

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BESİ TAVUĞU KÜMES ATIKLARININ FARKLI KATKI
MALZEMELERİYLE AEROBİK KOMPOSTLAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Işıl TANUĞUR

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Programı: Çevre Bilimleri ve Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim DEMİR

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BESİ TAVUĞU KÜMES ATIKLARININ FARKLI KATKI
MALZEMELERİYLE AEROBİK KOMPOSTLAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Işıl TANUĞUR

(501021529)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 03 Haziran 2009

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim DEMİR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Fatoş Germirli BABUNA (İTÜ)
Prof. Dr. Günay KOCASOY (BÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında fikirleri ve yardımlarını esirgemeyen, her türlü desteğini yanımda hissettiğim değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. İbrahim DEMİR' e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Katkılarıyla çalışmalarımı yönlendirmemi sağlayan, fikirlerinden ve pratik çözümlerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Osman A. ARIKAN'a, sevgili arkadaşım C. Gonca KAYNAK'a, laboratuvar çalışmalarında yardım eden ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ laboratuvar çalışanlarına, PAK TAVUKÇULUK' a ve emeği geçen herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasında maddi ve manevi desteğini gördüğüm, beni yetiştiren ve okumam için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2009

Işıl TANUĞUR
Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konunun Anlam ve Önemi.....	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	1
2. KOMPOSTLAŞTIRMA PROSESİ.....	3
2.1 Kompostlaştırma Prosesinin Tanımı.....	3
2.2 Aerobik Kompostlaştırma Prosesinin Genel Esasları.....	3
2.3 Aerobik Kompostlaştırma Prosesine Etki Eden Faktörler.....	6
2.3.1 Dane boyutu.....	6
2.3.2 Su muhtevası.....	7
2.3.2.1 Su muhtevası ve serbest hava boşluğu arasındaki ilişki.....	8
2.3.2.2 Ağırlık ve hacim ilişkileri.....	10
2.3.2.3 Porozite ve serbest hava boşluğu arasındaki ilişki.....	11
2.3.3 Nutrientler ve C/N oranı.....	13
2.3.4 Sıcaklık.....	14
2.3.5 pH.....	18
2.3.6 Havalandırma ve karıştırma.....	19
2.4 Aerobik Kompostlaştırma Prosesinin Mikrobiyolojik Özellikleri.....	22
2.5 Kompostlaştırma Esnasında Gerçekleşen Azot Kayıpları.....	25
2.6 Kompostlaştırılacak Atığın Özelliklerinin İyileştirilmesi (Şartlandırılması).....	26
2.6.1 Katkı malzemesi.....	27
2.6.2 Gözenek malzemesi.....	27
2.7 Kompost Stabilitesini Belirleyen Faktörler.....	28
2.8 Aerobik Kompostlaştırma Metotları.....	31
2.8.1 Basit sistemler.....	31
2.8.1.1 Statik yığın sistemi.....	31
2.8.1.2 Karıştırmalı yığın (Windrow) sistemi.....	32
2.8.1.3 Havalandırmalı yığın sistemi.....	33
2.8.2 Kapalı reaktör (in-vessel) sistemler.....	34
2.8.3 Aerobik kompostlaştırma sistemlerinin karşılaştırılması.....	36
2.9 Kompostun Kullanımı.....	38
2.9.1 Kompostun faydaları ve kullanım alanları.....	38
2.9.2 Kompostun kalitesi.....	39
2.9.3 Avrupa’da kompostlamayla ilgili düzenlemeler.....	42

3. TAVUKÇULUK VE TAVUK ATIKLARI.....	45
3.1. Tavukçuluk.....	45
3.2. Tavuk Atıklarının Miktarı ve Özellikleri.....	45
3.2.1 Atık miktarı.....	45
3.2.2. Atık özellikleri.....	46
3.3. Kümes Atıklarının Kompostlaştırılması.....	47
3.4. Hayvan Atıklarına İlişkin Mevzuat.....	48
3.5. Ülkemizde Mevcut Durum.....	50
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	51
4.1. Kullanılan atık ve katkı malzemeleri.....	51
4.2. Deney Düzenegi.....	55
4.3. İzlenen parametreler ve analiz yöntemleri.....	59
4.4. Deneysel Çalışma Sonuçları.....	59
4.4.1 Sıcaklık.....	59
4.4.2 pH.....	65
4.4.3 Su muhtevası.....	65
4.4.4 Organik madde.....	68
4.4.5 TKN ve NH ₃	71
4.4.6 Fosfor.....	71
4.4.7. Ağır metaller.....	74
4.4.8. Patojen.....	77
4.4.9. Havalandırma.....	77
4.4.10. Çıkış gazlarının analizi.....	77
5. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve ÖNERİLER....	83
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1:	Çeşitli atıkların absorblayabilecekleri maksimum su muhtevaları...	9
Çizelge 2.2:	Farklı atıkların azot içerikleri ve C/N oranları.....	16
Çizelge 2.3:	Organik maddelerin ayrışma hızları.....	23
Çizelge 2.4:	Kompost stabilite ve olgunluk parametreleri.....	29
Çizelge 2.5:	Aerobik kompostlaştırma proseslerinin karşılaştırılması.....	37
Çizelge 2.6:	Toprakta ağır metal sınır değerleri.....	41
Çizelge 2.7:	Bir yılda araziye verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü...	41
Çizelge 2.8:	Ağır metal sınır değerleri.....	42
Çizelge 2.9:	Avrupa ülkelerinde ağır metal limitleri.....	43
Çizelge 2.10:	Kompostun kuru ağırlık bazındaki içeriği.....	44
Çizelge 3.1:	Hayvan atıklarının fiziksel özellikleri.....	46
Çizelge 3.2:	Bazı hayvan atıklarının özellikleri	47
Çizelge 4.1:	Deneyisel çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri.....	52
Çizelge 4.2:	Klinoptilolit kimyasal bileşimi.....	53
Çizelge 4.3:	Sepiyolit kimyasal bileşimi.....	53
Çizelge 4.4:	Manyezitin kimyasal bileşimi.....	54
Çizelge 4.5:	Pomza taşının kimyasal bileşimi.....	54
Çizelge 4.6:	Reaktörlere yerleştirilen substratların bileşimi ve miktarları.....	58
Çizelge 4.7:	Reaktörlere yerleştirilen karışımların özellikleri.....	58
Çizelge 4.8:	Deneyisel çalışmada yapılan analizler ve analiz yöntemleri.....	59
Çizelge 4.9:	Reaktör hacimlerinin ve ağırlıklarının değişimi.....	70
Çizelge 4.10:	Reaktörlerde sondaki ağır metal konsantrasyonları.....	74

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Aerobik kompostlaştırma prosesi.....	4
Şekil 2.2 : Mandıra atıklarının kompostlaştırılmasında başlangıç su muhtevası değerlerinin sıcaklık profiline etkisi.....	10
Şekil 2.3 : Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki.....	12
Şekil 2.4 : Kompostlaştırma prosesinde gözlenen sıcaklık aralıkları.....	17
Şekil 2.5 : Laboratuvar ölçekli bir reaktörde sıcaklık – oksijen tüketimi ilişkisi.....	22
Şekil 2.6 : Atık gözenek malzemesi karışımı ve suyun absorblanması.....	28
Şekil 2.7 : Statik yığın sistemi.....	31
Şekil 2.8 : Karıştırmalı yığın (windrow) sistemi.....	33
Şekil 2.9 : Pasif havalandırmalı yığın sistemi.....	34
Şekil 2.10 : Üfleyici ile havalandırılan yığın sistemi.....	34
Şekil 2.11 : Dikdörtgen karıştırma yataklı tank.....	35
Şekil 2.12 : Döner tank.....	35
Şekil 4.1 : Aerobik kompostlaştırma reaktörünün şematik görünümü.....	56
Şekil 4.2 : Reaktörün dıştan görünümü.....	57
Şekil 4.3 : Reaktörün içten görünümü.....	57
Şekil 4.4 : Dijital termometre.....	57
Şekil 4.5 : Reaktörlerde sıcaklığın zamana göre değişimi.....	61
Şekil 4.6 : 1.Reaktörde sıcaklığın zamana göre değişimi.....	63
Şekil 4.7 : 2.Reaktörde sıcaklığın zamana göre değişimi.....	63
Şekil 4.8 : 3.Reaktörde sıcaklığın zamana göre değişimi.....	64
Şekil 4.9 : 4.Reaktörde sıcaklığın zamana göre değişimi.....	64
Şekil 4.10 : Reaktörlerdeki pH'ın zamana göre değişimi.....	66
Şekil 4.11 : Reaktörlerdeki su muhtevasının zamana göre değişimi.....	67
Şekil 4.12 : Reaktörlerdeki organik maddenin zamana göre değişimi.....	69
Şekil 4.13 : Reaktör hacimlerindeki değişim.....	70
Şekil 4.14 : Reaktör ağırlıklarındaki değişim.....	71
Şekil 4.15 : Reaktörlerdeki TKN'nin zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.16 : Reaktörlerdeki NH ₃ -N'unun zamanla değişimi.....	73
Şekil 4.17 : Reaktörlerdeki Toplam Fosforun zamanla değişimi.....	75
Şekil 4.18 : Reaktörlerdeki başlangıç ve sondaki ağır metal konsantrasyonları	76
Şekil 4.19 : Reaktörlerin çıkış gazında CO ₂ içeriğinin zamanla değişimi.....	78
Şekil 4.20 : Reaktörlerin çıkış gazında O ₂ içeriğinin zamanla değişimi.....	79
Şekil 4.21 : Reaktörlerin çıkış gazında CO içeriğinin zamanla değişimi.....	79
Şekil 4.22 : Reaktörlerin çıkış gazında CH ₄ içeriğinin zamanla değişimi.....	80
Şekil 4.23 : Reaktörlerin çıkış gazında H ₂ S içeriğinin zamanla değişimi.....	81

BESİ TAVUĞU KÜMES ATIKLARININ FARKLI KATKI MALZEMELERİYLE AEROBİK KOMPOSTLAŞTIRILMASI

ÖZET

Organik madde içeriği yüksek olan kümes atıkları tarım alanları için zengin bir nütrient kaynağıdır. Son yıllarda yaygınlaşan kümes hayvancılığı sonucu ortaya çıkan atıkların tarım alanına doğrudan uygulanması ve sonrasında oluşan çevresel problemler daha uygun bertaraf yöntemi alternatiflerinin araştırılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu atıklardan en verimli yararlanma yöntemi bunların kompostlaştırılmasıdır. Kompostlaştırma; uçucu katı madde içeriği yüksek olan katı fazdaki atıkların stabilizasyonunda kullanılan bir biyokimyasal prosestir. Proses sonunda elde edilen nihai ürün stabildir ve araziye faydalı bir şekilde uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada kümes atıklarının farklı katkı malzemeleriyle kompostlaşabilirliği incelenmiştir. Tavuk atıkları su muhtevasını ayarlamak ve nütrient kaybını azaltmak için klinoptilolit, sepiyolit, pomza ve manyezit mineralleri ile belirli oranlarda karıştırılmış ve işletme parametreleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında aerobik kompostlaştırma için toplam 200 litre hacimli 4 reaktör kullanılmıştır. Homojenliği sağlamak ve gerektiğinde su ilave etmek için atıklar belirli periyotlarla reaktör dışına alınarak karıştırılmış ve tekrar reaktörlere yerleştirilmiştir. Çalışma periyodu süresince sıcaklık, pH, su muhtevası, organik madde, azot ve fosfor parametreleri izlenmiştir.

Elde edilen verilerden tavuk atıklarının kullanılan katkı/gözenek malzemeleriyle kompostlaşabilirliği belirlenmiş olup, son ürünlerin tarımda kullanılabilmesi için ağır metaller ve patojen mikroorganizmalar açısından standartları sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. Bütün reaktörlerde elde edilen ürünlerin standartları sağladığı tespit edilmiştir.

Doğal ve ucuz katkı/gözenek malzemelerinin kullanılmasıyla tavuk atıkları daha etkin bir biçimde kompostlaştırılabilmekte ve böylece önemli derecede çevre kirliliğine yol açan kümes atıklarının bertaraf edilmesi mümkün olmaktadır.

AEROBIC COMPOSTING OF BROILER WASTE WITH DIFFERENT AMENDMENTS

SUMMARY

Poultry manure which has high organic matter content is a rich nutrient source for farmland. In recent years, direct application of poultry manures coming from poultry industry to the farmland and subsequent environmental problems necessitates more appropriate disposal methods.

Composting is the best suitable way of benefiting from these wastes. Composting is a process used for the stabilization of organic materials that are relatively high in volatile solids. Final product of this process is stable and can be beneficially applied to land.

In this study, composting of broiler waste with different amendments/bulking agents was investigated. To adjust moisture content and decrease nutrient loss, broiler waste was mixed with clinoptilolite, sepiolite, meerschaum and pomza in specific ratios. In this study, 4 reactors with 200 liter effective volume were used for aerobic composting. To provide homogeneity and to add water if needed, wastes were unloaded from the reactor, mixed and then reloaded on periodically. In this period; samples were taken for temperature, pH, moisture content, organic matter, nitrogen and phosphorus determination.

From these datas, composting of poultry manure with various amendments/bulking agents was determined; in order to use the products in agriculture, heavy metal and pathogen content was investigated and it was found that all the products satisfied the standards.

In this study, it was shown that composting of poultry manure with natural and cheap amendments/bulking agents was possible. Therefore it will be possible to dispose of poultry manure which have detrimental effects on environment in an effective way.

1.GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Ülkemizde gelişen tarım ve hayvan çiftliklerinin sayı ve kapasitelerindeki artışlar nedeniyle kaynaklanan çevre sorunları gün geçtikçe artmaktadır. Çiftlik kapasitelerinin büyümesiyle çok miktarda gübre oluşmakta ve bundan kaynaklanan çevre problemleri gittikçe artmaktadır. Bu atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde bertarafı önem kazanmaktadır.

Azot içeriği yönünden zengin kümes atıklarının tarım alanına doğrudan uygulanması, nütrientlerin yüzeysel akış ve sızıntıyla yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarına ulaşması sonucu bunların kirlenmesine, patojenlerin yayılmasına ve kötü kokuların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple kümes atıklarının daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi için uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Kümes atıklarının toprağa uygun bir şekilde verilmesi, toprakların iyileştirilmesi açısından büyük önem taşır. Kompostlaştırma bu tür atıkların sebep olduğu çevre kirliliği problemlerinin başarılı bir şekilde çözülmesinin yanında gübre değerini arttırarak daha verimli bir şekilde kullanılmasına imkan vermektedir. Sektörün mevcut durumu göz önünde bulundurulduğunda, düşük yatırım ve işletme maliyeti ile kompostlaştırma uygun bertaraf metodu olarak belirlenmektedir. Kümes atıklarının kompostlaştırılması ile hem organik madde bakımından zengin atıkların kompost yapılarak tekrar toprağa verilmesi ve böylece toprak özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanacak, hem de tarım veriminin artmasına katkıda bulunulacaktır.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Kümes atıklarının kompostlaştırılması ile ilgili literatürde pek çok çalışma yapılmıştır. Kümes atığı, yüksek miktarda azot içerdiği için yapılan çalışmalar atığa karbon kaynağı yüksek başka malzemelerin eklenmesi ile yapılan kompostlaştırma çalışmalarına ilişkindir. Bu çalışma kapsamında ise, tavuk çiftliğinden alınan atıklara karbon oranını arttırıcı hiçbir katkı maddesi ilave edilmemiş olup katkı/gözenek

malzemesi olarak ÷lkemizde bol bulunan sepiyolit, manyezit ve klinoptilolit-sepiyolit-pomza-manyezit karışımı kullanılmıştır. Kullanılan katkı/gözenek malzemelerinden klinoptilolit, sepiyolit koku probleminin ve azot kaybının azaltılması ve fazla suyun adsorplanması; pomza ve manyezit ise atıktaki fazla suyun adsorplanması amacıyla eklenmiştir. Bu çalışma ile; hiçbir katkı/gözenek malzemesi ilave edilmeksizin ve düşük maliyetli, kolay ulaşılabilir doğal katkı/gözenek malzemelerinin ilavesiyle; atık daha kısa sürede stabilize edilerek standartlara uygun toprak iyileştirici madde elde edilmesiyle kümes çiftliklerinden kaynaklanan sorunların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik çalışmalara katkı sağlaması umulmaktadır.

2. KOMPOSTLAŞTIRMA PROSESİ

2.1 Kompostlaştırma Prosesinin Tanımı

Kompostlaştırma, organik maddelerin kontrollü çevresel şartlar altında biyolojik olarak ayrıştırılması ve stabilizasyonu prosesidir. Proses sonunda kompost olarak bilinen ve toprak şartlandırıcısı ve/veya organik gübre olarak kullanılabilen yarı stabil, hijyenik, humusa benzer bir ürün elde edilir.

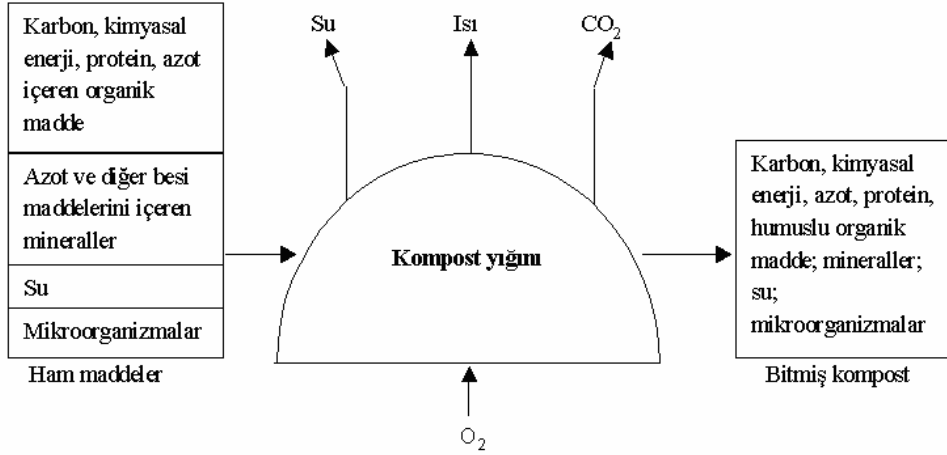
Kompostlaştırma prosesi aerobik veya anaerobik şartlarda gerçekleştirilebilir. Aerobik kompostlaştırma organik maddelerin serbest oksijenin mevcut olduğu ortamlarda ayrıştırılması prosesidir. Bu proses sonunda CO₂, H₂O ve ısı oluşur. Anaerobik kompostlaştırma ise, organik maddelerin serbest oksijenin bulunmadığı ortamlarda biyolojik olarak ayrıştırılması prosesidir. Anaerobik kompostlaştırmada oluşan metabolik son ürünler; CH₄, CO₂ ve organik asitler gibi düşük molekül ağırlıklı bileşikler olarak sayılabilir (Haug, 1993).

Anaerobik kompostlaştırmada ayrıştırılan organik madde ağırlığı başına daha az enerji oluşması, oluşan ara ürünler sebebiyle koku probleminin ortaya çıkması, prosesin tamamlanması için gereken sürenin çok uzun olması, sıcaklığın istenen değerlere ulaşamamasından dolayı kompostlaştırma sistemlerinin çoğu aerobik olarak işletilir. Genelde kompost denilince aerobik kompostlaştırma anlaşılmaktadır.

2.2 Aerobik Kompostlaştırma Prosesinin Genel Esasları

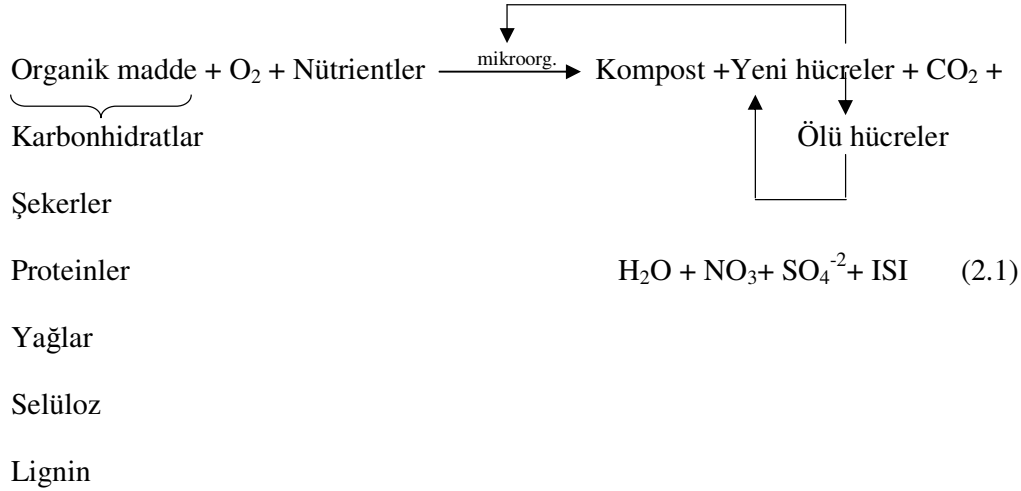
Aerobik kompostlaştırma prosesi sürecinde karbon, azot ve diğer bes elementlerini içeren organik maddeler, aerobik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılmakta ve sonuçta karbondioksit, ısı, su ve kompost oluşmaktadır (Şekil 2.1).

Aerobik kompostlaştırma prosesinde organik maddenin ayrıştırılması hızlı bir şekilde gerçekleşirken atığın bünyesinde mevcut olan ve istenmeyen patojenlerin yok edilmesi için gereken yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir (Erdim, 2003).



Şekil 2.1: Aerobik Kompostlaştırma Prosesi (Rynk, 1992).

Proses denklem formunda şu şekilde ifade edilebilir.



Denklem 2.1’de görüldüğü gibi oluşan yeni hücreler organik maddenin ayrıştırılmasında aktif biyokütle olarak görev yapar ve öldükten sonra kompostun bünyesine geçerler.

Isı mikrobiyal solunum sonucu açığa çıkar. Atık çevresinden izole edildiği zaman üretilen ısı kompostlaştırılacak kütlenin (atığın) sıcaklığını artırır. Sıcaklıktaki artış mezofilik ve termofilik organizmaları etkiler (Epstein, 1997).

Aerobik kompostlaştırmadaki biyokimyasal ayrışma işlemi üç kademede gerçekleşmektedir (Borat, 1997):

1) Bakterilerin karbonhidrat, şeker, glikoz, nişasta gibi çabuk ayrışan organik maddeleri kısa sürede parçalamaları ve ısının açığa çıkması,

2) Mantarların ve aktinomisetlerin zor ayrışan maddeleri (yağlar, selüloz, lignin gibi) uzun sürede parçalaması,

3)Mineralizasyon

Mineralizasyon son kademe olup, kompostlaştırmada istenmeyen bir safhadır. Çünkü mineral hale gelmiş organik maddeler besin değerini kaybettiklerinden toprak şartlandırıcısı olarak kullanılamazlar. Dolayısıyla kompostlaştırma işlemine organik atık içindeki patojen mikroorganizmalar ölünceye kadar devam edilir (Borat, 1997).

Aerobik kompostlaştırma prosesi ile; biyolojik olarak ayrışabilir organik maddeleri toprak şartlandırıcısı olarak kullanılan ve humusa benzeyen yarı stabil bir ürüne dönüştürmek, atığın bünyesinde bulunabilecek patojen ve diğer istenmeyen mikroorganizmaları yok etmek, atık hacmini ve miktarını azaltmak, nütrient içeriğini maksimum seviyede tutmak ve muhafaza etmek hedeflenmektedir.

Kompostlaştırma prosesi; mikroorganizmaların büyümesi için uygun koşullar sağlandığında ve bu koşullar muhafaza edildiğinde çok hızlı gerçekleşir. Bu mikroorganizmaların faaliyetlerini sürdürebilmeleri C/N oranı, O₂, su muhtevası, sıcaklık ve pH faktörlerinin kontrolüyle sağlanır (NEH, Part 637-2000).

Nütrientler, özellikle karbon ve azot, mikrobiyal aktivite ve çoğalma için gerekli olup proseste önemli bir rol oynamaktadır. Karbon organizmalar için ana enerji kaynağı olarak kullanılırken azot da hücre sentezi için gereklidir. Sıcaklık, prosesi etkileyen önemli bir faktör olmakla beraber, aerobik proses sırasında mikrobiyolojik faaliyet sonucu açığa çıktığından önceden kontrol edilmesi söz konusu değildir (Epstein, 1997).

Kompostlaştırma prosesi esas olarak iki evrede gerçekleşmektedir:

1) Aktif kompostlaşma (hızlı ayrışma)evresi

2) Olgunlaşma (iyileşme) evresi

Aktif kompostlaşma evresi öncelikle kolay ayrışabilir maddelerin, daha sonra selüloz gibi bozunmaya dirençli maddelerin ayrıştırıldığı mikroorganizma aktivitesinin yüksek olduğu bir periyottur. Aktif kompostlaşmadan sonra genellikle olgunlaşma

evresi başlar. Olgunlaşma evresi mikrobiyal aktivitenin daha düşük olduğu fakat aktif kompostlaşma safhasındaki ürünlerin ayrışmaya devam ettiği bir evredir.

Kompostlama işlemi belirli bir noktada durmaz. Ayrışma, son kalan besin maddesi, son kalan mikroorganizma tarafından tüketilene kadar devam eder; ama kompost bu noktadan önce uzun süre nispeten kararlı ve kullanılabilir bir üründür.

Olgunlaşma süreci, mikrobiyolojik aktivitenin düşük hızlarda devam ettiği ve aktif kompostlaştırma periyodundaki faaliyetler sonucu ortaya çıkan ürünler ile ayrışmaya dirençli maddelerin stabilizasyonunun gerçekleştirildiği safhadır. Stabilizasyon organik asitlerin ve zor ayrışabilir maddelerin ayrıştırılmasını, hümit bileşiklerin ve nitrat-azotu oluşumunu içerir. Olgunlaşma evresinde mikrobiyolojik aktivitenin devam edebilmesi için su muhtevası ve havalandırma şartları bu evrede de kontrol altında tutulmalıdır.

Olgunlaşma evresinde reaksiyonlar yavaş işlediğinden, bu evrenin uzun sürelerde tamamlanmasına neden olur. Olgunlaşma sürecinin uzunluğu aktif kompostlaştırma periyodunun uzunluğuna ve kompostun kullanım amacına bağlı olarak değişiklik gösterir. Yeterli derecede ayrışmanın ve stabilizasyonun sağlanabilmesi için kısa aktif kompostlaştırma periyotlarını, uzun olgunlaşma süreleri takip etmelidir. Olgunlaşma evresinin tamamlanması, yığının tekrar tekrar karıştırılmasına rağmen sıcaklığın ortam sıcaklığında kalması ile belirlenir. Sıcaklıkta gözlenen sabit kalma potansiyelinin yanlış işletme şartlarının bir sonucu değil de olgunlaşma evresinin tamamlanmasının bir göstergesi olduğu ayırt edilmelidir.

2.3 Aerobik Kompostlaştırma Prosesine Etki Eden Faktörler

2.3.1 Dane boyutu

Dane boyutu hacim ağırlığı, içsel sürtünme ve akım karakteristiklerini etkiler. Dane boyutunun azalması mikroorganizmaların faaliyet gösterecekleri yüzey alanını arttıracığından biyokimyasal reaksiyon hızı da artar. Dane boyutunun çok küçük olması durumunda yığının içindeki gözenekler azalacağından hacim ağırlığı artar. Bu da havanın yığın içine girişini engeller ve reaksiyon hızı yavaşlar (Epstein, 1997).

Evsel katı atıklar gibi düzensiz şekillere sahip maddelerin kompostlaştırılmadan önce ön işlem olarak parçalanmaları ve dane boyutlarının azaltılması gerekir. Pratikte optimum dane boyutu atığın fiziksel yapısının fonksiyonudur. Mekanik karıştırma ve

aktif havalandırma yapılan tesislerde dane boyutu, parçalama işleminden sonra 1.25cm değerine kadar düşürülmelidir. Doğal havalandırmalı statik küme ve yığınlarda ise dane boyutu 5cm'den daha az olmalıdır.

Su muhtevası yüksek olan atıkların fiziksel şartlandırılmasında kullanılan katkı malzemelerinin partikül büyüklüğü de önemlidir. Katkı malzemesi çok ince daneliyse, atığın katı madde içeriği yeterli olsa bile serbest hava boşluğunda istenilen artış sağlanamaz (Haug, 1993).

