

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AEROBİK OLARAK STABİLİZE EDİLMİŞ KATI
ATIKLAR İLE KOMPOST ÜRÜNÜNÜN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Çevre Mühendisi Gamze VARANK

**FBE Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet DEMİR

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
1. GİRİŞ	1
2. KATI ATIKLAR	3
2.1 Katı Atıkların Sınıflandırılması	3
2.2 Katı Atık Dönüşüm Prosesleri	8
2.2.1 Fiziksel Dönüşümler	9
2.2.2 Kimyasal Dönüşümler	9
2.2.3 Biyolojik Dönüşümler	10
2.3 Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Teknolojileri	11
2.3.1 Kaynakta Azaltma ve Geri Kazanma	15
2.3.2 Kompostlaştırma	16
2.3.3 Düzenli Depolama	17
2.3.4 Yakma	18
3. KOMPOSTLAŞTIRMA	20
3.1 Kompostlaştırma Yöntemleri	23
3.1.1 Pasif Kompost Yığınları	23
3.1.2 Windrow	23
3.1.3 Havalandırmalı Statik Yığınlar	24
3.1.4 In-Vessel Sistemleri	24
3.2 Kompostlaştırmaya Etki Eden Faktörler	25
3.2.1 pH	25
3.2.2 Sıcaklık	25
3.2.3 Karbon/Azot Oranı (C/N)	26
3.2.4 Su Muhtevası	27
3.2.5 Havalandırma ve Karıştırma	28
3.2.6 Mikroorganizmalar	28
3.3 Kompost Stabilitesi ve Olgunluğu	29
3.4 Kompostun Kullanım Alanları ve Faydaları	33
3.4.1 Kullanım Alanları	33
3.4.2 Kompostun Faydaları	33
3.5 Kompost Kalitesi	34
3.5.1 Kompostlaştırma Prosesi İçin Kullanılan Hammaddeler	34
3.5.2 Türkiye’de Kompost Kalite Kriterleri	36
3.6 İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompost Tesisi	40
3.6.1 Tesise Ait Birimler	40

4.	DÜZENLİ DEPOLAMA.....	46
4.1	Düzenli Depo Sahalarının Tasarımı ve İşletilmesi	47
4.2	Saha Seçimi	48
4.3	Sızıntı Suyu Drenajı ve Toplanması.....	50
4.4	Düzenli Depo Sahalarının İşletilmesi	50
4.5	Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Anaerobik Ayrışması	51
4.5.1	Anaerobik Ayrışmayı Etkileyen Faktörler.....	55
4.6	Aerobik Depolama.....	61
4.6.1	Aerobik Ayrışmaya Etki Eden Faktörler	65
4.7	Sızıntı Suyu Oluşumu ve Özellikleri	70
4.8	Depo Gazı Oluşumu	73
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	77
5.1	Aerobik Depolama Reaktörleri.....	77
5.1.1	Reaktörlere Depolanan Atıkların Miktar ve Bileşenleri	78
5.2	Kompostta Yapılan Analizler	80
5.2.1	Rottegrad Deneyi	80
5.2.2	Fitotoksisite: Bitkiye Uygunluk Testi.....	81
5.2.3	Su Muhtevası Deneyi.....	81
5.2.4	pH Tayini	82
5.2.5	Organik Madde Muhtevası	82
5.2.6	Toplam Kjeldahl Azotu Tayini (TKN).....	82
5.2.7	Toplam Fosfor Tayini (TP).....	83
5.2.8	Hijyen (Salmonella Tayini)	83
5.2.9	Ağır Metal.....	84
6.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	85
6.1	pH	85
6.2	Su Muhtevası	86
6.3	Organik Madde Muhtevası	87
6.4	TKN ve TP.....	88
6.5	C/N Oranı	90
6.6	Fitotoksisite (Bitkiye Uygunluk Testi).....	91
6.7	Salmonella (Hijyen Testi).....	93
6.8	Dewar Testi.....	94
6.9	Ağır Metaller	100
7.	SONUÇLAR.....	104
	KAYNAKLAR.....	104
	EKLER	112
	ÖZGEÇMİŞ.....	118

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Atık bertaraf yöntemlerinin ülkemizdeki uygulamalarının dağılımları	14
Şekil 3.1 Kompostlaşma prosesi.....	20
Şekil 3.2 Kompostlaştırma işlemi esnasında sıcaklık ve pH'nın değişimi	22
Şekil 3.3 Kompost tesisine ait proses akım şeması	41
Şekil 3.4 Ön işleme tesisi akım şeması	43
Şekil 3.5 Kompostlama sistemi	45
Şekil 4.1 Depo sahalarında madde dönüşümü.....	46
Şekil 4.2 Muhtelif depo tabanı geçirimsizlik sistemleri.....	49
Şekil 4.3 Depo sahasından yüzey sularını hendeklerle uzaklaştırılması	49
Şekil 4.4 Sızıntı suyu toplama sistemi.....	50
Şekil 4.5 Atıkların anaerobik ayrışma fazları.....	54
Şekil 4.6 Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki	61
Şekil 4.7 Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları	71
Şekil 4.8 Metan oluşumunu etkileyen temel faktörler.....	76
Şekil 5.1 Çalışmada kullanılan reaktörler ve ölçüm noktaları	78
Şekil 6.1 Kompost numunesi 1 Dewar testi sonuçları.....	95
Şekil 6.2 Kompost numunesi 2 Dewar testi sonuçları.....	95
Şekil 6.3 Kompost numunesi 3 Dewar testi sonuçları.....	96
Şekil 6.4 Kompost numunesi 4 Dewar testi sonuçları.....	96
Şekil 6.5 Kompost numunesi 5 Dewar testi sonuçları.....	97
Şekil 6.6 Kompost numunesi 6 Dewar testi sonuçları.....	97
Şekil 6.7 Kompost numunesi 7 Dewar testi sonuçları.....	98
Şekil 6.8 Kompost numunesi 8 Dewar testi sonuçları.....	98
Şekil 6.9 Kompost numunesi 9 Dewar testi sonuçları.....	99
Şekil Ek 1.1 Reaktörlerin işletme aşamasına ait görünüş	113
Şekil Ek 1.2 Aerobik reaktörlerin işletme aşamasına ait görünüş	113
Şekil Ek 1.3 Reaktörlerin iç kısmının görüntüsü	114
Şekil Ek 1.4 A-1 reaktörünün boşaltılmadan önceki görünüşü	114
Şekil Ek 1.5 A-2 reaktörünün boşaltılmadan önceki görünüşü	115
Şekil Ek 1.6 Aerobik reaktörlerden boşaltılan katı atıkların görünüşü.....	115
Şekil Ek 2.1 İstanbul Katı Atık ve Geri Kazanım Tesisi genel görünümü	116

Şekil Ek 2.2 Tesisin fermentasyon alanından görünüm.....	116
Şekil Ek 3.1 A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri fitotoksisite testi sonuçları 1	117
Şekil Ek 3.2 A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri fitotoksisite testi sonuçları 2	117

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Katı atık kaynakları	4
Çizelge 2.2 Tipik katı atık kompozisyonu.....	5
Çizelge 2.3 Katı atık bileşiminin ülkelere göre değişimi	6
Çizelge 2.4 Düşük orta ve yüksek gelirli ülkeler için yerleşim yeri kaynaklı kentsel katı atık bileşenleri tipik dağılımı.....	6
Çizelge 2.5 İstanbul katı atıklarının özellikleri	7
Çizelge 2.6 Katı atık yönetimde kullanılan dönüşüm prosesleri.....	8
Çizelge 2.7 Çeşitli ülkelerdeki katı atık yönetim teknolojilerinin dağılımı	13
Çizelge 2.8 Katı atıkların bertarafında kullanılan metotların maliyetleri.....	13
Çizelge 2.9 Katı atık bertaraf etme metotları ile katı atığın özellikleri arasındaki ilişki.....	14
Çizelge 3.1 Kompost stabilite ve olgunluğunun tayininde kullanılan parametreler	31
Çizelge 3.2 Organik atık kategorileri	36
Çizelge 3.3 Topraktaki ağır metal sınır değerleri.....	37
Çizelge 3.4 Kirlenmiş toprakta arıtma sonucu uyulması gereken sınır değerler.....	37
Çizelge 3.5 Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri	39
Çizelge 3.6 Çeşitli ülkelerde uygulanan kompost ağır metal limitleri	39
Çizelge 3.7 Geri kazanım ve kompost tesisinin boyutlandırılmasında kullanılan atık kriterleri.....	40
Çizelge 3.8 80 mm'lik eleğe ait teknik özellikler.....	42
Çizelge 3.9 Balya ve hurda prese ait teknik özellikler	43
Çizelge 3.10 Çürütme ünitesine ait teknik bilgiler.....	44
Çizelge 4.1 Depo sahası stabilizasyonu derecesinin bir fonksiyonu olan depo sahası bileşenleri konsantrasyon aralığı.....	51
Çizelge 4.2 Depo sahalarında ayrışmayı etkileyen faktörler.....	56
Çizelge 4.3 Anaerobik arıtmadaki 10 önemli mikronütrientin minimum miktarları	59
Çizelge 4.4 Mikroorganizmaların ortamdaki sıcaklığa göre değişimi	67
Çizelge 4.5 Sızıntı suyu çeşitli parametre aralıkları.....	73
Çizelge 4.6 Kentsel katı atık depo gazı tipik bileşenleri	75
Çizelge 4.7 Depo gazı eser bileşikleri	76

Çizelge 5.1	Aerobik ve anaerobik reaktörlere depolanan atıkların ıslak ve kuru bazdaki bileşenleri	79
Çizelge 5.2	Reaktörlerin özellikleri ve teorik olarak depolanacak atık miktarları.....	80
Çizelge 6.1	Analizi yapılan kompost numuneleri	85
Çizelge 6.2	Kompost numuneleri pH değerleri	86
Çizelge 6.3	Kompost numuneleri su muhtevası değerleri.....	87
Çizelge 6.4	Kompost numuneleri organik madde muhtevası değerleri	88
Çizelge 6.5	Kompost numuneleri toplam Kjehldal azotu değerleri	88
Çizelge 6.6	Kompost numuneleri toplam fosfor değerleri	89
Çizelge 6.7	Kompost numuneleri (C/N) değerleri	90
Çizelge 6.8	Kompost numuneleri fitotoksisite değerleri.....	92
Çizelge 6.9	Kompost stabilitesi ile fitotoksitite arasında sınıflandırma.....	92
Çizelge 6.10	Kompost numuneleri salmonella testi sonuçları	93
Çizelge 6.11	Kompost sınıflandırması	94
Çizelge 6.12	Kompost numuneleri ağır metal değerleri.....	101
Çizelge 6.13	Kullanım alanlarına göre müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları .	101
Çizelge 6.14	Kompost için uluslararası ağır metal limitleri.....	101
Çizelge 6.15	Çeşitli Avrupa ülkelerinde kompost için kalite standartları.....	103

ÖNSÖZ

Düzenli depolama ve kompostlaştırma; katı atık yönetiminde yaygın olarak kullanılan katı atık bertaraf yöntemleridir. Katı atıkların düzenli depo sahalarında anaerobik ayrışmasının yıllarca devam etmesi ve ayrışma sonucu ortaya çıkan depo gazı ve sızıntı sularının yol açabileceği olumsuzlukları azaltmak maksadıyla son yıllarda atık stabilizasyonunu hızlandırmak amacıyla çalışmalar başlatılmıştır. Bu çalışmalardan en önemlileri sızıntı suyu geri devri ve aerobik depolama yöntemleridir. Aerobik depolama yöntemi temel olarak ayrışabilir katı atık bileşenlerinin çabuk ve orta derecede kompostlaştırılması işlemidir. Aerobik ve anaerobik şartlarda gerçekleşen kompostlaştırma prosesi ile insan ve çevre sağlığının korunması ve atıkların miktar ve hacimce azaltılması sağlanmaktadır. Kompostlaştırma süresince organik atıklar kontrollü aerobik şartlar altında ayrıştırılır. Organik atıkların kompostlaştırılması, organik atık maddenin faydalı nihai ürünlere dönüştürülmesinden dolayı bir geri dönüşüm yöntemi olarak da kabul edilebilir.

Bu çalışmada; katı atıkların depo sahalarında aerobik ayrışması ve kompost tesislerinde kompostlaştırılması sonucu elde edilen nihai ürünler gerek ülkemizdeki yönetmeliklerle gerekse uluslararası standartlarla karşılaştırılmış, aerobik depolama ve kompostlaştırma prosesleri detaylı olarak incelenmiştir.

Çalışmanın yürütülmesindeki ve yönlendirilmesindeki katkıları, gösterdiği yakın alaka ve her alandaki desteği sebebiyle; her yönüyle örnek aldığım, çok değerli hocam Prof. Dr. Ahmet DEMİR'e şükranlarımı arz ederim.

Deneysel çalışmaların yürütülmesi esnasında gösterdiği destek ve sağladığı araştırma imkânları sebebiyle Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK'e şükranlarımı sunarım.

Tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, çalışma süresince gösterdikleri sabır ve yardımlarından dolayı Çevre Yüksek Mühendisi M. Sinan BİLGİLİ'ye ve Yrd. Doç. Dr. Bestemin ÖZKAYA'ya, laboratuvar çalışanlarına ve katkıda bulunan herkese teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanma aşamasındaki tüm yardımlarından dolayı kıymetli arkadaşlarım Çevre Yüksek Mühendisi Ebru AKKAYA'ya ve Çevre Mühendisi Kamil B. VARINCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince gösterdikleri hoşgörü, sabır ve destekleri için eşim Murat VARANK ve biricik kızım Azra VARANK'a, maddi manevi destekleri ve gösterdikleri anlayıştan dolayı babam Tahir VURAL'a, annem Nuriye VURAL'a ve kardeşim Gaye VURAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu çalışmada katı atıkların bertarafında son yıllarda atık stabilizasyonunun hızlandırılması maksadıyla yaygın olarak araştırılan aerobik düzenli depolama yöntemi ile kompostlaştırma proseslerinden sonra elde edilen nihai ürünlerin özellikleri ve kalitesi araştırılmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Düzenli depolama prosesi nihai ürünlerini temsilen laboratuvar ölçekli aerobik sızıntı suyu geri devirli (A1) ve geri devirsiz (A 2) reaktörlerden 250 günlük işletme sonucunda elde edilen nihai ürünler ile kompost tesisinden temin edilen ürünler üzerinde analizler yapılarak sonuçları değerlendirilmiş, katı atıkların aerobik depolanması ve kompostlaştırılması sonucu elde edilen nihai ürünlerin kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nden temin edilen kompost ile laboratuvar ölçekli A1 ve A2 reaktörlerinden elde edilen nihai ürünlerde kompost kalitesinin belirlenmesi maksadıyla ürünler üzerinde pH, su muhtevası, organik madde muhtevası, toplam Kjeldahl azotu (TKN), toplam fosfor (TP) ve ağır metal (Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn) analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen nihai ürünlerin bitkiye uygunluğu fitotoksitite analizleri ile tespit edilmiştir.

A1 ve A2 reaktörleri ile kompost tesisinden alınan numunelerin ortalama pH değerleri sırasıyla 7,7; 8,1 ve 7,5 olarak belirlenmiştir. A1 ve A2 reaktörlerinden elde edilen ürünlerin su muhtevası sırasıyla %70 ve %45 iken, kompost tesisinden alınan numunelerin ortalama su muhtevası değerleri %35 olarak tespit edilmiştir. A1 ve A2 reaktörlerinden 250 günlük işletme sonunda elde edilen nihai ürünlerin organik madde muhtevası sırasıyla %43 ve %46.5 olarak tespit edilmiştir. Kompost tesisinden alınan numunelerin ortalama organik madde muhtevasının ise %41 olduğu belirlenmiştir. A1 ve A2 reaktörleri ile kompost tesisinden alınan numunelerin azot içerikleri sırasıyla %2,8; %4,5 ve %1,43; fosfor içerikleri ise sırasıyla 33 mg/kg; 48 mg/kg ve 77 mg/kg olarak tespit edilmiştir. C/N oranı A1 ve A2 reaktörleri ile kompost tesisi nihai ürünlerinde sırasıyla 7,3; 5,3 ve 12,76 olarak tespit edilmiştir.

Gerek aerobik sızıntı suyu geri devirli ve geri devirsiz reaktörlerden ve gerekse kompost tesisinden alınan numunelerden hiç birinde *Salmonella sp.* bakterisine rastlanmamış ve numunelerin hijyen açısından uygun olduğu sonucuna varılmıştır. A1 ve A2 reaktörleri ile kompost numunelerinde gerçekleştirilen fitotoksitite testlerinde bitkiye uygunluk değerleri %25'lik karışımlarda sırasıyla %93; %94 ve %80 iken %50'lik karışımlarda bu değerler %78; %62 ve %75 olarak tespit edilmiştir. A1 ve A2 reaktörleri ile kompost tesisi ürünleri fitotoksitite testi sonuçlarına göre her üç ürün de toksik değil sınıfına girmektedir. A1 ve A2 reaktörlerinden elde edilen nihai ürünler ile kompost tesisinden alınan numunelerde sırasıyla Cu 125; 110; 321,4 mg/kg; Cd 4,3; 5,5; 4,1 mg/kg; Cr 310; 370; 291,8 mg/kg; Pb 124; 110; 100,7 mg/kg; Ni 53,7; 62,8; 52,6 mg/kg; ve Zn 35,4; 31,2; 397,4 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı atık, Düzenli depolama, Aerobik depolama, Kompostlaştırma, Nihai ürün kalitesi

ABSTRACT

In this study; properties and quality of end products of aerobic landfilling and composting processes are investigated and compared to each other. Applicability and utility of the end products obtained from two aerobic pilot scale landfill reactors with (A1) and without (A2) leachate recirculation and Istanbul Solid Waste Recycling and Composting Plant evaluated.

The quality of the compost produced from a1 and A2 landfill reactors and compost plant were determined by the means of pH, water content, organic matter content, total Kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphorus (TP), phytotoxicity test, *Salmonella sp.* test, and heavy metal (cadmium, chromium, copper, nickel, lead, and zinc) content.

pH values of end products obtained from A1 and A2 reactors and composting plant are 7,7; 8,1 and 7,5; respectively. Water content values of A1, A2 and composting plant end products are 70%, 45%, and 35%, respectively. Organic matter content after 250 days of stabilization of solid wastes in A1 and A2 reactors are 43% and 46;5% respectively, while average organic matter content is 41% for compost samples obtained from composting plant. TKN values of end products obtained from A1 and A2 aerobic landfill reactors and compost plant are 2,8%; 4,5% and 1,43%, respectively. TP values are 33 mg/kg, 48 mg/kg and 77 mg/kg for A1 and A2 landfill reactors and compost samples, respectively. C/N ratio of A1 and A2 landfill reactor end products and compost samples are 7,3; 5,3 and 12,76, respectively.

Salmonella sp. bacteria are not determined in both end products of A1 and A2 reactors and composting plant, indicating the hygienic quality of the compost product. Phytotoxicity tests are carried out on 25% and 50% mixtures of compost samples with soil. Plant utility values for 25% mixtures of A1 and A2 reactors and compost plant end products are 93%, 94% and 80%, respectively, while these values are 78%, 62% and 75%, respectively, for 50%mixtures. The results of the phytotoxicity tests show that all the end products are in the non-toxic class of the relevant standards. Cu concentrations are 125; 110; 321,4 mg/kg; Cr are concentrations 310; 370 and 291,8 mg/kg; Cd concentrations are 4,3; 5,5 and 4,1 mg/kg, Pb concentrations are 124; 110 and 107 mg/kg; Ni concentrations are 53,7; 62,8 and 52,6 mg/kg; and Zn concentrations are 35,4; 31,2 and 398,4 mg/kg, respectively, for the end products of A1 and A2 landfill reactors and composting plant products.

Key Words: Solid Waste, Proper Landfilling, Aerobic Landfilling, Composting, End Product Quality

1. GİRİŞ

Dünya’da ve Türkiye’de hızlı nüfus artışı ve gelişen teknoloji ile beraber katı atık miktarı da hızla artmaktadır. Artan katı atık miktarı bertaraf sorununu da beraberinde getirmektedir. Gelişen yaşam standartları ile orantılı olarak meydana gelen katı atıkların bertarafı için önemli olan optimum çözümü bulunması, gerek çevre, gerek maliyet ve gerekse katı atık özellikleri bakımından en uygun bertaraf şeklinin belirlenmesi gerekmektedir. Her alanda olduğu gibi katı atık bertaraf yöntemlerin de zamana bağlı olarak sürekli gelişim ve değişim söz konusudur.

Katı atıkların düzenli depolanması diğer alternatiflere göre daha ucuz ve basit bir yöntem olması dolayısıyla öncelikle tercih edilen yöntemdir. Ancak, bu yöntemin de bertaraf için uygun alanların sınırlı olması, mevcut sahaların hızlı bir şekilde dolması, katı atıkların uzak mesafelere taşınması, sızıntı suyu oluşumu ve depo gazı emisyonları gibi dezavantajları vardır. Depo sahalarında oluşan sızıntı suları yüksek oranlarda organik madde, ağır metal ve zararlı organikleri içerir. Ayrıca depo sahalarında ayrışmanın tamamlanmasının yıllar sürmesi ve saha kapatıldıktan sonra bile depo gazı sızıntı sularının kontrolü be bertarafının insan ve çevre sağlığı açısından zorunlu olması gibi dezavantajlarından dolayı son yıllarda düzenli depo sahalarında katı atıkların ayrışma hızlarının arttırılması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan en dikkat çekici olanları sızıntı suyu geri devir uygulaması ve atıkların aerobik ayrışmasının sağlandığı aerobik depolama yöntemleridir. Yapılan çalışmalarda aerobik depolamada sızıntı suyu miktarının, sızıntı suyu içeriğinde bulunan toksik madde konsantrasyonlarının ve depo gazı emisyonunun anaerobik depolama ile karşılaştırıldığında önemli oranda düştüğü, ayrışma hızının önemli miktarda arttığı ve depo sahası işletme ömrünün uzadığı tespit edilmiştir.

Katı atıkların bertarafında yaygın olarak kullanılan bir diğer alternatif yöntem ise kompostlaştırmadır. Kompostlaştırma; organik maddenin depolanabildiği ve çevresel etkileri olmadan toprağa uygulanabildiği evreye kadar ayrıştırıldığı katı atık yönetim metodu olarak tanımlanabilir. Kompostlaştırma aynı zamanda bir geri kazanım metodu olarak da tarif edilebilir. Kompostlaştırma, düşük enerji tüketimi gerektiren kısa bir proses olması, nihai ürünün tarımsal kullanım için uygun olması, ve tesisin ve nihai ürünlerin yeterli hijyenik garantiye sahip olması bakımından katı atık özellikleri uygun olduğu takdirde çevresel açıdan çok uygun bir bertaraf şeklidir.

Bu çalışmada; kentsel katı atıkların düzenli depolama sahasında aerobik olarak stabilize edilmesi ve kompost tesisindeki prosesler ile kompostlaştırılması sonucu elde edilen nihai ürünlerin kalitesi birbirleriyle karşılaştırılmış ve yönetmeliklerde belirlenen değerlerle mukayese edilerek tarımsal ve hijyenik açıdan değerlendirilmiştir. Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Her bölümün içeriği kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Bölüm 1 Girişe ayrılmış ve çalışma hakkında özet bilgilere yer verilmiştir.

Bölüm 2’de Katı atıkların miktar ve özellikleri açıklanmış, katı atıkların dönüşüm proseslerine, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine yer verilmiş, dünyada ve ülkemizde uygulanan katı atık bertaraf yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’te Katı atıkların kompostlaştırma metodu ile bertarafına yer verilmiştir. Organik atıkların kompostlaştırılması, kompostlaştırma yöntemleri, kompostlaştırmadaki fazlar, kompostlaştırma için ham maddelerin sınıflandırılması, kompost stabilitesi ve olgunluğu konularında bilgiler verilmiş, İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompost Tesisi tanıtılmıştır.

Bölüm 4’te Katı atıkların düzenli depo sahalarında ayrışması, depolama sahası prosesleri ve aerobik depolama sistemleri bu bölümü konusudur. Ayrıca, sızıntı suyu oluşumu, depo gazı üretimi, aerobik ayrışmaya etki eden faktörler, anaerobik atık ayrışması sonuçları hakkında bilgi verilmiş ve kentsel katı atıkların aerobik ve anaerobik prosedürleri karşılaştırılmıştır.

Bölüm 5’te Deneysel çalışmalarda kullanılan reaktörler, materyal ve metot, analiz yöntemleri ve deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 6’da Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular yönetmelikler ile karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Bölüm 7’de Sonuçlar özetlenerek yorumlanmıştır.

2. KATI ATIKLAR

İnsanların ekonomik ve sosyal faaliyetleri sonucunda işe yaramaz hale gelen ve akıcı olacak kadar sıvı içermeyen her tür madde ve malzeme katı atık olarak tanımlanmaktadır. 14.3.1991 tarihinde yürürlüğe giren ve 2005’de yeniden düzenlenen Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre ise “faaliyetleri süresince atık oluşumuna sebep olan kişi ve kuruluşlar tarafından atılmak istenen, toplumun huzuru ve çevrenin korunması bakımından bertaraf edilmesi gereken her türlü atık ve arıtma çamurları” katı atık olarak adlandırılmaktadır (TCÇOB, 2005a).

2.1 KATI ATIKLARIN SINIFLANDIRILMASI

Katı atıklar, kaynaklarına ve bileşimlerine göre olmak üzere iki grupta incelenebilir. Kaynaklarına göre bir sınıflandırma yapıldığında katı atıklar;

- 1) Yerleşim yeri atıkları,
- 2) Ticari atıklar,
- 3) Kurumsal atıklar,
- 4) İnşaat ve yıkım atıkları,
- 5) Belediye hizmetleri atıkları,
- 6) Arıtma tesisi atıkları,
- 7) Endüstriyel atıklar,
- 8) Tarımsal atıklar,

olmak üzere 8 grupta incelenebilirler. Çizelge 2.1’de katı atık kaynakları verilmiştir.

Bileşenlerine göre bir sınıflandırma yapıldığında ise katı atıklar organikler, inorganikler ve küller olmak üzere 3 grupta incelenebilirler. Katı atıkların bileşenlerine göre sınıflandırılması aynı zamanda katı atık kompozisyonu olarak da ifade edilebilir. Kompozisyon, katı atık bileşenlerini ve ilgili dağılımını tanımlayan ve genellikle ağırlık yüzdesi esasına dayanan bir terimdir. Çizelge 2.2’de tipik katı atık kompozisyonu yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Katı atık kaynakları (Tchobanoglous vd., 1993)

<i>Kaynak</i>	<i>Atıkların üretildiği tipik yerler</i>	<i>Katı atık tipleri</i>
Yerleşim yeri atıkları	Az aileli-çok aileli olarak ayrılan konutlar, alçak, orta yükseklikte, yüksek apartmanlar, vb.	Gıda atıkları, kağıt, karton, plastik, tekstil, deri, tahta, cam, metal kutular, alüminyum, diğer metaller, kül, yaprak, özel atıklar (geniş hacimli eşyalar, elektronik eşyalar, beyaz eşyalar, piller, yağlar, lastik), evsel tehlikeli atıklar
Ticari atıklar	Mağazalar, restoranlar, marketler, ofis binaları, oteller, moteller, servis istasyonları, oto tamir dükkanları, vb.	Kağıt, karton, plastik, tahta, gıda atıkları, cam, metaller, özel atıklar, tehlikeli atıklar, vb.
Kurumsal atıklar	Okullar, hastaneler, hapishaneler, hükümet merkezleri, vb.	Ticari ile aynı
İnşaat ve yıkım atıkları	Yeni inşaat sahaları, yol onarma bölgeleri, kırık kaldırımlar, tahrip olan binalar, vb.	Beton, tahta, çelik, toz, toprak, vb.
Belediye hizmetleri (Arıtma tesisleri hariç) atıkları	Cadde temizliği, park bahçe düzenleme, plajlar, diğer eğlence alanları, vb.	Özel atıklar, kauçuk, park, bahçe, plaj ve eğlence yeri atıkları
Arıtma tesisleri- Belediye yakma fırınları atıkları	Su , atıksu, endüstriyel arıtma prosesleri, vb.	Arıtma tesisi atıkları, genel olarak atık çamurlar
Endüstriyel atıklar	İnşa, fabrikasyon, üretim, rafineriler, kimyasal tesisler, güç tesisleri, vb.	Endüstriyel proses atıkları, döküntü maddeler, vb. gıda atıkları, kauçuk, kül, yapım ve yıkım atıkları, özel atıklar, tehlikeli atıklar gibi endüstriyel olmayan atıklar
Tarımsal atıklar	Meyve bahçeleri, üzüm bağları, çiftlik hayvanları yaşam alanları, vb.	Dökülen gıda atıkları, tarımsal atıklar, kauçuk, tehlikeli atıklar

Çizelge 2.2 Tipik katı atık kompozisyonu (USEPA, 1994)

<i>Madde Grubu</i>	<i>Avrupa'daki Değerler (% kuru ağırlık)</i>	<i>Amerika'daki Değerler (% kuru ağırlık)</i>	<i>Amerika'daki Ortalama Değerler (% kuru ağırlık)</i>
Kağıt	20-42	28-50	40
Yemek Atıkları	20-50	6-18	9
Bahçe Atıkları	12-18	5-20	18.5
Plastik	3-8	4-10	7
Cam	4-12	4-12	8
Metal	3-13	3-13	9.5
Tekstil/Deri	2-14	1-12	5
İnorganikler	1-20	0-6	3

Katı atık miktar ve kompozisyonu yerel koşullara, mevsimlere ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu değişim toplumların sosyo-ekonomik yapısı, gelir seviyesi ve tüketim alışkanlıkları ile de ilgilidir. Bu parametrelere bağlı olarak değişim gösteren katı atıkların yapısının sürekli olarak izlenebilmesi için sürekli olarak örnekleme yapılması gerekmektedir (Buenrostro vd., 2001). Çizelge 2.3'de ülkelere göre (Lee, 1996), Çizelge 2.4'de ise gelir düzeylerine göre (Tchobanoglous vd., 1993) katı atık bileşenleri verilmiştir.

Ülkemizde katı atık bileşimiyle ilgili genel bir çalışma yoktur. Ancak son yıllarda katı atık kompozisyonu ile ilgili büyük şehirlerde birtakım çalışmalar yapılmıştır. Çizelge 2.5'de İstanbul katı atıklarının özellikleri (% yaş ağırlık olarak) verilmiştir.

Çizelge 2.3 Katı atık bileşiminin ülkelere göre değişimi

<i>Ülke</i>	<i>Kağıt</i>	<i>Organik</i>	<i>Cam</i>	<i>Plastik</i>	<i>Metal</i>	<i>Tekstil</i>	<i>Taş ve Tuğla</i>	<i>Diğer</i>
A.B.D.	37.6	29.2	6.6	9.3	8.3		----	
Almanya	20.8	28.3	10.4	7.73	3.9	----	2.8	----
Avustralya	24	46	11	10	5	----	----	4
Avusturya	22.4	27.8	5.3	10.3	4.2	2.2	4.6	23.2
Danimarka	29	38	4	5	13	----	----	21
Filipinler	10	33	3	9	4	----	----	42
Finlandiya	51	29	6	5	2	2	----	5
Fransa	30	25	12	6	5	4	----	18
Güney Afrika	33	31	12	7	7	----	0	9
Hindistan	2.2	36	0.4	1	0.5	----	----	60
Hollanda	24.2	52.4	7.2	7.1	3.2	2.9	----	3.0
İngiltere	33.9	23.4	14.4	4.2	7.1	4.1	----	12.9
İsveç	35-45	25-35	6-8	8-10	2-4	2-4	----	6-9
İsviçre	20.8	33.0	8.7	13.4	5.9	----	----	9.6
İtalya	22.3	42.1	7.1 8	7.2	3.0	----	----	18.3
Japonya	31-37	10-16	14-16	14-16	5.5-6.4	3.8	----	----
Kanada	38.9	33.9	6.5	4.9	6.2	3.6	1.8	4.4

Çizelge 2.4 Düşük orta ve yüksek gelirli ülkeler için yerleşim yeri kaynaklı kentsel katı atık bileşenleri tipik dağılımı (Geri dönüştürülen maddeler hariç)

<i>Bileşen</i>	<i>Düşük gelirli ülkeler</i>	<i>Orta gelirli ülkeler</i>	<i>Yüksek gelirli ülkeler</i>
Gıda atıkları	40-85	20-65	6-30
Kağıt	1-10	8-30	20-45
Karton	-	-	5-15
Plastikler	1-5	2-6	2-8

<i>Bileşen</i>	<i>Düşük gelirli ülkeler</i>	<i>Orta gelirli ülkeler</i>	<i>Yüksek gelirli ülkeler</i>
Tekstiller	1-5	2-10	2-6
Kauçuk	1-5	1-4	0-2
Deri			0-2
Kamusal atıklar	1-5	1-10	10-20
Tahta	-	-	1-4
Karışık organikler	-	-	-
Cam	-	-	4-12
Metal kutular	-	-	2-8
Alüminyum	-	-	0-1
Diğer metaller	-	-	1-4
Kül		--	0-10

Çizelge 2.5 İstanbul katı atıklarının özellikleri (%yaş ağırlık olarak)

<i>Parametre</i>	<i>Baştürk (1979)</i>	<i>WHO/UNDP (1981)</i>	<i>CH2M Hill (1992)</i>	<i>Öztürk vd, (1997)</i>	<i>Y.T.Ü. (2003)</i>
Kül	29	14.6	15	13.2	7.0
Organik madde	46.5	60.6	45	48	53.8
Kağıt	19	18.8	14.5	8.4	7.5
Plastik	3.5	3.1	9.5	11	14.4*
Cam	3.0	0.7	3.8	4.6	4.3
Tekstil	3	3.1	5.6	2.9	4.4
Metal	1.5	1.5	2.2	2.3	1.7
Diğerleri	1.5	6.9	4.4	6.3	
Çocuk bezi	-	-	-	3.2	6.9

*Poşet, plastik ve tetrapak toplamı olarak verilmiştir

2.2 KATI ATIK DÖNÜŞÜM PROSESLERİ

Katı atık dönüşüm prosesleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik dönüşümler olmak üzere üçe ayrılır. Katı atık dönüşüm prosesleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Katı atık yönetiminde kullanılan dönüşüm prosesleri (Vesilind vd., 1998)

<i>Dönüşüm prosesi</i>	<i>Dönüşüm metodu</i>	<i>Dönüşüm ürünü</i>
Fiziksel		
Bileşenlerine ayırma	Elle veya mekanik ayırma	Karışık katı atıklarda bulunan başlıca bileşenler
Hacim azaltma	Basınç veya kuvvet şeklinde enerji uygulanması	Hacimsel olarak azaltılan orijinal atık
Boyut azaltma	Parçalama, öğütme şeklinde enerji uygulamaları	Boyut olarak küçültülen ve şekil olarak değiştirilen orijinal atık bileşenleri
Kimyasal		
Yakma	Termal oksidasyon	CO ₂ , SO ₂ , diğer oksidasyon ürünleri ve kül
Piroliz	Yıkıcı distilasyon	Katran ve çeşitli gazları içeren gaz buharı
Gazlaştırma	Havasız yanma	Düşük BTU gaz, karbonlu kömür, yakıttaki inertler, pirolitik yağ
Biyolojik		
Aerobik kompostlama	Aerobik biyolojik dönüşüm	Kompost (toprak iyileştirici olarak kullanılan humus benzeri madde)
Anaerobik çürüme	Anaerobik biyolojik dönüşüm	Metan (CH ₄), Karbondioksit (CO ₂), iz gazlar, çümüş humus veya çamur
Anaerobik kompostlama	Anaerobik biyolojik dönüşüm	Metan (CH ₄), Karbondioksit (CO ₂), çürümüş atık

2.2.1 Fiziksel Dönüşümler

Fiziksel dönüşüm proseslerinde kimyasal ve biyolojik proseslerden farklı olarak faz değişimi olmaz. Katı atık yönetim sistemlerinde uygulanan temel fiziksel dönüşümler;

- 1) Bileşenlerine ayırma
- 2) Mekanik hacim azaltılması
- 3) Mekanik boyut küçültülmesi, olarak üç grupta incelenebilir.

2.2.1.1 Bileşenlerine ayırma

Bileşenlerine ayırma, karışık katı atıklardan elle veya mekanik olarak bileşenleri belirlemek amacıyla yapılan ayırma prosesini tanımlamak amacıyla kullanılan bir terimdir. Bileşenlerine ayırma işlemi heterojen atığı homojen bileşenlere dönüştürmek için yapılır. Yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir maddelerin katı atıklardan geri kazanılması, ayrılan maddelerden kirleticilerin giderilmesi, kentsel katı atıklardan tehlikeli maddelerin ayrılması ve prostesten geçirilen atıklardan enerji ve geri dönüşüm ürünlerin kazanılması maksadıyla uygulanır.

2.2.1.2 Mekanik hacim azaltma

Mekanik hacim azaltma işlemi, atığın ilk hacminin basınç veya kuvvet uygulanarak azaltılması işlemi tanımlamak için kullanılır. Hacim azaltma işlemi yer kazanmak ve maliyetleri azaltmak için uygulanmaktadır.

