

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATKILI PVC VE PET ATIKLARININ SEÇİMLİ OLARAK
AYRILMASINA YÖNELİK KOLON FLOTASYONU
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mert KILIÇ**

Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği

Programı : Cevher Hazırlama Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. A. Ekrem YÜCE

Haziran 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATKILI PVC VE PET ATIKLARININ SEÇİMLİ OLARAK
AYRILMASINA YÖNELİK KOLON FLOTASYONU
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mert KILIÇ
505081102**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2010**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. A. Ekrem YÜCE

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ali GÜNEY
Prof. Dr. Ercan AÇMA**

Haziran 2010

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde Cevher Hazırlama yüksek lisans tez çalışmama olanak sağlayan Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Orhan KURAL'a, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Fatma ARSLAN'a, çalışmalarım boyunca tecrübesini benimle paylaşan ve her konuda sonsuz yardımlarını gördüğüm tez danışmanım Sayın Doç. Dr. A. Ekrem YÜCE'ye, bilgi ve birikimleri ile her zaman yanımda olan Sayın Prof. Dr. Ali GÜNEY'E ve Yrd. Doç. Dr. M. Olgaç KANGAL'a, Araş. Gör. Onur GÜVEN'e, manevi destekleri ile yorgunluğumu bana unutturan aileme ve Merve Sakar'a teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2010

Mert KILIÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Plastikler.....	5
2.2 Plastiklerin Genel Özellikleri	7
2.3 Plastiklerin Türleri.....	8
2.3.1 Termoset Plastikler	8
2.3.2 Termoplastikler	8
2.3.2.1 Akronitril Butadien Stiren (ABS).....	10
2.3.2.2 Polikarbonat (PC).....	10
2.3.2.3 Polietilen (PE).....	10
2.3.2.4 Polietilen Teraftalat (PET).....	11
2.3.2.5 Polipropilen (PP).....	12
2.3.2.6 Polistiren (PS).....	12
2.3.2.7 Polimetil Metakrilat (PMMA).....	13
2.3.2.8 Polivinil Klorür (PVC).....	13
2.4 Plastiklerin Kullanım Alanları	14
2.4.1 Dünya Plastik Sektörü.....	17
2.4.2 Türkiye Plastik Sektörü.....	19
2.4.3 Dünya’da ve Türkiye’de Plastik Fiyatları	22
2.5 Plastiklerin Geri Dönüşümü	23
2.6 Plastik Atıkların Değerlendirilmesi.....	24
2.6.1 Plastik Atıkların Toplanma İşlemi	24
2.6.2 Plastik Ayırma Yöntemleri	25
2.7 Geri Kazanmada Temel Yöntemler.....	26
2.7.1 Plastik Malzemenin Geri Kazanılması.....	26
2.7.1.1 Homojen Olarak Geri Kazanımı.....	26
2.7.1.2 Karışık Olarak Geri Kazanımı.....	27
2.7.2 Kimyasal Geri Kazanma	27
2.7.3 Enerji Üretiminde Kullanım.....	27
2.8 Geri Kazanılmış Plastiğin Ekonomisi ve Kullanım Alanları	28
2.9 PET ve Geri Dönüşümü	30
2.10 PVC ve Geri Dönüşümü.....	31

2.10.1 PVC Atıklarının Yönetimi	32
2.10.2 PVC Atıklarının Yakılması ve Depolanması	32
2.11 PET ve PVC Ayrımı İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	33
3. KOLON FLOTASYONU	41
3.1 Flotasyon Kolonu ile Klasik Flotasyon Hücrelerinin Karşılaştırılması	42
3.2 Flotasyon Kolonunun Çalışma İlkesi	43
3.3 Flotasyon Kolonu Çeşitleri.....	43
3.4 Teknik Terimler.....	44
3.4.1 Hava Tutunum Yüzdesi (Gas hold up).....	44
3.4.2 Gaz Hızı (Superficial Gas Rate).....	45
3.4.3 Yüzeysel Besleme Hızı (Jb), Yıkama Suyu Hızı (Jw) ve Artık Hızı (Jt)..	45
3.4.4 Bias.....	45
3.4.5 Taşıma Kapasitesi (Ca)	45
3.5 Flotasyon Kolonunda Oluşan Zonların Tanımı	45
3.5.1 Zenginleştirme Zonu	46
3.5.1.1 Zenginleştirme Zonunda Flotasyonun Temel Mikro Olayları	47
3.5.2 Köpük Zonu.....	48
3.6 Kolon Flotasyonu Verimini Etkileyen Parametreler	48
3.6.1 Köpük Zonunun Yüksekliği.....	49
3.6.2 Pülpün Kolon İçinde Kalma Zamanı (Zenginleştirme Zonu Yüksekliği).	50
3.6.3 Bias.....	51
3.6.4 Hava Debisi	51
3.6.5 Yıkama Suyu	51
3.6.6 Hava Kabarcık Çapı	51
3.6.7 Pülp Yoğunluğu.....	51
3.6.8 Gaz Tutunum Yüzdesi.....	51
3.6.9 Kabarcık Üretici Çapı ve Toplam Yüzey Alanı	52
3.7 Flotasyon Kolonlarının Tasarımı.....	52
3.8 Kolon Flotasyonu Yöntemi ile PET-PVC'nin Seçimli Ayrılması	53
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	55
4.1 Malzeme ve Yöntem.....	55
4.2 Boyut Küçültme Deneyleri.....	57
4.3 Malzemelerin Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi.....	60
4.4 Kolon Flotasyonu Deneyleri.....	62
4.4.1 Laboratuvar Ölçekli Kolon Flotasyonu Deneyleri	62
4.4.1.1 Plastikleştirici Reaktif Konsantrasyonun Değişimi.....	63
4.4.1.2 pH değişiminin incelenmesi.....	65
4.4.1.3 Hava Miktarı Etkisinin İncelenmesi.....	67
4.4.1.4 Tane Boyutu Değişiminin Etkisi	69
4.4.1.5 Sıcaklığın Etkisinin İncelenmesi.....	71
4.4.2 Pilot Ölçekli Kolon Flotasyonu Deneyleri	73
4.4.2.1 Kolon Yüksekliğinin İncelenmesi.....	73
4.4.2.2 Hava Basıncının İncelenmesi.....	76
4.4.2.3 pH Etkisinin İncelenmesi.....	77
4.4.2.4 Pülpde Katı Oranı Değişiminin İncelenmesi.....	79
4.4.2.5 Kolonda Flotasyon Kademelerinin İncelenmesi.....	81
4.4.2.6 Tane Boyutunun İncelendiği Deneyler.....	83
5. SONUÇLAR	87

KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ.....	95

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Plastiklerin kodlamaları özellikleri ve kullanım alanları	16
Çizelge 2.2 : Bölgesel Bazda Dünya Plastik Malzeme Tüketimi	18
Çizelge 2.3 : Bazı Plastiklerin Kaynakları Ve Kullanım Alanları	29
Çizelge 4.1 : 6 mm Altına Kırılmış PVC ve PET Numunelerinin Boyut Dağılımı ..	58
Çizelge 4.2 : Plastikleştirici Reaktif Etkisi Deney Parametreleri	63
Çizelge 4.3 : PET ve PVC Ayırımında Reaktif Konsantrasyonunun Etkisi	63
Çizelge 4.4 : pH Değişiminin Etkisi Deney Parametreleri	65
Çizelge 4.5 : PET ve PVC Flotasyonunda pH Değişiminin Etkisi	65
Çizelge 4.6 : Hava Miktarının Etkisi Deney Parametreleri	67
Çizelge 4.7 : PET ve PVC Flotasyonunda Hava Miktarının Etkisi	67
Çizelge 4.8 : Tane Boyutu Değişimi Etkisi Deney Parametreleri	69
Çizelge 4.9 : PET ve PVC Flotasyonuna Tane Boyutu Etkisinin Sonuçları	69
Çizelge 4.10 : Sıcaklık Etkisi Deney Parametreleri	71
Çizelge 4.11 : PET ve PVC Flotasyonuna Sıcaklığın Etkisi	71
Çizelge 4.12 : Kolon Yüksekliğinin İncelenmesi Deney Parametreleri	73
Çizelge 4.13 : PET ve PVC Flotasyonuna Kolon Yükseliği Etkisinin Sonuçları	74
Çizelge 4.14 : Hava Basıncının Etkisi Deney Parametreleri	76
Çizelge 4.15 : PET ve PVC Flotasyonuna Hava Basıncı Etkisinin Sonuçları	76
Çizelge 4.16 : pH Etkisinin İncelenmesi Deney Parametreleri	77
Çizelge 4.17 : PET ve PVC Flotasyonuna pH Miktarı Etkisinin Sonuçları	78
Çizelge 4.18 : Pülpte Katı Oranı Değişiminin İncelenmesi Deney Parametreleri	79
Çizelge 4.19 : PET ve PVC Flotasyonuna Pülpte Katı Oranı Etkisi	80
Çizelge 4.20 : Flotasyon Kademelerinin İncelenmesi Deney Parametreleri	81
Çizelge 4.21 : Temizleme ve Süpürme Flotasyonlarının Deney Sonuçlarına Etkisi ..	82
Çizelge 4.22 : Tane Boyutunun İncelenmesi Deney Parametreleri	83
Çizelge 4.23 : PET ve PVC Flotasyonuna Tane Boyutu Etkisi	84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Termoplastiklerin Formül Yapısı	9
Şekil 2.2 : Dünyada Plastiklerin Tüketim Alanları	14
Şekil 2.3 : Türkiye Plastik Tüketiminin Plastik Türüne Göre Dağılımı	15
Şekil 2.4 : Türkiye’de Plastiklerin Tüketim Alanları.....	17
Şekil 2.5 : Plastik Tüketiminin Ükelere Göre Dağılımı.....	18
Şekil 2.6 : Plastik Firmalarının Bölgesel Dağılımı	19
Şekil 2.7 : Türkiye’de Plastik Tüketimi Projeksiyonu.....	21
Şekil 2.8 : Yüzey aktif maddelerle polimerlerin mekanizması.....	34
Şekil 2.9 : Mineral tanesi ile plastik tanesi.	36
Şekil 3.1 : Klasik Flotasyon Hücresi	41
Şekil 3.2 : Klasik Flotasyon Kolonu	42
Şekil 3.3 : Flotasyon Kolonu Zonları.....	46
Şekil 3.4 : Plastiklerin Yoğunluk Aralıkları.	53
Şekil 4.1 : Deneylerde Kullanılan Plastikler.....	56
Şekil 4.2 : Kolon Hücresinin Şematik Olarak Gösterimi.....	57
Şekil 4.3 : Kolon Flotasyonu Hücresi	57
Şekil 4.4 : Net Plasmak LTD NPS 400 Plastik Kırma Cihazı	58
Şekil 4.5 : PVC Numunesinin Elek Altı Eğrisi.....	59
Şekil 4.6 : PET Numunelerinin Elek Altı Eğrisi.....	59
Şekil 4.7 : PET ve PVC ‘nin Zamana Göre pH Değişimi.....	60
Şekil 4.8 : PET ve PVC’nin Saf Suda Zeta Potansiyel Ölçümleri.....	61
Şekil 4.9 : PVC’nin Lignin Alkali Ortamında Zeta Potansiyel Ölçümleri	61
Şekil 4.10 : PET’in Lignin Alkali Ortamında Zeta Potansiyel Ölçümleri	62
Şekil 4.11 : Reaktif Miktarının PET İçerik ve Verimine Etkisi.....	64
Şekil 4.12 : Reaktif Miktarının PVC İçerik ve Verimine Etkisi	64
Şekil 4.13 : pH’nın Yüzen Malzemedeki PET İçerik ve Verimine Etkisi	66
Şekil 4.14 : pH’nın Batan Malzemedeki PVC İçerik ve Verimine Etkisi	66
Şekil 4.15 : Hava Miktarı Değişiminin PET İçerik ve Verimine Etkisi	68
Şekil 4.16 : Hava Miktarı Değişiminin PVC İçerik ve Verimine Etkisi.....	68
Şekil 4.17 : Tane Boyutunun PET İçerik ve Verimine Etkisi.....	70
Şekil 4.18 : Tane Boyutunun PVC İçerik ve Verimine Etkisi	70
Şekil 4.19 : Sıcaklığın Yüzen Malzemedeki PET İçerik ve Verimine Etkisi	72
Şekil 4.20 : Sıcaklığın Batan Malzemedeki PVC İçerik ve Verimine Etkisi.....	72
Şekil 4.21 : Kolon Yüksekliği Deneylerinde Kullanılan Flotasyon Kolonları	74
Şekil 4.22 : Kolon Yüksekliğinin Yüzendeki PET İçerik ve Verimine Etkisi	75
Şekil 4.23 : Kolon Yüksekliğinin Batandaki PVC İçerik ve Verimine Etkisi	75
Şekil 4.24 : Hava Basıncının PET İçerik ve Verimine Etkisi	77
Şekil 4.25 : pH’nın Yüzen Malzemedeki PET İçerik ve Verimine Etkisi	78
Şekil 4.26 : pH’nın Batan Malzemedeki PVC İçerik ve Verimine Etkisi	79
Şekil 4.27 : Pülpte Katı Oranının PET İçerik ve Verimine Etkisi	80

Şekil 4.28 : Pülpte Katı Oranının PVC İçerik ve Verimine Etkisi.....	81
Şekil 4.29 : %17 PKO'da Kademeli Flotasyon Deneyi Akım Şeması	82
Şekil 4.30 : Tane Boyutu Deneyleri Akım Şeması	83
Şekil 4.31 : Tane Boyutunun PET İçerik ve Verimine Etkisi	84
Şekil 4.32 : Tane Boyutunun PVC İçerik ve Verimine Etkisi	85

KATKILI PVC VE PET ATIKLARININ SEÇİMLİ OLARAK AYRILMASINA YÖNELİK KOLON FLOTASYONU PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, katkılı PVC ve PET atıklarının seçimli olarak ayrılmasına yönelik kolon flotasyonu devresinin oluşturulması ve flotasyon parametrelerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Plastiklerin doğada uzun süre kalarak çevre kirliliğindeki ciddi tehlikelerden biri olması ve dünya plastik tüketiminin giderek artması, bu maddelerin geri dönüşümünü gündeme getirmiştir. Geri kazanımı üzerinde durulan en önemli iki plastik türü PET ve PVC'dir. PVC'lerde bulunan katkı maddelerinin çevreye zehirli gazlar ve hidroklorik asit karıştırma riskinden dolayı, bu zararları önlemek adına PET ve diğer plastiklerden ayrılması için çalışmalar yapılmaktadır. Plastiklerin yoğunlukları birbirine yakın olduğundan dolayı, gravite yöntemleri ile ayrılması söz konusu değildir, fakat yüzey özelliklerinden yararlanılarak PET ve PVC'den biri hidrofilik yapıp batırılırken diğerinin yüzdürülerek köpükle alınması mümkündür. Doğal hidrofobik olan plastiklerden hidrofilik olması istenen plastiğin yüzeyi değiştirilmesi gerekir ve bu sebeple plastikleştirici reaktifler kullanılır. Çalışmalarda ilk olarak yüzey kimyası deneyleri yapılarak PET ve PVC'nin davranışları hakkında yorumlar yapılmıştır. Bununla birlikte, küçük ölçekli deneyler gerçekleştirilerek, PET ve PVC'nin optimum zenginleştirme koşullarının tespiti yapılmıştır. Yapılan pilot ölçekli deneylerde pH, besleme boyutu, pülpte katı oranı, reaktif miktarı, kolon yüksekliği hava basıncı, sıcaklık, hava hızı gibi parametreler incelenmiştir. Sonuç olarak pH 10'da, -3,35+2,0 mm besleme boyutunda, 25 g/t Lignin Alkali, 5000 g/t MIBC, %17 P.K.O.'da, 2,5 Bar hava basıncında, 2,6 cm/sn hava hızında yapılan deneylerde %95,6 içerikte, %92,3 kazanma verimiyle PET yüzdürülerek elde edilmiş, %99,4 içerikte %90,1 kazanma verimiyle ise PVC batırılarak alınmıştır.

OPTIMIZING THE SELECTIVE COLUMN FLOTATION PARAMETERS OF PET&PVC PLASTIC WASTES

SUMMARY

The aim of this thesis statement is to design the selective column flotation of PET and PVC wastes and optimizing the parameters such as; plasticizer concentration, pH, feeding ratio, pretreatment conditions, air rate and column height of the flotation process. Recycling of plastic wastes became an important issue because of the negative effects of these materials. PVC causes harmful gases and hydrochloric acids in the environment, so PVC should be separated from PET and other plastics. There is no such gravity difference between plastics, so they couldn't be separated by gravity methods. Flotation method has applicability and low costs for separating PET and PVC wastes, so it is the most preferred method, but the surface characteristics of PET and PVC must be changed. Because, all plastics are naturally hydrophobic. So that, they can only be separated while one of these plastics is hydrophilic. Hydrophilic material is depressed and the other one floats. Plasticizer reagents are used to change the plastics' surface character and make them hydrophilic. Low sized flotation columns were used in the experiments of first optimization researches. After that, process plant sized flotation columns were used to find out the best parameters for good selectivity. As a result in experiments with the conditions of pH 10, 25 g/t Lignin Alkali, -3,35+2,0 mm feeding size, 5000 g/t MIBC, %17 feed rate, 2,5 Bar air pressure and 2,6 cm/sn air velocity, PET floats with %95,6 nature, %92,3 efficiency and PVC goes down with %99,4 nature, %90,1 efficiency.

1. GİRİŞ

Plastikler, petrol ve doğal gaz gibi doğal kaynaklardan elde edilen hidrokarbonların kullanımını ile üretilmektedir. Bir başka deyişle, monomerlerin kimyasal bağlarındaki değişiklik ile polimerlere dönüşmesi sonucunda plastikler elde edilmektedir. Plastiklerin özelliklerini, polimer molekülün yapısı ve büyüklüğü belirler. Plastikler, termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki temel tipte karşımıza çıkar. Termoplastikler, ısıtılınca yumuşarlar ve soğutulduklarında tekrar sertleşirler. Termosetler ise bir defa kalıplandıktan sonra asla yumuşamazlar. Plastikler toz, granül, flake ve çözelti şeklinde olabilir. Katı maddelerin ısı ve basınçla muamele edilmesi sonucunda günlük hayatımızda yakından tanıdığımız birçok ürün üretilir (Alp, 2003).

Çeşitli tipte plastikler, oyuncaktan elektrikli aletlere, tıbbi cihazlardan ambalaja ve uzay yolculuklarına kadar modern yaşamın çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Plastikler; dayanıklı, hafif ve emniyetli kullanıma sahip olup, çok çeşitli şekillere sokulabilirler, fiyat avantajına sahiptirler ve yaşam boyu değerlendirildiklerinde kaynak tasarrufu sağlarlar. Kullanım amacına bağlı olarak katılan katkı maddeleri, plastiklere değişik özellikler kazandırır. Plastiklerde kullanılan katkı maddeleri; dolgu ve güçlendirme maddeleri, kararlılık sağlayıcılar ve oksitlenmeyi önleyiciler, plastikleştiriciler, alevlenmeyi geciktiriciler, renklendiriciler, yağlayıcılar, kaydırıcılar, katalizörler, statik elektriklenmeyi önleyiciler, köpürtücüler olarak gruplandırılmaktadırlar (Alp, 2003).

Günümüzde plastikler, ahşap, kâğıt, metal, cam, pamuk, yün, ipek ve kauçuk gibi pek çok doğal ürünün yerini almış ve insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Plastiklerin çeşitli şekillerde işlenebilme özelliğinin yanında maliyet avantajları da teknolojik gelişmelerin çoğunda hayati öneme sahip olmalarını sağlamıştır. Örnek olarak, elektrik ve elektronik sanayinde plastiklerin kullanılmasının başlıca nedenleri; daha iyi tasarımlara imkân verebilmeleri, olağanüstü yalıtım özelliğine sahip olmaları, parçaların mümkün olan en küçük

boyutta imal edilebilmesi, montaj kolaylığı, uygun ve hafif bir depolama ortamı sağlamasıdır (Alp, 2003).

Plastikler çöpe atıldığı zaman çürümeden, paslanmadan, çözünmeden ve biyolojik olarak bozulmadan doğada uzun yıllar kalmaktadır. Bazı plastikler, doğada 700 yıl bozulmadan kalabilmekte, suyun ve toprağın kirlenmesine neden olmaktadır. Sulardaki canlılara zarar vermekte ve hatta ölümlerine neden olmaktadır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Katı atıklardan plastiklerin geri kazanılması günümüz çevre konularının en aktif olanlarından birisidir ve bu konuda batı ülkelerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların kapsamında özellikle şişe uygulamaları nedeniyle PVC'nin giderek önem kazanan ayrı bir yeri bulunmaktadır. Katı atıklar içerisinde yer alan plastiklerin diğer bir bölümünü oluşturan film halindeki plastik atıklarda da ayırma işlemi söz konusudur. Bunun için iri parçalar halinde kesilen atıklar önce titreşimli banttın sonra bir mıknatıstan geçirilmekte; daha sonra çöktürme tankına gönderilmektedir. Böylece, kirleticilerden temizlendikten sonra malzeme ayırma işlemine geçilmektedir. Bunun için de genellikle flotasyon ve hidrosiklon yöntemleri kullanılmaktadır. Elde edilen ürünler kurutulduktan sonra peletlenerek pazarlanmaktadır (Savaşçı ve diğ., 2002).

Gelişmiş ülkelerde görülen geri kazanım uygulamalarından bazıları ise şunlardır; İngiltere'de 1992 yılında yayınlanan Birleşik Katı Atık Yönetimi İş Planı ile 2000 yılına kadar evsel atıklarının geri dönüşebilir bölümünün % 50'sini dönüştürülmesi hedeflenmiştir. İngiltere'de en yaygın geri dönüştürülen plastik cinsi, Polietilen (PE)'dir. Yılda yaklaşık olarak 60.000 ton kullanılmış film ve sera örtüsü geri dönüştürülmektedir. Bu iş için yaklaşık 5 milyar dolar yatırım yapılmıştır. Almanya'da ise Ambalaj Atıklarının önlenmesi Tüzüğü 1991'de yayımlanarak 1993 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu tüzüğe göre ambalajlar, çevreye zararlı olmayan ve değerlendirilmesi sırasında, çevre için sakıncalı olmayan malzemelerden üretilmektedir. Kanada'da ise birçok grup geri dönüştürülebilir malzemelerin toplanması için gerekli alt yapıyı oluşturmaya çalışmaktadır (Plastik Özel İhtisas Komisyon Raporu, Ankara, 1994).

Plastik artıklarının üretim ve varlık süresi, farklı plastik parçalarından oluştuğu genellikle plastiklerin nasıl üretildiği ile anlaşılabilir. Bu bilgiler olmadan geri kazanım için uygun yöntemler ekonomik olarak seçilemez (Alter, 2005).

Diğer bir yandan, biriktirilen plastik şişelerin en yaygın görülen çeşitleri Polietilen Teraftalat (PET) ve Polivinil Klorür (PVC)'dür. Geri kazanılan PET'in içerisindeki PVC'nin varlığı PVC'nin bozulması esnasında mikro moleküller sayesinde gelişen hidroklorik asidin zincir bölünmesi nedeniyle çok tehlikelidir (Paci ve La Mantia, 1999). PVC'nin ortama saldığı bu hidroklorik asidin çevreye olan zararları yüksektir (Singh, 1998). Geri kazanılmış PET mutlaka PVC'den arındırılmış olmalıdır. 100 ppm miktarında PVC, PET'in bozulmasına ve renginin atmasına neden olabilmektedir (Paci ve La Mantia, 1999).

PVC'nin geri dönüştürme işleminde başlıca problem ham PVC'nin yüksek oranlarda klor içermesi (polimer ağırlığının %56'sı) ve istenilen materyal kalitesinin elde edilebilmesi için polimere fazla oranda tehlikeli katkı maddelerinin eklenmesi demektir. Katkı maddelerinin ağırlığı PVC ürün ağırlığının yüzde 60'ını oluşturabilmektedir. Tüm plastikler içinde PVC en çok katkı maddesi içeren plastiktir (Yarman, 2005).

Sonuç olarak, PVC'nin diğer plastiklerden ayrıştırılması ve mekanik geri dönüştürme işleminden önce türlerine ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle PET şişe geri dönüşümü yapanlar PVC şişelerinin karışımlarını kirletmediğinden emin olmalıdırlar. PVC geri dönüşümü yüksek ayırma ve toplama ücretleri, geri dönüşüm işleminden sonra materyal kalitesinde düşüş, orijinal PVC fiyatına oranla geri dönüştürülmüş PVC'nin piyasa fiyatının düşük olması, şu anki PVC piyasasında sınırlı bir geri dönüştürülmüş madde potansiyelinin olmasıdır (Yarman, 2005).

Bu tez çalışması kapsamında; katkılı PVC ve PET atıklarının kolon flotasyonu ile seçimli olarak ayrılması amaçlanmıştır. Yapılan laboratuvar ve pilot ölçekli deneylerde flotasyon parametreleri incelenerek koşullar optimize edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Plastikler

Plastikler, yüksek molekül ağırlıklı organik moleküllerden ya da polimerlerden oluşmaktadır. Organik moleküller ve polimerler, birbirine kimyasal olarak bağlı birimlerin yinelenmesiyle ortaya çıkan zincir yapılarıdır. Plastik, istenilen biçimi alabilen anlamına gelen yunanca “plastikos” sözcüğünden gelir (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Çok eski tarihlerde kullanılan polimerik malzemelerin başında selüloz, nişasta, doğal kauçuk vb. gibi polimerler gelir. Doğal polimerler, işlenme zorluğu ve bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin yetersizliğinden dolayı yerlerini yarı sentetik ve daha sonra sentetik polimerlere terk etmişlerdir. İngiliz mucit John Osborne 17. yüzyılda doğal plastik olan boynuzu ısıtıp kalıplamıştır. 19. yüzyılda tropikal ağaçlardan elde edilen sakızlar, özellikle kauçuk ve reçine büyük ilgi görmüştür. Reçine 1850’lerde telgraf tellerinin kaplanarak korunması amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Thomas Hancock’un bu malzeme ile çok ilgilenmesinin yanında kauçuğun vulkanizasyonu üstünde de durduğu bilinmektedir. Vulkanizasyon kauçuğun kükürt ile sertleştirilmesidir. Aynı zamanda Amerika’da Goodyear da ilk bilinçli kimyasal modifikasyon olan vulkanizasyon ile ilgilenmekte idi. Hancock ve Goodyear’ın birbirlerinden habersiz olarak yürüttükleri bu çalışmalar doğal polimerler üzerine bilinçli uygulanan ilk modifikasyonlardır. Yarı sentetik plastiklerin tarihi 100 yıl öncesine dayanır, fakat diğer malzemelere kıyasla plastikler aralarında en modern olanıdır. Geçtiğimiz yüzyılda plastiklerin kullanımı sayesinde büyük teknolojik ilerlemeler kaydedilmiştir (Kıralp ve diğ., 2007).

Plastiklerin kullanımı 1970’lerden itibaren artış göstermiş ve sağladığı birçok avantaj kullanımlarını arttırmıştır. Kullanımını artıran başlıca nedenler arasında dökülebilir malzemenin uzak mesafelere taşınması açısından elverişli bir dayanıklılığa sahip olması, saydam hale getirilebilen türlerin varlığı, ışığı geçirmeyen türlerinin yapımının kolay olması, ambalaj malzemesinin sıkıştırılarak taşınabilir olması

sayılabilir. Plastikler kolay biçimlendirilebildiğinden, haddelenebildiğinden, kalıba dökülebildiğinden üretim kolaylığı da sağlamaktadır. Katkı maddeleri ile bileşenlerinin stabilitesinin sağlanabilmesi, birçok amaç için kullanılabilir olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda hafif olması, taşıma maliyetine etkisini azaltmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Ticari olarak yapılan ilk plastikler yarı sentetiktir. Bunlar, genellikle pamuk artıklarından elde edilen ve insanların sindiremediği bir karbonhidrat olan selülozdan türetilmiştir. 1868 yılında İngiliz Kimyacı Alexander Parkes, kolayca kalıplanabilen ve biçimlendirilebilen, “Parkenise” adlı bir plastik hazırlamıştır. Parkesin’in küçük miktarlarda hazırlanması kolay olmasına karşın endüstri ölçeğinde üretimi başarısızlıkla sonuçlanmıştır. 1870 yılında ABD’de matbaacı John Wesley Hyatt, ticari bakımdan ilk başarılı plastik olan selüloidi Parkesin’e benzer biçimde, ama hintyağı yerine kâfurun kullanarak hazırlamıştır. Hyatt’ın buluşu kâfurunun plastikleştirici etkisidir. Bu yeni madde, gözlük çerçeveleri, taraklar, bilardo topları, bıçak ve fotoğraf filmi gibi çok çeşitli ürünlerin yapımında kullanılmıştır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007). Selüloz nitrat ve türevlerinin yanıcı özelliğe sahip olması nedeniyle 1900’lerin başında yerini selüloz asetata bırakmıştır. 1907 yılında Belçikalı kimyager Leo Baekland çok sert ve koyu renkli bir plastik olan bakaliti üretmiştir. Bu madde tümüyle sentetik olan ilk plastiktir. Baekland, kendi tasarladığı ve adına “bakalizer” dediği bir düzenekle sıcaklığı ve basıncı değiştirerek uçucu kimyasalların tepkimelerini kontrol etmiştir. Bu düzenek sayesinde çabucak katılaştıran ve içinde bulunduğu kabın şeklini alan bir malzeme üretmiştir. Bu malzeme yanmayan, erimeyen ve bilinen çözücülerle çözünmeyen, sertleştikten sonra değişmeyen bir malzemedir. Böylece ilk termoset plastik üretilmiş olmaktadır (Kıralp ve diğ., 2007). Fenol formaldehit reçinesi olan bakalit telefon ahizeleri gibi plastik ürünlerin yapımında kullanılmıştır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Herman Staudinger, 1922 yılında yaptığı bir çalışmada, plastiklerin küçük moleküllerin birleştirilmesiyle oluşan dev moleküller ya da polimerler olduğunu göstermiştir. H. Staudinger, yaptığı büyük çapta incelemelerin sonucunda, plastiklerin zincir şeklinde makromoleküllerden oluştuğunu ve bu moleküllerin birbiriyle kovalent bağlanan küçük ünitelerden meydana geldiğini göstermiştir. Benzer moleküllerin polimer zincirleri oluşturacak biçimde bağlanması anlamına

gelen polimerizasyon işlemleri ile polimer sanayi hızla gelişmiş ve 1927'de Selüloz Asetat ve Polivinil Klorür, 1928'de Polimetilmetakrilat, 1929'da üre-formaldehit reçineleri elde edilmiştir. Bunları daha sonra 1932'de Polietilen, 1934'te naylon, Poliakrilonitril, Stiren-akrilonitril ve Polivinil Asetat, 1937'de Poliüretan, 1939'da teflon ticareti adıyla tanınan Poli(tetrafloroetilen) 1941'de Polietilen Tereftalat ve orlon ticari adıyla tanınan Poliakrilonitril fiber takip etmiştir. İkinci Dünya Savaşı plastik endüstrisinin gelişiminde en önemli etkenlerden birisi olmuştur (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007). Polivinil Klorür'ün önemi bu yıllarda ortaya çıkmış ve özellikle müzik sektöründe çok ilgi görmüştür. 1950'lerde ise müzik plakları üretiminde Polivinil Klorür'ün kullanılması, PVC tüketiminin önünü açmıştır. Otomotiv sektöründe plastik kullanımı 1950'lerde başlamıştır (Kıralp ve diğ., 2007).