2.3.2 Su muhtevası

Bütün biyolojik olaylarda olduğu gibi kompostlaştırma işleminde de suyun önemi büyüktür. Mikroorganizmaların bileşiminin %80'i sudur. Mikroorganizmalar çoğalmaları için gerekli besini suda çözünmüş halde içlerine alabilirler ve mikrobiyolojik ayrışma partiküllerin yüzeyindeki ince sıvı filmlerde meydana gelir (Borat, 1997).

Kompostlaştırma prosesinde su muhtevası mikroorganizmaların metabolik aktivitelerinde ihtiyaç duyulan çözünmüş nütrientlerin taşınması için ortam sağladığından önemli bir çevresel değişkendir (Stentiford, 1996; Mc Cartney ve Tingley, 1998). Su muhtevası mikrobiyolojik aktiviteyi, sıcaklığı ve ayrışma hızını etkiler. Ayrıca mikrobiyolojik populasyon da su muhtevasından etkilenir (Coppola ve diğ., 1983). Su muhtevasının çok düşük olması; mikrobiyolojik aktiviteyi önemli miktarda azaltır, biyolojik aktiviteyi olumsuz etkiler ve fiziksel olarak stabil, fakat biyolojik olarak stabil olmayan bir kompost elde edilir (Bertoldi, 1983). Diğer taraftan su muhtevasının yüksek olması kompost maddesindeki hava boşluklarının suyla dolarak oksijen transferine engel olacağından ortamın anaerobik hale gelmesine ve nütrient kayıplarına neden olur. Bu da istenmeyen bir durumdur. Kompostlaştırma prosesinin başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için su muhtevasının %50 – 60 arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Tiqua ve diğ., 1998; Rynk, 1992; Mc Kinley ve diğ., 1986; Suler ve Finstein, 1977).

Aerobik kompostlaştırmadaki minimum su muhtevası %40'dır. Su muhtevası %40'ın altına indiğinde ayrışma hızı azalır, mikrobiyolojik aktivite yavaşlar; %8-12'nin altına inerse de tüm mikrobiyolojik aktivite durur. Kompostlaştırma prosesinde su muhtevası kompostlaştırma yöntemine, kullanılan gözenek malzemesine ve atığın

özelliklerine bağılı olarak değişmekle birlikte pratik olarak %40'lık minimum bir su muhtevası sağlanmalıdır (Epstein, 1997).

Bertoldi ve diğerleri (1982), pilot ölçekli çalışmalarda su muhtevasındaki değişimi üç farklı havalandırma sistemi için incelemişlerdir. Evsel katı atık ve atık su arıtma tesisi çamuru karışımının başlangıç su muhtevası %67,3'tür. Karıştırmayla su muhtevası 15 günde %55'e düşerken, 30 gün sonunda %43'e inmiştir. Basıncılı havalandırmayla karışımın su muhtevası 15 günde %48'e, 30 gün sonunda %29'a düşmüştür. Vakumlu havalandırma yöntemiyle su muhtevası 15 gün sonunda %57'ye, 30 gün sonunda ise %45'e düşmüştür. Aktif kompostlaştırma evresinde su muhtevası %45 ile %55 aralığında kaldığı sürece su muhtevası kısıtlayıcı bir faktör değildir.

2.3.2.1 Su muhtevası ve serbest hava boşluğu arasındaki ilişki

Golueke (1977), kompostlaştırma için teorik su içeriğinin %100 olması gerektiğini belirtmiştir. Çünkü ancak bu koşullar altında ayrışma, herhangi bir limitasyon olmaksızın gerçekleşebilmektedir (Hamoda, 1998). Ancak pratikte böyle bir yaklaşım doğru değildir.

Kompostlaştırılacak atığın yapısı katı partiküller ve bunların arasındaki boşluklardan meydana gelen bir matris şeklindedir. Partiküller arasındaki boşluklar havayla, suyla veya hava ve su karışımıyla doldurulur. Boşlukların tamamen suyla dolması, oksijen transferinin engellenmesine ve anaerobik ortamın oluşmasına neden olur. Boşlukların havayla dolması sonucu oksijen transferi başlar ve aerobik kompostlaştırma gerçekleşir. Boşluklardan çok fazla su uzaklaştırılırsa, su eksikliği nedeniyle mikrobiyolojik aktivite yavaşlar ve kompostlaşma azalır.

Kompostlaştırma genellikle katı veya yarı katı haldeki maddelere uygulanır. Çeşitli atıkların absorblayabilecekleri maksimum su muhtevaları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Çeşitli atıkların absorblayabilecekleri maksimum su muhtevaları (Golueke, 1977).

Atık Türü	Su Muhtevası (Toplam Ağırlığın %'si)
Saman	75-85
Talaş, tahta yongaları	75-90
Pirinç kabukları	75-85
Evsel atıklar	55-65
Hayvan gübresi	55-65
Çürütülmüş veya ham çamur	55-60
Islak atıklar (çim kırıntıları, evsel çöp)	50-55

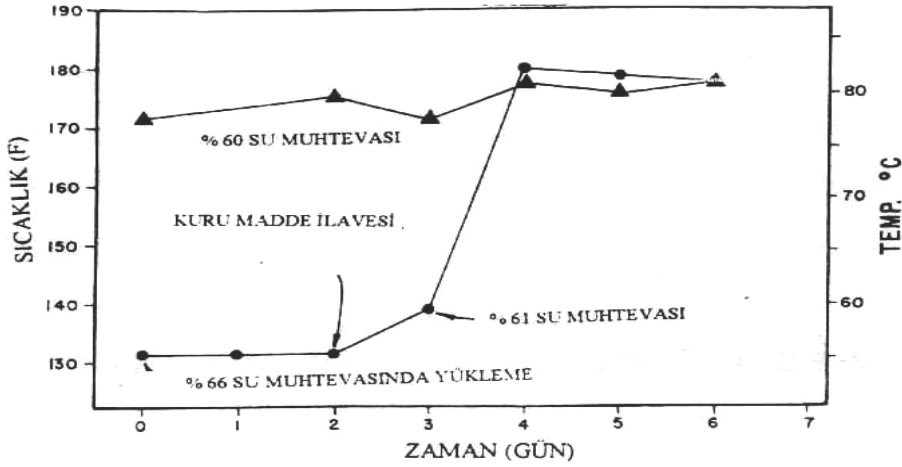
Saman ve odun parçaları gibi lifli veya hacimli maddeler yapısal bütünlüklerini ve porozitelerini kaybetmeden büyük miktarlarda su absorblayabilirler. Mc Gauhey ve Gotaas (1976) su muhtevası %85 olan sebze parçaları ve saman karışımını başarılı bir şekilde kompostlaştırabilirken, saman yerine kağıt kullanılması durumunda aynı başarı elde edilememiştir.

Su muhtevası mikrobiyolojik aktivitenin devamını sağlayacak kadar yüksek, aynı zamanda serbest hava boşluklarını doldurmayacak kadar düşük olmalıdır.

Evsel atıklar, tarımsal atıklar gibi maddeler kompostlaşma prosesine kuru formda başlarlar. Özellikle hayvan gübresi kompostlaştırılmadan önce arazide kurutulur (Haug, 1993). Bu tür maddelerin lifli ve hacimli yapıları önemli miktarlarda suyun absorblanmasını sağlar.

Senn (1971) tarafından su muhtevasının kompostlaştırma prosesindeki önemi mandıra atıklarının kompostlaştırılması çalışmalarında ortaya konmuştur. Deney düzeneği 2.4 m derinliğinde ve basınçlı havalandırma sistemine sahip varillerden oluşmaktadır. Su muhtevasının sıcaklık profili üzerine etkisi Şekil 2.2'de gösterilmiştir. %66 su muhtevasına sahip atıkların kompostlaştırılması sırasında sıcaklıklar 55°C'ye kadar yükselir. Prosesin, su muhtevası %61 olan atıklarla yürütülmesi halinde sıcaklığın hızla 75°C'ye kadar yükseldiği gözlenmiştir. Yapılan paralel çalışmada, su muhtevasının %60 olması halinde sıcaklığın hızlı bir şekilde 75°C'ye kadar yükseldiği ve bu sıcaklıkta birkaç gün kaldığı belirlenmiştir. Yüksek

su muhtevası kompostlaştırma prosesini engeller. Su muhtevasının artması partiküllerin kompaktlaşmasına ve partiküllerin boşluk hacminin azalmasına neden olduğundan hava hareketi önlenir.



Şekil 2.2: Mandıra atıklarının kompostlaştırılmasında başlangıç su muhtevası değerlerinin sıcaklık profiline etkisi (Senn, 1971).

Başlangıç karışımındaki su muhtevası ve serbest hava boşluğu değerlerinin dengede olması, bu dengenin kompostlaştırma prosesi boyunca korunacağı anlamına gelmez. Uygun havalandırma hızı sağlanmazsa, termofilik sıcaklıklar önemli miktarda suyun uzaklaşmasına neden olur. Su muhtevadaki dengesizlikleri düzeltmek için prosese su ilave edilmelidir. Su miktarının proses süresince değişimi çoğunlukla sıcaklık ve havalandırma hızına bağlıdır.

Kompostlaştırılacak atığın içindeki serbest hava boşlukları karışımındaki hava miktarının ve hava hareketinin belirlenmesinde önem taşır. Belirli maddeler için optimum su muhtevası, serbest hava boşluğunun belli bir değerin üzerinde kalması sağlanarak elde edilebilir. Genellikle lifli atıklar yüksek su muhtevası değerlerinde dahi oldukça fazla serbest boşluk içerirler.

2.3.2.2 Ağırlık ve hacim ilişkileri

Kompostlaştırılacak atığın katı madde içeriği arttıkça, birim hacim ağırlığı azalır ve serbest hava boşlukları artar.

Kompostlaştırma prosesinde karıştırma işlemi birim hacim ağırlığını azaltmak ve sıkışmayı önlemek için yapılır. Sıkışmayla serbest hava boşlukları azalırsa, birim hacim ağırlığında artış gerçekleşebilir. Bu da istenmeyen bir durumdur (Haug, 1993).

Kompostlaştırma esnasında maddelerin konsolidasyona uğraması ile hacim azalması gerçekleşir.

2.3.2.3 Porozite ve serbest hava boşluğu arasındaki ilişki

Kompostlaştırma prosesinde genellikle kullanılan hacim oranları; porozite ve serbest hava boşluğudur. Porozite (n) boşluk hacminin toplam hacme oranı olarak ifade edilir (Denklem 2.2).

$$\text{Porozite}(n) = V_{\text{boşluk}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.2)$$

$$n = (V_{\text{toplam}} - V_{\text{katı}}) / V_{\text{toplam}} = 1 - V_{\text{katı}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.3)$$

$$n = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \delta_s} \quad (2.4)$$

δ_m : Kompostlaştırılacak atık karışımının birim hacim ağırlığı

S_m : Kompostlaştırılacak atık karışımının katı madde %si

G_m : Kompostlaştırılacak atık karışımının özgül ağırlığı

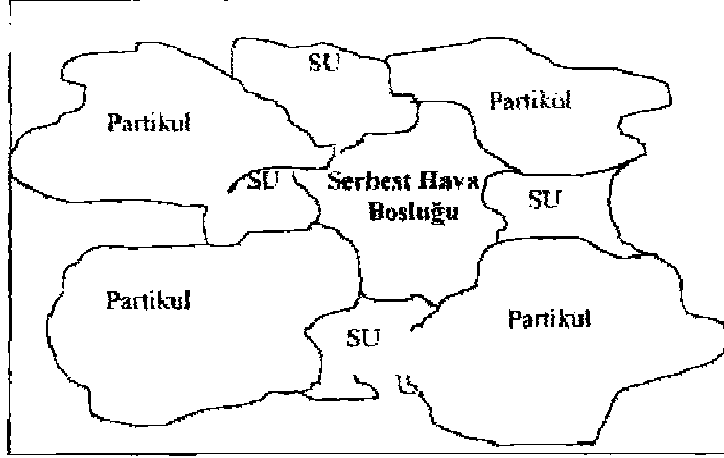
Serbest hava boşluğu (f), gaz hacminin toplam hacme oranı olarak ifade edilir (Denklem 2.5).

$$f = V_{\text{gaz}} / V_{\text{toplam}}$$

$$f = (V_{\text{toplam}} - V_{\text{katı}} - V_{\text{su}}) / V_{\text{toplam}}$$

$$f = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \delta_s} - \frac{\delta_m (1 - S_m)}{\delta_s} \quad (2.5)$$

Serbest hava boşluğunun su ve partiküllerle ilişkisi Epstein (1997) tarafından Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki (Epstein, 1997).

Serbest hava boşlukları ortamda havanın yayılmasına izin verir ve mikroorganizmalar için oksijen sağlar. Farklı maddeler farklı yoğunluklara ve partikül boyutlarına sahip olduklarından su muhtevası ve serbest hava boşlukları arasındaki ilişki değişebilir (Epstein, 1997).

Schulze (1962), evsel atıkların ve çamurların birlikte kompostlaştırılabilmesi için serbest hava boşluğunun minimum %30 olması gerektiğini belirtmiştir. Bu değer birçok substrat ve kompostlaştırma sistemi için tavsiye edilen değerdir. Haug (1993) da atık türü ve kullanılan teknolojiye bağlı olmaksızın yeterli oksijenin sağlanabilmesi için minimum serbest hava boşluğunun %20-30 olması gerektiğini belirtmiştir.

Evsel ve endüstriyel atık su arıtma tesisi çamurları, hayvan gübresi gibi su muhtevası yüksek atıklardaki serbest hava boşluğu çok azdır (Erdim, 2003). Su muhtevasının yüksek olması uygun şekilli yığınlar oluşmasını ve havalanmayı engelleyeceğinden kompostlaştırılacak atığın birim hacminin azaltılması ve yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Su muhtevasını ayarlamak için uygulanabilecek dört yöntem bulunmaktadır.

- 1) Kompost geri devri
- 2) Katkı malzemesi veya katkı malzemesi + kompost ilavesi
- 3) Yapısal bütünlüğü korumak için gözenek malzemesi ilavesi

4) Kompostlaştırmadan önce su muhtevasını azaltmak için atığın kurutulması.

Bu çalışmada serbest hava boşluğunun arttırılması amacıyla gözenek malzemesi ilave edilmesi tercih edilmiştir.

2.3.3 Nütrientler ve C/N oranı

Mikrobiyal ayrışma için ihtiyaç duyulan nütrientlerden en önemlileri karbon ve azottur. Mikroorganizmaların çoğalmaları için gerekli olan azot dışındaki diğer nütrientler genellikle organik atıkların içerisinde yeterli miktar ve oranlarda bulunurlar. Diğer inorganik nütrientlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda ihtiyaç duyulması sebebiyle azotun önemi daha da artmaktadır. Kompostlaştırma prosesinde C/N oranı, azot yönünden dengenin sağlanıp sağlanmadığının bir göstergesi olarak kullanılır (Haug, 1993). Dikkat edilmesi gereken nokta C/N oranının belirlenmesinde göz önüne alınan karbonun atık içindeki toplam karbon miktarı değil, kullanılabilir karbon miktarı olması gerektiğidir. Mikrobiyal büyüme esnasında bir birim N için yaklaşık 25-30 birim C' a ihtiyaç duyulmaktadır (Epstein, 1997).

Kompostlaştırma işlemi sırasında karbonun büyük bir kısmı mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri içinde CO₂'e oksitlenir, kalan karbon ise yeni hücre sentezinde kullanılır. Öncelikle kolay bulunabilir karbon tüketilir, kompostlaştırma prosesi devam ettikçe kullanılabilir karbon ve metabolik aktivite azalacağından CO₂ oluşumu azalır. Epstein (1997), oluşan CO₂'in ve açığa çıkan suyun sıcaklıkla eşzamanlı olarak pik değerlere ulaştığını ve daha sonra azaldığını belirtmiştir. Bach ve diğ. (1984), CO₂ ile uçucu katı madde miktarının birbirleriyle orantılı olduklarını bulmuşlardır. Organik maddenin uçucu katı madde içeriği ne kadar yüksekse, CO₂ üretimi de o kadar fazladır.

Doğada karbonun lignin gibi zor ayrışan maddelerden sağlanması sebebiyle ayrışma hızı çok düşüktür. Benzer bir durum evsel katı atıklar gibi selüloz içeriği yüksek, fakat azot bakımından yoksun atıkların kompostlaştırılmasında da gözlenebilir (Epstein, 1997)

Mikroorganizmalar protein sentezi için azota ihtiyaç duyarlar. CN oranı kompostun kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir (Golueke, 1977; Michel ve diğ., 1996). Katı atıkta C/N>35 ise azotun tamamen tutulacağı, C/N<20 ise azotun serbest kalacağı belirlenmiştir. Hızlı ayrışmanın olması için başlangıç C/N oranının 20/1-35/1 arasında olması önerilmektedir (Epstein, 1997; Graves ve Hattemer, 2000). C/N

oranının yüksek olması durumunda kullanılabilir azotun hızla tüketilmesi nedeniyle mikrobiyolojik aktivite yavaşlar ve kompostlaştırma prosesinin tamamlanabilmesi için daha çok süreye ihtiyaç duyulur. C/N oranı düşükse amonyak açığa çıkar, bu da mikroorganizmalara zarar verir ve koku oluşmasına yol açar. C/N oranı düşük olan atıklar ile C/N oranı yüksek atıklar karıştırılarak uygun C/N değerleri elde edilebilir. Başka bir deyişle, C/N oranı çok yüksek olan atıklara azotlu atıkların ilavesi ile bu oran azaltılabilmektedir. C/N oranı çok düşük olan atıklara ise karbonlu atıkların ilavesi ile bu oran arttırılabilmektedir. Huang ve diğ. (2004), domuz atıklarının talaşla kompostlaştırılması çalışmalarında C/N oranının etkilerini incelemişler. C/N oranı 15 olan yığında sıcaklıktaki yükseliş oldukça yavaş olmuş ve düşük sıcaklık piklerine ulaşılmış. Kimyasal ve biyolojik parametrelere bakıldığında C/N oranı 30 olan yığın kompostlaştırmanın 49. gününden sonra olgunlaşmaya başlamış, diğer yandan C/N oranı 15 olan yığın 63.günün sonunda hala olgunlaşmaya başlamamıştır. Tiqua ve Tam (2000), başlangıçtaki C/N oranı düşük olan kümes atıklarına gözenek malzemesi ilavesiyle kompostlaştırdıklarında C/N oranının zamanla arttığını ve amonyak kayıplarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Düşük C/N oranına sahip kümes atıkları büyük amonyak kayıplarına sebep olur (Gray ve diğ., 1971).

C/N oranı çok yüksek olan bir kompostun toprağa uygulanması halinde mikroorganizmalar çoğalmaları için gerekli olan azotu topraktan alarak toprağı azot bakımından fakirleştirir. C/N oranı küçük ise fazla azot, sıcaklık ve pH değerlerine de bağlı olarak amonyak formunda uçarak toprakta yine azot bakımından fakirleşme meydana getirir. Atıktaki azot miktarı atığın türüne göre değişiklik gösterir. Farklı atıklar için azot içeriği ve C/N oranı Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

2.3.4 Sıcaklık

Kompostlama esnasında mikrobiyal bozunma ile fazla miktarda enerji, ısı şeklinde açığa çıkar. Sıcaklık kompostlaştırma prosesinin verimini etkileyen önemli bir çevresel faktördür (Namkoong ve Hwang, 1997; Joshua ve diğ., 1998). Mikrobiyolojik aktivitenin yanı sıra populasyon dinamiği (bileşimi ve yoğunluğu) de sıcaklıktan etkilenir. Sıcaklık artışı başlangıç sıcaklığına, metabolik ısı oluşumuna ve oluşan ısıнын korunmasına bağlıdır (Miller, 1992). Kompostlaştırma prosesinin verimli bir şekilde sürdürülebilmesi için sıcaklık belirli aralıklar arasında sağlanmalıdır (Finstein ve Morris, 1975; Finstein ve diğ., 1986). Mosher ve

Andersen (1977), yaptıkları çalışmada 20°C'nin altındaki sıcaklıklarda kompostlaştırma prosesinin önemli ölçüde yavaşladığını, hatta durduğunu göstermişlerdir. Aynı şekilde 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda mikrobiyolojik aktivite yavaşlar. Mc Gregor ve diğ. (1981), kompostlaştırma prosesinin optimum sıcaklığının ayrışmanın en hızlı gerçekleştiği 52-60°C aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Atığın patojen mikroorganizmalar içermesi halinde sıcaklık, havalandırılmalı yığın ve kapalı sistemlerde 55°C ve üzerinde en az üç gün, yığın sistemlerinde beş kez karıştırma sonunda en az on beş gün süreyle tutulabilmelidir (European Commission, EPA, 1995).

Kompostlaştırma prosesi genellikle sıcaklık-zaman ilişkisi çerçevesinde izlenmektedir. İyi işletilen bir sistemde sıcaklık istenilen amaç doğrultusunda ayarlanmaktadır. Örneğin; atık patojen mikroorganizma içeriyorsa birincil hedef dezenfeksiyondur. Patojen giderimi için gerekli sıcaklıklara ulaşılacak şekilde kontrol yapılır.

Sıcaklık- zaman ilişkisi organik maddenin ayrışma hızını etkilediğinden dolayı stabil ve olgun bir ürün elde edilmesi açısından da önemlidir. Sıcaklığın mikroorganizmalar üzerindeki etkisi mikroorganizma türünde ve miktarında önemli değişikliklere sebep olur. Bu etki çoğu zaman organizmaların mezofilik ve termofilik olarak sınıflandırılmasına neden olur.

Sıcaklık 60°C üzerine çıktığında mikroorganizmaların çoğu elimine olur ve ortamda yalnızca spor oluşturabilen bakteri türleri kalır. Mikroorganizmaların ölmesiyle birlikte ayrıştırma işlemi de yavaşlar. Sıcaklığın kompostlaştırma süresince dalgalanma yapması tercih edilmemektedir. Düzenli sıcaklık değeri o sıcaklık aralığında aktif olan mikroorganizma faaliyetini maksimum düzeyde tutmaktadır.

Statik sistemlerde ve reaktör sistemlerinde sıcaklık kontrolü yığın sistemlere kıyasla daha iyi derecede yapılmaktadır. Kompost kütlesi boyunca sıcaklık tam olarak uniform değildir. Kütlenin merkezinde daha yüksek sıcaklıklar, yüzeye doğru ise daha düşük sıcaklıklar gözlenir. Yığın sistemlerde yüzey alanı büyüdükçe, ısı kaybı da artar.

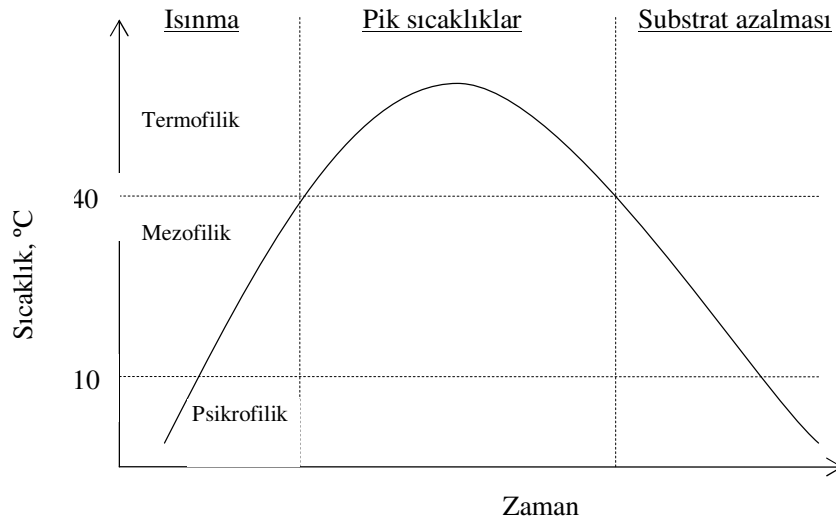
Çizelge 2.2: Farklı atıkların N içerikleri ve C/N oranları (Tchobanoglous, 1993).

Atık	N, %	C/N Oranı, Kuru Ağırlık Bazında
<i>Gıda İşleme Atıkları</i>		
Meyve atıkları	1,5	34,8
Karışık mezbaha atıkları	7,0-10,0	2,0
Patates kabukları	1,5	25,0
<i>Gübreler</i>		
İnek gübresi	1,7	18,0
At gübresi	2,3	25,0
Domuz gübresi	3,75	20,0
Kümes hayvanları gübresi	6,3	15,0
Koyun gübresi	3,75	22,0
<i>Çamurlar</i>		
Çürütülmüş aktif çamur	1,88	15,7
Ham aktif çamur	5,6	6,3
<i>Odun ve saman</i>		
Kereste hızarhanesi atıkları	0,13	170,0
Yulaf samanı	1,05	48,0
Talaş	0,10	200,0-500,0
Buğday samanı	0,3	128,0
Çam odunu	0,07	723,0
<i>Kağıt</i>		
Karışık kağıt	0,25	173
Gazete	0,05	983
Kahverengi kağıt	0,01	4490
Dergi	0,07	470
<i>Bahçe atıkları</i>		
Çimen kırpıntıları	2,15	20,1
Yapraklar	0,5-1,0	40-80

Sıcaklık genellikle prosesin başlangıcında yükselir, daha sonra azalır. Bazı noktalarda ayrışma yavaşladıkça sıcaklık da azalmaya başlar. Yüksek sıcaklığı düşürmek için havalandırmayı artırmak veya karıştırma işlemini sıklaştırmak gerekmektedir.

Aktif kompostlaşma periyodu çeşitli sıcaklık aralıklarında gerçekleşmektedir. Sıcaklık değiştikçe, şartlar bazı mikroorganizmalar için uygun olmazken bazıları için ideal olabilir. Aktif kompostlaşma periyodunda gözlenen sıcaklık evreleri o sıcaklıklarda baskın hale gelen mikroorganizma türlerine göre sınıflandırılmış olup üçe ayrılır (Şekil 2.4).

- Psikrofilik sıcaklıklar ($<10^{\circ}\text{C}$)
- Mezofilik sıcaklıklar ($10^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$)
- Termofilik sıcaklıklar ($>40^{\circ}\text{C}$)



Şekil 2.4: Kompostlaştırma prosesinde gözlenen sıcaklık aralıkları (NEH, 2000).

Bu sıcaklık evreleri kompost yığnında mezofilik sıcaklıklarda bulunan mikroorganizmaların psikrofilik veya termofilik sıcaklıklarda bulunmayacağı anlamına gelmez. Bu sıcaklıklar arasında belirli mikroorganizmalar pik büyüme hızına sahiptir. Örneğin; mezofilik organizmalar psikrofilik veya termofilik sıcaklık aralığında yaşayabilirler, fakat mikrobiyal populasyonları baskın olmamaktadır.

Kompostlaştırma prosesinin ilk evresi ortam sıcaklığına ve kompostlaştırılacak atığın bileşimine bağlı olarak psikrofilik veya mezofilik sıcaklıklarda gerçekleşir. Prosesin başlangıç safhalarında, sıcaklığın hızla artmaya başlamasından önce, kısa bir gecikme periyodu gözlenebilir. Bu gecikme periyodu mikroorganizmaların yavaş yavaş çoğalması için gerekli bir süreçtir. Mikroorganizmalar kolay ayrışabilen maddeleri tüketmeye başladıkça çoğalma hızları artar ve mikrobiyal aktivite sonucu açığa çıkan ısı yığın içinde birikir ve sıcaklığın yükselmesini sağlar. Mikroorganizmalar çoğaldıkça sıcaklık psikrofilik ve mezofilik sıcaklık aralığında düzenli olarak artmaya devam eder. İşletme koşullarına bağlı olarak genellikle 2-3 gün içerisinde termofilik sıcaklıklara ulaşılır. (United States Department of Agriculture, 2000). Bu nedenle genellikle psikrofilik evre pek gözlenmemektedir.

Yığının sıcaklığı termofilik sıcaklığa ulaştığında yüksek aktiviteye sahip çok sayıda ve çeşitli mikroorganizma grubu baskın hale gelerek patojenleri, sinek larvalarını ve zararlı ot tohumlarını yok eder. Proseste farklı mikroorganizmaların rol alması ile basit, kolay ayrışabilir maddeler yanında selüloz gibi ayrışmaya dirençli kompleks maddeler de ayrıştırılabilir.