2.2.1.3 Mekanik boyut küçültme

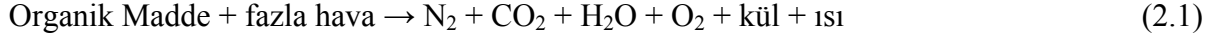
Boyut küçültme işlemi, atıkların ilk boyutlarının küçültülmesi için yapılır. Ancak hacim küçültülmesi ile karıştırılmamalıdır. Bazı durumlarda boyut küçültme işleminden geçirilmiş atıkların hacimlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

2.2.2 Kimyasal Dönüşümler

Katı atıkların kimyasal dönüşümleri tipik olarak faz değişimlerini ihtiva eder. Hacim azaltmak ve dönüşüm ürünlerini geri kazanmak için yapılan temel kimyasal prosesler yakma, piroliz ve gazlaştırma prosesleridir. Her üç proses de termal proseslerdir.

2.2.2.1 Yakma (Kimyasal oksidasyon)

Yakma işlemi, oksijenin okside olmuş bileşikler meydana getirmek için ışık ve ısı eşliğinde organik madde ile olan kimyasal reaksiyonudur. Fazla hava varlığında ve ideal şartlarda kentsel katı atıkların organik kısmının yanma prosesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.



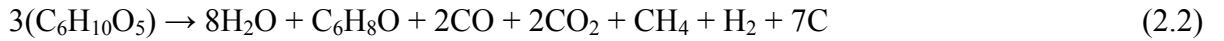
Fazla hava, tam yanma işleminin gerçekleşmesi için kullanılır. Bazı durumlarda atığın tabiatına bağlı olarak amonyak (NH₃), sülfürdioksit (SO₂), azotoksitler (NO_x) ve diğer iz gazlar ortaya çıkar.

2.2.2.2 Piroliz

Piroliz prosesi yakma işleminin aksine yüksek oranda endotermik bir reaksiyondur. Kentsel katı atıkların organik kısmının pirolizi sonucu ortaya çıkan ürünler aşağıdaki gibidir.

- 1) Pirolize olan atığın organik karakteristiğine bağlı olarak; H₂, CH₄, CO, CO₂ ve çeşitli diğer gazlar.
- 2) Oda sıcaklığında sıvı fazda olan ve asetik asit, aseton ve metanol içeren katran
- 3) Karbondan oluşan kömür.

Selülozun piroliz reaksiyonu aşağıdaki şekildedir:



2.2.2.3 Gazlaştırma

Gazlaştırma prosesi, karbonlu yakıtların kısmi olarak yanmasıdır. Karbon monoksit açısından zengin, hidrojen doymuş hidrokarbonlar içeren yanabilir yakıt gazı meydana gelir. Bu gaz daha sonra içten yanmalı motorlarda kullanılabilir.

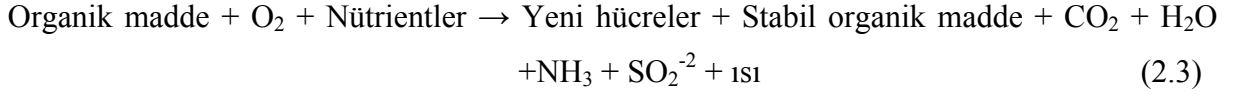
2.2.3 Biyolojik Dönüşümler

Kentsel katı atıkları organik kısmının biyolojik dönüşümü ile atıkların ağırlık ve hacimsel olarak azaltılması toprak iyileştirici olarak kullanılan kompost üretimi ve metan üretimi sağlanır. Organik atıkların biyolojik dönüşümlerinde yer alan temel organizmalar, bakteri, fungi, maya ve aktinomisetlerdir. Bu dönüşümler oksijen mevcudiyetine bağlı olarak aerobik

veya anaerobik olabilirler. Kentsel katı atıkların organik kısmının biyolojik prosesleri, aerobik kompostlaştırma ve anaerobik çürümedir.

2.2.3.1 Aerobik kompostlama

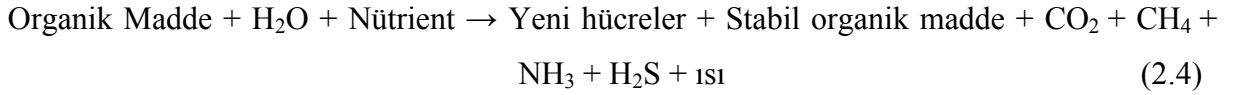
Biyolojik ayrışma prosesinin süresi atığın doğasına, nem içeriğine, mevcut nütrientlere ve çevresel faktörlere bağlıdır. Kontrollü şartlar altında katı atıkların organik kısmı oldukça kısa bir zamanda kompost olarak bilinen stabil organik atığa dönüştürülebilir. Katı atıkların aerobik şartlar altında kompostlaştırılması aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir.



Yukarıdaki reaksiyon sonucunda geriye kalan dirençli organik madde kompost olarak adlandırılmaktadır. Bu madde yüksek oranda biyolojik olarak kısa zamanda dönüştürülmesi zor bir ürün olan ligninden oluşmaktadır.

2.2.3.2 Anaerobik çürüme

Kentsel katı atıkların organik kısmının biyolojik olarak bozunabilir kısmı anaerobik koşullar altında biyolojik olarak karbondioksit ve metan içeren gaza dönüşür. Bu dönüşüm aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.



Birçok anaerobik dönüşüm proseslerinde üretilen toplam gazın %99'undan fazlasını CO₂ ve CH₄ gazları oluşturur. Dirençli organik maddenin veya çürütülmüş çamurun depolanmadan önce mutlaka suyu alınmalıdır. Suyu alınmış çamur uygulamadan önce genellikle daha iyi stabilize olması için aerobik olarak kompostlaştırılmalıdır.

2.3 KATI ATIK DEĞERLENDİRME VE BERTARAF TEKNOLOJİLERİ

Ayrışma faaliyetlerinin daha etkili bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak, çevre ve insan sağlığının, ayrışma sonucu ortaya çıkan nihai ürünlerden mümkün olduğu kadar az etkilenmesini sağlamak ve ekonomik açıdan en uygun prosesi bulmak için çeşitli atık bertaraf yöntemleri geliştirilmiştir. Kullanılan başlıca katı atık bertaraf yöntemleri şunlardır:

- 1) Geri kazanma,
- 2) Düzenli depolama,
- 3) Yakma,
- 4) Kompostlaştırma,
- 5) Isıl Parçalama (piroliz),
- 6) Denize boşaltma,

Bu yöntemler arasında en yaygın olanları geri kazanma, yakma, kompostlaştırma ve düzenli depolama yöntemleridir. Katı atıkların düzenli depo sahalarında bertaraf edilmesi, yakma ve kompostlaştırma gibi diğer alternatif atık bertaraf yöntemleri arasında, ekonomik avantajları dolayısıyla en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

Bu tekniklerin seçiminde, katı atık kompozisyonu, yoğunluğu, nem oranı, karbon/azot oranı ve yakıt değeri, göz önünde bulundurulması gereken önemli özelliklerdir. Katı atıkların bertaraf edilmesinde geri kazanma, yakma, piroliz, kompost yapma gibi muhtelif metotlardan hangisi kullanılırsa kullanılsın neticede araziye bırakılması gereken ve işe yaramayan bir artık ortaya çıkacaktır. 1000 kg. çöp yanınca yaklaşık 350 kg. kül ve cüruf oluşur. Geriye kalan 650 kg.'lık çöp 5000-6000 standart m³ gaz halinde atmosfere yayılır. Bunun yanında 1000 kg. katı evsel atıktan 250-300 kg. kompost, 550-600 kg. bir işe yaramayan artık, 150 kg. da gaz ve buhar çıkmaktadır. Görüldüğü gibi çöpün yakılması halinde ağırlığının % 35'i, kompost yapılması halinde ise % 60'ı düzenli depolamaya gönderilmesi gereken katı artıklardan oluşmaktadır. Bu yüzden düzenli depolama katı atık bertarafında daima kullanılan ve kullanılacak olan bir metottur.

Çizelge 2.7'de bazı ülkelerde atık bertarafında kullanılan yöntemler verilmiştir.

Katı atıkların bertarafında kullanılan yöntemler en ucuzundan en pahalısına doğru sıralanacak olursa sıra şöyle olur;

- 1) Tekrar kullanma, geri dönüşüm, geri kazanma grubu,
- 2) Düzenli depolama,
- 3) Kompost üretimi,
- 4) Isıl parçalama (piroliz),
- 5) Yakma,

Çizelge 2.7 Çeşitli ülkelerdeki katı atık yönetim teknolojilerinin dağılımı (Leao vd., 2001)

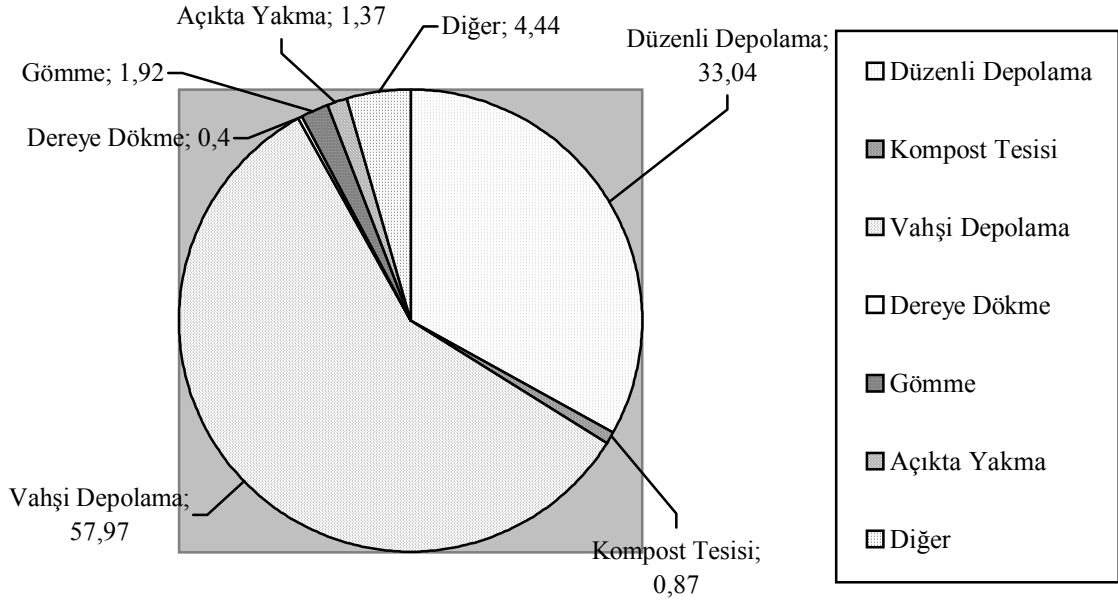
<i>Ülke</i>	<i>Katı atık bertaraf teknolojisinin kullanıldığı oran (%)</i>			
	Düzenli depolama	Yakma	Kompostlaştırma	Geri Kazanma
Avustralya	82	2,5	-	15,5
Kanada	80	8	2	10
Fransa	45	42	10	3
Almanya	46	36	2	16
Yunanistan	100	-	-	-
İrlanda	97	-	-	3
İtalya	74	16	7	3
Hollanda	45	35	5	15
Portekiz	85	-	15	-
İspanya	64	6	17	13
İngiltere	88	6	-	6
A.B.D.	67	16	2	15

Katı atık bertaraf yöntemleri maliyetleri Çizelge 2.8’de verilmiştir

Çizelge 2.8 Katı atıkların bertarafında kullanılan metotların maliyetleri

<i>Bertaraf metodu</i>	<i>Bir ton atık için bertaraf maliyeti (\$)</i>
Geri kazanım	2-8
Düzenli depolama	8-12
Kompostlaştırma	10-40
Yakma	80-150

Şekil 2.1 Atık bertaraf yöntemlerinin ülkemizdeki uygulamalarının dağılımları (D.İ.E., 2003) verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi, Türkiye’de yaygın olarak kullanılan yöntem vahşi depolama yöntemidir (% 57.97). Ancak yasal düzenlemelerin de etkisiyle, katı atıkların önümüzdeki yıllarda gelişmiş ülkelerde kullanılan uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi kaçınılmazdır.



Şekil 2.1 Atık bertaraf yöntemlerinin ülkemizdeki uygulamalarının dağılımları (D.İ.E., 2003)

Bir yerleşim biriminin katı atıklarının düzenli depolama, kompost yapma, yakma ve sair yöntemlerinden hangisi ile bertaraf edileceği bir mühendislik fizibilite çalışması ve çevresel etki değerlendirmesi ile araştırılıp tespit edilmelidir. Çizelge 2.9’da atık bertaraf metotları ile katı atıkların özellikleri arasındaki ilişki verilmiştir.

Çizelge 2.9 Katı atık bertaraf etme metotları ile katı atığın özellikleri arasındaki ilişki

Özellikler	Bertaraf Etme Metotları		
	Kompostlaştırma	Yakma	Depolama
1. Tane boyutu	X	X	O
2. Madde grubu analizi	X	X	O
3. Su içeriği (nem oranı)	X	X	O
4. Organik madde	X	X	O
5. Isıl (kalorifik) değer	--	XX	--
6. C/N oranı	X	--	--
7. Ph	X	--	--
8. Kül ve cürufun ergime derecesi	--	X	--
9. Ağır metaller (Cd, Cr +6, Pb, Hg, v.d.)	X	O	X

Açıklama : (X : Önemli; O : Kullanılabilir; -- : Önemsiz)

2.3.1 Kaynakta Azaltma ve Geri Kazanma

Katı atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tâbi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasına tekrar kullanım denir.

Katı atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulmasına geri dönüşüm denir.

Tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesine geri kazanma denir.

Geri dönüşüm; atıkların özelliklerinden faydalanarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye dönüştürülmesidir. Tekrar kullanımın uygulanması durumunda ürünün kullanım süresi uzatılmış olur (Daskalopoulos vd., 1997a).

Katı atık içindeki kağıt, plastik, cam gibi yeniden değerlendirilebilir nitelikteki maddelerin herhangi bir kimyasal ve biyolojik işleme tâbi tutulmadan ekonomiye tekrar kazandırılması işlemine maddesel geri kazanma denir.

Katı atıkların içindeki muhtelif maddeleri ham madde ve yakıt kaynağı olarak kullanmak veya katı atıklardan kompost üretmek, katı atıkları yakarak enerji üretmek ve katı atıklardan benzer şekilde yararlanmak katı atıkların geri kazanılmasıdır.

Çöpleri depolamada metan gazı içeren depo gazından, kompostlaştırmada kompostun kendisinden, yakma ve pirolizde enerji ve ortaya çıkan yağ, gaz ve piroliz kömüründen, katı atıktaki selülozdan yararlanmak suretiyle glikoz ve etil alkol üretiminden ve katı atıktaki demir, alüminyum, kağıt, karton, cam , plastik tekstil parçalarından ham madde olarak faydalanılır.

Yeniden kazanımın;

- Yeniden kazanılacak ürünlerin diğer katı atıklardan ayrılması,
- Bu ürünleri, imalat sürecinde hammadde haline getirilmesi maksadıyla işlenmesi,
- Ürünün pazarlanması,

olmak üzere üç temel aşaması vardır

Geri kazanma tekniği, günümüzde sınırlı hammadde kaynaklarının hızlıca tkretiminden ve dolayısıyla teknolojik gelişmelerden dolayı dünya endüstrileri arasında dördüncü sırada bulunmaktadır. Birçok ülkede geri kazanma endüstrileri iyi bir şekilde organize edilmiş, ulusal ve uluslararası pazarlar kurulmuş durumdadır.

Yeniden kazanımın birçok avantajları vardır. Bunlar;

- Bertaraf edilecek katı atık miktarlarının azaltılması,
- Sınırlı doğal kaynakların gelecekteki kullanımını güvence altına alınması,
- Toplum için yeni iş sahalarının açılması,
- Bazı yenilenemeyen maddelerin korunmasının sağlanması,
- Bazı hammaddelerin dış alım taleplerinin azalması,
- Orman, petrol ve doğal gaz gibi doğal kaynakların korunması olarak sıralanabilir.

2.3.2 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, organik maddelerin biyolojik olarak ayrışmasını sağlayan bir prosestir. (Epstein, 1997). Kompostlaştırma, uygun yöntem ve ekipmanlar kullanılarak katı atık içinde bulunan organik maddelerin kontrollü bir şekilde mikroorganizmalar tarafından rtlerek, toprak için faydalı olan humus benzeri bir maddeye dönüştürülmesi işlemidir. Katı ve sıvı atıklar içindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalar vasıtasıyla daha basit bileşiklere, bilhassa CO₂ ve H₂O'ya dönüşür. Kompostlaştırma aerobik ve anaerobik olmak üzere iki yolla yapılabilir. Aerobik kompostlaştırma, kokusuz ve çevreyi rahatsız etmeyen bir prosestir. Aerobik kompostlaştırma daha yaygın olarak kullanılmakta olup kötü kokuların önlenmesi, fermentasyon sresinin kısa olması ve patojen mikroorganizmaların bertaraf edilmesi gibi avantajları vardır. Ancak aerobik kompostlaştırma yöntemi sürekli oksijen temini ve nem kontrolünün yanında dikkat ve itina gerektiren bir prosestir.

Anaerobik yöntemle kompost elde etmede çevreye hoş olmayan kokular yayılır, proses çok uzun zamanda tamamlanır ve dışarıdan ısı verilmesi de gerekebilir. Anaerobik süreçte dönüşüm esnasında yan ürün olarak biyogaz elde edilmektedir. Atıkların uygun kısımları kompost yapılırsa bile, yaklaşık %30'luk bir kısmının nihai olarak başka bir usulle uzaklaştırılması gerekmektedir (Daskalopoulos vd., 1997b).

Kompostlaştırmanın genel hedefleri; ayrışabilir organik maddeleri biyolojik olarak stabil maddeye dönüştürmek, katı atıklarda bulunabilen patojenleri, böcek yumurtalarını ve diğer

istenmeyen organizmaları ve yabancı ot tohumlarını yok etmek, maksimum nütrient (azot, fosfor ve potasyum) içeriğine sahip olmak, bitki gelişmesini desteklemek ve toprak iyileştirici olarak kullanılabilen bir ürün üretmektir (Tchobanoglous vd., 1993).

Kompostlaştırmadaki biyokimyasal ayrışma işlemi üç fazda gerçekleşmektedir:

- Şeker, glikoz, nişasta gibi çabuk ayrışan organik maddelerin kuvvetli ısı çıkışıyla birlikte kısa sürede parçalanması,
- Zor ayrışan bileşiklerin (hemiselüloz, yağ, lignin, reçine vs.) nispeten uzun sürede parçalanması,

Mineralizasyon; son kademe olup kompostlaştırmada istenmeyen bir safhadır. Aksi takdirde kompostun humus değeri önemli ölçüde düşer. Yani kompost ne kadar fazla organik madde ihtiva ederse, tarım bakımından o kadar kıymetlidir. Bundan dolayı da işlem hijyenik şartlar sağlanıncaya kadar devam ettirilmelidir (Baştürk, 1979).

Dolayısıyla organik katı atık içindeki patojen mikroorganizmalar ölünceye kadar kompostlaştırmaya devam edildiğinden bu prosese "kontrollü biyokimyasal ayrışma" da denilmektedir. Kompost hiçbir zaman fosfatlı, azotlu ve potasyumlu suni gübreler kadar zengin besin bileşikleri içeremez.

2.3.3 Düzenli Depolama

Düzenli depolama katı atıkların çevre sağlığına zarar vermeyecek şekilde tabanı kil ve geomembranla (plastik pestille) geçirimsiz hale getirilmiş bir araziye dökülüp sıkıştırılmasını ve üzerinin toprakla örtülmesi ile içinde metan bulunan depo gazının uygun bacalarla kontrol edilerek toplanmasını ifade eder. Bu, ayrıca çöp sızıntı ve süzüntü sularının derlenip toplandığı ve arıtıldığı bir bertaraf etme metodunu da ifade etmektedir. Katı atıkların araziye gelişigüzel atılması düzenli depolama olmayıp vahşi depolamadır.

Katı atıkların arazide depolanması, katı atık yönetiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yapılan arkeolojik çalışmalardan elde edilen sonuçlar, depolama yönteminin yaklaşık 5000 yıldır kullanıldığını göstermektedir. Düzenli depolama yöntemi günümüzde de, yakma ve kompostlaştırma gibi alternatif atık bertaraf yöntemleriyle karşılaştırıldığında, ekonomik avantajları dolayısıyla en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

Katı atık oluşumu ve bertarafı üzerine gelişmiş ülkelerde yapılan bir araştırmada, bu ülkelerde katı atıkların % 73'ünün düzenli depolama yöntemiyle bertaraf edildiği ortaya çıkmıştır (Leao vd., 2001).

Düzenli depolama yönteminin özellikleri kısaca şöyledir:

- 1) Katı atıklar çevreye kötü kokular yaymaz.
- 2) Katı atıklar rüzgarla etrafa yayılıp çevreyi kirletmez.
- 3) Zararlı ve hastalık taşıyıcı canlılara barınma ve çoğalma ortamı ortadan kalkar.

İçinde başlıca karbon dioksit ve metan bulunan depo gazının çıkışı pasif ve aktif yöntemlerle kontrol altına alınmıştır. Her iki grup yöntemle depo gazının çevreye, konut içlerine yayılması engellenir. Pasif yöntemlerle depo gazı toplanıp atmosfere verilir veya yakılır. Aktif yöntemlerle depo gazı yakılarak elektrik üretilir veya sıcak su, buhar v.s. elde edilir.

- 1) Süzüntü ve sızıntı suları kontrol altına alınıp arıtılmakta olup yer altı ve yerüstü suları kirlenmeye karşı korunmuştur.
- 2) Depo tesisine evcil ve yabanî hayvanların girmesine, orada barınıp beslenmelerine ve çoğalmalarına engel olunur.

2.3.4 Yakma

Yakma katı atık hacmini azaltmak için toplanan çöplerin özel tesislerde yakılmasından ibarettir. Bu yöntem, hacim ve ağırlık küçültme oranının yüksek olması nedeniyle depolama yeri sıkıntısının çekildiği durumlarda, hastane atıklarında olduğu gibi son ürünün stabilize edilmesinin gerekli olduğu hallerde kullanılan bir yöntemdir.

Geri dönüşümü mümkün maddelerin ayrılmasından sonra, katı atık nem oranı ve kalorifik değerinin uygun olması halinde, gerekli hava kalitesi standartlarının sağlanması şartıyla bu yöntemin uygulanması ekonomik ve çevresel açıdan faydalı olmaktadır. Söz konusu yöntem uygulanmadan önce mutlak surette katı atıkların yakma işlemi için gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir (Daskalopoulos vd., 1997b). Katı atıkların yakılabilmesi için atığın yakmaya uygun olması ve ikincil bir yakıtı ihtiyaç duyulmaması önemlidir. Aksi takdirde yakma ekonomik olmamaktadır. Yakma işlemi sonucu kalan inorganik atıkların bertarafı için nihai bir depolamaya ihtiyaç bulunmaktadır. Yakma genellikle düzenli depolama için yer sıkıntısı olan ülkelerde, gerekli depo alanı ihtiyacını azaltmak için yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Atıkların yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisinden faydalanılabilir.

Yöntemin uygulanmasıyla ortaya çıkan en önemli problemlerden biri hava kirliliğidir. Yanma sonucu ortaya çıkan çok küçük partiküllerin ve toksik gazların (dioksin gibi) kontrol edilmesi gerekmektedir (Tchobanoglous vd., 1993).

Yakma işleminin avantajları aşağıdaki gibi sayılabilir:

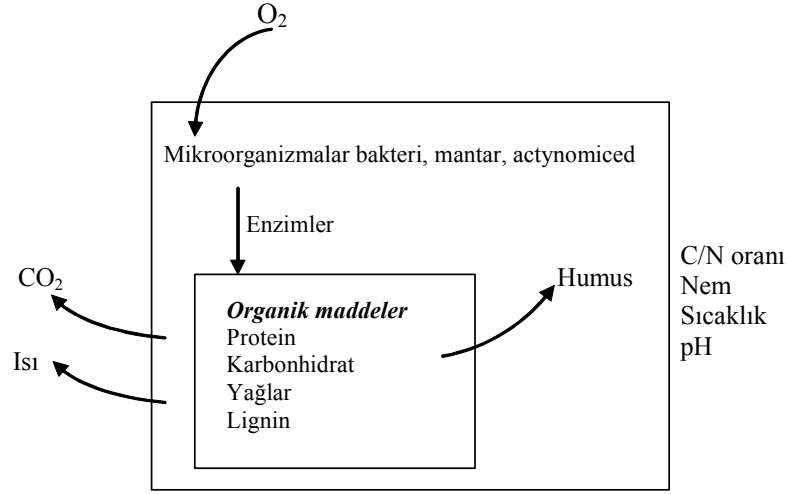
- 1) Yakma en etkin hacim azaltma yöntemidir. Katı atık bileşimine bağlı olarak, hacimce %80-90, ağırlıkça % 60-70'lik bir azalma sağlanır. Arazinin çok pahalı ve zor bulunur olduğu yerlerde en uygun teknoloji olabilir,
- 2) Çok hızlı bir bertaraf yöntemidir,
- 3) Yanma ürünleri (cüruf, kül, gaz v.s.) biyolojik olarak ayrışmaz formdadır,
- 4) Toksik ve tehlikeli patojenik atıklar için (bilhassa hastane atıkları için hijyenik olarak kusursuz) en uygun yöntemdir,
- 5) Isıl değeri yüksek katı atıkların yakılması ile elde edilen ısı, buhar ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir,
- 6) Çöp içindeki organik maddeler CO₂ ve suya indirgenir ve böylece doğal döngüye yeniden girmeleri sağlanabilir.

Katı atıkların yakma tesislerinde bertaraf edilmesinin dezavantajlarını aşağıdaki gibi saymak mümkündür;

- 1) Yakma işlemi mevcut şartlarda yüksek yatırım, işletme ve bakım masrafları getirmektedir,
- 2) Gerekli önlemlerin alınmaması durumunda önemli miktarda hava kirliliğine sebep olur, kirliliği önlemek için uygulanan baca gazı arıtımının maliyeti takriben yakma ünitesinin maliyetine eşittir.
- 3) Düzgün olarak yakılamayan tesislerden atılan cüruf v.s.'de organik maddeler ve hastalık yapıcı maddeler ve hastalık mikropları bulunabilir.

3. KOMPOSTLAŞTIRMA

Kompostlaştırma; ham atığın bertaraf edilemediği durumlarda evsel atık depolama sahaları ve toprağa uygulanmak üzere uygun stabil nihai ürünün elde edilmesini ve organik madde (yaprak, odun, kağıt) ayrışmasını sağlamak üzere aerobik bakteriler ve diğer mikroorganizmaların faaliyetlerine imkan veren kontrollü bir bozunma prosesidir (Porteous, 1992). Kompostlaşma süreci Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kompostlaşma süreci

Kompostlaştırma, organik maddeyi daha stabil formlara ve inorganik ürünlere dönüştüren, metabolik atık ürün olarak ısı açığa çıkaran mikrobiyal aktivitelerin sonucudur (Crawford., 1985; Reinikainen ve Herranen, 1999). Kompostlaştırma mikrobiyolojik bir süreçtir. Kompostlaştırma süresince organik atıklar kontrollü aerobik şartlar altında ayrıştırılır. Kompostlaştırma süreci kapsamlı mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel dönüşümleri içerir

Organik atıklar daha çok geri dönüştürülebilir madde veya faydalı bir kaynak olarak düşünülebilir. Kompostlaştırma; organik maddenin elle kullanılabilirdiği, depolanabilirdiği ve çevresel etkileri olmadan toprağa uygulanabilirdiği evreye kadar ayrıştırıldığı katı atık yönetimi metodu olarak tanımlanabilir (Lsaridi ve Stetiford, 1999; Reinikainen ve Herranen, 1999).

Kompostlama gibi aerobik biyolojik bozunma süreçleri; kentsel katı atıklarda bulunan organik bileşiklerin uygun oranlarda hava ve nem verilerek anaerobik ayrışmaya göre çok daha kısa zamanda bozunduğunu kanıtlamıştır (Stessel ve Murphy, 1992). Aerobik kompostlama ortamlarında atık içinde bulunan solunum yapan bakteriler biyolojik olarak

bozunur atık kütlesini ve diğer organik bileşikleri geriye atık olarak stabilize olmuş humus bırakarak karbondioksit ve suya dönüştürürler (Konstantinos vd., 1998)

Kompostlamada iki faz vardır. Bunlar;

- 1) Termofilik faz – Kompost yığınları havalandırma bölmelerinde birkaç hafta bekletilir. Yığın oluştuktan sonra yüksek termofilik sıcaklıklara hızla ulaşılır. Sıcaklık düşüşü prosesin tamamlandığını ve kompost stabilitesinin bir göstergesidir.
- 2) Islah Prosesi - Kompost yığınlar bölmelerden dışarı aktarılır. Islah süresi organik maddenin tipine bağlıdır. Hayvan kompostu için 3 ay, evsel atık arıtma çamuru için 6 ay, atık keresteler için 12 aydır.

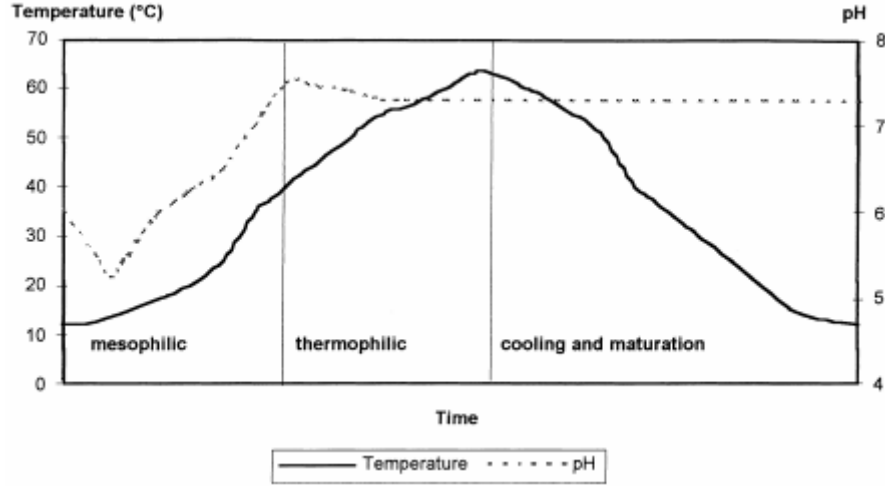
Kompostlama toprak veya atık kütlesi içindeki mikrobiyal popülasyonu ve çeşitliliği arttırdığından organik bileşiklerin bozunma ivmesi de artar. Son olarak kompostlanan maddelerdeki yüksek organik içeriğin ve mineral değişkenliğinin bileşimi kompostu birçok organik ve inorganik kimyasal için mükemmel bir adsorbant yapmaktadır.

Kompost prosesi iki ana bölüme ayrılmaktadır:

- 1) Aktif kompost,
- 2) Arıtma

Aktif kompost periyodu boyunca güçlü mikrobiyal aktivite olmakta, materyaller kolayca ayrışmakta, hatta selüloz gibi zor ayrışan maddeler bile ayrışmaktadır. Aktif kompost prosesini arıtma prosesi izlemektedir. Arıtma prosesi safhası düşük mikrobiyal seviye ile karakterize edilmekte ve aktif kompost safhasında oluşan ürünler daha fazla ayrışmaktadır. Arıtma prosesi son aşamaya ulaştığında kompost stabilize edilmiştir.

Aktif kompost periyodu 3 değişik sıcaklık aralığına sahiptir. Bu sıcaklık aralıkları kompost yığına hakim olan mikroorganizmalar tarafından belirlenir. Bu dönemler psikofolik, mezofilik ve termofilik olarak adlandırılmaktadır. 10 °C'nin altı psikofolik, 10 °C ile 40 °C arası mezofilik, 40 °C üzeri termofilik olarak adlandırılmaktadır. Yoğun çürüme termofilik fazda, son şartlandırma ise mezofilik fazda gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.2'de kompostlaştırma işlemi esnasında sıcaklık ve pH'nın değişimi verilmiştir.



Şekil 3.2 Kompostlaştırma işlemi esnasında sıcaklık ve pH'nın değişimi

Kompostlama sistemlerinde ayrışma hızını etkileyen birçok faktör vardır. Bunlardan en önemlileri:

- 1) Atık yönetimi ve proselme (atık partiküllerin boyutu),
- 2) Atık maddenin kompozisyonu,
- 3) Bakteriyel ve fungal büyümei etkileyen faktörler (nem, mevcut nütrientler, kimyasallar, pH, sıcaklık),
- 4) Kompostlama sistemi (kapalı sistem, açık sistem),
- 5) Kompostlama yöntemi/işletimi (sıkıştırma oranı, atık maddenin kalınlığı, dönme sıklığı).

Kompostlaştırma işlemi aerobik ve anaerobik olarak yapılabilir. Kompostlaştırma prosesinde ilk adım aerobik ayrışmadır. Aerobik ayrışmanın devam etmesi için oksijenin yeterli olması gerekmektedir. Aerobik kompostlaştırma madde ayrışmasını hızlandırır ve patojenlerin yok edilmesi için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık artışı meydana getirir. Aerobik kompostlaştırma aynı zamanda istenmeyen kokuları da minimize eder (Metcalf & Eddy, 1991). Ayrışmayla beraber ortamda su buharı ve CO₂ artışı devam etmektedir. Atıklarda bulunan azot bileşikleri kısmen, uçucu NH₃'a dönüşmektedir. Fermantasyon sonucunda karışımın sıcaklığı artmaktadır.

Kompostlaştırma prosesinde aerobik mikroorganizmalar aktif iken karışımın pH'ı nötr veya asidik ortama doğru meyilli olmaktadır. Proseste bu durum tercih edilir, ancak aerobik kompostlaştırmaya daha sonraları tamamıyla alkali ortam hakim olmaktadır (Wu vd., 2000).

Organizmalara difüzyon yoluyla ulaşan oksijen genellikle havadan temin edilir. Kompostlaştırma, eğer yığın döndürülür veya karıştırılırsa daha hızlı seyreder ve havanın

kütlenin içine doğru üflenmesi ya da kütlenin içinden emilmesi sağlandığında daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. Nem içeriği çok yüksek, yığın sıkıştırılmış ve bakteri sayısı çok fazla ise, oksijen yığına giriş hızından daha hızlı bir şekilde tüketilerek, anaerobik organizmalar üremeye başlar ve anaerobik ayrışma meydana gelir. Anaerobik ayrışma sonucunda aynı tip ürünler açığa çıkar, ancak bu işlem çok daha yavaştır ve rahatsız edici kokular açığa çıkar. Ayrıca, ürünü dezenfekte etmek için yeterli ısı üremez ve ürün bitkiler tarafından daha az tolare edilebilir bir hal alır. Kompost sistemlerinin çoğunda meydana gelen anaerobik bölgeler, aerobik bölgeler tarafından çevrelendiği takdirde elimine edilebilmektedir.

3.1 KOMPOSTLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Açık kompostlaştırma (yığınlar halinde) ve kapalı kompostlaştırma (silo, hücre) adı altında birçok yöntemler geliştirilmiştir.

Kompostlaştırmada belli başlı 4 metot geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bunlar;

- Pasif Yığınlar
- Windrows
- Havalandırmalı Statik Yığınlar
- İn – Vessel Sistemleri

3.1.1 Pasif Kompost Yığınları

Pasif kompostlaştırma metodunda yığınlar zaman zaman döndürülmektedir. Havalandırma, yığınların içine doğru pasif bir şekilde olmaktadır. Bu metot da yığınlar küçük ve yüksekliği az olduğu için havalandırma pasif bir şekilde olmaktadır. Pasif kompostlaştırma metodu, minimum ölçüde emek ve havalandırma ekipmanlarına ihtiyaç duymaktadır.

3.1.2 Windrow

Yığınlar düzenli bir şekilde havalandırılırlar. Ham materyaller karışıktır. Windrow şekilleri ve büyüklükleri iklime, ekipman ve materyallere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu metot da yığınlar 1.8-3 m yüksekliğe, 4.5- 6.0 m genişliğe ve genellikle 100 m'ye yakın uzunluğa sahiptirler. Küçük windrow yığınları büyük ısı kayıplarına maruz kalmaktadır. Büyük yığınlarda ise anaerobik tabakalar ve koku problemleri vukuu bulmaktadır.

Windrow metodunda kompostlaştırmanın bitimi için daha fazla zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu zaman 3 ila 9 hafta arasında değişiklik göstermektedir. Bu süre kompostlanan materyallerin başlangıçta türüne ve aktarma sıklığına bağlı olarak da değişmektedir.

3.1.3 Havalandırılmalı Statik Yığınlar

Pasif havalandırılmalı windrowlarla havalandırılmalı statik yığınlar arasında ana fark, blowerların kullanılmasıdır. Blowerlar havayı emerek yığınlara verir ve pozitif basıncın oluşmasını sağlamaktadır.

Blowerlarla havalandırmada gerekli ekipmanların hesaplanması gerekmektedir. Bunun için blowerların büyüklüğü, boruların tipi, uzunluğu ve çapının belirlenmesi gerekmektedir. Havalandırılmalı statik yığınlar tarım da kullanılan kompostlaştırma proseslerinde yaygın olarak uygulanmaktadır.

3.1.4 In-Vessel Sistemleri

3.1.4.1 Bin

Bu kompostlaştırma metodunda tahtadan yapılan kutular, kullanılmayan depolama kutuları veya üstü kapalı veya açık kutular kullanılmaktadır. Bazı kutularda havalandırılmalı statik yığınlardaki havalandırma sistemi kullanılmaktadır.

3.1.4.2 Sallamalı dikdörtgen yataklar

Sallamalı dikdörtgen yataklar uzun, dar yataklardır. Bunlar otomatik veya periyodik olarak döndürülmektedirler. Dönme dikdörtgen yatak boyunca sisteme monte edilen karıştırıcılar vasıtasıyla olmaktadır. Havalandırma için bazı sistemlerde blowerlar kullanılmaktadır.