2.2 Plastiklerin Genel Özellikleri

Bütün plastikler polimerizasyon ürünüdür. Plastik yapımının ön işlemi bunların monomerlere çevrilmesidir. Etilen gazı en yaygın olarak kullanılan monomerlerden birisidir. Sıcaklık, basınç ve birçok kimyasalın etkisiyle plastik üretiminin ikinci evresi başlamaktadır. Buna polimerizasyon denmektedir. Monomerler, zincir oluşturacak biçimde birbirine bağlanmakta ve rezinleri oluşturmaktadır. Etilen Polietilen'e, Propilen Polipropilen'e, Stiren Polistiren'e dönüşmektedir. Böylece, polimer veya plastikler meydana gelmektedir. Polimerizasyon süreci belirli aşamalarda durdurularak belirli özelliklere sahip rezinlerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Yüksek yoğunluklu olanlar taşıması kolay kapların yapımında, düşük yoğunluklular ise film vb. yapımında kullanılmaktadır. Polimerizasyon ürünleri doğrudan kullanılabilirdiği gibi katkı maddeleri ile esneklik, dayanıklılık, sıcağa ve ultraviyole ışınlarına dayanma gibi özellikleri artırılmakta ve bunlardan değişik ürünlerin imalatında yararlanılmaktadır. Katkı maddeleri aracılığıyla plastiklerin renkleri de değiştirilmektedir. Bu katkı maddeleri plastiklerin %1'lik miktarını oluşturmaktadır. Ancak bazı plastik tiplerinde renklendiriciler %10'lara varabilmektedir. Bazı plastiklerin içerisine %40 oranında plastizerler katılmaktadır. Ancak bu katkı maddelerinin çoğu ağır metaller ve toksik kimyasallar içermektedir (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Plastikler kömürden, selülozdan elde edilebilir. Ancak en yaygın üretimi petrolden yapılmaktadır. Dünyada üretilen petrolün %4 kadarı plastik üretiminde, geri kalanı ise taşıt araçlarında, fabrikalarda ve enerji santrallerinde yakıt olarak kullanılarak doğayı kirletmektedir. Bu %4 petrolden elde edilen plastiğin %75-80 kadarı dayanıklı ürünlerde (buzdolabı, çamaşır makinesi, TV, otomobil, ev ve bahçe mobilyaları) kullanılmakta, dolayısıyla genel olarak çöp ve çevre sorunu yaratmamaktadır. Üretilen plastiğin %20-25 kadarı ambalaj sektöründe kullanılmakta; bunun da %50 kadarı dayanıklı ambalajları oluşturmakta (plastik variller, bidonlar, çöp kutuları), geri kalan kısmı da çöp olarak atılmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

2.3 Plastiklerin Türleri

Plastikler; ısıtıldığında erimeyen plastikler (termoset) ve ısıtıldığında eriyebilen plastikler (termoplastik) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar.

2.3.1 Termoset Plastikler

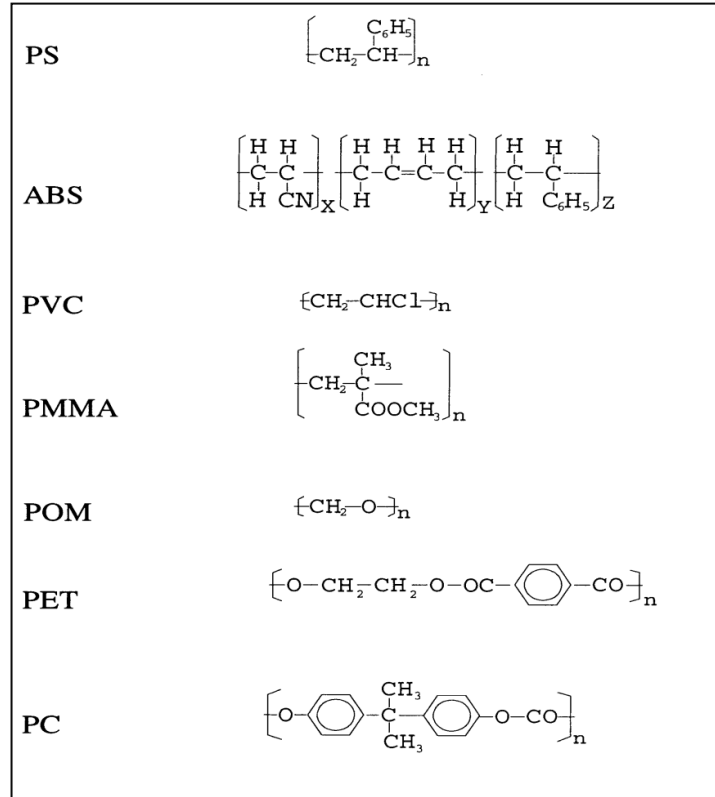
Termoset terimi, hem oda sıcaklığında hem de daha yüksek sıcaklıkta çapraz bağlı yapıya dönüşebilen anlamına gelmektedir. Termoset plastiklerde polimer zincirleri arasında çapraz bağlar olması sebebiyle bu malzemeler her sıcaklıkta katı olarak bulunurlar. Termoplastikler yeniden eritilip şekillendirilebildikleri halde termosetler sıcaklığın etkisi ile erimeden bozunurlar. Bu sebeple, eritilip yeniden kullanılmaları imkânsızdır (Kıralp ve diğ., 2007). Termoset plastikler fenolik reçineler, furan reçineleri, aminoasitler, alkitler, doymamış asit poliesterleri, epoksi reçineler, poliüretanlar ve silikonlardır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

2.3.2 Termoplastikler

Plastiklerin bir alt grubu olarak sınıflandırılabilen termoplastikler ısıtıldığında eriyebilen düz ya da dallanmış polimerlerdir. Birbiri ardına yapılan ısıtma ve soğutma işlemleri ve uygun işleme teknikleri ile istenilen herhangi bir şekle yeniden kalıplanabilirler ve bundan dolayı da termoplastik ya da ısıl yumuşaklar olarak adlandırılmışlardır. Çapraz bağların olmaması nedeniyle ısıtıldığında polimer zincirleri arasındaki nispeten zayıf kuvvetler ortadan kalkar ve bu zincirlerin

birbirleri üzerinden kolaylıkla kaymasıyla malzeme akışkan bir hal alır. İstenilen şekildeki kalıba konulup malzeme tekrar soğutulduğunda ise tekrar eski haline geri döner. Kullanılmış termoplastikler ısı ve basınç uygulanmasıyla geri dönüştürülüp yeniden üretimde kullanılabilirler. Termoplastiklerin bu döngüsü polimerin kimyasal özelliklerini genellikle çok değiştirmez. Teorik olarak bu işlemin tekrarlanmasında herhangi bir sınırlama yoktur. Yalnız, polimerlerin termal parçalanmamasına ve küçük moleküller haline gelmemesine dikkat edilmelidir (Kıralp *ve diğ.*, 2007).

Termoplastikler genellikle her bir tür için kendisine has sıcaklıklar olan camsı geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklığı arasında kullanılırdır. Çünkü bu iki sıcaklık arasında kırılma değildir ve tam bir sıvı özelliği göstermezler. Değişik işleme teknikleri ile istenilen ürünü elde etmek için özellik bakımından bu iki hal arasında yer alırlar (Kıralp *ve diğ.*, 2007). Termoplastikler, Polietilen (PE), Polistiren (PS), Polipropilen (PP), Polietilen tetraftalat (PET veya PETE), Polivinil klorür (PVC), Polimetil Metakrilat (PMMA), Akronitril Butadien Stiren (ABS) ve Polikarbonat'lardır (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Şekil 2.1'de bazı termoplastik çeşitleri ve formül yapıları görülmektedir.



Şekil 2.1 : Termoplastiklerin Formül Yapısı (Shen *ve diğ.*, 2002a).

2.3.2.1 Akronitril Butadien Stiren (ABS)

Üçlü kopolimer olup mukavemeti ve tokluğu yüksektir. Dış ve kimyasal etkilere dayanıklıdır. Çekme mukavemeti 42–50 MPa, özgül ağırlığı 1,05–1,07 mg/m³'tür. Elastisite modülü yoktur ve 75°C'ye kadar olan ısılarla dayanırlar. Boru, oto parçaları, elektronik aygıt kabinleri ve buz dolabı parçaları üretiminde kullanılmaktadırlar (DPT, 2001).

2.3.2.2 Polikarbonat (PC)

Polikarbonatın (PC) icadı 1898 yılında Alman kimyager Einhorn tarafından halka yapılı karbonatların yapımına kadar uzanmaktadır. 1902 yılında Bischoff ve Hedenstörn yüksek molekül ağırlıklı çapraz bağlı polikarbonat sentezlemişlerdir. 1953 yılında Bayer laboratuvarlarında doğrusal termoplastik polikarbonat üretilmiştir. 1957 yılında ise Bayer ve General Electric birbirlerinden bağımsız olarak polikarbonat üretimi için yöntem geliştirdiklerini açıklamışlar ve 1960 yılında ticari üretime başlamışlardır (Kıralp *ve diğ.*, 2007).

Polikarbonatlar kırılmaz ve dağılmaz camlar olarak yiyecek kapları ve biberonlar gibi eşyaların yapımında, son derece hafif gözlük camlarında kullanılır. Polikarbonat plastikleri ve türevleri evlerde kullanılan damacaneler, su ısıtıcıları, tıraş makineleri, saç kurutma makineleri ve benzeri birçok aletin yapımında kullanılmakta ve ısıya dayanıklılığı, elektrik yalıtımı özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca polikarbonatların renklendirilebilme ve şekillendirilebilme kolaylıkları bu aletlerin daha şık ve modern bir görünüme sahip olmalarını sağlar. Hafif ve dayanıklı olmaları sebebiyle cep telefonları, bilgisayarlar ve CD yapımında kullanılmaktadırlar (Kıralp *ve diğ.*, 2007).

2.3.2.3 Polietilen (PE)

Petrol kimyasalların en önemlilerinden olan etilen molekülleri çeşitli tekniklerle birbirlerine eklenerek polimerleştirilebilir ve bunun sonucunda düşük molekül ağırlıklı mumlardan molekül ağırlığı çok yüksek olan kristal yapılı yüksek yoğunluklu polietilene kadar çok çeşitli ürünler elde edilebilir. İlk sentezi, 1898 yılında Alman kimyager Hons Von Pechmann tarafından tesadüfen

gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel anlamda kullanılması 1933 yılında Reginald Gibson ve Eric Fawcett sayesinde olmuştur. Bu malzeme o dönemde düşük yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu olmak üzere iki farklı formda geliştirilmiştir. Düşük yoğunluklu polietilenler esnek, yarı ışık geçirgenliğine sahip, mumsu yapıda, düşük sıcaklıklara dayanıklı ve ucuzdurlar. Genel olarak gaz ve su boruları, plastik poşet ve diğer paketleme ürünleri, çok çeşitli numune ve saklama kapları yapımında kullanılırlar. Yüksek yoğunluklu polietilenler ise yarı sert, yarı ışık geçirgenliğine sahip, mukavemeti yüksek, kimyasallara dayanıklı, düşük su absorblama özelliklerine sahip olup aynı zamanda ucuzdurlar. Genellikle mutfak aletleri, yiyecek kaplama malzemeleri, benzin depoları, süt ve sıvı deterjan kapları yapımında kullanılırlar (Kıralp ve diğ., 2007).

2.3.2.4 Polietilen Teraftalat (PET)

Polietilen Teraftalat'ın yoğunluğu 1,33- 1,37 g/cm³'dür. Maksimum kullanılabilir sıcaklığı 60°C'dir. Orta sertlikte en çok kullanılan plastiklerden biridir. PET, açık veya hafif renkli, yarı saydam, suda yüzebilir özelliktedir ve erime sıcaklığı 250°C'dir. Öte yandan hızlı yanar, alevleri renksizdir. Yanarken mum kokusu ve sönerken beyaz duman vermektedir. Çeşitli boyutlarda içme suyu, meyve suyu, soda ve bitkisel yağ şişeleri, fıstık yağı kavanozu, mikro dalga gıda tepsisi örtüsü ve salata kapları PET plastiğinden üretilmektedir. Şişeler, günümüzde çoğunlukla PET'in reçine halinin kalıba dökülmesi ile yapılmaktadır. Yüksek ısıya dirençli ve kimyasal olarak kararlı, sağlam, dağılmaya, parçalanmaya ve gaz geçişine dayanıklıdır. Absorbsiyonu düşük olan bir ısıl yumuşar polyesterdir. PET aside, çeşitli çözücülere, petrol ve yağa karşı dirençlidir. Biçimlendirmek güçtür ve yüksek dirençli kap olarak kullanılmaktadır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

PET, termoplastikler arasında kristal yapıda, zayıf asitlere, bazlara ve çoğu çözücülere karşı dayanımı olduğu kadar, sağlamlık, sertlik, parlaklık ve yüksek darbe dayanımı gibi özellikleriyle de üstündür. PET'in gerilme dayanımı 8000 psi olup bu değer 30000 psi'ye çıkarılabilir. PET'in gaz geçirgenliği diğer plastiklerin çoğundan daha düşüktür. Şişe reçinelerinde normal olarak 2,5 ppm'den daha az artık Asetaldehit (AA) vardır. Aşırı AA seviyeleri içecek tadını etkiler (DPT, 2001).

Soda, gargara, yağ gibi gıda maddelerinin ambalajında, meyve suları, alkollü içecekler, su, temizlik ürünleri ve diğer yiyeceklerin saklanması için kullanılmaktadır. Değiştirilmiş PET, mikrodalgada ve fırınlarda 180°C'de 30 dakika ısınabilir. Özellikle mikrodalga fırın kullanımında, kaptan yiyeceğe orta miktarda katkı maddesi geçişi olmaktadır. PET gıda ambalaj filmleri, farklı şişeler, fiberler için de kullanılmaktadır. Tıpta plastik damar ve implantasyon amacıyla da kullanılabilmektedir (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

2.3.2.5 Polipropilen (PP)

Polietilenin icadı 1950'lerin başında daha gelişmiş bir malzeme olan polipropilenin icadına öncülük etmiştir. Polipropilen aynı zaman periyodunda ayrı ayrı 9 kere üretilmiştir. Ancak Paul Hogan ve Robert Banks polipropilenin mucidi olarak bilinmektedirler. Polipropilen genel olarak polietilenle benzerlik gösterir ve aynı zamanda ucuzdur. Ancak polipropilen daha dayanıklı bir malzemedir. Plastik şişe üretiminden halılara, plastik mobilyalardan ambalajlara kadar yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Otomotiv sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Günlük hayatta kullanılmasının başlıca sebepleri; hafif olması, suyu emmemesi, baskı ve çatlamalara karşı yüksek dayanımlı olması, baz ve organik çözücüler ile elektrolitlere karşı yüksek dayanımlı olması, zehirsiz olması, leke tutmaması, üretimi kolay ve ekonomik olmasıdır (Kıralp ve diğ., 2007).

2.3.2.6 Polistiren (PS)

Polistiren, petrol ürünü olan sıvı stirenin polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Oda sıcaklığında katı bir termoplastik olup yüksek sıcaklıklarda akışkan hale getirilip kalıplama gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Polistiren ilk olarak 1839 yılında Almanya Berlin'de Eduard Simon isimli eczacı tarafından sentezlenmiştir. Yine Alman bir kimyager olan Hermann Staudinger Simon'un keşfinin stiren moleküllerinin oluşturduğu uzun zincirli plastik olduğunu farkına varmıştır. Staudinger daha sonra 1922'de doğal kauçukların kendilerini tekrarlayan küçük birimlerin oluşturduğu uzun zincirler olduğunu ve bu yapının da kauçuğa esneklik sağladığını vurgulayan teorisini yayınlamıştır. Termal işlenmiş Polistiren'in kauçukla benzer özellikler gösterdiğini söylemiştir. Endüstriyel olarak ilk defa 1937 yılında Dow Chemical tarafından üretilip Amerika'da pazara sunulmuştur. Polistiren'in en

tanınmış formu olan Styrofoam (köpük polistiren) Polistiren'den 30 kat daha hafiftir. Karton yumurta kolilerinde, kümes hayvanları et tezgâhlarında, sıcak ya da soğuk yalıtım isteyen gıda paketlerinde kullanılmaktadır. Polistiren ile evde, ofiste, yemekhanede, markette kısacası tüm yaşam alanında karşılaşmak mümkündür. Polistiren üretim hacmi bakımından termoplastikler arasında dördüncü sırada gelmektedir. Temel olarak paketleme, elektrik elektronik ürünler, inşaat yapı malzemeleri, mobilya, mekanik ürünler ve taşımacılık sektöründeki uygulamalarda kullanılmaktadır (Kıralp ve diğ., 2007).

2.3.2.7 Polimetil Metakrilat (PMMA)

1928 yılında çeşitli laboratuvarlarda geliştirilmiş olan polimetil metakrilat 1933 yılında Alman şirketi Rohm&Haas (GmbH&Co.KG) tarafından piyasaya sürülmüştür. Polimetil metakrilat, camın alternatifi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Camın yarısı kadar ağırlığa sahiptir, kırılmaz, daha kolay çizilir ama çizilmeyi engelleyen kaplamalarla bu sorun ortadan kolaylıkla kaldırılabilir. Işığı daha fazla iletmekte ve düşük sıcaklıklarda üretilmektedir. UV ışığını engelleyemez fakat UV engelleyici filmlerle kaplanarak bu özellik sağlanabilmektedir. Otomobil farları, buz hokey sahasının kenarları, çok büyük pencere ve akvaryumlar, lazer diskler, DVD'ler ve akrilik boya yapımında kullanılır. İnsan dokusu ile olan uyumu sebebiyle göz merceği ve kontak lens yapımında kullanılır. Polimetil metakrilat kullanılarak yapılan "pleksiglas" akrilik cam olarak üretilmiştir ve pek çok kolaylıklar sağlamıştır. Sert bir malzeme olmasına rağmen 100°C'de kısa sürede yumuşar ve istenilen şekle sokulabilecek hale gelir. Tekrar soğutulduğunda hemen eski sert haline geri dönmesi özelliği nedeniyle sanatçılar ve tasarımcılar tarafından sıklıkla tercih edilir. Hava geçirmemesi, yüksek basınçlara dayanması, kalıntı bırakmadan yanması, hafif ve kırılmaz olması gibi özelliklerinden dolayı kullanıma oldukça elverişlidir (Kıralp ve diğ., 2007).

2.3.2.8 Polivinil Klorür (PVC)

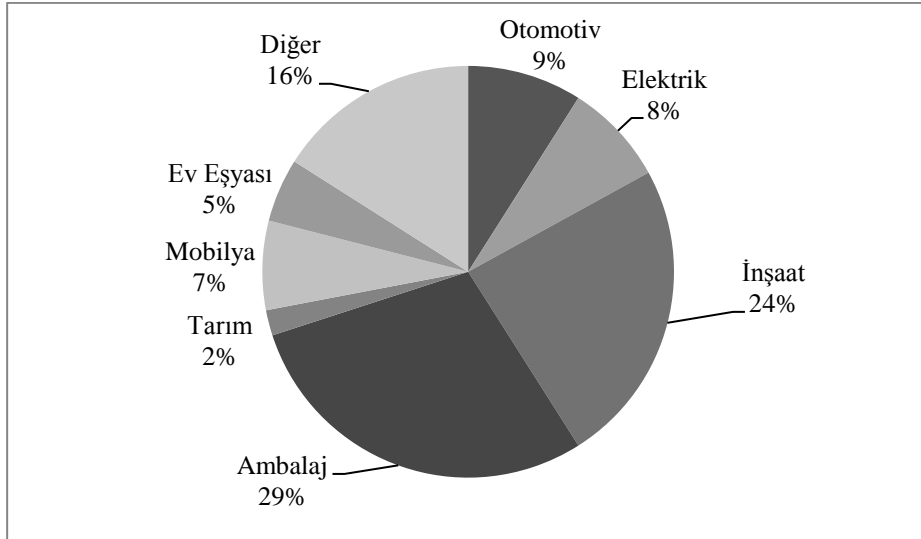
PVC dünyada ilk keşfedilen termoplastiklerden birisidir. PVC'nin monomeri etilenden ve klordan elde edilen vinil klorürdür. PVC ürünleri genelde sert (rijid) , yumuşak (soft) olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Sert PVC'ler genellikle boru ve

profil, yumuşaklar ise film ve folyo gibi mamullerin üretiminde kullanılır (DPT, 2001).

PVC'nin en önemli avantajı çok çeşitli katkı maddeleri ile olan uyumudur. İçindeki klor atomları sayesinde alev alması kendiliğinden önlenir. Mükemmel elektrik yalıtımı sağlar ve kablolarda elektrik yalıtımı için kullanılır. Kuvvetli olması ve hava koşullarına olan dayanımı sebebiyle ideal bir yapı malzemesidir. Saydam ve renkli, sert ve esnek formülasyonları arasındaki rahat geçişi çok sık kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca yüksek performansı ve ucuz maliyeti sebebiyle otomobil sektöründe sıkça kullanılmaktadır. Pencere profili, kanalizasyon ve su boruları, medikal ürünler, yer kaplamaları, paketleme, kredi kartları, suni deri ve kaplama kumaşlarda da PVC sıkça kullanılmaktadır (Kıralp ve diğ., 2007).

2.4 Plastiklerin Kullanım Alanları

Plastik sektörü, özellikle 20. yüzyılın ilk çeyreğinden sonra çok çeşitli dallarda, çok çeşitli amaçlarla kullanım alanı bulmuş olan ve bu alanı giderek genişletmeye devam eden bir sektör konumundadır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, Dünya plastik tüketimini yönlendiren sektörlerin başında ambalaj sanayi % 29 ile birinci sırada olup, bunu % 24 ile inşaat sanayi izlemektedir.



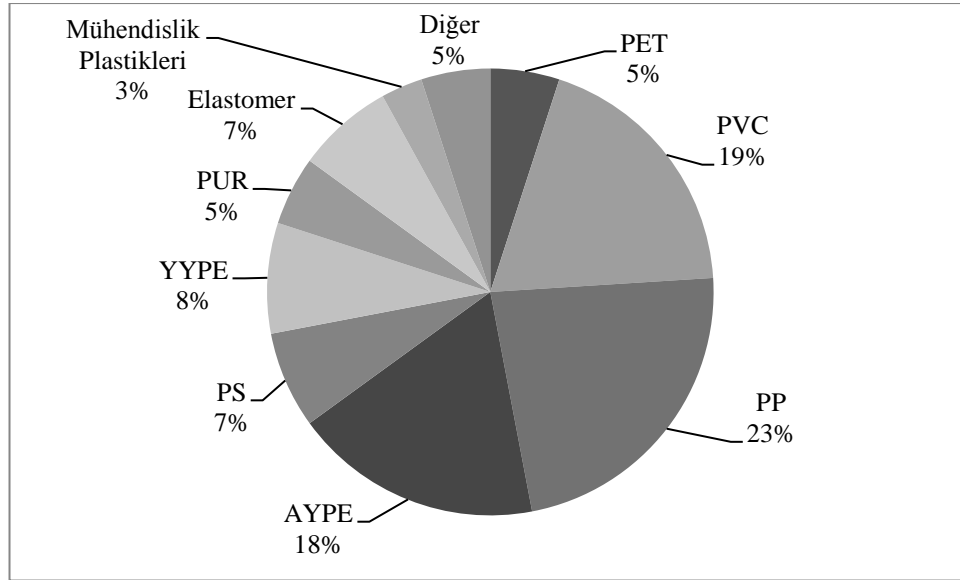
Şekil 2.2 : Dünya'da Plastiklerin Tüketim Alanları (DPT, 2004)

Günümüzde plastikler, ahşap, kâğıt, metal, cam, pamuk, yün, ipek ve kauçuk gibi pek çok doğal ürünün yerini almış ve insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline

gelmiştir. Plastiklerin çeşitli şekillerde işlenebilme özelliğinin yanında maliyet avantajları da teknolojik gelişmelerin çoğunda hayati öneme sahip olmalarını sağlamıştır. Elektrik ve elektronik sanayinde de plastiklerin kullanılmasının başlıca nedenleri; daha iyi tasarımlara imkân verebilmeleri, olağanüstü yalıtım özelliğine sahip olmaları, parçaların mümkün olan en küçük boyutta imal edilebilmesi, montaj kolaylığı sağlamaları ve uygun ve hafif bir depolama ortamı sağlamalarıdır (Alp, 2003).

Son yıllarda plastik kullanımının en çok yaygınlaştığı sektörlerin başında ise otomotiv gelmektedir. Otomotiv sektöründe plastikler yakıt sisteminde, iç ve dış aksamda, şaside, motor parçaları imalinde ve elektrik donanımında kullanılmaktadır. Otomobillerde plastik kullanımının yirmi yıl öncesine göre %100'lük bir artış gösterdiği, otomobil aksamının %40'a yakınının plastik malzemeden oluştuğu kaydedilmektedir. Bugün 5000'den fazla polimerin, karışımın, alaşımın ve bileşiğin özellikleri, plastik kullanmadan üretilmesi mümkün olmayacak kompakt disk, TV, tıbbi aletler gibi ürünlerin yapımını sağlamıştır (Alp, 2003).

Plastik sektörünün hammaddesi, yurtiçi talebin %35'ini karşılayan PETKİM tarafından üretilen termoplastik ürünlerdir. Şekil 2.3'te, Türkiye'deki tüketimin plastik türüne göre dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Türkiye Plastik Tüketiminin Plastik Türüne Göre Dağılımı (PAGEV, 2005)

Türkiye'de üretilen plastik ambalaj uygulamaları arasında oryente edilmiş filmler, stretch filmler, shrink filmler, palet örtüleri, torbalar, poşetler, bigbagler, dokuma çuvallar, ipler, termoform ile üretilmiş katı ve sıvı yiyecek - içecek kapları, gazlı ve gazsız içecek şişeleri, endüstriyel bidonlar, deterjan ve kozmetik ürün şişeleri, köpük kaplar ve ambalaj formları sayılabilir. PE ambalaj filmlerinde, sera örtülerinde, sulama borularında, varil, bidon ve şişe üretiminde ve ev eşyalarında, PP big-bag, çuval, oryente edilmiş film ve sentetik elyaf üretiminde, sıhhi tesisat borularında ve ev eşyalarında, PVC profil, lambri ve borularda, ambalaj filmlerinde, suni deri üretiminde, PS ise ambalaj kaplarında ve ev gereçlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Ambalaj malzemesi olarak giderek yaygınlaşan PET ve hızla gelişen dayanıklı tüketim ve otomotiv sektörlerinde kullanılan mühendislik plastiklerinde iki basamaklı talep artışı gerçekleşmektedir (Plastik Ürünleri Sanayi Raporu, PAGEV, 2005).

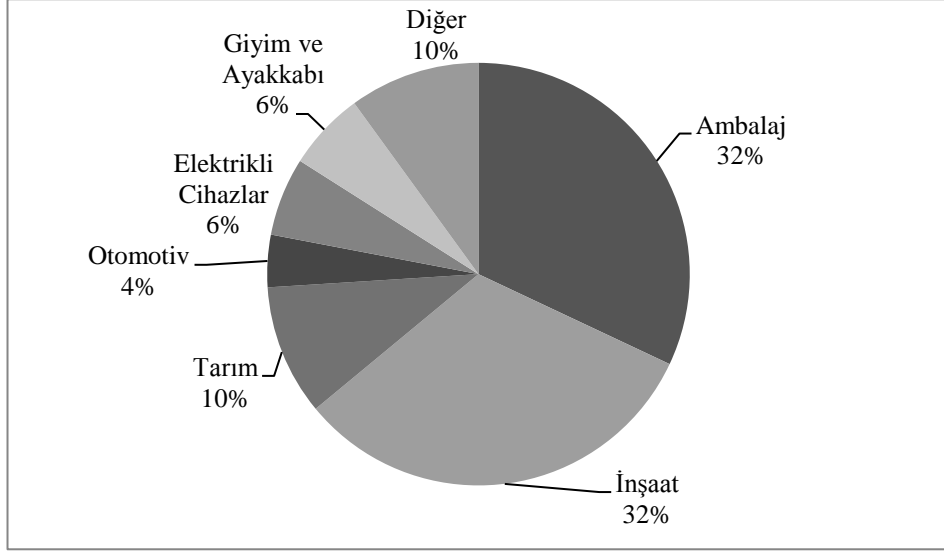
Çizelge 2.1'de bu plastiklerin kodlamaları özellikleri ve kullanım alanları verilmiştir. Kodlamalar, plastik malzemelerin kolay teşhis edileceği ve görüleceği yerlere yapılmalıdır. (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Çizelge 2.1 : Plastiklerin kodlamaları özellikleri ve kullanım alanları (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007)

Dönüşüm No	Kısaltma	Polimer ismi	Kullanım
 PET	PETE, PET	Polietilen Teraftalat	Polyester fiberler, film, elyaf, köpük şişe, katı cisim
 HDPE	YYPE	Yüksek yoğunluklu polietilen	Taşımaya elverişli kapların yapımı, çeşitli şişeler, çantalar, oyun alanı malzemeleri
 V	PVC	Polivinil klorür	Çit ve parmaklık malzemeleri, yiyecek dışı şişeler
 LDPE	DYPE	Düşük yoğunluklu polietilen	Sera örtüsü, film, ambalaj, elektrik sanayi
 PP	PP	Polipropilen	Plastik şişe, elektrik sanayi, mutfak eşyası
 PS	PS	Polistiren	Oyuncak, video kaset, tepsiler, yalıtım malzemeleri
 Diğer	Diğer	Akrilik polikarbonat, naylon dahil diğer plastikler	

Türkiye'de plastiklerin tüketim alanları Şekil 2.4'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir. İnşaat malzemeleri sektöründe de plastikler ambalaj sanayinde olduğu kadar yoğun

olarak kullanılmaktadır. Sağlam, dayanıklı, bakım gerektirmeyen ve korozyona dayanıklı olan plastik ürünler pencere ve kapı profillerinden pis ve temiz su borularına, izolasyondan iç döşemelere, su depolarından çatı ve cephe kaplamalarına kadar birçok uygulama için üretilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır (PAGEV, 2005).



Şekil 2.4 : Türkiye’de Plastiklerin Tüketim Alanları (DPT, 2004)

Şekil 2.4’te görüldüğü gibi ülkemizde plastik tüketiminin en yaygın olduğu alan inşaat ve ambalaj sektörü olmakla birlikte, bunu en yakın olarak tarım sektörü izlemektedir.

2.4.1 Dünya Plastik Sektörü

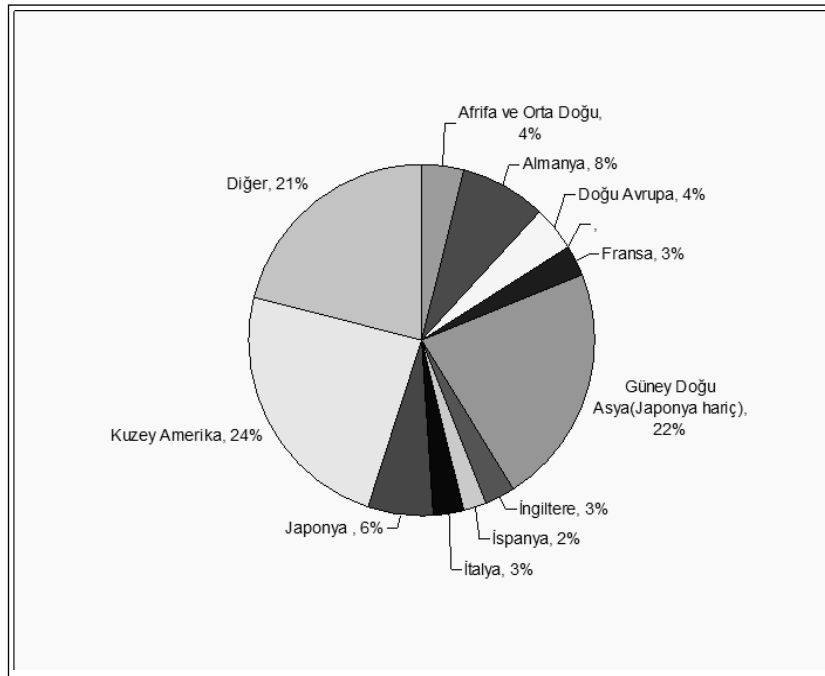
Dünya’da büyük bir pazarı bulunan plastik ve plastik ürünlerinin başlıca üretici ve tüketicileri Kuzey Amerika, Batı Avrupa ve Güneydoğu Asya ülkeleridir. 2003 yılında kişi başına plastik tüketiminde dünya ortalaması 28 kg olarak gerçekleşmiş olup, 2010 yılında 37 kg’ye çıkması beklenmektedir (Plastic Europe, 2008).

Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere, Kuzey Amerika ve Batı Avrupa dünya toplam plastik tüketiminin yarısından fazlasını gerçekleştirmektedir. Kişi başına plastik tüketiminde 2003 yılı itibari ile Kuzey Amerika 104 ton ile ilk sırada yer alırken, Batı Avrupa 99 ton ve Japonya 85 ton ile onu takip etmektedirler (Şekil 2.5). Yapılan projeksiyonlarla, plastik tüketiminde önde olan ülkelerin konumlarını gelecekte de muhafaza edecekleri beklenmektedir (Plastic Europe, 2008).

Çizelge 2.2 : Bölgesel Bazda Dünya Plastik Malzeme Tüketimi (Plastic Europe, 2008)

	1990	2003	2010
Milyon Ton	86	176	250
	Tüketimin % Dağılımı		
Afrika-Orta Doğu	4.0	6.0	5.5
Orta Avrupa	6.0	3.5	4.0
Latin Amerika	4.0	5.5	5.5
Japonya	12.0	6.0	5.5
Güney Asya	16.5	32.0	36.0
Kuzey Amerika	29.0	25.0	24.0
Batı Avrupa	28.5	22.0	19.5
Toplam	100.0	100.0	100.0

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi plastik tüketiminin en çok yapıldığı ülkeler Güney Doğu Asya ve Kuzey Amerika'dır. Plastik tüketiminin en az olduğu ülke ise İspanya'dır.



