazırlanmıştır. Ülkemizde faaliyet gösteren PET geri dönüşüm tesislerinin karşılaştıkları güçlükleri ve geri dönüşüm kalitesini etkileyen

faktörleri ortaya koyabilmek için 16 PET geri dönüşüm tesisine anket uygulaması yapılmıştır.

Yine bu çalışmada konuya ilişkin Çevre ve Orman Bakanlığının arşivlerinde bulunan bilgi notları incelenmiş, literatür taraması yapılmış ve PET geri dönüşümü faaliyetinde bulunan tesislerin sorumlu kişileriyle yapılan görüşmelerden de yararlanılmıştır.

2. ÇEVRE, ÇEVRESEL SORUNLAR VE KATI ATIK

En geniş tanımı ile çevre, “insan ve diğer tüm canlı varlıklar ile birlikte doğanın ve doğadaki insan yapısı öğelerin bütünüdür”. Doğal ve yapay çevre olmak üzere, çevre olgusunu belirleyen iki temel unsur vardır. Doğal çevre, doğal etki ve güçlerin oluşturduğu, insan müdahalesine maruz kalmamış yada böyle bir müdahalenin henüz değiştiremediği tüm doğal varlıkları ifade etmektedir. Yapay çevre ise insanlığın başlangıcından günümüze kadar uzanan toplumsal ve ekonomik evrim sürecinde, büyük ölçüde doğal çevreden yararlanılarak insan eliyle ortaya çıkan tüm değer ve varlıkları kapsamaktadır. Doğal çevre çevre olgusunun alt yapısını oluşturur. Üst yapıyı oluşturan yapay çevre, doğal çevreden yararlanma ölçüsünde gelişme göstermiştir. Bu durum ekonomik, toplumsal ve teknolojik gelişmelerle birlikte doğal çevre aleyhine işleyen bir insan-doğa ilişkisi sürecine zemin hazırlamış ve günümüzde çevre sorunları olarak adlandırılan bir dizi sorunun ortaya çıkmasında temel neden olmuştur [1].

Günümüzde çevresel sorunlar; ulusal sınırların ötesinde küresel boyutlara ulaşmış durumda olduğundan, çevresel sorunlarla mücadele tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gittikçe önem kazanmaktadır. İşte bu sorunlardan bir tanesi de ürettiğimiz katı atıklardır.

Katı atık, insanların günlük faaliyetleri sonucunda meydana gelen ve üreticisi tarafından atılmak istenen, akıcı olacak kadar sıvı içermeyen, toplumun huzuru ve çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken her türlü katı malzemelere denilmektedir [2].

Katı atık miktarı ve kompozisyonu; atığın olduğu bölgenin sosyo-ekonomik, kültürel ve demografik yapısına, tüketim alışkanlıklarına, iklimine, sanayileşme durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

2.1. Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıklar genel olarak evsel atık, tehlikeli atık ve özel atık olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır [3]. Evsel atık, tehlikeli atık ve özel atık tanımları aşağıda kısaca verilmektedir.

2.1.1. Evsel katı atık

14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre (KAKY); evlerden, işyerlerinden, lokantalardan, park ve bahçelerden, piknik alanlarından kaynaklanan ve tehlikeli atık olarak nitelendirilmeyen katı atıklara, evsel katı atık denilmektedir [4]. Büyük yerleşim birimlerinin karşılaştıkları en önemli çevresel sorunlardan birisi evsel katı atıklar, bir başka ifadeyle çöplerdir. Evsel katı atıklar; gerek toplanmaları gerek taşınmaları aşamasında hastalık yapıcı ve taşıyıcı organizmalar için uygun üreme ortamı oluşturduklarından insan sağlığını tehlikeye sokmaktadırlar. Evlerden çıkmamakla birlikte bürolardan, işyerlerinden, okullardan, pazar yerlerinden [5] ve tarımsal faaliyetlerden çıkan atıklar da evsel katı atık olarak nitelendirilmekte ve [6] evsel katı atık içinde yer almaktadır.

2.1.2. Tehlikeli atık

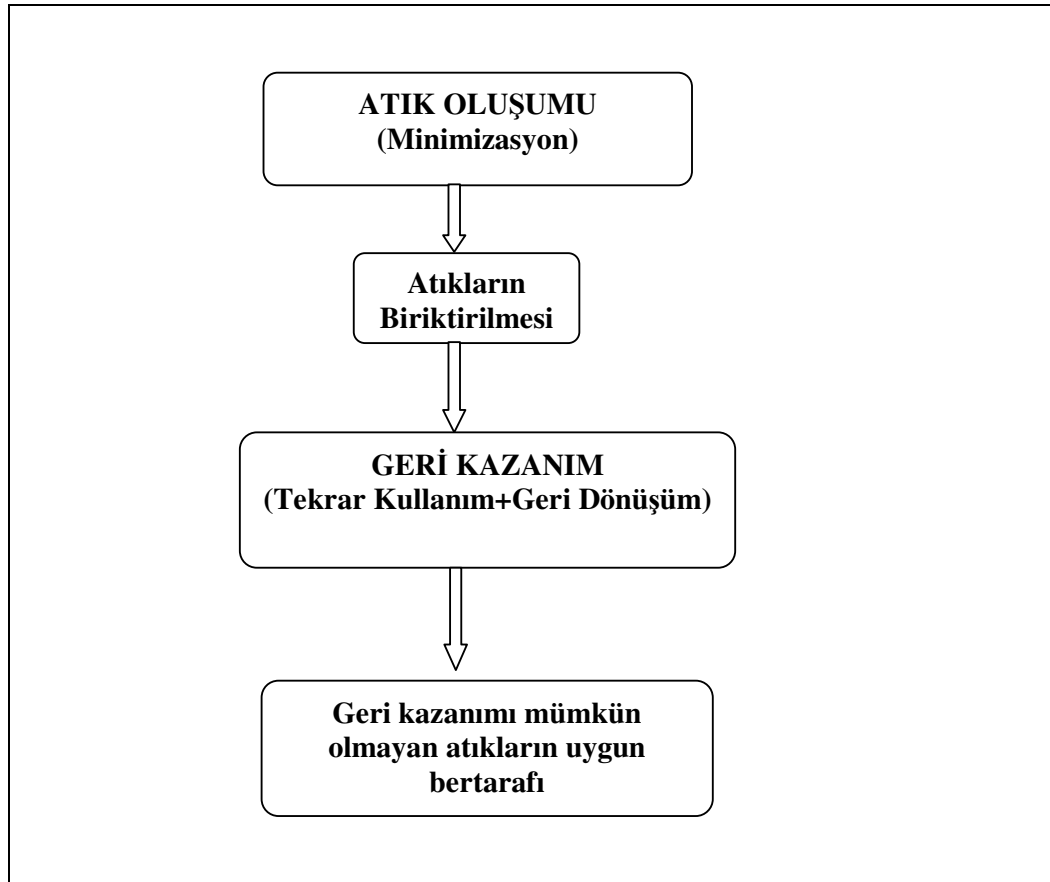
Endüstriyel atıklar, tehlikeli ve zararlı özellik taşıyan patlayıcı, parlayıcı, zehirli ve hava ya da su ile temas ettiğinde yanabilen, gaz çıkarabilen atıklara, tehlikeli atıklar denilmektedir [7] .

Rafineriler, enerji santralleri, gıda ve oyuncak sanayi, ilaç fabrikalarının atıkları, kül ve cürufklar tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Bir başka ifade ile tehlikeli atıklar, teknolojik gelişmeye bağlı olarak ortaya çıkan çevre ve insan sağlığını tehdit eden endüstriyel nitelikli atıklardır [8].

2.1.3. Özel atık

Tıbbi atıklar(patolojik atıklar, kesiciler, ecza atıkları), radyoaktif atıklar, pil ve aküler, arıtma çamurları, atık yağlar, kullanılmış otomobil lastikleri, cips ve çeşitli yakma fırınlarından kaynaklanan küller özel atık sınıfında yer almaktadırlar.

Atık sahibi tarafından istenmeyen bir madde olmakla birlikte aslında ülke için önemli bir yönetim sorunudur. Atığın yönetiminde izlenmesi gereken yol; atığın oluşumunu önlemek, önlenemeyen atık miktarını ise azaltmaktır. Aşağıda atığın oluşumundan bertarafına kadar olan aşamalar bir atık yönetim sistemi içerisinde Şekil 2.1’de şematize edilmiştir.



Şekil 2.1. Atık döngüsü

2.2. Atık Oluşumu

Günümüzde üretimin ve tüketimin doğal ve beklenen bir olay olduğu bilindiğine göre, bazı maddelerin üretim ve tüketim atığı olarak ortaya çıkması kaçınılmazdır. Atık oluşumunda esas olan kaynakta azaltmadır. Yani mümkün olduğunca az atık üretilmesinin sağlanmasıdır. Atık önleme, kirliliğe yol açabilen faktörlerin minimum seviyeye indirilmesi ile kirliliği azaltmaktır. Kaynakta azaltma yani atık oluşmadan önce alınacak tedbirler bu noktada çok önemlidir. Bu da iyi işletim sistemleri, daha temiz prosesler, girdi materyallerindeki değişimler (örneğin zehirli hammaddeler yerine, daha çevre dostu hammaddeler kullanmak gibi), ürün değişimleri (örneğin ürünü daha çevre dostu yapmak için, kompozisyonda veya son halinde modifikasyonlar yapmak gibi) ile gerçekleşmektedir.

Çevresel yönetimin gerçek hedefi, üretilen atık miktarının minimum seviyeye indirilmesi olmalıdır. Atık önleme, yeniden kullanım ve atık yönetimi, sistematik olarak kaynak koruma, enerji verimliliği, kirlilik önleme ve ekonomik sınırlamalardan söz eden bir hiyerarşi olarak görülmelidir. En çok arzu edilen strateji, bir parçanın üretiminde daha az materyal kullanmaktır. Bu, hem gelişmiş tasarım tekniklerinin kullanımını hem de kullanılan polimerlere ilişkin olarak uygun fiziksel verilere erişimi gerektirmektedir [9].

2.2.1. Biriktirme

Biriktirme; katı atıkların oluştukları yerlerde insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde geçici bir süre bekletilmesini ifade etmektedir. Biriktirme amaçlı kullanılan ekipmanlar, yerleşim bölgelerinin ekonomik ve kültürel yapısına bağlı olarak poşet ya da konteynır olabilmekte ve biriktirme şekli de yerleşim bölgesindeki toplama sistemine bağlı olarak değişmektedir. Katı atık bertaraf sisteminin ilk aşaması olan biriktirme işlemi, oluştukları yerde gün içerisinde poşetlerle yapılabileceği gibi, sokaklarda sürekli olarak kullanılan konteynırlarla da yapılabilmektedir.

2.3. Geri Kazanım

Geri kazanım; tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan bir tanım olduğundan öncelikle tekrar kullanım ve geri dönüşüm tanımlarını yapmak yerinde olacaktır.

Tekrar kullanım: Atığın kendi yaşam döngüsü içinde tekrar kullanımının imkansız olacağı zamana kadar, toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan yeniden kullanılması,

Geri dönüşüm: Atıkların bir üretim süreci içerisinde orijinal amacı veya başka bir amaç için yeniden işlenmesi,

Geri kazanım: Atıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle bazı işlemlerden geçirilmek sureti ile geri dönüştürülmesi, yakılarak enerji elde edilmesidir.

Değişen tüketim alışkanlıkları, nüfus artışı, yükselen hayat standardı, ambalajlı ürün satışındaki artış ile birlikte katı atık kompozisyonu da her geçen yıl değişmektedir. Atık kompozisyonundaki değişim daha çok atığın içindeki plastik, metal, cam, kağıt ve karton gibi geri kazanılabilir malzemelerin artması ile sonuçlanmıştır. Satın alınan pek çok ürünün plastik, metal, cam, kağıt ve karton ambalaj malzemesi içinde olduğu dikkate alındığında, katı atıkların kaynağında ayrı toplanılarak bu malzemelerin ekonomiye tekrar kazandırılması katı atık yönetiminin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Doğal kaynakların korunması, kaynak israfının önlenmesi ve bertaraf edilmesi gereken katı atık miktarının azalması geri kazanım ile mümkün olmakta, geri kazanım çalışmalarının ilk adımı da kaynakta ayrı toplama ile başlamaktadır.

1.000 kg kağıdın geri kazanımı ile 17 ağaç, 26 271 litre su ve 4.1 kw enerjinin de geri kazanılması mümkün olmaktadır [10].

2.3.1. Ayrı Toplama Yöntemleri

Katı atık içindeki geri kazanılabilir nitelikteki atıkların toplanmasında iki yöntem kullanılmaktadır [11]. Bunlar; bırakma merkezli toplama yöntemi ve kapıdan kapıya toplama yöntemidir. Bir yerleşim bölgesinde bu yöntemlerden sadece birisi kullanıldığı gibi, ikisi birden de kullanılabilir. Bu seçim o bölgedeki belediyenin hali hazırdaki ambalaj atıkları yönetim planı ve o bölgeden sorumlu lisanslı toplama tesisinin toplama planına göre yapılmaktadır.

Bırakma Merkezli Toplama Yöntemi

Bırakma merkezli toplama yöntemi; ağırlıklı olarak vatandaşların katılımıyla gerçekleşen, toplayıcının çok fazla rolünün olmadığı, vatandaşın ayırdığı değerlendirilebilir atıkları belirli bir mesafe kat ederek kumbara ya da konteynirlara atması şeklinde uygulanan bir yöntemdir.

Kapıdan Kapıya Toplama Yöntemi

Kapıdan kapıya toplama yöntemi; ağırlıklı olarak toplayıcının rol oynadığı, vatandaşın pasif kaldığı, kişilerin değerlendirilebilir atıklarını organik atıklarından ayrı bir poşette biriktirmesi ile bu atıkların belirli gün ve saatlerde toplanması şeklinde uygulanan bir yöntemdir.

Geri kazanılabilir nitelikteki atıkların diğer atıklardan ayrı olarak toplanmasından sonra cinslerine göre ayrılması gerekmektedir.

2.3.2. Ayırma

Geri kazanım amacıyla toplanan bu malzemelerin ayrılması için üç yöntem kullanılmaktadır [10]. Bunlar; kaynakta ayırma, toplama sırasında ayırma ve tesiste ayırmadır.

Kaynakta Ayırma

Kaynakta ayırma; her bir ambalaj malzemesinin daha kaynakta iken tüketiciler tarafından plastik, cam, metal, kağıt vb. Olarak ayrı ayrı biriktirilmesidir. Bu genellikle, katılım ve eğitimin yüksek olduğu bölgelerde uygulanmaktadır.

Toplama Sırasında Ayırma

Toplama sırasında ayırma; evlerde diğer atıklardan ayrı olarak tek bir kap içinde ama karışık olarak biriktirilen ambalaj malzemelerinin toplama sırasında işçiler tarafından malzeme cinsine göre plastik, cam, metal, kağıt vb. şeklinde ayrılması şeklinde uygulanmaktadır.

Merkezde Ayırma

Merkezde ayırma; evlerde diğer atıklardan ayrı olarak tek bir kap içinde ama karışık olarak biriktirilen ambalaj malzemelerinin, bu amaçla kurulmuş ayırma tesislerine getirilmek suretiyle burada mekanik ya da manüel olarak cinslerine göre ayrılması şeklinde uygulanmaktadır.

2.4. Bertaraf

Bertaraf; katı atıkların kompostlaştırılması, enerji geri kazanılması amacıyla yakılması ve/veya düzenli depolanması suretiyle çevre ve insan sağlığı açısından zararsız hale getirilmesi ve ekonomiye kazandırılması amacıyla yapılan işlemlerin tümünü ifade eden bir kavramdır. Ülkemizde evsel atıkların nihai bertarafı amacıyla kullanılan yöntemler; düzenli depolama ve kompostlaştırma yöntemleridir.

2.5. Katı Atık Miktarı

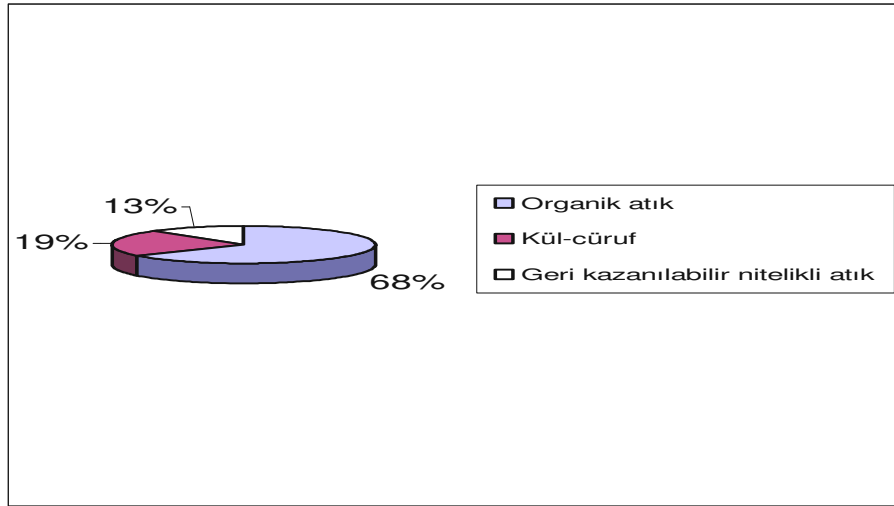
Ülkemizde TÜİK tarafından 2004 yılında yapılan belediye katı atık istatistikleri anketi sonuçlarına göre; yaz mevsimi bir günde kişi başına oluşan ortalama katı atık

miktarı 1.34 kg/kişi.gün, kış mevsimi 1,33 kg/kişi.gün ve ortalama olarak da 1,34 kg/kişi.gün olarak hesaplanmıştır.

2004 yılı belediye katı atık istatistikleri anketi sonuçlarına göre; 1911 belediyenin 1889'unda katı atık hizmeti verildiği tespit edilmiştir. Katı atık hizmeti verilen belediyelerden, 2004 yılı yaz mevsiminde 12,38 milyon ton, kış mevsiminde 11,86 milyon ton ve yıllık toplam 24,24 milyon ton katı atık toplandığı belirlenmiştir [12].

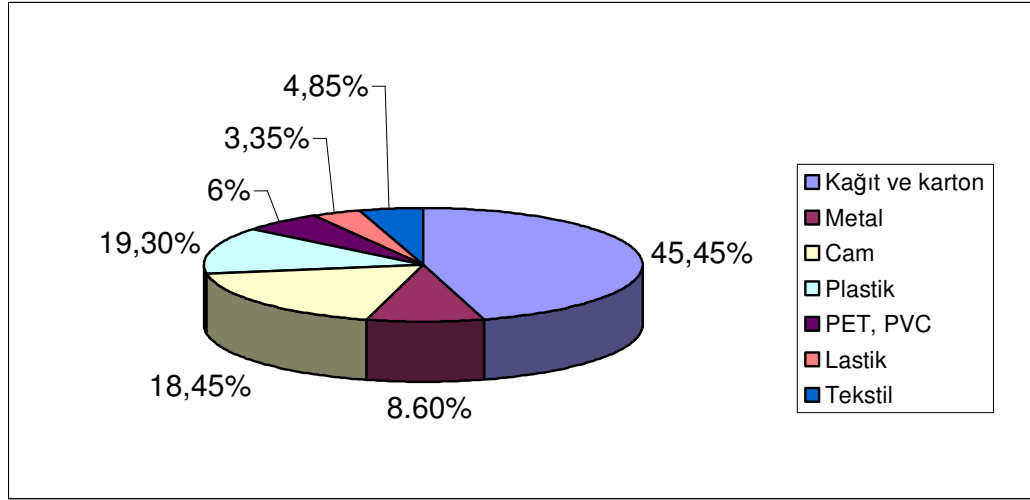
2.6. Katı Atık Kompozisyonu

Oluşan evsel katı atığın miktar ve kompozisyonu, mevsime, iklime, insanların tüketim alışkanlıklarına, sanayileşmeye, ekonomik yapıya, turizme, tarıma, kültüre göre bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Evsel nitelikli katı atık kompozisyonu, Şekil 2.2' de görüldüğü gibi %68 organik, %19 kül-cüruf ve %13 geri kazanılabilir nitelikli atık olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.2. Evsel atık kompozisyonu [6]

Geri kazanılabilir nitelikteki atıkların kompozisyonu ise Şekil 2.3'te verilmektedir. Buna göre, kağıt ve karton %45,45 ile en büyük paya sahip olup, bunu %19,30 ile plastik, %18,45 ile cam, % 8,60 ile metal malzeme cinsi takip etmektedir.



Şekil 2.3. Geri kazanılabilir atık kompozisyonu [13]

Değerlendirilebilir atıkların geri kazanımı, hem ekonomik hem de çevresel önem arz etmektedir. Geri kazanım yolu ile plastik, cam, metal, kağıt, seramik, tekstil, kemik ve ahşap gibi malzemeler depolama alanlarına gömülmek yerine ikincil hammadde olarak değerlendirilebilmektedir [13].

Ayrıca Çizelge 2.1’de verilen atık uzaklaştırma teknolojilerinin maliyetleri incelendiğinde, diğer atık bertaraf yöntemleri arasında en ekonomik olanın geri kazanım olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.1. Atık uzaklaştırma teknolojilerinin maliyetleri [14]

Bertaraf Yöntemi	Maliyet (\$/ton)
Geri kazanım	2,19
Düzenli depolama	8.40 (Depo alanında para ödenmediği takdirde)
Kompostlaştırma	10.49
Yakma	80,97

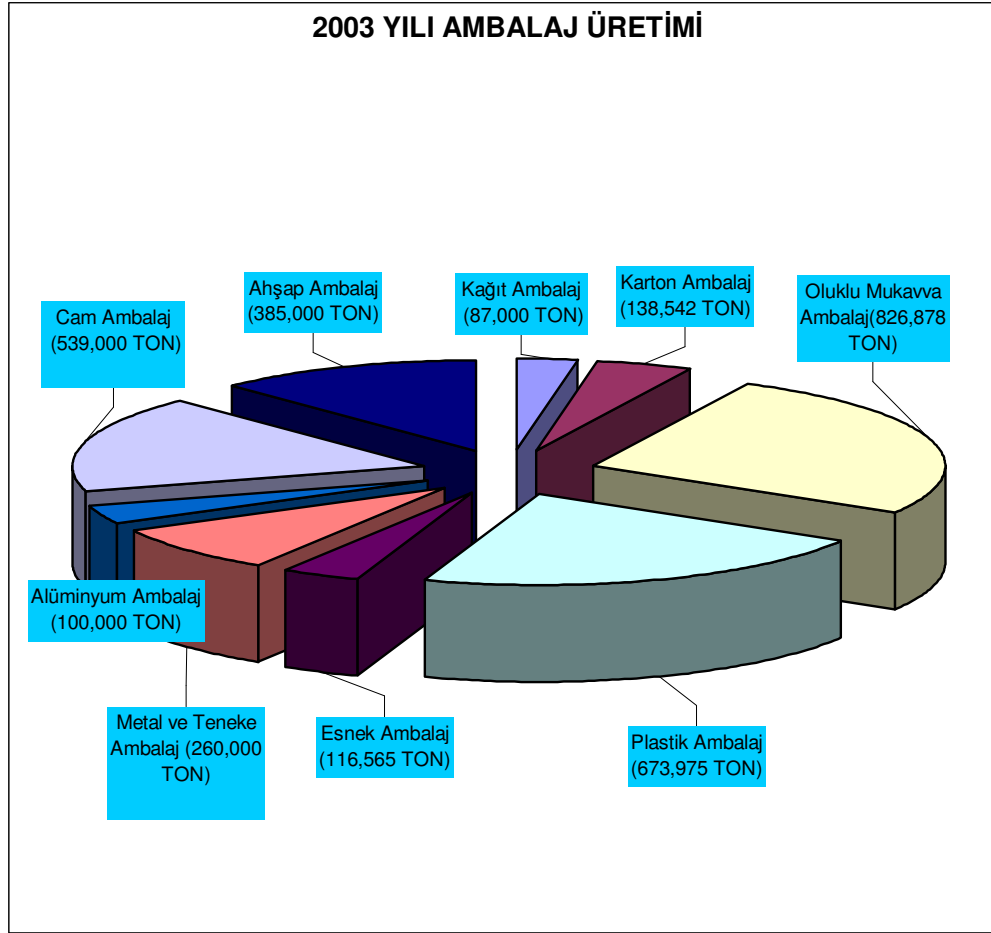
2.7. Ambalaj Atıkları

Ambalaj, tanım olarak her türlü ürünün tüketiciye veya kullanıcıya ulaştırılması aşamasında, taşınması, korunması, saklanması ve satışa sunumu için kullanılan herhangi bir malzemeden yapılmış tüm ürünleri ifade etmektedir [15]. Ambalaj, gerek taşıma ve depolama işlemleri sırasında ürünün doğal etkenlerden korunması gerekse tüketiciyi aydınlatıcı bilgiler içermesi nedeniyle yaşantımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Ambalaj atığı ise ürünlerin tüketicilere ya da nihai kullanıcılara ulaştırılması aşamasında, ürünlerin sunumu için kullanılan ve ürünlerin kullanılmasından sonra oluşan satış, dış ve nakliye ambalajlarını ifade etmektedir [15]. Günümüzde katı atık bertaraf ve yeniden değerlendirme çalışmalarının başında ambalaj atıkları gelmektedir. Çünkü bu atıkların hem enerji içeriği yüksektir hem de hacimlidir.

2.7.1. Ambalaj üretimi

Ambalaj tüketimi ve ambalaj atıklarının bertarafı konusuna geçmeden önce, üretilen ambalaj miktarları hakkında bilgi edinmek daha doğru olacaktır. Ambalajlamanın gerekli olduğu sanayi dalları çok çeşitlilik göstermektedir. Kullanılan ana sanayi dalları başta gıda olmak üzere, tekstil, kimya, elektronik, ilaç, tütün, gübre, cam, çimento, içki v.s. olarak sıralanabilir. Ülkemizde bu sanayi dallarında kullanılan çeşitli ambalaj malzemelerinin 2003 yılında üretilen miktarları Şekil 2.4'te verilmektedir [16].



Şekil 2.4. 2003 yılı malzeme bazında ambalaj üretim rakamları [16]

2.7.2. Ambalaj tüketimi

Son yıllarda dünya piyasalarında, özellikle gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de kişi başına düşen ambalaj tüketim payı hızla artmaktadır. 2000 yılı toplam ambalaj tüketim oranlarına alt gruplar bazında bakıldığında; % 37'sini esnek ambalaj folyolar, kağıt, karton ve oluklu mukavva ambalajların, %22'sini metal ambalajların, % 20'sini plastik ambalajların, % 8' ini cam ambalajların ve % 13'ünü ahşap ambalajların oluşturduğu görülmektedir. Yine 2000 yılı kişi başına yıllık ambalaj tüketim miktarı; ortalama olarak plastik ambalaj için 10 kg/yıl, metal ambalaj için 3 kg/yıl, karton ambalaj için 3,5 kg/yıl, kağıt ambalaj için 1,6 kg/yıl, esnek ambalaj

için 1,4 kg/yıl, cam ambalaj için 4 kg/yıl, ahşap ambalaj için 6,5 kg/yıl olarak gerçekleşmiştir.