3.1.4.3 Silo

Bu metot da kompostlaştırma hızlı olmakta, havalandırma ise uzun olmaktadır. Kompost materyalleri silonun üstünden yüklenmekte, silonun altında bir karıştırıcı kullanılarak karıştırılmaktadır. Havalandırma tabandan yukarıya doğru olmaktadır. Kirli hava üstte toplanarak biofiltre gibi koku arıtan sistemlere verilerek arıtılmaktadır.

3.1.4.4 Döner borular

Döner Borular, ebatları küçük olan atıkları kompostlaştırmak için kullanılmaktadır. Kompost karışımı borunun üstünden yüklenir. Karışım birinci baffle tabakasında dinlenir. Borunun üstünde birinci baffle tabakadan ikinci baffle tabakaya boşaltılırken havalandırılır. Borunun doldurma kapasitesi ve büyüklüğü döndürme şeklini sınırlandırmaktadır (Karaaslan, 2004).

3.2 KOMPOSTLAŞTIRMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kompostlaştırma işlemine etki eden parametrelerin başlıcaları sıcaklık, pH, karbon azot oranı (C/N), su muhtevası, mikrobiyal özellikler ve havalandırma olarak sayılabilir.

3.2.1 pH

Her mikroorganizma grubunun yaşadığı belli bir pH aralığı mevcuttur. Genel olarak bakterilerin optimum pH aralığının, 6-8 arasında olduğu söylenebilir. Buna karşılık mantarlar asidik ortamı tercih ederler. Başlangıç değeri ne olursa olsun kompostlaşma süresi sonunda pH 7.8-8.0 arasında stabil hale gelir (Graves ve Hattemer, 2000). Başlangıçta CO₂ ve organik asitlerin oluşumu nedeniyle pH değeri yaklaşık 5-6 seviyesine düşerken, proses ilerledikçe 8.0-8.5 seviyesine kadar ulaşabilir. Bu durum çoğunlukla, CO₂ eliminasyonundan olduğu kadar proteinlerin ayrışmasından da ileri gelmektedir (Sharma vd., 1997).

3.2.2 Sıcaklık

Mikroorganizmalar organik maddelerle beslenirken ısı açığa çıkarırlar. Ortamdaki ısının yükselmesi hem mikroorganizmaların aktivitesinin bir ölçüsü hem de patojen mikropları öldürme aracıdır. Patojen bakteriler sadece çıkan ısıyla değil, metabolizma ürünü bileşikler dolayısıyla da öldükleri tespit edilmiştir. Her mikroorganizma kendisine uygun bir sıcaklıkta yaşayabilir. Kompostlanan kütlede sıcaklık arttıkça ölen mikroorganizmaların yerine yeni duruma adapte olan türler alır. Bu da genelde daha hızlı bir ayrışmaya yol açar. Ne var ki, 55°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kompostlama verimi ve hızı önemli oranda düşer. Belirli bir süre devam eden sıcaklık, hastalığa yol açan mikropların ve virüslerin oluşmasını önleyerek, iyi kalitede bir kompost açığa çıkmasına sebep olur (Genois, 1995).

Birçok kompostlama uygulamasının başlangıç evreleri boyunca yüksek mikrobiyal aktivite kompostlanabilir madde içindeki sıcaklığın hızla yükselerek termofilik aralığa gelmesine

neden olur (50 °C ve üzeri). Bu sıcaklık aralığı periyodik döndürme veya kontrollü hava akımı verilmesi ile elde edilir (Viel, 1987). Bozunabilir bileşenler hızla tüketildikten sonra iyileştirme safhası boyunca sıcaklık düşer. Bu evrelerin sonunda madde daha fazla kendini ısıtamaz ve tamamlanan kompost kullanıma hazır hale gelir (Gomez, 1998).

Depo sahası ortamına hava ilave edilmesi kütle sıcaklığını 80 °C'nin üzerine çıkarır ve bu durumda atık yanabilir (Merz, 1970). Ancak yükselen atık kütlesi sıcaklığı kompostlama süresince ortama su ilave edilerek kontrol altına alınabilir (Stessel ve Murphy, 1992). Dahası, eğer atık kütlesi sıcaklığı mezofilik aralıkta (15-40 °C) kontrol altında tutulabilirse hem yanma gerçekleşmez hem de bu sıcaklık aralığı en hızlı organik atık bozunmasının gerçekleştiği aralıktır. Ek olarak bu sıcaklık aralığında ilave edilen nem miktarı buharlaşarak oluşan sızıntı suyu miktarı da azalır.

Optimum kompostlaştırma sıcaklığı ile ilgili bulgular çoğu zaman çelişkilidir. Bunun sebebi kullanılan besi maddesinin farklı olmasıdır (Clark vd, 1977). Maksimum degradasyon için sıcaklığın etkisini ortaya koymak için yapılan çalışmalarda optimum sıcaklık 40 °C ile 50 °C arasında bulunmuştur (Clark vd, 1978; Kuter vd., 1985; Hamoda vd., 1998; Tuomela vd., 2000).

Yüksek reaksiyon hızları için aşırı yüksek sıcaklıklar gerekli değildir. Eğer materyaldeki sıcaklık 75 veya 85 °C'ye yükselirse, yüksek sıcaklık yüzünden reaksiyon hızı muhtemelen azalacaktır. Sıcaklığı azaltmak için havalandırma oranını artırmak veya karıştırma işlemini daha sık yapmak gerekir (Tosun, 2003).

3.2.3 Karbon/Azot Oranı (C/N)

Mikroorganizmalar yüksek yapılı bitkiler gibi besin maddesi olarak karbon, azot, kükürt, fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve küçük besin maddelerinden faydalanırlar. Azot hariç diğer bütün elementler evsel atıklarda yeteri kadar bulunduğundan kompostlaştırmanın devamı için C/N oranı büyük önem arz eder. Endüstri katı atıklarında ise durum biraz daha farklıdır. Bir üretim söz konusu olduğuna göre belirli bir elementin azlığı veya çokluğu söz konusu olmaktadır.

Karbon mikroorganizmaların büyümeleri ve enerji kaynağı için kullanılmaktadır. Aerobik ayrışmada karbonun bir kısmı CO₂ oluşturur, geriye kalan kısmı da azot ile beraber

mikrobiyal büyüme için kullanılmaktadır. Sonuç olarak karbon içeriği kompost yığnında sürekli düşmektedir.

Azot hücre materyallerinin, amino asitlerin ve proteinlerin sentezi için kullanılmakta ve mikroorganizmaların hücre materyallerinden sürekli geri dönmektedir. Hiçbir azot hücre içinde birleşim yapmamakta, mikroorganizma öldüğünde tekrar ortaya çıkmaktadır. Karbonun büyük bir kısmı kompost boyunca serbest kalmakta böylece C/N oranı sürekli düşmektedir.

Hızlı ayrışmanın olması için başlangıç karbon azot oranının 20 - 35 olması önerilmektedir (Epstein, 1997; Graves ve Hattemer, 2000; Tabasaran, 1979). Eğer C/N oranı 30'u geçerse, biyolojik aktivite yavaşlar ve prosesin tamamlanabilmesi için daha çok süreye ihtiyaç duyulur. Diğer taraftan, tam tersi bir durumda yani azot miktarı fazla ise, başka bir deyişle C/N oranı 25'in altındaysa, amonyak açığa çıkar bu da mikroorganizmalara zarar verir ve koku oluşmasına yol açar. Bu nedenlerle, eğer atıkların C/N oranı yüksekse atığa azotlu maddeler eklenerek bu oran düşürülür, yok eğer C/N oranı düşükse karbonlu atıklar ilave edilir (Diaz vd, 1993).

C/N oranı büyük olan bir organik maddenin toprağa verilmesi halinde topraktaki bulunan N miktarı organik maddenin parçalanması için yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla ayrışma işlemine katılan mikroorganizmalar, yeni hücre yapımı için ihtiyaçları olan azotu topraktaki kolay çözülen azot bileşiklerini alarak hücrelerini inşa ederler. Tersine olarak C/N oranının küçük olması halinde fazla azot, amonyak şeklinde dışarı çıkabilir. Her iki durum da azot kaybına, dolayısıyla toprağın fakirleşmesine yol açacağından istenmemektedir.

3.2.4 Su Muhtevası

Kompost olacak atığın içindeki gözeneği dolduran su ve hava birbiri ile ters orantılıdır. Su miktarının fazla olması halinde, boşluklar su ile dolacağı için, ortamdaki hava cereyanı engellenmiş olur. Evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında su muhtevası %50-60 olarak önerilmektedir.

Optimal su muhtevası katı atığın bileşimi ve yapısıyla yakından alakalıdır. İri parçalı, su emici ve samana benzer kısımları fazla olan materyalde bu değeri daha yüksek (% 85-90); kağıt, sebze, kül gibi toprağımsı kısımları çok olan katı atıklarda ise daha düşük tutmak gerekir. Çünkü fazla su muhtevasında çabukça sıkışabilir. Böylece hava geçişine engel olabilir. Neticede ortam anaeroba dönüşebilir. Bakterilerin faaliyetlerini devam ettirebilmeleri

için minimum nem oranı %12-15'dir. Nemin bu dereceye inmemesi gerekmektedir. Pratik kaide olarak akılda tutulacak olan değer, dane boyutu, vs. faktörlere göre değişmekle beraber nem oranı %45-55 arasında kalmalıdır.

3.2.5 Havalandırma ve Karıştırma

Aerobik kompostlaştırma için mikrobiyal aktivite oksijen varlığı ile mümkündür. Üç temel havalandırma yöntemi vardır: kütleyi fiziksel olarak karıştırma, konvektif hava akımı ve mekanik havalandırma. Statik sistemlere oksijen, bir üfleyici veya konvektif hava akımı ile temin edilirken, yığın sistemlerde ilk iki yöntemin ikisi de kullanılır. Pasif havalandırma olarak adlandırılan sonuncusu, tüm kütle hacminin porozitesine önemli derecede bağlıdır (Epstein, 1997).

Açık yığın halinde basit yöntemle kompostlaştırma için havalandırmayı sağlamak üzere öğütülmemiş atıklar 3.5-4 m, öğütülmüşler ise 1.8-2 m yükseklikte yığılabılır. Bunların uygun aralıklarda (2 haftada bir) kürekle veya iş makineleriyle aktarılması havalandırmayı sağlamaktadır. Nem oranı yüksek atıklar daha alçak, kuru olanlar daha yüksek yığınlar halinde yığılabılır. Bazı kapalı tipte kompost hücrelerinde yaklaşık 4 m³/saat-ton hava gerektiği imalatçılar tarafından bildirilmektedir.

Kompostlaştırmada havalandırma yeterli değilse anaerobik asit evresi meydana gelir. Böyle bir durumda çeşitli hidrolitik ve fermantatif bakteri popülasyonları polimerleri çözünebilir şekerlere, aminoasitlere, uzun zincirli karboksilik asitlere hidrolize eder. Bu ürünler ise ileri derecede mayalanma göstererek kısa zincirli karboksilik asitlere, karbondioksite, asetata, hidrojene ve alkollere dönüşür. Ayrışmanın son evresi (nötr pH'ta) mikroorganizmaların en karmaşık etkileşim gösterdiği evredir. Burada metajonik bakteriler metan üretir.

3.2.6 Mikroorganizmalar

Kompost prosesinde yer alan mikroorganizmalar bakteriler, mantarlar, aktinomisetler ve protozoalardır. Kompostlaştırma işlemi, nemli tutulan ve havalandırılan karışık organik atıklarda doğal olarak bulunan, kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Başlangıçta çoğunluğunu bakterilerin oluşturduğu mikroorganizmaların çoğalması sırasında ısı, CO₂ ve su buharı açığa çıkar. İlk aşamada mezofilik bakterilerle beraber aktinomisetler, maya ve diğer mantarlar; yağları, proteinleri ve karbonhidratları ayrıştırırlar. Sıcaklık 40-50 °C'ye ulaştığında kompostlaştırmayı başlatan organizmaların

hemen hemen tamamı ölür ve bunların yerini 70 °C sıcaklığa kadar dayanabilen ve ısı üretebilen termofilik bakteriler alır. Kompostun 60-70 °C sıcaklığa ulaşan kısımda, bir kaç sporun dışında temel olarak bütün patojenik organizmalar bir kaç saat içinde ölür. Termofilik bakteriler kendileri için mevcut besini tükettiklerinde ısı üretmeyi durdururlar ve kompost soğumaya başlar. Soğuyan kompostta, geriye kalan besinle beslenen, genellikle mantar ve aktinomisetlerden oluşan yeni bir grup organizma çoğalır (Uğurlu, 1995).

3.3 Kompost Stabilitesi ve Olgunluğu

Kompost kalitesini tarif etmek için kompost stabilitesi ve olgunluğu sık kullanılan terimlerdir. Kompost stabilitesi, ayrışmanın gerçek derecesi hakkında kesin bilgi verir ve genellikle maddenin mikrobiyal aktivitesi ölçülerek değerlendirilir. Olgunluk, kompostun tarımsal özellikleri ile ilgili bir terimdir. Stabilite organik maddedeki şartları, olgunluk ise maddenin kalitesini ifade eder.

Literatürde kompost stabilitesi ve olgunluğunu değerlendirmek için birçok yöntem bulunmaktadır. En yaygın kullanılan metotlar fiziksel testler, kimyasal analizler ve biyolojik ölçümlerdir.

Stabilite ve olgunluk tanımlanması ve ölçülmesi zor parametrelerdir. Kompost hiçbir çevresel etkiye sebep olmadan dokunulup, açık havaya depolanabildiği sürece yeterince stabil demektir. Kompost kalitesi, patojen ve fitotoksisite yokluğu, uygun pH, nütrient içeriği ve homojen bir yapı demektir. Kabul edilebilir olgunluk derecesine sahip ürün için uzun kompostlama periyoduna ihtiyaç vardır.

Haug (1980) tarafından stabilizasyon derecesini ölçmek ve kompost prosesinin şartlarını değerlendirmek için önerilen yaklaşımlar aşağıda verilmiştir:

- Kesikli kompostlaştırma sonunda sıcaklıktaki düşüş,
- Nihai ürünün kendi kendini ısıtma seviyesindeki düşüş,
- Uçucu katı madde içeriği, KOİ, karbon, kül içeriği veya karbon azot oranı olarak ölçülen kompostun organik madde içeriğinde azalma hızındaki düşüş,
- Oksijen tüketim hızında düşüş,
- Üründe nitrat gibi azot bileşenlerinin varlığı ve amonyak ve nişasta gibi bileşenlerin kalmaması,
- Nihai üründe böcek ve larvalarının çoğalması,

- Toprak kokusunun hakim hale gelmesi ve ıslatıldığında tekrar koku üretme potansiyeli,
- Redoks potansiyelindeki yükselme,
- İşletmecinin tecrübesi.

Kompost stabilitesini ve olgunluğunu değerlendirmede kullanılan metotlar Çizelge 3.1’de verilmiştir (Epstein, 1997).

C/N oranı kompostun stabilitesinin göstergesi için kullanılmaktadır. Bu oran 20’nin altında ise stabil kompost olarak varsayılmaktadır. Keller (1961)’e göre C/N oranı kompostun geniş çeşitliliğindeki stabilite göstergesine bağlı olarak güvenilir değildir. Olgunlaşmış bir kompostta C/N oranı yaklaşık 10 civarındadır (Mathur, 1991).

Amonyanın olması kompostun olgunlaşmadığının göstergesidir. Nitratın olması iyi olgunlaştığının göstergesidir. Tek başına azot türleri yeterli değildir. NH_4^+ / NO_3^- iyi bir göstergedir (Tosun, 2003).

pH, biyolojik aktivitenin göstergesi olarak başlangıçta düşer, daha sonra 6,5-7,5 seviyesine yükselir. Kompostun stabilitesi ve olgunluğu açısından iyi bir gösterge değildir.

Kasyon değişim kapasitesi (CEC), inorganik veya organik partiküllerin sorblama yeteneğinin veya onların yüzeylerinde kalan kationların bir göstergesidir. Çoğu kationlar (K, Ca, Mg vb.) önemli bitki nütrientleri oldukları için CEC ne kadar yüksekse partiküllerin bu nütrientleri tutma yeteneği o kadar fazladır. Aerobik kompostlaştırmada 5-8 hafta süresince CEC değeri yaklaşık olarak 40 meq/100 gr’dan 80 meq/100 gr’a kadar artmakta ve sonra aynı kalmaktadır. CEC ve C/N oranı arasında yüksek oranda negatif korelasyon mevcuttur. Olgunluğun göstergesi olarak minimum değer 60 meq/100 gr kabul edilebilir.

Kompostun olgunluğunu belirlemede kullanılan basit ve ucuz testlerden biri Dewar Kabı (kendi kendine ısıtma) testidir (Brinton, vd., 1993). Bu metotta kompost alınır ve oda sıcaklığı seviyesine kadar soğutulur. Daha sonra çift katlı, dışarı ile ısı alışverişi olmayan Dewar Kabına konulur. Kap içinde numunenin sıcaklığının yükselmesi kompostun stabilitesinin bir göstergesidir. Kap içinde sıcaklık artışı ile kompostun stabilitesi arasında ters bir ilişki vardır. Sıcaklık yüksek ise stabilite düşüktür. Eğer kompostun sıcaklığı çevre sıcaklığından 20 °C daha fazla olur ise depolanabilir, yalnız sürekli olan mikrobiyal aktivite probleme sebep olabilir (anaerobik ayrışma, koku problemi ve fitotoksik bileşikler).

Kompostun stabilitesinin diğer bir ölçümü CO₂ kaybı oranı yani ayrışma oranının belirlenmesidir. 24 saat boyunca 34 °C’de organik karbonun solunumla ilişkisi ağırlık kaybı ölçülerek bulunur. Düşük miktarda CO₂ ileri derecede humifikasyon ve stabilitenin göstergesidir.

Çizelge 3.1 Kompost stabilite ve olgunluğunun tayininde kullanılan parametreler (Epstein,1997)

<i>Metot</i>	<i>Analizler</i>
Kimyasal metotlar (Az zaman gerektirir)	C/N
	Azot türleri (TKN, NH ₄ ⁺ -N, NH ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N)
	TOC
	Organik madde
	Toplam PO ₄ -P
	pH
	Katyon değişim kapasitesi
	Uçucu organik asitler
	Organik kimyasal bileşenler (selüloz, lignin, şeker, hidrokarbonlar vb.)
	Asetik asit
	Nişasta –iyot
	Reaktif karbon
	Hümikleşme parametreleri
	Hümikleşme indeksi
	Pulvik asidin hümik aside göre nispi konsantrasyonu
	Hümik madde
	Fonksiyonel gruplar
Fiziksel	Sıcaklık
Metotlar	Renk, koku, spesifik ağırlık
	Nem

<i>Metot</i>	<i>Analizler</i>
	Floraslan
Bitki Testleri	Tere tohumu
	Buğday ve çavdar otu filizlenmesi
	Kök rengi
Mikrobiyolojik testler ve aktivite	Solunum-O ₂ tüketimi
	Solunum -CO ₂ değişimi
	Mikrobiyal değişimler (mantar, aktinomisetler)
	Enzim aktivitesi
Mikronütrientler	Cu
	Ni
	Mo
	Fe
	Zn
	Mg
	Na
	K
Ca	
Kalorifik değer	

Kompostda mevcut uçucu organik asitlerin belirlenmesi diğer bir stabilite göstergesidir. Stabil, yüksek kalitede kompost asetik ve bütirik asit gibi uçucu organik asit içermez. Bu asitlerin mevcudiyeti anaerobik fermantasyonun, koku probleminin, fitotoksisitenin ve stabil olmayan bir durumun göstergesidir.

Kompost stabilitesinin en önemli göstergesi bitkilere olan etkisidir. Fitotoksisite (bitkilerin zehirlenmesi) yüksek oranda ağır metal seviyesi, toksik bileşikler, organik asitler ve aynı zamanda kompostun oksijen ihtiyacından kaynaklanmaktadır.

Kompostda sıcaklık, birkaç günde 60-70 °C'ye ulaşır. Birkaç gün dalgalanmadan sonra dereceli olarak ortam sıcaklığına kadar düşer, bu nokta stabilitenin ifadesi olarak düşünülebilir.

Olgun kompost koyu kahverengi olup kokusu orman toprağına benzemektedir. Olgun kompostta renk proses boyunca kahverenginden siyaha doğru gözlemlenmektedir. Olgun kompostta toprak kokusuna eser miktardaki gaz bileşikleri sebep olmaktadır. Bu bileşikler fungi ve aktinomisetler tarafından üretilir (Becker, 1995). Olgun kompostun özgül ağırlığı artar, olgun kompostda bu değer 0,5-0,9 kg/L'dir. Verilen aralıklar geniş olduğu için stabilite için tam bir ölçü değildir.

3.4 Kompostun Kullanım Alanları ve Faydaları

3.4.1 Kullanım Alanları

- Kompostun kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:
- Tarla, bahçe uygulamaları, seracılık, meyvecilik, fidanlık, çiçekçilik ve şifalı bitki dikimlerinde,
- Golf sahaları, peyzaj çalışmaları, çim sahaları, parklar ve oyun alanları, yol kenarları, mezarlıklar ve askeri tesislerde,
- Maden çıkarılmış alanlar, eski kum ve çakıl ocaklarının rehabilitasyonunda, erozyon kontrolünde,
- Koku gideriminde filtre malzemesi olarak,
- Düzenli depolamada son örtü malzemesi olarak,
- Yanmış orman alanlarının rehabilitasyonunda.

3.4.2 Kompostun Faydaları

- Kompostun faydalarından bazıları aşağıda sıralanmıştır:
- Organik katı atıkların biyolojik olarak stabil son ürünlere dönüşümü,
- Elde edilen ürünün tarımda, bahçecilikte ve diğer alanlarda (toprak iyileştirme, organik gübre ve peyzaj çalışması gibi) kullanılması,
- Atıktaki patojen bakterilerin etkin biçimde giderilmesi,
- Düzenli depo sahalarında bertaraf edilecek atık miktarının azaltılması,
- Toprak erozyonu kontrolünün sağlanması,

- Zeminin boşluk hacmini artırması, havalandırılmasını kolaylaştırması ve su tutma kabiliyetini artırması,
- Zor işlenen toprakların kolay işlenmesini sağlaması,
- Yüksek mineralli gübrelemeye karşı tamponlama görevi yapması ve böylece bitkilerin zarar görmesinin önlenmiş olması,
- Besin maddelerinin daha iyi kullanılması,
- Gübre tüketiminin azaltılması, bu yolla çevre kirliliğinin azaltılmasının ve ekonomik giderlerde tasarrufun sağlanması (Baştürk, 1979).

3.5 KOMPOST KALİTESİ

Kompostun kalitesi söz konusu olduğunda üzerinde durulan önemli parametreler, ağır metal içeriği, nütrient içeriği ve bitki gelişim kapasitesi, patojen mikroorganizma varlığı, fiziksel ve kimyasal kompozisyonu (dane boyutu, pH, çözünür tuzlar, yabancı maddeler vb.) ve yabancı ot tohum varlığı şeklinde sıralanabilir. Kompost kalitesi için en çok üzerinde durulan parametre, ağır metal içeriğidir.

Kompostun kalitesi genellikle inert içerik ile ilgilidir: Evsel çöp kompostu (inert <6% kuru madde), iyi kalitede şehir çöp kompostu (inert<15-20% kuru madde), orta kalitede şehir çöp kompostu (inert<25-30% kuru madde) (Tosun, 2003).

3.5.1 Kompostlaştırma Prosesi İçin Kullanılan Hammaddeler

Kompost yapılacak maddelerin seçimi çok önemlidir, çünkü bunların kompost kalitesi üzerine direkt etkisi vardır. Kompostlamanın amacı organik atıkların bertarafı değil daha yüksek kalitede ürün elde etmektir. Bu nedenle kompostlaştırma için iyi hammadde seçimi kesinlikle çok önemlidir.

Kompostlaştırma için çok sayıda organik atık kullanılmaktadır. Bunlar zararlı madde içerme olasılıklarına bağlı olarak çeşitli kategorilere ayrılabilirler. Gıda ve içki endüstrileri atıksu arıtım çamurları gibi maddeler ön inceleme gerektirir. Hiçbir nütrient içeriğine sahip olmayan maddeler veya ağır metal kirliliğine sahip olanlar kompostlaştırma için kullanılamaz.

Kompostlaştırmada kullanılabilir maddeler;

- Tarımsal yan ürünler (boyalı tahtalar hariç),

- Balıkçılık yan ürünleri (atıksu arıtımından gelen çamur hariç),
- Hayvansal atıklar (İnsan dışkı, hayvan gübresi dahil),
- Gıda atıkları (kompostlaştırmadan sonraki tuz (NaCl) içeriği %1'den az olmak koşulu ile),
- Gıda üretimi ve marketlerinden gelen bitki ve hayvan atıkları (atıksu arıtım çamuru hariç),
- İçki ve tütün üretiminden ileri gelen bitki ve hayvan atıkları (atıksu arıtım çamuru hariç),

olarak sıralanabilir.

İncelemeden sonra kullanılabilen maddeler ise;

- Balıkçılık gibi gıda proseslerinden gelen atıksuların arıtma çamuru,
- İçki ve sigara üretiminden gelen atıksuların arıtma çamuru,
- Kağıt endüstrisi yan ürünleri ve atıksu arıtma çamuru,
- Kırsal alanlardan gelen arıtma çamuru,
- Yüksek seviyede bitkisel nütrientlere sahip maddeler,

olarak sıralanabilir.

Bu maddeler kompostlaştırma prosesi için ham madde olarak kullanılmadan önce toprağı ve kompostu kirletme olasılıklarından dolayı kimyasal bileşenleri belirlenmek üzere incelemeye geçirilmelidir.

- İlaç üretimi gibi endüstriyel ve kimyasal proseslerden gelen atıksu arıtma çamuru ve yan ürünleri,
- Aşağıdaki proseslerin üretiminden gelen atıksu arıtma çamurları ve yan ürünleri,

- 1) Kauçuk ve plastik üretimi
- 2) Metal ve metal türevleri
- 3) Petrol
- 4) Deri ve post
- 5) Otomobil ve diğer ulaşım
- 6) Çamaşırhane
- 7) Boya ve basım
- 8) Elektrik ekipmanları ve bileşenleri
- 9) Kentsel ve endüstriyel çöp

Yukarıdaki organik atıklara benzer tüm maddeler ise kompostlaştırmada kullanılmayan maddeleri oluşturmaktadır (Myung ve Youn, 1997).

Organik atıklar üç kategoriye ayrılır. Çizelge 3.2’de organik atık kategorileri verilmiştir.

Çizelge 3.2 Organik atık kategorileri (Myung ve Youn, 1997)

<i>Kategori</i>	<i>Temel Kriterler</i>
	Tarımsal açıdan hiçbir zararlı etkiye sahip olmayan organik atıklar
İvedi olarak kullanılabilen maddeler	Balıkçılık, ekin ve çiftlik hayvanları prosesleri yan ürünleri
	Herhangi bir zararlı madde içermeyen organik atıklar
İncelemeden sonra kullanılabilen maddeler	İnceleme gerektiren organik atıklar
	Endüstriyel prosesler ve atıksu arıtım çamuru
Kullanılmayan maddeler	Hiçbir besin değeri olmayan inorganik çamur veya maddeler

3.5.2 Türkiye’de Kompost Kalite Kriterleri

31/05/2005 Tarih ve 25831 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği"nde verilen sayılı Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Madde 14’e göre kompostun toprakta kullanılabilmesi için,

- C/N oranının 35 den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktörde komposta azot beslemesinin yapılması,
- Kompostun, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az % 35’ i oranında olması,
- Piyasaya sürülen kompostun su muhtevası oranının % 50’ yi geçmemesi,
- Piyasaya sürülen kompost içinde cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığın % 2’sini geçmemesi,
- Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en az altı aylık aralarla, ihtiva ettikleri kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden analizlerinin yapılması,
- Kompostun kullanılacağı toprağın, EK II-A’daki Toprak Analiz Belgesi’nde yer alan parametre analizlerinin on iki ayda bir belgelendirilmesi,

- g) Toprak ve kompost numunelerinin usulüne ve tekniğine uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
- h) Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin EK I-A(a) da yer alan değerleri aşması halinde söz konusu toprakta kompostun kullanılmaması,
- i) Kompostun toprakta 10 yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, ağır metaller itibari ile toprağa verilen yükün EK I-C’de verilen değerleri aşmaması gerektiği ifade edilmektedir.

Çizelge 3.3’te topraktaki ağır metal sınır değerleri, Çizelge 3.4’de kirlenmiş toprakta arıtma sonucu uyulması gereken sınır değerler ve Çizelge 3.5’de toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri verilmiştir. Çizelge 3.6’da çeşitli ülkelerde kompost için istenen ağır metal değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 Topraktaki ağır metal sınır değerleri

<i>Ağır Metal (Toplam)</i>	<i>pH 5- 6 mg/kg Fırın Kuru Toprak</i>	<i>pH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak</i>
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır*	50 **	140 **
Nikel*	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Civa	1 **	1,5 **

*pH değeri 7’den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50’ye kadar artırılabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Çizelge 3.4 Kirlenmiş toprakta arıtma sonucu uyulması gereken sınır değerler

<i>Kirlilik Parametreleri</i>	<i>Sınır Değerler</i>
Klorür İyonu (mg Cl - /l) (Toplam)	25
Sodyum (mg Na/l)	125
Kobalt (mg/kg Fırın Kuru Toprak)	20

<i>Kirlilik Parametreleri</i>	<i>Sınır Değerler</i>
Arsenik	20
Molibden	10
Kalay	20
Baryum	200
Florür	200
Serbest siyanid	1
Kompleks siyanid	5
Sülfür	2
Brom	20
Benzen	0,05
Bütil benzen	0,05
Toliol	0,05
Xylol	0,05
Fenol	0,05
Selenyum	5
Talyum	1
Uranyum	5
Polisiklik aromatik hidrokarbon bileşikleri	5
Organo klorlu bileşikler	0,5
Tarımsal Mücadele İlaçları –Bireysel	0,5
Tarımsal Mücadele İlaçları –Toplam	2
PCB Poliklorlandırılmış bifeniller	0,5
Hexaklor benzol	0,1
Pentaklor benzol	0,1
Ψ- HCH (lindan)	0,1

Çizelge 3.5 Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri

<i>Ağır Metal (Toplam)</i>	<i>Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl, kuru maddede) *</i>
Kurşun	1500
Kadmiyum	15
Krom	1500
Bakır	1200
Nikel	300
Çinko	3000
Civa	10

* Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Çizelge 3.6 Çeşitli ülkelerde uygulanan kompost ağır metal limitleri (mg/kg kuru kompost) (Poggi-Varaldo vd., 1999)

<i>Ağır metaller</i>	<i>Almanya</i>	<i>Belçika</i>	<i>Kanada</i>	<i>Fransa</i>	<i>İsviçre</i>
Cu	150	100	100	-	150
Zn	400	1000	500	-	500
Mo	-	-	5	-	5
Co	-	-	34	-	25
Cd	2	5	3	8	3
Ni	50	50	62	200	50
Pb	200	600	150	800	150
Hg	1	5	0,8	8	3
Cr	150	150	210	-	150
As	-	-	13	-	-
Se	-	-	2	-	-

3.6 İSTANBUL KATI ATIK GERİ KAZANMA VE KOMPOST TESİSİ

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nce, Kemerburgaz Beldesi Kısırmandıra Köyü mevkiinde bulunan terk edilmiş maden ocağında kurulan Katı Atık İşleme (Kompostlaştırma ve Geri Kazanma) Tesisi'nin kapasitesi 1000 ton/gün'dür. Tesisin boyutlandırılmasında kullanılan atık kriterleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

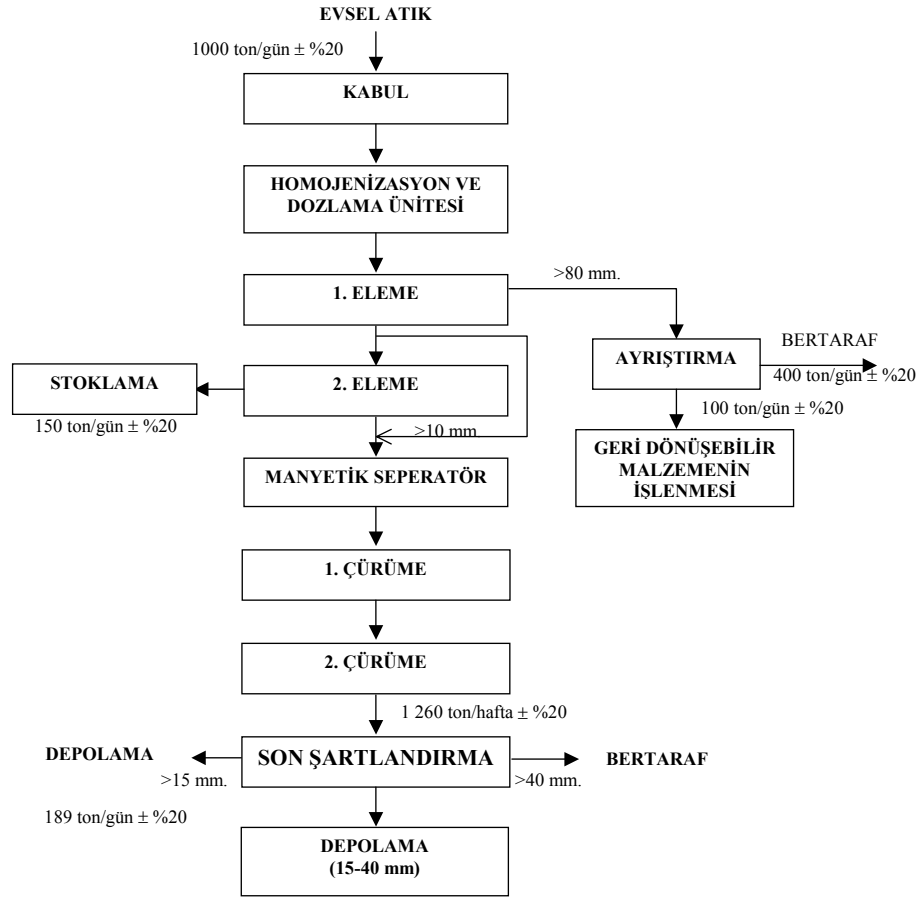
Çizelge 3.7 Geri kazanım ve kompost tesisinin boyutlandırılmasında kullanılan atık kriterleri

<i>Özellik</i>	<i>Değer</i>
Ortalama su muhtevası, (%)	55
Organik madde oranı, (%)	45 (%90, 10-80 mm arası)
Kül oranı, (%)	15
Toplam tesise gelecek katı atık miktarı	300000 ton/yıl
Fermantasyon ünitesine gelecek katı atık miktarı	150000 ton/yıl
Kompostlaştırma süresi	56 gün
Kompost kalitesi	4 M-10* standardınca kompost sıcaklığı

*LAGA (Landerarbeitsgemeinschaft Abfall) Merkblatt M 10, "Alman kompost kalite standardı", 1997

3.6.1 Tesise Ait Birimler

İstanbul'da Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde ortaya çıkan yaklaşık 10.000 ton/gün evsel katı atığın 1000 ton/gün'lük kısmı İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından organik atıkların değerlendirilmesi ve atıkların ekonomik değeri olan kısmının geri kazanılması amacıyla Eyüp ilçesi Kısırmandıra köyü sınırları içerisinde kurulan geri kazanım ve kompostlaştırma tesisinde geri kazanılabilen atıkların değerlendirilmesi planlanmıştır. Tesis, atığın içinde bulunan spesifik bileşenleri geri kazanma maksadına yönelik olarak parçalara ayıran mekanik katı atık ayırma kademesi ile zemin şartlandırıcı olarak organik malzemenin aerobik fermantasyonla ayrışmasının sağlanıp kompost üretiminin gerçekleştirildiği biyolojik kademedden oluşmaktadır. Tesise ait proses akım şeması Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Kompost tesisine ait proses akım şeması

Tesis; atık kabul, homojenizasyon ve dozlama ünitesi, ön şartlandırma, ayırma ve geri kazanma, kompostlaştırma ve son şartlandırma bölümlerinden oluşmaktadır.

3.6.1.1 Atık kabul ve homojenizasyon dozlama ünitesi

Tesise gelen katı atıklar kapakları fotoselli olarak sadece boşaltma anında açılan 14 adet boşaltma bölümünden %1 eğimli bunkere boşaltılmaktadır. Buradan besleme hunisine taşınan atıklar günlük olarak işlenmesine rağmen boşaltma bölümü 2 günlük atığı depolayacak kapasitededir.