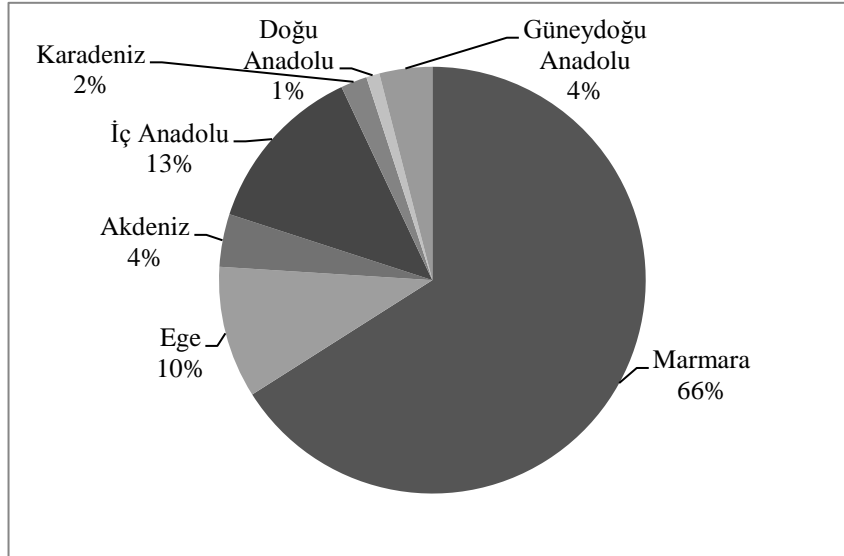
Şekil 2.5 : Plastik Tüketiminin Ülkelere Göre Dağılımı (PAGEV, 2005)

Tüketimi yönlendiren Kuzey Amerika, Japonya ve Batı Avrupa dünya plastik malzeme üretiminde de önemli bir noktadadır. Bu ülkelere ilave olarak Güney Doğu Asya ülkelerinin de plastik malzeme üretiminde ciddi bir pay sahibi oldukları görülmektedir. Afrika, Ortadoğu, Doğu Avrupa gibi ekonomik olarak nispeten geri kalmış ülkelerin plastik tüketiminde olduğu kadar plastik malzeme üretiminde de ciddi bir pay sahibi olamamışlardır. Plastik ürünlerinin ana hammaddesi olan petrolün çıktığı ülkelerde bile plastik üretim ve tüketimi çok sınırlı düzeyde

kalmaktadır. Avrupa'nın en büyük ikinci sektörü olarak ön plana çıkan kimya endüstrisinin alt kolu olan plastik sektöründe yaklaşık 1,1 milyon kişi çalışırken ancak 70 bin kişi plastik üretiminde çalışmaktadır. Batı Avrupa plastik sektörü yıllık cirosu yaklaşık 130 milyon Euro'ya ulaşmaktadır. Aynı zamanda, plastik imalatı sektörü yıllık yaklaşık 700 milyon Euro Ar-Ge harcaması yapmaktadır (Eraslan ve diğ., 2007).

2.4.2 Türkiye Plastik Sektörü

Plastik işleyen firmaların önemli bir bölümü (yaklaşık %66), Şekil 2.6'da görüldüğü gibi İstanbul ve civarında yer almaktadır. Sektörde kullanılan işleme makinelerinin %80-90'ı ülke içinde üretilen makinelerdir. Makine üreten firmaların bir bölümünün teknolojik düzeyi oldukça yüksek olup bazı firmalar üretimlerini, Batı ülkeleri dahil, pek çok ülkeye ihraç edebilmektedir. Plastik işleyen firmaların hemen hemen tümünün kendi kalıp üretim atölyeleri bulunmaktadır.



Şekil 2.6 : Plastik Firmalarının Bölgesel Dağılımı (DPT, 2004)

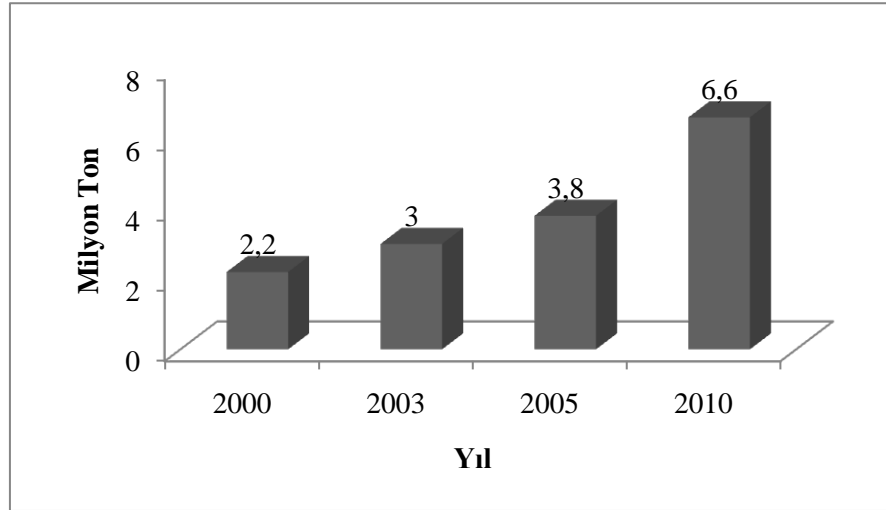
Türkiye'de plastik endüstrisinin geçmişi 1960 yılına yani ülkemizin sanayileşme yıllarına dayanmaktadır. En hızlı büyüyen pazarlardan biri olarak dikkat çeken plastik sektörünün sanayi üretimi, 7. Plan döneminde (1996–2000) yılda ortalama %12,5 oranında artmıştır. İhracat artışı %13,2, ithalat artışı ise %14,9 olmuştur. Kişi başına toplam plastik tüketimi 1995 yılında 14 kg civarında iken 1999 yılı sonu

itibariyle 30 kg'a ulaşmıştır. 1995 yılı itibariyle plastik işleme sektörünün kapasitesi 990 bin ton/yıl iken, 1999 yılı sonunda 2.65 milyon ton/yıl'a ulaşmış; kapasite kullanımını 2001 yılında %61,4 olarak gerçekleştirmiştir. Plastik sanayi üretimi 2000 yılı itibariyle 1.9 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiştir. 2001 yılında plastik ürünleri ithalatı 570,6 milyon, ihracatı ise 478,7 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Türk plastik sanayisinin dünya plastik sektörü içindeki payı %1,6 düzeyindedir. Yılda 3,7 milyon ton işleme kapasitesi ile AB ülkeleri içinde 6. sırada bulunan plastik sektörü, 8. plan döneminde yılda ortalama %8 büyüme gerçekleştirerek GSMH ortalama büyüme hızının 2 katı düzeyinde performans göstermiştir. 2005 yılı sonunda 12,5 milyar dolarlık üretim değeri ile toplam GSMH içinde %4 pay almıştır. 2005 yılında 1,7 milyar dolarlık doğrudan ve 3 milyar dolarlık dolaylı ihracat ile kimyasallar sektöründe birinci ihracatçı sektör konumundadır (PAGEV, 2005).

Plastik hammaddeleri ve mamul ürünlerin yer aldığı bu sektörde 2006 (Ocak- Nisan) döneminde, 2005 yılının aynı dönemine göre miktarda %27, değerinde de %19 oranında artışlarla 276 bin ton karşılığı 584 milyon dolarlık ihracat gerçekleşmiştir. Yine, plastik hammaddeleri ve mamul ürünlerinin 2006 (Ocak-Nisan) döneminde en fazla ihraç edildiği ülkeler arasında Rusya Federasyonu 42 milyon dolarla ilk sırada yer alırken, bu ülkeye yapılan söz konusu ürün ihracatında bir önceki yılın aynı dönemine göre %20 oranında artış gözlenmiştir. İtalya 35,6 milyon dolarla ikinci (%94 artış), Romanya 35 milyon dolarla (%15 artış) üçüncü sıradadır. Almanya %5 artış ile 34,3 milyon dolar, İngiltere %5 artış ile 28,6 milyon dolar ihracat yapmıştır. Ukrayna %4 artış ile 27 milyon dolar, Irak %33 artış ile 25 milyon dolar ve Fransa ise bir önceki yıla göre %42 artış göstererek, 24 milyon dolar ile plastik ve mamulleri ihracatında diğer önemli ülkeler arasına girmişlerdir (DTM, 2006).

Sonuç olarak, sektörel gelişimi Türkiye'de 1960'lı yıllara kadar uzanan plastik sektörü, özellikle 80'li ve 90'lı yıllarda hızlı bir büyüme eğilimine girmiştir. Ancak, sektörün hem mikro hem de makro ölçekte vizyon ve stratejik planlama eksikliğinden dolayı bir daralma ile karşı karşıya kaldığı ve plansız büyümenin sancılarını yaşamaya başladığı görülmektedir. Özellikle, aynı işi yapan birçok firmanın sektörde faaliyet göstermesi çok şiddetli bir maliyet odaklı rekabete neden olmaktadır (İ. H. Eraslan ve diğ., 2007). Türkiye plastik sektörü, sahip olduğu avantajlarla rekabet gücü yüksek bir bölgesel oyuncu niteliğine dönüşme fırsatına

sahiptir. Mevcut ve planlanan doğal gaz ve ham petrol boru hattı projeleri ile bir enerji terminali olmayı hedefleyen Türkiye, bu projelerin hammadde yönünden sağlayacağı imkânlar ile büyük ölçüde atılım kaydedecektir (Alp, 2003). Türkiye'nin plastik tüketimi projeksiyonu Şekil 2.7'de verilmektedir. Irak krizine rağmen 2003 yılında bir önceki yıla göre %10 büyüyen sektör 2004'ün ilk altı ayında da önceki yılın aynı dönemine göre %12'lik bir büyüme kaydetmiştir. Temel plastik hammadde ithalatı 2003'de % 21, 2004'ün ilk altı ayında da %32.5 artmış, 2003 yılında ulaşılan 3.0 milyon ton plastik işleme hacmi ile Türkiye Avrupa'da İspanya'dan sonra 6. sırada yer almıştır. Halen 44-50 kg olan kişi başına plastik tüketimi dünya ortalamasının üzerinde olmasına rağmen gelişmiş ülkelerdeki 100 kg rakamıyla karşılaştırıldığında önemli bir potansiyele ve büyümenin süreceğine işaret etmektedir. Mevcut büyüme hızının korunması halinde Türkiye 2010 yılına Avrupa ve Avrasya'nın üçüncü büyük plastik işlenen ülkesi olarak girecektir (www.tspmakina.com).



Şekil 2.7 : Türkiye’de Plastik Tüketimi Projeksiyonu (www.tspmakina.com)

Plastik sektörünün, PAGEV ve PAGDER tarafından yazılan, 9.uncu 7 Yıllık Kalkınma Planı için temel vizyonu; “2013 yılında Türk Plastik Sektörünü, teknoloji üreten, teknolojisini dünya pazarlarına kabul ettiren önder bir sanayi kolu haline getirmek ve işleme kapasitesi ile AB ülkeleri içinde 3. sektör konumuna yükseltmek” şeklinde belirlenmiştir. Bu vizyonun gerçekleşmesi ve sektörün istikrarlı bir şekilde büyümesi, ihracatının sürdürülebilirliği ve sektöre doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının çekilmesi için öncelikle makro ekonomimizde hızlı ve istikrarlı

ekonomik büyümenin sağlanması, düşük ve öngörülebilir enflasyon ile reel faiz oranları, ihracatı teşvik eden, ithalatı özendirmeyen ılımlı döviz kuru dalgalanmaları ve yeterli yatırım teşviklerinin sağlanması gerekmektedir. 8. plan döneminde yılda ortalama %8 büyüme hızı ile %150 artış gösteren ve 1,5 milyon tondan 3,7 milyon tona çıkan plastik işleme kapasitesinin, 2006-2013 döneminde yılda ortalama %15 büyüyerek 11,5 milyon tona çıkması ve AB ülkeleri içinde 3. büyük plastik işleme kapasitesine erişmesi beklenmektedir. 2013 yılında plastik sektörü 5,2 milyar dolar doğrudan ve 12,5 milyar dolar da dolaylı olmak üzere toplam 17,7 milyar dolar ihracat hacmine ulaşacağı beklenmektedir (Demirci, 2005).

Yurtiçi talep, gelişmiş ülkeler ve dünya ortalamasının üzerinde artış göstermektedir. Genç nüfus ve henüz doyum noktasına ulaşmamış pazarıyla geleceğe yönelik potansiyel talebi yüksektir. Halen 50 kg olan kişi başına düşen plastik tüketimi gelişmiş ülkelerdeki tüketimin çok altındadır. Plastik sektörü yükselme eğiliminde olan ve katma değeri büyük olan sektörler arasında ara malzeme üretmektedir. Türkiye bu sektörlerde önemli bir üretim ve ihracat üssü olma yolundadır (PAGEV, 2005).

Bu gün için ülkemizde 1950'li yıllardan farklı olarak hemen her çeşit takviyeli mühendislik termoplastikleri ve hemen her çeşit cam veya başka şekillerde takviye edilmiş termoset kompozitler üretilip tüketilmektedir (Savaşçı ve diğ., 2002).

2.4.3 Dünya'da ve Türkiye'de Plastik Fiyatları

2005 yılında, PP fiyatlarında yüksek belirsizlik yaşanmıştır. Fiyatlardaki bu değişim, arz-talep dengesi dışında petrol fiyatlarının maliyetler üzerindeki etkisinden kaynaklanmıştır. PP fiyatları Ekim 2005'te 1.400 \$/ton seviyelerindeyken 2006 ortasında %14'lük bir gerileme kaydedip 1.200 \$/ton'a düşmüştür (www.lme.com). Son iki aylık dönemde ise Türk malı PP 2050 \$/ton civarlarında fiyatlarla alıcı bulmaktadır. 2010 yılı itibari ile Türk malı alçak yoğunluklu PE'nin fiyat aralığı 2180-2200 \$/ton, yüksek yoğunluklu PE'nin fiyatı ise 2120 \$/ton civarındadır (www.biastra.com).

PET'in kimyasal geri dönüşümünün maliyeti çok yüksek olup yılda 50.000 tonun üzerinde bir üretim söz konusudur. 2000 yılından 2008 yılına kadar plastik şişelerin fiyatları 50 €/ton'dan 500 €/ton'un üzerine çıkmıştır (www.wikipedia.org). PET fiyatları 2009 yılı itibariyle Avrupa'da 800 €/ton, Batı Avrupa'da 1165-1290 €/ton,

Doğu Avrupa’da ise 890-995 €/ton olmuştur. Üretim, belirgin bir şekilde 2008’in ikinci yarısından 2009’un başlarına kadar düşmüş, bazı üreticiler düşük talep ve fiyatlardan dolayı üretimi durdurmuşlardır. PET fiyatları ABD’de Ekim’den Aralık’a kadar %24’lük bir düşüş ile ton başına 427 \$’a inmiştir.

PVC fiyatları 2009 Şubat ortasından beri Çin’de 700 \$/ton’dur. Fiyatlarda devamlı iniş çıkışlar kaydedilmiştir. Türk malı PVC ise 2010 yılı itibari ile 1500\$/ton fiyattan satılmaktadır (www.icis.com).

2.5 Plastiklerin Geri Dönüşümü

Değerlendirilebilir atıkların kaynağında ayrı toplanması, bu atıkların katı ayırma atık tesislerinde işlenerek özelliklerine göre daha homojen gruplara sınıflandırılması, atıkların bu şekilde tekrar kullanılabilir ve ikincil hammadde haline getirilebilecek nitelikte elde edilmesi “geri kazanım” olarak tanımlanır. Geri kazanılamayan ve her sene milyonlarca tona ulaşarak yoğunlaşan plastik dağların yaratacağı sonuçlar ortadadır. Bu atıkların yararlı hale getirilmesi hem ekonomik olarak hem de çevre kirlenmesi açısından çok önemlidir. Plastik, dünyanın en değerli doğal kaynağı, petrolden üretilir. Plastik genellikle ambalaj malzemesi olarak kullanılır ve çöpe gider. Diğer bir deyişle çöp dağlarının 1/3’ü paketlenme malzemesinden kaynaklanır. Plastikler, sonsuza dek çöp olarak kalır, yani hiç bir zaman doğaya geri dönmez. Günümüzde geri kazanılmış plastikten çöp torbasının yanı sıra bahçe çitleri, çiçek saksıları gibi uzun ömürlü tüketim malzemeleri yapılır. Plastik malzemeler, ucuzluk, dayanım, kolay işlenebilme, hafiflik ve temizlik gibi avantajları ile kullanımı oldukça yaygın olan malzemelerdir. Plastikler, ambalaj ve paketlenme sanayi uygulamalarında kullanım ömürlerinin kısa olmasından dolayı, üretildikten çok kısa bir süre sonra katı atık problemi oluşturmakta, doğa koşullarında parçalanmama ve bozunmadan kalma gibi dezavantajlara sahiptir. Toplam plastik atıklar içerisinde en büyük pay % 40 ile ambalaj atıklarındadır ve bunların büyük çoğunluğu evsel atıklar içerisinde bulunmaktadır. Bunun yanında plastikler, paketlenme ve ambalaj miktarını azaltmaktadır. Yani 1 kg plastik malzemeyle 27 kg sıvı ambalajlamak mümkün iken aynı miktarda sıvı için 1,5 kg alüminyum, 4 kg çelik veya 13–14 kg kadar cam malzemeye ihtiyaç vardır. Bu da doğal kaynakların korunması, tasarruf edilmesi anlamına gelmektedir. Kâğıtla karşılaştırıldığında, plastik malzeme aynı işi görecektir

kâğıt malzemeden çok daha az toplam üretim enerjisi gerektirir (www.kimyamuhendisi.com).

Genellikle plastik atıklar, tüketiciler tarafından kullanım sonrası veya endüstride üretimi esnasında oluşur. Ekonomik öneme sahip yaklaşık 50 tip plastik mevcuttur. Toplam plastik tüketiminin yaklaşık %60'ını PE, PET, PP, PS ve PVC gibi geleneksel polimerler kapsar. Hem yaşadığımız çevreyi, hem dünyamızı ve enerji kaynaklarımızı korumak, hem de üstün özelliklerinden faydalanmaya devam etmek için plastik malzeme geri dönüşümünü sağlamak gerekli ve önemlidir. Plastiğin geri dönüşümü her geçen gün biraz daha artmaya başlamış ve %30 hatta bazı plastiklerde %60 dönüşüm sağlanmıştır. Belediyelerce toplanan çöpler ihaleye çıkarılmakta, ihaleyi kazanan firmalar çöpleri ayıklayıp ekonomik değeri olan malzemeleri ait oldukları sektöre satmaktadır. Plastikler de aynı kanalla toplanmakta ve daha az değerli olan ikincil malzemelere dönüştürülmektedir.

2.6 Plastik Atıkların Değerlendirilmesi

Üretilen plastik malzemelerin büyük çoğunluğu, kullanımdan sonra fonksiyonunu kaybetmekte ve plastik atık olarak terk edilmektedir. Gerek plastik hammaddesi olarak gerekse ısı değeri yüksek olması bakımından, bu atıkların değerlendirilmesi çok önemlidir. Plastiklerin geri kazanım işlemi maliyeti düşük olmamakla birlikte kullanılmış malzemenin tekrar kullanımına olanak sağlaması ve atık sahalarına boşaltma maliyetini ortadan kaldırması göz önünde bulundurulduğunda, diğer yok etme yöntemlerinden daha avantajlı kabul edilebilmektedir. Plastik atıkların değerlendirilmesi için gereken birkaç basamak vardır. Bunlardan ilki plastik atıkların toplanma işlemidir. Daha sonra da plastik atıkların ayırma işlemine geçilmektedir.

2.6.1 Plastik Atıkların Toplanma İşlemi

Toplanma işlemi, toplamanın hangi aşamasında yapıldığına bağlı olarak gruplandırılmaktadır.

Kaynakta Toplanma: Atıkların evlerde, ticari firmalarda veya endüstride özel ayırma kutularında daha kaynakta iken toplanmasıdır. Bu yolla atıkların kirlenme oranı oldukça azaltılmaktadır.

Atıkları Sınıflandırarak Toplama: Özel atık araçları tarafından atıkların gruplandırılarak toplanmasıdır. Toplama hızını düşüren bir yöntemdir.

Merkezde Toplama: Birlikte toplanan atığın merkezde ayrılması işlemidir. Ayırma el ile yapılabildiği gibi mekanik ve elektronik olabilir. Geri kazanılabilir atıkların üretim sırasında renk ve sayılarla kodlanması toplama işleminin hızını arttırmaktadır (www.kimyamuhendisi.com).

2.6.2 Plastik Ayırma Yöntemleri

Plastik geri dönüşümünde genellikle aşağıdaki 3 değişik yöntem kullanılır;

Yüzdürme-Batırma İle Ayırma: Yüzdürme-batırma yolu ile ayırma tekniğinde, farklı tür plastiklerin değişik yoğunluklara sahip olması özelliğinden yararlanılarak, plastikler yoğunluğu belli bir sıvı içerisine atılır ve yüzen batan şeklinde ayrılırlar. Bu yolla bütün plastik türlerini ayırmak mümkün değildir. Değişik yoğunluklu sıvılar kullanarak daha fazla plastik çeşidinin birbirinden ayrılması sağlanır. Fakat, yoğunlukları birbirine yakın olan PET ve PVC gibi plastikler için endüstride geniş uygulama alanına sahip bu ayırma yöntemi uygun değildir. Bu yolla ayrılması mümkün olan plastikleri için hem basit hem de ucuz bir yöntemdir (Dinger, 1999).

Mekanik Yolla Ayırma: Elle ayıklama, hidrosiklon ile ayırma, hava ile sınıflandırma, depolimerizasyon, seçimli çözündürme ve lazer taraması değişik türdeki mekanik ayırma tekniklerini oluşturur. Selektif çözündürme yöntemi plastiklerin kimyasal özelliklerine göre laboratuarlarda oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Öte yandan, çözündürme işlemi için kullanılan organik sıvıların fiyatları oldukça yüksektir (Drelich ve diğ., 1998).

Flotasyon ile Ayırma: Cevher hazırlamada kullanılan flotasyon tekniğini plastiklerde uygulama fikri oldukça yenidir ve bu konu ile ilgili ilk yayın 1970'lerde çıkmıştır. Bu yöntemle, gravite veya diğer yöntemlerle ayrılamayan ve çoğu doğal olarak hidrofobik (suyu sevmeyen) olan plastiklerin bazılarının yüzeyine adsorbe olan kimyasallar ile yüzey özellikleri değiştirilmekte ve hidrofilik (suyu seven) özellik kazandırılarak batması ve hidrofob olan diğer plastik türünün oluşturulan hava kabarcıklarına tutunarak yüzmesi ve seçimli olarak ayrılması sağlanır (Marques ve Tenorio, 2000).

2.7 Geri Kazanmada Temel Yöntemler

Her gün plastik eşya üretimi sırasında ortaya çıkan tonlarca atık malzeme genelde tekrar işlenerek değerlendirilmektedir. Katı atıkların içinden plastiklerin geri kazanılmasında farklı olan nokta; atıklar içinden plastiklerin toplanması, sınıflandırılması, kullanıma hazırlanması ve ancak bu aşamalardan sonra tekrar değerlendirilmesidir. 3 tip değerlendirme yöntemi mevcuttur. Bunlar; malzemenin geri kazanılması, kimyasal geri kazanma ve enerji üretiminde kullanmadır.

2.7.1 Plastik Malzemenin Geri Kazanılması

Bu uygulamaya en yakın plastikler Polietilen, Polipropilen, PVC ve PET olarak gözükmetedir. Katı atıklardan bir ölçüde elle ayırma yöntemiyle ayrılan bu karışık plastiklerin türlerine göre sınıflandırılması amacıyla çeşitli yöntemler üzerinde araştırmalar yapılmakta ise de yoğunluk farkıyla ayırma prensibine dayalı yüzdürme/batırma ve hidrosiklon sistemi ile flotasyon; üzerinde en çok çalışılan sistemler olarak gözükmetedir.

2.7.1.1 Homojen Olarak Geri Kazanımı

Önce plastik atığın sınıflandırılması gerekmektedir. Bu sınıflandırma elle, gözle, sulu çözeltiler veya çözücülerle veya hidrosiklonlar yardımıyla yapılabilir. Atık plastikler türüne göre ayrıldıktan sonra işlenip granül haline getirilmektedir. Ülkemizde en fazla granül üretilen atık plastik türü Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)'dir. Bunların toplam tüketimine göre geri dönme yüzdesi %40'tır. Atık plastiklerin işlenmesiyle en çok poşet, kapak, oyuncak, bidon gibi ürünler elde edilmektedir.

Sıvı kapların ve PET şişelerin alt kısımlarının yapıldığı YYPE malzemesi, kuzey Amerika'da PET'ten sonra en fazla geri kazanma işlemine tabi tutulan plastik türüdür. Avrupa'da maden suyu şişesi olarak kullanılması dolayısıyla, PVC geri kazanma açısından en fazla ilgiyi çeken plastik türüdür. Geri kazanılan PVC'nin değerini arttırmak için pencere profilleri ve ayakkabı tabanları gibi ürünlerde kullanılması düşünülmektedir. Polistren için de büyüyen bir geri kazanım pazarı mevcuttur. Geri kazanılan PS, tepsilerde, oyuncularda ve video kasetlerinde kullanılmaktadır.

2.7.1.2 Karışık Olarak Geri Kazanımı

Plastiklerin karışık olarak işleme durumunda bir çeşit sınıflandırma yapılarak, her atığın rastgele alınmamasına çalışılır. Plastiğin işlenmesinde sıcaklığın uniform olarak sağlanması çok önemlidir. Bu sorunları gidermek için karışımlardaki partikül boyutlarının azaltılması, yüksek akma gücüne sahip proses ekipmanının kullanılması, işleme ekipmanında kalma süresinin kısaltılması, karışımlara kimyasal modifikasyon uygulaması ve koekstrüzyon veya koenjeksiyon işleme tekniklerinin kullanılması gibi yöntemler önerilmektedir. Çeşitli plastiklerin karışık olarak işlenmesi sonucunda da kazık, lata gibi inşaat malzemeleri, durak yapımında kullanılan malzemeler, plaj malzemeleri, bahçe malzemeleri ve spor malzemeleri elde edilmektedir (www.kimyamuhendisi.com).

2.7.2 Kimyasal Geri Kazanma

Depolama, yakma ve tekrar işleyerek değerlendirmedeki problemler, plastik atıkların kimyasal yöntemlerle enerji, yakıt ve kimyasal hammaddelere (polimer, monomer) dönüştürülmesini zorunlu kılmıştır. Mekanik geri kazanımda gerekli olan temizleme ve ayırma işlemleri, kimyasal geri kazanımda gerekli değildir. Bu da toplama ve ayırma maliyetini azaltmaktadır. Kimyasal geri dönüşüm yöntemleri; piroliz ve hidrojen ortamında parçalanma yöntemleridir.

Piroliz: Plastik atıkların oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda (600-900°C) moleküllerin ısı olarak parçalanıp katı, sıvı ve gaz gibi ürünlere dönüştürülmesidir. Almanya ve ABD de plastiklerin pirolizi için akışkan yatak kullanan pilot tesisler mevcuttur. ABD mevcut bir piroliz prosesinde atık PE ve PP'nin % 6'sı gaz ürüne dönüşmektedir.

Hidrojen Ortamında Parçalanma: Plastik atıkların hidrojen ortamında ısı etkisiyle (500°C) benzin ve motorin gibi petrokimya endüstrisinde kullanılacak değerli ürünler elde edilmektedir.

2.7.3 Enerji Üretiminde Kullanım

Bu yöntem, özellikle büyük şehirlerde ve çöp depolama alanlarının sınırlı olduğu yerlerde atık miktarını azaltmak için kullanılır. Yakma işlemi büyük ebatlı fırınlarda gerçekleşir. Burada iki nokta önemlidir: Aşırı ısınmadan dolayı yakma fırınları zarar

görmektedir ve hava kirliliğine sebep olarak çevre ve insan sağlığına zarar vermektedir. Yakma işlemi enerji elde etmek veya zehirli ve tehlikeli atıkları ortadan kaldırmak amacıyla yapılır.

Enerji Elde Etmek Amacıyla Yakma: Ambalaj atıkları da diğer ısı değeri yüksek atıklar gibi yakılarak ısı enerjisi elde edilir. Bu enerji büyük tesislerin ve konutların ısıtılmasında veya elektrik enerjisi üretilmesinde kullanılabilir. Almanya'nın Frankfurt şehri çöplerinin yakılarak enerjiye dönüştürülmesi ile 38.000 nüfuslu bir yerleşim biriminin merkezi ısıtılması ve elektrik ihtiyacı karşılanmaktadır.

Enerji Elde Etmeden Yakma: Bu yakma işlemi zehirli ve tehlikeli atıkları ortadan kaldırmak için yapılır. Yüksek ısı değerleri nedeniyle, plastikler yakarak enerji elde etmek için cazip malzemelerdir. Ancak yakma esnasında ortaya çıkan zehirli gazlar çevre kirliliğine sebep olur ve insan sağlığını tehdit edebilir. Bu problemi ortada kaldırmak amacıyla baca filtreleri kullanılır. Yakma sonucu geriye kül ve metal parçaları kalır. Yakma sonucu ortaya çıkan kurşun, çinko, cıva, krom ve kadmiyum gibi ağır metaller asit gazları oluştururlar ve asit yağmurlarına yol açarlar. Baca gazı temizlemesi, fırına kireç taşı ilave edilmesi ve zararlı plastik katkı malzemelerin kullanılmaması ile bu problemlerin çözümü mümkün olmaktadır.

2.8 Geri Kazanılmış Plastiğin Ekonomisi ve Kullanım Alanları

Yapılan tahminlere göre Avrupa'da geri kazanılmış plastiklerin yıllık tüketim artış hızı yaklaşık %40 civarındadır. Fakat geri kazanılmış plastikler gerek kalite gerekse güvenilir bir hammadde kaynağı olarak pek de güvenilir değildir. Kullanım alanları kısıtlıdır. Avrupa'da özellikle Fransa'da maden suyu şişesi olarak kullanılması dolayısıyla, PVC önemli bir geri dönüştürülebilir bir plastiktir. Fakat geri kazanım ekonomisi iyi olmadığından kullanım alanları değiştirilmektedir. Çizelge 2.3'te bazı katı atıklardaki plastiklerin kaynağı ve kullanım alanları verilmektedir (www.kimyamuhendisi.com).

