

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AYRI TOPLAMANIN KOMPOSTLAŞTIRMA
ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Çevre Mühendisi Yasemin BAYER

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet DEMİR

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
RESİM LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTARCT	x
1. GİRİŞ	1
2. KATI ATIKLAR ve KATI ATIK YÖNETİMİ	3
2.1 Giriş	3
2.2 Katı Atıkların Kaynakları	3
2.3 Katı Atıkların Sınıflandırılması	3
2.4 Katı Atık Yönetimi	4
2.5 Katı Atık Bertaraf Metotları	5
2.5.1 Geri Kazanım	7
2.5.2 Yakma	7
2.5.3 Piroliz ve Gazifikasyon	8
2.5.3.1 Piroliz	8
2.5.3.2 Gazifikasyon	9
2.5.4 Düzenli Depolama	9
2.5.5 Kompostlaştırma.....	10
3. KOMPOSTLAŞTIRMA.....	11
3.1 Aerobik Kompostlaştırma	11
3.2 Anaerobik Kompostlaştırma.....	16
3.3 Kompostlaştırma İşlemine Etki Eden Parametreler.....	15
3.3.1 Oksijen ve Havalandırma	15
3.3.2 Mikroorganizmalar	17
3.3.3 Elementel Kompozisyon ; Karbon (C) , Azot (N) ve C:N Oranı	20

3.3.3.1	Diğer Elementler.....	22
3.3.3.1.1	Fosfor (P).....	22
3.3.3.1.2	Sülfür (S)	23
3.3.4	Ağır Metaller	24
3.3.5	Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH)	25
3.3.6	Nem Muhtevası	26
3.3.7	Partikül Büyüklüğü.....	27
3.3.8	Sıcaklık	29
3.3.9	Süre.....	31
3.3.10	Katkı ve Boşluk Malzemesi.....	33
3.4	Kompostlaştırmada Kullanılan Materyaller	33
3.5	Kompostlaştırma Yöntemleri	35
3.5.1	Açık Kompostlaştırma Metotları	35
3.5.1.1	Döndürmeli Windrow Metodu	35
3.5.1.2	Pasif Havalandırmalı Statik Yığınlar.....	38
3.5.1.3	Statik Yığınların Pasif Havalandırılmasına Yardımcı Metotların Kullanılması.....	39
3.5.1.4	Havalandırmalı Statik Yığınlar.....	40
3.5.1.5	Açık Yığınların ve Windrowlarda Döndürme ve Basınçlı Havalandırma Metotlarının Kombinasyonunun Uygulanması.....	42
3.5.2	Kapalı Reaktör Sistemleri (Vessel)	44
3.5.2.1	Yatay Karıştırmalı Yataklar.....	44
3.5.2.2	Havalandırmalı Konteynırlar.....	45
3.5.2.3	Havalandırmalı-Karıştırmalı Konteynırlar	47
3.5.2.4	Silo veya Kule Reaktörler.....	47
3.5.2.5	Döner Tanbur Reaktörler.....	48
3.5.3	Kompostlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	50
3.5.4	Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğu.....	53
3.5.4.1	Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğunun Belirlenmesinde Kullanılan Kimyasal Parametreler.....	54
3.5.4.1.1	Karbon/Azot Oranı (C/N).....	54
3.5.4.1.2	Azot Türleri	55
3.5.4.1.3	pH	55
3.5.4.1.4	Katyon Değişim Kapasitesi (KDK).....	55
3.5.4.1.5	Organik Kimyasal Bileşenler	56
3.5.4.2	Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğunun Belirlenmesinde Kullanılan Fiziksel Parametreler.....	56
3.5.4.2.1	Sıcaklık ve Isı Çıkışı.....	56
3.5.4.2.2	Renk, Koku, Teşekkül ve Özgül Ağırlık	57
3.5.4.3	Bitki Deneyleri	57
3.5.4.4	Mikrobiyal Testler ve Mikrobiyolojik Aktivite	58
3.6	Kompost Kalitesi	59
3.6.1	Olgunluk	60
3.6.2	Yabancı Maddeler	61
3.6.3	Ağır Metaller	61
3.6.4	Patojenik Organizmalar	65
3.6.5	Diğer Karakteristikler.....	66
3.7	Türkiye ve Dünyada Kompostlaştırmaya İlişkin Standart ve Uygulamalar.....	67
3.7.1	Türkiye'deki Kompost Kalite Standartları	67
3.7.2	Dünya'nın Gelişmiş Ülkeleri için Kompost Kalite Standartları.....	70
3.8	Kompostun Kullanım Alanları	71

4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	73
4.1	Deney Düzenegi	74
4.2	Reaktörlere Yerleştirilen Atıkların Miktar ve Bileşenleri	75
4.3	Analiz Yöntemleri	77
4.3.1	pH ve İletkenlik Ölçümü	78
4.3.2	Su Muhtevası	78
4.3.3	Organik Madde Muhtevası	79
4.3.4	Toplam Kjeldahl ve Amonyum Azotu	79
4.3.5	Ağır Metal Muhtevası.....	80
4.3.6	KOİ	80
4.3.7	C/N Oranı	81
4.3.8	Fitotoksosite	81
4.3.9	Salmonella Tayini.....	82
4.4	Deneysel Bulguların Değerlendirilmesi	82
4.4.1	Sıcaklık	82
4.4.2	pH... ..	84
4.4.3	Su Muhtevası	85
4.4.4	Organik Madde	87
4.4.5	Toplam Kjeldahl ve Amonyum Azotu	89
4.4.6	C/N Oranı	91
4.4.7	Elektriksel İletkenlik	92
4.4.8	KOİ	94
4.4.9	Ağırlık Kayıpları	95
4.4.10	Sızıntı Suyu Analizleri	96
4.5	Son Ürün Özellikleri.....	97
4.5.1	Fitotoksosite	97
4.5.2	Salmonella Testi	98
4.5.3	Ağır Metal Seviyeleri ve Nütrient Bileşimi.....	98
4.5.4	Renk ve Koku	101
4.5.5	Kompost Karakterizasyonu	101
5.	SONUÇLAR.....	102
	KAYNAKLAR.....	104
	EKLER	107
	ÖZGEÇMİŞ	113

KISALTMA LİSTESİ

C/N: Karbon / Azot Oranı

C: Karbon

EKA:Evsel Katı Atık

OM: Organik Madde

İ.B.B: İstanbul Büyükşehir Belediyesi

İSTAÇ: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme
San. Ve Tic. A.Ş.

KAKY: Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

KOİ: Kimyasal Oksijen İhtyacı

N: Azot

NH⁺: Amonyum

TKKY: Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

TKN: Toplam Kjeldahl Azotu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Kompostlaştırma prosesi	13
Şekil 3.2 Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırılması süresince oksijen ve Karbondioksitteki değişim.....	17
Şekil 3.3 Yığın Kompostlaştırma Süresince Mikrobiyal Populasyon Değişimi.....	18
Şekil 3.4 Porozite, kütleli yoğunluk ve serbest hava yüzeyi arasındaki ilişki	28
Şekil 3.5 Kompostlaştırma prosesinin sıcaklık eğrisi	30
Şekil 3.6 Yığınların oluşturulması	37
Şekil 3.7 Yığınların taşınması.....	37
Şekil 3.8 Emmeli havalandırma sisteminde kullanılan 208 litrelik yoğunlaştırma kapalı... 42	
Şekil 3.9 Sıcaklık veya karbondioksit verme veya oksijen almaya bağlı olarak kompostlaştırma fazları.....	53
Şekil 3.10 Suyun akış hızını azaltmak amacıyla kompost kullanımı	72
Şekil 4.1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	75
Şekil 4.2 Kompostlaştırma süresince RO ve RK'daki sıcaklık değişimleri	84
Şekil 4.3 Kompostlaştırma süresince pH değişimi	85
Şekil 4.4 Çalışma süresince reaktörlerin su içeriğinde meydana gelen değişim	86
Şekil 4.5 RO'nun organik madde miktarı ve atık bileşenleri	87
Şekil 4.6 RK'nın organik madde miktarı ve atık bileşenleri	87
Şekil 4.7 RO ve RK'daki organik madde miktarlarının değişimi.....	88
Şekil 4.8 Reaktörlerin TKN değerleri.....	90
Şekil 4.9 Reaktörlerin amonyak değerleri	91
Şekil 4.10 Reaktörlerdeki C/N oranının değişimi.....	92
Şekil 4.11 RO ve RK'nın elektriksel iletkenlik değerleri	93
Şekil 4.12 RO ve RK'daki KOİ değişimi(mg/kg)	94
Şekil 4.13 Kompostlaştırma prosesi sonunda reaktörlerde gözlenen ağırlık kaybı.....	95
Şekil Ek-1.1 RO reaktörüne beslenen atıkların alındığı Geri Kazanım Tesisi atık kabul bölümü.....	108
Şekil Ek-1.2 RO reaktörüne beslenen atıkların elle ayrılması.....	108
Şekil Ek-1.3 RO reaktörüne beslenen atıklar	109
Şekil Ek-1.4 RK reaktörüne beslenen karışık evsel atıklar	109
Şekil Ek-1.5 RK reaktörüne beslenen karışık evsel atıkların genel görünümü	110
Şekil Ek-2.1 Reaktörlerin içerden görünümü	111
Şekil Ek-2.2 Reaktörlerin genel görünümü	111
Şekil Ek-2.3 Reaktörlerin genel görünümü	112

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Değişik atık yönetim sistemlerinin avantaj ve mahzurları	6
Çizelge 3.1 Bazı organik atıklarda anaerobik parçalanma verimleri	14
Çizelge 3.2 Aerobik ve anaerobik prosesin karşılaştırılması	14
Çizelge 3.3 Bazı parazit ve patojenler için termal ölüm noktaları	20
Çizelge 3.4 Bazı kompost besin maddelerinin C ve N bileşimi	21
Çizelge 3.5 Çeşitli besin maddeleri için karbon ve fosfor bileşimi	23
Çizelge 3.6 Farklı besin maddeleri ve kompost örnekleri için sülfür bileşimi	24
Çizelge 3.7 Avrupa kompost mevzuatlarındaki ağır metal limitleri ve ölçülen değerler	24
Çizelge 3.8 Ham arıtma çamurlarının ağaç yongaları ile 21 günlük kompostlaştırılmaları esnasında ulaşılan sıcaklıklar üzerinde pH'nın etkisi	26
Çizelge 3.9 Bazı kompost maddeleri için kütsel yoğunluk değerleri	29
Çizelge 3.10 Sıcaklığa bağlı olarak mikrorganizmaların sınıflandırılması	30
Çizelge 3.11 Seçilen madde-metot kombinasyonlarına uygun kompostlama süreleri	32
Çizelge 3.12 Kompostlama işleminde kullanılan maddelerin karakteristikleri	34
Çizelge 3.13 Kompostlaştırma sistemlerinin mukayesesi	51
Çizelge 3.14 Dewar kabında kendi kendine ısınma testi tanımlaması	57
Çizelge 3.15 CO ₂ çıkışına bağlı olarak kompost stabilite indeksi	58
Çizelge 3.16 Kompost kalitesinin belirlenmesinde kullanılabilecek parametreler	60
Çizelge 3.17 Bazı ülkeler için yabancı madde standartları	61
Çizelge 3.18 Çeşitli ülkeler için ağır metal sınır değerleri	62
Çizelge 3.19 Ülkelere göre kaynağında ayrılmış evsel atıktan üretilen kompostun ağır metal konsantrasyon değerleri	63
Çizelge 3.20 Ülke bazında karışık evsel katı atık kompostunun ağır metal konsantrasyonu değerleri	64
Çizelge 3.21 Kirlenici seviyelerini düşürmek için geliştirilen yaklaşımlar	65
Çizelge 3.22 Bazı ülkeler için kabul edilebilir patojen değerleri	65
Çizelge 3.23 Avusturya Ö-NORM kompost kalite standartları	67
Çizelge 3.24 TKKY(10.12.2001) ve KAKY(14.03.1991) topraktaki ağır metal sınır değerlerinin karşılaştırılması	69
Çizelge 3.25 TKKY ve KAKY toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yüklerinin karşılaştırılması	69
Çizelge 4.1 Kompostlaştırmada izlenen parametrelerin ölçüm yöntemleri ve sıklıkları	73
Çizelge 4.2 Reaktörlere konulan malzemelerin nütrient ve ağır metal bileşimi	77
Çizelge 4.3 Reaktörlere konulan malzemelerin özellikleri	77
Çizelge 4.4 Bazı ülkeler için kompostun organik madde muhtevasının limit değerleri	89
Çizelge 4.5 RO ve RK reaktörlerine ait kütle dengeleri	96
Çizelge 4.6 RO'dan çıkan sızıntı suyu miktarları	97
Çizelge 4.7 Sızıntı suyuna ait pH, Eİ ve KOİ değerleri	97
Çizelge 4.8 Kompost stabilitesi ile fitotoksinite arasındaki ilişki	98
Çizelge 4.9 Reaktörlerde elde edilen kompostun proses başlangıcı ve sonundaki ağır metal muhtevası ve nütrient bileşim miktarları	99

RESİM LİSTESİ

	Sayfa
Resim 3.1 Döndürmeli Windrow Kompostlaştırma	36
Resim 3.2 Pasif havalandırılmalı windrow sistemi.....	40
Resim 3.3 Havalandırılmalı Statik Yığınlar	41
Resim 3.4 Yatay Karıştırma Yataklı Kompost Sistemi	44
Resim 3.5 Konteyner ve plastik torba.....	46
Resim 3.6 Döner tanbur	49
Resim 3.7 Küçük ölçekli döner tanbur kompost reaktörü	49

ÖNSÖZ

Kompostlaştırma, organik madde bakımından zengin olan katı atıkların çevre ve insan sağlığı bakımından zararsız hale dönüştürülmelerinde uygulanan nihai bertaraf yöntemlerinden biridir. Kompostlaştırma metoduyla katı atıkların hacim ve ağırlıkları önemli oranda azaltılır. Ayrıca elde edilen kompost ürününden, tarım alanlarının ıslahından erozyon kontrolüne kadar pek çok alanda faydalanmak mümkündür.

Ülkemizde nihai bertaraf tesislerinde işlenen katı atıklar karışık olarak toplanmaktadır. Evsel katı atıkların zararsız hale getirilmelerinin yanı sıra enerji kaynakları ve hammaddeden tasarruf sağlanması açısından içeriğinde bulunan geri kazanılabilir nitelikteki gerek ambalaj atıklarının gerek organik atıkların ekonomik değerini kaybetmeden işlenebilmesi için kaynağında ayrı toplanmaları oldukça önemlidir. AB'ye uyum süreci içinde bulunan ülkemizde evsel katı atıkların ayrı toplanması, dolayısıyla organik evsel katı atıkların diğer atıklardan bağımsız bertaraf edilebilmesi ile ilgili altyapı çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmada evsel kaynaklı katı atıkların ayrı toplanmasının kompostlaştırma işlemi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla evsel katı atıkların yalnız organik kısımlarının kompostlaştırılması ve karışık haldeki evsel katı atıkların kompostlaştırılması süreci karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Ayrıca her iki kompostlaştırma süreci sonucunda elde edilen ürünler, özellikleri bakımından ulusal ve uluslararası kompost standartları bakımından değerlendirilmiştir.

Tezimin yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki katkıları ve desteği için, lisans öğrenimimden itibaren üzerimde büyük emeği olan, paylaştığı bilgi ve tecrübeleriyle mesleğimi sevmem, önemsemem ve meslek ahlakı edinmem noktasında büyük tesiri olan Muhterem Hocam, Sayın Prof. Dr. Ahmet DEMİR'e saygı, şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanmasında yardım ve desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman Atilla ARIKAN'a teşekkür ederim.

Tezimin deneysel çalışmaları, sonuçların değerlendirilmesi ve bu çalışmanın hemen her aşamasında sabır ve itina ile yardımlarını esirgemeyerek yanımda olan Sayın Çevre Yüksek Mühendisi Elif Banu GENÇSOY'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Sinan Bilgili'ye teşekkür ederim.

Pilot tesisin kurulması, çalıştırılması ve kontrolündeki katkılarından dolayı İSTAÇ çalışanlarına, çalışmamdaki destek ve anlayışlarından ötürü İ.B.B Atık Yönetimi Müdür Yardımcısı Sayın Selami YILDIRIM'a, Sayın Gültekin GÜLLÜ'ye ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Kaynak kitap temini ve motivasyon noktasında desteğini esirgemeyen değerli ağabeyim Sayın Lütfü BAYER'e teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada İstanbul'da günde ortalama 14.000 ton üretilen evsel katı atıkların karışık halde ve yalnız organik kısımlarının kompostlaştırılması karşılaştırmalı olarak ele alınarak ayrı toplamının kompostlaştırma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. RO; Evsel katı atıkların organik kısımlarının kompostlaştırıldığı reaktörü ve RK karışık evsel katı atıkların kompostlaştırıldığı reaktörü temsil etmektedir. Reaktörlere beslenen atıklar İ.B.B Geri Kazanım ve Kompost Tesisi'nden temin edilmiştir.

Kompostlaştırma işlemi 8 haftada tamamlanmıştır. Prosesin başlangıcında pH, iletkenlik, su muhtevası, organik madde muhtevası, Toplam Kjeldahl ve amonyum azotu, ağır metal içeriği, KOİ ve C/N; Alınan haftalık numunelerde pH, iletkenlik, su muhtevası, organik madde, KOİ; Proseste oluşan sızıntı sularında pH, elektrik iletkenliği ve KOİ; Proses sonunda elde edilen karışık ve elenmiş üründe (ince kompost) ürün kalitesinin belirlenmesi amacıyla pH, iletkenlik, su muhtevası, organik madde, Toplam Kjeldahl ve amonyum azotu, ağır metal, KOİ, C/N, fitotoksosite analizleri ile yabancı madde karakterizasyonu ve Salmonella Tayini yapılmıştır.

RO ve RK reaktörlerinden elde edilen ürünlerin pH değerleri sırasıyla 7.83 ve 7.85; Su muhtevası %20 ve %33; organik madde muhtevası %26 ve %21; TKN 7900 (mg/kg) ve 5000 (mg/kg); NH₃-N 59 (mg/kg) ve 62 (mg/kg); C/N değerleri ise 12 ve 15 olarak ölçülmüştür.

Reaktörlerden elde edilen kompost numyelerinin ağır metal değerleri RO ve RK için sırasıyla Mn 453; 572 mg/kg; Cu 155; 128 mg/kg; Zn 567; 352 mg/kg; B 48; 53 mg/kg; Cd 0.83; 1.36 mg/kg; Pb 84; 634 mg/kg; Ni 105; 96 mg/kg; Cr 222; 99 mg/kg; Co 10; 99 mg/kg olarak ölçülmüştür.

Yapılan fitotoksosite testlerinde RO'nun %25'lik ve %50'lik karışımlarında bitkiye uygunluk değerleri %92 ve %86; RK'nın %25'lik ve %50'lik karışımlarında bitkiye uygunluk değerleri ise sırasıyla %90 ve %84 olduğu ve her iki reaktörden elde edilen ürünün toksik olmayan sınıfında olduğu görülmüştür.

Her iki reaktörden elde edilen kompost numyelerinde *Salmonella* sp.'ye rastlanılmamış, numyelerin hijyen şartlarını sağladığı tesbit edilmiştir.

Katı atıkların ayrı toplanarak kompostlaştırılması daha nitelikli ürün elde edilmesi bakımından ve kompostlaştırma tesislerine karışık halde gelen katı atıkların ayrılması için harcanan zaman, iş gücü ve paradan tasarruf edilecek olması bakımından oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Katı atıklar, kaynağında ayırma, kompostlaştırma, kompost kalitesi

ABSTRACT

In this study, the composting process of both mixed and only organic municipal solid waste, that reach the amount of 14 000 ton per day in İstanbul, will be discussed comparatively. Moreover, the effect of source separated on composting process will be evaluated. RO, stands for the reactor, in which the organic parts of municipal solid wastes are composed and RK stands for the reactor which is used in the composting process of mixed municipal solid waste. Wastes, whose feedstocks are reactors, are provided from I.B.B Composting Plant.

The composting process had been completed within 8 weeks. In the beginning of the process, pH, electrical conductivity, water content, organic substance content, ammonium nitrogen and total Kjeldahl nitrogen (TKN), heavy metal content, chemical oxygen demand (COD) and C/N ratio ; In the samples that are taken per week, pH, electrical conductivity, water content, organic matter content, COD; In the leachate that is produced within process, pH, electrical conductivity and COD; in the product of under screened that is made at the end of the process, in order to determine the quality of the product, pH, water content, organic matter, TKN, and ammonium nitrogen, heavy metal, COD and C/N, phytotoxicity analysis, foreign matter characterisation, Salmonella test are installed.

The pH values of the products , that are made out of RO and RK reactors, are as follows: 7.83 and 7.85; Water content is 20% and 33%; organic substance content 26% and 21%; TKN 7900 (mg/kg) and 5000 (mg/kg); NH₃-N 59 (mg/kg) and 62 (mg/kg) and C/N values are admeasured as 12 and 15.

Heavy metal values of compost samples, that are made out of the reactors, are as follows: (for RO and RK respectively) Mn 453; 572 mg/kg; Cu 155; 128 mg/kg; Zn 567; 352 mg/kg; B 48; 53 mg/kg; Cd 0.83; 1.36 mg/kg; Pb 84; 634 mg/kg; Ni 105; 96 mg/kg; Cr 222; 99 mg/kg; Co 10; 99 mg/kg.

In the phytotoxicity tests that are held up till now, the phytotoxicity values of %25 and %50 mixtures of RO are: 92% and 86%; the phytotoxicity values of 25% and 50% mixtures of RK are 90% and 84% respectively. The results of phytotoxicity tests show that all the end products are in non-toxic class of the relevant standards.

In the compost samples taken from each reactor, *Salmonella* sp. is not seen and it is confirmed that the samples provide hygiene conditions.

The composting process of solid waste materials as source separated is greater important in maintaining high qualified product and in saving time, money and labour that are used in order to separate mixed materials at composting plants.

Key Words: solid wastes, source separated, composting, quality of compost

1. GİRİŞ

Atık üretimi mefhumu, insanların yeryüzündeki mevcudiyeti ile birlikte ortaya çıkmıştır. Başlangıçta çok dikkate değer seviyelerde değilse de nüfus artışı bu durumu değiştirmiş ve önceleri bölgesel alanlarda meydana gelen kirlenme, sınırlarını yeryüzünün tamamını içine alacak, hatta ve hatta uzay boşluğunu bile dahil edebileceğimiz bir alana kadar genişletmiştir. Kirlenme, tabiatın kendi doğal süreçlerini, döngülerini gerçekleştirmesi esnasında karşı karşıya kaldığı olumsuzlukların üstesinden gelemeyişinin bir sonucudur. Dolayısıyla kirlenmeye neden olan unsurların ortadan kaldırılması gerekmektedir.

İnsanlar, diğer canlılar ve çevre açısından önemle üzerinde durulması gereken problemlerden biri de katı atıklardır. Katı atıklar, kaynaklarının çok farklı olması sebebiyle toplanmalarından taşınmalarına, depolanmalarından nihaî bertarafalarına kadar titiz muamele görmelidirler. Usûlüne uygun bir şekilde bertaraf edilmediklerinde çevre ve insan sağlığı açısından tehlike arz eden durumların ortaya çıkmasına neden olurlar. Katı atıklar, özellikle nüfusun yoğun olduğu büyükşehirler için büyük bir sorun teşkil etmektedir.

Türkiye’de kişi başına düşen katı atık üretimi ortalama 1.31 kg/kişi-gündür. Yıllık katı atık üretimi 32 milyon tondur. Geri kazanılabilir atık oranı (organik atık hariç) %13 - 15’dir. Yani yıllık geri kazanılabilir atık miktarı 3.8 - 4 milyon tondur.

Ülkemizin içinde bulunduğu AB’ye uyum süreci, Türkiye’nin katı atık yönetimini AB Direktifleri ile uyumlu hale getirmesini gerekli kılmaktadır. AB Direktifi (*Düzenli Depolama Direktifi*, 99/31/EC.) uyarınca 1995 yılında oluşan kentsel katı atıklarının %80’ini depolayan Türkiye’nin düzenli depolama alanlarında bertaraf edebileceği, biyolojik olarak ayrışabilir nitelikteki katı atık miktarı; 2010 yılı için 1995 yılındaki biyolojik olarak ayrışabilir nitelikteki katı atık miktarının %75’i; 2013 yılı için 1995 yılındaki biyolojik olarak ayrışabilir nitelikteki katı atık miktarının %50’si; 2020 yılı için 1995 yılındaki biyolojik olarak ayrışabilir nitelikteki katı atık miktarının %30’u kadar olmalıdır. AB Ambalaj Atıkları Direktifi (Ambalaj Atıkları Direktifi, 94/62/EC.) üye ülkelerin 2008 yılında kentsel katı atıklarının >%60’ını geri kazanmalarını öngörmektedir. Avrupa Komisyonu, AB’ye üye olan 10 yeni üye için, ilave 4 yıl süren uyum sürecinde 2012 sonuna kadar bu hedeflere ulaşılmasını şart koşmaktadır. Ülkemizdeki 30.07.2004 tarih ve 25538 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Ambalaj

ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği yürürlüğe girdiği tarihten 2014 yılına kadar, toplam katı atık içindeki ambalaj atığı miktarının ağırlıkça %60'ının geri kazanılmasını öngörmektedir.

Bu doğrultuda ülkemizde biyolojik olarak ayrışabilir (organik) atıkların ve ambalaj atıklarının kaynağında ayrılması ve atık miktarının azaltılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Düzenli depolama alanlarına kabul edilecek organik atık miktarının azaltılması AB Direktifi'nin bir gereği olmasının yanı sıra; Düzenli depolanmaları halinde organik atıkların ayrışma sürecinin uzun, deponilerde arıtılabilirliği zor olan sızıntı sularının, metan gazının oluşması ve deponi alanı ihtiyacının artması söz konusu olduğundan organik atıkların daha nitelikli, verimli ve ekonomik bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Yakma işlemi uygulanabilecek bir diğer yöntem olmasının yanı sıra, gerek organik atıkların su muhtevalarının yüksek olması gerekse tesisten kaynaklanan baca gazının arıtılması için ilave önlemler alınmasının gerekli olması nedeniyle ekonomik bir yöntem değildir.

Organik atıkların geri dönüşümünün sağlandığı, çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek forma dönüştürüldüğü diğer bir yöntem ise kompostlaştırmadır. Kompostlaştırma işlemi nisbeten ucuz, etkili ve yüksek enerji sarfiyatı gerektirmeyen bir yöntemdir.

Ülkemizde faaliyet gösteren kompostlaştırma tesislerinde tesis içerisinde kısmi bir ayırma söz konusu olsa da neticede karışık halde toplanan kentsel katı atıklar kompostlaştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Bu çalışmada karışık olarak toplanan evsel katı atıklar ile ayrı toplanan kentsel katı atıkların kompostlaştırma süreçleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş, elde edilen ürünlerin kaliteleri yönetmeliklerde öngörülen sınır değerler esas alınarak karşılaştırılmış ve ayrı toplamının kompostlaştırma işlemi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

2. KATI ATIKLAR ve KATI ATIK YÖNETİMİ

2.1 Giriş

Katı atık ; “İnsanların yaşamsal, sosyal ve ekonomik faaliyetleri neticesinde atıl hale gelen ve akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen her türlü madde ve malzemedir”. Katı atıkların bir diğer tanımı da; “Üreticisi tarafından atılmak istenen, gerek toplumun huzurunun gerekse de çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı atıkların ve arıtma çamurlarının tümü” olarak, 14.03.1991 tarihli Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde yapılmıştır. Ayrıca bu yönetmelikte iri katı olarak nitelendirilen buzdolabı, çamaşır makinesi, koltuk gibi evsel nitelikli eşyalardan oluşan ve kullanılamayacak durumda olan çoğunlukla iri hacimli atıklar ve evsel katı atık olarak isimlendirilen; konutlardan atılan, tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, bahçe park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen atıklar katı atık olarak kabul edilmiştir.

2.2 Katı Atıkların Kaynakları

Katı atık bileşenleri, bileşenlerinin miktar ve özellikleri bölgenin sosyo-ekonomik yapısına, ticaret ve turizm faaliyetlerine, iklim şartlarına, yeşil alan miktarına, kullanılan yakıt türüne, varsa arıtma tesisi sayısı ve kapasitesine, nüfusa, tarım ve hayvancılık faaliyetlerine, yaşama/beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak değişkenlik gösterir.

2.3 Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıklar özelliklerine göre; kolay bozunabilen nitelikteki atıklar olan organik atıklar, kül dışında bozunamayan tüm atıkları kapsayan inorganik atıklar ve yanma sonucunda kalan malzeme olan küller şeklinde sınıflandırılabilir.

Kaynaklarına göre katı atıklar ise; Evsel atıklar, endüstriyel atıklar, açık alanlardan kaynaklanan atıklar, tarım ve zirai atıkları, tehlikeli atıklar ve özel atıklar şeklinde sınıflandırılabilir.

2.4 Katı Atık Yönetimi

Atık, her ne kadar işe yaramayan, kullanılamaz durumdaki madde/maddeler olarak düşünülse de atık içinde kullanılabilecek maddeler bulunduğu ve bunların değerlendirilmesinin hem büyük bir ekonomik kaynağın yok olmasını engellediği, hem de hammadde girdisi sağlayarak doğal kaynak kullanımını azalttığı bilinen bir gerçektir. Örneğin kağıt atıkların geri kazanılması ile %50 oranında enerji tasarrufu sağlanırken, su kirliliğinde %90 oranında azalma söz konusu olmaktadır.

Üretim ve tüketim sürecinin bir olgusu olarak üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan, üretenin ya da kullananın işine doğrudan faydası olmadığı için işe yaramayan ve elden çıkartılan, tesiste ya da yakın çevrede bulunması istenmediği için de uzaklaştırılması gereken her tür madde olarak tarif edilebilen ve evsel, endüstriyel, tıbbî ve özel kategorilerde sınıflandırılabilen, her yıl dünyada yaklaşık 1 milyar ton üretilen atıkların; üretilmelerinden başlayarak, denetlenerek kontrol altına alınması ile toplum ve çevre sağlığına en az zarar verecek şekilde uzaklaştırılması amacı ile sağlıklı ve ekonomik çözümler üretilmesine ve geliştirilmesine yönelik çalışmaları içeren atık yönetimi ile insanlara uluslararası standartta hizmet sunulması ve çevre kalitesinin korunması amaçlanmaktadır.

Türkiye’de atık yönetimi konusu özellikle son beş yıl içinde artan nüfus ve göç ile birlikte çoğu kez şehir sınırlarının çok içine kadar giren çöp dökme alanlarının yarattığı sorunlarla birlikte gündeme gelmiştir. Öncelikle düzensiz depolama sahalarının rehabilitasyonu ve yeni düzenli çöp depolama sahalarının açılması gündeme gelmiş ve daha sonra kompostlaştırma ve geri kazanım konuları tartışılmaya başlanmıştır. Ülkemizin mevcut koşulları dikkate alındığında yakma yönteminden ziyade düzenli depolama sahalarının kurulması ve bu alanlara gidecek atık miktarının azaltılması için önlemler alınması (değerlendirilebilir atıkların ayrı toplanması ve geri kazanım bu aşamada önem kazanmaktadır) Türkiye için öncelikli seçenekler olarak görünmektedir.

Katı atığın oluşumu, geçici depolanmasını, taşınmasını, işlenmesini, uzaklaştırılmasını ve ayrıca ekonomik değeri olan atıkların üretildiği yerlerde geri kazanımını içeren planlama ve idare metodu olan katı atık yönetiminin temel bileşenleri şunlardır; Atık oluşumu, atık ayırma, kaynakta sınıflandırma, toplama, ayırma, işleme ve dönüştürme, transfer ve taşıma, nihai uzaklaştırmadır.

Katı atık yönetiminin temel ilkeleri ;

- * Katı atık miktarının azaltılması amacı ile kaynakların korunması ve kaynakta ayırma programlarının uygulanması,
- * Katı atıkların işe yarar ürünlere dönüştürülmesi amacıyla geri dönüştürme programlarının uygulanması,
- * Katı atıkların hacminin azaltılması amacıyla yakma teknolojilerinin kullanılması,
- * Katı atıkların çevreye uygun bir şekilde uzaklaştırılabilmesi için yeni düzenli depolama alanı tasarım ve işletme teknolojilerinin kullanılması.

Katı atıkların çevreyi mümkün olduğu kadar kirletmeden imha edilebilmesi için değişik teknolojiler geliştirilmiştir. Bu yöntemler içinde en yaygın olarak kullanılanlar yakma, düzenli depolama ve kompostlaştırma olarak sayılabilir. Bunlardan da sadece düzenli depolama nihaî bir uzaklaştırma yöntemidir zira yakma ve kompostlaştırma gibi teknikler geriye nihaî olarak bertaraf edilmesi zorunlu olan kalıntılar bırakır.

2.5 Katı Atık Bertaraf Metotları

Kaynağında ayrı veya karışık toplanan katı atıklar, özelliklerine uygun olarak bertaraf edilmelidirler. 14.03.1991 tarihli Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği evsel katı atıkların kaynağında toplanması, taşınması ve bertaraf edilmelerine ilişkin teknik ve idari hususları belirlemektedir. Çizelge 2.1’de değişik atık yönetim sistemlerinin antajları ve dezavantajları bir arada verilmiştir.

Çizelge 2.1 Değişik atık yönetim sistemlerinin avantaj ve mahzurları (Çevre Bakanlığı, 2002)

Kriter	Düzenli depolama	Geri dönüşüm	Kompostlaştırma	Yakma
Çevresel yararlar	Geri dönüşebilir veya kompostlaştırılabilir malzemeler gömülmediği takdirde faydalıdır.	Metal, kâğıt, cam ve bazı plastikler için faydalıdır; ancak bazı plastiklerin geri dönüşümü için gerekli enerji ve su sarfıyatı fazla yüksektir.	Biyolojik atıktan humus toprağı/ gübre üretilebilir, ancak enerji ihtiyacı yüksektir.	Kompostlaştırılması ve geri dönüşümü mümkün olmayan malzemeler için uygundur.
Malzeme kısıtlamaları	Tüm malzemeler teknik olarak gömülebilir (bazı atıklar için özel önlemler gereklidir)	Tüm metaller, cam, HDPE, LDPE, PP, PVC, PET, kemik, ahşap ve ayrı olarak toplanan kâğıtlar için ekonomik açıdan uygundur.	Biyolojik atık, karışık evsel atık, kâğıt, bahçe ve park atıkları için uygundur.	Tüm malzemeler yakılabilir. Ancak, ilâve yakıt kullanmamak için, su muhtevası belli bir değerin altında, kalorifik değer ise belli bir sınırın üstünde olmalıdır.
Türkiye'deki uygulamalar	Büyükşehir Belediyelerinde ve bazı il merkezlerinde yönetmelik doğrultusunda düzenli depolama uygulamasına geçilmektedir.	Genellikle ilkel koşullarda hurdacılar tarafından gerçekleştirilmektedir. İzmir Belediyesi ve bazı özel şirketlerde modern teknoloji ile çalışan tesisler bulunmaktadır. İstanbul Belediyesi'nde inşa edilmektedir.	İzmir'de modern teknoloji ile çalışan bir tesis işletilmektedir (500 t/gün), İstanbul'da inşa edilmektedir.	Evsel atık yakma tesisi bulunmamaktadır. İzmit'te tehlikeli atık yakma tesisi bulunmakta ise de hala çalıştırılmamaktadır.
Enerji ihtiyacı	Yok (hattâ depolama gazının değerlendirilmesiyle cüz'î bir enerji kazancı bile söz konusu olabilir).	Düşük Yaklaşık 10 kW/t	Yüksek (kompost yığınlarının havalandırılması ve nemlendirilmesi için) Yaklaşık 50 kW/t	Enerji tüketimi: 30 – 100 kWh/ t atık Enerji üretimi: 500 – 600 kWh/t atık
Atıksu üretimi	Çok kirli sızıntı suyu 5 - 8 m ³ /(ha*gün)	Yok	Çok kirli sızıntı suyu; diğer atıksular kısmen geri dönüştürülebilir. < 0.1 m ³ /t	Evsel atıksu hariç, atıksuların tamamen geri dönüşümü teknoloji açısından mümkündür. Su sarfıyatı: 2 - 4 m ³ / t atık
Kriter	Düzenli depolama	Geri dönüşüm	Kompostlaştırma	Yakma
Hava kirliliği	Metan gazı üretir (yakılabilir) 80 - 150 m ³ /t	Yok	Çürüme aşamasında kirli gaz oluşur (biyofiltre veya yıkayıcı ile temizlenebilir) 30 - 100 m ³ /t	Yakmadan kaynaklanan çok kirli baca gazı 2.5 - 5 m ³ /t
Yer ihtiyacı ¹⁾	Tüm alternatifler arasında en yüksek	Düşük	Orta	Orta
Maliyet a) Yatırım b) İşletme (240 t/gün için)	a) Düşük (20 – 25 US\$/t) b) Düşük (5 - 15 US\$/t)	a) Orta (25 – 35 US\$/t) b) İşletme durumuna bağlı Yok ya da kârlı (10 - 20 US\$/t),	a) Orta (30 – 40 US\$/t) b) Orta (30 - 50 US\$/t)	a) Yüksek (150 – 180) US\$/t b) Yüksek (100 - 150 US\$/t)
Büyük belediyeler için uygunluk	Düşük maliyetinden dolayı avantajlı, ancak hammadde kaybı ve alan problemlerinden dolayı gelecekte kısıtlamalar olabilir; alternatifler arasında en az çevre dostudur.	Düşük işgücü ihtiyacı, mevcut geri dönüşüm piyasası ve yönetmelikteki hükümlerden dolayı avantajlıdır.	Atıklardaki yüksek organik madde muhtevası ve tarımdaki gübre ihtiyacından dolayı avantajlıdır.	Düşük alan ihtiyacından dolayı avantajlıdır.
Küçük ve orta belediyeler için uygunluk	Düşük maliyetinden dolayı avantajlı, alternatifler arasında en az çevre dostudur.	Düşük işgücü ihtiyacı, mevcut geri dönüşüm piyasası ve yönetmelikteki hükümlerden dolayı avantajlıdır.	Atıklardaki yüksek organik madde muhtevasından dolayı avantajlıdır. Belediyenin atık özellikleri, kompost satış olanakları ve maliyet uygunluğu belirleyici faktörlerdir.	Yüksek maliyet ve çok kalifiye personel ihtiyacından dolayı tavsiye edilmemektedir.