3.6.1.2 Ön şartlandırma bölümü

Ön şartlandırma birbirine paralel ve aynı özelliklerde olan iki hattan oluşmaktadır. Besleme hunisine gelen katı atıklar, zincirli konveyör ardından bant konveyör vasıtasıyla, her biri 3,35 m çapında, tambur uzunluğu 12,47 m, delik çapı 80 mm ve eğimi 2° olan iki adet döner eleğe taşınır. 80 mm'lik döner elekten geçen atıklar kompost tesisine gitmeden önce manyetik

seperatör vasıtasıyla atık içerisindeki metal parçalar ayrılır. 80 mm üzeri atıklar ise yine bantlar vasıtasıyla elle ayırma kısmına gider. Eleklere ait teknik özellikler Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 80 mm’lik eleğe ait teknik özellikler

<i>Özellik</i>	<i>Değer</i>
Maksimum atık kapasitesi, ton/saat	66,5 ton/saat
Çap, m	3,35
Elek uzunluğu, m	9,57
Tambur uzunluğu, m	12,47
Delik çapı, mm	80
Eğim	20
Elek hızı, devir/dakika	10
Tambur tahriki için elektrik gücü, kw	44

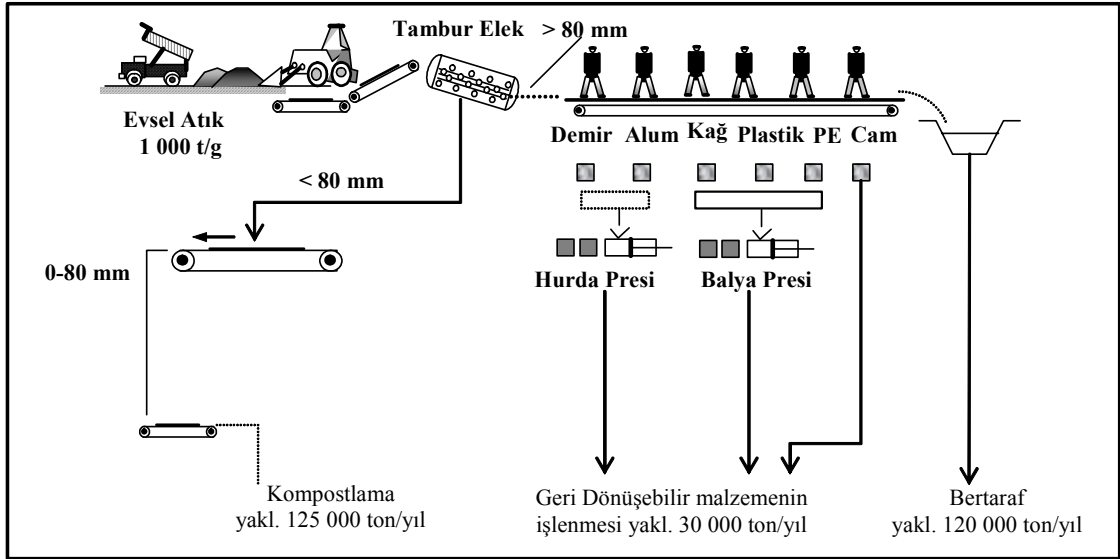
3.6.1.3 Ayırma ve geri kazanma bölümü

80 mm’lik elekten çıkan elek üstü malzeme konveyör bantlar vasıtasıyla elle ayırma bölümüne gelir. Bu bölümde, çeşitli sentetik maddeler (PET, HDPE, PVC), metaller (Alüminyum, demir, vs.), kağıt ve cam gibi değerlendirilebilecek malzeme elle 14 adet bunkere atılır. Değerlendirilemeyen malzeme ise bertaraf sahasına gönderilir. Bunkerlerde biriken plastik ve kağıtlar balya presinde, metal ve alüminyumlar ise hurda presinde preslenip hacim küçültülerek satışa hazır hale getirilir. Burada kullanılan preslere ait teknik özellikler Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Balya ve hurda prese ait teknik özellikler

<i>Özellik</i>	<i>Balya pres</i>	<i>Hurda pres</i>
Giriş kapasitesi, m ³ /saat	170-360	20
Balya boyutları, mm	1100×750	450×450
Uzunluk, mm	450-650	200-300
Motor gücü, kw	30	22

Ön işleme bölümüne ait akım şeması Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4 Ön işleme tesisi akım şeması

3.6.1.4 Kompostlama bölümü

Proses tamamen birbirinden bağımsız iki hattan oluşmaktadır. Her bir bölümde birer adet serme makinesi ve karıştırma-harmanlama makinesi bulunmaktadır. Manyetik seperatörden geçen 80 mm altı organik madde bantlar vasıtasıyla serme köprüsüne yönlendirilir. Serme köprüsü fermantasyon ünitesinde boyuna hareket ederken, hareketli bant enine hareket ederek tüm atıklar alana düzgün bir şekilde serilir. Bu şekilde oluşturulan yığın yüksekliği otomatik olarak kontrol edilir. Karıştırma-harmanlama makinesi Wendelin tipi olup, fermantasyon ünitesindeki atığı 1 hafta içerisinde aktarmaktadır. Çevirme işlemi sırasında malzeme homojen bir şekilde karıştırılmakta ve uygun bir şekilde nemlendirilebilmektedir. Tesis

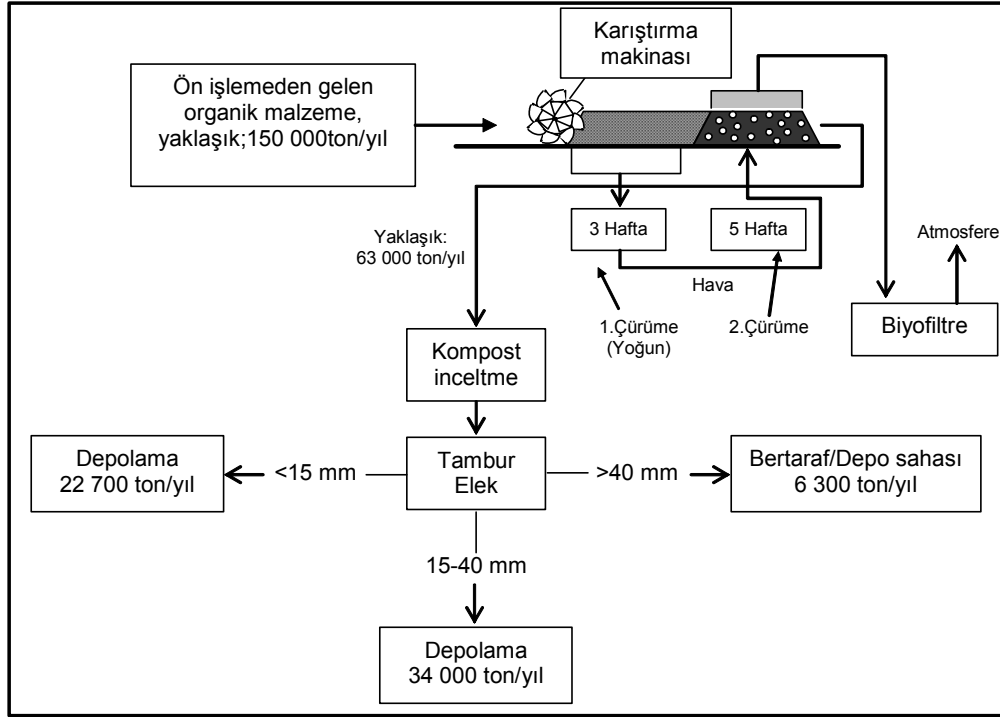
işletmeye alındıktan sonra yapılan nem analizlerinde fermantasyon ünitesindeki nem oranının ortalama %58-63 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Kompostlama ünitesi, 230 m uzunluğunda 35 m genişliğindedir. Bu ünite 1. Çürüme (yoğun çürüme) ve 2. çürüme kademesi olmak üzere 2 bölüme ayrılmaktadır. 1. bölüm tamamen paslanmaz çelikle kaplanmış olup bekletme süresi 3 haftadır. 1. Çürüme kademesi her kompostlaştırma hattı üzerinde 3 ayrı havalandırma bölümüne ayrılmıştır. Her bölüm bir fan tarafından havalandırılmakta olup; yığınların havalandırılması basınçlı olarak yapılmaktadır. 2. Çürüme bölümünde bekletme süresi 5 haftadır. Hava, 2. Çürüme holündeki yığınların içerisinden geçirilerek emilir ve 1. Çürüme kademesindeki yığınların havalandırılmasında kullanılır. Havalandırmanın derecesi ve süresi otomatik olarak ayarlanır. Yoğun çürüme bölümünden çıkan hava biyofiltreden geçirilerek atmosfere verilir. Ayrıca biyofiltreye temizlenmek üzere giden sıcak hava eşanjör sisteminden geçirilerek elle ayırma bölümünün ısıtılması sağlanır. Çizelge 3.10 Çürütme ünitesine ait teknik bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.10 Çürütme ünitesine ait teknik bilgiler

<i>Parametre</i>	<i>Özellik</i>
İşletme süresi	7 Aktarma işlemi ile 8 hafta
Çürüme alan sayısı	2 hat (Her bir hat 8 alandan oluşur)
Yığın yüksekliği	Düzenli işletmede 2,5 m, pik yükseklik 3 m
Karıştırma eni	31 m (maksimum)
Alan 1-3 ün havalandırılması	Basınçlı havalandırma
Alan 4-8 in havalandırılması	Emmeli havalandırma
Alan 2-8 in sulanması	Karıştırma esnasında nemlendirme

Patojen mikroorganizmaları gidermek için fermantasyon ünitesindeki sıcaklığın birkaç gün 60 °C'nin üzerinde tutulması gerekmektedir. Alanlarda sıcaklık arttığı zaman fanlanma süresi ve periyodu artırılarak sıcaklık düşürülmekte, sıcaklık düştüğü zaman ise havalandırma süresi ve oranı azaltılmaktadır. Şekil 3.5 Kompostlama sistemi verilmiştir.



Şekil 3.5 Kompostlama sistemi

3.6.1.5 Son Şartlandırma

Kompostlaştırma tesisinden gelen olgun kompost son şartlandırma bölümüne alınarak tambur elekte <15mm, 15-40 mm, >40mm olmak üzere üç ayrı fraksiyona ayrılır. Elek üzerinde kalan bölüm depo sahasına, geçen bölüm ise geçici olarak depolanmak üzere stok sahasına gönderilir. Elek kapasitesinin yetersiz kalması durumunda malzeme geçici olarak depolanır.

4. DÜZENLİ DEPOLAMA

Katı atık düzenli depo sahaları, atıkların sıkışması, iklim, su muhtevası gibi şartlarla kontrol edilen biyolojik, kimyasal ve fiziksel reaksiyonların meydana geldiği bir reaktör olarak düşünülebilir. Böyle bir reaktörde (Şekil 4.1) katı faz (atık), sıvı faz (sızıntı suyu) ve gaz fazı (biyogaz) olmak üzere 3 faz mevcuttur.



Şekil 4.1 Depo sahalarında madde dönüşümü

Amerika'da üretilen kentsel katı atıkların yaklaşık olarak %62'si düzenli depolama ile bertaraf edilmektedir (USEPA, 1994). Depolama sahası işletilmesinde, insan sağlığı ve çevreye olan potansiyel riskleri bulunmakta olup bu riskler:

- Organik ve metal bileşikleri ve patojenleri bünyesinde barındıran ve yer altı sularının kirlenmesine sebep olan sızıntı suyu oluşumu,
- Depolama sahaları taban örtüleri boyunca oluşan sızıntı suyu miktarının artmasına neden olan atık kütlelerinin yavaş stabilizasyonu,
- Uzun periyotlu saha ihtiyacı ve maliyeti,

olarak özetlenebilir.

Katı atık depolama tesislerinin yapım amacı; dizayn eden mühendis tarafından, yeterli ve sağlıklı bir depolamayı uygun bir maliyetle gerçekleştirmek olup, böyle bir sahaya yakın olan bir yerleşim için ise katı atıkların çevreye zarar vermemesi şeklinde açıklanabilmektedir.

Katı atıklar, sadece organik maddelerden oluşmazlar ve depolanan atıkların en önemli özelliklerinden biri, bu atıkların heterojenliğidir. Katı atıkların yaklaşık olarak %75'i ayrışabilir organik maddelerden oluşmakta olup, bu organik kısım yiyecek ve bahçe atıkları gibi kolay ayrışabilen maddeler, kağıt ve tekstil gibi yavaş ayrışabilen maddeler ve plastik gibi zor ayrışabilen maddelerden oluşmaktadır (Gendebien vd., 1992).

Çöp %75-80 oranında protein, lipit, karbonhidrat ve ligninden oluşan organik maddedir. Yaklaşık olarak bu maddelerin üçte ikisi biyolojik olarak bozunabilir maddedir. Biyolojik olarak bozunabilir kısım, kolay bozunabilen (gıda ve bahçe atıkları) ve orta derecede bozunabilen kısım (kağıt, tekstil ve tahta) olarak ikiye ayrılır.

Depolama sahası ekosistemi atığın heterojen yapısından ve işletme karakteristiklerinden dolayı çok çeşitlidir. Ekosistemin çeşitliliği stabilite sağlar ancak sistem sıcaklık, pH, toksinlerin varlığı, nem içeriği ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli gibi çevresel faktörlerden yoğun olarak etkilenir. Depo sahası başta organik madde olmak üzere elektron vericisi yönünden zengindir. Dominant elektron alıcısı karbondioksit ve sülfattır.

Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların öncelikle geri kazanılması esastır. Geri kazanmanın ekonomik ve teknik olarak mümkün olmaması halinde, atıklar çevre sağlığının korunması amacıyla öncelikle enerji üretimi veya kompost elde edilmesi maksatlarıyla termik veya biyolojik işlemlere tabi tutulmalıdır. Ancak termik veya biyolojik işlemlere elverişli olmayan veya bu işlemler sonucu yan ürün olarak ortaya çıkan atıkların depolanması zorunludur.

Katı atıklar, özellikle büyük şehirlerde önemli çevre problemlerine yol açmaktadırlar. Bu atıkları zararsız hale getirmek için kullanılan farklı yöntemler arasında düzenli depolama, ekonomik avantajlarına bağlı olarak atık bertarafında kullanılan en yaygın yöntemdir. Dünyada oluşan katı atıkların %95'i günümüzde depo sahalarında bertaraf edilmektedir. Düzenli bir depo sahasında atıklar ince tabakalar halinde yere serilir. Daha sonra hacimlerinin azaltılması için sıkıştırılır ve uygun bir malzeme ile üzerleri örtülür. Ayrışma prosesinin başlangıcında, ortamda gaz fazında oksijen (O₂) mevcutken, atık içerisindeki organik muhteva, aerobik bakteriler tarafından organik asitlere ve diğer kimyasal bileşiklere dönüştürülür. Çöp yığını üzerine daha fazla atık doldurulduğunda ya da toprak ile örtüldüğünde, bu aerobik bakteriler mevcut O₂'i hızla tüketirler. Bundan sonra ayrışma işlemi anaerobik bakteriler tarafından sürdürülür. Bütün bu faaliyetler sonucunda ortaya çıkan temel ürünler sızıntı suyu olarak adlandırılan bir sıvı, depo gazı olarak adlandırılan bir gaz ve stabilize olmuş atıklardır (Iglesias vd., 2000).

4.1 DÜZENLİ DEPO SAHALARININ TASARIMI VE İŞLETİLMESİ

Düzenli depo sahalarının tasarımı ve işletilmesi, depo gazı yönetimiyle çok yakından ilgilidir. Düzenli depolama sahalarının tasarımı ve inşası sırasında, depo gazı kontrol sistemi veya

depo gazı toplama ve yakma sistemi, ve sızıntı suyu toplama sistemlerinin de kurulması gerekmektedir. Depo sahalarının işletilmesi de depo gazı ve sızıntı suyu oluşumunu etkilemektedir. Bu nedenle, depo sahalarının öncelikle çok iyi bir şekilde tasarlanması, inşası ve en uygun ve ekonomik yolla işletilmeleri gerekmektedir (Pohland ve Al-Yousfi, 1994).

4.2 SAHA SEÇİMİ

Katı atık düzenli depo sahalarının halk sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerini minimize edecek şekilde tasarlanmaları gerekmektedir. Depolama yapılacak saha çok dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Saha seçiminde dikkat edilmesi gereken temel hususlar şunlardır:

- Alan ihtiyacı,
- Civardaki yapılar,
- Hidrojeolojik karakteristikler ve yeraltı suyu seviyesi,
- İklimsel şartlar,
- Örtü malzemesinin temin edilebilirliği,
- Yerleşim birimine uzaklık.

Katı atık depo sahalarında çevre kirliliği açısından en önemli problem sızıntı suyu oluşumudur. Her türlü kirletici parametreyi ihtiva eden sızıntı suyu, yüzeysel suların ve yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Sızıntı suyunun bu olumsuz etkisini önlemek için depo sahasının tabanı geçirimsiz hale getirilmesi gerekmektedir.

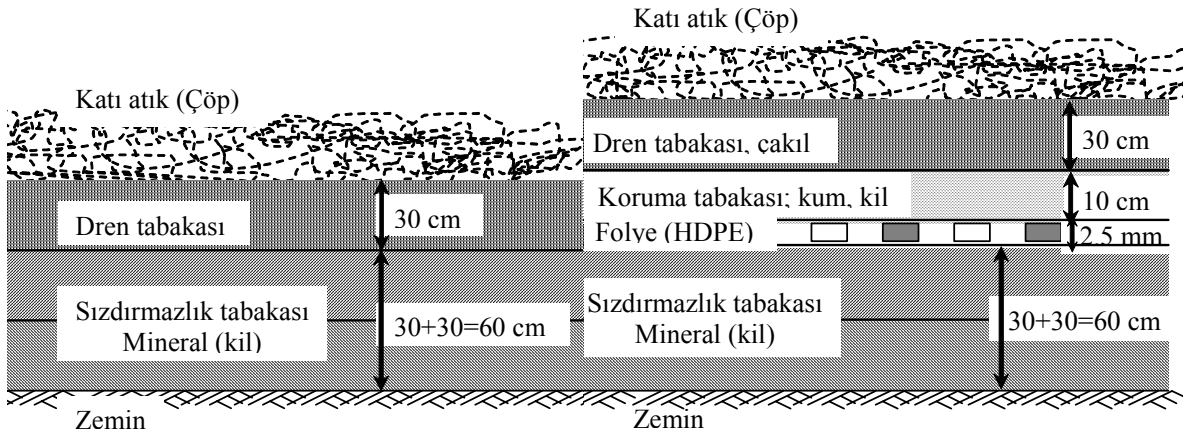
Yüzeysel ve yer altı sularına sızıntı suyu ve gazların sızmasını önlemek için saha tabanının uygun bir malzemeye örtülmesi gereklidir. Bu malzemeler kil ve bentonit (sodyum, kalsiyum, montmorillant), polimerler, çimento, uçucu küller veya asfaltik beton karışımı olabileceği gibi, klorlu polietilen (CPE), kloro sulfonat polietilen (CPSE veya Hipalon), etilen kopolimer bitümen (ECB), neopren, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen veya polivinil klorid (PVC) de olabilir (Gendebien vd., 1992). Sızdırmazlık tabakasının permeabilitesinin 10^{-7} cm/sn den küçük olması gerekmektedir.

Saha tabanının hazırlanması sırasıyla şu kademelerle gerçekleşir;

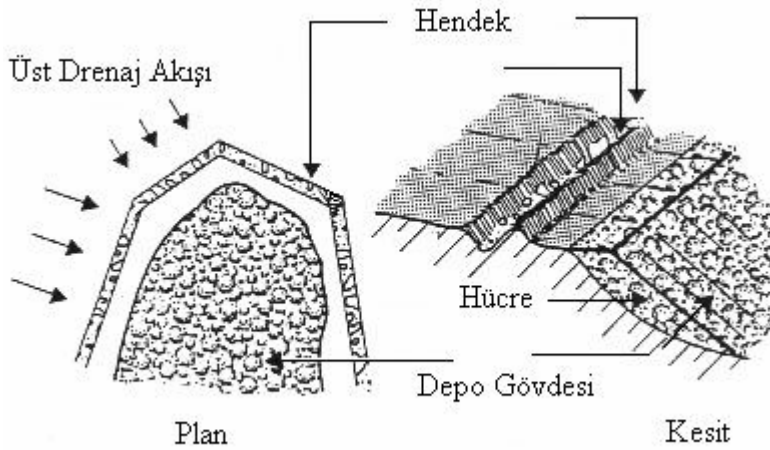
- Sahanın düzeltilmesi,
- Kontrol tabakasının altına uygun malzemenin serilmesi,
- Polimerik tabakanın serilmesi,

- Membranı çevresel etkilerden korumak için 30-40 cm kalınlığında iyi öğütülmüş bir malzemeye kaplanması.

Yüksek su muhtevasına sahip olan çöplerin suları, yağmur suyu ve kar erimesi ile oluşan sular depolama esnasında çöp suyu ile karışarak sızıntı suyunu oluştururlar. Oluşan bu sızıntı suları için gerekli tedbirler alınmadığı takdirde, bu suların yeraltı suyuna karışması tehlikesi söz konusudur. Saha tabanı hazırlanırken esas gaye, sızıntı suyunun depo sahasından dışarı çıkmasını engellemek olmalıdır. Kil ve geomebran tabakaları ile bunu sağlamak mümkündür. Şekil 4.2’de katı atık düzenli depo sahalarında kullanılan sızdırmazlık tabakaları gösterilmiştir. Şekil 4.3 Depo sahasından yüzey sularını hendeklerle uzaklaştırılması (Gendebien vd., 1992) görülmektedir. Ancak yer altı sularının toplanması bu kadar basit bir işlem değildir.



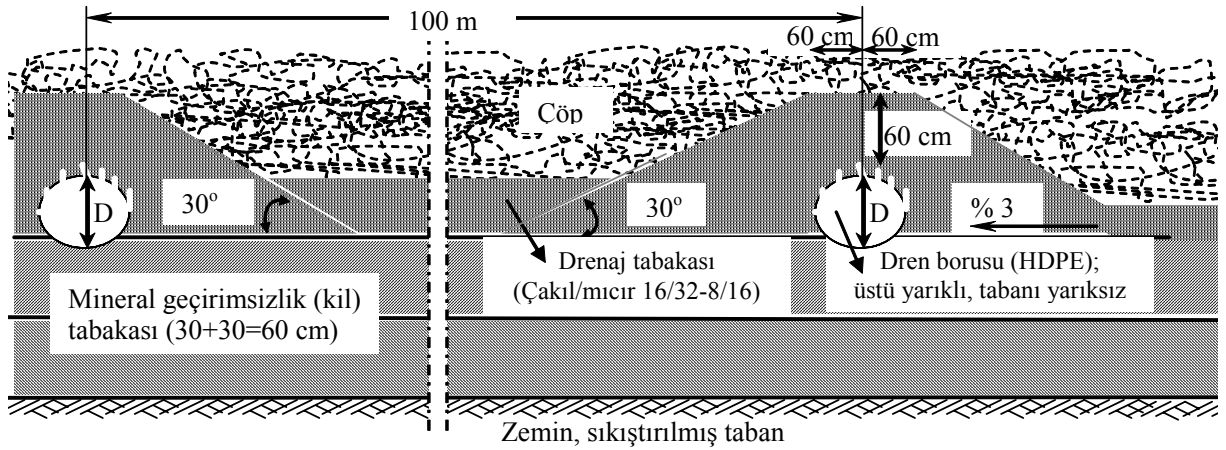
Şekil 4.2 Muhtelif depo tabanı geçirimsizlik sistemleri (Demir vd, 1999)



Şekil 4.3 Depo sahasından yüzey sularını hendeklerle uzaklaştırılması (Gendebien vd., 1992)

4.3 SIZINTI SUYU DRENAJ VE TOPLANMASI

Bir depolama alanının en önemli unsurlarından birisi sızıntı suyu toplama sistemidir. Sızıntı suyu toplama sistemi; yüksek geçirgenliğe sahip taneli malzemelerden oluşan bir drenaj tabakası ile sızıntı suyunu toplamak amacı ile yerleştirilmiş drenaj borularından meydana gelir. Sızıntı suyu toplama sisteminin fonksiyonunu yerine getirebilmesi için altında az geçirgenlikli bir sızdırmazlık tabakasının olması gerekir. Sızdırmazlık tabakasına eğim verilerek suyun drenaj tabakasına doğru yanal akımı sağlanır (Yuen, vd., 1997). Bu şekilde sızıntı sularının doğal zemine sızması önlenir. Saha tabanı tamamen geçirimsiz hale getirildikten sonra, bir drenaj sisteminin yapılması zorunludur. Klasik bir drenaj sistemi, boyuna bir dren borusuna enine boruların \pm %1 eğimle bağlanmasından oluşur. Drenleri korumak için kullanılmış lastiklerden faydalanılabilir. Sızıntı suyu toplama sistemi Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Sızıntı suyu toplama sistemi (Demir vd, 1999)

4.4 DÜZENLİ DEPO SAHALARININ İŞLETİLMESİ

Katı atıkların düzenli depolama yoluyla bertarafında çeşitli teknikler uygulanmaktadır. Sahanın yüzeyine ve hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak bu tekniklerden biri seçilebilir. Yaygın olarak kullanılan metotlar, hendek metodu, alan metodu ve hücre metodudur.

Hendek metodunda, 40-100 m uzunlukta, 1-2 m derinlikte ve 5-8 m genişlikte hendekler açılır ve çıkan toprak daha sonra örtü malzemesi olarak kullanılır. Atıklar, hendeklere ince tabakalar halinde yayılır ve sıkıştırılır. Killi, sızdırmaz zeminlerde ve küçük nüfuslu yerleşim

bölgelerinde uygulanır. Yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlarda az miktarda katı atık depolanır.

Alan metodu daha çok doğal çukurlarda uygulanır. Örtü malzemesinin genellikle başka yerlerden taşınması gerekmektedir. Aşırı miktarda sızıntı suyu olduğundan ve işletme sırasında kontrolün çok zor olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Hücre metodunda katı atıklar daha önceden hazırlanmış alanlara depolanır. Özellikle son yıllarda, ekonomik ve emniyetli olması sebebiyle, hücre metodunun kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

4.5 DÜZENLİ DEPO SAHALARINDA ATIKLARIN ANAEROBİK AYRIŞMASI

Düzenli depo sahalarında yapılan çalışmalarda atık stabilizasyonu beş ardışık ve birbirinden bağımsız faz ile gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu beş faz süresince üretilen sızıntı suyu miktarı, karakteristiği ve meydana gelen depo gazı bileşimi benzer olmayıp aynı zamanda depo sahası içinde gerçekleşen mikrobiyal prosesleri yansıtmaktadır. Çizelge 4.1’de depo sahalarındaki ayrışma safhaları boyunca sızıntı suyu özelliklerinde meydana gelen değişimler verilmiştir.

Çizelge 4.1 Depo sahası stabilizasyonu derecesinin bir fonksiyonu olan depo sahası bileşenleri konsantrasyon aralığı (Vesilind vd., 1998)

<i>Parametre</i>	<i>Değişim</i>	<i>Asit oluşumu</i>	<i>Metan fermantasyonu</i>	<i>Olgunlaşma</i>
Kimyasal oksijen ihtiyacı, mg/l	480-18000	1500-71000	580-9760	31-900
Toplam uçucu asitler, mg/l asetik asit	100-3000	3000-18800	250-4000	0
Amonyak, mg/l-N	120-125	2-1030	6-430	6-430
pH	6,7	4,7-7,7	6,3-8,8	7,1-8,8
İletkenlik, μ S/cm	2450-3310	1600-17100	2900-7700	1400-4500

Depo sahalarında gerçekleşen ayrışma safhalarının özellikleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Faz 1 - Başlangıç uyum fazı

Bu faz katı atıkların depo sahasına yerleştirilmesi ve depo sahası içinde nem birikmesi fazıdır. Bu periyot aktif mikrobiyal topluluk için yeterli nem toplanana kadar sürer. Biyokimyasal ayrışma için elverişli şartları sağlamak üzere çevresel bileşenlerde ön değişiklikler başlar.

Faz 2 - Değişim fazı

Bu fazda alan kapasitesi aşılmış, aerobik ortamdan anaerobik ortama geçiş başlamıştır. Oksijen tamamen tüketilmiştir. Elektron alıcısı olarak oksijenden nitrat ve sülfata geçiş olmuş, oksijenin yerini karbondioksit almıştır. Bu faz sonunda kimyasal oksijen ihtiyacı ve uçucu organik asitler sızıntı suyunda ölçülebilir konsantrasyona ulaşmaktadır.

Faz 3 - Asit oluşum fazı

Bu faz boyunca katı atıkların hidrolizi devam eder, biyolojik olarak bozunabilir organik içeriğin mikrobiyal dönüşümü hidrolizi takip eder, yüksek konsantrasyonda uçucu organik asit üretimi ile sonuçlanır. Genellikle pH'ta düşme gözlenir. Bu fazın baskın gerçekleri gözle görülür bir asit oluşturucu asitojenik bakteriler ile beraber biyokütle büyümesi, substrat ve nütrientlerin hızlı olarak tüketimidir.

Faz 4 - Metan fermantasyon fazı

Bu faz boyunca asitler metanojenik bakteriler tarafından tüketilerek metan ve karbondioksite dönüştürülür. Sülfat ve nitrat sırasıyla sülfid ve amonyağa indirgenir. pH değeri artma eğilimi gösterir ancak bikarbonat tamponlama sistemi ile kontrol altına alınır. Ağır metaller çökelme ve diğer kimyasal işlemlerle giderilir.

Faz 5 - Olgunlaşma fazı

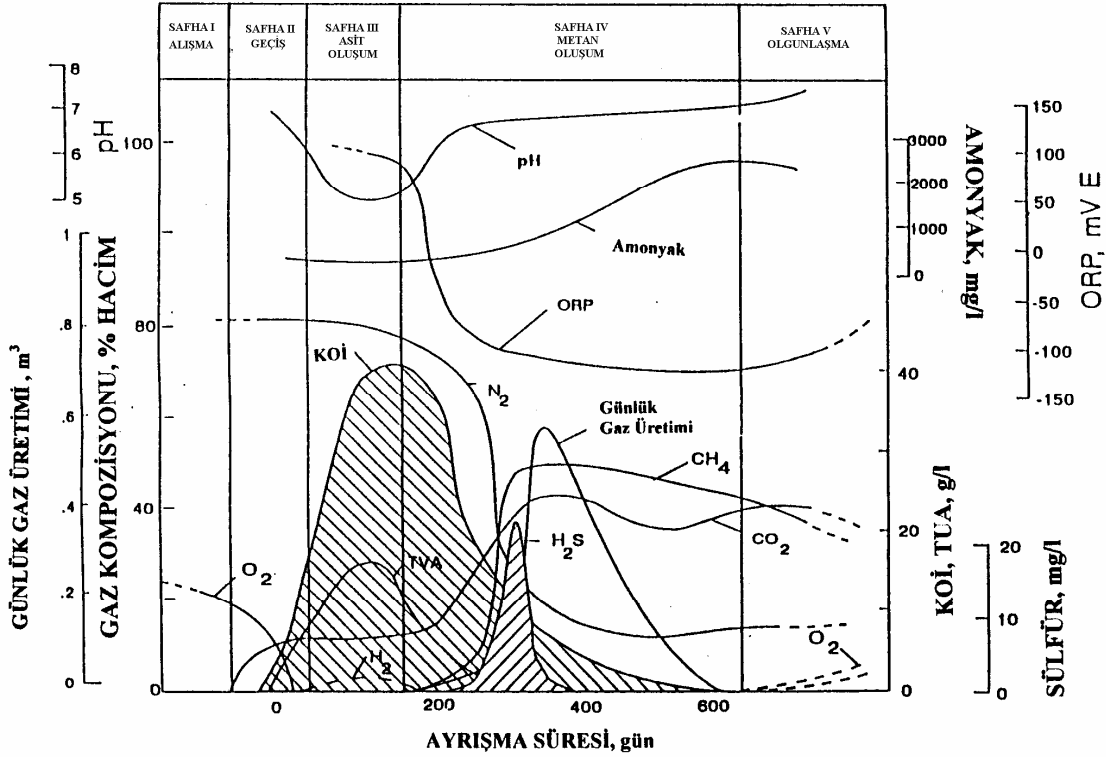
Depo sahası stabilizasyonunun son safhası olan bu fazda nütrientler ve mevcut substratlar, sınırlayıcı faktör haline gelir. Biyolojik aktivite yavaş yavaş sonlanır. Gaz üretimi düşer, sızıntı suyu kirleticileri daha düşük konsantrasyonlarda sabit kalır. Oksijen yokluğu ve okside olan türler gözlemlenmeye başlar. Dirençli organik kısmın yavaş bozunması devam eder. Depo sahasının stabilizasyonunun gidişatı depo sahasındaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlere, depolanan atığın yaşı ve karakteristiğine, işletme ve yönetim şekline ve daha spesifik dış şartlara bağlıdır.

Katı atıkların ayrışması fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerle gerçekleşmektedir (Cossu vd., 1997). Biyolojik prosesler en önemlileridir ve fiziksel ve kimyasal prosesleri kontrol eder (Ham, 1992).

Tipik bir depo sahasında gömülen atıkların (organik içeriği %60 veya daha fazla olan atıklar) büyük bir kısmı anaerobik koşullarda fermantasyon prosesleri ile bozunmaya uğramaktadır. Sızıntı suyu bu koşullarda oluşur ve asidiktir. Çözünebilir bileşenleri, hidrolize olmuş maddeleri ve çöpteki bozunan ürünleri çözer. Depolama sahası sızıntı suyu ve gazları insan sağlığı ve çevre üzerinde riskler oluşturmaktadır. Sızıntı suyunun sızması yeraltı suyu kalitesini bozmakta bölgedeki potansiyel su kaynaklarını etkilemektedir. Ek olarak depolama sahasındaki anaerobik şartlar kokusuz patlayıcı bir gaz olan metan gazı, buhar fazda uçucu organik bileşikler ve karbondioksit oluşumu ile sonuçlanmaktadır.

Depolama sahalarında üretilen toplam gazların yaklaşık %45'inden fazlasını metan gazı teşkil etmekte ve bu durum anaerobik depo sahası işletmecileri için önemli problemler oluşturmaktadır. Bu gazlar (CO_2 ve CH_4) toprak yüzeyi yağışlar sebebiyle doymun hale geldiğinde yüzeyin altına doğru hareket ederler. Anaerobik şartlarda önemli miktarda metan ve karbondioksit gazları ve bunun yanında daha düşük miktarlarda metan olmayan organik bileşikler oluşmaktadır ki bu depolama sahaları metan gazı oluşumundaki en büyük antropojenik kaynaktır. Depo gazı içinde bulunan metan olmayan organik bileşikler de sızıntı suyu toksisitesine ve yer altı suyu kirliliğine katkıda bulunurlar. Depo sahasında meydana gelen toksik sızıntı suyu yer altı suyu kaynaklarını etkiler ve ciddi sağlık problemlerine yol açar. Bütün bu problemler depo sahası işletmecilerine uzun dönemli sorumluluklar getirmektedir (Booker and Ham, 1982).

Katı atık depo sahalarında depolanan atıkların ayrışması beş safhada incelenebilir. Sızıntı suyu ve depo gazı özellikleri her safhada meydana gelen farklı mikrobiyolojik aktivitelerin sonucu olarak değişim göstermektedir. Şekil 4.5 Atıkların anaerobik ayrışma fazları ve bu fazlar boyunca sızıntı suyu ve depo gazı bileşenlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 4.5 Atıkların anaerobik ayrışma fazları

Katı atık düzenli depo sahalarında atıklar depolanıp üzeri örtüldükten hemen sonra, ortamda O_2 mevcut olduğundan, organik maddelerin ayrışması ilk etapta aerobik şartlar altında gerçekleşir. Bu aşamada basit şekerler hızla parçalanırken, lignin, tannin gibi doğal polimerlerin biyolojik ayrışması daha yavaş bir şekilde gerçekleşir. Bu safhada önemli miktarda kimyasal ara ürünlerle birlikte büyük çoğunluğu CO_2 ve amonyak (NH_3) olan ve içerisinde önemli miktarda su bulunan bir gaz karışımı oluşur. Atıklar depolandıktan hemen sonra ısı açığa çıkmaya başlar ve sıcaklık hızla artar. Daha sonra, atık içerisindeki O_2 hızla tükenir ve atıkların ayrışması anaerobik şartlar altında devam eder.

Nem muhtevası yeterli derecede yüksek ise ve ortamda yeterli miktarda mikroorganizma mevcut ise ortamdaki O_2 tükenir tükenmez anaerobik ayrışma safhası başlar. Katı haldeki organik karbon bir grup bakteri tarafından karbonun en kararlı iki hali olan CH_4 ve CO_2 'e dönüştürülür. Ancak, atık içerisindeki organik karbonun parçalanmasını sağlayan biyolojik prosesler daha karmaşıktır. Anaerobik mikrobiyal aktivite birbirini izleyen birkaç kademedен oluşur. Bunlar hidroliz, asit oluşumu, asetat oluşumu ve metan oluşumdur (Özkaya, 2004).

Yaşlı depolama sahalarından elde edilen atıklar üzerine yapılan incelemelerde çok uzun bekletme süreleri sonunda atık kütlelerinin önemli kısmının hiçbir değişime uğramadığı saptanmıştır (Ham, 1979; Qasim and Chiang,1994).

Depolama sahaları içindeki anaerobik şartlar, buhar fazda uçucu organik bileşikler, patlayıcı ve kokusuz bir gaz olan metan gazı üretimi ile sonuçlanır. Birleşik Devletler Yasası'na göre sera gazı kabul edilen metan depolama sahalarında oluşan gazların %45'inden fazladır. (USEPA, 1994). Bazı durumlarda depo gazında bulunan uçucu organik bileşikler yer altı suyu kirlenmesinin de kaynağı olarak kabul edilir . Depo sahalarında bu gazlar toplanmalı, kontrol edilmeli ve sürekli olarak izlenmelidir. Ancak bu şekilde bu gazların etkileri minimize edilebilir ve özel çevre mevzuatına uyulabilir. Metan gazı elektrik üretim kaynağı olarak kullanılabilir. İngiltere'de depolama sahalarında oluşan metan gazından elektrik elde edilmekte ve elektrik şebekesine gönderilmektedir.