Çizelge 2.3 : Bazı Plastiklerin Kaynakları Ve Kullanım Alanları

Kaynak	Kullanım Alanı
Çöp Torbası	Film
'Shrink' Film	Market Torbası
Kullanılmış Ağır Hizmet Torbaları	Geniş Çaplı Basıncsız Boru
Ev Gereçleri ve Endüstriyel Malzemeler	Yeni Meşrubat Kasaları
Gıda Dağıtımında Kullanılan Malzemeler	Yeni Yapı Malzemeleri

Yeniden kullanım açısından başlıca plastik tipleri PET ve YYPE'dir. Plastik geri dönüşümü için beş adım gerekmektedir: Birinci adım; geri dönüşüm için büyük miktarlarda kullanılmış plastiğe ulaşmaktır. Geri kazanılabilir maddelerden en fazla biriktirilene kâğıtlardır. Türkiye'de ailelerin hemen hemen %90'ı kâğıt biriktirme alışkanlığına sahiptir. Diğer plastik maddeler, cam, metal ve pil gibi ürünlerin ise geri kazanılması amacıyla biriktirilmesi çok düşük düzeydedir. Ayrı biriktirilen geri kazanılabilir maddeler arasında plastiklerin %11,7'lik bir payı vardır. Plastik atıkların tekrar kullanımı için öncelikle toplanması gerekmektedir. Plastik atıkların yeniden kullanım için özel plastik şişe ve ambalaj malzemesinin atılacağı toplama kapları konulması, plastik ambalajlardan elverişli olanların ikincil bir amaç için kullanılması, depozito uygulanarak kapların veya şişelerin geri toplanması ve geri getirme parası ödenmesi uygulaması basit yöntemlerdendir. Motor yağı, petrol gibi ürünlerin konulduğu kapların, bu ürünü satan firmalarca kendi çöp kutularında ayrı olarak toplaması, ailelerin hedeflenen bazı tür plastikleri özel torbalara koyarak atmalarının sağlanması, ailelerin çöplerini "yeniden değerlendirilebilir katı maddeler" ve "doğada çözünebilir" şeklinde ikiye ayırarak iki ayrı çöp kutusunda veya iki bölmeli tek bir kutuda toplamaları etkileyici sonuçlar verecektir. Ayrıca vergilendirme sistemi, örneğin insanların tükettiği her türlü sıvı ambalajına, ambalajdaki plastik oranına bağlı olarak %10'luk bir vergi getirilmesi, toplanan bu vergi gelirinin yeniden işleme projelerini destekleyecek bir fon olarak kullanılması ve tekrar aynı amaçla kullanılacak plastik materyallerin tercih edilmesi, değişik ülkelerde denenilen yöntemler arasındadır. Tüketiciler, plastikleri özel plastik şişe ve ambalaj malzemesinin atılacağı geri dönüşüm kutusuna, torbasına veya konteynere koymadan önce; kap içindeki sıvıyı boşaltmalı, kapakları veya başlıkları çıkartmalı, kapların üzerindeki etiketleri mümkünse çıkartmalı, kapları su ile iyice çalkalamalıdır. Ayrıca, yeşil şişeler ayrı olarak toplanmalıdır. Çünkü yeşil şişeler ancak dış tabakası

koyu renkli olan giyeceklerin yapımında kullanılabilir. İkinci adım; bu plastiği büyük merkezlerde toplamaktır. Üçüncü adım; toplanan plastiği sınıflandırmak ve ayırmaktır. Karışık olarak toplanılan plastikler geri dönüşüm tesisine taşınmaktadır. Geri dönüşüm tesisinde malzemeler önce sarsıntılı elekten geçirilerek gevşek toprak, çamur gibi istenmeyen maddelerden temizlenmekte ve konveyör bant sonunda malzemeler elektromanyetik alandan geçirilerek çelik ve teneke malzemeler diğerlerinden ayrıştırılmaktadır. Konveyör bant sonuna yerleştirilen manyetik çubuk ile alüminyum malzemeler plastiklerden ayrılmaktadır. Geriye kalan plastikler ayrıştırma bandı üzerinde kimlik kodlarına göre ayrılmaktadır. Geri dönüşüm bandı üzerinde giden plastik malzemeler görünür ışık ile PET ve YYPE, X-Ray ile PVC olarak ayrıştırılmaktadır. Plastikler büyük yer işgal ettiğinden taşıma maliyetini en aza indirmek için sıkıştırılarak balyalanmakta ve sonra tekrar işlenmek için geri kazanma tesislerine gönderilmektedir. Dördüncü adım; sentetik ile esnemeyen ve erimiş polimer de dâhil, tekrar üretmektir. Polimer çapraz bağlı sentetik içeriyorsa polimeri düzleştirmek ve kırışıklıkları azaltmak zor olmaktadır. Beşinci adım; erimiş plastikten yeni ürünler elde etmektir. Eritilmiş olan plastikler, sıkılaşma için kullanılan araçta kalan pisliklerinden ayrıştırılır ve granüle haline getirilir. Granüller kurutulur, paketlenir ve satışa hazır hale getirilir.

Plastik geri dönüşümünün ikinci adımından sonra toplanan plastikler; polimerlerin fiziksel ve kimyasal işlemlerle birbirinden ayrılması, birikimlerin dolaysız olarak (işleme sokulmadan) yeni ürün eldesinde kullanılması, birikimlerin dolaysız olarak yakılarak ya da bir yakıt üretme işleminden geçirilerek enerji kaynağı olarak kullanılması şeklinde değerlendirilmektedir (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

2.9 PET ve Geri Dönüşümü

İlk PET geri dönüşüm projesi 1976 yılında St. Jude Polymers adında bir şirket tarafından başlatılmıştır. Plastiklerin niteliğinin önceden belirlenmeden ve bu niteliklere göre ayrımları yapılmaksızın yeniden kullanıma sokulması önemli ikincil ürün sorunları yaratabilecektir. Üstelik geri dönüşüm plastiklerin üretiminde enerji ve çevre maliyeti çok yüksek olabilmektedir. Yeniden kullanım sırasındaki bozunma işlemleri toksik ve kanserojen birçok maddenin çevreye yayılmasına neden olabilmektedir. Amerikan Plastik Konseyi'nin 2002 yılındaki toplantısında PET geri

dönüşümünün tekrar hızlandırılması başlığı tartışılmıştır. 2002 yılı Ulusal Tüketici Plastik Geri Dönüşüm Raporu'na (National Post-Consumer Plastic Recycle Report) göre 1994'te PET geri dönüşüm hızı %38 iken, 2002 yılında %20'ye kadar düşmüştür. YYPE geri dönüşüm hızı 1994 yılında %12'den 2002'de %24'e yükselmiştir. Avustralya' da her yıl 80 bin ton PET ürününün 25 bin tonu (%31'i) geri dönüştürülerek tekrar kullanılmaktadır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Geri kazanılmış PET'lerden halı tabanları, uyku tulumları, yastık, yorgan, giysilerdeki yalıtım maddesi, oto parçaları, boya fırçaları, cankurtaran yastıkları, torbalar, posta kutuları, piknik masaları, çitler, yürüyüş botları, çift bölmeli kovalar, lazer toner kartuşu ve kayışlar gibi malzemeler üretilmektedir.

PET'ten oluşan tekrar doldurulabilir kapların kullanım alanı gittikçe genişlemiştir (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Avrupa Birliği üyesi her devlette, gıda ile temas eden geri dönüştürülmüş plastiklerin kullanılmasını düzenleyen ulusal yasalar bulunmaktadır. Belçika ve Fransa gibi bazı üye devletlerde geri dönüştürülen maddelerin gıda ile temas eden plastiklerde kullanılabilmesi için geri dönüştürme sürecinin önceden onaylanması gerekmektedir. Gıda ile temas eden plastiklerde geri dönüştürülmüş maddelerin kullanılması en az iki Avrupa ülkesinde (İspanya ve İtalya) genel olarak yasaktır.

Gıda ambalajında kullanılan tüm PET şişelerin geri dönüşümünü değerlendirmek için, polimerde beklenen maksimum kirlenme konsantrasyonunun gerçekçi tahmin edilmesi gerekmektedir. Geri dönüştürülmüş PET' den yapılmış yiyecek kaplarında yiyecek dışı kirlenmeden etkilenme tartışılmış ve gıda için kullanılacak uygun kapların üretilmesi amacıyla FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi) tarafından ilişkiyi açıklayabilecek testler geliştirilmesi önerilmiştir (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

2.10 PVC ve Geri Dönüşümü

80'lerin sonlarında toplum tarafından kabullenilmesini sağlamak ve devletin PVC üretimini ve kullanımını sınırlandırmasını engellemek için PVC geri dönüşümü endüstri tarafından teşvik edilmekteydi. Genel olarak toplum ve karar alıcı merciler PVC kaynaklı çevresel problemlere geri dönüşümün teknik bir çözüm olduğunu kabul etmekte. Bu durum özellikle gelişmiş geri dönüşüm politikalarına sahip

Danimarka, Almanya, Hollanda ve Amerika gibi ülkelerde mevcuttur. Gerçekte, Greenpeace dünyanın başlıca PVC tüketim alanlarında geri dönüşümünün tüketimine oranlandığında yüzde birden daha düşük miktarlarda olduğunu bulmuştur. Bağımsız bir araştırmaya göre PVC atıklarının %75-80'inin orta ve uzun vadede geri dönüşümün bir alternatif bile olamayacağı belirtilmiştir. Bu yüz binlerce ton PVC'nin yakın bir gelecekte büyüyen bir bertaraf problemi yaratmaya doğru ilerlediğini anlamına gelmektedir. Greenpeace'in PVC endüstrisinin önde gelen kuruluşlarını PVC'nin geri dönüştürülebilir olduğuna inandırma çabaları, bu plastik madde üzerinde yapılan testlerde söz konusu olayın imkânsız olduğunu kanıtladığı için sonuç vermemiştir. Bunun nedeni, toplama işleminin zor ve pahalı olması ve geri dönüştürülmüş ürün piyasasının direkt ucuz olan orijinal PVC ürün piyasasına göre daha küçük bir piyasa olmasıdır (Yarman, 2005).

2.10.1 PVC Atıklarının Yönetimi

PVC'nin geri dönüştürme işleminde başlıca problem, ham PVC'nin yüksek oranlarda klor içermesi (polimer ağırlığının %56'sı) ve istenilen materyal kalitesinin elde edilebilmesi için polimere eklenen çok fazla tehlikeli olan katkı maddeleridir. Katkı maddelerinin ağırlığı PVC ürün ağırlığının %60'ını oluşturabilmektedir. Tüm plastikler içinde PVC en çok katkı maddesi içeren maddedir. Sonuç olarak, PVC'nin diğer plastiklerden ayrıştırılması ve mekanik geri dönüştürme işleminden önce türlerine ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle PET şişe geri dönüşümü yapanlar PVC şişelerinin karışımlarını kirletmediğinden emin olmalıdırlar (Yarman, 2005).

2.10.2 PVC Atıklarının Yakılması ve Depolanması

Atık yakmak atık sorunuyla başa çıkmak için kalıcı bir alternatif değildir. Plastik yakıldığında, yanması için harcanan enerjiden daha azı üretilmektedir. Atık yakma aynı zamanda bir sera gazı olan karbondioksit (CO₂) yayılması anlamına gelmektedir. Birçok ülkede, evsel atıklardaki en büyük klor kaynağı PVC'dir. PVC'ye stabilizatör olarak eklenen büyük miktarlardaki ağır metaller nedeniyle PVC evsel atıklardaki Kurşun ve Kadmiyum'un başlıca kaynağını oluşturur (Yarman, 2005).

PVC katkı maddeleri sonuçta sızarak yeraltı suları için bir risk oluşturacaktır. PVC, polipropilen (PP), ve polietilen (PE) gibi petrokimyasal bazlı plastiklerin esas kısmı, kalıcı ve uzun ömürlüdür. Bertarafından sonra hemen ayrışmaz veya ayrışmış halde bulunmazlar. Üstelik bazı plastiklerde değişik katkı maddelerinin kullanımı, depolandıkları alandan sızarak toprağın ve yeraltı suyunun kirlenmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu özellikle, birçoğunun çevre için tehlikeli olduğu, en çok katkı maddesi içeren PVC için geçerlidir (Yarman, 2005).

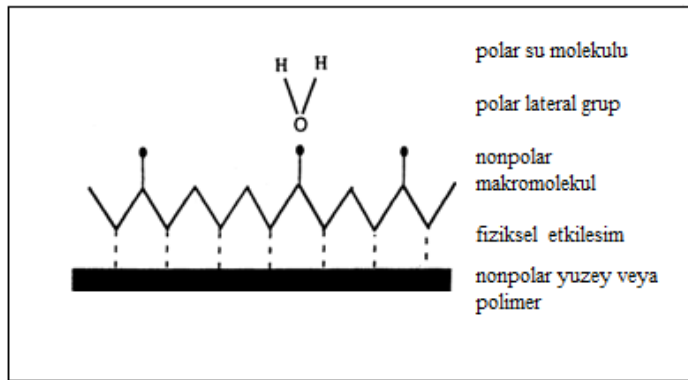
Bu tez çalışması kapsamında; katkılı PVC ve PET atıklarının, kolon fotasyonu ile seçimli olarak ayrılması amaçlanmıştır. Yapılan laboratuvar ve pilot ölçekli deneylerde flotasyon parametreleri incelenerek koşullar optimize edilmiştir.

2.11 PET ve PVC Ayrımı İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

1999 yılında Drelich ve arkadaşlarının yapmış olduğu araştırmaya göre sodyum hidroksitin, güçlü alkali çözeltilerinin PET'in hidrofobik özelliğini yok ederek PVC'nin PET'ten ayrılmasına imkân sağladığı görülmüştür. Reaktif olarak 15-30 mg/L Rhodasurf 91-6 C9-11 Etoksilat alkol kullanılmıştır. 15-30 dakika 75°C'de alkali muamelesi sayesinde PVC, PET'ten ayrılmaktadır. Bu araştırmada sodyum hidroksitin PET'i hidrofilik yaparken, PVC'nin hidrofobik özelliğini çok etkilemediği görülmektedir. PET ve PVC karışımına plastikleştirici eklendiğinde yüksek sıcaklıkta PVC parçacıklarının hidrofobikliğini yüksek oranda artırdığı, PET parçacıklarını ise çok az etkilediği görülmüştür. Plastikleştirici olarak Diisodil Ftalat kullanılmıştır. Alkali ile 30 dakika muameleden sonra PVC ve PET'lerin her ikisi de 5-40 mg/L sıcak plastikleştirici ile 30 dakika kıvamlandırılmış, ardından süzülüp kurutulmuştur. PET'in temas açısı sabit kalırken, PVC'ninki 15-18°'den 24-28°'ye çıkmıştır. Bu uygulamalar sırasında sıcaklığın önemli bir etken olduğu görülmüştür. Sıcaklıkla birlikte plastikleştiricinin PVC üzerinde etkinliğinin arttığı tespit edilmiştir. Plastikleştirici olarak sadece diisodil ftalat kullanılmamıştır. Dietilen Glikol Dibenzoat kullanılarak yapılan deneylerde 3 dakikadan sonra yüksek verimle (%95'den fazla) PET-PVC ayrımı yapılabilmektedir. Bu uygulama sayesinde %93-95 arasında PET elde edilip %98-100 oranında PVC ayrılmıştır (Drelich *ve diğ.*, 1999).

1999 yılında Shen ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada hidrofilik yapan yüzey aktif maddelerin etki mekanizması araştırılmıştır. Birçok plastik karışımı yakın yüzey enerjileri gösterdikleri için gama flotasyonu ile ayrılması zordur. Bundan dolayı birçok kez hidrofobik yüzeyler ile ilgili modifikasyon yapılması gerekmektedir. Seçimli hidrofilik yapmanın bir yolu kimyasal kıvamdır. Bu ise, reaktiflerin plastiklerin yüzeylerine adsorbe olması, katı-sıvı arası yüzey hidrofobikliğini azaltması esasına dayanmaktadır. Seçimli hidrofilik prosesi, farklı plastiklerin değişik ıslanabilme şartları sayesinde gerçekleşmektedir. Şekil 2.8'de yüzey aktif maddelerle polimerlerin adsorpsiyon mekanizması görülmektedir. Adsorpsiyon ile ilgili önerilen mekanizma şu şekildedir:

- Plastiklerin polimer zincirlerinin lateral grupları polar olmayan karbon ve hidrojen içermektedir. Bu plastik yüzeyindeki moleküller ile bastırıcı etkideki moleküller arasındaki fiziksel etkileşimi açıklar. Bu reaksiyonlar itici Van-Der-Waals kuvvetleri ve hidrojen bağlar ile olmaktadır.
- Bazı polimerler oksijen, azot, klor gibi atomlara sahip olan polar lateral gruplar içermektedir. Bu lateral gruplar bastırıcı moleküller ile Dipol-Dipol Van-Der-Waals ve Lewis asit-baz kuvvetleri ile etkileşim halindedir.
- Plastik yüzey ve bastırıcı moleküller arasındaki kimyasal bağlanma çok nadirdir, çünkü plastikler düşük yüzey enerjilerine sahip, flotasyon prosesi boyunca kimyasal olarak neredeyse sabittir.
- Minimum serbest yük taşıyanlar dahil olmadığı için elektrostatik etkileşimler pek az gerçekleşir (Shen ve diğ., 1998).

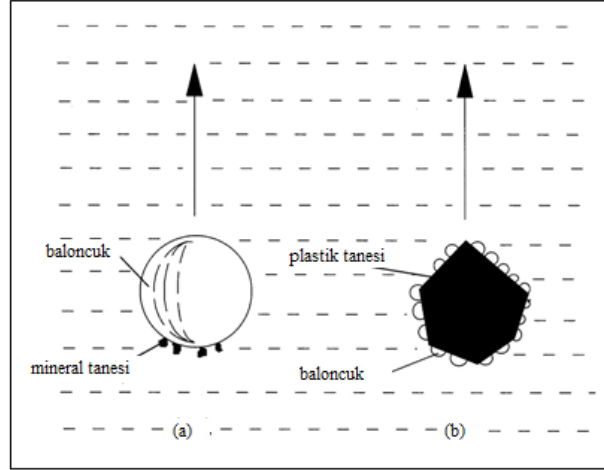


Şekil 2.8 : Yüzey aktif maddelerle polimerlerin mekanizması (Shen ve diğ., 1998).

2000 yılında yapılan çalışmaya göre, PET ve PVC'nin hidrofobik olduğu, ön muamele sayesinde birisini hidrofilik yapmak mümkün olduğu bulunmuştur. Reaktiflerin içerisinde lignosülfonat, tannik asit en çok kullanılmış ve plastiklerin üzerindeki bastırıcı etkisi araştırılmış olanlardandır. Deneyler esnasında musluk suyu kullanılmıştır. Musluk suyunun içerisinde 40 mg/L Ca^{+2} , 6 mg/L Mg^{+2} , 20 mg/L Na^{+} ve 6 mg/L K^{+} bulunmaktadır. 126 mg/L HCO_3^{-} , 21 mg/L Cl^{-} , 41 mg/L SO_4^{2-} , 3 mg/L NO_3^{-} bulunmaktadır. Dolayısıyla bastırıcı etki suyun kalitesi ile ilgilidir. Saf suda yapılmış olan çalışmada reaktifin bastırıcı etkisi görülmemiştir. Yani bastırıcı etki ancak musluk suyunda görülmüştür. Reaktifle muamele neticesinde PVC'nin temas açısında değişim olmazken PET'in temas açısının 10° düştüğü ve neticesinde hidrofilik olduğu gözlemlenmiştir (Le Guern, 2000).

2000 yılında yapılan başka bir çalışmada flotasyonun en ucuz ve benzer yapıdaki tanelerin ayrılması için en uygun metot olduğu belirtilmiştir. Buna göre yüzey aktif madde olarak Kalsiyum Lignin Sülfonat, köpürtücü olarak MIBC kullanıldığında PVC'yi PET'ten ayırmak mümkün olmuştur. Ancak kıvam süresine dikkat etmek gerekmektedir. Bu reaktifler kullanıldığında kıvam için ideal zaman 60 dakikadır. Bu zaman zarfında belirgin bir ayırım sağlanabilir. En iyi ayırma boyutu, $-3,36+1,70$ mm olarak saptanmıştır. Küçük parçacıkların büyük parçacıklardan daha kolay köpüğe yapışabildiği görülmüştür. Ancak bu da sistemin türbülansından etkilendiği için ayırma veriminin hassaslığı düşmüştür. Parça büyüklüğü arttıkça seçicilik artmakta fakat kazanım düşmektedir (Marques ve Tenório, 2000).

2001 yılında Shen ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalara göre, plastiklerin yüzebilirliği sadece kimyasal reaktiflerden değil yerçekimi faktöründen de etkilenmektedir. Buradan yola çıkarak parçacık büyüklüğünün kontrolü sayesinde plastik karışımlarının seçimli olarak ayrılması sağlanabilmektedir. Mineral flotasyonu ile plastik flotasyonu birbirinden farklıdır. Şekil 2.9'da bir mineral tanesi ile plastik tanesi görülmektedir.



Şekil 2.9 : Mineral tanesi ile plastik tanesi (Shen ve diğ., 2001).

Mineral flotasyonunda, mineral taneleri yapı olarak 10-100 µm arasında ve oluşan baloncuklardan (0,5-1 mm) daha küçük bulunur. Bir baloncuk bir ya da birkaç taneyi hidrofobik olduğu müddetçe taşıyabilir. Fakat plastik flotasyonunda, plastik taneleri genellikle oluşan baloncuklardan daha büyüktür. Sonuç olarak bir ya da birkaç baloncuk ancak bir tane plastik tanesini taşıyabilir. Ayrıca kırma ürünü olan plastiklerin boyutu ve şekli aynı ve bir değildir. Polimetil Metakrilat (PMMA) ve Polioksil Metilen (POM) kırma ürünleri nispeten geniş boyut aralıklarına sahiptir ve oldukça fazla 1 mm altı parçacık içermektedir. Bu parçacıkların ıslanabilmesi ve dolayısı ile bastırılabilmesi oldukça zordur. PVC ve PS ise orta boyut aralıklarına sahiptir. Son olarak ise ABS, PC ve PET daha dar aralıklarda boyutlara sahiptir. Bu çalışma, tanelerin boyutu ve şeklinin, plastiklerin flotasyonunda büyük önem taşımakta olduğunu göstermiştir (Shen ve diğ., 2001).

2002 yılında Shen ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalara göre, POM, PVC, PET, PMMA, PC, PS ve ABS'nin yüzebilirlikleri Alkil Etoksilat noniyonik yüzey aktifleştirici madde varlığında azaldığı görülmüştür. Ancak her birisinin yüzebilirliği farklı azalmış, yüzebilirlikleri POM<PVC<PMMA<PET<PC<ABS<PS şeklinde sıralanmıştır. Alkil Etoksilat noniyonik yüzey aktif maddesi, sıvı yüzey gerilimini düşürmektedir. Bastırıcı olarak etki etmesinin nedeni, sıvı yüzey gerilimini düşürmesidir. Selektif flotasyona neden olan Alkil Etoksilat noniyonik yüzey aktifleştirici madde sadece tanelerin ıslanabilmesine bağlı olarak değil, onların şekline ve yoğunluğuna bağlı olarak da seçicilik yapar. Düşük yoğunluklu daha

fazla temas açısına sahip daha düşük şekil özelliklerine sahip olan plastiklerin daha yüksek yüzebilirliklere sahip oldukları saptanmıştır. Benzer yoğunluklardaki plastik karışımlarının birbirinden ayrılması mümkündür. Verimin %99, içeriğinin %97'den fazla olabildiği gözlemlenmiştir. (Shen ve diğ., 2002a).

Diğer bir çalışmada ise, plastiklerin (POM, PVC, PET, PMMA, PC, PS ve ABS) metil selüloz (MC) varlığında yüzdürülebilirlikleri araştırılmıştır. Metil selüloz varlığında bu yedi plastik çeşidi 3 gruba ayrılabilir. İlk grup POM ve PVC içermektedir. Bunlar çok düşük metil selüloz konsantrasyonunda bastırılabilir. İkinci grup PET, PMMA ve PC içermektedir ve orta derecede yüzebilme özelliklerine sahiptirler. Ayrıca bunlar herhangi bir metil selüloz konsantrasyonunda bastırılmamaktadırlar. Metil selülozun bastırıcı özellik göstermesinin nedeni, plastik yüzeylere adsorbe olmasıdır. Metil selüloz polar gruplara bağlanarak plastik yüzeylerinin hidrofilik olmasını sağlar. Ayrıca seçimli flotasyon sadece plastiklerin ıslanabilirliklerine değil tanelerinin şekline, büyüklüğüne ve yoğunluğuna bağlıdır. Parça, farklı yoğunluk, farklı şekil özellikleri ve farklı ıslanabilme özelliklerine sahip olduğunda seçimli flotasyon yapılabilir (Shen ve diğ., 2002b).

2003 yılında Pascoe ve O'Connell'in yapmış olduğu çalışmalara göre, yakma yöntemi plastik yüzeyine oksijenli fonksiyon grubu ilavesinde sonuç vermiştir. PVC'nin yumuşama noktasının üzerinde (75°C) hızlı bir şekilde hidrofobik yüzeye sahip olduğu ancak PET'in ise hidrofilik kaldığı gözlenmiştir. Temas açısının yumuşama noktasından sonra pH ile etkili bir şekilde değiştiği saptanmıştır. PVC'nin sıfır yük noktası pH 4'de elde edilmiştir. PET ve PVC'nin pH 4 ile 7 arasında köpürtücü kullanmadan yüzebildiği görülmüştür (Pascoe ve O'Connell, 2003).

2003 yılında Fraunholz'in yapmış olduğu çalışmalara göre, gama flotasyonu (kolektörsüz flotasyon) metanolun sulu çözeltisi gibi sıvı ortamlarda uygulanırsa, plastiği sıfır kontak açılı olacak şekilde ıslatmak, bastırma işlemi için yeterli değildir. Bu nedenle konsantrasyonun uygunluğu da ayırma için yeterli olmaz. Verilere göre heteropolar yüzey aktif maddelerin bastırıcı etkisi, katı-sıvı ara yüzeyindeki adsorbsiyona dayanır, aynı zamanda sıvı yüzey gerilimini de düşürmektedir (Fraunholz, 2003).

Diğer bir çalışmada ise, PET ve PVC karışımından PVC 'nin uzaklaştırılması için, tribo elektrostatik ayırıcı tasarlanmıştır. Bu yöntem sayesinde, düşey kanalda yerçekimi etkisi ile hareket eden plastik taneler elektrik yük farklılığına bağlı olarak birbirinden ayrılmaktadırlar. Plastiklerin tribo şardaki polarizasyon, yük yoğunluğu, elektrot potansiyeli ve ayırma verimliliği üzerinde çeşitli faktörlerin etkisi (şarj edilen malzemeler, bağıl nem, hava hızı, katı oranı) incelenmiştir. PET ve PVC'nin polarizasyon ve yük yoğunluğunda, şarj malzemesinin PP'den yapılması sebebiyle oluşan bağıl nemdeki düşüş ve hava hızındaki artış çok etkili olmuştur. PET ve PVC'nin tribo elektrostatik ünitesi ile ayrılmasında verim, elektrot potansiyelinin artması ile artar ve ayırıcının pozisyonu merkezden negatif elektroda doğru kaymaktadır. Bu çalışmaların doğrultusunda, ileriki çalışmalarda ayırma proseslerine geçilecektir (Park, 2006).

2006 yılında Takoungsakdakun ve Pongstabodee'in yapmış olduğu çalışmalara göre, POM, PET ve PVC karışımından ıslatıcı madde olarak 500 mg/L kalsiyum lignosülfonat, pH 7 ve 220 mL/dak hava hızı şartlarında ayrılmıştır. Eğer 500 mg/L kalsiyum lignosülfonat ıslatıcı madde olarak kullanılırsa, POM'un temas açısının sırasıyla PET ve PVC'den daha küçük olduğu ölçülmüştür. Bu POM'a daha fazla ıslanma ve hidrofilik yüzey özelliği kazandırmaktadır. Sonuç olarak POM flotasyon çözeltisinin içerisinde dururken PET ve PVC hava kabarcıklarına yapışır ve dolayısı ile ayrılma sağlanmış olur. PET'in PVC'den ayrılması için pH 5.8 ve 180 ml/dak hava hızı şartlarında 500 mg/L Kalsiyum Lignosülfonat ve %0,01 oranında $Al_2(SO_4)_3$ ilavesiyle flotasyon gerçekleştirilmiştir. PET'in sıfır yük noktası pH 6,5; PVC'nin ise pH 5,8'dir. Sıfır yük noktası şartları sağlandığında PVC PET'ten ayrılmaktadır (Takoungsakdakun ve Pongstabodee, 2006).

2009 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde yapılan çalışmalarda; 50 L/sa hava, pH 8'de ve 25g/t Lignin Alkali kullanılarak yapılan deneyler sonucunda, PET, %99,93 içerik ve %99,8 verim ile geri kazanılmıştır (Özdilek, 2009).

Diğer bir çalışmada ise; PET'in PVC'den seçimli olarak ayrılması için Dietilen Glikol Dibenzoat kullanılarak gerçekleştirilen flotasyon deneyleri sonucunda optimum koşullar pH 4, 1000 g/t Dietilen Glikol Dibenzoat, 5 dakika kıvam süresi ve

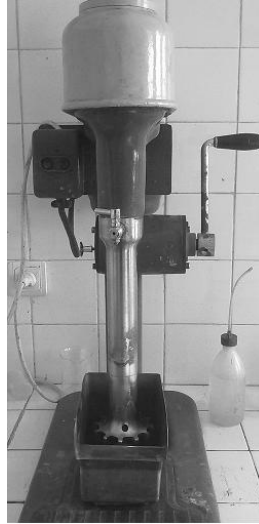
3 dakika köpük alma süresi olarak belirlenmiştir. İki kademede gerçekleştirilen kolon flotasyonu deneyi sonunda, %42,1 oranında %100 saflıkta PET konsantresi, %84,3 PET kazanma verimiyle elde edilmiştir (Yenial, 2009).

3. KOLON FLOTASYONU

Minerallerin yüzebilme özelliklerinden yararlanarak, sıvı içerisinde oluşturulan ortamda hidrofob (suyu sevmeyen) özellikteki tanelerin oluşan kabarcıklara tutunarak yüzmesi ve hidrofil (suyu seven) tanelerin batması ile diğer malzemelerden ayrılmasını sağlayan yöntem flotasyon denir. Yüzdürme işlemi sadece suyla yapılamadığından ortama çeşitli reaktifler eklenir. Bunlar ihtiyaca göre pH ayarlayıcı, bastırıcı, canlandırıcı, toplayıcı ve köpürtücü reaktiflerdir. Flotasyon yöntemi; minerallerin fiziksel yöntemlerle (gravite, manyetik ayırma vb.) ayrılması mümkün olmayan durumlarda ve genellikle 0,2 mm tane boyutu altında uygulanmaktadır. Flotasyonun uygulanabilmesi için aşağıdaki şartların aynı anda oluşması gerekmektedir:

- Cevherdeki minerallerden birisi havaya karşı yüzey gerilimine sahip olmalıdır.
- Hidrofob mineraller hava kabarcıklarıyla taşınabilmelidirler.
- Flotasyon sıvısı, yüzey gerilimini aktif yapan maddeler içermelidir (Güney, 1993).

Endüstride kullanılan başlıca flotasyon üniteleri; klasik flotasyon ve kolon flotasyonudur. Şekil 3.1’de klasik flotasyon hücresi görülmektedir.



Şekil 3.1 : Klasik Flotasyon Hücresi

Her bir flotasyon ünitesinin kendine özgü tasarımı ve çalışma prensibi vardır. Şekil 3.2’de ise klasik kolon flotasyonu hücresi verilmiştir.



Şekil 3.2 : Klasik Flotasyon Kolonu

3.1 Flotasyon Kolonu ile Klasik Flotasyon Hücrelerinin Karşılaştırılması

Flotasyon kolonlarını diğer flotasyon makinalarından ayıran en önemli özellikler:

- Mekanik karıştırıcısının bulunmaması
- Kabarcık üreticinin varlığı
- Yıkama suyunun kullanımı

olarak sıralanmaktadır.

Yukarıda belirtilen farklılıkların kolona sağladığı en önemli avantajlar şu şekildedir;

- Üretilen konsantrenin kalitesi (tenörü) yüksektir.
- Düşük enerji tüketimi sağlar.
- Otomatik kontrol imkanı yüksektir.
- Kapladığı yüzey alanı düşüktür.
- Verilen hava debisi yüksek olduğundan dolayı işlem kapasitesi yüksektir.

- Yapımı ve dizaynı kolaydır.
- Yatırım ve bakım masrafları daha düşüktür.
- Zenginleştirilecek cevherin boyut aralığı oldukça yüksektir (10µm-2,3 mm).

Klasik flotasyon hücrelerine göre avantajlarının yanında kolonun dezavantajları ise şunlardır;

- Kolonun bulunduğu yerin tavan yüksekliği oldukça fazla olmalıdır (13-14 metre).
- Fazladan yıkama suyuna ihtiyaç duyulmaktadır (Çilek, 1993).

3.2 Flotasyon Kolonunun Çalışma İlkesi

Kolon dışında koşullandırılmış zenginleştirilecek mineral yaklaşık %5-30 katı oranı ile besleme noktasından kolona beslenmektedir. Beslenen taneler, gravite etkisiyle zenginleştirme zonunda düşerken, kabarcık üretici tarafından üretilen hava kabarcıkları yükselmeye başlar. Hava kabarcıklarıyla karşılaşan hidrofob parçacıklar arasında flotasyonun mikro olayları (çarpışma, yapışma vs.) gerçekleştikten sonra tane-kabarcık agregaları oluşur. Oluşan agregalar köpük zonunu geçer ve kolonun üst kısmından kolonu terk eder.

Yüzmeyen parçacıklar ise, kolonun tabanına doğru düşer ve kolonu terk eder. Yüzmeyen tanelerin konsantre içinde sürüklenmesini (hidrolik veya sıkışma yoluyla) önlemek için kolonun üst kısmından yıkama suyu ilave edilir. Sonuç olarak yüzmeyen parçacıklar ve bir kısım hidrofob parçacıklar temizleme zonundan zenginleştirme zonuna geri dönerler. Yıkama suyunun diğer bir etkisi de, köpük zonunun varlığını ve seviyesini ayarlamaktır. İlave edilen yıkama suyunun bir kısmı zenginleştirme zonuna geçer, geriye kalan kısmı köpük zonundan kolonu terk eder (Güney, 1993).

3.3 Flotasyon Kolonu Çeşitleri

Flotasyon kolonları genelde çalışma ilkeleri aynı olmakla birlikte ikiye ayrılırlar;

- Klasik flotasyon kolonu,

- Modifiye flotasyon kolonu.