¹⁾ Tesisin kurulacağı arazinin yüz ölçümü

Katı atık bertaraf yöntemleri; geri kazanma, yakma, piroliz ve gazifikasyon, düzenli depolama ve kompostlaştırmadır.

2.5.1 Geri Kazanım

Bu yöntemde amaç atık oluşturmamaktır. Kullanılan madde miktarı azaltılarak daha az atığın ortaya çıkması sağlanır. Örneğin paketlenme için daha az ürün kullanımı, ürünlerin geri dönüştürülebilen kısmının artırılması, kullanılıp atılan ürünler yerine tekrar kullanılabilen ürünlerin üretilmesi. Halk ve endüstrinin bilinçlendirilmesi ile kişi başına üretilen atık miktarında % 25 oranında azalma sağlanabilir. Atık içerisinde geri kazanılabilir madde (cam, plastik, kağıt, metal vb.) miktarı yeterli ise geri kazanım mutlaka yapılmalıdır.

Geri dönüşüm; atıkların özelliklerinden faydalanarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Geri kazanılabilir malzemeler diğer atıklar ile karışık toplanmaları halinde ekonomik değerlerinde çok büyük kayıplar meydana gelmektedir. Kaynağında ayırma uygulanmaması halinde, yerleşim merkezlerinden toplanan atıkların tamamı geri kazanım tesisinde işlenmektedir. Ayrı toplamanın diğer avantajı ise, geri kazanım tesislerinin projelendirilmesi ve işletilmesinde kolaylıklar sağlamasıdır. Bu yüzden geri kazanım çalışması mutlaka kaynağında ayrı toplamayı içermelidir.

Geri dönüşüm yaparak katı atıklardan üretimde kullanmak üzere ikinci hammaddeye dönüşüm gerçekleştirilebilir. Geri kazanım ile katı atıklardan yakma, kompostlaştırma gibi işlemler sonucu yararlanılabilir.

D.I.E (2004) tarafından yapılan araştırmalara göre ülkemizde evsel atıkların ağırlık olarak % 12'sini cam, metal, plastik, kağıt ve karton gibi geri kazanılabilir atıklar oluşturmaktadır. Buna göre yıllık geri kazanılabilir atık miktarının 2 – 2,5 milyon ton olduğunu söyleyebiliriz. Hacim olarak ise ülkemiz çöpünün yaklaşık % 30 - 35 'ini geri kazanılabilir atıklar oluşturmaktadır.

2.5.2 Yakma

Katı atık hacminin azaltılması için toplanan çöplerin özel tesislerde yakılması işlemidir. Yakma ile çöpleri stabil hale getirerek hacimlerini % 70 – 80 oranında azaltmak mümkündür. Yakma işlemi: Hacim ve ağırlık küçültme oranının yüksek olması nedeniyle depolama sıkıntısının çekildiği metropollerde, hastahane çöplerinde olduğu gibi nihaî ürünün stabilize

edilmesinin gerekli olduğu durumlarda ve ısı değeri yüksek katı atıklarda enerji üretiminin söz konusu olduğu durumlarda uygulama alanı bulmaktadır;

Katı atıkların yakılabilmesi için atığın yakmaya uygun olması ve ikincil bir yakıtı ihtiyaç duyulmaması ekonomik açıdan önemlidir. Yakma işlemi neticesinde geriye kalan inorganik atıkların nihaî bertarafı için düzenli depolamaya ihtiyaç vardır.

2.5.3 Piroliz ve Gazifikasyon

2.5.3.1 Piroliz

Birçok gelişmiş ülkede çöp yığınlarını ortadan kaldırmak için yakma ve gömme işlemleri yerine çöpün değerlendirildiği, atıkların içindeki işe yarar kısımların geri kazanıldığı piroliz işlemine başvurulmaktadır. Piroliz; çöp yığınları içindeki cam ve metallerin ayrılmasından sonra geriye kalan ve işe yaramaz gibi görünen organik maddelerin hava kullanılmaksızın ısıtılarak gaz, sıvı yakıt ve kömüre dönüştürülmesidir.

Piroliz işlemi; demir - çelik endüstrisi veya kimya endüstrisinde kullanılan, yüksek sıcaklığa, klorit ve sülfidler gibi aşındırıcı gazlara dayanıklı bir yapıya sahip fırınlarda yapılmaktadır. Fırının tabanı erimeyen bir yapıya sahiptir. Atıklar fırının üst kısmından fırına atılır. Fırının sıcaklığı aşağı indikçe arttığından dolayı atıklar dibe çöktükçe erirler ve atıkların yapısında bulunan gazlar açığa çıkarlar. Oluşan bu gazlar ısındıkları için yükselirler ve fırının üst kısmına yakın bir yerden dışarı çıkarlar. Çıkan gazı külden kurtarmak ve nemini almak için gaz temizleme ünitesine ihtiyaç vardır. Diğer atıklar fırının dip kısmında erimiş mucur olarak birikir. Mucur su vasıtasıyla ayrıştırma tanklarına gönderilir. Ayrıştırma tankında, metallerden arındırılan mucur yüksek vasıflı karbon (kok kömürü) olarak değerlendirilir.

Piroliz biyokütleden gaz elde etmek için kullanılan en eski ve basit bir yöntem olup oksijensiz ortamda odunun 900°C'ye kadar ısıtılması ile oluşan kimyasal ve fiziksel olaylar dizisi olarak tanımlanır. Piroliz sonucu, gazlar katran, organik bileşikler, su ve odun kömürü gibi maddeler elde edilir. Isıl değeri yüksek metan ve hidrojen, elde edilen gazlar arasında yer alırken oluşan organik maddelerle petrolden çıkarılanlara benzer olarak petro - kimyasal adı verilir. Biyokütleyi çeşitli yakıtlara çevirmek için kullanılan en iyi yöntemlerdendir (www.akua.com.tr).

2.5.3.2 Gazifikasyon

Gazlaştırma, karbon içeren biyokütle gibi katıların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücresine verilen hava ile biyokütle yakılır ve çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra karbon monoksit ve azot gibi gazlar da bulunur. Gazlaştırmanın çevreye ciddi bir zararı yoktur. Biyokütle içindeki kükürt miktarı göz ardı edilebilecek kadar azdır (www.akua.com.tr).

2.5.4 Düzenli Depolama

Evsel atıkların düzenli bir şekilde toplanarak bertaraf edilmesi tüm kentlerde belediyelerin en önemli çevre sorunlarından biridir. Bu atıkların nihai bertarafı için çeşitli alternatifler olmakla birlikte özellikle gelişmekte olan ülkeler ekonomik avantajları dolayısıyla evsel katı atıkların bertarafı için düzenli depolama alanlarını kullanmaktadır. Bu yöntemde genel olarak atıklar geçirimsiz veya geçirimsizliği sağlanmış zemin üzerine yerleştirilmekte, atık hacmini azaltmak için sıkıştırılmakta ve periyodik olarak üzeri kapatılmaktadır. Ancak bu sistemlerde organik atıkların bozunması ve yağmur sularının atıkların içinden süzülmesi sonucu sızıntı suları oluşmakta ve bu sızıntı suları gerektiği gibi arıtılmadığı takdirde toprak kirliliğine, yer altı ve yüzeysel suların kirlenmesine neden olarak ayrı bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Sızıntı sularının kompozisyonu birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Sızıntı sularının amonyak azotu, pH, KOİ ve renk değerlerinin yüksek olması, bu suların çevreye verilmeden önce arıtılmasını gerekli kılmaktadır.

Düzenli depolama alanlarındaki atıkların anaerobik dekompozisyonu sonucu genellikle karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) gazı içeren biyogaz oluşmaktadır. Biyogaz enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmekte, ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Ancak biyogaz kontrol altına alınmadığı takdirde hava kirliliğine ve daha da önemlisi patlamalara neden olarak facialara yol açmaktadır.

Düzenli depolama alanlarına yerleştirilen katı atıkların genel olarak büyük bir kısmı organik maddeler olup, % 50'si selüloz, %15'i lignin, %10'u hemiselüloz, %5'i protein ve az miktarda nişasta, pektin ve eriyebilen şekerli maddelerden oluşmaktadır. Bu organik maddelerin kimyasal oksidasyon ile bozunarak mineral şekline dönüştürülmesi ile CO₂

oluşmaktadır. Düzenli depolama alanlarında bulunan mikroorganizmalar çoğunlukla organik bileşikleri parçalamakta ve enerji üretmek için kimyasal reaksiyonları meydana getirmektedir.

Düzenli depolama yöntemi, uygun arazinin bulunması halinde ekonomik bir yöntemdir. Yatırım maliyeti nisbeten en az olan yöntemdir. Katı atık miktarına göre kapasitenin artırılması mümkündür. Kullanılıp kapatılan araziler rekreasyon amacıyla istifadeye açıktır, fakat tamamlanmış depo alanlarında göçük ve yerel çökmeler olabileceğinden devamlı bakımı gerekmektedir. Sıvı ve gaz sızıntıları gibi sakıncalı durumların ortaya çıkmaması için devamlı kontrol altında tutulmalıdır.

Düzenli depolama alanlarında evsel atıklar her ne kadar anaerobik olarak bozunmakta ise de, son yıllarda buna alternatif olabilecek ve atıklardan kaynaklanan çevresel sorunların azaltılacağı ve çok daha ekonomik olarak atıkların bertarafının sağlanabileceği belirlenen aerobik düzenli depolama alanları ile ilgili çalışmalar dünyada yapılmaktadır. Japonya ve A.B.D’de bu yöntem kendine uygulama alanı bulmuştur.

Değişik ülkelerde yapılan araştırmalar düzenli depolama alanlarının anaerobik yerine aerobik şartlarda çalıştırılmasının daha ekonomik olduğunu ortaya koymuştur. Bu ekonomik yararlar;

- Düzenli depolama alanlarının ömrünün uzatılması,
- Sızıntı suyu miktarının ve kirleticilerinin azaltılması,
- Metan gazı oluşumunun azaltılması,
- Düzenli depolama alanlarının kapatılması ve rehabilitasyon masraflarının azaltılması,
- Çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması,

olarak özetlenebilir.

2.5.5 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, katı atıkların içindeki organik kısımların (sebze, meyva, selüloz, yemek atıkları, her türlü bahçe atıkları v.b.) biyokimyasal süreçten geçirilmesi sonucu stabilize edilmiş, mineralize olmuş, humusa benzer yapıdaki kitleye/malzemeye döndürülmesi işlemidir. Bu kitleye de kompost denir. Buna atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarını eklemek de mümkündür. Kompostlaştırma konusu 3. Bölüm’de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3. KOMPOSTLAŖTIRMA

KompostlaŖtırma çok eski zamanlarda uygulanmıŖ bir yöntemdir. İsraili'ler, Grekler ve Romalı'lar organik atıkları ya doğrudan ya da kompostlaŖtırarak kullanmıŖlardır. Eski Güney Amerika, in, Japonya ve Hindistan uygarlıkları hayvan ve insan atıklarını tarımda yoğun bir Ŗekilde kullanmıŖlardır. Bu organik atıkların çoğunu yığınlar oluŖturarak zaman içinde çürümesini sağlayıp kompost retmiŖlerdir. Amerika'daki araŖtırmacılar kompostlaŖtırmanın 1880'li yıllarda baŖladığını ortaya koymuŖlardır (Epstein, 1997).

Eski Arap kültürü kitapları kompost süreçleri ve kullanım alanlarının yanı sıra ezilmiŖ kemiklerin, yn kırpıntılarının, odun küllerinin ve kirecin kompostun gbresel değerine olan etkilerinden bahsetmektedir. 2. Dünya SavaŖı sonrası kompostlaŖtırma ile ilgili yapılan alıŖmalar hız kazanmıŖtır. Caspari ve Meyer (1964) kltlmŖ plerle arıtma çamurunun karıŖımını Brikollare yöntemi ile kompostlaŖtırma tekniğini geliŖtirmiŖlerdir

KompostlaŖtırmanın genel hedefleri; (1)ayrıŖabilir organik maddeleri biyolojik olarak stabil maddeye dnŖtrmek, (2)katı atıklarda bulunabilen patojenleri, böcek yumurtalarını ve diğer istenmeyen organizmaları ve yabani ot tohumlarını yok etmek, (3)maksimum nütrient (azot, fosfor ve potasyum) içeriğine sahip olmak, (4)bitki geliŖmesini desteklemek ve toprak iyileŖtirici olarak kullanılabilen bir ürün üretmektir (Tosun, 2003).

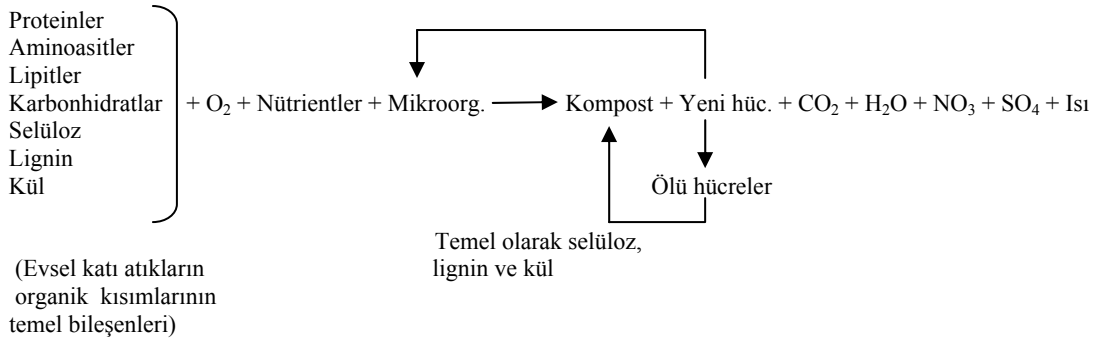
KompostlaŖtırma iŖlemi aerobik veya anaerobik koŖullarda gerekleŖtirilebilmektedir.

3.1 Aerobik KompostlaŖtırma

KompostlaŖtırma; uygun organik maddeler bir araya getirildiğinde baŖlar. Ham maddeler önce karıŖtırılır ve iŖlemin baŖlaması için ortama yeterli miktarda hava verilir. Mikroorganizmalar oksijeni çabucak harcarlar ve kelmiŖ maddeler havayı gözenek boŖluklarından dıŖarı atarlar. Ortamdaki oksijen azaldıkça aerobik bozunma yavaŖlar ve eğer oksijen sağlanmazsa iŖlem durur. Ortama oksijen vermek için havalandırmanın sürekli liğinin sağlanması Ŗarttır (ztrk ve Bildik, 2005).

Aerobik kompostlaŖtırma madde ayrıŖmasını hızlandırır ve patojenlerin yok edilmesi için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık artıŖı meydana getirir. Aerobik kompostlaŖtırma

aynı zamanda istenmeyen kokuları da minimize eder. Aerobik kompostlaştırma prosesine giren ve çıkan maddeler Denklem (3.1)'deki gibi ifade edilebilir (Tosun, 2003).



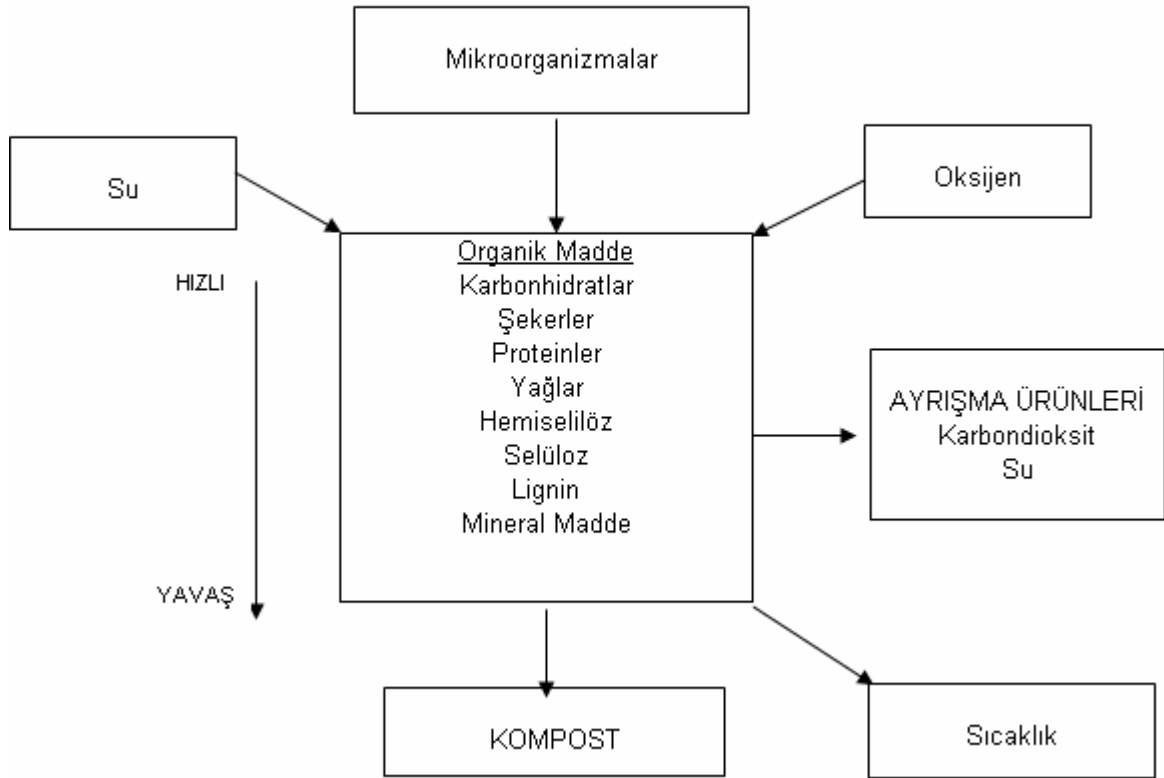
(3.1)

Kompostlaştırmadaki biyokimyasal ayrışma işlemi üç fazda gerçekleşmektedir:

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

Üretilen kompostun değerlendirilmesi istendiğine göre mineralizasyon işleminden kaçınılmalıdır. 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 sağlayıncaya kadar devam eder (Demir, 2004).

Şekil 3.1'de kompostlaştırma işlemi verilmiştir.



Şekil 3.1 Kompostlaştırma prosesi (Epstein, 1997)

Nihai kompostun C muhtevası, kimyasal enerjisi, protein ve su muhtevası ham maddeninkinden daha az olmasına rağmen humus oranı daha fazladır. Böylece kompostlaştırmayla hammaddeler değerli toprak şartlandırıcısına dönüşürken hem hacimce hem de ağırlıkça azaltılır.

Organik maddeler genel olarak, oksijenin ortamda mevcut olduğu koşullarda daha etkili ve tamamen yıkılırlar. Aerobik solunumun başlıca sonucu verimli serbest oksijenin meydana gelmesidir. Burada oksijen son elektron alıcısı olarak kullanılır. Bu şartlar göz önüne alındığında proteinler azota veya amonyağa indirgenir ve sonunda nitrata mineralize olurlar. Karbonhidratlar ve yağlar organik asitlere, karbondioksit ve suya dönüşür. Yıkılan materyallerin bir bölümü mikrobiyal hücre yapımına katılır (Evans, 2001).

3.2 Anaerobik Kompostlaştırma

Anaerobik kompostlaştırma, organik maddelerin oksijensiz ortamda biyolojik olarak ayrışmasıdır. Anaerobik ayrışmanın metabolik son ürünleri metan, karbondioksit ve düşük molekül ağırlıklı organik asitler gibi çok sayıda ara ürünlerdir. Aerobik ve anerobik kompost proseslerindeki komposta dönüşüm oranları sırasıyla %42 ve % 33 tür. Anaerobik kompost prosesinde, yaş ağırlık bazında reaktöre alınan organik katı atığın takriben % 12’lik kısmı % 55 – 60 CH₄ ihtiva eden biyogaza dönüşür. Ayrı toplanmış organik katı atıkların tonu başına 130 – 160 m³ biyogaz üretilmektedir (Öztürk, 1999). Bazı organik atıkların anaerobik olarak parçalanma verimleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Bazı organik atıklarda anaerobik parçalanma verimleri (Tosun, 2003)

Organik Atıklar	Metan Üretimi m ³ /kg UKM	Metan içeriği (%)	Kaynak
Evsel katı atıklar(EKA)	0.24	59.6	(Badawi vd.)
Evsel katı atıklar(EKA)	0.21 – 0.24	55	(Arıkan, 1996)
Tarımsal Kalıntılar	0.337	58.6	(Badawi vd.)
Tavuk	0.275	55	(Alyanak ve Filibeli, 1987)
%85 EKA + 15% Çamur	0.29 – 0.23	57 – 53	(Szikriszt, 1992)

Aerobik ve anaerobik kompostlaştırma proseslerinin özellikleri Çizelge 3.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2 Aerobik ve anaerobik prosesin karşılaştırılması (Tosun, 2003)

Özellik	Aerobik proses	Anaerobik proses
Enerji kullanımı	Net enerji tüketimi	Net enerji üretimi
Nihai ürün	Humus, CO ₂ , H ₂ O	Çamur, CH ₄ , CO ₂
Hacim azalması	%50’ye kadar	%50’ye kadar
Proses süresi	20-30 gün	20-40 gün
Öncelikli hedef	Hacim azalması	Enerji üretimi

3.3 Kompostlaştırma İşlemine Etki Eden Parametreler

3.3.1 Oksijen ve Havalandırma

Aerobik kompostlaştırmada fazla miktarda oksijen tüketilir. Kompostlaştırmanın ilk günlerinde ham organik maddelerin kolay çözülebilir karışımları hızlı metabolize olur. Bu nedenle, oksijen veya hava ihtiyacı ve ısı üretimi en fazla ilk basamaklarda olur ve işlem ilerledikçe azalır. Eğer oksijen veya hava kaynağı sınırlıysa kompostlaştırma işlemi yavaş olarak gerçekleşir. Kompost yığınının gözenek boşluklarındaki oksijen konsantrasyonunun en az %5 olması gerekir (havada %21 O₂).

Eğer ortamda yeterli oksijen bulunmazsa ortam anaerobik olur. Anaerobik bozunma farklı mikroorganizma yapısı ve farklı biyokimyasal reaksiyonları gerektirir. Ayrıca anaerobik işlem aerobik işlemde daha yavaştır ve verimi daha azdır. Maddelerin yapısındaki suyu buharlaştırmayı sağlayan ısı üretimi de azdır. Anaerobik işlemlerde metan (CH₄), karbon dioksit, organik asitler, hidrojen sülfür (H₂S) ve diğer maddeleri de içeren ara ürünler oluşur. Bu bileşiklerin birçoğu, çok ağır koku yaydığından kontrol edilmesi gerekir. Ara ürünler (organik asitler) aerobik bozunmayla oluşmasına rağmen bu maddeler oksijen varlığında bozunmaya devam eder. Anaerobik şartlarda bu ara ürünler birikir. Anaerobik koşullarda, oluşan kötü kokunun giderilmesi ve kompost ürününün daha kısa sürede elde edilebilmesi için aerobik koşulların korunması gerekir (Öztürk ve Bildik, 2005).

Aerobik kompostlaştırma için mikrobiyal aktivite oksijen varlığı ile mümkündür. Üç temel havalandırma yöntemi vardır: Kütleli fiziksel olarak karıştırma, konvektif hava akımı ve mekanik havalandırma. Statik sistemlerde oksijen, bir üfleyici veya konvektif hava akımı ile temin edilirken, yığın sistemlerde ilk iki yöntemin ikisi de kullanılır (Tosun, 2003).

Kompostlaştırma esas itibarıyla oksijenin tüketildiği ve karbondioksitin üretildiği bir oksidasyon işlemidir. Dolayısıyla kompostlaştırma işlemi süresince bu iki gazın izlenmesi, kompostlaştırma aktivitesinde güvenilir bir gösterge temin edebilir (Stoffella ve Kahn, 2001).

Çalışmalar genellikle O₂ tüketimi ile CO₂ üretimi arasındaki oranın 1:1 olduğunu göstermektedir fakat, aerobik kompostlaştırmaya ek olarak anaerobik solunum ve fermentasyon ile de CO₂ üretilebileceğinden dolayı yalnız CO₂'nin ölçümü kompost aktivitesi açısından güvenilir bir gösterge değildir. Bir başka ifadeyle O₂ tüketiminin ölçümü, kompost

prosesinin izlenmesi için daha uygun bir parametredir. Gerçekte kompostlaştırma prosesi kontrolünde oksijen seviyelerinin kullanıldığı pek çok çalışma yürütülmüştür.

Tipik olarak kompostlaştırma işlemi süresince, kompost reaktörünün çıkış gazındaki oksijen konsantrasyonu; karbondioksit değişimi ve sıcaklık eğrisindeki farklılıkları yansıtmaktadır. Kompostlaştırmanın ilk birkaç günü içinde; karbondioksit değişimi ve kompost sıcaklığı arttıkça oksijen, %21 olan ilk değerinden yaklaşık %10 değerine düşebilir. Sonradan kompostlaştırma oranı azaldıkça, oksijen seviyesi yavaş yavaş artar. Sıcaklık çevre sıcaklığına yaklaşmaya başladıkça, oksijen seviyesi yavaşça %21 seviyesine geri döner. Bir çok kontrol testine bağlı olarak belirlenebilen 50 – 70°C arasında kompostlaştırma için tipik oksijen kullanım oranı 1 – 10 mg O₂/ gr*saat aralığındadır.

Çok sayıda araştırmacı CO₂ üretimi ile O₂ kullanımı arasındaki karşılıklı ilişkiyi göstermiştir ve pik kompostlaştırma aktivitesinin 2 olasılık alanını kaydetmişlerdir. Bir pik mezofilik fazla, diğeri termofilik fazla ilgilidir. Kompostlaştırma aktivitesinin bir ölçüsü olarak CO₂ oluşumu da kullanılır. 56 – 60°C'deki sıcaklık aralığının maksimum kompost aktivitesi için optimum olduğu görülmüştür. O₂ seviyeleri % 10 – 18 arasında korunduğu takdirde, azalan aktivite yüksek sıcaklıkla sonuçlanabilir (Stoffella ve Kahn,2001).

Schultze (1960) tarafından küçük reaktörlerle yapılan çalışma sonucunda, oksijen tüketimi sıcaklığa bağlı olarak denklem 3.2'deki gibi ifade edilmiştir

$$Y = a \cdot 10^{KT} \quad (3.2)$$

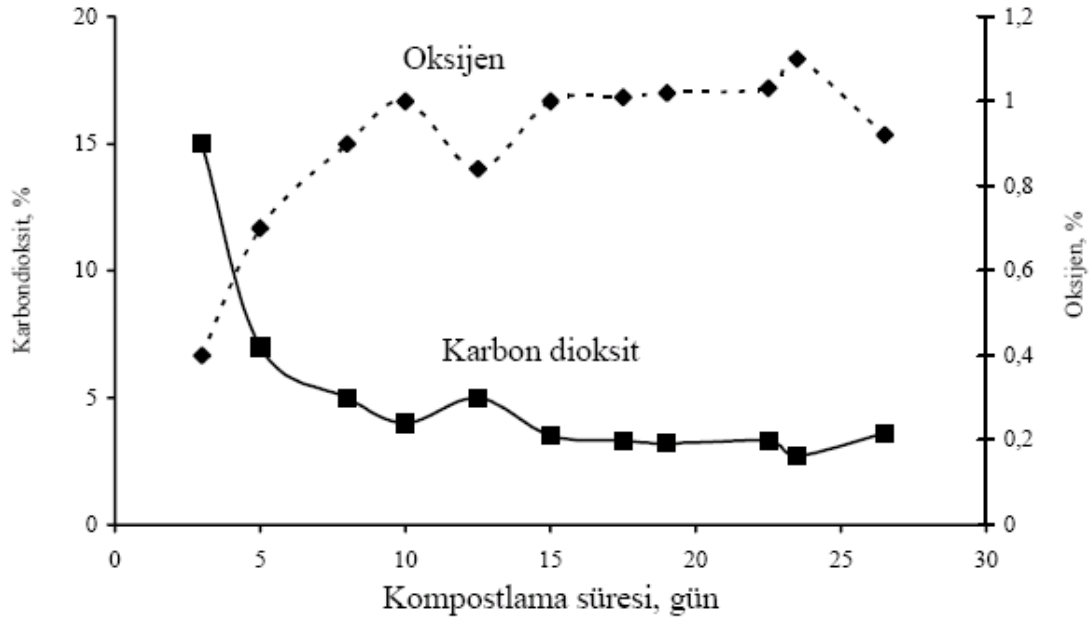
Burada; a ve K sabit(a=0.1; K=0.28), T sıcaklık (°C)

Bir havalandırılmalı statik yığın için oksijen ve karbondioksit arasındaki ilişkiye en iyi örnek Şekil 3.2'de gösterilmiş olup bu çalışmada O₂ ve CO₂ arasındaki korelasyon R² = 0.951 olarak hesaplanmış ve regresyon denklemi Y = 19.15 - 0.857 X olarak bulunmuştur. Mikrobiyal aktivitenin artması ile oksijene olan talebin artışı Denklem 3.3'de ifade edilmiştir (Tosun, 2003).

$$WO_2 = 0.11 \cdot (1.066)^T \quad (3.3)$$

Burada, WO₂ = oksijen tüketim hızı, mg O₂/gr UKM-sa

T= 20°C için 2 mg O₂/gr UKM-sa, T= 60°C için 6 mg O₂/gr UKM-sa

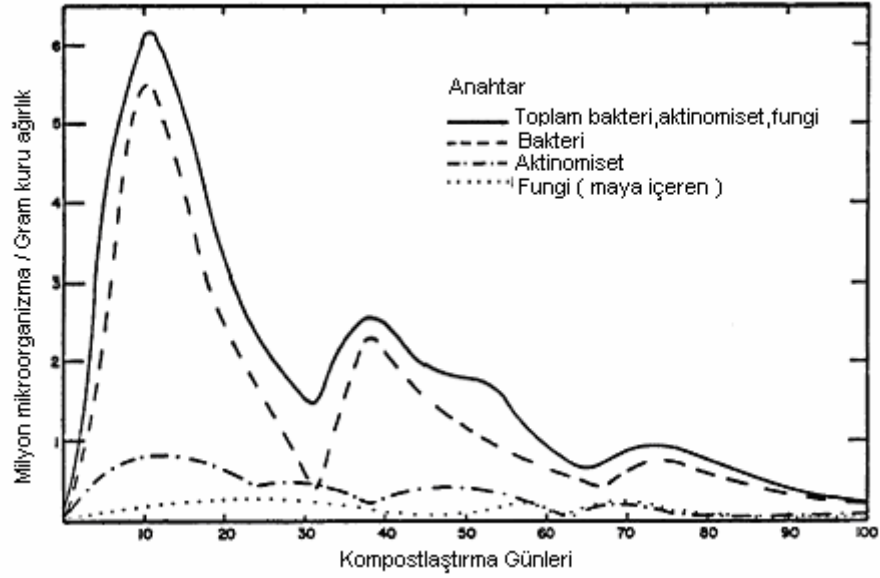


Şekil 3.2 Havalandırılmalı statik yığın kompostlaştırılması süresince oksijen ve karbondioksitteki değişim (Tosun, 2003)

3.3.2 Mikroorganizmalar

Kompostlaştırma, organik atıkları tüketen geniş bir mikroorganizma kümesini içeren kompleks bir prosestir. Kompostlaştırma prosesinde rol alan mikroorganizmaların başlıcaları; fungi, aktinomiset ve bakterilerdir. Bu proste algere ve protozoalara rastlamak da mümkündür. Bakteri, fungi ve aktinomisetlerin mikrobiyal popülasyonu kompostlaştırma süresince değişim gösterir. Biyolojik arıtma çamurları ve ağaç parçaları ile yapılan yığın kompostlaştırma süresince geçerli olan bu değişimler Şekil 3.3’de verilmiştir.

Finstein ve Morris (1974)’e göre kompostlaştırmanın tüm aşamaları boyunca bakteriler gelişir. Poincelet (1977), mikrobiyal popülasyonu sıcaklığın bir fonksiyonu olarak analiz etmiştir ve kompostlaştırma periyodunun her aşamasında bakterilerin genellikle yüksek miktarda mevcut olduğunu ve yıkım prosesinden sorumlu başlıca mikrobiyal tür olduğunu ortaya koymuştur (Stoffella ve Kahn, 2001).



Şekil 3.3 Yığın Kompostlaştırma Süresince Mikrobiyal Populasyon Değişimi (Stoffella ve Kahn, 2001)

Çoğu durumda bakteriler fungilerden yaklaşık 100 kez daha etkilidir. Golueke (1977), kompostlaştırmadaki mikrobiyal aktivitenin en az %80 – 90'ının bakterilerden kaynaklandığını tesbit etmiştir. Gerçek bakteri populasyonları besi ham maddesi, çevresel şartlar ve kullanılan iyileştiricilere bağlıdır. Strom (1985), koloni çeşitliliğinin sıcaklık artışı ile azaldığını saptamıştır. Bu gözlem, Webley (1947) tarafından yapılan üç ayrı kompost çalışmasındaki aerobik mezofilik bakteri sayısındaki çeşitliliği rapor eden notlarla uygunluk göstermektedir.

Kompostlaştırmanın yüksek sıcaklık safhası boyunca mezofilik bakteriler en düşük seviyede bulunurken, termofilik bakteriler yaygın olarak bulunmaktadır. Buna rağmen sıcaklık 40°C'nin altına düşerken mezofilik bakterilerde yeniden bir çoğalma görülür (Stoffella ve Kahn, 2001).

Yığının sıcaklığındaki düşüş veya yığının asiditesindeki ani değişim bakterileri inaktif duruma getirebilir veya onları öldürebilir (aggie-horticulture.tamu.edu).

Kompostun 1 gramında tipik olarak bulunan milyonlarca mikroorganizmanın %80 – 90'ı bakteridir (www.compost.css.cornell.edu).

Kompostlaştırma prosesi tamamen kurulana dek aktinomisetler genellikle kayda değer miktarlarda değildir. Aktinomisetlerin görülebilir çoğalması, elverişli şartlar altında ilk 5 – 7 gün içinde gözlemlenir. Aktinomisetler kompostlaştırma yığınının her tarafına yayılan grimsi görünüşlerinden dolayı, kompostlaştırma prosesinde mevcut olduklarında kolayca fark edilebilir (Stoffella ve Kahn, 2001).

Golueke (1977) aktinomisetlerin, genellikle proses ilerledikçe yükselen, kompostun uygun koşullarda açığa çıkardığı belli belirsiz toprak kokusundan sorumlu olduğundan bahsetmektedir.

Fungiler ise kompostlaştırma prosesinde aktinomisetlerle benzer zamanlarda ortaya çıkar. Kompostlaştırma prosesindeki fungi türlerinin aktinomisetler veya bakterilerden daha fazla olduğu söylenmektedir. Geçmişte solunum hastalığı sorunu olan çalışanlarda, kompostlaştırma aktivitesinde havada taşınan fungal sporları sağlık problemlerine neden olabilir (Stoffella ve Kahn, 2001).

Fungal aktivite için üst limit 60°C civarındadır. 60°C ‘nin üzerindeki mezofilik ve termofilik fungilerin inaktivitesi Chang ve Hudson (1967) , Finstein ve Marris (1974), Gray (1970) ve Kane ve Mullins (1973) tarafından rapor edilmiştir.