Sıcaklık yükselmeye devam eder ve 55 -75°C arasında pik değerlere ulaşılır. Bu pik değerlere ulaşıldığında hem kolay ayrışabilir maddelerin ve oksijenin azalması hem de yüksek sıcaklıklarda mikroorganizmaların fonksiyonlarının zarar görmesi sebebiyle mikrobiyolojik aktivite azalmaya başlar. Mikroorganizmalar organik maddeyi hücre yapısına almadan önce hücre dışı enzimler kullanarak ayrıştırırlar. Sıcaklıklar çok yüksek olursa mikroorganizma yaşaması için gerekli nütrientleri sağlayamaz (United States Department of Agriculture, 2000). Yüksek sıcaklıklar bütün mikroorganizmalar için öldürücü olmayabilir, fakat mikrobiyolojik aktivitenin azalmasına sebep olur. Mikroorganizmalar yaşamlarını olumsuz etkileyen şartlara karşı kendilerini koruyabilmek için spor oluştururlar.

Mikrobiyolojik aktivitenin azalmasıyla birlikte ısı oluşumu azalır ve yığın soğumaya başlar. Teorik olarak sıcaklığın 40°C'nin altına inmesiyle olgunlaşma evresinin başladığı söylenebilir (United States Department of Agriculture, 2000).

2.3.5 pH

pH ortamın asitliğinin veya bazlığının bir ölçümüdür. pH'ın kompostlaştırma prosesindeki önemi, mikrobiyolojik aktiviteyi etkilemesine bağlı olarak ortaya

çıkmaktadır. Her mikroorganizma grubunun yaşadığı belli bir pH aralığı mevcuttur. Bakteriler geniş bir pH aralığında yaşayabilmelerine karşılık, mantarlar asidik ortamları tercih ederler.

Kompostlaştırma prosesinin yüksek ve düşük pH'ları nötr seviyelere tamponlama özelliği mevcuttur. Bunun sebebi, mikrobiyolojik ayrışma sırasında zayıf asit olan CO_2 ve zayıf baz olan NH_3 'ün oluşmasıdır. CO_2 organik maddelerin ayrıştırılmasında, NH_3 ise proteinlerin ayrıştırılması sırasında son ürün olmaktadır. CO_2 yüksek pH değerlerini nötralize ederken, NH_3 düşük pH değerlerini nötralize etmektedir. Kompostlaştırılacak atığın başlangıç pH değerinden bağımsız olarak kompostlaştırma prosesi sonunda pH 7.5- 8.0 değerleri arasında olmalıdır (Graves ve Hattemer, 2000).

Başlangıçta pH değeri yaklaşık 5-6 seviyelerine kadar düşer. Bu düşüşün CO_2 ve organik asit oluşumundan dolayı meydana geldiği belirtilmektedir. Proses ilerledikçe pH 8.0-8.5 seviyelerine kadar yükselir. Bu durum; CO_2 'in eliminasyonundan olduğu kadar proteinlerin ayrıştırılmasından da kaynaklanır (Sharma ve diğ., 1997). Jeris ve Regan (1973), termofilik kompostlaştırmanın pH 7.5-8.5 aralığında maksimum olduğunu bulmuşlardır.

2.3.6 Havalandırma ve karıştırma

Oksijen, kompostlaştırmayı gerçekleştiren aerobik mikroorganizmaların solunum ve metabolik aktivitelerinin anahtar elementidir. Aerobik mikroorganizmaların yaşaması için yeterli oksijen sağlanamazsa anaerobik mikroorganizmalar kompost yığnında baskın olmaya başlar, kompostlaştırma prosesi yavaşlar ve koku oluşumu gerçekleşir. Aerobik şartların devamı ve mikrobiyolojik aktivitenin sürdürülebilmesi için, en azından %5'lik minimum oksijen konsantrasyonuna ihtiyaç vardır. Yüksek oksijen konsantrasyonunun prosese negatif bir etkisi yoktur. Ancak aşırı havalandırma kompost yığınının sıcaklığını kaybetmesine ve işletme maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır

Aerobik kompostlaştırma prosesinde havalandırma üç amaca yönelik olarak gerçekleştirilir.

1. Biyolojik ayrışma için oksijen temini (stokiometrik ihtiyaç)

2. Kompostlaştırılacak atığın bünyesindeki fazla suyu uzaklaştırmak için (kurutma ihtiyacı)

3. Proses sıcaklığını kontrol etmek için ayrışma esnasında oluşan fazla ısıнын uzaklaştırılması (ısı giderim ihtiyacı)

Stokiometrik ihtiyaç atığın kimyasal bileşimine bağlı olmakla birlikte 1.2-2.0 g O₂/ ayrışabilir uçucu katı madde değeri birçok substrat için kullanılabilir (Haug, 1993).

Kurutma ihtiyacı ve prosesin sıcaklık kontrolü için gereken O₂, stokiometrik ihtiyaçtan daha fazladır. Proses şartlarına bağlı olarak gerekli hava ihtiyacının belirlenmesinde kurutma veya sıcaklık kontrolü önemli faktörler olabilir. Su muhtevası yüksek atıklar için belirleyici faktör kurutma ihtiyacı iken, su muhtevası düşük atıklar için ısı giderimi hava ihtiyacının belirlenmesinde göz önüne alınmaktadır. Külcü ve Yaldız (2003) tarafından zirai atıklar üzerine yapılan çalışmada ise hava 0.1 L hava/dakika/kg organik madde, 0.2 L hava/dakika/kg organik madde, 0.4 L hava/dakika/kg organik madde ve 0.8 L hava/dakika/kg organik madde olmak üzere dört farklı hızda kompost reaktörlerine verilmiş ve en yüksek organik madde ayrışmasının 0.4 L hava/dakika/kg organik madde havalandırma hızında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Kompostlaştırma prosesinin başlangıç safhasında önce kolay ayrışabilir organik maddelerin tüketilmesi nedeniyle oksijen ihtiyacı fazla olur. Proses ilerledikçe oksijen ihtiyacı azalır. Gerekli oksijen esas olarak üç şekilde sağlanır.

- Doğal havalandırma ile (difüzyon ve konveksiyon),
- Aktif havalandırma ile (basınçlı veya vakumlu havalandırma)
- Fiziksel olarak çevirme yolu ile

Yığın sistemlerinde genellikle doğal havalandırma veya fiziksel çevirme yöntemleri kullanılır. Aktif havalandırma uygulamalarına daha çok statik sistemlerde ve kapalı reaktör sistemlerinde rastlanır. Aktif havalandırmalı sistemler enerji tüketimi açısından vakumlu sistemlere göre daha ekonomik olmakla beraber vakumlu sistemler çıkış gazlarının kolaylıkla toplanabilmesi açısından avantajlıdır.

Doğal havalandırmalı kompostlaştırma sistemlerinde yığının alt bölgelerine oksijen difüzyonu metabolik gereksinimlerden çok daha az olduğundan bu bölgeler havasız hale gelir. Bu durumda karıştırmak suretiyle havanın bu bölgelere ulaşması sağlanır.

Karıştırma sonucu partiküllerin boyutları küçülerek yüzey alanlarının artması ve buna bağlı olarak da mikrobiyolojik faaliyetin hızlanması sağlanır.

Ohio'da yapılan bir çalışmada; çeşitli havalandırma hızlarında kompostlaştırılan mandıra atıklarıyla pirinç kabuklarının amonyak konsantrasyonları ölçülmüş (Hong ve diğ., 1997). Sıcaklık ve amonyak konsantrasyonlarının havalandırma başladıktan 48 gün sonra pik noktaya ulaştığı ve daha sonra düzenli olarak azaldığı gözlenmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada domuz atıklarıyla talaşın 200 litrelik pilot ölçekli kaplarda kompostlaştırılmasında kesikli ve sürekli havalandırma test edilmiş. Sürekli havalandırmada azot kayıplarının %26 iken kesikli havalandırmada %14 olduğu gözlenmiştir. Domuz atıklarıyla talaşın kompostlaştırılmasında azot kayıplarının ve amonyak emisyonlarının azaltılmasında kesikli havalandırmanın daha pratik olduğu sonucuna varılmıştır (Hong ve diğ., 1998).

Oksijen ihtiyacı su muhtevasıyla ilişkilidir. Su muhtevasındaki azalma da serbest hava boşluğunu arttırarak mikrobiyolojik faaliyeti hızlandırabilir. Regan ve Jeris (1970), yaptıkları çalışmada oksijen tüketiminin %56 su muhtevasında, %85 su muhtevasındakine göre daha fazla olduğunu bulmuşlardır.

Epstein (1997), laboratuvar ölçekli reaktörle yaptığı çalışmalarda sıcaklık ile oksijen tüketimi arasında, O₂ tüketiminin logaritmik ölçekte işaretlenmesi halinde, lineer bir ilişki (Denklem 2.6) olduğunu göstermiştir (Şekil 2.5).

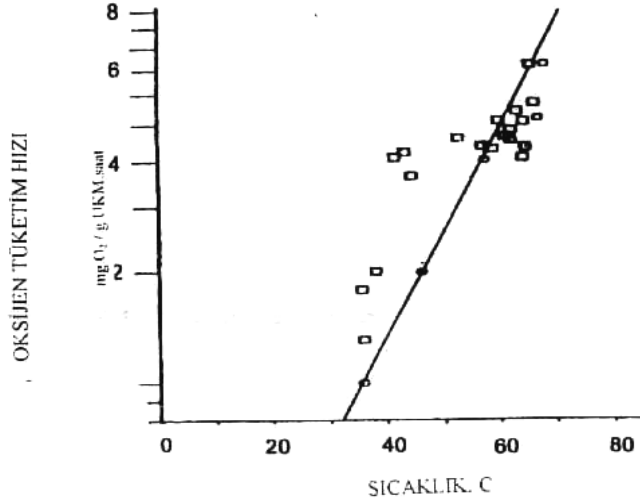
O₂ tüketim hızı şu denklemle ifade edilmiştir.

$$Y = a \cdot 10^{KT} \quad (2.6)$$

a : sabit katsayı (0.1)

K : 0.28 (20°C - 70°C arasındaki sıcaklıklarda)

İfade edilen ilişki mikrobiyolojik aktivitenin en yüksek olduğu ilk yedi günde elde edilen verilere göre ortaya konmuştur.



Şekil 2.5: Laboratuvar ölçekli bir reaktörde sıcaklık – oksijen tüketimi ilişkisi (Epstein, 1997)

Kompostlaştırma prosesinde karıştırma, kütlede üniform yapıyı sağlamak için gereklidir. İyi karıştırmanın yapıldığı durumlarda havalandırma etkinlik kazanmaktadır. Mekanik havalandırmalı sistemlerde karıştırma yapılmadığında gönderilen hava kütle içerisinde hep aynı doğrultuyu takip etmek suretiyle kütleyi terk edebilir. Böylece kütle içerisinde yer yer anaerobik bozunma gözlenebilir. Ayrıca karıştırma ile kütle içerisinde sıcaklığın, nütrientlerin, mikroorganizmaların dengeli olarak dağılması ve dolayısıyla organik madde bozunma hızının artması sağlanmaktadır. En etkin karıştırma mekanik karıştırma reaktörlerle gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada karıştırma belirli aralıklarla atıkların reaktörlerden boşaltılarak karıştırılıp tekrar doldurulması şeklinde gerçekleştirilmiştir.

2.4 Aerobik Kompostlaştırma Prosesinin Mikrobiyolojik Özellikleri

Aerobik kompostlaştırma prosesinde yığın içinde çok geniş bir mikroorganizma topluluğu görev alır. Bu mikrobiyolojik çeşitlilik değişen çevre koşullarında kompostlaştırma prosesinin verimli bir şekilde devam etmesine olanak sağlar. Kompostlaştırmayı gerçekleştiren mikroorganizmalar birbirinden farklı özelliklere sahip birçok maddeyi ayrıştırır. Sıcaklık seviyeleri ve mevcut besin kaynağı, mikrobiyolojik topluluğun oluşturulmasında hangi organizma türünün veya türlerinin hakim olacağının belirlenmesinde en önemli etkiye sahiptir.

Kolay ayrışabilir maddeler düşük moleköl ağırlığı ve basit kimyasal yapı özellikleri, suda çözünmeleri ve organizmaların hücre duvarından kolayca geçebilmeleri nedeniyle kompostlaştırma prosesinin başlangıç safhasında hızlı bir şekilde ayrışır.

Kolay ayrışabilir maddelerin azalmasıyla birlikte mikroorganizmalar yüksek moleköl ağırlıklı, polimerik (uzun zincirler halinde) yapıdaki ve hücre duvarından doğrudan geçemeyen daha kompleks ve zor ayrışabilir maddelere yönelirler. Bu maddeler hücre dışı enzimler vasıtasıyla hücre duvarından içeri geçebilir hale gelir. Mantar gibi özel organizma türleri bu ayrışmayı gerçekleştirirler. Stentiford (1993) organik maddeleri ayrışma hızlarına göre Çizelge 2.3'te görüldüğü gibi sınıflandırmışlardır.

Çizelge 2.3: Organik maddelerin ayrışma hızları (Stentiford, 1993).

Organik Madde	Ayrışma Hızı
Şekerler	Kolay ayrışabilir maddeler
Niştasta, glikojen, pektin	
Yağ asitleri, gliserol, yağlar	
Amino asitler	
Nükleik asitler	
Proteinler	Yavaş ayrışabilir maddeler
Hemiselüloz	
Selüloz	
Düşük moleköl ağırlıklı bileşikler	
Lignoselüloz	Ayrışmaya dirençli maddeler
Lignin	

Kompostlaştırma prosesinde rol alan en önemli mikroorganizma türleri bakteriler, mantarlar ve aktinomisetlerdir. Bu mikroorganizmalar oksijen gereksinimlerine göre anaerobik, aerobik veya fakültatif anaerobik olabilirler. Aerobik mikroorganizmalar serbest oksijenin bulunduğu ortamlarda, anaerobik mikroorganizmalar serbest oksijenin bulunmadığı ortamlarda yaşarlar. Fakültatif anaerobikler ise ortamda oksijen mevcutsa bunu kullanırlar, eğer yoksa da yaşayabilirler.

Bakteriler; hem aerobik, hem de anaerobik ortamlarda hızlı büyüme yeteneğine sahiptirler. Kompostlaştırma prosesinin özellikle başlangıç safhalarında görülen küçük, basit yapılı, tek hücreli organizmalardır. %80 su ve %20 kuru madde içerirler. İçerdikleri kuru maddenin %90'ı organik, %10'u inorganik yapıdadır. Organik kısım hücrenin farklı kısımlarında bulunan protein, karbonhidrat ve yağları içerir. İnorganik kısım ise fosfor, kalsiyum, magnezyum, demir, sodyum, potasyum ve eser elementlerden oluşur (Haug, 1993).

Değişik çevre koşullarında yaşayabilen geniş bir organizma topluluğu oluştururlar ve büyük ölçüde kolay ayrışabilir maddelerin tüketilmesinden sorumludurlar. Mantarlara ve aktinomisetlere göre küçük olmalarına rağmen hayli fazla sayıdadırlar.

Bakteriler hızlı ayrıştırıcılarıdır. Bazı bakteriler selülozu da ayrıştırabilirler. pH 6-7,5 arasında optimum olarak çalışırlar ve verimleri su muhtevastaki azalmaya bağlı olarak düşer. Bakteriler yüksek sıcaklık gibi olumsuz çevre koşullarından korunabilmek için spor oluştururlar. Şartların uygun hale gelmesiyle tekrar aktif hale geçerler (NEH, Part 637-2000).

Mantarlar bakterilerden daha büyük organizmalardır. Düşük nem, düşük sıcaklık değerlerinde ve geniş bir pH aralığında çeşitli organik maddeleri ayrıştırabilen, filamentli, spor oluşturan, heterotrofik mikroorganizmalardır. Mantarlar kompostlaştırma prosesinin daha ileriki evrelerinde, hemiselüloz, lignin ve pektin gibi ayrışmaya dirençli maddeler ile odunsu maddelerin ayrıştırılmasında görev yaparlar. Bakterilere kıyasla düşük nem ve pH şartlarına karşı daha toleranslı olan mantarların çoğu zorunlu aerobik olmaları sebebiyle ortamdaki düşük oksijen seviyesine karşı çok hassastırlar. Ayrıca mantarlar 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaşayamazlar (NEH, Part 637-2000).

Mantarlar 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaşayamadıkları ve ayrışmaya dirençli maddelerin ayrıştırılmasından sorumlu oldukları için yüksek sıcaklıklar kompostlaştırma prosesinde ayrışmanın tamamlanması açısından zararlıdır. Patojen organizmaların giderilmesini sağlamak için yüksek tutulması gereken sıcaklık, bu organizma türünün yaşamasını sağlamak için bu değerin üzerine çıkmayacak şekilde ayarlanmalıdır (NEH, Part 637-2000).

Aktinomisetler hem bakterilere, hem de mantarlara benzer özellik gösteren mikroorganizma grubudur. Yapı ve büyüklük olarak bakterilere benzeyen bu canlılar, filamente sahip olmalarıyla da mantarlara benzerler (NEH, Part 637-2000).

Organik asitleri, şekerleri, nişastayı, hemiselülozu, selülozu, proteinleri, polipeptitleri, amino asitleri hatta ligninleri ayrıştırabilen aktinomisetler, salgıladıkları hücre dışı enzimler vasıtasıyla bakterileri yok edebilmektedirler. Aktinomisetler kolay ayrışabilir maddelerin çoğunun tüketildiği, nem seviyesinin ve pH değerlerinin azaldığı kompostlaştırma prosesinin ileri safhalarında yaygın olmaktadır (NEH, Part 637-2000).

Kompostlaştırma prosesinin sonlarına doğru, sıcaklık uygun seviyelere düştüğü andan itibaren protozoa, rotifer ve nematod türü yüksek yapıli organizmalar kompost karışımında görülmeye başlar. Bakteri ve mantarlarla beslenerek ligninlerin ve pektinlerin ayrıştırılmasında rol oynarlar. Ayrıca yüksek yapıli organizmalar kompostun hastalık yapıcı özelliklerinin giderilmesine ve kalitesinin artmasına katkı sağlarlar (NEH, Part 637-2000).

Kompostlaştırma prosesinin başlangıç safhasında mezofilik bakteriler hakimdir. Kompostun sıcaklığının yükselmesi ile termofilik bakteriler, daha sonra 7-10 gün sonunda görülen mantarlar baskın hale gelir. Son safhada aktinomisetler ortaya çıkar. Bakterilere kompost yığınının her yerinde rastlanırken, mantarlar ve aktinomisetler kompost kümesi yüzeyinin hemen altında, dış tabakanın 5-12cm'lik kısmında yer alırlar.

Tüm aerobik kompostlaştırma proseslerinin mikrobiyolojik özellikleri benzer olup proses kontrolünde kritik parametreler su muhtevası, sıcaklık, oksijen ve C/N oranıdır.

2.5 Kompostlaştırma Esnasında Gerçekleşen Azot Kayıpları

Kompostlaştırma prosesi esnasında önemli miktarda azot kayıpları gerçekleşir. Yeraltı ve yüzey suları kirliliği, koku problemi ve kompostun azot içeriğinden dolayı azot kayıpları önemlidir. Kompostun azot içeriğinin korunması kompostlaştırma prosesini kontrol etmekle mümkündür. Böylece azot kayıpları azaltılabilir.

Kompostlaştırma prosesi esnasında azot kayıpları üç şekilde gerçekleşebilir:

- Gaz emisyonları
- Sızıntı
- Denitrifikasyon

Hayvan atıklarının başlangıç azotunun yaklaşık %20-77'si kompostlaştırma esnasında kaybolur (Martins ve Dewes, 1992; Tiquia ve Tam, 2000). Kompostlaştırma esnasında nütrient kayıpları esas olarak gaz emisyonları şeklinde gerçekleşir. Martins ve Dewes (1992), azot kayıplarının %47 - %77'sinin gaz emisyonları şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Bu emisyonların büyük bir kısmı NH_3 şeklinde, küçük bir yüzdesi ise N_2O şeklinde gerçekleşmektedir. Bonazzi ve diğ. (1990), başlangıç toplam azotunun %50-63'ünün NH_3 buharlaşması yoluyla kaybolduğunu gözlemlemişlerdir. Martin ve Dewes (1992), tavuk gübresi için ortalama azot kayıplarının %59-%69 arasında olduğunu bulmuşlardır. Kompostlaştırma prosesi esnasında pH, sıcaklık, C/N oranı, su muhtevası ve havalandırma gibi faktörler azot kayıplarını etkiler. Azot kayıpları yığın sıcaklıkları oldukça yüksek ve pH değerleri 7'nin üzerinde olduğunda NH_3 buharlaşması şeklinde gerçekleşir. Düşük C/N oranı kümes atıklarından NH_3 kayıplarını artırır.

NH_4^+ ve az miktarda NO_3 sızıntı yoluyla kaybolur. NO_3 kompost sızıntısında önemli miktarda olmasa da yeraltı suyunu kirletme potansiyeline sahip olduğundan önemlidir (Rymshaw ve diğ. , 1992). Martin ve Dewes (1992), toplam azotun %9,6-%19,6 sızıntı şekline kaybolduğunu belirtmişlerdir. Bu kayıpların %76,5-%97,8'i amonyak azotu şeklinde, geri kalanı ise %0,1-%2,2'si nitrat azotu şeklindedir.

Bu sızıntının büyük çoğunluğu kompostlaştırma periyodunun ilk iki haftasında gerçekleşir. Tavuk gübresi gibi azot bakımından zengin maddeler için sızıntıyla kaybedilen azot miktarı oldukça fazladır. Kompostlaştırma prosesi devam ettikçe, sızıntıyla kaybedilen azot miktarı azaldığı gibi, amonyak azotu sızıntısı da azalır.

Denitrifikasyonla gerçekleşen azot kayıplarını minimize etmek için de sistemin iyi havalandırılması gerekir.

2.6 Kompostlaştırılacak Atığın Özelliklerinin İyileştirilmesi (Şartlandırılması)

Kompostlaştırma prosesinin başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için kompostlaştırılacak atığın özelliklerinin kompostlaştırmaya uygun hale getirilmesi

(şartlandırılması) gerekir. Şartlandırma kompostlaştırma prosesini kısıtlayabilecek olan su muhtevası, serbest hava boşluğu, nütrientler ve enerji faktörlerinin ayarlanarak uygun hale getirilmesidir. Şartlandırma üç şekilde yapılabilir:

- Fiziksel ve yapısal şartlandırma
- Kimyasal şartlandırma
- Termodinamik (enerji bakımından) şartlandırma

Fiziksel veya yapısal şartlandırma, atığın su muhtevası ve serbest hava boşluğu arasındaki ilişki ile dane boyutunu düzenler.

Bazı atıkların kompostlaştırılabilmesi için fiziksel şartlandırmanın dışında ilave düzenlemeler yapmak gerekir. Kimyasal şartlandırmada, atığın pH, nütrient ve C/N oranı değerlerindeki dengesizlikler düzeltilir.

2.6.1 Katkı malzemesi

Katkı malzemesi kompostlaştırılacak atığı şartlandırmak için eklenen maddelerdir. İki tür katkı malzemesi vardır.

- 1) Yapısal katkı malzemeleri: Hacim ağırlığını azaltmak ve hava boşluğunu arttırmak için eklenen organik veya inorganik maddelerdir.
- 2) Enerji sağlayan katkı malzemeleri: Atığın enerji içeriğini arttırmak için eklenen organik yapılı, kolay ayrışabilir madde bakımından zengin katkı malzemeleridir.

Katkı malzemeleri atığın C/N oranını dengelemek, pH'ını ayarlamak, su muhtevasını uygun seviyelere getirmek için eklenir. Birden fazla katkı malzemesi kompost karışımına eklenebilir

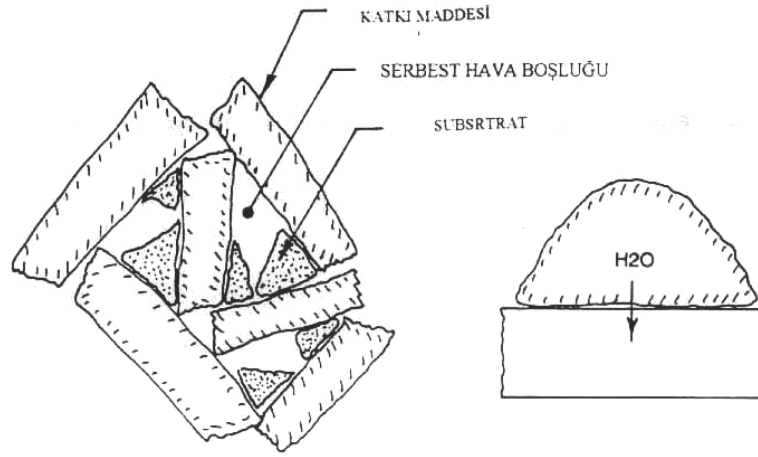
İdeal katkı malzemesi kuru olmalı, düşük hacim ağırlığına sahip olmalı ve ayrışabilme kapasitesi yüksek olmalıdır. En çok kullanılan katkı malzemeleri talaş, saman, pirinç kabukları, pamuk bitkisi artıkları, evsel atık bileşenleri ve çiftlik atıkları olarak sayılabilir (Haug, 1993).

2.6.2 Gözenek malzemesi

Gözenek malzemeleri ayrışmaya dirençli organik veya inorganik yapılı maddeler olup kompostlaştırılacak atığın partikülleri arasında boşluklar yaratarak atığa yapısal kuvvetlilik kazandırır ve havalandırmanın gerektiği gibi yapılabilmesini sağlarlar.

Gözenek malzemeleri su absorblama karakteristiklerine göre de sınıflandırılabilirler. Doğal selülozik maddelerin çoğu poröz bir yapıya sahip olup su absorblama kapasiteleri yüksektir. Plastikler gibi poröz olmayan maddelerin ise hiç su absorblamadıkları kabul edilir. Aynı şekilde suyla doygün hale gelmiş gözenek malzemesi de hiç su absorblayamaz. Gözenek malzemesinin su absorblama kapasitesi yapısal şartlandırma için ihtiyaç duyulan malzeme miktarını belirlemek açısından önemlidir. Bununla birlikte uygun bir katkı malzemesi aynı zamanda gözenek malzemesi görevi de görebilmektedir (Haug,1993).

Atık ve gözenek malzemesinin birbirleriyle olan ilişkisi ve suyun gözenek malzemesi tarafından absorblanması Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Atık- gözenek malzemesi karışımı ve suyun absorblanması (Haug, 1993).

Fıstık kabukları, ağaç kırıntıları, lastik parçaları, ufalanmış evsel çöpler, pirinç kabukları sık karşılaşılan gözenek malzemeleridir. Bu malzemelerin çoğu selülozik maddelerden oluşur ve kompostlaştırma esnasında bir dereceye kadar ayrışır.

2.7 Kompost Stabilitesini Belirleyen Faktörler

Kompostlaştırmada nihai hedef, toprak iyileştirici olarak kullanılabilen humus benzeri bir madde üretmektir. Kompostun stabil ve olgun olması bu hedefe ulaşmada oldukça önemlidir.

Stabilizasyon terimi, organik maddelerin oksidasyon derecesini ifade etmek için kullanılmaktadır. Kompostlaştırma sonucunda oluşan maddeler yavaş da olsa hala ayrışabilme kabiliyetine sahiptirler, fakat başlangıçta atık içindeki organik

maddelerle karşılaştırıldığında ayrışabilme açısından daha stabil bir durumu ortaya koyarlar. Kompostlaştırma prosesi sonunda elde edilen kompostun toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilmesi için tamamen stabil hale gelmesi istenmez.

Kompostun toprakta güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için stabilite veya olgunluk derecesinin bilinmesi gerekir. Stabilite kompostun mikrobiyal aktivite derecesi ile ilgili iken; olgunluk, bitki gelişme potansiyeli veya fitotoksisite ile ilgilidir. Fitotoksisite ağır metallerden, inorganik elementlerden ve organik bileşiklerden kaynaklanabilir. Fitotoksik bileşikler uzun olgunlaşma periyotlarından sonra yok olur. Stabilesi iyi olmayan kompostlarda mikroorganizmalar tarafından üretildiği için genellikle stabilite ve olgunluk parametreleri birlikte ele alınır (Zucconi ve diğ.,1985). Kompostun stabilesini ve olgunluğunu değerlendirmek için Çizelge 2.4'te verilen parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 2.4: Kompost stabilite ve olgunluk parametreleri (Epstein, 1997).