Bu iki flotasyon kolonu arasındaki farklılıklar şu şekilde sıralanabilir;

- Modifiye kolonda köpük zonu yoktur,
- Klasik kolonda artık çıkışının debisi (Qa) ile besleme debisi (Qb) arasındaki fark (Bias= Qa-Qb) pozitifdir. Diğerinde ise negatiftir,
- Klasik kolonda yıkama suyunu ilave etmek gerekir. Diğerinde ise zorunlu değildir,
- Modifiye kolon iri tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılır (Çilek, 1993).

3.4 Teknik Terimler

Kolon flotasyonu teknolojisi ile cevher zenginleştirme bilim dalına yeni teknik terimler girmiştir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır;

- Gaz tutunum yüzdesi
- Yüzeysel hava hızı
- Besleme hızı
- Yıkama suyu hızı
- Artık hızı
- Bias
- Taşıma kapasitesi

3.4.1 Hava Tutunum Yüzdesi (Gas hold up)

Su+ hava ile dolu flotasyon kolonunda toplam hava hacminin (Vg) kolon hacmine (Vc) oranıdır. Genelde “ ϵ_g ” sembolü ile gösterilir (Güney, 1993).

$$\epsilon_g = \frac{V_g}{V_c} (\%)$$

(3.1)

3.4.2 Gaz Hızı (Superficial Gas Rate)

Birim zamanda kolona verilen gaz miktarının (Q_g , cm^3/sn) kolon kesit alanına (A_c , cm^2) oranıdır. (J_g) ile gösterilir.

$$J_g = \frac{Q_g}{A_c} \quad (\text{cm}/\text{sn}) \quad (3.2)$$

3.4.3 Yüzeysel Besleme Hızı (J_b), Yıkama Suyu Hızı (J_w) ve Artık Hızı (J_t)

Kolona verilen besleme, yıkama suyu veya artığın çıkış hacminin (Q_x , cm^3/sn) kolon kesit alanına (A_c , cm^2) oranıdır.

$$J_x = \frac{Q_x}{A_c} \quad (\text{cm}/\text{sn}) \quad (3.3)$$

3.4.4 Bias

Artık debisi (Q_a) ile besleme debisi (Q_b) arasındaki farktır. Pozitif veya negatif bias olarak adlandırılır. Flotasyon kolonunda bu değer pozitifdir.

$$\text{Bias} = Q_a - Q_b \quad (3.4)$$

3.4.5 Taşıma Kapasitesi (C_a)

Bir kolonda cm^2 birim alanına saniyede beslenebilecek yüzebilir mineral ağırlığıdır (g). Bu çeşitli parametrelere bağlıdır (hava debisi, kabarcık çapı, cevher yoğunluğu vs.) (Güney, 1993).

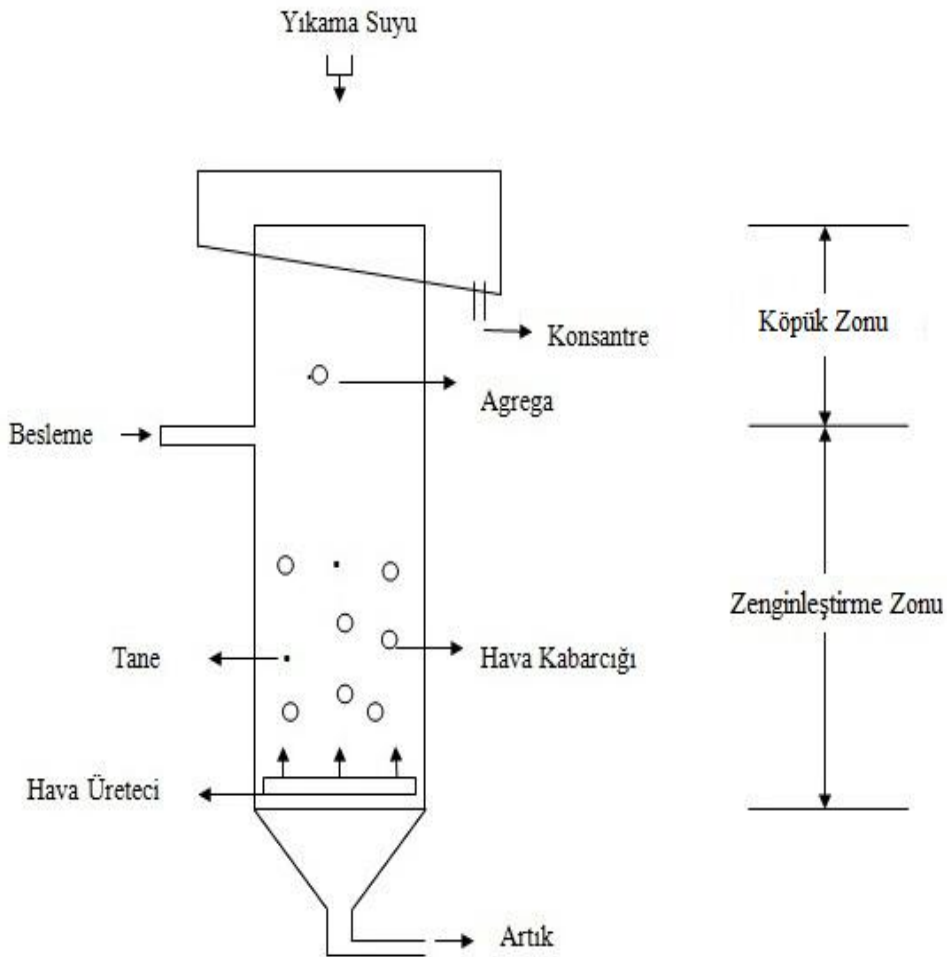
3.5 Flotasyon Kolonunda Oluşan Zonların Tanımı

Klasik flotasyon kolonunda, Şekil 3.3'te görüldüğü gibi 2 temel zon tanımlanır. Bu zonlar; kolonun alt kısmını oluşturan ve zenginleştirme olayının gerçekleştiği zenginleştirme zonu ve üst kısmında hava kabarcıklarının yoğun olarak bulunduğu köpük zonu olarak adlandırılır. Bu iki zon arasında farklı hava kabarcığı konsantrasyonu sebebiyle belirgin bir ara yüzey gözlenebilmektedir. Bu iki zonun kendine has özellikleri mevcuttur. Kolonda flotasyon prosesinin başarısı için bu özelliklerin iyi bilinmesi gerekir (Güney, 1993).

3.5.1 Zenginleştirme Zonu

Kolonun alt kısmını oluşturan ve flotasyonun mikro olaylarının (karşılaşma, çarpışma, yapışma, kopma ve parçacık-kabarcık yükselmesi) gerçekleştiği zondur. Bu bölgede gaz tutunum yüzdesi %10-20 arasındadır (Öteyaka ve Soto, 1992).

Pülp beslemesi, bu zonun hemen üstünden yapılır. Kolona besleme yapılan noktanın yüksekliğinin, kolon yüksekliğinin 2/3'ü kadar olması gerekmektedir. Besleme içindeki mineral parçacıkları pülp ile inerken kolon dibinde hava üretici tarafından üretilen ve yükselen hava kabarcıkları ile karşılaşır. Flotasyonun fiziksel mikro olayları hidrofob parçacıklar ile kabarcıklar arasında gerçekleştikten sonra kabarcık-parçacık agregaları köpük zonuna doğru yükselirler. Çoğunlukta olan hidrofil taneler bu zonun alt kısmındaki artık çıkışından kolonu terk ederler.



Şekil 3.3 : Flotasyon Kolonu Zonları

Hava üreteçleri genelde poroz paslanmaz çelikten yapılır. Kauçuk veya filtre bezinden imal edilmiş hava üreteçleri de alternatif olarak kullanılabilir. Köpürtücü ilave edilen sulu ortamda 2 mm veya daha küçük çaplı hava kabarcığı veren hava kabarcığı üreteçleri tercih edilir (Jameson, 1998).

Kolona verilen gaz debisi (Qg) ile kabarcık üretici yüzey alanı (As) arasında bir oranlama düşünüldüğünde, gaz debisi arttıkça, kabarcık üretici birim yüzey alana düşen hacimsel gaz miktarı ve kabarcık çapı da artar ve sonuç olarak belirli bir noktadan sonra verimin düştüğü görülür.

Genelde endüstriyel ölçekte 4-40 delik/cm² hava üreteçleri kullanılır. Qg/As oranı yaklaşık olarak 2-5,5 cm/sn arasındadır (Finch ve Dobby, 1990).

3.5.1.1 Zenginleştirme Zonunda Flotasyonun Temel Mikro Olayları

Kolon içinde gravite etkisi ile düşen hidrofob bir tanenin, yükselen hava kabarcığına yapışabilmesi ve yüzdürülmesi, flotasyonun temel mikro olaylarının sıralı bir biçimde gerçekleşmesine bağlıdır (Çilek, 1993). Yani;

- Tane ile kabarcığın zenginleştirme zonunda karşılaşması,
 - Tane için yeterli serbest yüzeye sahip kabarcık ile tanenin çarpışması,
 - Tanenin kabarcığa yapışması ve
 - Tane- kabarcık agregasının dış kuvvetlere karşı yeterli direnci göstermesi
- sonucunda tane, yükselir ve kazanımı gerçekleşir.

Tane- Kabarcık Karşılılaşması: ΔH kalınlığındaki zenginleştirme zonunun bir kesit yada dilimini dikkate alarak, bu kesit veya dilim içindeki hidrofob tanenin izleyeceği yolları düşünerek tane-kabarcık karşılaşma ihtimali (P_k), kabarcıkların küresel ve homojen oldukları düşünülerek aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir;

$$P_k = 1209 \sqrt[3]{g^2} \quad (3.5)$$

Burada;

$\mathcal{E}g$: Gaz Tutunum Yüzdesi (Gas Hold-Up)

Buradan da görüleceği gibi, P_k sadece gaz tutunum yüzdesine bağlıdır, kabarcığın çapı ve kolon şekli ile bağıntısı yoktur (Jameson, 1998).

Tane-Kabarcık Çarpışması: Bu olayın gerçekleşebilmesi için tanenin direnci ve hızı, ortamın dış direncine göre yeteri kadar yüksek olmalıdır. Tane büyüklüğü ve hızı olması gerekenden düşük olursa, tane çarpışma yolunu saptırabilir ve çarpışma olayı gerçekleşmez (Güney, 1993).

Taneciğin Kabarcığa Yapışması: Çarpışma olayından sonra gelen faz, taneciğin kabarcığa yapışmasıdır. Bununla birlikte çok kısa bir zaman içinde duyarlı bir temas açısının yerleşmesiyle bu olay sona erer (Yianatos ve Finch, 1985). Pratikte, eğer temas açıcı 30° veya daha büyük olacak şekilde tanenin hidrofobluğu sağlanırsa yapışma olayı daima gerçekleşir (Yuan ve Palsson, 1996).

Tane – Kabarcık Agregasının Parçalanması: Bir agreganın stabilitesi, sistemin türbülansı ve tanenin ağırlığı nedeni ile bozulabilir. Bu durumun oluşmaması için yapışma kuvvetlerinin (F_a), ayırma kuvvetlerinden (F_o) büyük olması gerekir. Yapılan araştırmalara göre, stabilite tanenin hidrofobluğu ile artıp, tanenin ve kabarcığın çapının artmasıyla azalmasına rağmen, bu duruma en çok etki eden ortamın türbülansıdır. Kolonda oluşan türbülans, diğer flotasyon hücrelerindekiyle göre daha küçüktür ve bu özellik sayesinde kolon flotasyonu 2-3 mm'ye kadar olan taneler için de idealdir (Gomez ve Finch, 1990).

3.5.2 Köpük Zonu

%60-70 civarında gaz tutunumu olan ve konsantrenin yıkama suyu ilavesi ile yıkandığı bölgedir (Güney, 1993). Gaz tutunumunun %74'ten fazla olması, istenmeyen kabarcık birleşimine sebep olmaktadır (Amelunxen, 1985). Bu zonu yüksekliği arttıkça, konsantrenin tenörü artar fakat verimi düşer. Köpük zonu toplam verim üzerine etkisi negatiftir. Köpük zonu varlığı Bias değerine bağlıdır. Bias değeri negatif ise köpük oluşmaz (Finch ve Dobby, 1990).

3.6 Kolon Flotasyonu Verimini Etkileyen Parametreler

Kolon flotasyonunda verime etki eden önemli değişkenler şu şekilde sıralanabilir;

- Köpük zonu yüksekliği

- Pülpün kolon içinde kalma zamanı
- Bias
- Yıkama suyu
- Hava debisi
- Hava kabarcık çapı
- Pülp yoğunluğu
- Gaz tutunum yüzdesi
- Kabarcık üreticinin çapı ve toplam yüzey alanı

3.6.1 Köpük Zonunun Yüksekliği

Endüstriyel uygulamalarda bu zonun yüksekliği 1-2 metre arasında tutulmaktadır. Laboratuvar çalışmalarında ise bu değer 0,25-1 metre arasında yeterli olabilmektedir.

Aşırı kabarcık konsantrasyonu, sıkışma ve çarpışma sebebiyle kabarcıkların patlamasına neden olur. Böylece, kabarcıklara yapışmış bazı hidrofob taneler kabarcıktan koparak tekrar zenginleştirme zonuna geri döner ve bu durum da verimin düşmesine neden olur (Çilek, 1993). Köpük zonunun yüksekliği;

- Şamandıra yöntemi
- Basınç yöntemi
- Sıcaklık farkı yöntemi
- Elektriksel iletkenlik farkı yöntemi
- Direkt ölçüm yöntemi

ile hesaplanabilir.

Şamandıra Yöntemi: Pülp ve köpük zonu arasındaki yoğunluk farkına (pülp yoğ.> köpük zonu yoğ.) dayanır. Şamandıranın yoğunluğu, bu iki zon yoğunluğunun arasında olmalıdır. Fakat, şamandıraya yapışan taneler şamandıranın yoğunluğunu değiştirebilir, bu sebeple bu yöntem tanece zengin köpüklerde kullanım için uygun değildir.

Basınç Yöntemi: Köpük zonu yüksekliğini ölçmede kullanılan en yaygın yöntemdir. 3 noktada yapılacak olan basınç ölçümleri ile yükseklik kolayca hesaplanabilir. Ölçüm noktaları, ara yüzeyin altında veya üstünde olmalıdır (Amelunxen, 1985).

Sıcaklık Farkı Yöntemi: Yıkama suyunun sıcaklığının pülp sıcaklığından düşük olması sebebiyle sıcaklık değişiminin (bu sıcaklık farkı en az 4°C olmalıdır) en belirgin olduğu yer, yıkama suyuna maruz kalan köpük zonu ile zenginleştirme zonu arasındaki ara yüzeydir. Sıcaklık algılayıcı aletler kolon üzerine monte edilerek ara yüzeyin pozisyonu belirlenmeye çalışılır (Jnchausti, 1985).

Elektriksel İletkenlik Farkı Yöntemi: Gaz tutunum yüzdesi farkı ve pülpün yıkama suyuna göre farklı katı içeriği nedeniyle iki zon arasındaki elektriksel iletkenlik farklıdır. Kolona yerleştirilen elektrotlar ile iletkenlik farkının belirleyici olduğu ara yüzey tespit edilir.

Direkt Ölçüm Yöntemi: Kolon şeffaf malzemeden yapılmış ise köpük zonu üzerine yerleştirilen metre ile yükseklik ölçülebilir (Öteyaka ve Soto, 1992).

3.6.2 Pülpün Kolon İçinde Kalma Zamanı (Zenginleştirme Zonu Yüksekliği)

Zenginleştirme zonu yüksekliği genel olarak hava debisine (gas hold up) ve tane ile hava kabarcığı çapına bağlıdır. Bu zonun yüksekliği, besleme noktası ile hava kabarcık üretici arasında kalan mesafedir. İnce taneler için uzun, iri taneler için kısa olmalıdır (Öteyaka, 1993). Pülpün kolon içinde kalma zamanı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir:

$$T_p = \frac{A_c \times H(1-g)}{Q_r} \quad (3.6)$$

Burada;

A_c: Kolon kesit alanı

Q_r: Pülp Debisi

H: Zenginleştirme zonu yüksekliği

ε_g: Hold up

3.6.3 Bias

Köpük zonu varlığını belirleyen değişkendir. Optimum yüzeysel bias hızı 0,1-0,2 cm/saniye'dir.

3.6.4 Hava Debisi

Hava debisi, hava kabarcıklarının çapını belirleyen ve kolonun taşıma kapasitesini etkileyen bir değişkendir. Hava debisinin artışı, belirli bir yere kadar verimi artırır. Daha sonra, türbülansın dolaylı stabilite azalır ve verim düşer. Genelde optimum değerlerde yani 1-3 cm/sn olması gerekir.

3.6.5 Yıkama Suyu

Köpük zonu varlığını ve stabilitesini sağlamak, hidrolik yolla sürüklenen yüzmeyen taneleri en aza indirmek için kullanılan yıkama suyunun optimum değeri 0,3-0,5 cm/sn olmalıdır. Yıkama suyu debisinin artması, tenör artışına ve verim düşmesine sebep olup, maliyeti de artırır.

3.6.6 Hava Kabarcık Çapı

Kullanılan köpürtücü miktarına, verilen havanın debisine ve kabarcık üreticinin delik çapına bağlı olarak hava kabarcık çapı değişim gösterir. Flotasyonda kabarcık çapının 0,5-2 mm arasında olması istenir. Kabarcık çapı, fotoğraf yöntemi, ampirik bağıntı yardımıyla yada direkt olarak lazer ışını kullanan aletlerle belirlenebilir (Amelunxen, 1985).

3.6.7 Pülp Yoğunluğu

Kolonun taşıma kapasitesine bağlı olmakla birlikte, genelde %10-30 katı oranı ile besleme yapılır. Aşırı katı oranı verimi düşürür (Öteyaka ve Soto, 1992).

3.6.8 Gaz Tutunum Yüzdesi

Bu yüzde, kabarcık çapına ve hava debisine bağlıdır. Gaz tutunum yüzdesinin artışı, türbülansın artışı demektir. Gaz tutunum yüzdesi, tane- kabarcık karşılaşma olasılığını arttırırken, belirli bir değerden sonra agrega stabilitesini düşürür. Bu sebeple gaz tutunum yüzdesi %8-25 arasında olmalıdır (Yianatos, 1988). Bu değişken;

- Tüp manometre yardımı ile basınç farkı yöntemi
- Kolonun üst kısmındaki susuz bölge yüksekliğinin kolon toplam uzunluğuna oranı hesaplanarak (sistem durdurulduktan sonra)
- Elektriksel iletkenlik yöntemi

ile üç farklı şekilde hesaplanmaktadır.

3.6.9 Kabarcık Üretici Çapı ve Toplam Yüzey Alanı

Kabarcık çapından direkt sorumlu bir değişkendir. Küçük delik çaplı üreteçler küçük çaplı kabarcık üretir. Bu özellik, verilen havanın debisine ve üretcin toplam yüzeyine bağlıdır. Kullanılan malzemeye göre değişir.

3.7 Flotasyon Kolonlarının Tasarımı

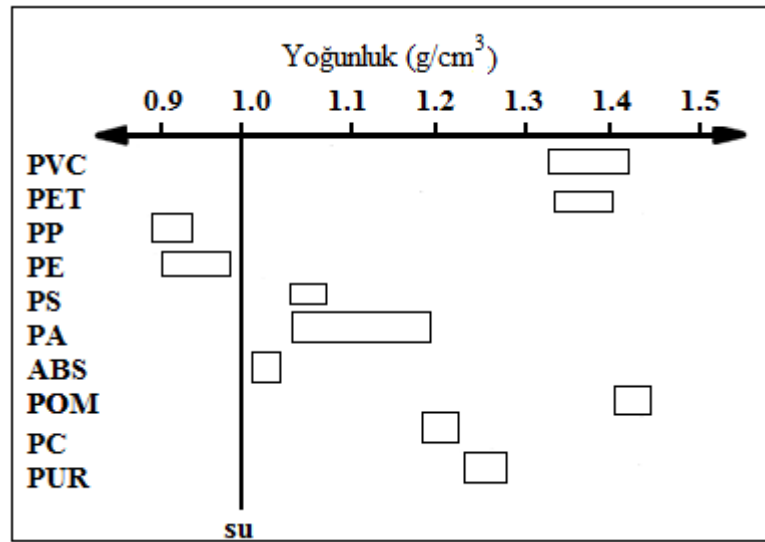
Flotasyon kolonları, uzunluğu çapına göre yaklaşık 4-15 kat fazla olabilen silindirik veya kare kesitli prizma şeklinde, paslanmaz sactan veya pleksiglastan yapılan ünitelerdir. İnce veya normal boyutlu taneler için besleme, zenginleştirme zonunun hemen üst kısmından yapılır (Şekil 3.3). Laboratuar ölçekte genel olarak bir metre uzunluğunda (0,25-1 metre) olan köpük zonu, hemen besleme noktasının üst kısmından başlar. Zenginleştirme zonu uzunluğu çeşitli parametrelere bağlı olarak önceden yapılmış modelleme programlarıyla hesaplanır. Laboratuar ölçekte 2 metrelik uzunluk yeterli olabilir. Endüstriyel ölçekte köpük zonu 1-3 metre arasındadır.

Yüzebilir parçacıkları kolonun üst kısmına taşıyacak olan hava kabarcıkları, kolonun alt kısmında bulunan hava üretici (sparger) tarafından sisteme verilir. Hava üretici, paslanmaz poroz metalden veya plastik boru-filtre bezinden yapılabilir.

Flotasyon sırasında elde edilen konsantre, kolonun üst kısmından, artık ise alt kısmından alınır. Yıkama suyu köpük zonunun 3-4 cm üstünden veya içinden püskürtmeli olarak sisteme verilir. Ayrıca, ilave pompa kullanılarak artık akışını kolaylaştırmak mümkündür (Öteyaka, 1993).

3.8 Kolon Flotasyonu Yöntemi ile PET-PVC'nin Seçimli Ayrılması

PET ve PVC flotasyonunda yüzdürülmek istenen malzeme hidrofob yapılı ve köpüğe yapışıp onunla hareket etmesi sağlanır, yüzdürülmek istenmeyen malzeme hidrofilik yapılı ve batması sağlanır. Yüzey özelliklerine bakılacak olursa, plastiklerin hidrofobiklik dereceleri sırası ile büyükten küçüğe doğru PS>ABS>PC>PET>PMMA>PVC>POM şeklinde sıralanır (Shen ve diğ., 2002a). Görüldüğü üzere, PET ve PVC'nin hidrofobiklik dereceleri birbirine oldukça yakındır. Bunun yanı sıra plastiklerin yoğunluk aralıkları arasında da yüksek farklar bulunmamaktadır. Plastiklerin yoğunluk farklılıklarının göreceli karşılaştırılması Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Plastiklerin Yoğunluk Aralıkları (Shent ve diğ., 1998).

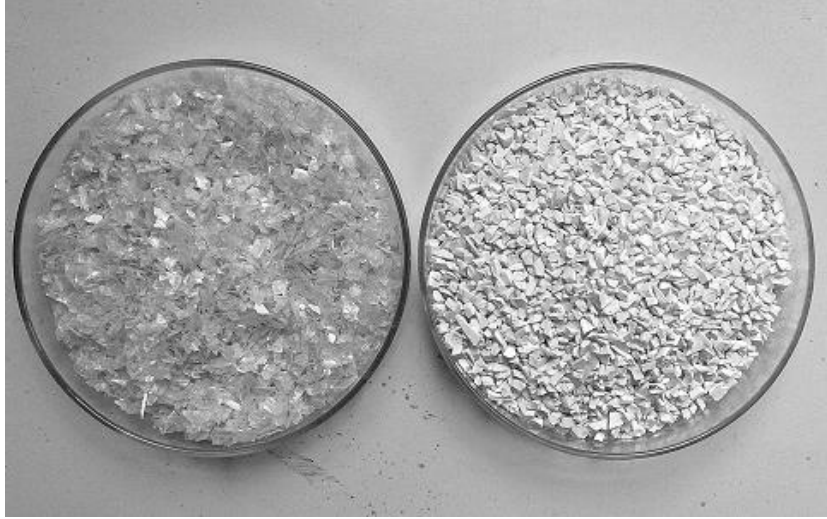
Şekil 3.4.'te görüldüğü üzere, plastiklerin yoğunluk aralıkları birbirlerine oldukça yakındır ve $0,9 \text{ g/cm}^3$ ile $1,427 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Yoğunlukları büyükten küçüğe doğru, POM>PVC>PET>PUR>PC>PA>PS>ABS>PE>PP şeklindedir (Shent ve diğ., 1998). Bu sebeple, flotasyon uygulamalarında plastikleştirici reaktifler kullanarak yüzey özelliklerinin değiştirilmesi gerekmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, PET ve PVC'nin seçimli olarak ayrılmasına yönelik pilot ölçekli kolon flotasyonu ünitesi kullanılarak, flotasyon parametrelerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu konu ile ilgili olarak daha önceden gerçekleştirilen çalışma sonuçları da göz önünde bulundurularak, PET ve PVC'nin seçimli olarak ayrılmasında etkili olan kolon ve flotasyon parametreleri detaylı olarak incelenmiş, flotasyon koşullarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, öncelikle laboratuvar ölçekli kolon flotasyonu ünitesi kullanılarak flotasyon parametrelerine ilişkin ön veriler üretilmiş, daha sonra bu veriler baz alınarak pilot ölçekli kolon ünitesinde deney optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

4.1 Malzeme ve Yöntem

Yürütülen deneysel çalışmalar Plaş A.Ş.'den temin edilen kullanılmış PET şişe ve pencere profili olarak kullanılan PVC numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel, daha önceki çalışmalardan elde edilen verilere göre $-3,35 \pm 2,0$ mm boyut aralığında çalışmalar yapılmış, bunun yanı sıra PET ve PVC'den kazanım oranlarını arttırmak amacıyla farklı boyut gruplarında da ($-3,35 \pm 1,19$ mm ve $-2,0 \pm 1,19$ mm) pilot ölçekli deneyler sürdürülmüştür. Deneysel kullanılan malzemelere ait bir görünüm Şekil 4.1'de verilmiştir. PET numuneleri, PVC numunelerine göre daha şeffaftır. İçeriklerinde bulunan maddeler sebebi ile PVC numuneleri daha mattır. Deneysel sonunda elde edilen malzemelerin analizi, renk farkından yararlanılarak elle sayım yöntemi ile yapılmıştır.

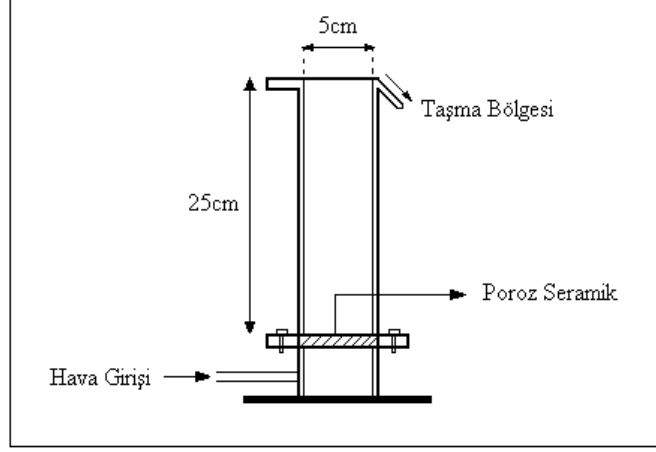


Şekil 4.1 : Deneylerde Kullanılan Plastikler

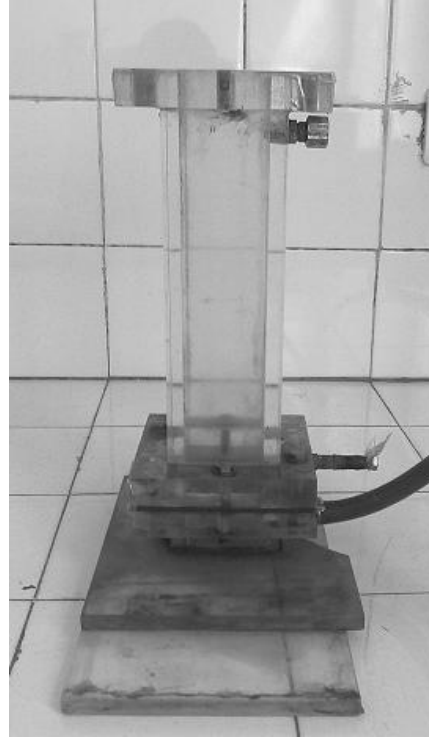
Deneylerde, köpürtücü reaktif olarak Metil İzobütil Karbinol (MIBC), pH ayarlayıcı olarak NaOH, plastikleştirici olarak ta Diethylene Glycol Dibenzoate ve Lignin Alkali kullanılmıştır. Dietilen Glikol Dibenzoat esteri, kimyasal olarak sabit özelliklere ve yüksek kaynama sıcaklığına sahiptir. Formülü, $C_{18}H_{18}O_5$ 'tir. Polimerlerin içersinde çok iyi, suyun içersinde ise biraz çözünebilmektedir. PVA homopolimer ve kopolimer, PVC için plastikleştirici olarak kullanılabilir noniyonik bir yüzey aktif maddedir. Lignin Alkali ise düşük sülfonat içeriklidir. Formülü $C_{30}H_{25}ClN_6$ 'dır. Öncelikle disperse edici bir kimyasaldır. Görünüş olarak koyu kahverengidir. Yoğunluğu 25 °C ortamda 1.3 g/mL'dir. Anyonik ve noniyonik yüzey aktif maddelerle uyumludur.

Laboratuar ölçekli deneylerde kenar uzunluğu 5 cm, yüksekliği 25 cm olan kare kesitli kolon flotasyonu ünitesi kullanılmıştır. Hücrenin alt kısmında bulunan hava üretici, poroz seramik bir maddeden yapılmıştır. Şekil 4.2'de laboratuar ölçekli kolon flotasyonu hücresinin şematik gösterimi, Şekil 4.3'te ise kolon flotasyon hücresi görülmektedir.

Laboratuar ölçekli deneylerde pülpte katı oranı sabit tutulmuş, buna karşılık tane boyutu, hava miktarı, reaktif konsantrasyonu ve pH değişken parametreler olarak alınmıştır. Tüm deneylerde malzemeler kolona beslendikten sonra, plastikleştirici ilave edilerek kıvamlandırma için belirli bir süre verilmiş, ardından da MIBC katılarak uygun sürelerde köpük alınmıştır. Malzemeler kurutulduktan sonra, sayım yöntemi ile sonuçları değerlendirilmiştir.



Şekil 4.2 : Kolon Hücresinin Şematik Olarak Gösterimi (Yenial, 2009)



Şekil 4.3 : Kolon Flotasyonu Hücresi

4.2 Boyut Küçültme Deneyleri

Deneylerde kullanılan PET ve PVC'ler İ.T.Ü. Maden Fakültesi Cevher ve Kömür Hazırlama Laboratuvarı'nda bulunan Net Plasmak LTD NPS 400 marka plastik kırma ünitesinde (Şekil 4.4), açıklığı 6 mm olan ızgara sabit olmak üzere 6 mm altına kırılmış ve kolon flotasyonuna uygun boyutlar alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

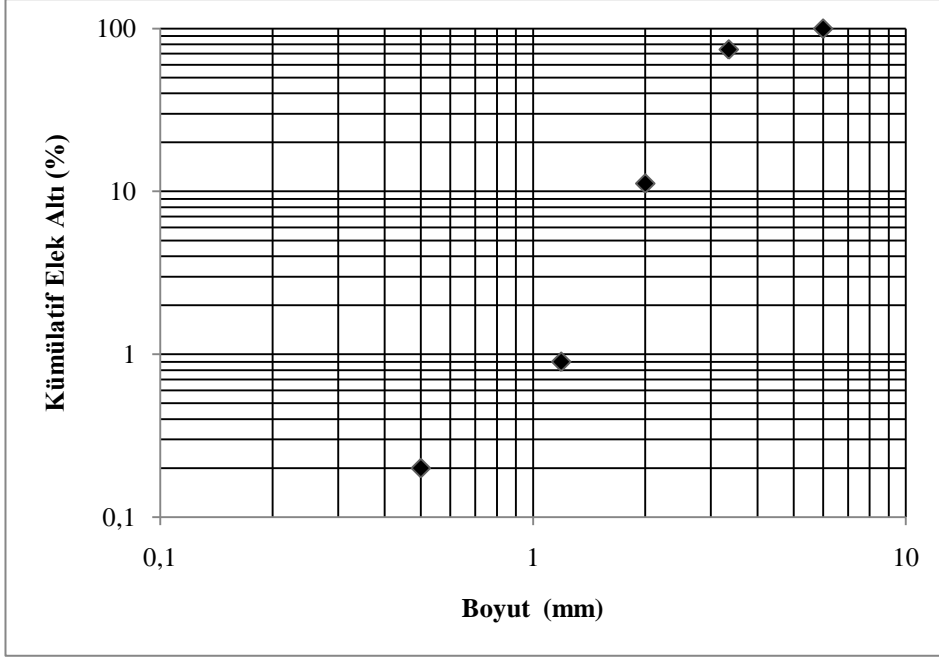


Şekil 4.4 : Net Plasmak LTD NPS 400 Plastik Kırma Cihazı

PET ve PVC numunelerinin kırma sonrası elde edilen boyut dağılımları Çizelge 4.1’de, toplam elek altı eğrileri ise Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da verilmektedir.