4.5.1 Anaerobik Ayrışmayı Etkileyen Faktörler

Depo sahalarında ayrışmayı etkileyen temel faktörler oksijen, hidrojen, pH ve alkalinite, sülfat, nütrientler, sıcaklık ve nem muhtevasıdır. Çizelge 4.2'de söz konusu faktörler ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir (Yuen, 1999). Bu faktörlerden bazıları aşağıda özetlenmiştir.

4.5.1.1 Oksijen

Ortamda serbest oksijenin bulunmaması, anaerobik bakterilerin ayrışma proseslerini gerçekleşebilmesi için gerekli ve zorunlu bir şarttır. Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile anaerobik arıtma sürecini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden NO_3^- , H_2O_2 , SO_4^{2-} , vb. maddeler bakteri yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Metanojenik bakteriler, O_2 'e en duyarlı bakterilerdir. Oksijen depo sahalarında atık içerisine atmosferden difüzyon yolu ile girer. Ancak depo sahası yüzeyindeki aerobik bakteriler oksijeni tüketirler. Metanojenik bakterilerin spor oluşturan formu belirlenmemiş olmasına rağmen, metanojenik topluluklar ortama O_2 girişiyle tamamen yok olmazlar (Christensen ve Kjeldsen, 1989).

4.5.1.2 Hidrojen

Hidrojen fermentatif ve asetojenik bakteriler tarafından üretilir ve üretilen H_2 'in basıncı biyokimyasal dönüşümleri etkiler. Fermentasyon bakterileri, hidrojen basıncı düşük

olduğunda H₂, CO₂ ve asetik asit üretirken, yüksek H₂ basınçlarında ise H₂ ve CO₂ üretirler. Etanol, butirik asit ve propiyonik asit gibi organik bileşikler H₂ basıncı çok yüksek değilse asetojenik bakteriler tarafından da oluşturulabilir. Propiyonik asidin oluşabilmesi için H₂ basıncının 9*10⁻⁵ atm'in altında olması gerekmektedir. Yani H₂ basıncı yüksek ise propiyonik (ve bütirik) asit oluşacak fakat bu bileşikler daha fazla ayrılmayacaktır. Hidrojen, metanojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler tarafından tüketilir. 10⁻⁵ atm'den düşük basınçlar, H₂ ve CO₂'den CH₄ oluşumu için uygundur (Christensen ve Kjeldsen, 1989).

Çizelge 4.2 Depo sahalarında ayrışmayı etkileyen faktörler

Etkileyen Faktör	Kriter/Yorum	Referans
Nem	Optimum nem içeriği :	%60 ve üzeri Pohland,1986 ; Rees,1980
Oksijen	Metan oluşumu için optimum redoks potansiyeli;	-200mV Farquar & Rovers,1973 -300mV Christensen&Kjeldsen,1989 (-100m. Altta) Pohland,1980
pH	Metan oluşumu için optimum pH ;	6-8 Ehrig,1983 6,4-7,2 Farquar & Rovers,1973
Alkalinite	Metan oluşumu için optimum alkalinite: 2000 mg/L Metan oluşumu için maksimum organik asit konsantrasyonu: 300mg/L Metan oluşumu için maksimum asetik asit/alkalinite oranı: 0,8	Farquar & Rovers,1973 Farquar & Rovers,1973 Ehrig,1983
Sıcaklık	Metan oluşumu için optimum sıcaklık;	40° Rees,1980 41° Hartz et al.,1982 45 34-38°C Matta-Alvarez et al.,1986
Hidrojen	Asetik asit oluşumu için hidrojenin kısmi basıncı;	< 10 ⁻⁶ atm. Barlaz et al.,1987
Nütrientler	Bölgesel heterojenlikler hariç çoğu depo sahasında yeterli miktarda nütrient mevcuttur.	Christensen&Kjeldsen,1989
Sülfat	Sülfat artışı metan oluşumunu engeller	Christensen&Kjeldsen,1989
İnhibitörler	İnhibisyon oluşturan katyon konsantrasyonları (ppm); Sodyum Potasyum Kalsiyum Magnezyum Amonyum (toplam) Ağır metaller; Depo sahalarında önemli bir etkisi yoktur. Organik bileşikler; Önemli miktarlarda yalnızca engelleyici etkisi vardır.	McCarty&McKinney,1961 Ehrig,1983 Christensen&Kjeldsen,1989

4.5.1.3 Amonyak

Anaerobik ayrışma ürünü olan amonyum; protein, üre ve aminoasit içeren organik maddelerin hidrolizi sonucu açığa çıkar ve sulu çözeltilerde ortamın pH'sına bağlı olarak iyonlaşmış (NH_4^+) veya iyonlaşmamış (NH_3) halde bulunabilir. Amonyumun inhibisyon etkisi pH'ın artmasıyla artan serbest amonyak miktarıyla oluşur. Amonyak, yüksek pH değerlerinde (>7,4) 1500-3000 mg/L konsantrasyonlarda bulunduğu takdirde inhibisyon etkisi yapabilir. Amonyum konsantrasyonu 3000 mg/L'yi geçtiğinde ortamın pH'sı ne olursa olsun sistemde metan üretimi durur (Pohland vd., 1992).

4.5.1.4 pH ve alkalinite

Atıkların anaerobik ayrışması sırasında, bakteriyel faaliyetler için gerekli olan uygun pH değerlerinin sağlanması oldukça önemlidir. Çoğu bakteri türü hidrojen (H^+) ve hidroksit (OH^-) iyonlarına karşı oldukça hassastır. Depo ortamında aşırı organik asit üretiminden kaynaklanan düşük pH değerleri metan bakterilerinin faaliyetlerinin durmasına sebep olabilmektedir.

Metan bakterileri pH 6-8 aralığında faaliyet gösterirler. Optimum CH_4 oluşumu pH 7,0-7,2 aralığında görülmektedir. pH değerinin 6'nın altına düşmesi metan bakterileri üzerinde toksik etki gösterebilir. pH değerlerinin nötr olması durumunda atık ayrışma proseslerinin daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir (Christensen ve Kjeldsen, 1989).

Anaerobik reaktörlerde organik yük çok arttığında ya da sıcaklık düştüğünde asit üreten bakterilerin ürettiği uçucu yağ asitlerinin metan bakterileri tarafından tüketilme hızı yavaşlar ve akabinde pH düşmeye başlar. Eğer sistemin tamponlama kapasitesi yeterli değilse, pH mikroorganizmalar için istenmeyen seviyeye kadar düşer ve sonuçta metan üretimi azalır yada durabilir.

Alkalinite, sistemin anaerobik ayrışma için gerekli pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitleri tamponlama kapasitesini gösterir. Düşük alkalinite değerlerinde ortamdaki asitler pH değerinin düşmesine sebep olarak biyolojik aktiviteyi durdurabilirken, yüksek alkalinite değerleri sistemi düzensiz pH değişimlerine karşı korur. Alkalinitenin düşük olması uçucu yağ asitlerinin birikmesine yol açar. Evsel atıksu çamurunun anaerob ayrışması için gerekli toplam alkalinite değeri 2000 mg/L CaCO_3 civarında olduğu belirlenmiştir (Speece, 1996).

4.5.1.5 Sülfat

Sülfat anaerobik şartlar altında elektron kabul eden bir maddedir. Hem sülfat indirgeyen bakteriler hem de metan bakterileri asetik asit ve hidrojeni enerji kaynağı olarak kullandığından bu iki bakteri türü arasında rekabetin doğmasına neden olur. Sülfat indirgeyen bakteriler elektronları metan bakterileri etrafından uzaklaştırarak kendilerine doğru çekerler. Böylece daha düşük metan üretimi gerçekleşirken yüksek miktarda H₂S oluşur. Meydana gelen H₂S metan bakterileri üzerinde olumsuz etki yapar. Sülfat konsantrasyonunun azalmasıyla metan oluşumu büyük oranda artar.

İnorganik yapıdaki SO₄²⁻ ve organik sülfür bileşiklerinin anaerobik ortamda sülfüre indirgenmesi anaerobik proseslerde inhibisyona sebep olabilmektedir. Toplam sülfürün (H₂S+HS⁻+S²⁻) inhibisyona sebep olduğu zararlı konsantrasyon 100 mg/L'dir. Özellikle pH<6,5 ise sülfür inhibisyonu artmaktadır.

Sülfatın indirgenmesi sonucu oluşan H₂S, metan bakterileri için toksik olabilir. Pratikte KOİ/SO₄²⁻ oranının 7-10'dan düşük değerlerinde önemli miktarda inhibisyon gerçekleşebilir (Vavilin vd., 1995). Nötr pH aralığında çözülmüş sülfürlerin yaklaşık %50'si uçucu haldedir. pH 6'da sülfürlerin büyük bölümü H₂S şeklindedir. Koku problemi olan anaerobik tesisler hafif bazik şartlarda işletilerek H₂S'in çözünmesini sağlamak suretiyle bu sorun giderilebilir. Sülfür tek başına anaerobik prosesler için toksik olmasına rağmen, ağır metallerle birlikte çözünmeyen tuzlar oluşturduğu için zararlı etki göstermez.

Metan oluşumunun sülfatla ilişkisi, sülfatın metanojenik bakteriler üzerindeki herhangi bir toksik etkisiyle bağdaştırılmamış, sadece substrat rekabetiyle ilişkilendirilmiştir. Metan bakterilerinin az olduğu kültürlerde sülfat, metan oluşumunu etkilemez, ancak eğer ortamda *Desulfovibrio* gibi sülfat indirgeyen gruplar varsa, sülfatın indirgenmesi çok fazla enerji gerektiren bir reaksiyon olduğundan bir sınırlandırma söz konusudur (Nastev, 1998).

4.5.1.6 Nütrientler

Anaerobik ayrışmanın optimum düzeyde gerçekleşebilmesi için gerekli olan çok sayıda organik ve inorganik madde bulunmaktadır. İndirgenecek organik karbon haricinde genellikle nütrient olarak adlandırılan azot ve fosforun yanı sıra sülfür, vitaminler ve bir takım iz elementlere (Fe, Ni, Mg, Ca, Na, Ba, Tu, Mo, Se, Co) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu iz elementlerin ortamda düşük miktarlarda mevcut olması, anaerobik ayrışma prosesini hızlandırırken, belirli eşik seviyelerin üzerinde inhibisyon etkisi göstermektedirler. Anaerobik

arıtma sistemlerinde olumlu etkisi tespit edilmiş mikro nütrientler ve tavsiye edilen konsantrasyonları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Anaerobik sistemler için organik madde (KOİ olarak), azot ve fosfor arasındaki optimum oran 100:0,44:0,08’dir (Cossu, 1989). Bu oranda en düşük değere sahip olan fosfor anaerobik ayrışma prosesinde kısıtlayıcı besi maddesidir

Çizelge 4.3 Anaerobik arıtmadaki 10 önemli mikronütrientin minimum miktarları
(Asetat kullanım hızı = 30-60 kg asetat/m³-gün, $\theta_c=5$ gün, T=35 oC, pH=6.8) (Öztürk, 1999)

<i>Mikronütrient</i>	<i>Minimum dozlar (mg/L reaktör-gün)</i>	<i>Reaktördeki çözünmüş mikronütrient konsantrasyonu (mg/L)</i>
NH ₄ -N	100	70
PO ₄ -P	40	0.1
S	10	4.0
Ca	5	3
Mg	1	3
Fe	1	0.5
Ni	0.2	<0.01
Co	0.1	0.05
K	100	555
Zn	0.1	0.05

4.5.1.7 İnhibitörler

Katı atıklar içerisinde belirli konsantrasyonlarda, metanojenik bakteriler başta olmak üzere bakteri aktivitesini yavaşlatan maddeler bulunmaktadır, ancak toksik etki gösteren bu maddeler için sınır değerleri konusunda farklı değerler mevcuttur. Sınır değerlerle ilgili bu farklılığın sebebi, bu maddelerin inhibisyon etkisinin yalnızca konsantrasyona değil, pH, sıcaklık, diğer maddelerin konsantrasyonları gibi çevresel koşullara da bağlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Önemli miktarlarda endüstriyel kimyasallar içeren katı atık düzenli depo sahalarında asetaldehit, akrilik asit, katekol, dietil amin, etil asetat, etil benzen, formaldehit, kloroform,

nitrobenzen, fenol, propanol, vinil klorür gibi özel organik maddeler metan oluşumunu engelleyebilir. Sülfat, uçucu yağ asitleri, ağır metaller, kalsiyum, sodyum, potasyum, amonyak ve klorlu organik bileşenler yüksek konsantrasyonlarda buldukları takdirde anaerobik ayrışma için toksik etki yapabilirler (Alkalay vd., 1998).

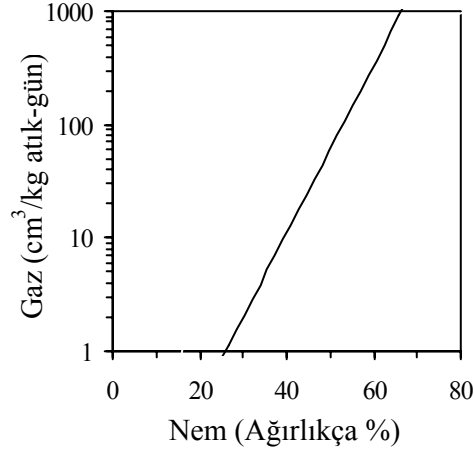
4.5.1.8 Sıcaklık

Diğer bütün mikrobiyolojik proseslerde olduğu gibi anaerobik ayrışma da sıcaklıktan çok fazla etkilenmektedir. Metan bakterileri 40 °C civarında yaşayan bir mezofilik grup ve maksimum 70 °C civarında yaşayan termofilik bir gruptan oluşurlar.

Depo gövdesinin sıcaklığı yoğunluk, yüzey alanı, nem muhtevası gibi faktörlerden etkilenir. Anaerobik biyolojik ayrışmanın ilk safhasında 70 °C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Anaerobik ayrışma safhası başladığında ise sıcaklık düşer ve 30-35 °C civarında sabit kalır. Bu sıcaklık değerleri mezofilik metan bakterileri için optimum sıcaklıklardır. Sıcaklığın yükselmesi, genellikle gaz üretiminin de arttığının bir göstergesi olarak kabul edilir. Hartz, vd., (1982), biyolojik ayrışma ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi ampirik bir ifadeyle belirtmiş ve depo sahalarında metan oluşumu için optimum sıcaklığın 41 °C olduğunu belirlemiştir.

4.5.1.9 Nem/su muhtevası

Nem muhtevası, besi maddesi miktarıyla birlikte depo gazı oluşumunu kontrol eden en önemli faktördür. Katı atıklar depo sahalarına ilk depolandıklarında %30-40 arasında nem muhtevasına sahiptirler. Suyu doygun olmayan atıklardan daha çok H₂ üretilirken, suya doygun atıklar daha çok CH₄ ve CO₂ oluştururlar. Birim katı atık başına oluşan biyogaz üretimi ile nem oranı arasında logaritmik bir ilişki vardır. Depo sahasında metan üretiminin optimize edilebilmesi için atıkların suya doygun olması gerekir. Şekil 4.6'da depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4.6 Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki (Lisk, 1991)

4.5.1.10 Dane boyutu

Dane boyutlarının azalması gaz üretimini arttırmaktadır. Dane çapının küçültülmesi ile mikroorganizmaların organik maddeleri tüketmek için kullandığı yüzey alanı artmaktadır. Senior ve Balba, (1987) tarafından yapılan çalışmada partikül çapının 250 mm'den 10 mm'ye düşürülmesi ile gaz üretiminin 4,4 kat arttığı belirtilmiştir (Nastev, 1998).

4.5.1.11 Atık bileşenleri

Kentsel katı atıkların muhtevasındaki organik bileşenler hızlı ayrışabilen, zor ayrışan ve ayrışamayan organikler olarak sınıflandırılabilirler. Şekerler, nişasta, yağlar ve proteinler hızlı ayrışabilen organik maddelerdir. Bu tür atıkların fazlalığı anaerobik ayrışmanın ilk safhasında organik asitlerin fazla oluşmasının etkisi ile ortamın pH'sını düşürerek depo sahasının doğal tamponlama kapasitesinin üzerine çıkarak metan oluşumunu geciktirebilir. Selülotik maddeler gibi daha kompleks bileşenlerin ayrışması oldukça yavaştır.

4.6 AEROBİK DEPOLAMA

Tüm dünyada en yaygın olarak kullanılan bertaraf yöntemi olan klasik düzenli depolama yönteminde atıkların depo gövdesinde anaerobik olarak ayrışması gerçekleşmektedir. Bu atık bertaraf yönteminde ayrışmanın uzun yıllar sürdüğü, ayrışma sonucu oluşan sızıntı suyu ve depo gazlarının insan ve çevre sağlığı üzerinde büyük bir risk oluşturduğu yapılan çok sayıda çalışma ile tespit edilmiştir. Klasik düzenli depolama yöntemlerinin bu dezavantajlarını bertaraf etme ve atık depolama alanlarında daha hızlı ve daha verimli bir ayrışmanın

gerçekleşmesini sağlama düşüncesi, bir çözüm önerisi olarak depo gövdesinde aerobik ayrışmanın gerçekleşmesinin sağlanması fikrini ortaya çıkarmıştır (Purcell, 2000).

Kompostlaştırma gibi aktif aerobik ayrışma prosesleri, katı atıkların organik kısmının aerobik şartlar altında ortamda yeterli miktarda oksijen ve nem muhtevası olması durumunda anaerobik ortamlardaki ayrışma süresinden çok daha kısa bir sürede ayrıştığını göstermiştir (Read vd., 2001a).

Güney Florida Üniversitesi tarafından yürütülen laboratuvar incelemelerinde de aerobik ortamda solunum yapan bakterilerin, atık kütesinin biyolojik olarak parçalanabilir kısmını ve diğer organik bileşiklerini, geriye stabilize olmuş humus bırakarak metan yerine karbondioksit ve suya dönüştürdüğü belirlenmiştir (Bernreuter ve Stessel, 1999). Sızıntı suyunun atık kütesine geri devir yaptırılması ile solunum yapan bakteriler için nem ve nütrientlerin sürekliliği sağlanarak atık bozunma hızı arttırılır.

Aerobik depo sahası konsepti temel olarak kolay ve kısmen bozunabilir katı atık bileşenlerini ihtiva etmektedir. Kompostlaştırma prosesine tabi tutulan atıklar gaz geçişlerine izin verir, kendi nütrientlerini kendileri sağlar, endojen ve çeşitli mikrobiyal popülasyonları kullanırlar (Yuen vd., 1997).

Aerobik depolamanın daha etkin olarak kullanılabilmesi için atık kütesi sıcaklığının ve nemin optimal aralıklarda olduğu aerobik şartların kontrolünün düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Aerobik depolama kompleks biyolojik mekanizmalara dayanmaktadır ve bu teknoloji etkin olarak kontrol edilen doğal bir prosestir (Read vd., 2001).

Katı atıkların düzenli depo sahalarında aerobik ayrışmasının faydaları;

- 1) Sızıntı suyu kirletici miktarı ve hacminin azalması,
- 2) Metan gazı ve anaerobik koku üretiminin azalması,
- 3) Kapatma ve kapatma sonrası maliyetlerinin azalması,
- 4) Çevreye karşı olan sorumlulukların azalması,

olarak sıralanabilir.

Aerobik depolama sisteminin esas amacı yerinde atık arıtımında ve hacim azaltılmasında (nihai stabilizasyon) optimum noktanın belirlenmesidir. Bu durum aşağıdaki terimlerle ifade edilebilir.

- 1) Organik maddenin stabilizasyonu,
- 2) Sızıntı suyu kirletici konsantrasyonlarının azaltılması,
- 3) Metan üretiminin azalması,
- 4) Atık kütleinde meydana gelen çökme miktarının artması.

Kentsel katı atık depo sahaları, tüm dünyada atıkların anaerobik şartlar altında ayrışmasını sağlamaktadır. Depolama sahasında anaerobik koşullar altında atık kütleinin stabilizasyonu çok yavaş gerçekleşmekte ve uzun zaman periyotlarında metan (patlayıcı sera gazı) ve sızıntı suyu (yer altı suyunu kirleticisi) üretilmektedir. Kentsel katı atıkların depolama sahalarında aerobik olarak bozunmasının, atık ayrışma hızını önemli oranda arttırdığı, metan üretimini ve sistemden ayrılan sızıntı suyu miktarını azalttığı ve sahanın işletme ömrünü arttırdığı kanıtlanmıştır. Mevcut depolama sahalarının altyapıları da göz önüne alındığında; kentsel katı atıkların anaerobik bozunma prosesleri aerobik proseslere güvenli bir şekilde dönüştürülebilir. Böylece atıkların organik kısımlarının kompostlaştırılması daha verimli şekilde sağlanabilir (Hudgins ve Harper, 1999).

Depolama sahaları hücreleri içinde anaerobik şartların aerobik şartlara dönüşümü için takip edilecek basamaklar;

- 1) Atık maddenin üzeri kaplanması (Genellikle toprak ile),
- 2) Depolama sahasındaki nem içeriği artırılması (%40 ile %70),
- 3) Aerobik mikrobiyal aktiviteyi canlandırmak için depolama sahası içine oksijen verilmesi,
- 4) Sıcaklık, gerekli süre boyunca depolama sahasındaki patojenleri tamamen yok edecek seviyeye çıkarılması (150 °F),
- 5) Aerobik bozunmayı sağlamak için oksijen, nem içeriği ve sıcaklık sürekli olarak izlenmesi, şeklinde sıralanabilir.

Aerobik bioreaktör depolama sahası teknolojisine olan uluslararası ilgi her geçen gün artmaktadır. Almanya'da kentsel katı atıklar için aerobik biyolojik ön arıtma prosesi 1970'lerden beri uygulanmaktadır. Bu ön arıtma prosesi atık kütleini azaltmak, depo sahası yoğunluğunu arttırmak ve sızıntı suyunu kalitesini iyileştirmek için kullanılmaktadır (Leikam ve Heyer, 1997). Bu teknolojiye olan ilgi son dönemlerde Japonya'da da artış göstermiştir. Yarı aerobik depo sahaları Japonya'da şu anda kullanılan standart atık bertaraf yöntemidir. Bu sistemde, hava sızıntı suyu toplama sistemi üzerinde bulunan boşluk boyunca hareket etmektedir. Depo sahası içinde (yüksek sıcaklık) ve dışarıdaki (düşük sıcaklık)sıcaklık farkları

dolayısıyla depo gövdesine hava girişi sağlanmaktadır. “Fukuoka Metodu” olarak adlandırılan yöntemde atık maddeleri stabilize olurken kendi kendine doğal arıtma yapma kapasitesi de kullanılmaktadır (Hanashima, 1999).

Yarı-aerobik depo sahaları, atıkların aerobik ayrışmasının daha hızlı ve verimli olarak gerçekleşebileceği belirlendikten sonra havalandırma için enjeksiyon yoluyla ortama hava verilmesinin maliyetinin yüksek olması dolayısıyla geliştirilmiştir. Klasik depo sahalarında sızıntı suyu drenaj boruları 150-200 mm çapındadır. Shimaoka vd., (2000), 1-2 hektarlık bir depolama alanı için 600 mm çapında sızıntı suyu toplama borusu kullanılarak ortamda aerobik ayrışma için gerekli oksijenin temin edilebileceğini belirtmişlerdir. Böylelikle havalandırma için gereken yüksek maliyet ile özel enjeksiyon borularının teşkilinden kaynaklanan maliyet büyük ölçüde minimize edilmiş olmaktadır. Depo sahalarında atıkların aerobik ayrışması için gerekli olan havanın temininin diğer bir yolu ise havanın enjeksiyon yoluyla depo gövdesi içerisine basınçlı olarak verilmesi işlemidir. Atık içerisine oksijenin enjeksiyon yoluyla ortama hava verilmesi sonucu dağıtıldığı sitemlerde, sızıntı suyu toplama ve geri devir borularından ayrı olarak enjeksiyon kuyuları yer almaktadır. Enjeksiyon kuyularının teşkilinde havanın depo gövdesinde üniform olarak dağıtılabilmesi sağlanmalıdır. Enjeksiyon boruları delikli ve düşük ağırlıklı borulardan (PVC gibi) teşkil edilmelidir. Ancak kullanılacak malzeme tipi sadece bununla sınırlı değildir. Metal boruların da kullanılması mümkündür. Boruların etrafı deliklerin tıkanmasını önlemek maksadıyla çakıl veya öğütülmüş plastik gibi bir malzeme ile doldurulmalıdır (Read vd., 2001b).

Aerobik ayrışma prosesi sonucu elde edilen stabilize edilmiş madde, depo sahasında ara veya üst örtü olarak toprağın ıslah edilmesi ve diğer uygulamalarda kullanılabilir (Read vd., 2001a).

Güney Florida Üniversitesi’nde yapılan çalışmalar sonucu depo sahası atık kütlesi üzerine sızıntı suyu geri devir yaptırılarak ve ortama oksijen ilave edilerek organik bileşiklerin sıvı konsantrasyonlarının azaldığı kanıtlanmıştır (Stessel ve Murphy, 1992). Atık kütlesi etkili sızıntı suyu geri devri ve hava girişine izin vererek damlatmalı filtre gibi hizmet edebilir. Bu proses katı ve sıvı fazda organik bileşiklerin bozunması için gerekli oksijen, nem ve nütrientleri temin eden solunum yapan bakterilerin sürekliliğini sağlar.

4.6.1 Aerobik Ayrışmaya Etki Eden Faktörler

Katı atıkların aerobik ayrışması üzerinde etkili olan faktörler su muhtevası, sıcaklık, havalandırma, karbon/azot oranı, pH ve mikroorganizma cinsidir.

4.6.1.1 Su muhtevası

Atık içerisindeki su ve hava birbiri ile ters orantılıdır. Su miktarının fazla olması halinde boşluklar su ile dolacağından ortamdaki hava döngüsü engellenmiş olur. Bütün biyolojik olaylarda olduğu gibi, aerobik düzenli depolama işleminde de ayrışmayı etkileyen en önemli faktörlerden biri ortamın su muhtevasıdır. Biyokimyasal ayrışmayı sağlayan mikroorganizmaların bileşiminin %80'i sudur ve besinlerini suda çözülmüş olarak alırlar. Yapılan çalışmalarda su muhtevasının %25-30'un altına düşmesi halinde ayrışmanın durduğu tespit edilmiştir (Sesay vd., 1998).

Katı atık depo sahası ortamında atıkların aerobik ayrışmasını sağlayacak oranda suyun mevcut olması gerekmektedir. Atık gövdesinde optimum aerobik ayrışmanın gerçekleşebilmesi için nem muhtevasının %40-70 arasında olması gerekir. Depo sahasında oluşan sızıntı suyunun nem muhtevasını arttırmak için tekrar sahaya geri devrettirilmesi tercih edilir. Böylelikle sahada oluşan sızıntı suyu sürekli geri devrettirilerek sızıntı suyu miktar ve kalitesinde önemli bir iyileşme elde edilebilir (Read vd., 2001b).

1980'lerden beri Birleşik Devletler depo sahalarında sızıntı suyu yönetiminde kontrollü sızıntı suyu geri devri kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda depo sahalarında sızıntı suyu geri devri çok daha fazla önem kazanmıştır. Bazı durumlarda sızıntı suyu geri devri sadece atık ayrışma hızını arttırmakla kalmaz aynı zamanda enerji kullanımında metan üretimini arttırmakta ve sızıntı suyundaki toksik organik miktarını azaltmaktadır.

Aerobik şartlar altında yürütülen sızıntı suyu geri devir projelerinde daha yüksek atık ayrışma hızı sağlamak için oksijen elektron alıcısı olarak kullanılır. Birçok aerobik sızıntı suyu geri devir uygulamaları kanıtlamıştır ki kentsel katı atıkların depo sahalarında aerobik olarak bozunması anaerobik yaklaşımlara oranla önemli avantajlar sağlamaktadır (Heyer vd., 1999; Leikam ve Heyer, 1997). Basınçlı hava ile sızıntı suyu geri devri, yalnız başına sızıntı suyu geri devri ile karşılaştırıldığında sadece atık ayrışmasını hızlandırmakla kalmadığı aynı zamanda metan gazı üretimini de düşürdüğü belirlenmiştir (Wall ve Zeiss, 1995). Bazı durumlarda bu sistemle, gaz arıtma maliyeti düşürülür, sızıntı suyu içinde bulunan toksik bileşen miktarı ile arıtma gerektiren depolama sahası sızıntı suyu miktarı da azaltılır. Bütün

olarak bakıldığında aerobik depolama yöntemi uzun vadede önemli derecede maliyet tasarrufu sağlamaktadır (Read vd., 2001b).

Depo gövdesinde nem muhtevasının ayrışma sırasında direkt ölçümlerle sürekli izlenmesi gerekmektedir. Böylelikle istenen nem derecesini elde etmek için atık içerisine daha ne kadar sızıntı suyu ilave edilmesi gerektiği hesaplanabilir. Depo sahasındaki sızıntı suyu enjeksiyon kuyuları, ilave edilen suyun depo gövdesinde üniform bir şekilde dağılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

4.6.1.2 Havalandırma

Depo sahalarında aerobik ayrışmanın gerçekleşebilmesi için ortamda mikroorganizma faaliyetleri için yeterli miktarda oksijen bulunması gerekmektedir. Ortamda yetersiz miktarda oksijen bulunması ayrışmanın anaerobik şartlarda gerçekleşmesine yol açmaktadır. Diğer taraftan, ortama gereğinden fazla hava verilmesi de atık sıcaklığını düşürmektedir. Bu gibi sakıncaların ortaya çıkmasını engellemek için ortama optimum miktarda hava vermek gereklidir. Aerobik mikroorganizmalar % 5 oksijene kadar faaliyetlerini devam ettirebilirler. Ancak optimum oksijen konsantrasyonunun % 10'dan daha büyük olması gerekmektedir (Tosun, 2003). Ortamda oksijen miktarının fazla olmasının proses üzerinde olumsuz bir etkisi olmamasına rağmen, aşırı hava işletme maliyetini arttırmaktadır.

Aerobik depo sahalarında ortama verilecek hava miktarının, çıkış gazında oksijen konsantrasyonunun % 2'nin altında olmasını sağlayacak düzeyde olması gerekir. Keener ve Hansen (1997) ve Keener vd., (1997) aerobik ayrışma için gerekli işletme şartlarını özetlediği çalışmasında atık gövdesine 0,35-0,97 litre/dk/kg atık hava verilmesinin uygun olacağını belirtmişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada ise depo sahasına uygulanacak optimum hava miktarı 0,5 L/dk/kg atık olarak tespit edilmiştir (Bernreuter ve Stessel, 2000).

Ortama verilen havanın atık içerisinde tüm bölgelere dağılmasını sağlamak gerekmektedir. Atıkların havalandırılması depo sahalarında aerobik ayrışmanın gerçekleşmesini sağlamak için gerekli oksijenin temin edilmesi ve depo gövdesinde sıcaklığın kontrol edilmesi maksatlarıyla kullanılabilir. Fazla hava ortama, sıcaklığın düşürülmesi gayesiyle verilir. Böylece, ortamda bulunması muhtemel anaerobik mikroorganizmaların da bertaraf edilmesi sağlanmış olur.

4.6.1.3 Sıcaklık

Katı atıkların aerobik ayrışması çeşitli mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Bu mikroorganizmalar yaşadıkları sıcaklık derecesine göre 3 grupta toplanabilir. Aerobik ayrışmada mikroorganizmaların ortam sıcaklığına göre değişimi Çizelge 4.4.'de verilmiştir. Ayrışma sırasında ortamda düşük ve yüksek sıcaklıkların uzun süre devam etmesi mikroorganizma faaliyetleri üzerinde olumsuz etki yapmaktadır.

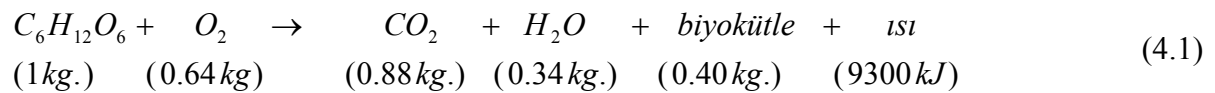
Çizelge 4.4 Mikroorganizmaların ortamdaki sıcaklığa göre değişimi (Baştürk, 1994)

<i>Mikroorganizma Türü</i>	<i>Minimum Sıcaklık (°C)</i>	<i>Optimum Sıcaklık (°C)</i>	<i>Maksimum Sıcaklık (°C)</i>
Psikrofil Mikroorganizmalar	5-10	10-15	15-20
Mezofil Mikroorganizmalar	10-15	20-35	40-45
Termofil Mikroorganizmalar	30-35	50-60	70-80

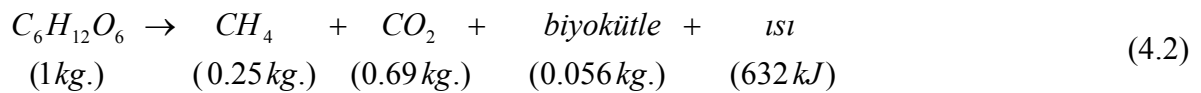
Aerobik ve anaerobik ayrışma prosesleri, enerji dengesi bakımından büyük farklılıklar gösterirler. Aerobik ayrışma ekzotermik bir prosestir ve yüksek miktarda ısı üretir. Bunun sonucunda atık içerisindeki sıcaklık yükselir. Bu nedenle, depo sahalarında atıkların aerobik ayrışması sonucu yüksek miktarda ısı açığa çıkmaktadır. Aerobik ayrışma sırasında elde edilen enerjinin %59'u biyokütle içerisinde depolanırken (yeni bakteri hücreleri), %41'i kullanılır. Anaerobik ayrışma sırasında oluşan enerjinin ise %8'i biyokütle içerisinde %89'luk kısmı da oluşan metan gazı içerisinde depolanırken, sadece %3'lük kısmı kullanılır.

Glikozun biyolojik ayrışması sırasındaki kütle dengesi için (4.1) ve (4.2) eşitlikleri yazılabilir. Biyolojik ayrışma prosesleri sırasında meydana gelen enerji arasındaki farklılıklar bu eşitliklerden açıkça görülebilmektedir (Gendebien vd, 1992).

Aerobik Ayrışma:



Anaerobik Ayrışma:



Ortamdaki ısının yükselmesi hem mikroorganizmaların aktivitesinin bir ölçüsü hem de patojen mikropları öldürme aracıdır. Patojen bakterilerin sadece çıkan ısıyla değil, metabolizma ürünü bileşikler dolayısıyla da öldükleri tespit edilmiştir. Her mikroorganizma kendisine uygun bir sıcaklıkta yaşayabilir. Kompostlaşan kütlede sıcaklık arttıkça ölen mikroorganizmaların yerini yeni duruma adapte olan türler alır. Bu da genelde daha hızlı bir ayrışmaya yol açar. Ne var ki, 55 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kompostlaştırma verimi ve hızı önemli oranda düşer. Belirli bir süre devam eden sıcaklık, hastalığa yol açan mikropların ve virüslerin oluşmasını önleyerek, iyi kalitede bir kompost açığa çıkmasını sağlar.

Yüksek reaksiyon hızları için aşırı yüksek sıcaklıklar gerekli değildir. Eğer materyaldeki sıcaklık 75 veya 85 °C'ye yükselirse, yüksek sıcaklık yüzünden reaksiyon hızı muhtemelen azalacaktır. Sıcaklığı azaltmak için havalandırma oranını artırmak veya karıştırma işlemi daha sık yapmak gerekir.

Aerobik depo sahalarında sıcaklık kontrolü ayrışmanın tamamlandığının anlaşılabilmesi için önemli bir göstergedir. Depo gövdesinde sıcaklığın düşmesi ve çıkış gazında oksijen konsantrasyonunun artması ayrışma prosesinin tamamlandığının ve ayrışabilen maddelerin stabilize olduğunun bir göstergesidir. Bundan sonra depo sahasının daha fazla kontrol edilmesine gerek kalmamaktadır.

4.6.1.4 Karbon/Azot oranı

Mikroorganizmalar yüksek yapılı bitkiler gibi besi maddesi olarak karbon, azot, kükürt, fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum gibi besi maddelerinden faydalanırlar. Azot dışındaki diğer bütün elementler evsel atıklarda yeteri kadar bulunduğundan aerobik ayrışmanın gerçekleşmesi için karbon/azot oranı büyük önem taşımaktadır.

Aerobik ayrışma için C/N oranının 35'den küçük olması istenmektedir. C/N oranının 20-78 arasında değiştirilerek gerçekleştirilen bir çalışmada optimum C/N oranının 30-35 olduğu tespit edilmiştir.

Genellikle evsel katı atıklarda C/N oranı yüksek değerlerdedir (30-60 civarında). Aerobik depo sahalarında tercih edilen C/N oranlarının 20:1-50:1 arasında değişir (Hudgins, 2000).

4.6.1.5 pH

pH kontrolü, mikrobiyal faaliyetlerin atık stabilizasyonunun değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Başlangıçta CO₂ ve organik asitlerin oluşumu nedeniyle pH değeri yaklaşık 5-6 seviyesine düşerken, proses ilerledikçe 8,0-8,5 seviyesine kadar ulaşabilir. Bu durum çoğunlukla, CO₂ eliminasyonundan olduğu kadar proteinlerin ayrışmasından da ileri gelmektedir. Evsel katı atıklarda genellikle pH düzeltilmesine gerek olmamakla birlikte, gerekli hallerde kireç, sodyum bikarbonat, kostik, soda veya uygun seyreltik asit ilavesi ile pH ayarlaması yapılabilir. Ancak kireç ilavesi amonyak oluşumunu hızlandırmakta ve azotun azalmasına sebep olmaktadır.