	Kimyasal Metotlar	Fiziksel Metotlar	Bitki Testleri	Mikrobiyolojik Testler
Parametreler	C/N	Sıcaklık	Tere Tohumu	Solunum-O ₂ tüketimi
	Azot türleri	Renk	Bitki kök incelemeleri	Solunum-CO ₂ değişimi
	Organik madde	Koku		
	Kasyon değişirme kapasitesi	Spesifik ağırlık		
	Organik kimyasal bileşenler	Su muhtevası		
	Hümikleşme parametreleri			
	pH			

Bu parametrelerin tek başlarına stabilite ve olgunluğun göstergesi olarak kullanılması uygun olmayıp sahip olmaları gereken özellikler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- *C/N oranı*

Kompostun stabilesini belirlemek için kullanılır. C/N<20 olması stabil kompost belirtisidir. Üründeki C/N değerinin başlangıçtaki C/N değerine oranının 0.49-0.85 olması beklenir. Suda Çözünebilir Organik Karbon/Toplam Organik Azot oranının 0.7'nin altına indiğinde stabilizasyonun tamamlanmış olduğu kabul edilir.

- *N türleri*

Olgunlaşma evresinde $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 'u konsantrasyonunda azalma ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'u konsantrasyonunda artma gözlenir. NH_3 olgunlaşmamış kompostun, NO_3 ise olgunlaşmış kompostun göstergesidir. Stabil bir kompostta NH_4 konsantrasyonunun %0.04'ün üstünde olmaması gerekmektedir.

- *Kasyon değiştirme kapasitesi*

Kasyon değiştirme kapasitesi, organik veya inorganik partiküllerin kasyonları yüzeyinde sorplama veya tutma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Aerobik kompostlaştırmada 5-8 hafta süresince kasyon değiştirme kapasitesi 40meq/100g'dan 80meq/100g değerine kadar artmaktadır. Olgunlaşmış komposttaki minimum kasyon değiştirme kapasitesi değeri 60meq/100g olarak kabul edilir.

- *Organik kimyasal bileşenler*

Selüloz uzun sürede ayrışabildiği için kompostun olgunluk derecesinin iyi bir göstergesidir. Selüloz kompostlaştırma prosesi boyunca azalır.

- *Hümikleşme parametreleri*

Organik maddenin bileşenlerindeki değişimler stabilizasyon derecesini gösterirler. Kompostlaştırma süresince hümik madde oluşumunda artış gözlenir.

- *pH*

Biyolojik aktivitenin sonucu olarak başlangıçta düşer, sonra yükselir. pH değeri kompostun stabilite ve olgunluğuna ilişkin kesin bir gösterge değildir.

Renk, koku ve sıcaklık gibi fiziksel parametreler ulaşılan stabilizasyon derecesi hakkında genel bir fikir verirken olgunlaşma derecesi için doğrudan fikir vermezler. Olgun kompost koyu kahverengi olup, kokusu orman toprağına benzemektedir.

Bitki testleri stabilite için değil, kompostun olgunluğunu değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Mikrobiyal aktiviteyi izlemek amacıyla O_2 tüketimi, oluşan CO_2 'in değişimi ve mikrobiyal değişimler takip edilir.

CO₂ 4 günlük periyottan sonra belirlenir. Solunum mg CO₂/kg biyolojik UKM-sa veya mg CO₂/gr kompost-gün birimiyle ifade edilir. Biyolojik UKM, plastik gibi biyolojik olmayan maddelerden ayırmak için kullanılır. Solunum hızı < 5 mg CO₂-C/gr kompost olduğunda kompost olgun demektir.

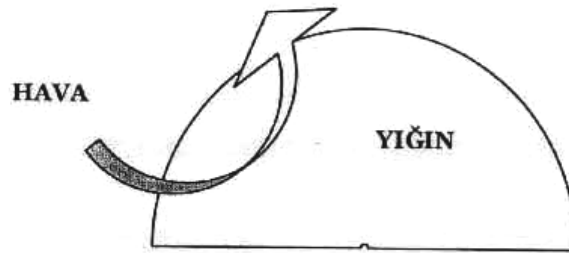
2.8 Aerobik Kompostlaştırma Metotları

Aerobik kompostlaştırma metotları; basit (yığın) ve kapalı reaktör (dinamik) sistemler olarak 2 ana gruba ayrılır. Basit (yığın) sistemlerde kompostlaştırılacak madde yığın olarak hazırlanır ve değişik şekillerde havalanması sağlanır. En yaygın statik sistemler; yığın, karıştırmalı yığın, havalandırmalı yığın ve havalandırmalı-karıştırmalı yığın metotlarıdır. Dinamik (kapalı) sistemlerde kompostlaştırılacak madde içeri oksijen girmesini sağlamak, sıcaklığı kontrol etmek, stabil bir ürün elde etmek için kapalı hacimlerde havalandırılır ve karıştırılır. En yaygın dinamik (kapalı) sistemler ise; karıştırmalı dikdörtgen reaktörler (tünel metodu), silo sistemi, döner tambur ve konteynır sistemleridir.

2.8.1 Basit sistemler

2.8.1.1 Statik yığın sistemi

Statik yığın sisteminde kompostlaştırılacak atık karıştırılmadan yığınlar halinde bekletilir. Havalandırma, yığının içerisindeki havanın hareketi ve rüzgar tarafından sağlanır (Şekil 2.7). Bu yöntemde en önemli nokta yığının yüksekliğinin belirlenmesidir. Yığının yüksekliğinin fazla olması, havanın yığın içinde hareketini engelleyeceğinden ve sonuçta anaerobik koşulların oluşmasına neden olacağından istenmeyen bir durumdur. Bunun için yükseklik genelde 1-2m'den fazla olmamalıdır. Ayrıca atığın partikülleri arasındaki boşluk oranı da yeterince fazla olmalıdır.



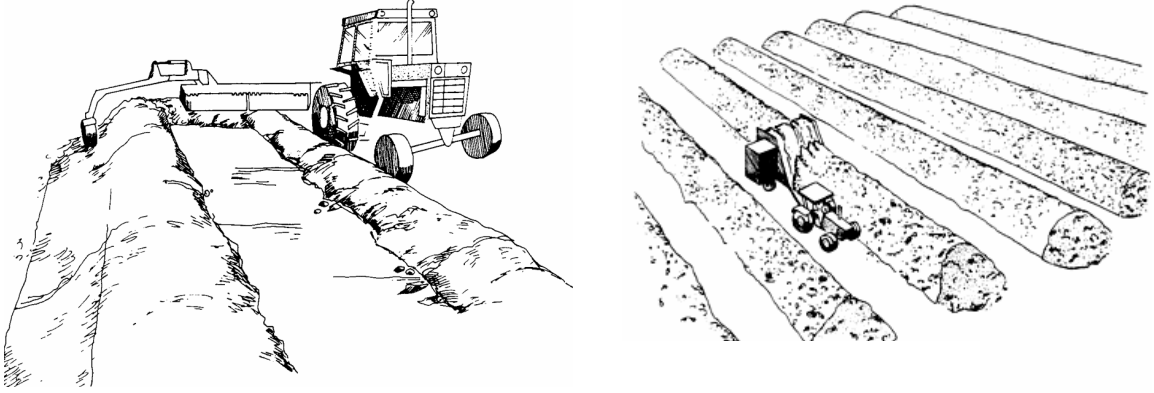
Şekil 2.7: Yığın Sistemi (NEH, Part 637-2000).

Bu yöntem en az ekipman ve enerji ihtiyacı duyulan yöntemdir ancak işlem uzun bir zamanda gerçekleştiğinden ve koku problemine yol açma olasılığı yüksek olduğundan büyük hacimli atıkların kompostlaştırılmasında pek tercih edilmez. Genellikle az atık oluşan yerlerde ve çiftliklerde uygulanmaktadır.

2.8.1.2 Karıştırmalı yığın sistemi

Yığın metodunun gelişmiş halidir. Bu yöntemde kompost yığını belli aralıklarla insan gücüyle veya çeşitli iş makineleriyle aktarılacak suretiyle karıştırılır. Yığınların boyutları, atık miktarına ve türüne, temin edilebilecek arazi genişliğine ve iklime göre değişmekle birlikte yükseklikleri genelde 1,0 - 3 m, genişlikleri ise 1,3-8 m arasında olacak şekilde ayarlanmaktadır (Şekil 2.8). Yığın boyutunun belirlenmesinde önemli unsurlardan birisi de karıştırma makinesinin özellikleridir. Gübre gibi yoğunluğu fazla olan atıklarda yığın yüksekliği daha az olmalıdır. Aynı zamanda üretilen ısıнын korunması ve havanın yığının alt kısımlarına kadar ulaşabilmesi de dikkate alınmalıdır. Yığınlar düzenli olarak alt üst edilerek gerekli karıştırma ve havalandırma sağlanır. Böylece proses için gerekli süre azalmış olur ve anaerobik koşulların gerçekleşmesi ihtimali azaltılır. Ayrıca yığınların çevrilmesiyle ısı, su buharı ve gazlar açığa çıkar ve atık daha iyi kompostlaştırılır. Kompostlaştırmanın başlangıç aşamalarında yığınlar daha sık çevrilir. Karıştırmanın önemli faydalarından birisi de iri danelerin parçalanmasıdır.

Yığınlar oluşturulmadan önce, kompostlaştırılacak atık dane boyutu 2,5 – 7,5 cm olacak şekilde öğütülmeli ve elenmelidir. Atığın yapısına ve karıştırma sıklığına bağlı olarak kompostlaştırma süresi 3-9 hafta sürebilir. Atığın kompostlaştırılması için 8 haftalık bir süre yeterli olmaktadır. Olgunlaşma evresinde karıştırma yapılmadan 3-4 hafta beklenir. Bu sürede kompostlaşmadan kalan atıklar mantarlar ve aktinomisetler tarafından azaltılır.



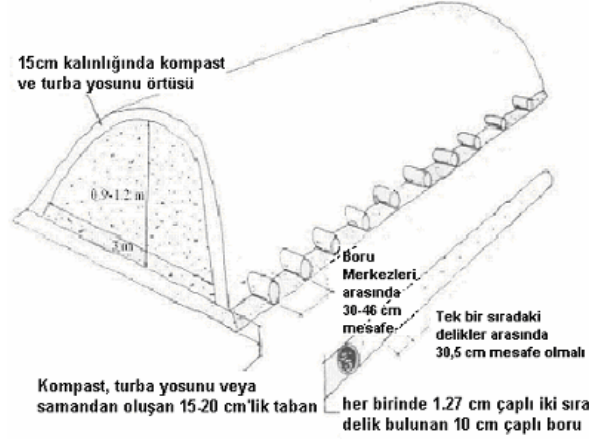
Şekil 2.8: Karıştırmalı Yığın (Windrow) Sistemi (NEH, Part 637-2000).

2.8.1.3 Havalandırılmalı yığın sistemi

Bu yöntem statik yığın metodundan, aktif olarak yapılan havalandırma işlemi ile ayrılır. Uygun ölçülerde yığılan atıklar çeşitli havalandırma yöntemleriyle havalandırılır. İzolasyonu sağlamak ve koku problemini kontrol edebilmek için yeni oluşturulan yığının üzerine elenmiş kompost tabaka halinde serilir. Bu yöntemde karıştırma yapılmaz. Havalandırma iki şekilde gerçekleştirilebilir.

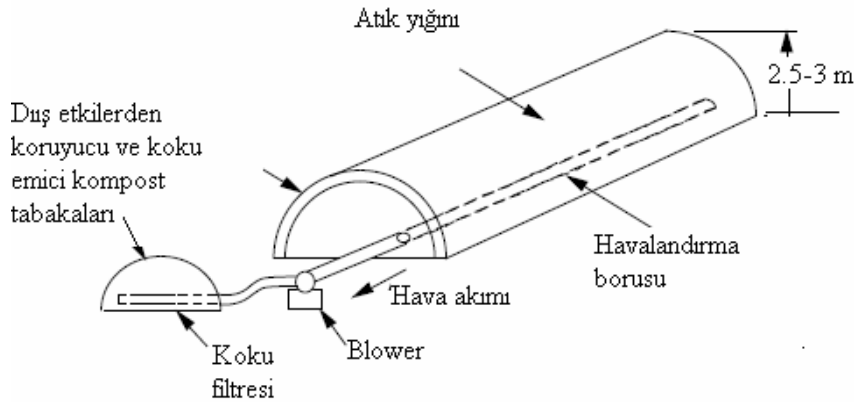
Birincisi atık yığının altına uygun aralıklarda döşenmiş borularla yapılan pasif havalandırmadır. Kompostun içinde sıcaklığın artmasıyla yükselen havanın yerine, atığın altına döşenmiş delikli borular vasıtasıyla taze ve soğuk hava girişi sağlanır. Böylece prosesin ihtiyaç duyduğu oksijen sağlanmış olur.

Bu yöntemde sürtünme kuvvetinin emme kuvvetinden büyük olmaması ve bu nedenle atığa hava girişinin engellenmemesi için borular atığın altına enlemesine yerleştirilmelidir. Yapılan çalışmalara göre en iyi verimin sağlanması için, atığın genişliği 1-1,5 m, atığın altına konan boruların çapları 10 cm, borular arasındaki mesafe 30-45 cm, boru üzerindeki deliklerin çapı 1-1,5 cm ve delikler arasındaki mesafe 30 cm civarında olmalıdır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Pasif Havalandırılmalı Yığın Sistemi (Rynk, 1992).

İkinci havalandırma şekli, üfleyicilerle yapılan aktif havalandırmadır. Bu yöntemde atık yığının altına yerleştirilen delikli boruya bir kompresör vasıtasıyla hava pompalanır veya vakum ile bu borudan hava çekilir. Bunun yanında, eğer kompostlaştırma yapılan alanda birden çok yığın varsa bir yığından emilen hava diğerine verilerek de havalandırma yapılabilir. Bu şekilde koku kontrolü de yapılmış olur. Yığının uzunluğu kullanılan üfleyicinin gücüne bağlı olarak değişir. Üfleyicilerin çalışma süreleri belirli bir sıcaklık aralığını sağlamak için bir zaman ayarlayıcıyla kontrol edilebilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Üfleyici ile Havalandırılan Yığın Sistemi (Rynk, 1992).

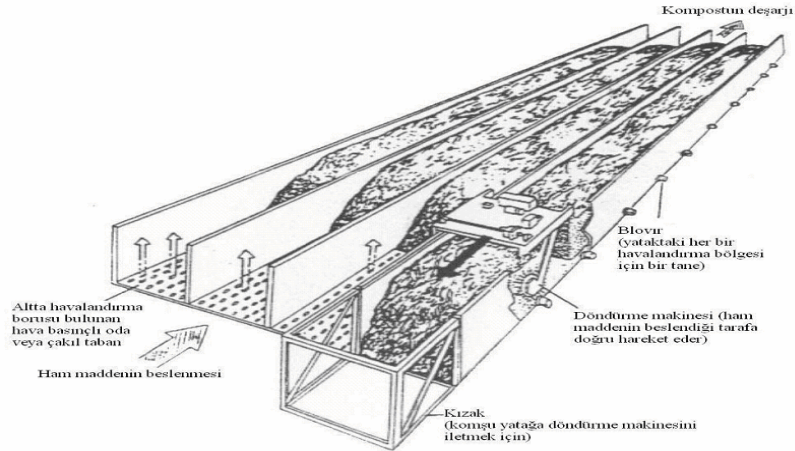
2.8.2 Kapalı reaktör (In-vessel) sistemler

Kapalı reaktör sistemler kompostlaştırmanın kapalı bir kap veya konteyner içinde gerçekleştirildiği sistemlerdir. Bu sistemler havalandırma, sıcaklık ve oksijen konsantrasyonu gibi ortam koşullarını kontrol ederek proses süresini ve koku

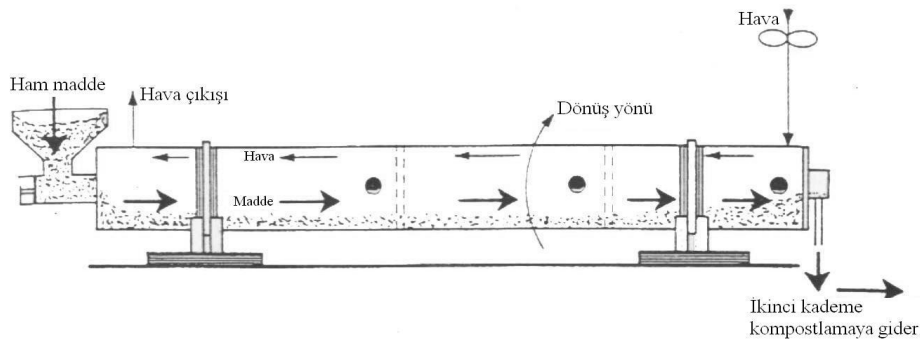
problemini minimize etmek ve kompostlaşma için gerekli süreyi azaltmak için dizayn edilmiştir. Bu sistemde reaktör olarak kutular, yatay dikdörtgen tanklar ve döner tanklar kullanılabilir.

Kapalı reaktör sistemler, piston akımlı ve dinamik (karıştırmalı) yatak olmak üzere başlıca iki kategoriye ayrılır. Piston akımlı sistemlerde kompostlaştırılan kütlenin birbirleri ile ilişkileri proses sırasında hep aynı kalır ve sistem bir içeri bir dışarı esasına göre çalışır. Dinamik bir sistemde, kompostlaştırılan malzeme proses esnasında mekanik olarak karıştırılır.

Son yıllarda işçi maliyetinin ve arazi ihtiyacının düşük olması, koku probleminin kontrol altında tutulabilmesi gibi avantajları nedeniyle kapalı sistemler tercih edilmektedir. Bu sistemlerde aktif kompostlaştırma süresi 1-2 hafta sürerken, olgunlaşma için 4 - 12 haftalık periyotlar gerekmektedir. Kapalı reaktör sistemlerine örnekler Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Dikdörtgen karıştırma yataklı tank (Rynk, 1992).



Şekil 2.12: Döner tank (Rynk, 1992).

2.8.3 Aerobik kompostlaştırma sistemlerinin karşılaştırılması

İyi işletilen yığın (windrow), havalandırmalı yığın ve kapalı reaktör sistemlerinde kompostlaştırma proseslerinin performansları aynı olduğundan alternatif prosesler arasında seçim; yatırım ve işletme masraflarına, arazi uygunluğuna ve işletme kolaylığına bağlı olarak yapılır. Bu tür bir karşılaştırma Çizelge 2.5'te verilmiştir.

2.9 Kompostun Kullanımı

2.9.1 Kompostun faydaları ve kullanım alanları

Kompostun faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- Kompostlaştırma prosesi ile organik atıkların stabil son ürünlere dönüşümünün sağlanması
- Elde edilen ürünün tarımda, bahçecilikte ve diğer alanlarda toprağı iyileştirmek ve organik madde açısından zenginleştirmek üzere kullanılması
- Atıktaki patojen mikroorganizmaların etkin biçimde giderilmesi
- Düzenli depolama alanlarından önemli ölçüde tasarruf sağlanması
- Erozyona uğramış alanlarda kompost kaybedilmiş organik maddeyi sağlar ve toprağın kendini yenilemesine yardım eder. Kompost bitkilerin yeniden gelişimi için uygun bir alt tabaka oluşturur ve erozyonu önler.
- Kompostun ilave edilen toprağın içindeki organik madde miktarındaki artışa bağlı olarak boşluk hacmini, su ve nütrient tutma kapasitesini artırması
- Yer altı suyu kalitesinin korunmasını sağlar.
- Topraktaki nütrientleri tutmak için katyon değiştirme kapasitesini artırır ve bitkilere zarar veren asidik şartları önlemek için tamponlama kapasitesi sağlar.
- Zor işlenen toprakların tarım açısından elverişli hale gelmesinin sağlanması
- Suni gübre tüketiminin azaltılmasının sağlanması
- Besin maddelerinin daha iyi kullanılmasının sağlanması

Çizelge 2.5: Aerobik kompostlaştırma proseslerinin karşılaştırılması (Tchobanoglous, 1993)

Aerobik Kompostlaştırma Prosesi				
Karşılaştırma Kriteri	Yığın	Havalandırılmalı Statik Yığın	Reaktörde, Basınçlı Havalandırma Karıştırmalı (Dinamik)	Karıştırmaz (Piston Akımlı)
Yatırım Maliyeti	Genellikle düşük	Küçük sistemlerde genellikle düşük, büyük sistemlerde yüksek olabilir.	Genellikle yüksek	Genellikle yüksek
İşletme Maliyeti	Genellikle düşük	Yüksek (Nemden genleşen maddelerin kullanıldığı çamurlu sistemlerde)	Genellikle düşük	Genellikle düşük
Arazi İhtiyacı	Yüksek	Yüksek	Düşük fakat yığında kurutma veya olgunlaştırma gerekirse yükselebilir	Düşük fakat yığında kurutma veya olgunlaştırma gerekirse yükselebilir
Havanın Kontrolü	Basınçlı havalandırma kullanılmadığında sınırlı	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
İşletme Kontrolü	Aktarma frekansı, aşısı olarak kompost ilavesi	Hava akımı hızı	Hava akımı hızı, aşısı olarak kompost ilavesi	Hava akımı hızı, aşısı olarak kompost ilavesi
Sıcak ve Soğuk İklima Duyarlılık	Kapalı olmadığında duyarlı	Sıcak ve soğuk iklimlerde uygulanabilir	Sıcak ve soğuk iklimlerde uygulanabilir	Sıcak ve soğuk iklimlerde uygulanabilir
Koku Kontrolü	Beslenen atığa bağlı, koku kontrolü zor	Koku kontrolü zor ama kontrol edilebilir	Potansiyel olarak iyi	Potansiyel olarak iyi
Potansiyel İşletme Problemleri	Kötü iklimden etkileniyor	Hava akımı hızının kontrolü kritik, hava temininde kısa devre potansiyeli var	Yüksek işletme esnekliği, mekanik olarak sistem kompleks olabilir	Hava temininde kısa devre potansiyeli var, mekanik olarak sistem kompleks olabilir

Kompost ilavesi toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirir; fakat ağır metaller ve diğer kirletici konsantrasyonları dikkate alınması gereken parametrelerdir. Ağır metal seviyesi yüksek olan kompostlar yalnızca düzenli depolama alanlarında üst örtü olarak ve atık maddelerin bertarafı için tahsis edilmiş alanlarda kullanılabilirler (Wei ve diğ, 2000). Kompostun gübre olarak kullanımı da çok yaygındır. İnorganik gübreler spesifik miktarlarda azot-fosfor-potasyum içerirler.

Kompostun başlıca kullanım alanları şu şekildedir:

- Tarla, bahçe, sera, meyvecilik ve fidanlıklarda gübre olarak,
- Golf sahaları, çim sahalar, parklar ve oyun alanlarında toprak şartlandırıcısı olarak,
- Yanmış orman alanlarının, eski maden ocaklarının rehabilitasyonunda,
- Erozyon kontrolünde,
- Koku gideriminde biyofiltre malzemesi olarak,
- Düzenli depolama alanlarında son örtü malzemesi olarak

kullanılabilir.

2.9.2 Kompostun kalitesi

Kompostun kalitesi kompostun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin belirtisidir. Kompostun stabilitesi ve olgunluğu kompostun kalitesini etkiler. Olgunlaşmamış kompostun toprağa verilmesi bitki büyümesine zarar verir.

Kompostun kalitesini belirleyen en önemli parametreler patojen mikroorganizma içeriği, ağır metal içeriği ve nütrient içeriği, fiziksel ve kimyasal özellikleri (renk, su muhtevası, koku, organik madde içeriği, pH, dane boyutu ve su tutma kapasitesi, çözülmüş tuz içeriği, vb.) ve yabancı ot tohumlarının varlığı olarak sayılabilir.

Metal bileşiklerinin çözünürlükleri, kompostun uygulandığı toprağın pH'ına bağlı olarak değişir. Metal tuzları asidik topraklarda bitkinin özümsemesine uygun şekilde çözülmüş formda bulunurlar. Nötr ve alkali pH seviyelerinde, birçok element ve özellikle de ağır metaller çözünmeyen bileşiklere dönüşür. Bu formda bitkilere daha az etkilidirler ve yeraltı suları için daha az kirlilik riski taşırlar. Diğer bir deyişle, metal konsantrasyonunun yükselmesi ve yeraltı suyu kirliliği tehlikeleri düşük pH'larda fazladır.

Ağır metal içeriği üzerinde en çok durulan kalite parametresidir. Çünkü, bitkiler iz element biriktirme özelliklerine göre değişiklik gösterirler. Bitkilerin yapraksı kısımlarındaki metal konsantrasyonu, tohumlara ve köklere göre genellikle daha fazladır. Bir elementin miktarındaki artış o elementin toprağa ilave edilen miktarıyla orantılı olarak artar ve bitkinin gelişimini engelleyecek toksik konsantrasyona ulaşır. Ekinlerde Mo, Se, Cd gibi yeterince yüksek konsantrasyonlarda biriken elementler insanlar ve hayvanlar için toksiktir.

Ülkemizde kompostun toprakta kullanılabilmesi için taşınması gereken özellikler Çevre ve Orman Bakanlığı'nca 31.05.2005 tarihli ve 25831 sayılı resmi gazetede yayınlanan "Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği"nin 14. maddesinde belirtilmektedir. Buna göre;

- a) C/N oranının 35'ten daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktördeki komposta azot beslemesinin yapılması,
- b) Kompostun, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az %35'i oranında olması,
- c) Piyasaya sürülen kompostun su muhteva oranının %50'yi geçmemesi,
- d) Piyasaya sürülen kompost içinde, cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığının %2'sini geçmemesi
- e) Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en az altı aylık aralıklarla, ihtiva ettikleri kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden analiz edilmesi,
- f) Kompostun kullanılacağı toprağın, EK II-A'daki Toprak Analiz Belgesi'nde yer alan parametre analizlerinin on iki ayda bir belgelendirilmesi,
- g) Toprak ve kompost numunelerinin usulüne ve tekniğine uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
- h) Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin EK I-A(a) (Çizelge 2.6) da yer alan değerleri aşması halinde söz konusu toprakta kompostun kullanılmaması,

1) Kompostun toprakta 10 yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, ağır metaller itibari ile toprağa verilen yükün EK I-C de verilen değerleri aşmaması gerekmektedir.

Kompost kalitesi ve kullanılabilirliği açısından en önemli parametre, ağır metal içeriğidir. Çevre ve Orman Bakanlığı'nca yayınlanan TKKY'nin Ek I-C 'de verilen toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri ise Çizelge 2.7'deki gibidir.

Çizelge 2.6: Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri

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

* pH değeri 7'den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yeraltı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

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

Çizelge 2.7: Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri

Ağır Metal (toplam)	Sınır Yük Değerleri (gr/da/yıl, kuru maddede)
Kurşun	1500
Kadmiyum	15
Krom	1500
Bakır	1200
Nikel	300
Civa	10
Çinko	3000

Bunun yanı sıra Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'nca hazırlanarak 04.05.2004 tarih ve 25452 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral, Özel, Mikrobiyal ve Enzim İçerikli Organik Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Üretimi, İthalatı, İhracatı, Piyasaya Arzı ve Denetimine Dair Yönetmelik"nin 5. Maddesi'ne göre yönetmelik kapsamında yer alan tüm ürünlerin ağır metal sınır içerikleri Çizelge 2.8'de verilen değerleri aşmamalıdır. Ayrıca Ek IV A'da belirtilen Organik Toprak Düzenleyiciler'den biri olan

kompostun organik madde içeriğinin en az %25, maksimum nemin %20 olması gerektiği belirtilmiştir. 10 mm'lik elekten ürünün %90'ının geçeceği, plastik madde ya da diğer mevcut muhtemelen geri dönüşümü olmayan madde parçacıklarının büyüklüğünün 10 mm'yi geçmeyeceği, üründe kullanılan hammaddenin kaynağının belirtileceği ifade edilmiştir.

Çizelge 2.8: Ağır Metal Sınır Değerleri

Parametre	Sınır Değeri (mg/kg kuru madde)
Kadmiyum (Cd)	3
Bakır (Cu)	450
Nikel (Ni)	120
Kurşun (Pb)	150
Çinko (Zn)	1100
Civa (Hg)	5
Krom (Cr)	270

2.9.3 Avrupa'da kompostlamayla ilgili düzenlemeler

Organik atık aktivitelerine göre Avrupa dört sınıfta incelenir. Avusturya, Belçika, Almanya, İsviçre, Lüksembourg, İtalya, İspanya (Katalonya), İsveç ve Hollanda ilk sınıfta bulunur. Bu ülkeler politikasını tüm ülke geneline yayılmış ve yerleşmiştir. Bu ülkeler kaynağında ayrı toplanan organik atıklarının %80'ini kompostlamayla geri kazanmaktadır. Çürütme az kullanılır. Danimarka, İngiltere ve Norveç ikinci sınıfta bulunurlar. Bu ülkeler ayrı toplama ve kompostlama için gereken kalite ve örgütlenme politikasını oluşturmuşlardır. Finlandiya ve Fransa üçüncü sınıfta bulunur. Bu ülkeler kompostlama konusunda stratejilerini belirlemiş ve uygulamanın başlangıç noktasında bulunmaktadırlar. Dördüncü sınıfta İspanya, Yunanistan, İrlanda ve Portekiz gibi organik atıkların kaynağında ayrı toplanıp kompostlama yönetimi konusunda hiçbir çalışma yapmayan ülkeler bulunur. Bu ülkelerde atıklar karışık toplanıp kompostlanmaktadır.

Kompostlamada nihai ürünün kalite güvencesi önemlidir. Kompostlamayı planlarken nihai ürün kalitesi, kompost işlemi ve kompost teknikleri de etraflıca düşünülmelidir. Avusturya, Almanya, Danimarka, Hollanda ve Belçika gibi yerleşik kompost sistemi olan ülkelerde kalite güvencesinin rolü büyüktür. Bu ülkelerde bir kalite sistemi oluşturulmuştur. İsveç, Norveç, İtalya ve Fransa gibi bir çok ülkede bu sistem tasarım aşamasındadır.

Avrupa’da kompostlamayla ilgili düzenlemelerde özellikle kompostun ağır metal muhtevası üzerinde durulduğu görülmektedir. Özellikle Avusturya’da kompost kalite sınıfları ağır metal muhteviyatına göre belirlenmiştir. Almanya’da kompost sınıfları, kompostun özellikleri veya kullanımına göre belirlenmektedir. Belçika (Flandra)’da ise; kompost kalitesi, kullanılan ham maddeye göre belirlenmektedir. Esasen nihai kompostun kalitesi; kullanılan ham maddeye, ağır metal muhtevasına ve kullanım amacına bağlıdır. Avrupa ülkelerinde ağır metal limitleri Çizelge 2.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 2.9: Avrupa ülkelerinde ağır metal limitleri, mg/kg (Öztürk, 2005).

Ülke	Kalite Standardı	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Avusturya	Biyoatık Yönetmeliği A Sınıfı	1	70	150	0,7	60	120	500
Belçika	Tarım Bakanlığı	1,5	70	90	1	20	120	300
Danimarka	Tarım Bakanlığı	0,4	-	1000	0,8	30	120	400 0
Almanya	Biyoatık Yönetmeliği Tip II	1,5	100	100	1	50	150	400
İrlanda	Taslak	1,5	100	100	1	50	150	350
Lüksemburg	Çevre Bakanlığı	1,5	100	100	1	50	150	400
Hollanda	İkinci Sınıf Kompost	1	50	60	0,3	20	100	200
İspanya	A Sınıfı	2	100	100	1	60	150	400
İsveç	Kalite Güvence Organizasyonu	1	100	100	1	50	100	300
İngiltere	TCA Kalite Etiketi	1,5	100	200	1	50	150	400

Avrupa ülkelerinde kompost limitleri arıtma çamuru için de geçerlidir. Kompostun ağır metal limitleri her ülkede farklıdır. Amerika’da limitler oldukça yüksektir buna karşılık Avrupa’da ise limitler oldukça düşük olduğundan bunların sağlanması oldukça güçtür. Amerika standartlarındaki limitler sağlık riskine göre belirlenirken, Avrupa standartlarındaki limitler bu ağır metallerin topraktaki doğal sınırlarına yakın belirlenmektedir ve esnek değildir.

Avrupa Birliği'nin etiketleme direktifleri kapsamında "toprak iyileştiriciler" için de standart geliştirilmiştir (94/923/21, 31 Aralık 1994). Bu standartta üretilen kompostun kesinlikle insan sağlığına ters bir etkisi olmaması konusundaki zorunluluk belirtilmiştir. Üretilen kompostun etiketinin üzerinde üretici firma, kişi, kompostun özellikleri, saklama koşulları, üretim kodu, tarihi, kullanma amaçları, kullanma talimatları ve halk sağlığı konusundaki ayrıntıları belirtilmek zorundadır.

Standartta; kompost içeriğinde en az %25 KM ihtiva etmesi gerektiği belirtilmiştir. Bitki büyümesinin ve ekimin verimli olması için; 8 g/m² azot ve 12g/m² K₂O içermesi gerektiği belirtilmiştir. Sağlık açısından Salmonella miktarının 25 g'dan az olması ve E.colinin ise 1000 MPN (ortalama olası değer) den az olması gerekmektedir. Ayrıca kompost uygulamadan sonra hiçbir kokuya neden olmamalıdır. İnsan sağlığı açısından kompost cam, tel, metal ve sert plastik içermemelidir. Standartta verilen madde limit miktarları Çizelge 2.10'da özetlemiştir.

Çizelge 2.10:Kompostun kuru ağırlık bazındaki içeriği (AB standardı) (Baban, 2002)

Madde	Sınır Değer (mg/kg)
Zn	300
Cu	75
Ni	50
Cd	1.5
Pb	140
Hg	1
Cr	140
Mo	2
Se	1.5
As	7
F	200

3. TAVUKÇULUK VE TAVUK ATIKLARI

3.1 Tavukçuluk

Tavukçuluk, tavuk eti fiyatlarındaki ucuzluk ve sağlık sebebi ile kırmızı etten uzaklaşma sonucu yaygınlaşmaktadır. Et ve yumurta verimini arttırmak için hayvanlara uygulanan kontrollü ve aşırı beslenme nedeni ile oluşan atık miktarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Ülkemizde de tavukçuluk sektörü hızlı bir büyüme içerisinde. Türkiye’de tavukçuluk 1981-1993 yılları arasında % 320 artmıştır. Tavuk eti üretimi yıllık tahmini 1.000.000 ton civarındadır (DPT, 2007). Tavukçuluk sektöründeki üretim ve kapasitede değişimler piyasa şartları ile yakından ilgilidir.

Tavukçuluk özellikle Marmara, Ege ve İç Anadolu Bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Ankara, Balıkesir, Bolu, Bursa, Elazığ, Eskişehir, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Manisa, Sakarya, Yozgat ve Çukurova’da et tavukçuluğu, Afyon, Balıkesir, Bursa, Çorum, İzmir, Konya ve Manisa’da yumurta tavukçuluğu yaygın olarak sürdürülmektedir.

3.2 Tavuk Atıklarının Miktarı ve Özellikleri

3.2.1 Atık miktarı

Hayvan katı atıklarının özellikleri; hayvan cinsi, ağırlığı, beslenme alışkanlıkları, mevsim, kullanılan altlık malzemesinin türü ve miktarı gibi çok çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Tavuk üretiminden kaynaklanan katı atıklar, üretim amacı (tavuğun et ve yumurta üretimi için) ve üretim koşullarına bağlı olarak da farklılık gösterir. Bu çalışmada besi tavukçuluğu incelenmiştir. Yapılan çalışmalara göre civcivden başlayıp kesime hazır hale gelinceye kadar saman ve talaş altlıkla birlikte bir tavuk tarafından yaklaşık 1,25 kg katı atık üretilmektedir. Ülkemizde bir yılda besi tavukçuluğundan yaklaşık 550 bin ton kümes atığı oluşmaktadır.

3.2.2 Atık özellikleri

Ülkemizde büyük ve küçükbaş hayvanlarla tavuk ve benzeri kanatlı hayvanların dışkıları hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan tarımda kullanıldığından yada atıl olarak boş alanlarda bekletildiğinden yağmur suları ile taşınarak yeraltı ve yerüstü sularını kirletmekte ve bu tip atıklardan kaynaklanan aşırı sinek üremesi ve bunların ilaçlanması sonucu pestisitlerin yeraltı ve yerüstü sularına karışması ile çevre olumsuz yönde etkilenmektedir.

Özellikle tavuk atıkları diğer hayvan atıklarına kıyasla yüksek miktarda azot ve fosfor içerdiklerinden çevre üzerinde çok sayıda olumsuz etki yaratmaktadır.

Çizelge 3.1 ve 3.2’de tavuk atıklarıyla diğer hayvan atıklarının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1: Hayvan atıklarının fiziksel özellikleri (Hart,1960; Ohio State Uni., 1993)

Parametre	Sığır (Süt Üretimi)	Sığır (Et Üretimi)	Tavuk (Et Ve Yumurta)	Koyun
hayvan ağırlığı, kg	636	431	2.0-2.3	45
katı atık üretimi, l/gün	36.8	28.3	0.095-0.16	3.1
atık yoğunluğu, t/m ³	0.99	0.96	0.96	1.04
katı madde miktarı, %	15	15	15-85	23

Genelde; saman ve talaş altlık kullanılarak yapılan et tavuğu üretimlerinde atığın içerdiği katı madde miktarı yaklaşık %75 olarak ölçülmüştür. Yumurta tavukçuluğu sürecinden kaynaklanan katı atıklar ise %20-25 oranında katı madde içermektedir (Baban, 2002).

Çizelge 3.2: Bazı hayvan atıklarının özellikleri (Bayındır,2004).

Hayvan Atığı	Su Muhtevası (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Sığır	68	0.7	0.6	0.9
İnek	79-91	0.2-0.6	0.05-0.2	0.6
Domuz	75-97	0.1-0.5	0.1-0.3	0.1-0.5
At	70	0.7	0.2	0.7
Kümes Hayvanları	54	1.6	0.9	0.4

Kümes atıkları diğer hayvan atıklarına göre yüksek azot içeriğine sahiptir. Bu atıkların kompostlaştırılmasında yüksek azot içeriğine ve yüksek pH'a bağlı olarak azot kayıpları ve amonyak oluşumuna bağlı olarak koku problemleri gerçekleşebilir. Ayrıca fazla miktardaki azotun toprağa karışmasıyla oluşan nitratın yüzey ve yer altı sularına karışması çevre ve insan sağlığını tehdit etmekte ve çeşitli hastalıklara sebep olabilmektedir (U.S.EPA, 2004).

Yüksek miktardaki fosfor ise su kaynaklarına karışarak algler tarafından organik fosfora dönüştürülmektedir. Organik formdaki fosforun mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucunda yer altı ve yer üstü su kaynaklarındaki oksijen miktarı düşmektedir. Oksijen miktarının düşük olduğu su kaynaklarında canlı ölümleri gerçekleşmektedir

3.3 Kümes Atıklarının Kompostlaştırılması

Hayvan atıklarının bertarafında çok çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir. Bunlardan en basiti susuzlaştırmadır. Susuzlaştırmada atığın içerisindeki su buharlaştırılarak atık stabil hale getirilmektedir. Susuzlaştırma işlemi, mekanik kurutucular vasıtasıyla yada güneş enerjisi yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem oldukça basit ve ucuz bir yöntem olmakla birlikte kontrollü bir sistem olmadığından hem proses sırasında koku emisyonu oluşmakta, hem de yüksek miktarda azot kaybından dolayı oluşan ürünün nütrient içeriği oldukça düşük olmaktadır.

Aerobik kompostlaştırma, hayvan atıklarının bertarafında kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu yöntem ile yaklaşık 1 ton hayvan atığından 500 kg kompost elde edilmektedir (Kelleher, 2002). Kompostlaştırmada sıcaklık 70°C'ye kadar

çıkabildiğinden hayvan atıkları gibi patojen organizma taşıma riski yüksek atıkların hijyenitesi sağlanabilmektedir. Susuzlaştırmadan sonra en basit ve ucuz yöntem olan kompostlaştırmada proses kontrolü etkin bir biçimde gerçekleştirilerek nütrient içeriği yüksek, stabil ürün eldesi mümkündür.

Kümes atıklarının kompostlaştırılması 30 yılı aşkın bir süredir incelenmektedir. Bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmış, makaleler yayımlanmıştır. Tinsley ve Nowakowski (1959), kümes atıklarının kompostlaştırılması esnasında organik madde bileşimindeki ve azot kayıplarındaki değişiklikleri incelemişlerdir. Elwell ve diğ. (1998), kümes atıklarının katkı maddesi ilavesi olmadan kompostlaştırılması üzerine çalışmalar yapmıştır. Kümes atıklarının başka katı atıklarla kompostlaştırılması da mümkündür. G-Rodriguez ve diğ. (2001) kestane yeşil kabuğu, atık yaprak ve tavuk dışkılarını karıştırarak; Tiquia ve diğ. (2001) tavuk dışkısı ve orman atıklarını kullanarak kompostlama çalışmaları yapmıştır. Kithome ve diğ. (1999), kümes atıklarının kompostlaştırılması esnasında NH_3 buharlaşmasını ölçmüşler ve farklı katkı malzemelerinin NH_3 kayıplarını azaltma potansiyelini değerlendirmişlerdir. Mahimairaja ve diğ.(1994), yaptıkları çalışmada kümes atıklarına karbon bakımından zengin organik atıkların ilavesiyle, kompost karışımının C/N oranı arttırılarak NH_4^+ iyonlarının hareketsiz hale getirildiğini ve zeolit vb. gibi adsorbanlar kullanılarak NH_3 ve/veya NH_4^+ ’ün adsorpsiyonuyla amonyak buharlaşmasının azaltılabildiğini göstermişlerdir.

3.4 Hayvan Atıklarına İlişkin Mevzuat

Hayvan atıklarının kaynağında toplanması, taşınması, geri kazanımı, enerji üretimi yöntemi ve nihai bertarafı ile ilgili doğrudan uygulanmakta olan Çevre ve Orman Bakanlığı’nın mevzuatı bulunmamaktadır.

Çevre ve Orman Bakanlığı’nın 14 Mart 1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”nde belirtilen tanımlar çerçevesinde gerek katı atık tanımı, gerekse evsel atık tanımı bu tür atıkları kapsamamakta olup, söz konusu yönetmelik hükümlerinin uygulanması mümkün değildir.

Çevre ve Orman Bakanlığı’nın 22 Temmuz 2006 tarih ve 26236 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Endüstri Tesislerinden Kaynaklı Hava

Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nin "Kirlletici Vasfı Yüksek Tesisler İçin Özel Emisyon Sınırları" başlıklı EK 5'teki kısmında "T-Ondokuzuncu Grup Tesisler" sınıfında "Kümesler, Ahırlar ve Kesimhaneler" kısmı bulunmaktadır. Aynı maddede hayvan atıkları ile ilgili olarak "Katı dışkılar için sıvılara karşı geçirgen olmayan bir depolama platformu yapılmalı ve depolamadan kaynaklanarak çevreyi rahatsız edecek sorunlar giderilmelidir (koku, sinek vs.)" ve "Sıvı ve katı dışkı depolama kapasitesi temel olarak üç aylık miktar dikkate alınarak belirlenmelidir. Bu maddelerin değerlendirilme yerleri ve süreleri ile kompostlama, kurutma veya atık gaz tesisleri gibi uygun tesislerde işleme tabi tutulma durumu dikkate alınarak, emisyon izni veren yetkili merci tarafından bu süre artırılabilir veya azaltılabilir" ifadeleri yer almaktadır. Ayrıca yine aynı maddede hayvan atıklarından kaynaklanan azot gazı ile ilgili olarak "Tesisin kuruluşunda kural olarak azota karşı hassasiyeti bulunan bitkiler (örneğin fidanlıklar, kültür bitkileri) ve ekolojik sistemlerle (örneğin fundalık, bataklık, orman) arasındaki mesafesi asgari 150 m olmalıdır" ifadesi bulunmaktadır. Yine "Ondokuzuncu Grup Tesisler" başlığı altında yer alan "Gübre (Tezek) Kurutma Tesisleri" ile ilgili olarak "Koku oluşması beklenen depolama sahaları da dahil işleme tesisleri kapalı odalar içine yerleştirilmeli; işletme tesislerinin atık gazları ile içerideki hava toplanmalı ve bir atık gaz temizleme tesisine beslenmelidir" denilmektedir.

Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nin 15. maddesinin (b) bendine göre; Çevre ve Orman Bakanlığının koordinasyonunda Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, mahallin en büyük mülki idare amirliği ve belediyeler, stabilize edilmiş hayvan gübrelerinin gübreleme amacıyla kullanılmasına ilişkin özendirici faaliyetlerde bulunmakla yükümlüdür.

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığının 09 Ağustos 2006 tarih ve 26254 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren "Hayvancılık İşletmelerinin Kuruluş, Çalışma, Denetleme Usul ve Esaslarına Dair Yönetmeliği'nin 10. maddesinin (ç) bendine göre ise bu tür atıkların yönetimi ile ilgili olarak "İşletmede birikecek olan hayvan dışkıları ve benzeri atık katı maddelerin çevre ve toplum sağlığına zarar vermeyecek şekilde ve çevreyi rahatsız edici mahiyette olmaması bakımından, işletmenin büyüklüğü veya kapasitesine bağlı olarak yeterli büyüklükte, çevresi

beton duvar ile çevrili bir katı atık deposu tesis edilerek katı atıkların burada muhafaza edilmesi gerekir” hükmü yer almaktadır.

AB Mevzuatı

3 Mayıs 2000 tarih ve 2000/532/EC sayılı Avrupa Atık Kataloguna ilişkin Komisyon Karar metninde hayvan atıkları “02-Tarım, Bahçecilik, Su Ürünleri Yetiştiriciliği, Ormancılık, Avcılık ve Balıkçılık Faaliyetlerinden Kaynaklanan Atıklar” başlığı altındaki 020106 kodlu “hayvan dışkısı, idrarı ve gübresi (altlık dahil olmak üzere)” kapsamında değerlendirilmektedir.

3 Ekim 2002 tarih ve 1774/2002 sayılı “İnsanlar Tarafından Tüketimi Uygun Olmayan Hayvan Yan Ürünlerine İlişkin Kurallar” başlıklı Konsey Tüzüğüne göre hayvan atıkları 2. kategoride değerlendirilmekte ve kompost ya da biyogaz tesislerinde bertarafı öngörülmektedir.

3.5 Ülkemizde Mevcut Durum

Ülkemizde tavukçuluk firmaları ya kendilerine ait kümeslerde ya da taşeronlara ait kümeslerde tavuk beslemekte veya besletmektedir. Bu konuda kesin bir rakam olmamakla birlikte taşeron besiciliğinin oranının yaklaşık 2/3 olduğu kabul edilmektedir. Sağlık nedenleri ile bir bölgedeki kümesler aynı zaman diliminde boşaltılmakta ve doldurulmaktadır.

Taşeronlar genellikle altlıkları kümeslerin temizlenmesi veya yeni altlık malzemesi karşılığı vermektedir. Altlık atıklarını alanlar ise bunları ortalama 1,5 sene beklettikten sonra kendileri kullanmakta veya satmaktadır. Bekletme esnasında çevreyi korumak için herhangi bir tedbir alınmamaktadır. Kendi kümeslerinde besicilik yapan firmaların önemli bir kısmı da hiçbir tedbir almadan atıklarını taşeronlar gibi uzaklaştırmaktadır. Son yıllarda birkaç firma kompost tesisi kurmuştur. Kümes atığından kompost üretmek için ilk tesis Keskinöğlü tavukçuluk tarafından kurulmuştur. Şeker Piliç de sadece kendi kümeslerinden çıkan atıklar için kompost tesisi kurmuştur. Afyon civarındaki 9 üretici firma biraraya gelerek bir kompost tesisi kurmuştur. Bandırma’da ise bir şirket kümeslerden topladığı atıklardan kompost yaparak pazarlamaktadır. Kandıra’da çok küçük ölçekli tavuk atıklarından mantar kompostu üreten bir tesis mevcuttur.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Kullanılan Atık ve Katkı/Gözenek Malzemeleri

Çalışmada kompostlaştırma için kullanılan atık; besi tavukçuluğu kümes altlığı (atığı)dır. Çalışmada katkı ve gözenek malzemesi olarak klinoptilolit, sepiyolit, pomza ve manyezitle aşı olarak da kompost kullanılmıştır. Atık, aşı ve katkı/gözenek malzemelerinin özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Tavuk atığı Tepeören-İstanbul’da bulunan Pak Piliç besi tavuğu kümeslerinden elde edilmiştir. Aşı olarak İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde daha önce yapılan bir çalışmada elde edilen kompost kullanılmıştır. Klinoptilolit İzmir’de faaliyet gösteren bir firmadan, sepiyolit Eskişehir’deki bir ocaktan, pomza Isparta’dan ve manyezit Kütahya’dan temin edilmiştir.

Kompostlaştırmada kullanılan tavuk atığının azot ve fosfor miktarı oldukça yüksektir. Bu çalışmada katkı/gözenek malzemeleri atığın porozitesinin artırılması ve yumak oluşumunun önlenerek etkin bir kompostlaştırma sağlanması amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca katkı/gözenek malzemeleriyle atığın fosfor içeriğinin dengelenmesi, amonyak oluşumuyla azot kayıplarının azaltılması ve su tutma kapasitesinin artırılması umulmaktadır.

- Çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan klinoptilolit doğal bir zeolittir. İyon değiştirme ve adsorbsiyon özellikleri nedeniyle başta kirlilik kontrolünde olmak üzere; tarım, hayvancılık, enerji v.b. gibi pek çok alanda zeolitlerin özelliklerinden yararlanılmaktadır. Sr^{90} , Cs^{137} , Co^{60} , Ca^{45} gibi izotopları tutabilme özelliğine sahip zeolitlerle radyoaktif atıkların çevreye zarar vermeden depolanması sağlanmaktadır. Baca gazlarından kaynaklanan CO_2 gazını tutan zeolitler, petrol ve kömür kullanılan tesislerin baca gazı emisyonlarının azaltımında, saf olmayan doğal gazlardaki CO_2 ’in azaltımı ile enerji sektöründe kullanılmaktadır. Zeolitlerin ağır metalleri adsorplama özelliği atık suların arıtımında ve toprak kirliliğinin kontrolünde kullanılmaktadır. Amonyumu adsorplama özelliği ise hayvan atıklarındaki fazla azottan kaynaklanan koku emisyonlarını azaltmaktadır. Nem fazlasını tutma özelliğine sahip zeolitlerin

toprakta kullanımı, toprak özelliklerini iyileştirmektedir. Bu çalışmada klinoptilolit poroziteyi arttırıcı özelliğinin yanı sıra amonyum ve su adsorplama özelliklerinden dolayı kullanılmıştır.

Çizelge 4.1: Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri*

Parametre	Atık	Aşı	Klinoptilolit	Sepiyolit	Pomza	Manyezit
Su Muht., %	57	61,5	16	2	27	0
Org. Madde, %	86	49	6	14	2	21
C, %	47,7	28,4	3,5	8,1	1,2	11,6
N, %	3	1,5	0,2	0,12	0,1	0,07
C/N	15,9	18,9	17,5	67,5	12	165,7
TKN,mg/kg	30352	15204	2408	1288	1008	676
NH₃-N, mg/kg	14100	7890	11200	4105	735	331,5
pH	6,76	7,42	5,81	8,34	7,32	5,62
P₂O₅, %	2,53	6,14	0,09	0,017	0,32	0,01
K₂O, %	3,23	3,18	2,02	0,125	0,11	0,038
Zn, mg/kg	372,5	953,25	35,25	6,2	23,35	531,5
Cu, mg/kg	35,1	424,25	<25	<25	<25	822,5
Ni, mg/kg	<25	<25	<25	<25	<25	94
Cr, mg/kg	<25	49,125	<25	<25	<25	95
Cd, mg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Pb, mg/kg	<50	25,32	40,85	<50	7,3	51

*Sonuçlar kuru ağırlık üzerinden verilmiştir.

Klinoptilolit de diğer doğal zeolitler gibi yüksek iyon değiştirme ve adsorban özelliklerine sahiptir. Dünya üzerinde en geniş rezerve ve kullanım alanına sahip doğal zeolitler arasında yer alan klinoptilolitın temsili kimyasal formülü şu

şekildedir; $(Na,K)_6(Al_6Si_3)_O_{72} \cdot 20H_2O$. pH'ı 7.5 olan klinoptilolitin stabil olduğu pH aralığı ise 1.5-11'dir. Çizelge 4.2'de klinoptilolitin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 4.2: Klinoptilolitin kimyasal bileşimi (Turhan, 2001).

Klinoptilolit	
Silisyumdioksit (SiO_2) (%)	64
Alüminyumoksit (Al_2O_3) (%)	13,56
Demiroksit (Fe_2O_3) (%)	1,35
Kalsiyumoksit (CaO) (%)	3,61
Titanyumoksit (TiO_2) (%)	0,12
Na^+ (%)	0,445
K^+ (%)	3,61

- Sepiyolit, magnezyum hidrosilikat ($Si_{12}Mg_8O_{30}(OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$)'ten ibaret doğal bir kil mineralidir. Yüksek yüzey alanı, lifsi ve gözenekli yapısı, yüksek oranda nem tutma özelliği vs. gibi özelliklerinden dolayı adsorban killer arasında yaygın bir kullanım alanına sahiptir. İlaç sektöründe, boya sanayinde, tarım ve hayvancılıkta vs. gibi alanlarda yaygın kullanımı mevcuttur. Ayrıca istenmeyen kokuları absorbe etme özelliğine sahiptir. Sepiyolitin kimyasal bileşimi Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3: Sepiyolitin kimyasal bileşimi (Çelik,1998).

Sepiyolit	
Silisyumdioksit (SiO_2) (%)	54,30
Alüminyumoksit (Al_2O_3) (%)	0,92
Demiroksit (Fe_2O_3) (%)	0,31
Kalsiyumoksit (CaO) (%)	1,40
Magnezyumoksit (MgO) (%)	22,90

- Manyezit, magnezyumca zengin metamorfik ve magmatik kayaların karbonik asit içeren sularla değiştirilmesi sonucu meydana gelir. Kimyasal bileşimi $MgCO_3$ 'tür. Çizelge 4.4'te manyezitin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 4.4: Manyezitin kimyasal bileşimi (Yıldız, 2002).

Manyezit	
Silisyumdioksit (SiO_2) (%)	1-3
Alüminyumoksit (Al_2O_3) (%)	0,5-2
Demiroksit (Fe_2O_3) (%)	4-8
Kalsiyumoksit (CaO) (%)	2-3
Magnezyumoksit (MgO) (%)	80-90

- Pomza gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek izolasyon etkileri, atmosferik şartlara olağanüstü direnci nedeniyle insanoğlunun kullana geldiği en eski yapı malzemelerinden biridir. Asidik ve bazik karakterli volkanik faaliyetler sonucu oluşan pomza taşının kimyasal bileşimi Çizelge 4.5'te verilmiştir. Pomzanın pH'ı 7-7,3 arasındadır.

Çizelge 4.5: Pomza taşının kimyasal bileşimi (Davraz, 2004).

Pomza	
Silisyumdioksit (SiO_2) (%)	52 – 75
Alimünyumoksit (Al_2O_3) (%)	11– 17
Demiroksit (Fe_2O_3) (%)	0,5 – 5
Kalsiyumoksit (CaO) (%)	1 – 8
Titanyumoksit (TiO_2) (%)	< 1
Sodyumoksit + Potasyumoksit $Na_2O + K_2O$ (%)	3 – 9
Sülfürtrioksit (SO_3) (%)	< 1
Magnezyumoksit (MgO) (%)	0,5 – 3

Gözenekli bir yapıya sahip olan pomza taşının adsorblama kapasitesi oldukça yüksektir. Pomza üretim ve işletmede kolaylık, bol ve ucuz temin edilebilme, yüksek su tutma kapasitesi, bünyesinde barındırdığı suyu ortama vererek ortamın nemini dengelemesi, zararlı kimyevi bileşikler içermemesi gibi önemli özellikleri nedeniyle tarım ve seracılık alanında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Pomza gözenekli yapısından dolayı yaygın olarak inşaat sektöründe yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

4.2 Deney Düzenegi

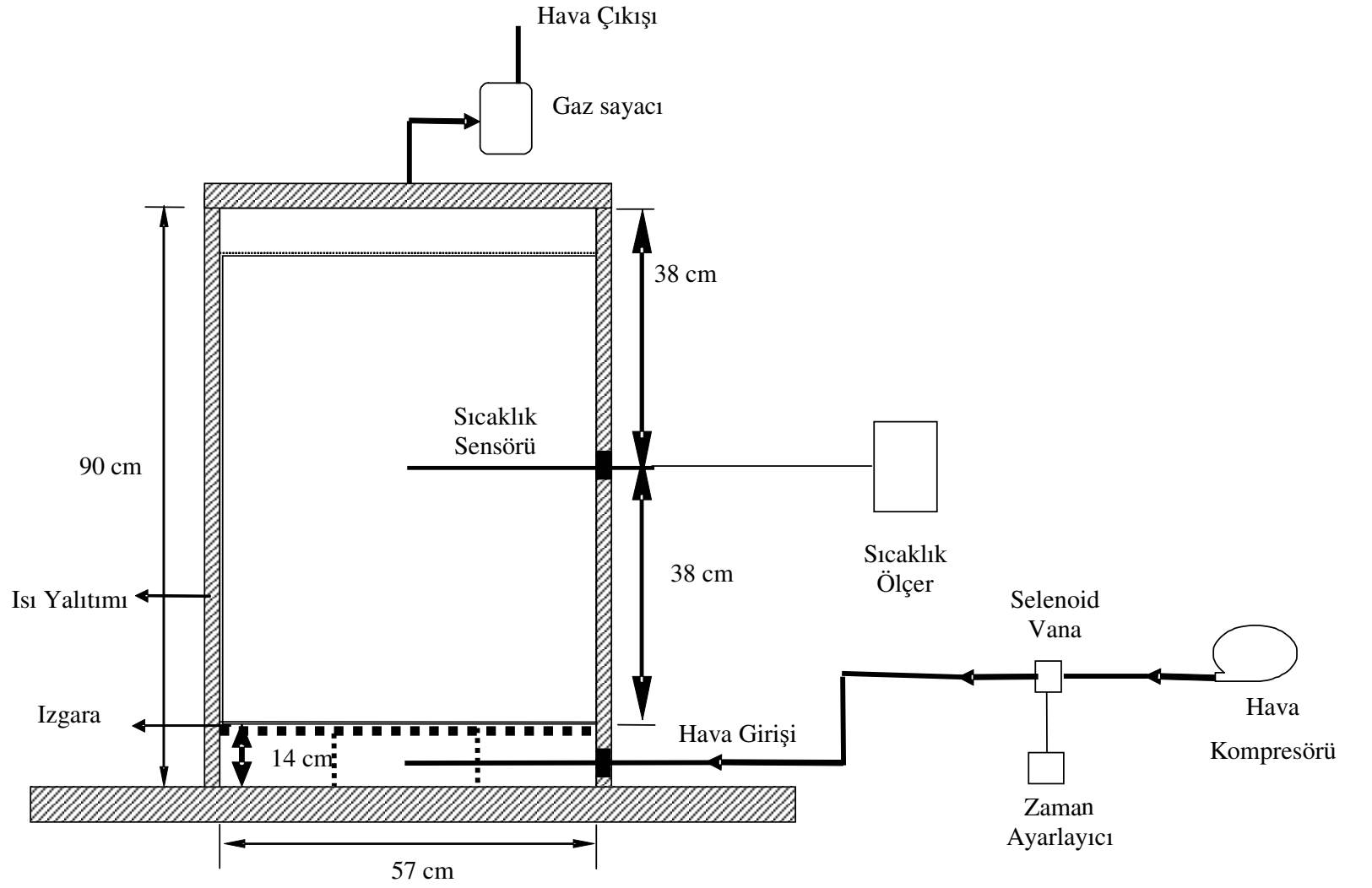
Aerobik kompostlaştırma için 200 litrelik kesikli reaktörler kullanılmıştır. Kompostlaştırma prosesini gerçekleştirmek üzere kullanılan reaktörler Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Reaktörlerin tabanına atığa destek olması ve havanın homojen dağılması için delikli ızgara konulmuştur. Reaktörlerin sıcaklığı, reaktör yüksekliğinin ortasına yerleştirilen sıcaklık sensörü ve dijital termometre yardımıyla günde üç sefer ölçülerek izlenmiştir. Cole Parmer firmasına ait Digi-Sense marka dijital termometre Şekil 4.4’te gösterilmiştir.

Reaktörlere hava kompresörden sağlanmıştır. Hava kesikli olarak verilmiştir. Havanın veriliş süreleri çift zamanlı zaman rölesi ile kumanda edilen selenoid vana kontrolü ile sağlanmıştır. Reaktörlere hava genellikle 14 dakikada 1 dakika olacak şekilde verilmiştir. Reaktörlerdeki sıcaklığa göre bu süreler değiştirilmiştir. Reaktörlere hava tabandan verilmiştir.

Reaktörün üst kısmından çıkan hava miktarı ve kompozisyonu izlenmiştir. Proses süresince çıkıştaki gazların debisi ve bileşimi günde üç kez ölçülmüştür. Çıkış gazının debisi reaktörlerin üzerine bağlanan doğalgaz sayacı ile ölçülmüştür. Gazların bileşimi ise MSA Orion Plus marka gaz analizörü ile tespit edilmiştir. Konsantrasyonu ölçülen gazlar CO₂, O₂, CO, CH₄, H₂S’tir. Gaz ölçüm aleti 45. gün arızalanmıştır. Bu nedenle ölçümler daha sonra yapılamamıştır.

Reaktörlere yerleştirilen atıkların homojenliği sağlamak ve numune almak için 7-10 günlük periyotlarla atıklar reaktör dışına alınarak karıştırılmış, numune alınmış ve tekrar reaktörlere yerleştirilmiştir. Karıştırma esnasında su içeriği düşük olduğu belirlenen malzemelere su ilavesi yapılmış, karıştırılmış ve tekrar numune alınmıştır.



Şekil 4.1: Aerobik kompostlaştırma reaktörünün şematik görünümü



Şekil 4.2: Reaktörün dıştan görünümü



Şekil 4.3: Reaktörün içten görünümü



Şekil 4.4: Dijital termometre

Reaktörlere yerleştirilen malzemelerin karışım oranları ve miktarları Çizelge 4.6'da reaktör muhtevalarının özellikleri Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.6: Reaktörlere yerleştirilen substratların bileşimi ve miktarları

Reaktör No	Karışımın bileşimi	Karışım miktarı, kg
1	%90 Tavuk atığı %10 Aşı kompostu	95,3
2	%90 Tavuk atığı %5 Aşı kompostu %5 Sepiyolit	99,84
3	%90 Tavuk atığı %5 Aşı kompostu %5 Manyezit	102,44
4	%90 Tavuk atığı %5 Aşı kompostu %5 Klinoptilolit, Sepiyolit, Manyezit, Pomza	88.59

Çizelge 4.7: Reaktörlere yerleştirilen karışımların özellikleri

Parametre	Reaktör No			
	1	2	3	4
Su muht. , %	54	49	43	49
Org. madde, %	67	68	69	68
C, %	38,9	39,4	40	39,4
N, %	2,84	2,5	2,02	2,53
C/N (başlangıç)	13,7	15,76	19,8	15,57
TKN,mg/kg	28448	25088	20216	25312
NH ₃ , mg/kg	9500	8600	6350	7300
pH	6,72	7,29	7,16	7,08
P ₂ O ₅ , %	2,8	2,22	2,15	2,16
K ₂ O, %	2,48	3,01	3,03	3,31
Zn, mg/kg	628,5	403	436,5	418
Cu, mg/kg	93,7	52,3	206,25	141,85
Ni, mg/kg	7,4	5,35	22,55	9,9
Cr, mg/kg	21,9	1,8	15,05	10,95
Cd, mg/kg	<10	<10	<10	<10
Pb, mg/kg	9,1	0,3	33,65	17,45

4.3 İzlenen Parametreler ve Analiz Yöntemleri

Bu çalışma süresince yapılan analizler ve analiz yöntemleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Numuneler kurutulduktan sonra öğütülerek analiz edilmiştir.

Çizelge 4.8: Deneysel çalışmada yapılan analizler ve analiz yöntemleri

Parametre	Analiz Yöntemi	Kaynak
Su muhtevası	103°C’de 24 saat	SSSA 1996
pH	pH metre, 1:10 (ağırlık/hacim)	SSSA 1996
Organik madde	550°C’de 2 saat	SSSA 1996
TKN	H ₂ SO ₄ ile parçalama	APHA 1995
NH ₃	KCl ile ekstraksiyon sonrası elektrod yöntemi	SSSA 1996
Fosfor	HNO ₃ parçalaması sonrası ICP	SSSA 1996
Ağır metaller	HNO ₃ ve HClO ₄ parçalaması sonrası AAS	Kocasoy 1994

4.4 Deneysel Çalışma Sonuçları

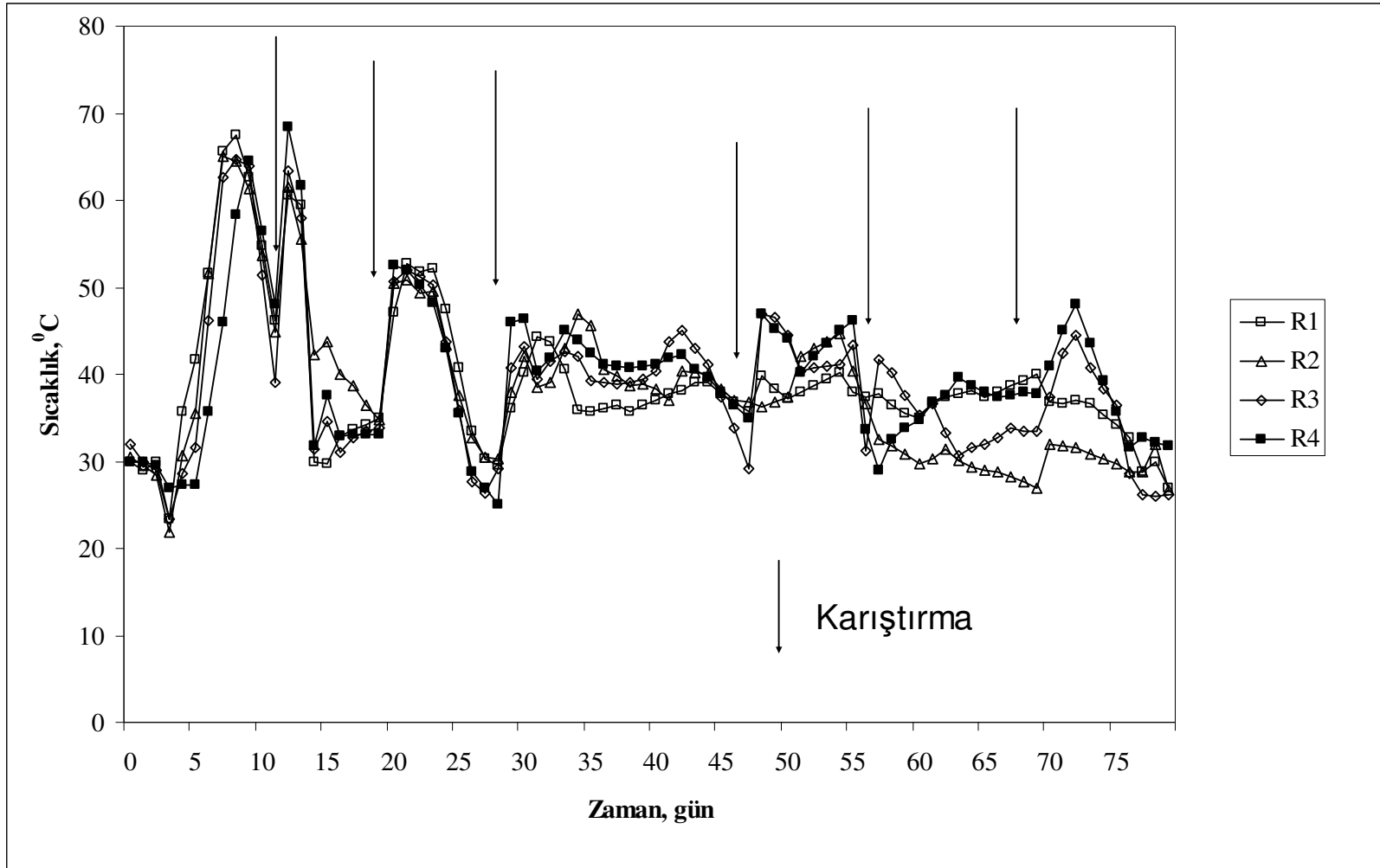
Bu kısımda deneysel çalışma periyodu süresince izlenen parametreler ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

4.4.1 Sıcaklık

Çalışmada sıcaklık ölçümleri günlük olarak reaktörlerin merkezine yerleştirilen problarla gerçekleştirilmiştir. Reaktörlerde biyolojik aktivite sonucu ısı açığa çıkması nedeniyle sıcaklıkta hızlı bir artış görülmektedir. Kompostlaştırma prosesinin ilk haftasında (6-7. gün) 1., 2. ve 3. reaktörlerde sıcaklık 50°C’nin üzerine çıkmıştır. 4. reaktörde ise sıcaklık ikinci haftada (8-9.gün) 50°C’nin üzerine çıkmıştır. Reaktördeki atıkların karıştırma sıklığı, sıcaklık değişimine göre belirlenmiştir. Deney süresince, reaktörlerdeki atıkların karıştırılmasından sonra sıcaklıkta kısa süreli düşüşler gözlenmiştir. Sıcaklıktaki düşüş atıkların reaktörlerin dışına alınması ile birlikte atık kütlelerinin ortamın sıcaklığı ile aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Sıcaklıktaki artışın nedeni ise karıştırma sonucunda katı partiküllerin parçalanarak mikrobiyal faaliyetlerin gerçekleşeceği yüzey alanının artması, kütlenin tamamının

iyi bir şekilde havalandırması, su muhtevası bakımından homojen hale gelmesidir. Prosesin sonlarına doğru kolay ayrışabilir organik maddeler azaldığından sıcaklıklar düşmeye başlamıştır. Reaktör sistemlerinde kompostlaştırma proseslerinde patojen gideriminin sağlanabilmesi için en az 3 gün minimum 55°C değerinin sağlanması istenmektedir (USEPA,1995). Bütün reaktörlerde bu değerler sağlanmıştır. Reaktörlerdeki sıcaklık profili Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Çalışma süresince gözlenen en yüksek sıcaklık 68,5°C'dir ve bu sıcaklık dördüncü reaktörde, prosesin 12. gününde gözlenmiştir. 1. reaktörde en yüksek sıcaklık 67,5°C olup bu sıcaklığa sekiz gün içerisinde, 2. ve 3. reaktörde en yüksek sıcaklıklar 65°C ve 64,7°C olup bu sıcaklığa yedi gün içinde ulaşılmıştır.



Şekil 4.5: Reaktörlerdeki sıcaklığın zamana göre değişimi

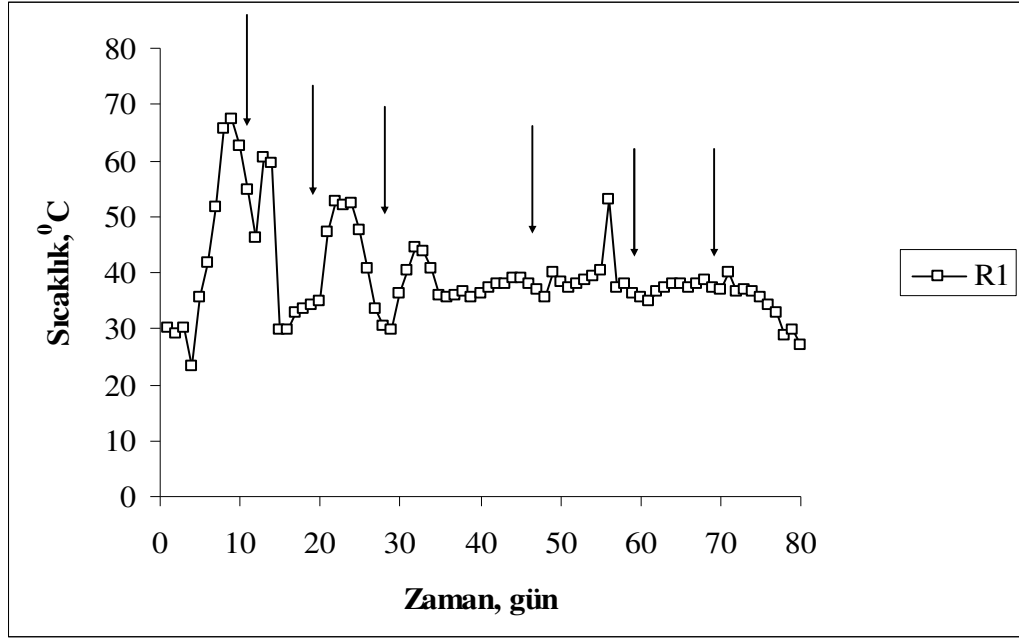
Sadece tavuk atığı ve aşı bulunan birinci reaktörde, başlangıçta 30°C olan sıcaklık, 5. günde 40°C'nin üstüne çıkmış ve termofilik evre başlamıştır. Birinci reaktörde 6. günde 55°C'ye ulaşan sıcaklık, karıştırma dolay meydana gelen ani değişimler göz ardı edildiğinde, 9 gün boyunca 55°C'nin üstünde seyretmiştir. Bu reaktörde yaklaşık olarak 35. günden itibaren ise olgunlaşma evresi başlamıştır (Şekil 4.6).

Tavuk atığı, sepiyolit ve aşı ile beslenmiş olan ikinci reaktörde sıcaklığın değişimi Şekil 4.7'de görülmektedir. Prosesin başlangıç sıcaklığı 30°C olan reaktörde, 6. günde termofilik evre başlamış, 7. günde sıcaklık 65°C'ye ulaşmış ve 6 gün boyunca 55°C'nin üstünde seyretmiştir. 37. günden itibaren olgunlaşma evresinin başladığı gözlenmektedir.

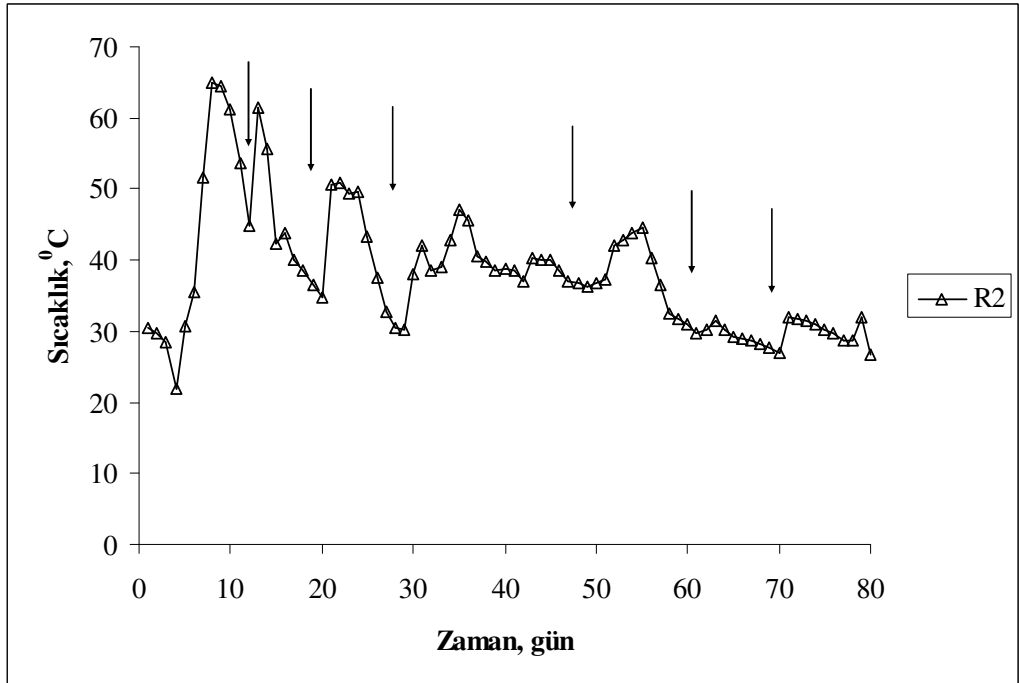
Şekil 4.8'de üçüncü reaktörün proses süresince sıcaklık değişimi görülmektedir. Kompostlaştırma prosesinin başlangıç sıcaklığı 32°C iken 5. günün sonunda 31,6°C'ye, 6. günde ise 46,1°C'ye ulaşmıştır. Sıcaklık 55°C'nin üstünde 7 gün seyretmiştir. 35. günden itibaren olgunlaşma evresinin başladığı gözlenmektedir. Ancak bu fazda sıcaklık 26-46°C aralığında dalgalanmalar yapmıştır.

Şekil 4.9'da 4. reaktörün proses süresince sıcaklık değişimi görülmektedir. Başlangıçta 30°C olan sıcaklık, 7. günün sonunda 46°C'ye, 8. günde ise 60°C'ye ulaşmış ve 6 gün boyunca 60°C'nin üzerinde seyretmiştir. 36. günden itibaren olgunlaşma evresinin başladığı gözlenmektedir.

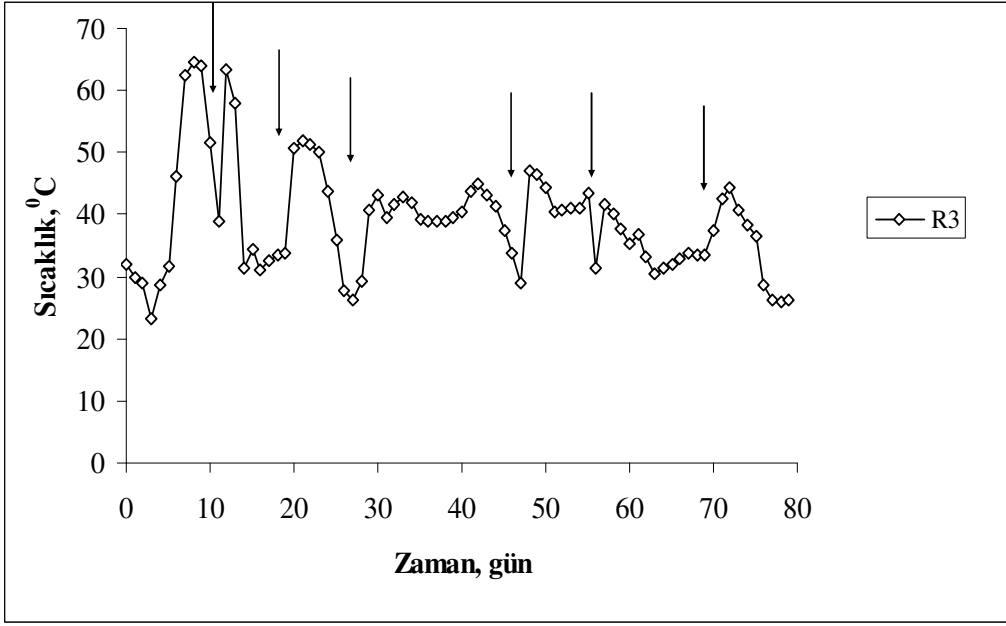
Reaktörlerde sıcaklık kontrolü, hava debisi ve havalandırma periyodu ile süresinin ayarlanması ile kontrol edilmiştir. Bu işlem sıcaklık ölçümleri takip edilerek elle yapılmıştır. Uygulamada havalandırmanın sıcaklık ölçüm sonuçlarına göre otomatik olarak kontrol edilerek yapılmasında çok büyük yarar vardır.



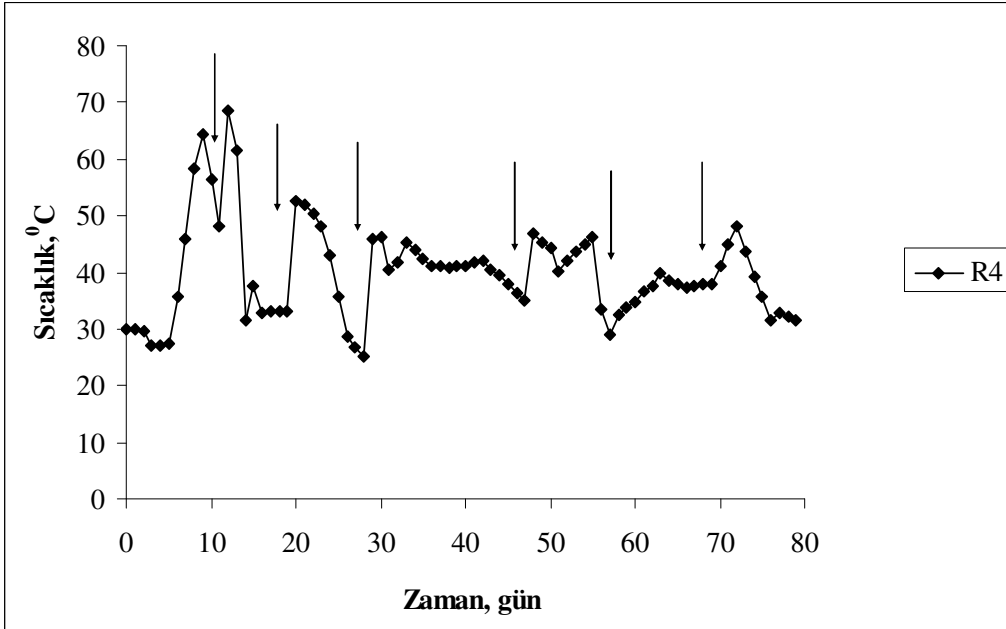
Şekil 4.6: 1.Reaktörde sıcaklığın zamana göre değişimi



Şekil 4.7: 2.Reaktörde sıcaklığın zamana göre değişimi



Şekil 4.8: 3. Reaktörde sıcaklığın zamana göre değişimi



Şekil 4.9: 4. Reaktörde sıcaklığın zamana göre değişimi

4.4.2 pH

Kompostlaştırma süresince reaktörlerdeki pH 'ın zamana göre değişimi Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Prosesin başlangıcında reaktörlerdeki pH değerleri yaklaşık 6.7-7.3 seviyelerinde iken, ilk on gün içerisinde yükselerek tüm reaktörlerde 9 civarına çıkmıştır. 28. günden sonra tüm reaktörlerde pH değerleri bir miktar düşmüştür. Proses sonunda bütün reaktörlerde pH 8 ile 9 arasındadır.

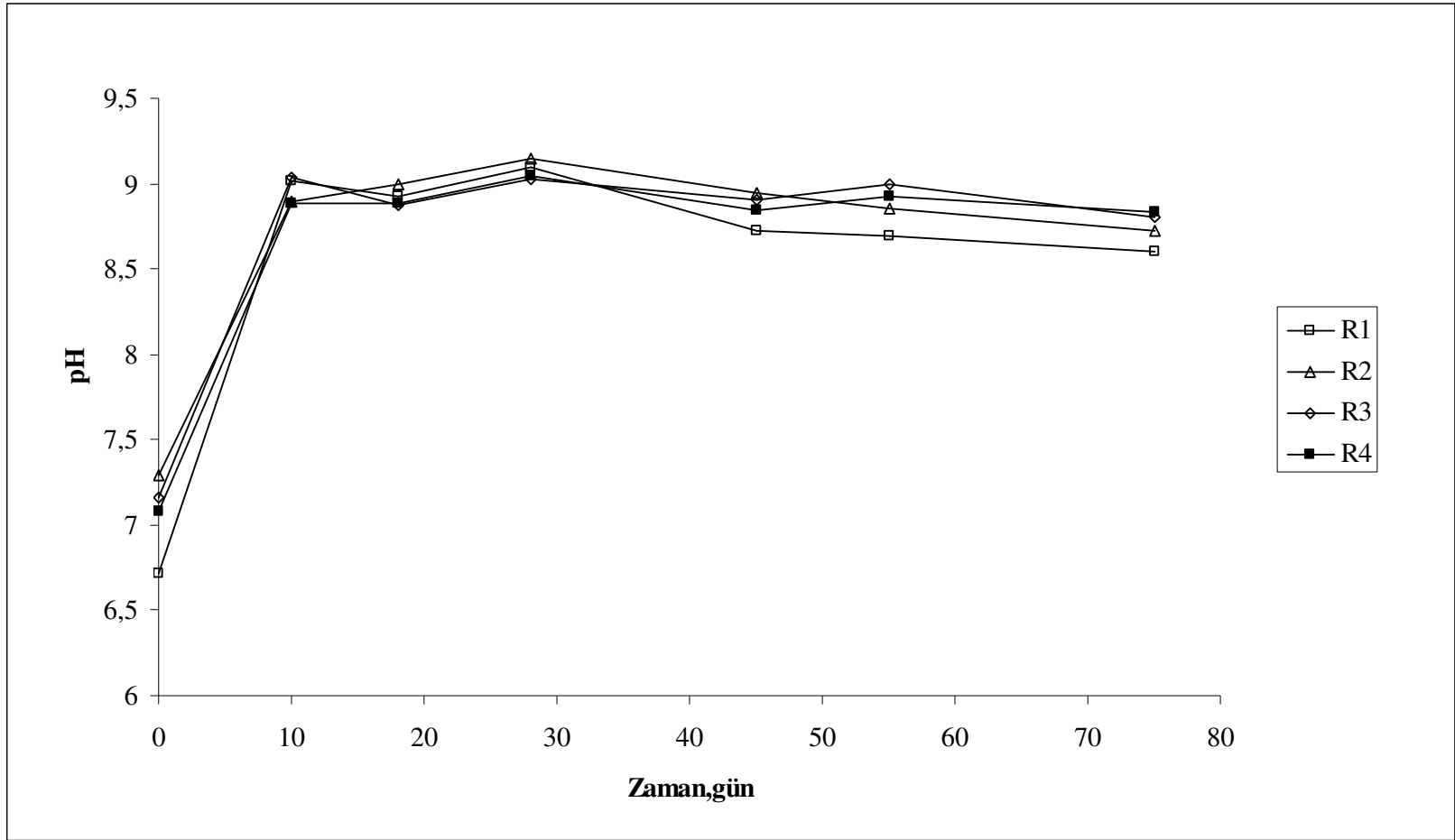
4.4.3 Su muhtevası

Proses süresince karıştırma yapıldığı zamanlarda reaktörlerden boşaltılan malzemenin su içeriği belirlenmiştir. Çalışma süresince ilk reaktörde su içeriği %54-60, ikincisinde %49-56, üçüncüsünde %43-45, dördüncüsünde ise %49-51 aralığında seyretmiştir. Reaktörlerdeki su muhtevasının değişiminin birbirlerine göre durumunu görmek amacıyla, her bir reaktörün su muhtevasının zamana göre değişimi Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Su ilavesinin yapıldığı zamanlar ok işaretiyle belirtilmiştir. İlk günlerde 1.reaktörde su muhtevasının artmış olmasının nedeni; mikrobiyolojik faaliyetin hızlı olması nedeniyle reaksiyon sonucu açığa çıkan su miktarının fazla olmasıdır, ancak daha sonra oluşan bu su sıcaklığında artmasıyla birlikte buharlaşmaktadır. Reaktörlerdeki su muhtevası çalışma süresince kompostlaştırmanın sağlıklı şekilde yürümesi için gerekli aralıkta olmuştur.

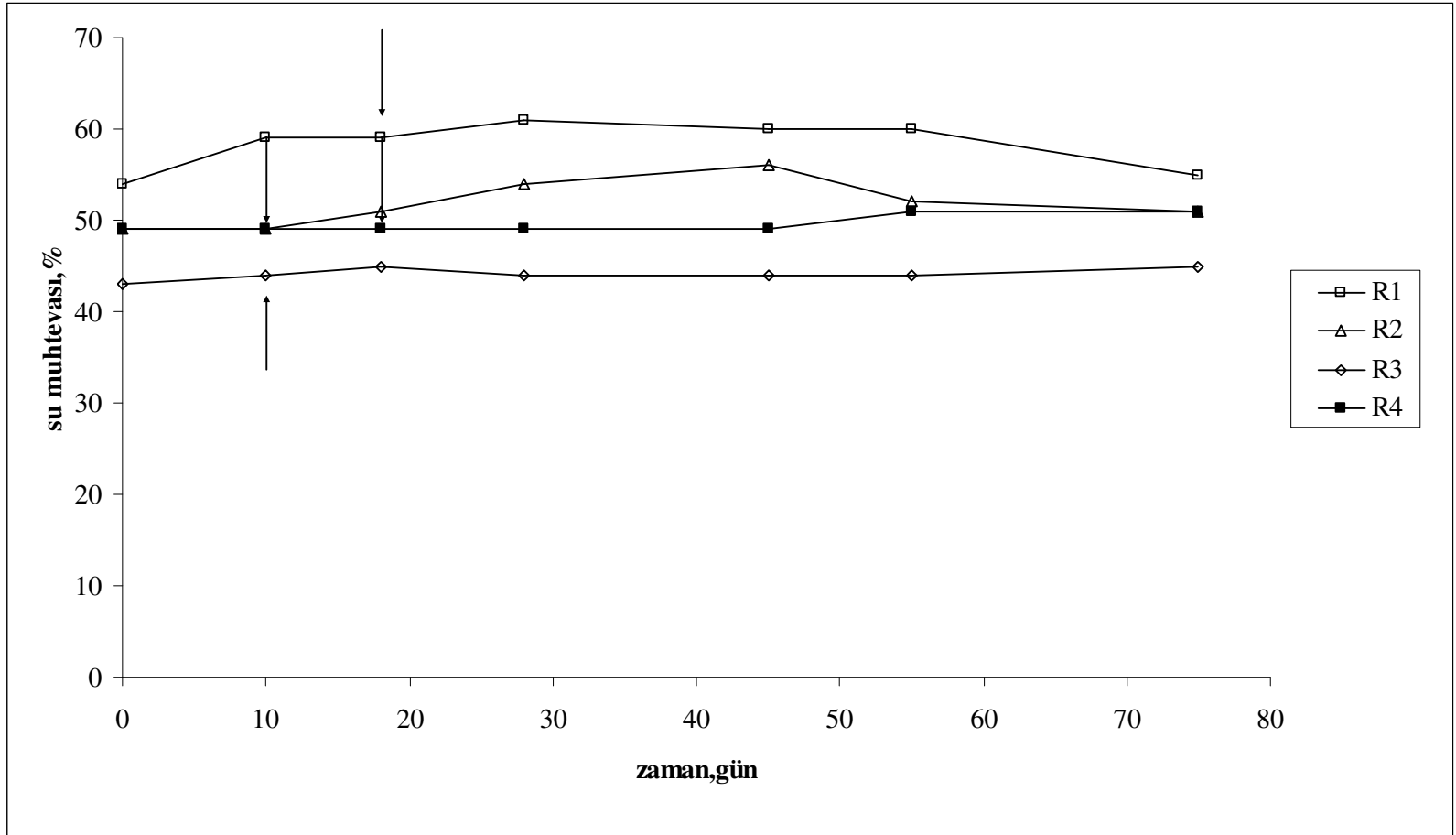
Reaktörlerin karıştırılması ve boşaltılması esnasında atığın havanın verildiği alt kısımlarında kısmen bir kuruma, üstte ise kapakta yoğunlaşan sular nedeni ile oluşan bir nemlenme görülmüştür. Üstteki nemlenmenin kapağın ısı izolesinin iyi yapılması sureti ile önemli ölçüde azaltılabileceği, altta olan kurumadan kaynaklanan mahsurun ise karıştırmanın sıklaştırılması veya verilen havanın nemlendirilmesi ile giderilebileceği düşünülmektedir.

ÇOB'ının TKKY'nde son ürün olan kompostta su içeriğinin %50'yi geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. 1.reaktör dışındaki reaktörlerde bu şart sağlanmakta olup, bu durum yüksek su tutma kapasitesine sahip katkı malzemelerinin ilavesiyle gerçekleştiği şeklinde açıklanabilir. Organik gübre yönetmeliğine* göre pazarlanacak organik gübrede su muhtevası maksimum % 20 olmalıdır.

* Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral, Özel, Mikrobiyal ve Enzim İçerikli Organik Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Üretimi, İthalatı, İhracatı, Piyasaya Arzı ve Denetimine Dair Yönetmelik



Şekil 4.10: Reaktörlerdeki pH'ın zamana göre değişimi



Şekil 4.11: Reaktörlerdeki su muhtevasının zamana göre değişimi

4.4.4 Organik madde

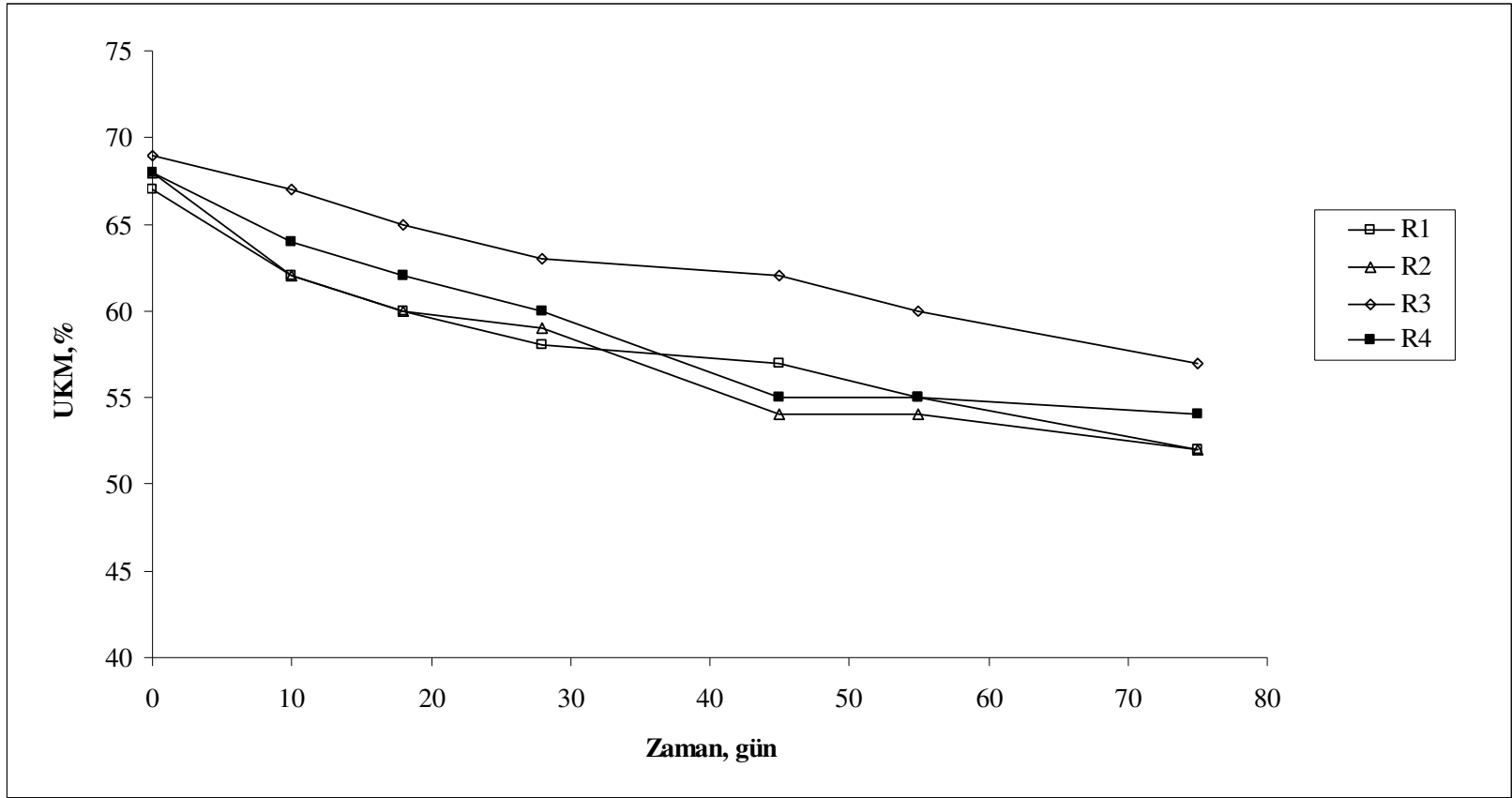
Kompostlaştırma prosesi boyunca reaktörlerdeki organik maddenin zamana göre değişimi Şekil 4.12’de verilmiştir. Çalışmanın ilk haftalarında kolay ayrışabilir organik maddeler hızla azalmış ve UKM’nin büyük bir kısmı bu süre içerisinde giderilmiştir. Yavaş ayrışabilir organik maddelerin ayrışması oldukça uzun zaman gerektirdiğinden sonraki safhalarda UKM ’de elde edilen azalma düşüktür. Organik madde muhtevası başlangıçta 1. reaktörde %67, 2.reaktörde %68, 3.reaktörde %69 ve 4.reaktörde %68 iken zamanla azalmış ve prosesin sonunda 1. ve 2. reaktörlerde %52, 3. reaktörde %57 ve 4. reaktörde %54 değerlerine inmiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı’nın Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nin kompostun toprakta kullanımı ile ilgili 10. maddesinde organik maddenin kuru ağırlığın en az % 35’i olması istenmektedir. Organik gübre yönetmeliğinde ise bu değer kompost için en az % 25’tir. Elde edilen kompostların tamamı bu değerleri sağlamaktadır.

Reaktör hacimlerinin ve ağırlıklarının değişimi Çizelge 4.9’da ve Şekil 4.13 ve 4.14’te verilmiştir.

Kompostlaştırma prosesi süresince biyolojik bozunma ve buharlaşmadan kaynaklanan organik madde ve su kayıpları, reaktörlerde kütle kaybına sebep olmaktadır. Bozunma sonucu daha küçük tane boyutuna sahip maddelerin oluşması ve her ne kadar karıştırma ile bu durum engellenmeye çalışılsa da reaktörlerde küçük tane boyutuna sahip maddelerin hava boşluklarını doldurarak kısmen yığın oluşumuna sebep olması, reaktör içerisindeki malzeme hacmini azaltmaktadır.

En fazla hacim kaybı 4. reaktörde gözlenmektedir.

Şekil 4.14’te prosesin başlangıç ve sonunda ölçülen malzeme ağırlıkları verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere tüm reaktörlerde % 30-35 oranında değişen ağırlık kayıpları meydana gelmiştir. En fazla ağırlık kaybı dördüncü reaktörde gözlenmiştir.

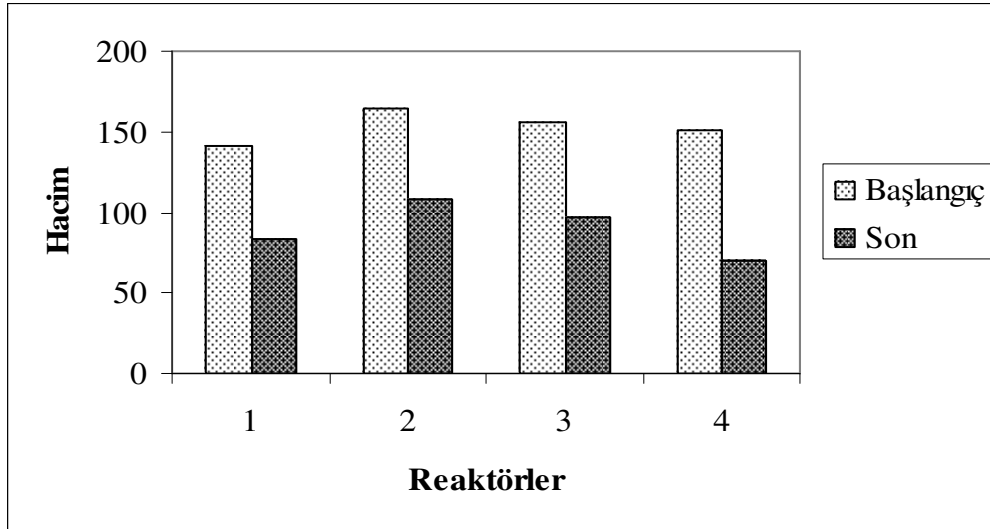


Şekil 4.12: Reaktörlerdeki organik maddenin zamana göre değişimi

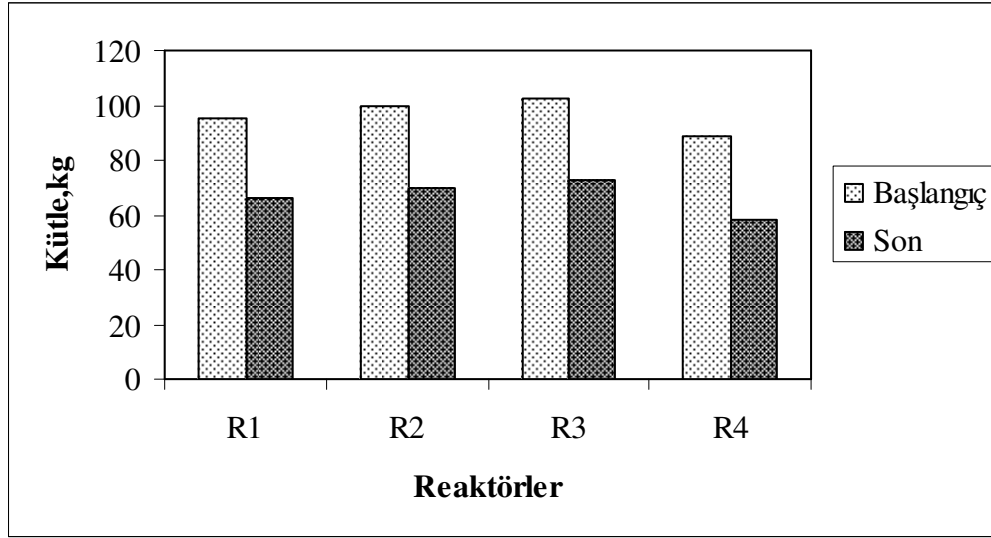
Çizelge 4.9: Reaktör hacimlerinin ve ağırlıklarının değişimi

Hacim Değişimi				
	R1	R2	R3	R4
Başlangıç, lt	141,33	164,48	155,95	151,08
Son, lt	82,85	108,44	97,47	69,45
Hacim azalması,%	41,38	34,07	37,5	54,03

Ağırlık Azalması				
	R1	R2	R3	R4
Başlangıç, kg	95,3	99,84	102,44	88,59
Son, kg	66,1	69,8	72,5	58,05
Kütle azalması,%	30,64	30,09	29,23	34,47



Şekil 4.13: Reaktör hacimlerindeki değişim



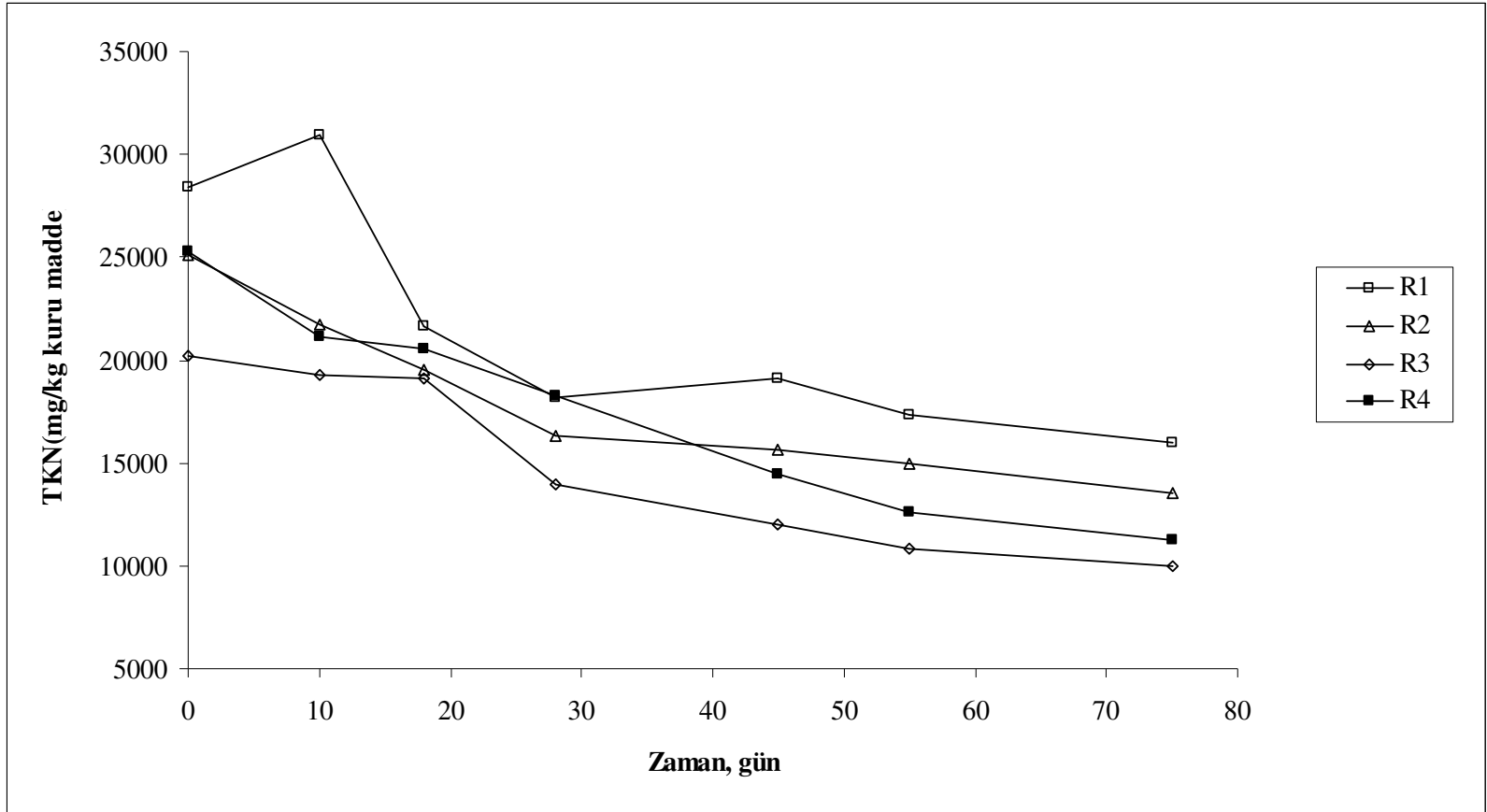
Şekil 4.14: Reaktör ağırlıklarındaki değişim

4.4.5 TKN ve NH_3

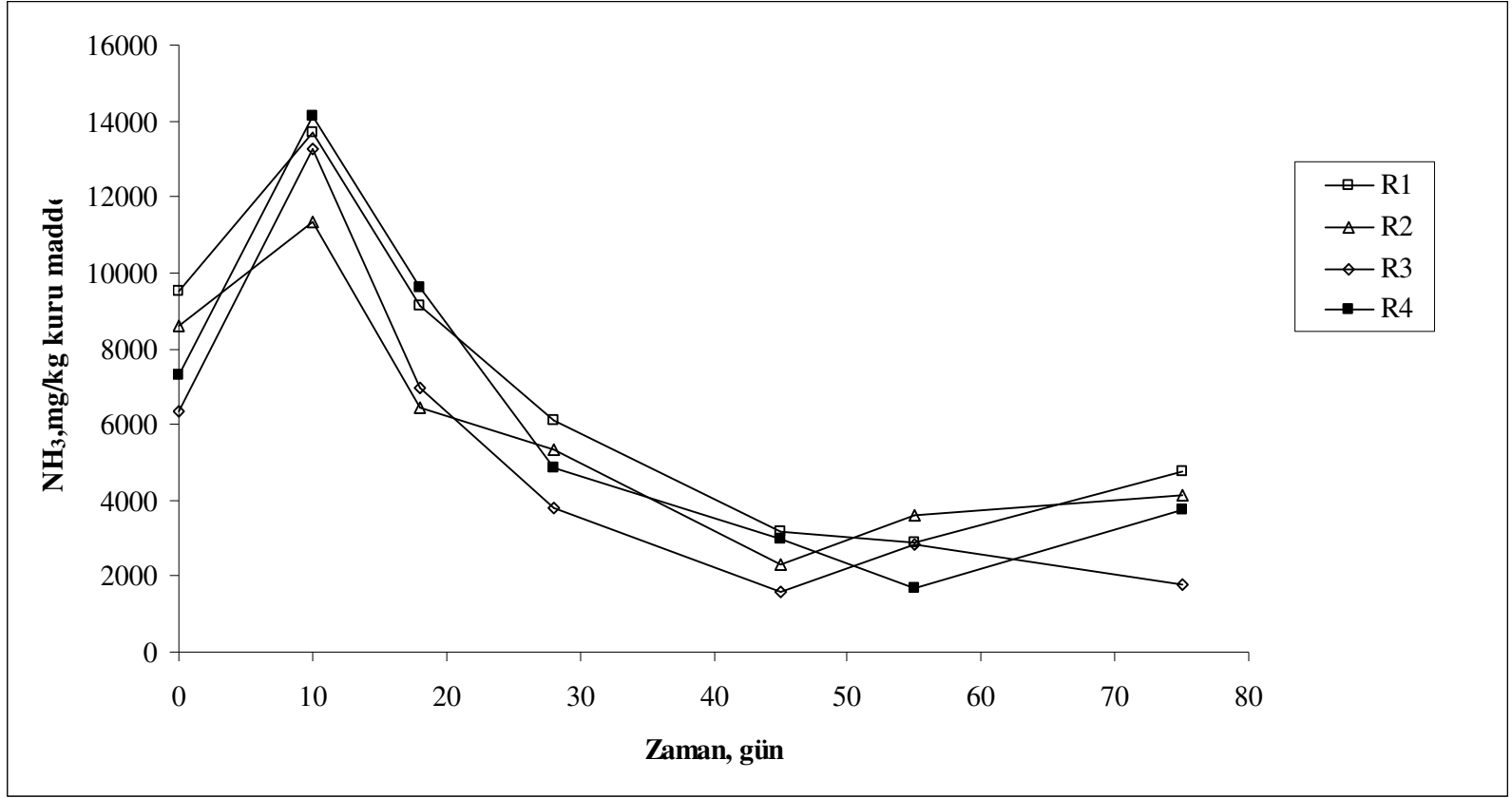
Kompostlaştırma süresince TKN ve NH_3 değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.15 ve 4.16'da görülmektedir. Tüm reaktörlerde başlangıçta 20.000-29.000 mg/kg olan TKN konsantrasyonları reaksiyon süresince azalarak 11.000-16.000 mg/kg seviyelerine düşmüştür. İlk karıştırmaya kadar geçen sürede, gözenek malzemelerinin kullanıldığı reaktörlerde TKN içeriklerinin düştüğü görülmektedir. Prosesin sonuna doğru ise TKN içeriklerinde fazla bir değişim göze çarpmamaktadır. Bu da tüm reaktörlerde malzemenin stabiliteye yaklaştığını göstermektedir.

4.4.6 Fosfor

Şekil 4.17'te fosfor miktarının zamanla değişimi görülmektedir. Fosfor tüm reaktörlerde artmaktadır. Bu durum mikrobiyolojik ayrışma sonucu atık kütesinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Prosesin sonuna doğru sepiyolitinin olduğu reaktörde fosfor bir miktar azalmıştır.