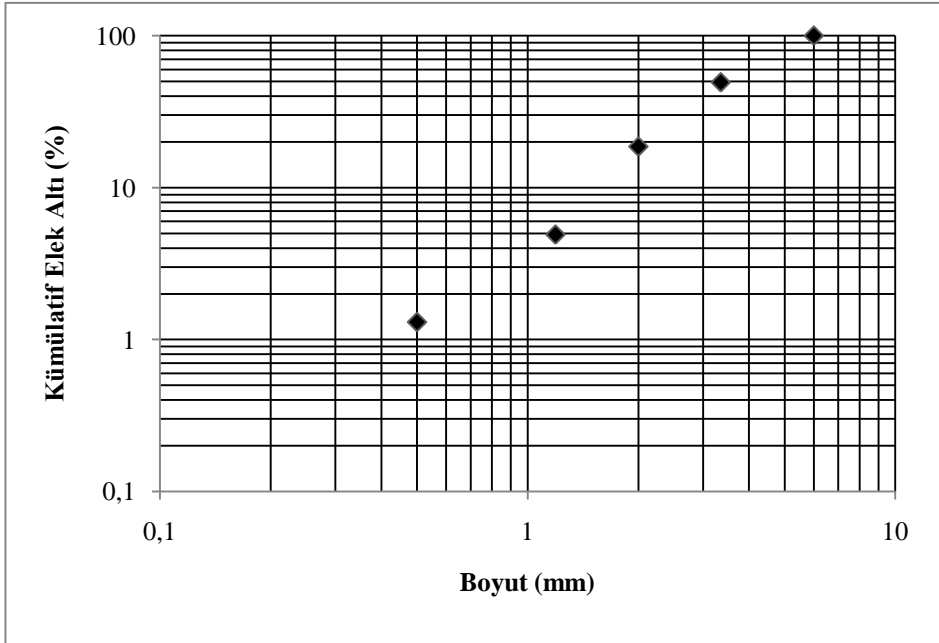
Çizelge 4.1 : 6 mm Altına Kırılmış PVC ve PET Numunelerinin Boyut Dağılımı

	Boyut Aralığı (mm)	Miktar (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
PVC	-6+3,35	25,5	25,5	100,0
	-3,35+2,0	63,3	88,8	74,5
	-2,0+1,19	10,3	99,1	11,2
	-1,19+0,50	0,7	99,8	0,9
	-0,50	0,2	100,0	0,2
	Toplam	100,0		
PET	-6+3,35	50,7	50,7	100,0
	-3,35+2,0	30,7	81,4	49,3
	-2,0+1,19	13,7	95,1	18,6
	-1,19+0,50	3,6	98,7	4,9
	-0,50	1,3	100,0	1,3
	Toplam	100,0		



Şekil 4.5 : PVC Numunesinin Elek Altı Eğrisi

Şekil 4.5'ten, 6 mm altına kırılmış PVC numunesinin d_{80} boyutunun 4,2 mm, d_{50} boyutunun ise 2,8 mm olduğu görülmektedir.

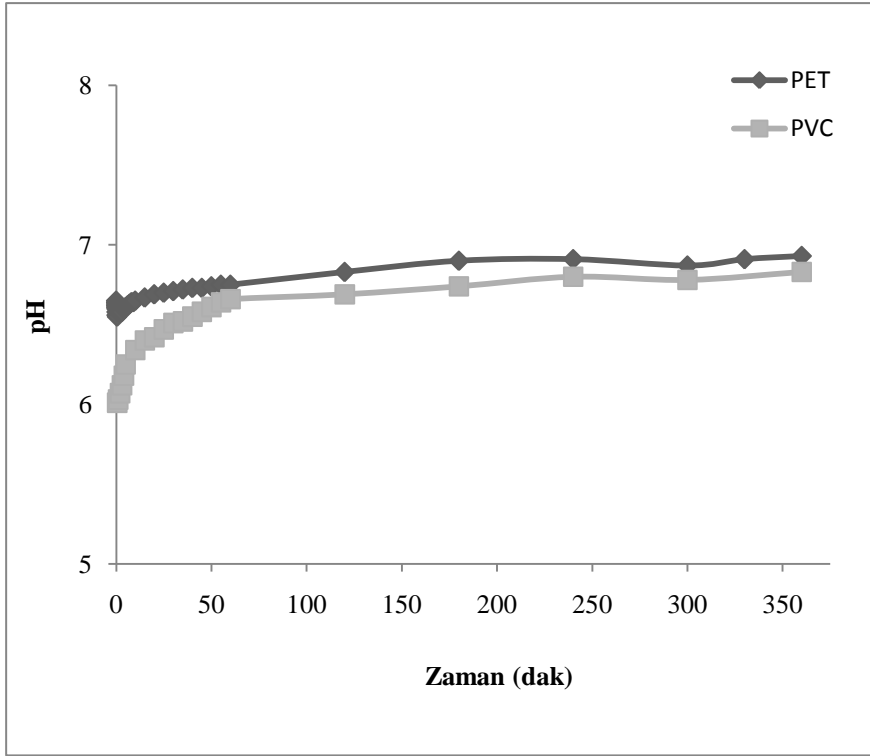


Şekil 4.6 : PET Numunelerinin Elek Altı Eğrisi

Şekil 4.6'dan ise 6 mm altına kırılmış PET numunesinin d_{80} boyutunun 4,7 mm, d_{50} boyutunun ise 3,35 mm olduğu görülmektedir.

4.3 Malzemelerin YüzeY Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneylerde kullanılacak olan PET ve PVC'lerin yüzeY özelliklerinin belirlenmesi ve yüzeY yüklerinin tespit edilmesi amacı ile bölüm yüzeY kimyası laboratuvarında, zeta potansiyel ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak, PET ve PVC tanelerinin suya iyon verip vermediğini kontrol etmek amacı ile %1'lik pülpte katı oranı olacak şekilde, PET ve PVC numuneleri bir karıştırıcı üzerinde sürekli karıştırılarak, 1. saniyeden başlanıp belirli aralıklarla karışımın pH değeri ölçülmüştür. Toplam 360 dakika boyunca yapılan ölçümlerden, pH'nın zamana göre değişim karakteristiği Şekil 4.7'de verilmektedir.

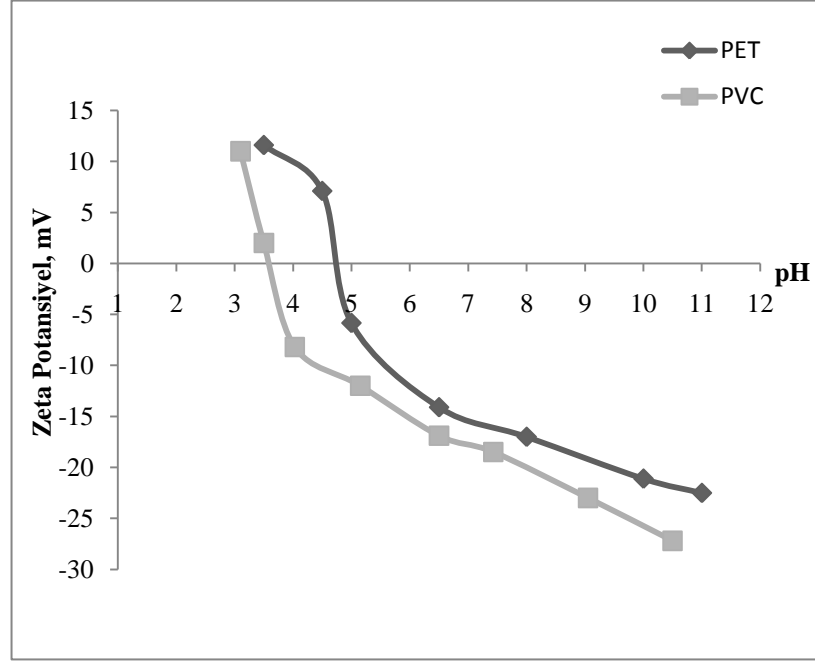


Şekil 4.7 : PET ve PVC 'nin Zamana Göre pH Değişimi

PET ve PVC'nin bulunduğu ortamlarda başlangıç pH değerleri çok küçük değişiklikler göstermekle birlikte (6,0-6,6), 1. saat civarında denge pH değeri olan 6,9 değerine ulaşmakta, ölçümlerin tamamlandığı 6. saat sonunda da bu denge pH değerlerinin sabit kaldığı belirlenmiştir.

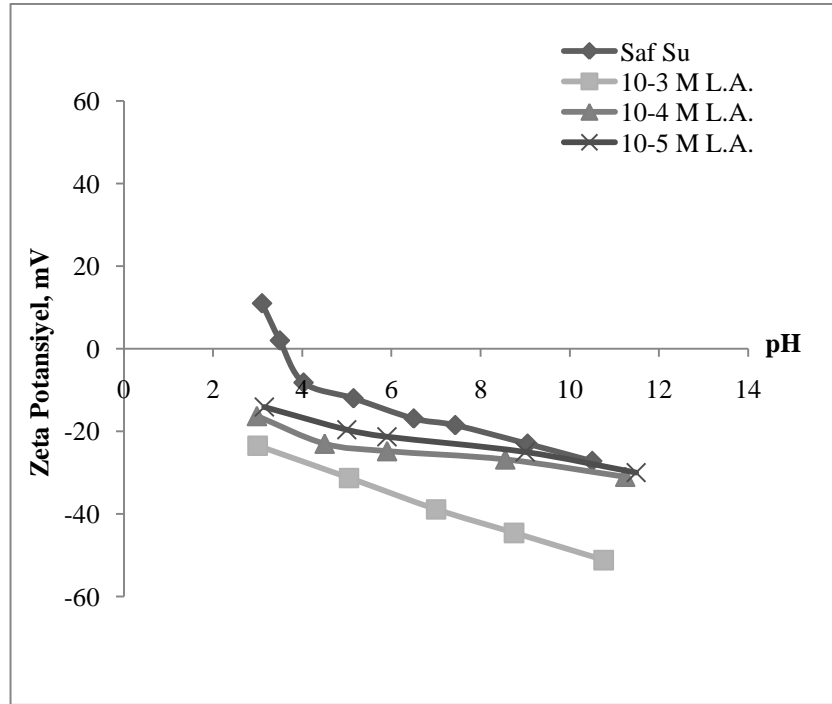
İlk olarak PET ve PVC numunelerine ait yüzeY yüklerinin belirlenmesi amacıyla saf su ortamında ve Lignin Alkali'nin bulunduğu koşullarda pH'ya bağlı olarak zeta

potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen değerlendirmeler Şekil 4.8'de, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

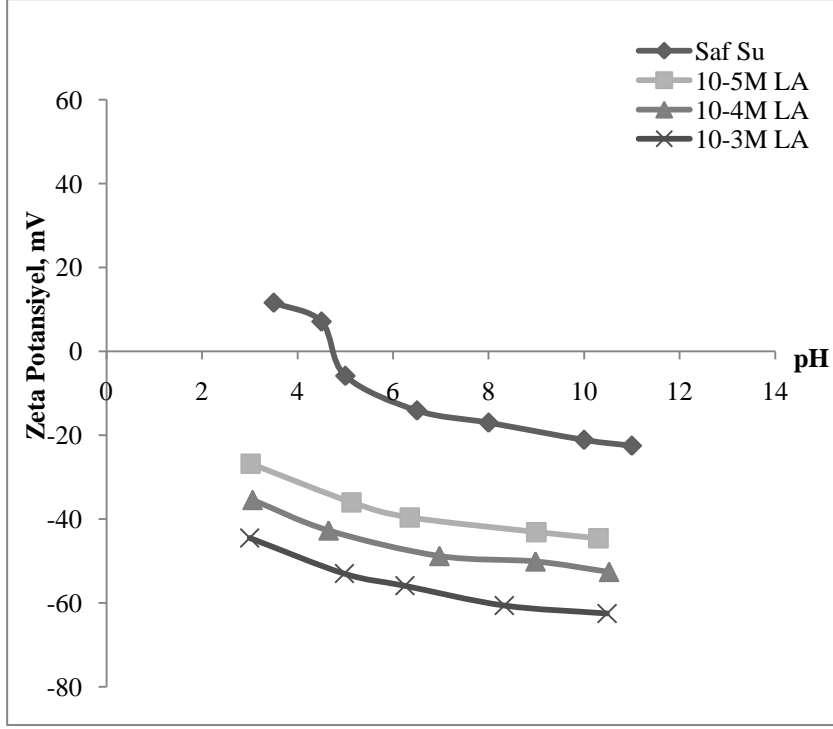


Şekil 4.8 : PET ve PVC'nin Saf Suda Zeta Potansiyel Ölçümleri

Zeta potansiyel değişim grafikleri incelendiğinde, saf suda potansiyelin sıfır olduğu değerler PVC ve PET için sırasıyla 3.7 ve 4.8 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.9 : PVC'nin Lignin Alkali Ortamında Zeta Potansiyel Ölçümleri



Şekil 4.10 : PET'in Lignin Alkali Ortamında Zeta Potansiyel Ölçümleri

Plastikleştirici olarak Lignin Alkali'nin kullanıldığı durumlarda ise plastikleştirici konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak PET ve PVC yüzeylerinin negatif yüklü olduğu görülmektedir.

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 incelendiğinde, pH 8 ortamında 10^{-3} M Lignin Alkali kullanılarak yapılan ölçümler dikkate alındığında, PVC ve PET için zeta potansiyel değerlerinin sırasıyla -40 ve -60 mV olduğu görülmektedir. İlave edilen reaktifin maddelere etkisi aynı olmamaktadır ve yüzey yüklerindeki bu farklılık, maddelerin flotasyon esnasındaki davranışlarını da değiştirmektedir.

4.4 Kolon Flotasyonu Deneyleri

4.4.1 Laboratuvar Ölçekli Kolon Flotasyonu Deneyleri

Pilot ölçekte gerçekleştirilecek deneylere veri sağlamak üzere, laboratuvar ölçekli kolon flotasyonunda çeşitli parametrelerin incelendiği deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde daha önceden yapılmış olan tez çalışmalarında optimize edilmiş olan kolon boyutu, pülpte katı oranı, yıkama suyu, reaktif ve köpürtücü cinsi sabit

tutulmuş, buna karşılık tane boyutu, ortam pH'sı, reaktif ve köpürtücü konsantrasyonu ve pülp sıcaklığı değişken parametreler olarak incelenmiştir.

4.4.1.1 Plastikleştirici Reaktif Konsantrasyonun Değişimi

Tez çalışmaları başlangıcında, daha önceden yapılmış çalışmalar da dikkate alınarak, plastikleştirici olarak Lignin Alkali ve Diethylene Glycol Dibenzoate (DIB) reaktifleri ile sistematik deneyler planlanmış ve bazı ön deneyler yapılmıştır. Bu noktada, DIB'nin deneylerimizde kullanılan PET ve PVC için hiçbir etkili sonuç vermemesi nedeni ile sadece Lignin Alkali kullanılarak sistematik deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında Çizelge 4.2'de verilen sabit koşullarda farklı konsantrasyonlarda Lignin Alkali kullanılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Reaktif konsantrasyonunun değişimine bağlı olarak PET ve PVC içerik ve kazanma verimlerine ilişkin değerlendirmeler ise Şekil 4.11 ve 4.12'de verilmektedir.

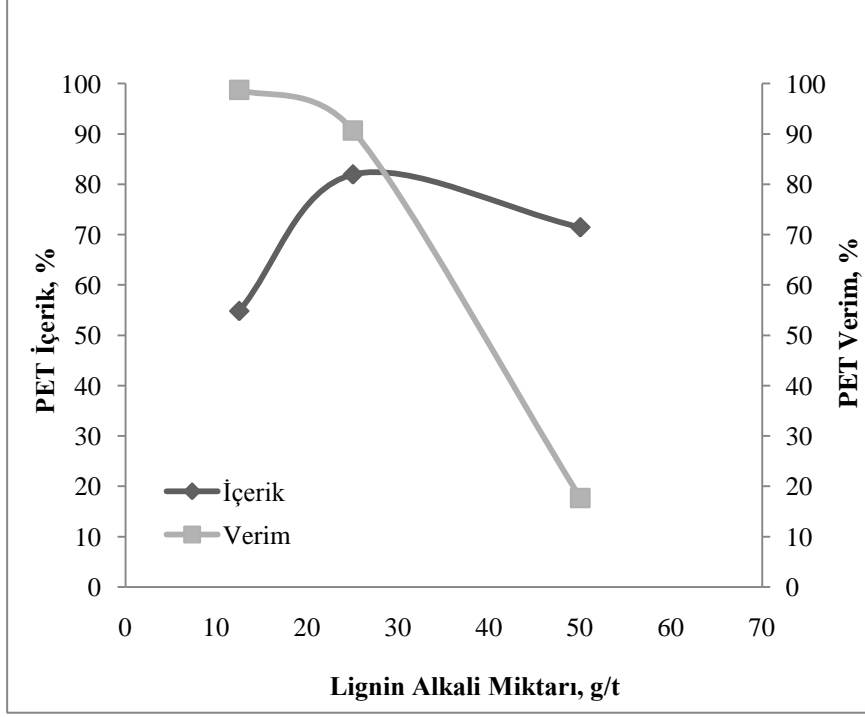
Çizelge 4.2 : Plastikleştirici Reaktif Etkisi Deney Parametreleri

Boyut (mm)	pH	Hava Miktarı
-3,35+2,0	8	2 cm/sn
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi
1000 g/t	1 dak	3 dak

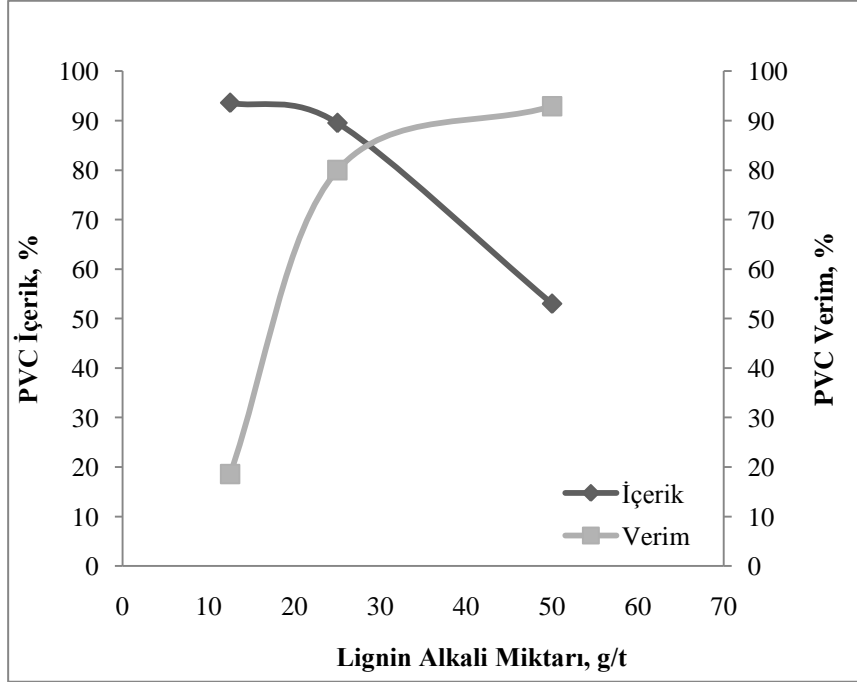
Çizelge 4.3 : PET ve PVC Ayırımında Reaktif Konsantrasyonunun Etkisi

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
12,5	Yüzen	90,1	54,81	45,19	98,7	81,4
	Batan	9,9	6,38	93,62	1,3	18,6
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
25	Yüzen	55,3	81,93	18,07	90,7	20,0
	Batan	44,7	10,45	89,55	9,3	80,0
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
50	Yüzen	12,4	71,43	28,57	17,7	7,1
	Batan	87,6	46,98	53,02	82,3	92,9
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0

Çizelge 4.3 değerlendirildiğinde, gerek PET ve gerekse PVC açısından en uygun Lignin Alkali konsantrasyonunun, 25 g/t mertebesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11 : Reaktif Miktarının PET İçerik ve Verimine Etkisi



Şekil 4.12 : Reaktif Miktarının PVC İçerik ve Verimine Etkisi

25 g/t Lignin Alkali konsantrasyonunda, yüzen malzemede %81,9 PET içeriğinde bir ürünün, %90,7 kazanma verimi ile elde edilebileceği görülmüştür.

4.4.1.2 pH Değişiminin İncelenmesi

Lignin Alkali ile yapılan PET-PVC flotasyonunda, pH değişiminin etkisinin incelendiği deneylerde, Çizelge 4.4.'te verilen sabit koşullarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Farklı pH değerlerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. PH değişimine bağlı olarak PET ve PVC içerik ve kazanma verimlerine ilişkin değerlendirmeler ise Şekil 4.13 ve 4.14'te verilmektedir.

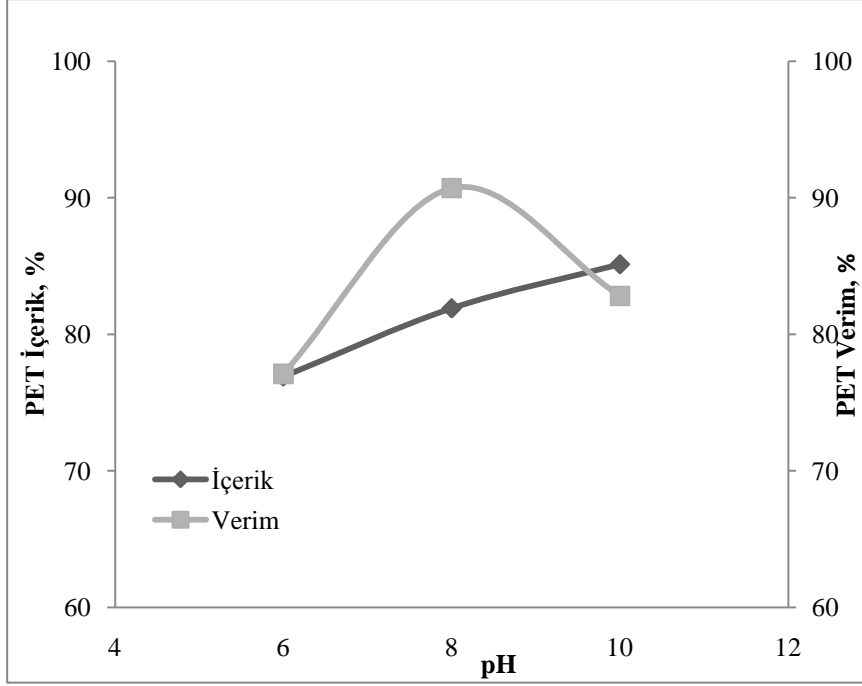
Çizelge 4.4 : pH Değişiminin Etkisi Deney Parametreleri

Boyut (mm)	Lignin Alkali Konsantrasyonu	Hava Miktarı
-3,35+2,0	25 g/t	2 cm/sn
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi
1000 g/t	1 dak	3 dak

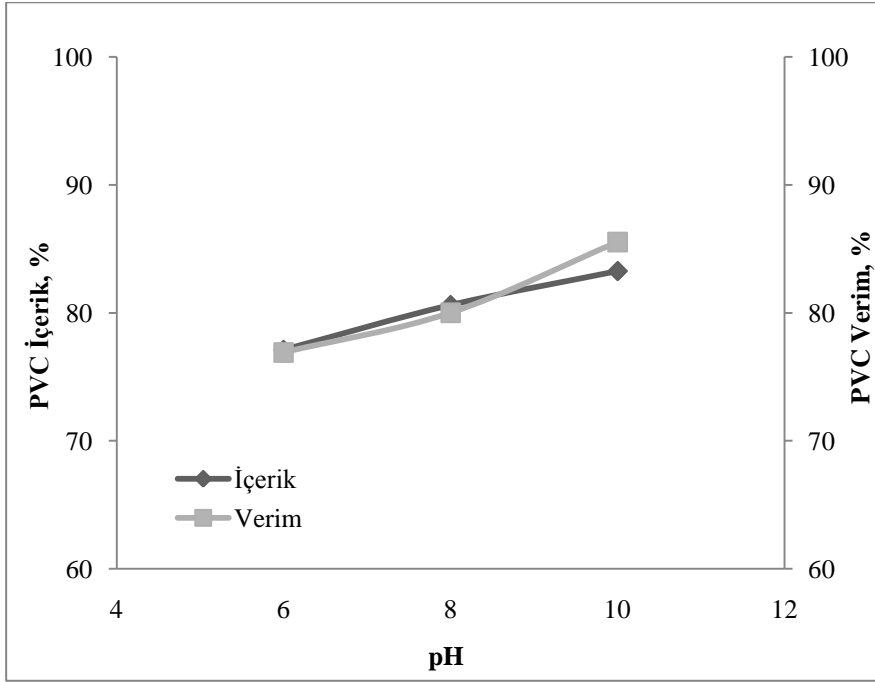
Çizelge 4.5 : PET ve PVC Flotasyonunda pH Değişiminin Etkisi

pH	Ürünler	Miktar,%	İçerik,%		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
6	Yüzen	50,1	76,90	23,10	77,1	23,1
	Batan	49,9	22,90	77,10	22,9	76,9
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
8	Yüzen	55,3	81,93	18,07	90,7	20,0
	Batan	44,7	10,45	89,55	9,3	80,0
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
10	Yüzen	48,6	85,13	14,87	82,8	14,5
	Batan	51,4	16,74	83,26	17,2	85,5
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi, yüzen ürünlerin PET içeriği pH artışına bağlı olarak artmaktadır, ancak PET kazanma verimi pH 8'de en iyi değere ulaşmaktadır.



Şekil 4.13 : pH'nın Yüzen Malzemedeki PET İçerik ve Verimine Etkisi



Şekil 4.14 : pH'nın Batan Malzemedeki PVC İçerik ve Verimine Etkisi

Şekil 4.14'te görüldüğü gibi, batan malzemede PVC verimi dikkate alındığında ise uygun pH değerinin 10 olduğu görülmektedir.

4.4.1.3 Hava Miktarı Etkisinin İncelenmesi

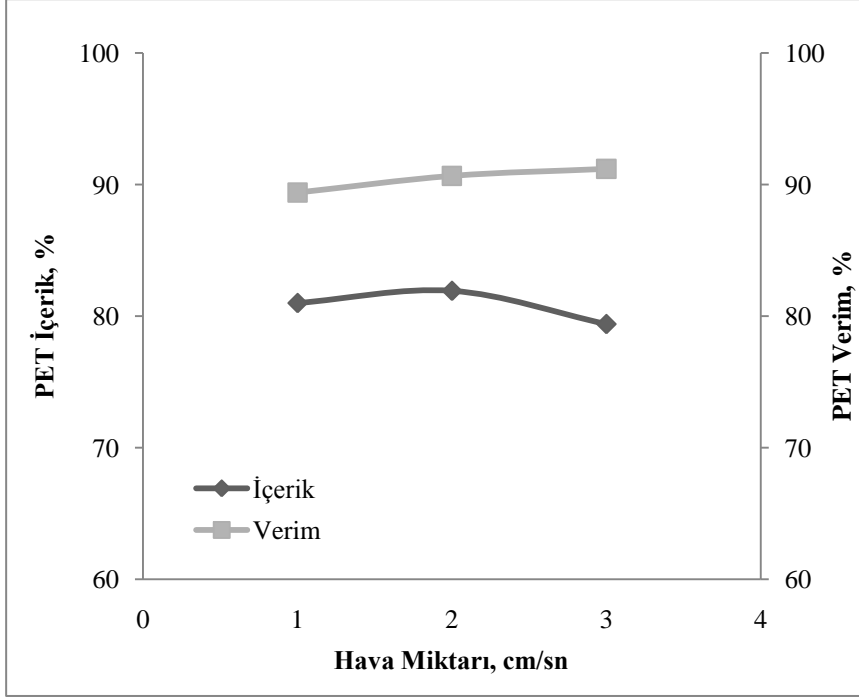
Bu başlık altında, daha önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen veriler de değerlendirilerek 3 farklı hava hızında flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında Çizelge 4.6’da verilen sabit koşullarda farklı hava miktarlarında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir. Hava miktarı değişimine bağlı olarak PET ve PVC içerik ve kazanma verimlerine ilişkin değerlendirmeler ise Şekil 4.15 ve 4.16’da verilmektedir.

Çizelge 4.6 : Hava Miktarının Etkisi Deney Parametreleri

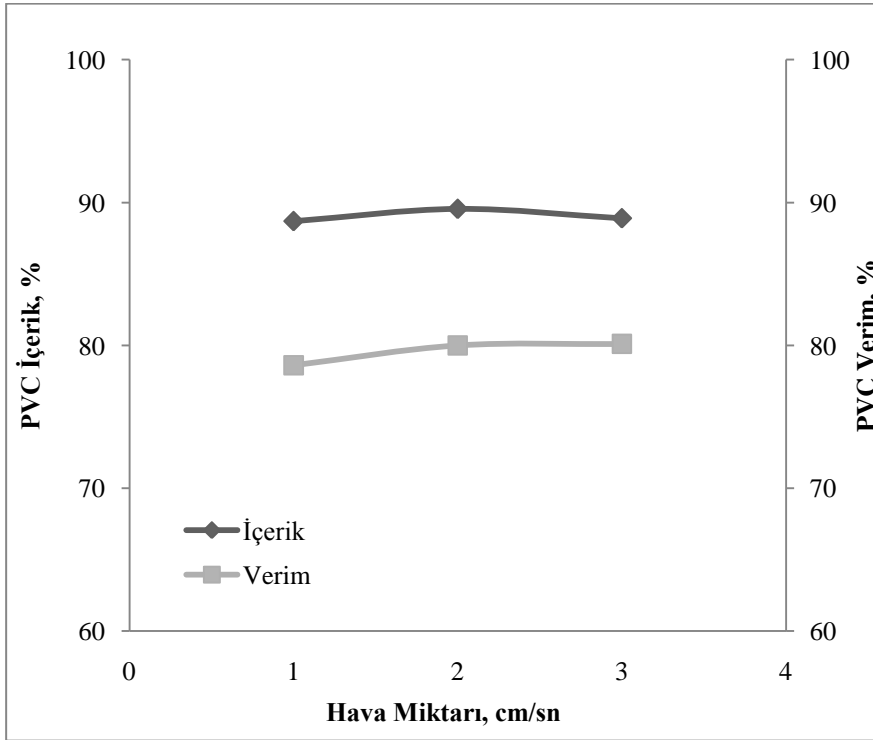
Boyut (mm)	Lignin Alkali Konsantrasyonu	pH
-3,35+2,0	25 g/t	8
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi
1000 g/t	1 dak	3 dak

Çizelge 4.7 : PET ve PVC Flotasyonunda Hava Miktarının Etkisi

Hava mik. (cm/sn)	Ürünler	Miktar, %	İçerik (%)		Verim (%)	
			PET	PVC	PET	PVC
1	Yüzen	48,7	81,00	19,00	89,4	21,4
	Batan	51,3	11,30	88,70	10,6	78,6
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
2	Yüzen	55,3	81,93	18,07	90,7	20,0
	Batan	44,7	10,45	89,55	9,3	80,0
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
3	Yüzen	53,5	79,40	20,60	91,2	19,9
	Batan	46,5	11,10	88,90	8,8	80,1
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0



Şekil 4.15 : Hava Miktarı Değişiminin PET İçerik ve Verimine Etkisi



Şekil 4.16 : Hava Miktarı Değişiminin PVC İçerik ve Verimine Etkisi

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, laboratuvar ölçekli kolon ünitesinin kullanılması durumunda hava miktarı değişimi ile, gerek PET ve gerekse PVC içerik ve verimleri üzerinde çok önemli farkların olmadığı görülmektedir.