4.6.1.6 Mikroorganizmalar

Katı atıkların aerobik ayrışması işlemi her bir mikrobiyal grup için ortamın sınırlı sürelerde uygun olduğu, zincirleme gerçekleşen dinamik bir procestir. Reaksiyona hâkim olan organizmaların cinsi katı atık boyutuna, su muhtevasına, oksijen teminine, sıcaklığa ve indirgenme derecesine bağlıdır. Bakteriler çok değişik çevre şartlarında ve değişik sıcaklık ve nem durumlarında yaşayabilirler. Mantarlar 20-30 °C arasında daha kuvvetle çoğalır ve maddeleri indirgeyip vitamin, pigment, antibiyotik ve benzeri bileşikler sentez edilebilir. Aktinomisetler de 30-40 °C arasında daha iyi yaşarlar. Bunlar selüloz, yağ, fenol ve lignini indirgerler. Bakteri ve mantar yiyen protozoalar 40 °C üzerinde ölürlür. Ayrışma sonucunda atık içerisinde sinekler, böcekler, küçük hayvancıklar ve benzerleri bulunabilir.

Aerobik ayrışmanın başlangıcında çoğunluğunu bakterilerin oluşturduğu mikroorganizmaların çoğalması sırasında ısı, CO₂ ve su buharı açığa çıkar. İlk aşamada mezofilik bakterilerle beraber aktinomisetler, maya ve diğer mantarlar yağları, proteinleri ve karbonhidratları ayrıştırırlar. Protozoa, bakteri ve mantarlarla beslenir. Sıcaklık 40-50 °C'ye ulaştığında başlangıçta mevcut olan organizmaların hemen hemen tamamı ölür ve bunların yerini 70 °C sıcaklığa kadar dayanabilen ve ısı üretebilen termofilik bakteriler alır.

Termofilik bakteriler kendileri için mevcut besini tükettiklerinde ısı üretmeyi durdururlar ve atıklar soğumaya başlar. Soğuyan atıklarda, geriye kalan besinle beslenen, genellikle mantar ve aktinomisetlerden oluşan yeni bir grup organizma çoğalır (Tosun, 2003).

4.7 SIZINTI SUYU OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ

Depo sahalarında kompleks, ardışık fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar meydana gelir. Bu proseslerin sonucu olarak çöp bozunur ve dönüşüme uğrar. Sızıntı suyu, depo sahasında depolanan atığın içerisindeki suyun ve yağmur sularının atık içerisinde süzülerek çözünmüş ve askıdaki maddeleri ekstrakte etmesi sonucu oluşur. Depo sahasından su sızarken kirleticiler katı atıktan ayrılır. Atık içerisindeki maddelerin bir kısmı suda çok çabuk çözünebilirken, biyolojik ayrışma sırasında diğer maddeler de çözünebilir forma dönüşürler. Bu maddelerin sızıntı suyu içerisindeki varlığı ve konsantrasyonları zamana bağlı olarak değişir. Sızıntı suyu oluşumunu temel anlamda üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar; depo sahalarında aerobik ve anaerobik ayrışmalar sırasında oluşan sızıntı suyu, depo sahasına dökülen ve sıkıştırılan katı atığın su içeren bileşiklerinin sıkıştırılmasından oluşan sızıntı suyu ve depo sahası yüzeyine düşen yağışların, kontrol altına alınmamışsa, depo sahası kütesinden geçerek oluşturduğu sızıntı suyudur.

Sızıntı suyu oluşumunu etkileyen faktörlerin başında mevsimlik değişim gelir. Bunun en büyük iki sebebi yağış miktarının çok olması ve özellikle de baharda karların erimesidir. Diğer taraftan yaz ve sonbahar aylarında sızıntı suyu miktarında önemli ölçüde azalma olur. Bunun en önemli sebebi ise buharlaşmadır. Aynı derecede önemli olan diğer bir faktör de ki bunun mevsimsel dalgalanmada büyük etkileri görülür, yağış sonucu oluşan ve depo alanı bünyesinde bulunan nem miktarıdır. Yağışın diğer bir parçası olan yüzeysel akışların da her ne kadar bir kısmı buharlaşma suretiyle atmosfere geri dönüyorsa da bir kısmı yine katı atığın nem miktarını etkileyen bir faktör olarak kabul edilir. Diğer taraftan nem oranındaki azlık atık stabilizasyonu için gerekli olan biyolojik dönüşümün periyodunun uzamasına ve yüksek yaşa sahip olan sızıntı sularında yüksek konsantrasyonda organik bileşenlerin görülmesine yol açar (Küçükgül, 1998).

Meydana gelen sızıntı suyunun karakteristiği, katı atık kompozisyonuna, çökeltme oranına, saha hidrolojisine, sıkışmasına, kaplama örtüsü dizaynına, atık yaşına, numuneleme prosedürlerine, sızıntı suyunun çevreyle etkileşimine, depo sahası dizaynına ve uygulamasına bağlı olarak yüksek değişkenlik gösterir.

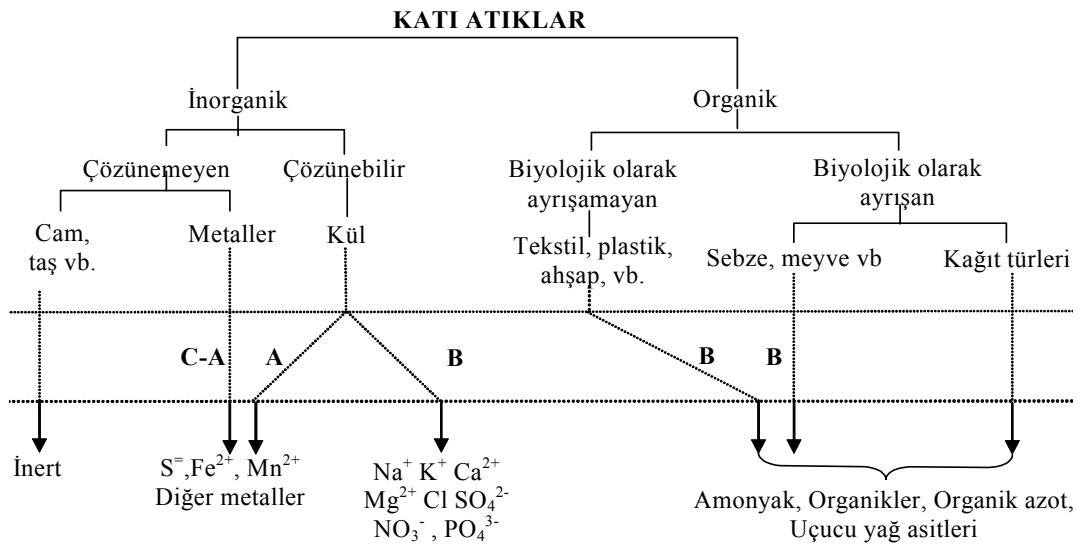
Sızıntı suyu kompozisyonunu direk olarak etkileyen en önemli faktörler, katı atık kompozisyonu ve sıkıştırılma oranı, iklim, saha hidrolojisi, mevsim ve depo sahası yaşıdır. Eski depo sahalarından oluşan sızıntı suları genellikle daha az miktarlarda çözünmüş katı madde ihtiva ederler.

Sızıntı suyu çeşitli organik ve inorganik bileşikleri içerir. Bu bileşikler benzin yakıtların (benzen, ksilen, toluen gibi aromatik hidrokarbonlar) tesis yan ürünlerin (fenolik bileşikler), klorlu çözücülerin (kuru temizlemede kullanılan) ve pestisitlerin bileşenleridir. Önemli inorganik bileşikler ise pillerde, plastiklerde, elektronik eşyalarda ve ampullerde bulunan kurşun ve kadmiyumdur.

Sızıntı suyundaki kirleticiler dört grup altında incelenebilir.

- Çözünmüş organik maddeler; KOİ, TOC, uçucu yağ asitleri (UYA), fulvik ve humik asitler.
- İnorganik makro bileşenler; kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), sodyum (Na^+), potasyum (K^+), amonyum (NH_4^+), demir (Fe^{2+}), mangan (Mn^{2+}), klorür (Cl^-), sülfat (SO_4^{2-}) ve hidrojen karbonat (HCO_3^-)
- Ağır metaller; bakır (Cu), çinko (Zn), kadmiyum (Cd), krom (Cr), kurşun (Pb) ve nikel (Ni)
- Evsel ve endüstriyel kimyasallardan kaynaklanan ve genellikle 1 mg/L'den daha düşük konsantrasyonlarda mevcut olan ksenobiyotik organik bileşikler (XOC). Bu bileşikler aromatik hidrokarbonlar, fenoller, klorlu alifatikler ve pestisitler gibi bileşikleri ihtiva ederler.

Şekil 4.7 Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları gösterilmiştir.



A: Doğrudan çözünme, B: Biyolojik ayrışma, C: Kimyasal çözünme

Şekil 4.7 Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları

Atıklar ilk depolandıkları anda % 20-30 civarında nem içerirler (ıslak ağırlık). Depo sahasına yüzeysel veya yeraltı sularının girmesi veya yağışların infiltrasyonu sonucunda atığın nem muhtevası doygunluk değerine ulaşır. Doygunluk kapasitesi aşıldığında, su atık içerisinde süzölmeye başlar. Oluşan sızıntı suyu miktarının depo sahasına dışardan giren su miktarıyla orantılı olduğu söylenebilir (Yuen vd., 1997b).

Toprak ve sıkıştırılmış çöp doğrultusunda tek boyutlu su hareketi analizi baz alınarak sızıntı suyu üretimi hesabı aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$C = P (1-R) - S - E \quad (4.3)$$

C = En üst toprak katmanına toplam sızma, mm/yıl

P = Yağış, mm/yıl

R = Akış sabiti

S = Toprak veya atık içine depolama, mm/yıl

E= Buharlaşma, mm/yıl

Oluşan sızıntı suyu miktarı sahaya özgü özellikler göstermesine rağmen genel olarak atık bileşimi (organik-inorganik, ayrışabilen-ayrışamayan, çözünebilir-çözünemeyen), depolama tekniği, depo sahasına dışarıdan giren suyun özellikleri (miktar ve bileşenler), örtü tabakasının permeabilitesi ve topografik özellikler, depo sahasının özellikleri (redox potansiyeli, pH, sıcaklık, nem ve depo yaşı) ve atık içerisindeki fiziko-kimyasal reaksiyonlarla yakından ilgilidir.

Sızıntı suyundaki kirletici parametrelerin konsantrasyonları günden güne önemli farklılıklar gösterebileceğinden, kirletici parametrelerin konsantrasyonlarının mutlak değerleri yerine parametrelerin birbirlerine oranlarının değerlendirilmesi daha faydalıdır. KOİ/TOC, BOİ/TOC, SO₄²⁻/Cl⁻ oranlarının değerlendirilmesi sızıntı suyunun içerdiği organik maddeler ve atıkların ayrışma süreci ile ilgili önemli ipuçları verebilir. SO₄²⁻/Cl⁻ oranı ile Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli (ORP) ters orantılı olup, depo sahasında anaerobik ayrışmanın etkili olduğu safhada ORP en düşük seviyededir. Çizelge 4.5'te sızıntı suyu çeşitli parametre aralıkları verilmiştir.

Çizelge 4.5 Sızıntı suyu çeşitli parametre aralıkları

<i>Parametre</i>	<i>Ehring (1989)</i>	<i>Qasim ve Chiang (1994)</i>	<i>Florida depo sahaları Grosh (1996) (Ortalama değer)</i>	<i>Ulusal veritabanı (ortalama değer)</i>
BOI (mg/l)	20-40000	80-28000	0,3-4660 (149)	0-100000 (3761)
KOI (mg/l)	500-60000	400-40000	7-9300 (912)	11-84000 (6505)
Demir (mg/l)	3-2100	0,6-325	-	4-2200
Amonyak (mg/l)	30-3000	56-482	BDL-5020 (257)	0,01-2900 (276)
Klorür (mg/l)	100-5000	70-1330	BDL-5480 (732)	6,2-67000(3691)
Çinko (mg/l)	0,03-120	0,1-30	BDL-3,02 (0,158)	0,005-846 (0,23)
Toplam P (mg/l)	0,1-30	8-35	-	0,02-7 (3,2)
pH (mg/l)	4,5-9	5,2-6,4	3,93-9,6	6,7-8,2
Kurşun (mg/l)	0,008-1,020	0,5-1,0	(29,2+-114)	0,00-2,55 (0,13)
Kadmiyum (mg/l)	< 0,05-0,140	< 0,05	(7,52+-23,9)	0,0-0,56(0,0235)

BDL: Sınır değeri altında

Sızıntı suyu kalitesi direkt olarak sızıntı suyu arıtma alternatiflerini etkiler. Sızıntı suyu kalitesi sahadan sahaya ve zamana bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden dolayı ne biyolojik ne de fiziksel/kimyasal arıtma prosesleri ile arıtmada yüksek verim sağlanamaz. Fiziksel/kimyasal prosesler genç sızıntı suyunun biyolojik arıtmaya uyumlu hale getirilmesi için ön arıtma olarak veya daha yaşlı sızıntı sularındaki dirençli organik bileşikleri hidrolize etmek için uygulanır. Biyolojik arıtma öncelikle genç veya orta yaşta sızıntı suyunda bulunan bozunabilir organik maddeleri stabilize etmek için kullanılır (Vesilind vd., 1998).

4.8 DEPO GAZI OLUŞUMU

Katı atık düzenli depo sahalarının tasarımı, sahalar büyük birer reaktör olarak düşünölmeye başladıktan sonra oldukça büyük bir gelişim göstermiştir. Klasik depo sahalarının tasarımı ve depolamada uygulanacak teknikler daha fazla gaz üretecek şekilde planlanmalıdır. Oluşan depo gazının içerisinde CH₄'ın uzun yıllar boyunca var olduğunun tespit edilmesi, bu gazın çevreye ve insan sağlığına zarar vermesi ve yüksek bir enerji kapasitesine sahip olması sebebiyle kontrol edilme gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Qin vd., 2001).

Biyolojik aktif depolama sahalarında anaerobik şartlar hakim olduğundan bu sahalar büyük miktarlarda metan, karbondioksit, su ve çeşitli iz bileşenlerden (amonyak, sülfid ve metan olmayan uçucu organik karbon bileşikleri) oluşan gaz üretmektedir.

Depo sahasında gaz oluşumunun devam ettiği süre içerisinde birim ağırlıkta katı atıktan oluşabilecek toplam gaz miktarı, gazın kontrol edilmesi veya faydalı amaçlarla kullanılması düşünüldüğünde üzerinde durulması gereken bir konudur. Katı atıktan oluşabilecek gaz miktarını tahmin etmek yada ölçmek için teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bazı araştırmacılar bu konuyla ilgili yapılan çalışmaların karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir (Gendebien vd.,1992).

Teorik hesaplamalar iki yaklaşıma dayanmaktadır. Bunlar;

- Reaksiyona giren maddenin atık bileşeni ve ürünün metan ve karbon dioksit olduğu metan oluşum reaksiyonunun tam olarak gerçekleştiğinin varsayıldığı *stokhiyometrik* yaklaşım,
- Değişik atık bileşenleri için farklı ayrışma oranlarının kabul edildiği, veya her bir bileşen için uçucu yağ asitlerini hesaba katarak ve bütün uçucu organik katılar için ortak bir gaz oluşum katsayısı belirleyerek uygulanan *ayrışabilirlik* yaklaşımıdır.

Bu yaklaşımların sonucunda elde edilen potansiyel gaz miktarları kaba tahminlerdir ve sadece prosesin tam olarak gerçekleştiği veya elde edilebilecek maksimum değerlerin tahmin edileceği durumlarda kullanılmalıdır. Yaklaşımlar; atığın ayrışma prosesini basit olarak ele alarak, nütrient miktarları, fizikokimyasal etkileşimler ve bakteriyel hücrelerin sentezi gibi çeşitli faktörleri göz önünde bulundurmaktadır.

EPA'nın gaz miktarını hesaplamak için geliştirdiği modele göre :

$$Q_T = \sum_{i=1}^n 2kL_0M_i e^{-kt} \quad (4.4)$$

Q_T = Depo sahasından toplam gaz emisyon hızı, hacim/zaman

n = Atık yerleştirilmesinin toplam zaman periyodu

k = Depo sahası gaz emisyonu sabiti, 1/zaman

L_0 = Metan üretim potansiyeli, hacim/atık kütlesi

t_i = Atığın i. Bölümünün yaşı, zaman

M_i = Islak atık kütlesi, i zamanında yerleştirilen

Depo gazları genellikle depo sahası içine yatay veya dikey olarak kazılan kuyular ile kontrol edilir. Bu kuyuların bir ucu atmosfere açılır (eğer gaz kontrolü sistemin ilk amacı ise) veya gazı arıtma prosesine iletmek üzere merkezi havalandırma tertibatına bağlanır.

Gaz çevresel tehdit oluşturur. Çünkü metan kuvvetli bir sera gazıdır ve uçucu organik bileşiklerin çoğu kokulu ve toksiktir. Ancak depo gazı yüksek enerji içeriğine sahiptir ve tutularak yakıldığında güç, buhar ve ısı üretimi sağlanabilir. Depo gazının arıtımı öncelikle faydalı kullanımı için gereklidir. Arıtma su ve bazı organik asitlerin yoğunlaşması ile sınırlı olabilir veya sülfid, partiküler madde, ağır metal, uçucu organik bileşikler ve karbondioksit giderimini kapsayabilir.

Katı atık düzenli depo sahalarından oluşan depo gazlarının büyük bir kısmını metan ve karbondioksit oluştursa da, yapılan çalışmalarda gaz içerisinde 170 den fazla bileşiğin olduğu belirlenmiştir (Gendebien vd., 1992). Çizelge 4.6'da kentsel katı atık depo gazı tipik bileşenleri, Çizelge 4.7'de depo gazı eser bileşikleri verilmiştir (El-Fadel vd., 1997).

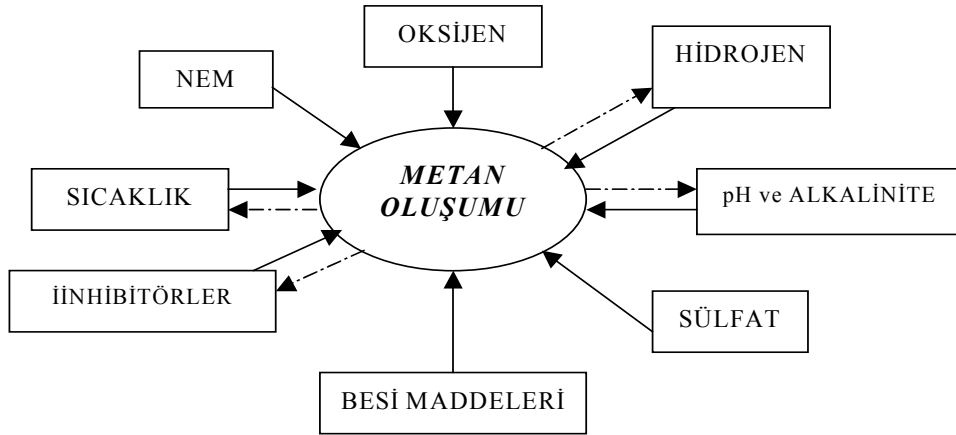
Depo sahalarında anaerobik ayrışmaya bağlı olarak meydana gelen metan gazının oluşumunu etkileyen faktörler Şekil 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Kentsel katı atık depo gazı tipik bileşenleri

<i>Bileşen</i>	<i>% Hacimsel (kuru)</i>
Metan	45-60
Karbondioksit	40-60
Nitrojen	2-5
Oksijen	0,1-1,0
Amonyak	0,1-1,0
Hidrojen	0-0,2

Çizelge 4.7 Depo gazı eser bileşikleri

<i>Eser bileşik grubu</i>	<i>Konsantrasyon aralığı (mg/m³)</i>
Alkoller	2-2500
Organosülfür bileşikleri	3-240
Halojenli hidrokarbonlar	1-2900
Aromatik hidrokarbonlar	30-1900
Aldehitler	0-200
Ketonlar	0-50
Alkanlar	20-4500
Alkenler	6-1100
Sikloalkanlar	1-1000
Esterler	0-1300
Eterler	0-250



Şekil 4.8 Metan oluşumunu etkileyen temel faktörler (Cossu, 1998)

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi'nden elde edilen kompost ürününün kalitesi ile atıkların aerobik ayrışmasının sağlandığı laboratuvar ölçekli pilot tesislerde ayrışma sonucu ortaya çıkan nihai ürünler karşılaştırılmıştır. Bu maksatla, kompost tesisinden farklı tarihlerde alınan numuneler ile aerobik sızıntı suyu geri devirli(A-1) ve geri devirsiz (A-2) reaktörlerden elde edilen nihai ürünlerin, bitkiye uygunluğu, su muhtevası, pH değeri, organik madde muhtevası, toplam Kjeldahl azotu (TKN), toplam fosfor (TP), hijyenik kalitesi ve ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir. Sonuç olarak elde edilen kompost ürünleri birbirleri ve kompost için belirlenmiş olan ulusal ve uluslar arası standartlarla karşılaştırılmıştır.

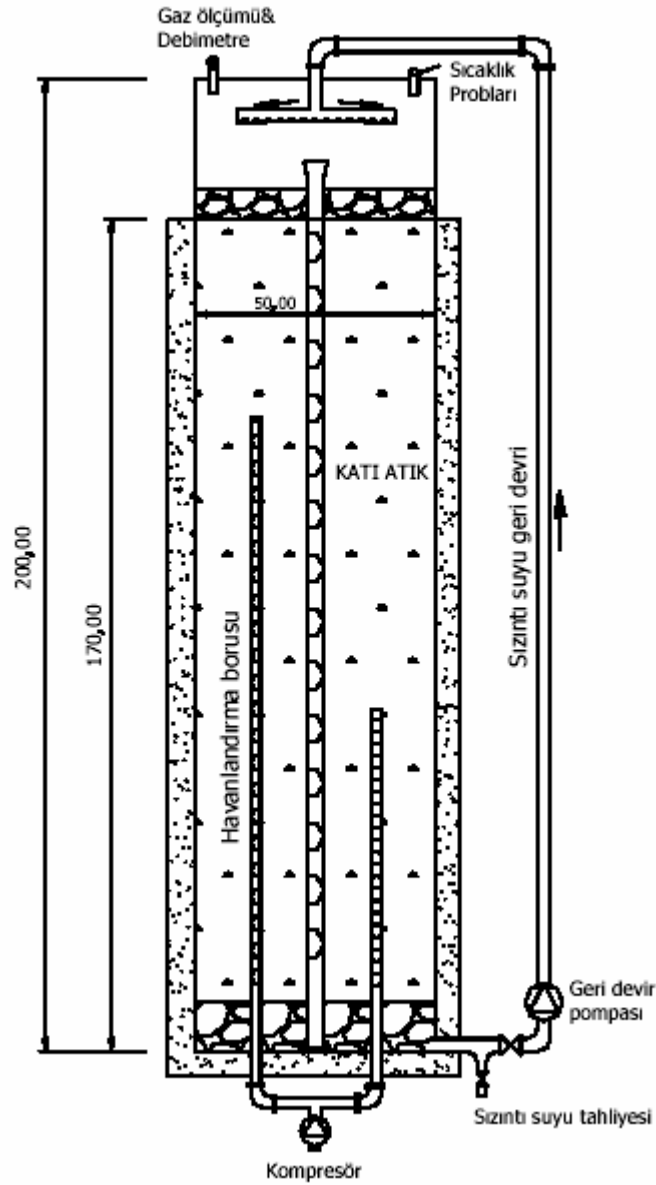
5.1 AEROBİK DEPOLAMA REAKTÖRLERİ

Düzenli depo sahalarında atıkların aerobik ayrışma proseslerinden elde edilen kompost ürününün incelenmesi maksadıyla gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli bu çalışmada, her biri 50 cm iç çap ve 200 cm yüksekliğe sahip olan 2 adet reaktör kullanılmıştır. Reaktörlere ait detaylar şematik olarak Şekil 5.1'de verilmiştir. Reaktörler aerobik (A-1 ve A-2) işletme şartlarında bir sızıntı suyu geri devirli (A-1) ve kontrol (A-2) maksatlı olarak işletilmiştir.

Reaktörlerin yapımında 0.5 cm kalınlığında polipropilen malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin tercih edilmesinin nedeni, aerobik ayrışma sırasında ortaya çıkması muhtemel yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmasıdır. Reaktörlerin iç çapı 50 cm olarak tasarlanmış, bu tabakanın dışına ise işletme sırasında dışardan ısı alışverişini önlemek maksadıyla 60 cm çapında ikinci bir tabaka teşkil edilerek iki tabakanın arası ısı yalıtım malzemesi ile doldurulmuştur. Reaktör tabanında oluşan sızıntı sularının drenajını sağlamak için 2.5 cm çaplı delikli borular kullanılmıştır. Bu drenaj borusunun üzeri atıklar reaktörlere doldurulmadan önce 10-15 cm çakıl tabakasıyla örtülmüştür. Oluşan depo gazlarının toplanması maksadıyla 4 cm çapında ve 170 cm yüksekliğinde delikli borular kullanılmıştır. Sızıntı suyu geri devir uygulaması atık yüzeyinden yağmurlama metoduyla gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla, reaktörlerin kapaklarına delikli borularla teşkil edilmiş birer T parçası yerleştirilmiştir.

Havalandırılmalı reaktörlerde ortama yeterli hava verilebilmesi için SUTAŞ Modüler Compressor Model No. SMS-2001 marka kompresör kullanılmıştır. Havalandırma işlemi için

aerobik reaktörlerin alt kısmından atık gövdesine 60 ve 120 cm yüksekliklere kadar uzanan 2,5 cm çaplı delikli borular yerleştirilmiştir. Reaktörler doldurulduktan sonra atık gövdesinde sıcaklık değişimlerinin izlenmesi için her bir reaktörün iki farklı noktasına (atık yüzeyinden 60 ve 120 cm derinlikte) sıcaklık probları yerleştirilmiştir. Reaktörlerin üst kapağında gaz çıkışı, sızıntı suyu geri devir borusu ve sıcaklık probu yerleştirilmesi için gerekli düzenekler hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan reaktörler ve ölçüm noktaları Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Çalışmada kullanılan reaktörler ve ölçüm noktaları

5.1.1 Reaktörlere Depolanan Atıkların Miktar ve Bileşenleri

Katı atıklar bileşenleri bakımından çok büyük farklılıklar gösteren heterojen karışımlardır. Katı atık bileşenlerinde gözlenen büyük farklılıklara rağmen, atıkları oluşturan en büyük

bileşenin organik maddeler olduğu söylenebilir. Atık bileşenleri katı atık depo sahalarında ayrışmayı etkileyen en önemli faktörlerden biri olup atık stabilizasyon hızı üzerinde de önemli etkileri vardır.

Bu çalışmada İstanbul'un Avrupa yakasını temsil eden katı atıklar kullanılmış olup Odayeri katı atık düzenli depolama sahasına 3 transfer istasyonundan gelen atıklar üzerinde madde grubu analizi gerçekleştirilmiştir. Baruthane, Halkalı ve Yenibosna transfer istasyonlarından gelen atıklardan karıştırılarak homojen hale getirilmiş 1 m³'lük kısım, 1 cm'lik elekten elenmiş ve her bir madde grubunun toplam atık kütlesi içerisindeki oranı yaş ve kuru ağırlık bazında belirlenmiştir. Bu analiz sonucunda reaktörlere doldurulan atık bileşenleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelge 5.1'den organik (yemek atıkları, meyve sebze atıkları, vs.) atıkların önemli bir yüzde oluşturduğu görülmektedir. Reaktörlerin özellikleri ve teorik olarak depolanacak atık miktarları ile ilgili bilgiler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Reaktörlere yerleştirilen atık miktarları teorik hesaplamalarla tutarlılık içinde olup A-1 ve A-2, reaktörlerine depolanan atık miktarları sırasıyla 179, 174 kg'dır (Bilgili, 2005).

Çizelge 5.1 Aerobik ve anaerobik reaktörlere depolanan atıkların ıslak ve kuru bazdaki bileşenleri (%)

<i>Atık Bileşeni</i>	<i>Yaş Ağırlık (%)</i>	<i>Kuru Ağırlık (%)</i>
Organik madde	44	32
Kağıt	8	6
Cam	6	10
Metal	6	10
Plastik	5	8
Tekstil	5	5
Naylon	9	15
Kül	9	7
Çocuk bezi	8	7
TOPLAM	100	100

Çizelge 5.2 Reaktörlerin özellikleri ve teorik olarak depolanacak atık miktarları

<i>Parametre</i>	<i>Değer</i>
Yükseklik (m)	2
Çap (m)	0.5
Çakıl tabakası yüksekliği (m)	0.1
Atık yüksekliği (m)	1.70
Toplam reaktör hacmi (m ³)	0,393
Etkin hacim (m ³)*	0,334
Sıkıştırılmamış atık yoğunluğu (kg/m ³)	500
Depolanacak atık miktarı (kg)	167

Gaz toplama ve havalandırma borularından kaynaklanan kayıplar ihmal edilmiştir.

5.2 KOMPOSTTA YAPILAN ANALİZLER

Kompost numunelerinde ve aerobik geri devirli ve geri devirsiz reaktörlerin nihai ürünlerinde; pH, uçucu organik madde, nem kaybı, TKN (Toplam Kjeldal Azotu), TP (Toplam Fosfor), TOC (Toplam Organik Karbon), ağır metaller, fitotoksinite ve Salmonella varlığı analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan analiz yöntemleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

5.2.1 Rottegrad Deneyi

Kompost numunesinde fermantasyon derecesini belirlemek üzere 10 cm iç çapa sahip 1,5 litre hacmindeki ISOTHERM Marka Dewar kabına kompost numune konularak sıcaklık artışları sık zaman aralıklarında izlenir ve sonuçlar değerlendirilir. Numune Dewar kabına konmadan önce 10 mm. çaplı elekten elenir ve Dewar kabının üst seviyesinden 5 cm. kalana kadar doldurularak homojenliği sağlamak için kap hafifçe sallanır. Dewar kabına maksimum – minimum sıcaklığı ölçüp kaydedebilen dijital bir termometre yerleştirilir ve oda sıcaklığında yapılan bu çalışmalar yaklaşık 5 günde tamamlanır. Değerlendirme, LAGA (Landerarbeitsgemeinschaft Abfall) Merkblatt M10'a göre yapılmaktadır. Sonuçlar LAGA Standart'ı ile karşılaştırıldığında numunenin hangi kalitede olduğu tespit edilir. Bu sonuç aynı zamanda kompostun kullanılabilirliğinin bir ölçüsü olup topraktaki kullanım oranı ile ilgili bilgi verir.

5.2.2 Fitotoksisite: Bitkiye Uygunluk Testi

Kompostda yapılan fiziksel ve kimyasal testler onun sadece kalite değeri hakkında ön bilgiye sahip olmamıza imkan vermektedir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar bitkiyi yetiştirme özelliği hakkında hiçbir bilgi vermemektedir. Elde edilen kompostta bu konunun aydınlanması için ayrıca bitkiye uygunluk testleri de yapılır.

Numune ilk olarak 10 mm çaplı elekten elenir. Fitotoksisite deneyi için %25'lik ve %50'lik kompost karışımları kullanılır. %25'lik kompost karışımı, ağırlık olarak %25'i kompost veya nihai ürün, %75'i ise sıfır birim toprak olan karışım demektir. %0'lık kompost karışımı veya bir başka deyişle %100'lük sıfır birim toprak karışımı şahit kabul edilerek, bu karışımlara tere bitkisi ekilir. Ekim yapılırken her bir karışımın hacimsel olarak da aynı olmasına ve sıcaklığa özen gösterilir. 500 ml'lik saksılara 400 ml hacminde ekim yapılır. 4-5 gün sonunda tere bitkileri hasat edilerek tartılır (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994).

İki ayrı kompost karışım oranına göre bitkiye uygunluk yüzdeleri aşağıda verilen bağıntı kullanılarak belirlenir.

$$TK (\%25, \%50) = [TK_{\%25, \%50} / TK_{0BT}] * 100 \quad (5.1)$$

Burada:

TK_{%25}: %25'lik kompost karışımında yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr)

TK_{%50}: %50'lik kompost karışımında yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr)

TK_{0BT}: Sıfır birim toprakta yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr)

5.2.3 Su Muhtevası Deneyi

Taze elenmiş kompost numunesi darası alınmış porselen kaplara belirli miktarlarda alınır. Etüvde 103-105 °C'de 24 saat kurutulur. Desikatöre alınan numune oda sıcaklığına getirildikten sonra tartılır. Elde edilen değerlerle aşağıdaki bağıntı kullanılarak su muhtevası hesaplanır.

$$SM = \frac{K_{yaş} - K_{kuru}}{K_{yaş} - K_{dara}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

$$KM = \frac{K_{kuru} - K_{dara}}{K_{yaş} - K_{dara}} \cdot 100 \quad (5.3)$$

Burada:

SM: Su Muhtevası (%)

KM: Katı Madde Muhtevası (%)

K_{dara} : Porselen Krozenin Darası (gr)

$K_{\text{yaş}}$: Kompost Numunesinin Yaş Ağırlığı + K_{dara} (gr)

K_{kuru} : Kurutulmuş Kompost Numunesinin Ağırlığı + K_{dara} (gr)

5.2.4 pH Tayini

Yaklaşık 1 gr kompost numunesi alınarak karbondioksit ihtiva etmeyen 10 ml saf suda karıştırılarak süspanse hale getirilir. Hazırlanan süspanسیون manyetik karıştırıcıda karıştırılır. Önceden kalibre edilmiş olan pH metre ile pH ölçümü yapılır (Gütezeichen Kompost, 1994).

5.2.5 Organik Madde Muhtevası

Katı atıklarda yanma kaybı atığın organik madde muhtevasına, yanmayan kısmını oluşturan su ve kül ise inorganik madde muhtevasına eşdeğerdir.

Taze elenen kompost numunesi 103 °C-105 °C'de etüvde 24 saat kurutulduktan sonra elde edilen numuneden 5-10 gr tartılarak darası alınmış porselen kaba konulur. 550 °C'de kül fırınında 3 saat yakılır. Desikatöre alınan porselen kaplar içindeki numuneler tekrar tartılır. Organik madde muhtevası O_m (%) şu şekilde hesaplanabilir:

$$O_m(\%) = \frac{a - b}{a - c} \quad (5.4)$$

Burada;

a= Yakmadan önce numunenin kapla birlikte ağırlığı (gr)

b= Yakmadan sonra numunenin kapla birlikte ağırlığı (gr)

c= kabın ağırlığı (gr) dir. (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994).

5.2.6 Toplam Kjeldahl Azotu Tayini (TKN)

Elenmiş, 105 °C'de kurutulmuş 1 mm'lik öğütücü ile öğütülmüş olan kompost numunesinden 1 gr alınarak 15 ml H_2SO_4 ve 1 adet Kjeldahl tableti ilave edilerek kjeldahl balonuna alınır. Asidik şartlarda TKN ünitesinde 3-6 saat parçalanmaya bırakılır. Numune damıtık su ile 300 ml'ye tamamlanır ve 50 ml $NaOH-Na_2S_2O_3$ ilavesi ile ortam bazik şartlara getirilir. Oluşan

NH_3 içinde 50 ml borik asit bulunan 300 ml'lik erlende toplanarak elde edilen distilatın titrasyonu 0.02 N H_2SO_4 ile yapılır. gr numune başına sarf edilen H_2SO_4 miktarından kompostun mevcut olan TKN değeri belirlenir (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994).

5.2.7 Toplam Fosfor Tayini (TP)

Elenmiş, 105 °C'de kurutularak 1 mm'lik öğütücü ile öğütülmüş olan kompost numunesinden 1 gr alınarak, 1 ml H_2SO_4 ve 5 ml HNO_3 ilave edilerek parçalama yapılır, renk açılmazsa parçalama gerçekleşmemiş demektir ve 5 ml HNO_3 ve 5 ml HClO_4 eklenerek balondaki hacim yaklaşık 1 ml kalana kadar çözelti TKN ünitesinde kaynatılır. Çözelti soğutulur ve birkaç damla fenol ftalein eklenerek kuvvetli baz 6 N Na OH ile pH 8,3'ün üzerine çıkıncaya kadar titre edilir. Pembe renk olan çözeltinin rengini gidermek için 1-2 damla kuvvetli asit çözeltisi ilave edilerek nötrleştirme yapılır. Bulanıklık varsa süzülür ve çözelti 100 ml'ye tamamlanır. 4 ml Molidat çözeltisi ve 0,5 ml SnCl_2 eklenerek 10-12 dakika beklenir ve 690 nm'de UV Spektrofotometre'de okunur.

5.2.8 Hijyen (Salmonella Tayini)

Evsel katı atıklarda *Salmonella sp.* en yaygın bulunan patojen mikroorganizmalardan biridir. Örnek olarak evsel katı atıkların içeriğinde *Salmonella sp.* popülasyonu 10^2 - 10^3 /gr-kuru ağırlık seviyesindedir (Brandon vd, 1977). Kompostta patojen mikroorganizmaları belirlemek için, "OXOİD Salmonella Rapid Test" yöntemi kullanılmıştır.

"OXOİD Salmonella Rapid Test", tüm gıda maddelerinde, hazır haldeki son üründe ve çevreden alınan numunelerde hareketli salmonellaların tespiti için kullanılan ve 42 saatte sonuç veren bir test yöntemidir.