Mevcut besi maddesindeki olası patojenlerin gideriminin maksimize edilmesi, ticari proseslerin gereklerindendir. Ayrıca çöpte insan kaynaklı virüslerde bulunabilir. Kompostlaştırma prosesindeki sıcaklık yükseldiğinde, patojenler genellikle yok olurlar. Çizelge 3.3’de sıcaklık ve zaman ile bazı parazit ve patojenlerin giderimi arasındaki ilişki verilmiştir. Virüsler 70°C sıcaklıkta, yaklaşık 25 dakikada ölürler. Amerika’daki EPA, İleri Patojen Arıtma Prosesi’nde biyolojik arıtma çamuru ile kompost yapımı kriterlerini yayımlamıştır. Federal Biyolojik Arıtma Çamuru Teknik Düzenlemeleri’ne göre bir yığın operasyonunda minimum 5 aktarmayla, 15 gün için minimum 55°C ‘ye ulaşmalıdır. Kapalı reaktör kompostlaştırma ya da statik yığın sistemi için, 3 gün için minimum 55°C sıcaklık istenmektedir (Stoffella ve Kahn, 2001).

Çizelge 3.3 Bazı parazit ve patojenler için termal ölüm noktaları (Stoffella ve Kahn, 2001)

Organizma	50 °C	55 °C	60 °C
Salmonella thyphosa	-	30 dakika	20 dakika
Salmonella sp.	-	60 dakika	15 – 20 dakika
Shigella sp.	-	60 dakika	-
Escherichia coli	-	60 dakika	15 – 20 dakika
Streptococcus pyogenes	-	10 dakika	
Mycobacterium diptheriae	-	45 dakika	-
Brucellus abortus veya suis	-	60 dakika	3 dakika
Entamoeba histolytica	-	1 saniye	-
Trichinella spiralis	-	-	1 saniye
Necator americanuz	50 dakika	-	-
Ascaris lubrigoides		60 dakika	-

3.3.3 Elementel Kompozisyon ; Karbon (C) , Azot (N) ve C:N Oranı

Kompostun temel elementel bileşimini modern analitik ekipmanlar kullanarak belirlemek kolaydır. elementel bileşimin analizinde önemli olan asıl unsur, alınan numunenin homojen olmasıdır. Bir kompostlaştırma işleminde kullanılan materyalin elementel bileşimi büyük oranda, kullanılan besi maddesi çeşidine bağlıdır. C ve N kompostlaştırma işlemi için gereklidir. C; birincil enerji kaynağıdır ve N; mikrobiyal popülasyonun büyümesinde sınırlayıcıdır. Verimli ve etkili bir kompostlaştırma için doğru C:N oranı önemlidir. C:N oranı 17 – 78 arasında değişen farklı ortamlarda, mevcut organik besi maddeleri başarıyla kompostlaştırılrsa da, bu oranın 25 - 35 arasında olması daha makbuldür. Ticari kompostlaştırma işlemleri ile proseslenebilen organik besi maddelerinin C:N oranları geniş bir çeşitliliğe sahiptir (Stoffella ve Kahn, 2001).

Çizelge 3.4’de muhtelif kompost besi maddeleri için C ve N bileşimleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Bazı kompost besi maddelerinin C ve N bileşimi (Stoffella ve Kahn,2001)

Ortamda mevcut	C	N	C:N	Kaynak
Besi maddesi	(%)	(%)	Oranı	
Üre	12.1	15.1	0.8	(Polprasert, 1989)
Balık artıkları	32.8	8.2	4.0	(Mthur, 1991)
Aktif çamur	35.3	5.6	6.3	(Poincelet, 1977)
Çim	41.6	2.46	17.0	(Michel ve arkd., 1993)
İnek gübresi	30.6	1.7	18.0	(Polprasert, 1989)
Yiyecek atıkları	50	3.2	15.6	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1992)
Bahçe atıkları	44.5	1.95	22.8	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1992)
Yaprak	44.5	0.93	48.0	(Michel ve arkd., 1993)
Kağıt	43.3	0.25	173	(Savage, 1996)
Karton/mukavva	48.2	0.2	254	(Day ve arkd., 1998)
Talaş parçaları	56.2	0.11	511	(Wilson, 1993)

C:N oranını, toplam C ve N konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak ifade etmek alışılmış olmasına karşın, farklı organik maddelerin biyolojik ayrışabilirliklerindeki farklılıklardan dolayı bu yaklaşım materyallerin tümü için yerinde olmayabilir. Örneğin, Jeris ve Regan (1973), çok geniş bir çeşitlilikte besi maddelerinin kompostlaşabilirliğini değerlendirmiş ve farklı karbon kaynaklarının etkisini göstermiştir. Mesela ağaç parçalarının tümü aynı biyolojik ayrışabilirliğe sahip değildir. Sert ağaçlar, biyolojik olarak yumuşak ağaçlardan daha iyi ayrışabilir niteliktedir. Chandler (1980)'e göre bu farklılıklar kısmen, lignin muhtevasına göre açıklanabilir. He (1995) kompostun karbon içeriğini 3 sınıfta karakterize etmiştir. Bunlar, toplam organik karbon, karbonat karbonu ve bakiye karbon dur. Bu dağılımın sırasıyla ortalama %20, %8 ve %72 olduğunu belirlemiştir.

Genellikle azot muhtevasının analizi karbonun analizinden daha basit olmasına rağmen, toplam Kjeldhal Azotunun ölçümü numunedeki tüm nitratları ve nitritleri içermez. Toplam Kjeldhal Azotu değerleri genellikle 5000 – 60000 mg/kg arasında değişirken, nitrit ve nitrat konsantrasyonları birlikte 100 mg/kg'den daha azdır (Stoffella ve Kahn, 2001).

Başlangıç C:N oranı, etkili ve yeterli kompostlaştırma için; yetiştirilen ürünler için toprak düzenleyicisi olarak kullanılacak olan bitmiş kompost kalitesinin belirlenmesinde de son C:N oldukça önemlidir. Genellikle son C:N oranının 15 – 20 arasında olması amaçlanır. Fakat

ideal olan 10 civarında olmasıdır. Bitki büyümesinde ve tohum çimlenmesinde olumsuz etki yapacağından son ürünün C:N oranının 20'den büyük olmasından kaçınılmalıdır. Kompostlaştırma prosesi, temel olarak biyolojik ayrışabilirliği olan maddelerin CO₂ ve H₂O'ya biyolojik olarak dönüştürülmesidir. Dolayısıyla kompostlaştırma ilerledikçe kompost materyali içindeki C konsantrasyonunun azalması beklenir. Bu da aynı zamanda C:N oranındaki azalma ile sonuçlanır (Stoffella ve Kahn, 2001).

Karbon elementinin büyük bir kısmı mikroorganizmalar tarafından, metabolik aktiviteleri esnasında karbondioksit oksitlenir. Bakiye karbon, hücre duvarı yada hücre zarına, protoplazmaya ve depo ürünlerine dönüştürülür. Azotun asıl tüketimi protoplazma sentezindedir. Dolayısıyla karbon ihtiyacı azota nazaran çok daha fazladır (Diaz vd., 1999).

Karbon temel yapı taşı ve enerji kaynağı olup hücrenin %50'sini oluştururken, azot protein, nükleik asit, aminoasit ve sair hücre büyümesi ve fonksiyonu için gerekli maddelerin yapı taşıdır. Bu iki elementin kompost içerisinde optimal miktarlarda bulunabilmesi için C/N oranı kullanılır. Canlı organizmalar her kısım azot için 30 kısım karbon kullandıklarından, kompostlaştırmadaki ideal C/N oranı olarak (30/1) alınmaktadır. C/N oranının daha düşük olması durumunda ortama aşırı azot verilmiş olur ve amonyak formuna dönüşerek kötü kokulara neden olarak ortamda kaybedilir. C/N oranının yüksek olması durumunda ise ortamda optimum mikrobiyal büyüme için gerekli olan azot bulunamayacağından kompost yığını daha soğuk kalır ve parçalanma prosesinin hızı belirgin bir şekilde yavaşlar (Topkaya, 2001).

3.3.3.1 Diğer Elementler

3.3.3.1.1 Fosfor (P)

Kompost besisi maddesindeki mevcut diğer kimyasal elementler kompostlaştırma prosesini, üretilen kompost kalitesini ve kompostlaştırma prosesinin genel uygunluğunu etkileyebilir. Kompost besisi ham maddesi C ve N içermek zorunda olduğu kadar, kompostlaştırma prosesinde yaşayan organizmalar için gerekli olan nütrientleri de ihtiva etmelidir. Fosfor da özellikle evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında gerekli olan elementtir. Biyolojik arıtma çamuru, bahçe süprüntüleri ve tarımsal atıklar gibi besisi maddeleri yeterli derecede fosfor içerebilir. Evsel katı atıklar ise, etkili kompostlaştırma için yeteri kadar fosfor ihtiva etmeyebilir (Stoffella ve Kahn, 2001).

Son üründe mevcut olan fosfor (P) ile birlikte, azot (N) ve potasyum (K) miktarı kompost ürününün kalitesinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir zira P, K ve N bitki büyümesi için gerekli nütrientlerdir. C:N oranı kadar önemli olmasa da, C:P oranının 100 - 200 arasında olması istenir (Stoffella ve Kahn, 2001).

Fosfor içeriği ve C:P oranı ortamdaki besi maddesine bağlı olarak büyük farklılık gösterebilir. Çizelge 3.5’de çeşitli besi maddelerinin C ve P bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 3.5 Çeşitli besi maddeleri için karbon ve fosfor bileşimi (Stoffella ve Kahn, 2001)

Mevcut besi maddesi	C(%)	P(%)	C/P Oranı	Kaynak
Çimen	41,6	0,26	160	(Michel vd.,1993)
Yaprak	44,5	0,05	890	(Michel vd., 1993)
Yaprak	49,9	0,2	250	(Polprasert, 1989)
Karışık kağıt	48,9	0,05	978	(Kayhanian ve Tchobanoglous,1993)
Bahçe atıkları	43,1	0,07	700	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1993)
Yiyecek atıkları	44,6	0,08	557	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1993)
Likit çamur	41,4	0,17	244	(Neto vd. , 1987)
Kümes hayvanları gübresi	42,7	0,90	47	(Fernandes ve Sartaj, 1997)

3.3.3.1.2 Sülfür (S)

Kompostlaştırma işleminin bilimsel araştırmalarında sülfür konsantrasyonları genellikle ölçülmez. Fakat önemli miktardaki sülfür mevcudiyeti, uçucu ve kokulu bileşiklerin üretimine neden olabilir. Kompost maddesi içindeki sülfürün başlıca kaynakları protein maddelerinin içinde bulunan –sistein ve metonin– iki aminoasittir. Bazı kompost örnekleri ve mevcut besi maddesi için tipik S değerleri Çizelge 3.6’da verilmiştir. Havalandırmanın iyi yapıldığı koşullar altında, sülfidler sülfatlara okside olurlar. Kompostlaştırmadaki kötü kokularının çoğunun nedeni, karbon disülfid, karbonil sülfid, metil merkaptan, dietil sülfid, dimetil sülfid, dimetil disülfid ve hidrojen sülfid bileşikleridir.

Çizelge 3.6 Farklı besi maddeleri ve kompost örnekleri için tipik sülfür değerleri
(Stoffella ve Kahn, 2001)

Materyal	S (%)	Kaynak
Karışık kağıt	0,079	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1993)
Karışık kağıt	0,008	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1992)
Bahçe atıkları	0,202	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1993)
Bahçe atıkları	0,33	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1992)
Yiyecek atıkları	0,219	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1993)
Yiyecek atıkları	0,54	(Duggan, 1991)
Kompost	0,25	(Kayhanian ve Tchobanoglous, 1993)
Kompost	0,37	(Polprasert, 1989)

3.3.4 Ağır Metaller

Komposttaki ağır metaller kompost kalitesinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Arsenik, kadmiyum, krom, kobalt, bakır, kurşun civa, molibden, nikel ve çinko metalleri için izin verilebilir konsantrasyonları sınırlandıran kompost kalite standartları çoğu ülkede belirlenmiştir ya da belirlenmek üzeredir. Çizelge 3.7’de farklı Avrupa ülkeleri için kabul edilebilir ağır metal seviyeleri gösterilmiştir (Stoffella ve Kahn, 2001).

Çizelge 3.7 Avrupa kompost mevzuatlarındaki ağır metal limitleri ve ölçülen değerler
(mg/kg) (Stoffella ve Kahn, 2001)

Ağır Metaller	Mevzuat Değerleri	Kentsel katı Atık Kompostu	Kaynağında ayrılmış kentsel Katı atık kompostu	Biyolojik Atık Kompostu
Cd	1,2 – 4,0	4,4	1,22	0,84
Cr	50 – 750	90,8	34,9	35,8
Cu	60 – 1200	298,1	72,4	46,8
Pb	120 – 1200	455	147,4	83,1
Hg	0,3 – 25	-	-	0,38
Ni	20 – 400	76,3	17,5	20,5
Zn	200 – 4000	919,8	326,6	249,6

Mineralizasyon organik bileşimdeki bir azalmayla sonuçlandığından, bitmiş komposttaki ağır metallerin gerçek değerleri kompostlaştırma süresince genellikle artmaktadır. Yani, orijinal mevcut besi maddeleri kabul edilebilir ağır metal seviyelerine sahip olsa da, son komposttaki konsantrasyon sınır değerlerini aşabilir (Stoffella ve Kahn, 2001).

3.3.5 Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH)

Bir kompost numunesinin pH'sının ölçümü basit ve kolay bir işlem değildir. Ölçülen gerçek pH tamamen numune büyüklüğüne ve numune hazırlanmasına duyarlıdır. Standardize edilmiş örnekleme ve sulandırma işlemleri kullanılmadıkça, mukayese edilebilir numunelerde pH okumalarında büyük farklılıklar ortaya çıkabilir. Kompostlaştırma prosesi, geniş dağılımda mikroorganizmalar içerdiğinden pH'a fazla duyarlı değildir. Optimum pH aralığı 6.5 – 8.5 aralığındadır. Buna rağmen kompost maddesinin doğal tamponlama kapasitesi dolayısıyla, başlangıçtaki pH değerlerinin daha geniş bir dağılıma sahip olmasına müsaade edilir.

Tipik bir kentsel katı atık temel kompost besi maddesinin başlangıç pH'sı biraz asidiktir (pH=6). Organik asitlerin üretilmesinden dolayı, kompostlaştırmanın ilk aşamaları süresince pH genellikle düşer. Bununla birlikte, kompostlaştırma ilerledikçe, organik asitler CO₂ ve CH₄'e dönüştürüldüğünden pH yeniden nötr olur.

Son ürünün pH'sı genellikle biraz alkalidir (pH=7.5 – 8.5). Yüksek pH'lı kompost karışımları engellenmelidir, zira bu NH₃ olarak N kaybına neden olur ve koku problemleri ortaya çıkar. Kompostlaştırma süresince pH'daki hafif yükselme ve bunu takib eden erken mezofilik safhadaki başlangıç düşüşü; tarımsal atıklar, kaynağında ayrılmış yiyecek atıkları ve kentsel katı atıkları içeren birçok kompostlaştırma çalışmasının karakteristiğidir (Stoffella ve Kahn, 2001).

pH organizmaların büyümesi üzerinde etkilidir. Asidofil olarak adlandırılan bakterilerin maksimum büyümesi için pH'nın 5 ya da daha az olması gerekmektedir. Optimum pH aralığı bu bakteriler için genelde 2 veya 3'tür. pH aralığının 7 - 12 arasında olması durumunda en iyi büyüme özelliğine sahip bakteriler ise alkalofil olarak adlandırılır. Bu bakteriler için optimum pH değeri ise 9.5'dir. Nötre yakın pH'yı tercih eden organizmalar ise nötrofil olarak adlandırılır. Ham arıtma çamurlarının kompostlaştırılması süresince pH'nın sıcaklık üzerindeki etkisi Çizelge 3.8'de verilmiştir;

Çizelge 3.8 Ham arıtma çamurlarının ağaç yongaları ile 21 günlük kompostlaştırılmaları esnasında ulaşılan sıcaklıklar üzerinde pH'nın etkisi (Epstein, 1997)

Arıtma çamuru pH'sı	Maksimum sıcaklık (°C)	Minimum sıcaklığa ulaşılan gün		
		40(°C)	50(°C)	60(°C)
5.3	79	3	1	0
6.0	69	6	0	0
6.5	89	18	8	6
7.1	84	11	11	5
9.6	82	19	15	9
10.7	73	2	0	0
11.6	66	1	0	0

3.3.6 Nem Muhtevası

Kompostlaştırma prosesi, biyokimyasal bir proses olmasına karşın, nem muhtevası ve partikül büyüklüğü gibi fiziksel faktörlerden de fazlasıyla etkilenmektedir. Bu parametrelerin tümü kompostlaştırma prosesi boyunca değişebilir ve bu parametreler kompost kalitesini ve olgun, satılabilir bir ürünün meydana gelebilmesi için ihtiyaç duyulan süreyi etkilemektedir.

Kompostun nem muhtevası, optimum kompostlaştırma için kritik bir ölçüdür. Jeris ve Regan (1973), geniş çeşitlilikteki organik atıklar için optimum nem değerlerinin %25 – %80 aralığında değiştiğini, fakat optimum nem muhtevasının %50 – %60 arasında olduğunu belirlemiştir. Su, kompostlaştırma prosesindeki bakteriyel aktivite için gereklidir. Zira nütrientlerin mikroorganizmalarca alınabilmesi için, su içinde çözünmüş olmaları gerekmektedir. Bakteriyel aktivite için gerekli minimum nem muhtevası %12 - %15 arasındadır.

Diğer bir taraftan kompost içindeki aşırı nem, organizmalara oksijen difüzyonunu engeller, bu da koku oluşumu potansiyeli ile birlikte materyalin anaerobiğe dönüşmesiyle sonuçlanır. Çok yüksek nem muhtevalı bir kompost, süzüntüdeki nütrient ve patojen kaybına neden olur. Buna ilave olarak yığındaki hava koridorunun bloke olmasına sebep olur. %50 - 60 arasındaki nem seviyeleri genellikle optimum olarak kabul edilse de, evsel çöplerde bu aralığın optimum

kompostlaştırma için, %52 - % 58 olarak daralabileceği Snell (1957) tarafından yapılan ayrıntılı deneylerle belirlenmiştir.

Suler ve Finstein (1977) yiyecek atıklarının kompostlaştırılması için ideal nem değerinin %60 olduğunu belirlemiştir. Komposttaki nem oluşumunun iki kaynağı vardır; Başlangıçtaki mevcut besi maddesi içindeki nem ve mikrobiyal faaliyet tarafından üretilen metabolik su. Finstein (1983), Haug (1993) ve Naylor (1996) tarafından yapılan teorik hesaplamalar, kompostlaştırma süresince ayrıştırılan her gram organik madde başına 0,6 – 0,8 gr su üretilebileceğini, deneysel çalışmalar ise 0,55 – 0,65 gr su üretildiğini göstermiştir.

3.3.7 Partikül Büyüklüğü

Kompost prosesini etkileyen diğer fiziksel özellik partikül büyüklüğüdür. Partikül büyüklüğü kompost karışımının yalnız nem tutması üzerinde değil, serbest hava yüzeyi ve porozitesi üzerinde de etkilidir. Büyük partikül boyutlu materyaller artan serbest hava yüzeyi ve yüksek poroziteye neden olur. Daha küçük partiküller tam tersi etki gösterir. Buna rağmen aerobik ayrışma partiküllerin yüzeyinde meydana geldiğinden dolayı partikül büyüklüğünün azaltılması, partiküllerin yüzey hacim oranının yükseltilmesiyle kompostlaştırma aktivitesi artırılır. Partikül büyüklüğünde bir uygunluk olsun istenir. 3 – 50 mm çaplı materyaller kompostlaştırma işlemi için uygundur. Optimum kompostlaştırma için ideal serbest hava yüzeyi % 32 – 36 arasında olmalıdır.

Serbest hava yüzeyi partikül büyüklüğü ile ilgili olmasına rağmen, yoğunluk da serbest hava yüzeyini etkileyebilir. Her bir yoğunluk değeri serbest hava yüzeyini, hava geçirgenliğini azaltır ve hava akışının direncini artırır. Partikül büyüklüğünün önemli olması dolayısıyla, kompost operatörleri büyük ebatlı atıklarla karşılaştıklarında, bunların daha kolay işlenilebilmesi için istenen boyutta materyal yapmak için genellikle öğütme ve eleme ekipmanları kullanırlar.

Jeris ve Regan (1973) materyalin serbest hava yüzeyinin, materyalin kütsel yoğunluğu (KY) (kg/m^3) ve özgül ağırlığı (ÖA) (kg/m^3) kullanılarak denklem (3.4) ile hesaplanabileceğini belirtmiştir.

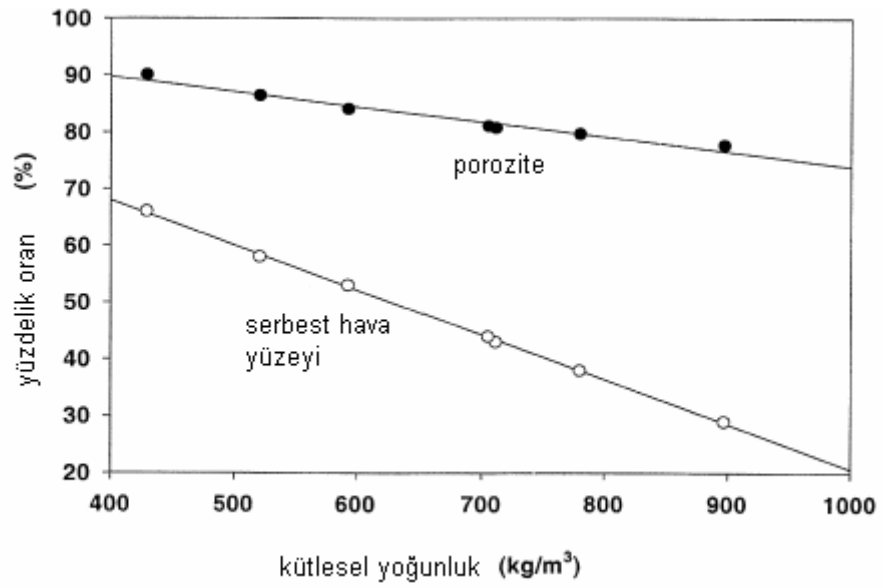
$$\text{Serbest hava yüzeyi} = 100 (1 - \text{KY}/\text{ÖA}) * \text{kuru kütle} \quad (3.4)$$

Kompost yığınındaki farklı derinliklerden alınan örneklerin verileri kullanılarak ölçülen porozitenin ve serbest hava yüzeyinin, kütleli yoğunluğun bir fonksiyonu olarak grafiklenmesi mümkündür (Şekil 3.4). Bu datalardan aşağıdaki bağıntıların çıkarılması mümkündür;

$$P = 100.3 - 0.0263 KY \quad (3.5)$$

$$SHY = 99.5 - 0.0788 KY \quad (3.6)$$

Burada P ; porozite, KY (kg/m^3); kütleli yoğunluk ve SHY (%); serbest hava yüzeyidir.



Şekil 3.4 Porozite, kütleli yoğunluk ve serbest hava yüzeyi arasındaki ilişki (Stoffella ve Kahn, 2001)

Çizelge 3.9'da literatürdeki tipik değerleri temsilen, değişik kompost besli maddeleri için kütleli yoğunluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.9 Bazı kompost maddeleri için kütleli yoğunluk değeri
(Stoffella ve Kahn, 2001)

Besi maddesi	Kütleli yoğunluk Kg/m ³	Kaynak
Kağıt karışımı	80	(Kayhanian and Tchobanoglous, 1993)
Karton	130	(Day vd., 1998)
Bahçe atıkları	215	(Reinhart vd., 1993)
Bahçe atıkları	330	(Day vd., 1998)
Yiyecek atıkları	352	(Kayhanian and Tchobanoglous, 1993)
Yaprak parçaları	420	(Howe ve Coker, 1992)
Restoran atıkları	990	(Day vd., 1998)

Kompostlaştırma süresince materyalin partikül büyüklüğündeki dağılıma bağlı olarak kompostun kütleli yoğunluğunda artış olması beklenir. Bununla birlikte, önemli buharlaşma ve su kaybının olduğu çoğu kompost sisteminde, kompostlaştırma periyodu süresince materyal kurudukça ölçülen kütleli yoğunluğun azalması da mümkündür (Stoffella ve Kahn, 2001).

3.3.8 Sıcaklık

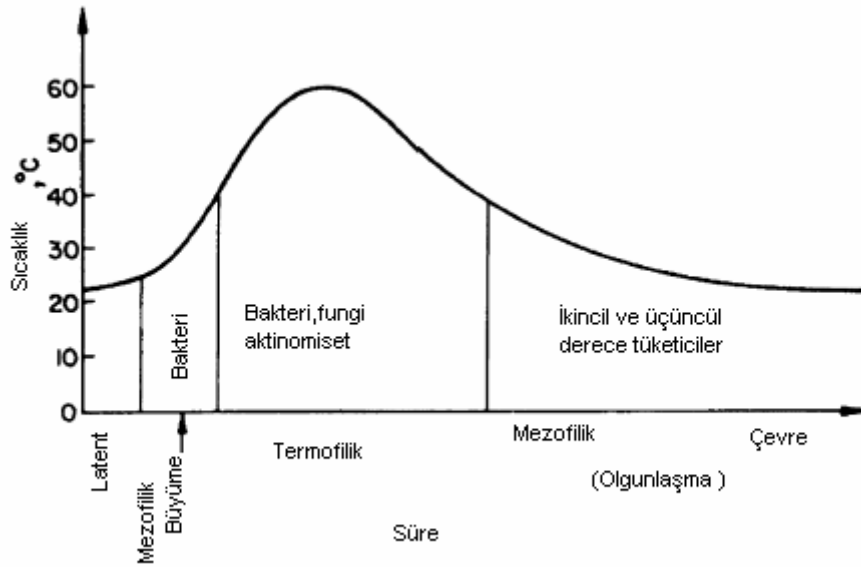
Mikroorganizmalar organik maddelerle beslenirken ısı açığa çıkarırlar. Ortamdaki ısının yükselmesi hem mikroorganizmaların aktivitesinin bir göstergesi, hem de patojen mikropları öldürme aracıdır. Patojen bakterilerin sadece çıkan ısıyla değil, metabolizma ürünü bileşikler dolayısıyla da öldükleri tespit edilmiştir. Her mikroorganizma kendisi için uygun olan sıcaklıklarda yaşayabilir. Kompostlaşan küttele sıcaklık arttıkça ölen mikroorganizmaların yerini yeni duruma adapte olan türler alır. Yüksek sıcaklıklarda hastalığa sebep olan organizmalar yok olduğu için, kompostun yüksek sıcaklığa ulaşması halk sağlığı ve iyi kalitede bir kompost üretilmesi açısından önemlidir. Ancak yüksek sıcaklığı dikkate alarak kompostlaştırma verimini ölçmek yanlıştır. Yüksek reaksiyon hızları için aşırı yüksek sıcaklıklar gerekli değildir. Eğer materyaldeki sıcaklık 75 veya 85°C'ye yükselirse, yüksek sıcaklık yüzünden reaksiyon hızı azalacaktır. Sıcaklığı azaltmak için havalandırma oranını artırmak veya karıştırma işlemini daha sık yapmak gerekir (Tosun, 2003).

Kompostlaştırmadaki mikrobiyal aktiviteyi etkileyen birincil faktör sıcaklıktır. Bir kompost sistemini oluşturan mikroorganizmalar sıcaklığa bağlıdır ve Çizelge 3.10'daki gibi üç sınıfa ayrılabilir.

Çizelge 3.10 Sıcaklığa bağlı olarak mikroroganizmaların sınıflandırılması (Stoffella ve Kahn, 2001)

Mikroroganizma	Sıcaklık (°C)
Kriofiller veya psikrofiller	0 – 25
Mezofilikler	25 – 45
Termofilikler	> 45

Kriofiller kompostlaştırmada nadir olarak bulunurlar. Ticari kompostlaştırma sistemlerinde, kompostlaştırma süresi boyunca ortama hakim olan başlıca organizmalardan mezofilikler ve termofiliklerin her biri farklı zamanlarda kompost sistemine katkıda bulunurlar. Sıcaklık, kompostlaştırmanın farklı safhalarında iyi bir göstergedir. Genel olarak kompostlaştırma prosesinin sıcaklık eğrisi basitçe Şekil 3.5'deki gibi gösterilebilir (Stoffella ve Kahn, 2001).



Şekil 3.5 Kompostlaştırma prosesinin sıcaklık eğrisi (Stoffella ve Kahn, 2001)

Kompostlaştırma prosesindeki mikrobiyal aktivite dört farklı fazın gerçekleşmesi olarak karakterize edilebilir. Bu fazlar, sıcaklık karakteristiklerine göre Şekil 3.5'de verilmiştir.

1) Latent Faz (Çevre sıcaklığı – 22°C)

Kompostlaştırmada görev alan bakteri, fungi, protozoa ve diğer mikroorganizmaların üremeye hazırlandıkları fazdır (Evans, 2001)

2) Mezofilik Büyüme Safhası (22°C – 40°C)

Mikroorganizmaların geliştiği, çoğaldığı, yüksek solunum oranına ulaşıldığı ve sıcaklığın mezofilik şartlara yükseldiği fazdır (Evans, 2001). Bu safhada substratın bol miktarda olması, mikroorganizmaların çok aktif olmalarını, mikroorganizmaların yüksek miktarda metabolik ısı enerjisi üretmelerini ve bunun sonucundada kompost yığınının sıcaklığının artmasını sağlar. Bu safhada ortamdaki baskın bakteriler mezofilik bakterilerdir (Stoffella ve Kahn, 2001).

3) Termofilik Faz (40°C – 60°C)

Sıcaklık 45°C'yi geçtiğinde, ortam şartları mezofilik bakteriler için elverişli değildir, şartlar termofilik bakteriler için uygun hale gelmeye başlar (Stoffella ve Kahn, 2001).

Bu faz boyunca maksimum patojen stabilizasyonu ile birlikte sıcaklık pik değerine ulaşır. Bu faz sonunda sıcaklık 40°C civarına düşer (Evans, 2001).

4) Olgunlaşma Fazı (40°C – Çevre Sıcaklığı)

Yavaş, ikincil mezofilik fazdır. Madde azalmasıyla birlikte biyolojik aktiviteden dolayı sıcaklığın sonradan çevre sıcaklığına düşüşü söz konusudur. Bu safhada, hümik bileşikler içindeki kompleks organik kimyasallar dönüştürülür ve kalan amonyak nitrifikasyona uğrayarak önce nitrite sonrada nitrata dönüşür (Stoffella ve Kahn, 2001).

3.3.9 Süre

Ham maddenin komposta dönüşmesi için gereken sürenin uzunluğu; kullanılan madde, sıcaklık, nem, havalandırma sıklığı ve kullanıcının istekleri gibi bir çok değişkene bağlıdır.

Uygun nem muhtevası, C:N oranı ve sıkça havalandırma mümkün olan en kısa

kompostlaştırma süresini sağlar. Yetersiz nem, yüksek C:N oranı, düşük sıcaklık, yetersiz havalandırma, büyük partiküller ve ortamda yüksek miktarda dayanıklı maddenin (odun kökenli maddeler) olması kompostlama işlemini yavaşlatan nedenlerdir. Gereken kompostlaştırma süresi kompostun nihai kullanım amacına bağlı olarak değişir. Kompostun tamamıyla stabil olması istenmiyorsa bu süre kısadır, eğer kompost büyüme sezonundan önce tarlaya tatbik edilirse burada olgunlaştırılabilir ve bitirilebilir. Eğer kompostun kısmen kuru veya stabil olması isteniyorsa buna bağlı olarak kompostlaştırma süresi uzatılır. Uygun koşullarda genellikle maddenin çürümesi ve stabilizasyonu için birkaç hafta yeterlidir; ama en iyisi bu sürenin iki aydan fazla olmasıdır. Değişik uygulamalar için uygun kompost süreleri Çizelge 3.11’de verilmektedir.

Çizelge 3.11. Seçilen madde - metot kombinasyonlarına uygun kompostlaştıma süreleri (Öztürk ve Bildik, 2005)

Metot	Kullanılan Madde	Aktif kompostlama süresi		
		Aralık	Tipik	Olgunlaşma süresi
Pasif kompostlama	Yaprak	2-3 yıl	2 yıl	–
	İyi-katmanlaşmış gübre	6 ay ile 2 yıl	1 yıl	–
Sıralı yığın-seyrek döndürme ^a	Yaprak	6 ay ile 2 yıl	9 ay	–
	Gübre + düzenleyici	4-8 ay	6 ay	–
Sıralı yığın-sık döndürme ^b	Gübre + düzenleyici	1-4 ay	2 ay	4 ay
Pasif havalandırılmalı yığınlar	Gübre + yatak Balık atıkları + çürümüş yosun	10-12 hafta 8-10 hafta	–	1-2 ay
Havalandırılmış statik yığınlar	Çamur + odun yongaları	3-5 hafta	4 hafta	1-2 ay
Dikdörtgen karıştırılmalı yatak	Çamur + bahçe atıkları veya gübre + testere talaşı	2-4 hafta	3 hafta	1-2 ay
Döner tambur	Çamur ve/veya katı atık	3-8 gün	–	2 ay ^c
Dikey silolar	Çamur ve/veya katı atık	1-2 hafta	–	2 ay ^c

^a örneğin, kepçeli yükleyiciler ile; ^b örneğin, özel yığın-sırası döndürücüler ile; ^c genelde ikinci bir kompostlama basamağı gerektirir(örneğin sıra-yığınları veya havalandırılmış yığınlar)

3.3.10 Katkı ve Boşluk Malzemesi

Atık ya da atıkların etkin bir şekilde kompostlaştırılabilmesi için katkı ve/veya boşluk malzemesi kullanılabilir. Katkı maddesi atığın C/N oranını optimize etmek, pH'sını ayarlamak, stabiliteyi arttırmak, uygun nem içeriğine ulaşmak için eklenmektedir (Yüksek azot içeriğine sahip tavuk dışkılarının kompostlaştırılabilmesi için yüksek karbon içerikli saman v.b. katkı malzemelerinin kullanılması gibi).

Boşluk malzemesi ise bozunmaya dayanıklı bir malzeme olup atıkta boşluğu arttırmak için kullanılmaktadır. Bu malzemeler organik veya inorganik yapıları maddeler olup kompostlaştırılacak atığın partikülleri arasında boşluklar oluşturarak atığa yapısal kuvvetlilik kazandırarak havalandırmanın gerektiği şekilde yapılabilmesini temin eder. Boşluk malzemeleri su tutma karakteristiklerine bakılacak olursa selülozik maddelerin çoğunun gözenekli bir yapıya sahip olup su tutma kapasitelerinin yüksek olduğu; plastikler gibi gözenekli olmayan maddelerin ise hiç su tutmadıkları kabul edilmektedir (Karabulut, 2005).

Kompostlaştırmada kullanılabilecek katkı maddelerinden bazıları şunlardır; (http://web.deu.edu.tr/erdin/ders/kati_atik/ders_not/kompost_sunum.pdf)

- *Azot Gübresi (Üre, Kireçli Azot)*: C:N oranındaki uyumsuzluğu gidermek ve dengeyi sağlamak için azot ilavesi yapılır. Bunun için de azot içeren atıklar veya maddeler kullanılabilir.
- *Mikroorganizma Preparatı (Kompoststarteri)*: Kompostlaştırma sırasında prosesin uzun süre beklemeden hemen başlaması arzulandığından hazırlanmış preparatlar veya hazır kompostlar ilave edilir.
- *Su* : Kompostlaşmanın sürekli ve iyi yürümesi için mikroorganizmaların suya ihtiyacı vardır. Ortamın optimum su miktarı da % 45 ile 60 arasında değişmektedir.
- *Kireç* : pH'yı nötral sahaya çekmek için gereklidir.

3.4 Kompostlaştırmada Kullanılan Materyaller

Çizelge 3.12'de kompostlaştırma işleminde kullanılan materyaller ve bu maddelere ait karakteristikler verilmiştir.