Ambalaj sektörünün kullanıldığı sanayi dallarını ise; %49 gıda, %13.7 kimya, %8.8 ilaç, %5.9 tekstil, %4.7 kozmetik, %2.6 tarım, %2.2 otomotiv, %2 beyaz eşya, %1.5 elektrik, %1.3 cam-seramik, %0.4 makine, %7.9 diğerleri oluşturmaktadır [16].

2.8. Plastik Ambalaj Atıkları

Plastik sanayi, petrokimyasal son ürünlerinden termoplastik ürünleri işleyerek; ambalaj, elektrik, otomotiv, inşaat, ev eşyası, tarım, tekstil gibi birçok sektöre girdi sağlayan ve her geçen gün yeni kullanım alanları bulan, dünyada en hızlı büyüyen sektörlerden birisidir. Nitekim dünyada 1990 yılında 86 milyon ton olan plastik tüketimi, 2003 yılında 176 milyon tona yükselmiştir. Dünya plastik tüketiminin 2010 yılında 250 milyon tona çıkması beklenmektedir. Plastik ürünler esnekliği, hafifliği, sağlamlığı, işleme kolaylığı, ekonomik olması gibi birçok üstünlükleri nedeniyle cam, metal gibi alternatif malzemelere göre daha fazla tercih edilmektedir [17].

Plastik endüstrisi yıllardır uzun ömürlü ve çevresel faktörlerden etkilenmeyen plastik malzemeler geliştirmeye çalışmış ve büyük ölçüde de başarılı olmuştur. Bu özellikleri sayesinde de plastik malzemelerin tüketimleri hızla artmıştır. Tüketilen plastiklerin yaklaşık üçte biri, kullanım süresi nispeten kısa olan ve kullanım süresi sonunda atılan (kullan-at) ambalaj malzemeleridir. Bu ambalajlar üretimlerinden kısa bir süre sonra evsel katı atıklar içerisindeki yerlerini almaktadırlar. Dayanıklı tüketim malzemelerinde yer alan plastikler 1-5 yıl, inşaat sektöründe kullanılan plastikler ise 5-25 yıl faydalı kullanım ömürleri ile plastik katı atıklara ambalaj malzemeleri kadar çok fazla katkıda bulunmamaktadırlar. Bu nedenle katı atıklardaki plastikler sorununa; bir ölçüde “katı atıklar içerisindeki plastik ambalaj malzemelerinin oluşturduğu bir sorun” olarak bakmak daha doğrudur [18].

Çizelge 2.2. Plastik ürünlerin ortalama kullanım süreleri [9]

Ürün kategorisi	Yıllar
Ambalaj	< 1
Yapıştırıcılar ve diğerleri	4
Tüketici ve kurumsal	5
Mobilya ve donanımlar	10
Nakliye	11
Elektrik ve elektronikler	15
Sanayi makineleri	15
Yapı ve İnşaat	25

Ülkemizde plastik ambalaj sektörünün toplam kapasitesi yaklaşık 800 000 ton'dur. Sektördeki şirketlerin büyük çoğunluğu küçük ve orta ölçekli işletmelerdir. Çizelge 2.3'te; 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait üretilen plastik ambalaj miktarları verilmektedir.

Çizelge 2.3. 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait üretilen plastik ambalaj miktarları [16]

Ambalaj	2001	2002	2003
	Miktar(Ton)	Miktar(Ton)	Miktar(Ton)
Plastik Ambalaj	601,120	652,444	673,975
Esnek Ambalaj	97,125	101,405	116,565

Bununla birlikte tüketim sonrası ortaya çıkan plastik atıkların önemli bir yüzdesini PET şişe atıkları oluşturmaktadır [19]. Ülkemizde PET şişeler ilk kez 1980'li yılların başında piyasaya girmiştir. Başlangıçta su ambalajlamada kullanılmaya başlanan PET şişeler, çok kısa süre içinde sıvı gıda maddeleri ile kozmetik ve temizlik maddelerinin ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılır olmuştur. Bu durum çok eski bir geçmişe sahip olan cam ambalajın pazar kaygısı ile teknolojisini yenilemesine neden olmuştur. Cam ambalajın ağırlığında azaltma çalışmalarına

gidilmiştir. Bir cam şişenin ağırlığı 300 gram iken aynı boyuttaki bir plastik şişenin ağırlığı 50 gram'dır.

3. PET (POLİETİLEN TEREFTALAT)

3.1. PET'in Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

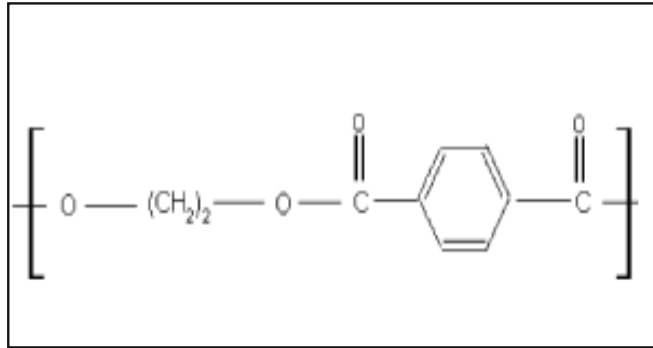
PET aslında yeni bir malzeme olmayıp, yaklaşık 50 yıl önce geliştirilmiştir. PET kullanımı dünyada her geçen gün artmakta ve belirgin şekilde PET malzemeler, piyasasında pazar payı kapmaktadır. PET'in kolay işlenme özelliğine sahip olması, kırılğan olmaması, dayanıklı olması, içindeki sıvıya koku katmaması ve hafif olması pazar payının büyümesinin nedenleri olarak sayılabilir. Ayrıca şeffaflık ve parlaklığı nedeniyle albenisi olan bir malzemedir. Yapısında fonksiyonel gruplar yoktur. Parçalanması zordur. Bu özelliklerinden dolayı PET, son yıllarda PET, sıvı ve katı gıda kapları için çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Poliyeten tereftalat (PET, PETE, PETP) poliyester ailesine ait termoplastik bir malzemedir. Isıl işlenmesine bağlı olarak amorf (şeffaf) ve yarı kristal (opak ve beyaz) şeklinde bulunur. En önemli kullanım avantajı; tamamen geri dönüşebilir olmasıdır. Diğer plastiklerden farklı olarak, polimer zincirleri, sonraki kullanımlar içinde eski halini almış durumdadır.

Orijinal PET, kullanımındaki hızlı gelişime bağlı olarak son 20 yılın en önemli mühendislik polimeri olarak düşünülmüştür. Birçok uygulama için kusursuz bir malzeme olan PET, özellikle şişe yapımında sıkça kullanılmaktadır [21]. PET; cam elyafı, karbon elyafı, asbest, bor elyafı ile desteklendiğinde üstün özelliklere sahip mühendislik materyalleri elde edilebilmektedir. Örnek olarak PET cam elyafı ile desteklendiğinde, bot gövdesi, otomobil kumanda paneli, basınç aletleri ve spor eşyaları yapımında kullanılabilir [22]. Mükemmel bir gerginliğe ve kimyasal dayanıklılığa, berraklığa, işleme kolaylığına, renk uyumuna ve makul bir termal kararlılığa sahiptir. Birçok firma orijinal PET üretmekte olup, bunu dünyaya değişik ticari isimlerle sunmaktadırlar. Yaygın olarak kullanılan PET isimleri aşağıda verilmektedir [21].

<u>Ticari ismi</u>	<u>İmalatçı</u>
Arnite	DSM Engineering Plastics
Diolen	ENKA-Glazstoff
Eastapac	Eastman chemical company
Hostadur	Farbwerke Hoechst AG
Mylar	E.I.Du Pont de Nemours&Co.,Inc.
Melinex	Imperial Chemical Industries Ltd.
Rynite	Du Pont de Nemours&Co., Inc.

PET, genellikle 2'ye eşit olan polidispersite indeksiyle, 0.45 ile 1.2 dl g⁻¹ arasında değişen bir intrinsik viskozite(η) değerine sahiptir. PET molekülünün tekrarlanan birimleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. PET molekülünün tekrarlanan birimleri [21]

PET'in çekme, gerilme ve kopma direnci çok yüksektir. Kolay kolay aşınmaz. Son derece şeffaftır. Su buharı, oksijen, koku ve yağ geçirmezlik özellikleri iyidir. Nitekim, 20°C'de ve %85 bağıl nemli koşullarda 100 µm kalınlıktaki malzemenin su buharı geçirgenliği 2 g/m² gün; oksijen geçirgenliği ise yaklaşık 9.6 cm³/m² gün bar'dır. Kullanım sıcaklık aralığı -50 °C+150 °C'dir. Ancak üretimdeki bazı değişikliklerle bu değerler -60 °C ile 180 °C'ye ulaştırılabilmektedir. Daha ziyade, gerdirilmiş PET filmler, genellikle alçak yoğunluklu polietilen ile birlikte kullanılırlar [23].

PET zincirinin düşük bükülebilirliği, yapısında kısa etilen gurubunun ve p-fenilen gurubunun bulunmasının bir sonucudur. Bu zincir bükülmezliği PET'in temel geçiş sıcaklığı gibi yapısına bağımlı özelliklerini belirgin olarak etkiler. PET'in standart fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

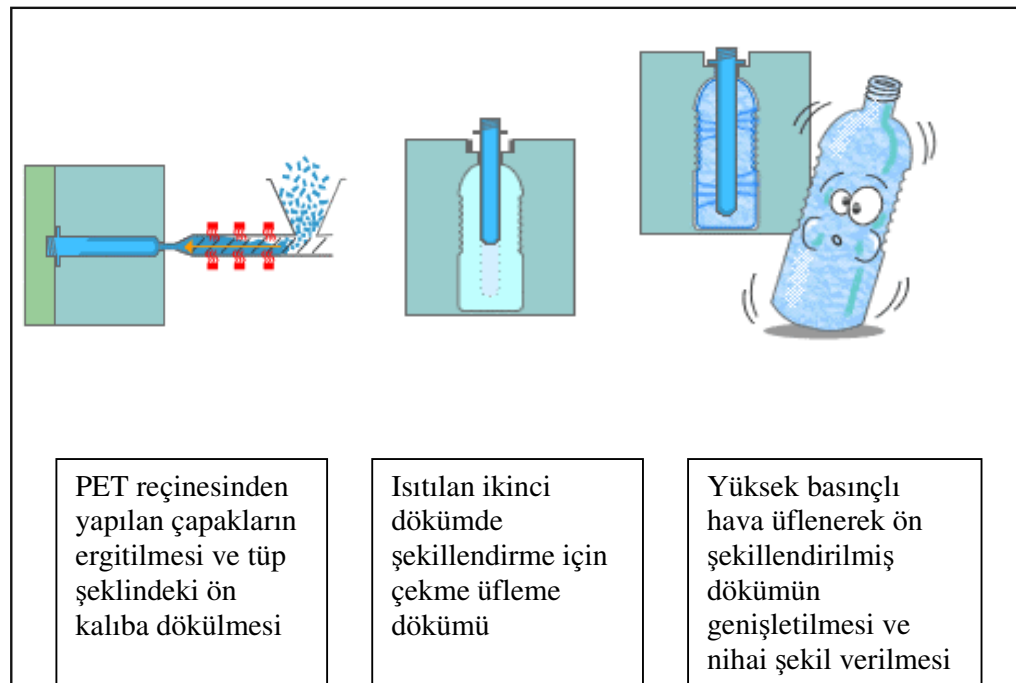
Çizelge 3.1. PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri [21]

Özellik	Test Metodu	Değer
Moleküler Ağırlık	–	192 (g mol ⁻¹)
Mark-Houwink Parametreleri	–	k=3.72×10 ⁻² (ml g ⁻¹) α=0.73
Ortalama Molekül Ağırlık (MW)	–	30,000-80,000 (g mol ⁻¹)
Yoğunluk	–	1.41 (g cm ⁻³)
Camsı Geçiş Sıcaklığı	DSC	69-115 °C
Erime Sıcaklığı	DSC	265 °C
Kırılma kuvveti	Tensile	50(Mpa)
Çekme dayanımı	–	1700 (Mpa)
Deformasyona uğrayabildiği en düşük gerilme değeri	Tensile	4(%)
Darbe dayanımı	ASTM D256-86	90 (J m ⁻¹)
Su absorpsiyonu (24 saat sonraki)	–	0.5 (%)

Polimerlerin plastik ürünlerine dönüşümü üç kademede gerçekleşmektedir:

- Reçine granülleri, tozları yumuşatmak için ısıtılır,
- Yumuşatılmış madde belli kalıplara dökülür,
- Ürün soğutulur ve şekillenmiş plastik ürün elde edilir.

Plastik ürünlerin üretildiği bir kaç metot vardır. Bunlar enjeksiyonla dökme metodu (oyuncaklar, su tesisatı v.b.), ekstrüzyonlu kalıba dökme (plastik levhalar, borular ve tüpler), üfleme kalıba dökme (şişeler ve variller), sıkıştırılmalı dökme ve vakum termo şekil vermedir. Bu çalışmada plastik ambalaj atıkları içerisinde PET şişelerin geri dönüşümü konusu irdelendiğinden Şekil 3.2’de PET şişe yapımı basitçe şematize edilmiştir.



Şekil 3.2. PET şişe yapımı [24]

PET, kolayca işlenir. Ona çok hızla ve kolaylıkla neredeyse sonsuz sayıda şekil verilebilir. Şeffaflığı ve parlaklığı sayesinde satış noktalarının reyonlarındaki raflarda dikkat çeken ve marka bilincini artıran görsel ve estetik çekiciliği olan bir ambalaj malzemesidir. Buna ek olarak PET; darbelere son derece dayanıklı olup, üretim, depolama, nakliye ve müşteriye sunum sırasında hemen hemen hiç zarar görmemektedir. Lojistiğin son derece önemli rol oynadığı günümüzde ambalaj ağırlığı ürünlerin dağıtımı için çok önemlidir. Süpermarketler, uzaktan üretim ve dolum metodu ile çalışır ve ulusal ve bölgesel depolardan mal teslim almaktadırlar.

Bu da, tır nakliyesinin çok kullanılmasına neden olur ve günümüzde karayollarının ne kadar kalabalık ve yakıtın da ne kadar pahalı olduğu düşünülürse; ambalajın mümkün olduğunca hafif olması önem kazanmaktadır. PET ambalaj bu hafifliğinden dolayı, ambalajın dağıtım maliyetini azaltmada çok avantajlıdır. PET, ambalajlarda kullanılan en iyi polimerdir [24].

PET; dünyada ilk olarak 1970 yılında piyasaya meşrubat şişesi olarak tanıtıldığında, tüketiciler ve endüstri tarafından kısa sürede kabul görmüştür. Ekonomik, hafif ve dayanıklı olduğundan günlük hayatta tercih edilen eşsiz bir ürün olmuştur. Ek olarak PET günümüzde tüm tüketici ürünlerinin ambalajlanmasında büyük oranda kullanılmaktadır. Amerika da üretilen plastik şişelerin % 31 i PET ten yapılmaktadır. Literatürde belirtilen, ilk PET şişe geri dönüşüm işlemi St. Jude Polymers olarak bilinen şirket tarafından 1976 yılında, PET şişelerin plastik kayış ve boya fırçalarına dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmiştir [25].

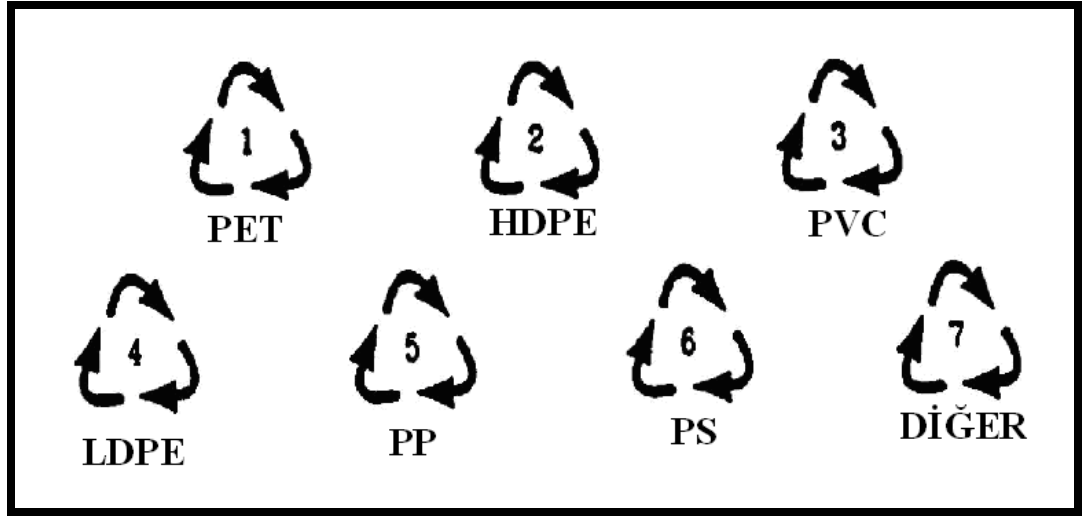
PET tüm bu iyi özelliklerin yanında maliyet olarak diğer plastiklerden farklı değildir. Özellikle polikarbonat (PC), plastiklerin içinde en pahalı olanıdır. PET geri dönüşümü; PE ve PP gibi maddelerin geri dönüşümünden zordur. PET özel bir malzemedir. En çok üretilen ve kullanım alanı en fazla olan organik bir polimerdir.

Plastik ambalajların geri kazanımını kolaylaştırmak ve kolay teşhis edilmelerini sağlamak için birer kod numaraları mevcuttur. PET hammadde kodu olarak 1 ile ifade edilmektedir [20].



Şekil 3.3. PET geri kazanılabilir ambalaj sembolü ve kodu

Diğer kullanılan plastik kod numaraları aşağıda gösterilmektedir. Bu kod numaralarının ambalaj üreticisi tarafından ambalajın üzerine basılması gerekmektedir.



Şekil 3.4. Plastik çeşitlerinin geri kazanılabilir ambalaj sembolleri ve kod numaraları

1. Polietilentereftalat
2. Yüksek yoğunluklu polietilen
3. Polivinilklorür
4. Alçak yoğunluklu polietilen
5. Polipropilen
6. Polistiren
7. Diğer

3.2. PET Ambalajın Kullanım Alanları

Su, alkollü-alkolsüz meşrubat, yağ, şampuan, deterjan, sıvı sabun, süt ve süt ürünlerinin ambalajlanmasında yüksek oranda PET malzeme kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra Türkiye hariç diğer ülkelerde ilaç ve kozmetik ambalajları PE ya da PET'tir. Sıcak dolum teknolojilerine uygun olması nedeniyle meyve suyu ambalajlarında da PET kullanılmaktadır.



Resim 3.1. PET ambalaj çeşitlerinden bazıları [39]

3.3. Atık PET Ambalajın Toplama Sistemi

PET dahil diğer plastiklerin, katı atıklardan plastik malzeme olarak geri kazanılmasının belli başlı temel aşamaları şunlardır;

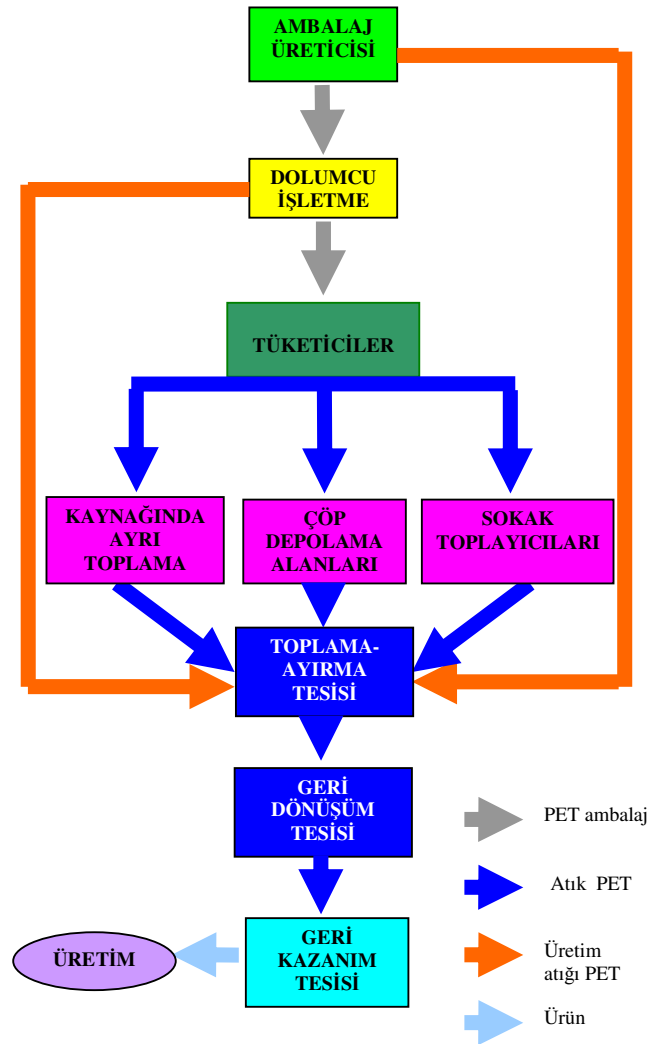
- Plastiklerin katı atıklardan ayrı toplanması
- Gerekliyse toplanan atıkların sıkıştırılıp yoğunlaştırılması
- Yoğunlaştırılan atık plastiklerin sınıflandırılarak işlenmesi

Plastiklerin hacim/ağırlık oranının yüksek oluşu, bu atıkların etkin ve ekonomik bir biçimde toplanarak değerlendirilmesinde ciddi sorunlar yaratmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için kamyon üstüne yerleştirilmiş plastik sıkıştırma makineleriyle veya belirli noktalara konulmuş sabit makinelerle plastiklerin sıkıştırılarak toplanması sistemi batı ülkelerinde giderek yaygınlaşmaktadır. Bu amaçla kullanılan makineler iki sınıfta toplanabilir.

“Compactors” olarak adlandırılan birinci sınıfa giren makineler daha çok gezici ünitelerde bulunmakta olup, 10/1 gibi ortalama sıkıştırma kapasitesine sahiptir. Bu makineler çeşitli şişelerden filmlere kadar çok çeşitli şekil ve yapıdaki plastik eşyayı sıkıştırabilir. “Flatteners-perforators” olarak adlandırılan ikinci tip makineler, balyalama sistemleriyle birlikte komple birer ünite görünümündedir. Sağladıkları %90'lara varan hacim azalması yanında, sıkıştırılmış plastik atıklardan otomatik

olarak küçük balyaların hazırlanmasında da kullanılmaktadır. Sıkıştırma yöntemi ne olursa olsun, sıkıştırma yolu ile atık plastiklerin bulundukları yerden işlenecekleri yere taşınmaları maliyetinden %60'lara varan tasarruf sağlamakta, bir defada taşınabilen miktar %90 artırılabilmekte ve böylece geri kazanılmış plastiklerden %40-50 daha fazla gelir elde edilmektedir.

PET ambalaj atıklarının üretiminden tüketimine ve tüketiminden geri kazanımına kadar olan aşamalar aşağıda şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. PET ambalaj atıklarının üretiminden tüketimine ve tüketiminden geri kazanımına kadar olan aşamalar

Ülkemizde mevcut toplama sistemi içerisinde PET ambalaj atıkları dahil olmak üzere diğer ambalaj atıkları üç kaynaktan toplanmaktadır.

En sık rastladığımız yöntem çöp müteahhitleri aracılığı ile belediyelerin düzensiz çöp döküm sahalarında yapılan ayıklama çalışmalarıdır. Toplanan ambalaj atığının %75'i bu yolla temin edilmektedir.



Resim 3.2. Evsel atıklarla birlikte atılmış ambalaj atıklarından bir görüntü [40]



Resim 3.3. Düzensiz depolama alanında ambalaj atıklarını ayırmaya çalışanlardan bir görüntü [40]

Belediyeler düzensiz depolama alanlarını ihale yolu ile yıllık belirli bir ücret alarak çöp müteahhitlerine vermektedirler. Atıklarını düzensiz olarak depolayan belediyelerin depolama alanlarında; bu müteahhitlerin çalıştırdığı insanlar, belediyenin araçları tarafından dökülen karışık (evsel, tıbbi, tehlikeli ve hafriyat) atıklardan geri kazanılabilir olan atıkları Resim 3.4’de görüldüğü üzere sağlıksız ve ilkel şartlarda ayırmaktadırlar. Maalesef bu insanlar her an bulaşıcı ve ölümcül hastalık kapma riski ile karşı karşıyadırlar.

İkinci yöntem ise mahalle ve sokak aralarındaki çöp varili ve konteynırlar ile yol kenarları v.b yerlerden yapılan ayıklamalardır. Sokak toplayıcısı olarak da tabir edilen bu kişiler; evlerin yada işyerlerinin önünde bulunan çöp torbalarını ve konteynırlarını karıştırmak suretiyle ambalaj atıklarını toplamaktadırlar. Cinslerine göre bu yöntemle toplanıp tasnif edilen ambalaj atıkları; ara toplayıcı adı verilen hurda depolarına bu kişilerce satılmaktadır. Çoğunluğunu çocukların oluşturduğu bu insanlar; geçimlerini de söz konusu atıkların satılmasından elde ettikleri gelirle sağlamaktadırlar. Sağlıksız şartlarda geçim mücadelesi veren ve sayıları azımsanmayacak kadar fazla (yaklaşık 1 000 000) olan bu insanlarda bulaşıcı hastalıklara, solunum yolu rahatsızlıklarına ve sık sık yaralanmalara rastlanmaktadır.



Resim 3.4. Sokak toplayıcıları [39]

Üçüncü yöntem ise belediyelerin uyguladıkları kaynağında ayrı toplama projeleri ile yapılan toplamalardır.

Sağlıklı bir geri kazanım sistemi için atıkların kaynağında ayrı toplanması esastır. Bu sistemin hayata geçirilebilmesi için öncelikle kamuoyunun bilinçlendirilmesi ve eğitim programlarının hazırlanması şarttır. Kaynakta ayrı toplama çalışmalarında halkın aktif katılımı çok önemlidir.



Resim 3.5. Tanıtım-bilgilendirme ekibi [39]



Resim 3.6. Bilgilendirme çalışmaları [39]

Aşağıda kaynağında ayrı toplama sisteminde kullanılan ekipmanlardan örnekler gösterilmektedir.



Resim 3.7. Ambalaj atıkları kumbaraları (ortada bulunan yeşil ve beyaz cam ambalaj kumbarası) [39]



Resim 3.8. Karışık ambalaj atığı kumbarasına bir örnek [39]



Resim 3.9. Poşetle toplama sistemi [39]



Resim 3.10. Okul ya da ofislere yerleştirilen atık toplama kutularından örnek [39]



Resim 3.11. Ambalaj atığı kafesi [39]

Geri Kazanımın Faydaları

KULLANILMIŞ AMBALAJ + HAMMADDE + ENERJİ

- Hammaddede kullanımı azaltarak doğal kaynaklarımızı koruruz.
- Önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanır.
- Ekonomiye katkı sağlanır.
- Geleceğe yatırım yaparız.
- Yeni iş alanları açarak istihdam yaratırız.

AMBALAJ ÇÖP DEĞİLDİR!

- Bir ton atık kağıdın kağıt hamuruna katılması ile 20 ağacın kesilmesini engelleriz.
- Dönüştürülen her bir ton cam için 100 litre petrol tasarruf ederiz.
- Geri dönüştürülen metal ve plastikte bu maddelerin yeniden üretiminde %95 enerji tasarrufu sağlanır.

Projemize destek verin.
Havamızı, suyumuzu,
topraklarımızı birlikte koruyalım.
Gelecek nesillere sağlıklı
bir çevre bırakalım.

**Kağıt-karton, plastik, cam, metal
ambalaj atıklarını mavi geri
kazanım torbalarına atınız,
geri kazandırınız.**

ÇANKAYA GERİ KAZANIM PROJESİ

İletişim telefonları
Çankaya Belediyesi Çevre Müdürlüğü
Ziya Gökalp Caddesi No:47 B Blok Kat:1 / ANKARA
Tel: (0312) 458 89 99 Faks: (0312) 458 89 03

Alo Geri Dönüşüm
444 06 01
Lütfen bu broşürü de geri kazandırınız.

ÇANKAYA GERİ KAZANIM PROJESİ

**Kağıt - Karton, Plastik, Cam, Metal
Ambalaj Atıklarını Atmayın
GERİ KAZANDIRIN**

Resim 3.12. Kaynağında ayrı toplama el ilanlarına bir örnek [39]



Resim 3.13. Ambalaj atığı toplama aracı [39]

Yukarıda anlatılan toplama yöntemleriyle biriktirilen ambalaj atıkları; bu atıkların cinslerine göre ayrılıp tasnifleneceği toplama–ayırma tesislerine gönderilmektedir. Aşağıdaki Resim 3.15’de kaynağında ayrı toplama çalışmalarından gelen değerlendirilebilir atıklar ayırma bandında işçiler tarafından ayrılmakta ve geri dönüşüm tesislerine sevk edilmektedir.



Resim 3.14. Ayırma bandında ayıklama yapan insanlar [39]

Değerlendirilebilir atıkları kaynaktan ayrı toplamanın avantajlarını özetlemek gerekir ise;

- Ayırma işinde çalışanlar için daha uygun çalışma koşulları,
- Ayırma işinin kolaylaşması,
- Geri kazanılabilir atıkların kirlenmeden toplanmasının sağlanması, böylece ekonomik değerinin artırılmasıdır [26].

3.4. Yasal Durum

Anayasanın 56 ncı maddesi gerekçe gösterilerek, 11.08.1983 tarih ve 18132 Sayılı Resmi gazetede 2872 Sayılı Çevre Kanunu yayımlanmıştır. Bu Kanunun amacı, bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamaktır [27]. Bu kanunun yürütülmesinden Çevre Bakanlığı (şimdiki adı ile Çevre ve Orman Bakanlığı) sorumludur. Atık konusunda benimsenecek temel prensipler Kanunun 8, 11 ve 28 nci maddelerinde yer almaktadır. 8 nci maddede; her türlü atık ve artığı, çevreye zarar verecek şekilde, ilgili yönetmeliklerde belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak, taşımak, uzaklaştırmak ve benzeri faaliyetlerde bulunmanın yasak olduğu, 11 nci maddede; atıkların üretiminin veya zararlarının önlenmesi veya azaltılması ile atıkların geri

kazanılması ve geri kazanılan atıkların kaynağında ayrı toplanmasının esas olduğu, 28 inci maddede ise çevreyi kirletenler ve çevreye zarar verenlerin sebep oldukları kirlenme ve bozulmadan doğan zararlardan dolayı kusur şartı aranmaksızın sorumlu tutuldukları belirtilmektedir.

Çevre Kanunu'nda yer alan bu maddelere dayanılarak Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından atık konusunda birçok yönetmelik çıkartılmış olup, bu yönetmeliklerin sayısı Avrupa Birliği (AB) Müktesebatına uyum çalışmaları çerçevesinde daha da artırılmıştır. Bugün atık konusunda yürürlükte olan yönetmelikler şunlardır;

- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
- Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği,
- Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
- Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği,
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği,
- Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,
- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği.

Bu çalışmada 94/62/EC Sayılı Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi doğrultusunda; 24.06.2007 tarih ve 26562 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanan ve yürürlüğe giren Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (AAKY) incelenecektir. Ambalaj atıklarının yönetimi çalışmaları AAKY hükümleri doğrultusunda yürütülmektedir.

Öncelikle ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıklarının tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yolu ile bertaraf edilecek miktarının azaltılmasını amaçlayan AAKY'nde, ekonomik işletmelere(ambalajı üretenlere ve ambalajı piyasaya sürenlere), belediyelere, satış noktalarına (200 m²'den büyük kapalı alana sahip toptan ve/veya perakende olarak ambalajlı ürünlerin satışını yapan mağaza, market, süpermarket v.b.) ve tüketicilere ayrı ayrı sorumluluklar verilmiştir.

Buna göre; ambalaj üreticileri ambalajın tasarımından başlayarak, kullanım ve kullanım sonrasında en az atık üretecek ve çevreye en az zarar verecek şekilde ambalaj üretmekle yükümlü tutulmuşlardır. Atık oluştuktan sonra o atığın toplanması, taşınması ve ayrıştırılması için ciddi harcamalar yapılacağı şüphesizdir. Bu nedenle daha üretim aşamasında yani atık oluşmadan önce alınacak önlemler çıkacak katı atık miktarını azaltacaktır. Daha hafif ambalajların üretilmesi buna örnek gösterilebilir.

Amerika’da, süt ve meyve suyu paketlenmesinde kullanılan plastik ambalaj malzemelerinin ağırlığı 20 yılda %30 azaltılmıştır. 1977 yılından sonra plastik şişelerin ağırlığı (2 litrelik) 68 gramdan 51 grama düşürülerek, %25 ağırlık azalması sağlanmıştır [28].

Ambalajını dolum yaparak ürünlerini piyasaya sürenler ise; piyasaya sürdükleri ürünlerin ambalaj atıklarını aşağıda Çizelge 3.2. de verilen ve her yıl giderek artan hedefler doğrultusunda geri kazanmakla yükümlü tutulmuşlardır.

Çizelge 3.2. Geri kazanım hedefleri [15]

Yıllar	Plastik
2005	32
2006	35
2007	35
2008	35
2009	36
2010	37
2011	38
2012	40
2013	42
2014	44
2015	48
2016	52
2017	54
2018	56
2019	58
2020	60

Ambalajın diğer çeşitleri için de (cam, metal ve kağıt-karton) oranlar mevcut olup, bu çalışmada sadece plastik oranlar örnek alınmıştır.

Ambalaj atıklarının yönetiminde; belediyeler; ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplattırılmasını sağlamakla, satış noktaları toplama noktaları oluşturmakla ve tüketiciler ambalaj atıklarını diğer atıklardan ayrı olarak biriktirmekle yükümlü tutulmuşlardır.

94/62/EC Sayılı Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi, tüm ambalajların tercihen çok yönlü olmalarını(bir kaç kez kullanılabilir), aksi takdirde geri kazanılmalarını, bunun mümkün olmaması durumunda ise atıkların enerji olarak değerlendirilmelerini öngörmektedir. Bu doğrultuda en iyi verimi elde etmek için, kaynakta ayrı toplama sistemleri oluşturulmakta, her ülke ekonomik durumu ve altyapısına uygun şekilde toplama ve değerlendirme hedeflerini belirlemektedir [13]. Yukarıda belirlenen hedefler de bu doğrultuda hazırlanmıştır.

Tüm bu bilgilerden de anlaşılacağı üzere; ülkemizde PET dahil tüm ambalaj atıkları yönetimi konusunda sıkı çalışmalar başlatılmış olup, AB mevzuatına uyum çalışmaları çerçevesinde ilgili mevzuat revize edilmiş ve bir geçiş sürecine girilmiştir.

3.5. Yurtdışında Kaynakta Ayrı Toplama Sistemi

Avrupa’da atık PET şişe ve benzeri PET plastik materyali toplamak için 4 temel yol vardır.

-Bunlardan birincisi geri dönüşüm kutularıdır.

-İkincisi ise kaldırım kenarlarından yapılan toplamalardır. Bu yöntem genelde belediyeler için yüksek geri dönüşüm oranları olan bir yöntemdir. Bu yolla toplanan malzemelerin % 70-90 oranının uygun geri dönüştürülebilir malzeme olduğu belirtilmektedir. Bu toplama işlemi ile atıklar normal çöpten ayrılmaktadır. Burada genelde belediye veya belediye ile bağımlı personel çalışmaktadır.

-Üçüncü toplama şekli ise merkezi toplama yöntemidir. Bu yöntemle geri dönüşümlü atıklar için yapılan konteynırlar, örneğin park yeri, okullar ve diğer belediye binaları gibi yerlere yerleştirilir. Bu konteynırlar üzerinde hangi ambalajların atılması gerektiğine dair yazılar vardır. Kişiler geri dönüşümlü atıklarını, bunların ayrı ayrı toplandığı konteynırların olduğu merkezi toplama bölgelerine getirmekle yükümlüdürler. Merkezi toplama metodu, kaldırım kenarı toplama programına göre daha az miktarda yatırım gerektirir.

-Son toplama yöntemi ise satış noktası merkezlerinin kullanımını gerektirir. Buy – back sisteminde merkezler geri dönüşümlü ambalaj getirenlere ücret ödemektedir. Birçok buy-back merkezi, tüketicilerden geri dönüşümlü maddeleri ayrı ayrı getirmelerini gerektirecek satın alma şartlarına sahiptir ve hatta diğer gereksinimler de mevcuttur (Şişe kapaklarının da şişeden ayrılması gibi). Bu satın alma şartları bir yandan şartlarla uyumlu tüketici sağlarken bir yandan da kontaminasyon seviyesini ciddi şekilde düşürebilir ve buy-back merkezlerinin satın aldığı geri dönüşümlü maddelerin bir an evvel işlenmesine olanak verebilir.

Avrupa'nın hemen her ülkesinde ambalaj atıklarının ayrı toplanması ve değerlendirilmesi için sorumlu olan endüstriyel birlikler kurulmuştur. Bu birlikler genellikle ülkelerinin Çevre Bakanlıkları veya benzeri bir kurumu ile çalışmaktadır. Birlik üyelerine (ambalaj üreticisi, dolumcu v.b.) ilk önce Alman Duales System Deutschland (DSD) tarafından kullanılan yeşil nokta işaretini kullanma hakkı verilmiştir. Yeşil nokta, bu işareti taşıyan bir ambalajın geri dönüşüm sorumluluğunun, ürünün satıldığı ülkede bulunan endüstriyel örgüte devredildiğinin göstergesidir. Ülkemizde de ambalaj atıklarının toplanıp, değerlendirilmesinden sorumlu olan örgüt; Çevre ve Orman Bakanlığından yetki almış ve kar amacı gütmeyen ÇEVKO (Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı)'dur. Yetkilendirilmiş kuruluş olan ÇEVKO'ya üye olan ekonomik işletmeler yeşil nokta işaretini kullanma hakkına sahiptirler.

Bazı AB ülkelerinde uygulanmakta olan katı atık yönetim sistemleri aşağıda kısaca tanıtılmaktadır:

3.5.1. Fransa

Fransa’da 1992 yılı itibari ile depolamaya giden katı atık miktarlarını azaltmak ve atıkları değerlendirmek için yeni bir politika başlatılmıştır. 1992 yılının Temmuz ayında geçerlilik kazanan atık kanunu, 10 yıl içerisinde “başka hiçbir şekilde değerlendirilemeyen atıklar hariç” değerlendirilebilir atıkların düzenli depolamaya gönderilmesine son vermeyi amaçlamıştır.

Evsel kaynaklı ambalaj atıklarının %75’inin değerlendirilmesi hedefi konulmuştur. Bu hedefi gerçekleştirmek için atıkların kaynakta ayrı toplatılması ve ayırma işlemleri için gerekli olan alt yapının oluşturulması amacı ile Eco-Emballages adlı bir şirket kurulmuştur. Eco-Emballages şirketi belediyelerle birlikte ayrı toplama, ayırma ve geri kazanım çalışmalarını yürütmektedir. Eco-Emballages kendisine üye olan ambalaj üreticisi ve dolumcu firmaların üyelik bedellerini kullanarak, belediyelere yürütmekle sorumlu oldukları işleri yapabilmeleri için proje bazında gereken maddi desteği sağlamaktadır. Bu desteğin tutarı, ayrı toplama-ayırma-değerlendirme zincirinin belediyelere getirdiği ek maliyet üzerine hesaplanmaktadır. Bu ek maliyet hesabı; belediyelerin tüm atıkları yakmaları durumunda yapacakları ödemeler ile kullanılacak diğer teknolojiler için yapılacak ödemeler arasındaki farkı baz almaktadır. Toplama ve bertaraf için gerekli teknoloji ve sistem seçimi belediyelere aittir. Değerlendirme olarak geri kazanım, kompostlaştırma ve enerji üretimiyle yakma kabul edilmektedir [13].

3.5.2. Almanya

Almanya 1991 tarihli Ambalaj Yönetmeliği ile bu konuda Avrupa’da ki ilk adımı atmıştır. Otoriteler, katı atıkların malzeme olarak yeniden değerlendirilmesini atıkları yakarak enerji elde etmeye net bir şekilde tercih etmişlerdir. Bu ülkede ortaya konulan toplama ve geri kazanım hedefleri oldukça yüksektir. İçecek ambalajları için, geri dönüşüm yükümlülüğünün yanı sıra yüksek oranda da bir tekrar kullanım zorunluluğu mevcuttur. Ambalaj atıklarını geri kazanmak için DSD adlı bir şirket kurulmuştur. DSD’nin oluşturduğu toplama ve değerlendirme yapısı, belediyelerin

altyapısından bağımsız bir şekilde kurulmuştur. Bu kuruluş, ambalaj üreticisi ve dolumcu firmalardan üyelik ücreti alarak, çok hızlı bir şekilde gerekli alt yapıyı oluşturmuş ve yüksek toplama oranlarına ulaşmıştır. Ancak gerekli geri kazanım tesisleri aynı hızla inşa edilemediğinden 1992-1993 yıllarında sistem ciddi bir krize girmiştir. Bir tarafta toplanan atıklar değerlendirilememekte (özellikle plastikler) ve toplanan fazla atıklar ihraç edilmekte, diğer tarafta ise gelirler yetersiz kaldığı için DSD iflasın eşiğine gelmiş bulunmaktadır. Krizin altından kalkabilmek için DSD üyelik ücretlerini artırmış, toplatılan malzemenin tip ve cinsine göre bedel getirmiş, sisteme girmeyen endüstrilere karşı daha sert stratejiler belirlemiş ve üyelik sözleşmelerini yeniden gözden geçirmiştir. 1995'ten bu yana DSD; topladığı ve değerlendirdiği ambalajların miktarı ve kompozisyonu ile bu çalışmaların maliyetini kontrol altına alabilmiştir. Ancak sistemin maliyeti hala çok yüksektir [13].

3.5.3. Belçika

Belçika evsel atıkları kontrol altına alabilmek amacı ile Temmuz 1993'te bir çevre vergisi yasası çıkarmıştır. Depozitosuz ambalaj üretici veya ithalatçıları bir çevre vergisi vermekle yükümlü kılınmıştır. Tiplerine göre değişik oranlarda olmakla birlikte, içecek kaplarını en az yedi kere geri dönüştürülebilen sistemi uygulayanlar (depozito) bu vergiden muaf tutulmuşlardır.

Belçika ambalaj endüstrisi (üreticiler, dolumcular, dağıtıcılar); Fost Plus Vakfını kurarak çevre vergisinin hükümlerini yerine getirmeye başlamıştır. Vakıf, özellikle ambalaj atıklarının ayrı toplanması, ayırma ve değerlendirme faaliyetlerini üstlenmiştir [13].

3.5.4. İtalya

İtalya mevzuatı, ambalaj malzemesi üreten firmaların birer atık değerlendirme konsorsiyumu kurma zorunluluğunu getirmiştir. Ambalaj malzemesi üreticileri, konsorsiyumların iyi çalışmalarından ve bu kanun içinde belirlenen geri dönüşüm oranlarının sağlanmasından sorumludur. Almanya veya Fransa'da ki geri dönüşüm

organizasyon ve finansmanın yükümlülüğü, başlıca dolumcu ve ambalaj üreticilerine ait iken, İtalya’da bu yükümlülük hammadde üreticilerine verilmiştir. İtalyan mevzuatı ayrıca plastiklerin tekrar tekrar kullanılması ve değerlendirilmesi için başta naylon poşetlere olmak üzere bazı ambalaj türlerine değişik vergilerin konulmasını da öngörmüştür [13].

3.5.5. Danimarka

Danimarka’daki katı atık yönetiminde evsel ve endüstriyel atık ayrımı yapılmamaktadır. Belediyeler kurmak zorunda oldukları organizasyonlar ile, hem evsel hem de endüstriyel katı atıkların toplatılması ve bertarafından sorumludurlar. Danimarka’da yakma ve özellikle depolama üzerine ağır vergiler konulmuştur. İçecek kapları tamamen depozito-geri alım zorunluluğu altında oldukları için bunlar geri dönüşüm kapsamının dışında kalıp atık zincirine hiç girmemektedir [13].

Ülkemiz PET’in geri dönüşüm ve geri toplama oranlarında bazı AB ülkelerinden, özellikle Yunanistan ve İngiltere’den daha ileri durumdadır. PET ambalajda dünya lideri İSVİÇRE’dir. Bu ülkede kanunlar çok sıkıdır, yaptırım fazladır ve ayrıca kaynağında ayrı toplama sistemi yerleşmiştir.

Aşağıda 2000 yılından 2004 yılına kadar Avrupa’da toplanan PET şişe ambalaj atık miktarları ve önceki yıla göre değişim oranları verilmektedir.

Çizelge 3.3. Avrupa’da son 5 yılda toplanan PET şişe miktarları [29]

Yıl	Miktar(ton)	Önceki yıla göre değişim(%)
2000	270.000	27
2001	345.000	40
2002	449.000	30
2003	612.000	36
2004	665.000	8.5

3.6. Toplanmış Atık PET Ambalajın Geri Dönüşüm Aşamaları

Ülkemizde özellikle 1970’li yıllarda görülen petrol krizleri sonucunda hammadde sağlamada karşılaşılan güçlükler; üreticileri, hurda plastikleri daha çok değerlendirmeye yöneltmiştir. Bugün ülkemizin pek çok yerinde gerek modern teknolojiyi kullanan ve gerekse eski sistemle çalışıp hurda plastikleri yeniden değerlendiren bir “sanayi” grubu ve bu gruba hurda toplayan ekipler bulunmaktadır. Rekabet ortamı, çok sayıda plastik imalatçısını hurda plastiklerden ikincil hammadde olarak granül elde etmeye ve bu şekilde maliyetleri düşürmeye yöneltmiştir. Bu nedenle her kademede hurda plastiklerin toplanarak değerlendirilmesi giderek yaygınlaşmaktadır [18].

Atık PET’in kirliliğinin giderilmesi için yapılan işlemler, PET’in fiziksel geri dönüşümü işleminde aslında hayati basamaklar olarak tanımlanmaktadır. Kontaminant kaldırılması atığın ayrılıp, kırılıp ve yıkandığı birkaç işlemden oluşur [21].

Hurda piyasasında PET ambalaj atıklarının fiyatı diğer plastik ambalaj atıklarından yüksek olduğu için diğer plastiklerden ayrı olarak toplanmakta ve satılmaktadır. İlk olarak PET ambalaj atıkları presli ya da big bag çuvallarda geri dönüşüm sektörüne sevk edilmekte ve aşağıdaki aşamalardan geçirilmektedir:



Resim 3.15. Balyalanmış PET şişe ambalaj atıkları [40]

3.6.1. Ayıklama

Presli olarak sevk edilen ambalaj atıklarının balyaları açılmakta, konveyör bant üzerinden geçirilmekte ve öncelikle içerisindeki yabancı maddeler ayrıldıktan sonra gerekirse renklerine göre de manüel olarak ayıklanmaktadır. PET atıkların ayrılması önemli ve kritik bir basamaktır. Diğer maddelerle kontaminasyonun artması; işlem sırasında atık PET'in ileri derecede bozulmasına neden olmaktadır [21].

Toplanan plastik atıkların ayrılmasında temel amaç; geri kazanılan plastiğin mümkün olabilen en ileri düzeydeki saflıkta ve değişmeyen spesifikasyonda eldesidir. Örneğin plastik şişelerin renklerine göre homojen şekilde sınıflandırılması gibi.



Resim 3.16. Balya açma makinesi [41]



Resim 3.17. Balyası açılan PET ambalaj atıklarının konveyör bant ile sevki [41]

Ayıklanan malzemeler;

1)PET olmayanlar (PVC, PP ve PE şişeler)

2)Termoform edilmiş levhalar (Bunlarda PET'i PS ve PVC levhalardan ayırmak zor olduğu için genel olarak prosesten ayrılır.

3)Renkli PET şişeler

-Yeşil PET şişeler

-Kahverengi ve lacivert çok katlı bira şişeleri (Bunların ara katında polyamid kullanılır.)

-Diğer renkteki PET şişeler

Açık mavi su şişeleri genelde renk olarak diğer şeffaf şişelerden ayrılmazlar. Bu şişeler şeffaf malzemenin rengini bozmadıkları gibi bu malzemelere ekstra bir parlaklık kazandırır.

PVC şişelerin otomatik ayrılması

PVC ambalaj atıkları; PET ambalaj atıklarından manuel olarak ayrılabilir ancak PVC'nin %90'ından fazlası manuel olarak ayrılamaz. %100 ayırma söz konusu değildir. PVC'nin PVC-PET karışımı ambalaj atıklarından etkin olarak ayrılması, PVC ve PET arasındaki farklılıklara dayanan yöntemler kullanılarak sağlanabilir. Gottesman; PVC'yi ayırt etmek için klor atomlarını tespit etmeye dayanan otomatik bir ayırma sisteminden bahsetmiştir. Famechon; çok basamaklı parçalama işlemi olan mikronil prosesi kullanılarak PVC'nin % 97.5'inin ayrılabilmesini belirtmiştir. Yöntemler birbirleriyle maliyet bazında yarışmaktadır. PVC'nin elle ayrılmasının giderek daha pahalı hale gelmesi gerçeği, bu ayırma tekniklerinin endüstriyel kullanımının daha uygun olduğunu belirtmektedir [21].

PVC'nin yoğunluğu(1.32-1.42 g/mL), PET'in yoğunluğuna(1.33-1.41 g/mL) yakın olduğundan ve PET malzeme gibi suda battığından yıkama esnasında PET'ten ayrılmamaktadır. PVC'nin erime sıcaklığı (212 °C), PET'in erime sıcaklığından (265 °C) çok daha düşük olduğu için PET'in geri kazanılmasında; PVC PET'ten önce eriyerek ve yanarak PET'in rengini kahverengiye dönüştürür, malın kalitesine ve

değerine zarar verir. Aynı zamanda PVC şişeler PET şişeler gibi şeffaf oldukları için manuel olarak ayrılmaları çok kolay değildir.

Bu bağlamda PVC'yi ayırmak için farklı teknolojiler geliştirilmiştir. Karışık plastikleri otomatik ayırma sisteminin en çok kullanılan yöntemleri aşağıda sıralanmaktadır:

- Optik ayırma sistemi
- X-Ray gönderme yöntemi
- X-Ray floresan yöntemi
- İnfrared spektroskopi
- Yakın infrared spektroskopi
- Hidrosiklonlar

Ülkemizde PVC ayırımı aşağıdaki yöntemler kullanılarak yapılmaktadır:

- Çoğunlukla elle ayırım
- X-Ray ışınları kullanılarak PVC ayırımı
- Yakın infrared ışınları kullanılarak PVC ayırımı

Işın kaynağından alıcı noktaya doğru yayılan ışınların kırılma açıları PET ve PVC'ye göre değişmektedir. Kırılma açısına göre söz konusu makineler malzemenin yerini belirlemektedir. PVC şişelerin hava üfleyen kanallar vasıtası ile aynı yere düşmesi sağlanmaktadır. Bu yöntemin ortalama güvenilirliği %99'dur. Bu nedenle, bu aşamadan sonra PET şişeler kırılmadan önce bir kere daha manüel kontrolden geçirilmektedir.

3.6.2. Kırma

Atık şişeler ya kuru olarak kırılırlar ya da şişe halinde ön yıkama havuzundan geçtikten sonra kırılırlar. PET sert bir malzeme olduğu için PET bıçakları çok uzun

ömürlü değildir. Bu nedenle PET şişenin ön yıkamadan geçmesi veya ıslak kırılması malzemenin üzerindeki toz oranını azalttığı gibi kırma bıçaklarının ömrünü de uzatır. Ayrıca PET bıçakları için kullanılan bileme makineleri de bir PET geri dönüşüm tesisinde olmazsa olmaz araçlardan biridir.

3.6.3. Yıkama



Resim 3.18. Yıkama prosesi [41]

PET yıkama prosesi; kırılmış PET şişelerin etiket, kapak gibi yüzen plastiklerden ve kağıtlardan kurtulmasını sağlamaktadır. Ancak bu proses ayrıca PET ambalajının içinde kalan yağ, cola, şeker ve etiket yapışkanı gibi kolay çıkmayan kirliliklerden kurtulacak şekilde dizayn edilmelidir. Yıkama işleminin aşamaları;

-Birinci aşama; kırılmış PET'in batma-yüzdürme havuzuna atılmasıdır. PET'in yoğunluğu sudan büyük olduğu için PET batacaktır. Diğer kağıt, kapak ve etiketleri oluşturan PE ve PP gibi malzemeler ise yoğunlukları sudan az olduğu için yüzecektir. Bu yıkamanın ilk aşamasıdır. Bazı tesisler bu basamak için hidrosiklon denilen bir alet kullanmaktadırlar. Bu alet aslında bir santrifüj gibi yoğunluk farkına göre maddeleri ayırmak suretiyle çalışmaktadır [25].

- İkinci aşama kimyasal yıkama aşamasıdır. Etiketleri şişeye yapıştırmakta kullanılan tutkallar genel olarak 85°C'nin üzerinde gevşedikleri için, yıkamanın bir sonraki aşaması PET kırıklarının min 85°C sıcaklıkta ve kostik, yüzey yıpratıcı (surfaktan) kimyasallarla zenginleştirilmiş sıcak suda min sıcaklıkta yarım saat geçirerek zor çıkan malzemelerin (tutkal, yağ, şeker gibi) gevşemesini sağlamaktır. Burada suyla yapılan soğuk yıkamayı takip eden; 80°C %2'lik NaOH çözeltisi ve deterjanla yapılan sıcak yıkama ya da tetrakloroetilen (TCE) PET çapaklarının yıkanması için uygundur [21].

-Üçüncü aşama yani kimyasal yıkamadan sonraki aşama, sürtünme yıkama aşamasıdır. Bu aşamada; PET kırıklar değişik mekanik sistemler kullanılarak 4 dak ile 6 dak arasında birbirleriyle sürtünürler. Böylece kimyasal yıkama esnasında gevşeyen yapışık malzemeler sürtünme ile birbirinden çıkartılırlar. Sonuçta PET çapakların yüzeyinde gözlenen yıpranma, onların iyi bir sürtünme sonucu yıkama işleminden geçtiğini gösterir.

-Dördüncü aşamada; sürtünme yıkama işleminden geçtikten sonra bir kez daha batma-yüzdürme havuzu aracılığıyla sürtünme yıkama sonucunda PET kırıklarından ayrılan etiketler, tutkal atıkları, organik atıklar, yüzdürme-batma aracılığı ile PET'ten ayrılmaktadır.

-Yıkamanın son aşaması bu malzemelerin santrifüje yani kurutma ünitesine verilmesidir.

3.6.4. Kurutma

Kurutma; PET'in üzerindeki yıkamadan kaynaklanan nem oranını %3'ün altına indirirken aynı zamanda PET kırıkları içerisinde kalan zerrecik tozları da santrifüj deliklerinden atmaktadır. Geri dönüşümde olmazsa olmaz bir basamaktır. Parçacıkların nem içeriğinin azaltılması, hidrolitik parçalanma etkisini azaltır. Çoğu PET üreticisi 140-170°C'de, 3-7 saat arasında değişen kurutma işlemlerini uygular. Tipik işleme şartlarında PET parçacıklarında % 0,02'den fazla suya izin verilmez ve

bu oranda su içeriği sağlamak için PET, 170°C’de 6 saat kurutma işlemine tabi tutulur [21].

Aşağıda anlatılan ekstrüzyon ve kristalizasyon prosesleri tüm PET geri dönüşüm tesislerinde kullanılmamaktadır. Özellikle elyaf sektörüne hammadde sağlayan tesisler kurutma ünitesinde geri dönüşümü tamamlamaktadır.

3.6.5. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon son aşamadır. Tanım olarak ekstrüzyon, plastik malzemenin sıcaklık ve sıkıştırmanın etkisiyle ergitilip, kesiksiz biçimde bir orifisten (delikten) geçirilmesidir.

PET’in önemli özelliklerinden biri de PET moleküllerinin büyüklüğü hakkında bilgi veren (η) intrinsik viskozitedir. η her eritme işleminde bir miktar düşmektedir (0,02-0,03 civarında) . PET’in bir ısıtma işlemine girerken nemi ne kadar büyükse, η ’de ki azalma da o kadar büyük olacaktır. PET’i ekstrudere etmek için %3’lük nem oranı yüksektir. Bu nedenle PET’in ekstrude edilmeden önce bir ön kurutmaya girmesi gerekmektedir. Bu sıcak hava üfleyen kurutucu vasıtası ile olmaktadır. PET’in neminin mümkün olan en düşük seviyeye indirilmesi ekstrüzyondan önce şarttır. Maksimum nem %0.5’e yakındır. %1.5 gibi bir nem oranıyla ekstrudere verilir. Kurutulan PET çapakları; vidası özel olarak dizayn edilen PET ekstruderine atılır. 270 °C’de eritilir. Spagetti şeklinde çıkan PET; bir soğutma havuzundan geçtikten sonra eşit ölçülerde kesilir ve PET granüller elde edilir.

Diğer plastik türlerinde kuru kesme adı verilen metot ile granül oluşturulurken, PET çok sert bir malzeme olduğu için soğutma havuzu ve geleneksel konvansiyonel kesme metodu ile kesilir. Ekstrüzyon aşamasından sonra ortaya çıkan PET granül şeffaf renklidir. Bu granüller amorf PET’tir. PET’in başka bir fiziksel formu ise kristal formudur.

3.6.6. Kristalizasyon

Amorf PET'in erime ısı aralığı, kristalize PET'ten daha düşüktür. Amorf PET granülleri başka bir üretim prosesinde yüksek ısıdaki kurutucuya girmeleri sonucunda eriyerek, birbirlerine ve kurutucunun duvarlarına yapışabilmektedir. Bunu önlemek için geri kazanım sürecinin son aşaması olarak amorf PET kristalize edilir. Kristalizasyon, bir sıcak hava kurutucusu kullanılarak, PET granüllerin 110°C ile 170 °C arasında bir sıcaklıkta ısıtılmasıdır. Normal kurutucudan en büyük farkı bu aşamada kurutma haznesinin içindeki hareketli kollar sayesinde PET granüllerin ısıtılırken hareket etmesidir. Böylece PET'e hem ısı enerjisi hem de kinetik enerji yüklenmiş olur.

Kristalizasyon sonucunda PET'in rengi süt beyaz hale gelir. Zaten piyasada satılan orijinal PET hammaddesi olan rezinin de rengi aynıdır. Kristalizasyon sonucunda PET süt beyaz renge dönmüştür. Ancak PET'in esas rengi yine amorf haldeyken olduğu gibi şeffaftır. Bu beyaz renk sadece bir maskedir. Kristalize edilmiş PET'in erime sıcaklığı yükseldiği için, ısıya dayanıklılık sağlanmış ve yapışma önlenmiş olur.

Kristallik, polimer zincirlerinin belirli bir düzenle dizilerek meydana getirdikleri düzenli yapıdır. Bu yapıya polimer zincirinin tümü değil de belirli bölgeleri katılmakta ve polimer zincirlerinin üst üste ve yan yana daha yoğun dizildikleri bölgeler oluşmaktadır. Böylece belirli bir geometrik şekli olan katı kristaller meydana gelmektedir. Kristal bölgelerde polimer zincirleri, amorf bölgelere göre birbirine çok daha yakın dizildiklerinden, kristal yapı gösteren polimerlerin yoğunlukları genellikle daha fazla olmaktadır [18]. Yukarıda bahsedilen dayanıklılık buradan ileri gelmektedir.

3.6.7. Metal ayırma

Geri dönüşümde metal malzemeleri ayırmak için metal detektörler kullanılır. Bu detektörler değişik aşamalarda devreye girebilmektedir. En sağlıklı; kırma

işleminden önce malzemelerin köprü şeklinde detektörlerden geçirilmesi, ikincisi yıkamanın en sonuna yerleştirilen mıknatıslar yardımıyla alüminyum dışında diğer metallerin tutulmasıdır. Yine tercihen kurutmanın sonuna konulacak alüminyum ayırıcı sayesinde küçük alüminyum parçacıkları yakalanabilmektedir.

Yukarıda atık PET şişelerin geri dönüşüm aşamaları anlatılmıştır. Katı atıklar içerisinde yer alan plastiklerin diğer önemli bir bölümünü oluşturan film halindeki plastik atıklarda da ayırma işlemleri, atık şişelerdekine benzerlik göstermektedir. İnce şerit veya film halinde kesilen plastik film atıklar, önce titreşimli bir banttı sonra bir mıknatıstan geçirilmektedir. Daha sonra film; çöktürme tankına gönderilmekte ve kirleticilerden böylece temizlendikten sonra genellikle yüzdürme ve hidrosiklon yöntemlerinin kullanıldığı ayırım işlemine tabi tutulmaktadır. En son kurutma işleminden geçirilen ve ekstruder kullanılarak granül haline getirilen malzemeler ikincil hammadde olarak pazarlanmaktadır [18].

3.7. Geri Dönüştürülmüş Atık PET'in Taşınması Gereken Koşullar

Başarılı bir PET geri dönüşümü elde etmek için PET parçacıklarının bazı şartları taşınması gerekmektedir.

Çizelge 3.4. Geri dönüştürülmüş atık PET'in taşınması gereken şartlar [21]

Özellik	Değer
[η]	>0.7dl g-1
T _m	>240 °C
Su İçeriği	<0.02 wt %
Çapak boyutu	0.4 mm<D<8mm
Boya içeriği	<10ppm
Sararma indeksi	<20
Metal içeriği	<3 ppm
PVC içeriği	<50 ppm
Polyolefin içeriği	<10 ppm

3.8. Atık PET'in Geri Dönüşüm Uygunluğunu Etkileyen Faktörler

PET'in geri dönüşüm uygunluğunu etkileyen en temel faktör kirlenme ve kirlenmenin kaynağıdır. Atık PET'in kirli olması, yeniden işleme esnasında fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmasının temel sebebidir. Bu kirlilik oranının minimuma indirilmesi PET kalitesini artırır. Atık PET birçok maddeyle kontamine olur. Bunlardan en önemlileri;

3.8.1. Asit üreten kirleticiler

Atık PET geri dönüşüm işlemi için en zararlı asitler; polivinil asetat, kaplamanın bozulmasından oluşan asetik asit, yapıştırıcılardan oluşan rosin asit ile PVC'den meydana gelen hidroklorik asittir. Bu asitler atık PET eritme işlemleri sırasında zincir parçalanma reaksiyonlarında katalizör gibi davranırlar. Ortamda PVC'nin bulunması, PVC'nin yapısının bozulması esnasında hidrojen klorürün katalitik etkisinin artmasıyla atık PET'in zincir kırılmasını artırmaktadır. PVC'nin bulunması ayrıca işlem sırasında atık PET'in renginin bozulmasına da neden olmaktadır.

3.8.2. Su

Su, hidroliz reaksiyonu vasıtasıyla atık PET geri dönüşümü esnasında ortalama molekül ağırlığını azaltır. Molekül ağırlığının düşmesini önlemek için nem oranının %0.02'nin altında olması gerekir. Su içeriğinin büyük kısmı, kırılarak çapak haline getirilen PET atıkların yıkama işleminden gelmektedir. Fakat uygun bir kurutmayla önemli ölçüde azalır.

3.8.3. Renklendirici maddeler

Renkli şişe parçacıkları ve mürekkep baskılı etiketler işlem esnasında istenmeyen renklere sebep olabilir. Yıkama işlemlerinin artması, renklendirici kirlenmeyi azaltabilir.

3.8.4. Asetaldehit

Asetaldehit orijinal PET’de ve atık PET’de bulunmaktadır. PET’in parçalanma reaksiyonlarından oluşan bir üründür. PET ambalajlarından gıdaların içine asetaldehit karışması, atık PET geri dönüşüm işlemi gelişiminin başlangıcında büyük bir endişe yaratmıştır. Asetaldehitin yüksek uçuculuğu, vakumlama ve kurutma işlemiyle minimize edilebileceği anlamına gelmektedir. 4-aminobenzoik asit, difenil amin ve 4,5 dihidroksibenzoik asit gibi dengeleyiciler, üretilen asetaldehit miktarını azaltmak için PET’e eklenir.

3.8.5. Diğer kirleticiler

Günlük hayatta PET şişeler; deterjan, benzin, pestisid gibi maddelerin saklanması için kullanılmaktadır. Bu maddelerin kalıntıları sağlık için zararlı olabilir.

3.9. Geri Dönüştürülmüş Atık PET’in Kullanım Alanları

Unutulmamalıdır ki atık PET plastiğin değeri ve ekonomik bir biçimde yeni ürün oluşturmak üzere tekrar işlenebilirliği, atığın geri dönüşüm sürecindeki kalitesine bağlıdır. PET’geri dönüşümü sonunda elde edilen ikincil ürünler, elyaf, levha, mühendislik plastikleri ve şişe gibi uygulamalardır. Bu ürünlerin kullanım alanları ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

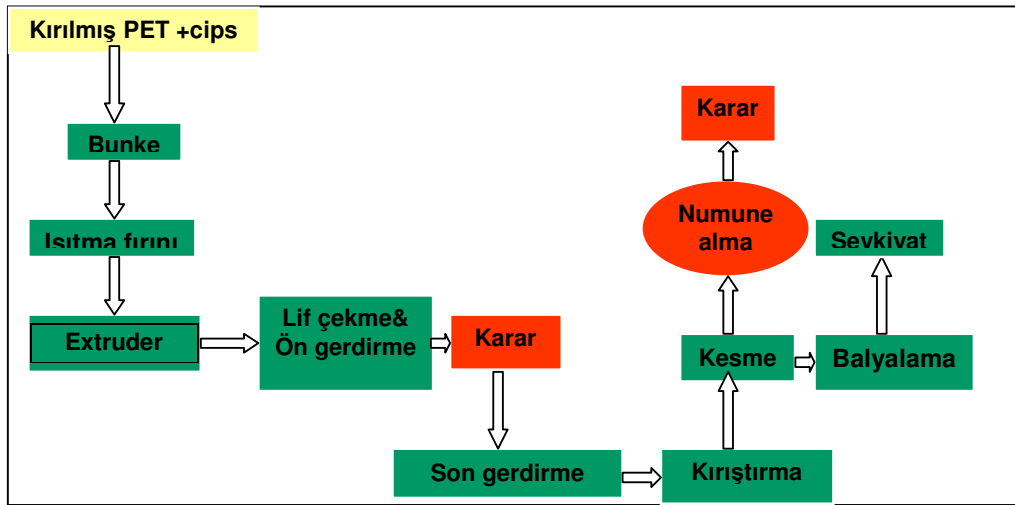
3.9.1. Polyester elyaf

Dünyada geri kazanılmış PET’in %80-85 oranında polyester elyaf üretiminde kullanıldığı tahmin edilmektedir. Polyester elyaf pamuğun alternatifi olduğu için; pamuğun yıllık ürün miktarının çok düşük olduğu yıllarda çok talep gören ve fiyatı çok yükselen bir metadır. Polyester elyaf sektörü; geri kazanılmış PET kullanan sektörler arasında toleransı en yüksek olan sektördür. Bu bağlamda geri kazanım kalitesi düşük bile olsa PET çapaklar düşük kalitede polyester elyaf üretiminde hammadde olarak kullanılabilirler. Ayrıca geri dönüşümden elde edilecek

ürünlerin hassasiyetlerine bakılacak olursa; PVC elyafı kahverengiye boyayacağı için elyaf üreticilerinin kaliteli elyaf üretmek için PVC toleransları siyah elyaf hariç düşüktür. Yıkama esnasında kostik kullanımı bazı elyaf tesislerinde çıkan elyafın kızıllaşmasına yol açabilir. Bu tip tesislerde yıkama aşamasında kostik kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Ülkemiz bir tekstil ülkesi olduğu için Adana, Gaziantep, Bursa, Uşak gibi şehirlerde geri dönüştürülmüş PET çapakta elyaf üretebilecek ciddi tesisler faaliyetini sürdürmektedir. Dünyada polyester üretim merkezi ise Çin'dir. Nitekim Türkiye'de geri dönüşüm tesislerinin çoğu Çin'de bulunan tesislere PET çapak ihraç etmektedirler. Ülkemizde faaliyet gösteren polyester elyaf tesisleri; tasarım itibarıyla PET resin ya da granül değil, PET çapak kullanmak üzere tasarlanmış tesislerdir. Bu durum Türkiye'de neden sadece PET çapak üretimi yapıldığını göstermektedir.

Aşağıda atık PET kullanılarak elde edilen elyafın üretim süreci Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Elyaf üretim süreci

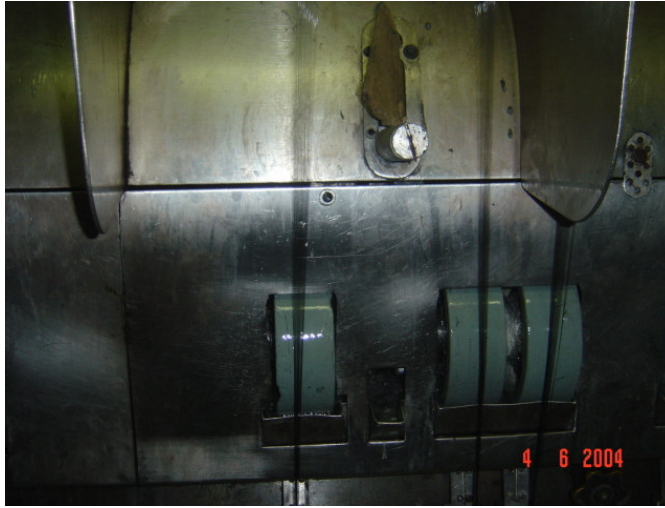
-İlk olarak kırılmış PET parçaları (yaklaşık %52'si atık PET) üretim hattına verilmeden, kurutucu bunkerlerde üzerindeki nemi almak için kurutulmaktadır.

-Kurutulmuş olan hammadde ekstrüzyon ünitesine verilmektedir.

- Burada yaklaşık 280 ile 300 °C'de eritilmektedir.
- Eriyen PET çapaklar düzelerden geçirilerek elyaf iplik formunda, ilk olarak bir soğutma ünitesine verilmektedir.



Resim 3.19. Kurutma bunker [41]



Resim 3.20. Düzelerden aşağı akan iplikler [41]

- Her bir düzeden çok sayıda elyaf iplik akmaktadır.
- Elyafın tam katılaşması sağlanmaktadır.

- Filament halindeki elyaf demeti, bir yağ banyosundan geçirilmektedir. Elyafa uygulanan yağ emülsiyonunun amacı, doğası itibari ile çok fazla statik elektriklenme özelliğine sahip olan polyester elyafın bu özelliğini ortadan kaldırmaktır.
- Lifler arası boşluğu azaltmak üzere ön germe işlemine tabi tutulan elyaflar büyük kovalara doldurulmaktadır.



Resim 3.21. İplik gerdirme [41]

- Gerdirme makineleri arasında tekrar bir yağ banyosundan geçirilen elyaf daha sonra bir buhar kazanına girmektedir.
- Bir sonra ki basamak ise kırıştırma makinesidir.



Resim 3.22. Kırıştırılmış elyaflar [41]



Resim 3.23. Kırıştırma makinesi [41]

-Kırıştırma işleminden sonra elyaf, kurutma fırınında tekrar bir kurutmaya girmekte ve sonra kesme işlemine tabi tutulmaktadır.

-İstenen ebatlarda kesilen elyaf bu bölümden sonra balyalanarak satışa hazır konuma getirilmektedir.

3.9.2. PET levha

Türkiye’de ve dünyada hızla yaygınlaşan bir ambalaj türü de ısı ile şekillendirilen PET levha yani folyo üretimidir. Yakın zamana kadar PVC ve PS’den yapılan bu malzemeler artık PET malzeme ile yapılmaktadır. Ancak PET’in bu iki ürüne nazaran sahip olduğu fiziksel ve kimyasal avantajlar sayesinde PET levha üretimi ve ısı ile şekillendirilmesi yaygınlaştırılmıştır. Su bardaklarında, elektronik eşyalarda, sıvı sabun ve bisküvi ambalajlarında folyo PET kullanılmaktadır.

Ayrıca PET levha üretiminde kullanılması gereken geri kazanılmış PET malzemenin mümkün olan en yüksek kalitede olması gerekir. Öncelikle kullanılacak PET granülün şeffaf olması şartı prosesin yabancı malzeme toleransını düşürmektedir. Aynı zamanda levhanın çekilmesi ve sarılması esnasında germe işlemi intrinsik viskozitesi çok düşük malzemede kopmaya yol açmaktadır. Ülkemizde PET levha

tesislerinde PET çapak kullanılmakla beraber, akıtması ve rezinle karışması daha kolay olduğu için kristalize PET granül kullanımı da tercih edilmektedir.

3.9.3. PET şeritler

Yakın zamana kadar başta elektronik malzemelerin, kimyasal ürünlerin, gazete ve dergilerin birbirine bağlanmasında PP şeritler kullanılmaktaydı. Ülkemizde PP şeritler ağırlıklı olarak beyaz ve siyah renktedir. Son zamanlarda PP şerit yerine kopma-gerilme direnci daha yüksek olan polyester şeritler kullanılmaktadır.

Polyester şeritlerin üretilmesinde orijinal resin ile birlikte geri kazanılmış çapak veya granül kullanılmaktadır. Ülkemizde polyester şeridin standart rengi yeşildir. Polyester şeridin en önemli hassasiyeti geri kazanılmış PET'in η değerinin yüksek olmasıdır. Başka bir deyişle normal olarak PET şişe üretiminde kullanılan hammaddenin η değeri 0,80'dir. Meşrubat şişelerinde, oluşan gaz basıncına dayanması için η değeri 0,83-0,86 aralığında olan resin kullanılmaktadır. Her ısıtım işlemi, bu resinlerde 0,02-0,04 aralığında η değerinde düşüşe sebep olmaktadır. Ülkemizde polyester şeridin renginin yeşil olması tamamen η değeriyle ilgilidir. Çünkü ülkemizde yeşil PET çapak; sadece gazlı soda ve gazoz şişelerinden çıkmaktadır. Gazlı ürünlerde kullanılan resinin η değeri daha yüksek olduğu için yeşil çapağın ortalama η değeri de daha yüksektir. Bu nedenle polyester şerit sektöründe çapak kullanımı granül kullanımından daha fazladır.

3.9.4. Mühendislik plastikleri

Polyester dayanıklı ve zor kırılan bir malzeme olduğu için otomobil parçaları, yalıtım, tenis topu keçesi, iş kartları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Mühendislik plastikleri üreten firmalar genellikle aldıkları PET çapakları veya granülleri başka malzemelerle karıştırmakta ve siyaha boyamaktadırlar. Bu sektörün hassasiyeti metal, akışkanlık ve polyolefin (PP, PE) oranıdır. En çok talep edilen en yüksek viskozitesi olan şeritlerdir. Levha ve mühendislik plastiklerinin de viskozite değeri bu viskozite değerine yakındır.

3.9.5. Şişeden şişe uygulamaları

Atık PET şişe ve ambalajları tekrar şişe ve ambalaja dönüştürmek, hatta bazı yiyeceklerle temas eden ambalajlara dönüştürmek artık mümkündür [25]. Ülkemizde; 16.11.1997 tarih ve 23172 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliğine göre geri kazanılmış ürünleri gıda ambalajında kullanmak yasak olduğu için bu uygulama Türkiye’de yoktur. Ancak gerek Amerika’da gerekse Avrupa’da yukarıda bahsedilen PET geri kazanma sürecinin sonuna eklenen ve SSP (Solid State Polymerization) adı verilen bir süreçle düzgün şekilde geri kazanılmış PET granüllerin tekrar şişe üretiminde kullanılması sağlanmaktadır. SSP, kendi çevresinde hareket eden bir reaktörün sabit ısı ve çok düşük vakum ile PET granüllerin içinde kalmış olabilecek kimyasal atıkların emilmesi ve malzemenin intrinsik viskozitesinin yükseltilmesi prosesidir. Türkiye’de SSP reaktörü yoktur. Bir atığın tekrar gıda ambalajı olarak kullanılıp kullanılamayacağına Amerika’da FDA, Avrupa’da ise Fraunhofer Institute karar verir. Amerika’da FDA (The Federal Food and Drug Administration)’ın geri dönüşen atık PET ürünlerinin yiyeceklerle temas eden ambalajlamada kullanılmasına itiraz etmemesi üzerine PET’in üretimi ve üretme kapasitesi yüzde yüz artmıştır. FDA onayı ile ilk olarak yiyecek teması olan uygulamalarda 1991 yılında meyve ve sebze filelerinde kullanılmıştır. 1992-1993 yıllarında değişik ürünler de FDA onayı aldıktan sonra, 1994 yılında ilk kez yüzde yüz geri dönüştürülmüş PET ten sıvı içecek şişesi yapılmasına onay verilmiştir. Geri dönüştürülmüş PET ürünlerinin tekrar tekrar kullanıma döndürülmesi sonucunda, yeni PET plastik üretiminin de önüne geçilmiştir [28].

Ayrıca atık PET’in son kullanım alanları konusunda depolimerizasyona dayanan yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bu süreç, glikoliz, metanoliz, gibi PET’i kendi kimyasal bileşiklerine ayırır ki bunlar da tekrar PET plastiğe dönüştürülebilir. Yaygın olarak kullanıldığında bu teknolojiler atık PET plastik ürünler için farklı satış fırsatları da oluşturur [25].

Atık PET geri dönüşüm endüstrisi, atık yönetiminin geliştirilmesi için çevresel baskı sonucu oluşmuştur. PET geri dönüşüm endüstrisi için hakim görüş olan diğer bir

bakış açısı da PET ürünlerinin doğal bozulma hızının yavaş olmasıdır. PET'in nispeten büyük moleküllerini parçalama özelliğine sahip, bilinen bir organizmanın olmadığı koşullarda PET, parçalanmaz ve ayrışmaz bir plastiktir. PET'in biyolojik parçalanmasının olması için karmaşık ve pahalı proseslerin uygulanması gereklidir. Burada biyolojik olarak parçalanabilen plastikler hakkında bilgi vermek yerinde olacaktır.

3.10. Biyolojik Olarak Parçalanabilen Plastikler

Plastiklerin ucuz, esnek, sağlam ve hafif olmaları plastiklerin ambalaj malzemesi olarak kullanımlarında öncelik sağlamakla birlikte ambalaj malzemeleri çevresel atıkların %73'ü gibi büyük bir miktarını oluşturmaktadır. Dünyada üretilen ambalajların da %70'inin yiyecek ve içecek ambalajı olduğu bilinmektedir. Yalnızca Kuzey İrlanda'nın toplam ambalaj atığı yılda 412.000 bin ton ve bu miktarın 71.000 tonu da plastik atığıdır [30].

Ülkemizde ise Çevre ve Orman Bakanlığına kayıtlı olan firmaların rakamlarına göre; 2006 yılında piyasaya sürülen ambalaj miktarı 1 418 831 ton'dur. Bu miktarın 344.503 tonu plastik , bu rakamın 117.207 tonu PET ambalajdır.

Plastik atıkların geri dönüşüm ve yakma gibi önlemlerle değerlendirilmesi kısmen endüstriyel uygulama alanı bulurken, polimer malzemelerin kalitesinin düşmesi, yüksek enerji gereksinimi ve hava kirliliği gibi dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Diğer bir alternatif de atıkların depolimerizasyonu ile kimyasalların elde edilmesi (kimyasal geri kazanım) olmakla birlikte, bu yöntem de çeşitli nedenlerden dolayı yaygın olarak kullanılmamaktadır. Aşağıda kimyasal geri kazanım konusunda genel bir bilgi verilecektir. Kanun koyucu kesim ve çevre baskı guruplarından gelen baskılar sonucunda biyolojik olarak parçalanabilen plastikler, yeni bir çözüm olarak geliştirilmiştir [18].

Alternatif çevre dostu malzemelerin özelliklerinin ve çeşitlerinin araştırıldığı, uygulanmaya başladığı günümüzde plastik poşet kullanımının azaltılmasıyla ilgili

önlemlerin alınmadığı, plastik kullanımının giderek artarak konunun çevre boyutunun gözardı edilmesi çevreye verilen zararların yanı sıra, insan sağlığını yıllarca olumsuz yönde etkileyecek çevre kirliliğini de beraberinde getirecektir. Bu noktada doğada bozunabilir plastiklerin bir başka ifade ile biyoparçalanabilir plastiklerin üretimi, uygulanabilirlik ve pazar durumları, irdelenmesi gereken önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak biyoparçalanabilir plastiklerdeki bozunma; ürünün yapısında bulunan organik maddelerin parçalanması ile meydana gelmektedir. Bozunabilen plastiklerin ana hammaddesini, normal plastik ürünlerde olduğu gibi petrol türevli ürünler oluşturmaktadır. Ancak biyoparçalanabilir plastiklerde bozunmanın sağlanmasını temin için polietilene belirli oranlarda nişasta katılmaktadır. Kullanım sonrası atık haline gelen plastiklerin bünyesindeki nişasta ise mikroorganizmal faaliyetler ve çevresel faktörler (ısı, rutubet, güneş ışığı) etkisi ile bozunmaya uğramakta ve plastik üründe parçalanmalar meydana gelmektedir. Biyoparçalanabilir ürünler, raf ömrü kısa ürün ambalajı, alışveriş poşeti, çöp torbası, kullanılıp atılan tabak, çatal, kaşık, çocuk bezi, fast food gıda ambalajı gibi alanların yanı sıra özellikle tarım sektöründe sera filmi olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Tarımda kısa sürede çimlenmeyi sağlamak, çimlenen bitkileri çevrenin olumsuz etkilerinden korumak, sulanma ihtiyacını azaltmak amacıyla toprağa yakın yüzeylerde kullanılan biyoparçalanabilir sera filmleri, bitkilerin büyümesine paralel olarak çevresel faktörler ve mikroorganizmaların etkisi ile parçalanarak toprağa karışmaktadır.

Konu bu boyutları ile ele alındığında biyoparçalanabilir plastiklerin kullanımının yaygınlaşmasının oluşan atık miktarının azalmasına yol açacağı muhakkaktır. Bu doğrultuda; bu tür plastiklerin kullanım alanları ile ilgili olarak dünyada yapılan araştırma ve gelişmelere paralel olarak ülkemizde tek plastik hammaddesi üreten Petkim A.Ş.'nin kapasite ve teknolojisinde değişiklikler yapması gerekmektedir.

Biyoparçalanabilir ambalajların üretiminde günümüzde karşılaşılan en önemli sorun üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Fiyatın düşmesi, ucuz hammaddeler bulunması ve üretimin artırılması ile mümkündür.

Diğer bir alternatif kimyasal geri kazanımdır.

3.11. Kimyasal Geri Kazanım

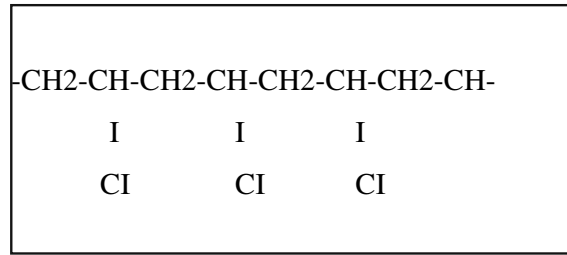
Katı atıklar içerisindeki plastiklerin geri kazanımları ile ilgili belirlenmiş hedeflere ulaşılabilmekle birlikte, atık plastiklerin yeniden plastik olarak değerlendirilmesinde bazı sorunlar bulunmaktadır. Geri kazanılmış plastiklerin tümüne bu anlamda henüz kullanım alanı bulunmuş olmaması, çoğu ambalaj malzemesi esaslı olan geri kazanılmış plastiklerin ambalaj malzeme kullanımına getirilen çok sıkı ve dar spesifikasyonlar nedeni ile bu alanda tekrar kullanılamamaları, katı atıklar içerisinde yer alan plastiklerin ambalaj malzemesi dışında kalan önemli bir bölümünün toplanmalarının mümkün olmayışı, bu nedenlerin en belli başlılarıdır. Bu nedenle diğer alternatif değerlendirme yöntemleri, bu arada kimyasal olarak yeni bazı kimyasallara dönüştürme yöntemi benimsenmiş bulunmaktadır. Bu konuda en yaygın uygulanan yöntem, atık polimerin depolimerize edilerek mümkünse tekrar monomerlerini veya petrokimyasal diğer hammaddeleri/sıvı yakıtı elde etmek olarak özetlenebilir. Bu yöntemle elde edilecek ürünler ve bu amaçla uygulanacak teknikler, polimerin türüne göre farklı olabilmektedir. Örneğin polyesterler (PET), poliamidler (nylon) ve poliüretanların hepsi tersinir kabul edilen kondenzasyon tepkimeleri ile elde edilirler. Bu polimerlerin monomerlerine dönüştürülmesi ve elde edilen monomerlerden polimerin yeniden üretimi söz konusu olabilmektedir. Buna karşın YYPE, AYPE, PP, PVC gibi polimerlerden monomer yerine; diğer petrokimyasallar veya yakıt değeri olan sıvı ürünler (sıvı yakıt) elde edilmektedir.

Geri dönüşüm işlemleri PET artıklarının ekonomik olarak küçültülmesi için en iyi yoldur. Diğer taraftan orijinal PET'in fiyatı sabitken, PET geri dönüşümü için yerine daha ucuz teknolojiler nispeten daha ucuz PET endüstrisi sağlayarak PET geri dönüşüm endüstrisine ekstra değer katmaktadır [21].

4. ATIK PET AMBALAJIN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE PVC’NİN ETKİLERİ

4.1. PVC’nin Genel Özellikleri

PVC süspansiyon ve emülsiyon yöntemleri ile katılma polimerizasyonu sonunda elde edilmektedir. PVC’nin monomeri vinil klorürdür. ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$). Polimerik yapısı aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1. Polivinilklorür’ün kimyasal yapısı

PVC’nin kristal yapı oranı çok düşüktür. Erime sıcaklığı (T_e) 212 °C’dir. Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 81°C’dir. -55°C, +80°C arasındaki sıcaklıklarda kullanışlıdır. Oldukça sağlam ve aşınma direnci yüksektir. Çok üstün kimyasal dayanıklılık gösterir. Örneğin kuvvetli ve zayıf asit ve bazlara karşı, yine alkollere karşı oldukça dayanıklıdır.

PVC, kolay işlenebilir ve maliyeti oldukça düşüktür, PVC film levha yapımında çeşitli amaçlar için (yağmurluk, çanta, banyo perdeleri v.b.), döşeme yer kaplamaları, elektrik kablo ve tellerinde yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Bunun dışında ambalaj malzemesi olarak (sıvı maddelerin ambalajlanmasında olduğu gibi), depo tankları ve diğer kaplar için korozyon dirençli kaplamalarda kullanılır [31].

4.2. Literatürde Yer Alan Çalışmalar

4.2.1. Otomatik ayırma yöntemi

Makro sınıflama ve mikro sınıflama olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Makro sınıflama parçalanmadan önceki haliyle alakalıdır. Makro sınıflamanın teknolojileri;

-İnfrared spektroskopi

-X-Ray

-Lazer işaretli tarama

-İşaretleme sistemi

Mikro sınıflama ise plastiğin parçalara ayrıldıktan sonraki haliyle ilgilidir.

-Batma-yüzdürme sistemleri

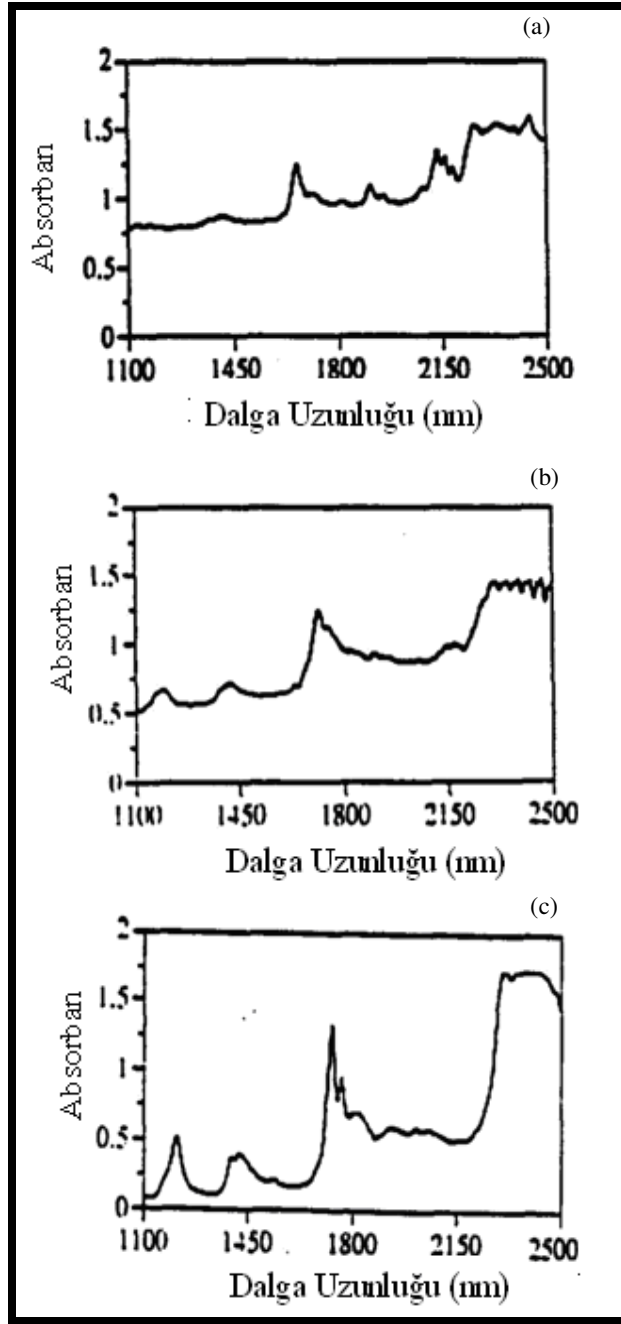
-Köpürme-yüzdürme sistemleri

-Seçici çözünürlük ve flaş devolitizasyon

Plastiklerin geri dönüşümünün sağlıklı olabilmesi için atıkların uygun şekilde kategorize edilmesi gereklidir. Çoğunlukla ayırım elle yapılmaktadır. Ancak bu ayırım yavaş ve pahalı olması nedeni ile pek efektif değildir. Ayrıca tecrübesiz elemanların çalışması ve görsel ayırımdaki yetersizlikler nedeniyle; Plastik Sanayi Örgütü bir etiketleme sistemi geliştirmiştir. Bu sistem 6 adet plastiğin kodlanması şeklindedir.

Makro Ayırım

Yakın infrared spektroskopi atık plastiklerin otomatik ayrıştırılmasında çok umut verici bir tekniktir. Bu yöntem ayrıştırılamayan veya tanımlanamayan plastiklerin ışınlama yöntemi ile ayrıştırılmasını içermektedir. Kızılötesi ışınları atık plastiğin üzerine gönderilir ve plastiğin karakterine göre ışının absorpsiyonu ölçülür.



Şekil 4.2. Yeşil PET(a)'in, PVC(b) ve kırmızı HDPE(c)'in farklı polimer absorpsiyon spektrumları

Spektroskopi kullanımının en önemli avantajı tanımlamadaki hızıdır. Spektroskopik enstrümanın etkin tarama hızı sayesinde bir örneğin birçok okunması çok kısa süre içerisinde gerçekleşmektedir. Bu da en uygun tanımlamayı gerçekleştiren birçok

kontrole olanak sağlamakla birlikte, bu hız ayrıca daha kısa sürelerde daha fazla plastiğin ayrılmasına da imkan tanımaktadır. Siyah renk dışında örnekler resin renginden bağımsızdır. Siyah, yakın infrared alanda kuvvetli bir absorberdir ve siyah plastiklerin taraması çok geniş spektrumda sonuçlanmaktadır. Günümüzde karışık plastik ayırımı için bir çok spektroskopik ünite kullanılmaktadır. Bunlar;

-Bottle Sort Sistemi

-Poly Sort Sistemi

Bottle Sort Sistemleri

Manyetik ayırım sistemi olan Bottle Sort; ebatlara uymayan tüm materyalleri uzaklaştıran bir görüntüleme sistemiyle başlamaktadır. Bu ilk basamak ayrıca sistemdeki tüm kirleticileri de uzaklaştırmaktadır. Daha sonra mekanik ve hava yönelimli bir parçalayıcı, şişeleri basit parçalara ayırır ve yüksek ivmeli nakil bandına iletir. Bu bant şişeleri saniyede 5000’den fazla ölçüm yapabilen 16 infrared ışıklı tarama ünitesine iletir. Burada resin klasifikasyonu 5 milisaniyeden daha kısa sürede yapılır. Sistem ayrıca aynı anda birden fazla konteynır taramasından kaynaklanabilecek hata olup olmadığını da saptar. Sistem aynı resin tipinde ise tek bir şişe gibi işlem görür. Şişeler farklı tipte ise tüm sistemden geçerek içeriği tekrar sisteme gönderilen bir kutuya iletilirler.

Tanımlamadan sonra her bir plastik konteyner ayrışma bölgesine kadar iletilir ve güçlü hava jeti şişeyi uygun kategori taşıyıcısına püskürtür. PVC’nin PET’den ayrılması X-Ray geçirim sensörü ile yapılabilir.

Poly Sort Sistemleri

Bu sistem şişeleri basit bölüm düzenlerine ayırarak başlamaktadır. İşlem kontaminasyonları uzaklaştıran titreşimli bir singulatörle yapılmaktadır. Yakın infrared ışını her bir şişeden saniyede yaklaşık 50 kez geçirilmektedir. 19 milisaniyeden daha kısa sürede plastiğin özellikleri elde edilmekte ve plastik

tanımlama başlamaktadır. Bu sensör plastiğin PET, HDPE, LDPE, PVC, PP, PS veya PC olup olmadığını taramaktadır.

X Işınları

Bir diğer sınıflama yöntemi ise yüzeye verilen x ışınlarının transmisyonu ve yansımasıdır. Spektroskopik infrared yöntemine benzer bir metottur. Bu yöntem daha çok PVC sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. PVC'deki klor atomları, ışınlarla eşsiz bir pik dalgası ile cevap vermektedir. Günümüzde kullanılan ticari X ışını tanımlama cihazları bulunmaktadır. Bunlar VS-2 ve vinilcycle'dır.

VS-2

Bu sistem x ışınları kullanılarak plastiklerin her 10 saniyede bir tanımlamasını sağlamaktadır. Sistem bir sırada ilerlemektedir. VS-2 saatte 200 tanımlama yapar ve 100000 de bir yanılma payına sahiptir.

Vinilcycle

Bu sistem ulusal geri kazanım ortaklığı (NRT) tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde PVC, diğer plastik atıklardan X ışınlarının transmisyonu kullanılarak ayrılmaktadır. Tek bir sırada ilerleme gereksinimi olmaksızın PVC'yi ayrıştırabilen bir sistemdir. PVC tanımlandığında bir adet hava üfleme sistemi ile PVC diğer atıklardan ayrılır.

Lazer Yardımlı Tanımlama

Plastikleri sınıflama amaçlı tanımlama yöntemlerinden biri de lazer yardımcı tanımlama yöntemidir. Bu yöntemde de plastiğin üzerine verilen lazerin ışıması ve ardından cismin bu ışıma yanıtı esas alınır. Laser Zentrurun Hannover'de farklı plastiklerin verdiği ısı cevabı sayesinde onları sınıflandırmaya yarayacak bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde bir karbondioksit lazeri kullanılır ve küçük bir lazer atımı yapılarak materyal sınıflandırılır. Kullanılan kızılötesi termografik yöntemlerle

verilen farklı yanıtlar kaydedilir. Bu yanıtlar daha sonra plastik tipini belirlemede kullanılır. Haferkamp, Bumester ve Engel (1993) lazer yardımcı tanımlama yöntemi ile ilgili buldukları sonuçları şu şekilde sıralamışlardır;

- Az bir enerji girişine bağlı olarak plastik yüzeyinde az miktarda hasar oluşur,
- Farklı yüzey kalınlıkları, yapılar ve yüzeyin özellikleri sınıflandırmada rol oynamaz,
- Sonuç olarak bu verilerle plastiğin tanımlanması 1/10 saniyede gerçekleşmektedir.

İşaretleme Sistemleri

Bu yöntemle plastiğin tanımlamasını sağlayacak bir dedektör kullanılır. Bu işaretleme sistemi bütün atıkları bir mürekkeple işaretler ve böylece tanımlanabilir hale getirir. Ancak bu sistem maliyetlidir çünkü her bir ambalaj için bir işaretleme sistemi gerekmektedir. Ayrıca daha sonra geri dönüşüm aşamasında da hepsi için birer tanımlayıcı gerekmektedir.

Bayer firmasının geliştirmekte olduğu polimer yardımı ile işaretleme tanımlama yöntemleri de vardır. Bu yöntemde maddelerin floresan pigmentlerine göre sınıflaması yapılmaktadır. Floresan pigmentler; belirli dalga boyunda enerji soğurup, bir başka dalga boyunda ışıma yapan boyar maddelerdir.

Floresan pigmentlerinin çok yüksek bir tanımlama duyarlılığı mevcuttur. Bayer firmasının araştırma geliştirme çalışmalarına göre, her ton polimer için 5 gr floresan pigmentinin yeterli olduğu ve bunun maddenin yapısında bir bozulmaya neden olmadığı yönündedir.

Mikro Ayırım

Batma-Yüzme Yöntemi

Bu yöntem çok yaygın ve basit bir yöntemdir. Bu yöntemde farklı özkütlelerden yararlanılmakta ve su ya da başka bir sıvı ile doldurulmuş tankın içine plastikler konulmaktadır. Ağır olan plastikler batmakta, hafif olanlar ise yüzmektedir. Bu

yöntem özkütleleri birbirinden çok farklı olan plastikleri birbirinden ayırmak için oldukça faydalı bir yöntemdir. Ancak PVC ve PET gibi plastiklerin özkütleleri birbirine çok yakın olduğu için bu plastikler bu yöntemle ayrılamamaktadır. Bu yöntemi geliştiren bazı birkaç çalışma vardır.

Pittsburgh Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmaya göre; yüksek basınç, yakın özkütleleri olan plastikleri batma-yüzme yöntemi ile ayırmada kullanılabilmektedir. Belirli bir kritik noktada sıvının yoğunluğu basınçla beraber değişkenlik göstermektedir. Böylece basıncı artırarak yada azaltarak, birbirine yakın özkütleleri olan plastiklerden birinin batması ve birinin yüzmesi sağlanmaktadır. Böylece ayrımlarında sağlanmış olmaktadır.

Pittsburgh Üniversitesi'nin yaptığı çalışmada ilk adımda daha hafif polyolefinler (HDPE, LDPE, PVC), daha ağır olan non olefinlerden (PS, PET, PVC) ayrılmaktadır. Bu klasik batma-yüzme yöntemi ile sağlanabilmektedir. İkinci adımda HDPE'ni LDPE ve PP'den ayırmak için karbondioksit yakın kritik noktası kullanılan batma-yüzdürme yönteminden faydalanılmaktadır. Bu yöntemle LDPE de PP'den ayrılabilir. Non olefinlerin ayırma kısmında ise PS tuzlu su çözeltisi ile ayrıştırılabilmektedir. Geriye kalan PVC ve PET ise sülfür hekzaflorid yakın kritik noktası kullanılan batma-yüzme yöntemi ile ayrıştırılmaktadır.

Köpürme-Yüzdürme Yöntemi

Bu yöntem plastiklerin sınıflandırılmasında kullanılan diğer bir yöntemdir. Batma-yüzdürme sistemine benzer şekilde çalışmaktadır. Bu yöntemde plastik, önce yüzey aktif madde ile ayrıştırılıp ardından su yüzeyinde yüzdürülmektedir. Plastiğin üzerindeki yüzey aktif madde nedeniyle daha önceden batması gereken plastik, sıvılardaki karışım nedeniyle su yüzeyinde kalmaktadır. Ardından sisteme hava pompalanmaktadır. Oluşan hava baloncukları plastiğin rezin tipine göre plastiğe yapışmakta ve onun suda yüzmesine neden olmaktadır. Baloncuklardan etkilenmeyen maddeler ise dibe çökmektedir. Çöken bu maddeler dipten toplama sistemi ile toplanmaktadır.

Bu sistemin bazı kilit avantajları vardır. İlki bu sistemin çok fazla teknoloji gerektirmemesidir. İkincisi kullanılan kimyasalların çok pahalı olmaması ve çevreye çok az zarar veriyor olmasıdır. Üçüncüsü ise bu yöntemle PET ve PVC'nin birbirinden kolayca ayrılabilmesidir. Bu sistemle diğer batma-yüzdürme sistemlerinde oldukça sık yaşanan bir problem olarak görünen PET ve PVC'nin birbirinden ayrılabilmesi sağlanmaktadır.

Seçici Çözünürlük Yöntemi

Bu yöntem hala araştırma safhasında olan bir plastik sınıflandırma yöntemidir. Renesselaer Politeknik Enstitüsü'nde yapılan araştırmalarda, ksilenin (dimetil benzen) en çok bilinen beş plastik (PVC, PS, LDPE, HDPE ve PP) içinde çözündüğü bildirilmiştir. Ksilen plastik çip sisteminin içine oda sıcaklığında yerleştirildiğinde, PS diğer plastiklerden kolayca ayrılmaktadır. Ksilen/PS solusyonu başka bir tanka aktarılmakta ve bu solusyon ksilen kaynama noktasına kadar ısıtılmaktadır. Ardından ksilenin buharlaşarak ortamdan uzaklaşması sağlanmaktadır. Böylece geriye saf PS polimerleri kalmaktadır. Tekrar ksilen sisteme geri alınmakta ve farklı sıcaklıklarda diğer plastikleri ayırmada kullanılmaktadır.

Cornell Üniversitesi'nde yapılan diğer bir araştırmada, tek bir çözücü sistemin yeterli olmadığını, verilen yüksek sıcaklığın polimerlerin saflığını ve niteliğini bozacağından fazladan maliyete neden olup problem teşkil edeceğini vurgulamıştır. Cornell Üniversitesi araştırmada kombine teknolojilerin kullanılmasını önermektedir. Uygulama önce polyolefinlerin non-olefinlerden klasik batma-yüzme yöntemi ile ayrılması, ardından da seçici çözünürlüğe geçerek farklı plastik grupların ayrılması şeklindedir. PET'in ayrıştırılması için kullanılabilecek klasik çözücü n-metil-2-pirolidin (NMP)'dir. Bu çözücünün seçimindeki kriterler; maliyet, toksisite ve çözücünün yeniden kullanılmasıdır [32].

4.2.2. Yüzdürme Yöntemi

J. Drelich ve ark. (1998) PVC ve PET çapaklarını alkali çözeltisiyle işleme sokarak laboratuvar koşullarında non iyonik surfaktanlarla ayrıştırılmalarını test etmişlerdir [33]. Plastik geri dönüşüm endüstrisinin karşılaştığı bir çok sorun olmakla birlikte en önemli sorunlar, ayrıştırma ve saflaştırma alanlarında yaşanmaktadır. Plastiklerin farklı çeşitlerde olması polimer geri dönüşümünün en önemli problemlerinden biridir. En güncel plastik ayrıştırma stratejileri yer çekimi ve manuel ayrıştırmadır. Ancak manuel ayrıştırma pahalı bir ayrıştırma yöntemidir. Yüksek güvenilirlikli otomatik plastik ayrıştırması ise henüz yeterince yaygınlaşmamıştır.

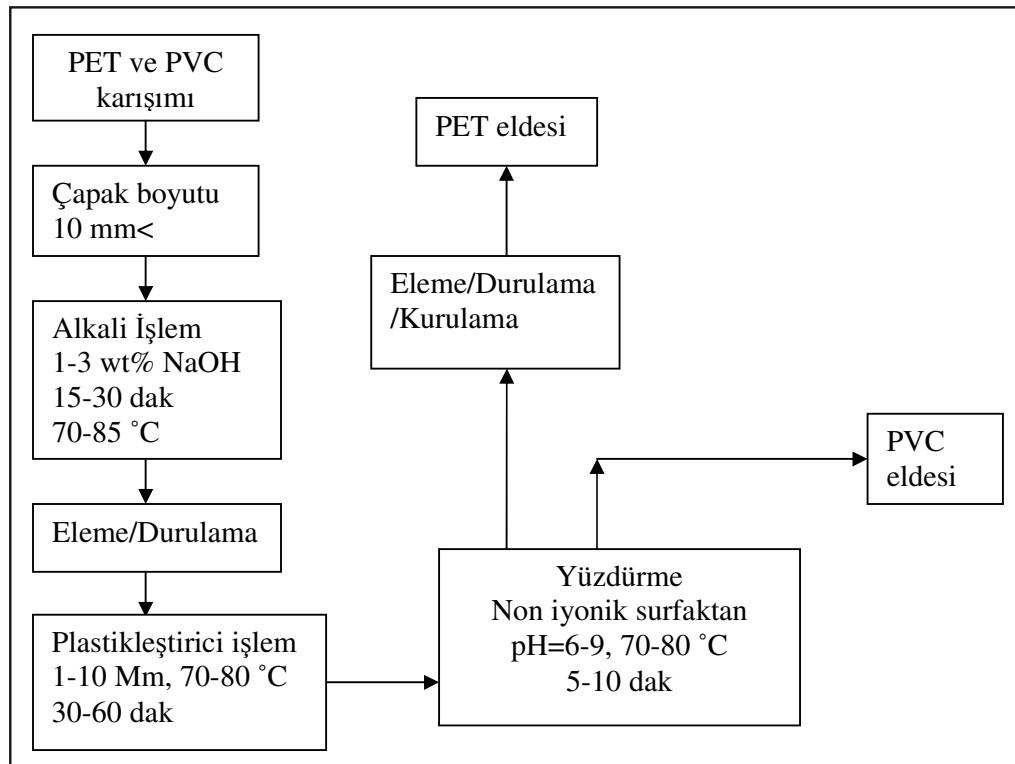
PVC ve PET yaklaşık aynı yoğunluk ve aynı hidrofobik özelliklere sahiptirler ve yüzdürme tekniği ile seçici olarak ayrıştırılabilirler. Ayrıştırma işlemi, alkali ile etkileşim ve yüzdürme olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. PVC ve PET karışımı güçlü alkali çözelti içine konulduğunda PET hidrofilik özellik gösterir, ancak PVC hidrofobik özelliktedir. Bu işlem ile PVC ve PET % 95-100 oranında birbirinden ayrılmaktadır. Bu çalışmada PET örneği; Recovery Processes International adındaki plastik geri dönüşüm teknolojileri geliştirme şirketinden alınmıştır. Bir marketten de içinde çam yağı bulunan PVC şişesi numune olarak temin edilmiştir. Şişenin içerisindeki çam yağı çıkarılmış boş şişeler etiket kağıtları ve çam yağı kalıntılarından arındırılmak için non iyonik deterjanla yıkanmıştır. Daha sonra ise suyla defalarca durulanıp kurutulmuştur. Alkali çözeltisiyle işlem için bir Denver Agitasyon Makinesi kullanılmıştır. İşlem 300- 500 gr plastik karışımının %35-45 oranında katı konsantrasyonuyla yapılmıştır. Alkali çözeltisi hazırlamak için NaOH ve saf su kullanılmıştır.

