

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

139838

**İSTANBUL KATI ATIK KOMPOST TESİSİNDE
KOMPOSTLAŞTIRMA SÜRECİNİN İZLENMESİ ve
ÜRÜN KALİTESİNİN BELİRLENMESİ**

- 139838 -

Çevre Müh. Yakup KARAASLAN

**F.B.E Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

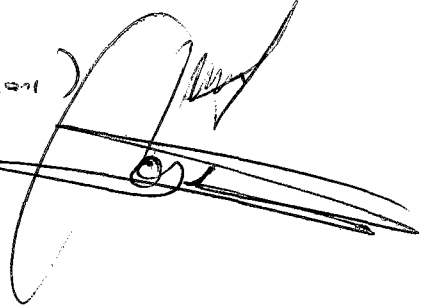
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet DEMİR

Prof. Dr. Ahmet Demir (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK (Üye)

Prof. Dr. Lütfi AKÇA (Üye)



İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KATI ATIKLAR.....	3
2.1 Katı Atıkların Sınıflandırılması.....	3
2.1.1 Evsel Atıklar.....	3
2.1.2 Endüstriyel Atıklar.....	4
2.1.3 Tıbbi Atıklar.....	4
2.1.4 Özel Nitelikli Atıklar.....	4
2.1.5 Arıtma Tesisi Atıkları.....	4
3. KATI ATIK YÖNETİMİ VE İSTANBULDA KATI ATIK BERTARAFLI.....	5
3.1 Katı Atıkların Miktar ve Bileşenleri.....	5
3.2 Katı Atıkların Bertarafı.....	6
3.2.1 Geri Kazanma.....	6
3.2.2 Düzenli Depolama.....	7
3.2.3 Yakma.....	8
3.3 İstanbul’da Katı Atık Yönetimi.....	9
4. KATI ATIKLARIN KOMPOSTLAŞTIRILMASI.....	14
4.1 Kompostlaştırma Prosesine Etki Eden Faktörler.....	19
4.1.1 Sıcaklık.....	19
4.1.2 pH.....	20
4.1.3 Karbon Azot Oranı (C/N).....	20
4.1.4 Su Muhtevası.....	22
4.1.5 Mikrobiyal Özellikler.....	22
4.1.6 Havalandırma.....	24
4.2 Kompostlaştırma Metotları.....	25
4.2.1 Pasif Kompost Yığınları.....	26
4.2.2 Windrow.....	26
4.2.2.1 Pasif Havalandırılmalı Windrowlar.....	27
4.2.3 Havalandırılmalı Statik Yığınlar.....	27
4.2.4 In-vessel Sistemleri.....	28

4.2.4.1	Bin.....	28
4.2.4.2	Sallamalı Diktörtgen Yataklar.....	28
4.2.4.3	Silo.....	28
4.2.4.4	Döner Borular.....	28
4.3	Kompostun Kalitesi.....	29
4.4	Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğu.....	32
4.5	Kompostun Kullanım Alanları.....	36
4.6	Kompostlaştırma İşlemi ve Çevre Sağlığı.....	40
5.	İSTANBUL KOMPOSTLAŞTIRMA VE GERİ KAZANMA TESİSİ.....	41
5.1	Tesise Ait Birimler.....	42
5.1.1	Atık Kabul ve Ara Depo.....	43
5.1.2	Ön Şartlandırma.....	43
5.1.3	Ana Çürüme.....	44
5.1.4	Ayırma.....	45
5.1.5	Son Şartlandırma, Kompost Deposu ve Satışı.....	45
5.1.6	Değerlendirilebilir Malzemelerin Hazırlanması ve Depolanması.....	45
5.1.7	Değerlendirilemeyen Atıkların Şartlandırılması ve Bertarafı.....	45
5.1.8	Kompost Deposu ve Satışı.....	45
5.1.9	Kirli Havanın Toplanması ve Temizlenmesi.....	46
5.1.10	Atıksu Drenajı ve Tasfiyesi.....	46
5.1.11	Kontrol Ölçüm ve Otomasyon.....	46
6.	KOMPOSTLAŞTIRMA SÜRECİNİN İZLENMESİ ve DENEYSEL METOTLAR.....	47
6.1	Kompostlaştırma Sürecinin İzlenmesi.....	47
6.2	DeneySEL Metotlar.....	48
6.2.1	Su Muhtevasının Belirlenmesi.....	48
6.2.2	pH Tayini.....	48
6.2.3	Organik Madde Muhtevasının Belirlenmesi.....	49
6.2.4	TKN (Toplam Kjeldahl Azotu).....	49
6.2.5	TOK (Toplam Organik Karbon).....	50
6.2.6	Ağır Metal Tayini.....	50
6.2.7	Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi).....	52
6.2.8	Bitkiye Uygunluk (Fitotoksitite) Testi.....	52
6.2.8	Hijyen.....	53
7.	DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	56
7.1	Deney Sonuçları.....	56
7.1.1	Sıcaklık.....	56
7.1.2	pH.....	57
7.1.3	Su Muhtevası.....	59
7.1.4	C/N Oranı.....	60
7.1.5	Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Değeri).....	64
7.1.6	Bitkiye Uygunluk (Fitotoksitite).....	71
7.1.7	Hijyen.....	72

7.1.8	Ağır Metal.....	73
7.2	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	74
7.2.1	Sıcaklık.....	74
7.2.2	pH.....	76
7.2.3	Su Muhtevası.....	76
7.2.4	C/N Oranı.....	76
7.2.5	Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Değeri).....	78
7.2.6	Bitkiye Uygunluk (Fitotoksisite).....	79
7.2.7	Hijyen.....	79
7.2.8	Ağır Metal.....	80
8.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	85
KAYNAKLAR.....		91
ÖZGEÇMİŞ.....		94



KISALTMA LİSTESİ

C/N	Karbon/Azot Oranı
CEC	Katyon Değişim Kapasitesi
İSTAÇ	İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme San ve Tic A.Ş.
KAY	Katı Atık Yönetimi
OM	Organik Madde
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TOK	Toplam Organik Karbon



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 4.1 Kompostlaşma prosesi.....	15
Şekil 4.2 Kompostlaştırma işlemi esnasında sıcaklık ve pH'nın değişimi.....	16
Şekil 4.3 Kompostlaştırma işleminde etkili olan mikroorganizmalar.....	24
Şekil 5.1 İstanbul Katı Atık Kompostlaştırma ve Geri Kazanma ve Tesisi proses akım şeması.....	42
Şekil 7.1 Kompostlaştırma boyunca Hat I'deki sıcaklık değişimleri.....	57
Şekil 7.2 Kompostlaştırma boyunca Hat II'deki sıcaklık değişimleri.....	57
Şekil 7.3 Kompostlaştırma boyunca Hat I de pH'ın değişimi.....	58
Şekil 7.4 Kompostlaştırma boyunca Hat II de pH'ın değişimi	58
Şekil 7.5 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat I' de Nem Muhtevasının değişimi.....	60
Şekil 7.6 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat II' de Nem Muhtevasının değişimi.....	60
Şekil 7.7 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat I ve II' de TOK'un değişimi.....	61
Şekil 7.8 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat I ve II' de OM'nin değişimi.....	62
Şekil 7.9 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat I'de C/N oranının değişimi.....	63
Şekil 7.10 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat II'de C/N oranının değişimi.....	63
Şekil 7.11 1. Hol, IA Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	65
Şekil 7.12 1. Hol, IB Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	66
Şekil 7.13 1. Hol, IC Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	66
Şekil 7.14 1. Hol, ID Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	67
Şekil 7.15 2. Hol, IIA Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	67
Şekil 7.16 2. Hol, IIB Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	68
Şekil 7.17 2. Hol, IIC Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	68
Şekil 7.18 2. Hol, IID Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	69
Şekil 7.19 S₁ Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	69
Şekil 7.20 S₂ Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	70
Şekil 7.21 S₃ Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi.....	70
Şekil 7.22 TOK ile OM arasındaki ilişki.....	77
Şekil 7.23 IA 'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması.....	80
Şekil 7.24 IIA 'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 7.25 S₁ 'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 7.26 S₂ 'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması.....	82
Şekil 7.27 S₃ 'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması.....	82

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 İstanbul katı atıklarının bileşenleri (%Yaş ağırlık olarak).....	6
Çizelge 3.2 İstanbul'un Farklı Bölgeleri İçin Katı Atıklar Üzerinde Yapılan Madde Grubu Analizi Sonuçları (Ağırlıkça %).....	10
Çizelge 3.3 1990-2020 Yılları İçin İstanbul'da Nüfus Projeksiyonu (milyon).....	11
Çizelge 3.4 1990-2020 Yılları İçin İstanbul'da Atık Oluşum Projeksiyonu (milyon ton/yıl)	11
Çizelge 3.5 Ortalama Katı Atık Bileşimi, 1992.....	11
Çizelge 3.6 İstanbul Katı Atıkları İçerisinde Geri Kazanılabılır Madde Miktarları.....	12
Çizelge 3.7 Avrupa Yakası Düzenli Depolama Tesisinde Geri Kazanılabilecek Madde Miktarı (2000).....	13
Çizelge 4.1 Kompostlaştırma prosesi boyunca Kimyasal Parametrelerdeki değişim. (Keiichi Koyama, 2001).....	18
Çizelge 4.2 Çeşitli Avrupa Ülkelerinde Kompost İçin Kalite Standartları mg/kg Kuru Madde	31
Çizelge 4.3 Kompost için stabilite ve olgunlukta kullanılan parametreler.....	33
Çizelge 4.4 Kompost stabilitesi ile fitotoksitite arasında sınıflandırma (Graves E. vd., 2000).....	35
Çizelge 4.5 Çeşitli bitkilerin muhtelif elementlere karşı tolerans değerleri.....	39
Çizelge 5.1 İstanbul Kompostlaştırma ve Geri Kazanma Tesis Boyutlandırma Kriterleri.....	41
Çizelge 5.2 Tesisin İşletme Birimleri.....	43
Çizelge 7.1 Kompostlaştırma prosesi boyunca TOK/OM'nin değişim oranları.....	62
Çizelge 7.2 Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Değeri)'nin Belirlenmesi İçin Ölçülen Dewar Kabı Sıcaklık Değişimleri.....	65
Çizelge 7.3 Kompost Karışımları İle Yapılan Fitotoksitite Test Sonuçları.....	72
Çizelge 7.4 Salgın Hijyen İfade Eden <i>Salmonella</i> Test Sonuçları.....	73
Çizelge 7.5 Ağır Metal Analiz Sonuçları.....	74
Çizelge 7.6 Katı atıklarda bulunan Patojen mikroorganizmaların sıcaklık-zaman aralığında yok edilmeleri.....	75
Çizelge 7.7 Dewar kabına göre kompostun kalite açısından sınıflandırılması (Epstein, 1997).....	78
Çizelge 8.1 Tesiste proses başlangıcında ve oluşan üründe tespit edilen C/N oranları.....	87
Çizelge 8.2 Ölçülen maksimum sıcaklıklara göre kompostun kalite açısından sınıflandırmaları ve ayrışma dereceleri.....	88

ÖNSÖZ

Dünyada nüfus artışı ve aşırı tüketim sonucu kirleticiler de hızla artmaktadır. Sağlıklı bir yaşam, temiz bir çevre, sürdürülebilir bir kalkınmada doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması için etkin bir katı atık yönetimi hayati önem arz etmektedir.

Katı atık bertaraf teknolojileri arasında kompostlaştırma, organik ve değerli atıkların ekonomiye kazandırılması açısından önemlidir. İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompost tesisinde üretilen kompost istenilen standartları sağlamıştır. Tesise gelen atıkların geldiği bölgelerin gözden geçirilmesiyle, üretilen kompostun kalitesi daha da yüksek olacaktır.

Çalışmaların yürütülmesi esnasındaki katkıları ve desteği için hocam Prof. Dr. Ahmet Demir'e teşekkür ederim.

Tesisten numune almada ve deneylerin yürütülmesinde yardımcı olan Prof. Dr. Mustafa Öztürk'e, Öğr. Görevlisi Dr. Hürrem Beyhan'a, Arş. Görevlisi Bestamin Özkaya'ya, Arş. Görevlisi Doğan Karadağ'a, Çevre Müh. Faruk Avşar'a ve tesis yetkilerine teşekkür ederim.

Tüm okul hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerinden ötürü aileme, mesleki tecrübe kazanmama vesile olan Prof. Dr. M. Nevzat Kor'a, çalışmamda desteklerinden dolayı Çevre Müh. Hüseyin Karışan ve Çevre Müh. Adnan Akça 'ya teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Katı atık bertarafında düzenli depolamanın yanında kompostlaştırma, değerli atıkların ve organik atıkların ekonomiye kazandırılması açısından gerçek bir çevre koruma yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

İstanbul'da günde yaklaşık 10 000 ton evsel katı atık üretilmektedir. Bu atıklar İstanbul'un Asya ve Avrupa yakalarında bulunan düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. İstanbul'un Avrupa yakasında konumlandırılan kompostlaştırma tesisinin kapasitesi 1000 ton/gün'dür. Bu tesise gelen inorganik atıkların geri dönüşebilen kısımları ayrılmakta, organik atıklardan da kompost üretilmektedir. Mart 2001'de deneme işletmesine alınan bu tesisin kapasitesi günlük üretilen İstanbul evsel atık toplamının %10'u civarındadır.

Bu çalışmada İstanbul Kompostlaştırma ve geri kazanma tesisinde deneme işletmesinde ve işletme esnasında, kompostlaştırma prosesi izlenmiş ve oluşan ürünün, kalite açısından sınıflandırılması yapılmıştır. Tesiste kompostlaştırma prosesi boyunca **sıcaklık, nem, TOK, OM, TKN, C/N oranı ve pH**'ın zamana bağlı değişimleri izlenmiştir. 8. Hafta sonunda oluşan üründe yukarıdaki parametrelerin yanı sıra **bitkiye uygunluk, fermantasyon derecesi, ağır metal seviyesi ve hijyen** gibi parametrelerin analizleri de yapılmış, üretilen kompostun stabilitesi, olgunluğu ve kalitesi tespit edilmiştir.

Yapılan deneyler neticesinde tesiste proses boyunca ve oluşan ürünlerde tespit edilen pH, nem ve C/N oranının istenilen kriterleri sağladığı görülmüştür. Dewar kabı ile fermantasyon derecesi belirlenmiş, elde edilen kompostun **IV. Sınıf kompost (Olgunlaşmış, depo edilebilir kompost)** olduğu tespit edilmiştir. Son üründe yapılan bitkiye uygunluk (fitotoksistite) testi neticesinde, kompostta bulunan ağır metallerin, toksik bileşiklerin ve organik asitlerin bitkilere zarar vermeyecek seviyede olduğu kanaatine varılmıştır. Evsel katı atıklarda en yaygın patojen mikroorganizmalardan biri olan ve tifo hastalığının amili olan *salmonella sp* tayini yapılmış, elde edilen ürünlerde *salmonella sp* varlığına rastlanılmamıştır. Tesiste son ürünlerde tespit edilen ağır metal parametrelerinin seviyeleri Alman Sınıf 2 referans değerlerinden yüksek, Avusturya Sınıf 2 referans değerlerinden düşük olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma tesisi İstanbul'da organik maddelerin değerlendirilmesi ve ekonomik değeri olan malzemelerin geri kazanılması gerekliliği açısından büyük önem arz etmektedir.

Anahtar kelimeler: Kompostlaştırma prosesi, Fermantasyon derecesi, fitotoksistite (Bitkiye uygunluk), stabilite, olgunluk ve kalite

ABSTRACT

Besides the removal of solid wastes at sanitary landfills, recycling of economically valued materials, and taking the organic matter into the economic cycle of soil by compsting, are evaluated as real environmental protection approaches in the world.

Approximately 10,000 tons per day of municipal solid wastes (MSW) are produced in Istanbul Metropolitan City. These solid wastes are being removed at sanitary landfills in both European and Asian sides of Istanbul. Composting and sorting plant, which has a capacity of 1,000 tons per day, is located in European side of Istanbul. In this plant, recyclable materials are separated from the incoming solid waste streams and compost is produced from organic wastes. Thus, maximum 10 percent of MSW have processed at this plant since 14th March, 2001.

In this thesis, composting process of Istanbul Solid Waste Recycling and Composting Plant was monitored in both testing and operating periods, and also quality of compost was classified. During the process, changing of temperature, moisture, total organic carbon (TOC), organic matter (OM), total Kjeldhal nitrogen (TKN), carbon/nitrogen (C/N) ratio and pH values were observed. Besides these parameters after the 8 th week, phytotoxicity (poisonous to plants), fermentation level, concentration of heavy metals and hygiene were measured, and stability, maturity and quality of compost products were determined.

According to the results of experiments, pH, moisture and C/N ratio of the process and compost products were convenient with standards. Fermentation level was measured with Dewar Flask, and the category of compost was determined as fourth class (Maturing compost, can be stored). In respect of phytotoxicity of products, concentrations of heavy metals, toxic substances and organic acids were low which are not harmful for plant. Analysis of Salmonella sp, which is the cause of typhoid fever and becoming widespread in MSW, was done, and it was not found in products. The concentrations of heavy metals were higher than German Category-2 standards and lower than Austria Category-2 standards.

Consequently, Istanbul Sorting and Composting plant has a high importance for the evaluation of organic matters and recycling of economically valued materials.

Keywords: Composting process, Fermentation level, phytotoxicity (poisonous to plants), stability, maturity and quality

1. GİRİŞ

Katı atıkların bertaraf teknolojileri olarak düzenli depolama, kompostlaştırma, yakma ve atıkların içerisindeki değerlendirilebilecek maddelerin geri kazanılması işlemleri sayılabilir. Atıkların açık alanlarda veya iyi tasarlanmamış fırınlarda yakılması hava kirliliğine; düzensiz çöp alanları ve iyi dizayn edilmemiş depo sahalarından kaynaklanan sızıntı suları ise yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenmesine sebep olmaktadır. Bertaraf edilecek atığın hacim ve ağırlığının azaltılması, böylece depolama maliyetinin düşürülmesi ve çevreye vereceği zararın en aza indirilmesi katı atık bertarafının temel hedeflerindendir (Baştürk vd, 2001). Bu hedefe ulaşmak için kullanılan yöntemlerden birisi de organik malzemelerin biyolojik olarak işlendiği kompostlaştırma işlemidir. Kompostun bir gübre olarak değil, toprağı ıslah edici bir madde olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kompostun, toprağın fiziki, kimyevi ve biyolojik özelliklerinin iyileştirmesi yanında, erozyonla mücadelede, terk edilmiş maden ocaklarının ıslahında, bitki hastalıklarının kontrolünde, kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi gibi geniş bir kullanım alanı vardır.

Kompostlaştırma, özellikle mutfak ve bahçe atıkları gibi katı atık içerisindeki organik bileşenlerinin, kontrol edilen şartlar altında biyolojik olarak ayrışması işlemidir. Organik maddelerin aerobik veya anerobik şartlar altında sağlığa zararsız, humusa benzer bir maddeye dönüşmesi ile sonuçlanan bu işlemde, ayrışmayı sağlayan bakterilerin faaliyetinin temini için uygun bir ortamın (nem, pH, C/N oranı, sıcaklık, vs.) sağlanması ve korunması gerekir (Baştürk, 2001).

İstanbul'da 1953'e kadar denize dökülen çöpler, daha sonraki yıllarda şehre yakın boş arazilere kontrolsüz bir şekilde dökülmüştür. Zaman içerisinde birçok alan bu şekilde kullanılmış, daha sonra ıslah edilerek kapatılmıştır. Günde yaklaşık olarak 10 000 ton katı atık üreten İstanbul için yapılan fizibilite çalışması doğrultusunda her iki yakaya da birer adet düzenli depolama sahası, toplam altı adet çöp aktarma istasyonu, bir tıbbi atık yakma tesisi ve bir kompost tesisi inşa edilerek işletmeye alınmıştır. 2001 yılında işletmeye alınan İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi 1000 ton/günlük kapasitesiyle katı atık içerisinde önemli bir paya sahip olan organik maddelerin kompostlaştırılması ile, ekonomik değeri olan malzemelerin geri kazanılması için kurulmuş bir tesistir.

Bu çalışmada Mart 2001 de deneme işletmesine alınan İstanbul Katı Atık Kopostlaştırma ve Geri Kazanma Tesisinde proses boyunca, kompost malzemesinde fiziksel ve kimyasal değişimler izlenmiş, oluşan üründe kompostun kalitesi belirlenmiştir. Bu maksatla, fermentasyon süresi boyunca **sıcaklık, nem, TOK, OM, TKN, C/N oranı ve pH**'ın zamana karşı değişimleri izlenmiştir. 8. Hafta sonunda oluşan üründe yukarıdaki parametrelerin yanı sıra **bitkiye uygunluk, fermentasyon derecesi, ağır metal seviyesi ve hijyen** gibi parametrelerin analizleri yapılmış, üretilen kompostun stabilitesi, olgunluğu ve kalitesi tespit edilmiştir.

Çalışmanın 2. Bölümünde katı atıklar hakkında genel mahiyette bilgiler aktarılmış, 3. Bölümde katı atık yönetimi ve İstanbul'da katı atık bertarafı incelenmiştir. 4. Bölümde katı atıkların kompostlaştırılması, 5. Bölümde İstanbul Kompostlaştırma ve Geri Kazanma Tesisi hakkında bilgiler, 6. Bölümde ise tesiste kompostlaştırma sürecinin izlenmesi ve deneysel metotlar hakkında bilgiler verilmiş, 7. Bölümde yapılan deneylerin sonuçları ve bu sonuçlarının yorumları, 8. Bölümde ise yapılan çalışmanın sonuçları ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

2. KATI ATIKLAR

Dünyada nüfusun artmasıyla doğal kaynakların kullanımı hızla artmaktadır. Sanayideki gelişme ve nüfus artışına bağlı olarak tüketim de hızla artmaktadır. Kullanılan kaynakların işlenmesi ve toplanması sırasında atıklar oluşmaktadır. Oluşan atıklar tekrar doğaya bırakılmakta, bunun sonucu olarak hem doğal kaynak miktarı, hem de var olan kaynakların faydaları azalmaktadır.

Katı atıklar insanların türlü faaliyetleri sonucunda günlük hayat, ticaret, endüstri ve benzeri faaliyetler sonucunda oluşmaktadır. Toplumda refah seviyesinin artması katı atık içeriğini de artırmaktadır. Bu atıkların çevredeki suların ve toprağın ciddi şekilde kirlenmesine neden olması konunun önemini artırmaktadır.

2.1 Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıkların sınıflandırılması çok çeşitli şekillerde yapılabilmektedir. Katı atıkların sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında katı atık muhtevasına göre sınıflandırma gelmektedir. Katı atıklar muhtevasına göre;

- Evsel Atıklar
- Endüstriyel Atıklar
- Tıbbi Atıklar
- Özel nitelikli Atıklar
- Arıtma Tesisi Atıkları,

Olmak üzere beş guruba ayrılır (Karadağ, 2002). Evsel katı atıklar toplam katı atıklar içerisinde en yüksek orana sahiptir.

2.1.1 Evsel Atıklar

Tek veya çok sayıda ailelerin yaşadığı meskun alanlar, ticarethaneler ile park ve bahçelerden müteşekkil ve içerisinde tehlikeli atık bulundurmeyen katı atıklar evsel atık olarak tanımlanır. Evsel atıklar organik ve inorganik maddelerden oluşmaktadır. Organik maddeler, mutfak atıkları, kağıt-karton, plastik, tekstil, deri, bahçe ve ağaç

atıklarından; inorganik maddeler ise, kül, cam, porselen, konserve kutuları, alüminyum ve diğer maddelerden oluşmaktadır.

2.1.2 Endüstriyel Atıklar

Endüstriyel atıklar, endüstriyel bir faaliyet sonucu meydana çıkan ve muhtevasında genellikle kül, özel atıklar, tehlikeli atıklar vb. bulunan atıklardır. Endüstriyel atıklar iki guruba ayrılır. Patlayıcı, parlayıcı, yanıcı, oksitleyici, zehirli, korezif özelliklere sahip olan ve suyla teması sonucu parlayıcı gazlar çıkaran atıklar, tehlikeli atıklar olarak sınıflandırılır (Karadağ, 2002). Endüstriyel atıkların diğer grubu ise tehlikesiz atık olarak adlandırılır. Toplama ve bertaraf işlemlerinde evsel atıklarla birlikte değerlendirilir.

2.1.3 Tıbbi Atıklar

Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan, patolojik ve patolojik olmayan, enfekte, kimyasal ve farmostik atıklar ile kesici-delici malzemeler ve sıkıştırılmış kaplar tıbbi atık olarak kabul edilmektedir. Bu atıklar, hastanelerden, laboratuvarlardan, polikliniklerden, eczanelerden, diyaliz ünitelerinden, kan merkezleri vb. sağlık kuruluşlarından kaynaklanmaktadır.

2.1.4 Özel Nitelikli Atıklar

Uzaklaştırılması özel önem arz eden, radyoaktif atıklar, piller, aküler, atık yağlar, inşaat yıkım ve hafriyat atıkları bu guruba dahildir.

2.1.5 Arıtma Tesisi Atıkları

Bu tür atıklar su ve atıksu arıtma tesisleri ve endüstriyel arıtma tesislerinden kaynaklanır. Meydana gelen atığın özellikleri uygulanan arıtma prosesine göre farklılık gösterir. Su ve atıksu arıtımında ortaya çıkan çamurlar ağırlıkça organik kısımlardan teşekkül etmektedir. Yakma işleminin uygulandığı sistemlerde kül ve cüruf ana bileşeni oluşturmaktadır.

3. KATI ATIK YÖNETİMİ ve İSTANBUL'DA KATI ATIK BERTARAFI

Katı atıkların miktarı, su muhtevası, kalorifik değeri, bileşimi gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri, atığın üretildiği bölgenin nüfusuyla, ısınmada kullanılan yakıt türüyle orantılı olarak değişiklik gösterir. Hayat seviyesinin yükselmesi, sanayi ve teknolojinin ilerlemesi ile yeni ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi hem kişi başına günde üretilen çöp miktarını hem de çöplerin bileşimini büyük ölçüde değiştirmiştir.

3.1 Katı Atıkların Miktar ve Bileşenleri

Katı atıkların miktar ve özellikleri ülkeden ülkeye değiştiği gibi aynı ülkede bölgeden bölgeye hatta aynı şehirde semtten semte değişebilmektedir. Bu değişim insanların sosyo-ekonomik yapısı ile ilgili olmakla beraber en çok gelir seviyesiyle tüketim ve kullanım alışkanlıklarına bağlıdır. Ülkemizde kişi başına çöp üretimi 0,61 kg/kişi-gün iken bu değer Avrupa ülkelerinde 1,5-2 kg/kişi-gün, ABD'de 3 kg/kişi-gündür (Özkaya, 2001).

Katı atığın birim hacim ağırlığı ülkeden ülkeye hatta aynı ülkede kentten kente, yerel koşullara, tüketim alışkanlıklarına ve mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Katı atık üretim oranı yüksek olan endüstrileşmiş ülkelerdeki katı atık yoğunluğu kağıt, cam, plastik ve metal gibi çürümez maddelerin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu maddelerin yüksek olmasının sebebi ise paketlenme ve ambalaj malzemelerinin çok kullanımı ve katı atık içinde geniş hacim tutmasıdır. Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere paralel olarak katı atıkların kompozisyonu da değişmektedir. Çizelge 3.1'de İstanbul şehri için muhtelif araştırmacılar tarafından yapılan katı atık bileşenleri verilmiştir. Ancak son yıllarda doğal gaz kullanımının (Ankara'da 1992-93 den, İstanbul'da 1994 yılından itibaren) hızla yaygınlaşması sonucu kül oranı önemli ölçüde düşmüştür.

Çizelge 3.1 İstanbul katı atıklarının bileşenleri (%Yaş ağırlık olarak)

Parametre	Baştürk, (1979)	WHO/UNDP (1981)	CH2M Hill (1992)	Öztürk vd (1996)	Demir A. Vd. (2001)
Kül	29,0	14,6	15,0	13,2	9,3
Organik madde	46,5	60,6	45,0	48,0	43,0
Kağıt	19,0	18,8	14,5	8,4	7,8
Plastik	3,5	3,1	9,5	11,0	4,8
Cam	3,0	0,7	3,8	4,6	6,2
Tekstil	3,0	3,1	5,6	2,9	5,4
Metal	1,5	1,5	2,2	2,3	5,8
Diğerleri	1,5	6,9	4,4	6,3	-
Çocuk bezi	-	-	-	3,2	8,5

3.2 Katı Atıkların Bertarafı

Kaynağında ayrı ve karışık toplanan katı atıklar, bileşimlerine uygun olarak bertaraf edilmelidir. Geri kazanma, yakma, hidroliz, kompost yapma gibi muhtelif metotlardan hangisi kullanılırsa kullanılsın neticede araziye bırakılması gereken ve işe yaramayan artık ortaya çıkacaktır. Yakma işlemi sonucu 1000 kg'lık çöpten yaklaşık 350 kg'lık kül ve cüruf oluşur. Geriye kalan 650 kg'lık çöp 5000-6000 standart m³ gaz halinde atmosfere yayılır. Buna mukabil kompostlaştırma işleminde 1000 kg'lık evsel atıktan yaklaşık 300-500 kg'lık kompost, 350 kg. bir işe yaramayan artık, 150 kg. da gaz ve buhar çıkmaktadır. Aşağıda katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf teknolojileri incelenmiştir.

3.2.1 Geri Kazanma

Atık içerisinde geri kazanılabilir madde (cam, plastik, kağıt, metal vb.) miktarı yeterli ise geri kazanım çalışması yapılmalıdır. 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 işleme durumunda kalmaktadır.

3.2.2 Düzenli Depolama

Düzenli depolama, katı atıkların çevre sağlığına uygun bir şekilde araziye dökülüp sıkıştırılması ve üzerinin örtülmesini ifade eder. Düzenli depolamanın kısaca özellikleri şunlardır:

- Katı atıklar çevreye kötü kokular vermez.
- Katı atıklar rüzgarla etrafa yayılıp çevreyi kirletmez.
- Zararlı ve hastalık taşıyıcı canlılara barınma ve çoğalma ortamı ortadan kalkar.
- Gaz çıkışı ve sızıntı suları kontrol altına alınır.

Katı atıklar, hendek metodu, alan metodu, vadi dolgusu metodu ve rampa metodu olmak üzere çeşitli şekillerde depolanmaktadır.

Kuyu (Hendek) Metodu

Bu metotta çöp dökülmeden önce yeterli uzunlukta bir hendek açılır. Kazılan zemin daha sonra örtü toprağı olarak kullanılmak üzere, kazılan yerin uzağında depolanır veya başka bir yerden getirilir.

Bu metot küçük yerleşim yerlerinde uygulanmaktadır. Hendek 30-150 m uzunlukta, 2 m derinlik, 5-7,5 m genişlikte kazılıp, çıkan toprak örtü malzemesi olarak saklanır. Yeterli toprak örtüsü varsa ve yer altı suyu tabii zemine yakınsa bu metot uygulanır. Katı atıklar 40-60 cm kalınlıkta serilip, üzerinden dozerle 4-6 defa geçirilerek atıkların parçalanıp sıkışması sağlanır. Her iş günün sonunda o güne ait katı atıkların üzeri 15 cm kalınlıkta toprakla örtülür.

Alan Metodu

Arazinin hendek kazılmasına müsait olmadığı veya buna ihtiyaç bulunmadığı hallerde uygulanır. Çöpler uzun ve dar şeritler halinde 30-60 cm. kalınlıkta araziye serilir ve sıkıştırılarak 2-3 m. yüksekliğe kadar depo edilir. Şeritlerin boyları, genelde bu yüksekliğe günün sonunda erişilecek şekilde planlanır. Günün sonunda depolanan sıkıştırılmış çöp yığınının üzerine 20-30 cm. kalınlıkta toprak tabakası örtülür. Doldurma operasyonu genellikle daha önce inşa edilen toprak bir seddenin dibinden başlar ve sıkıştırılarak sedde yüksekliğine kadar devam eder. Sıkıştırılan çöpler 6 m. genişliğinde şeritler halinde yükselir. Dolgu toprağı ya dozerin arkasındaki zeminden

kazılarak dozerin önüne aktarılmalı ya da başka bir zeminde kazılmak suretiyle sıkıştırılmış atıklar üzerine serilmelidir. Bu metot büyük şehirlerde kullanılmaktadır.

Vadi Dolgusu Metodu

Vadilerde düzenli depolamanın yapımından önce mevcut kuru veya sulu dereler, akarsular depolama alanın memba tarafından başlayıp mansap tarafında biten tünel veya menfezlerle çöplerle teması kesilmelidir. Menfez veya tüneller yer altı suyu ile çöp sızıntı ve süzüntü sularına karşı iyice yalıtılmalıdır. Vadi metoduyla çalışırken bütün çalışma bölgesi yağış ve akış sularına karşı çevresel hendeklerle donatılmalı, yağış sularının çöplerle teması kesilmeli, gerekli hallerde pompalarla, sular çalışma sahası dışına aktarılmalıdır.

Rampa metodu

Su seviyesinin düşük veya yüksek olduğu atık depolama yapılacak yerlerde uygulanır. Burada hücreler daha kalın ve uzunluk olarak da; alan metodundaki uzunluktan daha kısadır.

Bunu yaparken doğal zemini korumak çok önemlidir. Katı atık malzemelerinin su muhtevaları % 10- 35 arasındadır. Katı atıkları havzaya dökmeden önce zemini sıkıştırmak arazi özelliklerini artırmada önemlidir.

3.2.3 Yakma

Yakma, katı atık hacmini azaltmak için toplanan çöplerin özel tesislerde yakılmasından ibarettir. Bu yöntem, hacim ve ağırlık küçültme oranının yüksek olması nedeniyle depolama yeri sıkıntısının çekildiği durumlarda veya hastane atıklarında olduğu gibi son ürünün stabilize edilmesinin gerekli olduğu hallerde ve ısı değeri yüksek katı atıklardan enerji üretiminin söz konusu olduğu durumlarda kullanılır. Katı atıkların yakılabilmesi için atığın yakmaya uygun olması ve ikincil bir yakıtı ihtiyaç duyulmaması önemlidir. Aksi takdirde yakma ekonomik olmamaktadır. Katı atıkların yakılması sonucunda yaklaşık %30 civarında kül ve cüruf oluşmaktadır. Bu kısmın uzaklaştırılması için de nihai bir düzenli depolamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Yanma sonucu meydana çıkan baca gazlarının arıtılması zorunluluğu, yakma metodunun en önemli mahzurlarından

birisidir. Ayrıca baca gazı arıtımının maliyeti takriben yakma ünitesinin maliyetine eşittir.

Evsel atıkların yakılması sonucu partiküler madde, CO, NO_x, hidrokarbonlar ve metaller (civa, kurşun) atmosfere bırakılmaktadır. Yanma sonucu oluşan baca gazlarının olumsuz çevre sorunlarına yol açmaması için arıtılması gereklidir.

3.3 İstanbul'da Katı Atık Yönetimi

İstanbul'da günde yaklaşık 9000-10000 ton arası katı atık üretilmektedir. Bu katı atıklar kaynaklarda (ev, işyeri, vb.) biriktirilip geçici olarak depolandıktan sonra apartman önlerindeki veya mahalledeki merkezi noktalardaki konteynerlarda toplanmaktadır.

İstanbul'da evsel katı atıklar ilçe ve belde belediyeleri tarafından toplanmaktadır. İlçe belediyeleri ayrıca sokakların süpürülmesini de yapmaktadır. İlçe ve belde belediyeleri topladıkları atıkları aktarma istasyonlarına veya düzenli depolara taşımaktadır.

Evsel atıkların aktarma istasyonlarına getirilmesiyle birlikte Büyükşehir Belediyesinin görevi başlamaktadır. Atıkların aktarma istasyonlarından düzenli depolama sahalarına götürülmesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi kuruluşlarından İSTAÇ A.Ş tarafından yapılmaktadır.

İstanbul'da şu anda 6 adet aktarma istasyonu mevcuttur. Bunlardan 3 tanesi Avrupa Yakası'nda (Baruthane, Yenibosna, Halkalı) ve 3 tanesi de Anadolu Yakası'nda (Aydınlı, Hekimbaşı, Küçükbakkalköy) inşaa edilmiştir. Ayrıca Avrupa yakasında Odayeri, Anadolu yakasında Kömürcüoda düzenli depolama sahalarının yapımı bitirilerek 1995 yılından itibaren hizmete alınmıştır.

İstanbul atığının içerisinde önemli yer tutan organik atıkları değerlendirmek üzere 1000 ton/gün kapasiteli Kompost tesisi Mart 2001'de Eyüp/Kısırmandıra Köyü mevkiinde hizmete alınmıştır. Tesise gelen 1000 ton/gün atığın 100 ton/gün'lük kısmının (cam, plastik, PET, kağıt vb.) geri kazanılması hedeflenmiştir.

İstanbulda gelecekteki katı atık miktarı ve çözüm önerileri hakkında CH₂M Hill/Antel firması tarafından 1991-1993 yıllarında bir etüd çalışması yapılmıştır (İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması ve Araştırma Projesi, YTÜ, 2002).

Bu çalışmada kış mevsimini temsilen Nisan, yaz mevsimini temsilen Eylül ayında numune alınmıştır. Tüm çalışmalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 İstanbul’un Farklı Bölgeleri İçin Katı Atıklar Üzerinde Yapılan Madde Grubu Analizi Sonuçları (Ağırlıkça %)

Madde Grupları	G.O.P.		Fatih		Şişli		Ataköy		Eminönü	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz
Organik	41	76	51	50	43	49	60	58	37	54
Kağıt	8	4	11	12	20	18	17	16	24	22
Plastik Torba (PE, PVC)	6	6	9	7	6,5	11	9	10	9	5
Poşet (PET, PVC, PE)	1	1	2	2	2,5	2	3	4	2	2
Toplam	7	7	11	9	9	13	12	14	11	7
Cam	5	2	3	3	5,5	7	2,5	5	4	3
Metal	3	1	2	4	1,5	2	2	2,5	2	3
Tekstil	7	5	4	12	4	3	2	2,5	12	1
Kül < 10 mm.	20	4	16	7	16	5	2,5	1	9	2
Diğerleri	3	1	2	3	1	5	2	1	2	2

2020 yılına kadar süre için nüfus projeksiyonları yapılmış ve katı atık miktarları tahmin edilmiştir. Çalışma ile tahmin edilen nüfus ve katı atık miktarları Çizelge 3.3 ve 3.4’de, 1992 yılı için yapılan katı atık bileşimi analiz neticeleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 1990-2020 Yılları İçin İstanbul'da Nüfus Projeksiyonu (milyon)

Yerleşim	1990	2000	2010	2020
Avrupa	4.45	5.92	7.81	9.70
Asya	2.44	3.67	4.95	6.19
Toplam	6.89	9.59	12.76	15.89

Çizelge 3.4 1990-2020 Yılları İçin İstanbul'da Katı Atık Projeksiyonu (milyon ton/yıl)

Yerleşim	1990	2000	2010	2020
Avrupa	1.11	1.71	2.34	3.01
Asya	0.55	0.97	1.35	1.74
Toplam	1.66	2.68	3.69	4.75

Çizelge 3.5 Ortalama Katı Atık Bileşimi, 1992

Madde Grubu	Ağırlıkça (%)
Organik Maddeler	45.0
Kül	15.0
Kağıt	14.5
Plastik	9.5
Tekstil	5.6
Seramik, Biriket, İnert Malzemeler	4.4
Cam	3.8
Metal	1.1
Diğerleri	1.1
Toplam	100

CH₂M Hill/Antel firması tarafından 1991-1993 yılları arasında yapılan çalışmada materyal geri kazanma öncelikli olarak yer almıştır. Çizelge 3.6'da İstanbul katı atıklarında geri kazanabilir atıklarla ilgili tahminler verilmiş, Çizelge 3.7'de ise Avrupa Yakası Depolama Sahasında kurulacak bir tesiste 2000 yılı için geri kazanılabilecek katı atık miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.6 İstanbul Katı Atıkları İçerisinde Geri Kazanılabılır Madde Miktarları

				Geri Kazanılabılır Madde Miktarı (ton/yıl)		
Madde Grubu	Atık İçindeki Oran (%)	Geri Kazanabilir Kısım (%)	Geri Kazanılabılır Kısımın Toplam İçindeki Oranı (%)	Avrupa (1992)	Asya (1992)	Toplam (1992)
Kağıt	14.5	33	4.8	55.000	32.000	87.000
Plastik	9.5	50	4.8	55.000	31.000	86.000
Cam	3.8	100	3.8	44.000	25.000	69.000
Metal	2.2	75	1.7	19.000	11.000	30.000
Tekstil	5.6	50	2.8	32.000	19.000	51.000
Ara Toplam	35.6		17.8	205.000	118.000	323.000
Kül	15.0	100	15.0	174.000	99.000	273.000
Toplam	50.6		32.8	379.000	217.000	596.000

Çizelge 3.7 Avrupa Yakası Düzenli Depolama Tesisinde Geri Kazanılabilir Madde Miktarı (2000)

Madde Grubu	Geri Kazanılabilir		Toplanabilen Kısım ^a (%)	Toplanabilen Madde Miktarı (Ton/yıl)
	Ton/yıl	Oran (%)		
Kağıt	82.000	4.8	20	17.000
Plastik	82.000	4.8	60	50.000
Cam	65.000	3.8	60	39.000
Metal	29.000	1.7	80	24.000
Tekstil	48.000	2.8	30	14.000
Kül	257.000	15.0	0	0
Toplam	563.000	32.8		144.000

^a Karışık Atık Toplama Tesisinde Toplanabilecek Geri Kazanılabilir Madde Miktarı

CH₂M Hill firması tarafından yapılan etütde kompost tesisi kurulması ayrı bir öneri olarak sunulmuştur. Bunun için teklif edilen kapasite 500 ton/gün'dür. Bu tesisin ton başına bertaraf maliyeti 10.49 USD/ton olarak verilmiştir.

Yakma tesisi için yapılan öneri; Çalışmanın yapıldığı 1991-92-93 yıllarında İstanbul'da henüz doğalgaz yaygın olarak kullanılmadığından, atık içinde önemli ölçüde kül bulunmakta, bu bakımdan atıkların kalorifik değeri oldukça düşük düzeyde idi. İstanbul'un belirli bölgelerinden toplanan atıkların yakılması için kurulacak 1000 ton/gün kapasiteli bir yakma tesisinin yatırım maliyeti 133 milyon USD, birim ton maliyeti 80 USD/ton olarak tahmin edilmiştir. Bu metod o tarihler için tavsiye edilmemiştir.

CH₂M Hill firması tarafından yapılan etütde 2005 yılı için Avrupa yakasında 5, Asya yakasında 3 adet transfer istasyonu önerilmiştir.

4. KATI ATIKLARIN KOMPOSTLAŞTIRILMASI

Kompostlaştırma katı atıkların organik bileşenlerinin kontrol edilen şartlar altında biyolojik ayrışması şeklinde tarif edilir. Başka bir ifadeyle organik maddelerin biyolojik ayrışmasını içine alan bir prosestir (Epstein, 1997). Kompostlaştırma, uygun yöntem ve ekipmanlar kullanılarak katı atık içinde bulunan organik maddelerin kontrollü bir şekilde mikroorganizmalar tarafından çürütülerek, toprak için yararlı olan humus ayarında bir maddeye dönüştürülmesidir. Kompostlaştırmada organik maddelerin tamamen ayrışıp mineralleşmesine imkan verilmez. Bu suretle kompostun daha sonra kullanılacağı toprakta bir organik madde kaynağı olması sağlanır.

Kompostlaştırmanın genel hedefleri ayrışabilir organik maddeleri biyolojik olarak stabil maddeye dönüştürmek, patojenleri, böcek yumurtalarını ve diğer istenmeyen organizmaları ve evsel katı atıklarda bulunabilen yabancı ot tohumlarını yok etmek, maksimum nutrient (azot, fosfor ve potasyum) içeriğine sahip olmak, bitki gelişmesini desteklemek ve toprak iyileştirici olarak kullanılabilen bir ürün elde etmektir. (Tchobanoglous, 1993)

Kompostlaştırma, özellikle mutfak ve bahçe atıkları gibi katı atık içerisindeki organik bileşenlerinin, kontrol edilen şartlar altında biyolojik olarak ayrışması işlemidir. Organik maddelerin aerobik veya anaerobik şartlar altında sağlığa zararsız, humusa benzer bir maddeye dönüşmesi ile sonuçlanan bu işlemde, ayrışmayı sağlayan bakterilerin faaliyetinin temini için uygun bir ortamın (nem, pH, C/N oranı, sıcaklık, vs.) sağlanması ve korunması gerekir (Baştürk, 2001). Şekil 4.1’de kompostlaştırma prosesi şematik olarak ifade edilmiştir.

Kompost prosesi iki ana bölüme ayrılmaktadır:

- Aktif kompost,
- Arıtma

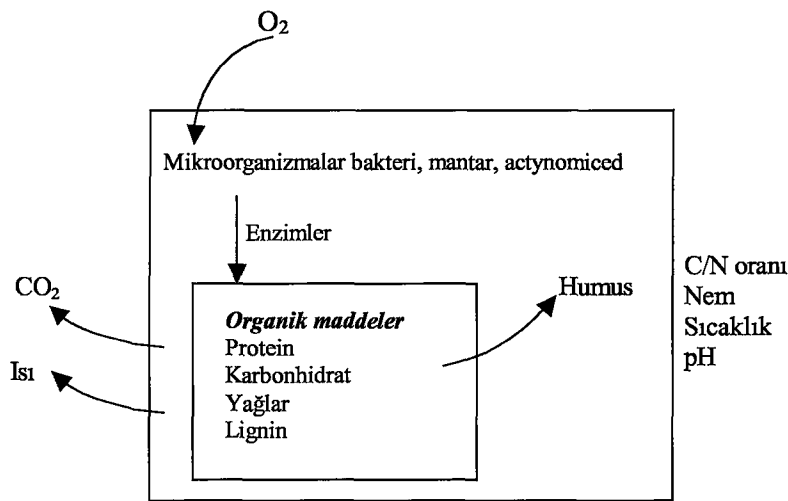
Aktif kompost periyodu boyunca güçlü mikrobiyal aktivite olmakta, metaryaller kolayca ayrışmakta, hatta selüloz gibi zor ayrışan maddeler bile ayrışmaktadır. Aktif kompost prosesini arıtma prosesi izlemektedir. Arıtma prosesi safhası düşük mikrobiyal seviye ile karakterize edilmekte ve aktif kompost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

ayrışmaktadır. Arıtma prosesi son safhasına ulaştığında kompost stabilize edilmiştir (Graves E. vd., 2000)

Kompostlaştırma prosesi boyunca, katı ve sıvı atıklar içerisindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalar vasıtasıyla daha basit bileşiklere, bilhassa CO_2 ve H_2O ya dönüşmektedir. Mikroorganizmaların metabolizma olayları neticesinde açığa çıkan ısı ile materyal $60-75^\circ\text{C}$ ye kadar ısınır. Kompostlaştırmadaki biyokimyasal ayrışma işlemi üç fazda gerçekleşmektedir;

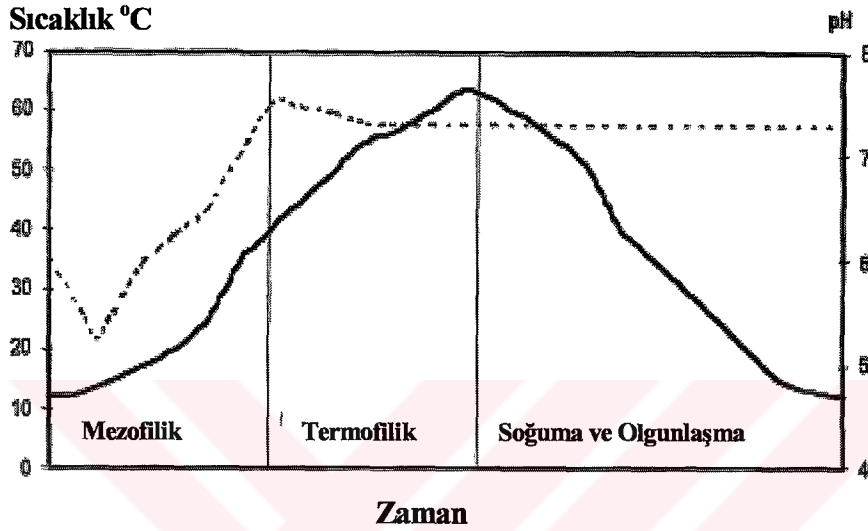
- Şeker, glikoz, nişasta gibi çabuk ayrışan organik maddelerin kuvvetli ısı çıkışıyla birlikte kısa sürede parçalanması,
- Zor ayrışan bileşiklerin (hemiselüloz, yağ, lignin, reçine vs.) nispeten uzun süren parçalanması,
- Mineralizasyon

Neticede 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 ettirilmelidir (Baştürk, 1979).



Şekil 4.1 Kompostlaşma prosesi

Aktif kompost periyodu 3 değişik sıcaklık aralığına sahiptir. Bu değişim aralıkları kompost yığınının hakim olan mikroorganizmalar tarafından belirlenir. Bu dönemler psikofilik, mezofilik ve termofilik olarak adlandırılmaktadır. 10 °C'nin altı psikofilik, 10 °C ile 40 °C arası mezofilik, 40 °C üzeri termofilik olarak adlandırılmaktadır. Yoğun çürüme termofilik fazda, son şartlandırma ise mezofilik fazda gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.2'de Kompostlaştırma işlemi esnasında sıcaklık ve pH'nın değişimi verilmiştir.

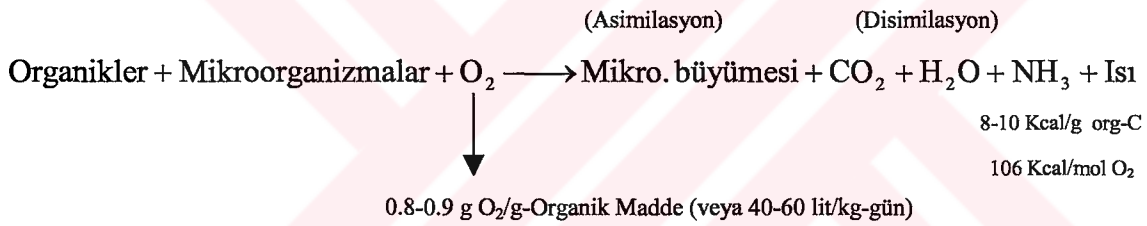


Şekil 4.2 Kompostlaştırma işlemi esnasında sıcaklık ve pH'nın değişimi

Katı atık yönetimi önem kazandıkça kompostlaştırma işlemi, düzenli depolama ve yakma yöntemlerine karşı ciddi bir alternatif olarak görölmektedir. Kompostlaştırma işlemi daha az istenmeyen yan ürün oluşturan ve daha az maliyet gerektiren biyolojik bir bertaraf sistemidir.

Kompostlaştırma prosesinde ilk adım aerobik ayrışmadır. Aerobik ayrışmanın devam etmesi için oksijenin yeterli olması gerekmektedir. Ayrışmayla beraber ortamda su buharı ve CO₂ artışı devam etmektedir. Atıklarda bulunan azot bileşikleri kısmen, uçucu NH₃'e dönüşmektedir. Fermantasyon sonucunda karışımın sıcaklığı artmaktadır. Kompostlaştırma prosesinde aerobik mikroorganizmalar aktif iken karışımın pH'ı nötr veya asidik ortama doğru meyilli olmaktadır. Proseste bu durum tercih edilir, ancak aerobik kompostlaştırmaya daha sonraları tamamıyla alkali ortam hakim olmaktadır.

Organizmalara difüzyon yoluyla ulaşan oksijen genellikle havadan temin edilir. Kompostlaştırma, eğer yığın döndürülür veya karıştırılırsa daha hızlı seyreder ve havanın kütlenin içine doğru üflenmesi ya da kütlenin içinden emilmesi sağlandığında daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. Nem muhtevası çok yüksek, yığın sıkıştırılmış ve bakteri sayısı çok fazla ise, oksijen yığına giriş hızından daha hızlı bir şekilde tüketilerek, anaerobik organizmalar üremeye başlar ve anaerobik ayrışma meydana gelir. Anaerobik ayrışma sonucunda aynı tip ürünler açığa çıkar, ancak bu işlem çok daha yavaştır ve rahatsız edici kokular meydana gelmektedir. Ayrıca, ürünü dezenfekte etmek için yeterli ısı üremez ve ürün bitkiler tarafından daha az tolere edilebilir bir hal alır. Kompost sistemlerinin çoğunda meydana gelen anaerobik bölgeler, aerobik bölgeler tarafından çevrelendiği takdirde elimine edilebilmektedir. (İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması ve Araştırma Projesi, YTÜ, 2002)



Yukarıdaki denkleme bakıldığında kompostlaştırma prosesinde organikler birincil ayrışmadan sonra, ikincil ayrışmayla daha kararlı bileşiklere dönüşmektedir. Son üründe organiklerin ayrışması çok yavaş bir şekilde cereyan etmekte, daha az miktarda oksijen tüketilmektedir. Kompost prosesi boyunca kimyasal parametrelerdeki değişim; Çizelge 4.1’de verilmiştir.

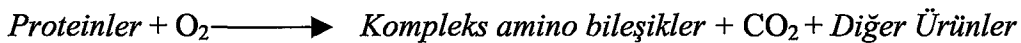
Çizelge 4.1 Kompostlaştırma Prosesi Boyunca Kimyasal Parametrelerdeki Değişim.
(Keiichi Koyama, 2001)

Numuneler	PH	TOK	TKN	C/N	NH ₄ -N	NO ₃	KOI
Birincil Fermantasyondan hemen sonra	7.8	31	2.1	15	280	30	3260
İkincil Fermantasyon, 14 gün	8.2	29	2.1	14	2370	30	2510
İkincil Fermantasyon, 30 gün	8.5	28	2.3	13	3020	160	2560
İkincil Fermantasyon, 58 gün	7.8	27	2.5	11	150	1300	1370
İkincil Fermantasyon, 74 gün	7.7	27	2.5	11	70	1710	1220

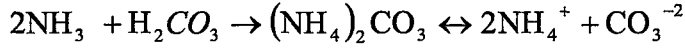
Aerobik şartların anaerobik şartlara karşı daha fazla tercih edilir olması, daha çok enerjinin açığa çıkması, ekzotermik reaksiyonlar sonucu sıcaklığın yükselmesi ve düşük seviyede koku oluşması sebebiyledir. Ayrıca aeroblar değişik türde ve ayrışması zor olan organik maddeleri ayrıştırarak stabilizasyonu tamamlamaktadırlar.

Anaerobik solunumda mikroorganizmalar elektron alıcısı olarak O₂ yerine, nitrati (NO₃⁻), sülfati(SO₄⁻²) ve karbonati(CO₃⁻²) kullanmak, H₂S ve CH₄ gibi bileşikler oluşmaktadır. Anaerobik solunumda ara ürün olarak organik asit oluşmakta ve bunlar bir araya toplanarak aerobik mikroorganizmalara zarar vermektedir. Aerobik solunumda da organik asitler ara ürün olarak oluşmakta, fakat bunlar sonradan ortaya çıkan reaksiyonlarla kolayca tüketilmekte, böylece anaerobik solunumdaki gibi önemli miktarda potansiyel kokuya neden olmamaktadırlar.

Kompostlaştırma prosesinde Organik azot veya proteinler parçalanarak kompleks amino bileşikler meydana gelmektedir. Bu prosese aminizasyon denilmektedir (Keiichi Koyama, 2001). Aynı zamanda CO₂, enerji ve diğer ürünler de üretilmektedir.



Amonyum bileşiklerinin ara dönüşümü pH ve sıcaklığa bağlıdır. Bu ara dönüşüm NH₃ ve NH₄ arasında aşağıdaki gibi olmaktadır.



Asidik şartlarda NH_4^{++} 'a, bazik şartlarda NH_3 'e yükseltgenme olmaktadır. Yığınlarda sıcaklığa bağlı olarak NH_3 gaz formunda oluşmaktadır (Graves E. vd., 2000).

4.1 Kompostlaştırma Prosesine Etki Eden Faktörler

4.1.1 Sıcaklık

Kompostlaştırma prosesinde her mikroorganizma grubu için uygun sıcaklıklar mevcut olup, kompostlaştırma işlemi mezofilik ve termofilik ortamda gerçekleşmektedir (Baştürk, 1998).

Sıcaklık kompost işlemi boyunca mikrobiyal aktiviteyi yansıtmaktadır. Beslemeye ve fiziksel durumlara bağlı olarak, sıcaklık genellikle ilk birkaç gün içerisinde 60-70 °C'ye yükselmektedir. Kalan günlerde küçük değişimler olmakta ve sıcaklık yavaş yavaş çevre sıcaklığına yakın hale gelmektedir. Düşük sıcaklıkta aerobik ayrışma vukuu bulmamaktadır. Bu olay yetersiz havalandırmadan, yetersiz azot ve karbon kaynağından, düşük nemden veya düşük pH'dan kaynaklanmaktadır (Graves E. vd., 2000).

Mikroorganizmalar organik maddeleri indirgerken ısı açığa çıkarırlar. Ortamdaki ısının yükselmesi hem mikroorganizmaların aktivitesinin bir ölçüsü hem de patojen mikropları öldürme aracıdır. Patojen bakteriler sadece çıkan ısıyla değil, metabolizma ürünü bileşikler dolayısıyla da öldükleri tespit edilmiştir (Tosun, 2003). Her mikroorganizma gurubu kendisine uygun bir sıcaklıkta yaşayabilir. Kompostlanan kütlede sıcaklık arttıkça ölen mikroorganizmaların yerine yeni duruma adapte olan türler alır. Bu da genelde daha hızlı bir ayrışmaya yol açar. Ne var ki, 55°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kompostlama verimi ve hızı önemli oranda düşer. Belirli bir süre devam eden sıcaklık, hastalığa yol açan mikropların ve virüslerin oluşmasını önleyerek, iyi kalitede bir kompost açığa çıkmasına sebep olur (Genois, 1995).

4.1.2 pH

Uygun olmayan pH'larda mikroorganizmalar enzim salgılayamamakta, çoğalamamaktadır. Genel olarak bakterilerin optimal pH ortamının 6-8 arasında olduğu söylenebilir. Buna karşılık mantarlar asidik ortamı tercih etmektedirler (Tosun, 2003). Bazı bakteriler ortalama pH değeri 6-7,5 arasında, bazı mantarlar ise 5,5-8 arasında faaliyetlerini sürdürürler. Kompostlaşan sistemin pH'ı, ortam ısınmaya başlayınca artan kükürt bakterilerin salgıladığı organik asitlerle yaklaşık 4-5'e düşer. Ortam asitli olunca mikroorganizmaların reaksiyon hızı azalmakta ve ısı yükselmemektedir. Daha sonra organik oksitlerin termofilik fazda tükenmesiyle yani kükürt bakterilerinin ölmesiyle ortamın pH'ı 8,5'a kadar yükselir. pH'nın artmasıyla birlikte NH_3 gazında artış olur (Demir, A. vd., 2001). Şekil 4.2'de Kompostlaştırma işlemi esnasında sıcaklık ve pH'nın değişimi verilmiştir.

Kompostlaştırma işleminde başlangıçta her hangi bir katkı maddesi olmadığı takdirde normal evsel katı atıklarda pH 7 civarında, yani nötrdür. Katı atıkların farklı pH'lara sahip olması nedeniyle kompostlaştırma prosesini hızlandırıp, olgunlaştırma süresini kısaltmak üzere kimyasal madde ilavesi bazı tesislerde uygulama alanı bulmaktadır. pH'ı artırmak için kireç, azaltmak için kükürt, kullanılan kimyasal maddelerdendir. Ancak artan pH ile NH_3 oluşumunun artmasına, dolayısıyla da azotun azalmasına dikkat edilmelidir. Tamamlanmış kompostun asitli topraklar üzerinde ayrıca bir alkalileştirme özelliği vardır (Baştürk, 1998).

4.1.3 Karbon - Azot Oranı (C/N)

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

Karbon, mikroorganizmaların büyümeleri ve enerji kaynağı için kullanılmaktadır. Aerobik ayrışmada karbonun bir kısmı CO_2 oluşturur, geriye kalan kısmı da azot ile

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

Azot hücre materyallerinin, amino asitlerin ve proteinlerin sentezi için kullanılmakta ve mikroorganizmaların hücre materyallerinden sürekli geri dönmektedir. Hiçbir azot hücre içinde birleşim yapmamakta, mikroorganizma öldüğünde tekrar ortaya çıkmaktadır. Karbonun büyük bir kısmı kompost boyunca serbest kalmakta böylece C:N oranı sürekli düşmektedir (Graves E. vd., 2000).

Kompostlaştırma prosesinde başlangıç C:N oranı hızlı kompostlaşmanın olması için 20:1-40:1 arasında tavsiye edilmektedir. Eğer C/N oranı 30'u geçerse, biyolojik aktivite yavaşlar ve prosesin tamamlanabilmesi için daha çok süreye ihtiyaç duyulur. Diğer taraftan, tam tersi bir durumda yani azot miktarı fazla veya yeterli miktarda karbon yok ise gerekli miktarda enerji sağlanmayacak ve mikroorganizmalar materyalleri ayrıştırmayacak, sonuç olarak stabil olmayan NH_3 veya NH_4 formları meydana gelecektir. Aşırı azot, amonyum gazı olarak serbest kalmakta, bu da kompost yığının içinde toksik etki meydana getirmekte ve koku yayılmakta veya yığının sızıntı suyu ile dışarı verilerek yüzeysel veya yer altı suyunu kirletmektedir.

Ölçülen C:N oranı daima doğru olarak mikroorganizmaların büyümeleri için gerekli olan nütrient miktarlarını yansıtmaz. Atıklar; basit şekerler örnek olarak meyve atığı içerirse ayrışmaları kolay olmakta, şayet atıklar odunsu türü materyaller içerirse ayrışmaları sınırlanmakta, lignin olur ise ayrışma daha çok zor olmaktadır. Bazı önemli azot türleri keratin dışında ayrışmaya dirençli değildir (Graves E. vd., 2000).

C/N oranı büyük olan bir organik maddenin toprağa verilmesi halinde toprakta bulunan N miktarı organik maddenin parçalanması için yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla ayrışma işlemine katılan mikroorganizmalar, yeni hücre yapımı için ihtiyaçları olan azotu topraktaki kolay çözülen azot bileşiklerini alarak hücrelerini inşa ederler. Tersine olarak C/N oranının küçük olması halinde fazla azot, amonyak şeklinde dışarı çıkabilir. Her iki durum da azot kaybına, dolayısıyla toprağın fakirleşmesine yol açacağından istenmemektedir (Baştürk, 1998)

4.1.4 Su Muhtevası

Mikroorganizmalar çoğalmaları için gerekli besini suda çözünmüş halde almaktadırlar. Yapılarının ortalama %80'i sudur. Yeterli su bu sebeple kompostlaştırma için şart ise de suyun fazlası havalandırmayı engellemekte ve özellikle ortamı anaerobik hale dönüştürerek kokulara ve patojen mikroorganizmaların canlı kalmasına sebep olmaktadır. Optimum su muhtevası katı atığın bileşimi ve yapısıyla yakından alakalıdır. İri parçalı, su emici ve samana benzer kısımları fazla olan materyalde bu değeri daha yüksek (% 85-90); kağıt, sebze, kül gibi toprağımsı kısımları çok olan katı atıklarda ise daha düşük tutmak gerekir. Bu değer evsel katı atıklar için % 50-60 olarak önerilmektedir. Bakterilerin faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için minimum nem oranı %12-15 dir. Nemin bu dereceye inmemesi gerekmektedir.

Pratik kaide olarak akılda tutulacak olan değer, dane boyutu, vs. faktörlere göre değişmekle beraber nem oranı %45-55 arasında kalmalıdır (Baştürk, 1998).

4.1.5 Mikrobiyal Özellikler

Kompost yığnında farklı mikroorganizmaların gelişimi; farklı sıcaklık seviyelerine, nem, oksijen ve pH'a bağlı olmaktadır. Mikroorganizmalar kompost yığnında amino asitleri, basit şekerleri, kompleks proteinleri ve de karbonhidratları ayrıştırmaktadırlar.

Bazı yüksek moloküler ağırlığa sahip materyaller hücre içerisine direkt olarak geçememektedirler. Bu materyallerin hücre dışı enzimler tarafından parçalanması gerekmektedir. Kompost yığnında bulunan bütün mikroorganizmalar enzim üretememektedirler. Hücre dışı enzimler, bakteriler gibi bazı basit yapılı mikroorganizmalar tarafından üretilmektedir. Daha zor ayrışan materyalleri parçalayan enzimler funguslar tarafından üretilmektedir (Graves E. vd., 2000).

Kompost yığnında yaşayan mikroorganizmalar; bakteri, fungi ve aktinomisetler olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadır. Ayrıca bunlar aerob, anaerob ve fakültatif olmak üzere de 3 sınıfa ayrılmaktadır. Kompost yığnının sıcaklığı ve optimum büyüme oranlarına göre de; psikofilik, mezofilik ve termofilik olarak da 3 sınıfa ayrılmaktadır.

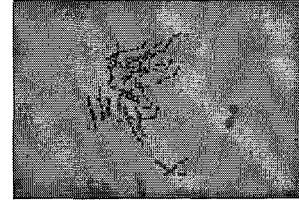
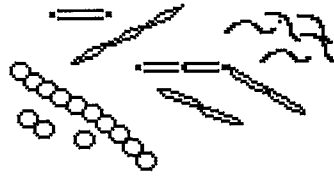
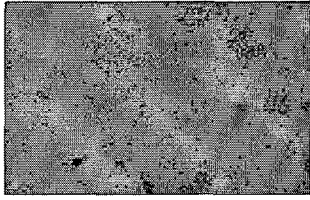
Bakteriler küçük ve basit organizmalardır. Bakteriler çeşitli çevre şartlarında yaşayan ve ayrışma görevini üstlenen, çok geniş dağılım içeren organizmalardır. Bakteriler çok hızlı ayrıştırıcılarıdır. Onlar bazı nütrient ve basit şekerleri stabilize ederek fungilerin besinleri için üretim yapmaktadırlar. Bazı bakteriler selülözler gibi zor parçalanmış atıkları da ayrıştırmaktadırlar. Bazı bakteriler uygun olmayan çevre şartlarında (yüksek sıcaklıkta ve düşük nemde) endospor oluşturmaktadırlar (Graves E. vd., 2000).

Fungiler bakterilerden daha büyük organizmalardır ve filamentli organizmalar olarak ta adlandırılmaktadırlar. Fungiler odunsu maddeleri ve diğer dirençli materyalleri (waxları, proteinleri, selülözleri, lignin ve pektinleri) ayrıştırmaktadırlar. Nem'e ve pH'a bakterilerden daha az duyarlıdır. Fungilerin büyümeleri için en önemli ihtiyaçları oksijendir. Fungiler 60 °C'nin üstünde yaşayamazlar. Dolayısıyla kompostlaştırma sürecinde fungilerin eksikliği ve yokluğunda zor ayrışan materyallerin ayrışmayacağı, böylece kompostlaştırma prosesinde ayrışma döneminin tamamlanmayacağı ifade edilmektedir (Graves E. vd., 2000). Yüksek sıcaklık da patojen mikroorganizmalar yok edilirken, bunun yanında faydalı mikroorganizmaların yok edilmemesine dikkat edilmelidir.

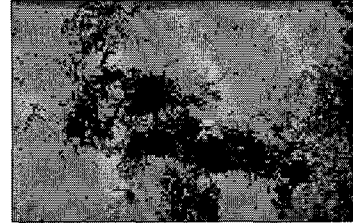
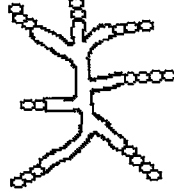
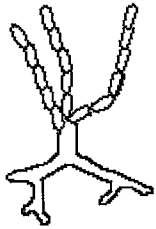
Aktinomisetler teknik olarak bakterilerdir, yapı ve boyut olarak fungi'ye benzerler (Graves E. vd., 2000). Aktinomisetler de filament oluşturarak çeşitli substratları kullanırlar. Aktinomisetler organik asitleri, şekerleri, nişastayı, selülözü, hemselülözü, proteinleri, pelipeptitleri, amino asitleri ve ligninleri ayrıştırmaktadırlar.

Kompost yığını soğumaya başladığında yapısal olarak daha yüksek seviyeli organizmalar ortamı istila etmektedir. Bu organizmalar protozoalar, nemotadlar ve rotiferlerdir (Graves E. vd., 2000). Bunlar bakterilerin ve fungilerin biomaslarını tüketmekte, lignin ve pektinlerin parçalanmasına yardım etmektedirler. Soğuyan kompostta son özelliklerini veren; ölü bakterileri de içeren geriye kalan besinle beslenen, genellikle mantar ve aktinomisetlerden oluşan yeni bir grup organizma çoğalmaktadır. (Uğurlu, 1995).

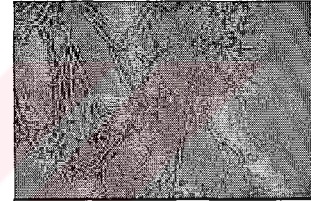
Kompostlaştırma işleminde etkili olan mikroorganizmalar Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



a) Bakteriler



b) Aktinomisetler



c) Mantar



d) Protozoa



Rotiferler

Şekil 4.3 Kompostlaştırma işleminde etkili olan mikroorganizmalar

4.1.6 Havalandırma

Oksijen varlığı en önemli çevresel etkidir. Kompostlaştırmanın hızlanması için katı atıklara yeterli oksijenin verilmesi gerekir. Aksi halde ortam anaerobik olur, sıcaklık düşer, patojenler ölmez, çürüme sonucu kötü kokular ortaya çıkar.

Kompostlaştırma sırasında üç temel havalandırma yöntemi vardır: Kütleyi fiziksel olarak aktarma, konvektif hava akımı ve mekanik havalandırma. Statik sistemler oksijeni blowerlarla veya konvektif hava akımı ile temin ederken, yığın sistemler ilk iki yöntemi kullanırlar. Pasif havalandırma olarak adlandırılan sonuncusu, yüksek derecede poroziteye bağlıdır. Ototermal reaktörle yapılan bir çalışmada, kompostlaştırılacak materyalinin çevrilmesi ilk olarak sıcaklık 43 °C'ye yükseldiği zaman ve daha sonra sıcaklık 60 °C'ye ulaştıktan sonra her 24 saatte bir elle yapılmıştır (Kubota vd., 1991).

Açık yığın halinde basit yöntemle kompostlaştırma için havalandırmayı sağlamak üzere öğütülmemiş atıklar 3,5-4 m, öğütülmüşler ise 1.8-2 m. yükseklikte yığılabılır. Bunların uygun aralıklarda (2 haftada bir) kürekle veya iş makinalarıyla aktarılması havalandırmayı sağlamaktadır. Nem oranı yüksek atıklar daha alçak, kuru olanlar daha yüksek yığınlar halinde yığılabılır. Bazı kapalı tipte kompost hücrelerinde yaklaşık 4 m³/saat –ton hava gerektiği imalatçılar tarafından bildirilmektedir. Bunun yanında kompostun kapalı parçalayıcı-silindricilerle havalandığı bazı patentli metotlarda 0,6-0,7 m³/saat –ton gibi değerler ileri sürülmektedir (Baştürk, 1998). Diğer yandan kullanılan havalandırma donatısı, fiziksel durum ve işletme oksijen ihtiyacına tesir etmektedir.

4.2 Kompostlaştırma Metotları

Açık kompostlaştırma (yığınlar halinde) ve kapalı kompostlaştırma (silo, hücre) adı altında birçok yöntemler geliştirilmiştir. Açık kompostlaştırma daha çok doğal şartlara yakın cereyan etmektedir. Kapalı kompostlaştırma işlemlerinin avantajı yüksek kapasiteli olmaları, kısa sürede tam olgun kompost üretebilmeleri ve iklim şartlarına bağlı kalmaksızın sürekli üretim yapabilmeleridir. Dezavantajları ise kuruluş maliyetleri ile bakım giderlerinin yüksek oluşu ve fazla enerji ihtiyacıdır.

Belli başlı 4 metot geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bunlar;

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

4.2.1 Pasif Kompost Yığınları

Pasif kompostlaştırma metodunda yığınlar zaman zaman döndürülmektedir. Bu metotda yığınlar küçük ve yüksekliği az olduğu için havalandırma pasif bir şekilde olmaktadır. Karışık özel ham materyallere özellikle dikkat etmek gerekmektedir. Ham materyallerin karışık olmasından dolayı porozite ve yeterince havalandırma olmayabilmektedir (Graves E. vd., 2000).

Pasif kompostlaştırma metodu, minimum ölçüde emek ve havalandırma ekipmanlarına ihtiyaç duymaktadır. Kompostlaştırma yığınlarında büyük oranlarda anaerobik zonlar geliştiği için kompostlaşan materyallerin sık sık yığından ayrılması gerekmektedir. Ayrıca anaerobik zonlar oluştuğu için büyük oranda koku problemleri de vukuu bulmaktadır.

4.2.2 Windrow

Yığınlar düzenli bir şekilde havalandırılırlar. Ham materyaller karışıktır. Windrow şekilleri ve büyüklükleri iklime, ekipman ve materyallere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu metotda yığınlar 1.8-3 m yüksekliğe, 4.5-6.0 m genişliğe ve genellikle 100 m'ye kadar değişen uzunluğa sahiptirler. Küçük windrow yığınları büyük ısı kayıplarına maruz kalmaktadır. Büyük yığınlarda ise anaerobik tabakalar ve koku problemleri vukuu bulmaktadır (Graves E. vd., 2000).

Windrow yığınları pasif kompostlaştırma metodunda olduğu gibi pasif havalandırma ile havalandırılırlar. Pasif havalandırma için gerekli porozite windrow yığınlarının düzenli bir şekilde dönmesini sağlamaktadır. Windrow yığınlarının döndürülmesiyle karışık materyallerin sıcaklıkları serbest kalır, su ve gaz buharlaşır, böylece kompost materyalleri daha düzgün bir hal alır. Önemli miktarda ısı açığa çıkışıyla windrowların içinde aşırı sıcaklık birikimi önlenmiş olmaktadır.

Windrow yığınlarının döndürme programı yığının sıcaklığına, kompostun stabilitesine, emek ve ekipman kabiliyetine bağlı olarak işletimleri değişiklik gösterir. Döndürme sıklığı haftalık ve aylık olabilir. Döndürme sıklığı ve sayısı daha iyi kompost alınmasını sağlamaktadır.

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

Yaygın olarak proses başlangıcında karıştırma ekipmanı, yığın oluşturma ve aktarma ekipmanları kullanılmaktadır. Gübre ayırıcılar windrow yapımı için kullanılmaktadır. Windrow metodu çiftliklerde rahat ve kolay bir şekilde uygulandığından ve de iyi kompost kalitesine haiz olduğundan dolayı çiftçiler tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

4.2.2.1 Pasif Havalandırılmalı Windrowlar

Pasif havalandırılmalı Windrowlarda döndürme olmamaktadır. Borularla tabandan verilen hava, kompostun içine yavaşça hareket ederek havalandırmayı tamamlar. Diğer bir uygulamada havalandırma boruları windrowların üst tabakasına veya alt tabakasına monte edilebilir. Windrowların alt tabakasına döşenen borular çürümüş bitkilerde ve kurumuş tahıl saplarında uygulanmaktadır. Windrowların üst tabakasına döşenen borular bazı fonksiyonlara hizmet dışında çürümüş bitki kütlelerinde ve bitmiş kompostlarda kullanılmaktadır (Graves E. vd., 2000).

Pasif kompostlaştırma sisteminde ana faktör iyi gözenek ve havalandırma yapısının yeterli olması gerekmektedir. Pasif havalandırma yığınları Windrow metot'daki kadar yüksek olmamaktadır. Tipik yükseklikleri 0.9-1.2 m, genişlikleri ise yaklaşık 3 m kadar olmaktadır.

4.2.3 Havalandırılmalı Statik Yığınlar

Pasif havalandırılmalı windrowlarla ile Havalandırılmalı statik yığınlar arasında esas fark, blowerların kullanılmasıdır. Blowerlar havayı emerek yığınlara verir ve böylece pozitif basıncın meydana gelmesini sağlarlar (Graves E. vd., 2000).

Statik yığınların girişte, kompost teşekkülünde ve son bölümde gözenek yapısına sahip olması ve havalandırma dağıtım yapısının yeterli olması gerekmektedir. Hücre büyümesinde etkili olan en önemli nokta gözenek yapısıdır.

Blowerlarla havalandırmada gerekli ekipmanların hesaplanması gerekmektedir. Bunun için blowerların kapasitesi (m^3/sa) ve basma yüksekliği, boruların cinsi, uzunluğu ve çapının belirlenmesi gerekmektedir. Havalandırma Statik yığınlar tarımında uygulanan kompostlaştırma proseslerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.2.4 In-vessel Sistemleri

4.2.4.1 Bin

Bu Kompostlaştırma metodunda tahtadan yapılan kutular, kullanılmayan depolama kutuları veya üstü kapalı veya açık kutular kullanılmaktadır. Bazı kutularda havalandırma statik yığınlarındaki havalandırma sistemi kullanılmaktadır (Graves E. vd., 2000).

4.2.4.2 Sallamalı Diktörtgen Yataklar

Sallamalı diktörtgen yataklar uzun, dar yataklardır. Bunlar otomatik veya periyodik olarak döndürülmektedirler. Dönme diktörtgen yatak boyunca sisteme monte edilen karıştırıcılar vasıtasıyla olmaktadır. Havalandırma için bazı sistemlerde blowerlar kullanılmaktadır (Graves E. vd., 2000).

4.2.4.3 Silo

Bu metotta kompostlaştırma hızlı olmakta, havalandırma ise uzun zaman almaktadır. Kompost materyalleri silonun üstünden yüklenmekte, silonun altında bir karıştırıcı kullanılarak karıştırılmaktadır. Havalandırma tabandan yukarıya doğru olmaktadır. Kirli hava üstte toplanarak biofiltre gibi koku arıtan sistemlere verilerek arıtılmaktadır (Graves E. vd., 2000).

4.2.4.4 Döner Borular

Döner Borular, ebatları küçük olan atıkları kompostlaştırmak için kullanılmaktadır. Kompost karışımı borunun üstünden doldurulur. Karışım birinci perde tabakasında son bulur. Borudaki atıklar birinci perde ile ikinci perde arasındaki tabakaya boşaltılırken havalandırılır. Borunun doldurma kapasitesi ve büyüklüğü döndürme şeklini sınırlandırmaktadır (Graves E. vd., 2000).

4.3 Kompostun Kalitesi

Kompost kalitesi kimyasal, fiziksel, biyolojik yollarla belirlenir. Kompostun kalitesi son kullanımına yani ne amaçla kullanacağına bağlı olarak tespit edilir. Fiziksel karakteristik, kompostun dane boyutuna, yapısına, görünüşüne ve kompost olamayan maddelerin kompostta bulunup bulunmadığına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu karakteristikler kompostun kalitesi ve bilhassa satılması için çok önemli özelliklerdir. Kompostun partikül boyutu, görünüşü ve yapısı tarıma uygulandığında daha az öneme sahip özelliklerdir. Dane boyutu kompostun kullanım alanına bağlı olarak değişmektedir. Partikül çapının 1.2 cm den az olması bitkilerde kullanımı ve toprak ıslahı için yeterli olmaktadır. En üst seviyede kompost kalitesinin partikül boyutu 6 mm'den küçük olması gerekmektedir. Kompostun yapısı sanki bir toprak gibi, rengi ise koyu kahve rengiden siyaha doğru olması gerekmektedir. Kompostun kullanılmasında kompost olamayan maddeler önem arz etmektedir. Çünkü kullanıcılar cam, plastik ve diğer kompost olamayan maddeleri olgunlaşmış kompostda istemezler.

Kompostun gübre, toprak ıslahı ve bitkiler için fitotoksisite etkisini öğrenmek açısından kimyasal karakteristik çok önemlidir. Kimyasal karakteristik; organik madde, nem, pH'ı, bünyesindeki metalleri, nütrientleri ve çözülebilir tuzları kapsamaktadır.

Bitmiş kompostta istenilen nem muhtevası % 30-50 arasında değişmektedir. Kompostun nem oranı % 60 dan fazla olduğu zaman araziye uygulanması zordur. Ayrıca nem yüzdesi fazla olan kompostun satılması, elle işlem yapılması zordur. Kuru kompostun en önemli deavantajı ise önemli miktarda toz ihtiva etmesidir. Organik maddesi yüksek kuru kompostun toprağa uygulanması zordur. Çünkü kompost toprağın yüzeyinde kalmaya meyillidir (Graves E. vd., 2000).

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

Laboratuvar analizleri, kompost içinde çok miktarda nütrient olduğunu göstermiştir. Nütrient analiz yöntemlerinin bilinmesi kompostun kalite tespiti açısından çok önemlidir. Kjeldal azotu tayin yöntemi en önemli laboratuvar testi olup, bu yöntemle kompost içinde organik azot tayin edilmektedir. Toplam Kjeldal azotu, organik ve amonyum azotunun toplamıdır.        nitrat azotu bu test de serbest kalmaktadır. Eğer amonyum azotu belirlenebilirse, toplam azottan amonyum azotu çıkarılarak organik azot tayin edilmektedir.

Aktif kompostda oluşan azotun ilk formu amonyum (NH_4^+) azotudur. Çok fazla miktarda NH_4^+ , bazı bahçe bitkilerine zarar vermektedir. Kompostun ilerleyen safhasında amonyum azotu yavaş yavaş nitrat azotuna dönüşmektedir. Olgunlaşmış kompostta bulunacak pH seviyesine ve amonyum azotuna bağlı olarak, kompostun bitki türlerine uygulamaları farklı olmaktadır.

Bitkilerin büyümesi için diğer önemli nütrientler fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyumdur. C:N oranı yüksek olan kompost toprağa uygulandığında toprak mikroorganizmaları enerji kazanmak için bitkilere lüzumlu olan azot yerine fazla karbonu indirgeyeceklerdir. Bu durum da bitkilerin büyümesine ters etki yapmaktadır (Graves E. vd., 2000).

Kompostun metal içeriği, insanların tüketimi olan bitkiler için kullanıldığı zaman büyük önem arz etmektedir. Metal muhtevası, arıtma çamuru ile evsel atıklar beraber kompostlaştırıldığı zaman daha büyük önem arz etmektedir. Bazı Avrupa  lkelerinde kompost standartları bakımından karşılaştırılan ağır metal analizleri  izelge 4.2’de verilmiştir (İstanbül Katı Atık İşleme KAY (Geri Kazanma ve Kompostlaştırma) Tesisinin İşletilmesine ait Eğitim ve Müşavirlik Hizmetleri Ocak ayı raporu.).

Çizelge 4.2 Çeşitli Avrupa Ülkelerinde Kompost İçin Kalite Standartları mg/kg Kuru Madde

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

Çözülebilir tuzlar bitkilerin su absorblama kapasitesini indirerek ve de toksik etki yaparak zararlı olabilir. Çözülebilir tuzlar türlerine ve konsantrasyonlarına bağlı olarak bitkilere zarar vermektedir. Kompost, bitkilerin çözülebilir tuzlara karşı toleransına bağlı olarak uygulanmaktadır. Sodyum tuzları potasyum tuzlarından daha fazla bitkilere zarar vermektedir (Epstein, 1997).

Eğer kompostun mikroorganizma aktivitesi çok yüksek ise kompost stabildir. Stabil kompost bitkiler için kullanılamaz. Çünkü mikroorganizmalar bitkilerin büyümesi için gerekli olan nütrientleri tüketmeye devam etmektedirler. Aynı zamanda kompostta hastalık yapıcı faktörler gizli bulunmaktadır. Patojen mikroorganizmaların mevcudiyeti kompostun olgunlaşma derecesine de bağlıdır. Olgunlaşmamış kompostta patojen mikroorganizmalar yüksektir, bu da hastalıkların artmasına sebep olmaktadır. Kompostta patojen mikroorganizmaların gizli hastalık yapıcı etkeni çok ciddi kontrolü gerektirmektedir. Bunun için en önemli kontrol biyolojik testlerdir.

King County ve Washington'da kompost kalitesi için bazı kriterler geliştirilmiştir. Bu kriterler:

- Olgun kompost, % 1-inc'lik elekten geçmelidir. (AASHTOD T87 VE T88'e göre)
- pH 5 ile 8 arasında olmalıdır. (WSDOT Test Method 417'ye göre)
- Yabancı materyaller (plastik, mineral topraklar, beton ve metaller) kuru ağırlığın ve hacim oranının % 2'sini geçmemelidir.

4.4 Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğu

Kompostun stabilitesi, onun kullanılabilirliğinin ve olgunluğunun göstergesidir. Stabil ve olgun kompostda aktif periyot tamamlanmış, organik asit ve zor ayrılan bileşiklerin ayrışması neticesinde humik asit ve nitrat azotu oluşmuştur. Olgunlaşmamış kompost; aşırı C:N oranı, amonyum azotu, uçucu organik asitler veya diğer fitotoksit bileşiklerden dolayı bitkilere zararlı olabilir veya öldürebilir. Olgunluk testleri aynı zamanda kompostun depolanabilirliğinin ölçüsüdür. Bir çok metot kompostun stabilitesini belirlemekle beraber, hiçbirinin güvenilirliği kanıtlanmış değildir. Bunlara ilaveten bu testler çok incelikli ve pahalıdır (Graves E. vd., 2000).

Kompost stabilitesini ve olgunluğunu değerlendirmede kullanılan parametreler Çizelge 4.3'de verilmiştir (Epstein, 1997).

Çizelge 4.3 Kompost için stabilite ve olgunlukta kullanılan parametreler

Metot	Analizler
Kimyasal metotlar (Az zaman gerektirir)	C/N Azot türleri (TKN, NH_4^+ -N, NH_3 -N, NO_2 -N, NO_3 -N) TOC Organik madde Toplam PO_4 -P pH Kasyon Değişim Kapasitesi Uçucu Organik Asitler Organik Kimyasal Bileşenler (selüloz, lignin, şeker, hidrokarbonlar vb.) Asetik asit Nişasta –iyot Reaktif karbon Hümikleşme parametreleri - Hümikleşme indeksi - Pulvik asitin hümik asite göre nisbi konsantrasyonu - Hümik madde - Fonksiyonel gruplar
Fiziksel Metotlar	Sıcaklık Renk, koku, spesifik ağırlık Nem Florasan
Bitki Testleri	Tere tohumu buğday ve çavdar otu filizlenmesi kök rengi
Mikrobiyolojik testler ve aktivite	Solunum- O_2 tüketimi Solunum – CO_2 değişimi Mikrobiyel değişimler (mantar, aktinomisetler) Enzim aktivitesi
Mikronütrientler	Cu Ni Mo Fe Zn Mg Na K Ca
Kalorifik değer	

C/N oranı kompostun stabilitesinin göstergesi için kullanılmaktadır. Bu oran 20 nin altında ise kompost stabil olarak varsayılmaktadır. Keller(1961)'in ifadesine göre C/N

oranı kompostun yaygın olarak kullanılan stabilite parametrelerine bağlı olarak güvenilir değildir. Olgunlaşmış bir kompost da C/N oranı yaklaşık 10 civarındadır (Mathur 1991).

Büyükbaş gübresi ile yapılan bir kompostlaştırma çalışmasında ilk 60 gün içerisinde C/N oranının hızla 27'den 10'a düştüğünü, 60 günden sonrada 8.7'ye yavaş bir şekilde düştüğü görülmüştür. (Inbar ve D. 1990).

Amonyanın olması kompostun olgunlaşmadığının göstergesidir. Nitratın olması iyi olgunlaştığının göstergesidir. Tek başına azot türleri yeterli değildir. $\text{NH}_4 / \text{NO}_3$ iyi bir göstergedir (Epstein, 1997).

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

Kasyon değişim kapasitesi (CEC), inorganik veya organik partiküllerin absorblama yeteneğinin veya onların yüzeylerinde kalan kasyonların bir göstergesidir. Çoğu kasyonlar (K, Ca, Mg vb.) önemli bitki nütrientleri oldukları için CEC ne kadar yüksekse partiküllerin bu nütrientleri tutma yeteneği o kadar fazladır. Aerobik kompostlaştırmada 5-8 hafta boyunca CEC değeri yaklaşık olarak 40-meq/100 gr'dan 80 meq/100 gr'a kadar artmakta ve sonra aynı kalmaktadır. CEC ve C/N oranı arasında negatif korelasyon mevcuttur ($r=-0,94$). Olgunluğun göstergesi olarak minimum değer 60 meq/100 gr kabul edilebilir.

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

Kompostun stabilitesinin diğerk bir ölçümü CO₂ kaybı oranı yani ayrışma oranının belirlenmesidir. 24 saat boyunca 34 °C de organik karbonun solunumla ilişkisi ağırlık kaybı ölçülerek bulunur. Düşük miktarda CO₂ ileri derecede humifikasyon ve stabilitenin göstergesidir (Graves E. vd., 2000).

Kompostda mevcut uçucu organik asitlerin belirlenmesi diğerk bir stabilite göstergesidir. Stabil yüksek kalite de kompost uçucu organik asit içermez. Bu asitler asetik ve butirik asittir. Onların mevcudiyeti anaerobik fermentasyonun, koku problemi, fitotoksisitenin ve stabil olmayan bir durumun göstergesidir.

Kompost stabilitesinin en iyi göstergesi bitkilere olan etkisidir. Fitotoksitite (bitkilerin zehirlenmesi) yüksek oranda ağır metal seviyesi, toksik bileşikler, organik asitler ve aynı zamanda kompostun oksijen talebinden kaynaklanmaktadır. Kompost stabilitesi ile fitotoksitite arasında sınıflandırma Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Kompost stabilitesi ile fitotoksitite arasında sınıflandırma
(Graves E. vd., 2000).

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

Bitkilerde tohum oluşumunu göstermek ve bitki büyümelerini görmek için kompost yatakları veya saksılar kullanılır. Bu maksat için en yaygın olarak tere tohumu kullanılmaktadır. Çünkü tere tohumunun büyümesi çok daha hızlı olmaktadır.

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

Olgun kompost koyu kahverengi olup kokusu orman toprağına benzemektedir. Olgun kompostta renk proses boyunca kahverenginden siyaha doğru gözlemlenmektedir. Olgun kompostda toprak kokusuna eser miktardaki gaz bileşiklerı sebep olmaktadır. Bu gazlar amin ve 2-metilsoberneol bileşiklerdir. Bu bileşikler fungi ve aktinomisetler tarafından üretilir (Becker, 1995). Olgun kompostun özgül ağırlığı artar, olgun kompostda bu değır 0,5-0,9 kg/L'dir. Verilen aralıklar geniş olduğı için stabilite için tam bir ölçü değildir (Epstein, 1997).

4.5 Kompostun Kullanım Alanları

Kompostun başta gelen faydası zemin yapısını ve özelliğini iyileştirmesidir. Kompostun faydası şöyle sıralanabilir. (Baştürk, 1979):

- Zeminin boşluk hacmini artırması
- Zeminin havalandırmasını kolaylaştırması
- Zor işlenen toprakların kolay işlenmesini sağlaması
- Su tutma kabiliyetini artırması
- Yüksek mineral gübrelemeye karşı tampon tesiri
- Besin maddelerinin daha iyi kullanılması

Kompost tarımda toprak kalitesini iyileştirmek amacıyla kullanılır. Bunun yanında bahçelerde, parklarda, bağlarda v.s. yerlerde rahatlıkla kullanılmaktadır. Kompostlaştırmada çıkan yüksek sıcaklık ve antibiyotik maddeler, katı atıkların içinde bulunan patojen mikropların tamamen ölmesine neden olur. Böylece kompost çevre sağlığı açısından kusursuz olarak kullanılabilir.

Kompostun tarımda kullanılabilmesi için;

- Kompostun, hijyenik yönden kusursuz olması, canlı sağlığını tehdit etmemesi,
- C/N oranının 35'den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktöre azot beslemesinin yapılması,
- Toprak ıslahı için kullanılacak kompostta, organik madde muhtevasının kuru

maddenin en az %35'i oranında olması,

- Piyasaya sürülen kompostun su muhtevasının %50'yi geçmemesi,
- Üretilen kompostun dane büyüklüğü itibariyle sınıflandırılması,
- Piyasaya sürülen kompostun içinde cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi maddelerin toplam ağırlığının %2'sini geçmemesi gerekir.

Üretilen kompost, bitkilerin ihtiyaçlarına uygun hale gelmesi için kimyasal gübre ile desteklenebilir. Bazı durumlarda, içinde endüstriyel atıklardan ileri gelen zararlı konsantrasyonlarda kirletici içermemesi koşuluyla arıtma çamuru, kompostlanacak katı atıkla karıştırılabilir.

Topraklar organik madde içeriğine göre sınıflandırıldığında, organik madde oranı $<1\%$ ise çok fakir, $1-2\%$ ise zayıf, $2-4\%$ ise orta olarak tanımlanmaktadır. Türkiye toprakları bu sınıflandırma çerçevesinde değerlendirildiğinde, %90'ından fazlasının organik maddece fakir ($<1\%$) sınıfına girdiği tespit edilmiştir (Kasnakoğlu ve diğ.,1995).

Bitki yetiştirmede, özellikle gübrelenmeyen topraklarda organik maddenin besin içeriği önemlidir. Organik madde içinde tutulan besin maddeleri, toprak florası tarafından, faunasının da yardımıyla, bitkilerin alabileceği forma dönüştür ve böylece organik madde, bir besin maddeleri kaynağı oluşturur. Toprakta biyolojik aktivite ne kadar yüksek olursa, organik madde içindeki besin maddelerinin akışı da o kadar yoğun olur. Organik madde heterotrof toprak organizmalarının yaşamı için asıl kaynak olduğundan, toprakların organik madde içeriği ve bunun bileşimi ile toprak organizmalarının sayısı ve cinsi arasında sıkı bir ilişki vardır. Aynı şey toprak organizmalarının mineralizasyon, hava azotunu bağlama ve toprak yapısı dayanıklılığını sağlama gibi etkinlikler için de geçerlidir. Yüksek miktarda organik maddenin bulunması durumunda çürükçül organizmaların gelişmesi artar ve parazitlerin gelişmesi baskı altına alınır, ya da çürükçül beslenmeden parazitik beslenmeye geçiş önlenir. Kalıcı biyolojik etkinliğin sağlanabilmesi için, kullanılan organik maddelerinin yerine toprağa yenisinin verilmesi gerekir.

Öte yandan organik madde, özellikle topraklarda kaba gözenekleri bulunan bir kesecik yapısının oluşmasını ve bunun dayanıklılığını sağlar, toprakların hava ve su tutma kapasitelerini iyileştirir. Bu durum siltli, tınlı ve killi topraklar için önemlidir. Organik madde kendi ağırlığının 3-5 katı su tutabilmekte olup, özellikle kumlu topraklar için önemlidir. Çünkü bu topraklarda tarla su kapasitesi organik madde miktarına bağlıdır. Öte yandan, organik madde toprağın üst katmanına koyu bir renk verir ve bununla toprakların ilkbaharda çabuk ısınmasını sağlar.

Toprağın kıvam sınırları daha yüksek su içeriklerine doğru kaydırıldığından geniş bir nemlilik sınırı içinde yapısı bozulmadan işlenmesi sağlanır. Genelde organik madde içeriğinin yüksek olduğu durumlarda kültür bitkilerinin hastalıklara karşı direnci de artar.

Organik maddeler, yeşil bitkiler tarafından fotosentez yoluyla üretilen biyokütle (yapraklar, dallar vb.) yanında, ölü köklerden, canlı köklerin ve mikroorganizmaların çıkardığı salgınlardan, ölmüş hayvan ve mikroorganizmalardan oluşur. Kök ve mikroorganizma kalıntıları sürekli olarak toprağın canlı tabakaları (horizonları) içinde birikir. Tarım topraklarında, özellikle tarla topraklarında, hasat artıklarının toprağa sürümle karıştırılmasından başka, gübreleme ve çöplerin atılması ile de toprağa organik maddeler katılmış olur (İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması ve Araştırma Projesi, YTÜ, 2002).

Tarımda kullanmak için kompost, olgunlaşmayı tamamlamalı, verimli kılan elementleri (N,P,K) asimile etmiş olmalı, ağır metal seviyesi düşük olmalı ve patojenik bakterilerden arınmış olmalıdır (Hachicha, vd. 1992).

Kompost çeşitli tarım sektörlerinde aşağıdaki miktarda kullanılabilir. (Tabasaran, 1979):

- Çapalama gerektiren tarım ürünlerinde 60-250 t/ha
- Tahıl Tarımında 100 t/ha
- Meralarda 30-50 t/ha
- Üzüm Bağlarında 80-300 t/ha
- Meyva Tarımında 200-1000 t/ha
- Sebze Tarımında 300-500 t/ha
- Süs Bitkilerinde 200-500 t/ha
- Fidancılıkta 300 t/ha'a kadar
- Spor alanlarında 400 t/ha
- Yeşil Sahalarda 300-600 t/ha

Kompost içindeki zararlı maddelerin zararlarını ve uygulamadaki toksik etkilerini belirlemek için, kullanılan kompostun zeminin ve yetiştirilen bitkinin belirli zamanlarda incelenmesi gerekir. Bitkilerin muhtelif elementlere karşı tolerans değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir (Tabasaran, 1979)

Çizelge 4.5 Bitkilerin muhtelif elementlere karşı tolerans değerleri

Element	Literatüre göre limitler (ppm)	Genellikle (ppm)	Zeminde teklif edilen değerler (ppm)
Be	0,1-10	1-5	10
B	2-100	5-30	100
F	10-500	50-250	500
Cr	1-100	10-50	100
Ni	1-100	10-50	100
Co	1-50	1-10	50
Cu	2-100	5-20	100
Zn	10-300	10-50	300
As	1-50	2-20	50
Se	0,1-10	1-5	10
Mo	0,2-10	1-5	10
Cd	0,01-1	0,1-1	5
Hg	0,01-1	0,1-1	5
Pb	0,1-10	0,1-5	100

4.6 Kompostlaştırma İşlemi ve Çevre Sağlığı

Katı ve sıvı atıkları tasfiye metotlarının en önemli ve en başta gelen vazifesi, atıkları ve ihtiva ettikleri patojen mikropları zararsız hale getirmektir. Katı atıklar insan sağlığına direkt bir tehlike arz etmemekle beraber dolaylı olarak sinekler, tozlar ve diğer zararlı canlılarla tehlike saçabilirler.

Katı atıklar içinde bulunan patojen mikroorganizmaların önemli bir kısmı kompostlaştırma prosesi boyunca ısı yükselmesi esnasında ölürler. Tifo mikrobu 55-60 °C 'de, dizanteri etkeni 60 °C 'de 15-20 dakikada öldüğünden kompostun oluşması esnasında hastalık etkenlerinin bir kısmı sıcaklık yardımıyla tahrip edilmektedir. Ancak spor yapabilen şarbon basili gibi mikroorganizmalar varlıklarını koruyabilirler. Bununla beraber usulüne göre üretilip olgunlaştırılan kompostta hiç patojen mikroorganizma bulunmadığı araştırmacılar tarafından bildirilmektedir. Kompostlaştırma işleminde patojen mikroplar üzerine sadece sıcaklık değil, olgun kompostda uygun bir gelişme alanı bulunan aktinomisetlerin ürettiği antibiyotiklerin etkili olduğu anlaşılmıştır.

Kalite ve güvenlik standartlarına uymayan kompost bitki, hayvan ve insan yaşamını tehdit edeceğinden çevresel açıdan tehlike meydana getirir. Bu durumda kompostun, diğer atıklar gibi düzenli depolama ve yakma yoluyla bertaraf edilmesi gerekir.

5. İSTANBUL KOMPOSTLAŞTIRMA ve GERİ KAZANMA TESİSİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

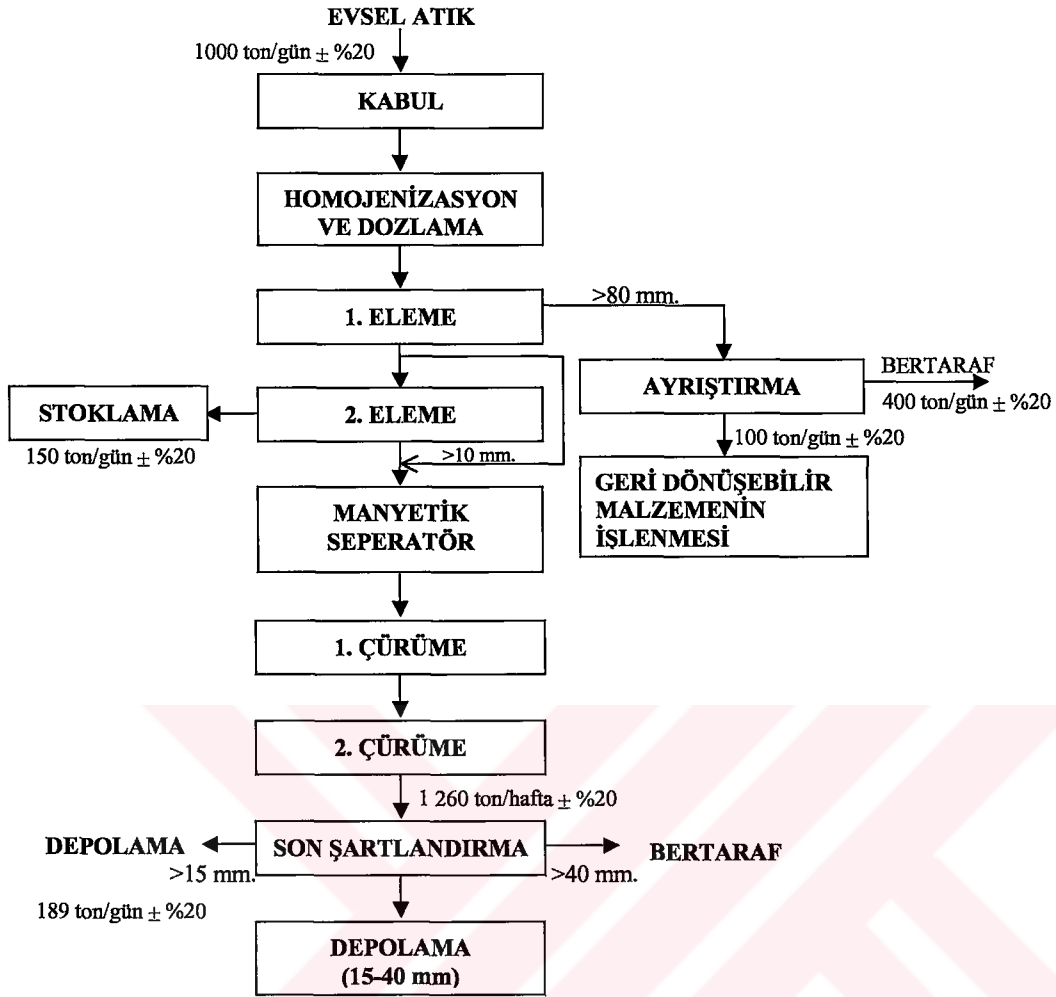
İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nce, Kemerburgaz Beldesi Kısırmandıra Köyü mevkiinde bulunan terk edilmiş maden ocağında kurulan Katı Atık İşleme (Kompostlaştırma ve Geri Kazanma) Tesisi'nin kapasitesi 1000 ton/gün'dür.

İnşaatına Ağustos 1998'de başlanan, İstanbul Kompostlaştırma ve Geri Kazanma Tesisi Mart 2001 tarihinde deneme işletmesine alınmıştır. Tesisin boyutlandırılması Çizelge 5.1'de belirtilen kriterlerine göre yapılmış olup tesise ait akım şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 İstanbul Kompostlaştırma ve Geri Kazanma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri

Ortalama su muhtevası	% 55
Organik madde oranı	% 45 (% 90'ı 10-80mm arası)
Kül oranı (kışım)	% 15
Toplam tesise gelecek katı atık miktarı	300 000 ton/yıl $\pm$ % 20 (1000 ton/gün)
Fermantasyon ünitesine gelecek katı atık	150 000 ton/yıl
Kompostlaştırma süresi	56 gün
Kompost kalitesi	4 (M-10* standardınca kompost sıcaklığı 30-40 °C)

*LAGA (Landerarbeitsgemeinschaft Abfall) Merkblatt M10 (Alman kompost kalite standardı, 1997)



Şekil 5.1: İstanbul Katı Atık Kompostlaştırma ve Geri Kazanma ve Tesisi proses akım şeması.

5.1 Tesise Ait Birimler

Tesisin işletme birimleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Tesisin İşletme Birimleri

İşletme Birimi No	Konu
1	Atık Kabulü ve Ara Depolama
2	Ön Şartlandırma
3	Ana Çürüme
4	Ayırma
5	Son Şartlandırma
6	Değerlendirilebilir Malzeme Hazırlanması, Deposu ve Satışı
7	Değerlendirilemeyen Atıkların Şartlandırılması, Deposu ve Bertarafı
8	Kompost Deposu ve Pazarlama
9	Kirli Hava Toplama ve Temizleme
10	Atıksu Toplama ve Arıtma
11	Kontrol, Ölçüm ve Otomasyon
12	Araçlar ve Konteynerler

Çizelge 5.2’de verilen işletme birimleri aşağıda kısaca izah edilmiştir.

5.1.1 Atık Kabul ve Ara Depo

Tesise gelen katı atıklar kapakları fotoselli olarak sadece boşaltma anında açılan 14 adet boşaltma bölümünden % 1 eğimli bunkere boşaltılmaktadır. Buradan besleme hunisine taşınan atıklar günlük olarak işlenmesine rağmen boşaltma bölümü 2 günlük atığı depolayacak kapasitededir (İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması ve Araştırma Projesi, YTÜ, 2002).

Tesise gelen atıklar kantardan geçmekte ve kaydedilmektedir.

5.1.2 Ön Şartlandırma

Ön şartlandırma birbirine paralel ve aynı özelliklerde olan iki hattan oluşmaktadır. Besleme hunisine gelen katı atıklar, zincirli konveyör ardından bant konveyör vasıtasıyla, herbiri 3,35 m çapında, tambur uzunluğu 12,47 m, delik çapı 80 mm ve

eğimi 2° olan iki adet döner eleğe taşınır. 80 mm lik döner elekten geçen atıklar kompost tesisine gitmeden önce manyetik seperatör vasıtasıyla atık içerisindeki metal parçalar ayrılır. 80 mm üzeri atıklar ise yine bantlar vasıtasıyla elle ayırma kısmına gider (İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması ve Araştırma Projesi,YTÜ, 2002).

5.1.3 Ana Çürüme

Proses tamamen birbirinden bağımsız iki hattan oluşmaktadır. Herbir bölümde birer adet serme makinası ve karıştırma-harmanlama makinası bulunmaktadır. Manyetik seperatörden geçen 80 mm altı organik madde bantlar vasıtasıyla serme köprüsüne yönlendirilir. Serme köprüsü fermantasyon ünitesinde boyuna hareket ederken, hareketli bant enine hareket ederek tüm atıklar alana düzgün bir şekilde serilir. Bu şekilde oluşturulan yığının yüksekliği otomatik olarak kontrol edilir. Karıştırma-harmanlama makinası Wendelin tipi olup, fermantasyon ünitesindeki atığı 1 hafta içerisinde aktarmaktadır. Çevirme işlemi sırasında malzeme homojen bir şekilde karıştırılmakta ve uygun bir şekilde nemlendirilebilmektedir. Tesis işletmeye alındıktan sonra yapılan nem analizlerinde fermantasyon ünitesindeki nem oranının ortalama % 58-63 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Kompostlama ünitesi, 230 m uzunluğunda 35 m genişliğindedir. Bu ünite 1. Çürüme (yoğun çürüme) ve 2. çürüme kademesi olmak üzere 2 bölüme ayrılmaktadır. 1. bölüm tamamen paslanmaz çelikle kaplanmış olup bekletme süresi 3 haftadır. 1. Çürüme kademesi her kompostlaştırma hattı üzerinde 3 ayrı havalandırma bölümüne ayrılmıştır. Her bölüm bir fan tarafından havalandırılmakta olup; yığınların havalandırılması basınçlı olarak yapılmaktadır. 2. Çürüme bölümünde bekletme süresi 5 haftadır. Hava, 2. Çürüme holündeki yığınların içerisinde geçirilerek emilir ve 1. Çürüme kademesindeki yığınların havalandırılmasında kullanılır. Havalandırmanın derecesi ve süresi otomatik olarak ayarlanır. Yoğun çürüme bölümünden çıkan hava biyofiltreden geçirilerek atmosfere verilir. Ayrıca biyofiltreye temizlenmek üzere giden sıcak hava eşanjör sisteminden geçirilerek elle ayırma bölümünün ısıtılması sağlanır (İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması ve Araştırma Projesi,YTÜ, 2002).

5.1.4 Ayırma

80 mm lik elekten çıkan elek üstü malzeme konveyör bantlar vasıtasıyla elle ayırma bölümüne gelir. Bu bölümde, çeşitli sentetik maddeler (PET, HDPE, PVC), metaller (Alüminyum, demir, vs.), kağıt ve cam gibi değerlendirilebilecek malzeme elle 14 adet bunkere atılır. Değerlendirilemeyen malzeme ise bertaraf sahasına gönderilir. Bunkerlerde biriken plastik ve kağıtlar balya presinde, metal ve alüminyumlar ise hurda presinde preslenip hacim küçültülerek satışa hazır hale getirilir(İstanbul Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi Optimum Şartlarda Çalıştırılması ve Araştırma Projesi,YTÜ, 2002).

5.1.5 Son Şartlandırma, Kompost Deposu ve Satışı

Ana çürüme aşamasından sonra, kompost malzemesi bir son şartlandırmadan geçmektedir. Burada, kompost dane büyüklüğüne göre üç fraksiyona ayrılmaktadır. Ayırma işleminde delik çapı 15 mm ve 40 mm olan çifte döner elek kullanılmaktadır.

Dane çapı 0-15 mm ve 15-40 mm olan kompost malzemesi tesiste depolanmakta ve kaba fraksiyon (> 40 mm) bertarafa gönderilmektedir.

5.1.6 Değerlendirilebilir Malzemelerin Hazırlanması ve Depolanması

Ayrıştırılan değerlendirilebilir malzemeler aşağıdaki gibi işleme tabi tutulmaktadır:

- Plastik malzemeler preslenerek, balyalanmakta ve satılana kadar bir ara depoda depolanmaktadır.
- Metaller bir pres ile preslenmekte ve balyalar halinde depolanmaktadır.

5.1.7 Değerlendirilemeyen Atıkların Şartlandırılması ve Bertarafı

Ayırmadan kalan değerlendirilemeyen atıklar bir ara depoda depolanmakta ve daha sonra bertaraf sahasına gönderilmektedir.

5.1.8 Kompost Deposu ve Satışı

Kompostun bitkiler için daha uygun hale getirilmesi için, kullanma maksadına bağlı olarak bir son çürüme aşamasından geçirilmesi planlanmıştır.

İki kompost fraksiyonu (0-15 mm ve 15-40 mm) halihazırda son şartlandırma bölümünde depolanmaktadır. Ancak, kompost malzemeyi daha uzun süreli depolamaya uygun bir açık alan inşaa edilmiş ve bu alana kompostun konveyör bandıyla taşınması planlanmıştır.

5.1.9 Kirli Havanın Toplanması ve Temizlenmesi

Atık kabul bölümünde, konveyör bantları ve diğer makinaların (Dozlama, Yükleme, Döner Elek vb.) üst tarafından, ayırma bölümünden, ön şartlandırma bölümünden sürekli hava emilmekte ve toplanan kirli hava yığınların havalandırılmasında kullanılmaktadır. Çürüme binası/çürüme tünellerinden de sürekli şekilde hava emilerek, temizleme ünitesine aktarılmaktadır. Biyofiltre kullanılarak temizlenen hava alıcı ortama verilmektedir.

5.1.10 Atıksu Drenajı ve Tasfiyesi

Tesisteki evsel nitelikli atıksular (mutfak, tuvalet ve duşlardan kaynaklanan) arıtma tesisinde biyolojik arıtma işlemine tabi tutularak, klorlandıktan sonra deşarj edilecek şekilde projelendirilmiştir. Proses aşamasında oluşan sızıntı suyu ise tankerlerle taşınmaktadır.

Tesiste oluşan atıksuyun bir kısmı proste kompost yığınlarının nemlendirilmesi için kullanılmaktadır. Bu atıksular;

1. Çürüme binası ve borularda oluşan kondensasyon (damıtma) suyu
2. Hava temizleme bölümünden gelen yıkayıcı atıksuyu .
3. Temizlik suyu (Atık kabul bölümünden, çürüme binasından, ön şartlandırma biriminden ve son şartlandırma bölümünden)

5.1.11 Kontrol Ölçüm ve Otomasyon

Tesisin denetim ve işletilmesi merkezi bir kontrol sistemi ile gerçekleştirilmektedir.

6. KOMPOSTLAŞTIRMA SÜRECİNİN İZLENMESİ ve DENEYSEL METOTLAR

6.1 Kompostlaştırma Sürecinin İzlenmesi

İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma tesisinde herbiri 8 bölmeden oluşan iki paralel fermentasyon ünitesinin ilk bölmesine alınan katı atıklar 1 haftalık bekletme süresi sonunda 2. bölmeye aktarılmakta ve bu şekilde devam eden işlemle 8 haftalık bir süreç sonunda son bölmeden kompost olarak çıkmaktadır. Çalışma, her iki hattın ilk bölmesine konan katı atıkların 1'er haftalık bekletme süresinden sonra bir sonraki bölmeye aktarılması işleminde alınan numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler bir delici vasıtasıyla yüzeye dik veya yan bölgelerde 45° eğimle yığınların tabanına kadar delme yapılarak, her seferinde 24 saat süren aktarma işlemi boyunca yığında eşit aralıklarla 5 adet 10'ar kg. lık numune alınmıştır. 1. Hattın 1. bölmesine alınan atık (IA) bir hafta sonra 2. bölmeye aktarıldığında 1. bölmeye yeni atık (IB) doldurulmuş ve bu iki yığının 8 haftalık süreçteki değişimi her hafta alınan numunelerle izlenmiştir. Aynı şekilde paralel olarak çalışan 2. hattaki 1. bölmeye konulan yığın (IIA) 2. bölmeye aktarıldığında bunun yerine konulan yığın (IIB) da her aktarma sonunda alınan numunelerle izlenmiştir. Alınan numunelerin homojenliğini sağlamak amacıyla karıştırılmış, 15 mm lik elekten elenmiş ve laboratuvara getirilmiştir.

IA, IB, IIA ve IIB'de her aktarma sonunda alınan numunelerde Sıcaklık, pH, C/N oranı (TOK ve TKN), OM ve Su Muhtevası 8 hafta boyunca her bölümde izlenmiştir. 8 haftalık süre sonunda elde edilen kompostun sınıfını belirlemek için **IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIC ve IID**'de Ağır metal tayini, Dewar kabı testi, bitkiye uygunluk testi ve hijyen durumunu belirlemek için *Salmonella* tayini yapılmıştır. Ayrıca tesiste deneme işletme tarihinin bitiminden sonra üç ayda bir aralıklarla son üründen numuneler (**S₁, S₂ ve S₃**) alınarak Ağır metal tayini, Dewar kabı testi, bitkiye uygunluk testi ve hijyen durumunu belirlemek için *Salmonella* tayini yapılmıştır.

Laboratuvarda 105 °C'de kurutulan ve 0,25 mm'lik elek çapına sahip öğütücüde öğütülen numunelerde TOK (Toplam Organik Karbon), TKN (Toplam Kjeldahl Azotu)

ve OM (Organik Madde) analizleri yapılmıştır. pH ve sıcaklık tesiste günlük tespit edilmiştir.

6.2 DeneySEL Metotlar

6.2.1 Su Muhtevasının Belirlenmesi

Taze elenmiş kompost numunesi, sabit tartıma getirilip darası alınmış porselen kaplara belirli miktarlarda alınmış ve 103-105 °C'de 24 saat sabit ağırlığa gelmesi için kurutulmuştur. Daha sonra numune desikatöre alınmış ve oda sıcaklığına getirilen numune tartılarak, elde edilen değerlerle aşağıdaki bağıntı kullanılarak su muhtevası hesaplanmıştır.

$$SM = \frac{K_{yaş} - K_{kuru}}{K_{yaş} - K_{dara}} \cdot 100 \quad KM = \frac{K_{kuru} - K_{dara}}{K_{yaş} - K_{dara}} \cdot 100$$

Burada:

SM: Su Muhtevası (%)

KM: Katı Madde Muhtevası (%)

K_{dara}: Porselen Krozenin Darası (gr)

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

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

6.2.2 pH Tayini

Katı atıklarda pH tayini için numune hemen analiz edilmelidir. pH tayini için behere veya deney tüpüne 10 ml. damıtık su konarak 1 g. katı atık numunesi ilave edilir ve iyice karıştırılır. Hazırlanan süspansiyon manyetik karıştırıcıda karıştırılır. pH metre, katı atık numunesinin beklenen pH aralığında en az iki noktada kalibre edilmelidir. Ölçüm yapılmadan önce, elektrot damıtık su ile yıkanarak yavaşça durulanır ve numune kabına daldırılarak homojenliği sağlamak amacıyla yavaş yavaş karıştırılır. Yüksek karıştırma hızları pH ölçümlerinde dalgalanmalara sebep olabileceğinden bu etkilerin kararlı hale geldiği pH değeri ve sıcaklığı kaydedilir.

6.2.3 Organik Madde Muhtevasının Belirlenmesi

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

Katı atıklarda organik madde muhtevasının belirlenmesi maksadıyla önceden etüvde 105 °C’de kurutulmuş numuneden 0.0001 gr. hassasiyetle 5-10 gr. tartılarak darası alınmış porselen bir kroze konur. Daha sonra numune 550-600 °C’de 3 saat yakılır ve desikatörde soğutulur tartılır. Bu işlemlerden sonra organik madde muhtevası Om(%) şu şekilde hesaplanabilir:

$$Om(\%) = \frac{a - b}{a - c}$$

Burada;

a= Yakmadan önce numunenin kapla birlikte ağırlığı (gr.)

b= Yakmadan sonra numunenin kapla birlikte ağırlığı (gr.)

c= kabın ağırlığı (gr.) dır.

6.2.4 TKN (Toplam Kjeldahl Azotu)

TKN deneyi distilasyon yöntemi ile yapılmıştır (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1997). Toplam azot, sülfirik asitle, tuzlar ve uygun katalizörlerle amonyuma dönüştürülür. Toplam azot, alkalizasyon, destilasyon ve uygun bir asit toplayıcı içinde biriktirilerek amonyağa dönüştürülür, daha sonrada amonyak miktarı analitik ölçme ile bulunur.

Bir kuvvetli çözelti kabına gerekli numune (yaklaşık 0.3-1.0 gr) miktarı tartılır. Kaba 1 Kjeldahl tableti ve 15 ml derişik sülfirik asit çözeltisi konulur. Kuvvetli asitlerle sıvının açık veya berrak oluşuna kadar 360°C’de ısıtılır (yaklaşık 60-90 dakika). Numune oda sıcaklığına kadar soğutulur damıtık suyla karıştırılır. Kuvvetli asit çözeltisinden destilasyon olduğu takdirde yaklaşık 30 ml sodalı su katılır. Daha sonra amonyanın destilasyonu su buharıyla bir asit toplayıcısında biriktirilir. Asit toplayıcısı içinde

toplanan amonyak miktarı, uygun bir ölçüm çözeltisi, bir büret veya titrasyon otomati vasıtasıyla, renk dönene kadar titre edilerek şahitle beraber TKN hesabı yapılır.

6.2.5 TOK (Toplam Organik Karbon)

TOK deneyi, yaklaşık 0,3-0,5 gr. numune alınarak, içine parçalama asidi ve yaklaşık 1 gr $K_2Cr_2O_7$ ilave edilerek 150 °C de kaynatılması sonucu oluşan CO_2 , KOH (1N) çözeltisi içerisinde tutulmuş ve HCl (1N) ile titre edilerek yapılmıştır (Methods of Soil Analysis: Chemical methods Part 3"SSSA).

Kompost numunesi (0.3-0.5 gr kuru madde) balona konulur. 1gr $K_2Cr_2O_7$ (saf halde) eklenir, 2-3 mm saf su ile balonun boynu yıkanarak soğutucuya bağlanır. 25 mL parçalama asiti (600 mL Derişik H_2SO_4 'i 400 mL % 85'lik H_3PO_4 'e eklenir, soğutulur, cam kapaklı şişede saklanır. Su absorblamasını önlemek için şişe iyice kapatılmalıdır.) huniden eklenir. Erlenin üzerindeki cam kuleye 25 mL 1M'lık KOH çözeltisinden eklenir. Hava akımını parçalama boyunca 2 kabarcık/sn'ye ayarlanır. Balon ısıtıcıya konulur. Önce 3-4 dak biraz hızlı kaynatılır. Daha sonra 10 dakika kadar yavaşça kaynatmaya devam edilir. Parçalama boyunca soğutucuda beyaz dumanlar (SO_3) olur ise bitiş hızı yavaşlatılır. Parçalama sonunda ısıtıcı kapatılır, sisteme 6-8 kabarcık/sn hızla 10 dakika havalandırmaya devam edilir. Balon soğutucudan ayrıldıktan sonra KOH çözeltisi içine 5 mL $BaCl_2$ ile muamele edilir, birkaç damla fenolftalein damlatılarak, standart HCl ile renk dönüşümüne kadar titre edilerek, TOK hesabı yapılır.

$$TotalC, \% = \frac{(ml_{\text{şahit}} - ml_{\text{numune}})}{gr. \text{ numune}} * N_{HCl} * 0.6$$

6.2.6 Ağır Metal Tayini

Kompost numunelerine uygulanacak ağır metal tayininde, atomik absorbsiyon spektrometresi kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce katı atık numunelerinden ağır metal iyonlarının ekstrakte edilmesi gerekmektedir. Bu işlem aşağıda anlatıldığı gibi gerçekleştirilmiştir.

Katı atık numunesi iyice karıştırılarak homojen hale getirildikten sonra her çözünme işlemi için 0.01 gr. hassasiyetle 1-2 gr. atık numunesi tartılarak erlene yerleştirilir. Numunenin üzerine 10 ml. 1:1 (v/v) su ile seyreltilmiş nitrik asit (derişik ve spektrometrik saflıkta) ilave edilerek karıştırılır. Erlenin ağzı saat camı ile kapatılır ve numune 95 °C ye ısıtıldıktan sonra soğumaya bırakılır. Üzerine 5 ml. derişik nitrik asit ilave edilir ve saat camı tekrar erlenin üzerine kapatılarak 30 dakika ısıtılır. Daha sonra saat camı kaldırılır ve çözelti, hacmi 5 ml.'ye düşünceye kadar kaynatılmadan buharlaştırılır. Bu işlemde sonra numune soğutularak üzerine 2 ml. su ile 3 ml. % 30'luk hidrojen peroksit ilave edilir. Beherin ağzı saat camı ile kapatılır ve ısıtıcı üzerine yerleştirilerek peroksit reaksiyonu başlatılır. Şiddetli köpürmeden dolayı madde kaybı olmamasına dikkat edilmelidir. Isıtma işlemi köpürme azalınca kadar yapılır ve beher soğutulur. Köpürme en düşük düzeye ininceye kadar ısıtma ile birlikte damla damla % 30'luk hidrojen peroksit ilavesine devam edilmelidir, ancak ilave edilen hidrojen peroksit hacminin 10 ml.'yi geçmemesine dikkat edilmelidir. Bundan sonra çözeltiye 5 ml. derişik hidroklorik asit ve 20 ml. su ilave edilerek çözelti tekrar ısıtmaya bırakılır. Soğuduktan sonra 100 ml. damıtık su ile seyreltilir. Çözeltide bulunan askıda katı maddeler süzme veya santrifüj ile uzaklaştırılmalıdır.

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

Katı atık numunesi için bütün derişimler yaş kütle esasına göre kaydedildikten sonra, numunedeki metal muhtevası (M), µg/kg olarak şu şekilde hesaplanır.

$$M = \frac{(C * V)}{m}$$

Burada;

C: Metal konsantrasyonu, (µg/L),

V: Numunenin son hacmi (L),

m: Numunenin kütlesi (kg), dır.

6.2.7 Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi)

Deney standartlarına uygun olarak alınan kompost numunesi bir müddet bekletilerek sıcaklığının oda sıcaklığına kadar düşmesi sağlanmıştır. Alınan numunenin fermantasyon derecesini belirlemek üzere numune, 10 cm iç çapa sahip 1,5 litre hacmindeki ISOTHERM Marka Dewar kaplarına doldurulmuş ve deney oda sıcaklığında sürdürülerek sonuçlandırılmıştır. Numune dewar kabına konmadan önce 10 mm çaplı elekten elenmiştir. Yaklaşık 1 litre hacmindeki numune Dewar kabının üst seviyesinden 5 cm kalana kadar doldurulmuş ve homojenliği sağlamak için kap hafifçe sallanmıştır. Kompost numunesinin sıcaklık derecesindeki değişimini izleyip kaydetmek için; Dewar kabına tabandan 5 cm yukarıya maksimum–minimum sıcaklığı ölçebilen dijital bir termometre yerleştirilmiştir. Deney kompost numunesinin sıcaklığındaki değişime bağlı olarak yaklaşık 10 gün içinde tamamlanmıştır. Ulaşılan maksimum sıcaklığa bağlı olarak fermantasyon derecesi tespit edilmiştir.

6.2.8 Bitkiye Uygunluk (Fitotoksitite) Testi

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 vermemektedir. Bu sebeple, üretilen kompostlarda bu konunun aydınlanması için, ayrıca bitkiye uygunluk testleri de yapılmaktadır. Bitkiye uygunluk testi için kompost numunesi 10 mm çaplı elekten elenir. Elenmiş numune sıfır birim toprakla (0BT) iki ayrı şekilde; %25 ve %50 oranlarında (hacimsel olarak) karıştırılarak 500 ml'lik saksılara, 400'er ml konmuştur. Her saksı için tartılan 1 gr tere tohumu (*Lepidium sativum*) sıfır birim toprakla beraber iki ayrı oranda hazırlanan kompost örnekleri, homojen bir şekilde ekilmiştir. Daha sonra düzgün bir nemlendirme yapılan saksılar seraya alınmıştır. 7 ile 10 günün sonunda büyümüş olan tere bitkisi, tam kökle sap arasından hasat edilerek tartılmıştır.

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

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

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)

6.2.9 Hijyen

Katı atık içerisinde patojenler; birincil ve ikincil patojenler olarak iki sınıfa ayrılır. Birincil patojenler insan sağlıklarını istila ederler ve bulaşıcıdır, ikincil patojenler bunlara ilaveten insan vücutlarını zayıf düşürürler.

Birincil patojenler atık içerisinde 4 katogride bulunmaktadır.

- Bakteri
- Bağırsak virüsü
- Protozoalar
- Bağırsak kurdu ve nematodlar.

Evsel katı atık içinde bulunan patojen mikroorganizmalara hayvan atıkları veya dışkı, idrar içeren çocuk bezleri, bunlara ilaveten kişisel ürünler, doku kültürleri, tuvalet kağıtları ve kadınlara ait hijyenik ürünler vesile olmaktadır.

8. Hafta sonunda üründe salgın hijyeni belirlemek maksadı ile *Salmonella* testi yapılmıştır. Evsel katı atıklarda *salmonella sp* en yaygın bulunan patojen mikroorganizmalardan biridir. Örnek olarak evsel katı atıkların muhtevasında *salmonella sp* popülasyonu 10^2 - 10^3 /gr-kuru ağırlık seviyesindedir (Brandon vd, 1977) Kompostta patojen mikroorganizmaları belirlemek için, “OXOİD Salmonella Rapid Test” metodu kullanılmıştır.

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

Sanayide yapılan salmonella testlerinin % 95'i geleneksel mikrobiyolojik testler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu metotlarda kullanılan materyallerin maliyetleri oldukça düşük olmasına rağmen el emeği ve toplam gider hayli yüksektir. Teknolojinin gelişmesi ile, klasik, ucuz mikrobiyolojik testler yerlerini yeni, direkt uygulamalara bırakmaya başlamışlardır.

Tüm bu gelişmeler içerisinde, gıda sanayiinde büyük öneme sahip ve klasik metotlarla tespiti zaman alan salmonella türlerinin varlığını kısa sürede ortaya koyacak, "OXOİD Salmonella Rapid Test" de yerini almıştır. Bu test sistemi;

- Süt ve Günlük ürün hazırlayan gıda işletmeleri
- Tavuk ürünü hazırlayan işletmeler
- Et ve et ürünleri hazırlayan işletmeler
- Hayvan yemi üreten işletmeler ve
- İlaç Sanayi

gibi çeşitli sektörlerde geniş bir uygulama alanına sahiptir.

"OXOİD Salmonella Rapid Test" Holbrook, Anderson, Baird-Parker, Dodds, Sawney, Stuchbury ve swaine tarafından 1989 da geliştirilen ve biyokimyasal testlerden yararlanılarak, seçici hareketliliği zenginleştirme tekniğine dayanan bir metottur.

Homojenize edilerek uygun bir ortamda ön zenginleştirilmesi yapılmış gıda numunesi salmonella elektive medium ve iki adet tüp içeren kültür kabına inoküle edilir. Her tüp, poröz bir yapıyla birbirinden ayrılan seçici bir besi yeri ve üst indikatör besi yeri içerir. Salmonellalar alttaki seçici ortamdan, üstteki indikatör ortama aktif olarak hareket ederler ve varlıkları renk değişikliği olarak belirir. Hareketli salmonella suşlarının elektiv brothdan seçici indikatör medyalara göçü ve gelişmeleri, A tüpünde H₂S oluşumuna bağlı siyah renklenme ve B tüpünde laktoz fermantasyonu yokluğunu gösteren kırmızı renklenme olarak gözlenir. Analiz 18 saatlik ön zenginleştirme aşaması dahil 42 saatte tamamlanır. Pozitif reaksiyon gözlenen tüpler daha sonra OXOİD salmonella latex test kullanılarak 2 dakika içinde konfirme edilir. Gerekirse geleneksel metotlardan yararlanılarak sonucun geliştirilmesi sağlanır (Serolojik tür tayini).

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



7. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1 Deney Sonuçları

7.1.1 Sıcaklık

Sıcaklık kompostlaştırma periyodu boyunca temel rol oynamaktadır. Aynı zamanda prosesin bir fonksiyonudur. Sıcaklık kompostun mikrobiyal aktivitesi üzerine en önemli etki eden faktördür. Dolayısı ile kompost prosesinin elementleri ve hayati reaksiyonları sıcaklıktan etkilenmekte ve değişmektedir. Sıcaklık aynı zamanda nemle ilişkili olarak mikrobiyal aktiviteyi de etkilemektedir.

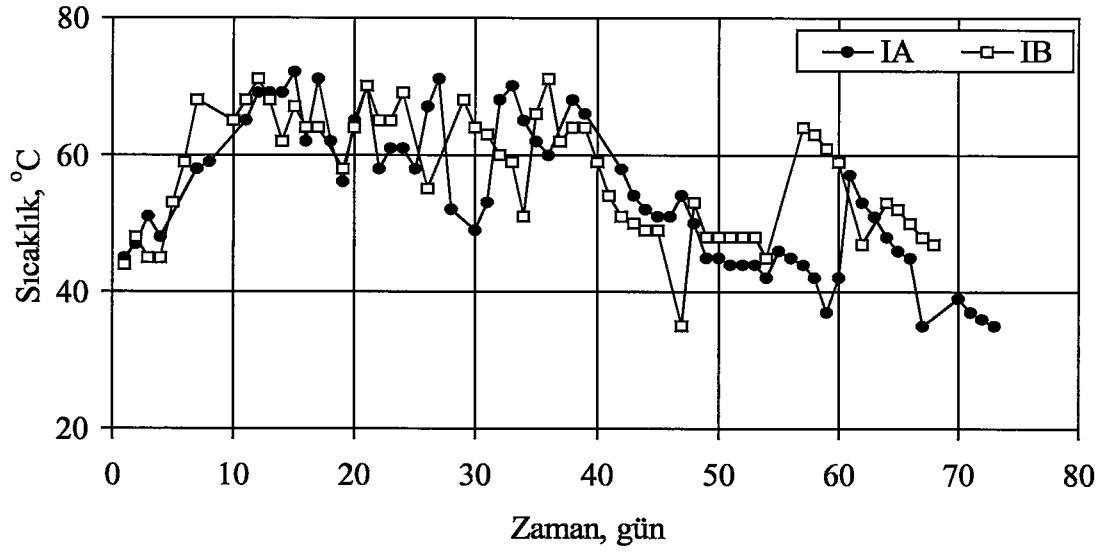
Kompost prosesi sık sık sıcaklık ile zaman periyodu ilişkilendirilerek tasvir edilir. Sıcaklık ile sistem iyi yönetilerek prosesin işletimi ayarlanır veya istenilen seviyeye getirilir. Eğer atıklar insanlara hastalık tesiri olan patojen mikroorganizma muhteva ediyorsa, kompost sıcaklık ile dezenfekte edilmektedir. Eğer atıklar hayvan gübresi, yiyecek proses atıkları ve sebze atıkları içeriyorsa, sıcaklıkla proses kontrol edilerek, oluşan ürünlerde yabancı tohum ve kompostun bitkilere olan toksitite etkileri de yok edilmektedir.

Zaman - sıcaklık ilişkisi organik maddelerin ayrışma hızını etkilemekte, bu olayda kompost ürünlerinin stabilitesine ve olgunluğuna etki ettiği için önem arz etmektedir. Sıcaklık değişimine bir çok mikroorganizma türü etki etmektedir. Sıcaklık üzerine belli başlı mezofilik ve termofilik mikroorganizma türleri tesir etmektedir.

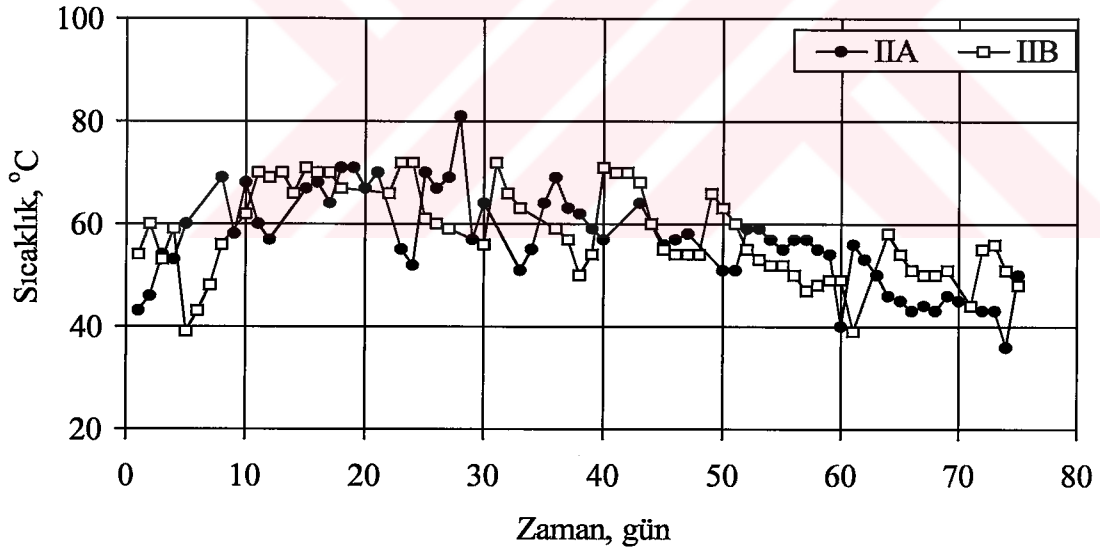
Kompostlaştırma işleminde ekzotermik reaksiyon sonucu sıcaklık artışı meydana gelir. Kompostlaştırma ünitesinde, sıcaklık için optimum değerler; yoğun çürüme bölümünde (Termofilik kısım) 50-75 °C, son şartlandırma bölümünde (Mezofilik kısım) ise 30-50 °C olması gerekmektedir.

Kompostlaştırma prosesi boyunca her iki hatta bulunan yığınların sıcaklıkları tesiste günlük olarak ölçülmüştür. IA ve IB'nolu yığınların sıcaklıkları Şekil 7.1'de, IIA ve IIB'nolu yığınların sıcaklıkları Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Kompostlaştırma prosesi

boyunca sıcaklıkların yoğun çürüme bölümünde 60-70 °C , şartlandırma bölümünde ise 40-50 °C civarında vukuu bulunduğu görölmüştür. .



Şekil 7.1 Kompostlaştırma boyunca Hat I'deki sıcaklık değişimleri



Şekil 7.2 Kompostlaştırma boyunca Hat II'deki sıcaklık değişimleri

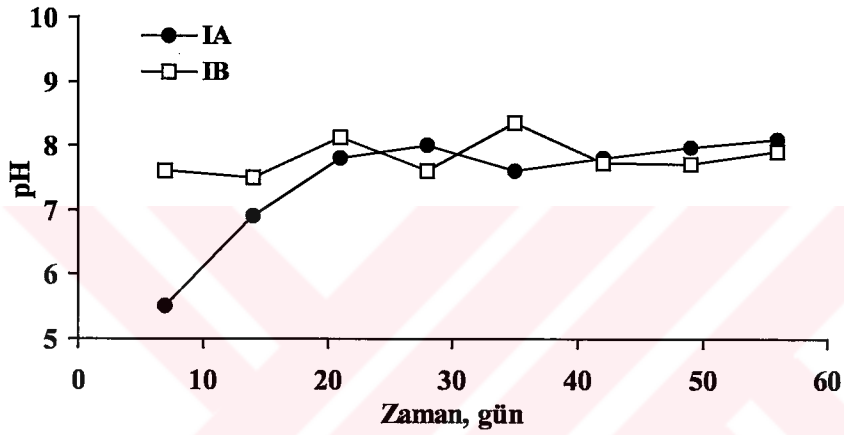
7.1.2 pH

Genel olarak bakteriler pH 6-7,5, mantarlar ise 5,5-8 arasında faaliyetlerini sürdürürler. Kompostlaşan sistemin pH'ı ilk önce organik asitlerin oluşmasıyla yaklaşık 4-5'e düşer. Daha sonra organik asitlerin termofilik fazda tükenmesiyle 8,5'a kadar yükselir.

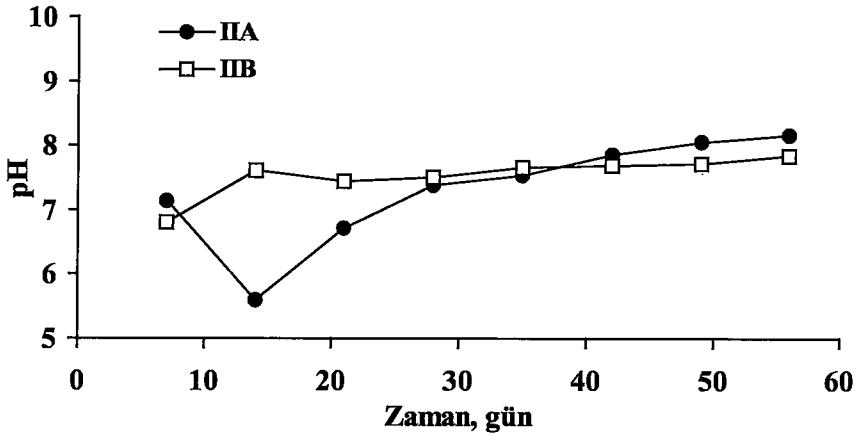
Tamamlanmış kompostun asitli topraklar üzerinde ayrıca bir alkalileştirme özelliği vardır. pH'nın artmasıyla birlikte NH_3 gazında da artış olmaktadır.

IA, IB, IIA ve IIB'nolu yığınlardan 8 hafta boyunca numuneler alınarak bölüm 6.2.2'de anlatılan metoda göre pH deneyleri yapılmıştır. IA ve IB'nolu yığınların ölçülen pH'ları Şekil 7.3'de, IIA ve IIB'nolu yığınların ölçülen pH'ları Şekil 7.4'de gösterilmiştir.

Şekil 7.3 ve 7.4'de kompostlaştırma süreci boyunca pH değerinin girişte yaklaşık 6 çıkışta ise yaklaşık 8 civarında olduğu görülmüştür.



Şekil 7.3 Kompostlaştırma boyunca Hat I de pH'ın değişimi



Şekil 7.4 Kompostlaştırma boyunca Hat II de pH'ın değişimi

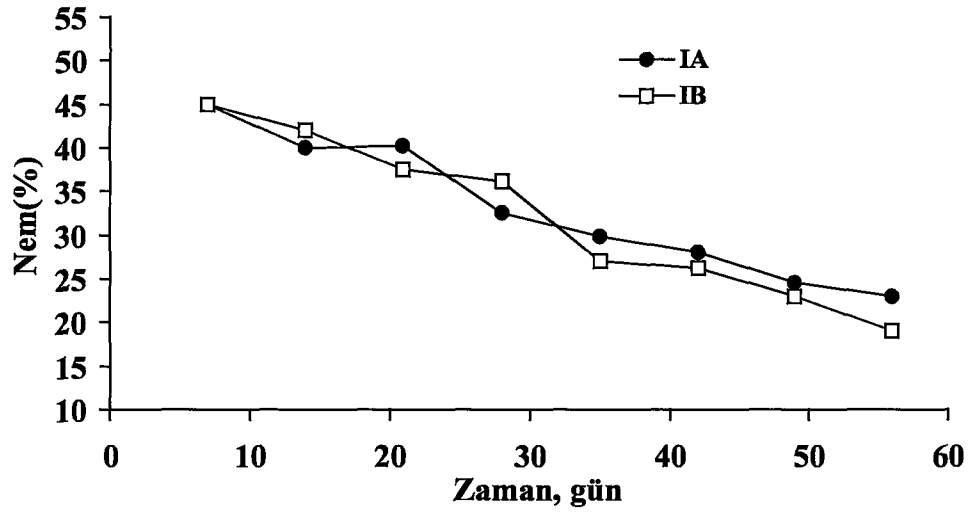
7.1.3 Su Muhtevası

Kompost prosesinde nem, mikrobiyal aktiviteyi etkilemekte, buna bağı olarak proseste sıcaklık ve ayrışma hızını da değiştirmekte, ayrıca mikrobiyal aktivitenin yoğunluğunu da etkilemektedir (Epstein, 1997). Nem mikrobiyal aktivitenin ve de organik maddenin biyolojik oksidasyonun bir sonucu olarak üretilmektedir. Mikrobiyal aktivite sonucu oluşan su, buharlaşma sonucu kaybolan sudan daha fazla olmaktadır (Epstein, 1997).

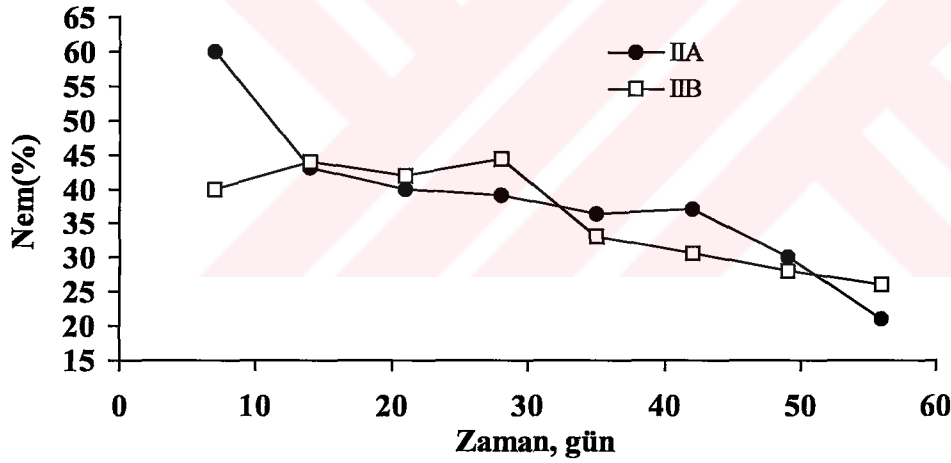
Nemin ayrılması meteryallerin işleme verimi açısından çok önemlidir. Nem içeriği % 45 den fazla ise kompostun elenmesi çok zordur. Havalandırılmalı statik yığınların dizaynını yaparken yüksek nemden dolayı farklı havalandırma hızları seçilmek zorundadır. Girişte biyolojik aktivitenin sağlanması için yeterince havalandırma temin edilmelidir. Ancak havalandırma esnasında aşırı kurutmaktan veya soğutmaktan kaçınılmalıdır.

IA, IB, IIA ve IIB no'lu yığınlardan 8 hafta boyunca alınan numunelerde yapılan su muhtevası deneyi neticeleri Şekil 7.5 ve 7.6'da verilmiştir.

Nem Muhtevası Hat I'de, her iki yığında da % 45'den başlamış, % 20 seviyelerine inmiştir. Hat II'de IIA'da % 60 seviyesinden başlamış % 20 seviyesine, IIB'de % 40 seviyesinden % 20 seviyesine indiği gözlemlenmiştir. Tesiste deneme işletme tarihinin bitiminden sonra her üç ayda bir son üründen alınan numunelerde nem muhtevası, S₁'de %32, S₂'de % 25, S₃'de 26.7 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7.5 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat I' de Nem Muhtevasının değişimi



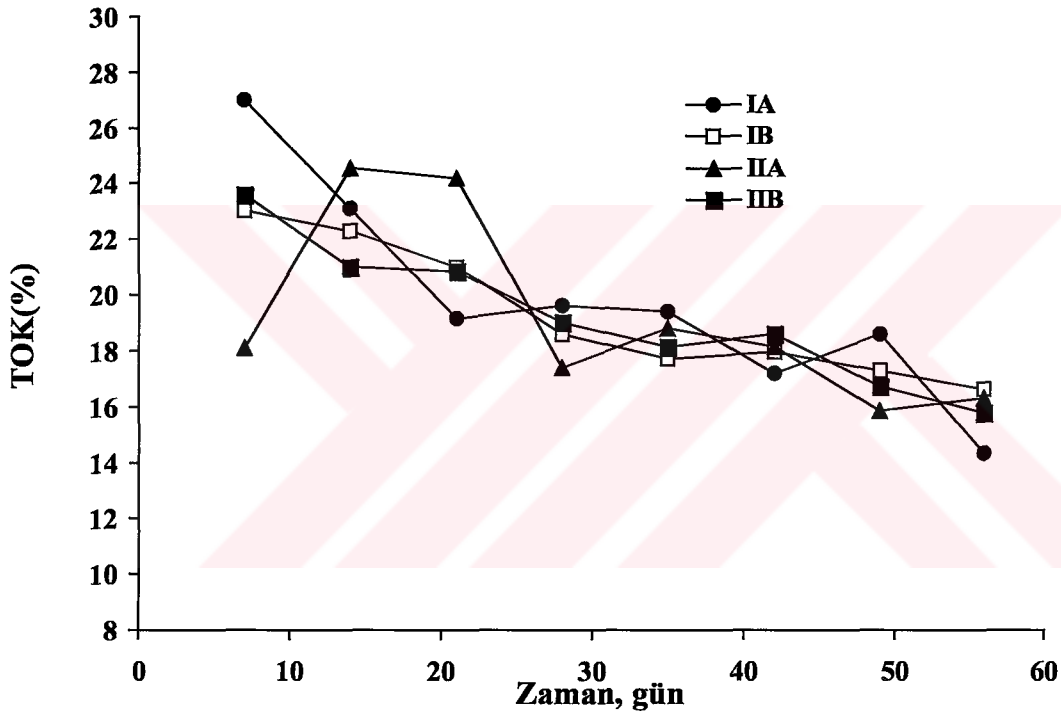
Şekil 7.6 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat II' de Nem Muhtevasının değişimi

7.1.4 C/N Oranı

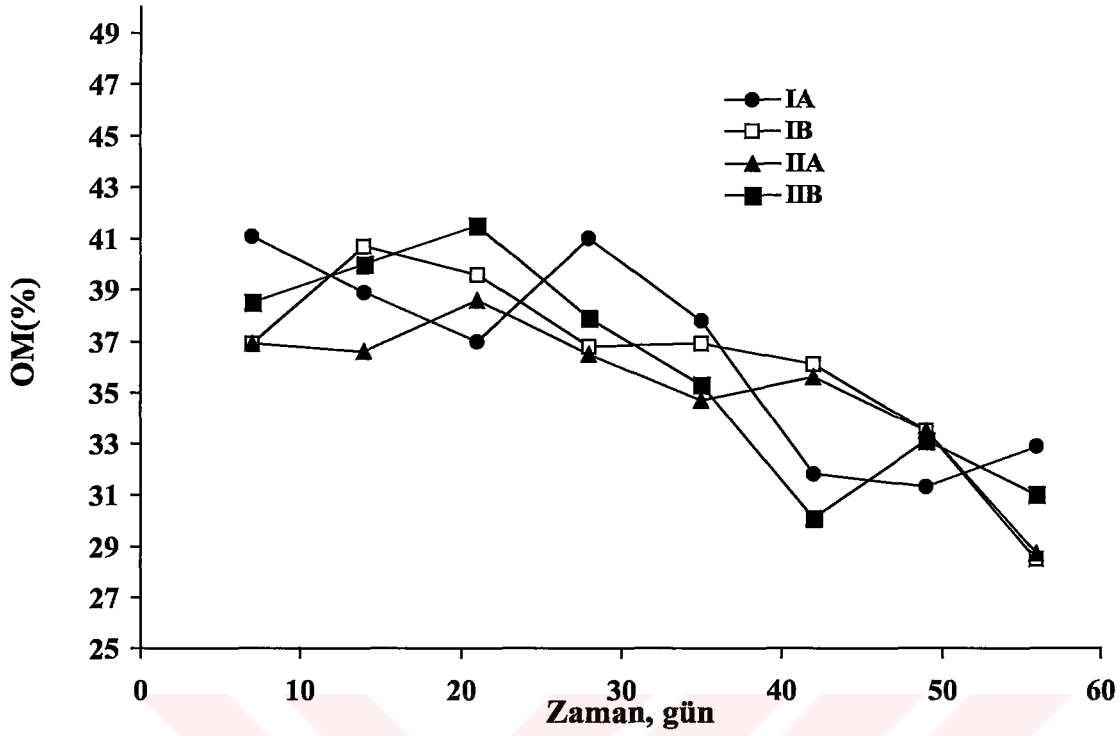
Mikrobiyolojik ayrışma için gerekli temel elementlerden en önemlileri karbon ve azottur. Karbon, hücrelerin temel yapı taşı ve enerji kaynağı olup, hücrenin %50'sini teşkil ederken, azot; protein, nükleik asit, vb. gibi hücre büyümesi ve aktivitesi için gerekli maddelerin yapı taşıdır. Olgunlaşmış bir kompost da C/N oranı yaklaşık 10 civarındadır (Mathur 1991). C/N oranı yükseldiği zaman çürütme hızı oldukça düşer.

Daha düşük C/N oranları ise NH_3 'ın meydana gelmesine vesile olur. Bunun sonucunda proseste kötü kokular meydana gelir.

Numunelerde C/N oranını bulabilmek için TOK ve TKN belirlenmiştir. Hat I ve II'de bulunan TOK değerleri Şekil 7.7'de verilmiştir. Methods of Soil Analysis'e göre toprakta TOK/OM oranı genellikle %48-58 arasında değişmektedir. Dolayısıyla TOK deneyinin doğru yürütüldüğünü öğrenebilmek için Hat I ve II'de organik madde muhtevaları da belirlenmiş (Şekil 7.8) ve TOK/OM oranı Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat I ve II' de TOK'un değişimi

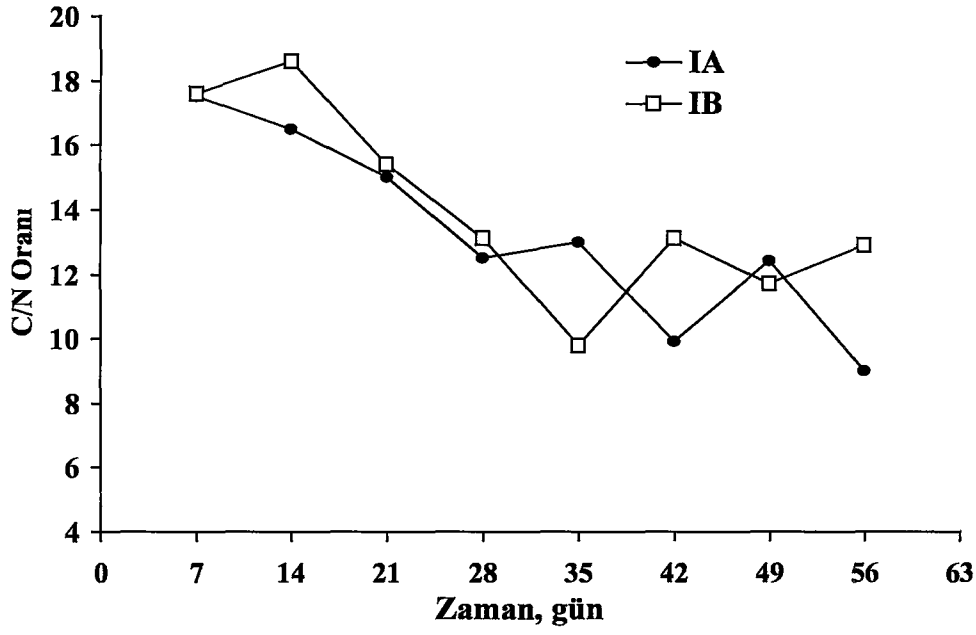


Şekil 7.8 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat I ve II' de OM'nin değişimi

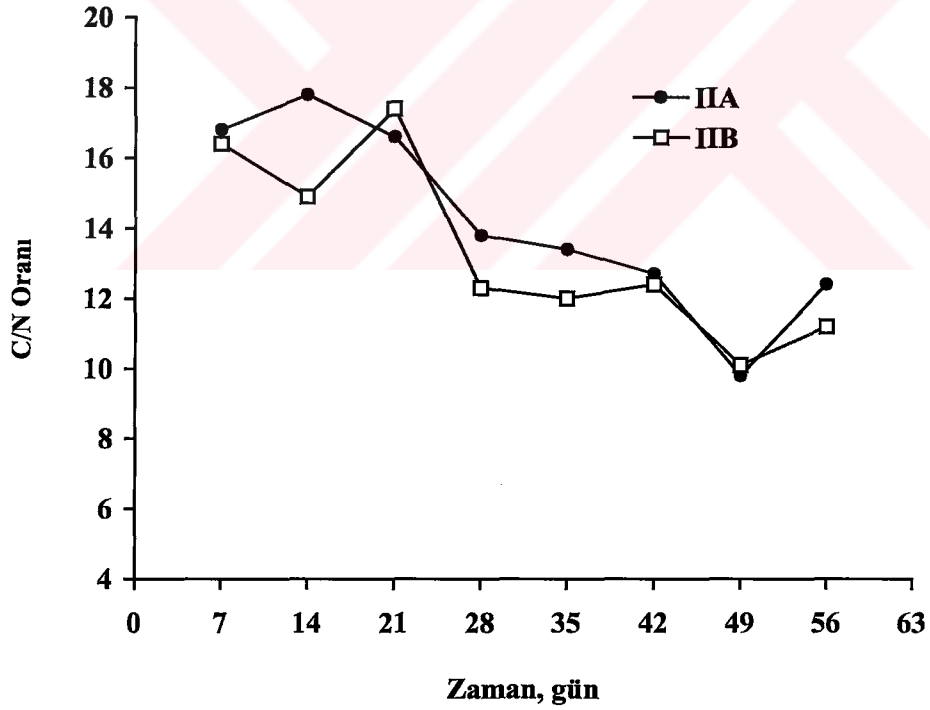
Çizelge 7.1 Kompostlaştırma prosesi boyunca TOK/OM'nin değişim oranları

Zaman (gün)	TOK/OM Oranları(%)			
	IA	IB	IIA	IIB
7	66	62	49	61
14	59	55	67	53
21	52	53	63	50
28	48	51	48	50
35	51	48	54	51
42	54	50	51	62
49	59	52	47	51
56	44	58	57	51

Ürün kalitesinin tespiti için kompostlaştırma süresi 8 hafta boyunca Hat I ve Hat II'de C/N oranı (Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da) izlenmiştir.



Şekil 7.9 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat I'de C/N oranının değişimi



Şekil 7.10 Kompostlaştırma prosesi boyunca Hat II'de C/N oranının değişimi

Hat I ve II'de TOK değerleri yaklaşık % 25 civarından başlamış son üründe yaklaşık %15 seviyesine kadar indiği görülmüştür. Organik Madde muhtevası Hat I ve II'de % 41 seviyesinden başlamış, % 30 seviyesine kadar indiği tespit edilmiştir. C/N oranı 1. ve 2. Holde son üründe 11-12 arasında kaldığı görülmektedir. Tesiste deneme işletme tarihinin bitiminden sonra her üç ayda bir son üründen alınan numunelerde C/N oranı ise, S₁'de 12.9, S₂'de 12.9, S₃'de 13.8 olarak tespit edilmiştir.

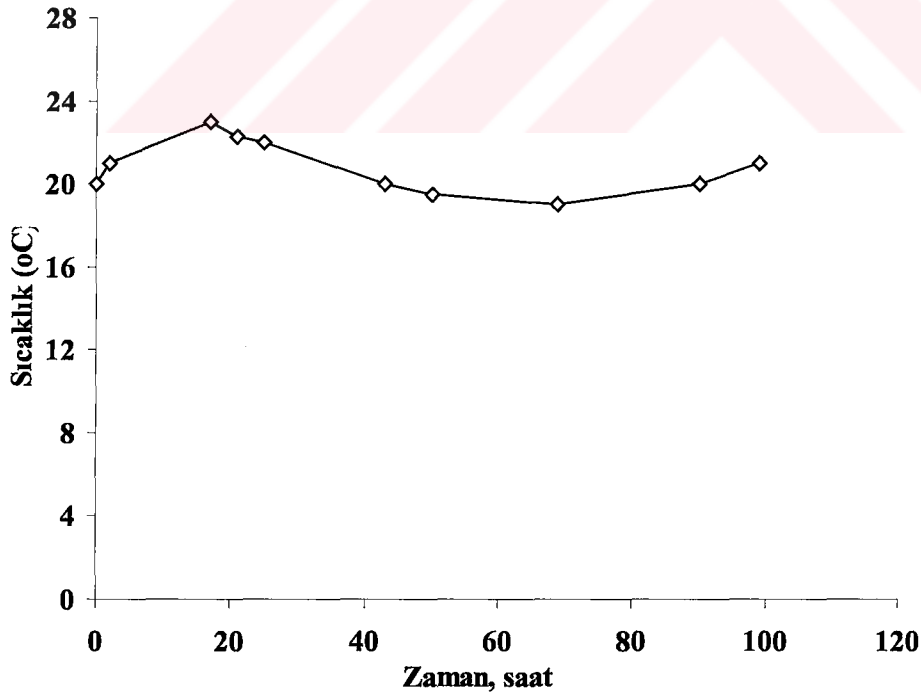
7.1.5 Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Değeri)

Kompostun olgunluğunu belirlemek için basit ve pahalı olmayan test Dewar Kabı (kendi kendine ısıtma) testidir (Brinton ve Arkadaşları 1993). Kap içinde numunenin sıcaklığının yükselmesi kompostun stabilitesinin bir göstergesidir. Kap içinde sıcaklık ile kompostun stabilitesi arasında ters bir ilişki vardır. Sıcaklık yüksek ise stabilite düşüktür.

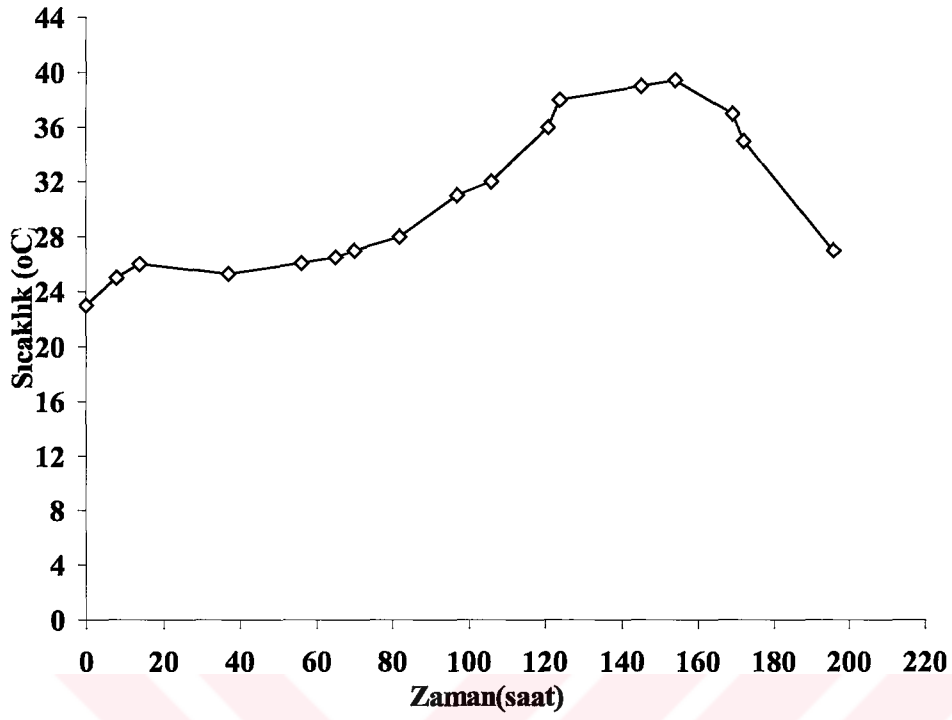
IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIC, IID, S₁, S₂ ve S₃ yığınlarında oluşan nihai kompost ürünlerinde Dewar Kabı ile fermentasyon derecesi belirleme çalışması yapılmıştır. Dewar kabında meydana gelen sıcaklık değişimleri Çizelge 7.2'de, her numunenin zamana bağlı sıcaklık değişimleri de Şekil 7.11 - 7.21'de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Değeri)'nin Belirlenmesi İçin Ölçülen Dewar Kabı Sıcaklık Değişimleri

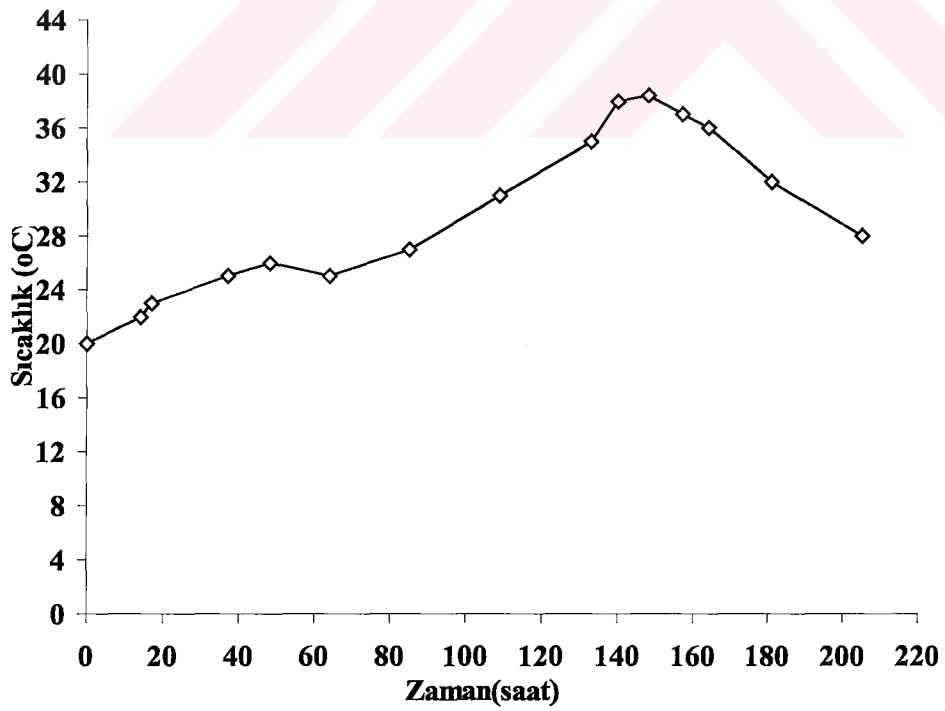
IA		IB		IC		ID		IIA		IIB		IIC		IID		S ₁		S ₂		S ₃	
Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)	Saat	Sic. (°C)
0	20	0	23	0	20	0	16,2	0	20,8	0	23,2	0	24,3	0	22	0	21	0	28,1	0	15
2	21	8	25	14	22	17	19,7	4	21,1	2	23,9	2	25,2	18	32,2	1	21	24	29,7	24	18,5
17	23	37	25,3	17	23	24	20,9	20	25,7	25	25,1	18	25,3	23	34,2	5	22	48	32,9	48	22,5
21	22,3	56	26,1	37	25	41	22,8	44	27,2	33	25,4	21	25,2	40	40,2	26	23	72	32,7	72	28
25	22	65	26,5	48	26	48	23,2	53	26,9	45	24,9	25	25,5	46	40,8	31	23	96	30,9	96	35
43	20	70	27	64	25	56	24,4	89	26	51	25,1	42	25,1	55	41,7	79	22	120	28,5	120	38
50	19,5	82	28	85	27	65	23,5	103	27,5	70	24,5	57	26,6	64	41,5	96	21,5	144	28,6	144	36
69	19	97	31	109	31	74	23,8	112	28,9	90	28,8	69	22,2	91	38,6	141	20	168	29,2	168	33
90	20	121	36	133	35	89	23,2	128	33,5	114	39	90	24,6	117	28	146	20	192	27,5	192	29
99	21	124	38	140	38	103	22,3	131	35	123	40	97	26,2	140	23	165	20	216	27,9	216	28
-	-	145	39	148	38,4	127	21,5	149	40,7	129	43,7	105	30,4	-	-	-	-	240	26,9	240	25
-	-	154	39,4	157	37	142	21,4	153	41,1	138	42,9	114	29,8	-	-	-	-	264	26,4	264	23
-	-	169	37	164	36	-	-	156	41,6	147	42,3	139	29,5	-	-	-	-	-	-	288	24
-	-	172	35	181	32	-	-	171	39,1	165	38,2	155	27,9	-	-	-	-	-	-	312	22
-	-	196	27	205	28	-	-	172	38,8	176	33,4	179	27,3	-	-	-	-	-	-	-	-



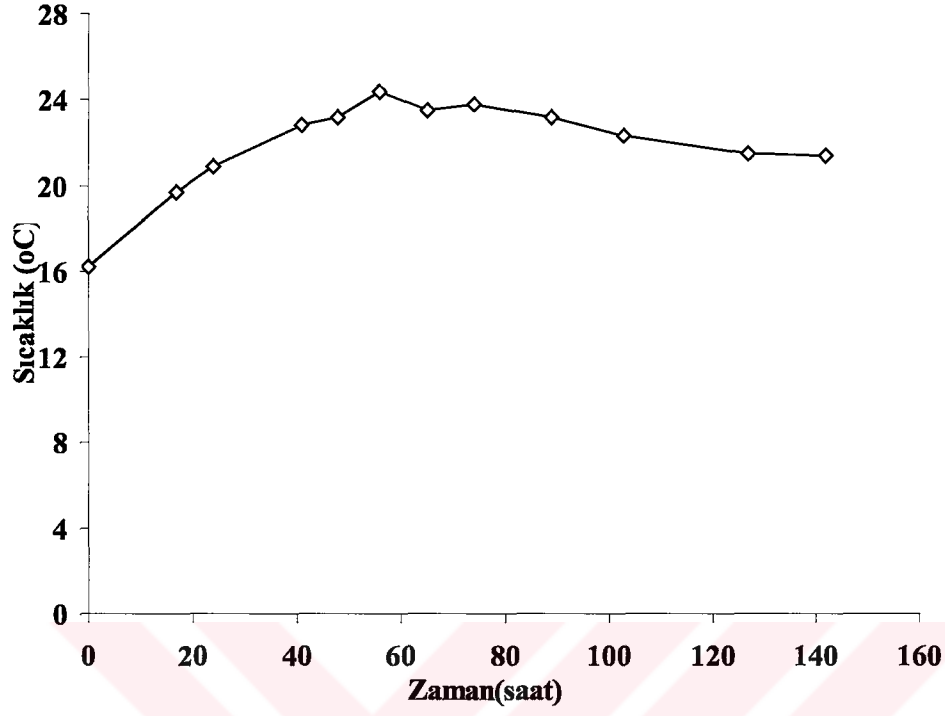
Şekil 7.11. 1. Hol, IA Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



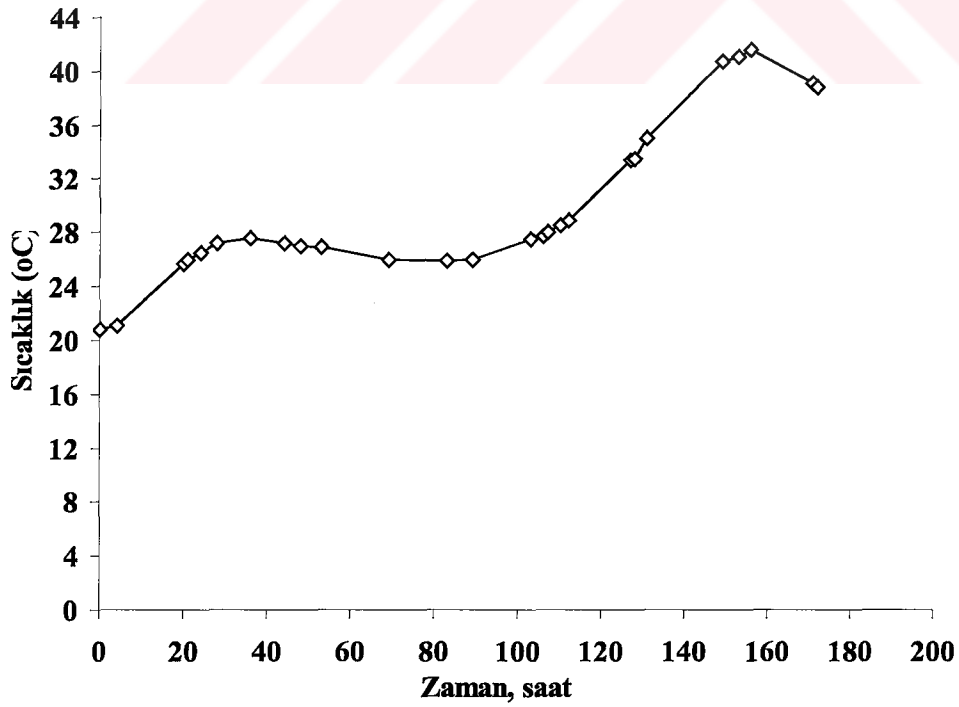
Şekil 7.12. 1. Hol, **IB** Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



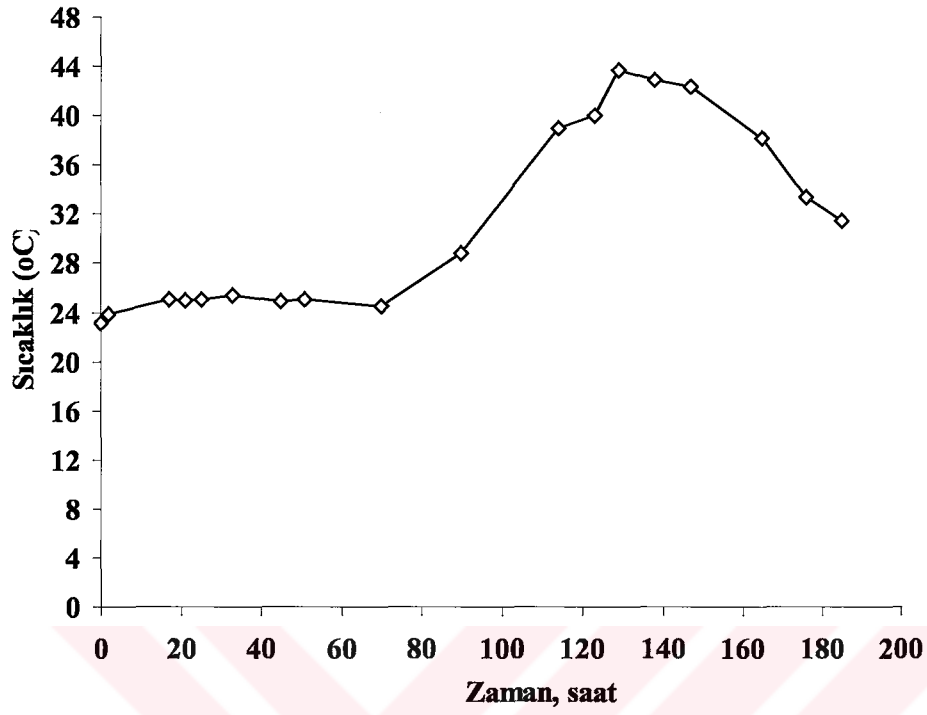
Şekil 7.13 1. Hol, **IC** Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



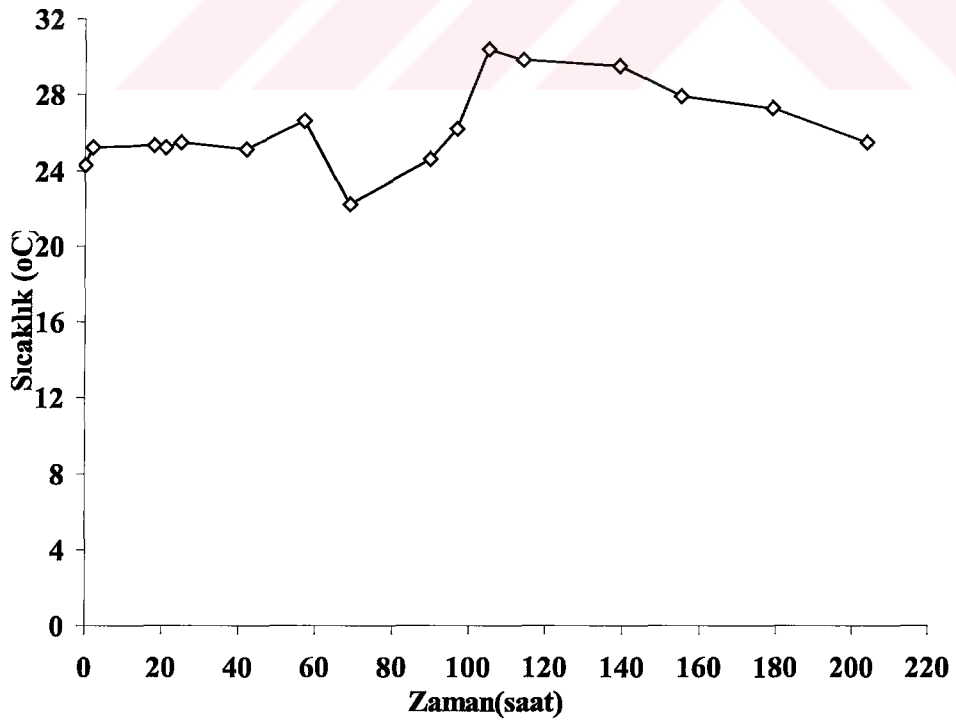
Şekil 7.14. 1. Hol, **ID** Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



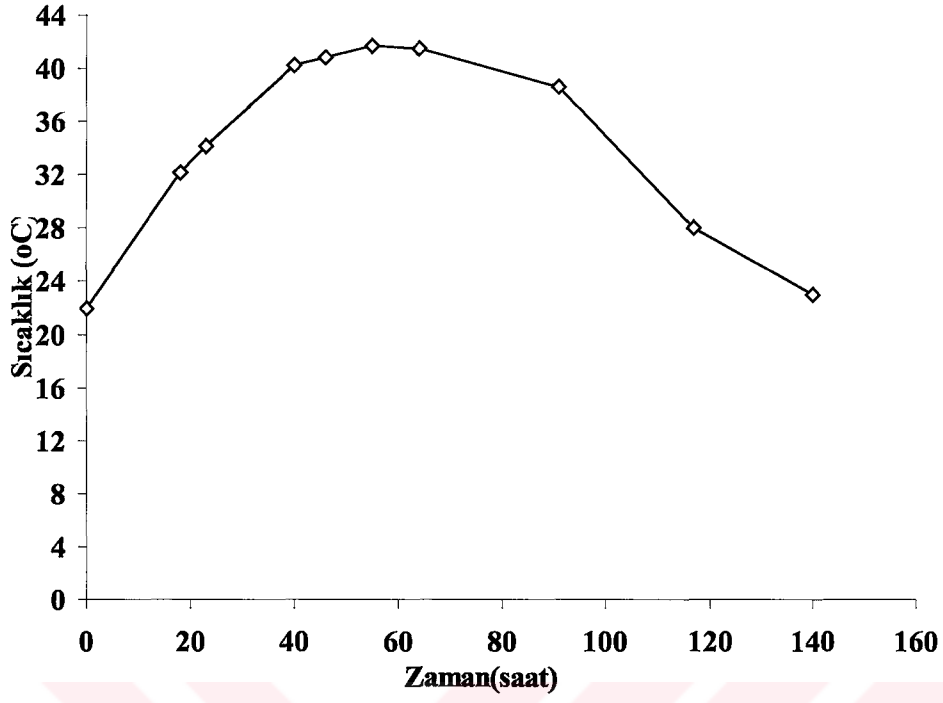
Şekil 7.15. 2. Hol, **IIA** Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



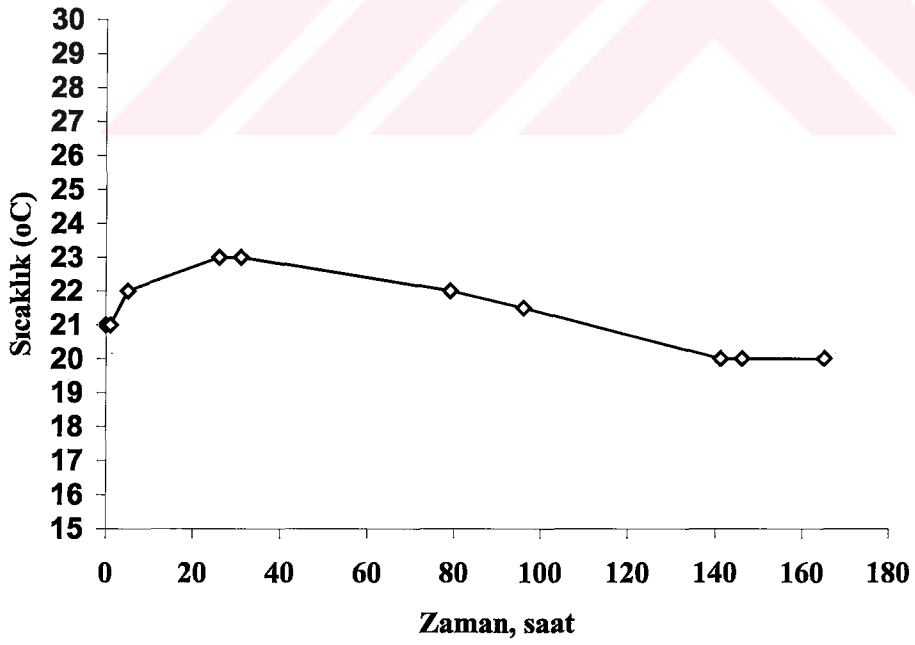
Şekil 7.16. 2. Hol, **IIB** Nolu Numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



Şekil 7.17. 2. Hol, **IIC** Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



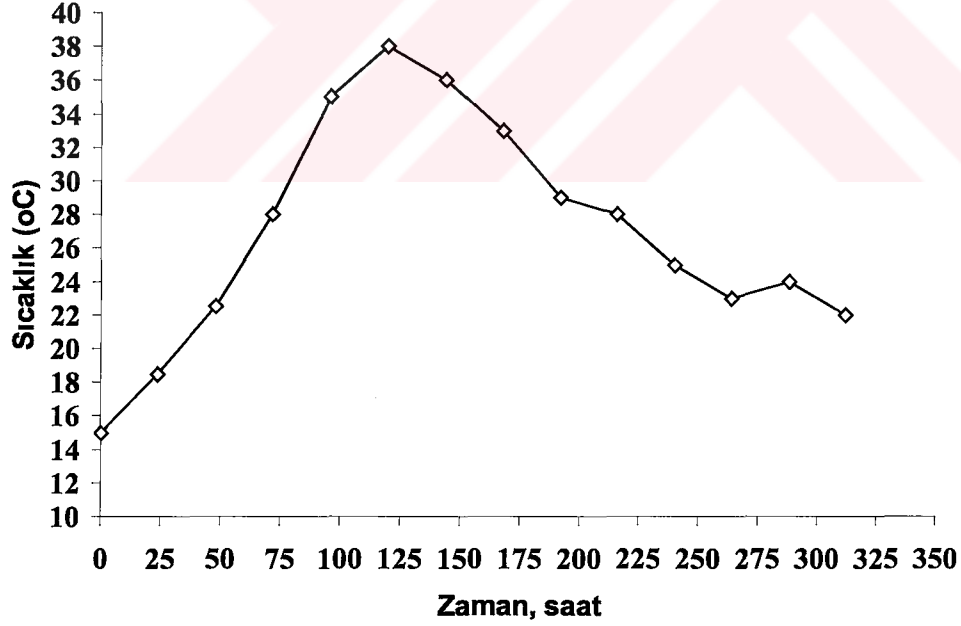
Şekil 7.18. 2. Hol, **IHD** Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



Şekil 7.19. **S₁** Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



Şekil 7.20. S₂ Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi



Şekil 7.21. S₃ Nolu numunede Dewar Kabı Sıcaklık Testi

Dewar Kabı testlerinde 3 numunede (IIA, IIB, IID) sıcaklık 40 °C'nin biraz üzerine çıkmış, diğer numunelerde ise 40 °C'nin altında kalmıştır.

7.1.6 Bitkiye Uygunluk (Fitotoksisite)

Kompost numunelerinin stabil yapısının en iyi göstergelerinden biri de bitkiye uygunluk testidir. Fitotoksisite, ağır metallerden, diğer inorganik elementlerden, çözülebilir tuzlardan ve diğer organik bileşiklerden meydana gelmektedir.

IA, IB, IC, IIA, IIB, IIC, IID, S₁, S₂ ve S₃ numunelerinde Tere tohumu kullanılarak yapılan fitotoksisite deneyleri sonucunda, şahit numune ile %25, %50 oranlarında karıştırılarak elde edilen verim değerleri Çizelge 7.3'de verilmiştir.



Çizelge 7.3 Kompost Karışımları İle Yapılan Fitotoksisite Test Sonuçları

Bitkiye Uygunluk Testi Yapılan Kompost Numuneleri	Bitkiye Uygunluk Yüzdesi	
	%25'lik kompost karışımı	%50'lik kompost karışımı
1. Hol, IA	100	100
1. Hol, IB	83	94
1. Hol, IC	97	82
2. Hol, IIA	77	77
2. Hol, IIB	100	100
2. Hol, IIC	86	71
2. Hol, IID	98	85
Ortalama	92	87
S₁	100	100
S₂	100	100
S₃	100	100
Ortalama	100	100

Tesiste deneme işletmesi esnasında incelenen kompost numunelerinin %25'lik karışımları ile yapılan fitotoksisite test sonucu bitkiye uygunluk yüzdesinin ortalama verimi > %90, %50'lik karışımlarının ortalama verimi < % 90 olarak tespit edilmiştir. Deneme işletmesinden sonra incelenen kompost numunelerinin %25'lik ve %50'lik karışımlarında yapılan fitotoksisite test sonucu, bitkiye uygunluk yüzdelерinin ortalama verimi %100 olarak tespit edilmiştir.

7.1.7 Hijyen

Kompostlaştırma prosesi sonunda, meydana gelen ürünlerde salgın hijyeni belirlemek için “OXOID Salmonella Rapid Test” yöntemine göre *salmonella sp* tayini yapılmıştır.

Kompost numunelerinde (IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIC, IID, S₁, S₂ ve S₃) salgın hijyen test sonuçları Çizelge 7.4’de verilmiştir.

Çizelge 7.4 Salgın Hijyen İfade Eden *Salmonella* Test Sonuçları

<i>Salmonella</i> Testi (Salgın Hijyen) Yapılan Kompost Numuneleri	A Tüpü (H₂S Oluşumu)	B Tüpü (Laktoz Fermantasyonu)
1. Hol, IA	-	-
1. Hol, IB	-	-
1. Hol, IC	-	-
1. Hol, ID	-	-
2. Hol, IIA	-	-
2. Hol, IIB	-	-
2. Hol, IIC	-	-
2. Hol, IID	-	-
S ₁	-	-
S ₂	-	-
S ₃	-	-
Şahit (<i>Salmonella</i> sp.)	+	+
Steril su	-	-

+ Pozitif - Negatif

Test sonuçlarında *Salmonella* sp. suş’u kullanılan tüpte H₂S oluşumu (+) gözlenmiş, steril suda ve kompost numunelerinde H₂S oluşumuna (-) rastlanılmamıştır.

7.1.8 Ağır Metal

Kompost numunelerinde (IA, IIA, S₁, S₂, ve S₃) yapılan ağır metal analiz neticeleri toplu halde Çizelge 7.5’de verilmiştir.

Çizelge 7.5 Kompost numunelerinde Ağır Metal Analiz Sonuçları

Parametreler	IA (mg /kg KM)	IIA (mg/kg KM)	S ₁ (mg /kg KM)	S ₂ (mg /kg KM)	S ₃ (mg /kg KM)
Hg	2,5	2,1	1,69	1,3	0,98
Pb	42,3	48,6	38,2	197,5	169,6
Cd	3,1	2,6	1,76	8,0	6,9
Cr	135,2	195	565	210,4	300,5
Cu	165	172,8	529	362,9	325,4
Ni	35,2	33,74	56,6	35,0	56,3
Zn	250,5	232	189,5	503,1	356,9

7.2 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

7.2.1 Sıcaklık

Kompostlaştırma prosesi boyunca her iki hatta bulunan yığınların sıcaklıkları tesiste günlük olarak ölçülmüştür. 1.Holde, IA ve IB'nolu yığınların sıcaklıkları yoğun çürüme bölümünde 60-70 °C, şartlandırma bölümünde 35-55 °C olmaktadır. 2.Holde, IIA ve IIB'nolu yığınların sıcaklıkları yoğun çürüme bölümünde 45-70 °C, şartlandırma bölümünde 40-55 °C olmaktadır.

Katı atıklarda bulunan bazı patojen mikroorganizmaların sıcaklık zaman ilişkisinde yok edilme aralıkları Çizelge 7.6'da gösterilmiştir. Burada verilen değerlerden toplam koliform, fecal koliform, fecal streptococcus ve salmonella enteritidis serotip'in, sıcaklık 55-65 °C 'yi aştığında büyük oranda yok edildikleri görülmektedir.(Stern, 1974)

Çizelge 7.6 Katı atıklarda bulunan Patojen mikroorganizmaların sıcaklık-zaman aralığında yok edilmeleri

Organizmalar	Sıcaklık aralıklarına göre yok edilme zamanları (dak.)				
	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Entamoeba histolytic cysts	5				
Asceris lumbricoides eggs	60	7			
Brucella abortus		60		3	
Corynebacterium diphteriae		45			4
Salmonella typhi			30		4
Esherichia coli			60		5
Microccus pyogenes var. Aureus					20
Mycobacterium tuberculosis					20
Shipegella spp.	60				
Mycobacterium diphteria	45				
Necator americanus	50				
Taenia saginata					5
Viruses					25

Çizelge 7.6'daki değerlere göre Hol 1 ve Hol 2'de patojen mikroorganizmalar büyük oranda yok olmaktadır. Ancak sıcaklık fazla artışı zaman odunsu maddeleri ve diğer dirençli materyalleri (waxlar, proteinler, selülözler, lignin ve pektinler) parçalayan Fungi gibi organizmalar da yok olmaktadır. Fungiler 60 °C'nin üstünde yaşayamamaktadırlar. Dolayısıyla kompostlaştırma prosesi boyunca eksiklikleri ve yokluklarında zor ayrışan materyallerin parçalanmayacağı, böylece kompostlaştırma prosesinde ayrışma döneminin tamamlanamayacağı unutulmamalıdır. Fermantasyon odasında sıcaklık yükseldiği zaman (65 °C'nin üzerine) havalandırma ile düşürülmektedir. Ayrıca sıcaklık ile zaman periyodu ilişkilendirilerek kompost prosesinin işletimi ayarlanmaktadır. Proseste sıcaklık kontrol edilerek patojen mikroorganizmalar ve yabancı tohumların bitkilere olan toksite etkileri de yok edilmektedir.

7.2.2 pH

Kompostlaştırma prosesi boyunca pH'ın değişimi; 1. Holde, IA'da girişte 5 civarından başlamış, çıkışta 8 civarına yükselmiş, IB'de girişte 7 civarından başlamış, çıkışta 8 civarına kadar yükselmiştir. 2. Holde IIA'da girişte 7 civarından başlamış, 4.5'a kadar inmiş, çıkışta 8 civarına kadar yükselmiştir. IIB'de 6,5 civarından başlamış, çıkışta 8 civarına kadar yükselmiştir.

Genel olarak bakterilerin optimal pH aralığının 6-8 civarında olduğu söylenebilir. Kompostlaştırma prosesi boyunca 1. ve 2. Holde, pH'ın genelde 6-8 civarında seyrettiği görülmüştür. Dolayısıyla kompostlaştırma prosesi boyunca ortam pH'sının bakterilerin yaşamaları için uygun olduğu görülmektedir. Tesiste Kompostlaştırma süresi boyunca pH'ı yükseltmek veya azaltmak için herhangi bir kimyasal madde ilavesine gerek yoktur.

7.2.3 Su Muhtevası

Su Muhtevası Hat I'de, her iki yığında da % 45'den başlamış, % 20 seviyesine kadar inmiştir. Hat II'de IIA'da % 60 seviyesinden başlamış % 20 seviyesine, IIB'de % 40 seviyesinden % 20 seviyesine kadar indiği gözlemlenmiştir.

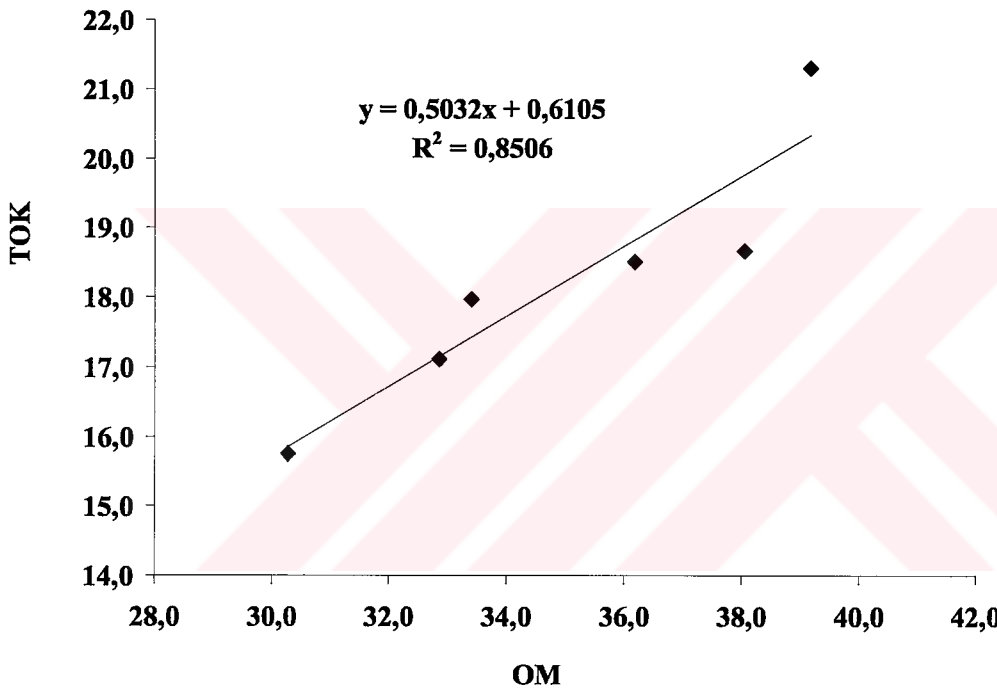
Tesise ait Teknik şartnamede su muhtevası değeri için, "8 haftalık çürüme süresinden sonra, azami su muhtevası ham kütleli ağırlığının % 45'inden daha düşük olacaktır." ifadesi yer almaktadır. Analizi yapılan kompost numunelerinde su muhtevası değerlerinin % 45'den küçük olduğu ve Teknik Şartnamede istenilen sınır değerini sağladığı görülmüştür.

7.2.4 C/N Oranı

C/N oranı oluşan kompostun olgunluğunun bir göstergesidir. Olgun bir kompost için C/N oranı yaklaşık 10-12 civarında olması gerekir. C/N oranı yükseldiği zaman çürüme hızı oldukça düşmekte, daha düşük C/N oranları ise NH_3 teşekülüne vesile olmaktadır. Bunun sonucunda proseste kötü kokular meydana gelmektedir.

Kompostlaştırma prosesi boyunca ve son üründe C/N oranını bulmak için TOK ve TKN değerleri bulunmuştur. Ayrıca TOK değerlerinin kontrolü için OM değerleri de tespit edilmiştir.

Methods of Soil Analysis'e göre toprakta TOK/OM oranı genellikle %48-58 arasında değişmektedir. Çizelge 7.1'e göre kompostta TOK/OM oranı % 44-67 arasında değerler almaktadır. Ayrıca IA, IB, IIA ve IIB yığınlarında bulunan TOK ile OM'nin ortalama değerleri kullanılarak aralarındaki ilişki Şekil 7.22 deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 7.22. TOK ile OM arasındaki ilişki

C/N oranı 1. Holde IA'nolu yığında yaklaşık 17 seviyesinden başlamış, 9 seviyesine kadar düşmüş, IB'nolu yığında yaklaşık 17 seviyesinden başlamış, 12 seviyesine kadar düşmüştür. 2. Holde IIA'nolu yığında yaklaşık 17 seviyesinden başlamış, 12 seviyesine kadar inmiş, IIB'nolu yığında yaklaşık 16 seviyesinden başlamış, yine 12 seviyesine kadar inmiştir. Tesiste deneme işletme tarihinin bitiminden sonra her üç ayda bir son üründen alınan numunelerde C/N oranı; S₁'de 12.9, S₂'de 12.9, S₃'de 13.8 olarak tespit edilmiştir. Olgunlaşmış bir kompost için C/N oranı yaklaşık 10-12 civarında olması

gerekmektedir(Mathur 1991). Dolayısıyla tesiste deneme işletmesi sonunda elde edilen ürünün bu değeri yaklaşık olarak sağladığı görülmüştür.

7.2.5 Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Değeri)

8 Haftalık kompostlaştırma prosesi boyunca oluşan üründe (IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIC, IID, S₁, S₂ ve S₃) olgunlaşmayı tespit edebilmek için Dewar kabı testi yapılmıştır. Oluşan sıcaklık derecesine göre kompostun kalite açısından sınıflandırılması Çizelge 7.7’de verilmiştir.

Çizelge 7.7 Dewar kabına göre kompostun kalite açısından sınıflandırılması (Epstein, 1997)

Maksium Sıcaklık (°C)	Sınıfı	Ayrışma Derecesi
60-70	I	Taze, yeni kompost
50-60	II	Olgunlaşmamış kompost
40-50	III	Materyallerin ayrışması devam ediyor, depo edilemez
30-40	IV	Olgunlaşmış kompost depo edilebilir.
20-30	V	Tamamıyla stabil hale gelmiş kompost depo edilebilir.

8 Hafta sonunda oluşan ürünlerde Dewar kabı deneyi neticesinde maksimum sıcaklıklar; IA’nolu yığında 23 °C, IB’nolu yığında 39,4 °C, IC’nolu yığında 38,4 °C, ID’nolu yığında 24,4 °C, IIA’nolu yığında 41,6 °C, IIB’nolu yığında 43,7 °C, IIC’nolu yığında 30,4 °C ve IID’nolu yığında 41,7 °C, S₁’nolu yığında 23 °C, S₂’nolu yığında 32,7 °C, S₃’nolu yığında 38 °C olarak tespit edilmiştir.

Üretilen kompostun 8 haftalık çürüme prosesinden sonra IV. çürüme derecesine ulaşacağı veya oto ısınma deneyinde (Dewar Kabında sıcaklık değişimi) sıcaklığın en fazla 40 °C’ye kadar çıkabileceği Teknik şartnamede ifade edilmiştir. Bu şartın, bir

yığın alanından alınan numunelerin tümünün sıcaklığının aritmetik ortalaması 40 °C veya 40 °C'nin altında olması halinde sağlanmış olacağı ifade edilmektedir.

Laboratuvarda yapılan “Dewar Kabı Sıcaklık Değişimi” deneylerinde 3 numunede (IIA, IIB, IID) sıcaklık 40 °C'nin üzerine çıktığı, diğer numunelerde ise 40 °C'nin altında kaldığı, alınan tüm numunelerdeki sıcaklığın aritmetik ortalamasının ise 40 °C'nin altında kaldığı tespit edilmiştir.

7.2.6 Bitkiye Uygunluk (Fitotoksisite)

Fitotoksisitenin belirlenmesi amacıyla 10 kompost numunesinde (IA, IB, IC, IIA, IIB, IIC, IID, S₁, S₂ ve S₃) %25'lik ve %50'lik kompost karışımları sıfır birim toprakla karıştırılarak çalışmalar yapılmıştır. Deneme işletmesinde üretilen kompost numunelerinin %25'lik karışımında yapılan fitotoksisite test sonucu bitkiye uygunluk yüzdelerinin %77-%100 arasında değiştiği, ortalamasının ise %92 olduğu belirlenmiştir. %50'lik kompost karışımlarında ise; bitkiye uygunluk oranının minimum %71, maksimum %100 ve ortalama %87 olduğu tespit edilmiştir. %25'lik kompost karışımlarından 3 kompost numunesinin, %50'lik kompost karışımlarında ise 4 numunenin bitkiye uygunluğu %90'ın altında bulunmuştur. Deneme işletmesinden sonra her üç ayda bir alınan numunelerin (S₁, S₂ ve S₃) %25'lik ve %50'lik kompost karışımlarında yapılan fitotoksisite test sonuçlarının bitkiye uygunluk yüzdeleri %100 bulunmuştur.

%25'lik kompost karışımlarının ortalamasının %90'dan büyük olması, üretilen kompostun zemin iyileştirme ve gübre amacı ile kullanılabileceğini göstermektedir.

Tere tohumu kullanılarak yapılan fitotoksisite testi neticesinde, kompostun bitki gelişimi açısından toksik etki yapacak miktarda bileşenler içermediği kanaatine varılmıştır.

7.2.7 Hijyen

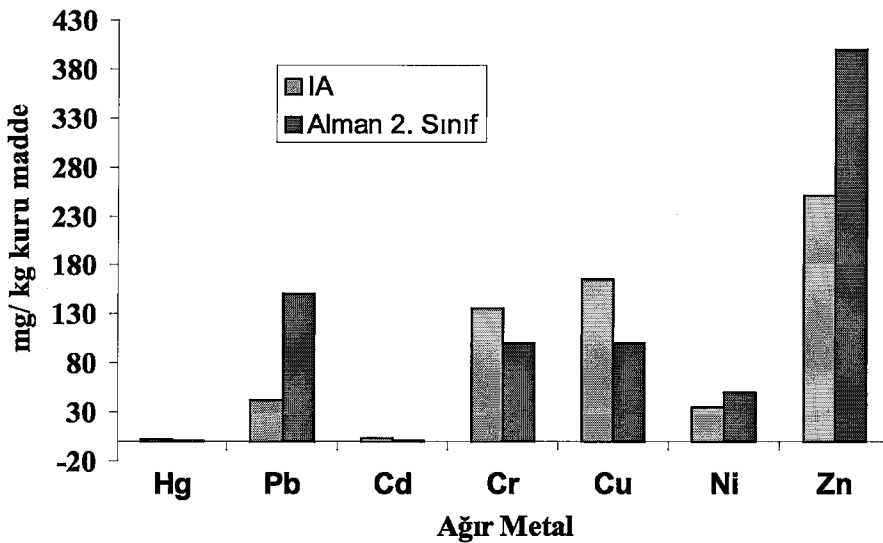
İşletme şartlarında her iki holde son ürünlerde (IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIC, IID, S₁, S₂, S₃) alınan kompost örneklerinde salgın hijyeni belirlemek için “OXOİD Salmonella Rapid Test” yöntemine göre *Salmonella* testleri yapılmıştır. Söz konusu kompost

numunelerinde, yapılan deneysel çalışma sonuçları hareketli salmonella varlığını gösteren A tüpünde H₂S oluşumuna bağlı siyah renklenme ve B tüpünde laktoz fermentasyonu yokluğunu gösteren kırmızı renklenme gözlemlenmemiş, *Salmonella sp.* suş'u kullanılan tüpte A tüpünde H₂S oluşumuna bağlı siyah renklenme ve B tüpünde laktoz fermentasyonu yokluğunu gösteren kırmızı renklenme gözlemlenmiştir.

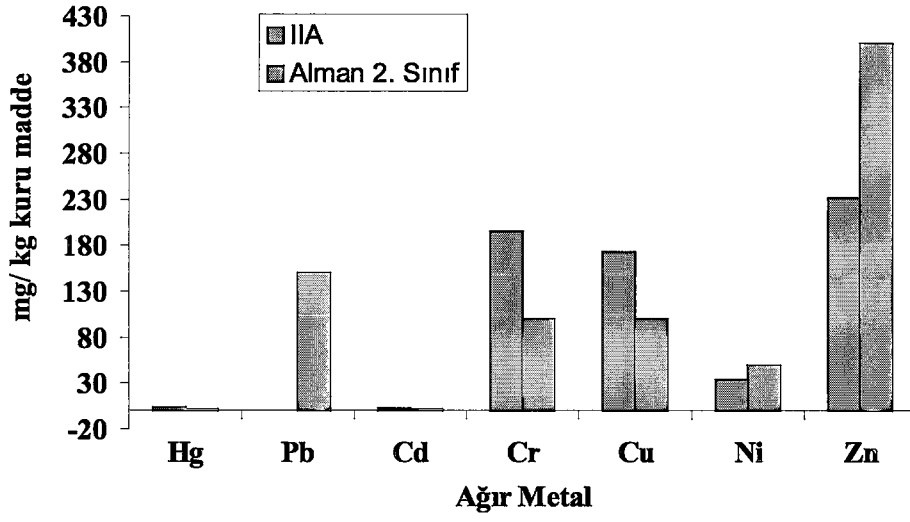
Netice olarak kompost ürününde, bulaşıcı ve salgın bir hastalık olan tifo hastalığının amili *Salmonella* bakterisinin olmadığı görülmüştür. Buna göre; mevcut tesisin öngörülen işletme şartlarında çalıştırılması halinde üretilen kompostun, *Salmonella* açısından hijyenik olduğu kanaatine varılmıştır.

7.2.8 Ağır Metal

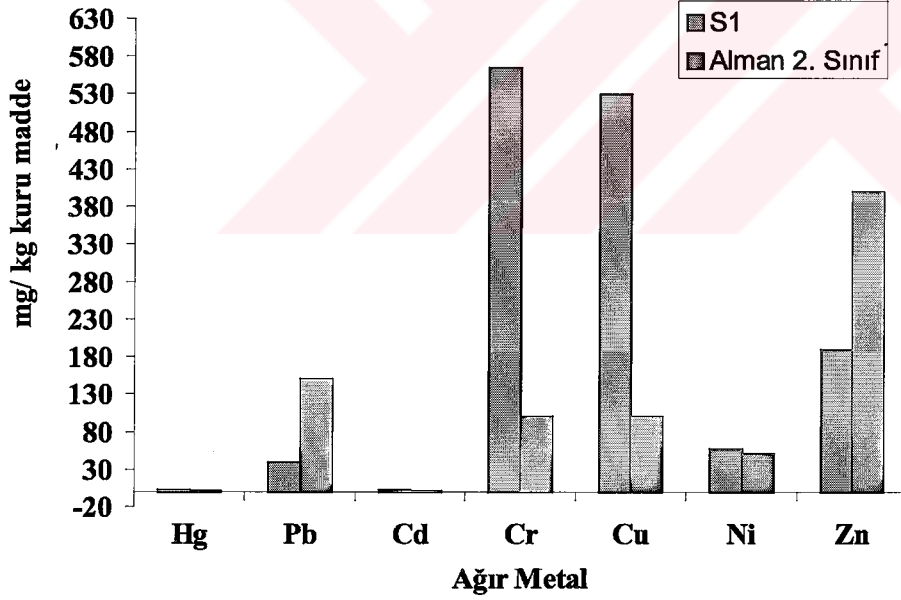
8 Haftalık kompostlaştırma prosesi sonunda oluşan üründe, IA, IIA, S₁, S₂ ve S₃'nolu yığınlarda ağır metal analizleri yapılmıştır. Ağır metal analiz sonuçlarının Alman "Sınıf 2" referans değeri ile karşılaştırılmaları Şekil 7.23 - Şekil 7.27'de gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.2'de verilen çeşitli Avrupa ülkelerindeki referans değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır.



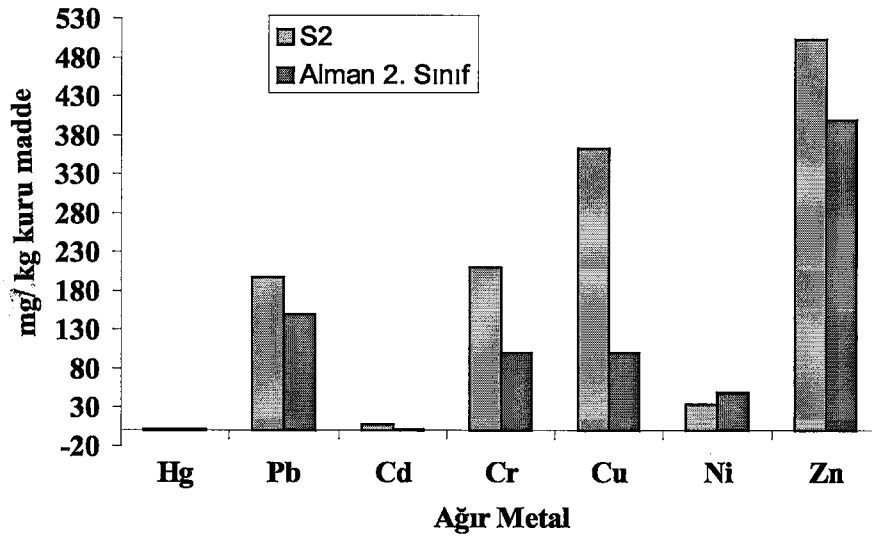
Şekil 7.23 IA'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması



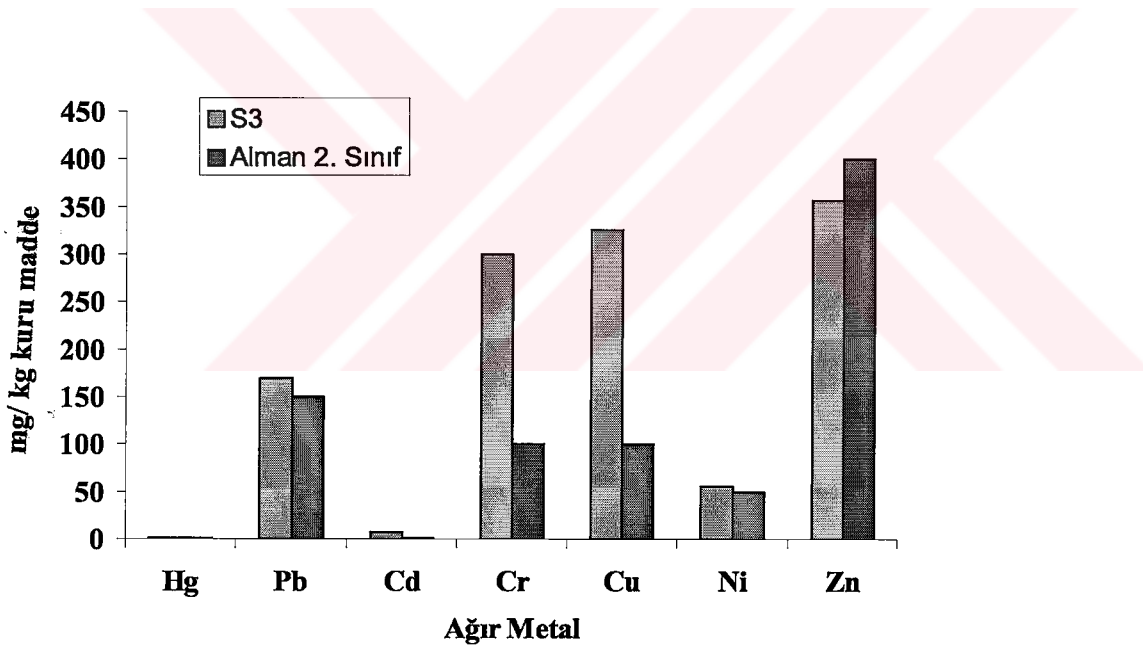
Şekil 7.24 IIA'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.25 S₁'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.26 S₂'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.27 S₃'nolu numune ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinin karşılaştırılması

IA, IIA, S₁, S₂ ve S₃'nolu yığınlarda ağır metal analizi ölçümleri neticesinde, elde edilen Cr ve Cu değerlerinin Alman 2. sınıf referans değerlerinden yüksek, Zn ve Pb değerlerinin düşük, Hg, Cd ve Ni değerlerinin Alman 2. sınıf referans değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Çizelge 4.2'de verilen Avusturya 2. sınıf referans değerleri ile

yapılan karşılaştırmada, Zn, Ni, Cu, Pb ve Hg değerlerinin düşük, Cd ve Cr değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Kompostun kullanılması durumunda Ülkemizde yürürlükte olan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ndeki hususlara uyulması gerekecektir. Söz konusu yönetmelikte, toprakta kullanılacak komposta ait ağır metal muhtevaları ile ilgili bir sınırlama olmayıp, toprakta müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları ve bir yılda araziye verilebilecek ağır metal yükü değerleri verilmektedir. Kullanılacak kompostun yukarıda bahsi geçen yönetmelikte belirtilen sınırlamalara uyulacak şekilde kullanılması gerekecektir. Ayrıca yapılan analiz çalışmaları kısa süreli bir çalışma olup, yönetmelikte de belirtildiği gibi kompostun ve uygulandığı toprağın belirli periyotlarla analiz edilerek takip edilmesi gereklidir.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Madde 36'da tarımda kullanılması istenilen kompostun kriterleri sıralandıktan sonra Madde 37'de ağır metal muhtevalarına ait sınır değerlerden bahsedilmektedir. Söz konusu madde;

Madde 37- Bazı ağır metaller yüksek konsantrasyonlarda canlılar üzerinde zehirlenme etkisi gösterebileceğinden tarım alanlarına kontrollü olarak verilmesi için;

- 1) Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en fazla üçer aylık aralarla, ihtiva ettikleri kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden incelenmesi,
- 2) Kompostun kullanılacağı arazi bir hektardan büyükse toprağın pH değeri, ihtiva ettiği kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden analiz edilmesi,
- 3) Numunelerin tekniğine ve usulüne uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
- 4) Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin (EK-IV/A)'da yer alan değerleri aşması halinde söz konusu arazide kompostun kullanılmaması,
- 5) Kompostun arazide tekrarlanan bir şekilde kullanılması halinde, ağır metaller itibarı ile araziye verilen yükün (EK-IV/B)'de belirtilen değerleri aşmaması,

şeklinde verilmiştir. Yönetmeliğin atfettiği ekler ise aşağıdaki şekildedir.

EK-IV/A: Toprakta Müsaade Edilen Maksimum Ağır Metal Muhtevaları (kuru toprakta mg/kg olarak) (Türk Çevre Mevzuatı, 1992)

Ağır Metal	Topraktaki Sınır Değerler
Kurşun	100
Kadmiyum	3
Krom	100
Bakır	100
Nikel	50
Civa	2
Çinko	300

EK-IV/B: Bir Yılda Araziye Verilmesine Müsaade Edilecek Ağır Metal Yüğü (Yılda hektar başına gram olarak) (Türk Çevre Mevzuatı, 1992)

Ağır Metal	Topraktaki Sınır Değerler
Kurşun	2000
Kadmiyum	33
Krom	2000
Bakır	2000
Nikel	330
Civa	42
Çinko	5000

8. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada; İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma tesisinde deneme işletmesi safhasında, herbiri 8 bölmeden oluşan iki paralel fermentasyon ünitesinin, her iki bölmesinden numuneler alınarak kompostda meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler izlenmiş, 8 haftalık süre sonunda oluşan ürünlerde ve deneme işletmesinden sonra her üç ayda bir alınan numunelerde (son ürünlerde) kompostun sınıfı, stabilitesi ve olgunluğu tespit edilmiştir.

Fermentasyon ünitesinin 1. Hattının 1. bölümüne alınan atık (IA) bir hafta sonra 2. bölmeye aktarıldığında 1. bölmeye yeni atık (IB) doldurulmuş ve bu iki yığının 8 haftalık süreçteki değişimi her hafta alınan numunelerle izlenmiştir. Aynı şekilde paralel olarak çalışan 2. hattaki 1. bölmeye konulan yığın (IIA) 2. bölmeye aktarıldığında bunun yerine konulan yığın (IIB) de her aktarma sonunda alınan numunelerle izlenmiştir. **IA, IB, IIA ve IIB**'de her aktarma sonunda alınan numunelerde **Sıcaklık, pH, C/N oranı (TOK ve TKN), OM ve Su Muhtevası** 8 hafta boyunca her bölümde izlenmiştir.

Deneme işletmesinde 8 haftalık süre sonunda elde edilen ürünlerde (**IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIC ve IID**) ve tesiste deneme işletmesinin tarihinin bitiminden sonra üç ayda bir elde edilen ürünlerde (**S₁, S₂ ve S₃**), kompostun sınıfını, stabilitesini ve olgunluğunu tespit etmek için **Ağır metal tayini, Dewar kabı testi, bitkiye uygunluk testi ve hijyen** durumunu belirlemek için **Salmonella** tayini yapılmıştır.

Kompostlaştırma prosesi boyunca her iki hatta bulunan yığınların sıcaklıkları tesiste günlük olarak ölçülmüştür. 1.Holde 8 hafta boyunca yığınların (IA ve IB) sıcaklıkları yoğun çürüme bölümünde 60-70 °C, şartlandırma bölümünde 35-55 °C olmuş, 2.Holde ise, 8 hafta boyunca yığınların (IIA ve IIB) sıcaklıkları yoğun çürüme bölümünde 45-70 °C, şartlandırma bölümünde 40-55 °C olmuştur. Tesiste özellikle yoğun çürüme bölümünde ısıнын yüksek değerlere ulaşması hem mikroorganizmaların aktivitesinin bir ölçüsü olmuş, hem de patojen mikroorganizmaların yok olması için uygun seviyeye ulaşıldığını göstermiştir.

Kompostlaştırma prosesi boyunca pH tesiste günlük olarak ölçülmüştür. Fermantasyon odasında her iki yığında da pH'ın 5-6 civarından başlayıp, son üründe 8 seviyesine kadar yükseldiği görülmüştür. Genel olarak bakterilerin yaşadığı pH seviyesi 6-8'dir. Dolayısıyla tesiste ölçülen pH bakterilerin yaşamları için uygundur. pH'ın yoğun çürüme bölümünde düşük ölçülmesi, ortam ısınmaya başlayınca artan kükürt bakterilerin salgıladığı organik asitlerden kaynaklanmaktadır. Daha sonra pH'ın yükselmesi (8 seviyesine kadar çıkması) organik asitlerin termofilik fazda tükenmesinin bir neticesidir. Sonuç olarak, tesiste kompostlaştırma prosesi boyunca izlenen pH seviyesi bakterilerin ve mantarların yaşamları için uygundur. Dolayısıyla tesiste kompostlaştırma prosesi boyunca pH'ı yükseltmek veya azaltmak için herhangi bir kimyasal madde ilavesine ihtiyaç olmadığı tespit edilmiştir.

Kompostlaştırma prosesi boyunca her hafta nem muhtevası ölçülmüştür. Deneme işletmesinde oluşan ürünlerde nem muhtevası her iki holde de % 20 seviyesinde tespit edilmiştir. Deneme işletmesinden sonra alınan numunelerde nem muhtevaları, S₁'de % 35, S₂'de %25 S₃'de %26.7 olarak tespit edilmiştir. Bitmiş kompostta istenilen nem muhtevası % 30-50 arasında değişmektedir. Kompostun nem oranı % 60 dan fazla olduğu zaman araziye uygulanması zordur. Ayrıca nem muhtevası fazla olan kompostun satılması, elle işlem yapılması da zordur. Kuru kompostun ise en önemli dezavantajı fazla miktarda toz ihtiva etmesidir. Çalışmalardan tesiste elde edilen ürünlerin araziye uygulanması, elle işlem yapılması ve satılmasında su muhtevası açısından herhangi bir sakınca olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Mikroorganizmaların yüksek yapılı bitkiler gibi besin maddesi olarak karbon, azot, kükürt, fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve mikro besi maddelerinden faydalanırlar. N hariç diğer bütün elementler evsel atıklarda yeteri kadar bulunduğundan kompostlaştırmanın devamı için C/N oranı büyük önem arz etmektedir. Endüstriyel katı atıklarda ise durum biraz daha farklı olmaktadır.

Kompostlaştırma prosesinde başlangıç C/N oranı hızlı kompostlaşmanın olması için 20:1-40:1 arasında tavsiye edilmektedir. Eğer C/N oranı 30'u geçerse, biyolojik aktivite yavaşlamakta ve prosesin tamamlanabilmesi için daha çok süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan, tam tersi bir durumda yani azot miktarı fazla veya yeterli

miktarda karbon yok ise gerekli miktarda enerji sağlanmayacak ve mikroorganizmalar materyalleri ayrıştırmayarak, sonuçta stabil olmayan NH_3 veya NH_4 formları ortaya çıkacaktır. Tesisten alınan numunelerde başlangıçta ve son üründe ölçülen C/N oranları Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1 Tesiste proses başlangıcında ve son üründe tespit edilen C/N oranları

Numuneler	C/N (Başlangıçta ölçülen)	C/N (Son üründe ölçülen)
IA	17.5	9
IB	17.6	12.9
IC	-	-
ID	-	-
IIA	16.8	12.4
IIB	16.4	11.2
IIC	-	-
IID	-	-
S₁	-	12.9
S₂	-	12.9
S₃	-	13.8

Olgunlaşmış bir kompostda C/N oranı yaklaşık 10-12 civarındadır (Mathur 1991). Çizelge 8.1’de verilen son üründe elde edilen C/N oranlarından ürünün, Mathur’a göre olgunlaşmış kompost sayılabileceği görülmüştür.

Kompostun olgunluğunu belirlemek maksadıyla basit ve pahalı olmayan Dewar Kabı (kendi kendine ısıtma) testi, 8 Haftalık kompostlaştırma prosesi boyunca oluşan ürün (IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIC, IID, S₁, S₂ ve S₃) için yapılmıştır. Numunelerde ölçülen maksimum sıcaklıklara göre kompostun kalite açısından sınıflandırmaları ve ayrışma dereceleri Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2 Ölçülen maksimum sıcaklıklara göre kompostun kalite açısından sınıflandırmaları ve ayrışma dereceleri

Numuneler	Ölçülen Maksimum Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Sınıfı	Ayrışma Derecesi
IA	23	V	Tamamıyla stabil kompost, depo edilebilir.
IB	39.4	IV	Olgunlaşmış kompost, depo edilebilir.
IC	38.4	IV	Olgunlaşmış kompost, depo edilebilir.
ID	24.4	V	Tamamıyla stabil kompost, depo edilebilir.
IIA	41.6	III	Materyallerin ayrışması devam ediyor, depo edilemez.
IIB	43.7	III	Materyallerin ayrışması devam ediyor, depo edilemez.
IIC	30.4	IV	Olgunlaşmış kompost, depo edilebilir.
IID	41.7	III	Materyallerin ayrışması devam ediyor, depo edilemez.
S ₁	23	V	Tamamıyla stabil kompost, depo edilebilir.
S ₂	32.7	IV	Olgunlaşmış kompost, depo edilebilir.
S ₃	38	IV	Olgunlaşmış kompost, depo edilebilir.

Çizelge 8.2'den tesiste üretilen kompostun genel olarak IV. Sınıf kompost kategorisinde olduğu tespit edilmiştir.

Kompost kalitesinin en iyi göstergesi bitkilere olan etkisidir. Fitoksisite (bitkilerin zehirlenmesi) yüksek oranda ağır metal seviyesi, toksik bileşikler, organik asitler ve aynı zamanda kompostun oksijen talebinden kaynaklanmaktadır.

Tesiste elde edilen ürünlerde fitotoksistite (bitkiye uygunluk) özelliğinin belirlenmesi amacıyla 10 kompost numunesinden (IA, IB, IC, IIA, IIB, IIC, IID, S₁, S₂ ve S₃) %25'lik ve %50'lik kompost numuneleri alınarak sıfır birim toprakla karıştırılmıştır. İncelemede tere tohumu kullanılmıştır. Test sonucunda %25'lik ve %50'lik kompost karışımları ortalamalarının bitkiye uygunluğunun % 90'dan büyük olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmalar sonucunda tesiste elde edilen ürünlerde bulunan ağır metallerin, toksik bileşiklerin ve organik asitlerin bitkiye zarar vermeyecek seviyede olduğu gözlenmiştir. Ayrıca üretilen kompostun zemin iyileştirme ve gübre amacı ile kullanılabileceği tavsiye edilebilir.

Tesiste elde edilen kompost ürününde hijyen durumunu belirlemek için evsel katı atıklarda en yaygın patojen mikroorganizmalardan biri olan *salmonella sp* tayini yapılmış ve yapılan deneylerde salmonella sp.'ye rastlanmamıştır.

Tesisin yoğun çürütme bölümünde sıcaklık 50-70 °C, şartlandırma bölümünde 35-55 °C olmaktadır. Çizelge 7.6'dan da görüldüğü gibi *Salmonella sp* sıcaklık 60 °C'ye ulaştığı zaman 30 dakikada, sıcaklık 70 °C'ye ulaştığı zaman 4 dakika içerisinde yok olmaktadır. Kompost numunelerinde *Salmonella sp*'nin yokluğu patojen mikroorganizmaların sıcaklık ile yok edildiğinin göstergesidir.

Tesiste 8 haftalık kompostlaştırma prosesi sonunda meydana gelen ürünlerde (IA, IIA, S₁, S₂ ve S₃'nolu yığınlarda) ağır metal analizleri yapılmıştır. Ağır metal analiz sonuçlarının Alman "Sınıf 2" referans değerleri ve Avusturya "Sınıf 2" referans değerleri ile karşılaştırılmış, tespit edilen ağır metal seviyelerinin genel itibarı ile Alman "Sınıf 2" referans değerlerinden yüksek, Avusturya "Sınıf 2" referans değerlerinden düşük olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak katı atıkların günde 10 000 ton gibi büyük miktarlarda üretildiği İstanbul'da katı atık madde muhtevası içerisinde önemli bir paya sahip olan organik maddelerin değerlendirilmesi ve ekonomik değeri olan malzemelerin geri kazanılması gerekliliği ortadadır. Atıkların tamamının katı atık depo sahalarında depolanarak bertarafının yanında, bunların içerisindeki değerlendirilebilecek maddeleri geri kazanmak ve organik maddeleri kompost haline getirerek zemin iyileştirme işlerinde kullanarak ekonomik döngü içerisine almak, hammadde stokları hızla tükenen dünyamızda gerçek bir çevre koruma anlayışı olarak değerlendirilecektir.

Ülkemiz genelinde uygulamakta olan katı atık bertaraf yöntemleri içerisinde çok az paya sahip olan kompostlaştırma işlemi için İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve

Kompostlaştırma Tesisi iyi bir örnek olacaktır. Deneme işletmesi esnasında üretilen kompost, genel itibarı ile istenilen kalite standartlarını sağlamıştır. Ancak, tesise gelen katı atıkda kompost için uygun ve yeterli malzemenin olmaması sebebiyle bazı parametrelerde sınır değerlerine ulaşılmıştır. Bu olumsuz durum; kompost tesisine gelen katı atıkların toplandığı bölgelerin yeniden gözden geçirilmesiyle ortadan kalkmıştır.



KAYNAKLAR

AWWA, (1995), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition.

Baştürk, A., (1979), "Katı Atıklar Üzerine Bir Araştırma Modeli ve İstanbul İçin Uygulamaları", Doçentlik tezi, İstanbul.

Baştürk, A., (1998), "Katı Atık Bertaraf Teknolojileri Ders Notları" Yıldız Teknik Üniversitesi

Becker, H., (1995), Good earth. Agr. Res. 42(6):16. U.S. Dept. Agr., Agr. Res. Serv.

Brinton, Jr., William F., Eric Evans, and Jonathan W.Q. Collinson., (1993), On-Farm Composting Guidelens for Use of Diary and Poultry Manures in Composting Formulations. Woods End Research Laboratory, Maine.

Compost Maturity Index, (2001), California Compost Quality Council, Nevada City.

Demir, A. Vd., (2001), İstanbul Katı Atık İşleme (Geri Kazanma ve Kompostlaştırma) Tesisi Deneme İşletmesi Kapasite ve Verimlerine Ait Denetleyici Raporu, Y.T.Ü, İstanbul

Demir, A. Vd., (2002), Composting Process and The Product Quality In Istanbul Composting and Recycling Plant, ISWA, Istanbul

Karadağ, D., (2002), "İstanbul Evsel Katı Atık Yönetiminde İlçe Belediyelerinin Rolü ve Katı Atık Bertaraf Maliyetlerinin Araştırılması" YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

Genois, C., (1995), "Kompost Tesisleri", Türk-Kanada Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, İller Bankası Genel Müdürlüğü, 17-18 Ekim, Ankara.

Graves E. et al., (2000), Environmental Engineering National Engineering Handbook, Chapter 2 Composting, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Gotaas, H.B. (1956), Composting-Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes. World Health Organization, Geneva, Switzerland

Hachicha, R., Hassen, A., Jedidi, N., Kallali, H., (1992), "Optimal Conditions for MSW Composting", BioCycle, June 92, Vol. 33, No. 6, pp. 76-77.

Haug R.T., (1980), Compost Engineering: Principles and Practice, Ann Arbor Science Publisher Inc., Michigan.

IGA-Rust-Mimko., (1996), İstanbul Katı Atık İşleme (Kompostlaştırma ve Geri Kazanım) Tesisi İçin Planlama Raporu, İstanbul.

Inbar, Y.Y. Chen, Y. Hadar, and A.J.Hoitink., (1990), New Approaches to Compost Maturity. *Biocycle*. 31(12):64-69.

Keller, P., (1961), Methods to Evaluate Maturity of Compost. *Compost Sci.* (7):20-26

Koyama, K., (2001), "Composting of Municipal Waste", Seminar on Comprehensive Solid Waste Manegment.

Kubota, H., Nakasaki, K., (1991), "Accelerated Thermophilic Composting of Garbage", *BioCycle*, June 91, Vol. 32, No. 6, pp. 66-68.

Lurgi Entsorgungstechnik GmbH, Lurgi Verfahrenstechnik GmbH, BİAT İnş. AŞ. Konsorsiyumu., (2001), İstanbul Katı Atık Yönetimi (Geri Kazanım ve Kompost) Tesisi Geçici Kabul İçin Deneme İşletmesi Dökümanları, İstanbul.

Lurgi Entsorgungstechnik GmbH, Lurgi Verfahrenstechnik GmbH, BİAT İnş. AŞ. Konsorsiyumu., (2001), İşletme El Kitabı: İstanbul Katı Atık Yönetimi (Geri Kazanım ve Kompost) Tesisi, İstanbul.

Mathur S.P., (1991), Composting processes, pp. 147-186 In A.M. Martin(ed.). *Bioconversion of waste materials to Industrial Products*. Elsevier, New York.

Methodenbuch zur Analyse von Kompost, (1994), Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., (Murat KUBATOĞLU tarafından tercüme, İSTAÇ A.Ş.).

Methods Book for Analysis of Compost (1994), The German Federal Compost Assurance Organization, (<http://www.bionet.net>).

Oxoid Limited, (2000), *Salmonella Rapid Test*, England.

Özkaya, B., (2001), "Düzenli Katı Atık Depo Sahalarında Sızıntı Suyu Geri Devir Etkilerinin Tam Ölçekli Bir Sahada (Odayeri) Araştırılması" YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Philip R. O'Leary & Patrick W. Walsh., (1995), *Decision Maker's Guide to Solid Waste Management*, Volume II, (Project No: EPA 530-R-95-023),. Solid and Hazardous Waste Education Center, University of Wisconsin-Madison/Extension.

Stern, G., (1974), Pasteurization of Liquid Digested Sludge. In proc. Of the Nat'I. Conf. On Composting Munipical Sludge Managment.

Sparks, D.L., (1996), "Methods of Soil Analaysis: Chemical Methods Part 3"

Tabasaran, O., (1979), Katı Artık Teknolojisinde Gelişmeler, Kurs Notları, Cilt 2, İ.T.Ü., İstanbul.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. A., (1993), "Integrated Solid Waste Management", McGraw Hill International Editions.

Tosun, İ., (2003), “Gül İşleme Posasının Evsel Katı Atıklarla Birlikte” Kompostlaşabilirliği YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türk Çevre Mevzuatı, (1992), Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Türkiye Çevre Vakfı Yayınları.

TS 12084, (1996), Katı Atıklarda Yığın Yoğunluğu Tayini.

TS 12090, (1996), Katı Atıklardan Numune Alma Kuralları

TS 10459, (1992), Katı Atıklarda Rutubet Tayini

Uğurlu, A. (Türkçe Bas. Edit.), (1995), Suess, M.J., (Editör), Katı Atık Yönetimi, Çevre Müh. Odası, Yayını, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 01.05.1977

Doğum Yeri K.MARAŞ

Lise Gaziantep Lisesi

Lisans Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

1998-2000 Mimko A.Ş

2000-2002 YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma görevlisi

2002-Devam ediyor Ümraniye Belediyesi A.P.K Müdürlüğü