Çizelge3.12 Kompostlaştırma işleminde kullanılan maddelerin karakteristikleri
(Öztürk ve Bildik, 2005)

Madde	Veri Tipi	%N (kuru ağırlık)	C:N (ağırlık/ağırlık)	Nem Muhtevası% (ıslak ağırlık)	Yoğunluk kg/m ³
Meyva atıkları	ortalama	1.4	40	80	
Sebze atıkları	tipik	2.5 - 4	11 - 13		
Çöp(yiyecek atıkları)	tipik	1.9 – 2.9	14 - 16	69	
Evsel çöp içindeki kağıt	tipik	0.2 – 0.25	127 - 178	18 - 20	
Karışık evsel katı atıklar	tipik	0.6 – 1.3	34 - 80		
Saman	ortalama	0.7	80	12	137
Yulaf	ortalama	0.9	60		
Buğday	ortalama	0.4	127		
Ağaç kabuğu(sert ağaç)	ortalama	0.241	223		
Ağaç kabuğu(yumuşak ağaç)	ortalama	0.14	496		
Gazete kağıdı	tipik	0.06- 0.14	398 - 852	3 - 8	117.6 -146
Testere talaşı	ortalama	0.24	442	39	66
Odun yongaları	tipik	-	-	-	268 - 374
Odun(sert ağaç)	aralık	0.06- 0.11	451 - 819		
Çim kırıntıları	ortalama	3.4	17	82	
Çalı kırıntıları	tipik	1	53	15	259
Ağaç kırıntıları	tipik	3.1	16	70	0.8

3.5 Kompostlaştırma Yöntemleri

Kompostlaştırma metodu mikroorganizmaların ham besi maddelerini komposta dönüştürmeleri için gerekli ortam koşullarını temin eder. Metot kompostlaştırılacak materyallerin nasıl havalandırıldığını, muhtevasını ve sistemin hareketinin nasıl sağlanacağını belirtir (Stofella ve Kahn, 2001).

Açık kompostlaştırma (yığın) ve kapalı kompostlaştırma (silo, hücre) adı altında birçok yöntem geliştirilmiştir. Açık kompostlaştırma, doğal şartlara benzer biçimde cereyan etmektedir. Kapalı kompostlaştırma işlemlerinin avantajları; yüksek kapasiteli olmaları, kısa sürede tam olgun kompost üretebilmeleri ve iklim şartlarına bağlı kalmaksızın sürekli ve kontrollü üretim yapabilmeleridir. Dezavantajları ise kuruluş maliyetleri ile bakım giderlerinin yüksek oluşu ve fazla enerji ihtiyacıdır (Tosun, 2003).

3.5.1 Açık Kompostlaştırma Metotları

Açık kompostlaştırmada materyaller serbest yığınlarda veya sıralı yığınlarda (windrowlar) kompostlaştırılırlar. Genelde materyallerden yan yana dizilmiş iki üç sıralı basit yığınlar oluşturulur. Kompostlaştırma açık havada veya üstü kapalı bir yapıda meydana gelebilir. Açık kompostlaştırma metotları döndürmeli windrowlar, pasif havalandırmalı statik yığınlar ve basınçlı havalandırmalı statik yığınlar ve kümeleri kapsamaktadır.

3.5.1.1 Döndürmeli Windrow (Sıralı Yığın) Metodu

Döndürmeli windrow kompostlaştırma yaygın şekilde uygulanan bir metottur. Bu metotta kompostlaştırılacak malzemeler uzun ve dar yığınlar veya sıralı yığınlar şeklinde teşkil edilir. Sıralı yığınlar esas itibariyle difüzyon, rüzgar ve konveksiyon yoluyla pasif olarak havalandırılır. Pasif havalandırmaya ek olarak sıralı yığınlar düzenli olarak döndürülür. Döndürme materyallerin tam olarak karışmasını temin eder.



Resim 3.1 Döndürmeli Sıralı Yığın (Windrow) Kompostlaştırma

Döndürme sayısı ve sıklığı 6 - 12 ayda 3 - 4 kez ila 2 aylık bir periyotta 40 kez döndürme arasında değişkenlik gösterebilir. Döndürme ile besi maddelerinin karıştırılıp harmanlanması; windrow içindeki materyallerin homojenizasyonu; tutulan gazların ve sıcaklığın serbest kalması; windrow içinde mikroorganizmaların, nütrientlerin ve suyun windrow'a dağıtılması; yığının merkezindeki sıcak, oksijence zayıf kısımdaki maddelerle yığının yüzeyinde bulunan soğuk, oksijenli bölgedeki materyallerin yer değiştirmesi sağlanır. Ayrıca döndürme ekipmanına ve besi maddesine bağlı olarak döndürme işlemi partikül büyüklüğünü azaltır. Döndürme taze hava ve oksijen sağlamasına rağmen mikroorganizmalar birkaç saat içinde oksijeni tüketir. Döndürmeler arasındaki zamanda aerobik ortamın sürekliliğinin sağlanması için windrowlar mutlaka pasif olarak havalandırılmalıdır. Döndürme windrow içindeki materyallerin kabarmasını sağlayarak poroziteyi artırır, yoğunluğu azaltır ve pasif havalandırmanın daha etkili yapılmasını sağlar (Stofella ve Kahn, 2001).

Yığınlar genel olarak koniğin enine kesiti şeklinde oluşturulur. Enine kesit şekli özel şartlar söz konusu iken bu şartlara uygun olacak şekilde modifiye edilebilir. Windrowlar için ideal yükseklik 1.8 m'dir. Döndürmenin manuel olarak yapılacağı uygulamalarda yüksekliğin ortalama işçinin boyunda olması tercih edilmelidir. Mekanik döndürme için yükseklik

37

3.5.1.2 Pasif Havalandırılmalı Statik Yığınlar

Bu metot ağaç kabuğu, budama artıkları, odun yongaları ve bazı tarım atıkları gibi yavaş ayrışan besli maddeleri için kullanılan düşük maliyetli bir kompostlaştırma sistemidir. Pek çok besli maddesi bir araya getirilip nem, porozite, kütle yoğunluğu ve/veya C/N oranına uygun olarak karıştırılabilir, fakat yığın bir kez oluşturulur sonradan karıştırma yapılmaz. Döndürme, yığınlar alan içinde hareket ettirildiğinde yapılmaktadır. Her bir döndürme kompost üretimi için gereken zamanı azaltmaktadır. Kompostlaştırma süresince yığınların en az bir veya iki kez döndürülmesi gerekmektedir. Çoğu statik yığınlar serbest yığınlar şeklindedir. Yükseklikleri genelde 2 – 5 m aralığındadır. Ekipmanlar ile yığınlar tesbit edilen maksimum yükseklikte oluşturulurlar. Normalde serbest yığınlarda genişlik yüksekliğin iki katından biraz daha azdır. Yığın uzunluğu prosesi etkilememektedir. Geniş yığınlar sıcaklık ve nemi muhafaza eder, ayrışmanın muntazam ve fakat yavaş devam etmesine olanak verir. Yığınlar bitmiş kompost tabakası ile çevrilmek suretiyle koku filtrelenebilir veya bir branda ile çevrilerek yağış girişi engellenebilir.

Statik yığınlar yalnızca pasif hava hareketine bağlıdır. Geniş kütleli sıkıştırılmış materyaller oksijen difüzyonunu ve hava hareketini kısıtlar. Diğer bir taraftan yığınlar içindeki oksijen konsantrasyonu azalma eğilimindedir. Genelde aerobik şartlar yığın yüzeyinin yalnızca 1 – 2 m içinde mevcuttur. Kompostlaştırılacak besli maddesinin porozitesi arttıkça aerobik şartlar derinlere kadar nüfuz eder. Besli maddesi ne kadar üniformsa oksijen dağılımı o kadar iyi olacaktır.

Pasif havalandırılmalı statik yığın metodunda anahtar unsur zamandır. Statik yığınlarda kompostlaştırma yavaş bir şekilde seyreder, zira şartlar önemli ölçüde anaerobiktir ve materyaller döndürme işleminden çok fazla yarar göremez. Büyük statik yığınlar olgun kompost ürünü elde etmek için yılda pek çok kez döndürülmelidir. Çok büyük yığınlar ve hiç döndürülmeyen yığınlar için 3 veya daha çok yıl gerekebilmektedir. Uzun kompostlaştırma periyodundan dolayı ikinci anahtar faktör yüzeydir. Genel olarak yüzey ve zamanın uygun olması ve kokunun kritik unsur olmaması halinde statik yığın metodu ekonomik ve başarılı bir yöntemdir (Stofella ve Kahn, 2001).

3.5.1.3 Statik Yığınların Pasif Havalandırılmasına Yardımcı Metotların Kullanılması

Pasif havalandırmadan kaynaklanan sınırlamaları ortadan kaldıran, statik windrowlar ve yığınlar içindeki hava hareketine yardımcı teknikler geliştirilmiştir. Pasif havalandırmayı arttırmanın en etkili yöntemi gözenekli bir kompostlaştırma ortamı oluşturmaktır. Poroz ortam oluşturmak her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle hava akımını arttırmak ve oksijen dağılımını iyileştirmek için bazı kompostlaştırma metotlarında havalandırmaya yardımcı hava kutuları ve boruları kullanılır. Bunların içinde en önemlisi Pasif Havalandırılmalı Windrow Sistemi (PAWS) olarak bilinen metottur. Bu yöntem 1980’li yılların sonunda Kanada’lı araştırmacılar ve ziraatçiler tarafından balık işleme atıklarının ve çiftlik gübresinin kompostlaştırılması için geliştirilmiş bir metottur. Pasif havalandırılmalı windrow sistemi metodu (ve varyasyonları) 1 – 3 m yüksekliğinde nisbeten kısa windrowlardan oluşmaktadır. Windrowlar döndürülmezler, fakat fan kullanılmaksızın hava dağılımının sağlanmasında önemli bazı noktalar mevcuttur. Dikkat edilmesi gereken 4 temel nokta; (1) Kompostlaştırılacak besi maddesinin homojen ve nisbeten poroz karışımı; (2) pasif hava akımı için dağıtım sistemi; (3) saman ya da kompost gibi stabil absorbant materyalden taban örtüsü; (4) yaklaşık 14 cm kalınlığında, üzerinde amonyak, koku, nem ve sıcaklığın muhafaza edildiği, stabil kaba malzemedan müteşekkil dış örtü tabakası.

Orijinal pasif havalandırılmalı windrow sistemi metodunda hava dağıtımı windrowun enine karşılıklı döşenilen PVC borular ile sağlanır (Resim 3.2).



Resim 3.2 Pasif Havalandırılmalı Windrow Sistemi (Stofella ve Kahn, 2001)

Her bir borunun çapı 10 cm'dir ve her bir boru iki dizi delik içermektedir. Deliklerin çapı 1.25 cm ve aralarındaki mesafe 7.6 cm'dir (Stofella ve Kahn, 2001).

3.5.1.4 Havalandırılmalı Statik Yığınlar

Havalandırılmalı statik yığın metodu 1970'li yıllarda atıksu arıtma tesislerindeki arıtma çamurlarının kompostlaştırılması için Amerika Tarım Departmanı ile araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Basınçlı havalandırma, havalandırmanın iyileştirilmesini, proses zamanının azaltılmasını ve arıtma çamurlarının kompostlaştırılması ile ilgili olan kokunun azaltılmasını temin etmektedir (Stofella ve Kahn, 2001).

Havalandırılmalı statik yığın metodu, statik yığın metodundan daha gelişmiş bir yöntemdir. Bu metotta, kompost yığınının altına uygun aralıklarla delikli borular yerleştirilir. Boruların bir ucu kapalıdır, diğer ucu da hava hattına bağlanır. Yığın içerisindeki oksijen miktarının ve sıcaklığın istenilen aralıklarda kalması verilen hava ile sağlanır. Sıcaklık 55 - 65°C arasında tutulur. Kompostlaştırma prosesi bu yöntemle 1 - 2 ay arasında tamamlanır. Daha sonra

aktarmalı yığın metodunda olduğu gibi 2 ay ilave olgunlaşmaya bırakılır (Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği, 2005).

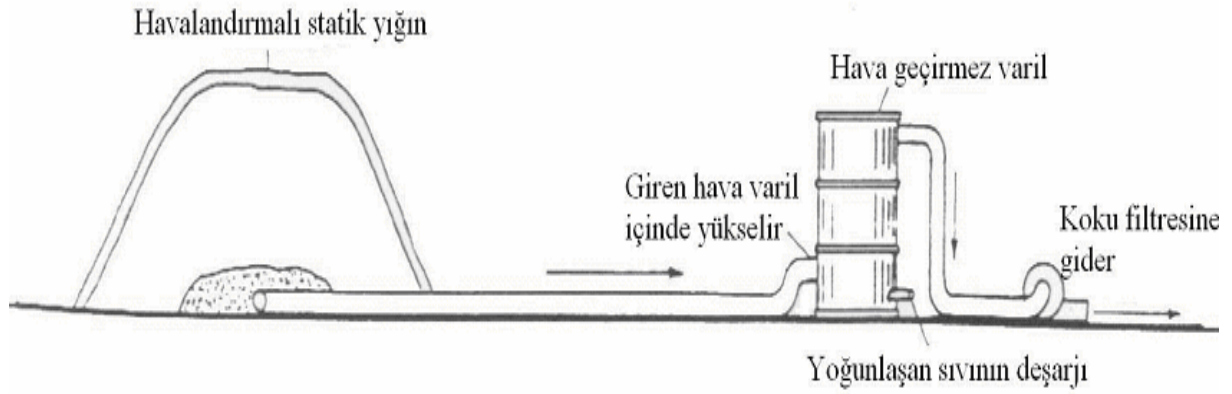


Resim 3.3 Havalandırılmalı Statik Yığınlar (Stofella ve Kahn, 2001)

Havalandırılmalı statik yığınların yüksekliği 2 – 4 m arasındadır. Yükseklik yığınları teşkil eden ekipmanlara ve sıkıştırılacak materyallerin ağırlığına bağlı olarak belirlenir. Yığınların uzunluğu genelde 40 – 80 m arasındadır. Uzunluk için havalandırma boruları ve kanalları boyunca hava dağılımının değişimi sınırlayıcı etkindir. Havalandırılmalı statik yığınların büyüklüğü küçük münferit yığınlarda genişlik 3 m’den 6 veya 10 m’ye; daha genişletilmiş yığınlarda ise 50 m’ye kadar artabilir (Resim 3.3). Havalandırılmalı statik yığınlardaki materyaller döndürülmediğinden yığın oluşturulmadan önce kompostlaştırılacak materyaller iyice karıştırılmalıdır. Bu karışım nisbeten poroz bir yapıya sahip olmalı ve yapısı sıkıştırma ve oturmaya dayanıklı olmalıdır (Stofella ve Kahn, 2001).

Statik yığın kompostlamasında hava iki yolla sağlanır; yığın boyunca havanın çekilmesiyle yapılan emme sistemi veya yığın içine havanın üfleyicilerle verildiği basınçlı sistem. Emme havayı yığının dış yüzeyinden içine doğru çeker ve bu havayı havalandırma borusunda toplar.

Dışarı atılan hava deşarj borusunda olduğundan, kompostlaştırma işlemi sırasında koku olursa filtreden kolayca geçebilir. Deşarj borusunun ucu bitmiş kompost yığınının içine gömülebilir veya koku arıtma sistemine yöneltilebilir. Emme sistemiyle yığından çekilen su buharından kaynaklanan yoğunlaşma suyunun hava üfleyicilere ulaşmadan önce giderilmesi gerekir. Hava sızdırmaz 208 L'lik tank, su damlalarını tutmak için kullanılan ucuz ve basit bir metottur (Şekil 3.8). Havalandırma borularının delikli yüzü aşağıya gelecek şekilde yerleştirilmesi su damlalarının borudan drene olmasını sağlar.



Şekil 3.8 Emmeli havalandırma sisteminde kullanılan 208 litrelik yoğunlaştırma kapalı
(Öztürk ve Bildik, 2005)

Pozitif basınçla havalandırmada dışarıya bırakılan hava, yığın yüzeyinden kompostu terk eder. Bu nedenle koku kontrolü için havayı tutmak zordur. Eğer daha iyi bir koku kontrolü gerekliyse dış tabakası daha kalın bir kompost kullanılabilir. Basınçlı havalandırma, emme ile havalandırmaya göre daha iyi bir hava akımı sağlar. Bunun nedeni koku fitresinin bulunmayışıdır. Aynı üfleyici gücüyle daha düşük basınç kayıpları daha büyük hava akımına neden olur. Bu yüzden basınçlı sistemler yığını soğutmada daha etkili olabilirler ve sıcaklık kontrolünün önemli olduğu sistemlerde tercih edilir (Öztürk ve Bildik, 2005).

3.5.1.5 Açık Yığınlar, Sıralı Yığınlarda (Windrowlar) Döndürme ve Basınçlı Havalandırma Metotlarının Kombinasyonunun Uygulanması

Çoğu kompostlaştırma tesisi, döndürmeli windrowlar (sıralı yığın) ve havalandırılmalı statik yığının kombinasyonundan oluşan metotları kullanır. Burada amaç statik sistemlerin dezavantajlarından uzak kalınırken basınçlı havalandırmanın avantajlarından faydalanmaktır.

Bu stratejiye örnek teşkil edecek üç metot vardır. Bu metotlar basınçlı-havalandırılmalı windrowlar, döndürmeli genişletilmiş havalandırılmalı yığınlar ve döndürmeli havalandırılmalı hazneler.

Basınçlı havalandırılmalı yığınlar tipik windrowlar (sıralı yığınlar) gibi inşa edilir, fakat kompostlaştırma dokusu içindeki havalandırma kanalları veya hava toplama kutusu gömülü durumdadır. Standart windrow metodunda olduğu gibi windrowlar konvensiyonel windrow döndürücüler ile periyodik olarak döndürülürler. İki döndürme arasında hava kutusu vasıtasıyla fanlarla windrow bütününde hava verilir veya çekilir. Havalandırma sistemi oksijen veya sıcaklık kontrolünü sağlar, döndürme standart windrowlara göre daha az sıklıkla yapılır.

Döndürmeli genişletilmiş havalandırılmalı yığın tekniği, yığının düzenli olarak döndürülmesi dışında her bakımdan havalandırılmalı statik yığın ile benzerlik göstermektedir. Her bir döndürme ile yığın konveyör ile döndürücü tarafından bir alandan diğerine aktarılır. Kompostun yığından alınması ile taze besi maddesinin eklenmesi her zaman aynı anda gerçekleşir. Bir alandaki materyal içeriği komposta dönüşmeye başladığında döndürücü yığının kenarından ilerler ve döndürücünün genişliğine eşdeğer bir dilimdeki kompost toplanır. Alan boşaltma konveyörü kompostu doğrudan kamyon yatağına yerleştirir. Sonra, döndürücü komşu yığına hareket eder, bir dilim alır, toplanan kompost yüzeye ince bir şerit halinde serilir. Döndürücü geriye kalan dilimler boyunca ilerler, her birinin yerini yığının toplanan kısmına doğru değiştirir (Stofella ve Kahn, 2001).

Döndürmeli havalandırılmalı hazne yaklaşımı, havalandırılmalı statik yığın metodunun küçük bir varyasyonudur. Kompostlaştırma için bir dizi üç taraflı hazneler kullanılır, herbir havalandırma kutusu tabanda gömülüdür. Karışmış besi maddesi yığını birinci hazneye yerleştirilir. Hazne konvensiyonel havalandırılmalı statik yığındakine benzer şekilde havalandırılır ve işletilir. 1 ila 2 hafta sonra yığın ilk hazneden yanındakine aktarılır. İkinci haznedeki yığın serideki diğer hazneye tekrar aktarılana kadar birkaç günden birkaç haftaya kadar havalandırılır. Bu işlem materyal son hazneden kompost olarak toplanana dek 2 ila 5 kez tekrarlanır. Kompost toplandıktan sonra sırayla hazneler boşaltılır ve bitişiğinde bulunan haznedeki yığınla doldurulur. Yığın hazneler arasında yer değiştirdiğinde gerekirse karıştırılıp nemi ayarlanabilir. Hacim azalmasını dengelemek için iki veya daha fazla yığın karıştırılabilir (Stofella ve Kahn, 2001).

3.5.2 Kapalı Reaktör Sistemleri (Vessel)

Vessel kompostlaştırma sistemleri materyallerin ve çevresel şartların hazne, reaktör gibi kapalı reaktör sistemlerinde kontrol altında tutulmaya çalışıldığı bir grup metodu içerir. Bu sistemlerin kapalı kompostlaştırma sistemleri olarak tanımlanması daha doğrudur, fakat endüstride vessel terimi kullanılmaktadır. Vessel sistemlerinin çoğu ticari amaca uygun olarak geliştirilmiştir. Genel olarak vessel metotları karıştırma yatakları, modüler havalandırılmalı konteynırlar veya tüneller, havalandırılmalı-karıştırmalı konteynırlar, silo veya kule reaktörler ve döner tanburları içermektedir.

3.5.2.1 Yatay Karıştırmalı Yataklar

Yatay karıştırmalı yatak metodu yaygın olarak kullanılmaktadır, zira bu metod basınçlı havalandırma, sık döndürme, materyallerin elle ve otomatik olarak döndürülmesinin avantajlarını temin eder. Kompostlaştırılacak materyaller kısmen kapatıldığından karıştırmalı yatak metodu genellikle vessel kompostlaştırma kategorisinin içinde düşünülür. Bununla birlikte yatay karıştırmalı yataklar, windrowlar ve havalandırılmalı statik yığınlar gibi açık sistemlerle aynı gruba dahil edilebilmektedir.



Resim 3.4 Yatay Karıştırmalı Yataklı Kompost Sistemi (Stofella ve Kahn, 2001)

Karıştırmalı yatak kompostlaştırma sisteminde kompostlaştırılacak materyaller, beton duvarlı kanallar içinde oluşturulmuş uzun, dar ve yatay yatak içinde kontrol altında tutulur (Resim 3.4). Yatağın üstü açıktır, bu nedenle sistem genellikle bir yapının içine yerleştirilir. Genellikle kanalın duvarları üzerindeki raylarla idare edilen döndürücü, yatakta otomatik olarak hareket eder. Karıştırmalı yatak sistemi sürekli piston akım şeklinde işletilir. Hammadde kanalın ön ucundan yüklenir. Kompost diğer uçtan alınır. Döndürücüye bağlı olarak materyaller her bir döndürme ile 2 m'den 4 m'ye kadar yer değiştirirler. Bu yer değiştirme uzaklığı, yatağın uzunluğu ve döndürme sıklığı kompostlaştırma periyoduyla belirlenir ve genelde bu süre genelde 10 ila 28 gün arasında değişir.

Ticari sistemlerde yatakların derinliği 1 – 3 m ve genişlikleri 2 – 4 m arasında değişmektedir. Uzunlukları tipik olarak takriben 50 – 100 m aralığında değişir. Çoğu uygulamalarda çoklu kanallar ve kanallar boyunca hareket eden bir veya iki döndürme makinesi kullanılmaktadır. Bir kanal, bazen küçük ölçekli uygulamalar için genellikle çiftliklerde gübre kompostlaştırılması için kullanılır. Bazı ticari sistemlerde çoklu kanallar yerine tek bir yatak kullanılır ve uzunluğu 7 – 13 m arasında değişmektedir. Çoğu uygulamalarda, kanal zemini boyunca basınçlı havalandırma yapılmaktadır. Hava akımı sıcaklık veya sıcaklık seviyelerine göre ayarlanmış bir zaman aralığına bağlı olarak kontrol edilir. Genelde kanallar uzunlukları boyunca üç ile yedi havalandırma bölgesine ayrılırlar. Bölgeler, daha fazla havalandırmaya ihtiyaç duyan yükleme ucuna yakındır. Çoğu havalandırmalı sistem pozitif basınç kullanır, basınçlı hava yatak boyunca ilerler (Stofella ve Kahn, 2001).

3.5.2.2 Havalandırmalı Konteynırlar

Havalandırmalı konteynırlar çeşitli boyutlarda farklı maddeler kullanılarak tamamen kaplanmış olan konteynırlardır. Havalandırmalı konteynırlarda genel olarak partiler halindeki hammadde kompostlaştırılır bu nedenle modülerdirler. Daha sonraki katı atık partilerinin de yerleştirilebilmesi için ilave konteynırlar eklenir. Bu uygulamada arazi ve konteynır sistemine göre 2 ila 40'ın üzerinde konteynır kullanılır. Düşük hacimli uygulamalarda kullanılan birkaç küçük pasif havalandırmalı konteynır dışında, havalandırmalı konteynırlarda oksijen sağlanması; sıcaklık, nem, CO₂ ve diğer proses gazlarının uzaklaştırılması fanlar ile yapılmaktadır. Pek çok konteynır, ayrı ayrı bulunan konteynırların hava dağıtım başlığına bağlanması ile oluşacak olan tek bir fan sistemi kullanılarak havalandırmalı konteynır haline getirilebilir. Çoğu zaman hava, zemindeki boru veya hava toplama kutusu (plenum) vasıtasıyla materyallerin tabanından başlayarak konteynırın en üst noktasına kadar

kompostlaştırılan yığının arasından geçirilerek verilir. İstisnai bazı hallerde durum bunun tam tersi olabilmektedir. Bazı sistemler sıcaklık ve nem artışlarını düzenlemek için hava akımını periyodik olarak tersine çevirir. Havalandırma sisteme bağlı olarak zaman veya sıcaklığa bağlı olarak kontrol edilebilir. Havalandırılmalı konteynırlar esasında statik sistemlerdir. Konteynır içinde herhangi bir döndürme veya karıştırma yapılmaz. Bu yüzden materyaller boşaltılarak dışarıda karıştırılıp kompostlaştırmanın devamı için konteynıra yeniden yüklenir veya windrowlar gibi ikinci bir kompostlaştırma sistemine gönderilir. Konteynırların boşaltılması ve yeniden yüklenmesi maliyet ve iş gücü gerektirdiğinden pratikte çok fazla uygulanmaz.



Resim 3.5 Konteyner ve plastik torba

(<http://www.akdeniz.edu.tr/muhfak/cevre/topkaya/homepage/kompostmetin.pdf>)

Ticari alanda kullanılan havalandırılmalı konteynırlar genelde modüler döner, üstü kapalı katı atık konteynırları, uzun polietilen torbalar (Resim 3.5) ve özel olarak üretilmiş tünelleri içerir. Mevcut sistemlerin çoğunda çürümeye karşı dayanıklı, kapaklı, zeminde bir hava dağıtım kutusu(plenum) ve tavanda da bir hava deliği bulunan döner konteynırlar kullanılır.

Her bir ünitenin kapasitesi 15 – 30 m³ arasında değişir. Bunlar tipik olarak 2 – 3 m yükseklik ve genişliğinde; 3 – 15 m uzunluğundadır. Bu konteynırlar hareketli ve modülerdir. Konveyör veya kovalarla kapaklarından yüklenir ve eğilerek boşaltılır. Konteynırlar doldurulduktan sonra hava dağıtım borularına bağlanır ve materyaller bir yığın halinde kompostlanır.

Mantar endüstrisinde kullanılan tünel kompost sistemleri diğer hammaddelerin kompostlaştırılmasında da kullanılır. Hareketli olmamaları dışında tüneller, çalışma tarzı ve

kapasite bakımından döner, üstü kapalı konteynır sistemine benzer. Polietilen torba sistemi havalandırmalı konteynırın farklı bir örneğidir. Aslında bu, torbaya yerleştirilmiş bir havalandırmalı statik yığındır. Kullanılan torbalar çiftliklerde hayvan yemi depolamada kullanılan torbalarla benzerlik gösterir. Torbalar 1.5 ila 5 m arasında değişen çaptadır ve uzunlukları 65 m'ye kadar çıkabilmektedir. Torbalar yoğunlukları belirlenen hammadde ile özel ekipmanlar kullanılarak doldurulur. Havalandırma borusu hammaddenin altına yerleştirilir. Torbalar doldurulduktan sonra havalandırma borusu pozitif basınç körüğüne bağlanır. Gaz çıkışı torbanın yanındaki deliklerden gerçekleşir ve sıcaklık probu bu deliklere konulabilir. Bu sistemde karıştırma veya başka bir konteynıra aktarma söz konusu değildir (Stofella ve Kahn, 2001).

3.5.2.3 Havalandırmalı - Karıştırmalı Konteynırlar

Bu sistemde kompost materyalleri kapalı bir havalandırma tüneli veya hücresi boyunca yer alan delikli, pas tutmayan demir levhalarla desteklenir. Dıştan hidrolik bir piston, boş levhayı (tray) ek yük haznesinden hammadde karışımı ile dolmak üzere tünele doğru iter. Yeni levha tünele girerken önceki levhaları iter ve en son levha tahliye edilir. Tahliye noktasında burgu, kompostu çıkış levhasından boşaltır. Tünel içinde hava, üstteki hava toplama kutusundan levhalara verilir. Hava dolaşımı tekrarlanır ve sonunda biofiltreye gönderilir. İki havalandırma veya sıcaklık bölgesi mevcuttur. Birinci bölgede patojen giderimi için yüksek sıcaklık değerleri korunur. Tünel içerisinde levhalardan biri birinci bölgeden diğerine hareket ederken kompost karıştırılır ve eğer gerekliyse karıştırma süresince su ilave edilebilir. Tek bir ünite; hazne, tünel, havalandırma, karıştırma, burgu ve biofiltreden oluşan sistemin birleşmesiyle oluşur. Sistem kapasitesi belirlenirken genellikle kullanılan ünitelerin sayısı ve büyüklüğü göz önüne alınır. Sistem kapasiteleri 100 kg ila 30 ton arasında değişmektedir (Stofella ve Kahn, 2001)

3.5.2.4 Silo veya Kule Reaktörler

Silo tipi kompost sistemleri bir veya daha fazla, kompost malzemelerinin yukarıdan aşağı doğru hareket ettiği, dikey olarak konumlandırılmış kapalı reaktörler (vessel) ya da silolar kullanır. Hareket bir burgu yada başka bir boşaltma mekanizmasının, kompostun bir kısmını silonun altından uzaklaştırmasıyla başlar. Üstteki materyaller aşağı doğru gider ve sonra yeni hammadde karışımı silonun üst kısmında açılan yere konur. Silo içindeki maddeler hareket

etse de tam olarak karışmazlar. Bu nedenle hammaddeler yükleme yapılmadan önce iyice karıştırılmalıdır. Uygulamaya bağlı olarak materyaller silo içinde 10 ila 30 gün arasında kalır. Silodan tahliye edilen materyaller genelde ikinci bir silo ya da bir başka kompost sistemine aktarılır. Hemen hemen tüm silo sistemler fanlarla havalandırılır. Normalde hava alttan verilir ve materyaller arasından yukarı doğru hareket eder. Hava yukarıda toplanır ve genellikle bir biofiltreye verilir. Hava yığının derinliklerinden yukarı doğru hareket ettikçe sıcaklık, nem ve CO₂ kazanır. Bu nedenle hava oksijen ve soğumayı sağlamadaki etkinliğini kaybettiğinden farklı derinliklerde, aynı kompostlaştırma şartlarının sağlanması zordur. Bu nedenle bazı sistemlerde silonun farklı derinliklerinde temiz hava bulunabilmesi için silonun alt kısımlarına dar havalandırma kanalları yerleştirilir.

Küçük bir ticari silo sisteminde pasif havalandırma kullanılır. Bu sistemde materyaller tel-ağ kafesleriyle oluşturulan silo içerisine konulur. Kafesler ekmek dilimleri gibi seriler halinde düzenlenmiştir. 10 cm'lik bir hava boşluğu kafesleri ayırarak pasif hava akışı ve O₂ difüzyonu için kanal oluşmasını sağlar. Kafesler ortalama 3 m yüksekliğinde, 7 m uzunluğunda ve 1.2 m genişliğindedir. Bu nedenle kompost yığınının merkezi, kafesi saran hava boşluğundan itibaren yalnızca 0.5 m'dir.

Silo sistemin başlıca avantajı dikey yönlendirmeden kaynaklanan küçük yüzey alanıdır. Fakat materyallerin dikey olarak yığılması, silonun daha derin bölgelerinde havalandırmanın yetersiz kalmasına ve materyallerin sıkışmasına neden olur (Stofella ve Kahn, 2001).

3.5.2.5 Döner Tanbur Reaktörler

Döner tanbur kompostlaştırıcılar esas olarak geniş ölçekli evsel katı atık tesisleri için ve daha küçük çaplı bahçe kompostlaştırması için uzun zamandır kullanılmaktadır. Son zamanlarda bu büyük ve küçük ölçekli uygulamalar için ideal ticari ölçekli döner tanburlar ortaya çıkmıştır. Ticari tanbur sistemlerinin ebatı, dizayn detayları, proses yönetimi değişiklik gösterse de kullanılan tekniğin temeli materyallerin kapalı reaktör içinde düşmesi/yuvarlanması esasına dayanır. Resim 3.6 ve Resim 3.7'de döner tanbur kompost reaktörleri görülmektedir.



Resim3.6 Döner tanbur
(<http://organic.tfrec.wsu.edu/compost/Compost%20systems/Rynk%2047mid.jpg>)



Resim 3.7 Küçük ölçekli döner tanbur kompost reaktörü (Stofella ve Kahn, 2001)

Tanburlar genellikle hafif bir eğimle yatay olarak yerleştirilir ve içindeki maddeler devamlı ya da aralıklı olarak yavaş bir şekilde döndürülür. Döndürme işlemi, tanburun içindeki materyalleri karıştırır, çalkalar ve tanbur boyunca hareket etmesini sağlar. Hammaddeler tanburun bir ucundan yüklenirken diğer bir ucundan kompost çıkışı sağlanır. Kullanılan özel sisteme bağlı olarak çeşitli yükleme ve boşaltma ekipmanları kullanılır. Yükleme ve boşaltma ekipmanları yaygın

biçimde konveyörlerle; boşaltılmaları ise graviteyle gerçekleştirilir. Geniş tanburların bazılarının içinde madde yığınlarını ayıran bölmeler vardır. Bu bölmelerde bulunan kapılar maddelerin bir bölmeden diğerine geçmesini temin eder. Temiz havanın verilmesi ve oluşan gaz ürünlerin uzaklaştırılması için her zaman olmasa da genelde basınçlı havalandırma kullanılır.

En geniş tanbur sistemleri evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında kullanılır. Bu tanburların çapı 3 m veya daha fazla, uzunlukları 50 m olabilmektedir. Birbirine paralel birden fazla tanburun kullanılması mümkündür.

Küçük ölçekli tanbur sistemleri; hayvan gübresi, hayvan ölüleri, bahçe ve yiyecek atıkları gibi kaynağında ayrılmış besin maddeleri için kullanılır. Bu üniteler 1.5 – 3 m çapında, ve 3 ila 15 m uzunluğunda değişmektedir. Genel olarak döner tanburlar içerisinde maddelerin bulunma süresi 3 ila 5 gün arasında değişmektedir. Pratikte döner tanburlar kompostlaştırma için bir ön işlem niteliğindedir. Tanburlardan çıkan maddeler genelde windrowlar, havalandırılmalı yığınlar veya diğer ikincil kompost sistemlerinde nihayetlenir.

Tanburlarda besin maddeleri; eşit, kontrollü yüksek ortam sıcaklığında ve hızlı bir şekilde kompostlanmaya başlanır. Tanburlar özellikle evsel katı atıklar gibi heterojen karışımların homojenizasyonunu sağlama noktasında etkilidir. Ancak bazı sistemler nem ve tanbur dizaynına bağlı olarak pH oranında önemli bir düşüş ve organik asit oluşumuna neden olan yetersiz havalandırmayla karşı karşıya kalmıştır. Pek çok uygulamada, davullar aktif kompostlaştırmanın tek aşaması olduğunda bu sorunlu bir durumdur (Stofella ve Kahn, 2001).