Homojenize edilerek uygun bir ortamda ön zenginleştirilmesi yapılmış gıda numunesi salmonella elektive medium ve iki adet tüp içeren kültür kabına inoküle edilir. Her tüp, poröz bir yapıyla birbirinden ayrılan seçici bir besi yeri ve üst indikatör besi yeri içerir. Salmonellalar alttaki seçici ortamdan, üstteki indikatör ortama aktif olarak hareket ederler ve varlıkları renk değişikliği olarak belirir. Hareketli salmonella suşlarının elektiv brothdan seçici indikatör medyalara göçü ve gelişmeleri, A tüpünde H_2S oluşumuna bağlı siyah renklenme ve B tüpünde laktoz fermantasyonu yokluğunu gösteren kırmızı renklenme olarak gözlenir. Analiz 18 saatlik ön zenginleştirme aşaması dahil 42 saatte tamamlanır. Pozitif

reaksiyon gözlenen tüpler daha sonra OXOİD salmonella latex test kullanılarak 2 dakika içinde konfirme edilir. Gerekirse geleneksel metotlardan yararlanılarak sonucun geliştirilmesi sağlanır (Serolojik tür tayini).

Kompost numunesinden aseptik şartlarda alınan 10 gr numune selenit cystine'li besi yerine alınarak 35 °C'de 18 saat süre ile inhibe edilmiştir. Bu aşamadan sonra çalışma yukarıda anlatılan "OXOİD Salmonella Rapid Test" referans yöntemine göre yürütülmüştür. Çalışmalara şahit olarak steril su ve Salmonella sp. suş'u kullanılmıştır.

5.2.9 Ağır Metal

Aerobik reaktörlerde oluşan nihai ürünlerin ve kompostun ağır metal muhtevalarını belirlemek için öncelikle bu metallerin tamamen çözeltilmeye geçirilmesi işlemi gerçekleştirilir. Bu maksatla ETHOS-1600 marka mikrodalga fırın kullanılır. Kompost numunelerinden 1 gram alınarak teflondan yapılmış basınca dayanıklı özel kaplara konur ve üzerine 6 ml %65'lik HNO₃, 3 ml %35'lik HCl ve 0,25 ml %30'luk H₂O₂ ilave edilerek mikrodalga fırında parçalama işlemi gerçekleştirilir. Parçalama işlemi tamamlandıktan sonra numune hacmi 100 ml'ye tamamlanır ve ağır metal analizleri Perkin-Elmer marka Simaa-6000 model atomik absorpsiyon spektrofotometresiyle belirlenir. Çözeltide bulunan askıda katı maddeler süzme veya santrifüj ile uzaklaştırılmalıdır.

Katı atık numunelerinden ağır metal iyonlarının ekstrakte edilmesi işlemi tamamlandıktan sonra analiz için uygun lamba seçilir ve analizi yapılır.

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde kompost numunelerinde ve aerobik reaktörlerin nihai ürünlerinde yapılan analizlerin sonuçları verilmiş ve sonuçların birbirleriyle ve standartlarla karşılaştırılmıştır. İstanbul Katı Atık ve Geri Kazanma Tesisi'nden alınan kompost numuneleri tarihlerine göre Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Analizi yapılan kompost numuneleri

<i>Numuneler</i>	<i>Tarih</i>
Kompost Numunesi 1	17.03.2005
Kompost Numunesi 2	25.04.2005
Kompost Numunesi 3	13.05.2005
Kompost Numunesi 4	02.05.2001
Kompost Numunesi 5	16.08.2001
Kompost Numunesi 6	02.08.2001
Kompost Numunesi 7	02.09.2001
Kompost Numunesi 8	01.04.2001
Kompost Numunesi 9	01.05.2001

6.1 pH

Genel olarak bakteriler için optimum pH aralığının 6-8 arasında olduğu söylenebilir. Yapılan çalışmalarda, kompost prosesindeki aktif organizmalar için özellikle glikoz ve protein ayrışmasında optimum pH aralığının 7-8 olduğu ve glikozun 6-9 arasındaki pH değerlerinde daha hızlı ayrıştığı belirlenmiştir. (Nakasaki vd., 1993). Demir vd. (1999) tarafından yapılan anason atıklarının kompostlaştırılması çalışmasında ise, pH'nın başlangıç aşamasında arttığı ve stabilizasyon sonrasında 8,5 değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Kompostun pH'ı genellikle 6-8 arasında değişmektedir. Asidik veya bazik kompost bitki büyümesine zarar verebilmektedir. Özellikle pH 5,5-6,5 arasında kompost toprağa döküldüğünde filiz oluşumuna yardımcı olmakta ve pH 5,5-7,8 arasında toprak ıslahında kullanılmakta, bitki köklerinin soğukta ve sıcaklıkta kuraklıktan korunmasını sağlamaktadır.

King County ve Washington'da kompost kalitesi için geliştirilmiş olan kriterlere göre pH 5 ile 8 arasında olmalıdır. Avusturya Standart'larına göre kompostun pH değerinin 5,5 ile 8, Avustralya Standart'larına göre ise 6 ile 7 arasında olması istenmektedir. Almanya Standartlarında ve ülkemizde pH ile ilgili herhangi bir kriter getirilmemiştir (Brinton vd., 2000). LAGA Standartları'nda istenilen minimum pH değeri 7,0, ortalama pH değeri 7,6 ve maksimum pH değeri 8,3'tür.

Kompost numunelerinin ve A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin pH değerleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. Gerek kompost numuneleri gerekse aerobik geri devirli ve geri devirsiz reaktörlerin nihai ürünleri için sonuçlara bakıldığında pH değerlerinin yaklaşık olarak 7 ile 8 arasında değiştiği, minimum değer 7,18 ve maksimum değer ise 8,1 olduğu görülmektedir. A-1 ve A-2 reaktörlerinden elde edilen nihai ürünlerin pH değerleri de aynı değerlerde olup sırasıyla 7,71 ve 8,07 olarak tespit edilmiştir. Ayrıştırma prosesi ve bakteriler bakımından, kompost numunelerinin ve nihai ürünlerin pH değerleri optimum aralıktadır. LAGA Standartları ile karşılaştırma yapıldığında da her üç ürünün de pH değerleri sınır değerlerin arasında kalarak standarda uymaktadır

Çizelge 6.2 Kompost numuneleri pH değerleri

<i>Kompost numunesi</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<i>A-1 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>A-2 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>Kompost Ortalama Değeri</i>
pH	7,37	7,18	7,80	8,30	7,30	7,85	7,60	7,80	8,10	7,71	8,07	7,7

6.2 SU MUHTEVASI

Bitmiş kompostta istenilen nem içeriği %30-50 arasında değişmektedir. Kompostun nem oranı %60'dan fazla olduğu zaman araziye uygulanması zordur. Ayrıca nem içeriği fazla olan kompostun satılması, elle işlem yapılması zordur. İstanbul katı atık ve geri kazanım tesisi Teknik şartnamesinde su muhtevası değeri için, "8 haftalık çürüme süresinden sonra, azami su muhtevası ham kütleli ağırlığının %45'inden daha düşük olacaktır" ifadesi yer almaktadır. Dolayısıyla kompostun içerdiği su muhtevası için üst limit olarak %45 değeri alınabilir. Kompost numunelerinin ve A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin su muhtevası değerleri % olarak Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 Kompost numuneleri su muhtevası değerleri (%)

<i>Kompost numunesi</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>A-1 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>A-2 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>Kompost Ortalama Değeri</i>
Su Muhtevası (%)	41,73	32	35	32	25	37	30,4	28	26,2	70	45	31,8

Buna göre analizi yapılan kompost numunelerinde elde edilen sonuçlar %25 ile %41,73 arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama olarak bakıldığında ise ortalama değer %31,8'dir. Kompost numuneleri su muhtevası değerleri uygun aralıktadır. A-1 reaktörü nihai ürünü su muhtevası değeri %70, A-2 reaktörü su muhtevası değeri %45 olarak belirlenmiştir. A-2 reaktörü nihai ürünü su muhtevası bakımından uygun aralıkta seyrederken, A-1 reaktörü nihai ürününün su muhtevası sızıntı suyu geri devir uygulaması sebebiyle çok yüksektir. Bu ürünün araziye uygulanması, satılması ve elle işlem yapılması zordur.

LAGA Standartlarına göre kompostta istenilen minimum su muhtevası değeri %35, ortalama değer %36 ve maksimum değer %50'dir. Kompost numuneleri ortalama su muhtevası değeri alt sınır değere yakındır, A-2 reaktörü nihai ürünü su muhtevası değeri standardı sağlamakta ancak A-2 reaktörü su muhtevası değeri sızıntı suyu geri devrinden dolayı maksimum değerinin çok üzerinde kalmaktadır.

6.3 ORGANİK MADDE MUHTEVASI

Toprak kirliliği kontrolü Yönetmeliği'ne göre kompostun organik madde muhtevası en az %35 olmalıdır. Avusturya Standartlarına bakıldığında kritik değer %20, Amerika Standartlarında ise %30 olarak belirlenmiştir (Brinton vd, 2000). EPA'ya göre istenen organik madde muhtevası %30'un üzerinde olmalıdır (USEPA, 1994). Kompost numuneleri ve A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri organik madde muhtevası değerleri Çizelge 6.4'de verilmiştir. Kompost numuneleri ortalama organik madde muhtevası değeri %36,7, minimum değeri %31,6 ve maksimum değeri %45 olarak tespit edilmiştir. Kompost numuneleri organik madde muhtevası bakımından standartlara uygundur. A-1 reaktörü nihai ürünün organik madde muhtevası %43, A-2 reaktörü nihai ürünün %46,5'tur. A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin de organik madde muhtevası bakımından standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

LAGA Standartları'na göre kompostta istenilen minimum organik madde muhtevası değeri %25, ortalama değer %35, maksimum değer ise %45'tir. Sadece A-2 reaktörü nihai ürününün organik madde muhtevası değeri maksimum değeri çok az aşmakta, A-1 reaktörü nihai ürünü ve kompost numuneleri ortalama organik madde muhtevası değerleri sınırlar içinde kalmakta ve standarda uymaktadır.

Çizelge 6.4 Kompost numuneleri organik madde muhtevası değerleri (%)

<i>Kompost numunesi</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>A-1 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>A-2 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>Kompost Ortalama Değeri</i>
Organik Madde Muhtevası (%)	39,5	45	37	36	36,8	35,6	36,6	31,8	31,6	43	46,5	36,7

6.4 TKN VE TP

Olgun komposttaki azot gibi nütrientler, serbest kalmakta veya bitkilere uygulanmaktadır. Kompostta bulunan nütrientlerin oranı bitkilerin büyümesi ve bitkilere uygulanması açısından önemlidir. Buna en iyi örnek C/N oranıdır. C/N oranı yüksek olan kompost toprağa uygulanırsa toprak mikroorganizmaları enerji kazanmak için bitkilere lüzumlu olan azot yerine fazla karbonu indirgeyeceklerdir. Bu durum da bitkilerin büyümesine ters etki yapacaktır. Kompost numuneleri, A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri azot ve fosfor değerleri Çizelge 6.5'de ve Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.5 Kompost numuneleri toplam Kjehldal azotu değerleri (% mg/kg KM)

<i>Kompost numunesi</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>A1 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>A2 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>Kompost Ortalama Değeri</i>
TKN (%)	1,246	1,624	1,1	1,3	1,53	1,43	1,5	1,74	1,37	2,8	4,5	1,43

Çizelge 6.6 Kompost numuneleri toplam fosfor değerleri (mg/kg)

<i>Kompost numunesi</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>A1 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>A2 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>Kompost Ortalama Değeri</i>
TP	25	40	19	55	250	34	87	115	65	33	48	77

Reaktörlere depolanan atıklardaki TKN başlangıçta %2 mg/kg KM olarak tespit edilmiştir. A-1 ve A-2 reaktörlerinde 250 gün sonunda TKN değerleri %2,80 mg/kg KM ve 4,50 mg/kg KM olarak belirlenmiştir. A-1 reaktöründe TKN'nin A-2 reaktörüne göre bir miktar daha düşük olmasının sebebi, sızıntı suyu geri devrinin etkisinden meydana gelmektedir.

LAGA Standartlarına göre kompostta istenilen minimum TKN değeri %0,8 mg/kg KM, ortalama TKN değeri %1,1 mg/kg KM ve maksimum TKN değeri %1,5 mg/kg KM'dir. Kompost numuneleri ortalama TKN değeri bu sınırların içinde kalmakta fakat A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri TKN değerleri maksimum sınırı aşmakta özellikle sızıntı suyu geri devir yaptırılmayan A-2 reaktörü nihai ürününün TKN değeri standardın çok üzerinde kalmaktadır.

Bitkilerin büyümesi için gerekli nütrientlerden azotun yanında diğer bir önemli nütrient fosfordur. Wilkinson tarafından yapılan çalışmada bahçe organikleri nihai ürünlerinin ortalama fosfor değerleri 1800 mg/kg, minimum değer 500 mg/kg, maksimum değer ise 4780 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Wilkinson vd., 1998). A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin ve kompost numunelerinin fosfor değerlerine ortalama olarak bakıldığında bitki büyümesi açısından fosfor değerleri düşüktür. Bu nedenle kompost belli oranlarda toprak ile karıştırılmalıdır.

LAGA Standart'larına göre kompostta istenilen minimum TP değeri %0,4 mg/kg KM, ortalama TP değeri %0,7 mg/kg KM ve maksimum TP değeri %1,0 mg/kg KM'dir. Kompost numuneleri ortalama TP değeri %0,0077 mg/kg KM olup sınır değerlerin çok altında kalmaktadır. A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin TP değerleri ise kompostun da altında bulunduğu için standardın çok altında kalmaktadır.

6.5 C/N ORANI

Bir çok ürün için C/N oranı 35-53 değerleri arasında değişmektedir. Ancak bu değerler kompost için yüksektir. Genel olarak kompost prosesi başlangıcında kompost eğer gübre olarak kullanılacaksa C/N oranının 20-40 değerleri arasında olması istenmektedir (Wilkinson vd., 1998). C/N oranı kompost prosesi boyunca, mevcut karbonun büyük bir kısmı kullanılarak stabil nihai ürün meydana gelene kadar düşer. Hızlı bir ayrışmanın meydana gelebilmesi için başlangıç C/N oranının 20-35 olması önerilmektedir (Epstein, 1997; Graves ve Hattamer, 2000). A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin başlangıç C/N oranları 17 civarındadır. Bu nispeten düşük bir değerdir. Kompostun başlangıç C/N oranı ise yaklaşık olarak 23 olarak tespit edilmiştir. Bu değer hızlı bir ayrışmanın gerçekleşmesi için uygun aralıktadır.

C/N oranı kompostun stabilitesinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bu oran 20'nin altında ise kompostun stabil olduğu varsayılmaktadır. Olgunlaşmış bir kompost da C/N oranı yaklaşık 10 civarındadır (Mathur, 1991). Keller (1961)'e göre C/N oranı kompostun geniş çeşitliliğindeki stabilite göstergesine bağlı olarak güvenilir değildir.

Kompost numunelerinin ve A-1, A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin C/N oranları Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 Kompost numuneleri (C/N) değerleri

<i>Kompost numunesi</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<i>A-1 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>A-2 reaktörü nihai ürünü</i>	<i>Kompost Ortalama Değeri</i>
C/N	13,98	11,62	15,42	12,9	12,9	12,72	12,38	9,88	13,1	7,3	5,3	12,76

Kompost numuneleri ortalama C/N değeri 12,76 olup 20 değerinin altında kaldığı için stabil kompost olarak kabul edilebilir. Bazı numunelerde 10 değerine yaklaşmakta ve ortalama değer olarak 10 değerine yakın olması nedeniyle olgunlaşmış kompost olarak da varsayılabilir. A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin ise C/N oranları sırasıyla 7,3 ve 5,3 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler 10 değerinin altında kalmaktadır ve nihai ürünlerin, olgunlaşmış kompost olarak değerlendirilmesi mümkündür. C/N oranının kullanılması bazı durumlarda yanıltıcı olabilmektedir. Aydın ve Kocasoy (2002), Tosun, (2003) ve Jimenes ve

Garcia (1989) gibi araştırmacılar stabilizasyon göstergesi olarak $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$ parametresini kullanmışlardır. Jimens ve Garcia (1989), $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$ değerlerinin farklı kompostlaştırma süreleri için 0,49 ile 0,85 arasında değiştiğinin göstermiştir. Aydın ve Kocasoy (2002) tarafından yapılan çalışmada $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$ oranı 0,55-0,7, Tosun (2003) tarafından ise 0,45-0,6 aralığında bulunmuştur. A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin ise $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$ oranları sırasıyla 0,43 ve 0,31 olarak belirlenmiştir. Bu değerler yapılan çalışmalarda bulunan değerlere göre nispeten düşüktür. Kompost numunelerinin ortalama $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$ oranı 0,57'dir. Bu değer Jimenez ve Garcia (1989), Aydın ve Kocasoy (2002) ve Tosun (2003) tarafından elde edilen değerlerle uyumludur (Arıkan, 2003).

6.6 FİTOTOKSİSİTE (BİTKİYE UYGUNLUK TESTİ)

Kompost stabilitesinin en iyi göstergesi bitkilere olan etkisidir. Fitoksisite (bitkilerin zehirlenmesi) yüksek oranda ağır metal seviyesi, toksik bileşikler, organik asitler ve aynı zamanda kompostun oksijen talebinden kaynaklanmaktadır. Bitkiye uygunluk testinin sonuçlarına göre kompostun olgunluk derecesi belirlenebilir. Kompost numuneleri ve A-1, A-2 reaktörleri nihai ürünleri fitotoksisite testi sonuçları izelge 6.8'de verilmiştir.

Kompost numunelerinde yapılan fititoksisite testi sonuçlarına göre; %25'lik kompost karışımları bitkiye uygunluk %'si minimum değeri %12,5, maksimum değeri %100 ve ortalama değeri %75, %50'lik kompost karışımları bitkiye uygunluk %'si minimum değeri %12,6, maksimum değeri %100 ve ortalama değeri %80 olarak belirlenmiştir. Alman Standartlarına göre bu oranların %90'ın, Avusturya Standartlarına göre ise %80'in üzerinde olması istenmektedir. Bitki Büyüme Performans Standartlarına göre %90'ın üzerinde bitkiye uygunluk yüzdesi çok olgun kompostu, %80-%90 arasında bitkiye uygunluk yüzdesi olgun kompostu ve %80'in altındaki yüzde değerleri olgun olmayan kompostu işaret etmektedir (Brinton vd, 2000). Bu sınıflandırmaya göre kompost numuneleri olgunluk bakımından sınır değerlerde kalmaktadır. A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri sırasıyla %93 ve %94 değerleri ile çok olgun kompost sınıfına girerken %50'lik karışımlarda daha düşük bitkiye uygunluk yüzdelere sahip oldukları için olgun olmayan kompost sınıfında yer almaktadırlar. A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri zemin iyileştirme ve gübre amacı ile kullanılabilir.

Çizelge 6.8 Kompost numuneleri fitotoksosite değerleri

<i>Kompost Numunesi</i>	<i>%0</i>	<i>%25</i>	<i>%50</i>
1	100	30	12,6
2	100	100	78
3	100	12,5	6
4	100	100	100
5	100	100	100
6	100	76,6	77,4
7	100	100	100
8	100	100	100
9	100	100	100
Kompost Ortalama Değeri	100	80	75
A-1 reaktörü nihai ürünü	100	93	78
A-2 reaktörü nihai ürünü	100	94	62

Fitotoksosite toksik bileşenlerden kaynaklanabilir. Bu nedenle kompost stabilitesi ile fitotoksosite arasında sınıflandırma yapılarak kompost numunesinin hangi oranda toksik olduğu ile ilgili bir değerlendirme yapılması mümkündür (Environmental Engineering National Engineering Handbook, 2000). Bu sınıflandırma Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Kompost stabilitesi ile fitotoksosite arasında sınıflandırma (Environmental Engineering National Engineering Handbook, 2000)

<i>Bitkilerin inhibasyon yüzdesi</i>	<i>Toksik sınıflandırma</i>
81-100	Az, toksik değil
61-80	Orta derecede toksik
41-60	Toksik
21-40	Yüksek toksitite
0-20	Çok yüksek derecede toksik

Bu sınıflandırmaya göre kompost numuneleri ile ilgili olarak toksik değil yorumu yapılabilir. A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri de toksik değil sınıfına girmektedir. Kompostun ve A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin %25'lik karışım oranları bitkiye uygunluk yüzdeleri sırasıyla %80, %93 ve %94'tür. Dolayısıyla az toksik veya toksik değil sınıfı olan %81-%100 değerleri arasında yer almaktadırlar.

6.7 SALMONELLA (HİJYEN TESTİ)

Kompost tesisinden alınan ürünlerle A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri hijyenik kalitesinin göstergesi olarak Salmonella testi gerçekleştirilmiştir. Kompost ve A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri kullanılarak gerçekleştirilen Salmonella testi sonuçları Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10 Kompost numuneleri salmonella testi sonuçları

<i>Steril su</i>	–
Şahit	+
Kompost Numunesi 4	–
Kompost Numunesi 5	-
Kompost Numunesi 6	-
Kompost Numunesi 7	-
Kompost Numunesi 8	-
Kompost Numunesi 9	-
A-1 reaktörü nihai ürünü	-
A-2 reaktörü nihai ürünü	-

(+ : Pozitif) ; (- : Negatif)

Alınan kompost numunelerinde salgın hijyeni belirlemek üzere yapılan Salmonella testleri sonuçları, üretilen kompost ürününde, bulaşıcı ve salgın bir hastalık olan tifo hastalığının amili, Salmonella bakterisinin olmadığını göstermektedir. Bu sonuçlara göre kompost numunelerinin ve A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin, Salmonella açısından hijyenik olduğu söylenebilir.

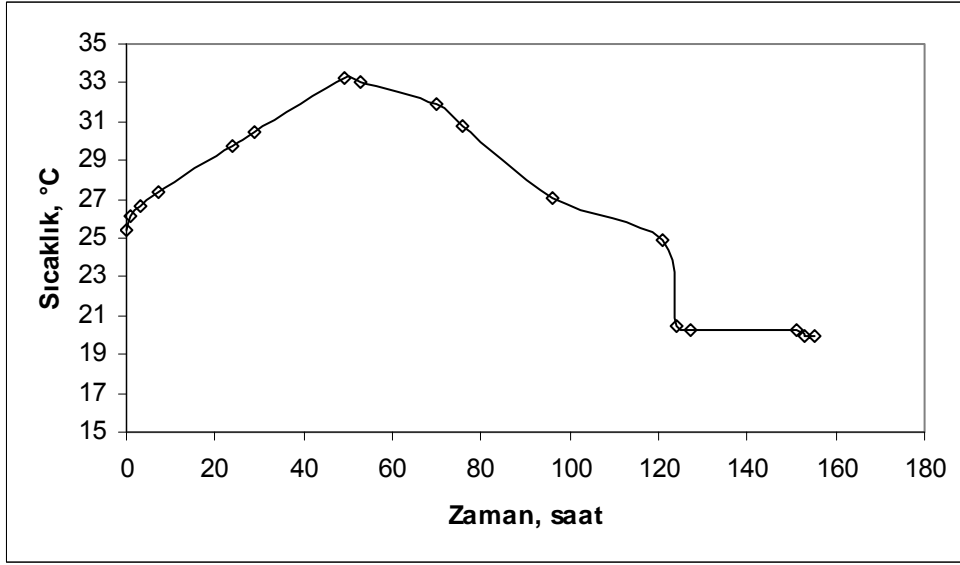
6.8 DEWAR TESTİ

Woods (1994) tarafından yapılan bir çalışmada sıcaklık artışına bağlı olarak kompost sınıflandırması yapılmış ve bu sınıflara ait kompost özellikleri tanımlanmıştır. Bu sınıflandırma Çizelge 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.11 Kompost sınıflandırması

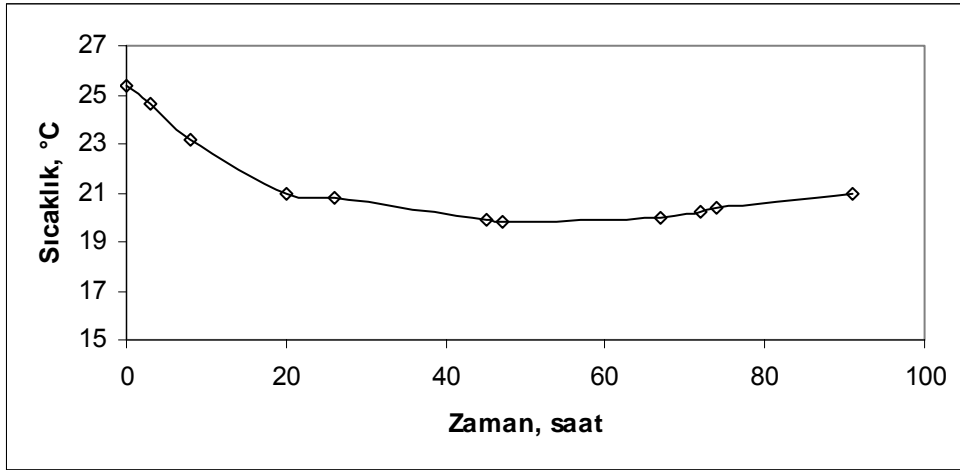
<i>Dewar kabında izlenen sıcaklık artışı (°C)</i>	<i>Stabilite sınıfı</i>	<i>Stabilite sınıfının tanımı</i>	<i>Grup</i>
0-10	V	Çok stabil, çok beklemiş kompost	Tamamlanmış kompost
10-20	IV	Orta stabilitede olgunlaşmış kompost	Tamamlanmış Kompost
20-30	III	Ayrışması devam eden, aktif kompost	Aktif Kompost
30-40	II	Olgun olmayan, taze veya çok aktif kompost	Aktif Kompost
40-50	I	Taze, ham kompost	Taze Kompost

Kompost numunelerinde kompost stabilitesini tanımlamak üzere yapılan Dewar testi sonuçları Şekil 6.1 – Şekil 6.9’da verilmiştir.



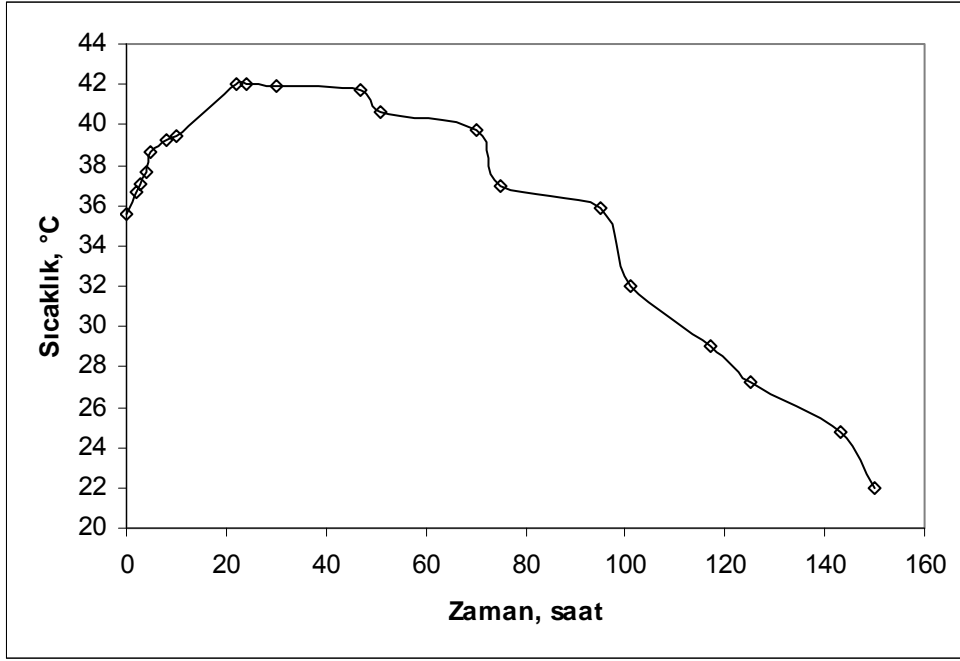
Şekil 6.1 Kompost numunesi 1 Dewar testi sonuçları

Kompost numunesi 1’de görülen sıcaklık artışı yaklaşık olarak 8 °C’dir. Sıcaklık 33,2 °C’de pik değer yaparak düşmeye başlamış ve bir süre sonra sıcaklık 19,9 °C’de sabitlenmiştir. Weimer’in sınıflandırmasında V. Stabilite sınıfında yer almakta ve çok stabil kompost olarak tariflenmekte, tamamlanmış kompost grubunda yer almaktadır.



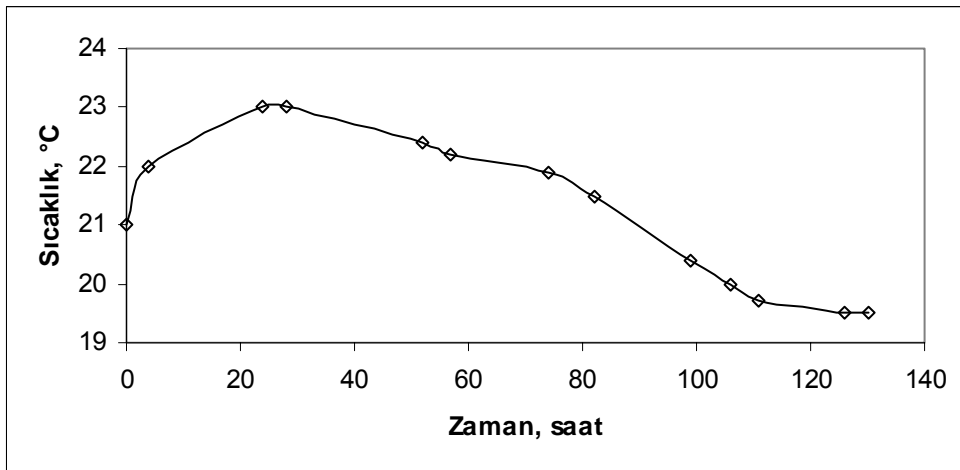
Şekil 6.2 Kompost numunesi 2 Dewar testi sonuçları

Kompost numunesi 2’de sıcaklık artışı gözlemlenmemiştir. Sıcaklık yaklaşık olarak 5 °C düşerek 20 °C’de sabitlenmiştir. Bu kompost numunesi için uzun bir zaman beklemiş kompost denilebilir.



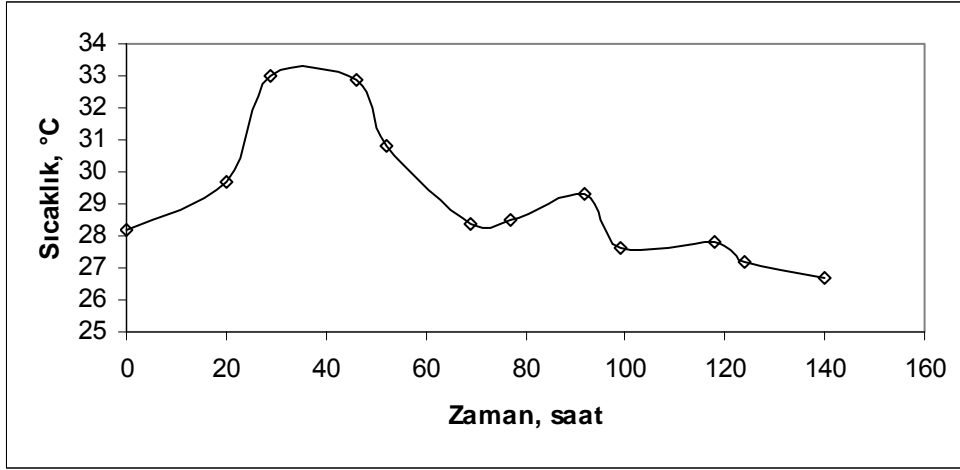
Şekil 6.3 Kompost numunesi 3 Dewar testi sonuçları

Kompost numunesi 3'te sıcaklık 42 °C'de pik yaparak düşüğe geçmiş ve 7 günün sonunda 21 °C'ye kadar düşmüştür. Sıcaklık artışı 10 °C'yi geçmemesine rağmen pik değerinde 40 °C'yi geçtiği için bu kompost numunesi olgun veya stabil olmayan kompost olarak adlandırılabilir.



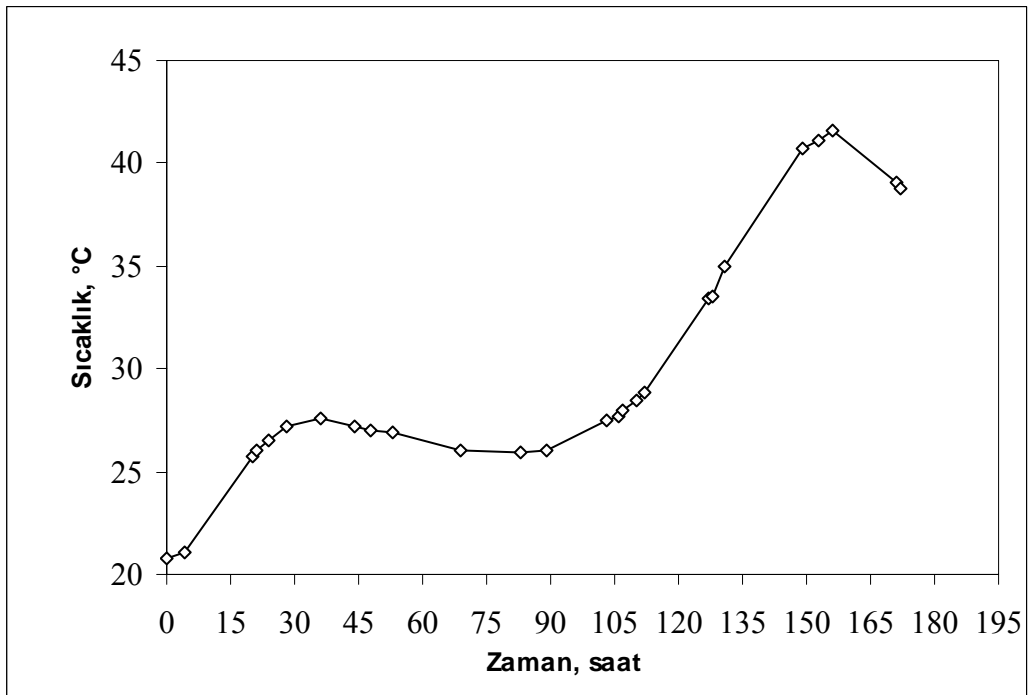
Şekil 6.4 Kompost numunesi 4 Dewar testi sonuçları

Kompost numunesi 4'te sıcaklık 21 °C'den başlamış, 23 °C'ye kadar çıkmış sonra düşerek 20 °C'de sabitlenmiştir. Sıcaklık artışı 2 °C'dir. Her bakımdan stabildir denilebilir.



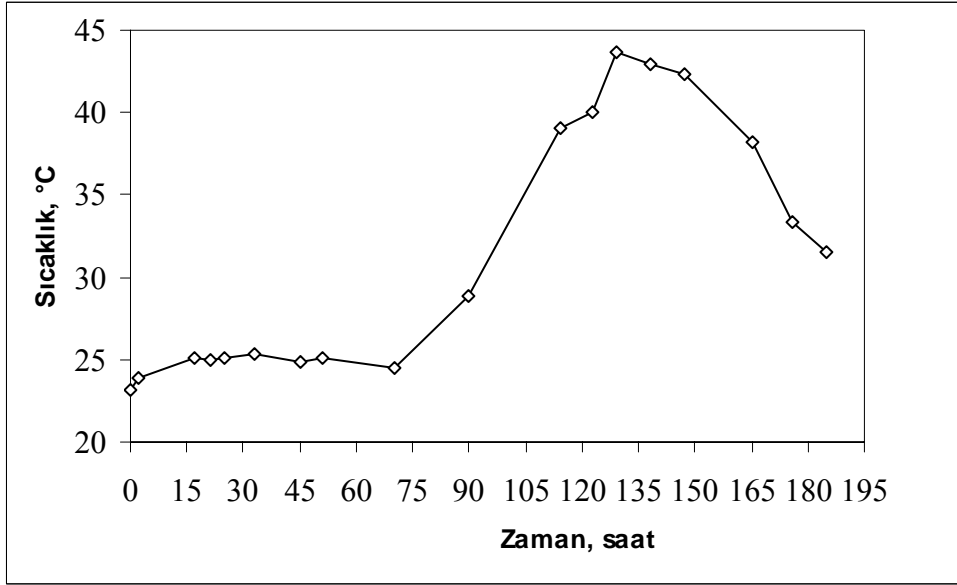
Şekil 6.5 Kompost numunesi 5 Dewar testi sonuçları

Kompost numunesi 5'te sıcaklık 28 °C ile başlamış, 33 °C'ye yükselmiş daha sonra 26 °C'ye düşerek sabit kalmıştır. Sıcaklık artışı 5 °C olarak gözlemlenmiştir.