Daha sonra plastik örnekleri uygun alkali çözeltisinde işleme girip durulandıktan sonra plastikleştirici çözeltide, 30-60 dakika 70-80°C sıcaklıkta karıştırılarak tutulmuştur. Plastikleştirici (plasticizer); plastiklere veya karışımlarına katılarak daha iyi bir akış ve işlenebilirlik sağlayan ve soğukta kırılganlık özelliğini iyileştirerek malzemeyi daha elastik hale getiren kimyasal maddeye denilmektedir.

Yüzdürme ile ilgili yapılan çalışmalarda NaOH çözeltisinin PET'in hidrofobisitesini yok ederken PVC'ninkini çok az etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada PVC ve PET çapakları alkali çözeltisiyle işleme sokulmuş, bunların non iyonik surfaktanlarla ayrıştırılmaları test edilmiştir. Bu yöntem ile PVC ve PET'in %95-%99 oranında ayrıştırılabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma ayrıca PVC ve PET karışımından PET'i ayrıştırmanın her zaman iki basamaklı (alkali işlemi ve yüzdürme) bir işlemle gerçekleştirilemeyeceğini göstermiştir. Bazı şişe ürünlerindeki PVC, alkali çözeltisiyle bazen azalabilir, hatta yok olabilir. Bu tür karışımlar için ek bir basamak PVC onarımını sağlamak için işleme eklenmelidir. Yüzdürme basamağındaki PVC ve PET çapaklarının boyutu; 10 mm'den büyük olmamalıdır [33].

Yapılan çalışma Şekil 4.3'te özetlenmektedir.



Şekil 4.3. PET/PVC karışımından PVC'nin ayrıştırılmasında flotasyon prosesi

Gisela Ablas Marques ve Jorge Alberto Soares Tenorio (2000), PET ve PVC karışımlarını ayırma yöntemi olarak flotasyonu denemişlerdir [34].

PVC ve PET'in atıkta bir arada olmaları halinde ayrıştırma zor hale gelmektedir. Normal yüzdürme yöntemleri ile her iki madde de; HDPE ve PP'den kolayca ayrılabilirlerse de normal yüzdürme yöntemi ile iyi bir ayırma yapmak mümkün olmamaktadır. PET günümüzde majör geri dönüşebilen bir plastiktir, onu PP, HDPE ve PVC izlemektedir.

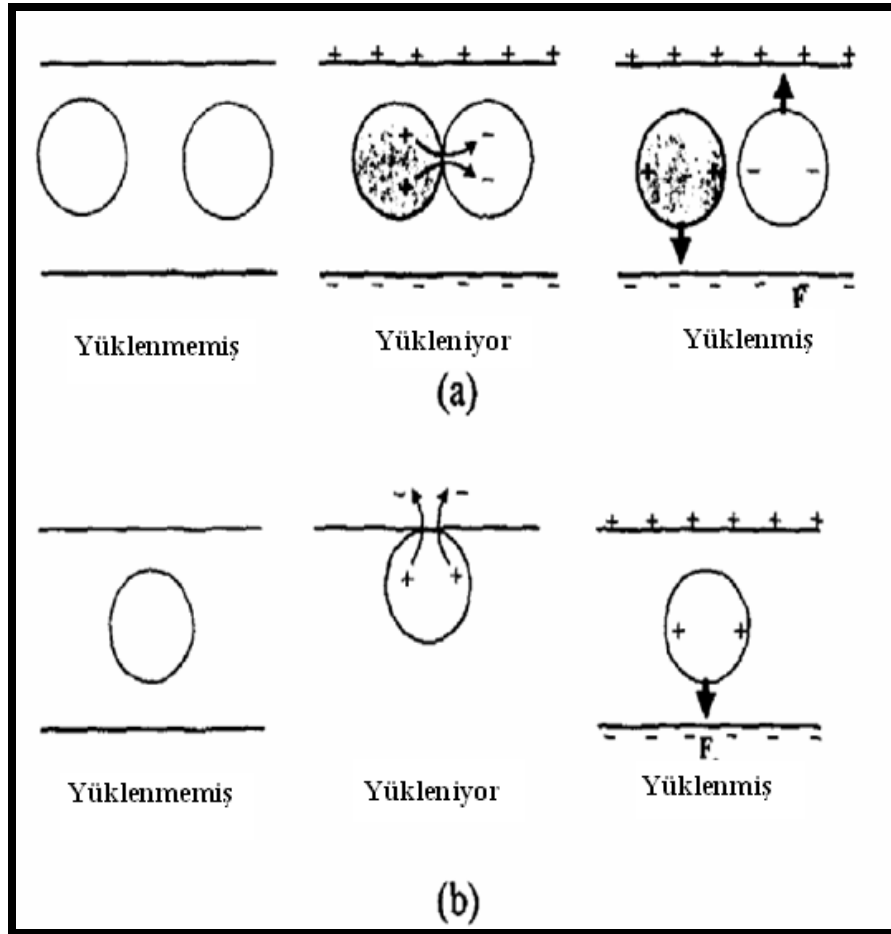
Flotasyon yöntemleri maddenin üç halini de (katı, sıvı, gaz) içermektedir. Yüzdürme teknolojisinin temel prensibi selektif olarak hidrofobik materyalin yüzeyine gaz boncuklarla temas ederek bu şekilde materyali hidrofilik hale getirmektir. Bu yöntemin temel zorluğu ise pH, işlem süresi ve partikül boyutu gibi uygun parametrelerin sağlanabilmesidir. Bu çalışmada PVC ve PET; ıslatma ajanları kullanılarak sentetik karışımlardan ayrıştırılmıştır.

Bu çalışmada PVC ve PET esaslı plastik şişeler kullanılmıştır. Her bir plastik örnek kesici bir mil yardımıyla parçalanmıştır. Yüzdürme için kullanılan örnekler karışım içerisinde aynı miktarda (10 gr) ve eşit boyutlarda kullanılmıştır. Islatma ajanı olarak kalsiyum lignin sültanat (calcium lignin sultante) kullanılmıştır. 300 mg/L surfaktan ve saf su kullanılarak 4 lt solüsyon elde edilmiştir. pH'ı ayarlamak için solüsyona HCl ve NaOH katılmıştır.

Bu çalışmada her iki plastik türü de yüzdürme açısından uygundur. Ancak seçici bir ayırma sağlamak için uygun bir surfaktan kullanılması gerekmektedir. pH etkisi yüzdürme deneyleri boyunca gözlenmiş, pH'ın 12 olduğu MIBC (metil izobutil karbinol) ajanı ile yapılan deneyde daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. PVC elde etme miktarı çözeltinin pH'ı düştükçe düşmüştür. Bu çalışmada en iyi ayrıştırmanın plastik partikül boyutu 3.36-1.70 mm aralığında olduğu sonucuna varılmıştır [34].

4.2.3. Triboelektrostatik ayırma yöntemi

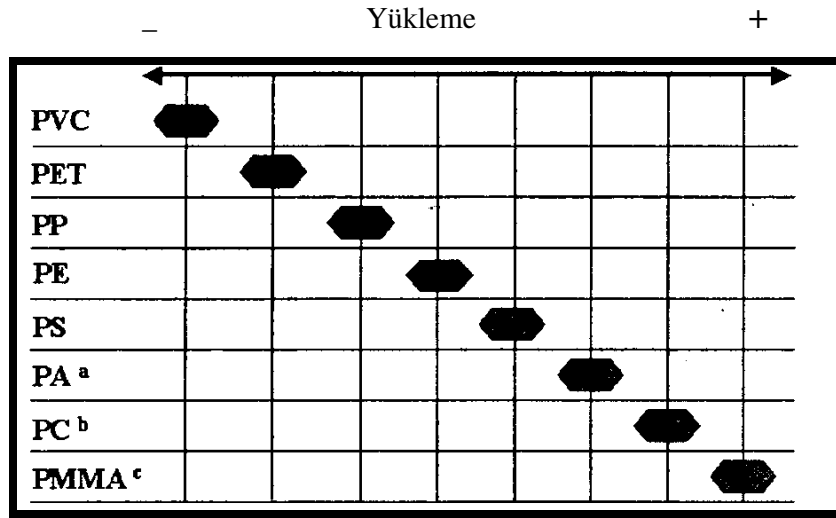
Jae-Keun Lee ve ark. (2001) yaptığı bu çalışma PET, PE, PP ve PS gibi karışık plastiklerden PVC materyalinin triboelektrostatik ayrımını içermektedir [35]. PVC ve PET parçacıkları, akışkanlaştırılmış yatak triboşarjırdaki partiküller arasında triboelektrik yükleme dizilerinin farklılığından dolayı negatif ve pozitif yüzeyle yüklere bölünmemekte ve ancak bir dış elektrik alanından geçirilerek ayrılabilirler.



Şekil 4.4. Triboelektrostatik ayırma prensipleri

a) Partikülden partiküle etki, b) Partikülden duvara etki

Partikülden partiküle etki ve partikülün duvara etkisi triboelektrofikasyonun temel prensiplerini göstermektedir. Tribocharging işleminde, temasa geçen katı katı tanecikler materyalin üzerinde bir yük oluşturmaktadır. Son uçta yükün büyüklüğü; temas sırasında meydana gelen yük transferine ve materyallerin ayrılmasından oluşan yük geri akışına bağlıdır.



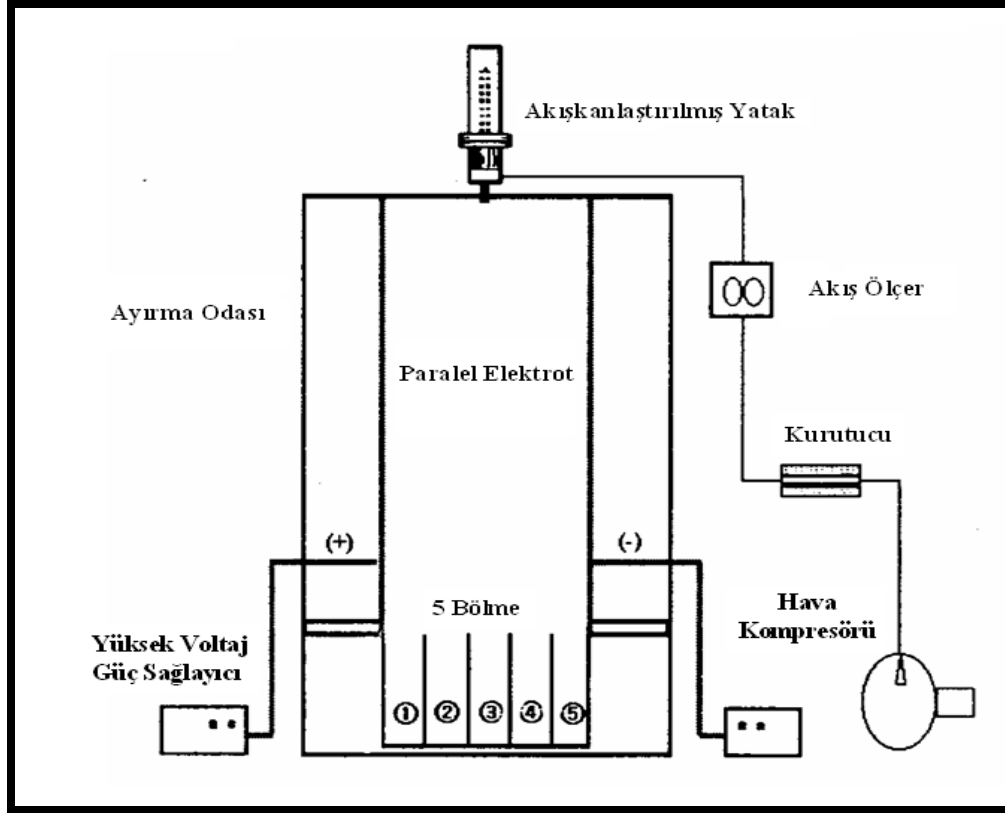
Şekil 4.5. Çeşitli plastiklerin triboelektrik yükleme serileri

- a= PA= Polyamid
b= PC=Polikarbonat
c= PMMA= Polimetilmetakrilat

Serinin daha üstündeki bir materyal daima daha aşağısındaki bir materyal ile sürtündüğünde veya ona dokunduğunda pozitif yüklenecektir. İki plastik temasa geçtiği zaman soldaki negatif olarak yüklenmektedir, sağdaki ise pozitif olarak yüklenmektedir. Parçalar ne kadar uzakta ise iki partikül arasında seçici yük değişiminin meydana gelmesi o kadar kolay olmaktadır. Örneğin PVC, PET ile temas ederse; PVC negatif yüklü, PET pozitif yüklü olmaktadır. Diğer bir şekilde eğer PET, PS ile temas ederse PET negatif yüklü, PS pozitif yüklü olmaktadır.

Bu sistem akışkanlaştırılmış yatak triboşarjırını, iki elektrot tabakalı ayırım odasını, kollektör ve yüksek voltaj güç sağlayıcısını içermektedir. Plastik partiküller akışkanlaştırılmaktadır ve akışkanlaştırılmış yatak triboşarjırı içine yüklenmektedir.

Yüklenen partiküller ayırma odası içine çekilmektedir. Oda boyunca partiküller aşağı düşerken, partiküller yüklerine bağlı olarak bir elektroda saptırılmaktadır.

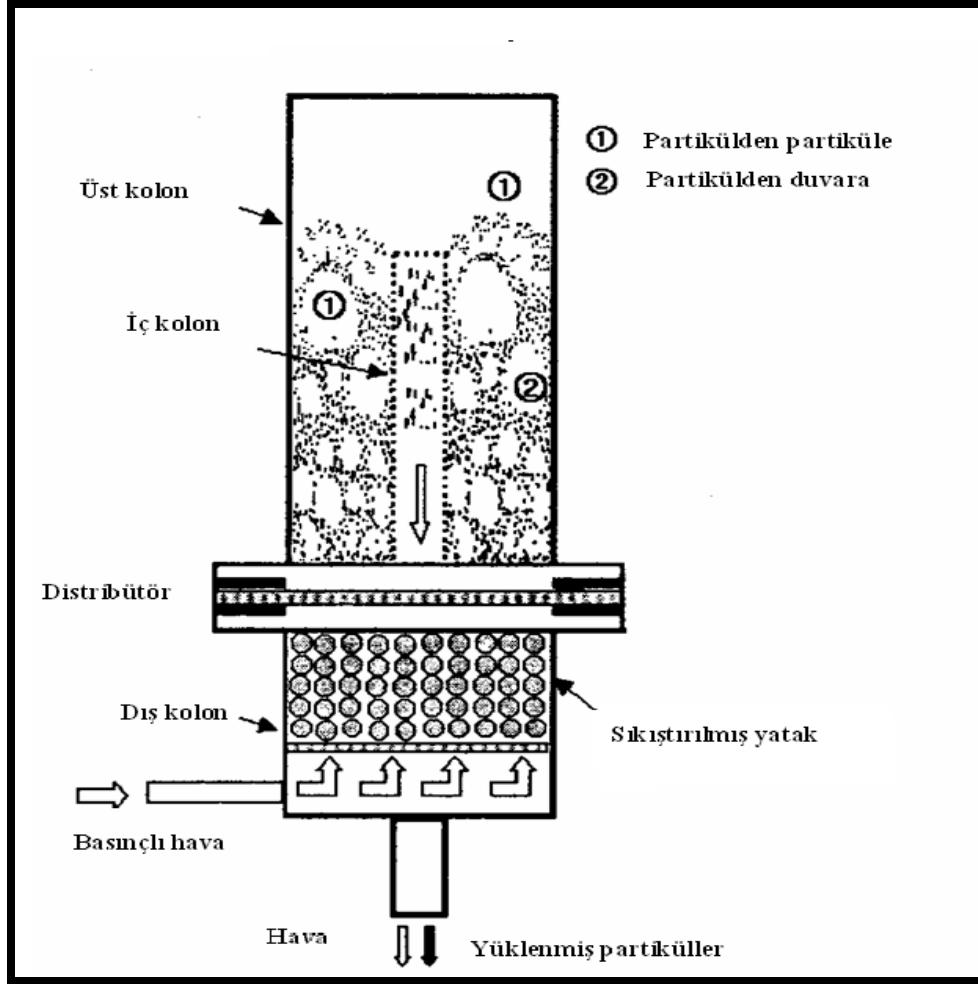


Şekil 4.6. Karışık plastiklerden PVC materyalinin ayrılması için laboratuvar ölçekli triboelektrostatik ayırma sisteminin şematik diyagramı

Akışkanlaştırılmış proses esnasında pozitif olarak yüklenen partiküller negatif elektroda doğru saptırılmaktadır ve negatif olarak yüklenen partiküller de pozitif elektroda saptırılmaktadır. Pozitif yüksek voltajlı elektroda yakın olarak yerleştirilmiş bölmeler, negatif olarak yüklenmiş materyalleri toplamaktadır. Ayırma için yetersiz yüke sahip olan materyaller orta alanda toplanmaktadır. Ayırma testlerinden sonra elektrostatik ayırmanın verimliliği elektrikli dijital terazi yardımıyla, her bir bölme içinde toplanan partiküllerin kütlesinin ölçülmesi ile elde edilmektedir.

Akışkanlaştırılmış yatak dairesel bir bölmesi olan akrilik ve bakır kap içermektedir. Yatak, ince delikleri olan bir hava distribütörü olarak kullanılan bakır plakalarla

desteklenmektedir. Yük sızıntılarını minimize etmek için akışkanlaştırılmış kolon silikon kauçuklu kalın bir tabaka aracılığı ile desteklenerek izolasyonu sağlanmıştır.



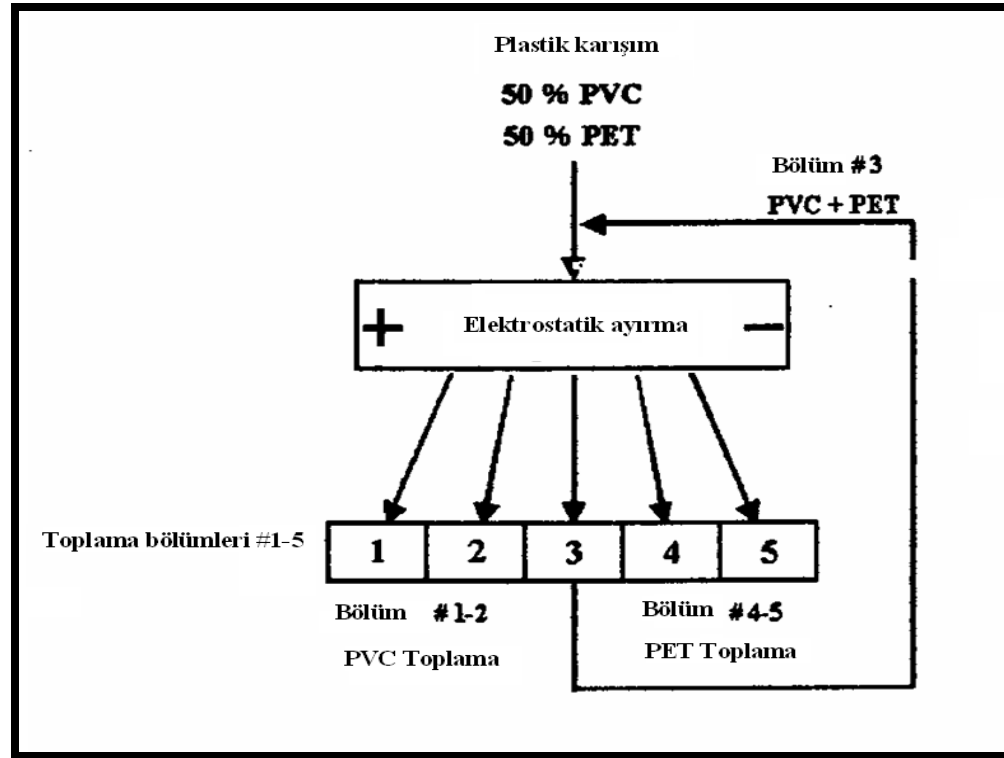
Şekil 4.7. Partiküllerin yüklenmesini gösteren şematik diyagram

Plastik partiküller; akışkanlaştırılmış yatak içinde basınçlı hava ile akışkanlaştırılmakta olup, partikülden partiküle ve partikülden duvara sürtünme ile yüklenmektedir. İki materyal temas ettirildiğinde yüklerin ayrılma mekanizması elektron değişikliği ile açıklanabilir. İki materyal arasında transfer olan elektronların sayısı ve yönü materyallerin kimyasal kompozisyonu, yüzey nemi ve pürüzlülüğü, partikülün alanı ve şekli, triboşarjının tipi, temas esnasındaki materyalin yönü, temas alanı ve süresi ve materyalin nispi hızı gibi çeşitli değişkenlere bağlıdır.

Bu çalışmada PVC, PE, PET, PS ve PP kullanılmıştır. Deney çapak formunda, düzensiz şekilde, ebat aralığı 1,4-2 mm olan partiküllerle yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Triboelektrostatik ayırım testi için deneysel koşullar

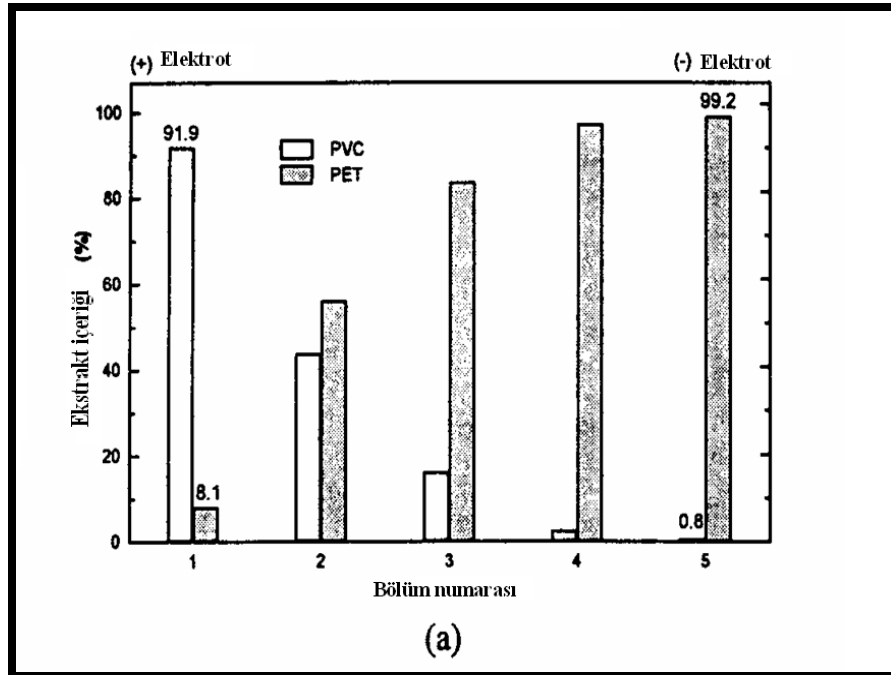
Parametre	Değer
Triboşarjır	Akışkanlaştırılmış yatak
Plastik partiküller	PVC, PET, PP, PE, PS
Partikül boyutu	1,4-2 mm
Elektrik alan kuvveti	6 kV/cm
Hava akım oranı	110 lpm
Sıcaklık	18-22 °C
Nispi nem	% 43-54



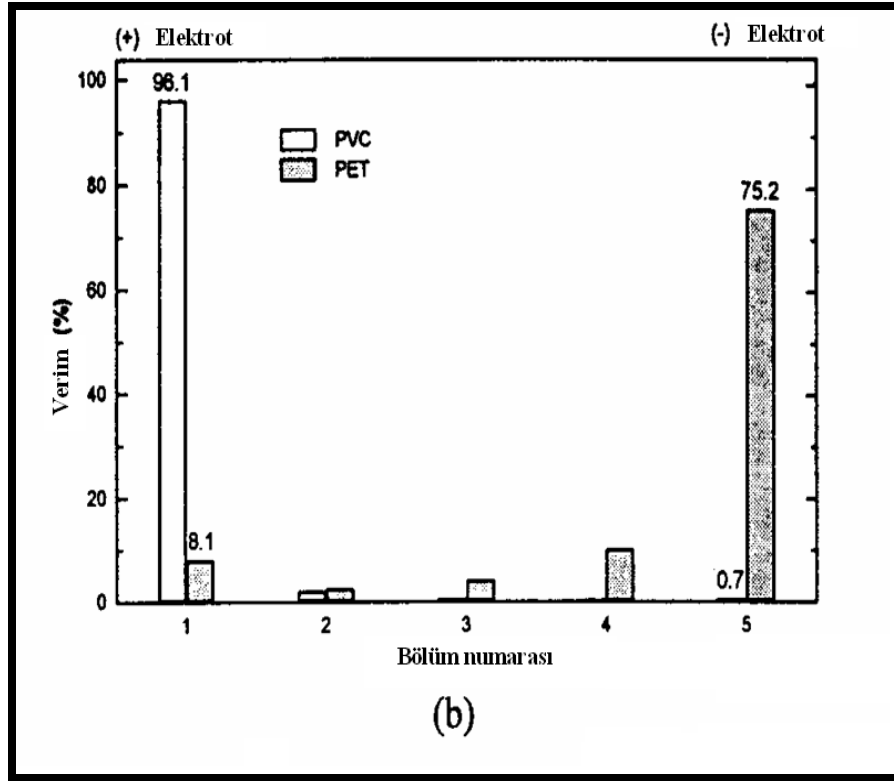
Şekil 4.8. Triboelektrostatik ayırım

$$\begin{aligned}
 \text{Bölüm 1'de PVC verimi} &= \frac{\text{Bölüm 1'de PVC miktarı}}{\text{Bölüm 1-5 PVC miktarı}} & \text{Bölüm 5'de PET verimi} &= \frac{\text{Bölüm 5'de PET miktarı}}{\text{Bölüm 1-5 PET miktarı}} \\
 \text{Bölüm 1'de PVC ekstrakt içeriği} &= \frac{\text{Bölüm 1'de PVC miktarı}}{\text{Bölüm 1'de Toplam miktar}} & \text{Bölüm 5'de PET ekstrakt içeriği} &= \frac{\text{Bölüm 5'de PET miktarı}}{\text{Bölüm 5'de Toplam miktar}}
 \end{aligned}$$

İki bileşenli karışık plastik PVC ve PET için PVC partiküllerinin çoğu (triboserinin sol tarafında olan) bölüm #1 ve #2'de toplanmaktadır. PET partikülleri (triboserinin sağ tarafında olan) bölüm #4 ve #5 te toplanmaktadır. Ortadaki bölüm #3'te PVC ve PET; prosesin ikinci bir safhasına ihtiyaç duymaktadır. Bölüm #1'deki PVC verimi, bölüm #1-5'te toplanan PVC kütlesi ile bölüm #1'de toplanan PVC kütlesinin oranıyla tanımlanmaktadır. Her bir bölmede toplanan materyaller tartılarak ve ekstrakt içerikleri dikkate alınarak, her bir bileşen için ekstrakt içeriği ve verim hesaplanabilmektedir.