3.5.3 Kompostlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 3.13’de kompostlaştırma metotlarının avantajları ve dezavantajları birlikte ele alınmıştır

Çizelge 3.13 Kompostlaştırma sistemlerinin mukayesesi
(National Engineering Handbook, 2000)

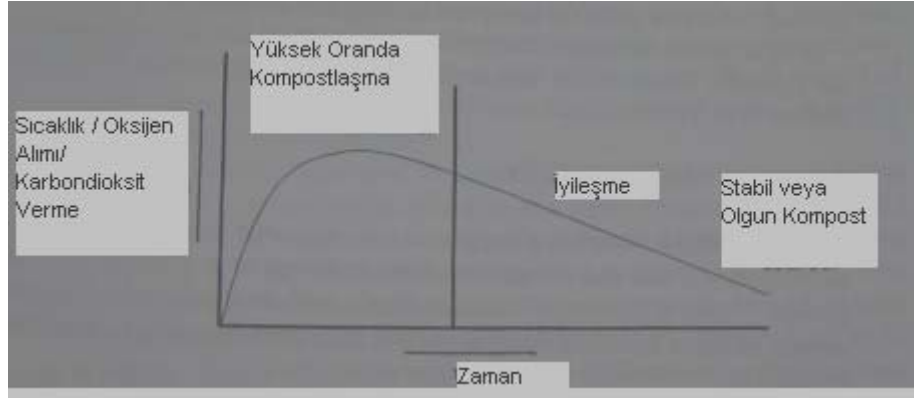
Kompost metodu	Avantajları	Dezavantajları
Pasif Kompostlaştırma Yığınları	*Yığınlar oluşturulduktan sonra döndürme yalnızca porozitenin iyileştirilmesi için arasıra yapılır. *İlk yatırım maliyeti düşüktür. Ekipmana hammadenin karıştırılması ve yığın oluşturulmasında ihtiyaç duyulur. Çiftlikte kullanılan makineler bu işler için kullanılabilir.	*Pasif havalandırma ve seyrek döndürme nedeniyle kompost prosesi çok yavaştır. *Kompostun tamamen olgunlaşması bir yıl kadar sürer. * Yetersiz havalandırma ve sıkışmadan dolayı koku oluşum potansiyeli yüksektir. *Havalandırmanın etkinliğini arttırmak için yığınlar diğer metotlara göre daha küçük olmalıdır *Yığınlar genelde herhangi bir koruyucu örtü olmadan yapılır hava koşullarının etkisine maruz kalır. Soğuk hava prosesi yavaşlatabilir. Şiddetli yağışlar yığın porozitesini bozar, sızıntı suyu oluşur; Aşırı kuruluk ise kompostlaştırma prosesini durdurur.
Windrow Kompostlaştırma	*İşçilik ekipman ve hammaddeye bağlı olarak döndürücü ekipmanların ayarlanabilirliği mümkündür. *Elektrik ihtiyacı yoktur, uzak mesafedeki alanlarda da kullanılabilir. *Poroziteyi kritik olmayacak seviyelere kadar değiştirme şansı tanır. *Kompost stabilizasyonunda ikincil metot gereksinimini azaltır. *Proses çalışırken aynı zamanda bakımda yapılabilir. *Yığınlar için elverişli alanlar mevcutsa, işlenmemiş malzemenin büyük miktarlarda kullanılması mümkündür. *Döndürmeli yığınlar, ürün kalitesinin fazla olduğu statik yığınlara oranla kurutma ve malzeme ayırma konusunda daha etkindir.	*Pasif kompostlaştırmalı yığınlarla benzerdir. *Yığınlar hava şartlarından özellikle yağış ve soğuk havadan etkilenirler. *Yığınlardaki aşırı rutubet anaerobik şartlarda koku üretilmesine neden olabilir. *Özellikle ilk aşamadaki dönme ihtiyacı bu metodu emek yoğun hale getirir. *Kullanılan ekipman özelliği ve operatörün yeteneğine bağlı olmakla beraber yığın döndürme işlemi uzun zaman alabilir. *Termofilik sıcaklık ve poroziteyi korumak, sık denetlemeyi ve diğer metotlardan daha fazla ilgilenilmeyi gerektirir. *Özellikle yığınların döndürülmesinden sonra koku problemi ortaya çıkabilir. *Önemli miktarlarda alan ve ekipman ihtiyacı vardır. Alan, hem ekipman ve malzemenin hareketi hemde yığınlar için gereklidir. *Makinaların aşınma ve yıpranmalarından dolayı ekipman bakımının maliyeti yüksek olabilir.

Çizelge 3.13 Kompostlaştırma sistemlerinin mukayesesi (devamı)

Pasif Havalandırılmalı Windrowlar	*Döndürme gerekli değildir. *Basınçlı havalandırılmalı yığınlardan daha ucuzdur. *Bitmiş kompost koku ve nütrienti muhafaza eder.	*Hava şartlarından etkilenirler. *Kompostlama esnasında sıkışması muhtemel ve porozitenin iyileştirilmesi için döndürme gereken materyaller için uygun değildir. *Havalandırmanın iyi olması için başlangıç karışımı kritiktir. Hammadde kullanımı sınırlanır. *Borulardaki delikler materyalle tıkanabilir, havalandırma inhibe olabilir. *Kompostlama süresince sıkışma eğilimi gösterecek materyal için uygun değildir. Poroziteyi ayarlamak için döndürme yapılmalıdır.
Havalandırılmalı Statik Yığınlar	*Etkili alan daha fazladır. *Basınçlı havalandırmadan ötürü windrowlardan daha büyük olabilirler. *Döndürme ekipmanı için alana ihtiyaç yoktur. *Havalandırma arttıkça kompostlaştırma için gereken zaman kısalmır. *Zaman ve sıcaklık kontrolü blovırlarla yapılır, sıcaklık değişimleri arasındaki farklar az, kompost kalitesi daha iyidir. *Yüksek sıcaklıklar patojen giderimini artırır. *Yığındaki izole katman aşırı amonyak kaybını engellemenin yanında yüksek sıcaklığa ulaşmada yardımcı olur, kokunun şiddetini azaltır. *Basınçlı havalandırma kullanılan vessel sisteme göre yatırım maliyeti daha düşüktür.	*Yığın içindeki hava çevriminde sorun meydana gelebilir. Bu düzensiz kompostlaştırmaya ve kararsız kompost ürününe neden olur. Ham maddenin uygun şekilde karıştırılıp porozitenin ve atık dokusunun uygun şekilde oluşturulması gerekmektedir. *Boru delikleri kapanabilir, havalanma engellenebilir. Borular kompost yığına gömülü olduğundan proses süresince bunu düzeltmek zordur. *Kompostlaştırma süresince boruların zarar görmemesini sağlamak,düzenlemek, temizliğini yapmak sorun teşkil edebilir. *Blowerlar ve borular için gerekli ekipmanların temini için yatırım yapılmalıdır. *Basınçlı havalandırma kompost yığınına kurutma eğilimindedir, haddinden fazla kurutursa kompostun stabilizasyonunu engeller.
Vessel Sistemi	*Genelde kapalı yerlerde veya bir koruyucu altında dırılır. Böylece kompost materyali hava şartlarından daha az etkilenir, koku problemi potansiyeli azalır, tesiste koku problemini kontrol etmek için dışarıdaki havayla içerdeki havayı seyreltmek veya pis havanın doğrudan arıtma tesisine verilmesi mümkündür. * Hava şartlarının etkisi daha az olduğundan ürün kalitesi daha iyi kontrol edilebilir. *Dikdörtgen karıştırmalı yataklar ve tünel kompostlayıcılarda kompost alanı verimlidir. Otomatik döndürücüler kanallar üzerine monte edilmiştir. Silolar ve haznelerde alan verimlidir çünkü duvarlar, oluşturulan yığınların statik yığınlar veya windrowlardan daha yüksek olmasına izin verir. *Hazneler dışında bu sistemler otomatik döndürücüler kullanıldığından daha az işçilik gerektirir.	*İlk yatırım, işletme ve otomatik döndürücülerin bakım maliyeti yüksektir. *Eğer ekipmanların onarımı hızlı yapılmazsa kompostlaştırma uzun sürebilir. *Silo ve dikdörtgen karıştırmalı yatak sistemleri kompostlaştırma periyotlarını kısaltmaya teşvik eder. Ürün tam olarak stabilize olmayabilir, yeterli patojen ölümleri gerçekleşmeyebilir. *Hazneler çok yüksek tutulursa basınç fazla olur havalandırma eşit yapılamayabilir. *Lokasyon ve ekipman dolayısıyla diğer sistemlere göre daha az esnektir.

3.5.4 Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğu

Stabilite ve olgunluk terimleri literatürde sıklıkla birbirinin yerine kullanılmıştır fakat bu iki terim aslında aynı anlama gelmemektedir. Stabilite, organik maddelerin ayrışma derecesi ve biyolojik aktivitenin bir fonksiyonudur. Olgunluk ise mevcut kompostta belirlenen organokimyasal durum veya fitotoksik organik asitlerin olmamasıdır.



Şekil 3.9 Sıcaklık veya karbondioksit verme veya oksijen almaya bağlı olarak kompostlaştırma fazları (Epstein,1997)

Şekil 3.9’da kompostlaştırma süresince organik maddenin ayrışma eğrisi tasvir edilmektedir. Mikrobiyal aktivitenin en fazla olduğu durumda ayrışmanın pik noktasına ulaşılır. Kompost büyük ölçüde stabil değildir, hızlı bir şekilde değişim gösterir. Bu değişimler kolay ayrışabilen bileşenlerin mikrobiyal kullanımından kaynaklanır. Bu bileşenler kullanıldığında organizmalar enerji için daha karmaşık yapılı diğer karbon kaynaklarına yönelirler ve aktivite azalmaya başlar. Ayrışma derecesi oldukça azaldığında kompost artık stabildir. Stabilin anlamı artık herhangi bir değişimin meydana gelmemesi değil, ayrışma oranının çok düşük olmasıdır. Hatta bu oran o kadar düşüktürki kısa zaman aralıklarında bunu belirlemek oldukça zordur.

Fitotoksisiteyle ilgili olarak olgunluk; inorganik kimyasallar ve tuzluluktan kaynaklanan fitotoksik etkilerin ayrımında kompostun organokimyasal kısımlarının bir fonksiyonudur. Organokimyasal fitotoksik etkilerin başlıca sebebi yağ asidi formlarıdır. Bununla birlikte olgunlaşmamış kompostta bulunan diğer organik bileşenlerde fitotoksisiteye neden olabilirler. Organokimyasallar dışındaki fitotoksisite veya bitki büyüme ve gelişimini engellemeye neden olan faktörlere; tuzluluk, iz elementler, ağır metaller, amonyak, karbondioksit, toprak sıkıştırma, toprak nemi ve toprak havalandırması da dahil edilebilir.

Kompostun stabilizasyonu mutlaka sağlanmalıdır. Zira stabil olmayan bir ürün hızla ayrışmaya devam eder. Kompost havalandırılarak ıslah edilmezse yığınların merkezinde anaerobik şartlar ortaya çıkar. Anaerobik şartlar C, N, S ve P'nin indirgenmesine neden olur. Aminler, sülfaminler, merkaptanlar ve H₂S kötü kokulu bileşiklerdir. C ve P'den üretilen metan ve fosfin(PH₃) yanıcı gazlardır. Stabil bir ürün depolandığı yerde kokuya neden olmaz. Toprağa uygulandığında hızlı bir şekilde ayrışmaz ve bitki büyümesi için gerekli olan azot kullanılabilir. Topraktaki oksijenin azalması oksijen seviyelerinin azalmasına veya anaerobik şartların oluşmasına neden olabilir ve bu durum bitki büyümesi, toprağın kimyasal çeşitliliğini, ağır metal çözünürlüğü ve nütrientlerin alımını etkiler (Epstein, 1997).

Bununla beraber, fitotoksik bileşenler stabilite derecesi iyi olmayan kompostlarda mikroorganizmalar tarafından üretildiği için genellikle stabilite ve olgunluğun her ikisi birlikte ele alınır. Renk, koku ve sıcaklık gibi fiziksel parametreler ulaşılan stabilizasyon derecesi hakkında genel bir fikir verirken olgunlaşma derecesi için doğrudan fikir vermezler. Stabilizasyon terimi, organik maddelerin oksidasyon derecesini ifade etmek için kullanılmaktadır. Kompostlaştırma sonucunda oluşan maddeler yavaş da olsa hala ayrışabilme kabiliyetine sahiptirler, fakat başlangıçta atık içindeki organik maddelerle karşılaştırıldığında ayrışabilme açısından daha stabil bir durumu ortaya koyar. Tam stabilizasyon, bütün organik maddelerin CO₂ ve H₂O'ya oksidasyonu ile olabilir. Böyle bir stabilizasyon istenmez. Çünkü, toprak iyileştirici madde olarak kompostun değeri, içindeki toprağa restore edici özellikler kazandıran yüksek molekül yapıları organik madde içeriğine bağlıdır. Pratikte, ürünlerdeki organik maddeler, anaerobik veya kokulu şartlara neden olmayacak düzeye indiği zaman stabilizasyon yeterli kabul edilir (Tosun, 2003).

3.5.4.1 Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğunun Belirlenmesinde Kullanılan Kimyasal Parametreler

3.5.4.1.1 Karbon/Azot Oranı (C/N)

C/N oranının 20'nin altında olması kompostun stabil olduğunun göstergesi kabul edilmektedir. Hiari vd. (1983), farklı besin maddeleri için bu değerin 5-20 arasında değişiklik gösterdiğini tesbit etmiştir. Morel vd. (1985) son C/N oranının başlangıç C/N'ye oranının stabilite veya olgunluk açısından daha iyi bir gösterge olduğunu belirtmiştir. Jimenez ve

Garcia (1989), $(C/N)_{\text{son}} / (C/N)_{\text{başlangıç}}$ oranının farklı kompostlaştırma zamanları için 0.49 - 0.85 aralığında bir değer aldığını tesbit etmiştir. Inbar vd. (1990) ile Baere vd. (1985) kompost ürününün C/N değerinin 18'in altında olması gerektiğini, Stofella ve Kahn (2001) genelde bu değer 15 - 20 arasında olması gerektiğini fakat ideal olan değer 10 olduğunu bildirmişlerdir. TMECC (2001)'ye göre olgun kompost için beklenen C/N oranının 21'in altında olmalıdır. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre ise kompostun tarımsal kullanıma uygun olması için bu değer 35'in altında olması gerekmektedir.

3.5.4.1.2 Azot Türleri

Bazı araştırmacılar, Nitrit (NO_2), nitrat (NO_3) ve amonyum (NH_4)'daki değişimlerin olgunluğun bir göstergesi olduğunu bildirmişlerdir. Keller (1961) olgunlaşmamış kompostların bazı örneklerinde büyük NO_2 miktarlarının, nitrat (NO_3) azotu ile ilgili olarak bulunduğunu bildirmiştir. Finstesin ve Miller (1985) olgunluğun NO_2^- ve NO_3^- miktarları ile ilgili olduğunu bildirmiştir. Kompost süresince bu radikallerin yüksek miktarda ortaya çıkışı kompostun olgun olduğunun bir göstergesidir. Arıtma çamuru kompostlarıyla yapılan havalandırılmalı statik yığın metotlarında NO_2 'nin 86 ila 103 gün, NO_3 'ün ise 96 ila 123 gün sonra ortaya çıktığını bildirmişlerdir (Epstein, 1997).

3.5.4.1.3 pH

Tamamlanmış kompostların çoğu için pH aralığı 6 ile 8 arasında değişmektedir. Kompostun nihai pH'sı büyük oranda hammaddeye, kompost prosesine ve ilave madde eklenmesine bağlıdır (Sullivan vd., 2001).

Kompostlaştırmanın başında genel olarak pH düşer ve sonra 6.5 ila 7.5 aralığında bir değer alır. Jann vd. (1960), aerobik stabil kompostun anaerobik şartlara maruz kalması durumunda pH'da daha fazla bir değişim olmadığını ve kokunun oluşmadığını tesbit etmişlerdir. Genel olarak pH stabilitenin iyi bir göstergesi değildir.

3.5.4.1.4 Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Katyon değişim kapasitesi, kompostun potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) sodyum (Na) gibi değiştirilebilir katyonları tutma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Komposttaki

negatif yüklü katyonların kaynakları organik maddelerde bulunan çözünmüş asidik fonksiyonel gruplardan oluşur (Sullivan vd., 2001).

K, Ca, Mg gibi çoğu katyon önemli bitki nütrientleridir. Yüksek katyon tutma kapasitelerinde partiküllerin bu nütrientleri tutma kabiliyetleri yüksektir ve bitkiler bunları kullanabilir.

3.5.4.1.5 Organik Kimyasal Bileşenler

Hazırlanan besi hammaddesindeki başlıca organik bileşenler kompostlaştırma süresince değişime uğrar. Keller'e (1961) göre selülöz muhtevası kompostun olgunluk derecesi için iyi bir göstergedir. Inoko vd. (1979), evsel atıkların kompostlaştırılması süresince selülöz ve hemiselülöz miktarlarındaki değişim ile ilgili çalışma yapmış ve bu polisakkarit muhtevasının kuru ağırlık bazında 60 gün sonra %36'dan %20'ye gerilediğini tesbit etmiştir. Hiari vd. (1983) kompostlaştırma süresince suda çözünebilen bileşenlerin değişimini incelemiştir. Bu çalışmada aminoasitler, düşük yağ asitleri ve polisakkaritlerin atıkların kompostlaştırılması süresince önemli oranda indirgendığını, arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında ise aminoasit ve düşük yağ asitleri indirgenirken polisakkarit veya peptitlerin indirgenmediğini tesbit etmiştir.

3.5.4.2 Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğunun Belirlenmesinde Kullanılan Fiziksel Parametreler

3.5.4.2.1 Sıcaklık ve Isı Çıkışı

Besi maddesi ve durumuna bağlı olarak sıcaklık genelde kompostlaştırmanın ilk birkaç gününde çevre sıcaklığından 60 - 70 °C'ye yükselir. Isı çıkışı ise mikrobiyal aktivitenin bir göstergesidir. Niese (1963), Dewar kaplarını kullanarak, solunuma bağlı olarak ısı üretimini ölçmüş ve sıcaklığın maksimuma çıkıp proses ilerledikçe düştüğünü tesbit etmiştir.

Kompostun çürüme derecesi Dewar ısınma testi ile ölçülür. Bu testte oda sıcaklığına gelene dek soğutulan kompost numunesi sıkıştırılmadan gevşek bir şekilde, fermentasyon derecesi belirlenmek üzere, 1 veya 5 L hacmindeki, iç çapı 100 mm olan, kenarları izole edilmiş Dewar kaplarına konulur. Kompost numunesinin sıcaklık derecesindeki değişimini izleyip

kaydetmek için Dewar kabına tabandan 5 cm yukarıya maksimum–minimum sıcaklığı ölçebilen dijital bir termometre yerleştirilir.

En çok 10 gün boyunca bu termometreler ile sıcaklık artışı izlenir. En yüksek sıcaklık artışına genellikle 2 – 5 gün içinde ulaşılır. Sıcaklık maksimum düzeye ulaşp hızla düşmeye başladığında deney sonlandırılır ve eğer sıcaklık ortam sıcaklığından en çok 20°C daha fazla ısınmazsa (maksimum 40°C) kompostun fitotoksik bileşen üretimi, yüksek mikrobiyal aktivite sebebiyle anaerobik ayrışma ve kötü koku oluşumu gibi sorunlara neden olmaksızın kompostun depolanabileceğine karar verilebilir (Kanat vd., 2002). Çizelge 3.14’de Dewar kabında kendi kendine ısınma testinin sıcaklığa bağlı olarak tanımlanması verilmiştir.

Çizelge 3.14 Dewar kabında kendi kendine ısınma testi tanımlaması (Epstein,1997)

Ulaşılan Maksimum Sıcaklık	Ayrışma Derecesi
> 70°C	0, Ham madde, ayrışma çok cüzi miktarda.
60-70°C	1, Orta derecenin altında ayrışma
45-60°C	2, Orta dereceli ayrışma
30-45°C	3, İyi ayrışma
<30°C	4, Ayrışma büyük oranda gerçekleşmiş veya tamamen bitmiş.

3.5.4.2.2 Renk, Koku ve Özgöl Ağırlık

Tipik olarak toprağa kokuyu aktinomisetler vermektedir. Becker (1995), toprak kokusunun esasında fungi ve aktinomisetlerin ürettiği geosmin ve 2-metilizoborneol gazlarından ileri geldiğini bildirmiştir. Bu iki gaz kompostta mevcutsa stabilitenin belirlenmesi mümkün olabilir.

Özgöl ağırlık kompostlaştırma süresince artar. Olgun kompostun özgöl ağırlık aralığı 0.5 - 0.9 g/cc’dir. Aralık geniş olduğundan bu parametre çok doğru kabul edilmez. (Epstein, 1997).

3.5.4.3 Bitki Deneyleri

Bitki deneyleri olgunluğun belirlenmesinde kullanılmalarına rağmen stabilitenin ölçülmesinde kullanılamaz. Keller (1961) alan denemelerinde fitotoksisiteyi bitkileri kullanarak

belirlemiştir. Keller (1961) buğday büyümesi ve kompost yaşı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. %100 kompost kullanarak yaptığı denemelerde elde edilen üründe 60 günlük kompostun 45 günlük komposta göre %49 daha verimli olduğunu ortaya koymuştur (Epstein, 1997).

3.5.4.4 Mikrobiyal Testler ve Mikrobiyolojik Aktivite

Mikrobiyolojik aktivitenin durumunun belirlenmesinde en iyi gösterge CO₂ çıkışı ve O₂ alımının ölçülmesiyle elde edilen değerlerdir. Solunum ölçümlerinde alınan numunelerin homojen olması önemlidir. Numunenin nem muhtevası solunum aktivitesi üzerinde doğrudan etkilidir. Frost vd. (1992), stabilite ölçümlerinde kullanılacak numunenin nem muhtevasının ağırlık bazında %50 - 65 arasında değişmesi gerektiğini belirtmiştir. Çizelge 3.15’de CO₂ çıkışına bağlı olarak kompost stabilite indeksi verilmektedir.

Çizelge 3.15 CO₂ çıkışına bağlı olarak kompost stabilite indeksi (Epstein, 1997)

Solunum oranı (mg CO ₂ -C/gr Kompost C- gün)	Sınıflama	Kompost Özellikleri
< 2	Çok stabil	Toprak kokulu, iyi derecede ıslah edilmiş
2 – 5	Stabil	Stabil kompost; toprak dinamikliğine az etki
5 – 10	Orta derecede stabil	Islah olmamış kompost, kötü kokma potansiyeli biraz mevcut, yüksek fitotoksisite potansiyeli
10 – 20	Stabil değil	Olgun olmayan kompost, yüksek koku ve fitotoksisite potansiyeli, yeni büyümeye başlayan bitkiler için tavsiye edilmez
>20	Stabil olmayan taze kompost	Oldukça taze materyal, yüksek kötü koku ve fitotoksisite potansiyeli, kullanılması önerilmez

Pressel ve Biddlingmaier (1981), kompost numunesinin spesifik biyolojik oksijen sarfiyatının veya solunum aktivitesinin kompostun ayrışma durumunu gösterdiğini bildirmiştir. Willson ve Damlat (1986) oksijen tüketim oranını, oksijenin kısmi basıncındaki azalmayı ölçerek belirlemişlerdir.

3.6 Kompost Kalitesi

Kompostun kalitesini kontrol etmede iki tür yaklaşım vardır; kompostun kalitesine göre nihai kullanımın belirlenmesi veya nihai kullanıma göre kompostun kalitesinin belirlenmesidir. Dikkat edilmesi gereken; kullanılacak yaklaşımın kompost operasyonunun amaç ve öncelikleri ile ham maddelerin bulunabilirliğine bağlı olarak seçilmesidir (Öztürk ve Bildik, 2005).

En kritik kompost kalite unsurları kompostun planlanan nihai kullanımına bağlıdır. Uygulamaların çoğu için kompost kalitesinin en önemli göstergesi bitki büyümesi üzerindeki etkisidir. Diğer nütrient kaynaklarının ikamesi için kompostun uygulandığı tarım alanlarında kompost nütrient muhtevası en önemli unsurdur. Kompostun pH ve çözünebilir tuz muhtevası kompostun yüksek oranlarda kullanıldığı ortamlar için anahtar özellik niteliğindedir (Sullivan ve Miller, 2001).

Partikül çapı 1,27 cm'den daha küçük, pH'ı 6 ile 7.8 arasında, çözülür tuz seviyesi 2,5 mmho/cm'den daha az, düşük solunum oranı, zararlı ot olmayan ve bileşen konsantrasyonları EPA'nın ve ülke standartlarının altında olan kompostun bir çok kullanım alanı vardır. Solunum oranı oksijen tüketimine göre belirlenir ve stabilite ile ilgilidir. Kompost karakteristikleri bu standartları sağlamazsa kullanım alanı sınırlanır. Örneğin, çözülür tuz seviyesi 2,5 *mmhos* (mmho: milimho. Bir mho'nun binde biri. mho çözünebilir tuz konsantrasyonunu ölçerken elektrik iletkenliğini ifade etmede kullanılan bir birimdir)/cm'den fazla olan kompost bitkilerde kullanılmadan önce diğer maddelerle seyreltilmiş olmalıdır. pH'ı 7,8'den büyük olan kompost yüksek pH'a ihtiyacı olan asidik topraklar veya ürünlerde kullanılabilir. Ayrıca olgunlaşma kompostun kalitesini etkiler. Üç veya dört aylık bir kompostun pH'ı düşük, daha ince yapılı ve nitrat-azot konsantrasyonu daha yüksektir. Bununla beraber pH yalnızca ham maddelere kireç ilave ederek değiştirilebilir (Öztürk ve Bildik, 2005).

Çizelge 3.16'da kompost kalitesinin belirlenmesinde kullanılabilecek parametreler verilmiştir.

Çizelge 3.16 Kompost kalitesinin belirlenmesinde kullanılabilecek parametreler
(Diaz vd., 1993)

Kategori	Parametre	Amaç
Fiziksel	Kütle yoğunluğu	Taşıma,depolama
	Renk	Estetik
	Nem muhtevası	İşleme
	Koku	Sağlık, çevre,estetik,talep
	Organik madde bileşimi	Toprak kalitesi
	pH	Toprak kalitesi
	Partikül büyüklüğü	İşleme, toprak kalitesi, estetik
	Su tutma kapasitesi	Toprak kalitesi, su tutma
	İnert maddeler	İnsan ve hayvan sağlığı, toprak kalitesi, Çevre, estetik
Kimyasal	Olgunluk	Toprak kalitesi, stabilite, ekin üretimi
	Makro ve mikro nütrientler	Toprak kalitesi, ekin üretimi
	Ağır metaller	Toprak kalitesi, sağlık, çevre
Organik	Çözünebilir tuzlar	Toprak kalitesi, ekin üretimi, çevre
	Toksik bileşenler	Sağlık, çevre
	Patojenler	Sağlık, çevre
Biyolojik	Tohum büyümesi	Toprak kalitesi
	Yabani tohumlar	Toprak kalitesi, ekin üretimi

3.6.1 Olgunluk

Olgunluk kompost kalite ve stabilitesinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli göstergedir, çünkü olgunlaşmamış ürün, toprak ve bitkiler üzerinde olumsuz yönde tesir eder. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi'ne göre kompost aşağıda yer alan kriter gruplarının ikisini bir arada bulundurması halinde olgun kabul edilir. Bunlar;

- C/N oranı < 25
- Oksijen alımı < 150 mg O₂ /(kg uçucu katı* saat)
- Turp tohumlarıyla yapılan sürgün ve bitki büyüme testlerinde herhangi bir fitotoksik etkinin bulunmaması

veya;

- Kompost sıcaklığı ısınma testleri neticesinde 20 °C'nin üzerine çıkmamalı

- Termofilik faz tamamlandıktan sonra en az 21 gün için olgunlaşmaya bırakılmalı veya;
- Organik madde azalımı ağırlık bazında %60 oranında olmalı
- Termofilik faz tamamlandıktan sonra en az 21 gün için olgunlaşmaya bırakılmalı

3.6.2 Yabancı Maddeler

Yabancı madde büyüklüğü 3 mm'yi aşan herhangi maddelerdir ve bunlar insanlara ve hayvanlara zarar verebilir. Bunlar cam, metal, sentetik polimer gibi inorganik veya organik olabilir. Çizelge 3.17'de farklı ülkeler için yabancı maddelerin kompost ürünündeki kabul edilebilir değerleri verilmiştir (Chi, 2005).

Çizelge 3.17 Bazı ülkeler için yabancı madde standartları(Chi, 2005)

Ülkeler	Yabancı madde	Kabul edilebilir değer %
Avustralya	Cam,metal,sert plastikler> 2mm	≤ 0.5
	Hafif, esnek plastikler > 5mm	≤ 0.5
	Taşlar ve kil parçaları	≤ 0.5
İtalya	İnert madde	≤ 3
	Cam ≥ 3 mm	≤ 0.3
	Plastikler	≤ 1
	Metaller	≤ 0.5
İsveç	Gözle görülür büyüklükte cam, metal ve plastikler	≤ 0.5
Kanada	3mm civarında yabancı madde parçaları	0
	25 mm'den büyük herhangi bir yabancı madde	0

3.6.3 Ağır Metaller

Ham madde kaynağına bağlı olarak kompost ağır metal içeriği yüksek konsantrasyonlarda olabilir. Kompostlaştırma esnasında eğer evesel-endüstriyel nitelikli çamur kullanılmışsa kompostun kurşun, çinko ve nikel konsantrasyonları yüksek olabilir (Chi, 2005).

Çizelge 3.18'de farklı ülkeler için ağır metal sınır değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.18 Çeşitli ülkeler için ağır metal sınır değerleri

	Ağır Metaller (mg/kg kuru kompost)										
Ülkeler	Cu	Zn	Co	Cd	Ni	Pb	Hg	Cr	As	Se	B
Almanya(Tosun, 2003)	150	400	-	2	50	200	1	150	-	-	-
Belçika-Tarımsal Kullanım(Brinton,2000)	100	1000	10	5	50	600	5	150	-	-	-
Belçika-Bahçe Kullanımı(Brinton,2000)	500	1500	20	5	100	1000	5	200	-	-	-
Kanada(Tosun, 2003)	100	500	34	3	62	150	0.8	210	13	2	-
Fransa(Tosun, 2003)	-	-	-	8	200	800	8	-	-	-	-
İsviçre(Brinton,2000)	150	500	25	3	50	150	3	150	-	-	-
Yunanistan(Alten,2006)	500	2000	-	10	200	500	5	510	-	-	-
İtalya(Alten,2006)	600	2500		10	200	500	10	500			-
İngiltere(Topkaya,2006)	100	400	-	1.5	50	150	1	100	-	-	-
Avusturya(Brinton,2000)	400	1000	-	4	100	500	4	150	-	-	100
Danimarka(Brinton,2000)	-	-	-	1.2	45	120	1.2	-	25	-	-
İspanya(Brinton,2000)	1750	4000	-	40	400	1200	25	750	-	-	-
Amerika-EPA 503(Öztürk ve Bildik,2005) (Arıtma Çamuru Kaynaklı Kompost)	1500	2800	-	39	420	300	17	-	-	-	-
İrlanda-Taslak-(Öztürk ve Bildik,2005)	100	350	-	1.5	50	150	1	100	-	-	-
Lüksemburg(Öztürk ve Bildik,2005)	100	400	-	1.5	50	150	1	100	-	-	-
Hollanda(Öztürk ve Bildik,2005)	60	200	-	1	20	100	0.3	50	-	-	-
İsveç(Öztürk ve Bildik,2005)	60	300	-	1	50	100	1	10	-	-	-

Amerika’da arıtma çamuru kompostu için özel limitler geçerlidir. Bu limitler oldukça esnekler. Amerika’daki EPA Part 503’de arıtma çamuru kompostuna ilişkin ağır metal sınırlandırmaları Çizelge 3.18’de verilmiştir. Bu yönetmelik TKKY’ndeki Ek-II ile karşılaştırıldığında nikel dışındaki değerlerin EPA 503’de daha düşük olduğu görülmektedir. Avrupa ülkelerinde kompost limitleri arıtma çamuru için de geçerlidir. Kompostun ağır metal limitleri her ülkede farklıdır. Amerika’da limitler oldukça yüksektir buna karşılık Avrupa’da ise limitler oldukça düşük olduğundan bunların sağlanması oldukça güçtür. Amerika standartlarındaki limitler sağlık riskine göre belirlenirken, Avrupa standartlarındaki limitler bu ağır metallerin topraktaki doğal sınırlarına yakın belirlenmektedir ve esnek değildir. Böylece kompost hem toprak kirliliğini önlemekte hem de halk sağlığı açısından daha güvenli olmaktadır (Öztürk ve Bildik, 2005).

Çizelge 3.19 Ülkelere göre kaynağında ayrılmış evsel atıktan üretilen kompostun ağır metal konsantrasyon değerleri(http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_annex5.pdf)

Kaynağında ayrılmış evsel katı atık kompostu	Referans	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
		mg/kg kuru madde						
Avusturya	Amlinger&Peyr, (2001)	0.38	24	47	0.16	19	37	174
	Zethner vd., (2001)	0.74	31	70	0.20	23	67.5	236.5
Belçika	Devliegheer, (2002)	0.82	22	45	0.15	12	69	229
Danimarka	Petersen, (2001)	0.48	11	60	0.11	9.3	41	150
Finlandiya	Vuorinnen, (2002)	0.6	-	-	0.09	9.67	30.00	-
Fransa	Hogg vd., (2002)	0.9	29	96	0.6	24	86	289
	Charonnat vd., (2001)	0.86	30.2	89	0.5	20.2	92.95	241.7
Almanya	Reinhold, (1998)	0.53	25	49	0.18	16	57	196
	ZAS, (2002)	0.5	23	45	0.14	14	49	183
	Marb vd., (2001)	0.45	27.2	67.9	0.23	18.5	42.7	196
	Stock vd., (2002)	0.46	-	42.5	0.13	-	42.5	180
İrlanda	Ni Chualain, (2004)	0.6	15.3	46	0.4	19	31.7	138.5
İtalya	Centemero, (2002)	1.08	23.1	74.9	-	26.2	70.7	180
Lüksemburg	Mathieu, (2002)	0.41	32	38.6	0.12	15.8	48.7	218.6
Hollanda	Hogg vd., (2002)	0.3	17	29	0.12	7	57	157
	Driessen&Roos, (1996)	0.47	16	27	0.13	10	78	204
	Brethouwer, (2002)	0.52	20.82	36.41	0.14	10.79	63.42	189.48
İspanya	Giro, (2002)	<1.5	27	88	0.2	23	56	202
İsveç	Lundeberg, (2002)	0.33	9.7	27	0.05	7.9	18	93.7
İngiltere	Hogg vd., (2002)	0.51	16	50	0.2	18	102	186
Norveç	Lystad, (2002)	0.54	25.5	69	0.11	11.25	23.9	264
İsviçre	Candina, (1999)	0.36	22.3	57.7	0.128	16.3	49.3	183.5

Bazı ülkelerde muhtelif zamanlarda yapılan çalışmalarda, kaynağında ayrılmış evsel katı atık kompostuna ilişkin belirlenen ağır metal muhtevaları Çizelge 3.19’da; karışık evsel katı atık kompostuna ilişkin belirlenen ağır metal muhtevaları ise Çizelge 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.20 Ülke bazında karışık evsel katı atık kompostunun ağır metal konsantrasyonu değerleri (http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_annex5.pdf)

Karışık evsel katı atık kompostu	Referans	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
		mg/kg kuru madde						
Avusturya	Amlinger, (2000)	2.7	209	247	1.3	149	224	769
Fransa	Hogg vd., (2002)	4.5	122	162	1.6	60	319	542
	Charonnat vd., (2001)	1.66	109.82	153	1.5	44.35	313.75	559.50
Almanya	Ulken, (1987)	3	164	330	2.3	87.6	588	915
	LAGA, (1985)	5.5	71	274	2.4	45	513	1570
İrlanda	Ni Chualain, (2004)	2.5	106	454	0.4	102	274	775
İtalya	Centemero, (2002)	2.9	72.7	114	-	35.8	385	703
İspanya	Canet vd., (2002)	1.66	198	400	1.5	61	326	820
İngiltere	Andersen., (2002)	0.265	9.74	58.15	0.105	21.28	121	199.2

Hann ve Lubbers merkezi bir tesiste yapılan ön ayırmanın, bitmiş kompost ürününün basitçe elenmesi yöntemine nazaran test edilen tüm metal miktarlarında önemli azalmalarla birlikte daha fazla avantaja sahip olduğunu kanıtlamışlardır. En kapsamlı çalışma Roosmalen ve arkadaşları tarafından 1987’de yapılmıştır. Ayırma alternatiflerini geniş kapsamlı bir şekilde değerlendirmişlerdir. Alternatifler son ürünün elenmesi, merkezi ayırma, muhtelif kompostlaştırılmayan geri dönüştürülebilir malzemelerin ıslak/kuru toplanması ve kompostlanabilir malzemelerin kaynağında ayrılmasıdır. Merkezi ayırma ve geri dönüştürülebilirlerin toplanması yaklaşık olarak benzer neticeler vermiştir. Elde edilen neticeler son ürünün elenmesinden daha iyi fakat kaynağında ayırmaya nazaran oldukça kötüdür. Örneğin kurşun için datalara bakıldığında son ürün elendiğinde kurşun miktarı 830µg/gr’dır. Hareket noktası olarak bu değer alındığında merkezi ön ayırma 20 - %40 azalmayla (530 – 670 µg/gr), ıslak/kuru toplama 20 - %50 azalmayla (400 – 680 µg/gr), kompostlanabilir malzemenin kaynağında ayrılması %80’e varan (130 µg/gr) bir azalmayla sonuçlanmıştır. De Baere bir tane ıslak/kuru, bir tane karışık toplanan atıklar ve iki tane kaynağında ayrılmış atıkların kompostlaştırılmasına dair kompost metal dataları sunmuştur. Kaynağında ayrılmış atık kompost değerlerinin kısmen benzer olduğunu belirlenmiştir. Kritik element olan kurşun için ortalama azalma değeri karışık kompost değerinin üstünde ve %88 olarak ölçülmüştür (Richard ve Woodbury, 1992).