4.4.1.4 Tane Boyutu Değişiminin Etkisi

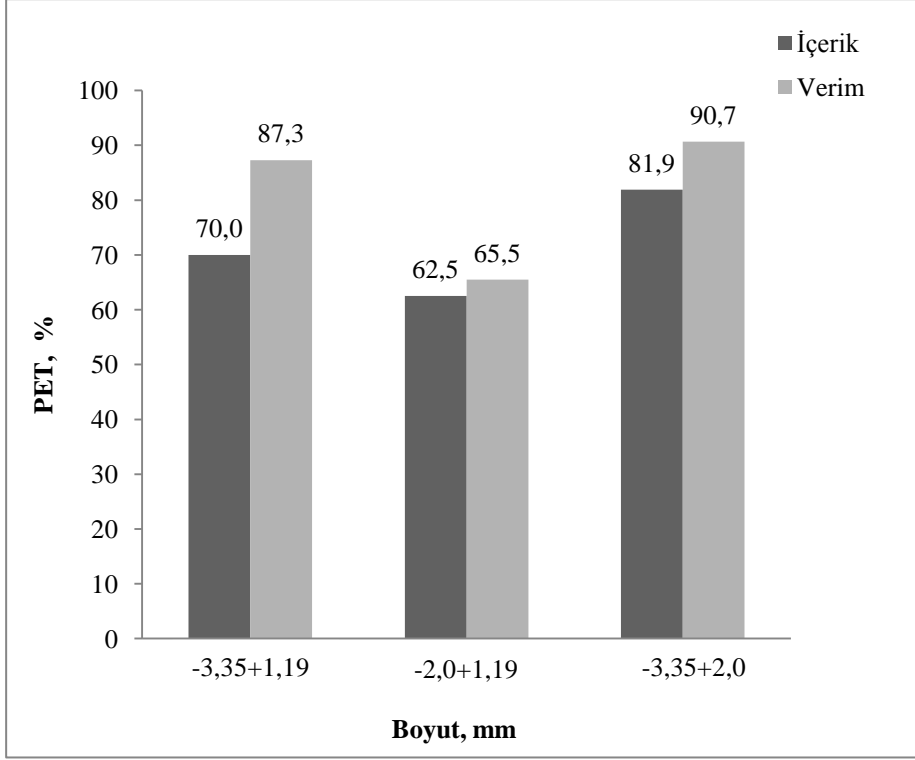
Gerek literatür ve gerekse cevher hazırlama bölümünde yapılan akademik çalışmalarda, plastik flotasyonunun gerçekleştirildiği optimum boyut aralığı $-3,35+2,0$ mm olarak verilmektedir. Plastik atıklardan geri kazanım amacına yönelik geliştirilmesi ön görülen kazanım sistemlerinde, olanaklı olduğunca atıklardan fazla miktarda bölümlerin kazanılması düşünülmelidir. Bu nedenle bu başlık altında daha önceden yapılmış çalışmalarda uygulanmış boyut aralığı ($-3,35+2,0$ mm) dışında farklı boyut gruplarında da flotasyon yapılarak daha fazla ürünün kazanımı olanakları incelenmiştir. Bu amaçla, Çizelge 4.8’de verilen sabit koşullarda 3 farklı boyut grubunda kolon flotasyonu deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir. Tane boyutu değişimine bağlı olarak PET ve PVC içerik ve kazanma verimlerine ilişkin değerlendirmeler ise Şekil 4.17 ve 4.18’de verilmektedir.

Çizelge 4.8 : Tane Boyutu Değişimi Etkisi Deney Parametreleri

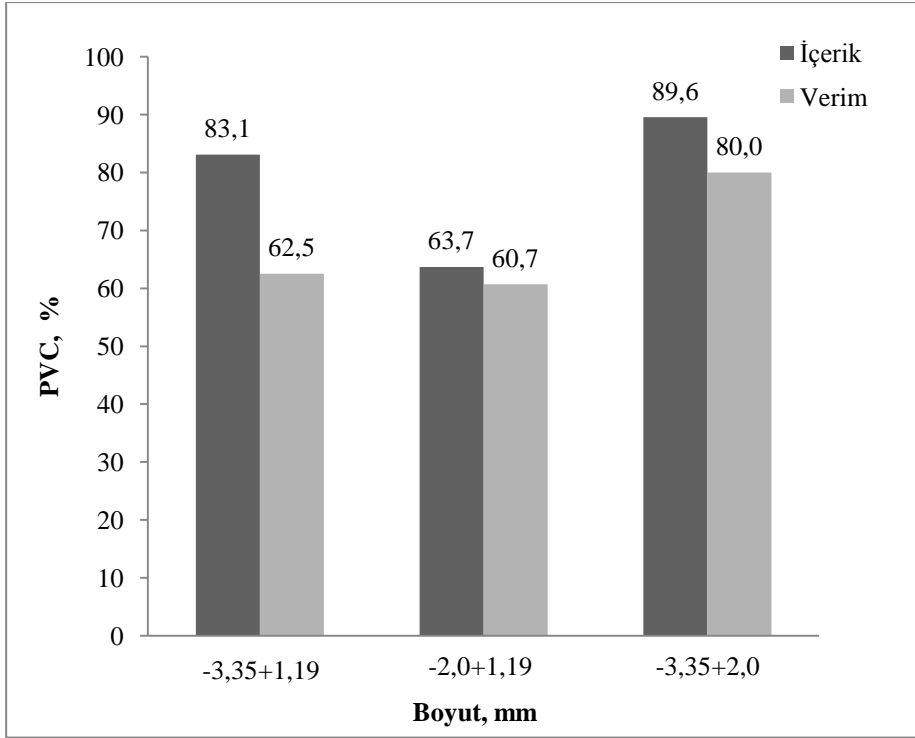
Hava Miktarı (cm/sn)	Lignin Alkali Konsantrasyonu	pH
2	25 g/t	8
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi
1000 g/t	1 dak	3 dak

Çizelge 4.9 : PET ve PVC Flotasyonuna Tane Boyutu Etkisinin Sonuçları

Boyut, mm	Ürünler	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
$-3,35+1,19$	Yüzen	62,4	70,00	30,00	87,3	37,5
	Batan	37,6	16,90	83,10	12,7	62,5
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
$-2,0+1,19$	Yüzen	52,4	62,50	37,50	65,5	39,3
	Batan	47,6	36,30	63,70	34,5	60,7
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
$-3,35+2,0$	Yüzen	55,3	81,93	18,07	90,7	20,0
	Batan	44,7	10,45	89,55	9,3	80,0
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0



Şekil 4.17 : Tane Boyutunun PET İçerik ve Verimine Etkisi



Şekil 4.18 : Tane Boyutunun PVC İçerik ve Verimine Etkisi

Grafikler incelendiğinde, gerek PET ve gerekse PVC içerik ve verimleri açısından uygun tane boyutu, literatür verilerine de uygun olarak +3,35-2,0 mm boyut

aralığında elde edilmektedir. Ancak, alt boyutun bir miktar daha düşürülmesi sonucu (-3,35+1,19 mm) da elde edilen değerlerin bir önceki boyut grubuna yakın olduğu değerlendirilmiştir. Bu anlamda, orijinal artıklardan kazanım oranlarını arttırmak üzere, -3,35+1,19 mm boyut aralığında flotasyon uygulamasının da dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

4.4.1.5 Sıcaklığın Etkisinin İncelenmesi

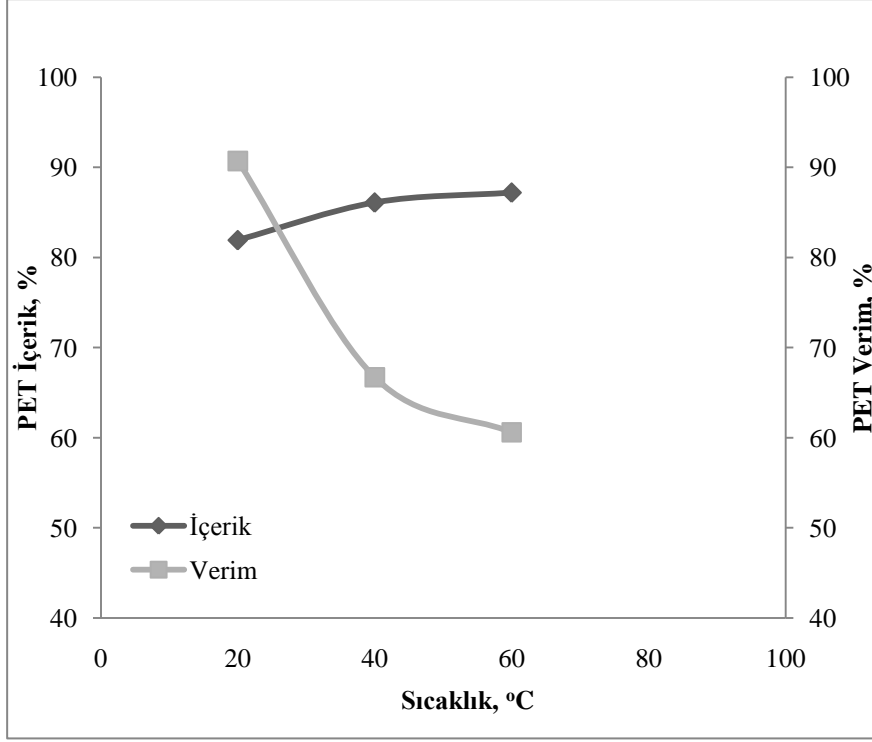
Literatür incelendiğinde, bazı örneklerde pülp sıcaklığının değiştirilmesinin PET-PVC flotasyonunu olumlu yönde etkilediğine dair bilgiler görülmektedir. Bu nedenle bu bölümde Sıcaklık değişiminin PET-PVC flotasyonuna etkisi incelenmiştir. Çizelge 4.10’da verilen sabit koşullarda 3 farklı sıcaklıkta deneyler yapılmış, sonuçlar çizelge 4.11’de verilmektedir. Sıcaklık değişimine bağlı olarak PET ve PVC içerik ve kazanma verimlerine ilişkin değerlendirmeler ise Şekil 4.19 ve 4.20’de verilmektedir.

Çizelge 4.10 : Sıcaklık Etkisi Deney Parametreleri

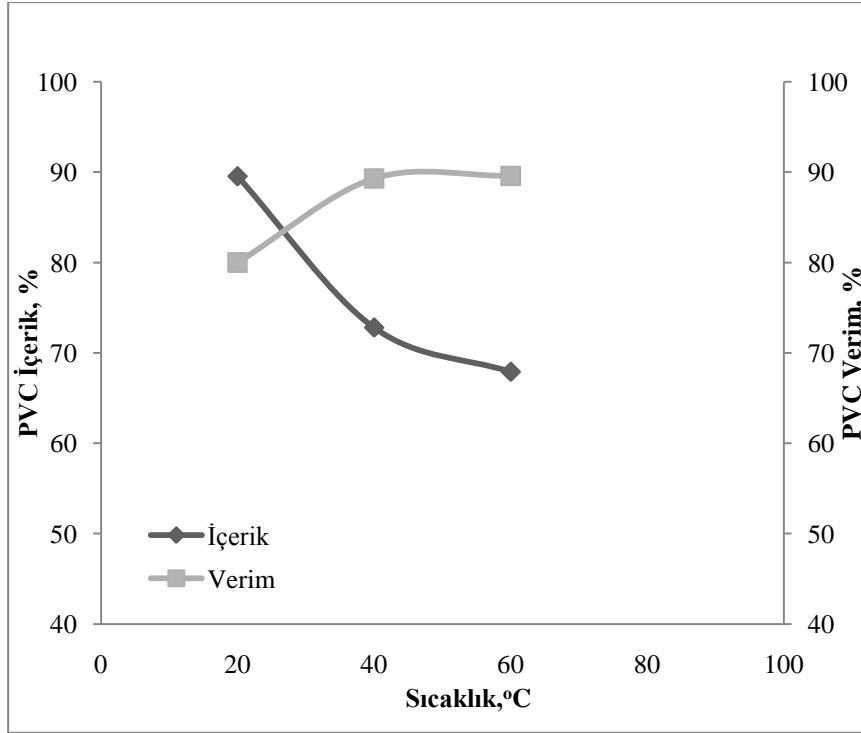
Hava Miktarı (cm/sn)	Lignin Alkali Konsantrasyonu	pH
2	25 g/t	8
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi
1000 g/t	1 dak	3 dak

Çizelge 4.11 : PET ve PVC Flotasyonuna Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık, °C	Ürünler	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
20	Yüzen	55,3	81,93	18,07	90,7	20,0
	Batan	44,7	10,45	89,55	9,3	80,0
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
40	Yüzen	38,7	86,10	13,90	66,7	10,7
	Batan	61,3	27,20	72,80	33,3	89,3
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
60	Yüzen	37,7	87,20	12,80	60,6	10,4
	Batan	62,3	32,10	67,90	39,4	89,6
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0



Şekil 4.19 : Sıcaklığın Yüzen Malzemedeki PET İçerik ve Verimine Etkisi



Şekil 4.20 : Sıcaklığın Batan Malzemedeki PVC İçerik ve Verimine Etkisi

Bu grupta yapılan deney sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklığın artırılmasının, kullandığımız PET ve PVC cinsi üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

4.4.2 Pilot Ölçekli Kolon Flotasyonu Deneyleri

PET ve PVC plastik atık türlerinin ayırma yönelik yapılan laboratuvar ölçekli çalışmaların ışığında, pilot ölçekte kolon flotasyonu ünitesi kullanılarak, flotasyon parametrelerinin optimizasyonu hedeflenmiştir. Bu amaçla, 13x13 cm kare kesitli ve her bir ünitesi 31 cm yüksekliğinde, ünitelerin birbirine bağlanması ile kolon yüksekliğinin artırılabilirdiği, hava basıncının ve yıkama suyu ayarlarının otomatik kumanda ile yapılabildiği pilot ölçekli kolon flotasyonu ünitesi kullanılmıştır.

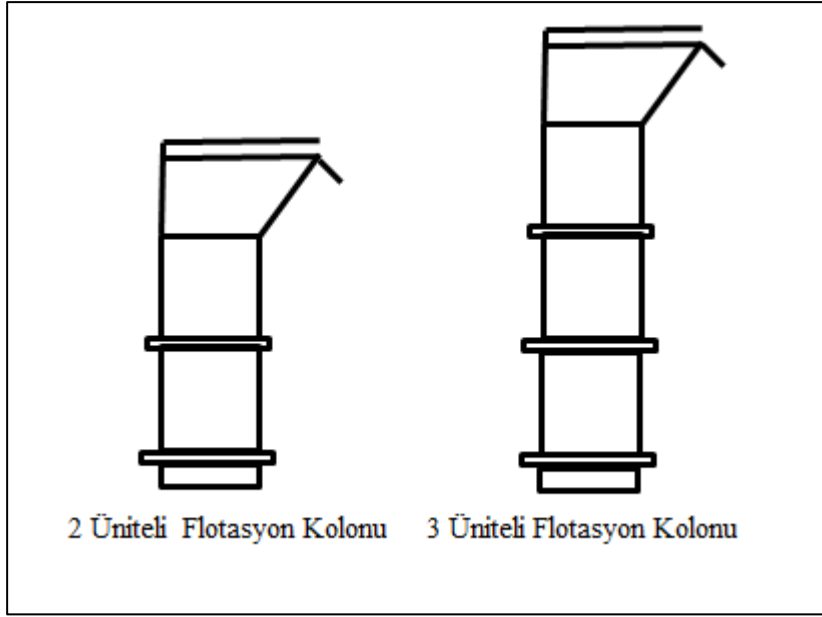
4.4.2.1 Kolon Yüksekliğinin İncelenmesi

Plastiklerin Kolon flotasyonu ile klasik minerallerin kolon flotasyonu uygulamalarında önemli farklılıklar görülmektedir. Plastiklerin kolon flotasyonu uygulamasında tane boyutları, minerallerin flotasyon uygulamalarına göre daha iri boyutlarda gerçekleştirilmektedir. Diğer yandan, yüzebilen tanelerin hava kabarcıkları ile köpük zonuna taşınma özellikleri de gerek tane boyutu gerekse kolon yüksekliği ile önemli ölçülerde etkileşmektedir. Bu bilgiler ışığında, kolon yüksekliği değişiminin plastik flotasyonuna etkisini görebilmek için pilot ölçekli 2 üniteli ve 3 üniteli kolonlar kullanılarak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.12 : Kolon Yüksekliğinin İncelenmesi Deney Parametreleri

Hava Hızı	Lignin Alkali Konsantrasyonu	pH	Tane Boyutu (mm)	Hava Basıncı
2,6 cm/sn	25 g/t	8	-3,35+2,0	2,5 Bar
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi	PKO	
4500 g/t	2 dak	15 dak	%28,5	

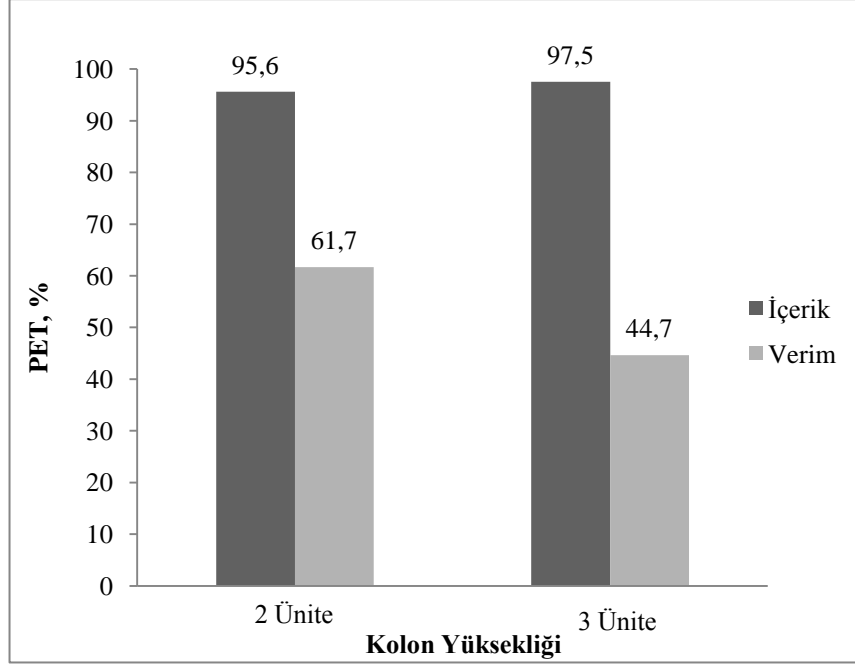
Şekil 4.21’de verilen 2 üniteli flotasyon kolonu 83 cm yükseklik ve 15 litre hacim, 3 üniteli kolon flotasyonu ise 114 cm yükseklik ve 20 litrelik bir hacme karşılık gelmektedir. Bu grupta, Çizelge 4.12’de verilen sabit koşullarda gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 4.13’te verilmektedir. Farklı kolon yüksekliklerinde PET-PVC içerik ve verimlerine ait bir değerlendirme ise Şekil 4.22 ve 4.23’te verilmiştir.



Şekil 4.21 : Kolon Yüksekliği Deneylerinde Kullanılan Flotasyon Kolonları

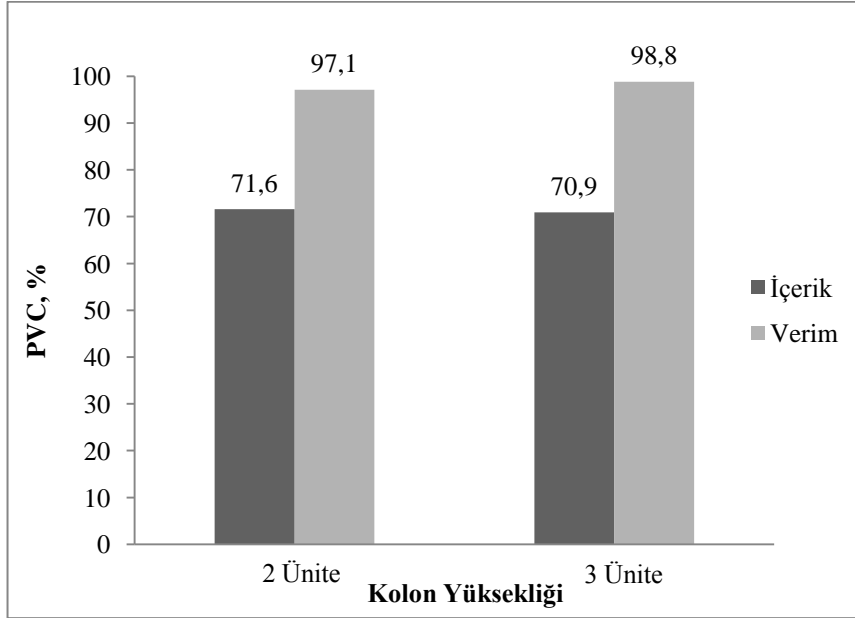
Çizelge 4.13 : PET ve PVC Flotasyonuna Kolon Yükseliği Etkisinin Sonuçları

	Malzeme	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
2 Ünite	Yüzen	32,3	95,60	4,40	61,7	2,9
	Batan	67,7	28,40	71,60	38,3	97,1
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
3 Ünite	Yüzen	23,8	97,50	2,50	44,7	1,2
	Batan	76,2	29,10	70,90	55,3	98,8
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0



Şekil 4.22 : Kolon Yüksekliğinin Yüzendeki PET İçerik ve Verimine Etkisi

Sonuçlar değerlendirildiğinde, pilot ölçekli kolon ünitesi yüksekliğinin artırılması sonucu, %97,5 PET ve %2,5 PVC içerikli temiz bir ürünün elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 4.23 : Kolon Yüksekliğinin Batandaki PVC İçerik ve Verimine Etkisi

2 ünite ebatında kolon kullanılması halinde ise, %95,6 PET içerikli bir ürün % 61,7 kazanma verimi ile elde edilebilmekte ancak bu ürünün PVC içeriğinin 3 üniteli

kolon uygulamasına göre bir miktar yüksek olduğu görülmektedir. Bu değerlendirmelerin ışığında, PET verimi değeri dikkate alınarak daha sonraki deneylerde 2 üniteli kolon uygulaması temel alınmıştır.

4.4.2.2 Hava Basıncının İncelenmesi

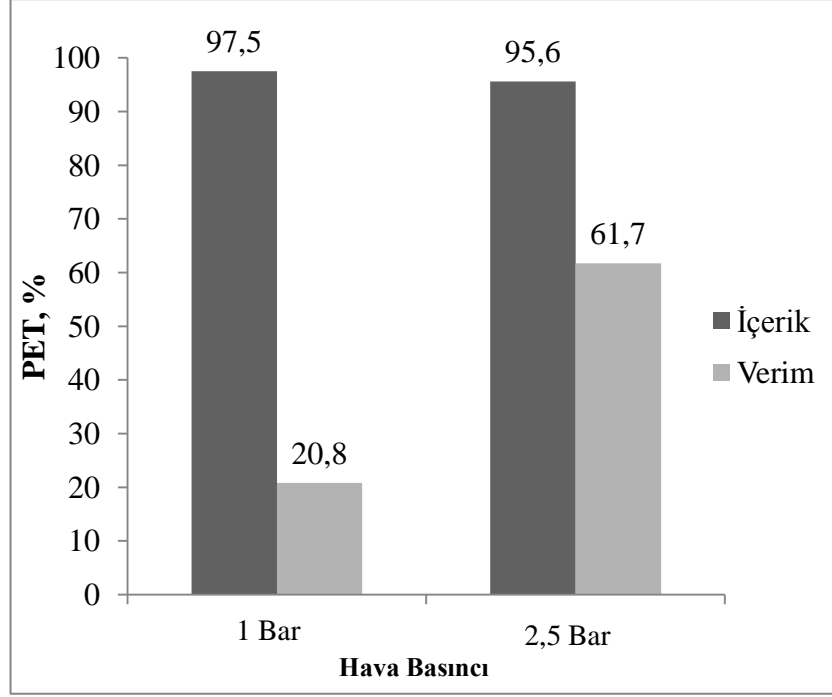
Kolonda kabarcık düzeninin ayarlanmasında ve kolon içinde aşırı türbülansın önlenmesinde, hava miktarından çok hava basıncının etkili olduğu görüldüğü için hava basıncının optimize edilmesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu grupta, Çizelge 4.14'te verilen sabit koşullarda 2 farklı hava basıncında deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu grupta yapılan deneylere ait sonuçlar, Çizelge 4.15'te elde edilen sonuçlara göre PET ve PVC içerik ve verimlerinin değişimine ilişkin bir değerlendirme ise Şekil 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.14 : Hava Basıncının Etkisi Deney Parametreleri

Hava Hızı	Lignin Alkali Konsantrasyonu	pH	Tane Boyutu (mm)	Kolon Yüksekliği
2,6 cm/sn	25 g/t	8	-3,35+2,0	2 ünite
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi	PKO	
4500 g/t	2 dak	15 dak	%28,5	

Çizelge 4.15 : PET ve PVC Flotasyonuna Hava Basıncı Etkisinin Sonuçları

Hava Basıncı	Malzeme	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
1 Bar	Yüzen	10,8	97,50	2,50	20,8	0,6
	Batan	89,2	44,19	55,81	79,2	99,4
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
2,5 Bar	Yüzen	32,3	95,60	4,40	61,7	2,9
	Batan	67,7	28,40	71,60	38,3	97,1
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0



Şekil 4.24 : Hava Basıncının PET İçerik ve Verimine Etkisi

Sonuçlar incelendiğinde, hava basıncının artırılması halinde %95,60 PET ve %4,40 PVC içerikli bir ürünün % 61,7 PET kazanma verimi ile elde edilebileceği görülmüştür. Benzer şekilde, pilot ölçekli kolonda, hava basıncının düşürülmesi halinde ise flotasyon koşullarının bozulduğu anlaşılmaktadır.

4.4.2.3 pH Etkisinin İncelenmesi

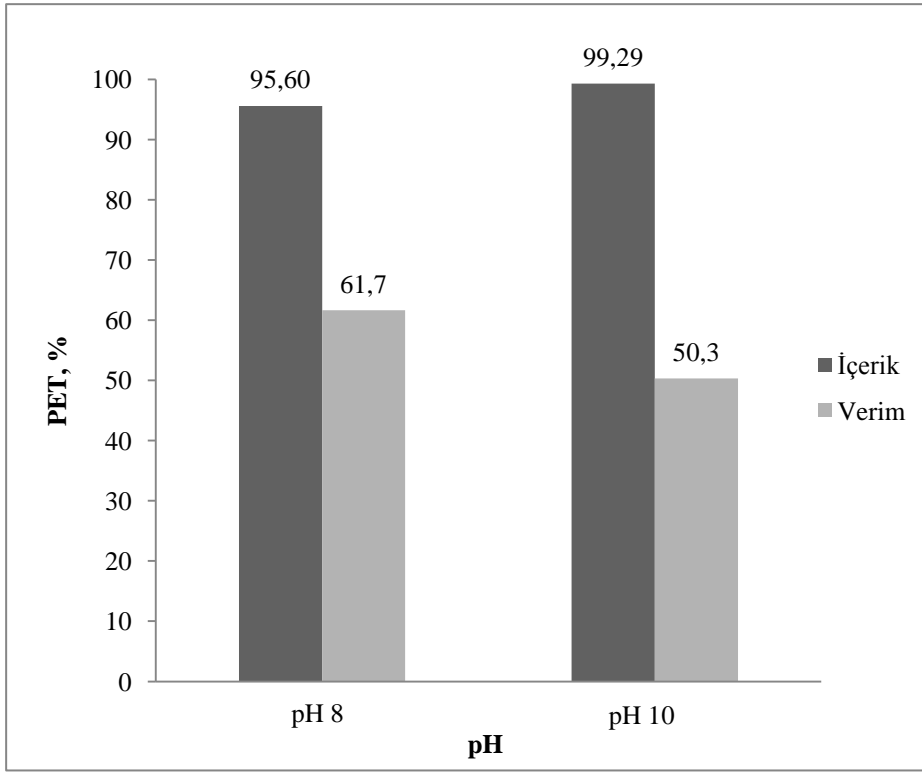
Laboratuvar ölçekli kolon flotasyonu ile pH değişiminin incelendiği deneylerde, pH 8 ve pH 10'da birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiş idi. Bu noktadan hareketle, Çizelge 4.16'da verilen sabit koşullarda, iki farklı pH değerinde pilot ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.17'de verilmiştir. Ortam pH'sının değişimi ile PET ve PVC içerik ve verimlerinin değişimlerine ilişkin bir değerlendirme ise Şekil 4.25 ve 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.16 : pH Etkisinin İncelenmesi Deney Parametreleri

Hava Hızı	Lignin Alkali Konsantrasyonu	Hava Basıncı	Tane Boyutu (mm)	Kolon Yüksekliği
2,6 cm/sn	25 g/t	2,5 Bar	-3,35+2,0	2 ünite
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi	PKO	
5000 g/t	2 dak	15 dak	%28,5	

Çizelge 4.17 : PET ve PVC Flotasyonuna pH Miktarı Etkisinin Sonuçları

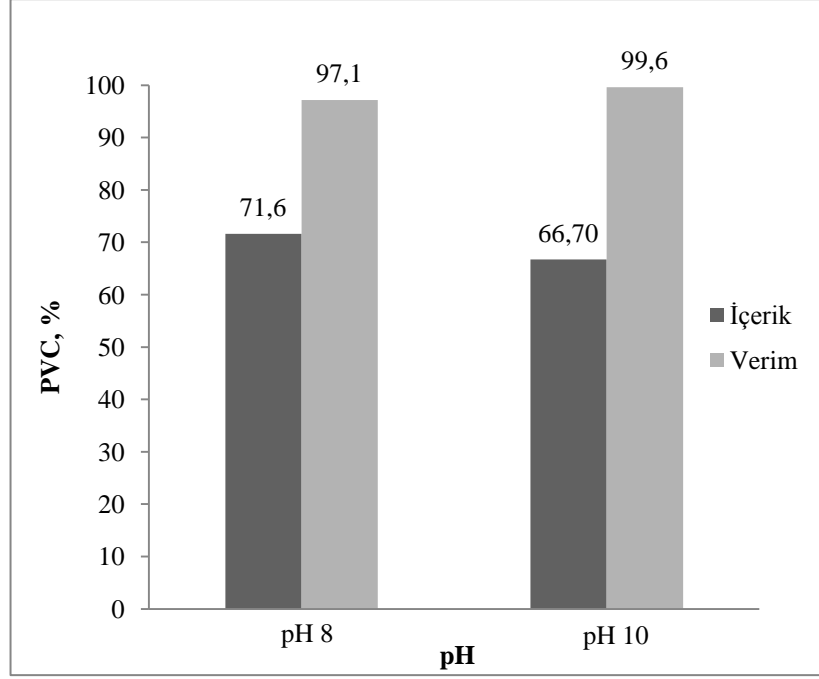
	Malzeme	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
pH 8	Yüzen	32,3	95,60	4,40	61,7	2,9
	Batan	67,7	28,40	71,60	38,3	97,1
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
pH 10	Yüzen	25,4	99,29	0,71	50,3	0,4
	Batan	74,6	33,30	66,70	49,7	99,6
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0



Şekil 4.25 : pH'nın Yüzen Malzemedeki PET İçerik ve Verimine Etkisi

Şekil 4.25'te görüldüğü gibi, pH'nın 8'den 10'a yükseltilmesi ile yüzen malzemedeki PET içeriği %95,6'dan %99,29'a çıkmış, PET verimi ise %61,7'den %50,3'e düşmüştür.

Batan malzemedeki ise PVC içeriği %71,6'dan %66,70'e düşmesine karşın, PVC verimi %97,1'den %99,6'ya yükselmiştir.



Şekil 4.26 : pH'nın Batan Malzemedeki PVC İçerik ve Verimine Etkisi

4.4.2.4 Pülpte Katı Oranı Değişiminin İncelenmesi

Pilot ölçekli kolon flotasyonu deneylerinde, özellikle PET ve PVC'nin seçimli olarak ayrılmasında, uygulanan tane boyutuna bağlı olarak iri tanelerin kolonda sıkışmadan ve aralarındaki çarpışma nedeni ile ağır olan PVC tanelerinin daha hafif olan PET tanelerini negatif yönde etkileyebildiği izlenmiştir. Bu nedenle, pülpte katı oranının azaltılmasına bağlı olarak flotasyon verimlerinin önemli ölçüde iyileştirilebileceği değerlendirilmesi ile daha düşük pülpte katı oranlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu grupta, Çizelge 4.18'de verilen koşullarda farklı pülpte katı oranlarında yapılan deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.19'da verilmiştir.