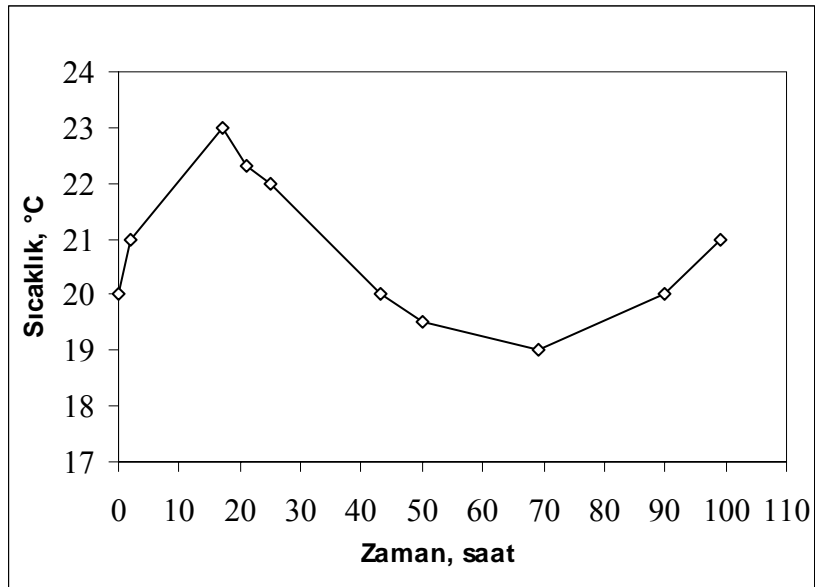
Şekil 6.6 Kompost numunesi 6 Dewar testi sonuçları

Kompost numunesi 6'da sıcaklık 21 °C'den başlayarak 43 °C'de pik değer yapmıştır. Daha sonra sıcaklık düşmeye başlamıştır. Hem sıcaklık artışı 20 °C'nin üzerine çıkmakta hem de maksimum değer 40 °C'yi aşmaktadır. 6 numaralı kompost numunesi için stabil olmayan, ayrışması devam eden aktif kompost tanımlaması yapılabilir.



Şekil 6.7 Kompost numunesi 7 Dewar testi sonuçları

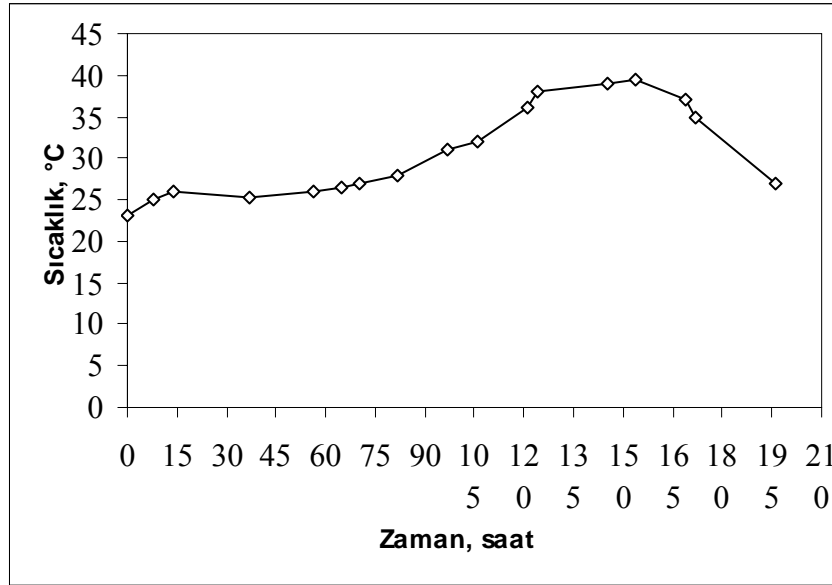
Kompost numunesi 7'de sıcaklık 24 °C'den başlayarak yaklaşık 45 °C'ye yükselmiştir. Kompost numunesi 6'da olduğu gibi hem sıcaklık artışı 20 °C'nin üzerindedir hem de en yüksek sıcaklık değeri 40 °C'nin üzerine çıkmıştır. Bu sonuçlara göre kompost numunesi stabil değildir. Ayrışması henüz tamamlanmamış olan aktif komposttur denilebilir.



Şekil 6.8 Kompost numunesi 8 Dewar testi sonuçları

Kompost numunesi 8'de sıcaklık 20 °C ile başlayarak 23 °C'ye çıkmış ve daha sonra yine 20 °C civarına düşmüştür. Sıcaklık artışı 3 °C olup 10 °C'nin altında kalmıştır. 8 numaralı

kompost numunesi çok stabil, beklemiş kompost olup tamamlanmış kompost olarak ifade edilebilir.



Şekil 6.9 Kompost numunesi 9 Dewar testi sonuçları

Kompost numunesi 9 için yapılan Dewar testi sonuçlarına göre sıcaklığın 23 °C'den başlayarak yaklaşık 39 °C'de pik yapıp daha sonra 22 °C'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı 16 °C'dir. En yüksek sıcaklık değeri 40 °C'nin üzerine çıkmamış ancak yaklaşmıştır. Kompost numunesi orta stabilitede olgunlaşmış kompost veya tamamlanmış kompost olarak tariflenebilir.

Dewar testi, kompostun olgunluğunun bir başka ifadeyle stabilitesinin ölçüsüdür. Dewar kabına konularak sıcaklık yükselmesi 5-6 gün boyunca izlenen numunenin olgunluğu hakkında yorum yapılabilir. Maksimum sıcaklık yükselmesi 10 °C'nin altında ise çok olgun, 10 °C -20 °C arasında ise olgun, 20 °C'nin üzerinde ise olgun olmayan kompost olarak sınıflandırılabilir (Brinton vd, 2000). Buna göre 1, 2, 3, 4, 5, 8 ve 9 numaralı kompost numunelerinde sıcaklık artışı 20 °C'nin altında kalırken, 6 ve 7 numaralı kompost numunelerinde sıcaklık artışı 20 °C'nin üzerine çıkmaktadır. 6 ve 7 numaralı kompost numuneleri için olgun olmayan kompost denilebilir.

Analizi yapılan kompost numuneleri için, değerlendirme yapıldığında 1, 2, 3, 4, 5, 8 ve 9 numaralı kompost numuneleri V. Stabilite sınıfına girmekte, çok stabil beklemiş kompost olarak tanımlanmakta ve tamamlanmış kompost olarak ifade edilmektedir. 6 ve 7 numaralı kompost numuneleri III. Stabilite sınıfına girmekte, ayrışması devam eden kompost olarak tanımlanmakta ve aktif kompost olarak ifade edilmektedir.

LAGA Standartları'na göre olgunluk sınıflandırması yapıldığında Dewar testi'nde elde edilen maksimum sıcaklık değerleri kullanılmaktadır. Bu standarda göre numunede izlenen maksimum sıcaklık 30 °C'nin altında ise kompost numunesi V no'lu kompost sınıfına girmekte, 30 °C - 40 °C arasında ise IV no'lu kompost sınıfına girmekte ve her iki sınıf ta olgun kompost olarak tanımlanmaktadır. İzlenen maksimum sıcaklık 40 °C – 50 °C arasında ise kompost numunesi III no'lu kompost sınıfına, 50 °C – 60 °C arasında ise II no'lu kompost sınıfına girmekte ve her iki sınıf ta taze kompost olarak adlandırılmaktadır. Numunede maksimum sıcaklık 60 °C'nin üzerine çıktığı takdirde, kompost numunesi I no'lu kompost sınıfında yer alarak kompost hammaddesi olarak tanımlanmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre 2, 4 ve 8 numaralı kompost numuneleri V no'lu sınıfa girmekte ve olgun kompost olarak tanımlanmaktadır. 1, 5 ve 9 numaralı kompost numuneleri IV no'lu sınıfa, 3, 6 ve 7 numaralı kompost numuneleri ise III no'lu kompost sınıfına girmekte ve taze kompost olarak tanımlanmaktadır.

6.9 AĞIR METALLER

Kompost numuneleri ile A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri üzerinde ağır metal analizleri yapılmıştır. Numunelerin içerdiği Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Çinko(Zn) ve Demir (Fe) konsantrasyonları Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Kompostun kullanılması durumunda Ülkemizde yürürlükte olan 31/05/2005 Tarih ve 25831 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği"ndeki hususlara uyulması gerekmektedir. Söz konusu yönetmelikte, toprakta kullanılacak komposta ait ağır metal muhtevaları ile ilgili bir sınırlama olmayıp, toprakta müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları ve bir yılda araziye verilebilecek ağır metal yükü değerleri verilmektedir. Kullanılacak kompostun yukarıda bahsi geçen yönetmelikte belirtilen sınırlamalara uyulacak şekilde kullanılması gerekmektedir.

Analizi yapılan 5 kompost numunesinin ortalama ağır metal değerleri Çizelge 3.4'te verilen 31/05/2005 Tarih ve 25831 sayılı Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek I-A toprak kirlilik parametreleri sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, Pb ve Ni konsantrasyonları standardın altında kalırken, Cd, Cr, Cu ve Zn konsantrasyonları standardın üzerinde yer almaktadır.

Çizelge 6.13'te kullanım alanlarına göre müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları verilmiştir.

Çizelge 6.12 Kompost numuneleri ağır metal değerleri (mg/kg)

<i>Kompost numuneleri</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>
1	85,9	3,5	204	310,8	81,3	506,2	2869
2	79,13	1,9	185	252,7	38	420	2354
3	102,7	5,2	295	627,6	52	368	3752
4	38,2	1,76	565	53	56,6	189,5	4950
5	197,5	8	210,4	363	35	503,1	3950
Ortalama	100,7	4,1	291,8	321,4	52,6	397,4	3575
A1 reaktörü nihai ürünü	124	4,3	310	125	53,7	35,4	550
A2 reaktörü nihai ürünü	110	5,5	370	110	62,8	31,2	512

Çizelge 6.13 Kullanım alanlarına göre müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları (TCCOB, 2005b)

<i>Ağır Metal</i>	<i>Kategori I (mg/kg KM)</i>	<i>Kategori II (mg/kg KM)</i>
Kurşun	50	250
Kadmiyum	1,5	2,5
Krom	100	200
Bakır	100	200
Nikel	50	100
Civa	1	2
Çinko	400	750

Bu standartlara göre Kategori I tarımda kullanılabilir kompostu, Kategori II ise park, bahçe düzenlemesi için örtü olarak kullanılabilen kompostu temsil etmektedir.

LAGA Standartları ile göz önüne alınarak kullanım alanına göre müsaade edilen maksimum ağır metal sınır değerlerine göre sınıflandırma yapıldığı takdirde kompost numuneleri sadece

Zn konsantrasyonu bakımından kategori I'de yer almakta, Ni ve Pb konsantrasyonları ile kategori II'ye girmekte, Cd, Cr ve Cu konsantrasyonları ile her iki kategoriye de girememektedir. Kompost için uluslararası ağır metal limitleri Çizelge 6.14'de verilmiştir.

Çizelge 6.14 Kompost için uluslararası ağır metal limitleri (mg/kg)
(USEPA, 1996;USEPA, 1995)

<i>Ağır Metaller</i>	<i>Victoria (1996)</i>	<i>NSW</i>
Cd	3	1.5
Cr	50	100
Cu	60	100
Pb	150	150
Ni	60	50
Zn	200	400

Kompost için uluslararası ağır metal limitleri ile değerlendirme yapılacak olursa; kompost numuneleri ağır metal ortalama analiz değerleri Pb, Ni ve Zn konsantrasyonu bakımından standartlara uymakta ancak Cd, Cr ve Cu konsantrasyonu bakımından sınır değerlerin üzerinde kalmaktadır.

A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri ağır metal konsantrasyonları 31/05/2005 Tarih ve 25831 sayılı Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek I-A toprak kirlilik parametrelerine göre değerlendirildiğinde Pb, Cu, Ni ve Zn değerleri sınır değerlerin altında kalırken, Cr ve Cd değerleri sınır değerleri aşmaktadır. Kompost için uluslararası ağır metal limitleri ile karşılaştırıldığında ise her iki nihai ürünün de Pb, Ni ve Zn konsantrasyonları standartlara uymakta ancak Cr, Cd ve Cu konsantrasyonları sınır değerlerin üzerine çıkmaktadır. LAGA Standartları kullanım alanı olarak sadece Zn değeri ile kategori I'e girmekte, Ni ve Pb değerleri ile kategori II'ye girmekte fakat Cd, Cr ve Cu değerleri ile hiçbir kategoride yer alamamaktadır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında gerek kompost numuneleri gerekse A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri özellikle Cr, Cd ve Cu konsantrasyonları bakımından yüksek ağır metal değerleri içermektedir. Çizelge 6.15'de Çeşitli Avrupa ülkelerinde kompost için kalite standartları verilmiştir.

Çizelge 6.15 Çeşitli Avrupa ülkelerinde kompost için kalite standartları (mg/kg kuru madde)
(Kuru maddede % 30 organik madde olarak kısmen standardize edilmiştir.)

	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Cd</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>
Almanya 1. Sınıf	70	35	70	300	1,0	0,7	100	-
Almanya 2. Sınıf	100	50	100	400	1,5	1,0	150	-
Avusturya Sınıf A+	70	25	70	200	0,7	0,4	45	-
Avusturya Sınıf A	70	60	150	500	1,0	0,7	120	
Avusturya Sınıf B	250	100	500	1.800	3	3	200	
Belçika/Flander	70	20	90	300	1,5	1,0	120	-
Danimarka	100	30	1.000	4.000	0,8	0,8	120	-
Finlandiya	-	100	600	1.500	3,0	2,0	150	50
Fransa	200	-	-	-	8,0	8,0	800	-
İtalya	510	200	600	2.500	10	10	500	10
Hollanda kompostu	50	20	60	200	1,0	0,3	100	15
Hollanda yüksek kaliteli kompostu	50	10	25	75	0,7	0,2	65	5
Lüksemburg	100	50	100	400	1,5	1,0	150	-
İspanya	750	400	1.750	4.000	40	25	1.200	-
İsveç	100	50	600	800	2,0	2,5	100	-

Çeşitli Avrupa ülkelerinde kompost için kalite standartları göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede kompost numuneleri, A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri içerdikleri Cd, Cr ve Cu konsantrasyonları sebebiyle Almanya 1. sınıf, Almanya 2. sınıf ve Avusturya A sınıfı standartlarını sağlayamamaktadır.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, aerobik olarak stabilize edilen katı atıklar ile kompost ürünü karşılaştırılmış; pH, su muhtevası , organik madde muhtevası, TKN, TP, C/N oranı, fitotoksisite testi, dewar testi, hijyen testi, ağır metal muhtevası gibi parametreler ile değerlendirme yapılarak gerek sızıntı suyu geri devir yaptırılan A-1 reaktörü gerekse sızıntı suyu geri devir yaptırılmayan A-2 reaktörü nihai ürünleri değerleri ve kompost ürünü değerleri ile ilgili aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

- Kompost numunelerinin ve A-1 ve A-2 reaktörlerinin nihai ürünlerinin pH değerleri birbirleri ile yaklaşık değerlere sahiptir ve 7 ile 8 değerleri arasında değişiklik göstererek standartlara uymaktadır.
- Su muhtevası, sızıntı suyu geri devir uygulamasından dolayı A-1 reaktörünün nihai ürününün en yüksek değerde olup standartların da çok üzerinde bulunmaktadır, kompost numunelerinin ve A-2 reaktörünün nihai ürününün su muhtevası değerleri standartlara uymaktadır.
- Gerek kompost numunelerinin, gerekse A-1 ve A-2 reaktörlerinin nihai ürünlerinin organik madde muhtevaları birbirlerine yakın değerlere sahiptir ve standartlara uygundur.
- En yüksek azot içeriği A-2 reaktörü nihai ürününde , en düşük azot içeriği ise A-1 reaktörü nihai ürününde tespit edilmiştir. A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin azot içerikleri standartlara göre yüksek kompost numunelerin ise uygundur.
- Kompost numunelerinin fosfor değerleri A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerine göre daha yüksektir ancak her üç ürünün de fosfor değeri standartlara oranla çok düşüktür.
- Her üç ürünün de C/N değerleri 10 veya daha düşük olduğundan olgun kompost olarak tanımlanabilirler.
- Fitotoksisite testi sonuçları bakımından değerlendirme yapıldığında her üç ürün de az toksik veya toksik olmayan kompost sınıfında yer almaktadırlar.
- Ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde, kompost numunelerinin ve A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerinin, Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr) ve Nikel (Ni) konsantrasyonlarının birbirlerine çok yakın olduğu, kompost numunelerinin Bakır (Cu) ve Çinko (Zn) konsantrasyonlarının A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünlerine göre çok yüksek olduğu görülmektedir. Her üç ürünün de Cd ve Cr konsantrasyonları standartların çok üzerinde kalmaktadır. Kompost numunelerinin ilave olarak Cu konsantrasyonu da standartların çok üzerindedir.

Sonuç olarak; gerek sızıntı suyu geri devir yaptırılan A-1 reaktörü gerekse sızıntı suyu geri devir yaptırılmayan A-2 reaktörü nihai ürünleri değeri kompost ürünü değerlerine yakın tespit edilmiştir. Kompostun gübre olarak ve toprak iyileştirme/zenginleştirme yeterliliğinde kullanılabilmesi için tüm kalite kriterlerini sağlaması gerekmektedir. Her üç üründe bu kriterleri tam olarak sağlayamadığından dolayı toprakla belli oranlarda karıştırılarak kullanılması uygun olur.

KAYNAKLAR

- Alkalay, D., Guerrero, L., Lema, J.M., Mendez, R., Chamy, R., (1998), "Review: Anaerobic treatment of municipal sanitary landfill leachates: the problem of refractory and toxic components", *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 14, 309 – 320.
- Arıkan, O.A., (2003), "Farklı Tipte Organik Katı Atıkların Havali Ve Havasız Ortamlarda Komposta Dönüştürülmesi", İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Aydın, G.G., Kocasoy, G., (2002), "Investigation of appropriate initial composting and aeration method for co-composting of yard waste and market wastes", *Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries, ISWA 2002, July 8-12, Istanbul*.
- Barlaz, M.A., Ham, R.K., Schaefer, D.M., (1989), "Mass balance analysis of anaerobically decomposed refuse", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 115(6):1088-1102.
- Baştürk, A., (1979), "Katı Atıklar Üzerine Bir Araştırma Modeli ve İstanbul İçin Uygulamaları", Doçentlik tezi, İstanbul.
- Baştürk, A., (1994), "Katı Atık Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Becker, H., (1995), "Good earth. Agr. Res.", 42(6):16. U.S. Dept. Agr., Agr. Res. Serv.
- Bernreuter, J. Stessel, R.I., (1999), "A Review of Aerobic Biocell Research And Technology", White Paper submitted to Biological Processes Subcommittee of SWANA (copy available. Earth and Environmental Engineering. Columbia University, New York, NY, 10027).
- Bilgili, S., Demir, A., Özkaya, B.,(2003), "İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompost Tesisi'nde Ürün Kalitesinin İzlenmesi", Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu IV.
- Bilgili, S., (2005), "Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik ve Anaerobik Ayırışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri", Doktora Tezi, YTÜ.
- Boni, MR., Delle Site, A., Lombardi, G., Rolle, E., (1997), "Aerobic-Anaerobic Operation of a Lab-scale Municipal Solid Waste Sanitary Landfill", *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 24:137-142.
- Booker, T.J., Ham, R.K., (1982), "Stabilization of Solid Wastes in Landfills", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 108 (6):1089-1100.
- Brinton, Jr., William F., Eric Evans, and Jonathan W.Q. Collinson, (1993), "On-farm composting guidelines for use of dairy and poultry manures in composting formulations", Woods End Research Laboratory, Maine.
- Brinton, W. F., Evans E., Droffner M., Brinton R. B., (2000), "A Standardized Dewar Test for Evaluation of Compost Self-Heating", Biocycle Report, Woods End Research Laboratory.
- Buenrostro, O., Bocco, G., Cram, S., (2001), "Classification of Sources of Municipal Solid Wastes in Developing Countries", *Resources, Conservation and Recycling*, 32: 29-41.

- Christensen, T.H., Kjeldsen, P., (1989), "Basic Biochemical Processes in Landfills", In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, Editors: Christensen, T.H., Cossu, R., Stegmann, R., Academic Press, London, UK.
- Clark, C.S., Buckingham, C.O., Derek, H.B., Clark, R.H., (1977), "Laboratory Scale Composting: Techniques", Journal of Environmental Engineering Division, 103:5, 893-906.
- Clark, C.S., Buckingham, C.O., Charbonneau R., Clark, R.H., (1978), "Laboratory Scale Composting: Studies", Journal of Environmental Engineering Division, Feb. 1978.
- Crawford, J.H., (1985), "Composting of Agricultural Waste", Biotechnology, Applications and Research, Cheremisnoff, P.N., Quelietee R.P. eds. Lancaster, PA.
- Cossu, R., (1989), "Role of landfilling in solid waste management", (Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, pp.3-12, edited by Christensen, T.H., Cossu, R., Stegmann, R., Academic Press, London.).
- Cossu, R., Muntoni, A., Sterzi, G., (1997), "Utilization of MSW Compost in Landfills; Effects of Leachate and Biogas Quality", Proceedings Sardinia 97, Sixth International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, Cagliari, Italy.
- Daskalopoulos, E., Badr, O., Probert, S.D., (1997a), "Economic and Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste", Applied Energy, 58:4: 209-255.
- Daskalopoulos, E., Badr, O., Probert, S.D., (1997b), "An Integrated Approach to Municipal Solid Waste Management", Resources, Conservation and Recycling, 24: 33-50.
- Demir, A., Özkaya, B., Avşar, F., (2001), "İstanbul Katı Atık Yönetiminde Kompostlaştırma ve Geri Kazanma", 1.Ulusal Katı Atık Kongresi, 18-21 Nisan 2001, İzmir.
- Demir, İ.; Baştürk, A., Arıkan, O., Altınbaş, M., (1999), "İstanbul'da Kompost Üretimi", Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu'99, 282-291, 17-19 Şubat 1999, İstanbul.
- Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı, (2003), "2001 Yılına Ait Belediye Katı Atık İstatistikleri Anketi Geçici Sonuçları", <http://www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/CEVRE/14052003.htm>.
- Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L., Golueke, C.G., (1993), "Composting and Recycling", Lewis Publishers.
- El-Fadel, M., Findikakis, A.N., Leckie, J.O., (1997), "Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling", Journal of Environmental Management, 50, 1-25.
- Environmental Engineering National Engineering Handbook, (2000), "Chapter 2 Composting, United States Department of Agriculture", Natural Resources Conservation Service.
- Epstein, E., (1997), "The Science of Composting", Technomic Publishing Company, Inc.
- Gendebien, A., Pauwels, M. Constant, M. Damanet, M.J., Nyns, E.J., Willumsen, H.C., Butson, J., Fabry R., Ferrero, G.L., (1992), "Landfill Gas: From Environment to Energy", Commission of the European Communities, Final Report, Luxemburg.
- Genois, C., (1995), "Kompost Tesisleri", Türk-Kanada Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, İller Bankası Genel Müdürlüğü, 17-18 Ekim, Ankara.

- Gomez, A, (1998), "Evaluation of Compost Quality", *Analytic Chemistry*, vol:17 no:5.
- Graves, R.E. and Hattemer, G.M., (2000), "Composting, Chapter 2", *Environmental Engineering National Engineering Handbook*, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Hamoda, M. F., Abu Qdais, H. A. and Newham, J., (1998), "Evaluation of Municipal Solid Waste Composting Kinetics", *Resources, Conservation and Recycling*, 23:4, 209-223.
- Hanashima, M., (1999), "Pollution Control and Stabilization Process by Semi-Aerobic Landfill Type: The Fukuoka Method", *Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre*, 4-8 October, Cagliari, Italy.
- Hartz, K.E., Klink, R.E., Ham, R.K., (1982), "Temperature Effects: Methane Generation From Landfill Samples", *Journal Of Environmental Engineering Division*, vol:108, no:4, 629-638.
- Haug, R.T., (1980), "Compost Engineering: Principles and Practice", *Ann Arbor Science Publisher Inc., Michigan*.
- Heyer, K., Hupe, K., Heerenklage, J., Ritzkowski, M., Dalheimar, F., Stegamm, R., (1999), "Aeration of Landfills as an Innovative Method of Process Enhancement and Remediation", *Seventh Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre*, 4-8 October, Cagliari, Italy.
- Hudgins, M., Harper, S., (1999), "Operational Characteristics Of Two Aerobic Landfill Systems", *The Seventh International Waste Management And Landfill Symposium, Sardinia, Italy*.
- Hudgins, M., (2000), "Innovative Methane Mitigation Using an Aerobic Landfill System", *Environmental Control Systems Inc., Personal Communication, Aiken, South Carolina, U.S.A.*
- Iglesias, J.R., Pelaez, L.Castrillon, Maison, E.M., Andres, H.S., (2000), "Biomethanization of Municipal Solid Waste In A Pilot Plant", *Water Research*, 34:2, 447-454.
- Kanat, G., Demir, A., Özkaya, B., Bilgili, M.S., (2002), "İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması", *Araştırma Projesi, YTÜ*.
- Karaaslan, Y., (2004), "İstanbul Katı Atık Kompost Tesisinde Kompostlaştırma Sürecinin İzlenmesi ve Ürün Kalitesinin Belirlenmesi", *Doktora Tezi, YTÜ FBE, İstanbul*.
- Keener, H.M., Hansen, R.C., (1997), "Airflow Through Compost: Design and Cost Implications", *Applied Engineering in Agriculture, Vol. 13, No. 3, pp. 377-384*.
- Keener, H.M., Elwell, D.L., Das, K., Hansen, R.C., (1997), "Specifying Design/Operation of Composting Systems Using Pilot Scale Data", *Applied Engineering in Agriculture*, 13 (6), 767-772.
- Keller, P., (1961), "Methods to evaluate maturity of compost", *Compost Sci. (7):20-26*.
- Konstantinos, Spanos, George Skodras, Paul Kaukos, (1998), "Composting Of Organic Residues", *End Of Life-Recycling, Disposal and Energy Production Symposium*, November 8-9, 1998, Hamburg, Germany.

- Kuter, G.A., Hoitink, H.A.J., Rossman, L.A., (1985), "Effects of aeration and temperature on composting of municipal sludge in a full-scale vessel system", *Journal Water Pollution Control Federation*, 57: 4, April 1985.
- Küçükgül, O., (1998), "Katı atık Düzenli depolama sahaları sızıntı suyu özelliklerinin değişimini ifade eden bir matematiksel model", Doktora tezi, İTÜ.
- LAGA, (Landerarbeitsgemeinschaft Abfall) Merkblatt M10, "Alman Kompost Kalite Standardı", (1997).
- Leao, S., Bishop, I., Evans, D., (2001), "Assessing the demand of solid waste disposal in Urban Region by urban dynamic modelling in a GIS environment", *Resources, Conservation and Recycling*, 33: 289-313.
- Lee, H.J., (1996), "Waste Composition and Characteristics as Predictors of Landfill Stabilization", Ph.D. Thesis, Graduate School of the University of Florida, Florida.
- Leikam, K., Heyer, K.U., (1997), "In-situ Stabilisation of Completed Landfills and Old Sites", *Proceedings Sardinia 97, Sixth International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, Cagliari, Italy.*
- Lisk, D.J., (1991), "Environmental Effects of Landfills", *The Science of the Total Environment*, 100:415-468.
- Mathur, S.P., (1991), "Composting Processes", pp. 147-186 In A.M. Martin(ed.). *Bioconversion of waste materials to Industrial Products*, Elsevier, New York.
- Metcalf & Eddy, (1991), "Wastewater Engineering: Collection, Treatment and Disposal", McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y, USA.
- Methodenbuch zur Analyse von Kompost, (1994), "Bundesgütegemeinschaft Kompost", e.v., (Murat KUBATOĞLU tarafından tercüme, İSTAÇ A:Ş.).
- Myung, Ho Um and Youn, (1997), "Quality Control For Commercial Compost In Korea", *National Institute Of Agricultural Science And Technology.*
- Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., Kubota, H., (1993), "Effects of pH Control on Composting Garbage", *Waste Management and Research*, 11, 117-125.
- Nastev, M., (1998), "Modelling Landfill Gas Generation and Migration in Sanitary Landfills and Geological Formations", PhD Thesis, Département de Géologie et de Génie Géologique, Faculté Des Sciences et de Génie, Université Laval, Québec.
- Özkaya, B., (2004), "Katı Atık Depo Sahalarında Sızıntı Suyu Geri Devrinin Atıkların Ayırılması Ve Sızıntı Suyu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Pohland, F.G., Cross, W.H., Gould, J.P., Reinhart, D.R., (1992), "The Behavior Organic Priority Pollutants Codisposed with Municipal Refuse", *US Agency, EPA Coop. Agreement*, CR-81215.
- Pohland, F.G. Al-Yousfi, B., (1994), "Design and Operation of Landfills for Optimum Stabilization and Biogas Production", *Water Science and Technology*, 30 (12), 117-124.
- Porteous, A., (1992), "Dictionary of Environmental Science and Technology", John Wilwy & Sons, UK.

- Purcell, B., (2000), "Aerox Landfilling the Operational Implications", *Wastes Management*, February, 27-28.
- Quasim, S.R., Chiang, W. (1994), "Sanitary Landfill Leachate: Generation, Control and Treatment", Technomic Publishing Co., Lancaster.
- Qin, W., Egolfopoulos, F.N., Tsotsis, T.T., (2001), "Fundamental and Environmental Aspects of Landfill Gas Utilization for Power Generation", *Chemical Engineering Journal*, 82, 157-172.
- Read, A.D., Hudgins, M., Phillips, P., (2001a), "Aerobic Landfill Test Cells and Their Implications for Sustainable Waste Disposal", *The Geographical Journal*, 167 (3), 235-247.
- Read, A.D., Hudgins, M., Harper, S., Phillips, P., Moris, J. (2001b), "The Successful Demonstration of Aerobic Landfilling: The Potential For A More Sustainable Solid Waste Management Approach", *Resources, Conservation and Recycling*. 32, 115-146.
- Reinikainen, O., Herranen, M., (1999), "Different Methods for Measuring Compost Stability and Maturity", *International Symposium, "Composting of Organic Matter"*, August 31-September 6, 1999, Kassandra-Chalkidiki, Greece.
- Sesay, A.A., Lasaridi, K.E., Stentiford, E.I., (1998), "Aerated Static Pile Composting of Municipal Solid Waste", *Waste Management and Research*, vol: 16, no: 3, 264-272.
- Sharma, V.K., Caudatelli, M., Fortuna, F., Cornacchia, G., (1997), "Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by Aerobic Composting: Review", *Energy Conversion & Management*, 38:5, 453-478.
- Shimaoka, T., Matsufuji, Y., Hanashima, M., (2000), "Characteristic and mechanism of semi-aerobic landfill on stabilization of solid waste", 1st Intercontinental Landfill Research Symposia, December 11-13, 2000, Lulea, Sweden.
- Speece, R.E., (1996), "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters", Archae Press, Nashville, Tennessee, USA, sh 40.
- Stessel, R., Murphy, A., (1992), "A Lysimeter Study of the Aerobic Landfill Concept", *Waste Management and Research*, 10, 485-503.
- Tabasaran, O., (1979), "Katı Atık Teknolojisinde Gelişmeler", İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., (1993), "Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues", McGraw Hill, Inc., USA.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, (2005a), "Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği", Resmi Gazete, sayı: 20814, 14.03.1991.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, (2005b), "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği", Resmi Gazete, sayı: 25831, 31.05.2005.
- The German Federal Compost Assurance Organization, (1994), "Methods Book for Analysis of Compost", (<http://www.bionet.net>).
- Tosun, İ., (2003), "Gül işleme posasının evsel katı atıklarla birlikte kompostlaşabilirliği", Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., and Itävaara, M., (2000), "Biodegradation of lignin in a compost environment: a review", *Bioresource Technology*, 72:2, 169-183.

- Uğurlu, A., (Türkçe Bas. Edit.), (1995), Suess, M.J., (Editör), “Katı Atık Yönetimi”, Çevre Müh. Odası, Yayını, Ankara.
- USEPA, Environmental Protection Agency, (1994), “NSW State of The Environment 1994”, <http://www.epa.nsw.gov.au/soe/95/>.
- USEPA, (1995), “NSW State of the Environment 1995”, NSW Environment Protection Authority, Sydney.
- USEPA, (1996), “Managing Contaminated Land in NSW: Proposals for a new legislative and administrative framework”, NSW Environment Protection Authority, Sydney.
- Vavilin, V.A., Vasiliev, V.B., Rytov, S.V., and Ponomarev, A.V., (1995), “Modelling Ammonia and Hydrogen Sulfide Inhibition in Anaerobic Digestion”, Water Research., Vol. 29, No 3, Pp 827-835.
- Vesilind, P. A., Worrel W., Reinhart, D., (1998),”Solid Waste Engineering”.
- Wall, D.K., Zeiss, C., (1995), “Municipal landfill biodegradation and settlement”, Journal of Environmental Engineering, ASCE, 121: 214-224.
- Wilkinson, K., Tymms, S., Hood, V. and Tee, E., (1998), “Guide to Best Practice, Composting Green Organics”, EcoRecycle Victoria.
- Woods, E., (1994), “Compost Self-Heating: Proposed CEN Compost Stability Test, prepared for British Standards Institute panel AFC/20/-/4, as a Compost Stability Test proposal for CEN/TC 223 Working Group (WG) 4”; Woods End Research Lab, Stroud, United Kingdom
- Wu, L., Ma, L. Q., Martinez, G. A., (2000), “Comparison of Methods for Evaluating Stability and Maturity of Biosolids Compost”, The Journal of Environmental Quality, 29:110.
- Yuen, S.T.S., Wang, Q.J., Styles, J.R., McMahon, T.A., (1997), “The Role of Water in Landfills: A Full-Scale Hydrological Study”, AWWA 17th. Federal Convention-Water in Balance, March 1997, Melbourne, Australia.
- Yuen, S., (1999), “Bioreactor Landfills Promoted By Leachate Recirculation : A Full-Scale Study”, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Melbourne, PhD Thesis.

EKLER

- Ek-1 Aerobik reaktörler ait görüntüler
- Ek-2 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'ne ait görüntüler
- Ek-3 Aerobik geri devirli ve geri devirsiz reaktör nihai ürünleri fitotoksisite testi sonuçlarının ait görüntüler

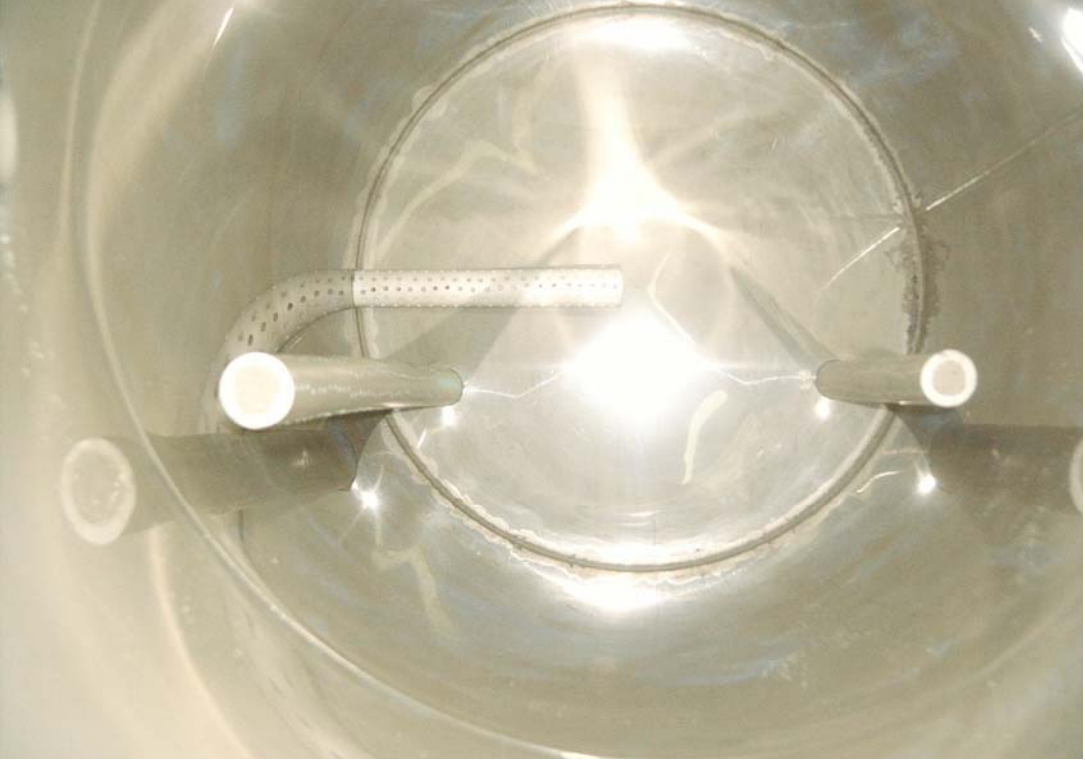
Ek 1 Çalışmanın gerçekleştirildiği reaktörlere ait görüntüler



Şekil Ek 1.1 Reaktörlerin işletme aşamasına ait görünüş



Şekil Ek 1.2 Aerobik reaktörlerin işletme aşamasına ait görünüş



Şekil Ek 1.3 Reaktörlerin iç kısmının görüntüsü



Şekil Ek 1.4 A-1 reaktörünün boşaltılmadan önceki görünüşü



Şekil Ek 1.5 A-2 reaktörünün boşaltılmadan önceki görünüşü



Şekil Ek 1.6 Aerobik reaktörlerden boşaltılan katı atıkların görünüşü

Ek 2 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'ne ait görüntüler



Şekil Ek 2.1 İstanbul Katı Atık ve Geri Kazanım Tesisi genel görünümü



Şekil Ek 2.2 Tesisin fermentasyon alanından görünüm

Ek 3 Fititoksisite testi sonuçlarına ait görüntüler



Şekil Ek 3.1 A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri fitotoksisite testi sonuçları 1



Şekil Ek 3.2 A-1 ve A-2 reaktörleri nihai ürünleri fitotoksisite testi sonuçları 2

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 03.10.1978

Doğum yeri İstanbul

Lise 1989-1996 Kadıköy Anadolu Lisesi

Lisans 1996-2000 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004-... Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Müh. Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

2005-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi