

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ KEMERBURGAZ GERİ KAZANIM VE
KOMPOST TESİSİNİN FERMANTASYON ALANLARINDA BAKTERİ
PROFİLİNİN BELİRLENMESİ**

VASFİYE ESRA ÖLMEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. BESTAMİN ÖZKAYA**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ KEMERBURGAZ GERİ KAZANIM VE
KOMPOST TESİSİNİN FERMANTASYON ALANLARINDA BAKTERİ
PROFİLİNİN BELİRLENMESİ**

Vasfiye Esra ÖLMEZ tarafından hazırlanan tez çalışması 14.02.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Yrd. Doç. Dr. Doğan KARADAĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Osman ARIKAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2011-05-02-KAP numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Çeşitli uluslararası kuruluşlar tarafından “20. yüzyılın kanseri” olarak tanımlanan ve 21. yüzyılda da dünyadaki sorunların belki de ilk sırasında yer alabileceği tahmin edilen çevre ve çevre sağlığı sorunları, kalkınma ve yaşam standartlarını geliştirme gayreti içinde olan insanlığın yarattığı ve sonucunda da yine kendisinin etkilendiği bir sorundur. Çevre kirliliğinde önemli bir paya sahip katı atıklar, bu gün dünya otoritelerinin üzerinde durduğu önemli bir problem haline gelmiştir. Katı atıkların çevre ile uyumlu bir yapıya dönüştürülmesi; bir başka deyişle, atıkların dengeli bir ürüne dönüştürülerek doğada tekrar kullanılması entegre atık yönetiminin öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Gerek Ulusal gerekse de Uluslararası düzenlemelerde, atıkların düzenli depolama sahalarına gönderilmelerine getirilen sınırlamalar ve atıkların yeniden kullanım/geri dönüşümüne verilen teşvik sebebiyle Kompostlaştırma sistemlerinin popülerliğin artmıştır.

Bu çalışma, İstanbul Büyükşehir Belediyesinin Kemerburgaz’da faaliyet gösteren Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisinde kentsel karışık atıklardan üretilen kompostun 8 haftalık süreç boyunca meydana gelen bakteriyel tür değişimlerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamın yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki katkıları, gösterdiği yakın alaka ve desteği sebebiyle değerli Danışman Hocam Sn. Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA’ya ve şükranlarımı arz ederim. Ayrıca çalışma süresince desteğini esirgemeyen Sn. Yrd. Doç. Dr. Doğan KARADAĞ hocama teşekkürür bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince, kompost numunelerinin alımı, işlenmesi ve deney aşamalarında verdikleri imkanlardan dolayı İSTAÇ A.Ş. Genel Müdürü Sn. Osman AKGÜL’e, çalışma süresince verdiği fikir ve görüşlerle birlikte çalışmama destek veren Sayın Dr. Şenol YILDIZ ‘a ve tezime katkı sağlayan tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Bu günlere gelmemde maddi manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen kıymetli aileme en içten ve samimi şükranlarımı sunarım.

Ocak, 2013

Vasfiye Esra ÖLMEZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
KOMPOSTLAŞTIRMA TEKNOLOJİLERİ.....	3
2.1 Kompostlaştırmanın Entegre Katı Atık Yönetimindeki Yeri	3
2.2 Kompostlaştırma Prosesi	4
2.3 Kompostlaştırmaya Etki Eden Parametreler.....	8
2.3.1 C/N Oranı	8
2.3.2 Havalandırma.....	10
2.3.3 Sıcaklık	12
2.3.4 Su Muhtevası	15
2.3.5 pH.....	16
2.3.6 Dane Boyutu	16
2.3.7 Hacim Artırıcı Malzemeler	17
2.3.8 Karıştırma	17
2.4 Kompostlaştırmanın Avantaj ve Dezavantajları.....	18
2.5 Kompostun Kullanım Alanları	20
2.6 Türkiye ve Dünya’da Kompostlaştırmaya İlişkin Standart ve Uygulamalar	21

2.6.1	Proses Kontrolü İle İlgili Standartlar	22
2.6.1.1	Hijyen Şartlarının Sağlanması	23
2.6.2	Ürün Kalitesi ile İlgili Standartlar	25
2.6.2.1	Ağır Metal İçerikleri İle İlgili Standartlar	25
2.6.2.2	Organik Kirleticiler İle İlgili Standartlar	26
2.6.2.3	Kompostun Fiziksel Bileşimi ile İlgili Standartlar	27
2.6.3	Türkiye'deki Kompost Kalite Standartları	28
2.7	Kompostlaştırma Yöntemleri	31
2.7.1	Pasif Yığın Kompostlaştırma	32
2.7.2	Aktarmalı Yığın Kompostlaştırma	33
2.7.3	Statik Yığın Kompostlaştırma	36
2.7.4	Kapalı Reaktör Tip Kompostlaştırma	37
2.7.5	In-Vessel Metodu Kompostlaştırma	38
2.7.5.1	Tünel Kompostlaştırma	38
2.7.5.2	Kutu ve Konteyner Tipte Kompostlaştırma	39
2.7.5.3	Dikey Akışlı Kompostlaştırma	39
2.7.6	Kompostlaştırma Proseslerinin Karşılaştırılması	40
2.8	Kompost Prosesinin Mikrobiyolojisi	41
2.9	Moleküler Tekniklerle Tür Tayini	44
2.10	Kompostlaştırma Prosesindeki Mikrobiyal Tür Tayini İle İlgili Literatür Çalışmaları	44

BÖLÜM 3

MATERYAL METOD	47	
3.1	Kemberburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisi	47
3.2	Numune Alma	50
3.3	Fiziksel ve Kimyasal Analiz Yöntemleri	52
3.3.1	Sıcaklık	52
3.3.2	pH	53
3.3.3	Su Muhtevası	53
3.3.4	Kızdırma Kaybı	53
3.3.5	C/N	54
3.4	Mikrobiyal Tür Analizleri	54
3.4.1	Nükleik Asit Ekstraksiyonu	55
3.4.2	Polimeraz Zincir Reaksiyonu	55
3.4.3	Denature Gradyan Jel Elektroforezi	55
3.4.4	DNA dizi analizi	56

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	57	
4.1	Fiziko-Kimyasal Analiz Sonuçları	57
4.1.1	Sıcaklık	57
4.1.2	pH	58
4.1.3	Su Muhtevası	59
4.1.4	Klorür	60

4.1.5	Kızdırma Kaybı	60	
4.1.6	Karbon	61	
4.1.7	Azot.....	62	
4.1.8	C/N.....	62	
4.1.9	İletkenlik	63	
4.2	Mikrobiyal Tür Değişimleri.....	64	
BÖLÜM 5			
SONUÇ VE ÖNERİLER			71
KAYNAKLAR			73
EK-A			
MAKALE.....			76
ÖZGEÇMİŞ			83

KISALTMA LİSTESİ

AOX	Adsorbslanabilen Organik Halojenler
ATY	Atıktan Üretilmiş Yakıt
DEHP	Dietileksil Fitalat
DGGE	Denature Gradyan Jel Elektroforez
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
KAKY	Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği
KAM	Kompost Aktarma Makinesi
LAS	Lineer Alkalibenzen Sülfat
NPE	Nonifenol Etoksilar
PAH	Poliaramotik Hidrokarbonlar
PCB	Poliklorürlü Bifeniller
PCCD/F	Poliklorürlü dibenzenfuran
PCR	Polimeraz Zincir Reaksiyonu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Kompostlaştırma mekanizması girdi ve çıktıları 5
Şekil 2.2	Kompostlaştırma prosesinde sıcaklığın zamanla değişimi..... 7
Şekil 2.3	Havalandırılmalı Statik Yığın 12
Şekil 2.4	Biyolojik ayrışabilirliği yüksek ve düşük atıklar için sıcaklık profil değişimi . 13
Şekil 2.5	Kompostlaştırma prosesinde sıcaklık değişimi 14
Şekil 2.6	Bir kompost yığnında gözlemlenen tipik sıcaklık profili..... 18
Şekil 2.7	Kompostun kalite sınıflandırmasına göre kullanım alanları..... 21
Şekil 2.8	Pasif Yığnında Kompostlaştırma Sistemleri..... 33
Şekil 2.9	Aktarmalı yığn kompostlaştırma 34
Şekil 2.10	Havalandırılmalı statik yığn kompostlaştırma prosesi uygulama örneği..... 37
Şekil 3.1	Kemberburgaz kompost tesisi resimleri 48
Şekil 3.2	Kemberburgaz Kompost Tesisi akış şeması..... 49
Şekil 3.3	Kemberburgaz Kompost Tesisi Fermantasyon ünitesi..... 50
Şekil 3.4	Numunelerin alındığı noktanın temsili çizimi 51
Şekil 3.5	Numunlerin Alınışı..... 51
Şekil 3.6	Moleküler analiz yöntemlerinin uygulama akış şeması. 56
Şekil 4.1	Kompostlaştırma sürecinde sıcaklık değişimi 58
Şekil 4.2	Kompostlaştırma süresince pH değişimi..... 59
Şekil 4.3	Kompostlaştırma süresince su muhtevası değişimi 59
Şekil 4.4	Kompostlaştırma sürecinde klorür değişimi 60
Şekil 4.5	Kompostlaştırma sürecinde kızdırma kaybı değişimi..... 61
Şekil 4.6	Kompostlaştırma sürecinde karbon değişimi 61
Şekil 4.7	Kompostlaştırma sürecinde azot değişimi 62
Şekil 4.8	Kompostlaştırma sürecinde C/N değişimi..... 63
Şekil 4.9	Kompostlaştırma sürecinde iletkenlik değişimi 64
Şekil 4.10	Kompost sahasındaki bakteriyel türlerin DGGE profili 65

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Çeşitli kompostlaşabilir maddelerin azot içerikleri ile C/N oranları..... 9
Çizelge 2.2	Kompostun avantaj ve dezavantajları 19
Çizelge 2.3	AB ülkelerinde kompostlaştırma prosesinin kontrolü için uygulanan standartların durumu 22
Çizelge 2.4	Hijyen şartlarının sağlanması için gerekli sıcaklık değerleri 24
Çizelge 2.5	Hijyen şartlarının sağlanması için gerekli sıcaklık değerleri 25
Çizelge 2.6	Avrupa Birliği ülkelerinde kompost için uygulanmakta olan ağır metal limitleri 27
Çizelge 2.7	Kompostta müsaade edilen yabancı madde içeriği ile ilgili limit değerler 28
Çizelge 2.8	Organik gübrede izin verilen en yüksek ağır metal konsantrasyonları ... 30
Çizelge 2.9	Organik toprak düzenleyici olarak kompostun sağlanması gereken şartlar 31
Çizelge 2.10	Aerobik kompostlaştırma prosesi için tasarım parametreleri 35
Çizelge 2.11	Kompostlaştırma Süreçlerinin Karşılaştırılması..... 41
Çizelge 3.1	Numune Alma Tarihleri ve Proses Şartları 51
Çizelge 4.1	DGGE bantlarının dizi analiz sonuçları 66

**İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ KEMERBURGAZ GERİ KAZANIM VE
KOMPOST TESİSİNİN FERMANTASYON ALANLARINDA BAKTERİ
PROFİLİNİN BELİRLENMESİ**

Vasfiye Esra ÖLMEZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Doğan KARADAĞ

Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisindeki 8 haftalık fermantasyon sürecinde meydana gelen bakteriyel tür değişimleri araştırılmıştır. Tünel kompostlaştırma tekniğiyle dizayn edilen ve günlük 1000 ton evsel katı atık işleme kapasitesine sahip olan tesisin fermantasyon ünitesindeki alanlardan düzenli aralıklarla alınan numuneler üzerine fiziko-kimyasal analizler ve bakteri tür tayini çalışmaları yapılmıştır.

Fiziko-kimyasal analiz çalışmaları kapsamında iki paralel hattaki her bir alandan alınan numuneler üzerinde sıcaklık, pH, C/N, nem, kızdırma kaybı ve iletkenlik analizleri yapılmıştır. Kompostlaştırma süreci boyunca C/N oranının düzenli şekilde azaldığı ve süreç sonunda olgunlaşmış kompostun C/N oranının 20 nin altına düştüğü tespit edilmiştir. Süreç boyunca sıcaklığın çoğunlukla 55°C üzerinde olduğu ve olgunlaşma sürecinde mezofilik sıcaklıklara düştüğü gözlemlenmiştir. Kompost tesisindeki yığınlardan alınan numunelerdeki bakteri türleri, DNA ekstraksiyonu sonrası 16S rRNA genlerine PCR ve DGGE yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir. Kompostlaştırma sürecindeki her bir evrede farklı türdeki bakterilerin baskın hale geldiği ve bakteri çeşitliliğinin sıcaklıkla değiştiği tespit edilmiştir. Acinetobacter ve Sphingobacterium termofilik ve olgunlaşma safhasında görülürken, Bacillus türlerinin kompostlaşmanın ilk

evrelerinde baskın olduğu görülmüştür. Termofilik sıcaklıklarda bakteriyolojik çeşitliliğin mezofilik ve hipertermofilik sıcaklıklara göre daha zengin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimer: Kompost, fiziko-kimyasal analizler, bakteri türleri, PCR-DGGE

**PROFILING OF BACTERIAL COMMUNITY IN FERMANTATION AREAS OF
ISTANBUL METROPOLITAN MUNICIPALITY KEMERBURGAZ RECOVERY
AND COMPOST PLANT**

Vasfiye Esra ÖLMEZ

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bestamin ÖZKAYA

Co-Advisor: Assist. Prof. Dr. Doğan KARADAĞ

In this study, bacterial community were researched during 8 weeks of fermentation in Istanbul full-scale compost plant. Physico-chemical analysis and bacterial species have been made on the samples taken regularly from the area of fermentation process unit of the plant designed by tunnel composting technique and with a operation capacity of 1000 ton per day municipal solid waste. Changes in temperature, pH, moisture, C/N ratio, and bacterial community were monitored in two parallel line of composting plant.

C/N ratio steadily decreased during composting and final mature compost products had a C/N ratio of less than 20. During the composting process, temperature was mostly above 55 °C and decreased to mesophilic conditions in the matured stages. The diversity and changes in the bacterial community of compost was profiled by DNA extraction and PCR-DGGE of partial 16S rRNA genes followed by their sequencing. Different types of bacteria were dominant in every stage of composting and bacterial diversity changed mainly by temperature. *Bacillus* species were dominant in early stages of composting while *Acinetobacter* and *Sphingobacterium* strains were detected in thermophilic and maturing stages. Thermophilic stages were more rich in bacterial

diversity than mesophilic and hyperthermophilic conditions significantly changed the bacterial community.

Key Words: : Compost, physico-chemical analysis, bacterial community, PCR-DGGE

1.1 Literatür Özeti

Kompostlaştırma esnasında, organik maddeyi substrat olarak kullanan mikroorganizmalar, kompostlaştırma prosesinin performansını ve gelişimini etkileyen en önemli faktördür. Organizmaların kompostlaştırma esnasında substratı metabolik yollarla nihai ürünlere dönüştürmesi ile fiziksel ve kimyasal parametrelerde önemli değişiklikler olmakta, buna bağlı olarak kompostlaştırma prosesinde rol alan mikrobiyal türlerde de değişimler meydana gelmektedir.

Kompostlaştırma prosesinde mikrobiyal türlerin belirlenmesi, geçmiş yıllarda bakteri ve mantarların izolasyonu, tanımlanması veya sayım işlemleri ile gerçekleştirilmekteydi. Son yıllarda, polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ve 16S rDNA temelli moleküler tekniklerle kompostlaştırma prosesinde klasik tekniklerle tespit edilemeyen türlerin çeşitliliğini belirlemede de ön plana çıkmaktadır. Denature Gradyan Jel Elektrophoresis tekniği (DGGE) de, kompost prosesindeki tür tayininde, profillemeye tekniği olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin gerçekleştirilmesindeki temel amaç, İstanbul Büyükşehir Belediyesinin Kemerburgaz'da 2001 yılından bu yana faaliyet gösteren Kısırmandra Geri Kazanım ve Kompost Tesisinde kentsel karışık atıklardan üretilen kompostun 8 haftalık oluşum sürecindeki bakteri türlerinin incelenmesidir.

1.3 Hipotez

Kompostlaştırma süreci doğal bir süreç olup, organik maddenin mikroorganizmalar kanalıyla stabil bir ürün oluşuncaya kadar parçalanması olarak bilinmektedir. Kompost prosesinde tüm kademeler farklı bakteri türleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu bakımdan kompostlaştırma prosesinin performansı ve gelişimi bakteriyel türlerle yakından ilişkilidir. Organizmaların kompostlaştırma esnasında substratı metabolik yollarla nihai ürünlere dönüştürmesi ile fiziksel ve kimyasal parametrelerde önemli değişiklikler meydana gelmekte ve buna bağlı olarak kompostlaştırma prosesinde rol alan bakteri türlerinde de değişim meydana gelmektedir. Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisindeki 8 haftalık fermantasyon süreci boyunca rutin işletme koşullarında görev alan etkin bakteriyel türlerin ortaya konması bu çalışmanın hipotezini oluşurmaktadır.

KOMPOSTLAŞTIRMA TEKNOLOJİLERİ

2.1 Kompostlaştırmanın Entegre Katı Atık Yönetimindeki Yeri

Hızla artan insan nüfusu, buna bağlı olarak değişim gösteren ekonomik koşullar ve yoğun teknoloji talebi, milyonlarca yıldır devam eden çevresel döngü sürecini olumsuz yönde etkilemiş ve ciddi bir çevre tahribatına neden olmuştur. Çevre kirliliğinde önemli bir paya sahip katı atıklar, bugün dünya otoritelerinin üzerinde durduğu önemli bir problem haline gelmiştir. Katı atıkların çevre ile uyumlu bir yapıya dönüştürülmesi; bir başka deyişle, atıkların dengeli bir ürüne dönüştürülerek doğada tekrar kullanılması entegre atık yönetiminin öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, dünyanın birçok mega kentinde her gün yüz binlerce ton organik kökenli kentsel atık oluşmakta ve bu atıklar kompostta dönüştürülerek başta tarım ve orman alanlarının iyileştirilmesi olmak üzere çok yönlü amaçlar için kullanılmaktadır.

Gerek ulusal yönetmelikler gerekse de uluslararası direktifler atıkların yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanımlarını teşvik etmekte olup, özellikle biyolojik atıkların düzenli depolama sahalarına göndermelerine sınırlamalar getirmektedir. Bu sebeple katı atıkların alternatif teknolojiler kullanılarak bertaraf edilmesi zorunlu hale gelmektedir. Kompostlaştırma sistemleri yakma, piroliz, gazifikasyon gibi termal sistemlere nazaran daha çevre dostu bir teknoloji olup, dünya genelinde farklı sistemleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen atığın, atık karakteristiği açısından yaklaşık %50'sinin organik içerikli olduğu düşünülürse kompostlaştırmanın önemli ve etkin bir bertaraf yöntemi olduğu görülmektedir. Bu

yöntem sonucu elde edilecek kompost, çöpün kaynağında ayrıştırılabilmesi durumunda hem daha kaliteli hem de verimli olmaktadır.

Kompostlaştırma ile başlıca aşağıdaki hedeflere ulaşılması beklenir[6].

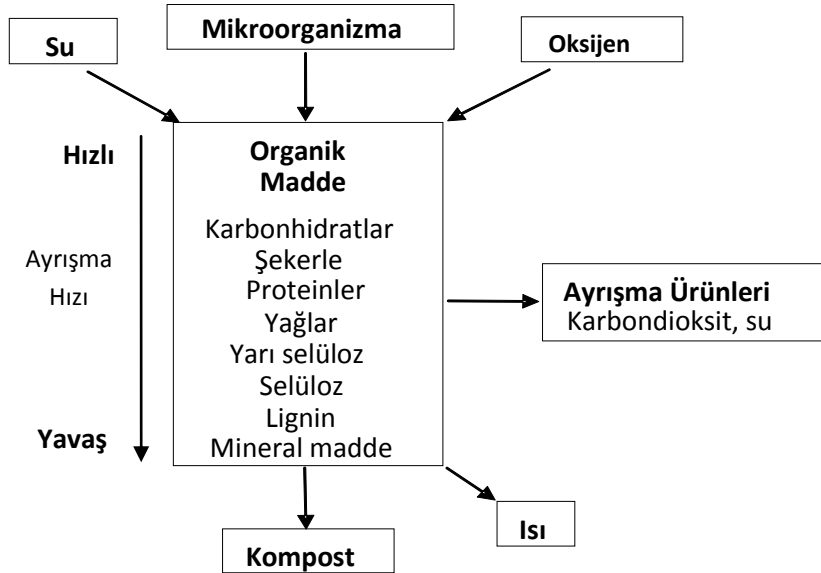
- Biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerin, kararlı bir ürüne dönüştürülmesi ve atık hacminin azaltılması,
- Katı atık içinde bulunabilecek patojen, sinek yumurtası v.b. istenmeyen organizmaların yok edilmesi,
- Mevcut veya oluşabilecek koku probleminin ortadan kaldırılması,
- Maksimum makro nütrient (N, P, K) ve mikro besi elementleri (Zn) içeriğinin muhafaza edilmesi,
- Gübre değeri olan ve toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilen bir ürün elde edilmesi

2.2 Kompostlaştırma Prosesi

Doğal bir proses olan kompostlaştırma, organik maddenin bozunması ile oluşmaktadır. Havalı kompostlaştırma, organik maddenin havalı (aerobik) şartlar altında kontrollü bir şekilde ayrıştırılmasıdır. Kompostlaştırma prosesini birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörlerden bazıları proseste çok önemli roller oynarken, diğerleri söz konusu faktörlerin değişimi ve gelişimini etkilemektedir. Havalı (aerobik) kompostlaştırma prosesinin genel akım şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu süreçte organik madde stabil oluncaya kadar önce hızlı sonra yavaş bir hızla ayrışır[6]. İkinci kademe sonrasında yavaş ayrışan organik maddeler stabilize olur veya olgunlaşırlar. Kompostun olgunluk derecesi kompostun arazide ıslah edici olarak kullanılabilirliğini belirler ve bu sebeple önemlidir[7].

Kompost, uygun organik madde ya da karışımı ile yığın teşkilinden hemen sonra başlar. Organik maddeler ilk karıştırıldığında prosesin başlaması için yeterli hava sağlanmış olur. Ardından organizmalar oksijen harcar ve gözenek boşluklarından fermentasyon ürünü CO₂'i içeren havayı dışarı çıkarırlar. Ortamdaki oksijen azaldıkça aerobik bozunma yavaşlar ve eğer O₂ sağlanmazsa işlem durma noktasına gelir.

Kompostlaştırmanın ilk dönemlerinde aktivite yüksek olduğu için proseten CO₂ ve su buharı çıkışı oldukça fazladır. Bu süreç esnasında CO₂'in yanında amonyak ve diğer uçucu organik bileşikler de atmosfere verilmektedir. Bunlar, CO₂ ve H₂O'ya göre oldukça düşük miktardadır[7].

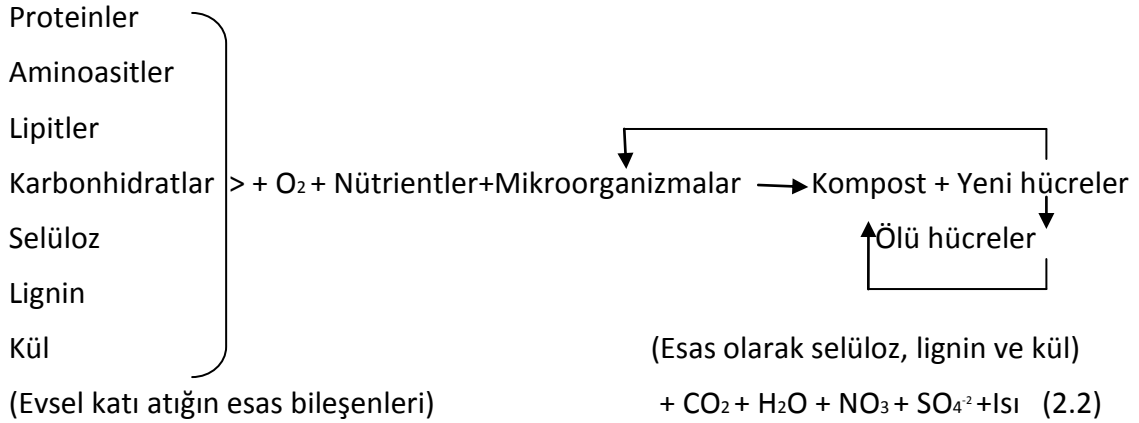


Şekil 3.1 Kompostlaştırma mekanizması girdi ve çıktıları[7]

Yığın oluştuktan sonraki birkaç saat içinde mikrobiyal metabolik aktivite nedeni ile nemli bir sıcaklık artışı gözlenir. Normal şartlar altında kompost yığınının sıcaklığı hızla 50-65°C'ye yükselir ve birkaç hafta bu aralıkta kalır. Fermentasyon (kompostlaştırma) yavaşladıkça, sıcaklık yavaş yavaş 40°C'ye sonra da çevre sıcaklığına düşer[7].

Aktif kompost (hızlı fermentasyon) devresini olgunlaştırma süreci izler. Olgunlaştırma sürecinde, organik maddeler daha düşük bir hızla ayrışmaya devam eder. Kompostlaştırma prosesinde, hava üfleme aletleri ile veya çevirerek (aktararak) havalandırma yapıncaya kadar O₂ kullanım hızı düşer. Havalandırma ile birlikte oksijen kullanım hızı tekrar artar. Kompostlaştırma prosesinde organik maddenin biyobozunumu sürekli devam eder. Organik maddeler ortamdaki organizmalar tarafından harcanıncaya ve tüm giderilebilir CO₂ ve suya dönüştürülünceye kadar parçalanma devam eder. Fakat, kompost bu noktadan çok daha önce stabil ve kullanılabilir hale gelebilir. Kompostlaştırma sürecinin pratik olarak tamamlanıp tamamlanmadığına karbon-azot oranı (C/N), oksijen ihtiyacı, sıcaklık, koku gibi parametrelere bakılarak karar verilebilir[7].

Kompostlaştırmanın ilk dönemlerinde aktivite yüksek olduğu için prosesten CO₂ ve su buharı çıkışı oldukça fazladır. Bu süreç esnasında CO₂'nin yanında amonyak ve diğer uçucu organik bileşikler de atmosfere verilmektedir. Bunlar, CO₂ ve H₂O'ya göre oldukça düşük miktardadır. Havalı kompostlaştırma prosesinin denklem formundaki ifadesi aşağıdaki gibidir[6].

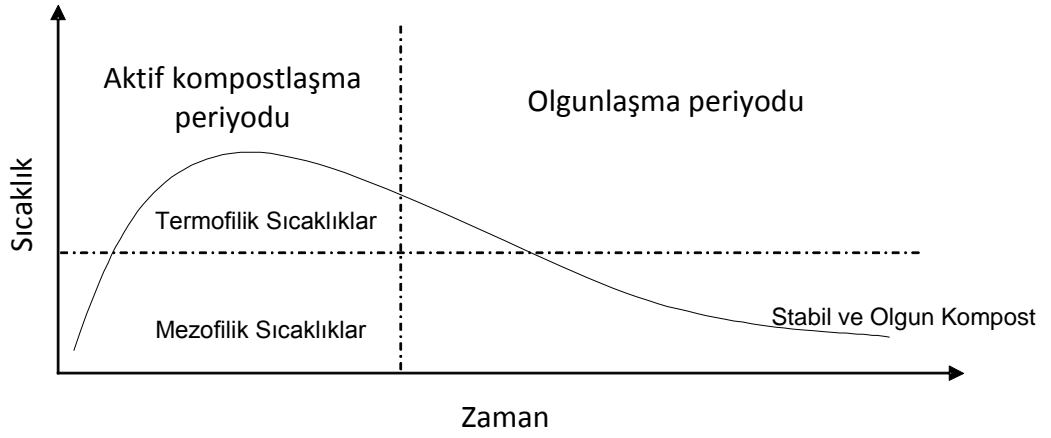


Denklemden görüldüğü üzere, üretilen yeni hücreler organik maddenin dönüşümünde aktif biyokütle olarak yer alır, öldükten sonra da kompostun bir parçası haline gelir[6].

Organik maddenin mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılmasını etkileyen en önemli faktörler oksijen (O₂) ve su muhtevasıdır. Sıcaklık, kompostlaştırma prosesinde önemli bir parametre olmakla birlikte, mikrobiyal aktivitenin bir sonucudur. Kompostlaştırma prosesini kısıtlayan başlıca parametreler besin maddeleri (nütrientler) ve pH'dır. Özellikle karbon ve azot, mikrobiyal büyüme ve aktivite için gerekli olup proseste önemli rol oynamaktadır. Karbon ana enerji kaynağı olarak, azot ise hücre sentezi için gereklidir. Fosfor ve kükürtünde, atıklarda daha az kritik olmasına karşın önemli rol oynadıkları bilinmektedir. Mikroorganizmaların da bitkiler gibi mikro besin elementlerine ihtiyaçları vardır. Cu, Ni, Mo, Fe, Mg, Zn, Na gibi mikro besin elementleri enzimatik reaksiyonlar için gereklidir, fakat bu konuyla ilgili literatürde sınırlı miktarda bilgi vardır[6].

Şekil 2.2'de kompostlaştırma süresine bağlı olarak, solunum ve sıcaklık ilişkisi gösterilmiştir. Eğrinin şekli, kompostlaştırılacak atığın yapısına ve kompostlaştırma metoduna göre değişiklik göstermektedir. Bu şekil, aktif (hızlı) kompostlaştırma ve olgunlaştırma olmak üzere iki önemli bölüme ayrılır. Aynı eğri mezofilik (<45° C) ve

termofilik ($>45^{\circ} C$) olarak da ayrılabilir. Aktif kompostlaştırma fazında atığın kolay ayrışabilen kısmı parçalanır ve patojenler yok edilir. Olgunlaştırma fazında ise atıklar, ayrışmasını tamamlamamış ve ayrışmaya dirençli maddelerin (lignin, aromatik bileşikler v.b.) mineralizasyonunda (C'un CO_2 'e transferi) yağ asitleri ile birlikte parçalanırlar. Yağ asitleri, bitkiler için toksik etki gösterir. Tamamlanmamış proseten elde edilen (hızlı kompost) ve yağ asitleri içeren kompost ürünü bitkilere zarar verebilir. Kompostlaştırma sırasında organik maddenin parçalanması, kademeli olarak kompleks maddelerin basit bileşiklere indirgenmesi şeklinde olmaktadır[6].



Şekil 3.2 Kompostlaştırma prosesinde sıcaklığın zamanla değişimi

İyi işletilen kompostlaştırma tesislerinde standartlara uygun, yüksek kalitede kompost ürünü kısa sürede elde edilebilmektedir. Kaynağında ayrı toplanan organik atıkların kompostlaştırılması ile daha kaliteli ve temiz bir ürün elde edilebilir[7].

2.3 Kompostlaştırmaya Etki Eden Parametreler

2.3.1 C/N Oranı

Kompostlaştırma prosesine etki eden en önemli parametrelerden bir tanesi C/N oranıdır. Bu oranın başlangıçta 25-30 arasında olması istenir[2]. Karbon ve azot mikrobiyal aktivite ve çoğalma için gerekli olup proseste önemli rol oynamaktadır. Karbon ana enerji kaynağı olarak kullanılırken azot da hücre sentezi için gereklidir.

Mikroorganizmalar kendi bünyelerinde ortalama her bir nitrojen miktarına karşılık 30 katı oranda karbonu kullanırlar. Bunun yaklaşık 20'si CO₂ olarak oksitlenirken geri kalan kısmı hücre duvarı yapımı ve protoplazma sentezinde kullanılır[2].

İyi işletilen bir kompost prosesinde karbon bileşiklerinin biyolojik mineralizasyonu sebebiyle ortamda CO₂ açığa çıkar ve C/N oranı sürekli olarak azalır.

Topraktaki organik maddelerin C/N oranı değişkenlik göstermekle birlikte ortalama 10 civarındadır. Katı atıkta C/N>35 ise azotun kompostta tamamen tutulacağı, C/N<20 olması halinde ise azotun komposttan sıyırılması ile serbest kalacağı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar, katı atıkta optimum C/N oranının 20-25, maksimum C/N oranının ise 50 olabileceğini ortaya koymuştur. C/N oranı büyük olan bir kompost toprağa verilirse, ürün bünyesindeki mikroorganizmalar çoğalmaları için gerekli azotu topraktan almakta ve toprağı azot yönünden fakirleştirmektedir. C/N oranı küçük ise komposttaki fazla azot, amonyak gazı olarak kaybolduğundan toprakta yine azot yönünden bir fakirleşme görülmektedir[6]. Aynı zamanda düşük C/N oranına sahip kompostun toprağa uygulanmasıyla serbest kalan azot bitki köklerinde fitotoksik etki yaptığı tespit edilmiştir[2].

C/N oranı çok yüksek olan atıklara, azotlu atıkların ilavesi ile bu oran azaltılabilmektedir. Benzer şekilde C/N oranı çok düşük olan atıklara ise karbonlu atıkların ilavesi ile C/N oranı arttırılabilmektedir. Çeşitli kompostlaşabilir maddelerin azot içerikleri ile kuru ağırlık olarak C/N oranları Çizelge 2.1'de verilmiştir. Çizelgede görüleceği üzere, arıtma çamurlarının C/N oranı düşük, kağıt, odun ve saman atıklarının C/N oranları ise yüksektir[6].

Çizelge 3.1 Çeşitli kompostlaşabilir maddelerin azot içerikleri ile C/N oranları[6]

MADDE	N YÜZDESİ	C/N ORANI (KURU BAZDA)
GIDA İŞLEME ATIKLARI		
MEYVE ATIKLARI	1,52	34,8
KARIŞIK MEZBAHA ATIKLARI	7,0-10,0	2,0
PATATES KABUKLARI	1,5	25,0
GÜBRELER		
İNEK GÜBRESİ	1,7	18,0
AT GÜBRESİ	2,3	25,0
DOMUZ GÜBRESİ	3,75	20,0
KÜMES HAYVANLARI GÜBRESİ	6,3	15,0
KOYUN GÜBRESİ	3,75	22,0
ÇAMURLAR		
ÇÜRÜTÜLMÜŞ AKTİF ÇAMUR	1,88	15,7
HAM AKTİF ÇAMUR	5,6	6,3
ODUN VE SAMAN		
KERESTE HIZAR HANESİ ATIKLARI	0,13	170,0
YULAF SAMANI	1,05	48,0
TALAŞ	0,10	200,0-500,0
BUĞDAY SAMANI	0,3	128,0
ÇAM ODUNU	0,07	723,0

Çizelge 2.1 Çeşitli kompostlaşabilir maddelerin azot içerikleri ile C/N oranları (devamı)

MADDE	N YÜZDESİ	C/N ORANI (KURU BAZDA)
KAĞIT		
KARIŞIK KAĞIT	0,25	173
GAZETE	0,05	983
KAHVERENGİ KAĞIT	0,01	4490
BAHÇE ATIKLARI		
ÇİMEN KIRPINTILARI	2,15	20,1
YAPRAKLAR	0,5-1,0	40,0-80,0

2.3.2 Havalandırma

Aerobik kompostlaştırmada yeterli oksijen temini, kompostlaştırma prosesinin en önemli parametresidir. Seçilen kompostlaştırma teknolojisi ve ilk beslemeye bakmaksızın yeterli bir oksijen temini için en az %20-30 gözenek boşluğu olması önerilmektedir[6].

Kompostlaştırma prosesi boyunca CO₂ oranı sürekli olarak artarken O₂ seviyesi de azalır. Kompost kütlesi içerisinde ortalama CO₂ ve O₂ oranı toplamda %20 mertebelerindedir. Oksijen konsantrasyonu %15-20 arasında değişirken CO₂ oranı % 0,5 – 5 arasında seyretmektedir. Oksijen seviyesi belirtilen bu oranların altına düşmesi durumunda anaerobik mikroorganizmalar aerobik mikroorganizmaların önüne geçer ve bu durum sonucunda fermantasyon ve anaerobik solunum başlar. Bu sebepten dolayı mikroorganizmaların aktivitesi için gerekli olan O₂ miktarı ortama sürekli olarak beslenmelidir[2].

Hava akımı, mikrobiyal reaksiyonlarda üretilen CO₂ ve H₂O, ayrıca ısı transferi ile de ısıyı giderir (soğutma). Isı giderimi, yüksek hızlı, mekanik kompostlaştırma sistemlerinde kısmen önemlidir. Oksijen gereksinimi, proses sırasında değişiklikler göstermekte olup mezofilik kademede düşer, termofilik kademede maksimuma

yükselir. Bununla beraber, soğuma ve olgunlaşma safhalarında oksijen gereksinimi sifıra doğru azalır. Bazı kapalı, dinamik tipte kompost hücrelerinde yaklaşık 4 m³/saat-ton atık düzeyinde hava gerektiği kompost tesisi işletmecileri tarafından bildirilmektedir. Van der Heide ve Eisma'ya (1997) göre de pratikteki gerçek hava ihtiyacı 2-5 m³/m³.saat aralığında değişmektedir. Chiumenti vd.'ne (2005) göre ise gerekli hava ihtiyacı 10-100 m³/saat-ton atık aralığında değişmektedir. Kompostlaştırma prosesindeki oksijen ihtiyacı, su muhtevası ile ilişkilidir. Ayrıca, kullanılan havalandırma ekipmanları ve fiziksel durum da işletmede oksijen ihtiyacına etki etmektedir[6].

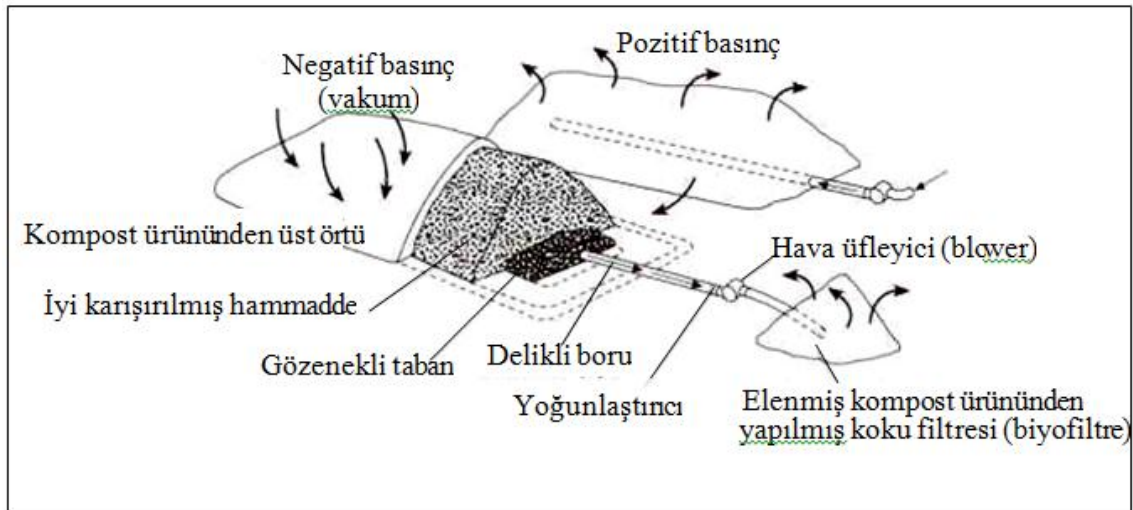
Yığın şeklinde yapılan kompostlaştırmada, aktarmadan sonraki oksijen ihtiyacı aktarma öncesi oksijen ihtiyacının iki katından daha fazladır. Bunun nedeni, katı partiküllerin parçalanması ve mikrobiyal faaliyet için daha büyük yüzey alanlarının ortaya çıkmasıdır. Aynı zamanda nem miktarındaki azalma ile hava boşluklarının artması da mikrobiyal aktiviteyi arttırabilmektedir. Statik yığınlarda blowerlerin kapatılmasından 20 dakika sonra oksijenin çok düşük seviyelere ulaştığı gözlenmiştir. Bu nedenle, statik yığınla yapılan kompostlaştırmada blowerlerin çalışma aralığı sıcaklık ve zamana göre düzenlenmektedir. Bloweri açıp kapama arasındaki süre yaklaşık 15 dk tutulmaktadır. Kompostlaştırma sürecinin ilk döneminde (hızlı fermantasyon) yığın boşluklarındaki çözünmüş O₂ oranı %5~15 aralığında tutulmalıdır. Daha sonraki olgunlaşma döneminde bu oran %1~5 olabilir[6].

Kaibuchi, pilot ölçekli reaktörde basınçlı havalandırma ile evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında en yüksek sıcaklığı 3-4 mg O₂/sa-g UKM havalandırma hızında elde etmiştir. Viel vd., üç farklı atık üzerinde yaptığı kompostlaştırmada O₂ tüketim hızının birinci günde arttığı, diğer ardışık dokuz günde azaldığını ortaya koymuştur. Yapılan çalışmalar, oksijen tüketimi ve havalandırma hızının atığın yapısına ve kompostlaştırma metoduna bağlı olduğunu göstermiştir[6].

Teorik olarak, oksijen miktarı oksitlenecek karbon miktarına göre belirlenir. Bununla birlikte atığın temel karbon muhtevasına bakarak oksijen ihtiyacını tespit etmek imkansızdır. Bunun nedeni, Karbonun bilinmeyen fraksiyonu bakteri hücrelerinde

kullanılırken, diğer bir kısımda doğada bakteriler tarafından kullanılamaz bir formda kalır[2].

Kompostlaştırma prosesinin başlangıcında, hızlı bozuşmadan dolayı daha fazla oksijen talebi olur. Yapılan bir çalışmada olgunlaşmış kompostteki oksijen ihtiyacının $9 \text{ mm}^3/\text{g/saat}$ olmasına karşın taze kompostta bunun $284 \text{ mm}^3/\text{g/saat}$ mertebelerinde olduğunu raporlamıştır [2]. Oksijen ihtiyacı aktif havalandırmayla (Cebri veya vakum), doğal havalandırmayla (difüzyon yada ısı yayımı) yada küçük ölçekli yerlerde ise çevirme ile sağlanır. Cebri(mekanik) havalandırmada, vakumlu havalandırmadan daha fazla verimli enerjiye ihtiyaç vardır. Bunun yanısıra vakumlu havalandırmada kompostlaştırma esnasında çıkan gaz kolaylıkla yakalanabilir. Kompostlaştırma prosesinde havalandırma sistemi ve yığınların şematik gösterimi Şekil 2.3' de verilmiştir[22].



Şekil 3.3 Havalandırmalı Statik Yığın

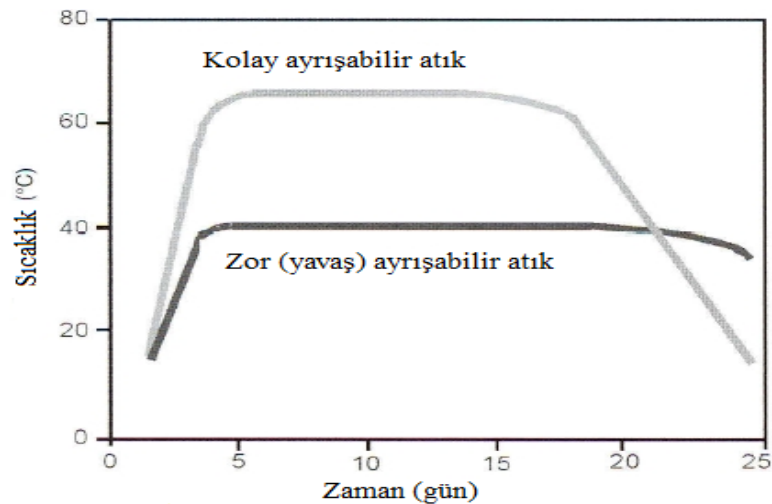
2.3.3 Sıcaklık

Sıcaklık, kompostlaştırma prosesinde önemli rol oynayan ve aynı zamanda proses hızının bir göstergesi niteliğinde çok önemli bir parametredir. Sıcaklık mikrobiyal bozulma esnasında biyokütle yapısındaki kompleks organik formlar daha basit yapıdaki karbon formlarına oksitlenmektedir. Karbon içeren moleküller parçalanırken karbon atomları arasındaki bağların kopmasından oluşan kimyasal enerji ısıya dönüşmektedir. Bu durumda ne kadar çok bağ parçalanırsa o kadar çok ısı meydana geldiğinden

ortamın sıcaklığındaki yükselme biyolojik aktivitenin hızını göstermektedir. Bu yüzden, kompostlaştırma prosesin de oluşan reaksiyon ve ürünler sıcaklıkla değişmektedir[6]. Bu ekzotermik prosesin sonucunda büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerjinin yalnızca %40 – 50 kısmı mikroorganizmalar tarafından ATP sentezinde kullanılırken geri kalan diğer kısmı kütleden ısı kaybı şeklinde uzaklaşır[2].

Havali kompostlaştırma işlemi, mezofilik ve termofilik ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Kompostlaştırmaya katkısı bulunan tüm mikroorganizmalara uygun sıcaklıklar mevcuttur. Kompostlaştırılan atıklarda görülen sıcaklık artışına, solunum metabolizmasındaki ekzotermik reaksiyonlar neden olmaktadır. Sıcaklık 65°C'nin üstüne çıktığında spor yapıcı mikroorganizmalar baskın hale gelirler. Bu safha, durgun bir safha olduğu ve fermantasyon yavaşladığı için fazla istenmez. 55-60°C civarındaki sıcaklıklarda patojen mikroorganizmalar, solucan yumurtaları ve bitki tohumları da tahrip edilir. Aktarmalı yığınla kompostlaştırmada genel olarak, aktarmadan sonra yığın sıcaklığı ortam sıcaklığına düşmekte, fakat birkaç saat içinde eski seviyesine geri dönmektedir. Yığın sıcaklığı, 10-15 gün sonra yani biyolojik olarak kolay ayrışabilir maddeler oksitlendikten sonra azalmaktadır[6].

Kompostlaştırma sürecindeki sıcaklık-zaman profilleri atığın biyolojik olarak ayrışabilirliğinin açık göstergesidir. Biyolojik ayrışabilirliği düşük (yavaş yada zor ayrışan) organik atıklarda sıcaklığın 40°C üzerine çıkması zordur. Bunu önlemek için başka atıklarla karıştırma gerekebilir[6].

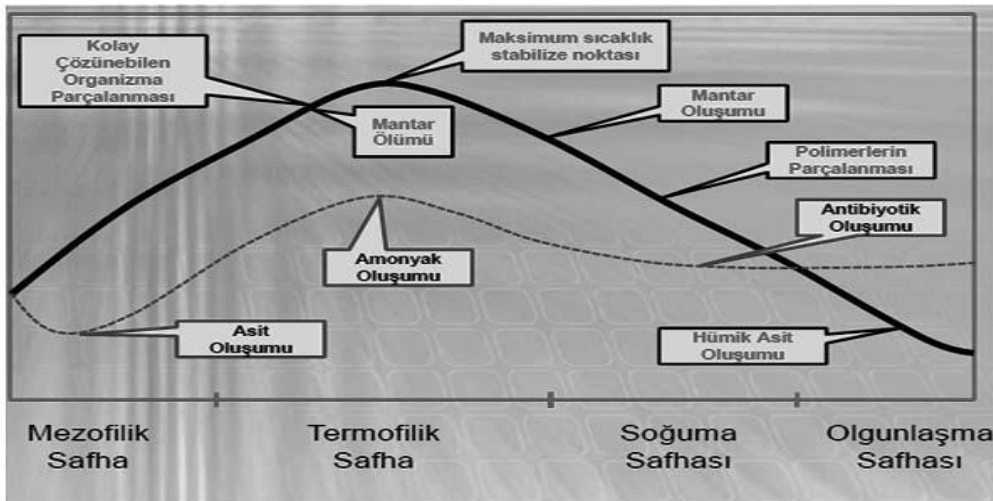


Şekil 3.4 Biyolojik ayrışabilirliği yüksek ve düşük atıklar için sıcaklık profil değişimi

Atık patojen içerirse, proses bir kaç gün boyunca 55 °C'nin üzerinde tutulmalıdır. Maksimum mikrobiyal aktivite için kolay ayrışabilen yeterli karbon miktarı mevcutsa, dezenfeksiyon için gerekli sıcaklık prosesin başlangıcında elde edilebilir. Statik yığın ve aktarmalı yığın kompostlaştırma sistemlerinde, kütlenin dış yüzeyindeki sıcaklık merkezinden daha düşük olduğu için, merkezdeki sıcaklığın 55°C'den yüksek tutulması tavsiye edilmektedir. Atığın dezenfeksiyonuna ihtiyaç duyulmuyorsa, düşük sıcaklıklarda daha hızlı stabilizasyon gerçekleşebilir. Bahçe atıkları, evsel katı atıklar ve arıtma çamurları patojenleri ihtiva ettiğinden, bu atıklardan patojen giderimi için kompostlaştırılmanın yüksek sıcaklıklarda yapılması gerekmektedir[22].

En iyi sıcaklık kontrolü kapalı statik veya dinamik sistemlerde elde edilir. Statik sistemlerde kontrol daha iyi yapılırken, aktarmalı yığın sistemlerinde kontrol daha zordur. Yığın kütlesi boyunca sıcaklık tam olarak üniform değildir. Kütlenin ortasında sıcaklık yüksek olup kenarlara doğru düşer. Yapılan yığınların yüzey alanı büyüdükçe, ısı kaybı da büyür. Kütleyi veya hacmi büyüttükçe, üretilen ısı artar ve merkezdeki sıcaklık da yükselir. Sıcaklık genellikle prosesin başlangıcında yükselir ve daha sonra azalır[6].

Organik katı atıklardan normal aerobik kompost üretimi sonucu genelde %50 civarında bir ağırlık kaybı olur. Aerobik kompostlaştırma işlemi temel olarak dört aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar; 1) Mezofilik safha, 2) Termofilik safha, 3) Soğuma safhası ve 4) Olgunlaşma safhasıdır.



Şekil 3.5 Kompostlaştırma prosesinde sıcaklık değişimi

2.3.4 Su Muhtevası

Su muhtevası, kompostlaştırma prosesinde mikrobiyal aktiviteyi etkileyerek sıcaklığı ve organik maddenin ayrışma hızını belirlemektedir. Kompostlaştırma prosesi için teorik su ihtiyacı %100'dür. Ancak, hava girişinin engellenmemesi için bu oran yarı değerde tutulmaktadır. Havalı kompostlaştırmanın başlangıç aşamalarında, optimum su muhtevası %50-60 aralığında değişmekte olup, dane boyutu vb. faktörlere bağlı olarak da değişkenlik göstermekle birlikte pratik olarak %40'luk minimum su muhtevası sağlanmalıdır. Aksi takdirde, fermantasyon hızı azalmakta ve %8-12'nin altındaki su muhtevalarında ise tüm mikrobiyal aktivite pratik olarak durmaktadır[22].

Mikroorganizmalar, çoğalmaları için gerekli besinleri suda çözülmüş olarak özümleyebilirler. Ayrıca, mikroorganizmaların yapılarının %80'i sudur. Bu nedenlerle, kompostlaştırma prosesi için belirli miktarda su bulunması şarttır, fakat suyun fazlası daneler arasındaki boşlukları doldurarak, havalandırmayı engellemekte ve özellikle ortamı havasız (anaerobik) hale dönüştürerek, kokuya ve patojen mikroorganizmaların canlı kalmasına sebep olmaktadır[6].

Kompost oluşumunda az miktarda su üretilirken, artan su muhtevası dolayısıyla organik madde bozuşmaya uğrar. Kompostlaştırma boyunca artan sıcaklık nem muhtevasındaki buharlaşmadan dolayı azalır. Buharlaşma, kompostlaştırmadaki temel enerji kaybıdır. Kompostlaştırma esnasında nem muhtevasındaki değişiklik özellikle kompostun sıcaklığına ve havalandırma oranına bağlıdır[22].

Kompostlaştırma prosesinin sonunda, nihai kompost %40-45 den daha yüksek bir nem konsantrasyonuna sahip olmamalıdır. Bu oran eleme için yeterlidir. Daha kuru bir kompost toz emisyonunun oluşmasına neden olabilir. Şayet nihai kompost plastik çantalarda paketlenenirse, nem oranı %35'i aşmamalıdır. Aksi halde anaerobik ortam oluşması halinde koku oluşu kaçınılmazdır[22].

Sürekli beslemeli kompost reaktörlerinde kompost karışımındaki su muhtevası kontrolü, çıkan ürünün (kompost) bir kısmının sistem girişine geri çevrilmesi yoluyla yapılabilir[6].

2.3.5 pH

pH kontrolü, mikrobiyal ortamın ve atık stabilizasyonunun değerlendirilmesinde önemli diğer bir parametredir. Kompostlaştırma prosesinde pH, sıcaklığa benzer şekilde zamanla değişmektedir. Kompostlaştırmanın ilk birkaç gününde pH 5 veya daha aşağıya düşer. Bu safhada, çevre sıcaklığındaki organik kütlede içsel mezofilik organizmalar çoğalmaya başlar ve sıcaklık hızla artar. Bu ilk kademenin ürünleri arasında, pH'ın düşmesine sebep olacak basit yapıdaki organik asitler de vardır. Daha sonra, sıcaklık termofilik kademeye ulaşır ve pH havalı prosesin geri kalan kısmı için yaklaşık 8-8,5 değerlerine ulaşır. pH değeri, soğuma kademesinde yavaş yavaş düşer ve olgunlaşmış kompostta 7-8 civarındadır. Havalandırma yeterli değilse, pH 4-5 seviyelerine düşer ve kompostlaştırma prosesi yavaşlar[6].

Yüksek asidik ve bazik şartlar altında biyolojik aktivite engellenir. Bakteriler nötral seviyede aktivitelerini sürdürmeyi tercih ederken, mantarlar asidik çevre şartlarında daha iyi gelişirler. Kompostlaştırma için ideal pH 6- 7,5 arasındadır[22].

Evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında, genellikle pH düzenlemesine gerek olmamakla birlikte gerekli hallerde kireç, sodyum bikarbonat, kostik soda veya uygun seyreltik asitilavesi ile pH ayarlaması yapılabilir. Ancak kireç ilavesinin amonyak oluşumunu hızlandırdığı ve azot azalmasına sebep olduğu göz önünde bulundurulmalıdır[6].

2.3.6 Dane Boyutu

Evsel katı atıkların organik kısmını oluşturan maddelerin çoğu, düzensiz şekillere sahiptir. Bu düzensizlik, organik maddenin kompostlaştırılmadan önce parçalanması ile azaltılabilir. Dane boyutu, birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme ve akım karakteristiklerini etkiler. Dane boyutu azaldıkça, mikroorganizmaların faaliyet göstereceği yüzey alanı, dolayısıyla reaksiyonların hızını artırır. Küçük daneler, yığınların içindeki gözeneklerin ve kanalların boyutunu azaltarak birim hacim ağırlığını arttırırlar. Bu da, havanın yığının içine, karbondioksitin de yığının dışına difüzyonunu sınırlar ve reaksiyon hızının azalmasına sebep olur. Atık yüksek su muhtevasına sahipse, yüksek birim hacim ağırlığı mekanik aktarma ekipmanlarının aşırı yüklenmesine sebep

olur. Bu yüzden, dane boyutları arasında bir uyum sağlanmalıdır. Mekanik karıştırma ve basınçlı havalandırma yapılan tesislerde dane boyutu, atık parçalanarak 1,5-2 cm civarına getirilmelidir. Doğal havalandırılmalı statik ve aktarmalı yığınlarda ise dane boyutu 5 cm'den daha az (max. <8cm) olmalıdır. Boşluk oranının uygun seviyede tutulabilmesi için yığındaki partikül çapının 25-75 mm aralığında olması tavsiye edilmektedir. Porozite, yığının birim hacim ağırlığı ile de yakinen ilişkilidir. Optimum poroziteyi sağlamak için kompostlaştırılacak atık yığınının birim hacim ağırlığı 0,5-0,6 t/m³ civarında tutulmalı, gerektiğinde boşluk arttırıcı katkıları kullanılmalıdır[6].

2.3.7 Hacim Artırıcı Malzemeler

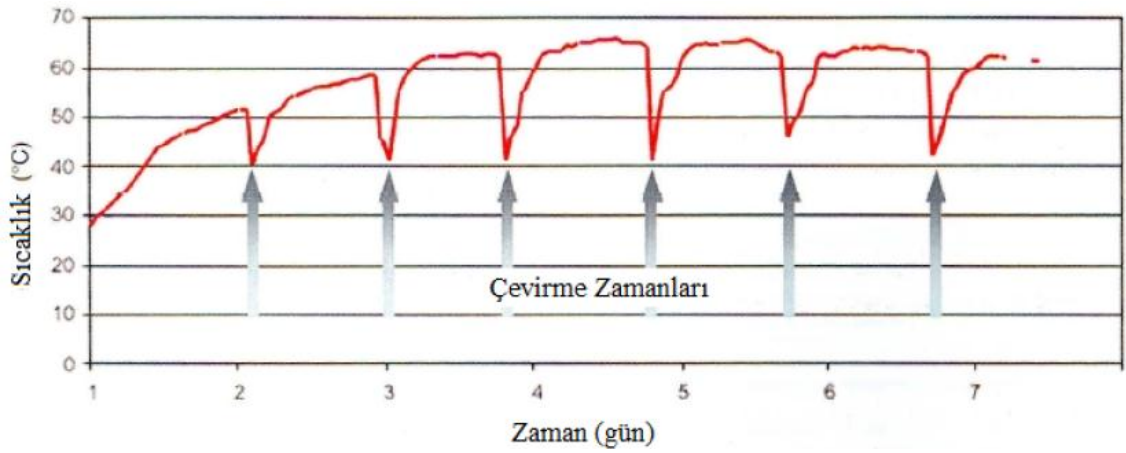
Hacim artırıcı madde, öncelikle hacim ağırlığını azaltmak, boşluk oranını arttırmak gibi faydalar sağlamak için kompostlaştırma proseslerinde kullanılırlar. Uzun yıllardan beri fıstık kabuğu, yaprak, ağaç kabuğu, parçalanmış lastikler, mısır koçanı, kağıt, talaş, yonga gibi farklı hacim artırıcı maddeler kompostlandırmada başarıyla kullanılmıştır.

Yığınlarda hacim artırıcı madde olarak yonga kullanılması ise yaygındır. Çünkü yonga kompostlaştırma için, birbirine benzerlik, rutubet emme kapasitesi, kullanım kolaylığı ve kullanılabilir karbon gibi bazı önemli avantajlar sağlarlar. Yonga temininde sert ağaç yongası tercih edilmelidir. Yumuşak yonga kullanıldığında, çok fazla nem emilir ve yapısal zayıflıklardan dolayı proses sırasında kolaylıkla deforme olurlar. Hacim artırıcı madde deforme olduğunda, hava akımı için kullanılabilir hacimde azalmalar olmaktadır. Hacim artırıcı madde tipine bağlı olarak, mikroorganizmalar için ilave karbon kaynağı sağlayabilir. İlave olarak hacim artırıcı madde yığınlara gözeneklilik sağlayarak havanın yığın içerisine kolay ulaşımını temin eder[22].

2.3.8 Karıştırma

Doğal havalandırılmalı kompostlaştırma sistemlerinde, yığının alt bölgelerine oksijen difüzyonu, metabolik gereksinimlerden çok daha az olduğundan bu bölgeler havasız (anaerobik) hale gelir. Bu durumda, yığını elle veya bir makina ile karıştırmak havanın bu bölgelere ulaşmasını sağlar. Karıştırma, ayrıca büyük parçaları küçülterek, mikrobiyal reaksiyonlar için yeni yüzeyler oluşturur. Bununla birlikte fazla

havalandırma, kompost yığınının aşırı soğuyup, kurumasına, aktinomiset ve mantarların yok olmasına neden olur. Ekonomi ve prosesin gereksinimleri göz önüne alınarak yığınların aktarma sıklıkları belirlenmelidir. Maksimum % 55-60 su muhtevasına ve 15 günlük kompostlaştırma süresine sahip organik bir atığın, ilk olarak üçüncü günde aktarılması tavsiye edilmektedir, daha sonra toplam 4 veya 5 aktarma olacak şekilde belirli günlerde aktarılmalıdır. Aktarma sırasında yığın sıcaklığının tipik değişim profili Şekil 2.7'de verilmiştir[6].



Şekil 3.6 Bir kompost yığınının gözlemlenen tipik sıcaklık profili

2.4 Kompostlaştırmanın Avantaj ve Dezavantajları

Kompostlaştırma prosesi sonucu elde edilen kompost ürünü stabildir. Bu sebeple kompost genelde toprak şartlandırıcı olarak tarım alanlarında, park ve bahçelerde, kirlenmiş toprakların ıslahında kullanılabilir. Kompost bitkilerin büyümesi için gerekli olan makro element ve mikro elementleri yapısında ihtiva eder. Bununla beraber bir toprak şartlandırıcı olarak kullanılan kompostun temel etkisi toprağa nütrient ilavesinden ziyade toprağın humus dengesini sağlayıcı bir rol oynamasıdır[22].

Kompostlaştırma kentsel atık içerisindeki organik maddenin ekonomik ve çevreci şekilde geri dönüştürülmesi açısından da avantajlıdır. Katı atığın bertarafında kullanılan yakma, biyometanizasyon vb. yöntemlerle karşılaştırıldığında maliyetinin düşük olması ve atıkların yeniden kullanımı ile toplum için potansiyel bir kazanç sağlaması bu sistemlerin önünü açmaktadır.

Kompostun cazip özelliklerinden bir tanesi de satılabilir olmasıdır. Potansiyel alıcılar, bahçıvanlar, peyzajcılar, sebze ve meyve çiftçileri, çimen yetistircileri, golf sahaları ve süs bitkisi yetistircileridir. Kompost bir atık olarak görüldüğünden fiyatı çok değişkendir. Fiyat pazarın durumuna, kompostun kalitesine ve kullanılan ham maddeye bağlı olarak değişir[24].

Kompostlaştırmanın en önemli dezavantajları potansiyel koku oluşumu, fazla alan gereksinimi, enerji sarfiyatı ve ilave metaryallere duyulan ihtiyaçlardır. Ayrıca iyi işletilmemiş prosesten çıkan yüksek ağır metal içerikli kompostta toprak ve yeraltı suyu rezervleri için önemli bir tehdit haline gelir.

Çizelge 3.2 Kompostun avantaj ve dezavantajları[22]

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
YAKMA VB TEKNOLOJİLERE GÖRE İLK YATIRIM VE İŞLETME MALİYETİNİN DÜŞÜK OLMASI	POTANSİYEL KOKU VE BİYOAEROSOL OLUŞUMU
ÜRÜNÜN DEPOLANABİLİR VE HEMEN UYGULANABİLİR OLMASI	ZAMAN GEREKSİNİMİ
NİHAİ ÜRÜNÜN POTANSİYEL OLARAK SATILMA OLANAĞININ OLMASI	FAZLA YER GEREKSİNİMİ
KOMPOSTLAŞTIRMA PROSESİNİN DİĞER SİSTEMLERLE KOMBİNE EDİLİR OLMASI	FAZLA ENERJİ SARFIYATI
SU TUTMA KAPASİTESİNDEN DOLAYI TOPRAĞIN SUSUZLUĞA OLAN DİRENCİNİ ARTIRMASI VE EREZYON KONTROLÜ SAĞLAMASI	GÖZENEKLİLİĞİN ARTMASI İÇİN İLAVE METARYALLERE İHTİYAÇ DUYULMASI
GÜBRE KULLANIMINI AZALTARAK EKONOMİK KATKI SAĞLAMASI	KOMPOSTUN NİHAİ ÜRÜN OLARAK KULLANILMASI İÇİN BİR İHTİYACIN OLMASI GEREKLİLİĞİ
TOHUM ÇİMLENMESİ VE ÜRÜN MAHSUL DEĞERİNİ ARTIRMASI	ALICI ORTAMDA POTANSİYEL AĞIR METAL KİRLİLİĞİ

2.5 Kompostun Kullanım Alanları

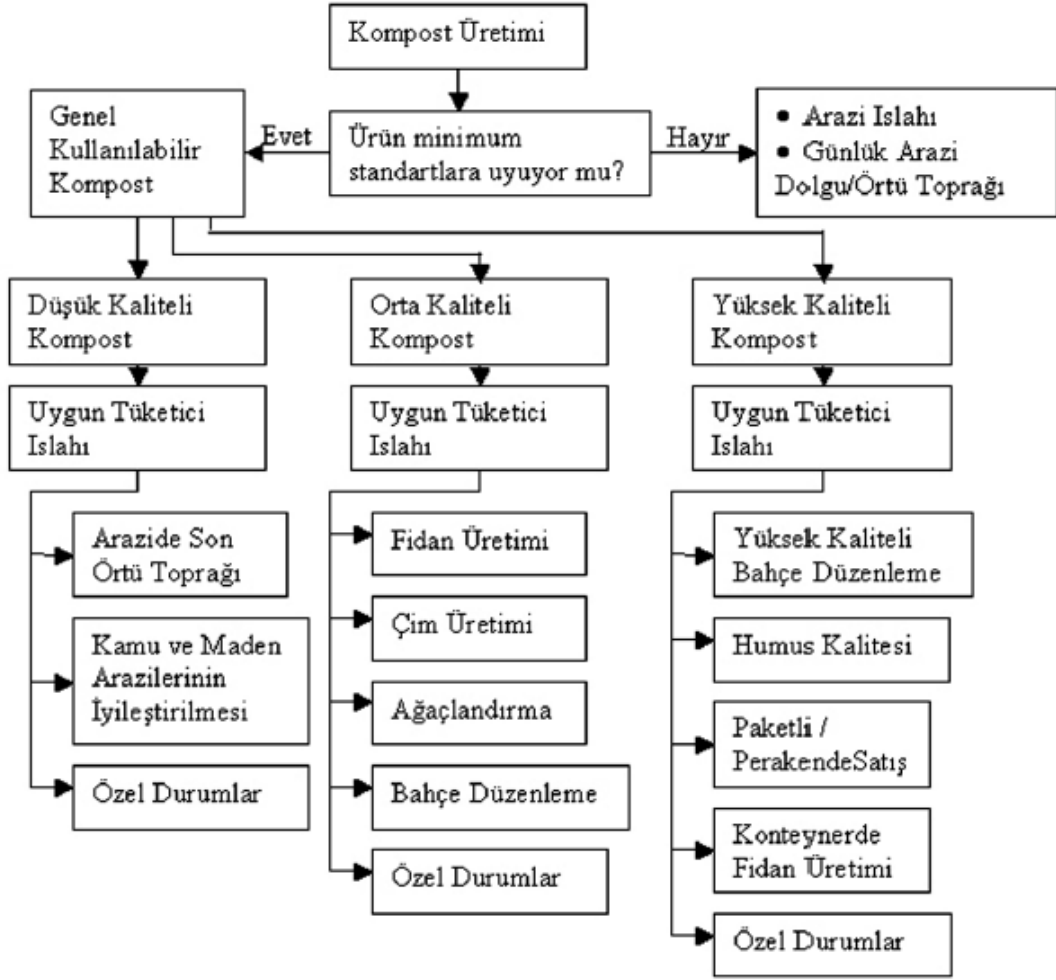
Gelişen kompost teknolojileri ile ürün kalitesi arttırılmakta ve dolayısıyla kompostun piyasadaki değeri hızla artmaktadır. Tarımsal alanlarda, bahçelerde, fidan yetiştiriciliğinde, seracılıkta, orman alanlarında, toprak ıslahında ve çeşitli yerlerde kompost kullanılmaktadır.

Kompost, toprağın havalanmasını drenajını ve su tutma kapasitesini düzenlemektedir. Ayrıca besin maddelerini yüksek özümseme kapasitesinden dolayı, toprağın iyon değişim kapasitesini arttırır. Kompost tohum çimlenmesini, ürünün mahsul değerini ve kalitesi ile toprak neminin tutulmasını arttırıp gübre kullanımını azaltarak ekonomik olarak fayda sağlamaktadır. Ayrıca toprağın susuzluğa olan direncini arttırması, erozyon kontrolünü sağlaması, böcek ilacı (pestisit) kullanımını azaltması kompostun diğer üstün özellikleridir. Bazı kompostlar, bünyelerinde doğal olarak bulunan mantar ve diğer faydalı organizmalar sebebiyle bitkinin zarar görmesini engellemektedir. Sonuç olarak, kompost kullanımı, organik tarımın arttırılması, maliyetlerin düşürülmesi ve üründe oluşabilecek zararlara karşı ekolojik çözüm imkanlarını sağlamaktadır[7].

Son yıllarda kirletilmiş toprakların geri kazanım, koku kontrolü, uçucu organiklerin azaltılması amacı ile kompostla biyolojik iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu yöntemde, olgun ve işlenmiş kompostun içinde bulunan mikroorganizmaların toprak veya sudaki kirleticileri parçalaması veya tutması sağlanmaktadır. Kirleticiler mikroorganizmalar tarafından indirgenerek humus veya inert yan ürünlere dönüştürülür. Kompostun klorlu veya klorlu olmayan hidrokarbonların, ahşap koruyucu kimyasalların, solventlerin, ağır metallerin, pestisitlerin, petrol ürünlerinin indirgenmesinde veya etkisiz hale getirilmesinde başarıyla kullanılabilceği ispatlanmıştır[23].

Kompostun bahçivanlıkta, saksı karışımlarında ve fide yataklarında kullanımı ile mantar öldürücü ilaçların kullanımı azalmıştır. Kompostun ağaç ve funda yetistirciliğinde mantara yardımcı *mycorrhizae*'nin büyümesini destekleyerek yararlı olduğunu göstermiştir. Bu mantarlar bazı bitkilerin büyümesi için zorunludur. Bunlar özellikle terk edilmiş madenler ve depo alanları örtüsü gibi bozulmuş topraklardaki veya hastalık

yapıcı organizmaları, böcekleri, zararlı ot ve iplik kurdu kontrolü için sterilize edilmiş topraklardaki vejetatif örtünün saptanmasında önemlidir[24].



Şekil 3.7 Kompostun kalite sınıflandırmasına göre kullanım alanları[7]

2.6 Türkiye ve Dünya’da Kompostlaştırmaya İlişkin Standart ve Uygulamalar

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

En kritik kompost kalite unsurları kompostun planlanan nihai kullanımına bağlıdır. Uygulamaların çoğu için kompost kalitesinin en önemli göstergesi bitki büyümesi üzerindeki etkisidir. Diğer nütrient kaynaklarının ikamesi için kompostun uygulandığı

tarım alanlarında kompost nütrient muhtevası en önemli unsurdur. Kompostun pH ve çözünebilir tuz muhtevası kompostun yüksek oranlarda kullanıldığı ortamlar için anahtar özellik niteliğindedir[23].

Kompost ile ilgili standartlar başlıca, proses kontrolü, hijyen şartları, fiziksel yapısı, ağır metal içerikleri ve organik kirleticileri muhtevasına yönelik esaslar olarak ele alınmıştır.

2.6.1 Proses Kontrolü İle İlgili Standartlar

Birçok ülkede yasal kompostlaştırma prosesi kontrolü, hijyenik şartların sağlanması hedefine yönelik olarak uygulanmaktadır. Proses sonunda, hijyenik açıdan kusursuz, patojen bakteri içermeyen ve yabancı ot ve tohum içeriğinin minimum olduğu bir ürünü elde etmek esas hedeftir. Bu sebeple, kompostlaştırma prosesinin kontrolü en yaygın olarak termofilik evredeki sıcaklıkların izlenmesiyle sağlanmaktadır. Çizelge 2.3' de Avrupa Birliği ülkelerinde kompostlaştırma prosesinin kontrolü için uygulanan standartların durumu özetlenmiştir[7].

Çizelge 3.3 AB ülkelerinde kompostlaştırma prosesinin kontrolü için uygulanan standartların durumu[25].

ÜLKE	SICAKLIK/ZAMAN	KOKU	HAVA EMİSYONLAR	STABİLETE(PROSES SÜRESİNCE)
AVUSTURYA	YALNIZCA DÖKÜMANTASYON	DURUMA GÖRE	YOK	YOK
BELÇİKA	VAR	DURUMA GÖRE, SPESİFİK BİR STANDART YOK	YOK	YOK
DANİMARKA	VAR	YOK	YOK	VAR(DEAKTİVASYON KONTROLÜ İÇİN 3 AY)
FİNLANDİYA	YOK	YOK	YOK	YOK
FRANSA	VAR	YOK	YOK	YOK (RESPIROMETRİK TEST HAKKINDA TARTIŞMA)
ALMANYA	VAR	YOK	YOK	VAR

Çizelge 2.3 AB ülkelerinde kompostlaştırma prosesinin kontrolü için uygulanan standartların durumu(devamı)

ÜLKE	SICAKLIK/ZAMAN	KOKU	HAVA EMİSYONLARI	STABİLETE(PROSES SÜRESİNCE)
YUNANİSTAN	YOK	YOK	VAR	YOK
İRLANDA	YOK	YOK	YOK	TESİS LİSANSLANDIRMASINDA
İTALYA	VAR	YOK(BAZI YEREL DÜZENLEMELER)	YOK	YOK (İZİN PROSEDÜRLERİNE GÖRE MİN. SÜRE 90 GÜN)
LÜKSEMBURG	VAR	YOK	YOK	VAR
HOLLANDA	VAR	YOK	YOK	VAR
PORTELİZ				YOK
İSPANYA	-	YOK	YOK	ÇALIŞMA HALİNDE
İSVEÇ	VAR	YOK	YOK	YOK
İNGİLTERE	VAR	YOK	YOK	VAR
KANADA	VAR	VAR(VİLA YET BAZINDA)	VAR(EYALET BAZINDA)	VAR
ABD	VAR(ÇAMUR DÜZENLEMESİ)	VAR(EYALET BAZINDA)	VAR(EYALET BAZINDA)	BAZI
AVUSTRALYA	VAR(iyi UYGULAMA REHBER REFERANSLARI)	YOK	YOK	YOK(KENDİLİĞİNDE N ISINMA TESTİ ÖNERİLİR)
YENİ ZELANDA	VAR	YOK	YOK	YOK

2.6.1.1 Hijyen Şartlarının Sağlanması

Kompostta hijyen şartlarının sağlanabilmesi için atığın kompostlaştırma prosesinde belirli bir süre boyunca belirli sıcaklık değerlerinde tutulması esastır. Yığın şeklindeki uygulamalarda hedeflenen sıcaklık değerlerine ulaşmak daha uzun zaman almaktadır. Bunun yanında, sıcaklık rejimleri karıştırma işlemiyle doğrudan alakalı olarak değişiklik

gösterecektir. Hijyeni sağlamak üzere sıcaklık değişimleri göz önüne alındığında aşağıdaki iki hususa dikkat edilmesi gerekir.

- Çok yüksek sıcaklıklar prosesin yavaşlamasına neden olabilir.
- Sıcaklık-zaman değişimi ilişkisi, proste patojen giderimi açısından izlenmesi gereken tek parametre olmamalıdır. Olgunlaşma safhasında da, mezofilik biyokütle tarafından önemli ölçüde patojen gideriminin sağlandığı göz ardı edilmemelidir.

Birçok ülke hijyen şartlarının sağlanması için sıcaklık-zaman değişiminin izlenmesinin yanında, elde edilen son üründe *Salmonella* ve *E.coli* gibi patojen testlerinin yapılmasını benimsemektedir. Ancak, bu konuda fikir birliğine varılmış bir karar bulunmamaktadır. Dünyadaki gelişmiş ülkelerinde hijyen şartların sıcaklık-zaman değişimi izlenerek sağlanması ile ilgili olarak öngörülen proses ihtiyaçları Çizelge 2.4’de verilmiştir[7].

Çizelge 3.4 Hijyen şartlarının sağlanması için gerekli sıcaklık değerleri[25].

ÜLKE	MİNİMUM SICAKLIK, °C	GÜN
BELÇİKA	60	4
DANİMARKA	55	14
FRANSA	60	4
ALMANYA	55	14
	60 (İN-VESEL)	7
İTALYA	55	3
HOLLANDA	55	4
İSVEÇ	55-70 MALZEMENİN RİSK POTANSİYELİ VE KOMPOST TESİSİNE BAĞLI	
İNGİLTERE KOMPOST BİRLİĞİ	55	3 EĞER İN-VESEL YADA STATİK HAVALANDIRMALI YIĞINSA 15 EĞER AKTARMALI YIĞIN KOMPOSTLAŞTIRMA İSE (SÜREÇ BOYUNCA 5 KEZ KARIŞIM)

Çizelge 2.4 Hijyen şartlarının sağlanması için gerekli sıcaklık değerleri(devamı)

ÜLKE	MINİMUM SICAKLIK, °C	GÜN
İNGİLTERE TOPRAK BİRLİĞİ	60	ZAMAN PERİYODU VAR, ANCAK SICAKLIKLA İLGİLİ DEĞİL
KANADA	55	3-İN VESSEL 15-AKTARMAŞLI YIĞIN 3- STATİK HAVALANDIRMALI YIĞIN
ABD	55	5-İN VESSEL 15-AKTARMALI YIĞIN
AVUSTRALYA	55	3 HER BİR AKTARMA ÖNCESİNDE İÇ SICAKLIK 55 °C'YE ULAŞINCAYA KADAR YIĞINI 3 KEZ ÇEVİRME GEREKLİKLİĞİ
YENİ ZELLANDA	55	3

2.6.2 Ürün Kalitesi ile İlgili Standartlar

2.6.2.1 Ağır Metal İçerikleri ile İlgili Standartlar

Ağır metal içeriği ile ilgili standartlarda genel olarak, kompost içinde müsaade edilen maksimum limitlerin (mg/kg) ifade edilmesi şeklinde olmaktadır.

Çizelge 3.5 Avrupa Birliği ülkelerinde kompost için uygulanmakta olan ağır metal limitleri(mg/kg-kuru madde)

ÜLKE	CD	CR	CU	HG	Nİ	PB	ZN	AS
AVUSTURYA(A SINIFI ORGANİK TARIM İÇİN)	0,7	70	70	0,4	25	45	200	-
BELÇİKA	1,5	70	90	1	20	120	300	-
DANİMARKA	0,4	-	1000	0,8	30	120/60	4000	25
FİNLANDİYA	3	-	600	2	100	150	1500	50
FRANSA	3	-	-	8	200	800	-	-
ALMANYA	1,5	100	100	1	50	150	400	-
YUNANİSTAN	10	510	500	5	200	500	2000	15
İRLANDA	1,5	100	100	1	50	150	350	15

Çizelge 2.5 Avrupa Birliği ülkelerinde kompost için uygulanmakta olan ağır metal limitleri(devamı)

ÜLKE	CD	CR	CU	HG	Nİ	PB	ZN	AS
İTALYA	10	500	600	10	200	500	2500	10
LÜKSEMBURG	1,5	100	100	1	50	150	400	-
HOLLANDA	1	50	60	0,3	20	100	200	15
PORTEKİZ	20	1000	1000	16	300	750	2500	-
İSPANYA(ARITMA ÇAMURUNUN TARIMDA KULLANIMI)	40	1500	1750	25	400	1200	4000	-
İSVEÇ	1	100	100	1	50	100	300	-
İNGİLTERE	0,7	70	70	0,4	25	45	200	-
KANADA(A TİPİ)	3	210	100	0,8	62	150	500	13
ABD(EPA ÇAMUR DÜZENLEMESİ)	39	-	1500	17	420	300	2800	41
AVUSTRALYA	3	400	200	1	60	200	250	20
YENİ ZELANDA	15	1000	1000	10	200	600	2000	-
EC/ECO LABEL 2001/688/EC	1	100	100	1	50	100	300	10
EC/ECO-AGRIC 2092/91 EC-1488/98 EC	0,7	70	70	0,4	25	45	200	-

2.6.2.2 Organik Kirleticiler İle İlgili Standartlar

Avusturya, Danimarka ve Lüksemburg'da kompostun içerdiği organik kirleticiler için de ek kısıtlamalar getirilmiş olup, bunlar Çizelge 2.6'da verilmiştir. Almanya ve Hollanda'da kaynakta ayırma işlemi yapıldığı ve kompostlaştırmaya alınan organik kısımda çok düşük konsantrasyonlar tespit edildiği için böyle bir gereksinime ihtiyaç duyulmamaktadır[7].

Çizelge 3.6 Kompost içinde bulunabilecek organik kirleticiler için limit değerler

PARAMETRE	AVUSTURYA (KARIŞIK KATI ATIK İÇİN)	DANİMARKA	LÜKSEMBURG
PCB	1 MG/KG KURU MADDE	-	1MG/KG KURU MADDE(4 ANALİZ/YIL)
PCCD/F	-	-	20NG/KG KURU MADDE(4 ANALİZ/YIL)
DİOKSİNLER	50NG ITEQ/KG KURU MADDE	-	-
PAH	6 MG/KG KURU MADDE	3 MG/KG KURU MADDE	10MG/KG KURU MADDE(2 ANALİZ/YIL)
AOX	500 MG/KG KURU MADDE	-	-
HİDROKARBONLAR	3000MG/KG KURU MADDE	-	-
LAS	-	1300 MG/KG KURU MADDE	-
NPE	-	30 MG/KG KURU MADDE	-
DEHP	-	50 MG/KG KURU MADDE	-

2.6.2.3 Kompostun Fiziksel Bileşimi ile İlgili Standartlar

Komposttaki müsaade edilebilir yabancı madde içeriği tartışma konusu olmakla birlikte, bu standartlarla ilgili olarak önemli ölçüde fikir birliği bulunmaktadır. Normalde taş, biyolojik olarak parçalanmayan cam, plastik ve metalden oluşan yabancı maddeden ayrı olarak ele alınmaktadır. Kompostla ilgili yasal düzenlemeler bulunan ülkelerde komposta ait fiziksel standartlar Çizelge 2.7’de özetlenmiştir. Tablodan görüldüğü üzere Portekiz ve ABD gibi ülkelerde yabancı madde içeriği ile ilgili bir kısıtlama bulunmamaktadır[7].

Çizelge 3.7 Kompostta müsaade edilen yabancı madde içeriği ile ilgili limit değerler[25]

ÜLKE	TAŞ İÇERİĞİ (KURU AĞIRLIĞIN % Sİ OLARAK)	İNSAN KAYNAKLI YABANCI MADDE (CAM,PLASTİK,METAL) (KURU AĞIRLIĞIN % Sİ OLARAK)
AVUSTURYA	<%3 (>11MM KISIM İÇİN)	< % 1 (>2 MM KISIM İÇİN)
BELÇİKA	<%2 (>5MM KISIM İÇİN)	< % 0,5 (>2 MM KISIM İÇİN)
DANİMARKA		< % 0,5 (>2 MM KISIM İÇİN)
FİNLANDİYA		< % 0,5
FRANSA	-	<%6 (>5 MM KISIM İÇİN)
ALMANYA	<%5 (>5 MM KISIM İÇİN)	<%0,5 (>2 MM KISIM İÇİN)
YUNANİSTAN	-	PLASTİK <%0,3, CAM < % 0,5
İRLANDA	-	<%1,5 (> 25 MM KISIM İÇİN)
İTALYA	-	<%1 (> 10 MM KISIM İÇİN)
LÜKSEMBURG	<% 5 (>5 MM KISIM İÇİN)	<%0,5 (> 2 MM KISIM İÇİN)
HOLLANDA	<%2 (>5 MM KISIM İÇİN)	<%0,5 (> 2 MM KISIM İÇİN)
PORTELİZ	-	-
İSPANYA	-	-
İSVEÇ	-	<%0,5 (> 2 MM KISIM İÇİN)
İNGİLTERE	<% 5 (>2 MM KISIM İÇİN)	< % 1 (>2 MM KISIM İÇİN)
ABD	-	-

2.6.3 Türkiye'deki Kompost Kalite Standartları

Ülkemizde kompostun kalitesini belirleyen başlıca 2 yönetmelik bulunmaktadır.

- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
- Tarım ve Köyşleri Bakanlığı (TKB) Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral, Özel, Mikrobiyal ve Enzim İçerikli Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Üretimi, İthalatı, Piyasaya Arzı ve Denetimine Dair Yönetmelik

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mart 1991/20814): Türkiye’de katı atıkların kompostlanmasına ilişkin ilk yasal sınırlandırma 14.03.1991 tarihli 20814 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde belirlenmiştir. Bu yönetmeliğin 33. ve 34. maddelerinde kompostun kullanımı ve kurulacak tesislerde gerekli şartlar tanımlanmıştır[16].

Madde 33- Organik katı atıkların oksijenli ortamda indirgenmesi suretiyle elde edilen kompostun toprağın yapısını iyileştirici bir vazife görmesi için;

- Bahçe ve mutfak artıklarının, bu iş için kurulmuş tesislerde kompostlaştırılması,
- Kompost üretimini kolaylaştırmak için, komposta elverişli organik atıkların ayrı toplanması gerekir.

Madde 34- Yıllık kapasite 200 tondan büyük olan kompost tesislerinde;

- Kompost tesisi havalandırılarak çalıştırılıyorsa, emilen havanın filtreden geçirilmek suretiyle temizlendikten sonra atmosfere verilmesi,
- Kompost sahasından toplanan sızıntı suyu kompostun ıslatılması için kullanılmıyorsa, sızıntı suyu arıtıldıktan sonra alıcı ortama verilmesi ve bu konuda Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinin alıcı ortam standartlarına uyulması,
- Tesise gelen katı atıklar için ön depolama ve dengeleme görevi yapan ön deponun (bunker) kapalı olması,
- Kompost tesislerinin yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının koruma alanı içine inşa edilmemesi,
- Yerleşim alanlarına en yakın mesafenin 1000 metre olması gerekmektedir.

Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral, Özel, Mikrobiyal ve Enzim İçerikli Organik Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Üretimi, İthalatı, İhracatı, Piyasaya Arzı ve Denetimine Dair Yönetmelik(Haziran 2010/27601): Bu yönetmeliğin amacı bitkisel üretimde verimliliğin arttırılması, toprakların fiziksel ve kimyasal yapısının iyileştirilmesi, insan sağlığının korunması ve çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla, organik, organomineral, özel, mikrobiyal ve enzim içerikli organik gübreler ile toprak düzenleyicilerinin kullanımını yaygınlaştırmak, tanımlamak, bunlara ait analiz

metotlarını belirlemek ve bu ürünlerin ithali, ihracı, üretimi, piyasaya arzı ile kayıt edilmesine ilişkin uyulması gereken usul ve esaslar ile bu usul ve esaslara uyulmaması halinde uygulanacak olan yaptırımları belirlemek olarak ifade edilmiştir. Çevre, insan ve hayvan sağlığını korumak amacı ile bu Yönetmelikte ifade edilen organik muhtevadaki ağır metal oranlarının kuru maddede mg/kg (ppm) cinsinden Çizelge 2.8’de değerleri geçemeyeceği öngörülmektedir[27].

Çizelge 3.8 Organik gübrede izin verilen en yüksek ağır metal konsantrasyonları[27]

AĞIR METAL	SINIR DEĞER
KADMİYUM (CD)	3
BAKIR (CU)	450
NİKEL (Ni)	120
KURŞUN (PB)	150
ÇİNKO (ZN)	1100
CİVA (HG)	5
KROM (CR)	270

Yönetmeliğe göre Organik Toprak Düzenleyiciler arasında yer alan Kompost için sağlanması gereken şartlar da Çizelge 2.9’de verilmiştir[27]

Çizelge 3.9 Organik toprak düzenleyici olarak kompostun sağlanması gereken şartlar

ÜRÜNÜN TİP İSMİ	ORGANİK ÜRÜNÜN ELDE EDİLİŞ ŞEKLİ VE ANA BİLEŞENLERİNE AİT BİLGİLER	ÜRÜNÜN HAMMADDE MUHTEVASI, MİKTARI İLE BÜNYESİNDE BULUNMASI GEREKEN BİTKİ BESİN MADDESİ İÇERİĞİ VE DİĞER KRİTERLER	ÜRÜNE AİT TUZLULUK, PH VE DİĞER İSTENEN BİLGİLER	ETİKET ÜZERİNDE BEYAN EDİLMESİ GEREKEN ZORUNLU İÇERİK
KOMPOST	EVSEL VEYA TARIMSAL ENDÜSTRİ ATIKLARINDAKİ ORGANİK ATIKLARIN AEROBİK FERMANTASYO NUYLA ELDE EDİLEN ÜRÜN. PİYASAYA SÜRÜLECEK KOMPOST İÇİNDE CAM, CÜRUF, METAL, PLASTİK, LASTİK DERİ GİBİ SEÇİLEBİLİR MADDELERİN TOPLAMI, AĞIRLIĞIN %2 SİNİ GEÇEMEZ	ORGANİK MADDE EN AZ : % 25 MAKSİMUM NEM : % 20 10 MM'LİK ELEKTEN ÜRÜNÜN % 90'I GEÇECEKTİR. PLASTİK MADDE YA DA DİĞER MEVCUT MUHTEMELENERİ DÖNÜŞÜMÜ OLMAYAN MADDE PARÇACIKLARININ BÜYÜKLÜĞÜ 10 MM'Yİ GEÇMEYECEKTİR. ÜRÜNDE KULLANILAN HAMMADDE KAYNAĞI BELİRTİLECEKTİR. KURU MADDEDEKİ ARSENİK MİKTARI 20 MG/KG İ GEÇEMEZ.	PH TUZLULUK DEĞERİ EN FAZLA: 4 MMHOS /CM*	- TOPLAM ORGANİK MADDE - MAKSİMUM NEM - TOPLAM AZOT (EĞER % 1'İ GEÇER İSE)- ORGANİK AZOT (EĞER % 1'İ GEÇER İSE)- P2O5 (EĞER % 1'İ GEÇER İSE)- SUDA ÇÖZÜNÜR K2O. (EĞER % 1'İ GEÇER İSE) BEYAN EDİLEBİLİR.

2.7 Kompostlaştırma Yöntemleri

Kompostlaştırma için (günümüzde) çok sayıda patent bulunmasına rağmen, nihai ürün talebi ve pazar talebi ile ilgili kısıtlamalar göz önüne alındığında, pek çok sistemin uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Bunlar, genellikle, ya çok basit olup hem atık özelliklerine hem de pazar taleplerine cevap verememekte, ya da yüksek yatırım maliyeti ve/veya işçilik gerektirmektedirler. Son dönemlerde, çok farklı kompostlaştırma sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerdeki temel fark hızlı bozuşmanın gerçekleştiği fermantasyon alanının dışarıda (reaktörsüz sistemler; açık kompostlaştırma, yığın kompostlaştırma vb.) yada kapatılmış bir alanda (kapalı reaktör

sistemler) yapılıyor olmasıdır. Reaktörsüz sistemlerde, kompost prosesi boyunca açığa çıkan gazlar herhangi uygulamaya maruz kalmaksızın (vakumlu havalandırmalı yığın metodu ve havalandırmalı yığın metodunda üstünün kompostla kapatılması hariç) atmosfere karışırlar. Reaktör tip sistemlerde ise oluşan gaz serbest bırakılmadan önce arıtılabilme imkanı vardır[22].

Kompostlaştırma ile ilgili en yaygın kullanılan metotlar şunlardır;

- Pasif yığın kompostlaştırma
- Aktarmalı yığın kompostlaştırma
- Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma
- Kapalı reaktörde kompostlaştırma
- Katı atıkların kaynağında azaltılması için kullanılan kompost teknolojileri

İlk iki metot açık havada gerçekleşir. Statik yığın ve reaktör tipi sistemler, genellikle bir yapı ile kapatılırlar, böylece nem, koku kontrolü ve arıtma daha kolay olur. Ham organik hammaddelerin özellikleri kompostlaştırma metodunun seçiminde etkilidir. Ayrıca yerleşim yerlerine uzaklık, maliyet, kompostlaştırma süresi ve hızıda bu seçimi etkiler.

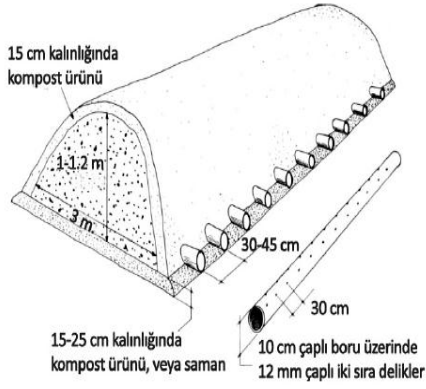
2.7.1 Pasif Yığın Kompostlaştırma

Pasif yığın kompostlaştırma küçük ve orta büyüklükte yerler için uygun olup yönetimi oldukça basittir. Bu metotta, organik maddeler yığın haline getirilir ve karıştırılmadan stabil ürün oluncaya kadar ayrışmaları beklenir. Doğal hava hareketinden yararlanmak için küçük yığınlar halinde tasarlanırlar. Aktif kompost yığınının içeriden ısınırken, sıcak hava yükselerek yığından ayrılır, sıcak hava yığını terkederken yanlardan ve tabandan temiz, soğuk havayı yığının içine çeker[7].

Yığınının boşluk yapısına bağlı olarak, rüzgarda yığının içine girebilir. Genelde, büyük yığınların verimli bir şekilde havalanması daha zordur, çünkü yığın daha yoğun ve sıkışmıştır. Fakat uygun hammadde ve nem koşullarında bu yığınlar yüksek sıcaklıklara çıkarak iyi kompostlaştırma sağlayabilirler. Özellikle ısınma potansiyeli yüksek olan at dışkısı gibi maddelerin kompostlaştırılması sırasında, yeterli hava değişimini ve ısı

salınımı sağlamak için yığın yüksekliğinin 1-1,2 metreden fazla olmaması gerekir. Yığınları küçük tutmak, bilhassa yüksek sıcaklıklara ulaşan kütlenin soğutulmasına yardım eder[7].

Pasif kompostlaştırma, genellikle hayvan ölülerini kompostlaştırmak için yaygın olarak kullanılır. Pasif kompostlaştırmanın önemli bir mahzuru, yığının kontrol edilemediği durumlarda (çok fazla ıslanır ve sıkışırsa) anaerobik koşulların başlaması ve koku oluşumuna neden olmasıdır[7].



Şekil 3.8 Pasif Yığında Kompostlaştırma Sistemleri

2.7.2 Aktarmalı Yığın Kompostlaştırma

Aktarmalı yığın kompostlaştırma en eski ve en basit kompostlaştırma sistemi olmakla beraber en çok alana ihtiyaç duyulan teknolojidir. Windrow olarak adlandırılan ve uzatılmış yığınlar halinde açık araziye serilen kompost özel ekipmanlarla havalandırma maksadıyla belirli sıklıkta döndürülmesi gerekir. Aktarmalı yığın kompostlaştırma sisteminde koku problemi yoğun olarak yaşanmaktadır. Kompost yığınları ısı döngüsü ve difüzyonun etkisiyle doğal olarak havalıdır[22]. Aktarmalı yığın kompostlaştırma sistemi ve karıştırıcı resmi Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9 Aktarmalı yığın kompostlaştırma

Kompost yığını üzerinde hareket eden aktarma makinesi poroziteyi artırıp kompostun içindeki büyük parçaları parçalarken, diğer taraftan da kompostun homojenizasyonunu sağlar. Böylece yığın içindeki sıcaklık ve nemin eşitlenmesini sağlar. Aktarma makinesi yığındaki kompostu kaldırır, döndürür ve düzelterek yerleştirir. Aktarma makinesinin döndürme sıklığı, yüksek oranda bozuşmanın gerçekleştiği ilk haftalardan nihai ürünün elde edilmesine yakın olan son haftalara doğru azalma gösterir. Hatta bazen son dönemde yığının çevrilmesi ihmal bile edilebilir. Genel bilgi olarak vermek gerekirse, ilk parçalanma ve bozuşmanın yoğun olduğu dönem boyunca, haftada üç defa aktarma yapılır. Aktarma ekipman ve havalandırma tipleri, kompost yığınının boyut ve şekillerine (üçgen yada trapezoidal) bakılarak belirlenir[22].

Aktarmalı yığın kompostlaştırma sistemleri, genelde 3,5-5,0 m eninde, 2,0 metre yüksekliğinde, uzun bir sıra halinde dizilmiş kompostlaştırılacak madde yığınlarından oluşur. Yığının boyutları, aktarmada kullanılacak ekipmanlara göre belirlenir. Yığınlar, düzenli olarak alt üst edilerek gerekli karıştırma ve havalandırma sağlanır. Atmosferden sürekli pasif bir havalandırma olmasına rağmen asıl havalandırmayı yığının aktarılması sağlar. Yığın boyutları, üretilen ısının korunmasını ve yığının alt kısımlarına havanın girmesini sağlayacak şekilde olmalıdır[6].

Aktarmalı yığında kompostlaştırma kişi başına alan ihtiyacı yaklaşık 0,03 m²/kişi'dir. Aktarmalı yığında kompostlaştırma kullanılacak hammaddeler gıda atıkları içermez. Aksi takdirde gıda atıklarının bozunması sırasında oluşan istenmeyen kokular yakın

çevredeki yerleşim alanlarını rahatsız edebilir. Ayrıca yığınlarda gıda atıklarının bulunması kuşların yığınlara musallat olmasına ve proseste sorun teşkil etmelerine neden olabilir. Kompostlaştırma sürecinde gerçekleşen ekzotermik reaksiyon, organik maddenin molü başına yaklaşık 616 kcal ısı açığa çıkmasına sebep olur. Aktarmalı yığında kompostlaştırma uygulamalarında, oksijen sistemde biyolojik olarak parçalanmada her zaman için mevcut değildir. Örneğin yığının merkezinde biyolojik parçalanma için gereken oksijen yığının porozitesine ve aktarma sıklığına bağlıdır. Aktarmalı yığında kompostlaştırma sistemlerinin avantaj ve dezavantajlarına bakıldığında;

- Yatırım ve işletme maliyeti düşüktür,
- Arazi ihtiyacı yüksektir,
- Yağışlı havalara ve soğuğa karşı duyarlı olduğu için kapalı alanlarda veya yağışlı olmayan bölgelerde kullanılması gerekir,
- Üstü kapatılmadığı durumda koku ve sinek problemi görülebilir,
- Karıştırmadan kaynaklanan fazla hava etkisi nedeniyle parçalanma için gerekli sıcaklık sağlanamayabilir.

Çizelge 2.10'da aktarmalı yığında kompostlaştırma prosesi için tasarım parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.10 Aerobik kompostlaştırma prosesi için tasarım parametreleri

PARAMETRE	DEĞER
GENİŞLİK	3-5M
YÜKSEKLİK	2-3M
UZUNLUK	100M
OPTİMUM DANE BOYUTU	2.5-7.5 CM
TAM KOMPOSTLAŞTIRMA SÜRESİ	8-12 HAFTA
YIĞINLAR ARASI MESAFE	1.5 – 3.0 M
YIĞIN KARIŞTIRMA SIKLIĞI	2 DEFA /HAFTA

Çizelge 2.10 Aerobik kompostlaştırma prosesi için tasarım parametreleri(devam)

PARAMETRE	DEĞER
OPTİMUM SU İÇERİĞİ	% 50-60
ZEMİN EĞİMİ	% 1
C/N ORANI (6 HAFTA SONRA)	15

2.7.3 Statik Yığın Kompostlaştırma

Aktarmalı yığın ile statik yığın kompostlaştırma arasındaki temel fark, statik yığın kompostlaştırmada çevirme ve karıştırma olmamasıdır. Statik yığın karıştırmanın olmaması, kompost içindeki yeterli porozitenin sağlanması yönünden uzun vadede aktarmalı yığın kompostlaştırmadan daha kritik bir hal alır[22].

Havalandırmalı statik yığınlar dışarıda açıkta yapılan ya da bir yapıyla kapatılan kontrollü yığınlardır. Pasif havalandırmalı ve basınçlı havalandırma olmak üzere iki türlü statik yığın oluşturulabilir. Pasif havalandırmalı statik yığınlar, yığının içine gömülü bir ucu açık delikli borular vardır. Yığındaki sıcak gazlar yükselirken, tabandaki borulardan yığın içerisine taze hava girişi olur ve yığından yukarı doğru salınır. Basınçlı havalandırmada ise hava üfleyici (blower) ile hava yığının tabanından verilir. Alternatif olarak negatif basınç (emme) ile havanın yığından geçmesi de sağlanabilir. Negatif basınçlı sistemler, genelde koku problemini önlemek için kullanılırlar. Koku kontrolü, çıkan havanın biyofiltreye yönlendirilmesi ile sağlanır[7]. Son dönemlerde yapılan uygulamalarda, koku emisyonunu azaltmak amacıyla yığınların üzeri bir çatıyla kapatılmaktadır[22].

Yığınla kompostlaştırmada genel olarak yarım piramit şekli kullanılmaktadır. Yığının tipik boyutları uzunluğu 12-15 m ve yükseklikte 3 m civarındadır. Bu yükseklik olgun kompost kaplama tabakasını ve ilave metaryelleri de içerir. Statik yığın kompostlaştırmada tipik yığın yüksekliği 2 ile 2,5 m arasında değişmektedir[22].

Açık yığın kompostlaştırmada genellikle, odun parçacıkları ve kaplama kompostu kullanılarak yapılır. Kaplama kompost olarak bahsedilen olgunlaşmış olan nihai komposttur. Arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında yığın üzerine tabaka halinde

nihai ürün olan kompost serilir. Bu sayede arıtma çamurunun üst seviyesinde sıcaklık kaybı önlenmiş olur. Aynı zamanda üstte serilen kompost bir nevi biyofiltre gibi davranarak koku yönetimine yardımcı olur. Bu teknoloji 1970'lerde Beltsville'de geliştirilmiştir[22].

Zaman kontrollü blowerlar oksijen seviyesinin %5-15 seviyelerinde kalmasını sağlar. Yiğın içerisinde istenmeyen sıcaklıkların oluşmaması için Rutgers prosesi geliştirilmiştir ki buda sıcaklık kontrollü blowerlarla sistem kontrol altındadır. İlk ve nihai kompostlaştırma safhalarında, şayet yiğın içerisindeki sıcaklıklar ayar noktasının aşağısında ise, sıcaklık geri beslemesi minimum havalandırmayı sağlamak ihmal edilebilir. Havalandırmalı statik yiğınlarda tipik alıkonma süresi 14-28 günü takip eden en az 30 günlük iyileşme süresidir[22]. Havalandırmalı statik yiğın kompostlaştırma şematik görünümü Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 Havalandırmalı statik yiğın kompostlaştırma prosesi uygulama örneği

2.7.4 Kapalı Reaktör Tip Kompostlaştırma

Kapalı reaktör sistemi ile reaktör olmayan sistemler (yiğın metodu vb.) arasındaki ana fark, kompostlaştırmanın bir yapı içerisinde yer almasıdır. Bunun sağlayacağı en büyük avantaj ise kompostlaştırma prosesince açığa çıkan gazların toplanıp işlenebilir olmasıdır. Bununla birlikte, kompostlaştırma prosesinde açığa çıkan nemli ve sıcak gaz bu procese kullanılan yapının çatı, duvar ve borularında yoğunlaşarak korozyona uğramasına neden olurlar. Açığa çıkan gazın hacmini azaltmak için bazı uygulamalarda kompostlaştırma alanı diğer alanlardan ayrı tutulur[22].

Reaktör sistemlerde hava, cebri olarak ya da vakumlama yoluyla verilir. Havalandırma ve aktarmanın temel amacı kompostlaştırma sürecini kontrol etmektir. Hava her bir kanalda altta yer alan manifoldlardan temin edilir ve su ilavesiyle birlikte gerçekleşen havalandırma, her bir tünelde ayrı ayrı kontrol edilir. Bu sistemlerde genelde her bir tünel kendi kontrol fanlarıyla birkaç havalandırma alanına bölünerek, havalandırmanın iyice yapılması sağlanır[22].

Son yıllarda, proses ve koku kontrolü, düşük işçilik masrafı, daha az arazi ihtiyacı nedeniyle kapalı reaktör kompostlaştırma sistemlerinin kullanımı artmıştır[7].

Kompostun aktarılmasında, kompost tünelin başından sonuna doğru hareket eder. Bu sistemle çamurun tipik olarak alıkonma süresi kanallarda 21 gündür. Bunu takiben havalandırmalı yada havalandırmaz yığınlarda 30 günlük olgunlaşma süresi geçirir. Biyogenik atıklar için tünellerde gerçekleşen tüm kompostlaşma süresi 6-8 haftadır[22].

2.7.5 In-Vessel Metodu Kompostlaştırma

In-vessel reaktör sistemleri diğer kapalı tip kompost reaktörlerine göre serili kompost üzerinde daha az hava boşluğuna sahiptir ve bu da işletilmesi gereken çıkış gazının hacmini azaltır. Bu sistemlerde genelde çıkış gazı biyofiltrelerden geçirilir. Buna ilaveten, havalandırma sistemi belirli uygulamalara göre daha iyi kontrol edilebilir. Ancak son 10 yıl süresince, Avrupa'da organik atıkların kaynağında ayrı toplanması yönünde getirilen direktifler doğrultusunda organik atıkların bu sistemlerle kompostlaştırılması giderek yaygınlaşmıştır[22].

2.7.5.1 Tünel Kompostlaştırma

Tünel kompost sistemi uzun yıllardır katı atıkların ve arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında kullanılan bir sistemdir. Bu sistemler proses kontrolünün farklı seviyelerinde karıştırma ve yığılaştırarak kompostlaştırma sistemlerini içerir. Amerika'da özellikle arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında yatay akışlı reaktör sistemleri kullanılmaktadır.

Önceleri mantar endüstrisinde kullanılan bu kompostlaştırma reaktörleri kontrolleri daha iyi olduğundan ve dizayn ve işletmeleri hakkında uzun yılların verdiği tecrübenin ötürü son zamanlarda yoğun bir ilgi görmektedir. Avrupa'daki bazı üreticiler bu

sistemi biyogenik atıklar üzerine adapte etmeye çalışmışlardır. Bu sistemin bir karakteristik özelliği kompost yığının profiline bakıldığında homojen bir sıcaklık nem ilişkisinin olduğu görülmektedir. Buda kompostlaştırmada çıkan gazın resürkülasyonundan kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak bu sistemde homojen bir kompost için minimum bir aktarma ihtiyacı vardır[22].

Tünel kompostlaştırmada tünel sayıları uygulamanın kapasitesine göre değişir. Tipik bir tünel kompostlaştırma sisteminin boyutları ortalama olarak 30-50m uzunlukta, 4-6m genişlikte ve 2,5-4m yüksekliktedir. Her bir tünel ayrı ayrı kontrol edilir. Prosesin kontrolü taze hava, çıkan gazın geri sirkülasyonu ya da ikisinin karışımının alt yataktan temin edilmesidir. Bu sistemler genellikle bant konveyör sistemleriyle otomatik olarak beslenir.

Tünel sistemlerinde kompostlaştırma süresi bir hafta gibi kısa bir süre ise karıştırma uygulanmayabilir. Tünel sistemlerinde karıştırma yapmanın bir yolu da bir tünelin boşaltılarak diğerine doldurulmasıyla yapılır ki hacim ve kütle kaybı telafi edilir. Bu sistemlerde karıştırma, her bir tünelin üzerine konulan bir düzenele de sağlanabilir[22].

2.7.5.2 Kutu ve Konteyner Tipte Kompostlaştırma

Bu tür kompostlaştırma sistemlerinin reaktör üniteleri tünel reaktörlere çok benzer olmakla beraber biraz daha kısırdırlar. Kompostlaştırma haznelerinin hacimleri, 50-60 m³ ten 250m³ kadar çıkmaktadır. Kompostlaştırma kutularına karşın, daha küçük olan kompostlaştırma reaktörleri hacmi 20-25 m³ arasındadır ve bu sistemler taşınabilir ve üstten yüklenebilir. Bir araçla bu konteynırlar proses süresince taşınabilir. Her bir konteynır havalandırmaya ve sızıntı suyu toplama sistemine bağlantılarla ilişkilidir. Proses kontrolü tünel sistemine benzer. Kutu ve konteyner sistemlerinde alıkonma süresi 7-14 gündür ve daha sonra sistem kompostun olgunlaşması ile devam eder.

2.7.5.3 Dikey Akışlı Kompostlaştırma

Dikey akışlı reaktörler genel olarak silindirik kuleler ve dikdörtgen reaktörlerden oluşur. Bu sistemler katı atıklardan ziyade daha sık arıtma çamurları için kullanılmaktadır. Bazı kuleler iç katlarda dikey bölmelerle ayrılırlar. Kulelerin hacim aralığı 400 – 1800 m³ ve derinliği ise 6- 9 m arasındadır.

Dikey reaktörler genellikle üstten sürekli yada kesikli olarak beslenir. Kulede kompostlaştırma hareketi yavaş bir şekilde üstten aşağı doğrudur. İç katların ayrılması durumunda, kule içindeki malzeme hareketli ızgara yada flanşlarla dikey olarak hareket ettirilir. Reaktörde aşağı doğru hareket boyunca ara katlar karıştırmayı artırır.

Kompostlatırmanın verimli olabilmesi için havalandırmanın yeterli olması şarttır. Ancak bazı hallerde yüksek derinlik ve yığının etkili karıştırılamaması kompostun sıkışmasına neden olur. Bu da, kompost içinde anaerobik bölgelerin oluşarak koku sorununun yaşanmasına neden olur [22].

Dikey kompostlaştırma reaktöründen sonra, reaktör içindeki materyal ya açık kompostlandırmada iyileştirilir yada ikinci bir kompostlaştırma kulesine doldurularak olgunlaşması sağlanır. Tipik olarak dikey akışlı sistemlerde alıkonma süresi 14- 20 gün arasındadır. Çıkan materyalin iyileştirilmesi için başka bir reaktöre konması halinde 2-3 hafta, açık kompostlaştırma yapılması halinde ise 3 ay kadar bir süre gereklidir[22].

2.7.6 Kompostlaştırma Proseslerinin Karşılaştırılması

İyi çalışan aktarmalı yığın, havalandırmalı statik yığın ve kapalı reaktör kompostlaştırma proseslerinin performansları aynı olduğundan alternatif prosesler arasında seçim, yatırım ve işletme masraflarına, arazi ihtiyacına, işletme kolaylığına ve problem potansiyeline bağlı olarak yapılır.

Hollanda şartlarında 25,000 - 100,000 t/yıl ayrı toplanmış mutfak, park ve bahçe atıklarının tünel kompost reaktörlerinde arıtımı için ortalama kompostlaştırma süresi ~ 42 gün, kompost üretimi 0.44 kg kompost/kg beslenen atık olup maliyet de 30-100 \$/t-atık aralığında değişmektedir. Havalandırmalı statik yığın metodu için ise ortalama kompostlaştırma süresi 58 gün, kompost üretimi 0,38 kg kompost/kg atık ve maliyet de 35-85 \$/t-atık aralığında değişmektedir[6].

Çizelge 3.11 Kompostlaştırma Süreçlerinin Karşılaştırılması

SİSTEM	ÖZELLİKLER		HAMMADDE KAR.		SÜREÇ PARAMETRELERİ		
	HAVALANDIRMA	KARIŞTIRMA	NEM	POROZİTE	PATOJEN	NEM	ISI KONT. ROLÜ
PASİF YIĞIN	HAYIR	HAYIR	45 İLA 60	35 İLA 50	ZAYIF	ORTA	ZAYIF
AKTİF YIĞIN	HAYIR	EVET	45 İLA 60	35 İLA 50	MÜKEMMEL	İYİ	ORTA
STATİK YIĞIN	EVET	EVET	45 İLA 60	35 İLA 50	ZAYIF/ORTA	ZAYIF	İYİ
KAPALI SİSTEMLER	EVET	EVET	45 İLA 65	30 İLA 50	MÜKEMMEL	MÜKEMMEL	MÜKEMMEL

2.8 Kompost Prosesinin Mikrobiyolojisi

Kompostlaştırma işlemi, nemli ortamlarda ve organik atıkları havalandırmak suretiyle kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar vasıtasıyla gerçekleştirilir. Başlangıçta çoğunlukla bakteri olan bu organizmaların çoğalması sırasında, ısı, CO₂ ve H₂O açığa çıkar. Kompost prosesinde tüm kademeler farklı mikrobiyal türler tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu bakımdan kompostlaştırma prosesinin performansı ve gelişimi mikrobiyal türlerle yakından ilişkilidir. Kompostlaştırma esnasında organik maddeyi substrat olarak kullanan mikroorganizmalar kompostlaştırma prosesinin performansını ve gelişimini yansıtmaktadırlar. Organizmaların kompostlaştırma esnasında substratı metabolik yollarla nihai ürünlere dönüştürmesi ile fiziksel ve kimyasal parametrelerde önemli değişiklikler meydana gelmekte ve buna bağlı olarak kompostlaştırma prosesinde rol alan mikrobiyal türlerde değişim meydana gelmektedir. Ayrıca, kompostlaştırma prosesi uygun yönetilmediği takdirde nihai üründe (kompost) patojen oluşumu gerçekleşebilir. Bu yüzden organik atıkların farklı mikrobiyal gruplarla nihai ürünlere dönüştürülmesi özel öneme sahiptir. Ancak, ham maddenin farklı olması ve kompostlaştırma için gerekli şartların fazlalığı sebebiyle (atık türü, tesis dizaynı, havalandırma oranı, pH, C/N oranı, sıcaklık ve su muhtevası) birçok

çalışmanın sonuçları birbirleri ile genelde tam olarak uyumlu olmamaktadır. Kompostlaştırma kendi karakteristik termal profili tarafından belirlenen dört aşamalı bir proses olarak düşünülebilir. Kompostlaştırma esnasında farklı mikrobiyal türler hızlı ve sırası ile gerçekleşen fiziko-kimyasal değişimlerin meydana geldiği bir ortam oluşturmaktadır.

Mikroorganizmalar çoğunlukla hücre yapısı ve fonksiyonlarına göre sınıflandırılmaktadır. Prokaryotik grup veya bakteriler katı atıkların organik kısmının biyolojik olarak ayrışmasında önemlidir. Organik atıkların biyolojik olarak ayrışmasında görev yapan ökaryot organizmalar mantarlar ve aktinomisetlerdir

Kompostlama sürecindeki en önemli organizmalar bakteri, mantar ve aktinomisetlerdir. Nematod, solucan, böcek ve haşarat gibi diğer daha makroskopik organizmalar da, özellikle daha doğal bağlantılardaki çözünmelerde, birçok organik yapı ve bileşimlerin fiziksel ve kimyasal çözünümünde önemli bir rol oynar[28].

Bakteriler; kolay çözünen organik maddenin tüketimi ile ilişkilendirilir. Kompostlama sürecinin genelinde ilk aşamasında baskındırlar, bunun yanında aktinomiset ve mantarlar tipik olarak daha sonraki aşamalarda etkindirler. Bakteriler, baskın organizmaları sayısal açıdan temsil eder (kompostlama malzemesinin gramı başına 1 milyar mikroorganizmayı aşabilirler). Nispeten küçük boyutları ile toplam mikrobiyolojik kütlede mantarlar kadar katkı yapmazlar. Bakteriler filaman oluşturmada da organik madde ve toprak partiküllerini birbirine bağlayan organik maddeler salgılayarak kütlelerin stabilizasyonuna katkıda bulunurlar. Genel olarak kompostlama bakterileri düşük nem ve pH ortamlarına uyum sağlamada zorlanırlar ancak 75 °C'ye kadar sıcaklıklarda bulunabilirler. *Basilus sp* gibi birkaç tür 95 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda yaşayabilir[28].

Mantarlar, kimi zaman çıplak gözle görülebilen iplikçik adı verilen uzun filamantler oluşturabilir. Kompostlama malzemesine nüfuz ederek lignin gibi daha inatçı organik madde fraksiyonunu çözerler. Mantar iplikçiği kompostu küçük parçalara fiziksel olarak dengeleyerek kompostta iyileştirilmiş havalandırma ve drenaj sunar. Mantar düşük pH ve kuru ortamlarda yaşar ancak sadece 60 °C'ye kadar olan ısılarda büyür. Mantar sayıları toprağın gramı başına 0.01 ve 1 milyon propagül arasında değişir. Dünya

çapında 70.000 civarında mantar türü bulunmaktadır ancak 1 milyon civarında türün keşfedilmediği tahmin edilmektedir[28].

Aktinomisetler; bugün aktinobakteri olarak sınıflandırılan toprak yaygın olarak bulunan bir bakteri grubuna verilen eski bir isimdir. Eski isim aktinobakterilerin kimi zaman mantar miselyası gösterebilen dallı filaman oluşturabildiği gözlemine dayanmaktadır. Çoğu üyeler aerobiktir ancak *Actinomyces israelii* gibi bazıları anaerobic koşullarda yaşayabilir. Aktinomisetler ölü veya çürüyen malzemeleri çözümlenerek yaşayan organizmalardır ve sadece bir kaç insan, hayvanlar ve bitkiler için patojeniktir. Mantarla aynı şekilde, daha inatçı bileşimlerin çözülmesi ile ilişkilendirilirler ancak nötr ortamları temel koşullara tercih ederler. Aktinomisetler toprağın gramı başına 0,1 ve 10 milyon propagül arasındadır. Aktinomisetler düşük nem koşullarına alışık ve kompostun topraksı kokusu ile ilişkilendirilen bir kimyasal olan geosmin salgırlar[28].

Kompostlaştırma prosesinde ilk aşamada mezofilik bakterilerle birlikte aktinomisetler, mantarlar, mayalar, yağları, proteinleri ve karbonhidratları ayrıştırırlar. Sıcaklık 30°C erişinceye kadar küf mantarları, bakteriler, protozoalar ve nematodlar kompostlaştırma işleminde etkin rol oynarlar. Sıcaklık 30-40 °C çıktığında aktinomisetler baskın hale çıkmaya başlar ve topraksı bir koku oluştururlar. Aktinomisetler humuslaştırıcı organizmalar olarak da bilinirler. Bunun yanında, bu türler antibiyotik etki üretmek patojenlerin ölmesini de sağlamaktadır. Sıcaklık 40-50 °C çıktığında başlangıçtaki türler ölür ve 70 °C ye kadar faaliyet gösterebilen termofilik bakteriler gelişmeye başlar. Bu aşamada gelişen bakteri ve aktinomisetler zor ayrışabilen organiklerin ayrışmasında görev yapmaktadırlar. Sıcaklık artışıyla birlikte patojen mikroorganizmalarda ölür. Ortamdaki besin maddesi tükendiğinde ısı düşmeye başlar ve kompostun soğuması gerçekleşir. Soğuyan kompostta son özelliğini veren genellikle mantar ve aktinomisetlerden oluşan türlerdir. Görüldüğü gibi sırasıyla gerçekleşen kompost prosesinde tüm kademeler farklı mikrobiyal türler tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu bakımdan kompostlaştırma prosesinin performansı be gelişimi mikrobiyal türlerle yakından ilişkilidir.

2.9 Moleküler Tekniklerle Tür Tayini

Kompostlaştırma esnasında, organik maddeyi substrat olarak kullanan mikroorganizmalar kompostlaştırma prosesinin performansını ve gelişimini yansıtmaktadırlar. Organizmaların kompostlaştırma esnasında substratı metabolik yollarla nihai ürünlere dönüştürmesi ile fiziksel ve kimyasal parametrelerde önemli değişiklikler olmakta, buna bağlı olarak kompostlaştırma prosesinde rol alan mikrobiyal türlerde de değişimler meydana gelmektedir.

Kompostlaştırma prosesinde mikrobiyal türlerin belirlenmesi, geçmiş yıllarda bakteri ve mantarların izolasyonu, tanımlanması veya sayım işlemleri ile gerçekleştirilmekteydi. Son yıllarda, polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ve 16S rDNA temelli moleküler tekniklerle kompostlaştırma prosesinde mikrobiyal türlerin tayini ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmektedir[3].

16S rDNA ve PCR temelli teknikler kompostlaştırma prosesinde klasik tekniklerle tespit edilemeyen türlerin çeşitliliğini belirlemede ön plana çıkmaktadır.

Son yıllarda, profillemeye teknikleri ile kombine edilen 16S rDNA temelli yaklaşımlara olan ilgi giderek artmaktadır. Özellikle kompostlaştırma prosesinde klasik tekniklerle tespit edilemeyen türlerin çeşitliliğini belirlemede ön plana çıkmaktadır. Kompostlaştırma prosesindeki tür tayininde, Denature Gradyan Jel Elektroferez tekniği (DGGE) profillemeye tekniği olarak yaygın şekilde kullanılan metotlardandır[3].

2.10 Kompostlaştırma Prosesindeki Mikrobiyal Tür Tayini İle İlgili Literatür Çalışmaları

Kompostlaştırma prosesi boyunca mikrobiyal popülasyon ve tür tayini ile ilgili yapılan bazı anahtar çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Abid vd.,(2007): Abid vd.(2007), yüksek organik yük ve fototoksiditeye sahip zeytin üretim tesisi atıksu çamurlarının kompostlaştırılması süresince mikrobiyal popülasyon ve baskın tür analizlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada mikrobiyal türler respirometrik testler ve PCR- SSCP metodu kullanılarak belirlenmiş olup, bakteri, eumycete ve aktinomistler popülasyon olarak değerlendirilirken, arkea, bakteri ve ökaryodik organizmaların çeşitliliği incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada, kompostlaştırma

prosesinin başlangıcında mezofilik bakterilerin baskın olduğu, ancak sıcaklık artışıyla mikrobiyal aktivitenin maksimum seviyeye çıktığı 7-24 gün arasında termofilik bakteri ve aktinomisetlerin konumu devraltığı tespit edilmiştir. Bu evrede termofilik eumycetelerinde görüldüğü ancak sayı bakımından bakteri ve aktinomisetlerden çok düşük seviyede kaldığı tespit edilmiştir. Soğuma fazında mezofilik bakteri, aktinomiste ve eumycete popülasyonlarının tekrar kolonize oldukları gözlenmiştir. Mikrobiyal aktivitenin yüksek olduğu termofilik fazda fitotoksiditenin varlığının %50 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bu süreçte fenolik bileşiklerin biyolojik parçalanmasında termofilik aktinomisetlerin anahtar rol oynadığı tespit edilmiştir. Kompostta ayrılan bu termofilik aktinomiset türleri *Nocardia*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces* and *Micronospora* olarak tespit edilmiştir. SSCPanalizleri sonucunda sayısal anlamda 16S ve 18SrDNA dizili mikroorganizmaların baskın olduğu görülmüştür ki bu domainler arkea, bakteri ve ökaryolara aittir[4].

J.D.W. Adams vd.,(2008): Adams vd.(2008), biri yeşil atıkların işlendiği diğeri ise tarımsal meyve sebze atıklarının işlendiği 2 açık ticari kompost tesisini 106 gün süresince fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişimlerini inceleyerek rapor etmiştir. Bu çalışmada her iki kompost yığınının 1,15,50 ve 106. günlerinde alınan numuneler üzerinde sıcaklık, nem, uçucu katı madde miktarı, oksijen tüketimi ve direkt bakteri sayımı fiziko kimyasal analizlerle birlikte DGGE ve 16S rDNA tekniği kullanarak moleküler analizler yapılmıştır. Her iki proseste de 22 güne kadar (49 °C) düzenli bir sıcaklık artışının olduğu ancak bu günden sonra tarımsal sebze atıklarının işlendiği yığında sıcaklıkların giderek artmasına karşın yeşil atıkların işlendiği yığında sıcaklığın düştüğü gözlenmiştir. Su muhtevası proses başlangıcında tarım atıkları yığınının %70 'in üzerindeyken, yeşil atık yığınının %60'ın altında kalmıştır. Süreç sonunda ise her iki yığının nem oranı %57 mertebelerinde birleşmiştir. Yapılan sekans analizleri sonucunda tarım atıklarının işlendiği yığının ilk safhalarında *Lactobacillus* türünün baskın şekilde bulunduğunu raporlamışlardır. Yeşil atıkların işlendiği yığınlarda *Geobacillus caldxylosilyticus*, *Thernoaktinomyces*, *Termobispora* %99 ve üzeri benzerlikte colonilere rastlanmıştır[13].

K. Ishii, vd., (2000): K. Ishii ve arkadaşları(2000), evsel atığın kompostlaştırılacağı laboratuvar ölçekli bir çalışmada, fiziko-kimyasal analizlerin yanısıra DGGE metoduyla

mikrobiyal türlerin tayini çalışması yapmışlardır. Kompost metaryalinin plot tesise konup karıştırılmasının akabinde sıcaklık hızla yükselmiş ve 9. günde maksimum 58°C ulaşmıştır. Akabinde sıcaklık tedrici şekilde azaldığı raporlanmıştır. Kompostlaştırmanın ilk evrelerinde pH 5.3'den 8.3'e yükselmiş ve 20. günden sonra stabil hale gelmiştir. DGGE yöntemi kullanarak yapılan tür tayinleri neticesinde mezofilik safhada, *Lactobacillus* türündeki *Leuconostoc paramesenteroides*, *Pediococcus acidilactici* and *Staphylococcus piscifermentans* fermantasyon bakterilerine rastlanmıştır. Termofilik safhada *Bacillus* türünde olan *Virdibacillus proomii* and *Gracilibacillus halotolerans* lara rastlanmıştır. Soğuma safhasındaki bakteri popülasyonu önceki evrelerden daha kompleks yapıda olup, bu popülasyonların filogenik pozisyonu DNA veri tabanından oldukça uzak olduğunu raporlamışlardır[3].

Pedro M., vd.,(2000): Pedro ve arkadaşları arazi ölçekli ve 30 gün kompostlaştırma süresine sahip bir kompost tesisinde DGGE metodunu kullanarak mikrobiyal çeşitliliği araştırmışlardır. Yapılan çalışmada aynı zamanda sistemin fiziksel ve kimyasal değişimleride analiz edilerek raporlanmıştır. Sistemin pH'ı 7,75 -8,10 mertebelerinde seyredip ciddi bir değişiklik kaydedilmemiştir. Sıcaklık kompost metaryalinin karıştırılmasının hemen akabinde artmaya başlamış ve 6. günde maksimum 76 °C ye ulaşmıştır. Akabinde 20. güne kadar tedrici bir azalma olup, 21. Günde sıcaklık aniden 67 °C'den 27 °C'ye düşmüştür. 30 günlük kompostlaştırma sürecinde ortalama gün aşırı alınan numunelere yapılan PCR-DGGE işlemi sonucunda farklı 8 mikrobiyal türlere rastlanmıştır. Prosesin ilk başında sadece *Clostridium* türü mevcut iken, termofilik ve mezofilik faz süresince *Propionibacterium sp.*, *Methylobacterium sp.*, *Pseudomonas sp.*, and *Bradyrhizobium* ve farklı *Bacillus* türlerine rastlanmıştır. Kompostlaştırma sürecinin son fazında ise *Aphylococcus sp.* and *Caulobacter sp.* or *Brevundimonas* türlerine rastlanmıştır[18].

MATERYAL METOD

3.1 Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisi

Bu çalışma İstanbul Büyükşehir Belediyesinin Kemerburgaz'da faaliyet gösteren Kısırmandra Geri Kazanım ve Kompost Tesisi'nde kentsel karışık atıklardan üretilen kompostun 8 haftalık süreç boyunca bakteri türlerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

İBB Geri Kazanım ve Kompost Tesisi 2001 yılında kurulmuş olup bu zamana kadar aralıksız işletilmiştir. Tesis, ilk etapta 2 vardiyada 1000 ton/gün karışık evsel katı atık işleme kapasitesinde kurulmuştur. Tesiste uygulanan aerobik kompostlaştırma prosesi "Tünel Kompostlaştırma" olarak bilinen bir hızlı kompostlaştırma tekniğidir. Atık kabul alanına gelen evsel katı atıklar prosese girmeden önce içerisindeki hacimli kaba atıklar ayırmak için bir ön ayırma işlemi yapılır. Akabinde tesiste işlenecek atıklar, besleme bantlarıyla Ø80 mm'e gönderilirler. Atıklar eleklerin içerisinde ilerlerken poşet açıcı bıçaklar vasıtasıyla kapalı poşetler parçalanmakta olup, organik atıklar yoğun olmak üzere Ø80 mm elek altı atıklar manyetik ayırıcıda demir parçaları ayrıldıktan sonra kompostlaştırma bölümüne (fermantasyon alanına) gönderilmektedir. Elek üstü malzeme ise elle ayırma bandına sevk edilip, geri dönüşebilir ürünler PP,PE,PET geri kazanım tesisine, geri dönüşümü mümkün olmayan malzemeler ise çimento sektörünün hizmetine sulmak üzere ATY(Atıktan Üretilmiş Takıt) Tesisine gönderilmektedir.



Şekil 3.1 Kemerburgaz kompost tesisi resimleri

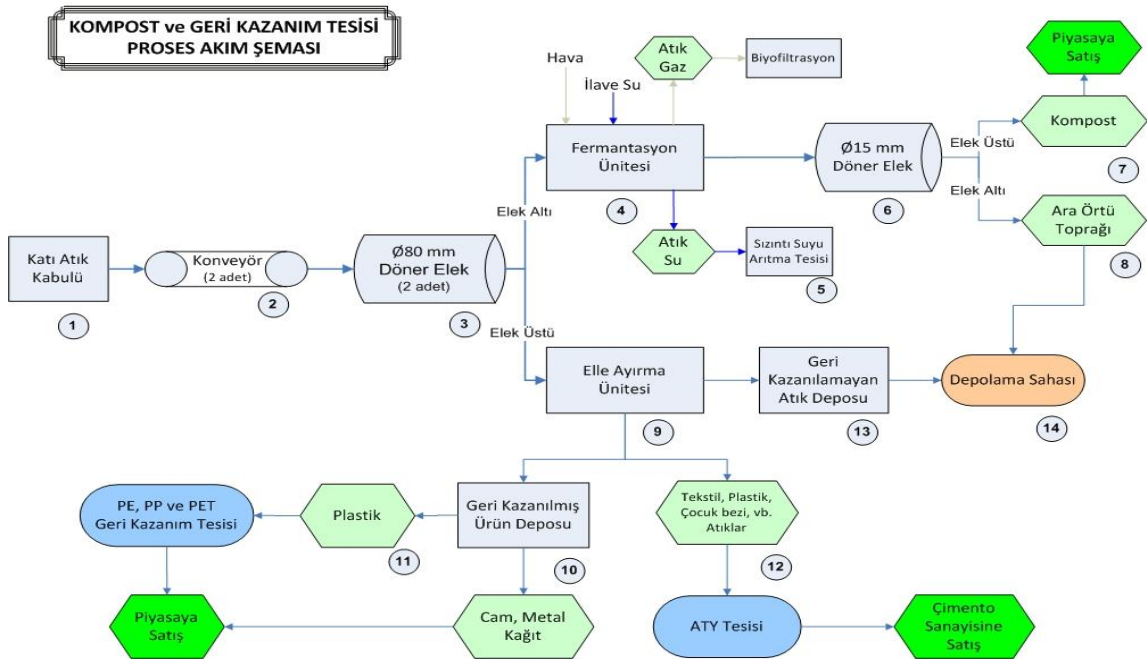
Kompostlaştırma ünitesi 3'ü kapalı ve 5'i açık olmak üzere toplam 8 alan ve 2 paralel hattan oluşmaktadır. Her bir bölümde birer adet serme makinesi ve kompost aktarma makinesi bulunmaktadır. Serme makinesi fermantasyon ünitesinde boyuna hareket ederken, hareketli bant enine hareket ederek tüm atıklar alana düzgün bir şekilde serilir. Bu şekilde oluşturulan yığın yüksekliği otomatik olarak kontrol edilir. Kompost Aktarma Makinesi (KAM)'de benzer şekilde fermantasyon alanı boyunca enine ve boyunca hareket ederek fermantasyon ünitesindeki atığı 1 hafta içerisinde aktarmaktadır.

Kompost reaktöründe, ilk 3 haftada hızlı fermentasyon gerçekleştirilir. Bu dönemde tabandan yukarı doğru pozitif havalandırma uygulanır. İkinci haftadan itibaren, aktarma esnasında nemlendirme de yapılır. Daha sonraki fermentasyon işlemi ise 5 hafta boyunca negatif havalandırma (hava yığın içinden ve tabandan emilerek) ile gerçekleştirilir. Katı atıklar bu bölümlerin herbirinde, özel nem ve ısı ortamında birer hafta bekletilerek bir üst alana aktarılmakta ve 8 hafta sonunda kompostlaştırma süreci tamamlanmaktadır. Bunun akabinde kompostlaştırılan atıklar $\varnothing 15$ mm'lik elekten elenerek, elek üstü ve elek altı malzeme olarak depolanmaktadır.

Kompostlaştırma esnasında açığa çıkan kirli hava biyofiltrede geçirilerek arıtmakta, oluşan sızıntı suları da bir tankta biriktirilerek daha sonra tankerlerle taşınmak suretiyle Odayeri Düzenli Depolama Alanında kurulu Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi gönderilmektedir.

Tünel Kompost Reaktörü, her birinde 8 ardışık bölme bulunan 2 paralel birimden oluşmaktadır. Bu birimlerin 1. gözleri 3 gün içinde ortalama 700 ton atıkla doldurularak

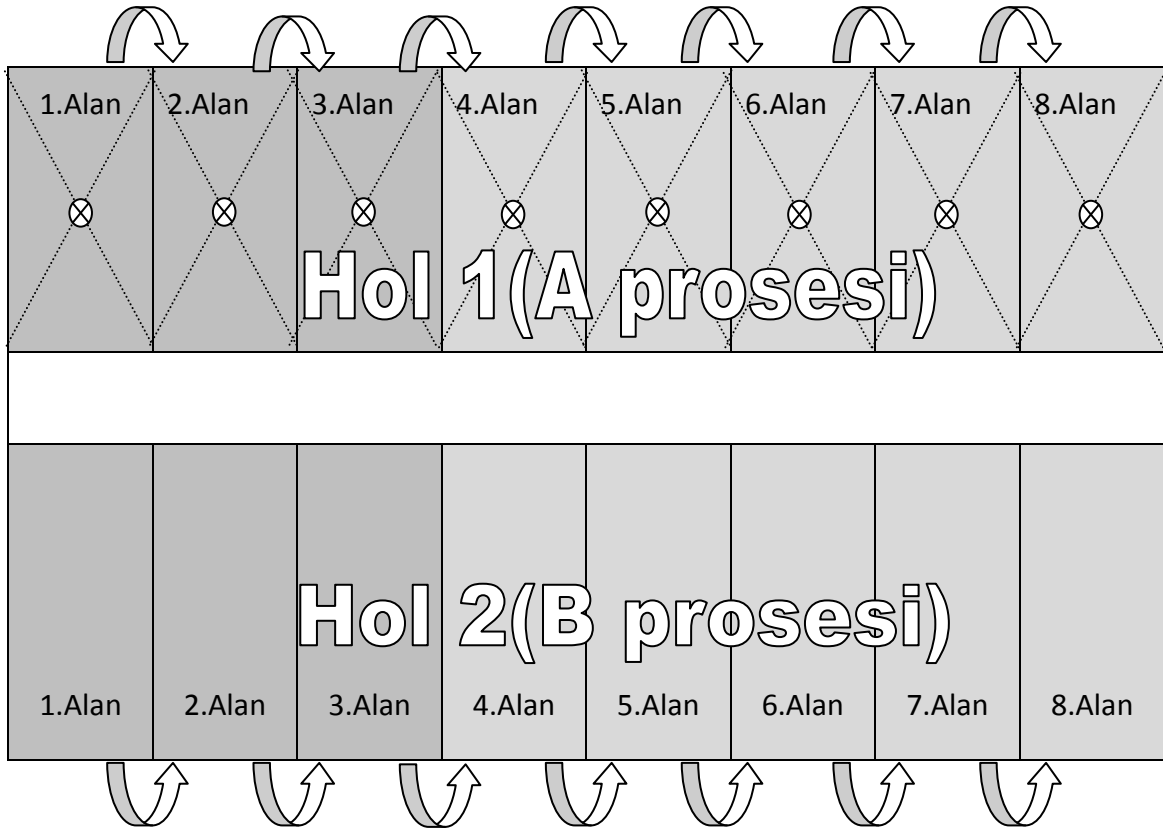
~2,2-2,3 m yüksekliğinde yığınlar oluşturulmaktadır. Dolayısıyla A ve B birimlerine 6 günde 1.400 ton/hafta atık alınmaktadır. Birinci hafta sonunda, 1 nolu gözlerdeki yığınlar, KAM'la aktararak bantlı iletilerle ikinci gözlerge geçirilmektedir. Bu şekilde atık herbir gözde 7 gün kalmak ve tünelin 1 nolu gözünden girip 8. hafta sonunda 8 nolu gözden çıkmak üzere, kompostlaştırma (fermentasyon) uygulanmaktadır. Kompostlaştırma için kritik işletme parametreleri olan yığın sıcaklığı ve su muhtevası (nem) çok iyi kontrol edilmelidir. Yığın sıcaklıkları 1. alanda (göz) 45-60°C, 2-4. alanlarda 55-70°C (65°C), 5-6. alanlarda 45-50°C civarında tutulur. Sıcaklık kontrolü havalandırma ve aktarma yoluyla sağlanmaktadır. Prensip olarak yığınların su muhtevası, fermentasyon kaybının (%UKM) ~2 misli seviyesinde (>%40) tutulmaktadır. Gerekli su, aktarma ve bir gözden diğere ilerletme esnasında eklenmektedir. Tesiste haftalık ortalamalar itibariyle, yığınların 2. alandan 3. alana ilerletme başlangıcında 100 m³/hafta olmak üzere, tedricen azalan miktarlarda harici su ilavesi yapılmaktadır. Tesisin genel akış şeması Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



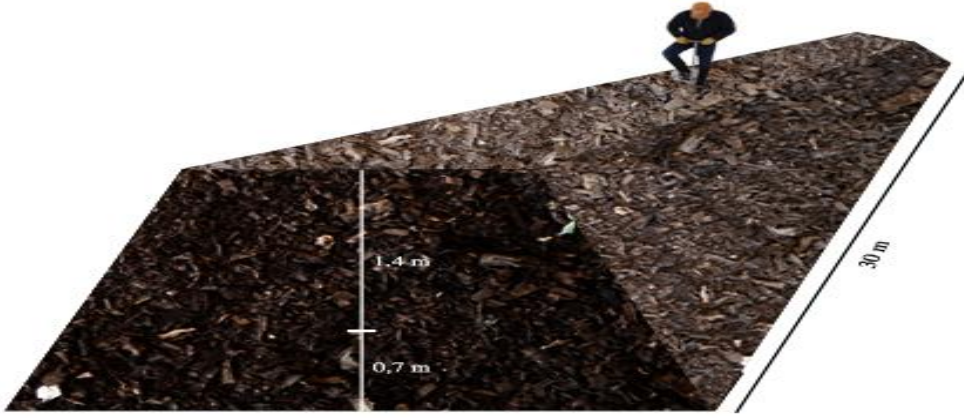
Şekil 3.2 Kemerburgaz Kompost Tesisi akış şeması

3.2 Numune Alma

Bu çalışma kapsamında Kemerburgaz Kompost tesisi fermantasyon ünitesinin her iki holünde bulunan 8 alandan toplamda 16 numune alınmıştır. Fermantasyon holünde bulunan her bir alanın boyu 30 m olup, genişlikleri 1. alandan 8. alana doğru tedrici olarak azalmaktadır. Numuneler, her bir alanın tam ortasından ve yığın yüksekliğinin 2/3 derinliğinden (ortalama 1,5 m derinlikten) Fermantasyon alanından numune alma talimatı esaslarına göre 3'er kg numune alınmıştır. Numunelerin alındığı fermantasyon alanının temsili çizimi Şekil 3.3'de, numunelerin alındığı takribi yer ise Şekil 3.4' de verilmiştir. Numuneler 1. hafta haricindeki diğer alanlarda atığın bir sonraki alana aktarılmadan 1 gün önce alınmış olup, sadece 1. alanda alan atık dolduktan sonraki ilk gün alınmıştır. Numunelerin alınma tarihleri ve o tarihlerdeki proses şartları Çizelge 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.3 Kemerburgaz Kompost Tesisi Fermantasyon ünitesi



Şekil 3.4 Numunelerin alındığı noktanın temsili çizimi



Şekil 3.5 Numunelerin Alınışı

Çizelge 3.1 Numune Alma Tarihleri ve Proses Şartları

ALANLAR	HOL 1	HOL 2	SU MİKTARI (M ³)	HAVA MİKTARI(PA)	AÇIKLAMA
1.ALAN	18.05.2011	23.05.2011	0	1.300	ALAN DOLDUKTAN SONRA 1. GÜN
2.ALAN	27.05.2011	03.06.2011	100	1.800	AKTARMADAN 1 GÜN ÖNCE

Çizelge 3.1 Numune Alma Tarihleri ve Proses Şartları(devamı)

ALANLAR	HOL 1	HOL 2	SU MİKTARI (M ³)	HAVA MİKTARI(PA)	AÇIKLAMA
3.ALAN	03.06.2011	11.06.2011	90	1.000	AKTARMADAN 1 GÜN ÖNCE
4.ALAN	14.06.2011	20.06.2011	80	2.400	AKTARMADAN 1 GÜN ÖNCE
5.ALAN	22.06.2011	28.06.2011	55	1.100	AKTARMADAN 1 GÜN ÖNCE
6.ALAN	01.07.2011	07.07.2011	40	2.200	AKTARMADAN 1 GÜN ÖNCE
7.ALAN	10.07.2011	16.07.2011	50	1.000	AKTARMADAN 1 GÜN ÖNCE
8.ALAN	20.07.2011	24.07.2011	0	1.000	AKTARMADAN 1 GÜN ÖNCE

3.3 Fiziksel ve Kimyasal Analiz Yöntemleri

Bakteriyel tür tayin çalışmaları çerçevesinde numune alınan her bir alanda fiziksel ve kimyasal şartlarında paralel olarak değerlendirilmesi maksadıyla bir dizi fiziko-kimyasal analiz çalışması yürütülmüştür. Bu çerçevede fermantasyon alanının her iki holündeki toplam 8 alandan alınan 16 numune üzerinde, sıcaklık, pH, nem, klorür, kızdırma kaybı, karbon, azot, C/N oranı ve iletkenlik analizleri yapılmıştır. Analizler TURKAK tarafından akredite edilen İSTAÇ A.Ş. Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisindeki Çevre Laboratuvarında yapılmıştır.

3.3.1 Sıcaklık

Her bir alanın sıcaklık ölçümü Fluke Marka 52-2 Serisi termometre kullanılmış olup, termokulplar alanın 2 kenar ve 1 ortadan olmak üzere temsil edici 5 ayrı noktasına 1'er metre batırılarak dijital olarak ölçülüp ortalaması alınmıştır.

3.3.2 pH

Her bir numunenin pH ölçümü, Thermo-Orion, 4-Star markalı cihaz ile alınan 1 gr Kuru numuneye 10 gr saf su ekleyip 1saat karıştırılarak ölçülmüştür.

3.3.3 Su Muhtevası

Su muhtevası tayini için uygun miktarlarda numune alınıp, daha önce kurutulmuş, desikatörde bekletilmiş ve darası alınmış kurutma kabına konulmuştur. Daha sonra numune etüve konarak 105 ± 5 °C'de 24 saat bekletilmiştir. Bu işlem sonucunda sabit kütle (Numunenin önce ısıtılıp sonra oda sıcaklığında soğutulduğu ve bu iki işlem arasında 1 saat bekletildiği kurutma işlemi sırasında, numunenin yapılan ardışık iki tartım arasında farkın, en son yapılan tartım sonucu bulunan kütlenin %5'ini (m/m) veya 2 mg'ı geçmediği durumda ulaşılan kütledir.) sağlanıyor ise kurutma işlemine son verilmiş ve numune desikatörde soğutulduktan sonra tartılmıştır. Akabinde aşağıdaki formülle hesaplama yapılmıştır.

$$Ww = \frac{(Mb - Mc)}{(Mb - Ma)} \times 100 \quad (3.1)$$

Ww Çamut kütlelerinin su muhtevası %

Ma Boş kap darası

Mb Çamur numunesi ihtiva eden kap

Mc Kuru çamur ihtiva eden kap

3.3.4 Kızdırma Kaybı

Darası alınmış porselen krozeeye kuru öğütülmüş numuneden konup, 550 °C de 1 saat yakılıp sonra soğutulup tartılmıştır. Akabinde numunenin tam yandığından emin olmak için işlem tekrarlanmış ve 1 saat daha yakma işlemi yapıp, soğutulup tartılmıştır. Son tartımlar arasındaki farka göre tekrar aynı işlem gerekiyorsa gerçekleştirilmiştir. Gerekmeyenler içinse hesap yoluyla kalan kül miktarından kızdırma kaybı hesabı yapılmıştır.

Çamurun kuru kütlesinin kızdırma kaybı kütlece % olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$W_v = (m_b - m_c) / (m_b - m_a) * 100 \quad (3.2)$$

W_v : Çamurun kuru kütlesinin kızdırma kaybı, % (m/m)

m_b : Kuru kütle içeren kroze kütlesi, g

m_c : Kızdırılmış kuru kütle içeren kroze kütlesi, g

m_a : Boş kroze kütlesi, g

3.3.5 C/N

Kurutulmuş ve öğütülmüş numuneden belirli bir miktarda alınmış ve Leco/Truspec marka elementer analiz cihazının numune haznesine yerleştirilmiştir. Cihaz okumaya hazır hale geldiğinde analize başlanıp, toplam karbon ve toplam azotun % olarak ölçülmüştür.

3.4 Mikrobiyal Tür Analizleri

Kompost tesisindeki yığınlardan alınan numunelerdeki bakteri türleri DNA ekstraksiyonu sonrası 16S rRNA genlerine PCR ve DGGE yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir. Numunelerdeki bakterilerin DNA'ları PowerSoil DNA kiti kullanılarak ekstrakte edilmiştir. Daha sonraki analizlere başlayıncaya kadar DNA ekstratları -20 °C'de saklanmıştır. DNA ekstratların 16S rRNA genleri PCR işleminde universal GC-BacV3f and 907r primerleri kullanılarak çoğaltılmıştır.

Mikrobiyal tür tayini; nükleik asit ekstraksiyonu, PCR (Polimeraz Zincir Reaksiyonu), DGGE (Denatüre gradyan jel elektroforezi) ve Nükleik Asit Dizisinin tespiti yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir. Kompost tesisindeki yığınlardan alınan numuneler ilk olarak nükleik asitler ekstre edilmiş, ekstre edilen DNA'lar, -20°C'de muhafaza edilmiştir. Ekstre edilen DNA karışımlarının 16S rRNA genleri, PCR yöntemi kullanılmak sureti ile ısı döngüleme (Thermal Cycler) cihazı ile çoğaltılmıştır. Bu işlem sonrası metanojenik tür çeşitliliği, "Denatüre gradyan jel elektroforezi" (DGGE) ve DNA dizi analiziyle tespit edilmiştir. Moleküler çalışmalarda PCR (Mycycler Thermal Cycler System), Elektroforez Cihazı, Jel Görüntüleme Sistemi (ORTE) ve Genetik Analiz Sistemi (Beckman Coulter CEQ 8000) kullanılmıştır.

3.4.1 Nükleik Asit Ekstraksiyonu

DNA izolasyonunda, numuneler 10 dakika 14000 devir/dakika'da santrifüj edilerek konsantre hale getirildikten sonra zirconia/silica boncuklar kullanılarak mekanik olarak dağıtılmıştır. FASTPREP-24 cihazı ile gerçekleştirilen mekanik parçalamadan sonra ortaya çıkan DNA, FastDNA SPIN Kit (Q-BIOgene) prosedürüne uygun olarak saflaştırılmıştır.

3.4.2 Polimeraz Zincir Reaksiyonu

Ekstrakte edilen DNA karışımı PCR amplifikasyonu ile çoğaltılacak 16S rRNA genleri DGGE analizlerinde kullanılmıştır. Her 50 µl PCR reaksiyon çözeltisi 41.8 µl steril suya 1 µl DNA ekstraktı, 0.25 µl 100 mM primer, 5 µl 10x reaksiyon tamponu (TriseHCl, pH 8.8), 0.2 µl 25 mM dNTP, .75 µl Dynazyme II DNA polymerase ve 1 µl bovine serum albumin katılarak elde edilmiştir. PCR amifikasyonu T3000 Thermocycler (Biometra) cihazı ile şu protokole göre yapılmıştır. 95 °C'de 5 dk süreyle ön denatürasyon, devamında 30 çevrim sırasında 94 °C'de 0.5 dakika denatürasyon, 50 °C'de 1 dakika primer birleşmesi, 72 °C'de 2 dakika uzatma yapıldıktan sonra 72 °C'de 10 dakika son uzatma ile bitirilmiş ve PCR ürünleri 4 °C'de bekletilmiştir. 16S rRNA genleri için uygun primer kullanılarak Biorad Termocycler ile amplifikasyon gerçekleştirilmiştir.

3.4.3 Denature Gradyan Jel Elektroforezi

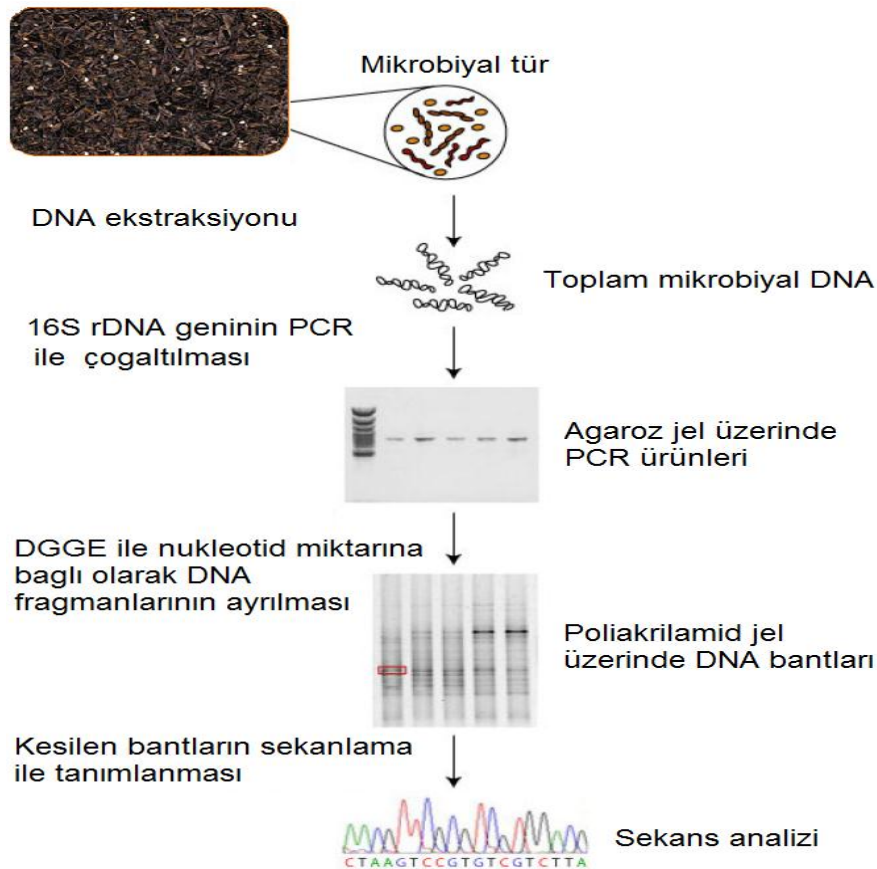
Dizi analizi öncesi klonların tür farklılıkları, denatüre gradyan jel elektroforezi (DGGE) tekniği ile tespit edilmiştir. Farklı türler dizi analizi yöntemi ile doğrulanmıştır. DGGE, PCR ile çoğaltılmış DNA örneklerindeki tek baz değişimlerinin ve polimorfizmin belirlenmesinde etkili bir genetik analiz yöntemidir. DGGE deneyinde denatüre madde (formamit ve üre karışımı), poliakrilamit jellerdeki yarı erimiş, çift-sarmallı DNA moleküllerinin azalmış elektroforetik hareketine bağlıdır. Çalışmalarda ayrıca türlerin zamana bağlı değişimlerini gözlemlemek amacıyla deneyden faydalanılmıştır.

PCR ürünlerinin DGGE işlemi INGENY phorU2x2 sisteminde gerçekleştirilmiştir. Elektroforez işlemi için % 8'lik acrylamide jelinden % 30 ve % 70'lik (7M üre ve 40% formamide) jel hazırlanmıştır. Jeldeki kuyucuklara eklenen PCR ürünleri 60°C'de 22.5 saat süreyle 100 V altında yürütülmüştür. Daha sonra SYBRs Gold ile boyandıktan sonra

mavi ışık altında görünür hale getirilen bantların fotosu çekilmiş ve baskın bant türleri kesilmiştir. Kesilen bantlar bir gece steril suda bekletildikten sonra ikinci PCR işlemi uygulanmıştır.

3.4.4 DNA dizi analizi

Türlerin birbirinden ayırt edilmesi için, klasik PCR ile 16S rRNA genlerinin çoğaltılmasından sonra, DGGE analiziyle türler birbirinden ayırt edilmiştir. Dizi analizi için seçilen klonların miktarı PCR ve DGGE analizleri sonunda belirlenmiştir. PCR ya da DGGE jellerinde görüntülenen bandlar, uygun saflaştırma kitleri kullanılarak saflaştırılmıştır. Elde edilen ürün daha sonra dizi analizleri için Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarında yapılmış, dizi sekans analizinde doğru sonuçlar elde edilemeyince Tampere Teknik Üniversitesi Kimya ve Biyomühendislik bölümünde gerçekleştirilmiştir. Analiz verileri, A-G-C-T dizin dosyaları biçiminde kopyalanarak, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> internet sitesinde BLAST programında değerlendirmeye alınmış ve raporlanmıştır.



Şekil 3.6 Moleküler analiz yöntemlerinin uygulama akış şeması.

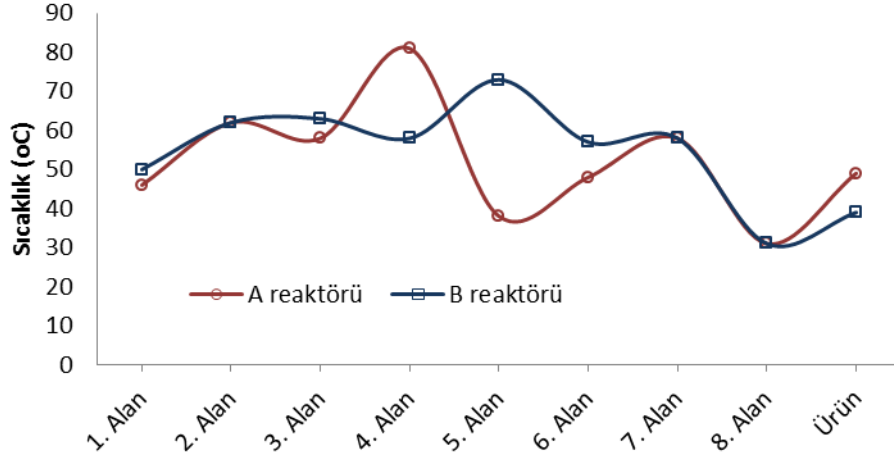
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

4.1 Fiziko-Kimyasal Analiz Sonuçları

4.1.1 Sıcaklık

Sıcaklık mikrobiyal aktivitenin bir göstergesidir. Kompostlaştırma işlemi için gerekli ortam şartlarının oluşturulmasından sonra genelde materyalin sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık başlangıçta mikrobiyal aktivitenin artması neticesinde kademeli olarak yükselmektedir. Sonra eğer şartlar korunuyorsa sıcaklık artışları 66°C veya 71°C'ye kadar kademeli olarak devam eder. Kullanılan sisteme ve atığın muhtevasına bağlı olarak sıcaklık artışları 1 haftadan 3 haftaya kadar sabitlenerek çevre sıcaklığına kadar kademeli olarak azalmaktadır. Eğer ortam şartları yeterince elverişli değilse yüksek sıcaklıktaki sabitlenme 3 haftadan daha uzun sürebilmektedir[23].

Bu çalışmada hızlı kompostlaştırma evresi olan ilk 3 haftalık süreçte kompost yığınlarının sıcaklıkları her iki reaktörde hemen hemen birbirine yakın olup, ilk yığınların sıcaklıkları yaklaşık 50°C mertebelerindedir. Ancak A4 alanında havalandırmadaki mekanik bir hatadan dolayı sıcaklık 81 °C'ye ulaşırken, B4 Alanındaki sıcaklık 58 °C civarındadır. Her 2 holün kompostlaştırma sürecinde takip eden haftalarda sıcaklıklarda düşüş meydana gelmiş olup, ortalama 44°C civarında proses sonlanmıştır. Çalışma süresince kompost sahasında ölçülen sıcaklık değerlerinin değişimi Şekil 4.1'de verilmiştir.

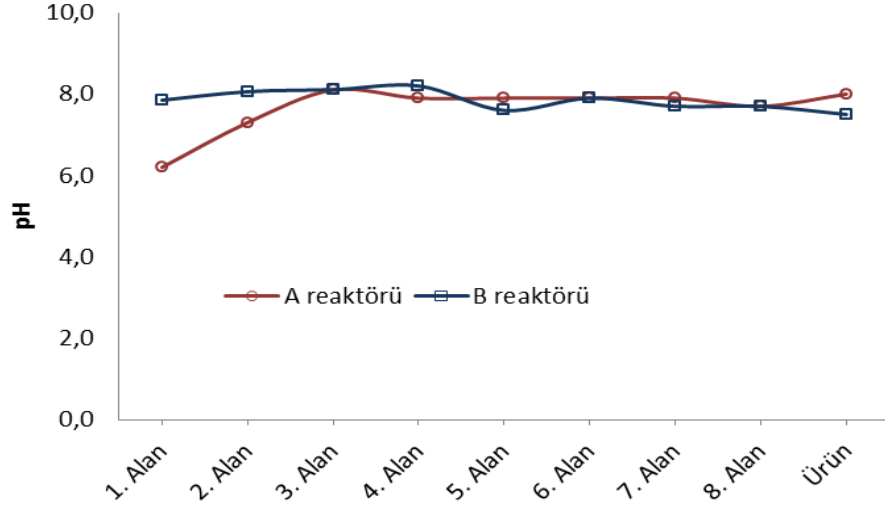


Şekil 4.1 Kompostlaştırma sürecinde sıcaklık değişimi

4.1.2 pH

pH kontrolü, mikrobiyal ortamın ve kompostlaştırma sürecinin (atık stabilizasyonunun) değerlendirilmesinde önemli parametrelerdendir. Kompostlama prosesi boyunca pH'da değişiklikler gözlenebilir. Prosesin başlangıcında, CO₂ ve organik asitler nedeniyle pH 5-6 değerinde iken, prosesin sonlarında bu değer 8-8,5'a çıkabilir. Bunun nedeni CO₂'in eliminasyonu olduğu kadar, proteinlerin parçalanması da buna etkindir. Mikrobiyal aktivitenin çok aktif olduğu başlangıç fazında NH₄⁺ birikebilir, bu da pH'ın yükselmesine neden olur[29]. Kompostlaştırma süresince pH zamanla değişim grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir.

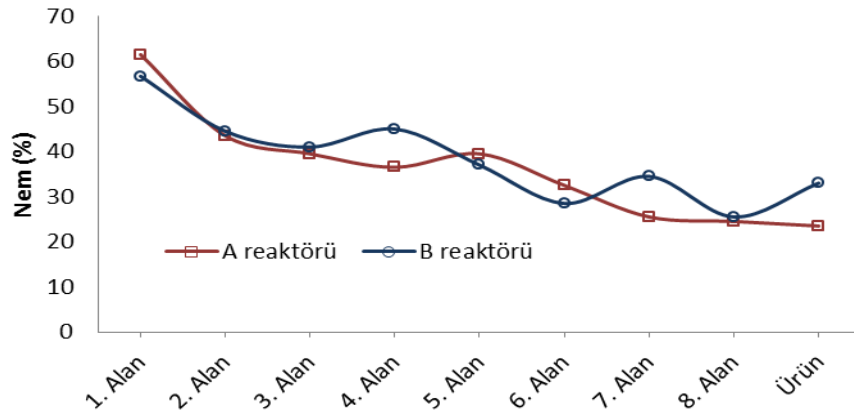
Bu çalışmada her iki kompost yığının başlangıçtaki pH salınımları birbirinden oldukça farklı olduğu gözlenmektedir. A reaktörünün ilk iki yığında pH değerleri 6,2 ile 7,3 iken B reaktörünün pH aralığı 7,9 ile 8 olarak ölçülmüştür. A3 yığında pH 8.1 iken daha sonra sürekli azalarak A8 yığında pH 7.7'e düşmüştür. B1 yığında pH 7.9 iken B4 yığında 8.2'e yükselmiş ve en son soğuma evresinde pH 7.5'a düşmüştür. Her iki reaktör pH açısından mukayese edildiğinde B reaktörü daha stabil pH değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2 Kompostlaştırma süresince pH değişimi

4.1.3 Su Muhtevası

Uygulamada kompost maddesinin su muhtevasının %40 - %65 aralığında tutulması gerekmektedir. Su kimyasal reaksiyonlar için uygun bir ortam oluşmasını temin eder, mikroorganizmaların hareket kabiliyetini artırır ve besi maddelerinin taşınmasını sağlar. Teoride, maddeler doygun olduğunda biyolojik aktivite optimum düzeydedir. Organik madde içeriğindeki nem muhtevası %15'in altına düştüğünde biyolojik aktivitenin tamamen durduğu söylenilebilir. Su muhtevasının %65'in üzerine çıkması durumunda ise etkin havalandırma yapılamadığından mikrobiyolojik faaliyet yine durma noktasına gelecektir. Kompostlaştırma süresince alınan numunelere ait su muhtevası Şekil 4.3'de verilmiştir.

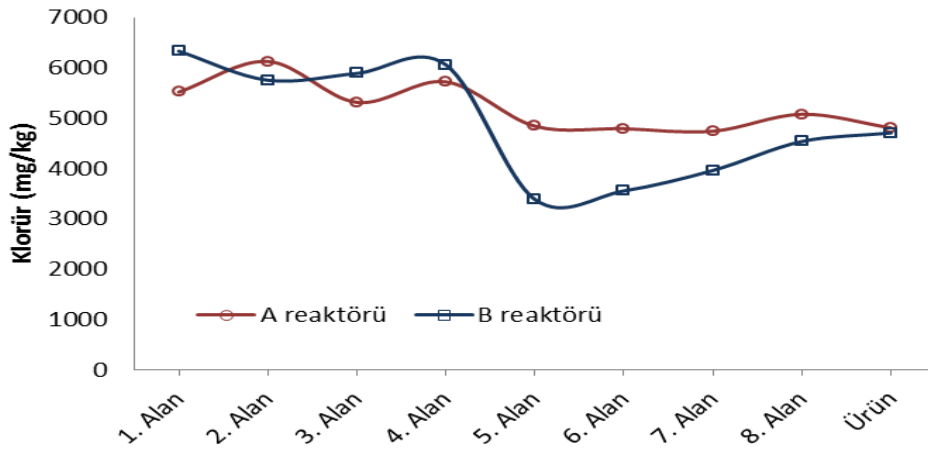


Şekil 4.3 Kompostlaştırma süresince su muhtevası değişimi

Yapılan analiz çalışmaları her iki kompost reaktörünün başlangıcında su muhtevasının %60 mertebelerinde olduğu ve her iki süreçte de benzer bir azalma grafiğinin oluştuğu tespit edilmiştir. Nemdeki rutin azalma seyri, komposttaki yüksek sıcaklık ve havalandırma ile ilişkilidir.

4.1.4 Klorür

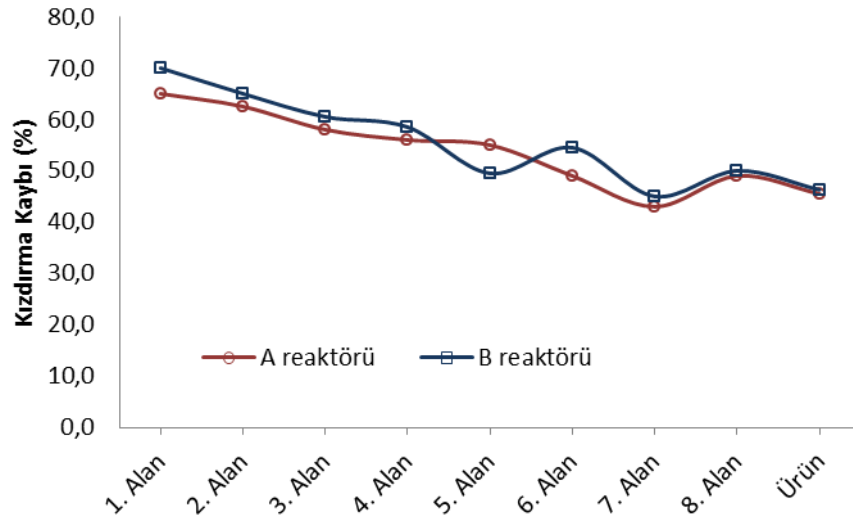
Bu çalışmada, her iki reaktörün başlangıcında klorür değerlerinin yakın salınımlar gösterdiği tespit edilmiştir. 6.000 mg/kg mertebelerinde başlayan A ve B reaktörleri, 4.800 mg/kg değerinde sona ermiştir. Çalışma süresince kompost sahasında ölçülen klorür değerlerinin değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Kompostlaştırma sürecinde klorür değişimi

4.1.5 Kızdırma Kaybı

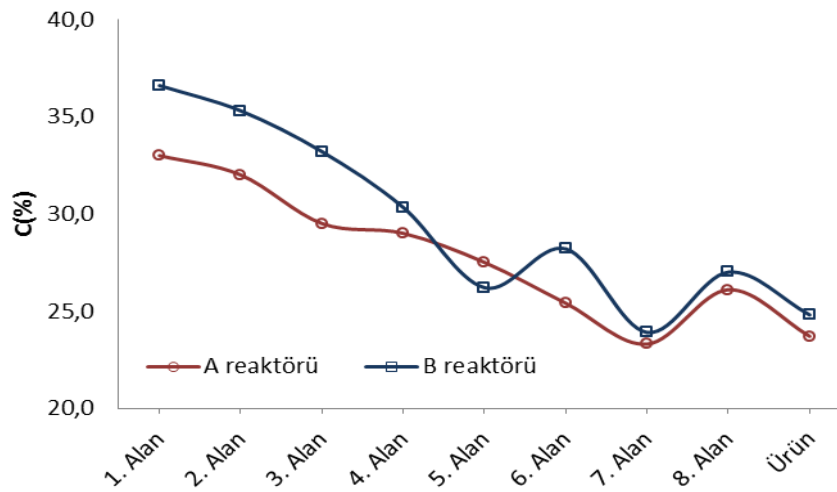
Kızdırma kaybı yüzdesi, her iki reaktörde benzer korelasyonla azalan bir grafik çizmiş olup, %70 mertebelerinde başlayan değer, her iki reaktör sonunda %45'lere düşmüştür. Kompostlaştırma prosesi boyunca kızdırma kaybı değişimi Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Kompostlaştırma sürecinde kızdırma kaybı değişimi

4.1.6 Karbon

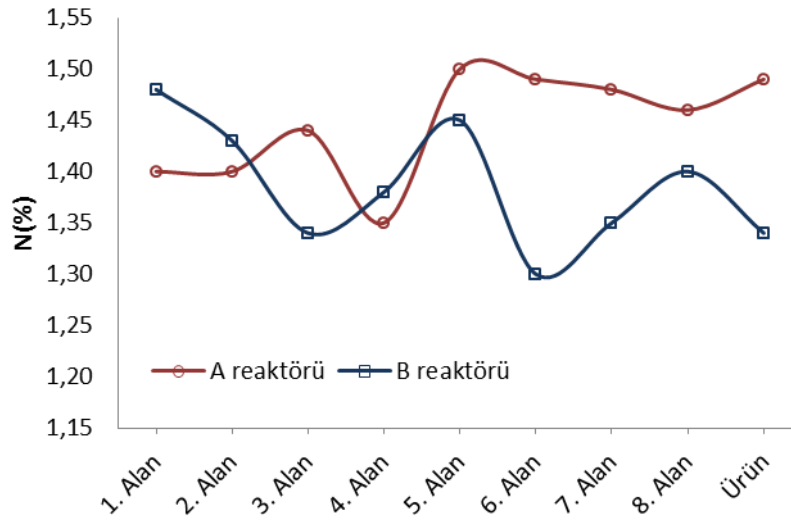
Karbon mikroorganizmalar için enerji kaynağıdır. Bu sebeple organik maddenin bozunmasından dolayı kompost prosesinde karbon oranı düzenli olarak azalır. Yapılan bu çalışmada her iki reaktörde karbon miktarının azaltığı görülmektedir. Karbon oranı her iki reaktörde %35 mertebelerinde olduğu ve proses sonunda %24 seviyelerine indiği Şekil 4.6 da gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Kompostlaştırma sürecinde karbon değişimi

4.1.7 Azot

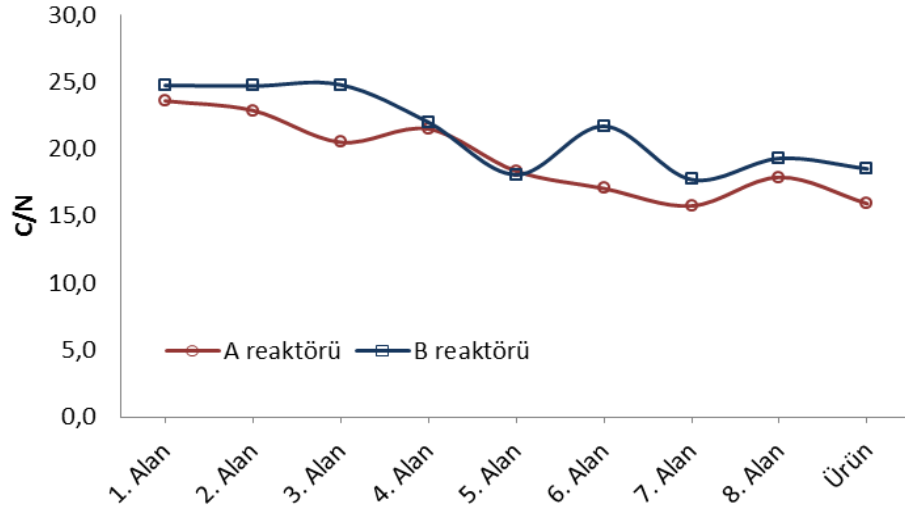
Azot, hücre büyümesi ve fonksiyonları için gerekli olan protein, nukleik asit, amino asit ve enzimlerin genel yapı taşıdır. Bu çalışmada kompostlaşma süresince her iki reaktörde azot değişim grafiği Şekil 4.7 de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi kompost yığınlarının oluşturulduğu A1 ve B1 alanlarında N% miktarı sırasıyla 1,40 ve 1,48'dir. Prosesin ilerleyen adımlarında her iki reaktörde de azalan ve artan yönde salınımlar yaşanmış olup, proses sonunda A8 alanında 1,46, B8 alanında ise 1,40 değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.7 Kompostlaştırma sürecinde azot değişimi

4.1.8 C/N

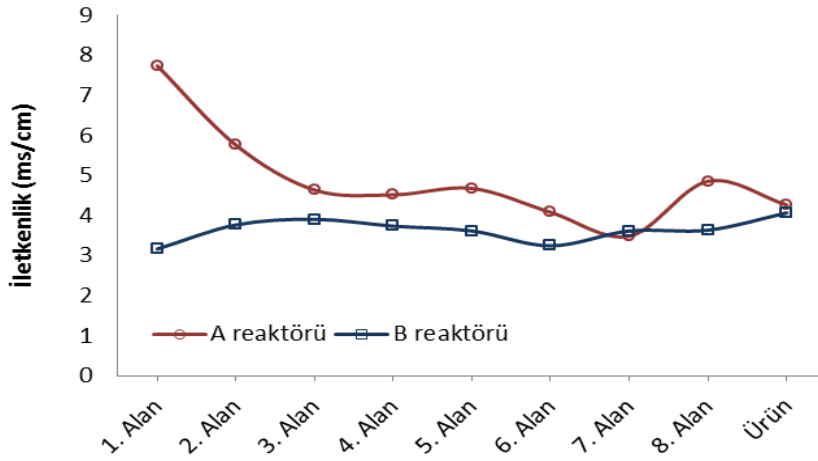
Üründeki C/N değerlerinin toprak kalitesini bozmaması açısından 20'nin altında olması tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada A ve B reaktörlerinde C/N oranı düzenli olarak azalmış olup, ilk yığının oluşturulduğu A1 ve B1 alanlarında sırasıyla C/N oranı 23,6 ve 24,7 olup, A8 ve B8 alanlarında bu değer 17,9 ve 19,3 olarak ölçülmüştür. Bu da toprağa etkisi bakımında üretilen kompostun C/N oranı bakımından uygun olduğunu göstermektedir. Kompostlaşma süresince C/N oranı değişimi Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Kompostlaştırma sürecinde C/N değişimi

4.1.9 İletkenlik

Elektriksel iletkenlik (Eİ), çözülmüş tuz konsantrasyonunun göstergesi olmasından dolayı önemli bir parametredir. İletkenlik, çözülmüş iyonların miktarı ve türü ile değişmektedir. İletkenlik, kompostun toprak iyileştiricisi olarak kullanılmasında, fitotoksisite potansiyelini değerlendirmek için özel önem taşımaktadır. Bu çalışmada, A ve B reaktörlerinin ilk safhasında ciddi farklılık gözlenmekle birlikte 3. Alan sonrasında benzer korelasyon seyri yakalanmıştır. A reaktörünün ilk iki yığında iletkenlik değeri 7,7 ile 5,7 iken, B reaktöründe bu değer 3,1 ile 3,7 olarak ölçülmüştür. A3 yığında iletkenlik değeri 4,6 iken, proses sonunda 4,8 değerinde kalmıştır. B3 yığında iletkenlik değeri 3,9 dan 3,6'ya düşmüştür. Proses boyunca iletkenlik değişimi Şekil 4.9 da gösterilmektedir.

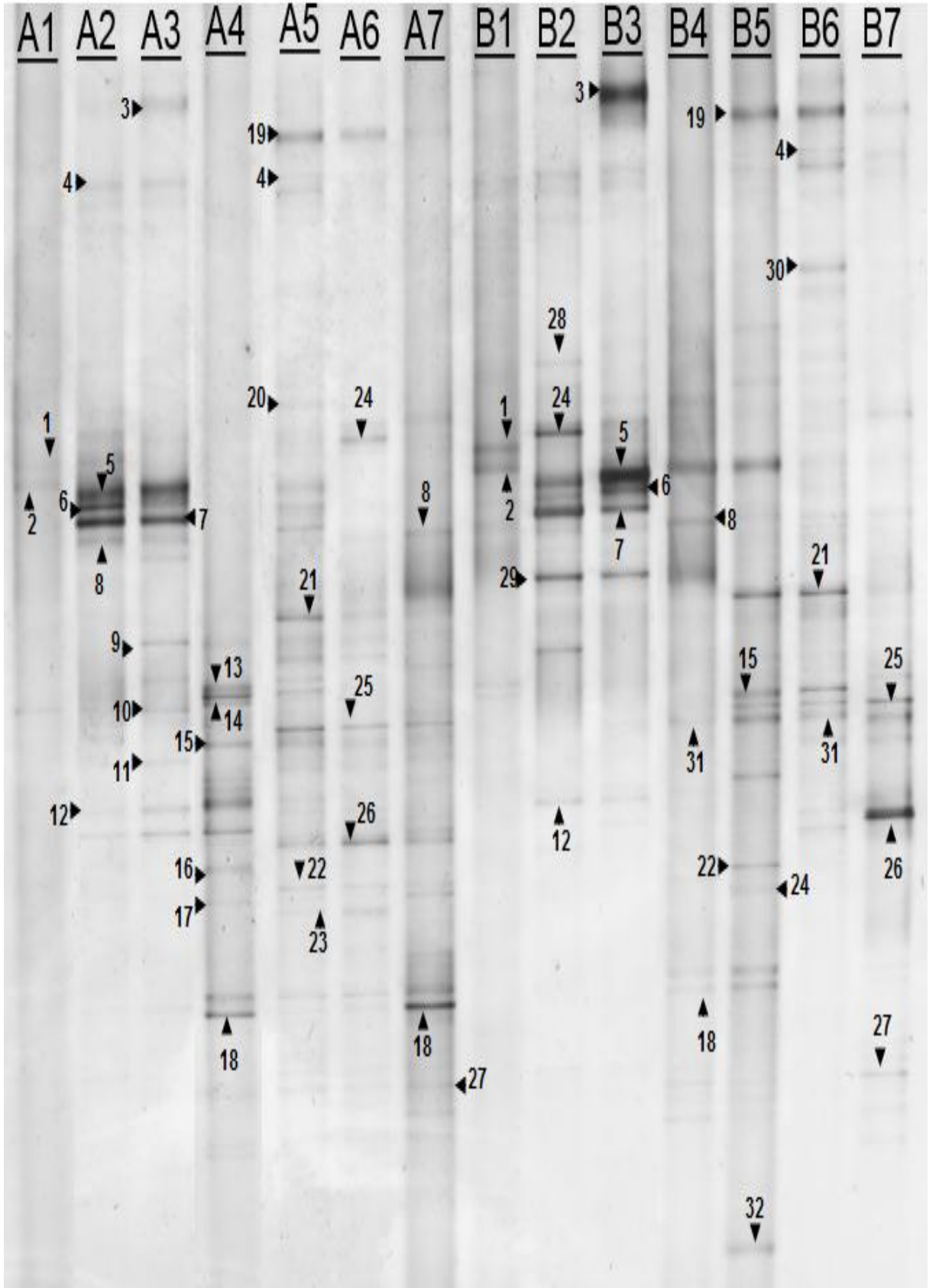


Şekil 4.9 Kompostlaştırma sürecinde iletkenlik değişimi

4.2 Mikrobiyal Tür Değişimleri

Evsel katı atıkların kompostlaştırılması sırasında paralel iki reaktördeki bakteriyel türlerin değişimini gösteren DGGE profili Şekil 4.10'da verilmiştir. Sekiz haftalık kompostlaştırma süresince toplam 32 farklı türe ait bant belirlenmiştir. Bu bantların ait olduğu türlerin dağılımı Çizelge 4.1 'de verilmiştir. İki paralel reaktörde çoğunlukla aynı bakteri türü bulunurken işletme şartlarındaki değişim nedeniyle tür dağılımında zaman zaman değişiklikler gözlenmiştir.

Bütün kompostlaştırma aşaması değerlendirildiğinde en az bakteri türü her iki reaktörün ilk yığınlarında gözlenmiştir. Bu durum kompostlaştırma aşamasının henüz yeni başlaması ve numunenin alındığı zamanda yeteri kadar bakteri çoğalamamasından kaynaklanmaktadır. İki reaktörün 46 °C ve 50 °C sıcaklığa sahip olan A1 ve B1 yığınlarında sadece iki bakteri türü bulunmaktadır. 1 ve 2 numaralı bantlara ait *Lactobacillus composti* türü gram pozitif, çubuk şekilli ve farklı organik maddeleri asitlere dönüştürebilmektedir[10]. Benzer şekilde Partanen ve arkadaşları (2010) evsel atık atıkların kompostlaştırıldığı tam ölçekli bir ilk evresinde bir tane *Lactobacillus* türü bakteri tespit etmişlerdir. *Lactobacillus* türleri kompost prosesinin ilk evresinde baskın olarak bulunmaktadır ve bir çok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda *L. composti* bakterisini belirlemişlerdir[11]. *Lactobacillus* türleri ürettikleri organik asitlerle kompostlaştırmanın ilk evrelerindeki pH azalmasına neden olmaktadır[20].



Şekil 4.10 Kompost sahasındaki bakteriyel türlerin DGGE profili

Çizelge 4.1DGGE bantlarının dizi analiz sonuçları

BAN D	BAKTERİ	GEN BANKASI NO	BENZERLİK %
1	LACTOBACİLLUS COMPOSTİ STRAİN NRIC 0689	NR 041509	87
2	LACTOBACİLLUS COMPOSTİ STRAİN NRIC 0690	AB268119	95
3	FLAVOBACTERİUM SP. EP333	EUO17400	90
4	PSYCHROBACTER MARİTİMUS	AJ609272	80
5	ACİNETOBACTER SP. N12	AB208676	97
6	ACİNETOBACTER SP. BP10	EF198473	93
7	ACİNETOBACTER SP HSL49	HM461174	96
8	UNCULTURED ACİNETOBACTER SP.	JQ740258	80
9	BACİLLUS HUMİ	AJ627209	92
10	ACİNETOBACTER SP. 1 LY1	AJ007008	94
11	BACİLLUS NIABENSİS STRAİN 4T19	NR 043334	97
12	MİCROBACTERİUM TRİCHOTECENOLYTİCUM	DQ640002	90
13	GEOBACİLLUS THERMODENİTRİFİCANS CMB-A7	GQ293456	85
14	PSEUDOXANTHOMONAS TAIWANENSİS	AM932275	93
15	BACİLLUS COAGULANS HC15	AF252329	93
16	UNCULTURED BACTERİUM PPD14	AF252325	95
17	RHİZOBİALES BACTERİUM NİS3	AB563785	100
18	THERMOBİFİDA FUSCA	AB605429	97
19	UNCULTURED COMPOST BACTERİUM WPOT13	AB437980	98
20	UNCULTURED BACTERİUM N10	EU215312	91
21	SPHİNGOBACTERİUM SP. MG2	AJ556417	83
22	THERMOBACİLLUS SP. WSULV1	GU289514	95

Çizelge 4.1 DGGE bantlarının dizi analiz sonuçları(devamı)

BAN D	BAKTERİ	GEN BANKASI NO	BENZERLİK %
23	SPHİNGOBACTERİUM COMPOSTİ	NR-041363	95
24	BACTEROİDETES ENDOSYMBİONT	AY753171	95
25	SPHİNGOBACTERİUM DAEJEONENSE TR6-04	NR 041407	90
26	CİTROBACTER FREUNDİİ SSCT56	AB210978	88
27	SACCHAROMONOSPORA VİRİDİS	AB562490	100
28	FLAVOBACTERİUM SP. V12	AJ244699	86
29	PSEUDOMONAS MONTEİLİ PSC54	AF064458	91
30	CYTOPHAGA FUCİCOLA	AYJ005973	92
31	PSEUDOMONAS SP. RAT/5	GU723511	88
32	UNCULTURED BACTERİUM C6	AB246726	100

Her iki reaktörün ikinci yığınlarında sıcaklık 62 °C'ye yükselirken A2 ve B2 yığınlarındaki ortak baskın bakteri türleri *Psychrobacter maritimus* (bant 4), *Acinetobacter* (bant 5-8) ve *Microbacterium trichotecenolyticum*(bant 12)dur. B2 yığını ayrıca 3 farklı banta sahiptir. 24, 28 ve 29 numaralı bantlar sırasıyla *Bacteroidetes endosymbiont*, *Flavobacterium sp. V12* ve *Pseudomonas monteili* türlerine aittir. *Acinetobacter* türleri hem aerobik hemde anaerobik koşullarda faaliyetini sürdürmekte ve petrol türevlerinde dahil olduğu çok çeşitli hidrokarbonları okside edebilmektedir[21]. *Flavobacterium* türü bakteriler lignoselülozik malzemelerin kompostlaştırılmasında aktif rol oynamakta olup, mezofilik sıcaklık ve pH 6.0'da en yüksek performansı göstermektedir[30]. Sasaki ve arkadaşları (2009) farklı kompostlaştırma evresinde çok çeşitli *Flavobacterium* türü bakteriyi belirlemişlerdir. Optimum yaşam sıcaklığı 45–50 °C arasında olan *Microbacterium* bakterileri aerobik ortamda lignin, aromatik organikler ve toksik bileşenleri ayrıştırabilmektedirler[19]. Protein, nişasta, selülöz ve kitin gibi makromolekülleri kullanabilen *Bacteroidetes* türü bakteriler laboratuvar ve tam ölçekli

bir çok kompostlaştırma çalışmasında tespit edilmiştir[20]. Bu çalışmada her iki reaktörde bulunan *Bacteroidetes endosymbiont* (bant 24) hem mezofilik hemde termofilik sıcaklıklarda gözlenmiştir. Benzer şekle Cho ve arkadaşları (2008) aynı bakteriyi iki farklı sıcaklıkta tespit etmişlerdir.

Hem A2 hemde A3 yığnında sıcaklık aynı (60 °C) olmasına rağmen, iki yığın arasındaki tür farklılığı pH ve su muhtevastındaki değişimden kaynaklanmaktadır. A3'de ilk defa görülen *Bacillus humi* (bant 9), *Bacillus niabensis 4T19* (bant 11) ve *Acinetobacter sp. 1 LY1* (bant 10) türleri daha sonraki yığınlarda kaybolmuştur. Bu değişimler türlerin pH ve su muhtevastındaki değişime karşı çok hassas olduklarını göstermektedir. *Flavobacterium sp. EP333* (bant 3) ise sadece 58 °C sıcaklık, pH 8.1 ve su muhtevastının 40 % olduğu A3 ve B3 yığınlarında tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer şekilde diğer araştırmacılarda termofilik kompostlaştırmada aktif rol oynayan *Bacillus* türlerini tespit etmişlerdir [12]. Maeda vd. (2010) hayvan gübresinin termofilik kompostlaştırılması sırasında diğer *Bacillus* türleriyle birlikte *Bacillus niabensis* ve *Bacillus humi* bakterilerini belirlemiş ve optimum yaşam koşullarının pH 7.0-9.0 olduğunu tespit etmişlerdir[33]. Bu çalışmada *Bacillus humi* (bant 9) ve *Bacillus niabensis 4T19* bakterilerinin bulunduğu 63 °C sıcaklığa sahip A3 yığnının pH'ı 8.1 olarak ölçülmüştür. Bizim çalışmamızda *Bacillus humi* bakterisi sadece termofilik sıcaklığa sahip yığnında bulunurken Cho ve arkadaşları (2008) aynı bakteriyi kompost sahasının bütün termofilik ve soğutma aşamalarında gözlemlemişlerdir.

Mikrobiyal türlerde en önemli değişiklik A4 yığnında sıcaklığın 81 °C'ye yükselmesiyle gerçekleşmiştir. Sıcaklığın hiper termofilik dereceye yükselmesiyle bakteriyel tür sayısında azalma olmuştur. Sıcaklık değişimi ve bakteri türü arasındaki benzer değişimi başka araştırmacılarda gözlemlemişlerdir[15]. Sıcaklık artışıyla birlikte A3 yığnındaki baskın bantlar kaybolurken 5 yeni bant baskın hale gelmiştir. *Geobacillus thermodenitrificans* (bant 13) kompost çalışmalarında aktif rol oynayan çubuk şekilli ve gram pozitif bir bakteridir. 40-75 °C sıcaklık aralığında faaliyetini sürdürmekte ve olumsuz çevre koşullarında spor oluşturan *G. thermodenitrificans* çeşitli organik maddelerden asit üretebilmekte, nişastayı hidrolize edilmekte ve diğer *Geobacillus* türleri gibi denitrifikasyon yapabilmektedir[31]. Termofilik ve hetotrofik olan *Pseudoxanthomonas taiwanensis* (bant 14) bakterisi ise NO₂⁻'yi azota

indirgeyebilmektedir[17]. *Bacillus coagulans* HC15 (bant 15) hem mezofilik hemde termofilik şartlarda yaşabilmekte iken *B. coagulans* bakterileri genel olarak asit şartlara karşı toleranslı protein, biyobozunur polyster ve organik maddeleri termofilik şartlarda ayrıştırabilmektedir[32]. *Uncultured bacterium pPD14* ve *B.coagulans* türlerinin her ikisinde başka araştırmacılar tarafından organik maddelerin termofilik kompostlaştırma aşamasında tespit edilmiştir[3].

Optimum yaşam koşulları 45-50 °C aralığında olan *Rhizobiales bacterium Nis3* (bant 17) bakterisi çok farklı organik karbonu kullanabilmektedir[19]. *Rhizobiales bacterium Nis3* bakterisi *Uncultured bacterium pPD14* (bant 16) ile birlikte sıcaklığın 81 °C olduğu A4 yiğininde gözlemlenirken daha sonraki mezofilik şartlarda tespit edilmemişlerdir. A reaktöründe sıcaklığın 81 °C'ye çıkmasıyla kaybolan *Acinobacter* türleri (bantlar 5-8) bir sonraki yiğinde 58 °C'de tekrar ortaya çıkmıştır. Sıcaklığın daha düşük olduğu sonraki yiğinlerde ise sadece *Uncultured Acinetobacter sp.* (bant 8) faaliyetlerine devam etmiştir. B reaktöründe *Acinobacter* türleri 62 °C'de aktif iken *Acinetobacter sp. N12* (bant 5) ve *Uncultured Acinetobacter sp.* (bant 8) bakterileri 58 °C yaşamaya devam etmiş (B4 ve B5), sonraki mezofilik yiğinlerde yine sadece *Uncultured Acinetobacter sp.* gözlenmiştir.

Thermobifida fusca (bant 18) bakterisi ilk defa her iki reaktörün 4. yiğininde ortaya çıkmıştır. *T. fusca* A reaktörünün sonraki her kademesinde tespit edilmiş fakat B reaktörünün mezofilik koşullarında gözlenmemiştir. Aerobik *T. fusca* bakterisi termofilik şartlarda faaliyet göstermekte ve kompostlaştırma sırasında hücre dışı enzimlerini kullanarak bitki hücre duvarını kolayca parçalayabilmektedir. Sıcaklık değişikliklerine karşı dayanıklı olan *T. fusca* geniş bir pH aralığında (pH 4-10) yaşayabilmektedir [35]. Başka araştırmacılar da çeşitli kompostlaştırma çalışmasında *T. fusca* bakterisini tespit etmişlerdir [19].

Sphingobacterium sp. MG2 (bant 21), *Sphingobacterium daejeonense* TR6-04 (bant 25), *Sphingobacterium composti* (bant 23) ve *Citrobacter freundii* SSCT56 (bant 26) bakterileri ilk defa 5. yiğinlerde ortaya çıkmış ve sonraki bütün kompost yiğinlerinde gözlemlenmiştir. Aerobik *S. daejeonense* bakterisi gram negatiftir ve olumsuz koşullarda spor oluşturamamaktadır. Çubuk şekilli *S. daejeonense* 15-42 °C ve pH 5.0-

9.0 aralığında yaşayabilmekte ve bir çok şekerden asit üretebilmektedir. Termofilik *Citrobacter freundii* bakterisi gram negatiftir ve fakültatif koşullarda yaşayabilmektedir. Nitratı indirgeyebilen ve üreyi hidroliz edebilen küresel şekilli *C. freundii* bakterisi çinko toksitesine karşı dayanıklıdır [34]. *S.composti*'nin faaliyetleri için optimum koşullar 45 °C, pH 6-9 ve % 0-5 NaCl'dir. Aerobik *S. composti* bakterisi lignini parçalayabilmekte ve birçok şekerden asit oluşturabilmektedir[19]. Benzer şekilde başka araştırmacılarda evsel katı atıkların kompostlaştırılması sırasında *S. composti* bakterisini gözlemlemişlerdir[26].

Saccharomonospora viridis (bant 27) her iki reaktörün sadece son yığınlarında gözlemlenmiştir. Başka araştırmacılarda domuz gübresi ve organik evsel atıkların kompostlaştırıldığı tam ölçekli bir tesiste dominant tür olarak *S. viridis*'i belirlediler[14]. A reaktörü ile karşılaştırıldığında B reaktörü 5 farklı türe sahiptir (bant 29-33). *Pseudoxanthomonas sp.* (bant 29) hem termofilik hemde ekstrem termofilik koşullarda yaşayabilmektedir. *Pseudoxanthomonas sp.* selülozü parçalayabilmekte ve kompostlaştırma sırasında pH'ı nötralize edebilmektedir[36]. Hiraishi vd. (2003) evsel atıkların kompostlaştırılması sırasında *Cytophaga fucicola* (bant 30) bakterisini belirlemişlerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesinin Kemerburgaz'da faaliyet gösteren Kısırmandra Geri Kazanım ve Kompost Tesisi'nin fermantasyon ünitesi boyunca fizikokimyasal karakteristikleri ve bakteriyel tür değişimleri araştırılmıştır.

Yapılan analiz çalışmalarında pH kompostlaşma süresince 8'e kadar yükselmiş ardından hafifçe azalma eğilimi göstererek olgunlaşma safhasında 7,5-8 aralığında kalmıştır. Nem muhtevası, başlangıç safhasında her iki reaktörde %60 mertebelerinde iken, proses sonuna kadar düzenli olarak azalıp %25 mertebelerine düşmüştür. C/N oranı da her iki reaktörde yakın korelasyon seyri gösterip proses sonunda 20'nin aşağısına düşmüştür. Sıcaklık değeri her iki reaktörün ilk üç haftalık döneminde paralellik gösterip, yaklaşık 50°C mertebelerindedir. Ancak A4 alanında yaşanan mekanik bir aksamadan dolayı A reaktöründe sıcaklık hipertermofilik (81°C) derecelere yükselirken B4 alanında 58 °C kalmıştır. İlerleyen haftalarda sıcaklıkta düşüş olmuş ve 44 °C mertebelerinde proses sonlanmıştır.

Proses boyunca özellikle sıcaklık ve pH'a bağlı olarak mikrobiyal formasyonda çeşitlilik yaşandığı ve kompostlaşma sürecinin her evresinde farklı bakteri türlerinin baskın hale geldiği gözlenmiştir. Bütün kompostlaştırma süreci değerlendirildiğinde en az bakteri türünün her iki reaktörün ilk yığınlarında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kompostlaşma aşamasının henüz tam manasıyla başlamaması ve yeterince bakteri çoğalmaması şeklinde yorumlanmıştır. Bakteriyolojik çeşitlilik, sıcaklık artışı ile artmış olup, A4 alanındaki ani sıcaklık artışı nedeniyle mikrobiyolojik çeşitlilikte bir azalma

meydana gelmiştir. *Acinetobacter* türleri kompostlaştırma prosesinin başlangıç aşamalarında baskın halde iken, *Sphingobacterium*, *Termobacillus* ve *Citrobacter* türleri olgunlaşma safhasında baskın hale geldiği gözlenmiştir. Benzer şekilde *Bacillus* türlerinin kompostlaşmanın ilk evrelerinde baskınlığı tespit edilmiştir. Termofilik sıcaklıklarda bakteriyolojik çeşitliliğin mezofilik ve hipertermofilik sıcaklıklara göre daha zengin olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda, kompostlaştırma prosesinde bakteri dinamiğinin sıcaklığa bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Özkaya, B. ve Demir, A.,(2009). “Kentsel Katı Atık Yönetiminde PCR-DGGE Dizi Analizi Temelli Moleküler Tekniklerle Mikrobiyal Tür Tayini”, TURKAY 2009, 15-17 Haziran 2009,İstanbul,41-49.
- [2] Diaz, L.F., De Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. ve Stentiford, E. (2007). Compost Science And Technology, Elsevier.
- [3] Ishii, K., Fukui, M. ve Takii, S., (2001). “Microbial Succession During A Composting Process As Evaluated By Denaturing Gradient Gel Electrophoresis Analysis”, Journal of Applied Microbiology, 89: 768–777.
- [4] Abid, N., Chamkha M., Godon J. ve Sayadı S., (2007). “Involvement of Microbial Populations During the Composting of Olive Mill Wastewater Sludge”, Enviromental Technology, 28: 751-760.
- [5] Yıldız, Ş., Ölmez, E. ve Kiriş, A., (2009). “Kompost Teknolojileri Ve İstanbul’daki Uygulamaları”, Kompostlaştırma Sistemleri Ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, 18-19 Haziran 2009, İstanbul.
- [6] Öztürk, İ., (2010). Katık Atık Yönetimi Ve AB Uyumlu Uygulamaları, İstaç Yayınları, İstanbul.
- [7] İSTAÇ A.Ş., (2010). Kompost El Kitabı, İstanbul.
- [8] Özkaya, B. ve Demir,A., (2012). ‘Kompost Teknolojileri ve Uygulama Örnekleri’, Su ve Çevre Dergisi, Haziran 2012.
- [9] Öztürk, İ., (2000). Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul
- [10] Endo, A. ve Okada, S., (2007). “*Lactobacillus Composti* Sp. Nov., A Lactic Acid Bacterium İsolated From A Compost Of Distilled Shochu Residue”, International Journal Systematic Evolutionary Microbiology, 57: 870-872.
- [11] Wakase, S., Sasaki,H., Itoh,K., Otawa,K., Kitazume,O., Nonaka,J., Satoh, M., Sasaki,T. ve Nakai, Y.,(2008). “Investigation of the microbial community in a microbiological additive used in a manure composting process”, Bioresource Technology, 99: 2687–2693.

- [12] Ryckeboer, J., Mergaert, J. ve Coosemans, J., (2003). "Microbiological Aspects Of Biowaste During Composting In A Monitored Compost Bin", *Journal of Applied Microbiology*,94:127–137.
- [13] Adams, J.D.W. ve Frostick, L.,(2009). "Analysis of Bacterial Activity, Biomass and Diversity During Windrow Composting", *Waste Management*,29: 598-605.
- [14] Steger, K., Sjogren, A.M., Jarvis,A., Jansson, J.K. ve Sundh, I.,(2007). "Development Of Compost Maturity And *Actinobacteria* Populations During Full-Scale Composting Of Organic Household Waste", *Journal of Applied Microbiology*, 103: 487–498.
- [15] Liu, J., Xu,X.H, Li, H.T. ve Xu, Y., (2011). "Effect Of Microbiological İnocula On Chemical And Physical Properties And Microbial Community Of Cow Manure Compost". *Biomass and Bioenergy*,35: 3433–3439.
- [16] T.C. Resmi Gazete, 20804 sayılı Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,(20804),14.03.1991.
- [17] Chen, M.Y., Tsay, S.S., Chen, K.Y., Shi, Y.C., Lin, Y.T. ve Gin, G.H., (2002). "*Pseudoxanthomonas Taiwanensis* Sp. Nov., A Novel Thermophilic, N₂O-Producing Species İsolated From Hot Springs", *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology*, 52: 2155–2161.
- [18] Pedro, S.,Haruta S., Hazaka, M., Shimada, R., Yoshida, C., Hiura, K., Ishii M., ve Igarashi, Y., (2001) "Denaturing Gradient Gel Electrophoresis Analyses of Microbial Community From Field-Scal Composter", *Journal of Bioscience and Bioengineeing*, 91:159-165.
- [19] Taylor, C.R., Hardiman, E.M., Ahmad, M., Sainsbury, P.D., Norris, P.R. ve Bugg, T.D.H., (2012). "Isolation Of Bacterial Strains Able To Metabolize Lignin From Screening Of Environmental Samples", *Journal of Applied Microbiology*, 9: 521-530.
- [20] Partanen, P., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P. ve Romantschuk, M., (2010). "Bacterial Diversity At Different Stages Of The Composting Process", *BMC Microbiology*,10: 94-104.
- [21] Van Gestel, K., Mergaert, J., Swings, J., Coosemans,J. ve Ryckeboer, J., (2003). "Bioremediation Of Diesel Oil-Contaminated Soil By Composting With Biowaste", *Environmental Pollution*, 125: 361–368.
- [22] Yıldız, Ş., (2010). Sorunlu Biokatıların Aerobik Stabilizasyonu, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Bayer, Y., (2008). Ayrı Toplamanın Kompostlaştırma Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] Öztürk, M., (2008). "Hayvan Gübresinden ve Atıklardan Kompost Üretimi", Ankara.
- [25] Hogg., D., Barth, j., Favoino, E., Centemero, M., Caimi, V., Amlinger, F., Devliegher,W., ve Antler, B.S. (2002). *The Waste and Resources Action*

Program Wrap Comparison of Compost Standarts With in The EU, North America and Australia.

- [26] Goff, O.L, Adan V.B., Bacheley, H., Godon , J.J. ve Wery N., (2010). “ The Microbial Signature of Aerosols Produced During the Thermophilic Phase of Composting” *Journal of Applied Microbiology*, 108:325-340.
- [27] T.C Resmi Gazete, 27601 Sayılı Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler Ve Toprak Düzenleyiciler İle Mikrobiyal, Enzim İçerikli Ve Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı Ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik.(27601), 04.06.2010.
- [28] Paul, J. ve Geesing, D., (2009). “Compost Facility Operator Manual” Abbotsford Printing Inc.
- [29] Topçu, N., (2006). Lahana Atıklarının Kompostlanması Ve Elde Edilen Kompostun Toprakta Parçalanma Süreci, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [30] Gautam, S.P, Bundela, P.S, Pandey, M.K, Awasthi, M.K ve Sarsaiya, S.(2010). “Microbial Consortium for Effective Composting of Municipal Solid Waste By Enzymatic Activities”, *Journal of Applied Science in Enviromental Sanitation*,5:301-308.
- [31] Sung, M.H. Kim H., Bae, J.W., Rhee, S.K., Jeon, C.O., Kim, K., Kim, J.J., Hong S.P., Lee, S.G., Yoon, J.H, Park Y.H. ve Baek ,D.H. (2002). “Geobacillus Toebii Sp. Nov., A Novel Thermophilic Bacterium Isolated From Hay Compost”, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*,52: 2251–2255.
- [32] Sakai, K., Kawano, H., Iwami, A., Nakamura, M.,ve Moriguchi, M. (2001). “Isolation of a Thermophilic Poly-L-Lactide Degrading Bacterium from Compost and Its Enzymatic Characterization”, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92: 298-300.
- [33] Maeda, K., Hanajima, D., Morioka, R., ve Osada T., (2010). “Characterization And Spatial Distribution Of Bacterial Communities Within Passively Aerated Cattle Manure Composting Piles” *Bioresource Technology*, 101: 9631–9637.
- [34] Hassen, A., Saidi, N., Cherif, M., ve Boudabous A., (1998). “Resistance Of Environmental. Bacteria To Heavy Metals” *Bioresource Technology*, 64: 7-15.
- [35] Lykidis, A., Mavromatis, K., Ivanova, N., Anderson, I., Lans, M., DiBartolo, G., Martinez, M., Lapidus, A., Lucas, S., Copeland, A., Richardson, P., Wilson, D.B. ve Kyrpides, N. (2007).”Genome Sequence and Analysis of the Soil Cellulolytic Actinomycete *Thermobifida fusca* YX” *Journal of Bacteriology*,189: 2477-2486.
- [36] Kato, S., Haruta, S., Cui, Z.J., Ishii, M. ve Igarashi, Y. (2005). “ Stable Coexistence of Five Bacterial Strains as a Cellulose –Degrading Community” *Applied and Enviromental Microbiology*, 71: 7099-7106.

MAKALE

Bu çalışma kapsamında hazırlanan “Profiling of Bacterial Community in Full-Scale Aerobik Composting Plant” makalesi, International Biodeterioration and Biodegradation’da 2013 yılı 77. sayısında 85-90 sayfaları arasında yayınlanmış olup, aşağıda sunulmuştur.



Profiling of bacterial community in a full-scale aerobic composting plant

Dogan Karadag^{a,*}, Bestami Özkaya^a, Esra Ölmez^b, Marika E. Nissilä^c, Mehmet Çakmakçı^a, Şenol Yıldız^b, Jaakko A. Puhakka^c

^a Department of Environmental Engineering, Yıldız Technical University, Davutpaşa, Istanbul, Turkey

^b Istanbul Environmental Management, Industry and Trading Company, Istanbul, Turkey

^c Department of Chemistry and Biotechnology, Tampere University of Technology, Tampere, Finland

ARTICLE INFO

Article history:
Received 20 September 2012
Received in revised form
22 October 2012
Accepted 24 October 2012
Available online

Keywords:
Aerobic
Full-scale composting
PCR-DGGE
Temperature
Microbial community

ABSTRACT

Changes in temperature, pH, moisture, C/N ratio, and bacterial community were monitored in Istanbul full-scale composting plant. C/N ratio steadily decreased during composting and final mature compost products had a C/N ratio of less than 20. During the composting process, temperature was mostly above 55 °C and decreased to mesophilic conditions in the matured stages. Different types of bacteria were dominant in every stage of composting and bacterial diversity changed mainly by temperature. *Bacillus* species were dominant in early stages of composting while *Acinetobacter* and *Sphingobacterium* strains were detected in thermophilic and maturing stages. Bacteria were mainly active in the degradation of cellulose and toxic organics while some strains had denitrification ability. Generally, thermophilic stages were more rich in bacterial diversity than mesophilic and hyperthermophilic conditions significantly changed the bacterial community.

© 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Rapid population growth and economical activities increase the amount of solid waste in urban areas. Managing the tremendous quantities of municipal solid waste (MSW) is a major task for local authorities. Sustainable management of MSW includes decreasing the waste amount to be landfilled and increasing the recycled amount of valuable materials and energy from waste streams. From the points of sustainable waste management and environmental benefits, composting has more benefits than other waste disposal alternatives. These benefits include increased stabilization of organics, minimization of waste amount to be landfilled, destruction of pathogens, and production of cheaper additive materials for agricultural applications (Bhattacharyya et al., 2007). Additionally, Lou and Nair (2009) reported that composting emits less greenhouse gases to atmosphere compared to landfilling.

Composting is an appropriate management alternative in developing countries due to the high organic fraction in MSW (Kanat et al., 2006). Researchers reported that MSW with organic content over 50% could be readily composted (Hoornweg et al., 1999). Composting has been successfully applied to stabilize the organic fractions of various waste streams such as municipal solid waste, treatment sludge, industrial waste and manure waste

(Bernal et al., 2009; Rupani et al., 2010). Biodegradable organic wastes within MSW are converted to stabilized final products by natural aerobic microorganisms, such as bacteria, fungi and other microorganisms. Microbial community needs adequate amount of moisture and oxygen along with temperature control and mixing during composting.

Monitoring the bacterial diversity is crucial for the successful operation of composting process. In recent years, denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) on PCR-amplified partial 16S rRNA sequences has been widely applied to profile the bacterial communities in environmental processes (Vivas et al., 2009; Liu et al., 2011a). So far, bacterial profiling has been mostly conducted in lab or pilot-scale plants due to the easy control of conditions in small scale. On the other hand, little information has been documented about the bacterial communities in a full-scale composting plants and there is a need to better understand the bacterial dynamics under real conditions. The objective of this study was to investigate the bacterial composition at different stages of aerobic MSW composting in a full-scale plant.

2. Materials and methods

2.1. Compost plant

Daily, 14,000 tons of municipal solid waste is generated in Istanbul and approximately 54% of composition is organic content

* Corresponding author. Tel.: +90 2123835384.
E-mail address: dogankaradag@mail.com (D. Karadag).

(Yıldız et al., 2012). Istanbul full-scale composting plant has been operated since 2001 and its capacity is 1000 tons per day. In the plant, ash, ferrous and recyclable materials are separated from waste stream by sieve, magnetic separator and hand-sorting, respectively, prior to the composting. The plant consists of two independent lines (dedicated as process A and B) with identical properties. Waste is transferred by conveyor belts to two rotary drum sieves, which have a diameter of 3.35 m, length of 12.47 m, 80 mm pore diameter and 2° slope (Kanat et al., 2006) and composted by tunnel method. Each tunnel pile is 3 m long, 2 m wide and 1 m high.

During the study, about 25 tons of organic waste was composted for 7 weeks. Each pile was aged for one week and transferred by turning machines. For the first three weeks, waste piles were continuously aerated with hot air, which was positively pressurized from the bottom of piles. Hot pressurized air provided thermophilic conditions for the degradation of high organic content of municipal solid waste at initial composting stages. Following thermophilic phase, compost was cooled by the introduction of atmospheric air into piles by negative pressure aeration. Negative pressure aeration was conducted by vacuum in the bottom of the piles while vacuumed hot air was given to positive pressured aeration system. Temperature and pH in composting piles were daily measured and temperature was controlled with the adjustment of aeration flow.

2.2. Physicochemical analysis

About 3 kg of compost sample was taken at a depth of 1.5 m from the top of the pile and temperature was measured at sample location. Moisture content was measured by the weight lost after drying at 105 °C in an oven (Memmerd 800). C/N was calculated by measuring organic carbon and total nitrogen contents using the dry combustion methods after oxidation of nitrogen at 900 °C and quantification using thermal conductivity (Dignac et al., 2005). Compost samples were grinded with a mixer mill and suspended with distilled water at a 1:10 ratio while pH was measured using pH meter (Orion) after magnetically stirring of suspension for 1 h.

2.3. Bacterial community analysis

The diversity and changes in the bacterial community of compost was profiled by DNA extraction and PCR-DGGE of partial 16S rRNA genes followed by their sequencing. Extraction of DNA from the samples was performed using PowerSoil DNA isolation kit based on manufacturer's instructions. Universal GC-BacV3f and 907r primers were used for amplifying the bacterial 16S rRNA genes for DGGE analysis.

Each PCR reaction mixture was prepared with a total volume of 50 µl containing 1 µl of each DNA extract to 0.25 µl of 100 mM primers, 5 µl combination of 10 × reaction buffer (Tris–HCl, pH 8.8), 0.2 µl of 25 mM dNTPs, 0.75 µl Dymazyme II DNA polymerase, 1 µl bovine serum albumin, and 41.8 µl sterile purified water. PCR amplification of 16S rRNA was performed with T3000 Thermocycler (Biometra) using the following protocol: initial denaturation at 95 °C for 5 min, followed by 30 cycles of denaturing at 94 °C for 0.5 min, annealing at 50 °C for 1 min and extension at 72 °C for 2 min, final extension at 72 °C for 10 min and end at 4 °C.

DGGE profiling of bacterial communities was performed using INGENY phorU2x2 system. Electrophoresis was carried out in 8% acrylamide gels with a denaturing gradient from 30 to 70% (7M urea plus 40% formamide). Gels were run at 60 °C for 22.5 h at 100 V, stained with SYBRs Gold and bands were visualized under blue light. Dominant bands were eluted in sterile water overnight. The re-amplification of bands for sequencing was

conducted as described by Koskinen et al. (2007). Sequences were compared with the data in GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast/>).

3. Results and discussion

3.1. Changes in physicochemical properties

Temperature profiles of sampling points were shown in Fig. 1. Temperature of first piles at each process was around 50 °C and entered the thermophilic phase at the first week. During the first three weeks, temperature profile of two composting processes was similar. However, temperature of pile A4 (81 °C) differed from pile B4 (58 °C) due to mechanical problem in aeration system. Temperature gradually decreased to below 40 °C throughout the following three weeks and it was 31 °C in the last piles of both processes.

At the first two piles, pHs of the processes differed and were 6.2 and 7.3 in process A and 7.9 and 8.0 in process B, respectively. pH of process A significantly increased to 8.1 at pile A3 and then steadily decreased to 7.7 in pile A6. It again slightly increased to pH 8.0 at the final stage. Other researchers reported similar pH profile during the composting of various wastes (Gigliotti et al., 2012). Compared to process A, pH was more stable during the composting in process B. pH increased from 7.9 at pile B1 to 8.2 at pile B4, and gradually decreased to 7.5 at pile B7. Fig. 2

Moisture was high around 60% at the first pile while it continuously decreased during the following composting stages of the two processes. Decrease in moisture was related to high temperature and aeration. Moisture contents in both processes were similar at first three piles. However, process A had considerably lower moisture than process B after week 4 due to high temperature in pile A4. Moisture contents in final stages were 23.5% and 25.4% in A7 and B7, respectively. Fig. 3

During the composting, bacteria use carbon for energy production and nitrogen for cell growth. C/N ratio considerably changes in active composting stages and it is widely used to measure the compost maturity. In thermophilic phase, C/N ratio of process A decreased at higher rate than B, while process B had higher C/N ratios in all composting stages. Throughout the composting, C/N ratios gradually decreased from 23.6 to 24.7 to 15.9 and 18.9 in processes A and B, respectively. Similar trend was reported by other researchers and it has been stated that matured compost has C/N ratio below 20 (Hachicha et al., 2012). Fig. 4

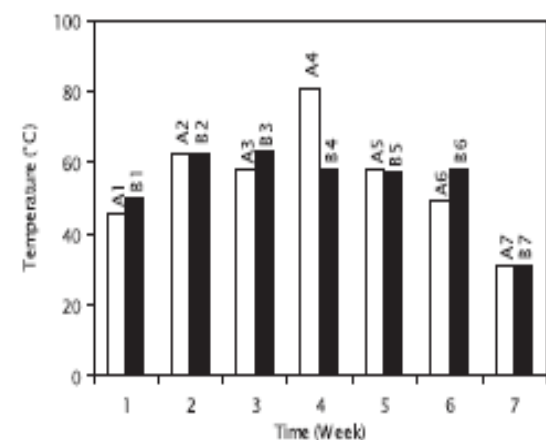


Fig. 1. Temperature profiles of municipal solid waste composting.

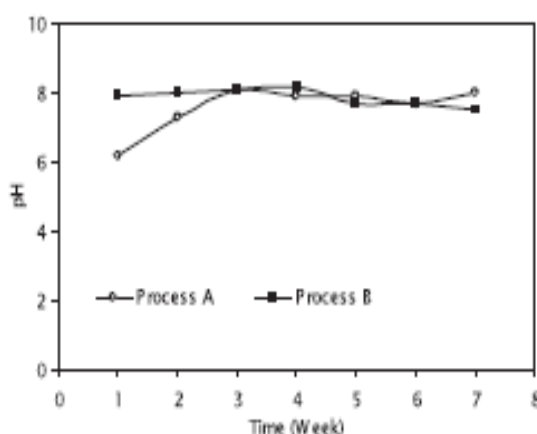


Fig. 2. Evolution of pH during composting of municipal solid waste.

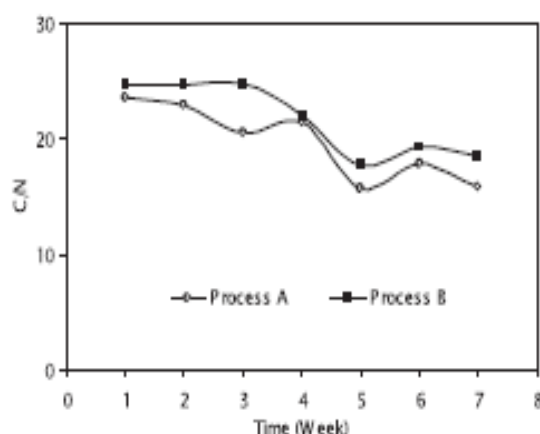


Fig. 4. Changes in C/N ratio during composting of municipal solid waste.

3.2. Changes in bacterial community

The bacterial communities were very dynamic during the composting processes and 32 different strains were detected in the DGE profiles (Fig. 5). The closely related microbial strain for each band is presented in Table 1. Profiling of bacterial communities indicated that bacterial dynamics of the two processes were mostly the same while some differences in bacterial diversity mainly depended on operational conditions. The first piles of the two composting processes had different temperatures of 46 °C in A1 and 50 °C in B1, while these two piles had the same two dominant bands. Sequence analysis revealed that band 1 and band 2 were related to *Lactobacillus composti* strains. *L. composti* strains are gram-positive, rod shaped bacteria with the ability of acid fermentation from various organic matters (Endo and Okada, 2011). *Lactobacillus* strains are dominant in the early stage of composting and *L. composti* strains were reported in many composting process (Wakase et al., 2008).

At the second pile, temperature increased to 62 °C. Piles A2 and B2 were dominated mainly by *Psychrobacter maritimus* (band 4), *Acinetobacter* (bands 5–8) and *Microbacterium trichotaxenolyticum* (band 12) strains. Besides, pile B2 had three different bands (24, 28 and 29) related to *Bacteroidetes endosymbiont*, *Flavobacterium* sp. V12 and *Pseudomonas montei*, respectively. *Acinetobacter* species can grow in aerobic or anaerobic conditions and is able to degrade a wide range of hydrocarbons, including petroleum oils

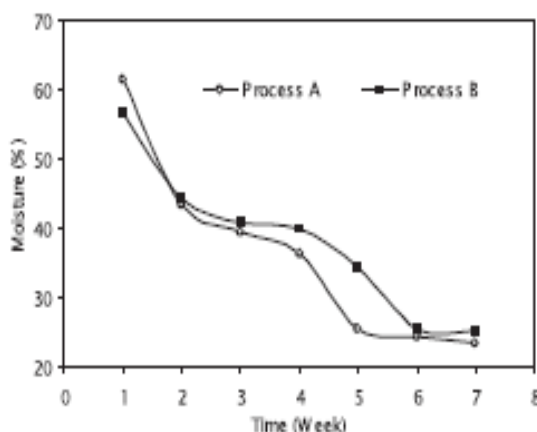


Fig. 3. Moisture profile of municipal solid waste composting.

(Van Gestel et al., 2003). *Flavobacterium* is active during the composting of lignocellulosic materials and has higher performance at mesophilic temperatures and pH 6.0. (Gautam et al., 2010). A wide variety of *Flavobacterium* species has been detected in various stages of composting processes (Sasaki et al., 2009). *Microbacterium* strains are aerobic bacteria and grow optimally at 45–50 °C and are able to degrade lignin, aromatic organics and even toxic compounds (Steger et al., 2007; Taylor et al., 2012). *Bacteroidetes* can utilize many macromolecules such as proteins, starch, cellulose, and chitin and have been reported in various lab and full-scale composting facilities (Partanen et al., 2010). Similar to our results, Cho et al. (2008) detected *B. endosymbiont* in both mesophilic and the thermophilic stages of composting process.

When compost was transferred to third piles, bacterial diversity in process A had more changes than process B. The temperature in both piles A2 and A3 was around 60 °C and the differences in pH and moisture. *Bacillus humi* (band 9), *Bacillus niabensis* strain 4T19 (band 11) and *Acinetobacter* sp. 1 DY1 (band 10) were only visible in pile A3 and they became invisible at the following piles. This result indicated that these strains need very specific pH and moisture conditions to survive during composting. Similar change was observed for band 3. Band 3 belonged to *Flavobacterium* sp. EP333 and was only dominant at A3 and B3 piles, which had temperature over 58 °C, pH 8.1 and moisture of around 40%.

Similar to our DGE profile, other researchers detected dominant thermophilic *Bacillus* species in the initial thermophilic stages of composting process (Ryckeboer et al., 2003). Maeda et al. (2010) detected *Bacillus niabensis* and *Bacillus humi* along with some other *Bacillus* species at thermophilic conditions of cattle manure composting and indicated that *Bacillus* species are alkaliphilic strains with an optimum pH range of 7.0–9.0. This information supports our findings since *Bacillus humi* was dominant at 63 °C and pH 8.1 in the pile A3 while it became invisible with the changes in composting conditions. On the other hand, Cho et al. (2008) detected *Bacillus humi* at all thermophilic and cooling stages of composting.

The most drastic changes in microbial diversity were observed when the temperature increased to 81 °C in pile A4. Microbial diversity decreased with the increased temperature and this is consistent with previous report (Liu et al., 2011b). Dominant bands of previous pile disappeared and five new bands became dominant in pile A4. *Geobacillus thermodenitrificans* (band 13) is a rod-shaped gram-positive bacterium and abundant in composting process. It can form endospore and live in the temperature range of 40–75 °C. *G. thermodenitrificans* can produce acid from various organics and

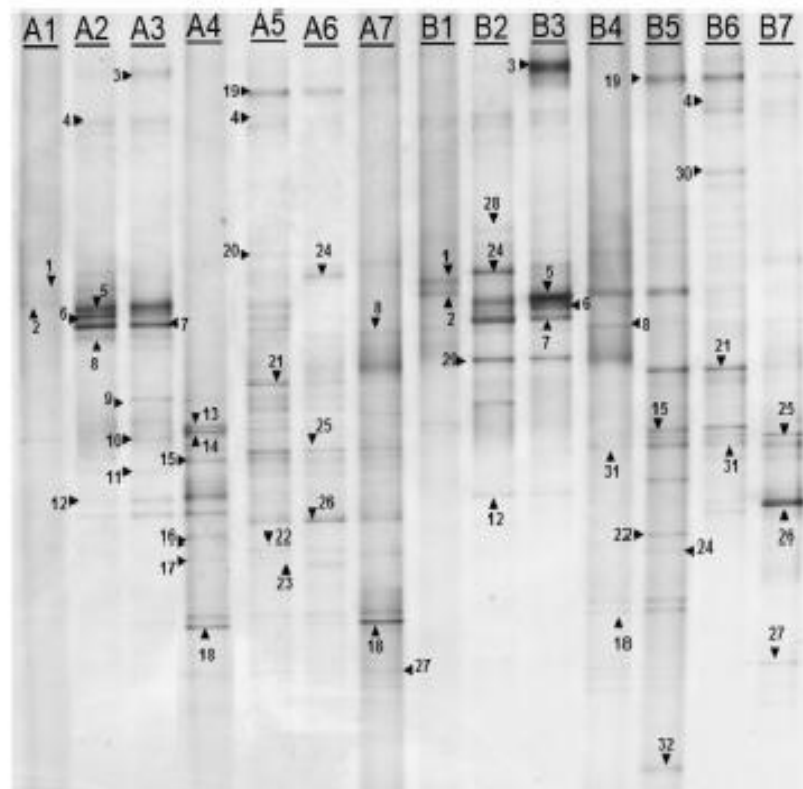


Fig. 5. DGE profile of bacterial diversity in municipal solid waste composting plant.

hydrolyze starch with denitrification ability similar to some other *Geobacillus* strains (Sung et al., 2002). *Pseudoxanthomonas taiwanensis* (band 14) is thermophilic, non-sporulating and heterotrophic organisms, and can reduce nitrite to nitrogen (Chen et al., 2002; Székely et al., 2009). *Bacillus coagulans* HCl5 (band 15) was dominant both at thermophilic and mesophilic conditions. *B. coagulans* is acid-tolerant species and decomposes protein, biodegradable polyester and other organic matters at thermophilic conditions (Sakai et al., 2001). Both *Uncultured bacterium pPD14* and *B. Coagulans* were detected in the thermophilic composting of organics (Ishii et al., 2001).

Rhizobiales bacterium (band 17) grows optimally at 45–50 °C and has the ability to utilize various aromatic carbon sources (Taylor et al., 2012). It appeared at 81 °C along with *U. bacterium pPD14* (band 16) which both survived at 58 °C in the next pile while they disappeared at subsequent mesophilic conditions. However, they were not observed at the second composting process. This result indicated those strains can survive at thermophilic conditions and need hyperthermophilic conditions to be germinated.

At process A, *Acinetobacter* strains (bands 5–8) disappeared when temperature increased to 81 °C and became visible again at 58 °C (pile A5). Three *Acinetobacter* strains disappeared again and only *Uncultured Acinetobacter* sp. (band 8) survived during the following composting piles at lower temperatures. At process B, same *Acinetobacter* strains were dominant at 62 °C while both *Acinetobacter* sp. N12 (band 5) and *Uncultured Acinetobacter* sp. (band 8) survived at 58 °C (piles B4 and B5) while only band 8 was present at mesophilic conditions.

Thermobifida fusca (band 18) first appeared at the fourth pile of both composting processes and survived during the following piles in the first process while it was not detected in mesophilic conditions in process B. *T. fusca* is an aerobic thermophilic bacterium and

can degrade all major plant cell walls with its extracellular enzymes during composting. It is thermostable and lives in a broad pH range (from 4 to 10) (Lykidis et al., 2007). The presence of *T. fusca* has been reported in the composting processes (Székely et al., 2009; Taylor et al., 2012).

U. bacterium N10 (band 20) only appeared in the pile A5 and was not detected in other piles. *Sphingobacterium* sp. MG2 (band 21), *Sphingobacterium daejeonense* TR6-04 (Band 25), *Sphingobacterium composti* (band 23) and *Citrobacter freundii* SSCT56 (band 26) were firstly visible at fifth piles and survived during the following piles. *S. daejeonense* is an aerobic gram-negative bacterium and does not form spores. Rod-shaped *S. daejeonense* grows in the temperature ranges of 15–42 °C and from pH 5.0 to pH 9.0, and can produce acids from various sugars (Kim et al., 2006). *C. freundii* is a thermophilic gram-negative bacterium and facultative anaerobe. It has circular structure with the ability of nitrate reduction and urea hydrolysis. *C. freundii* is tolerant to zinc toxicity and has been detected in thermophilic composting (Droffner et al., 1995; Hassen et al., 1998). Optimum conditions for *S. composti* are temperature of 10–45 °C, pH of 6–9 and NaCl of 0–5% (Yoo et al., 2007). *S. composti* can degrade lignin and produce acids from many sugars in aerobic conditions (Taylor et al., 2012). Researchers reported the presence of *S. composti* in windrow composting of municipal solid waste and green waste (Le Goff et al., 2010).

Saccharomonospora viridis (band 27) was detected only at the last piles of two processes. *S. viridis* was a dominant strain in the aerobic composting of swine manure and organic household waste in a full-scale plant (Steger et al., 2007). Compared to the process A, process B had five different strains (bands 29–33). *Pseudoxanthomonas* sp. (band 29) can live both in thermophilic and extremely thermophilic environments. *Pseudoxanthomonas* sp. may enhance cellulose degradation by their acetate-consuming effect and

Table 1
Closest relatives of DGGE bands.

Band no.	Bacteria	Accession no.	Similarity %
1	<i>Lactobacillus composti</i> strain NR0C 0680	AB268118	87
2	<i>Lactobacillus composti</i> strain NR0C 0690	AB268119	95
3	<i>Flavobacterium</i> sp. E9333	EU017400	90
4	<i>Psychrobacter nauticus</i>	AJ809272	80
5	<i>Acinetobacter</i> sp. N12	AB208876	97
6	<i>Acinetobacter</i> sp. B910	EF198473	98
7	<i>Acinetobacter</i> sp. H5149	HM461174	96
8	Uncultured <i>Acinetobacter</i> sp.	JQ740258	80
9	<i>Bacillus thuri</i>	AJ27209	92
10	<i>Acinetobacter</i> sp. 1 LV1	AJ007008	94
11	<i>Bacillus thuriosus</i> strain 4T19	AY998119	97
12	<i>Micobacterium trichocerosoliticum</i>	DQ640002	90
13	<i>Geobacillus thermoadaptiflorus</i> CMB-A7	GQ203466	85
14	<i>Parafornomonas taiwanensis</i>	AM92275	98
15	<i>Bacillus coagulans</i> HC15	AF252329	98
16	Uncultured bacterium pPD14	AF252325	95
17	<i>Rhizobium bacterium</i> N83	AB963785	100
18	<i>Thermobifidus fuscus</i>	AB805429	97
19	Uncultured compost bacterium WPOT13	AB487980	98
20	Uncultured bacterium N10	EU215312	91
21	<i>Sphingobacterium</i> sp. MG2	AJ56447	83
22	<i>Thermobacillus</i> sp. WSJLV1	GU289514	95
23	<i>Sphingobacterium composti</i>	EF122486	95
24	<i>Bacteroides endosymbiont</i>	AY753171	95
25	<i>Sphingobacterium dijeonense</i> TRS-04	AB249372	90
26	<i>Citrobacter freundii</i> SCT56	AB210978	88
27	<i>Saccharomonospora viridis</i>	AB962400	100
28	<i>Flavobacterium</i> sp. V12	AJ044690	86
29	<i>Parafornomonas montei</i> Pa:54	AF064458	91
30	<i>Cytophaga fuscicola</i>	AJ005973	92
31	<i>Parafornomonas</i> sp. RAT/5	GU723511	88
32	Uncultured bacterium C6	AB346726	100

consequent pH neutralization during composting (Kato et al., 2005). Hiraishi et al. (2003) detected *Cytophaga fuscicola* (band 30) during the composting of household biowaste.

4. Conclusions

Physicochemical characteristics and bacterial profiles were monitored in a full-scale composting place and the following conclusions can be made of this study:

Compost pH gradually increased over 8.0 in active composting stages and then slightly decreased to between 7.5 and 8.0 in maturing phase. Moisture content continuously decreased from 60% to around 25% and high temperature mainly affected the moisture changes. C/N ratio decreased to below 20 in the final stage. Microbial diversity increased with temperature whilst sudden change of temperature to hyperthermophilic degree (81 °C) decreased bacterial diversity. *Acinetobacter* strains dominated at initial stages of composting while mature compost was dominated by bacteria belonging to genera *Sphingobacterium*, *Thermobacillus* and *Citrobacter* at mature conditions. These results indicate that bacterial dynamics in a composting plant mainly depends on temperature.

Acknowledgment

This research has been supported by Yildiz Technical University Scientific Research Projects Coordination Department. Project Number: 2011-05-02-KAP04.

References

Bernal, M.P., Albuquerque, J.A., Mosal, R., 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology* 100, 5444–5453.

Bhattacharya, P., Chakrabarti, K., Chakraborty, A., Nayak, D.C., Tripathy, M., Powell, A., 2007. Municipal waste compost as an alternative to cattle manure for supplying potassium to lowland rice. *Chemosphere* 68, 1789–1793.

Chen, M.Y., Tsay, S.S., Chen, K.Y., Shih, Y.C., Lin, Y.T., Gih, G.H., 2002. *Pseudomonas taiwanensis* sp. nov., a novel thermophilic, N₂O-producing species isolated from hot springs. *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology* 52, 2155–2161.

Cho, K.M., Sun, M.L., Math, R.K., Anfal, I., Kamiranda, D.M., Jong, M.K., Myoung, G.Y., Ji, J.C., Jong, O.K., Young, H.I., Kim, H., Han, D.Y., 2008. Culture-independent analysis of microbial succession during composting of swine slurry and mushroom cultural wastes. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 18, 1874–1883.

Dignac, M.F., Houar, S., Franco, C., Dejenne, S., 2005. Pyrolytic study of compost and waste organic matter. *Organic Geochemistry* 36, 1054–1071.

Droffner, M.L., Brinton, J.W.F., Evans, E., 1995. Evidence for the prominence of well characterized mesophilic bacteria in the mesophilic (50–70 °C) composting environments. *Biomass and Bioenergy* 8, 191–195.

Endo, A., Okada, S., 2011. *Lactobacillus composti* sp. nov., a lactic acid bacterium isolated from a compost of distilled shochu residue. *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology* 61, 1356–1359.

Gautam, S.P., Bandela, P.S., Pandey, A.K., Awasthi, M.K., Sarin, S., 2010. Microbial consortium or effective composting of municipal solid waste by enzymatic activities. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation* 5, 301–308.

Gebrey, G., Proietti, P., Said-Pullicino, D., Nasini, L., Pozzella, D., Rosati, L., Riccardo, P., 2012. Co-composting of olive husks with high moisture contents: organic matter dynamics and compost quality. *International Biodeterioration and Biodegradation* 67, 8–14.

Hachicha, R., Rekk, O., Hachicha, S., Ferchichi, M., Woodward, S., Moncef, S., Cegarrad, J., Mechichi, T., 2012. Co-composting of spent coffee ground with olive mill wastewater sludge and poultry manure and effect of *Trametes versicolor* inoculation on the compost maturity. *Chemosphere* 88, 677–682.

Hassen, A., Saidi, N., Chenif, M., Boudabous, A., 1998. Resistance of environmental bacteria to heavy metals. *Bioresource Technology* 64, 7–15.

Hiraishi, A., Takashi, N., Yosuke, Y., 2003. Microbial community dynamics during start-up operation of flowerpot-using fed-batch reactors for composting of household biowaste. *Environmental Microbiology* 5, 765–776.

Hoomweg, D., Thomas, L., Otten, L., 1999. Composting and its applicability in developing countries. In: *Urban Development Division*. The World Bank, Washington, DC.

Ishii, K., Fukui, M., Taki, S., 2001. Microbial succession during a composting process as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Journal of Applied Microbiology* 89, 768–777.

Kanat, G., Demir, A., Ozkaya, B., Bilgili, M.S., 2006. Addressing the operational problems in a composting and recycling plant. *Waste Management* 26, 1384–1391.

Kato, S., Haruta, S., Cai, Z.J., Ishi, M., Iyasaki, Y., 2005. Stable coexistence of five bacterial strains as a cellulose-degrading community. *Applied and Environmental Microbiology* 71, 7099–7106.

Kim, K.H., Leonid, N., Liu, Q.M., Im, W.T., Lee, S.T., 2006. *Sphingobacterium dijeonense* sp. nov., isolated from a compost sample. *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology* 56, 2081–2086.

Kukkonen, P.P., Kalkonen, A.H., Puhakka, J.A., 2007. The relationship between instability of H₂ production and compositions of bacterial communities within a dark fermentation fluidized-bed Bioreactor. *Biotechnology and Bioengineering* 97, 742–758.

Le Gall, O., Bru-Adan, V., Bacheley, H., Godon, J.J., Wéry, N., 2010. The microbial signature of aeration produced during the thermophilic phase of composting. *Journal of Applied Microbiology* 108, 325–340.

Liu, J., Xu, X.H., Li, H.T., Xu, Y., 2011a. Effect of microbiological inocula on chemical and physical properties and microbial community of cow manure compost. *Biomass and Bioenergy* 35, 3433–3439.

Liu, P.W.G., Chang, T.C., Whang, L.M., Kao, C.H., Pan, P.T., Cheng, S.S., 2011b. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: effects of strategies and microbial community shift. *International Biodeterioration and Biodegradation* 65, 1119–1127.

Lou, X.F., Nair, J., 2009. The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – a review. *Bioresource Technology* 100, 3792–3798.

Lykakis, A., Konstantinos, M., Natalia, I., Anderson, I., Land, M., Dibartolo, G., Martinez, M., Lapidis, A., Lucas, S., Copeland, A., Richardson, P., Wilson, D.B., Kypides, N., 2007. Genome sequence and analysis of the soil cellulolytic actinomycete *Thermobifidus fuscus* YX. *Journal of Bacteriology* 189, 2477–2486.

Maeda, K., Hanajima, D., Morioka, R., Osada, T., 2010. Characterization and spatial distribution of bacterial communities within passively aerated cattle manure composting piles. *Bioresource Technology* 101, 9631–9637.

Penttinen, P., Huittinen, J., Paulin, L., Auvilinen, P., Romanoschuk, M., 2010. Bacterial diversity at different stages of the composting process. *BMC Microbiology* 10, 94–104.

Rapak, P.F., Singh, R.P., Ibrahim, M.H., Esa, N., 2010. Review of current palm oil mill effluent (POME) treatment methods: Vermicomposting as a sustainable practice. *World Applied Sciences Journal* 10, 1190–1201.

Ryckebors, J., Mergaert, J., Coosemans, J., 2003. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied Microbiology* 94, 127–137.

Sakai, K., Kawano, H., Inami, A., Nakamura, M., Moriguchi, M., 2001. Isolation of a thermophilic Poly-L-lactide degrading bacterium from compost and its enzymatic characterization. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 92, 298–300.

- Sasaki, H., Nonaka, J., Otawa, K., Kitazume, O., Asano, R., Sasaki, T., Nakai, Y., 2009. Analysis of the structure of the bacterial community in the livestock manure-based composting process. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 22, 113–118.
- Seger, K., Sjogren, A.M., Jarvis, A., Jansson, J.K., Sandh, I., 2007. Development of compost maturity and *Actinobacteria* populations during full-scale composting of organic household waste. *Journal of Applied Microbiology* 103, 487–498.
- Sung, M.H., Kim, H., Bae, J.W., Rhee, S.K., Jeon, C.E., Kim, K., Kim, J.J., Hong, S.P., Lee, S.G., Yoon, J.H., Park, Y.H., Baek, D.E., 2002. *Geobacillus taehii* sp. nov., a novel thermophilic bacterium isolated from hay compost. *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology* 52, 2251–2255.
- Székely, A.J., Sipos, R., Berta, B., Vajna, B., Hajdó, C., Máriaigeti, K., 2009. DGGE and T-RFLP analysis of bacterial succession during mushroom compost production and sequence-aided T-RFLP profile of mature compost. *Microbial Ecology* 57, 522–533.
- Taylor, C.R., Hardiman, E.M., Ahmad, M., Sainsbury, P.D., Norris, P.R., Bugg, T.D.H., 2012. Isolation of bacterial strains able to metabolize lignin from screening of environmental samples. *Journal of Applied Microbiology* 9, 521–530.
- Van Gestel, K., Mergaert, J., Swings, J., Goemans, J., Ryckebout, J., 2008. Bioremediation of diesel oil-contaminated soil by composting with biowaste. *Environmental Pollution* 125, 361–368.
- Vivas, A., Moreno, B., García-Rodríguez, S., Benítez, E., 2009. Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste. *Bioresource Technology* 100, 1319–1326.
- Walase, S., Sasaki, H., Itoh, K., Otawa, K., Kitazume, O., Nonaka, J., Sato, M., Sasaki, T., Nakai, Y., 2008. Investigation of the microbial community in a microbiological additive used in a manure composting process. *Bioresource Technology* 99, 2687–2693.
- Yildiz, S., Yaman, C., Demir, G., Orcan, H.K., Coban, A., Okten, H.E., Sezer, K., Goren, S., 2012. Characterization of municipal solid waste in Istanbul, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.11640>.
- Yoo, S.H., Weon, H.Y., Jang, H.B., Kim, B.Y., Kwon, S.W., Go, S.J., Stackebrandt, E., 2007. *Sphingobacterium composti* sp. nov., isolated from cotton-waste compost. *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology* 57, 1500–1508.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Vasfiye Esra ÖLMEZ
Doğum Tarihi ve Yeri :30.08.1981 – Karabük
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : eolmez@istac.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Çevre Mühendisliği	Trakya Üniversitesi	2003
Lise	Sayısal	Fatih Kız Lisesi	1999

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012	İSTAÇ A.Ş.	İş Geliştirme Şefi
2009	İSTAÇ A.Ş.	Etüt Şefi
2005	İSTAÇ A.Ş.	Çevre Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Profiling of bacterial community in a full-scale aerobic composting plant, International Biodeterioration & Biodegradation (2013) 85-90

Bildiri

1. Yıldız, S., Olmez, E., Kiriş, A.,(2009). “Kompost Teknolojileri ve İstanbul’daki Uygulamaları”, Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları,18-19 Haziran 2009
2. Yıldız, S., Yılmaz , E., Olmez, E.,(2009). “Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri: İstanbul Örneği”, TURKAY 2009 Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, 15-17 Haziran 2009
3. Yıldız, S., Olmez, E., Ataselim, F.,(2009). “Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Depo Gövdesindeki Su Muhtevasının Doğal Potansiyel ve Elektrik Özdirenç Yöntemleri Kullanılarak Tespiti”, TURKAY 2009 Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, 15-17 Haziran 2009
4. Olmez, E., Yıldız.,(2008)İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli, Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 02-06 Kasım 2008
5. Yıldız, S., Olmez, E.,(2008). Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Shasının Hidrolik Kütle Dengesinin İncelenmesi ve Yağmur Suyunun Sızıntı Suyu Oluşumuna Etkisi, Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 02-06 Kasım 2008
6. Yıldız, S., Kocakulak E.,Ölmez E. (2005).”Alternatif Tıbbi Atık Bertaraf Teknolojileri”. Tıbbi Atıkların Yönetimi ve Bertaraf Teknolojileri

Eğitimi, 25-27 Temmuz 2005,İstanbul.

Proje

1. Pakistan Penjab Eyaleti, Lahor Şehri için Ulusal ve Uluslararası Standartlara Uygun Entegre Atık Yönetiminin Planlanması, İSTAÇ A.Ş., (2010-2013)
2. Erzurum Büyükşehir Belediyesi Entegre Katı Atık Yönetimi Projesi, İSTAÇ A.Ş.- BTC (2011-2014)
3. İBB Kemerburgaz Kompost Tesisinde Üretilen Kompostun Bitki Yetiştiriciliğinde ve Çim Sahalarda Gübre Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması Projesi, TÜBİTAK Projesi, Proje No: 105G148 (2006-2009)
4. Fatsa Belediyesi, Vahşi Depolama Sahasının Rehabilitasyonu Projesi(2011)
5. IWA Regional Conference and Exhibition on Membrane Technology and Water Reuse, IWA-MTWR-2010 , İSTAÇ A.Ş. –İTÜ(18-22 Kasım 2010)
6. Düzenli Depolama Sahası Etüt Projeleri (Kilis, Niğde, Nizip, Edirne, Kastamonu, Malatya, Balıkesir, Sırbistan vb.) (2009-2011)
7. Gümüşhane Aktarma İstasyonu Projesi, İSTAÇ A.Ş.(2010)
8. Organik Kaynaklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi & Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, ORAK 2010, (8-9 Haziran 2010)
9. Antakya Belediyesi, Vahşi Depolama Sahasının Projelendirilmesi, İSTAÇ A.Ş. (2010)
10. Odayeri ve Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahalarının İlave Tahsis Alanlarının Projelendirilmesi

11. Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İSTAÇ A.Ş-İTÜ (2008), 02-06 Kasım 2008
12. Katı Atık Eğitim Projesi, İSTAÇ A.Ş. (2005)
13. İstanbul İçin AB Müktesebatıyla Uyumlu Entegre Katı Atık Yönetimi Planı, İTÜ- İSTAÇ A.Ş. (2005)