Metaller ve diğer inert kirleticiler indirgenemezler. Metaller biyolojik olarak birikme eğilimindedirler ve organizmalar üzerinde kısa veya uzun süreli toksik etkileri mevcuttur. Metal kirleticilerin önemli bir kaynağını piller oluşturur. Elektronik, seramik ve bazı cam ürünler metallerin başlıca kaynakları olabilmektedir. En yaygın yasal düzenlemeler kadmiyum, bakır, krom, civa, kurşun, nikel ve çinko ile ilgili olarak yapılmıştır (Richard and Woodbury, 1992).

Kompost üreticileri kirletici seviyelerini düşürmek için farklı yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Aşağıdaki çizelge 3.21’de bu alternatiflerin bir özeti yer almaktadır;

Çizelge 3.21 Kirletici seviyelerini düşürmek için geliştirilen yaklaşımlar
(Richard and Woodbury,1992)

1	Evsel katı atıkları ayırarak üründeki kirletici seviyelerini azaltmak veya ortadan kaldırmak(elimine etmek)
2	Ayrı toplama veya kompostlaştırma için kaynağında ayrı toplanmış temiz organik malzeme kullanımı
3	Ayrı toplama veya bertaraf için kirleticilerin kaynağında ayrılması
4	Kompostlaştırmadan önce merkezi tesislerde evsel katı atıklardan kirleticilerin ayrılması
5	Kompostlaştırmadan sonra tesislerde evsel katı atık kompostundan kirleticilerin ayrılması.

3.6.4 Patojenik Organizmalar

Patojenik organizmalar bakteriler, virüsler veya diğer hastalık yapıcı organizmalar olabilir. Sağlık açısından fekal koliform ve salmonella büyük risk teşkil etmektedir. Çizelge 3.22’de bazı ülkeler için bu organizmaların sınır değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.22 Bazı ülkeler için kabul edilebilir patojen değerleri (Chi, 2005)

Ülkeler	Maksimum patojen miktarı	
	Salmonella	Fekal koliform
İspanya	25 gr’lık kompostta yok	1000 MPN/g
İtalya	25 gr’lık kompostta yok	1000 MPN/g
Kanada	25 gr’lık kompostta yok	1000 MPN/g
Amerika	3MPN/4 gr (olası ortalama değer)	1000 MPN/g

3.6.5 Diğer Karakteristikler

Yabancı maddeler, olgunluk, patojenik organizmalar ve ağır metallere ek olarak organik madde, nem muhtevası, nütrientler ve pH gibi diğ r karakteristiklerde kompost kalitesini etkilemektedir.  rneğ n Avustralya’da kompost pH’sının 5 - 7.5 arasında olması ve amonyum konsantrasyonunun 300 mg/l’t’nin altında olması gerekmektedir. İspanya, Kanada İsveç gibi bazı  lkelerde ise bunlara ve diğ r karakteristikler ilişkin kesin değerler bulunmamakta bunun yerine kompost pazara verilmeden önce gereken limitler deklare edilmektedir. Belirtilen değerler belirli zaman aralıklarında güncellenmektedir (Chi, 2005).

Avusturya ülkesinde kompost kalitesi için  -NORM S 2200 standartı geliştirilmiştir. Çizelge 3.23’de bazı karakteristiklerle ilgili olarak Avusturya için belirlenmiş kompost standartları yer almaktadır.

Çizelge 3.23 Avusturya Ö-NORM kompost kalite standartları
(www.yesilirmak.org.tr/download/bolgesel_gelisim_yhp.doc)

Parametreler	Ö-NORM S 2200 limitleri
Uçucu katı maddeler	>20
Toplam karbon	>12
Makronutrientler	
Toplam azot (%KM)	<0.2
Toplam nitrat (N-NO ₃) (%KM)	<0.1
Toplam amonyak (N-NH ₄) (%KM)	Üretici tarafından tayin edilir
Fosfor (toplam P ₂ O ₅)	Üretici tarafından tayin edilir
Kalsiyum (toplam CaO)	Üretici tarafından tayin edilir
Potasyum (toplam K ₂ O) (%KM)	Üretici tarafından tayin edilir
Manganez (toplam MgO) (%KM)	Üretici tarafından tayin edilir
Bor (mg/kg KM)	<10
Karbon/azot oranı C/N (-)	Üretici tarafından tayin edilir
Parametreler	Ö-NORM S 2200 limitleri
Fiziksel özellikler	
Nem içeriği (%ham ağırlık)	25-50
Nem kapasitesi (%KM)	>100
Ham yoğunluk (kg l ham ağırlık)	<0.85
pH(H ₂ O) (-)	Kompost üreticisi tayin eder.
EC (µS/cm)	<2.0
Tanecik boyutu > 25 mm (%KM)	<3
Toplam fiziksel kontaminasyon (%KM)	<0.5
Plastikleride içererek > 2 mm (%KM)	0.2
Plastikleride içererek > 20 mm (%KM)	0
Bitki tolerans payı, 15% kompost	
Bitki biyokütle (% referans kütleinin)	100
Germinasyon gecikmesi (gün)	0
Germinasyon sayısı (%)	100

3.7 Türkiye ve Dünyada Kompostlaştırmaya İlişkin Standart ve Uygulamalar

3.7.1 Türkiye'deki Kompost Kalite Standartları

Türkiye’de katı atıkların kompostlanmasına ilişkin ilk yasal sınırlandırma 14.03.1991 tarihli 20814 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde belirlenmiştir. Bundan sonra 10.12.2001 tarihli 24609 sayılı Resmi Gazetede Toprak Kirliliği

Kontrolü Yönetmeliği yayınlanmış ve daha sonra 25.04.2002 tarihli 24736 sayılı Resmi Gazetede Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik yayınlanarak KAKY'ne ilavelerle bu yönetmelikteki (KAKY) bazı hükümler, TKKY'ndeki hükümlere tabi tutulmuştur.

Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Madde 14'de kompostun toprakta kullanılabilmesi için gerekli olan şartlar belirtilmiştir. Madde 14'e göre;

- Kompostun, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az % 35 i oranında olması,
- Piyasaya sürülen kompostun su muhteva 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 oniki ayda bir belgelendirilmesi,
- Toprak ve kompost numunelerinin usulüne ve tekniğine uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
- Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin EK I-A(a) da yer alan değerleri aşması halinde söz konusu toprakta kompostun kullanılmaması,
- 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,
- gerekir.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ndeki Madde 37'de topraktaki ağır metal analizi 1 hektardan büyük arazilerde yapılması şartına bağlanmışken; bu ifade Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki Madde 10'da ağır metal analizleri böyle bir şarta bağlanmamış, her boyuttaki arazide bu analizlerin yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde toprağın ağır metal yükü hakkındaki sınırlama; kompostun araziye tekrarlanan bir şekilde uygulanması halinde geçerli iken, bu ifade Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde toprağın ağır metal yükü kompostun araziye 10 yıllık dönemde her yıl uygulanması şeklinde düzeltilerek uygulama süresi belirli bir periyoda bağlanmıştır. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ndeki ağır metal sınır değerleri Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde yeniden düzenlenmiştir. Topraktaki ağır metal sınır değerleri KAKY'de tek bir değer olarak belirtilirken daha sonra yayımlanan TKKY'nde bu değerler toprağın pH'ının 6'dan büyük ve 6'dan küçük olmasına göre iki farklı duruma göre düzenlenmiştir. Çizelge 3.24 ve 3.25'de TKKY ve KAKYde yer alan ağır metallerin sınır değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.24 TKKY(10.12.2001) ve KAKY(14.03.1991) topraktaki ağır metal sınır değerlerinin karşılaştırılması

Ağır Metal	Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Ek-I/A		Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ek-IV/A
	PH<6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	PH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	
Kurşun	50 **	300 **	100
Kadmiyum	1 **	3 **	3
Krom	100 **	100 **	100
Bakır *	50 **	140 **	100
Nikel *	30 **	75 **	50
Çinko *	150 **	300 **	300
Civa	1 **	1,5 **	2

* pH değeri 7'den büyük ise Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir. ** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Çizelge 3.25 TKKY(10.12.2001) ve KAKY(14.03.1991) toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yüklerinin karşılaştırılması

Ağır Metal	Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Ek-III	Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ek-IV/B
	Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl) **	Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl) **
Kurşun *	1500	2000
Kadmiyum	15	33
Krom *	1500	2000
Bakır *	1200	2000
Nikel *	300	330
Çinko *	3000	5000
Civa	10	42

* İşlenmiş artma çamurunun topraklarda kullanılması ile hasatın alınması arasında en az üç ay süre varsa ilgili kuruluşların görüşü alınarak, Bakanlıkça Hg ve Cd hariç olmak üzere bu değerler % 5'e kadar artırılabilir. ** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

3.7.2 Dünya'nın Gelişmiş Ülkeleri için Kompost Kalite Standartları

Avrupa Birliği'nin etiketleme direktifleri kapsamında "toprak iyileştiriciler" için standart geliştirmiştir (94/923/21, 31 Aralık 1994). Standartta; kompost içeriğinde en az %25 KM ihtiva etmesi gerektiği belirtilmiştir. Bitki büyümesinin ve ekimin verimli olması için; 8 g/m² azot ve 12 g/m² K₂O içermesi gerektiği belirtilmiştir. Sağlık açısından 25 gr'lık kompostta Salmonella olmaması ve E.colinin ise 1000 MPN (ortalama olası değer) den az olması gerekmektedir. Ayrıca kompost uygulamadan sonra hiçbir kokuya neden olmamalıdır. İnsan sağlığı açısından kompost cam, tel, metal ve sert plastik içermemelidir.

Dünya çapında kompost kalitesi için evrensel kriterler bulunmamaktadır. Kompost kalite değerlendirmeleri farklılık göstermekle beraber beş ana grupta incelenebilir. Bunlar olgunluk, yabancı maddeler, ağır metaller, patojenik organizmalar ve diğer karakteristiklerdir (Chi, 2005).

Organik atık aktivitelerine göre Avrupa dört sınıfta incelenir. Avusturya, Belçika, Almanya, İsviçre, Lüksembourg, İtalya, İspanya (Katalonya), İsveç ve Hollanda ilk sınıfta bulunur. Bu ülkelerin politikası tüm ülke geneline yayılmış ve yerleşmiştir. Bu ülkeler kaynağında ayrı toplanan organik atıklarının %80'ini kompostlaştırmayla geri kazanmaktadır. Çürütme az kullanılır. Danimarka, İngiltere ve Norveç ikinci sınıfta bulunurlar. Bu ülkeler ayrı toplama ve kompostlaştırma için gereken kalite ve örgütlenme politikasını oluşturmuşlardır. Finlandiya ve Fransa üçüncü sınıfta bulunur. Bu ülkeler kompostlama konusunda stratejilerini belirlemiş ve uygulamanın başlangıç noktasında bulunmaktadırlar. Dördüncü sınıfta İspanya, Yunanistan, İrlanda ve Portekiz gibi organik atıkların kaynağında ayrı toplanıp kompostlaştırma yönetimi konusunda hiçbir çalışma yapmayan ülkeler bulunur. Bu ülkelere atıklar karışık toplanıp kompostlanmaktadır. Avrupa'da kompostlaştırmayla ilgili düzenlemelerde özellikle kompostun ağır metal muhtevası üzerinde durulduğu görülmektedir. Özellikle Avusturya'da kompost kalite sınıfları ağır metal muhteviyatına göre belirlenmiştir. Almanya'da kompost sınıfları, kompostun özellikleri veya kullanımına göre belirlenmektedir. Belçika (Flandra)'da ise; kompost kalitesi, kullanılan ham maddeye göre belirlenmektedir. Esasen nihai kompostun kalitesi; kullanılan ham maddeye, ağır metal muhtevasına ve kullanım amacına bağlıdır (Öztürk ve Bildik, 2005).

3.8 Kompostun Kullanım Alanları

Katı atığın organik kısmının aerobik şartlarda ayrışması ile elde edilen kompost toprağa uygulandığı takdirde; toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirmektedir. Kompost uygulanmış bir toprakta su tutma kapasitesi, yapısal stabilite, su ve rüzgâr erozyonuna direnç, kök salma yeteneği artmaktadır. Kompost toprağın kimyasal özelliklerini de geliştirirken, toprağın makro ve mikro nütrient içeriğini, mineral maddelerin mevcudiyetini artırır, pH stabilitesi sağlar ve bir nütrient deposu olarak davranıp uzun süreli nütrient girişi sağlar. Ayrıca kompost topraktaki mikroorganizmaların aktivitesini yükseltirken parazitlerin etkisini azaltır, daha hızlı kök gelişimi ve daha yüksek tarımsal ürün verimi sağlar. Kompostun iyileştirici özelliklerinin yanı sıra kendine yer bulduğu farklı uygulama alanlarından bazıları aşağıda kısaca anlatılmıştır (Elten, 2001).

Kompostla biyolojik iyileştirme: Tarımsal faaliyetler, endüstriyel atıklar, ve endüstriyel kazalar yüzeysel ve yer altı su kaynaklarını, toprağı ve havayı kirletmektedir. Son yıllarda kirletilmiş toprakların geri kazanım, koku kontrolü, uçucu organiklerin azaltılması amacı ile kompostla biyolojik iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu yöntemde, olgun ve işlenmiş kompostun içinde bulunan mikroorganizmaların toprak veya sudaki kirleticileri parçalaması veya tutması sağlanmaktadır. Kirleticiler mikroorganizmalar tarafından indirgenerek humus veya inert yan ürünlere dönüştürülür. Kompostun klorlu veya klorlu olmayan hidrokarbonların, ahşap koruyucu kimyasalların, solventlerin, ağır metallerin, pestisitlerin, petrol ürünlerinin indirgenmesinde veya etkisiz hale getirilmesinde başarıyla kullanılabileceği ispatlanmıştır.

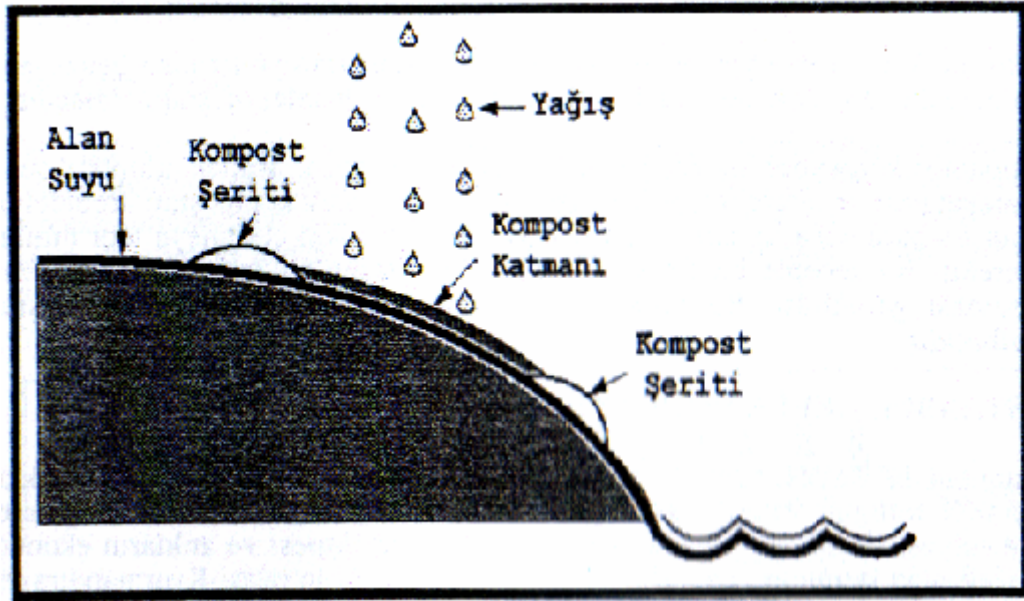
Biyolojik olarak kullanılacak kompost, spesifik kirleticilerin arıtımı için özel olarak üretilir. Kompost kirletici seviyesini düşürmesinin yanı sıra bitki gelişimini destekleyerek bu amaca hizmet etmektedir.

Bitki hastalıklarının kontrolünde: Kompost, bitki hastalıklarının kontrolüne yardımcı olabilmekte ve ürün kayıplarını azaltmaktadır. Kompost kullanarak bitki hastalıklarının kontrolü dört mekanizma ile gerçekleşmektedir. Bunlar yararlı mikroorganizmaların nütrientler için gerçekleştirdiği başarılı rekabet, yararlı mikroorganizmalar tarafından antibiyotik üretimi, patojenlerin yararlı mikroorganizmalar tarafından başarılı bir şekilde ortadan kaldırılmasıdır. Bilim adamları kompostun doğal hastalık önleme özelliğini, kompostun içinde bulunan hastalığa karşı savaşan mikroorganizmaların zenginleştirilmesi ve

diğer katkı maddeleri ile arttırmışlardır. Bu katkılandırılmış veya modifiye edilmiş kompost daha sonra bilinen hastalıklar tarafından enfekte edilmiş ürünlere uygulanabilir. Bazı araştırmalar modifiye edilmiş kompostun pestisit, fungusit gibi su kaynaklarını, ürün ve işçi güvenliğini tehdit eden kimyasalların yerini alabileceğini göstermişlerdir.

Kompost ile erozyon kontrolü: Erozyon, rüzgâr ve yağışların düz tarlalar ve tepeliklerden yüzey toprağını taşıması ile ortaya çıkmaktadır. Birçok temel nütrient içeren bu toprak katmanının ortamdaki uzaklaşmasından sonra geride kalan toprak bitkilerin iyi bir şekilde gelişmelerini sağlayamamaktadır. Erozyonla uzaklaşan toprak, dere, nehir ve göllere taşınabilmektedir. Bu su ortamında sedimentin artmasına ve bazen de içerdiği toksik maddeler sebebiyle sucul canlıların yaşamının olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Ayrıca su ortamının ticari, dinlenme amaçlı kullanım ve estetik değeri azalabilmektedir.

Su altında kalan eğimli yerlerde suyun hızını azaltmak amacıyla eğimin alt ve üst bölgelerinde kompost bir şerit halinde yığılabılır.



Şekil 3.10 Suyun akış hızını azaltmak amacıyla kompost kullanımı(Elten, 2001)

Bu kullanım ayrıca su kaynakları için de ilave bir koruma sağlamış olacaktır. Bununla birlikte kompostun nem tutma özelliği kurak mevsimlerde toprağı rüzgâr erozyonundan da koruyacaktır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Evsel kaynaklı katı atıkların ayrı toplanmasının kompostlaştırma metodu üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada iki adet reaktör kullanılmıştır. Reaktörlerden birine karışık evsel katı atık, bir diğerine ise organik evsel katı atık konulmuştur. Karışık evsel katı atıkların ham madde olarak kullanıldığı reaktör RK, evsel katı atıkların yalnızca organik kısımlarının kullanıldığı reaktör ise RO olarak tanımlanmıştır.

Karışık evsel katı atıklar Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisi'ne gelerek tesise kabul edilen ve eleme neticesinde 80 mm'lik eleğin altında kalan kısımdan alınmıştır. Organik evsel katı atıklar ise tesise gelen karışık evsel katı atıkların içerisindeki organik olmayan malzemelerin elle ayrılmasıyla elde edilmiştir.

Reaktörlere konulan katı atık miktarı yaklaşık 100 kg'dır. 7 günlük periyotlarda katı atıklar reaktör dışına alınıp karıştırılarak homojenliği ve havalandırılması sağlanmış, deneylerde kullanılmak üzere numune alımı yapılarak reaktörlere geri konulmuştur. Alınan katı numunelerde, su muhtevası, kuru madde oranı, pH, iletkenlik (Eİ), organik madde (OM) ve (KOİ) ölçülmüştür. Katı numuneler üzerinden yürütülen deneysel çalışmadaki parametreler "Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC)" tarafından belirtilen yöntemler doğrultusunda ölçülmüştür. Reaktörlerin alt kısmında biriken sızıntı suları her aktarmada alınmıştır. Sızıntı suyu analizlerinde pH, Eİ ve toplam KOİ izlenmiştir. Çizelge 4.1'de katı ve sızıntı suyu numunelerinde ölçülen parametreler, izlenen yöntemler ve sıklıkları bir arada verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kompostlaştırmada izlenen parametrelerin ölçüm yöntemleri ve sıklıkları

Parametre	Sıklık	Ölçüm Yöntemi/Cihazı
Katı numune üzerinde;		
Sıcaklık	15 dakikada bir	On-line (bilgisayar kontrollü)
pH	Haftada bir	TMECC, 2001
UKM	Haftada bir	TMECC, 2001
C, N	Haftada bir	LECO Truspec CN Cihazı
TKN	Başta ve sonda	TMECC, 2001
NH ₄ -N	Başta ve sonda	TMECC, 2001
Ağır metaller	Başta ve sonda	TMECC, 2001
Reaktörde oluşan sızıntı suyu üzerinde;		
Debi	Haftada bir	-
pH	Haftada bir	TMECC, 2001
E.İ.	Haftada bir	APHA, 1998
KOİ	Haftada bir	APHA, 1998

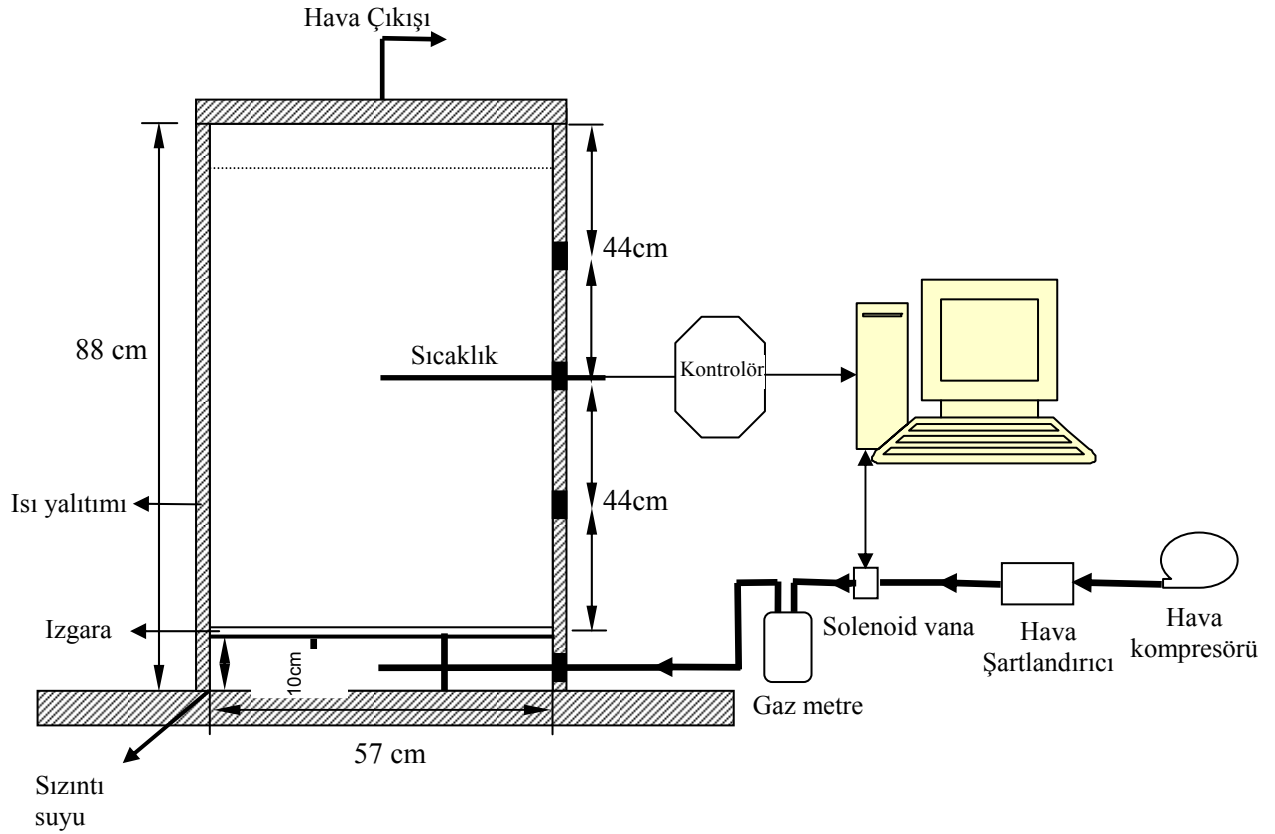
4.1 Deney Düzenegi

Bu çalışmada kapalı kompostlaştırma metodu kullanılmış ve çalışmalar iki adet kesikli reaktörle gerçekleştirilmiştir. Reaktörlerin faydalı hacmi yaklaşık 180 litredir.

Hava, reaktörlere blowerlar ile sağlanmış olup debisi yaklaşık 7 - 10 L/dak olacak şekilde rotometre ile ölçülerek ortalama 15 - 20 dakikada 1 dakika süreyle verilmiştir. Havanın basıncı hava şartlandırıcı ile ayarlanarak sabit debi geçişi sağlanmıştır. Hava debisi, kurulan otomasyon sistemi ile reaktöre giren hava boruları üzerindeki solenoid vanalar yardımıyla ayarlanmıştır. Her bir reaktör girişinde gaz metreler vasıtası ile reaktöre verilen hava debisi ölçülmüştür. Havanın atığın içine homojen olarak dağılmasını sağlamak için, reaktör tabanından yaklaşık 10 cm yükseklikte ızgara konulmuştur. Izgara iki kademeli olarak yapılmıştır. Alttaki ve üstteki ızgaraların çapları sırasıyla 20 mm ve 3 mm'dir. Hava, reaktörün yan tarafında tabana yakın bir kısımda açılan bir giriş ile reaktöre girmekte, ızgaranın altından ϕ 12 lik paslanmaz çelik bir boruyla tam ortadan eşit olarak dağılacak şekilde katı atık içerisine verilmiştir. Hava çıkışı ise, reaktörün üstüne açılan bir çıkış ucuna takılan plastik boruyla gerçekleştirilmiştir.

Reaktörlerin sıcaklıklarının ölçümü reaktörlerin ortasına kadar uzanan ve yatay bir şekilde konumlandırılan sıcaklık sensörleri ve dijital termometreler yardımıyla 15 dk'da bir online bilgisayar kontrollü olarak yapılmıştır. Reaktörlerin etrafına 2 cm kalınlığında cam yünü sarılmış, üst kısmı yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Böylece kompostlaştırılan atık kütesinin ısı izolasyonu sağlanmıştır. Reaktör, sıcaklığının 65°C'yi aşmaması, havalandırmayla kontrol altında tutulmuştur. Reaktörler haftada bir boşaltılarak karıştırılmış ve bu şekilde reaktörün homojenliği ve mikroorganizmaların besin maddesiyle teması sağlanmıştır.

Deney düzeneginin şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi

4.2 Reaktörlere Yerleştirilen Atıkların Miktar ve Bileşenleri

Çizelge 4.2 ve 4.3’de reaktörlere yerleştirilen malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Evsel katı atıkların yalnız organik kısımlarının yerleştirildiği RO’nun organik madde miktarı başlangıçta %60, RK’nın organik madde muhtevası ise %59 olarak belirlenmiştir. Her iki reaktörün organik madde muhtevası başlangıç değerleri literatürde belirtilen değerlerle uygunluk göstermektedir.

RO ve RK’nın C/N değerleri başlangıçta sırasıyla 14 ve 25 olarak hesaplanmıştır. RK’nın C/N oranı kompostlaştırmanın uygun şartlarda gerçekleştirilebilmesi için literatürde öngörülen değerlerle uygunluk göstermektedir. Christensen (1998) ve Diaz vd. (1996) yiyecek atıklarının C/N oranının 12 - 20 arasında olduğunu, Pagans vd. (2005) evsel atıkların yalnız organik kısımlarının kompostlaştırıldığı bir çalışmada başlangıç C/N değerinin 17 olduğunu, Miller vd. (2007) 14 - 16 arasında olduğunu ve Epstein (1997) evsel katı atıklar

için bu değerin 13 - 31 arasında değiştiğini ayrıca N (%) değerinin 1.2 – 2.7 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. RO'nun C/N değeri ise nisbeten düşük olmakla birlikte reaktördeki malzemenin azot muhtevasının yüksek olması göz önünde tutulduğunda yinede kabul edilebilir bir değerdir. Ayrıca RO reaktöründeki malzemenin başlangıçtaki C (%) değerinin RK'dan biraz daha yüksek olması beklenilmiştir. Bunun RO reaktörüne beslenen malzemenin yeterince iyi ayrılmamış olmasından veya RO ve/veya RK reaktörlerinden başlangıçta alınarak C/N deneylerinde kullanılan numunenin homojen olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

RO ve RK'nın başlangıç elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 12000 μ hos/cm ve 11700 μ hos/cm'dir. RO'ya beslenen atığın başlangıçtaki Ca ve Cl yüzdeleri RK'ya nazaran daha yüksek olup sırasıyla %5.51 ve %0.58'dir. RK'ya beslenen atığın başlangıçtaki Ca ve Cl yüzdeleri ise sırasıyla %3.63 ve %0.45'dir. RO'daki atığın başlangıç elektrik iletkenlik değerinin daha yüksek oluşu atığın içeriğindeki Ca ve Cl muhtevasının daha fazla olmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

RO ve RK'nın su muhtevaları sırasıyla %57 ve %50 olup kompostlaştırma işlemi için tavsiye edilen değerlerle uygunluk göstermektedir. RO ve RK reaktörlerine beslenen atık malzemelerin özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

RO'da Cd, Pb ve Cr parametrelerinin; RK'da ise Zn, B, Ni ve Mn parametrelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. RO ve RK reaktörüne beslenen atık malzemelerin başlangıçtaki ağır metal muhteva değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Reaktörlere konulan malzemelerin nütrient ve ağır metal bileşimi

	RO Organik evsel atık	RK Karışık evsel katı atık
Ca(%)	5.51	3.63
K(%)	1.19	0.68
P(%)	0.62	0.14
S(%)	0.69	0.46
Mg(%)	0.63	0.23
Na(%)	0.47	0.36
Fe(%)	0.87	0.85
Al(%)	0.49	0.43
Cl(%)	0.58	0.45
Mn(mg kg ⁻¹)	281	544
Cu(mg kg ⁻¹)	43	62
Zn(mg kg ⁻¹)	172	180
B(mg kg ⁻¹)	37	56
Cd(mg kg ⁻¹)	0.73	0.44
Pb(mg kg ⁻¹)	70	39
Ni(mg kg ⁻¹)	58	76
Cr(mg kg ⁻¹)	132	111
Co(mg kg ⁻¹)	7	6

Çizelge 4.3 Reaktörlere konulan malzemelerin özellikleri

Reaktör	Su Muhtevası (70C°)	İletkenlik µhos/cm	Organik Madde (%)(550C°)	NH ₄ - N	pH	KOİ (gr/kg)	TKN (%)	C (%)	N(%)	C/N
RO (Org.Evsel Katı Atık)	57	12200	60	0.07	5.23	1.65	2.4	33.3	2.4	14
RK (Karışık evsel Katı Atık)	50	11600	59	0.05	4.82	1.83	1.29	32.96	0.8	25

Organik evsel atık pH, EC, TKN değerleri, kontrol olarak kullanılan karışık evsel atığa nazaran daha yüksektir.

4.3 Analiz Yöntemleri

Kompostlaştırma prosesinin başında pH, iletkenlik, su muhtevası, organik madde muhtevası, toplam kjeldahl ve amonyum azotu, ağır metal içeriği, KOİ ve C/N parametreleri ölçülerek reaktörlerde atık karakterizasyonu yapılmıştır. Kompostlaştırma süresince proses kontrolü için aktarmada alınan haftalık numunelerde pH, iletkenlik, su muhtevası, organik madde, KOİ

ölçülmüş ve sürekli olarak sıcaklık kaydedilmiştir. Proseste oluşan sızıntı sularında ise sadece pH, elektrik iletkenliği ve KOİ belirlenmiştir. Proses sonunda elde edilen karışık ve elenmiş üründe (ince kompost) ürün kalitesinin belirlenmesi amacıyla pH, iletkenlik, su muhtevası, organik madde, toplam kjeldahl ve amonyum azotu, ağır metal, KOİ, C/N, fitotoksosite analizleri ile yabancı madde karakterizasyonu ve Salmonella Tayini yapılmıştır. Bu analizlerde izlenen yöntemler aşağıda belirtilmiştir.

4.3.1 pH ve İletkenlik Ölçümü

Reaktörlerden alınan katı numuneler öğütüldükten sonra distile su ile 1:5 (kuru numune: su) oranında karıştırılarak 20 dk oda sıcaklığında 180 rpm’de çalkalanmıştır. pH ölçümü hazırlanmış olan bu sulu çözeltide doğrudan pH metre ile ölçülmüştür. İletkenlik ise, sulu çözelti 40 dk 9000 rpm’lik santrifüjden geçirildikten sonra üst fazda prob ile belirlenmiştir (TMECC, 2001).

4.3.2 Su Muhtevası

Su muhtevası alınan numunede öğütülmeden doğrudan ölçülmüştür. Numune darası alınan kaba belirli miktarda koyulmuş ve $105\pm5^{\circ}\text{C}$ ’lik etüvde 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. 24 saatin sonunda numune sabit tartıma geldiğinde son kütlede tartılmış, numunenin su ve kuru madde muhtevası belirlenmiştir (TMECC, 2001).

$$\text{SM} = \frac{K_{\text{yaş}} - K_{\text{kuru}}}{K_{\text{yaş}} - K_{\text{dara}}} \cdot 100 \qquad \text{KM} = \frac{K_{\text{kuru}} - K_{\text{dara}}}{K_{\text{yaş}} - K_{\text{dara}}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

Burada:

SM: Su Muhtevası (%)

KM: Katı Madde Muhtevası (%)

K_{dara} : Porselen Krozenin Darası (gr)

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

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

4.3.3 Organik Madde Muhtevası

Numunelerin organik madde (OM) miktarları, 70±5°C'de kurutulup tekrar öğütülen numunenin 18ml'lik krozede 550 °C'de 2 saat kül fırınında yakılmasıyla bulunmuştur (TMECC, 2001).

$$OM(\%) = \frac{a - b}{a - c} \quad (4.2)$$

Burada;

a= Yakmadan önce numunenin kapla birlikte ağırlığı (gr)

b= Yakmadan sonra numunenin kapla birlikte ağırlığı (gr)

c= kabın ağırlığı (gr) dır.

4.3.4 Toplam Kjeldahl ve Amonyum Azotu

Amonyak miktarları, öğütülmüş yaş numune ile hazırlanan 1:5 sulu çözeltinin santrifüj işleminden geçirilerek 0,45 µm'lik filtre kağıdından süzülen kısmında belirlenmiştir (TMECC, 2001). Amonyak ölçümünde distilasyon yöntemi kullanılmıştır. Distilasyon yönteminde; 800 mL kjeldahl balonuna çözeltiden alınan 20 - 50 mL'lik numune konularak distile su ile 500 ml'ye tamamlanmıştır. Üzerine 25 mL borat tampon çözeltisi eklenerek pH 9.5'e NaOH çözeltisi ile yükseltilmiş ve distilasyon cihazına takılmıştır. Kaynatma esnasında amonyum iyonundan amonyak gazına dönüşen azotun tutulması için borik asit kullanılmıştır. Distilantın toplanacağı borik asit çözeltisi 250 mL'lik erlen içine 50 mL koyularak cihaza yerleştirilmiştir. Erlen içinde 250 mL distilant toplandıktan sonra distilasyon işlemine son verilmiş ve erlende toplanan çözelti soluk lavanta rengine dönünceye kadar 0.02 N standart sülfürik asit çözeltisi ile titre edilmiştir. Burada standart sülfürik asit çözeltisinin 1 mL'si 280 µg amonyak azotuna karşılık gelmektedir (APHA, 1998).

Numunelerdeki amonyak azotunu hesaplamak için (4.3) eşitliği kullanılmıştır:

$$[NH_3 - N] = 280 * (S/V) \quad (4.3)$$

Burada $[\text{NH}_3 - \text{N}]$ mg/L cinsinden amonyak azotu konsantrasyonunu, S mL cinsinden sülfürik asit sarfiyatı ve V mL cinsinden alınan numune hacmini göstermektedir.

TKN miktarları ise $70 \pm 5^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş ve öğütülmüş numunelerde organik azotun parçalanmasından sonra amonyak miktarı ölçülerek belirlenmiştir (TMECC, 2001).

Parçalama işlemi, yaklaşık 0,3 gr numune kjeldal balonuna aktarıldıktan sonra 100 ml hazım ayracı ile yapılmıştır. Parçalama işlemi tamamlandıktan sonra numune damıtık su ile 300 ml'ye tamamlanmış ve 100 ml nötralizasyon çözeltisi ile ortam bazik şartlara getirilerek amonyak miktarının belirlenmesi için distilasyon işlemi yapılmıştır (APHA, 1998).

4.3.5 Ağır Metal Muhtevası

Yaklaşık 0 – 2 gr arasında alınan öğütülmüş numune 1ml nitrik asit ve 3 ml hidroklorik asit eklenerek mikrodalga fırına konulmuştur. Soğuduktan sonra balon jodede 50 ml'ye saf suyla tamamlanıp, 0,45 μm 'lik membran filtreden geçirilerek ICP cihazında ağır metal muhtevaları okunmuştur (TMECC, 2001).

4.3.6 KOİ

KOİ ölçümleri, yaş numuneden hazırlanan 1:20 sulu çözeltide ölçülmüştür. Sulu çözelti 20 dk 180 rpm'de çalkanıp, 9000 rpm'de 20 dk santrifüjlendikten sonra üst fazda KOİ deneyi yapılmıştır (TMECC, 2001).

KOİ deneyi organik maddenin yüksek sıcaklıkta (150°C) konsantre sülfürik asit içinde potasyum dikromat ile gümüş katalizör yardımıyla CO_2 ve H_2O 'ya oksitlenmesi yoluyla ölçülmüştür. Bu işlem %50 sülfürik asitli ortamda, geri soğutma altında 2 saat içerisinde gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonda belli ve aşırı miktarda dikromat kullanılmakta olup, reaksiyondan arta kalan dikromat, demir amonyum sülfat geri titrasyonu ile tayin edilerek, organik maddenin oksitlenmesinde harcanan dikromat kantitatif olarak belirlenmiştir (APHA, 1998).

Kimyasal oksijen ihtiyacı miktarı, mg/l olarak (4.4) eşitliği ile hesaplanır:

$$\text{KOİ}(\text{mg/l}) = [(A-B) \cdot N \cdot 8000] / V \quad (4.4)$$

Burada;

A: Şahidin demir amonyum sülfat sarfiyatı, ml

B: Numunenin demir amonyum sülfat sarfiyatı, ml

N: Demir amonyum sülfat çözeltisinin normalitesi

4.3.7 C/N Oranı

C/N oranı ölçümleri kuru numunelerde yapılmıştır. $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuş numuneler önce kaba öğütücüde daha sonra ince öğütücüde öğütülmüştür. Elde edilen malzemeden yaklaşık 0.2 mg civarında tartılmış ve özel kalay folyo kapsüllere konularak LECO Truspec CN cihazına yüklenmiştir. Numuneler cihaz içide 950°C 'de yakılmakta ve çıkan C ve N gazları otomatik olarak ölçülmüştür (TMECC, 2001).

4.3.8 Fitotoksisite

Kompost numunelerinde yapılan fiziksel ve kimyasal testler onun sadece kalite değerleri hakkında bir ön bilgiye sahip olmamıza imkan vermektedir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar kompostun bitki yetiştirme özelliği hakkında yeterli bilgi vermez. Bu sebeple, üretilen kompostlarda bu konunun aydınlanması için, ayrıca bitkiye uygunluk testleri de yapılmaktadır. Bitkiye uygunluk testinde kompost numunesi sıfır birim toprakla (0BT) iki ayrı şekilde; %25 ve %50 oranlarında (hacimsel olarak) karıştırılarak 500 ml'lik saksılara, 400'er ml konmuştur. Tere tohumu (*Lepidium sativum*) sıfır birim toprakla beraber, iki ayrı oranda hazırlanan kompost örneklerine ekilerek seraya alınmıştır. 7 ile 10 günün sonunda büyümüş olan tere bitkisi hasat edilerek tartılmıştır. İki ayrı kompost karışım oranına göre bitkiye uygunluk yüzdeleri (4.5) bağıntısı kullanılarak belirlenmiştir (Kanat vd., 2002).

$$\text{TK} (\%25, \%50) = [\text{TK}_{\%25, \%50} / \text{TK}_{0\text{BT}}] * 100 \quad (4.5)$$

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)

4.3.9 Salmonella Tayini

Salmonella aerobik, spor oluşturmeyen Gram negatif bir bakteridir. Üründe hijyeni belirlemek maksadı ile *Salmonella* testi yapılmıştır. 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 “Salmonella Rapid Test” referans yöntemine göre yürütülmüştür. Çalışmalara şahid olarak steril su ve *Salmonella sp.* suş’u kullanılmıştır. Oxoid Salmonella Rapid Test ham gıda maddelerinde, son ürün ve çevreden alınan örneklerde hareketli Salmonella’ların saptanması amacıyla kullanılan, Association Française de Normalisation Tour Europe (AFNOR) ve AOAC tarafından onaylanmış, 42 satte sonuç elde edilebilen bir yöntemdir. Bu metotda homojenize edilerek uygun bir ortamda zenginleştirilmesi yapılmış gıda numunesi salmonella seçici medium ve iki adet tüp içeren kültür kabına inoküle edilir. Her tüp, poroz bir yapıyla birbirinden ayrılan seçici bir besi yeri ve üst indikatör besi yeri içermektedir. Salmonellalar alttaki seçici ortamdan üstteki indikatör ortama aktif olarak hareket ederler ve varlıkları renk değişikliği olarak görünür. Hareketli salmonella suşlarının elektiv brothdan seçici indikatör medyalara göçü ve gelişmeleri A tüpünde H₂S oluşumuna bağlı siyah renklenme olarak gözlenir. Analiz 18 saatlik ön zenginleştirme aşaması dahil 42 satte tamamlanır. Pozitif reaksiyon gözlenen tüpler daha sonra Oxoid salmonella latex test kullanılarak 2 dakika içinde konfirme edilir (Serolojik tür tayini, mikrobiyolojik analiz yöntemlerinde yeni yaklaşımlar, 1999).

4.4 Deneyisel Bulguların Değerlendirilmesi

4.4.1. Sıcaklık

Sıcaklık mikrobiyal aktivitenin bir göstergesidir. Kompostlaştırma işlemi için gerekli ortam şartlarının oluşturulmasından sonra genelde materyalin sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık başlangıçta mikrobiyal aktivitenin artması neticesinde kademeli olarak yükselmektedir. Sonra eğer şartlar korunuyorsa sıcaklık artışları 66 °C veya 71°C’ye kadar kademeli olarak devam eder. Kullanılan sisteme ve atığın muhtevasına bağlı olarak sıcaklık artışları 1 haftadan 3 haftaya kadar sabitlenerek çevre sıcaklığına kadar kademeli olarak azalmaktadır. Eğer ortam şartları yeterince elverişli değilse yüksek sıcaklıktaki sabitlenme 3 haftadan daha uzun sürebilmektedir (Diaz vd.,1993).

Bu çalışmada sıcaklık bilgisayar kontrollü olarak her 15 dakikada bir ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin ortalamaları alınarak hazırlanan reaktörlere ait sıcaklık değişimleri Şekil 4.2’de verilmiştir.

Evsel katı atıkların yalnızca organik kısımlarını içeren RO’nun başlangıçta, yani henüz birinci gün tamamlanmadan ölçülen ortalama sıcaklık değeri 39°C iken karşık evsel katı atık içeren RK’nın ortalama sıcaklığı 37°C olarak ölçülmüştür.

55 °C’nin üzerinde atığın minimum üç gün kalması halinde patojenlerin büyük bir kısmının yok olduğu bildirilmektedir (Stofella ve Kahn, 2001). Avustralya kompost hijyen standartlarına göre atığın 55 °C’nin üzerinde minimum 3 gün, Almanya ve Danimarka standartlarına göre 2 hafta, Avusturya standartlarına göre 60 °C’nin üzerinde 6 gün veya 65 °C’nin üzerinde 3gün kalması gerekektedir (Brinton, 2000).

RO’da 55°C’nin üzerindeki sıcaklıklara iki gün içinde ulaşılmış ve 14 gün boyunca bu durum devam etmiştir. RK’da ise üç gün içinde ulaşılmış ve 10 gün boyunca sıcaklık bu değerin üzerinde kalmıştır.

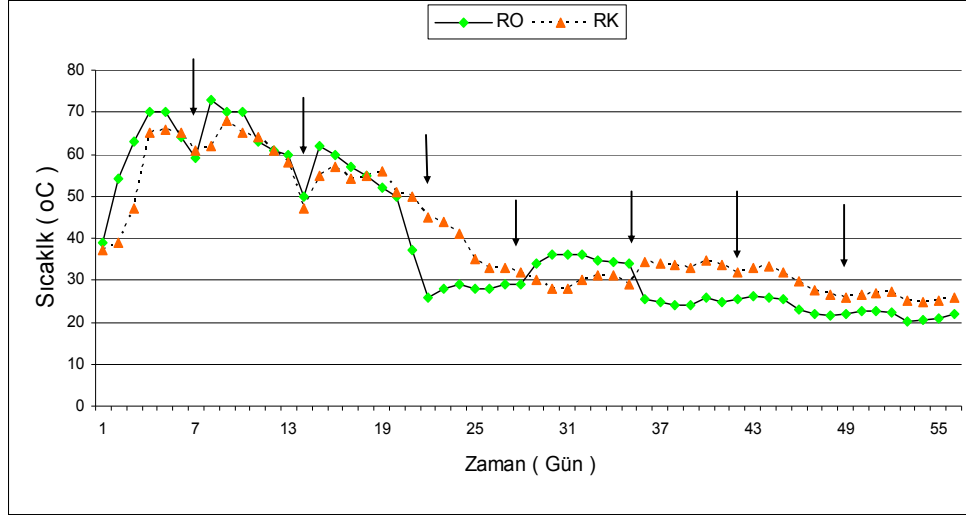
RO’da atığın reaktöre konulmasıyla mezofilik evre ve bir gün içinde termofilik evre başlamıştır. Termofilik evre ise 20. güne kadar devam etmiştir. RK’da ise mezofilik evre 2. güne kadar devam etmiş bunu takiben termofilik evre ise 24. güne kadar devam etmiştir.

Çalışma süresince RO’da gözlenen en yüksek sıcaklığa 7 günde ulaşılmış ve bu değer 73°C olarak ölçülmüştür. RK’da bu değer 68°C’dir ve bu sıcaklığa 8 günde ulaşılmıştır.

Şekil 4.2’de oklarla gösterilen günlerde reaktörlerdeki atıkların dışarı alınıp karıştırıldıktan sonra yeniden reaktöre konulmasıyla ortaya çıkan ani sıcaklık artışları görülmektedir. Atıklar dışarı alındığında sıcaklıkları ortam sıcaklığının etkisiyle azalmaktadır. Karıştırma işlemi kompost malzemesinin daha homojen bir yapı kazanmasını sağlamakta ve atığın parçalanarak mikrobiyal etkiye maruz kalan yüzey alanını arttırmaktadır. Dolayısıyla atıklar yeniden reaktörlere konulduğunda sıcaklıklarında artışlar meydana gelmektedir.

RO’da ilk aktarma ile sıcaklık 14°C artarken ikinci aktarmadan sonra 12°C artmış ve 45 gün içinde atık kütlesinin sıcaklığı çevre sıcaklığına (22°C) ulaşmıştır. RK’da ise ilk aktarma

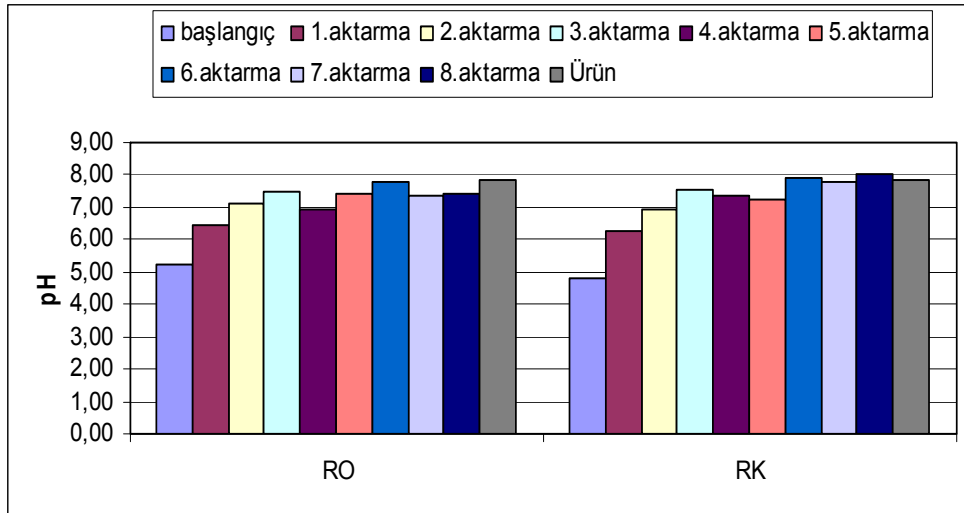
neticesindeki sıcaklık artışının 1°C olduğu ikinci aktarma sonrasında ise bu artışın 8°C olduğu görülmektedir. RK'da çevre sıcaklığına (22°C) ancak 52 gün içinde ulaşarak iyileşme evresinin başladığı gözlenmiştir.



Şekil 4.2 Kompostlaştırma süresince RO ve RK'daki sıcaklık değişimleri

4.4.2. pH

pH mikroorganizmaların büyümelerinde etkin role sahiptir. Ortamın pH'sı organizmaların yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmeleri açısından oldukça önemlidir. Epstein (1997), başlangıçta pH değerinin yaklaşık 5.5'den 5.1'e düştüğünü, bu azalmanın kısa süreli ve organik asitlerin oluşumundan kaynaklandığını ve sıcaklık artışıyla pH'da da bir artış meydana geldiğini ifade etmiştir. Bu artış termofilik fazda organik asitlerin tüketilmesinden ileri gelmektedir. RO'daki başlangıç pH değeri 5.23 iken RK'daki başlangıç pH değeri 4.82 olarak ölçülmüştür. Birinci aktarmada, RO'nun pH'sı 6.46; RK'nın pH'sı ise 6.25 olarak ölçülmüştür. 8. aktarmada pH değerleri RO ve RK için sırasıyla 7.39 ve 8 olarak belirlenmiştir. Kompostlaştırma işlemi sonunda yapılan eleme neticesinde elde edilen RO ürün pH'sı 7.83, RK ürün pH'sı 7.85 olarak tesbit edilmiştir.



Şekil 4.3 Kompostlaştırma süresince pH değişimi

Şekil 4.3’de kompostlaştırma süresince pH değerlerinde meydana gelen değişim verilmiştir. Evsel kaynaklı organik katı atıkların kompostlaştırıldığı RO’da pH değerleri 5.23 ile 7.83 arasında değişim göstermiştir. Evsel kaynaklı karışık evsel katı atıkların kompostlaştırıldığı RK’da ise pH aralığı 4.82 ile 7.85 arasında değişim göstermiştir. Her iki reaktörün ürün pH’sının nötre yakın olduğu görülmüştür.

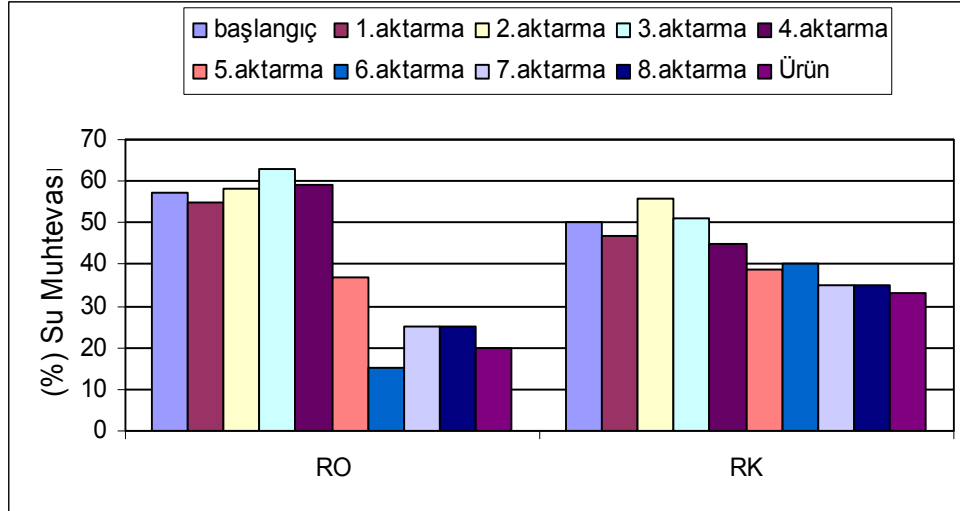
Massachusetts Amerika kompost kalite standartlarına göre pH’nın 5.5 – 7.5; Avustralya standartlarına göre 5 – 7.5; İtalya standartlarına göre 6 – 8.5 (Chi, 2005) ve Avusturya standartlarına göre 5.5 – 7 (<http://compost.css.cornell.edu/Brinton.pdf>) arasında olması gerekmektedir. Bu çalışma süresince her iki reaktör için pH’da gözlenen değişimin birbirine yakın olduğu, prosesin uygun şartlarda devam edip tamamlandığı ve ortam koşullarının anaerobiğe dönüşmediği görülmüştür.

4.4.3 Su Muhtevası

Uygulamada kompost maddesinin nem muhtevasının %40 - %65 aralığında tutulması gerekmektedir. Su kimyasal reaksiyonlar için uygun bir ortam oluşmasını temin eder, mikroorganizmaların hareket kabiliyetini artırır ve besin maddelerinin taşınmasını sağlar. Teoride, maddeler doygun olduğunda biyolojik aktivite optimum düzeydedir. Organik madde içeriğindeki nem muhtevası %15’in altına düştüğünde biyolojik aktivitenin tamamen durduğu söylenilebilir (Öztürk ve Bildik, 2005). Su muhtevasının %65’in üzerine çıkması durumunda

ise etkin havalandırma yapılamadığından mikrobiyolojik faaliyet yine durma noktasına gelecektir.

Kompostlaştırma sürecinin başlangıcından itibaren yapılan her karıştırma sırasında alınan numunelere ait su muhtevası Şekil 4.4’de verilmiştir.

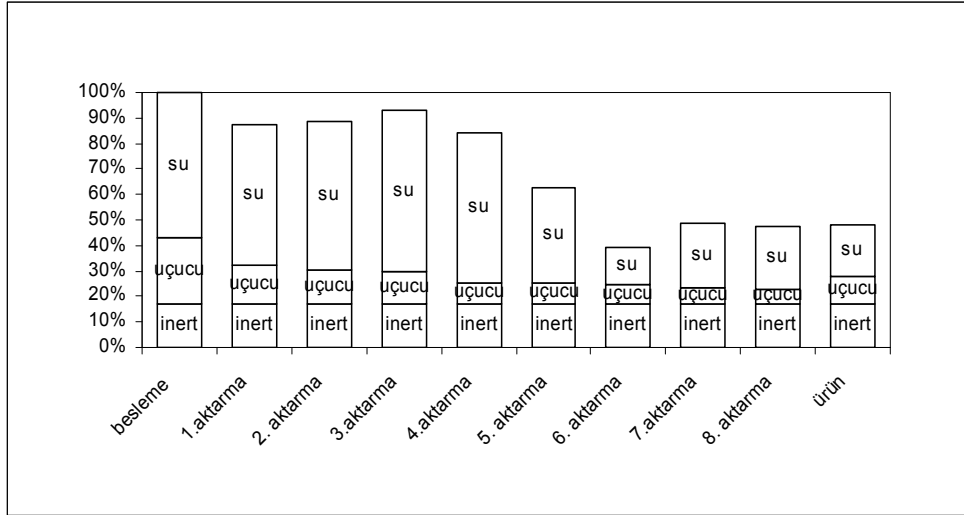


Şekil 4.4 Çalışma süresince reaktörlerin su içeriğinde meydana gelen değişim

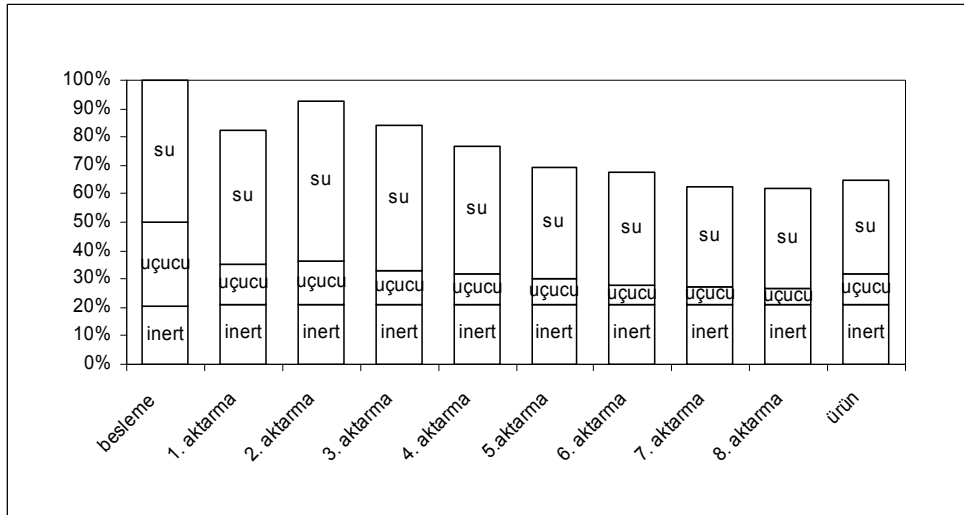
Başlangıçtaki su muhtevası RO’da %57 iken RK’da %50’dir. Kompostlaştırma işleminin ilk 4 haftasında RO reaktöründeki su muhtevası, organik atıkların yüksek su içeriğinden dolayı kontrol reaktörüne göre daha yüksek değerlerde seyretmiştir. Bu sebeple kurutmanın daha etkin olması için havalandırma arttırılmış ve reaktör içindeki malzemenin kuruması sağlanmıştır. Deney süresince her iki reaktöründe su muhtevası kompostlaştırma için bildirilen aralık içerisinde bulunduğundan reaktörlere herhangi bir su ilavesi yapılmamıştır. Süreç tamamlandığında RO’nun su muhtevasının %20, RK’nın ise %33 olduğu tesbit edilmiştir. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nde kompostun toprakta kullanılabilmesi için piyasaya sürülecek ürünün su muhtevasının %50’yi geçmemesi öngörülmektedir. Gerek RO gerekse RK’dan elde edilen kompost ürünün Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde yer alan bu şartı sağladığı belirlenmiştir.

4.4.4. Organik Madde

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da sırasıyla RO ve RK’nın organik madde miktarları ve atık bileşenlerinin çalışma süresince değişimleri verilmiştir.



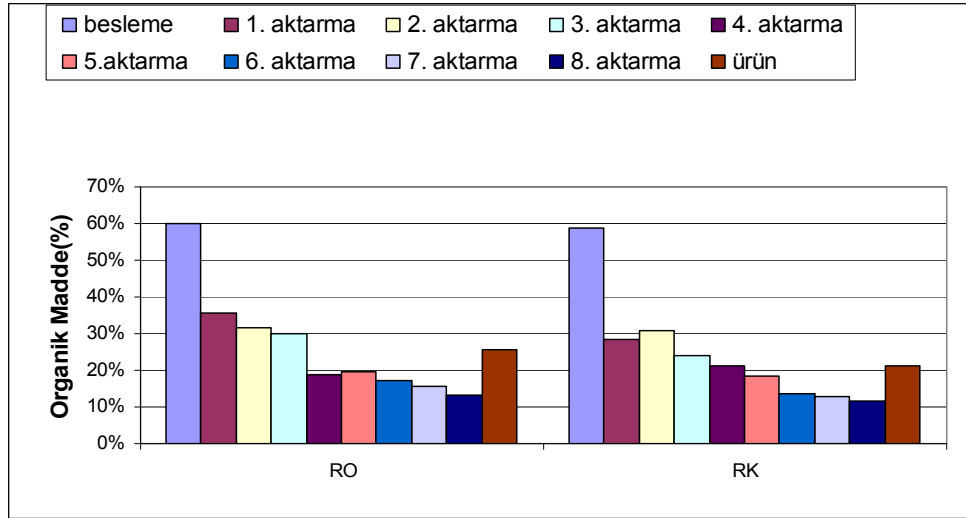
Şekil 4.5 RO'nun organik madde miktarı ve atık bileşenleri



Şekil 4.6 RK'nın organik madde miktarı ve atık bileşenleri

Şekil 4.5 ve 4.6’da verilen çubuk diyagramlardaki organik madde giderimi değerleri nispi değerlerdir ve daha doğru bir yaklaşımda bulunabilmek adına bu çalışma kapsamında organik madde giderimi başlangıçtaki kuru maddeye göre hesaplanmıştır. Kompostlaştırma işlemi

süresince inert maddenin korunduğu kabulünden yola çıkılarak belirlenen organik madde muhtevası her iki reaktör için Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 RO ve RK’deki organik madde miktarlarının değişimi

RO’da kolay ayrışabilen organik madde ilk 4 haftada hızla azalmış ve organik madde giderimi büyük oranda gerçekleşmiştir. Daha sonraki haftalarda ise giderim, daha düşük oranlarda seyretmiştir. Başlangıçta organik madde muhtevası RO’da %60’dır. 8.hafta sonunda RO’dan elde edilen üründe organik madde giderimi başlangıçtaki kuru maddeye göre %57.3 olarak belirlenmiştir.

RK’da kolay ayrışabilen organik maddenin ilk dört hafta içinde büyük oranda gideriminin gerçekleştiği söylenilebilir. 4.haftadan itibaren organik madde giderim oranının düştüğü görülmüştür. Başlangıçta RK’daki organik madde muhtevası %59 olarak hesaplanmıştır. 8 hafta sonunda R’dan elde edilen üründe başlangıçtaki kuru maddeye göre organik madde giderimi %64 oranında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.4’de Türkiye ve bazı ülkelerde kompost için öngörülen limit organik madde muhtevaları verilmiştir.

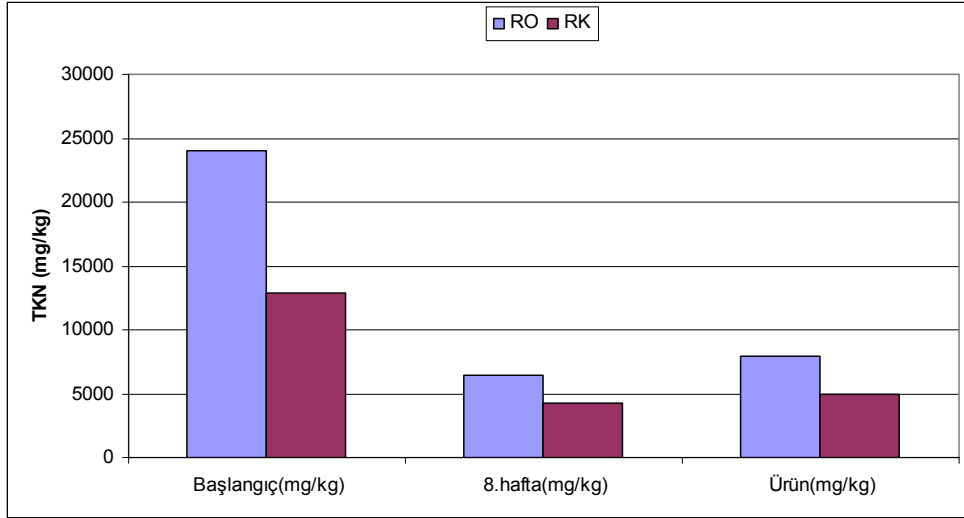
Çizelge 4.4 Bazı ülkeler için kompostun organik madde muhtevasının limit değerleri

Ülkeler	Türkiye (TKKY) (%)	EPA (%)	Kanada(CCEM) (%) (Hoang,2005)	Avustralya (%) (Hoang,2005)	İtalya (%) (Hoang,2005)	İspanya (%) (Hoang,2005)	Avrupa Ekolojik Sertifikalandırma(Eco- Label) (%) (OJ, 1998)
OM(%)	≥35	≥30	>30	≥25	≥20	≥25	>20

4.4.5. Toplam Kjeldahl ve Amonyum Azotu

Amonyak, kompostlaştırma sırasında atmosfere yayılan azotun en genel formudur. Amonyak, protein, üre ve diğer azot içeren organik maddelerin ayrışması sonucu açığa çıkmaktadır. Kompostlaştırma sırasında, azotun gaz formuna geçerek kaybına neden olan diğer azot dönüşümleri nitrifikasyon ve bunu takip eden denitrifikasyondur. Nitrifikasyonu kısıtlayıcı temel faktörler sıcaklık ve nem olduğundan, nitrifikasyon sıcaklığın düştüğü ve yeterli oksijenin bulunduğu kompostlaştırma prosesinin son dönemlerinde gerçekleşmektedir (İSTAÇ, 2006).

Yapılan çalışmada RO'ya konulan atıkların başlangıçtaki TKN değeri %2.4, amonyak değeri ise %0.07; RK'ya beslenen atıkların başlangıçtaki TKN değeri %1.29, amonyak değeri ise %0.05 olarak ölçülmüştür. Bu değerleri göz önünde bulundurarak başlangıçta her iki reaktörde de azotun tümünün organik formda olduğunu söylenebilir. 8. haftada alınan numunenin TKN ve amonyak değerleri RO için sırasıyla %1.2 ve %0.01 iken RK için %0.8 ve %0.02 olarak tesbit edilmiştir. RO reaktöründeki malzemenin elenmesi neticesinde elde edilen kompost ürününün TKN ve amonyak değerleri sırasıyla %1.2 ve %0.01, RK reaktöründeki malzemenin elenmesi neticesinde elde edilen kompost ürününün TKN ve amonyak değerleri ise yine sırasıyla %0.8 ve %0.01 olarak hesaplanmıştır. Kompostlaştırma işlemi sonunda gerçekleşen azot kaybının doğru bir şekilde belirlenebilmesi için inert katı maddenin korunduğu kabul edilmiş, TKN ve amonyak değerleri başlangıçtaki kuru maddeye göre belirlenmiştir. RO ve RK reaktörüne ait TKN değişimleri Şekil 4.8'de verilmiştir.

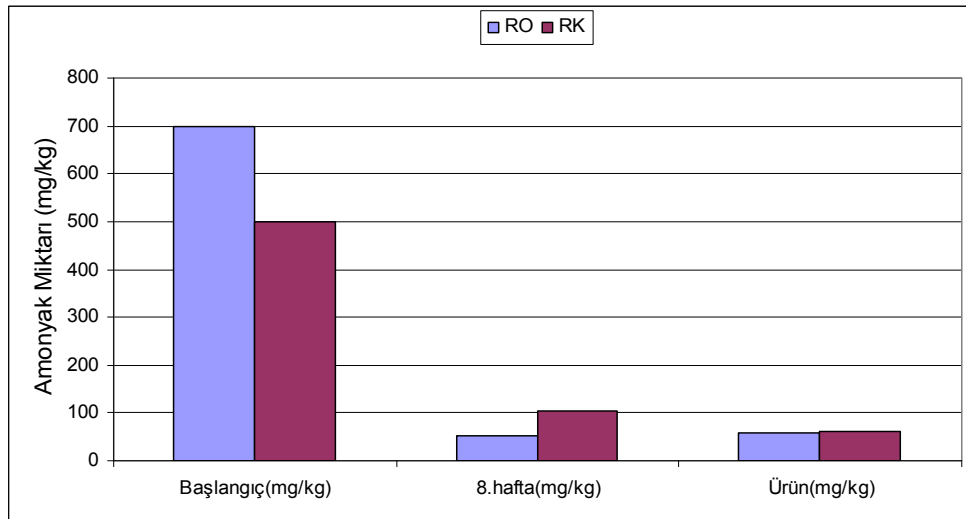


Şekil 4.8 Reaktörlerin TKN değerleri

Başlangıç aşamasında azotun tamamına yakını organik azot formundadır. Bu çalışma çerçevesinde ilk haftalarda TKN ve amonyak miktarları hesaplanmadığından kesin bir şey söylemek mümkün olmamakla birlikte iki üç haftada organik maddelerin ayrışma hızının fazla olması sebebiyle amonyak değerlerinde maksimum seviyelere ulaşılması muhtemeldir. 8 haftalık süre sonunda RO'dan elde edilen üründe meydana gelen TKN kaybının %67; RK'da meydana gelen TKN kaybının %61 olduğu gözlenmiştir. Avusturya kompost kalite standartlarına göre TKN (%) değerinin $\geq 0,8$ olması gerekmektedir. Barker (1997) TKN'nin kompost içerisinde % 1 - 3 arasında bulunabileceğini ve kompost ürünün tarımda kullanılması için TKN'nin %1'in üzerinde olması gerektiğini bildirmiştir.

8 haftalık süre sonunda RO'da meydana gelen amonyak kaybının %92; RK'da meydana gelen amonyak kaybının %88 olduğu gözlenmiştir. Elde edilen kompost ürününün tarım uygulamalarında toksik etki göstermemesi için amonyak miktarının genelde 0.5 gr/kg değerinden daha düşük olması gerekmektedir (Arıkan, 2003). Avustralya kompost kalite standartlarına göre ürünün amonyak miktarı 300 mg/l'ten az olmalıdır (Hoang, 2005).

RO'da TKN ve amonyak giderimi RK'dan daha fazla gerçekleşmiş ve elde edilen ürünlerin TKN ve amonyak miktarlarının standartlara uygun olduğu görülmüştür. Reaktörlere ilişkin amonyak değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir.

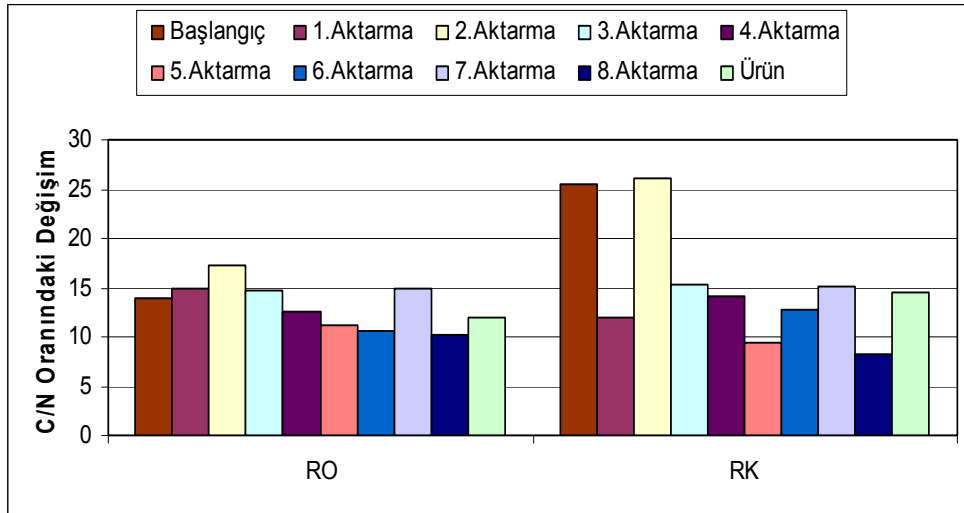


Şekil 4.9 Reaktörlerin amonyak değerleri

4.4.6 C/N Oranı

Organik maddelerin mikrobiyal bozunmaları için en çok öneme sahip elementler karbon(C) ve (N)'dir. Mikrobiyal bozunma esnasında mikroorganizmalar karbonu enerji kaynağı olarak kullanırlar. Azot ise hücre büyümesi ve fonksiyonu için gerekli olan protein, nükleik asit, amino asit ve enzimlerin temel bileşenidir.

Başlangıçtaki C/N oranı değerleri RO ve RK için sırasıyla 14 ve 25 olarak hesaplanmıştır. RO reaktöründe karbon değerleri 8.aktarma ve ürün göz önüne alındığında RK'ya göre daha yüksektir. Elde edilen ürünler bazında C/N değeri yine RO ve RK için sırasıyla 12 ve 15 olarak hesaplanmıştır. Her iki reaktör için, kompostlaştırma prosesi süresince belirlenen C/N oranları değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir.

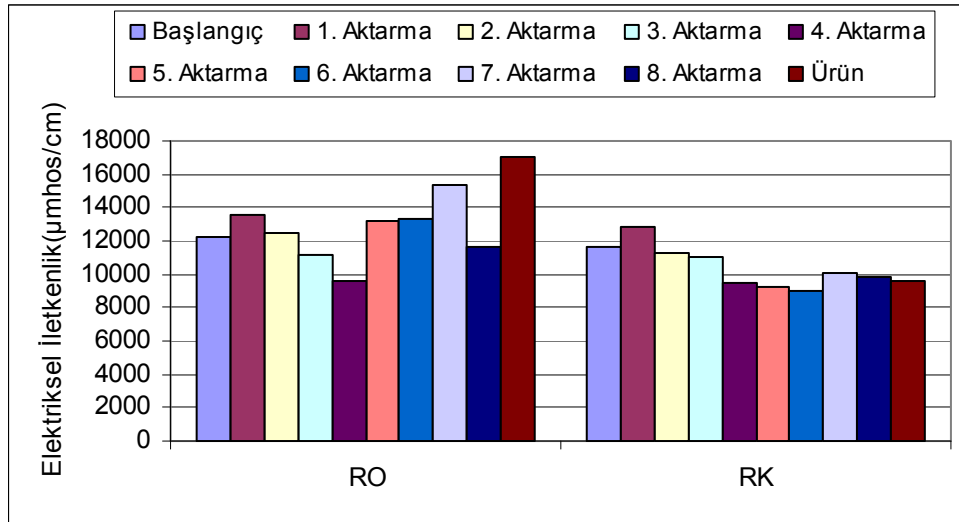


Şekil 4.10 Reaktörlerdeki C/N oranının değişimi

EPA'ya göre bitmiş kompostun C/N değeri 20'nin üzerinde olmamalıdır. Son C/N oranının 15 - 20 arasında olması istenir. İdeal olan değer ise 10 olarak kabul edilir (Stofella ve Kahn, 2001). TKKY'ye göre C/N oranı en çok 35 olabilir. Dolayısıyla her iki kompost ürünü her hangi bir N ilavesi gerektirmeksizin kullanılabilir.

4.4.7 Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik (EC) komposttaki çözünmüş tuz konsantrasyonunun göstergesi olup, bitki büyümesi ve gelişmesi üzerinde etkili olan bir faktördür. Bitkilerin tuzlara karşı toleransı farklılık göstermektedir. Düşük tuz toleransına sahip tarım ürünleri 2 – 4 mmhos/cm; orta tuz toleransına sahip tarım ürünleri 4-10mmhos/cm ve yüksek tuz toleransına sahip tarım ürünleri 10 - 18 mmhos/cm arasındaki elektrik iletkenliğini tolere edebilir. Evsel katı atıklardan elde edilen kompostun kullanımı toprağın elektriksel iletkenliğinin artmasına neden olabilir. McConnell ve arkadaşları (1993) evsel katı atık kompostunun çözünmüş tuz seviyesinin bitki büyümesinde fitotoksisiteye yol açtığını belirtmiştir. İletkenlik, çözünmüş iyonların miktarı ve türü ile değişmektedir.



Şekil 4.11 RO ve RK'nın elektriksel iletkenlik değerleri

RO ve RK reaktörlerinin elektriksel iletkenlik değerleri Şekil 4.11'de verilmiştir. Organik maddenin ayrışması ortamda çözünmüş madde konsantrasyonunu arttırmakta ve buna bağlı olarak da, EC değerinde ilk haftada fark edilir bir artma gözlenmektedir. Ancak, ayrışma nedeni ile ortamda oluşan su ile çözünmüş madde ortamdan yıkanarak sızıntı suyuna geçmektedir. RO'nun 2.haftada artan elektriksel iletkenlik değeri 3.aktarmadan itibaren azalmaya başlamıştır. Ayrışmayla oluşan çözünmüş madde 6.haftadan itibaren sızıntı suyu oluşmaması sebebiyle sistemden uzaklaştırılamamış ve elektriksel iletkenlikteki artış devam etmiştir. Başlangıçta 12200 µmhos/cm olan elektrik iletkenliği 8 hafta sonunda 11700 µmhos/cm olarak belirlenmiştir.

RK'da 2.haftadan itibaren elektriksel iletkenlik değeri azalmaya başlamıştır. Başlangıçta 11600 µhos/cm olan iletkenlik çalışmanın sonunda 9800 µmhos/cm olarak tesbit edilmiştir. Evsel katı atıkların organik kısımlarının kompostlaştırılmasıyla elde edilen ürünün elektriksel iletkenlik değerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

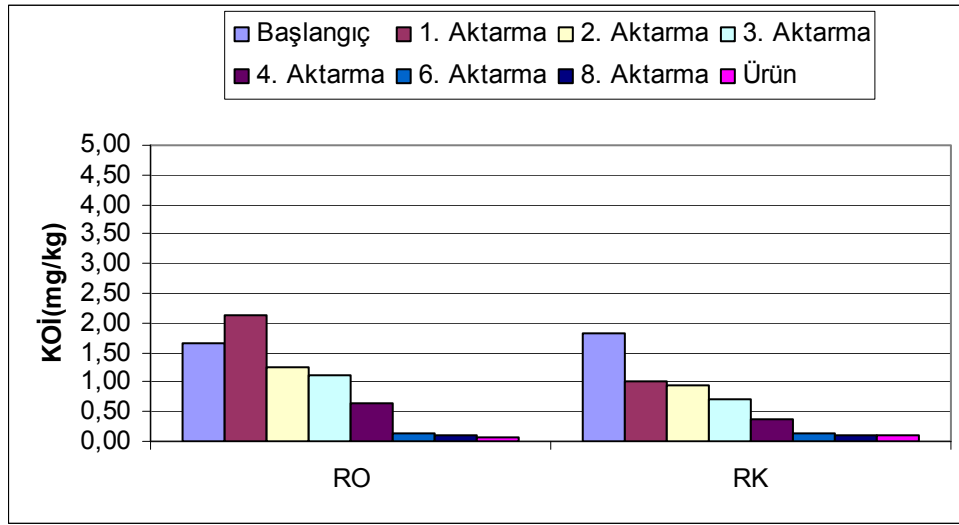
Kompostun tarım uygulamalarında kullanılabilmesi için çözünmüş tuz konsantrasyonunun 2000 - 3500 µmhos/cm aralığında olması tercih edilmektedir (http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/spc/Solid_Waste_Management/Vol_I/13Chapter7.pdf).

Georgakakis ve Krintas'a (2000) göre ise kompostun kullanılabilirliği açısından iletkenlik değeri 2500 µhos/cm'den küçük olmalıdır. Her iki reaktörden elde edilen ürünleri kullanım

amacına uygun olarak diğer analizleri yapıldıktan sonra, toprağa %20 - 25 oranında karıştırarak tarım uygulamalarında kullanmak mümkün olabilir.

4.4.8 KOİ

Ölçülen KOİ parametresi, su ile ekstrakte edilebilen mevcut organik maddenin bir göstergesidir. Kompostlaştırma prosesi boyunca KOİ değişiminin incelenmesi katı atığın ayrışma derecesinin bir göstergesidir.



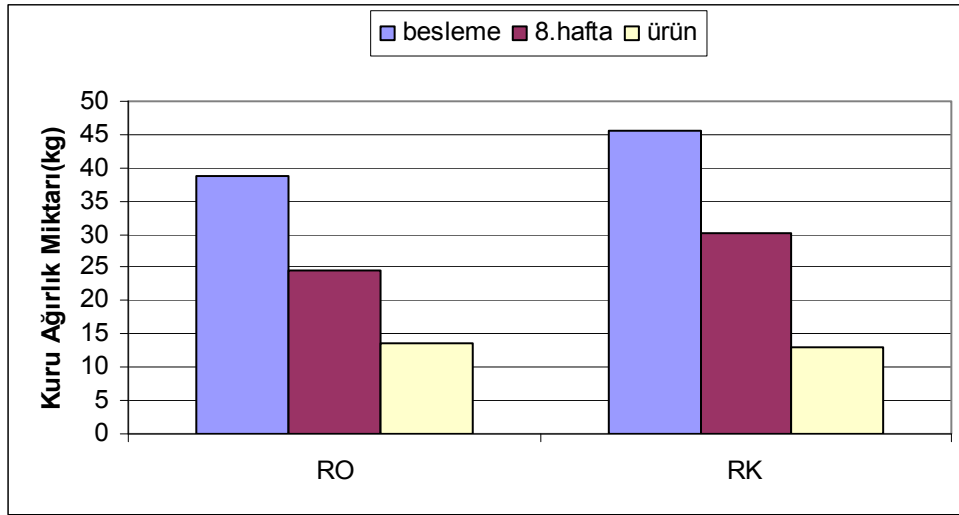
Şekil 4.12 RO ve RK'daki KOİ değişimi(mg/kg)

RO ve RK'nın kompostlaştırma süresince KOİ değerleri Şekil 4.12'de verilmiştir. RO ve RK'nın KOİ değerleri reaktörlerdeki organik maddenin ayrışmasına bağlı olarak azalmıştır. RO'nun başlangıçtaki KOİ değeri 1.65 gr/kg'dır ve ilk hafta KOİ değeri artmış, bundan sonra sürekli bir azalma göstermiştir. 8.haftada alınan numunenin KOİ değeri 0.11gr/kg iken elde edilen ürünün KOİ değeri 0.06 gr/kg olarak ölçülmüştür. 8 hafta sonundaki toplam KOİ giderme verimi RO için %96'dır.

RK başlangıç KOİ'si 1.83 gr/kg iken ilk aktarmadan itibaren ürün eldesine kadar sürekli olarak azalmıştır. 8.haftada RK'dan alınan numunedeki KOİ 0.11 gr/kg ve ürünün KOİ değerinin 0.08 gr/kg olduğu görülmüştür. 8 hafta sonundaki toplam KOİ giderme verimi RK için %96'dır.

4.4.9 Ağırlık Kayıpları

Kompostlaştırma süresince organik maddenin mikrobiyolojik olarak bozunmasından ve bu mikrobiyal faaliyet neticesinde ortaya çıkan ısı nedeniyle meydana gelen su kaybı reaktörlerde kütle kaybına yol açmıştır. Proses süresince katı atıkların ağırlıklarında meydana gelen kayıplar Şekil 4.13’de verilmiştir. Başlangıçta atık kütesinin toplam miktarı RO için 90.1kg ve su muhtevası %57, RK için ise başlangıçta atık kütesinin toplam miktarı 91.3 kg ve su muhtevası %50’dir. Her bir aktarma sonrasında, numune alınmadan önce reaktörlerin ağırlıkları alınmış ve su muhtevaları göz önünde bulundurularak kuru madde miktarları belirlenmiştir.



Şekil 4.13 Kompostlaştırma prosesi sonunda reaktörlerde gözlenen ağırlık kaybı

RO’nun başlangıçtaki kuru ağırlığı 38.74 kg iken elde edilen ürünün kuru ağırlığı 24.45 kg’dır. RO’da 8 hafta sonunda kuru ağırlık %37 azalmıştır. RK’nın başlangıçtaki kuru ağırlığı 45.65 kg iken elde edilen ürünün kuru ağırlığı 30.3 kg’dır. RK’da 8 hafta sonunda kuru ağırlık %36 azalmıştır. Proses tamamlandığında elde edilen ürünlerin elenmesiyle elde edilen nitelikli ürün miktarı RO’da 13.6 kg iken RK’da ise 12.9 kg olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.5’de ise başlangıçta kompostlaştırma prosesine alınan atık madde miktarının aynı olduğu kabul edilerek reaktörler için hazırlanan kütle dengesi yer almaktadır.

Çizelge 4.5 RO ve RK reaktörlerine ait kütle dengeleri

	RO(Organik Evsel Katı Atık)	RK(Karışık Evsel Katı Atık)
Proses giren atık miktarı, %	100.0	100.0
Proses sonundaki ürün miktarı, %	63	66
Elek altı ince kompost, %	35	28
Elek üstü kaba kompost, %	28	38

RO ve RK reaktörlerinde kompostlaştırma prosesine giren atık miktarının aynı olduğu kabul edildiğinde RO'dan elde edilen ürün miktarının RK'ya göre %5 daha az olduğu; bununla birlikte kaliteli ürün olarak nitelendirilen elek altı ince kompost miktarının RK'ya göre %19 daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca kompost tesislerinde düzenli depolama işleminde günlük örtü tabakası olarak değerlendirilen elek üstü kaba kompost miktarının RO'da RK'ya göre %26.32 daha az olduğu da görülmektedir.

2007 yılı verilerine göre; İBB Kompost Tesisi'ne gelen 160.159 ton atığın, %51.35'i yani 82.242 tonu $\Phi 80$ mm elekten geçip kompostlaştırma prosesine girebilmiş, geri kalan 77.917 ton elek üstü malzemenin yaklaşık %7.2'si yani 5590 ton'u geri kazanılmış, en son kalan % 41.45'lik kısım olan 72.327 ton atık aynen depolanmak üzere depolama tesisine gönderilmiştir.

Ayrıca 2007 yılında üretilen kaba kompost miktarı 16.704 ton'dur. ayrı toplamaya geçilmesi halinde düzenli depolamaya taşınan kaba kompost miktarı 2007 yılı için 16704 ton), yıllık yaklaşık (%26.32) 4400 ton azalacak, taşınması gereken kaba kompost miktarı (16704 – 4400), 12304 ton olacaktır. Toplamda, 72.000 ton (düzenli depolama alanında depolanmak üzere) + 4400 ton (Örtü malzemesi olarak kullanılacak kaba kompost) = 76400 ton daha az malzeme taşınacaktır. Bu da maliyet açısından tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

4.4.10 Sızıntı Suyu Analizleri

Her bir aktarma esnasında alınan sızıntı sularının KOİ, pH ve elektrik iletkenliği analizleri yapılmıştır. RO'da kompostlaştırma süresince ilk dört aktarmada sızıntı suyunun olduğu görülmüştür. RK'da ise proses süresince sızıntı suyu oluşmamıştır. İlk üç haftada RO'nun sızıntı suyu pH'sı mikrobiyolojik faaliyetin artmasıyla birlikte 7.56, 7.83, 8.22 olarak artış göstermiş dördüncü haftada reaktördeki atığın stabil hale gelmeye başlamasıyla birlikte azalarak 7.47'ye düşmüştür.

RO’da ikinci haftada atığın elektriksel iletkenliği 12000 $\mu\text{mhos/cm}$ ’den 13550 $\mu\text{mhos/cm}$ ’ye artarken sızıntı suyundaki elektriksel iletkenlik 20500 $\mu\text{mhos/cm}$ ’den 19400 $\mu\text{mhos/cm}$ ’ye azalmıştır. İkinci haftadan itibaren ise sızıntı suyu ile atığın yıkanmasından dolayı, proses ilerledikçe artan çözünmüş maddeler suya geçerek atık içerisindeki EC değerinin düşmesine neden olurken, sızıntı suyunda EC değerini arttırmaktadır (Çizelge 4.7).

RO’nun sızıntı suyu KOİ değerlerinin ikinci aktarmadan itibaren yükseldiği görülmüştür.

Çizelge 4.6 RO’dan çıkan sızıntı suyu miktarları

Zaman	Çıkan sızıntı suyu miktarı (ml)
1.hafta	1600
2.hafta	3500
3.hafta	850
4.hafta	1150

Çizelge 4.7’de RO’dan çıkan sızıntı suyunda yapılan pH, Eİ ve KOİ değerlerine ilişkin elde edilen veriler bir arada verilmiştir.

Çizelge 4.7 Sızıntı suyuna ait pH, Eİ ve KOİ değerleri

Parametreler	1.aktarma	2.aktarma	3.aktarma	4.aktarma
pH	7.56	7.83	8.22	7.47
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	20500	19400	26300	30700
KOİ (mg/l)	7340	7554	11752	15088

4.5 Son Ürün Özellikleri

4.5.1 Fitotoksisite

Elde edilen kompost ürününün stabil olup olmadığının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan fitotoksisite testiyle kompost ürününün bitki büyümesi üzerinde organik bileşikler, ağır metal kirletici muhtevasının yüksek oluşu gibi olumsuz etkilere sahip

olup olmadığı tesbit edilmektedir. Sonuçlardan yola çıkılarak kompostun olgunluk derecesi ölçülmektedir.

RO ve RK'nın her birinden alınan 2 adet kompost numunesiyle yapılan bitkiye uygunluk testinde kompost sıfır birim toprakla %25 ve %50 oranlarında karıştırılmıştır. Yapılan deney neticesinde %25'lik kompost karışımına ait fitotoksisite yüzdelerinin elde edilen kompost ürünlerinde RO için ortalama değerin 92 olduğu; RK için ise ortalama değerin %90 olduğu belirlenmiştir. %50'lik kompost karışımlarında ise RO için ortalama değerin %86 olduğu; RK için ise ortalama değerin %84 olduğu belirlenmiştir. Her iki reaktör için elde edilen ürünlerin Çizelge 4.8'e göre az veya toksik olmayan sınıfa girdiği görülmektedir.

Çizelge 4.8 Kompost stabilitesi ile fitotoksisite arasındaki ilişki (Varank, 2006)

Bitkilerin inhibisyon yüzdesi	Toksik sınıflandırma
81-100	Az, toksik değil
61-80	Orta derecede toksik
41-60	Toksik
21-40	Yüksek toksisite
0-20	Çok yüksek derecede toksik

4.5.2 Salmonella Testi

RO ve RK'dan elde edilen ürünler üzerinde yapılan hijyen testleri neticesinde Salmonella bakterisine rastlanılmamıştır. Her iki reaktörden elde edilen kompost ürünlerinin Salmonella açısından hijyenik olduğu görülmüştür.

4.5.3 Ağır Metal Seviyeleri ve Nütrient Bileşimi

Yapılan araştırmalar, bitkilerin 16 bitki besin elementine ihtiyaç duyduklarını göstermektedir. Bitki besin maddeleri makro besinler ve mikro besinler şeklinde iki gruba ayrılabilir. Makro besin maddeleri olarak tanımlanan karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N), fosfor (P), kükürt (S), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) elementlerine bitkiler daha fazla gereksinim duyarlar ve bitki bünyesinde bu besin maddeleri fazla miktarda bulunur.

Mikro besin maddeleri olarak tanımlanan demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn), molibden (Mo), bor (B) ve klor (Cl) elementlerine ise bitkilerin ihtiyacı azdır ve bitki bünyesinde az miktarlarda bulunurlar.

Kaynağında ayırmanın ağır metal seviyelerini önemli oranda azalttığı yapılan çalışmalar neticesinde tesbit edilmiştir. Yürütülen bu çalışma neticesinde elde edilen ürünlerin ağır metal muhtevaları ve nütrient bileşimleri Çizelge 4.9’da verilmiştir;

Çizelge 4.9 Reaktörlerde elde edilen kompostun proses başlangıcı ve sonundaki ağır metal muhtevası ve nütrient bileşim miktarları

	RO Başlangıç Organik evsel atık	RO Ürün Organik evsel atık	RK Başlangıç Karışık evsel katı atık	RK Ürün Karışık evsel katı atık
Ca (%)	5.51	7.21	3.63	5.10
K (%)	1.19	0.98	0.68	0.45
P (%)	0.62	0.29	0.14	0.16
S (%)	0.69	0.90	0.46	0.44
Mg (%)	0.63	1.07	0.23	0.45
Na (%)	0.47	0.81	0.36	0.32
Fe (%)	0.87	1.69	0.85	4.84
Al (%)	0.49	0.69	0.43	0.55
Cl (%)	0.58	-	0.45	-
Mn (mg kg ⁻¹)	281	453	544	572
Cu (mg kg ⁻¹)	43	155	62	128
Zn (mg kg ⁻¹)	172	567	180	352
B (mg kg ⁻¹)	37	48	56	53
Cd (mg kg ⁻¹)	0.73	0.83	0.44	1.36
Pb (mg kg ⁻¹)	70	84	39	634
Ni (mg kg ⁻¹)	58	105	76	96
Cr (mg kg ⁻¹)	132	222	111	99
Co (mg kg ⁻¹)	7	10	6	99

Her iki reaktör için ağır metal muhtevalarının, beslenen atığa göre ürünlerde arttığı gözlenmiştir. Kompostlaştırma süresince reaktörlerdeki organik maddenin ayrışmasına bağlı olarak meydana gelen kütle kaybı dolayısıyla ağır metal konsantrasyonları genel olarak ürünlerde artış göstermiştir. RO ve RK karşılaştırıldığında RO’da RK’ya göre Mn’nin %21, B’nin %10, Cd’nin %39, Pb’nin 87 ve Co’nun %89 daha az olduğu görülmüştür.

RO reaktöründen elde edilen kompost ürünü, Çizelge 3.18’de verilen muhtelif ülkelerdeki kompost ağır metal sınır değerleri ile karşılaştırıldığında; Cu; Belçika(bahçe kullanımı), İsviçre, Yunanistan, İtalya, Avusturya, İspanya ve LAGA standartlarının, Zn; Belçika(tarım

ve bahçe uygulamaları), Yunanistan, İtalya ve Avusturya, Co; Belçika(tarım ve bahçe uygulamaları), Kanada ve İsviçre, Cd; Almanya, Belçika, Kanada, İsviçre ve Fransa, Ni; Fransa, Yunanistan, İtalya ve İspanya, Pb; Almanya, Belçika, Kanada, Fransa, İsviçre, Yunanistan, İtalya, İngiltere, Avusturya, Danimarka, İrlanda, İsveç ve Hollanda, Cr; Yunanistan, İtalya ve İspanya, B; Avusturya standartlarının altında kaldığı görölmektedir. Bununla birlikte izelge 3.19’da verilen muhtelif ölkelerde kaynağında ayrılmış evsel katı atıktan üretilen kompostta gözlenen ağır metal muhtevaları ile kıyaslandığında Cd elementi değeri­nin Avusturya, Belçika, Fransa, İtalya ve UK ile; Pb elementi değeri­nin ise yalnızca Fransa ve İtalya ile benzerlik gösterdiği görölmüş­tür.

RK reaktöründen elde edilen kompost ürünü, izelge 3.18’de verilen muhtelif ölkelerdeki kompost ağır metal sınır değeri­leri ile karşılaştırıldığında ise; Cu; Almanya, Belçika(bahçe kullanımı), İsviçre, Yunanistan, İtalya, Avusturya ve İspanya, Zn; Almanya, Belçika(bahçe ve tarım kullanımı), Kanada, İsviçre, Yunanistan, İtalya, İngiltere, Avusturya ve İspanya, Co; izelgede mevcut hiçbir ölk­e, Cd; Danimarka, Hollanda ve İsveç hariç diğ­er tüm ölkelerin, Ni; Belçika(bahçe kullanımı), Fransa, Yunanistan, İtalya, Avusturya ve İspanya, Pb; Belçika(bahçe kullanımı), Fransa ve İspanya, Cr; Hollanda ve İsveç hariç diğ­er ölkeler, B; Avusturya standartlarının altında kaldığı görölmektedir.

Bununla birlikte izelge 3.20’de verilen muhtelif ölkelerde karışık evsel katı atıktan üretilen kompostta gözlenen ağır metal muhtevaları ile kıyaslandığında Cd elementi değeri­nin Avusturya, Fransa, İrlanda, İspanya, Almanya, İtalya ve Portekiz’de ölçölen; Cr değeri­nin Avusturya, Almanya, Fransa, İrlanda ve İspanya; Cu değeri­nin Avusturya, Fransa, Almanya, İrlanda, Portekiz ve İspanya; Ni değeri­nin Avusturya ve İrlanda; Pb değeri­nin Avusturya; Zn elementi değeri­nin ise Avusturya, Fransa, Almanya, İrlanda, İtalya, Portekiz ve İspanya’da ölçölen değeri­lerin altında olduğı görölmüş­tür.

Ölkemizde ağır metal sınır değeri­leri kompost ürünü ile doğrudan ilişkili olacak şekilde düzenlenmemiştir. Toprak Kirliliğı Kontrolü Yönetmeliğı’nde toprakta bulunabilecek ağır metal sınır değeri­leri ile toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yüklerine ilişkin bir düzenleme mevcuttur. Dolayısıyla her iki reaktörden elde elden ürün bu sınırlamalar dikkate alınarak tarımda kullanılmalıdır.

RO için makro besin elementlerinden Ca, K, P, S, Mg ve Al konsantrasyonlarının RK’ya göre daha fazla olduğı tesbit edilmiştir. Bu makro besin elementlerinin (Ca, K, P, S, Mg ve Al)

miktarı, elde edilen ürünün tarımda kullanılması halinde, bu elementlerin toprağın mevcut yapısında bulunma oranları, hangi bitki türü için kullanılacağı ve toprağın kimyasal yapısı göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmalıdır.

RO'da Na konsantrasyonunun daha yüksek olması nedeniyle tuzluluğun daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca proses sonunda RK'daki Na konsantrasyonunun azaldığı görülmektedir. Bu Na'nın kompostlaştırma esnasında oluşan sızıntı suyu vasıtasıyla sistemden uzaklaştırılması ile açıklanabilir. RO'daki Na konsantrasyonunun ise proses sonunda arttığı görülmüştür. Bu RO'nun su mehtevasındaki fazlalık nedeniyle reaktör içindeki malzemenin kurutulması, suyun buharlaştırılmış ama Na'nın sistem içinde kalmasının engellenememiş olması ile açıklanabilir.

4.5.4 Renk ve Koku

Dougherty(1999), kompostun renginin koyu kahve veya siyaha yakın olması ve istenmeyen kötü kokulara sahip olmaması halinde saksı malzemesi iyileştirmeye yardımcı, toprak örtüsü olarak ve toprağın iyileştirilmesinde kullanılabileceğini belirtmektedir. RK'dan elde edilen kompost ürününün rengi kahverengidir. Ürün kötü kokmamaktadır. RO'dan elde edilen kompost ürününün rengi ise siyaha biraz daha yakın olup yine kötü kokmamaktadır. RO'dan elde edilen ürünün kokusu toprak kokusuna biraz daha yakındır. RO ve RK'dan elde edilen her iki ürün renk ve kokuları itibariyle saksı malzemesi iyileştirmeye yardımcı, toprak örtüsü olarak ve toprağın iyileştirilmesinde kullanılabilir niteliktedir.

4.5.5 Kompost Karakterizasyonu

Her iki reaktörden elde edilen kompost ürünlerinde mevcut cam, plastik ile taş ve diğer gözle görülür yabancı maddelerin miktarı belirlenmiştir. Buna göre RO'dan elde edilen üründe %1.13 oranında cam, %0.53 plastik, taş ve diğer yabancı maddelerin %1.32 oranında bulunduğu; RK'dan elde edilen üründe ise %2.24 cam, %0.82 plastik, taş ve diğer yabancı maddelerin %3.7 oranında bulunduğu tesbit edilmiştir. İki reaktörün yabancı miktarı karşılaştırıldığında, RO nun RK ya nazaran %56 daha az yabancı madde içerdiği tesbit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada evsel katı atıkların yalnız organik kısımları (RO) ile karışık evsel katı atıkların (RK) kompostlaştırılması karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Çalışma süresince evsel katı atıkların organik kısımlarının ve karışık haldeki evsel katı atıkların kompostlaştırıldığı reaktörlerdeki sıcaklık değişimlerinin Avustralya, Danimarka, Almanya ve Avusturya kompost hijyen standartlarıyla uygunluk gösterdiği belirlenmiştir.
- Elde edilen ürünlerin organik madde muhtevaları yalnız organik evsel katı atık içeren reaktör ve karışık evsel katı atık içeren reaktör için sırasıyla %26 ve %21 olarak belirlenmiştir. Evsel katı atıkların yalnız organik kısımlarından elde edilen ürünün organik madde muhtevası Avustralya, İtalya, İspanya ve Avrupa Eco-Label standartlarıyla, karışık haldeki evsel katı atıklardan elde edilen ürün ise İtalya ve Avrupa Eco-Label standartlarıyla uygunluk göstermektedir. TKKY baz alındığında ise her iki reaktörden elde edilen ürünün kullanılmadan önce organik madde muhtevasının artırılması gerekmektedir. Bu, proses süresi kısaltılarak elde edilebilir.
- Bu çalışmada organik evsel katı atıklardan elde edilen kompost ürününün elektriksel iletkenlik değeri 17100 μ mh/cm, karışık evsel katı atıklardan elde edilen kompost ürününün elektriksel iletkenlik değeri ise daha düşük olup 9600 μ mh/cm olarak belirlenmiştir. Her iki reaktörden elde edilen ürünleri kullanım amacına uygun olarak diğer analizleri yapıldıktan sonra, toprağa %20 - 25 oranında karıştırarak tarım uygulamalarında kullanmak mümkün olabilir.
- Gerek elektriksel iletkenlik değerinin gerekse Na (%) değerinin organik evsel katı atık reaktöründe, karışık evsel katı atık reaktörüne göre daha yüksek oluşu, evsel atıkların yalnız organik kısımları kompostlaştırıldığında elde edilen üründe tuzluluğun bir problem olarak karşımıza çıkacağını göstermektedir. Bunun için gereken önlemler alınmalıdır.

- Kaynağında ayırma bitmiş kompost ürünündeki ağır metal ve gözle görülür nitelikteki kirletici konsantrasyonunun azaltılması noktasında da önemli bir role sahiptir. Fakat genel itibariyle bu çalışmada ayırmanın kompostlaştırma üzerindeki etkisi çok net olarak görülememektedir. Bu muhtemelen, bu çalışmada organik evsel katı atık reaktörüne beslenen atığın İ.B.B Kemerburgaz Kompost Tesisi'ne gelen, karışık haldeki evsel katı atıkların tesiste elle ayrılmasıyla elde edilmesinden ileri gelmektedir. Evsel atıkların organik kısımları, toplanmalarından tesise getirilmeleri için geçen süre içerisinde kirleticiler ile kontamine hale gelmiş olabilirler.
- Her iki reaktörden elde edilen ürünlerin içerdiği yabancı madde oranlarına bakıldığında organik evsel katı atıklardan elde edilen üründe, karışık evsel katı atıklardan elde edilen ürüne nazaran camın %49, plastiğin %35, taş ve diğer yabancı maddelerin ise %64 oranında daha az bulunduğu tesbit edilmiştir. Ayrı toplama ile kompost ürünündeki cam, taş, plastik ve gözle görülür diğer kirletici miktarı azalacak, böylece kompost kalitesi artacaktır.
- Kompostlaştırma prosesi süresince reaktörlere herhangi bir su ilavesi yapılmamıştır. Aksine evsel katı atıkların yalnız organik kısımlarının kompostlaştırıldığı reaktörde su muhtevası ilk 3 ve 4. haftalarda artış göstermiştir. Evsel katı atıkların yalnız organik kısımlarının kompostlaştırılması halinde su muhtevasının, proses için sorun teşkil etmemesi için özellikle ilk haftalarda daha dikkatli izlenmesi gerekmektedir.
- Evsel katı atıkların ayrı toplanarak kompostlaştırılması, daha nitelikli ürün elde edilmesini temin etmektedir. Ayrıca karışık halde kompostlaştırma tesislerine gelen evsel katı atıkların bu tesislerde ayrılması için harcanan para, zaman, ve iş gücünden tasarruf edilmiş olacaktır. Bununla birlikte katı atıkların ekonomik değerini kaybetmeden değerlendirilmesi mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

Alten, A., Erdin, E., (2006), “İzmir Kenti Katı Atık Ve Arıtma Çamurlarının Birlikte Kompostlaştırılabilirliğinin İncelenmesi”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 8 Sayı: 2 S. 11-20.

Amlinger F, Pollak M, Favoino E., (2004), “List Of Heavy Metals In Compost Derived From Literature and Personal Communication With Experts From The Mst”, Heavy Metals and Organic Compounds From Wastes Used as Organic Fertilisers, Technical Report for the Directorate-General for the Environment of the European Commission. (http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_annex5.pdf)

APHA, 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 17th edition, American Public Health Association, Washington, D.C.

Barker, A.V., (1997), “Composition and Uses of Compost, Agricultural Uses of By Products and Wastes”, ASC Symposium Series, American *Chemical Society*, 668:140-162.

Çanakkale katı atık yönetim birliği, Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi, Çed Raporu, 2005.

Çevre Bakanlığı., (2002), “Evsel ve Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Çamurunun Arıtımı”, Ankara.

Çevre Bakanlığı., (2002), “Kompostlaştırma Tesisleri için Teknolojiler ve Yer Seçimi, Kompost Üretimi ve Kullanımı için Kriterler”, Ankara.

Demir, A., (2002) , “Katı Atık Ders Notları”,Yıldız Teknik Üniversitesi

Diaz L.F., Savage G.M., Eggerth L.L., Golueke C.G., (1993), “Composting and Recycling Municipal Solid Waste”, Lewis Publishers.

Elten, A. , (2001), Kompost Kalitesi ve Uygulama Alanları, UKAK Bildiriler Kitabı.

EPA, (1996), “Minimum limit for organic matter, specified by the in accordance with Waste Licensing under the Waste Management Act”, Environmental Protection Agency.

EPA530-R-94-003, (1994), “Composting Yard Trimmings And Municipal Solid Waste”.

Epstein, E., (1997), “The Science of Composting”, Technomic Publishing Company, Inc.

Erdem A., Topkaya B., Dursun D., (2001), “Katı Atık Bertarafında Kompostun Yeri”, UKAK.

Evans G., (2001), “Biowaste and Biological Waste Treatment”, James&James.

Haug R.T., (1993), “The Practical Handbook of Compost Engineering”, Lewis Publishers.

Hoang, P.C., (2005), “Audit of Solid Wastes From Hotels And Composting Trial in Halong City, Vietnam”, Graduate Department of Civil Engineering University of Toronto.

Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar and H.A.J. Hoitink. (1990), “New Approaches to Compost Maturity”, *Biocycle*, 31:64-69.

İSTAÇ., (2006), “İBB Kemerburgaz Kompost Tesisinde Üretilen Kompostun Bitki Yetiştiriciliğinde ve Çim Sahalarda Organik Gübre Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması 3. Ara Rapor”.

J.O, (1998), “Establishing ecological criteria for the award of the Community Eco-Label to soil improvers”, *Official Jnl. European Communities*, L 219/39.

Kanat, G., Demir, A., Özkaya, B., Bilgili, M.S., (2002), “İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması”, Araştırma Projesi, YTÜ.

Karabulut, S.B., (2005), Tavuk Dışkılarının Klinoptilit Ve Pomza Taşı İle Aerobik Kompostlaştırılması, Hacettepe Üniv. Fen bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi.

Miller S. A., Landis A.E., and Theis T.L., (2007), “Supporting Information for Environmental Tradeoffs of Biobased Production”, *Environ. Sci. Technol.* 41, 5176–5182.

National Engineering Handbook, (2000), “Chapter 2 Composting, United States Department of Agriculture”, Natural Resources Conservation Service(www.wsi.nrcs.usda.gov/products/w2q/AWM/docs/neh637c2.pdf)

Öztürk M. ve Bildik B., (2005), “Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi”, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Öztürk, İ. , (1999) , “Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları”.

Ph.D. Brinton, William F., (2000), “Compost Quality Standards & Guidelines”, Final Report.

Richard, T. L., Woodbury P. B., (1992), “The Impact Of Separation On Heavy Metal Contaminants In Municipal Solid Waste Composts”, *Biomass and Bioenergy*, Vol3., pp.195-211.

Stofella P.J., Kahn B.A, (2001) “Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems”, CRC Pres LLC.

Sullivan D.M., and Miller R.O., (2001), “Compost Quality Attributes, Measurements and Variability”, *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*.

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.

TMECC, 2001. The US Composting Council Research and Education Foundation, and The United States Department of Agriculture “Test Methods for the Examination of Composting and Compost”.

Topkaya, B. ,v.d, (2001), “Katı Atık Bertarafında Kompostun Yeri”, UKAK Bildiriler Kitabı.

Topkaya, B.(2006), “Kompostlamada Uygulanan Yöntemler ve Kullanılan Ekipmanlar”, Katı Atık Türk Milli Komitesi (KAKAD), Ankara.

Tosun, İ., (2003), “Gül işleme posasının evsel katı atıklarla birlikte kompostlaşabilirliği”, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

Türkiye İstatistik Kurumu, “Belediye Katı Atık İstatistikleri”, http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=10&ust_id=3.

Varank, G., (2006), “Aerobik Olarak Stabilize Edilmiş Katı Atıklar İle Kompost Ürününün Karşılaştırılması”, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Virginia Cooperative Extension, (2003), “The Virginia Yard-Waste Management Manual”, Second Edition.

<http://compost.css.cornell.edu/Brinton.pdf>

<http://organic.tfrec.wsu.edu/compost/Compost%20systems/Rynk%2047mid.jpg>

http://web.deu.edu.tr/erdin/ders/kati_atik/ders_not/kompost.pdf

www.unep.or.jp/Ietc/Publications/spc/Solid_Waste_Management/Vol_I/13-Chapter7.pdf

www.aggie-horticulture.tamu.edu

www.akua.com.tr

www.compost.css.cornell.edu

EKLER

Ek-1 Reaktörlere beslenen atıkların görünümü

Ek-2 Reaktörlerin görünümü

Ek-1 Reaktörlere beslenen atıkların görünümü



Resim Ek-1.1 RO reaktörüne beslenen atıkların alındığı İ.B.B Geri Kazanım ve Kompost Tesisi atık kabul bölümü



Resim Ek-1.2 RO reaktörüne beslenen atıkların elle ayrılması



Resim Ek-1.3 Kompost Tesisi'nin atık kabul bölümüne gelen atıkların elle ayrılması sonucu elde edilen, RO reaktörüne beslenen atıklar



Resim Ek-1.4 80mm'lik elek altından alınan, RK reaktörüne beslenen karışık evsel katı atıklar.



Resim Ek-1.5 RK reaktörüne beslenen karışık evsel katı atıkların genel görünümü

Ek-2 Reaktörlerin görünümü



Resim Ek-2.1 Çalışmanın yürütüldüğü reaktörlerin içeriden görünümü



Resim Ek-2.2 Reaktörlerin genel görünümü



Resim Ek-2.3 Reaktörlerin genel görünüm

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	15.09.1981	
Doğum Yeri	Kocaeli	
Lise	1995 – 1998	Kandıra Lisesi
Lisans	2000 – 2005	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. Çevre Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005 –	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı,

Çalıştığı Kurum(lar)

2005 – Devam Ediyor İstanbul Büyükşehir Belediyesi