Şekil 4.9. PVC ve PET materyallerinin sürtünme ekstrakt içeriği



Şekil 4.10. PVC ve PET materyallerinin verimi

Seperator 10 g/dak partikül besleme hızında, 6 k V/m elektrik alan şiddetinde PVC ve PET'in %50/50 karışımı durumunda işletilmektedir. Ekstrakt içeriği şekil 4.9'da görülmektedir. Bölme #1, %91,9 saf PVC toplarken, bölme #5 %99,2 saf PET toplamaktadır. Şekil 4.10'da gösterildiği gibi PVC ve PET'in veriminde bölme #1 PVC'nin kütle olarak %96,1'ini toplamaktadır. Buna rağmen geride kalan bölme #2-5 bölmeleri, %3,9 toplamaktadır. PET durumunda ise PET'in kütle olarak %75,2'si bölme #5'te toplanmaktadır. PVC partiküllerinin çoğu negatif olarak yüklenmiş durumdadır (triboserilerinin sol tarafında olan) ve bölme #1 ve bölme #2 'de toplanmaktadır. PET partikülleri ise (triboserilerin sağ tarafında olan) pozitif yüklenmektedir ve Şekil 4.10'da görüldüğü gibi bölme #4 ve #5'te toplanmaktadır. PVC ve PET materyallerinin karışımından yaklaşık %96,1 verim ile yüksek ölçüde konsantre olmuş PVC % 91,9 bölme #1'de elde edilmektedir. Ortadaki bölme #3'te PVC'nin ekstrakt içeriği daha düşüktür ve prosesin ikinci bir aşamasına ihtiyaç duymaktadır.

Çizelge 4.2. İki bileşenli karışık plastikteki PVC uzaklaştırma için elektrostatik ayırımın deneysel sonucu

Test	Karışım	Karışım Oranı	Ekstrakt İçeriği	Verim (%)
# 1	PVC	50	90.0	98.2
	PET	50	98.9	85.3
# 2	PVC	50	98.3	98.7
	PP	50	99.2	96.6
# 3	PVC	50	96.0	99.0
	PE	50	99.9	96.3
# 4	PVC	50	99.2	96.3
	PS	50	98.5	99.2

Çizelge 4.2 plastiklerin birkaç farklı karışımını ve akışkanlaştırılmış yatak kullanılarak yapılan deneylerin bir serisini özetlemektedir. PVC ve diğer partiküller düşünüldüğü gibi, akışkanlaştırılmış yatak triboşarjında birbirleriyle temas ettiklerinde PVC partikülleri (triboserilerin sol tarafında olan) negatif yüklü olmak için bir eğilim göstermektedir ve partiküllerin çoğu bölme #1 ve bölme #2 'de toplanmaktadır. Diğer partiküller ise (triboserilerin sağ tarafında olan) pozitif olarak yüklenmektedir ve bölme #4 ile #5'te toplanmaktadır. Böylece prosesin tek bir aşaması için her bir elektrotta en yakın dört bölmenin içeriğini birleştirerek yanma durumunda ki tehlikeli hidrojen klorid gazını üreten PVC'yi uzaklaştırmak için ayırma deneyi, %96'dan fazla verim ile saf ekstrakt içeriğini (%90 veya daha fazla) sağlayarak yukarıdaki plastiklerin tümü için triboelektrifikasyonun mükemmelliğini göstermektedir. Bu sonuç farklı polimerler arasındaki ayırma verimliliğinin triboserilere bağlı olduğunu göstermektedir ve bu sonuç her bir materyalin triboseriye uzaklığı ile orantılıdır.

Sonuçta bu çalışmada akışkanlaştırılmış yatak triboşarjını kullanarak, triboelektrostatik ayırma tasarlanmıştır ve yanmadan kaynaklanan tehlikeli hidrojen klorid ve dioksinleri açığa çıkaran PVC'nin ikili plastik karışımlarından PVC materyalini uzaklaştırma konusu değerlendirilmiştir. Yüksek konsantrasyonlu PVC (%91,9) tek aşamalı bir süreç ile PVC ve PET materyalinin karışımından yaklaşık

%96,1 verim ile geri kazanılmaktadır. PET, PP, PE ve PS gibi iki bileşenli karışık plastiklerden PVC'nin uzaklaştırılması için ayırım sonuçları %90'dan daha fazla saf ekstrakt içeriği ile %96-99 geri kazanımı göstermektedir. Akışkanlaştırılmış yatak triboşarjırını kullanarak triboelektrostatik ayırım sistemi atık plastik geri dönüşümü için karışık plastikten PVC'nin uzaklaştırılması için etkili bir metot olma potansiyelini göstermektedir [35].

5. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM

5.1. Kullanılan Materyaller

Polietilentereftalat (PET): Tüketim sonrası toplanmış ve kırma makinesinden geçirilerek çapak haline getirilmiş PET ambalaj şişe atıkları kullanılmıştır. Bu materyal PET geri dönüşümü yapan bir tesisten temin edilmiştir.



Resim 5.1. Atık PET çapak örneği [39]

Polivinilklorür (PVC) : Yine tüketim sonucu toplanmış ve kırma makinesinden geçirilerek çapak haline getirilmiş PVC ambalaj şişe atıkları kullanılmıştır. Bu materyal PET geri dönüşümü yapan bir tesisten temin edilmiştir.



Resim 5.2. Atık PVC çapak örneği [39]

Fenol: PET'in çözücüsü olarak Merck ürünü C_6H_6O fenol kullanılmıştır.

Dimetilamin: PVC'nin çözücüsü olarak MG 45,09 dimetilamin ($(CH_3)_2NH$) kullanılmıştır.

Benzilalkol: Yine PVC'nin çözücüsü olarak benzilalkol kullanılmıştır.

Tetrakloreten: Kütlece % 60'lık 1,1,2,2 tetrakloreten ($C_2H_2Cl_4$) kullanılmıştır.

Potasyum hidroksit: Merck ürünü KOH çözeltisi kullanılmıştır [36].

5.2. Deneysel Yöntem

5.2.1. PET ve PVC'nin çözünürlük deneyleri

Bir polimerik maddenin çözünmesi iki aşamada gerçekleştirilen yavaş bir olaydır. Çözücü molekülleri önce polimer içine yavaş yavaş girerek şişkin bir jel oluşturur. Polimer molekülleri ile çözücü arasındaki karşılıklı etkileşimler kuvvetli ise ikinci aşamada polimer, çözücü içerisinde gerçek bir çözelti vermek üzere çözünebilir. Polimer molekülleri arasındaki çapraz bağlar, kristalik ya da kuvvetli hidrojen bağlarının bulunması başlangıçta oluşan jelin dağılmasını, bir başka deyişle polimerin çözülmesini önleyebilmektedir. Kristal yapıli polimerlerin çözünürlüğü amorf polimerlere göre çok düşüktür. Kristal yapıli bir polimer erime noktasının oldukça altındaki sıcaklıklarda hiçbir çözücüde çözünmezler. Amorf bölgelere girebilen çözücü molekülleri polimeri kısmen şişirir ama kristal yapısını bozarak polimeri çözemez.

Polimerlerin şişme veya çözünme yeteneğı polimer ve çözücünün kimyasal yapısına, polimerin mol kütesine, polimer zincirinin esnekliğıne, makro moleküllerin istiflenme yoğunluğına, faz haline, zincirin kimyasal yapısındaki heterojenliklere, ağ yapının varlığına ve yoğunluğına ve ortamın sıcaklığına bağılıdır [37].

Deneme (1)

0.5224 g tartılan PET ve 0.6420 g tartılan PVC çapak örnekleri öncelikle karıştırılmıştır. Karışıma PET'in çözücüsü fenol eklenerek tekrar karışması sağlanmıştır. 48 saat bekleme süresinden sonra çözelti; manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak ısıtılmış ve süzülmüştür. PET'in çözücüsü fenol "Polymer Handbook" kaynağına göre seçilmiştir [38].

Deneme (2)

5,0446 g tartılan PET ve 5,089 g tartılan PVC çapak örnekleri öncelikle karıştırılmıştır. Karışıma PVC'nin çözücüsü dimetilamin eklenerek tekrar karışması sağlanmıştır. 48 saat bekleme süresinden sonra çözelti; manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak ısıtılmış ve süzülmüştür. PVC'nin çözücüsü dimetilamin "Polymer Handbook" kaynağına göre seçilmiştir [38].

Deneme (3)

0,1050 g tartılan PVC çapak örneği; PVC'nin çözücüsü benzil alkolde çözülmeye çalışılmıştır. PVC'nin çözücüsü benzil alkol "Polymer Handbook" kaynağına göre seçilmiştir [38].

Deneme (4)

0,0539 g tartılan PET çapak örneği kütlece %60'lık 1,1,2,2 tetrakloreten ($C_2H_2Cl_4$) ve %40'lık fenol karışımının içine atılmıştır. Manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak ısıtılan karışım süzülmüştür. PET' e eklenen %60'lık 1,1,2,2 tetrakloreten ($C_2H_2Cl_4$) ve %40'lık fenol "Polymer Handbook" kaynağına göre seçilmiştir [38].

Deneme (5)

1,0282 g tartılan PET çapak örneği ve 1,0931 g tartılan PVC çapak örneği karıştırılmış ve %1'lik KOH çözeltisinde; 1 saat süreyle geri soğutucu altında tepkimeye sokulup, hidrolizlenme sonucu çözünmenin sağlanmasına çalışılmıştır.

5.2.2. PET ve PVC örneklerinin IR spektroskopisi ile spektrumlarının alınması

Yukarıda çözelti olarak hazırlanan PET ve PVC örneklerinin, KBr tablet üzerine damlatılarak IR Spektroskopisi ile spektrumları alınmıştır.

5.2.3. PET ve PVC karışım örneğinden elektrostatik yöntemle PVC'nin ayrılması

Laboratuvar şartlarında, Kısmet Kimya A.Ş. PET geri dönüşüm tesisinden temin edilen PET ve PVC şişe çapak örneklerinden oluşan karışım, elektrostatik ayırım yöntemi kullanılarak ayrılmaya çalışılmıştır.

Deneyde ebat aralığı yaklaşık 1,8-2 mm olan PET ve PVC çapak örnekleri kullanılmıştır. Elektrostatik ayırında PET ve PVC örnekleri öncelikle suyla yıkanmıştır. Ayrıca üzerindeki yükün uzaklaşabilmesi için çapaklar kurutulmuş ve eşit yüzey şartları sağlanmıştır. Deney oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle PET ve PVC çapak örnekleri her birinden 3 g olmak üzere, hassas terazide tartılmış ve eşit miktarda karıştırılmıştır. Hazırlanan bu karışıma, bir üfleme sistemi yardımıyla 10 dakika boyunca basınçlı hava verilerek parçacıkların yüklenmesi sağlanmıştır. Bu kapalı sistem içinde savrulan parçacıklar; Resim 5.3'de görüldüğü üzere, PET ve PVC'nin birbiriyle sürtünmesi ve konulduğu cam kabın duvarlarına temas etmesi ile yüklenmektedir.



Resim 5.3. Yükleme sistemi [39]

Elektrostatik ayırım işlemi için Resim 5.4'te gösterilen düzenek kurulmuştur. Resimden açıkça görülebileceği gibi beher içine aralarında 1,5 cm mesafe olan 4X4 cm ebatlarında iki bakır levha elektrot olarak yerleştirilmiştir. Ardından elektrotlara DC 5000 V voltaj verilerek elektrotlar arasında bir elektrik alan oluşturulmuştur. Daha sonra kompresör yardımıyla yüklü PET ve PVC çapaklarının bulunduğu alana basınçlı hava verilerek, çapakların hareket etmesi ve yerleştirilen tüpten aşağıya düşmesi sağlanmıştır.



Resim 5.4. Elektrostatik ayırım düzeneği [39]

Bu yöntemle çapaklar yüklerine bağlı olarak elektriksel alanın etkisi ile pozitif ve negatif elektroda saptırılmak istenmiştir. Bu ayırma işlemi, fiziksel olarak, pozitif yüklü parçacıkların elektrik alan ile aynı yönde negatif yüklü parçacıkların ise ters yönde hareket ettiği gerçeğine dayanır.

5.2.4. Anket yöntemi

Geri dönüşümünün bu kadar önemli olduğu ve gittikçe artan kullanımı nedeniyle plastik atıklar arasında ilk sıralarda yer alan PET atıkların yeniden işlenebilirliği atığın geri dönüşüm sürecindeki kalitesine bağlıdır. Bu nedenle geri dönüşüm sürecindeki aşamalar göz önüne alınarak, PET'in geri dönüşümünü etkileyen faktörleri ortaya çıkarabilmeyi amaçlayan ve 19 sorudan oluşan bir anket formu düzenlenmiştir. Bu anket ülkemizde faaliyet gösteren 16 adet PET geri dönüşüm tesisine uygulanmıştır.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1. PET ve PVC'nin Çözünürlük Bulguları

Deneme (1)

0.5224 g PET ve 0.6420 g PVC çapak örnekleri tartılarak öncelikle karıştırılmıştır. Karışıma PET'in çözücüsü fenol eklenerek tekrar karışması sağlanmıştır. 48 saat bekleme süresinden sonra çözelti; manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak ısıtılmış ve süzölmüştür.

$$\text{Karışım} = 0.5224 + 0.6420 = 1.1644 \text{ g}$$

$$\text{Süzgeç kağıdı ağırlığı} = 1.1320 \text{ g}$$

$$\text{Süzgeç kağıdı} + \text{çökelek} = 2.4233 \text{ g}$$

$$2.4233 - 1.1320 = 1.2913 \text{ g}$$

$1.1644 - 1.2913 = -0.1269 \text{ g}$ karışımın ağırlığında artış olduğu ve çözünmenin gerçekleşmediği görölmüştür.

Deneme (2)

5.0446 g PET ve 5.089 g PVC çapak örnekleri tartılarak öncelikle karıştırılmıştır. Karışıma PVC'nin çözücüsü dimetilamin eklenerek tekrar karışması sağlanmıştır. 48 saat bekleme süresinden sonra çözelti; manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak ısıtılmış ve süzölmüştür. Bekleme süresinin sonunda PVC çapakların kenarlarında gözle görülür bir beyazlık ve şişme olduğu gözlenmiştir.

$$\text{Karışım} = 5.0446 + 5.089 = 10.1336 \text{ g}$$

$$\text{Süzgeç kağıdı ağırlığı} = 1.0964 \text{ g}$$

$$\text{Süzgeç kağıdı} + \text{çökelek} = 9.9299 \text{ g}$$

$$9.9299 - 1.0964 = 8.8335 \text{ g}$$

$$10.1336 - 8.8335 = 1.3001 \text{ g madde çözeltiye geçmiştir.}$$

Deneme (3)

0,1050 g PVC çapak örneği tartılarak; PVC'nin çözücüsü benzil alkolde çözülmeye çalışılmıştır.

Süzgeç kağıdı ağırlığı= 1,0701 g

Süzgeç kağıdı+ çökelek = 1,1896 g

$1,1896 - 1,0701 = 0,1195$ g

$0,1050 - 0,1195 = -0,0145$ g çözünmenin olmadığı hesaplanmıştır.

Deneme (4)

0,0539 g tartılan PET çapak örneği hazırlanan kütlece %60'lık 1,1,2,2 tetrakloreten ($C_2H_2Cl_4$) ve %40'lık fenol karışımının içine atılmıştır. Manyetik karıştırıcıda ısıtılan karışım süzölmüştür. PET çapaklarda sararma ve şişme gözlenmiştir.

Süzgeç kağıdı ağırlığı= 0,8765 g

Süzgeç kağıdı+ çökelek = 0,8935 g

$0,8935 - 0,8765 = 0,017$ g

$0,0539 - 0,017 = 0,0369$ g madde çözeltiye geçmiştir.

Deneme (5)

1,0282 g tartılan PET çapak örneği ve 1,0931 g tartılan PVC çapak örneği karıştırılmış ve %1'lik KOH çözeltisinde; 1 saat süreyle geri soğutucu altında tepkimeye sokulup, hidrolizlenme sonucu çözünmenin sağlanmasına çalışılmıştır.

Karışım= $1,0282 + 1,0931 = 2,1213$ g

Süzgeç kağıdı ağırlığı= 1,4650 g

Süzgeç kağıdı+ çökelek = 3,4826 g

$3,4826 - 1,4650 = 2,0176$ g

$2,1213 - 2,0176 = 0,1037$ g madde çözeltiye geçmiştir.



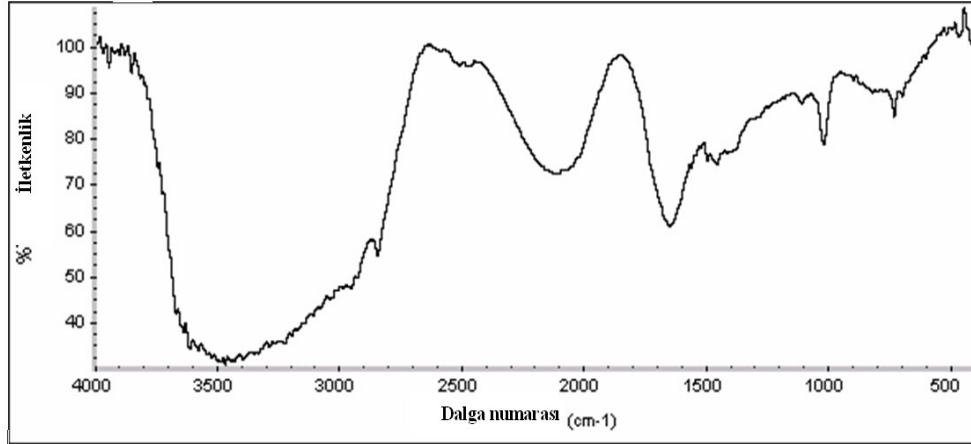
Resim 6.1. Geri soğutucu altında gerçekleştirilen tepkime [39]

6.2. PET ve PVC Örneklerinin IR Spektroskopisi ile Spektrum Bulguları

Yukarıda çözelti olarak hazırlanan PET ve PVC örneklerinin IR Spektroskopisi ile spektrumları alınmıştır.

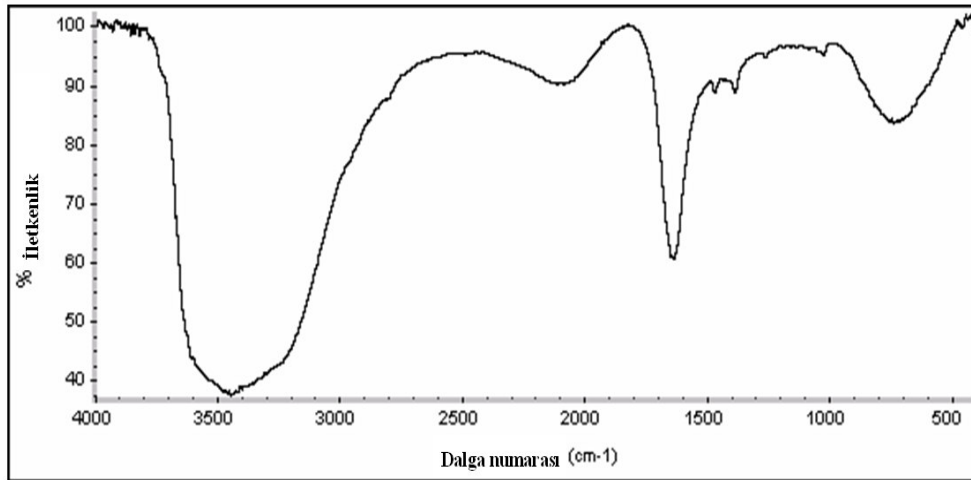
Öncelikle yapılan çözünürlük deneylerinden elde edilen çökelekler toz haline getirilmeye çalışılmış ancak tamamen toz haline getirilememesi ve KBr ile homojen bir karışım sağlanamadığı için IR spektrumları alınamamıştır. Bu nedenle yalnızca süzöntülerin IR spektrumları alınabilmiş ancak yorumlanmaya yatkın spektrumlar elde edilememiştir.

Deneme (1)



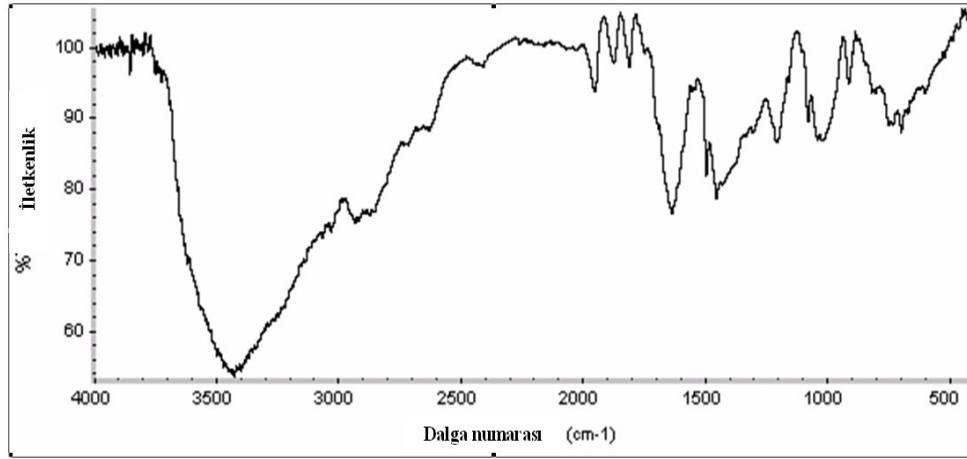
Şekil 5.1. Deneme (1) IR spektrumu

Deneme (2)



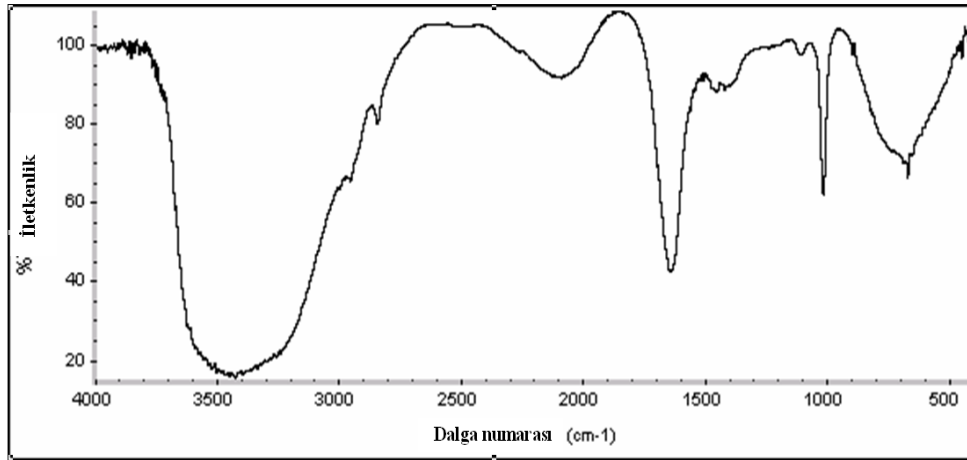
Şekil 5.2. Deneme (2) IR spektrumu

Deneme (3)



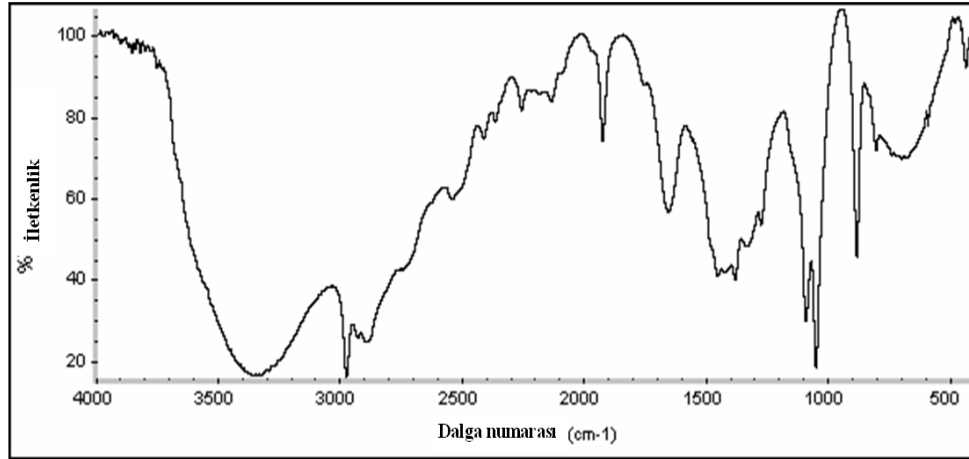
Şekil 5.3. Deneme (3) IR spektrumu

Deneme (4)



Şekil 5.4. Deneme (4) IR spektrumu

Deneme (5)



Şekil 5.5. Deneme (5) IR spektrumu

6.3. Elektrostatik Yöntemle PVC'nin Ayrıştırılması Bulguları

PET ve PVC'den oluşan karışıma basınçlı havanın etkisiyle yükleme yapıldığında; çapakların birbirine sürtünmesi ve konuldukları kabın duvarına temas etmeleri sonucu bir yükleme olmuştur.

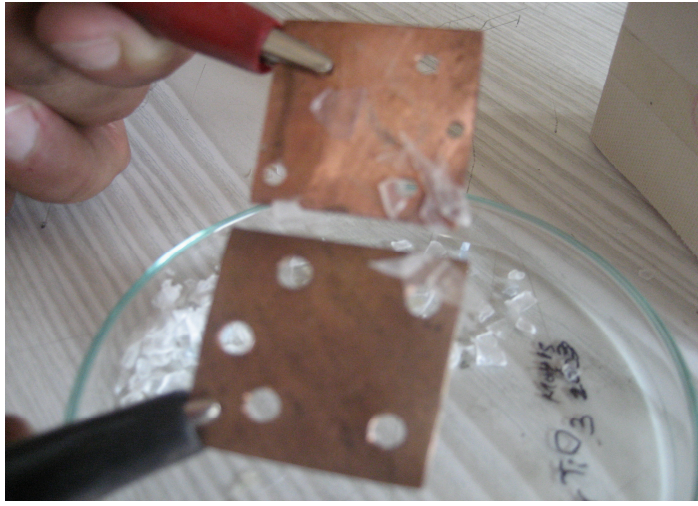
Bu yüklemekten sonra, DC 5000 V gerilim uygulayarak oluşturulan elektriksel alanın etkisiyle ayırım kabına yukarıdan bırakılan PET ve PVC çapak karışımındaki PET'in yüküne bağlı olarak negatif elektroda saptığı, PVC'lerin ise pozitif elektrota saptığı, geriye kalan bir miktar çapağın ise kabın orta bölmesine düştüğü ve bu düşen parçaların ebat olarak diğerlerinden daha büyük ve kalın çapaklar olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bir miktar çapağın ise kompresörün hızı ile kabın dışına fırladığı izlenmiştir.