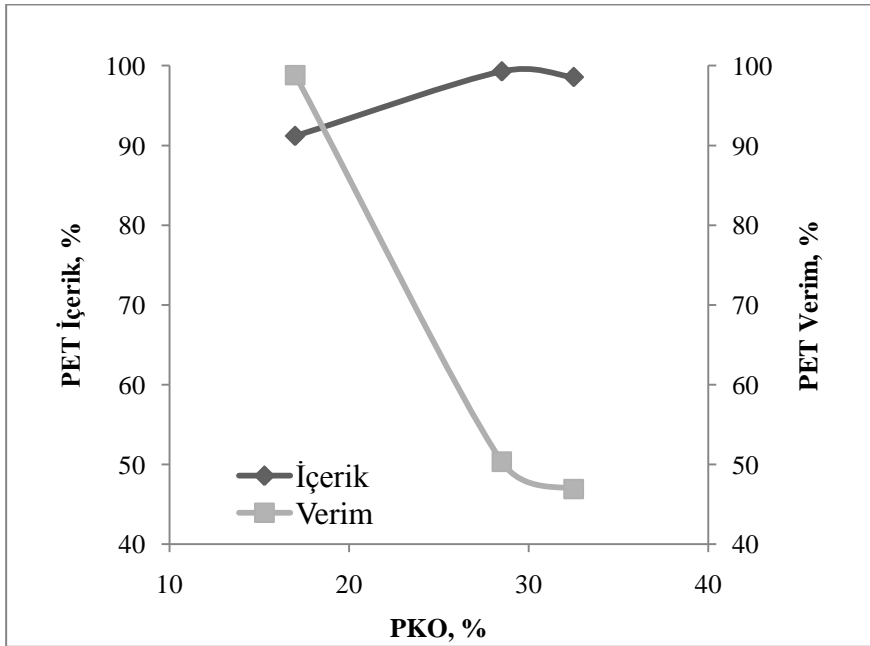
Çizelge 4.18 : Pülpte Katı Oranı Değişiminin İncelenmesi Deney Parametreleri

Hava Hızı	Lignin Alkali Konsantrasyonu	Hava Basıncı	Tane Boyutu (mm)	pH
2,6 cm/sn	25 g/t	2,5 Bar	-3,35+2,0	10
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi	Kolon Yüksekliği	
5000 g/t	2 dak	15 dak	2 ünite	

Çizelge 4.19 : PET ve PVC Flotasyonuna Pülpte Katı Oranı Etkisi

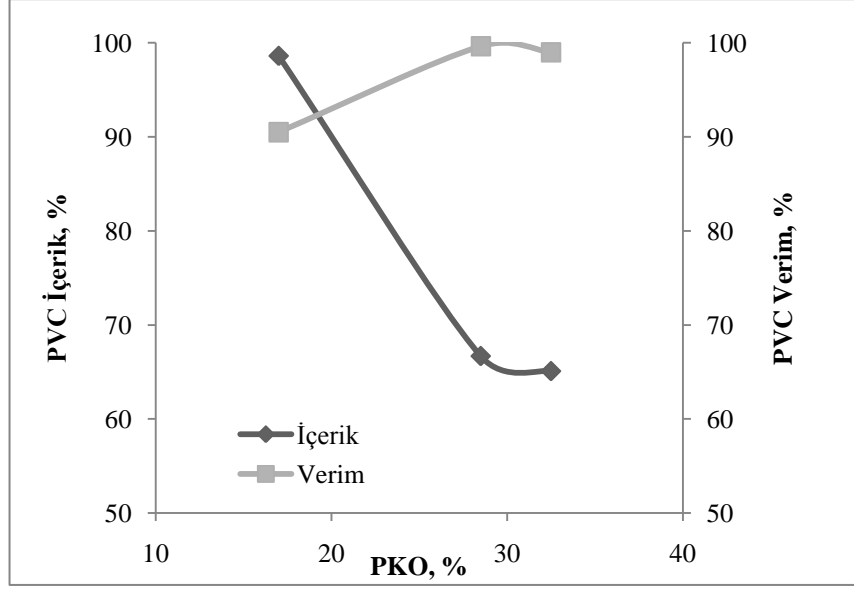
PKO, %	Malzeme	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
17	Yüzen	54,3	91,20	8,80	98,8	9,5
	Batan	45,7	1,40	98,60	1,2	90,5
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
28,5	Yüzen	25,4	99,29	0,71	50,3	0,4
	Batan	74,6	33,30	66,70	49,7	99,6
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
32,5	Yüzen	23,9	98,58	1,42	46,9	1,0
	Batan	76,1	34,90	65,10	53,1	99,0
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0

Pülpte katı oranı değişiminin PET-PVC içerik ve verimleri üzerine etkisinin bir değerlendirmesi Şekil 4.27 ve 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.27 : Pülpte Katı Oranının PET İçerik ve Verimine Etkisi

Şekil 4.27’e bakıldığında, pülpte katı oranının artışının PET kazanma verimini negatif yönde etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.28 : Pülpte Katı Oranının PVC İçerik ve Verimine Etkisi

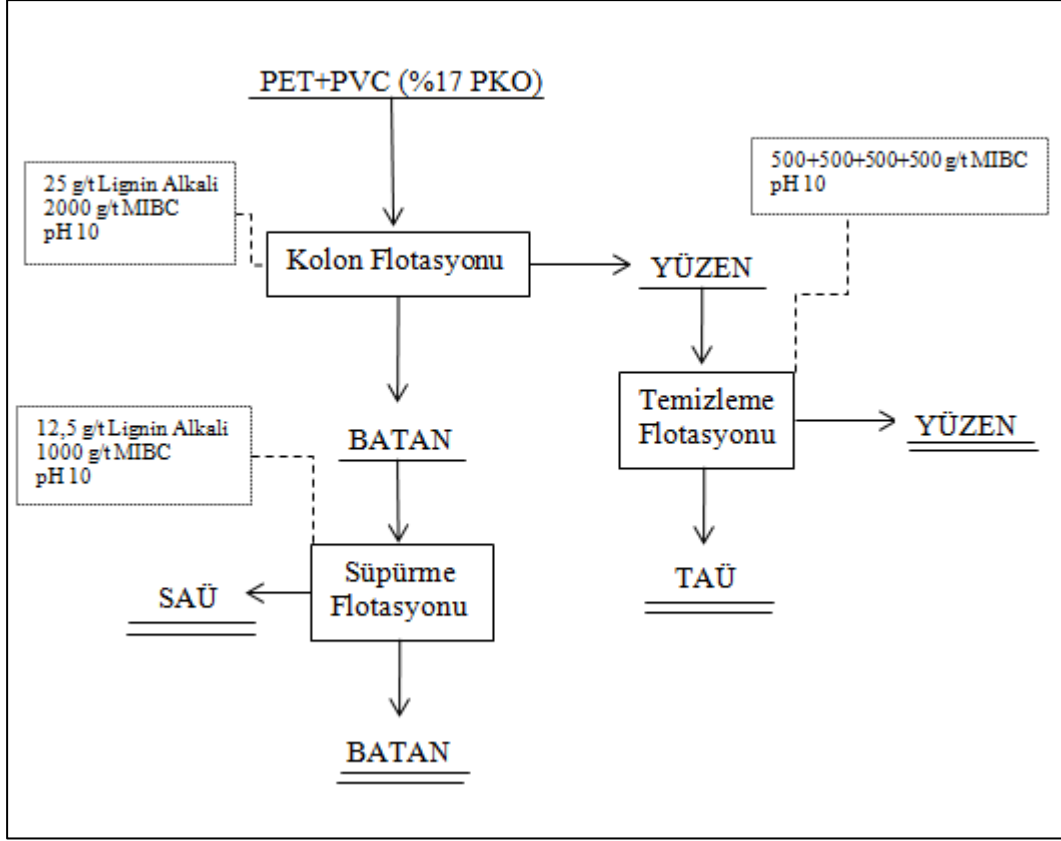
Grafikler incelendiğinde, pilot ölçekli pülpte katı oranının düşürülmesi halinde, yüzen malzemede PET kazanma veriminin ve aynı zamanda batan malzemede PVC içeriğinin de ciddi oranda arttığı görülmektedir.

4.4.2.5 Kolonda Flotasyon Kademelerinin İncelenmesi

Bir önceki bölümde, farklı pülpte katı oranlarında uygulanan flotasyon sonuçları değerlendirildiğinde, en uygun pülpte katı oranının %17 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu noktadan hareketle aynı koşullarda bir flotasyon daha gerçekleştirilerek, flotasyona temizleme ve sürüme kademelerinin ilave edilmesi ile elde edilecek PET-PVC ürünlerinin kalitesinin değişimi incelenmiştir. Çizelge 4.20’de verilmiş olan sabit koşullarda gerçekleştirilen flotasyon deneyi akım şeması şekil 4.29’da, deney sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.20 : Flotasyon Kademelerinin İncelenmesi Deney Parametreleri

Hava Hızı	Lignin Alkali Konsantrasyonu	Hava Basıncı	Tane Boyutu (mm)	pH
2,6 cm/sn	32,5 g/t	2,5 Bar	-3,35+2,0	10
MIBC	Kıvam Süresi	Köpük Alma Süresi	Kolon Yüksekliği	PKO %
5000 g/t	2 dak	15 dak	2 ünite	17



Şekil 4.29 : %17 PKO’da Kademeli Flotasyon Deneyi Akım Şeması

Şekil 4.29’da görüldüğü gibi, yüzen malzemeye temizleme, batan malzemeye ise süpürme flotasyonu uygulanarak süpürme ara ürünü (SAÜ) ve temizleme ara ürünü (TAÜ) ile birlikte nihai yüzen ürün ve batan ürün elde edilmiştir.

Çizelge 4.21 : Temizleme ve Süpürme Flotasyonlarının Deney Sonuçlarına Etkisi

	Malzeme	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
%17 PKO	Yüzen	48,4	95,60	4,40	92,3	4,3
	TAÜ	5,9	55,00	45,00	6,5	5,2
	SAÜ	0,6	62,20	37,80	0,7	0,4
	Batan	45,1	0,60	99,40	0,5	90,1
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0

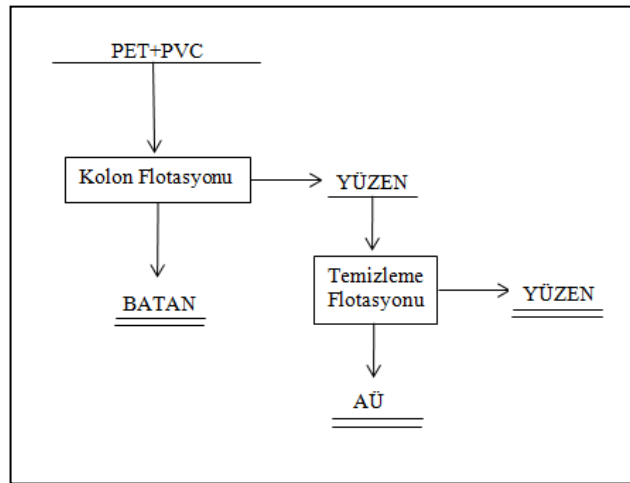
Çizelge 4.21’de görüldüğü gibi, yapılan temizleme ve süpürme flotasyonları sonrasında yüzen üründeki PET, %95,6 içerik ve %92,3 kazanma verimi ile elde edilmiş olup, batan üründe ise %99,4 saflıkta ve %90,1 kazanma verimi ile PVC elde edilmiştir.

4.4.2.6 Tane Boyutunun İncelendiği Deneyler

Plastiklerden flotasyon yöntemi ile geri kazanım uygulamalarında, gerek literatür ve gerekse tez çalışmalarında en uygun boyut grubunun $-3,35+2,0$ mm olduğu belirtilmektedir. Bu bölümde, gerek plastik malzemenin besleme boyutundaki farklılığın flotasyon sonuçlarına etkisini araştırmak ve gerekse daha geniş boyut aralığında flotasyon uygulaması ile kazanım verimlerini yükseltmek amacıyla $-3,35+2,0$ mm, $-3,35+1,19$ mm ve $-2,0+1,19$ mm tane boyutunda flotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu grup deneylerde, tane boyutu değişimine bağlı olarak kullanılan flotasyon reaktiflerinin miktarında kısmi değişiklikler söz konusu olmuştur. Bu durum da dikkate alınarak, Çizelge 4.22’de verilen flotasyon koşullarında gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.23’te, genel akım şeması Şekil 4.30’da, elde edilen nihai ürünlerin içerik ve verimlerine ilişkin bir değerlendirme ise Şekil 4.31 ve 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.22 : Tane Boyutunun İncelenmesi Deney Parametreleri

	$-3,35+2,0$ mm	$-3,35+1,19$ mm	$-2,0+1,19$ mm
Kolon Yüksekliği	2 Ünite	2 Ünite	2 Ünite
Ph	10	10	10
PKO, %	17	17	17
Hava Hızı	2,6 cm/sn	2,6 cm/sn	2,6 cm/sn
Hava Basıncı	2,5 Bar	2,5 Bar	2,5 Bar
Lignin Alkali, g/t	37,5	37,5	100
MIBC, g/t	5000	5500	6000
Kıvam Süresi	2 dak	2 dak	2 dak
Köpük Alma	15 dak	15 dak	15 dak

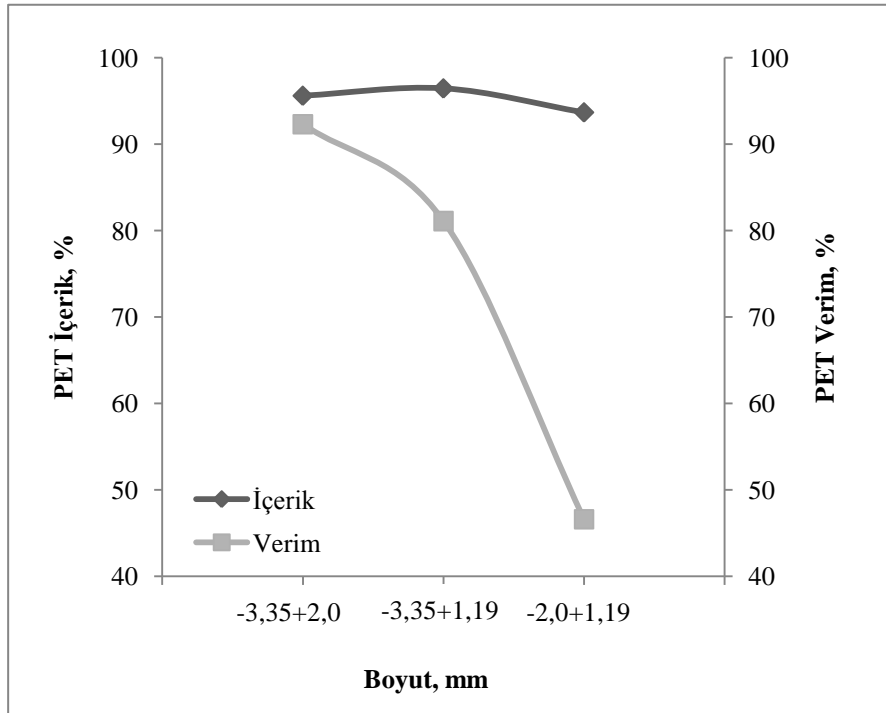


Şekil 4.30 : Tane Boyutu Deneyleri Akım Şeması

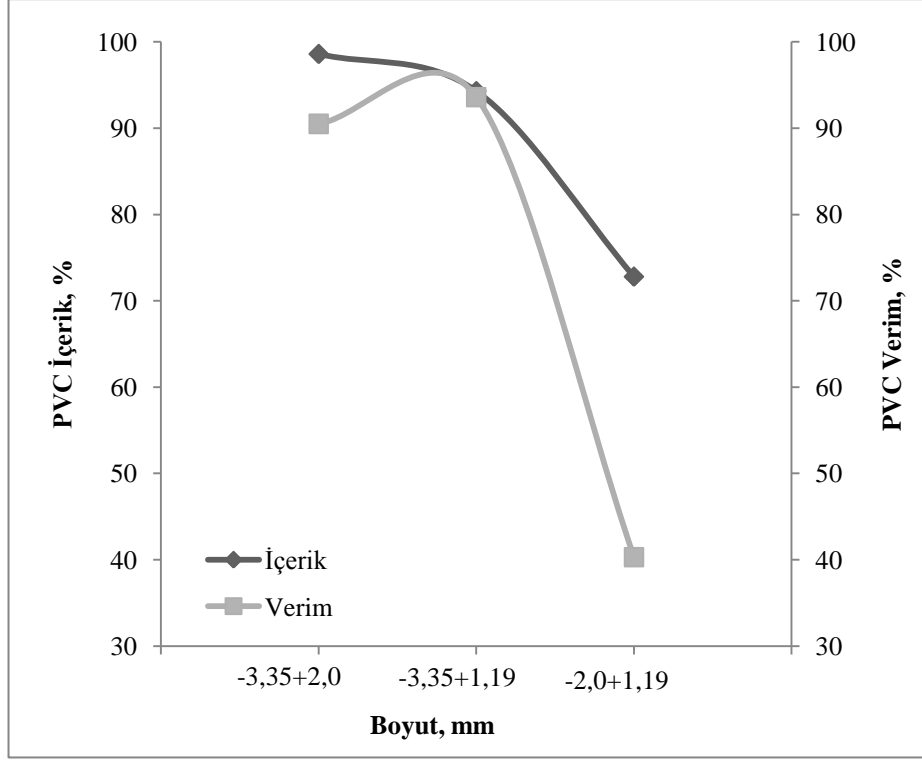
Çizelge 4.23 : PET ve PVC Flotasyonuna Tane Boyutu Etkisi

Boyut, mm	Malzeme	Miktar, %	İçerik, %		Verim, %	
			PET	PVC	PET	PVC
-3,35+2,0	Yüzen	48,4	95,60	4,40	92,3	4,3
	AÜ	5,9	55,00	45,00	6,5	5,2
	Batan	45,7	1,40	98,60	1,2	90,5
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
-3,35+1,19	Yüzen	42,1	96,45	3,55	81,1	3,0
	AÜ	8,3	79,44	20,56	13,3	3,4
	Batan	49,6	5,71	94,29	5,6	93,6
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0
-2,0+1,19	Yüzen	24,4	93,67	6,33	46,6	3,1
	AÜ	47,4	39,12	60,88	37,8	56,6
	Batan	28,2	27,22	72,78	15,6	40,3
	Toplam	100,0	50,00	50,00	100,0	100,0

Tane boyutunun incelendiği deneylerde, yüzen malzemeye temizleme flotasyonu yapılarak daha temiz yüzen ürün eldesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.31 : Tane Boyutunun PET İçerik ve Verimine Etkisi



Şekil 4.32 : Tane Boyutunun PVC İçerik ve Verimine Etkisi

Grafikler değerlendirildiğinde, gerek PET ve gerekse PVC açısından en uygun tane boyutunun, -3,35+2,0 mm olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında, içme suyu şişesi olarak kullanılan PET ve pencere profili olarak kullanılan PVC atıklarının seçimli olarak ayrılmasına yönelik, laboratuvar ve pilot ölçekli kolon flotasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ölçekte elde edilen sonuçların ışığında, pilot ölçekli bir kolon üzerinde flotasyon parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiş, PET ve PVC'nin birbirinden ayrılmasına yönelik optimum flotasyon koşulları ortaya konulmuştur. Bu bölümde, PET ve PVC'ye ait numune tanımlama analizleri, laboratuvar ve pilot ölçekte gerçekleştirilen kolon flotasyonu sonuçları alt başlıklar halinde verilmektedir.

- 1- PET ve PVC'nin özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalara göre,
 - Zeta potansiyel ölçüm sonuçlarına göre eş elektrik yük noktası (İ.E.P.) olarak, PET için pH 4,8, PVC için pH 3,7 değerleri bulunmuştur.
 - Tamamı 6 mm altına kırılan PET ve PVC numunelerine ait d_{80} boyutları sırasıyla 4,7 mm ve 4,2 mm, d_{50} boyutları ise 3,35 mm ve 2,8mm olarak bulunmuştur.
 - Kolon flotasyonu ile zenginleştirme çalışmaları kapsamında, PET ve PVC numunelerinin laboratuvarda mevcut kırma ünitesinde kırılması halinde, -3,35+2,0 mm boyut grubu esas alındığında malzemelerin sırasıyla; %30,7 ve %63,3'ü, -3,35+1,19 mm boyut grubu esas alındığında ise sırasıyla %44,4 ve %73,6'sı kolon flotasyonu ile zenginleştirme çalışmalarında kullanılmaktadır.
- 2- Laboratuvar ölçekli kolon flotasyonu deneylerinden elde edilen sonuçlara göre,
 - Plastikleştirici reaktif olarak, farklı konsantrasyonlarda Lignin Alkali kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, optimum Lignin Alkali konsantrasyonu olarak 25 g/t değeri saptanmıştır. Bu flotasyon sırasında, optimum köpüştürücü reaktif miktarı ise 1000 g/t MIBC olarak bulunmuştur.
 - Literatür bilgileri ve daha önceden yapılan tez çalışmaları kapsamında elde edilen verilerin ışığında, PET-PVC flotasyon pH'sının malzeme cinsine bağlı

olarak 6 ile 10 arasında değişebildiği görülmektedir. Bu tez kapsamında seçilmiş olan PET ve PVC'nin seçimli olarak birbirinden ayrılmasında, optimum pH değerinin 8-10 aralığında olduğu belirlenmiştir.

- Laboratuvar ölçekli kolon flotasyonunda, farklı hava miktarlarında deneyler yapılmıştır. Bu grupta elde edilen sonuçlara göre 2 cm/sn hava miktarı en uygun değer olarak belirlenmiştir.
 - Literatür verileri ve bu konuda yapılan tez çalışmaları kapsamında, PET-PVC flotasyonunda en uygun boyut aralığı -3,35+2,0 mm olarak belirtilmektedir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen flotasyon ile zenginleştirme çalışmalarında da aynı boyut grubunda en uygun sonuçların alındığı belirlenmiştir.
 - PET-PVC flotasyonunda, pülp sıcaklığın etkisinin incelendiği bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında kullanılan PET ve PVC'nin flotasyonla ayrılmasında en uygun pülp sıcaklığı 20°C olarak belirlenmiştir.
 - Laboratuvar ölçekte gerçekleştirilen flotasyon çalışmalarında optimum koşullarda, %81,9 içerikli PET ürününün %90,7 kazanma verimi ile; buna karşılık %80,0 içerikli bir PVC ürününün ise, %89,6 kazanma verimi ile elde edilebileceği belirlenmiştir.
- 3- Pilot ölçekli kolon flotasyonu deneylerinden elde edilen sonuçlara göre,
- Deneylerde, 15 ve 20 litre kapasiteli laboratuvar ölçekli kolon flotasyonu üniteleri kullanılmıştır. Laboratuvar ölçekte elde edilen flotasyon parametrelerine uygun olarak, -3,35+2,0 mm boyut grubu için optimum kolon boyutu 2 ünite (13x13 cm kesit alanı- 83 cm yükseklik) olarak belirlenmiştir.
 - Pilot ölçekte kullanılan kolon flotasyonu ünitesinde, hava basıncının değişimine ilişkin deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların sonunda, 2 üniteli kolon için 2,5 Bar hava basıncı optimum değer olarak bulunmuştur.
 - Laboratuvar ölçekli flotasyon çalışmalarında, optimum pH değeri 8-10 aralığında belirlenmiştir. Pilot ölçekli deneylerde, pH değişiminin etkisinin incelendiği bir seri deney yapılmıştır. Bu grupta elde edilen sonuçlara göre pH 10'da en uygun değerlerin elde edilebildiği belirlenmiştir.

- Gerek literatür bilgileri ve gerekse daha önceden gerçekleştirilen tez çalışmalarında, kolon flotasyonu pülpte katı oranı olarak %30 dolayında bir değer verilmektedir. Bu tez kapsamında, 3 farklı pülpte katı oranı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. PET-PVC ayırımında, gerek içerik ve gerekse flotasyon verimleri dikkate alındığında %17 dolayında pülpte katı oranının en uygun değerleri verdiği belirlenmiştir.
- Kolon flotasyonu uygulamasında, besleme boyutundaki değişimin etkisini araştırmak ve daha geniş bir boyut aralığında kazanma verimlerini arttırmak amacıyla, gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde en uygun boyut aralığı, laboratuvar ölçekli deneylerde de belirlendiği şekliyle -3,35+2,0 mm olarak bulunmuştur. Ancak, gerek PET ve gerekse PVC içeriklerinin bir miktar düşük tutulması halinde -3,35+1,19 mm boyut aralığının da flotasyon için uygulanabilir olduğunu göstermektedir.
- Pilot ölçekte kolon flotasyonu kullanılarak, sonuçların optimizasyonu ile en uygun flotasyon parametreleri ;
- Flotasyonu boyutu : -3,35+2,0 mm
- pH : 10
- Pülpte katı oranı : %17
- Hava basıncı : 2,5 Bar
- Hava miktarı : 2,6 cm/sn
- Lignin Alkali : 25 g/t
- MIBC : 5000 g/t
- Kıvam süresi : 2 dak
- Flotasyon süresi : 15 dak

Olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında, %95,6 PET içerikli bir ürünün %92,3 kazanma verimi ile, ayrıca %99,4 PVC içerikli bir ürünün ise %90,1 kazanma verimi ile elde edilebileceği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

Alp, S., 2003. İstanbul Ticaret Odası Plastik Sektör Raporu

Alter, H., 2005. “The recovery of plastics from waste with reference to froth flotation Resources”, *Conservation and Recycling*, Cilt.43, s.119-132.

Amelunxen R., L., 1985. The Mechanics of Operation of Column Flotation Machines, Proc. 17 th Meeting of the Canadian Mineral Processors, C.I.M., Ottawa, Jan. 1985, pp 13-31

Çilek, E., C., 1993. Düşük Tenörlü Kükürt Cevherlerinin Kolon Flotasyonu ile Kazanılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Devlet Planlama Teşkilatı, 2001. “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı”, Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT: 2547 ÖİK:563.

Devlet Planlama Teşkilatı, 2004. Türkiye Plastik Sektör Raporu

Dinger, P., 1992. “Automatic microsorting for mixed plastics”, *BioCycle*, Cilt. 33(4), s.79–80.

Drelich, J., Payne, T., Kim, J. H., Miller, J. D., 1998. “Selective froth flotation of PVC from PVC/PET mixtures for the plastics recycling industry”, *Polymer Engineering and Science*, Cilt. 38(9) s.1378–1386.

Drelich, J., Kim, J. H., Payne, T., Miller, J. D., Kobler, R. W., 1999. “Purification of polyethylene terephthalate from polyvinyl chloride by froth flotation for the plastics (soft-drink bottle) recycling industry”, *Separation and Purification Technology*, Cilt.15, s.9–17.

Eraslan, İ. H., Karataş, A., Kaya, H., 2007. “Türk Plastik Sektörünün Rekabetçilik Analizi”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt.11, s.203-219.

Finch, J., A. & Dobby, G., S., 1990. Column Flotation, Pergamon, Press, Newyork

Fraunholz, N., 2003. “Separation of waste plastics by froth flotation”, *Minerals Engineering*, Cilt.17, s.261–268.

- Gomez, C., O., Uribe- Salas, A., Finch, J., A. & Huls, B., J., 1990.** A Calibration Probe for Level Dedection Systems in Flotation Columns, CIM Bulletin Vol. 83, No:935, March
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z.,1997.** “Plastikler”, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü.
- Güney A., Atak S., 1993.** “Flotasyon ve Flokülasyon Cevher Hazırlama Teknolojisindeki Yeni Gelişmeler” Konulu Meslek İçi Eğitim Semineri İTÜ Maden Fakültesi İstanbul, 6-10 Mayıs 1991, pp 1-30
- Jameson, G., J., 1998.** A New Concept in Flotation Column Design, Column Flotation 88, Sastry, K., V., S., (ed.), SME
- Inchausti, R., A., Mckay, J., D. & Foot, D., G., 1988.** Column Flotation Parameters- Their Effects, Column Flotation 88, Sastry, K., V., S.,(ed.), SME
- Kıralp, S., Özkoç G., Erdoğan, S., Çamurlu, P., Doğan, M., Baydemir, T., 2007.** “Modern Çağın Malzemesi Plastikler”, ODTÜ Bilim ve Toplum Kitapları Dizisi ODTÜ Yayıncılık.
- Le Guern, C., Conil, P., Houot, R., 2000.** “Role of calcium ions in the mechanism of action of a lignosulphonate used to modify the wettability of plastics for their separation by flotation”, *Minerals Engineering*, Cilt.13 (1) s.53–63.
- Marques, G. A., Tenório, J. A. S., 2000.** “Use of froth flotation to separate PVC/PET mixtures”, *Waste Management*, Cilt.20, s.265269.
- Öteyaka, B., 1993.** Modelisation D'une Colonne De Flottation a Biaisi Negatif, III. Uluslar arası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildirileri, Eylül, İstanbul
- Öteyaka, B., & Soto, H., 1992.** Modelling of Negative Bias Column for Coarse Particles Flotation, 4. Uluslar arası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildirileri, Ekim, Antalya.
- Özdilek, C. 2009.** “PET ve PVC Artıklarının Kalsiyum Lignosülfonat ve Lignin Alkali Tipi Plastikleştirici Reaktifler Kullanılarak Seçimli Olarak Ayrılmasının Araştırılması”, İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Lisans Tezi.
- Paci, M., La Mantia, F. P., 1999.** “Influence of small amounts of polyvinylchloride on the recycling of polyethyleneterephthalate”, *Polymer Degradation and Stability*, Cilt.63, s.11–14.

- Park, H., Jehon, H., Park, J., 2006.** “PVC removal from mixed plastics by triboelectrostatic separation”, *Journal of Hazardous Materials*, Cilt.144, s.474-475.
- Pascoe, R. D., O’Connell, B., 2003.** “Flame treatment for the selective wetting and separation of PVC and PET”, *Waste Management*, Cilt.23, s.845–850.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., Akovalı, G., 2002.** “Ana hatları ile plastikler ve plastik Teknolojisi”, PAGEV yayınları.
- Sevencan, F., Vaizoğlu, S. A., 2007.** “Pet ve Geri Dönüşümü”, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, Cilt.6 (4), s.307–312.
- Shen, H., Forssberg, E., Pugh, R. J., 1998.** “A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics”, *Resources, Conservation and Recycling*, Cilt.25, s.85–109.
- Shen, H., Forssberg E., Pugh R. J., 2001.** “Selective flotation separation of plastics by particle control”, *Resources, Conservation and Recycling* Cilt.33, s.37–50.
- Shen, H., Pugh, R. J., Forssberg, E., 2002.** “Floatability, selectivity and flotation separation of plastics by using a surfactant”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Cilt.196, s.63–70.
- Shen, H., Forssberg, E., Pugh, R. J., 2002.** “Selective flotation separation of plastics by chemical conditioning with methyl cellulose”, *Resources, Conservation and Recycling*, Cilt.35 s.229-241.
- Singh, B. P., 1998.** “Wetting mechanism in the flotation separation of plastics”, *Filtration & Separation*, s.525–527.
- Takoungsakdakun, T., Pongstabodee, S., 2006.** “Separation of mixed post consumer PET–POM–PVC plastic waste using selective flotation”, *Separation and Purification Technology*, Cilt.54, s.248–252.
- Url-1** <<http://www.biastra.com>>, alındığı tarih 5.10.2009.
- Url-2** <<http://www.chemicaland21.com>>, alındığı tarih 12.11.2009.
- Url-3** <<http://www.icis.com>>, alındığı tarih 07.01.2010.
- Url-4** <<http://www.kimyamuhendisi.com>>, alındığı tarih 09.01.2010.
- Url-5** <<http://www.lme.com>>, alındığı tarih 09.01.2010.
- Url-6** <<http://www.pagev.org.tr>>, alındığı tarih 27.10.2009.
- Url-7** <<http://www.plasticeurope.org>>, alındığı tarih 08.11.2009.
- Url-8** <<http://www.sigmaaldrich.com>>, alındığı tarih 11.11.2009.

Url-9 <<http://www.tspmakina.com>>, alındığı tarih 09.01.20010.

Url-10 <<http://www.tubitak.gov.tr>>, alındığı tarih 10.01.20010.

Url-11 <<http://www.wikipedia.org>>, alındığı tarih 27.10.2009.

Yarman, Ş., M., 2007. “PETKİM Petrokimya Holding A.Ş.”, International POPs Elimination Project – IPEP

Yenial, Ü. 2007. “ PET ve PVC artıklarının kolon flotasyonu ile ayrılmasında değişik plastikleştirici reaktiflerin etkisinin incelenmesi ”, İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Lisans Tezi.

Yianatos, G., H., Espinoza- Gomez, R.; Finch, J., A., Laplante, A., R. & Dobby, G., S., 1988. Effect of Column Height on Flotation Column Performance, Minerals and Metallurgical Processing, February

Yianatos, G., H., Laplante, A., R., Finch, J., A., 1985. Estimation of Local Holdup in the Bubbling and Froth Zones of a Gas-Liquid Column, Chemical Engi. Science, Vol. 40, No: 10

Yuan X., M., Palsson B., L., & Forsberg K.S.E., 1996. Flotation of a Complex Sulphide Ore, II. Int. Mineral Processing (46) 3-4, pp 429-442

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Mert KILIÇ

Doğum Yeri ve Tarihi : Bandırma- 10.05.1985

Adres : İzmir Caddesi Akarsu Evleri 194-A
Güzelyalı/Çanakkale

Lisans Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi

Yaptığı Stajlar : Kalemaden A.Ş. (Açık İşletme)
Çanakkale Madencilik LTD. ŞTİ. (Yeraltı Stajı)

Çalıştığı Kurumlar : Troia Madencilik
Kaleseramik San. A.Ş.