Elektrostatik ayırımın verimliliğini hesaplayabilmek için hassas terazide pozitif elektroda ve negatif elektroda sapan, kabın orta bölmesine düşen ve kabın dışına fırlayan parçaçıklar tartılmıştır. Buna göre pozitif elektroda sapan PVC miktarı 2.1 g,

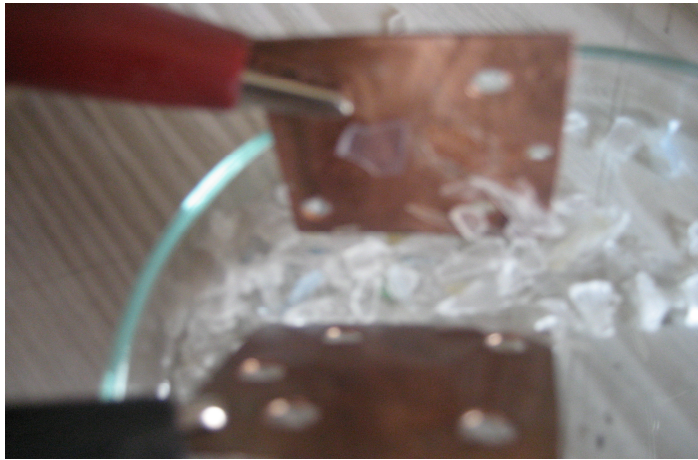
negatif elektroda sapan PET miktarı 1.7 g, kabın orta bölümüne düşen çapakların miktarı 1.3 g ve kaçan çapakların miktarı 0.9 g olarak tartılmıştır. Buna göre;

$$\text{PVC verimi} = \text{Negatif elektroda sapan PVC miktarı} \div \text{toplam PVC miktarı} \times 100 \\ = 2.1 \div 3.0 \times 100 = 70 (\%)$$

$$\text{PET verimi} = \text{Pozitif elektroda sapan PET miktarı} \div \text{toplam PET miktarı} \times 100 \\ = 1.7 \div 3.0 \times 100 = 56.6 (\%)$$



Resim 6.2. Ayrılan PET ve PVC çapaklar [39]



Resim 6.3. Elektrostatik ayırımla ayrılan çapaklar [39]

Bu çalışmada PET ve PVC'nin elektrostatik yüklemeye cevap verdiği net bir şekilde gözlenmiştir. Ayrıca çapak boyutunun daha küçük olması ve elektriksel alan şiddetinin artırılması durumunda ayrışmanın daha net olacağı ve ortada biriken çapakların yüklerine bağlı olarak elektrotlara sapacağı tahmin edilmektedir. Bu deneyde laboratuvar şartlarında en fazla DC 5000 V elektriksel alan uygulanabilmektedir.

6.4. Anket Bulguları

16 PET geri dönüşüm tesisine gönderilen anket formlarına, 12 tesis cevap vermiştir. Gelen anket formlarına göre;

-Ülkemiz de anket uygulamasına katılan iki firmanın, 18 000 ton/yıl gibi ciddi bir geri dönüşüm kapasitesi ile faaliyet gösterdiği,

-Tesislerin hepsinin çöp depolama alanlarında yapılan ayıklama çalışmalarından elde edilen atıkları tesislerine kabul ettikleri,

-Ayrıca sokak toplayıcıları ve kaynağında ayrı toplama çalışmaları yolu ile toplanan atıkları da tesislerine kabul ettikleri,

-12 tesisten 7 tesisin PET şişe ve/veya çapak ithalatı yaptığı, bunun esas nedenin bu atıkların daha temiz ve ucuz olmasının yanı sıra ülkemizdeki hammadde sıkıntısı olduğu,

-PET geri dönüşüm tesislerine kabul edilen PET atıkların içerisinde PVC, PE, PP, PS, PC gibi diğer plastik atıkların ve genellikle bira şişelerinde kullanılan multi layer 3 katlı polyamid/PET atıkların da olduğu,

-PET atıklar içerisinde bulunması muhtemel PVC atıkların ayrılmasında sadece iki tesisin otomatik ayırım yöntemini kullandığı, diğerlerinin manuel olarak bu ayırmayı gerçekleştirdiği,

-Başarılı bir PET geri dönüşümü için intrinsik viskozite, su içeriği, çapak boyutu, PVC içeriği, metal içeriği gibi parametrelerin yanı sıra pH kalıntısı, taş, renk, kalan yapışkan gibi diğer kontaminasyon oranlarının kontrol edildiği,

-Tüm tesislerin elyaf sektörüne hammadde sağladığı, bunlardan üçünün aynı zamanda levha ve şerit üreten tesislere de hammadde temin ettiği anlaşılmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelen ve sayısız kullanım alanlarıyla dikkatleri üzerine çeken plastikler ve bu plastiklerin geri dönüşümü konusu ele alınmıştır. Plastik; ambalaj, otomotiv, elektronik, iletişim, sağlık ve daha sayısız sektörde olmazsa olmaz kabul edilen bir malzemedir ve kullanımı her geçen gün artmaktadır. Özellikle ambalaj sektöründe Avrupa örneğine bakıldığında, tüm tüketim malzemelerinin %50'sinin, ambalajların ise %17'sinin plastik olduğu görülmektedir.

İşte bu derece üretimi ve buna bağlı tüketimi fazla olan plastik malzemeler; tüketimleri sonrası atık formunda ve önemli bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bu aşamada, plastik atıkların oluşturduğu çevresel sorunların giderilmesinde atıkların geri dönüştürülüp, tekrar hammadde sürecine sokulması büyük önem arz etmektedir.

Araştırmaya öncelikle, katı atıkların toplanması, taşınması, geri kazanılması ve bertarafı ile ilgili tanımlarla başlanılmış, geri kazanım çalışmalarıyla ilgili ülke uygulamalarının incelenmesi ile devam edilmiş, daha sonra da ambalaj atıkları içerisinde önemli bir yüzdeye sahip plastik atıklar ve bu atıklar içerisindeki PET atıkların toplama sistemi ile geri dönüşüm aşamaları ortaya konulmuş, ayrıca PET atıkların geri dönüşümünde istenmeyen madde PVC'nin ayrılma teknikleri irdelenerek, elektrostatik yöntemle PET ve PVC ayrılmaya çalışılmıştır.

Yine ülkemizde PET'in geri dönüşümü faaliyetini gösteren 16 tesise bir anket uygulaması yapılmıştır. PET'in geri dönüşümünü etkileyen faktörleri ortaya çıkarabilmeye yönelik olarak yapılan anket uygulamasından ve diğer yöntemlerden elde edilen bulgular ışığında; aşağıda belirtilen değerlendirme ve sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Ülkemizde atık önemli bir çevresel sorundur. Bu çevresel sorunun giderilmesinde üç ana politikanın izlenmesi ve etkin bir biçimde uygulanması gerekmektedir.

- Atığın daha oluşmadan kaynağında azaltılması
- Değerlendirilebilir atıkların geri kazanımı
- Geri kazanılamayan atıkların güvenli bir şekilde bertarafı

2) Başarılı geri dönüşüm çalışmaları, sağlıklı ve etkin bir geri kazanım sistemi için atıkların kaynağında ayrı toplanması şarttır. Ülkemizde Çevre ve Orman Bakanlığı koordinasyonunda, bazı büyükşehir belediyelerinde, turistik bölgelerde ve bazı düzenli depolama yapan illerde başlatılan çalışmaların ülke geneline yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu sistemin kurulmasında Türkiye, kaynakta ayrı toplama sistemini kurmuş ve başarıyla sürdüren diğer ülke uygulamalarından faydalanmalıdır.

3) Atık bir çevresel sorun olmakla birlikte aynı zamanda sosyal bir sorundur. Bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi için eğitim şarttır. Özellikle değerlendirilebilir atıkların kaynağında ayrı toplanması çalışmalarında halkın rolü büyüktür. Bu çalışmalarda; tüketicilere ambalaj atıklarını diğer organik atıklardan ayrı olarak biriktirmesi gereği anlatılmalıdır. Kamuoyunun bilinçlenmesi ve duyarlılığın geliştirilmesi için eğitim çalışmalarının yapılması ve bu çalışmaların sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir.

4) Kullanımı gittikçe artan plastikler, günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Özellikle ambalaj olarak kullanılan plastiklerin, kullanım ömürlerinin kısa olmasından dolayı geri dönüşümü önem arz etmektedir. Bu tür atıklar geri kazanıldığında depolama alanlarının ömrü uzamakta, katı atık taşıma ve depolama alanlarının işletme maliyetleri düşmekte ve yenilenemeyen hammadde kaynaklarının korunması sağlanmaktadır.

5) Yapılan anket sonuçlarına göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir;

- PET geri dönüşümünü etkileyen en önemli faktör; atık PET'in diğer kirleticilerle kontaminasyonudur.

-Bu kirlenmenin önüne ancak kaynağında ayrı toplama çalışmalarıyla geçilecektir. Değerlendirilebilir atıklardaki kirliliğin azaltılması, geri dönüşüm verimini artıracaktır. Böylelikle çöp depolama alanlarına gidecek atık miktarı azalacak, çöpe gidecek atık miktarının azaltılması ile hammaddeden tasarruf sağlanacak ve ülke ekonomisine katkıda bulunulmuş olacaktır.

-Kirlenmenin önüne geçildiği takdirde; daha kaliteli ikincil hammadde elde edilecektir. Böylelikle 2006 yılına ait PET miktarına göre bunun ekonomiye katkısı yaklaşık 12-15 milyon YTL olacaktır.

-Ambalaj atığı toplama ayırma tesisleri; kendileri için zorunlu hale getirilen kaynağında ayrı toplama çalışmalarında belediyeler ve endüstri tarafından yalnız bırakılmışlardır. Bu durum tesislerin maliyetlerini artırmış ve sistemi kilitlemiştir. Özellikle PET geri dönüşüm tesisleri hammadde sıkıntısıyla karşı karşıya kalmış ve ithalat yoluyla bu açığı kapatmaya çalışmışlardır. Çözüm kaynağında ayrı toplama çalışmalarına tüm tarafların katılımının sağlanmasıdır. Bu katılımın sağlanamaması bir yönetim sorunudur. Yasa koyucular tarafından yaptırımın artırılması ve uygulanması ile bu sorun ortadan kalkacaktır.

-Ayrıca PET geri dönüşüm tesislerinde; yıkama prosesleri geliştirilerek personel ihtiyacı olmayan, otomasyon uygulamalarına geçilmesi kaliteyi artıracaktır.

6) Bu çalışmada PVC'nin PET atıklardan ayrılması için pek çok yöntem araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

-PET ve PVC ayırma işlemlerinde önce bu maddelerin çözünürlükleri araştırılarak, elde edilen deney sonuçları değerlendirilmiştir. Bu amaçla PET'in çözücüsü olan fenol ve fenol-tetrakloreten karışımı ve PVC'nin çözücüsü dimetil amin ve benzil alkol kullanılarak, PET ve PVC çözünürlük özelliklerinden yararlanılarak ayrılmaya çalışılmıştır. Yapılan deneme çalışmalarının sonuçları Çizelge 7.1'de özetlenmiş olup, maddelerin değişik çözücülerdeki çözünme yüzdeleri hesaplanmıştır.

Çizelge 7.1. Çözünürlük sonuçları

Deneme	Materyal	Çözücü	Ağırlık (gr)	Çözeltiliye geçen miktar (g)	Çözünme Yüzdesi (%)
Deneme (1)	PET ve PVC	fenol	1,1644	Çözünme olmadı.	–
Deneme (2)	PET ve PVC	dimetilamin	10,1336	1,3001	12,83
Deneme (3)	PVC	benzil alkol	0,1050	Çözünme olmadı.	–
Deneme (4)	PET	%60'lık 1,1,2,2 tetrakloreten ve %40'lık fenol	0,0539	0,0369	68,46
Deneme (5)	PET ve PVC	%1'lik KOH çözeltisi	2,1213	0,1037	4,89

Buna göre; PET ve PVC karışımında en iyi çözünme yüzdesini, %12,83 çözünme yüzdesi ile benzil alkol vermiştir. PET'in tek başına çözünmesi istendiğinde ise %68,46 çözünme yüzdesi ile %60'lık 1,1,2,2 tetrakloreten ve %40'lık fenol çözücüsü vermiştir. Buradan PET için %60'lık 1,1,2,2 tetrakloreten ve %40'lık fenol karışımının çok mükemmel olmamakla birlikte, cevap veren bir çözücü karışım olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır.

-PET'in geri dönüşümünde, kırma işleminden önce PVC'nin ayrıştırılması çok daha kolaydır. Çünkü bir adet PVC şişe kırma ünitesine girdiği zaman, bir kaç yüz tane PVC çapağı olarak çıkacak ve bunu ayıklamak çok daha zor hale gelecektir.

-Bu sebepten, kırma işlemi öncesi ayırım çok önemlidir. Bu ayırımın sağlanması açısından uygulanacak en başarılı yöntem otomatik ayırım yöntemidir. Bu yöntem,

Çalışmada makro ayırım başlığı adı altında ele alınmıştır. Ülkemizde sadece iki PET geri dönüşüm tesisinde kullanılan otomatik ayırma yöntemi yaygınlaştırılmalı, diğer tesislerde yapılan manuel ayırma yerini otomatik ayırma bırakmalıdır. Böylelikle elde edilecek hammadde kalitesi yükselecektir. Ayrıca PVC şişeler şeffaf olduklarından insan marifeti ile ayrıştırılmaları çok kolay değildir. Ayrıca bu yöntem diğerlerine göre hataya açık bir yöntemdir.

-Ancak PET'in geri dönüşümünde; otomatik ayırma yöntemi pahalı bir yöntem olduğundan ve řu an ülkemizde faaliyet gösteren geri dönüşüm tesislerimizin bu yöntemle geçmeleri zaman alacağından, bu çalışmada mikro ayırım başlığı adı altında anlatılan ve laboratuvar ortamında denenen elektrostatik yöntem önerilmektedir. Bu yöntem ülkemizdeki tesislerde bilinmediğinden kullanılmamaktadır. Önerilen bu yöntem ve hazırlanan bu alışma, PET geri dönüşüm faaliyetini gösteren veya bu faaliyeti göstermeyi planlayan tesisler için rehber niteliğini taşıyacaktır.

-Bu alışmada PET ve PVC örneklerinden oluşan karışım, kurulan düzenek yardımıyla yüklerine bağlı olarak elektriksel alanın etkisiyle pozitif ve negatif elektroda saptırılmıştır. İstenen ayırım net bir şekilde gözlenmiş olup, PVC verimi %70 ve PET verimi %56,6 olarak hesaplanmıştır. Buradan PVC'nin elektrostatik ayırma PET'ten daha fazla cevap verdiği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla atık plastik geri dönüşümünde; elektrostatik yöntem PET ve PVC'nin karışımından PVC uzaklaştırılmasında etkili bir yöntem olma potansiyelini göstermektedir.

-Son olarak bu çalışmanın, PET geri dönüşümü konusunda yapılacak faaliyetlere fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Altuğ, F., “Çevre Sorunları”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları*, Bursa, 9-10 (1990).
2. “Türkiye’nin Çevre Sorunları”, *Türkiye Çevre Vakfı*, Ankara, 381 (1998).
3. “II. Çevre Şurası Çalışma Belgesi”, *T.C.Çevre Bakanlığı*, İstanbul, 145 (1994).
4. “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”, RG:14.03.1991,20814, (1991).
5. “Türkiye’nin Çevre Sorunları”, *Türkiye Çevre Sorunları Vakfı*, Ankara, 387 (1991).
6. “Çevre El Kitabı”, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, 45,46 (2004).
7. Uçkun, S., Uçkun, G., “Yerel Yönetim ve Denetim”, Belediyelerde Katı Atık Yönetimi İzmit Büyükşehir Belediyesi Örneği, *Türkiye ve Ortadoğu Amme İdaresi Enstitüsü Yayınları*, Ankara, 7(1): 33 (2002).
8. Bozyiğit, R., Karaaslan, T., “Çevre Bilgisi”, *Nobel Yayınları*, Ankara, 135 (1998).
9. Bisio, A.L., Xonthas, M., “How to Manage Plastics Waste-Technology and Market Opportunities”, *Hanser Publishers*, Munich Vienna New York, 5,9 (1995).
10. Gökdayı, İ., “Çevrenin Geleceği Yaklaşımlar ve Politikalar”, *Türkiye Çevre Vakfı Yayını*, Ankara, 221 (1997).
11. Bursa Büyükşehir Belediyesi, “Kaynakta Ayırma-Geri Kazanım Projeleri Fizibilite Raporu”, *Çevre Koruma Dairesi Başkanlığı, Katı Atık Yönetimi Şube Müdürlüğü*, Bursa, 13,14 (2000).
12. “2004 Belediye Katı Atık İstatistikleri”, *T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni*, Ankara, 210 (2006).
13. “Katı Atıkların Geri Kazanımı ve Buna Yönelik Toplama İşlemleri”, *T.C. Çevre Bakanlığı*, Ankara, 3,8,37 (2002).
14. Özbay, M., “Katı Atık Yönetiminde Mühendislik Sistemleri”, *Türkiye Belediyeler Birliği*, Ankara, 63 (2006).
15. “Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği”, RG: 24.06.2007, 26562 (2007).

16. İnternet:“Ambalaj Sanayi”,
http://www.dtm.gov.tr/dtmadmin/upload/IHR/MadenMetalDb/Ambalaj_rapor_tem06.doc(2006).
17. “IV. Uluslararası Ambalaj Kongresi ve Sergisi, Bildiriler”, *TMMOB Kimya Mühendisleri Odası*, İzmir, 1:103 (2005).
18. Savaşçı, Ö., Uyanık, N., Akovalı, G., “Plastikler ve Plastik Teknolojisi”, *Çantay Kitabevi*, İstanbul, 326-351, 448 (1998).
19. Öztürk, Y., “Atık PET’ten Üretilen Oligomerlerin Poliester Üretiminde Kullanımı”, Yüksek Lisans, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, VI (2003).
20. İnternet:“Polyethylene terephthalate”,
http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_terephthalate(2006).
21. Awaja, F., Pavel, D., “Recycling of PET”, *European Polymer Journal*, 41: 1453-1477 (2005).
22. Acar, I., “Polietilen Tereftalat Atıklarının Hidroksiaminlerle Reaksiyon Ara ürünlerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1 (1996).
23. Üçüncü, M., “Gıdaların Ambalajlanması”, *Ege Üniversitesi*, İzmir, 260 (2000).
24. Kaya, M., “Ambalaj Sanayicileri Derneği”, *Ambalaj Bülteni*, İstanbul, 30,56 (2005).
25. Best Practices in PET Recycling, “Overview of the PET Plastic Recycling Process”, *CWC*, USA, 1-7 (1997).
26. “Evsel ve Evsel Nitelikli Endüstriyel Katı Atık Depolama ve Geri Kazanım Tesisleri için Standart Bir Model”, *T.C. Çevre Bakanlığı, Ankara*, 3 (2002).
27. “Çevre Kanunu”, RG: 11.08.1983, 18132 (1983).
28. Sheikhsanaymilan, L., “Evsel Kökenli Katı Atıkların İçinde Bulunan Yeniden Değerlendirilebilir Maddelerin Geri Kazanımı ve Ankara İli İçin Bir Değerlendirme”, Yüksek Lisans, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 69 (2006).
29. Petcore,“Ambalaj Sanayicileri Derneği”, *Ambalaj Bülteni*, İstanbul, 64 (2006).
30. Borcaklı, M., “Ambalaj Sanayicileri Derneği”, *Ambalaj Bülteni*, İstanbul, 28 (2005).

31. Sayın,H., “PET ve PVC’nin Geri Kazanılması ve Tarımsal Amaçlı Kullanılması”, Yüksek Lisans, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 14-15 (1996).
32. İnternet: “Bruno, E., Automated Sorting of Plastics For Recycling”, <http://www.p2pays.org/ref/09/08620.pdf>(2006).
33. Drelich, J., Kim, J.H., Payne, T., Miller, J.D., Kobler, R.W., “Purification of Polyethylene Terephthalate From Polyvinyl Chloride By Froth Flotation For The Plastics (soft-drink bottle) Recycling Industry”, **Seperation Purification Technology**, USA, 9-17 (1999).
34. Marques, G.A., Tenorio, J.A.S., “Use of Froth Flotation to Seperate PVC/PET Mixtures”, **Waste Management**, Brazil, 20:265-269 (2000).
35. Lee, J., Shin, J., Ku, J., Kim, D., Cho, J., Hwong, Y., “Triboelektrostatic Seperation of PVC Materials From Mixed Plastics For Waste Plastic Recycling”, **The 6 th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology**, Korea, 597-600 (2001).
36. Brandrup, J., Immerput, E.H., “Polymer Handbook”, **John Wiley& Sons**, New York, 252,267 (1975).
37. Basan, S., “Polimer Kimyası”, **Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları**, Sivas, 233 (1998).
38. Brandrup, J., Immergut, E.H., “Polymer Handbook”, **Wiley-İnterscience**, New York, 145, 247, 252 (1975).
39. Anabal, F.Y., Arşivimden (2007).
40. Anabal, F.Y., Arşivimden (1999).
41. Anabal, F.Y., Arşivimden (2004).

EKLER

EK-1 PET Geri Dönüşüm Tesislerinde “PET Geri Dönüşüm Kalitesini Etkileyen Faktörler” Konulu Anket Formu (2007)

Açıklama:

Anket formu, 16 PET geri dönüşüm tesisi için hazırlanmıştır. Form 2 ana başlıktan oluşmakta olup, toplam cevaplayacağınız soru sayısı 19’dur. Seçenekli sorularda bir kaç seçenek birden işaretlenebilecektir. Seçenekleri işaretlerken seçenek kutusuna çarpı işaretini koymanız yeterli olacaktır. Ayrıca formu cevaplamanız 10 dakikadan daha az sürenizi alacaktır.

Anket formundaki bilgiler kesinlikle envanter amaçlı kullanılacak olup, üçüncü şahıslarla paylaşılmayacaktır.

EK-1 (Devam) PET Geri Dönüşüm Tesislerinde “PET Geri Dönüşüm Kalitesini Etkileyen Faktörler” Konulu Anket Formu (2007)

A.GENEL BİLGİLER	
1. Tesisin adını belirtiniz.	
2. Tesisin telefon ve faks numarasını belirtiniz.	
3. Tesisin adresini belirtiniz.	
4. Yetkili kişinin adını ve soyadını belirtiniz.	
5. Tesisin PET geri dönüşüm kapasitesini belirtiniz(ton/yıl)	
B.FAALİYET İLE İLGİLİ BİLGİLER	
1.PET atıkların temin edildiği yerleri belirtiniz.	Sokak Toplayıcıları ☐ Depolama Alanları ☐ Kaynağında Ayrı Toplama Çalışmaları ☐ Fabrika Üretim artıkları İthalat ☐ Diğer (belirtiniz): ☐
2.Eğer ithalat yapıyorsanız; ithalat yolu ile temin edilen atıkları;	Daha temiz olduğu için ☐ Daha ucuz olduğu için ☐ Hammadde sıkıntısı nedeniyle Tercih ediyorum. ☐

EK-1 (Devam) PET Geri Dönüşüm Tesislerinde “PET Geri Dönüşüm Kalitesini Etkileyen Faktörler” Konulu Anket Formu (2007)

3. İthalat yapıyorsanız; ithalat yolu ile gelen atıkların tesisinize giren toplam atık miktarının % kaç olduğunu belirtiniz.	%.....
4. Tesise kabul edilen PET atıkların içinde bulunması muhtemel diğer plastik atıkları belirtiniz.	PVC ☐ PE ☐ PP ☐ Diğer (belirtiniz):
5. PET atıklar içerisinde bulunması muhtemel PVC atıkları ayırmada hangi yöntemi kullanıyorsunuz?	Otomatik ayırma (X-RAY,OPTİK AYIRIM, İnfrared, hidrosiklon v.b.) ☐ Yüzdürme yöntemi ☐ Elektrostatik ayırma yöntemi ☐ Termal ayırma yöntemi ☐ Diğer (belirtiniz) :
6. Bu yöntemle % kaç başarı sağlıyorsunuz?	%.....
7. Kırma işleminden önce yıkama yapılmakta mıdır?	Evet ☐ Hayır ☐
8. Yıkama için hangi yöntem kullanılmaktadır?	Su ile yıkama ☐ Kimyasal yıkama ☐ Her ikisi ☐

EK-1 (Devam) PET Geri Dönüşüm Tesislerinde “PET Geri Dönüşüm Kalitesini Etkileyen Faktörler” Konulu Anket Formu (2007)

9. İşletmenizde PET atıklardan elde ettiğiniz ikincil ürünler hangileridir?	Çapak ☐ Granül ☐ Elyaf ☐ Diğer ☐
10. Başarılı bir PET geri dönüşümü için PET çapaklarda kontrol edilen parametreler seçeneklerden hangileridir?	İntrinsik viskozite ☐ Su içeriği ☐ Çapak boyutu ☐ PVC içeriği ☐ Metal içeriği ☐ Diğer (belirtiniz) ☐
11. Hangi sektörlere hammadde sağladığınızı işaretleyiniz?	Elyaf ☐ Levha ☐ Şerit ☐ Mühendislik Plastikleri ☐ Diğer (belirtiniz) ☐
12.İhracat yapıyor musunuz? Cevabınız evet ise; PET çapak üretiminin % kaçını ihrac ediyor belirtiniz. PET elyaf üretiminin % kaçını ihrac ediyor belirtiniz?	Evet ☐ Hayır ☐ %..... %.....
13. Başarılı bir PET geri dönüşümü için teknolojik önerileriniz nelerdir?	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ANABAL, Fatma Yıldız
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.09.1975 Tokat
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 207 64 52
 Faks : 0 (312) 207 64 46
 e-mail : yildizanabal@yahoo.com.

Eğitim

Derece	Eğitim birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İstanbul Üniversitesi/ Çevre Mühendisliği Bölümü	1996
Lise	Üsküdar Kız Lisesi	1992

İş deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1997-1999	Tokat-Erbaa Tanna İlköğretim Okulu	Öğretmen
1999-2002	Ankara-Enver Bektaş İlköğretim Okulu	Öğretmen
2002-2007	Çevre ve Orman Bakanlığı	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okumak, müzik dinlemek ve balık tutmak