Şekil 4.15: Reaktörlerdeki TKN'nin zamanla değişimi



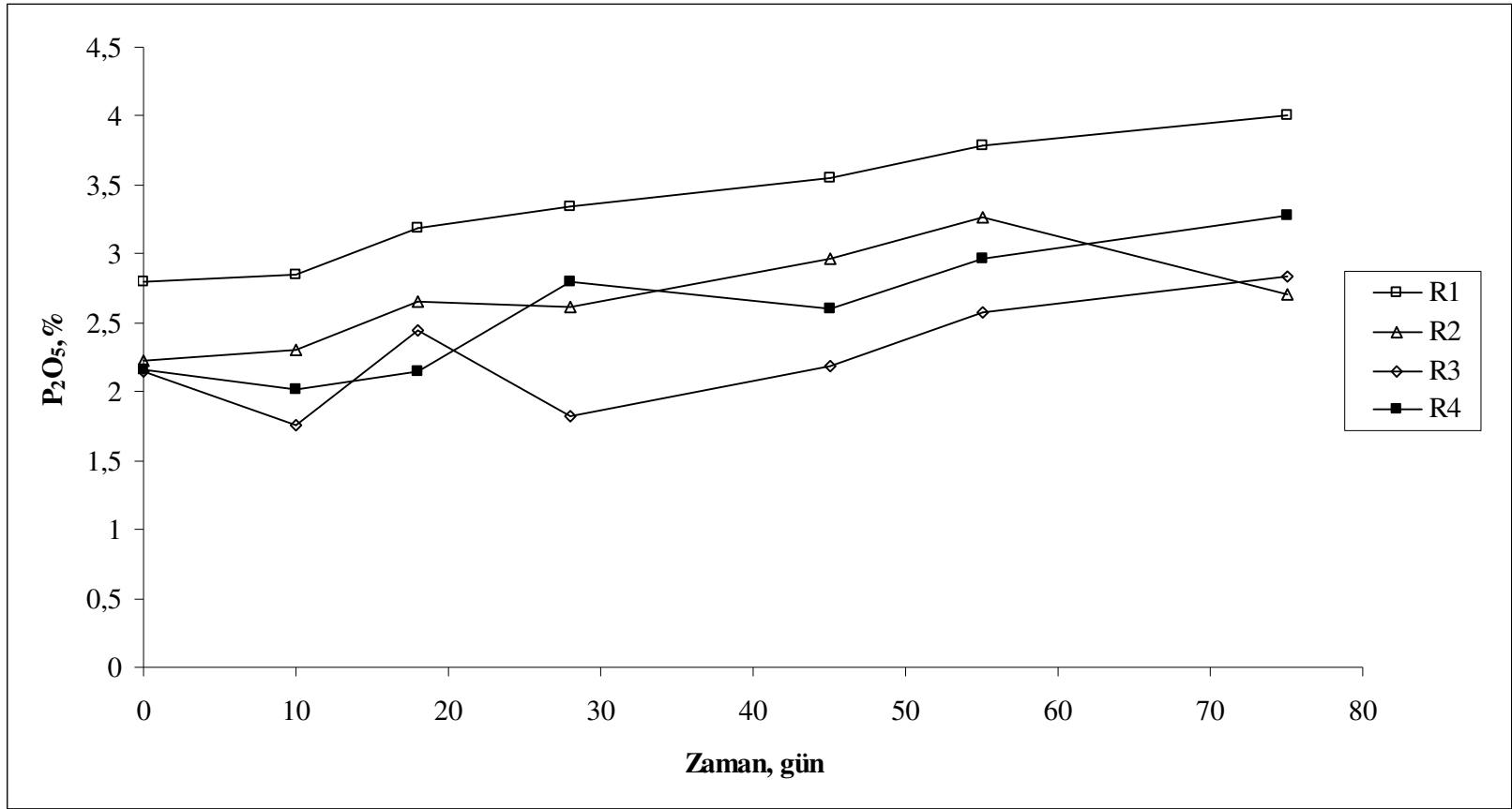
Şekil 4.16: Reaktörlerdeki $\text{NH}_3\text{-N}$ 'unun zamanla değişimi

4.4.7 Ağır metaller

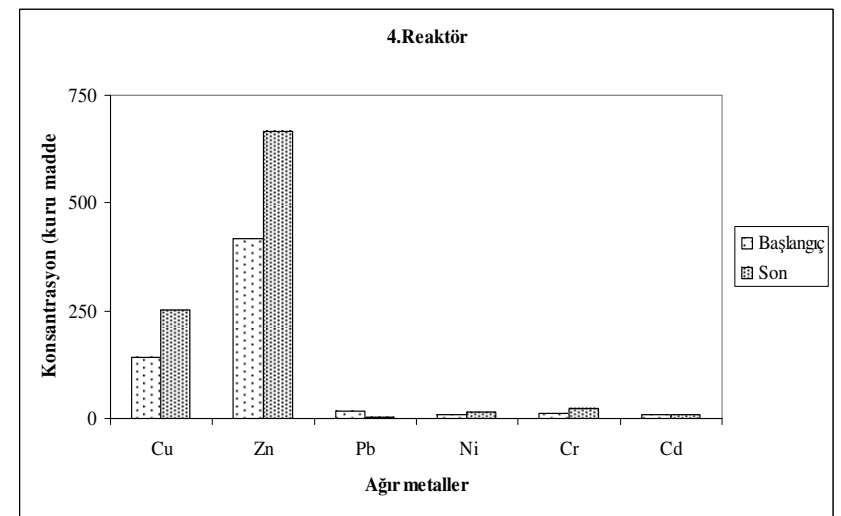
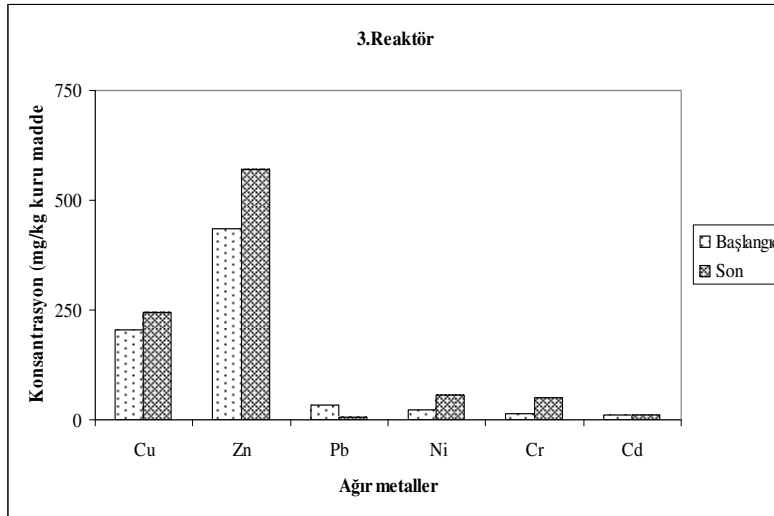
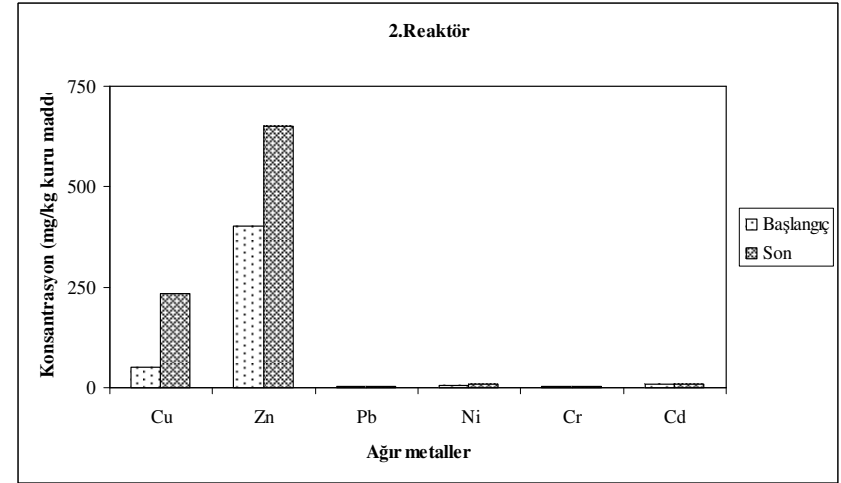
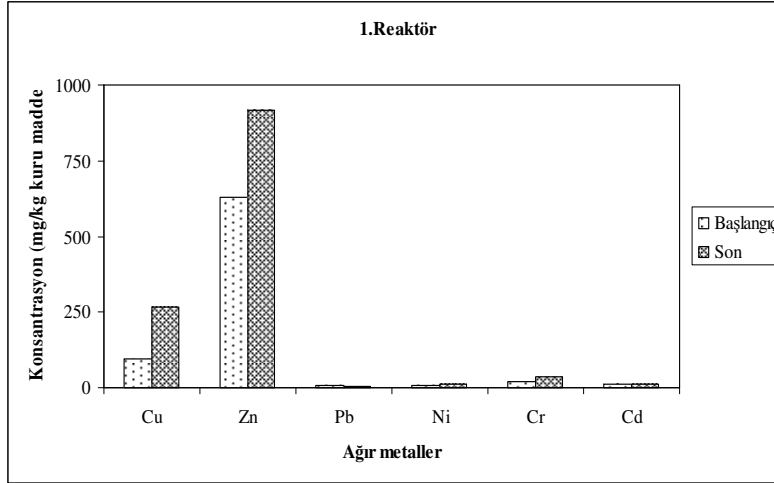
Reaktörlerde ağır metal konsantrasyonlarının yönetmelikle karşılaştırılması Çizelge 4.10’da verilmiştir. Reaktörlerdeki ağır metal konsantrasyonunun genelde arttığı görülmektedir (Şekil 4.18). Bu artış uçucu katı madde azalmasından kaynaklanan kütle kaybındandır. Bütün reaktörlerde son ürünlerdeki ağır metal konsantrasyonlarının Tarım ve Köyişleri Bakanlığı’nın “Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral, Özel, Mikrobiyal ve Enzim İçerikli Organik Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Üretimi, İthalatı, İhracatı, Piyasaya Arzı ve Denetimine Dair Yönetmelik”te belirtilen sınır değerleri aşmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.10: Reaktörlerde sondaki ağır metal konsantrasyonları

Ağır Metaller	Bu Çalışma				Yönetmelik
	1	2	3	4	
Zn, mg/kg	918	650,5	569,5	665,5	1100
Cu, mg/kg	267	233,5	243,95	251,1	450
Ni, mg/kg	13,6	8,5	56,9	13,35	120
Cr, mg/kg	34,2	3,65	49,25	24,6	270
Cd, mg/kg	<10	<10	<10	<10	3
Pb, mg/kg	<50	<50	<50	<50	150



Şekil 4.17: Reaktörlerdeki Toplam Fosforun zamanla değişimi



Şekil 4.18: Reaktörlerdeki başlangıç ve sondaki ağır metal konsantrasyonları

4.4.8 Patojen

Tüm reaktörlerden elde edilen ürünler için patojen varlığına yönelik hijyen testleri yapılmış olup, hiçbir üründe E.coli bakterisine rastlanmamıştır.

4.4.9 Havalandırma

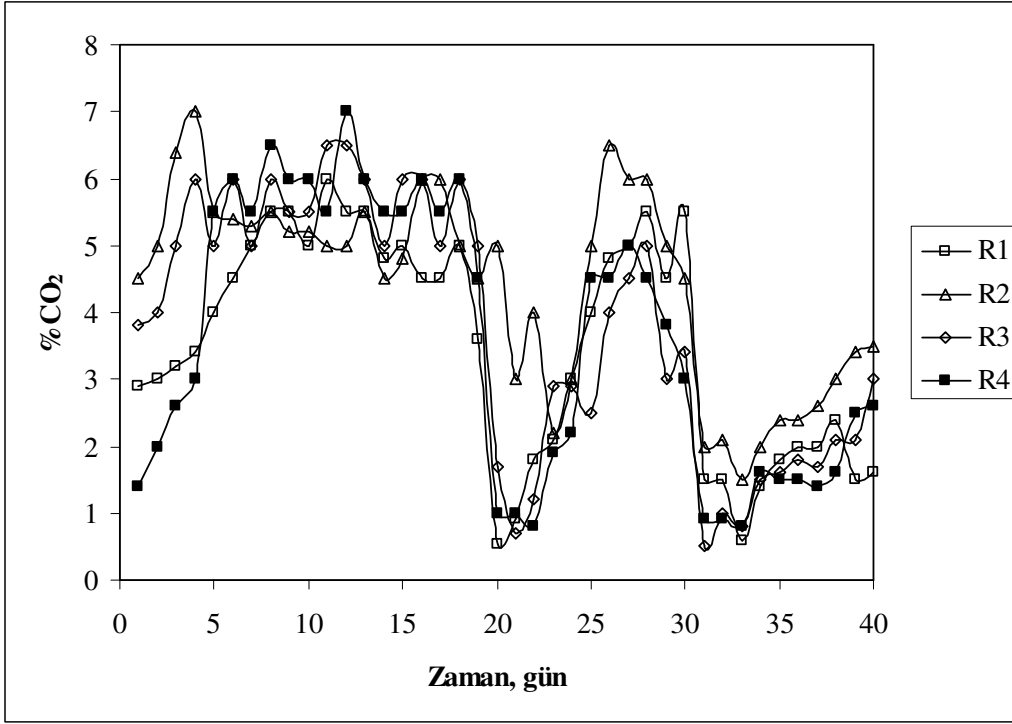
Reaktörler kesikli olarak havalandırılmıştır. Hava debisi sıcaklığı istediğimiz aralığa düşürecek şekilde ayarlanmıştır. Her reaktöre verilen debi değişik olmuştur. Birinci reaktörde 1,8-2,2 (2) m³/saat, ikinci reaktörde 1,6-2,2 (1,8), üçüncü reaktörde 1,7-2,1 (1,85) ve dördüncü reaktörde 1,5-2,1 (1,75) arasında değişmiştir. Reaktörlerin tamamında başlangıçta hava ihtiyacı ortalamanın üzerinde olmuştur. Biyolojik reaksiyonlar azalınca ihtiyaç azalmış ve sona doğru artmıştır. Bu artmanın dane boyutundaki küçülmeye bağlı olarak boşluk miktarındaki azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.4.10 Çıkış gazlarının analizi

Çıkış gazındaki CO₂ konsantrasyonunun zamanla değişimi Şekil 4.19'da görülmektedir. Karbondioksit içeriğindeki ani iniş ve çıkışlar reaktörlerin boşaltılarak karıştırıldığı günleri göstermektedir.

Birinci reaktörde CO₂ konsantrasyonu, 7. günde en yüksek değerine ulaşmıştır. Bunun sebebi ilk günlerdeki yüksek mikrobiyal aktivite sonucu ayrışmanın ve dolayısıyla karbondioksit oluşumunun daha fazla olmasıdır. Benzer şekilde ikinci reaktörde de karbondioksit içeriği 4-7 günleri arasında en yüksek değerindedir. Üçüncü ve dördüncü reaktörde de benzer bir eğilim gözlenmekle birlikte ilk haftada diğer reaktörlere kıyasla CO₂ kompozisyonu daha düşük değerlerde seyretmiştir. Bu durum üçüncü ve dördüncü reaktörde ayrışmanın daha yavaş gerçekleştiğini göstermektedir.

Kompostlaştırmanın yalnızca ilk 6 haftasında çıkış gazı konsantrasyonları izlenmiştir.

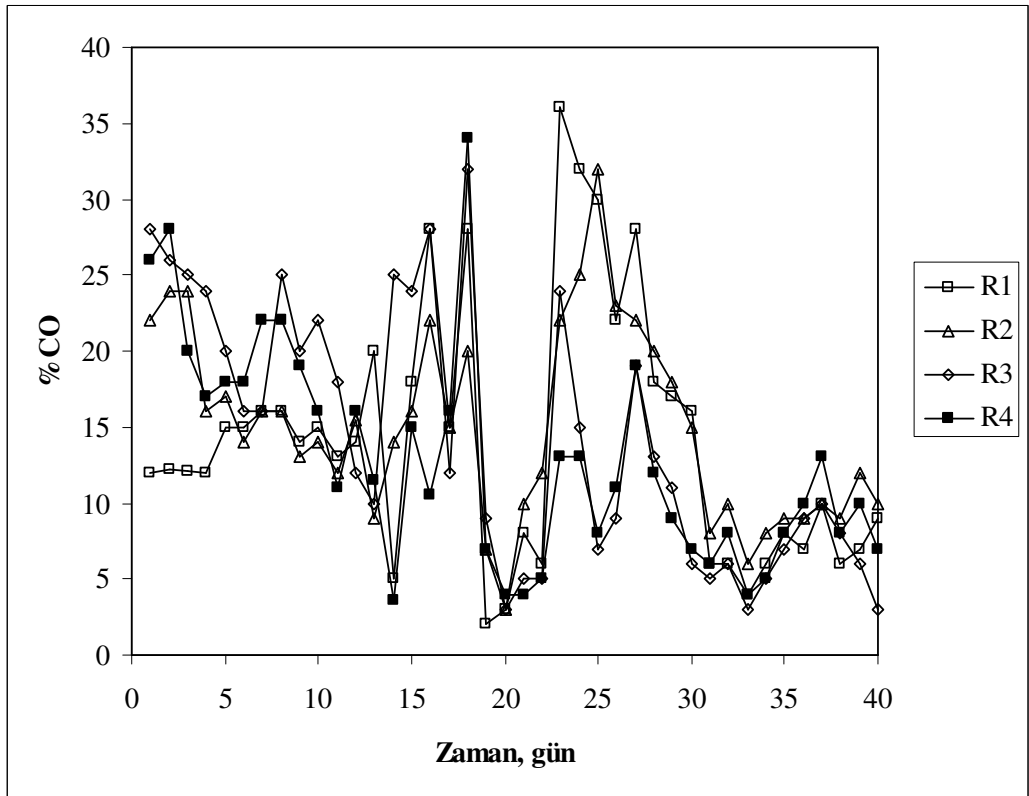
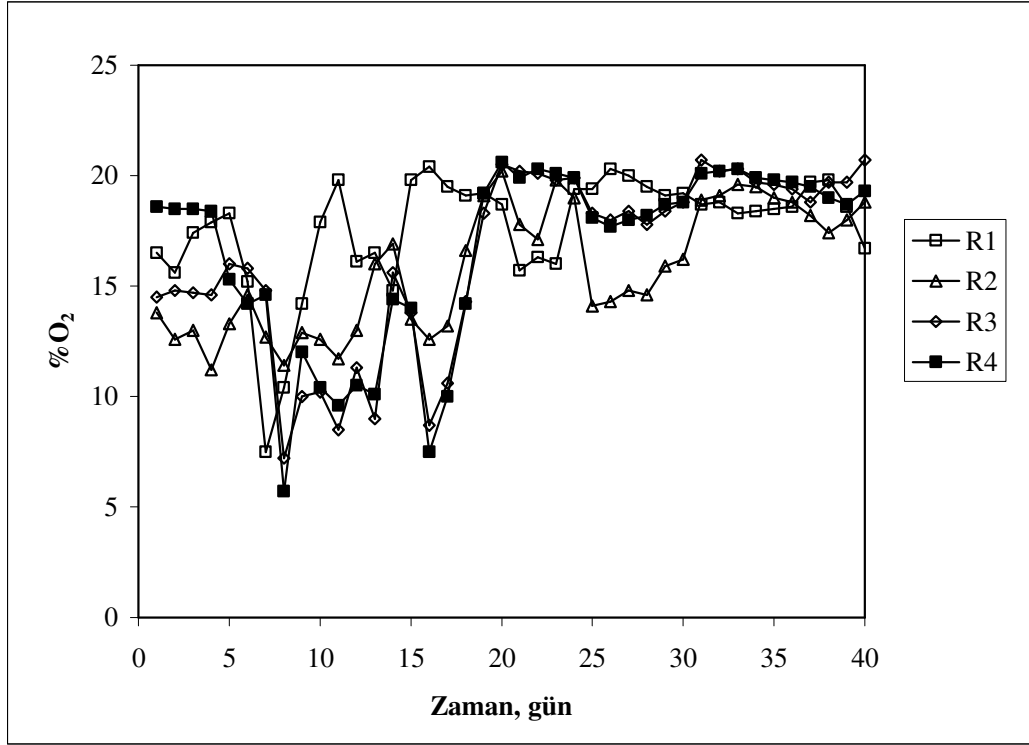


Şekil 4.19: Reaktörlerin çıkış gazında CO₂ içeriğinin zamanla değişimi

Oksijen tüketimi sonucu karbondioksit oluşmaktadır. Reaktör çıkışındaki oksijen konsantrasyonunun en düşük olduğu gün üçüncü ve dördüncü reaktörlerde 8. gündür (Şekil 4.20).

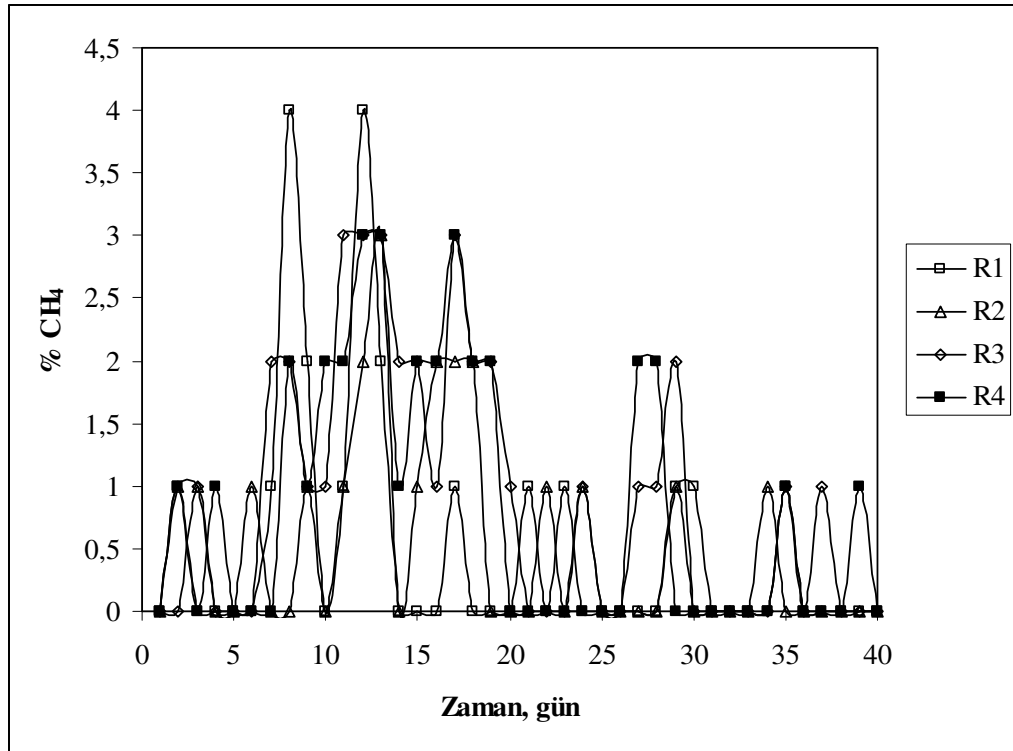
Karıştırmanın gerçekleştirildiği günlerde reaktörlerdeki çıkış gazındaki oksijen konsantrasyonları oldukça yüksektir. Ancak karıştırmadan sonraki günlerde çıkış gazındaki oksijen konsantrasyonlarında düşüş, karbondioksit konsantrasyonlarında ise yükseliş gözlenmektedir. Bu durum, karıştırma ile atığın havalanmasının sonucu reaksiyon hızının artması ile açıklanabilir.

Reaksiyon süresince CO konsantrasyonunun zamanla değişimi Şekil 4.21’de gösterilmiştir. En yüksek CO konsantrasyonları genellikle sıcaklığın yüksek olduğu günlerde görülmüştür. Ayrıca reaktörlerde oluşan küçük anaerobik bölgeler de CO oluşumunda etkili olmuştur.

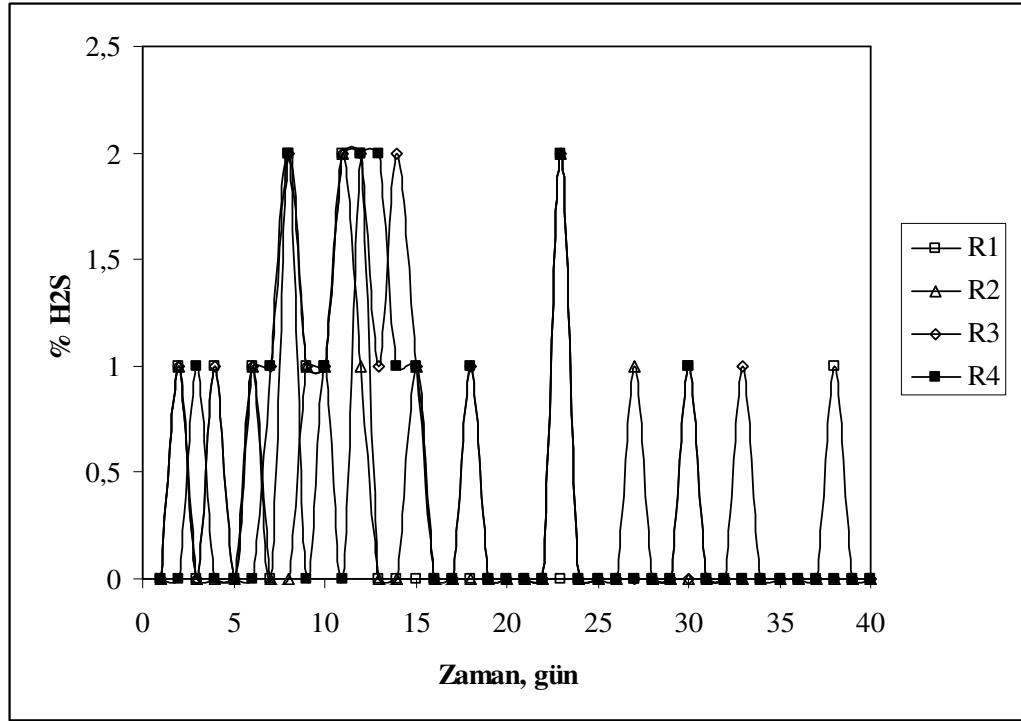


Reaksiyon süresince çıkış gazındaki metan konsantrasyonlarının değişimine bakıldığında ise en yüksek metan oluşumunun ilk reaktörde gözlemlendiği görülmektedir (Şekil 4.22). Reaktörlerin karıştırılması sırasında çok küçük anaerobik bölgelerin oluştuğu gözlemlenmiştir. CH_4 ve H_2S 'in oluşma nedeni bu bölgelerde meydana gelen anaerobik reaksiyonlardır. İlk reaktörde anaerobik bölge oluşumu daha fazladır. Bunun sebebi gözenek malzemesi ilave edilmediği için reaktör içerisinde yeterli hava boşluklarının oluşmaması sonucu havalandırmanın etkin bir biçimde gerçekleştirilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Reaktörlerin çıkış havasındaki metan içeriği genellikle O_2 'nin düştüğü günlerden sonra oluşmuştur.

Hidrojen sülfür konsantrasyonları reaktörlerde benzerlik göstermektedir (Şekil 4.23). H_2S konsantrasyonları metan konsantrasyonlarının yüksek olduğu günlerde yüksek olmuştur.



Şekil 4.22: Reaktörlerin çıkış gazında CH_4 içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 4.23: Reaktörlerin çıkış gazında H_2S içeriğinin zamanla değişimi

5. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada tavuk atıklarının katkısız ve farklı katkı malzemeleriyle kompostlaşabilirliği incelenmiştir. Çalışma esnasında dört reaktör kullanılmıştır. Reaktörlere esas atık olarak tavuk kümesi altlığı konulmuştur. Birinci reaktöre sadece atık ve aşı karışımı doldurulmuştur. Diğer reaktörlere atık ve aşidan başka sırasıyla sepiyolit, manyezit ve klinoptilolit-sepiyolit-manyezit-pomza karışımı eklenmiştir.

Reaktörlerde sıcaklıklar bir hafta içerisinde 60°C'nin üzerine çıkmıştır. Sıcaklıklardaki bu geç yükselme başlangıçta reaktörlerin izolasyonunun yapılmamasından kaynaklanmıştır. İzolasyon yapıldıktan sonra sıcaklıklar hızlı bir şekilde yükselmeye başlamıştır. Sıcaklık bütün reaktörlerde patojen giderimini sağlayacak değere çıkmış ve yeterli süre bu sıcaklıkta kalmıştır. Prosesin sonuna doğru ise hızlı ayrışabilir organik madde azaldığından sıcaklıklar düşmeye başlamış ve çalışmanın sonunda 25-30°C arasında değişmiştir. Besi tavuğu atıklarının kompostlaştırılmasında sıcaklıkla ilgili bir sorun oluşmamaktadır. Atık sıcaklığının izlenmesi ve kontrolünün iyi yapılması, kompostlaştırma prosesinin verimi ve elde edilecek ürünün kalitesinin iyi olması bakımından önemlidir.

Tavuk atığı ve katkı/gözenek malzemesi ilave edilen reaktörlerde C/N oranı başlangıçta 20'den küçüktür. Düşük sayılabilecek bir C/N oranında başlayan proses sırasında organik azotun parçalanmasıyla açığa çıkan amonyak sıcaklık ve pH artışına bağlı olarak gaz formuna geçerek atığı terk etmiştir. Kompostlaştırma süreci sonunda reaktörlerin C/N oranları başlangıca göre artmış ve proses sonundaki C/N oranları 18-33 arasında olmuştur. Bu değerler Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde istenen limiti sağlamaktadır. Tavuk atıklarının kompostlaştırılmasında C/N bakımından bir problem bulunmamaktadır.

Reaktör çıkışında koku moleküllerinin ölçümü yapılamamıştır. Sadece çıkan gaz ve karışım sırasında kokunun şiddetinin değişimi izlenmeye çalışılmıştır. Sadece tavuk atığı konan reaktörde 4 hafta boyunca kesif bir amonyak kokusu hissedilmiştir.

Katkı-gözenek malzemelerinin karıştırıldığı 4. reaktör ile sepiyolit ilave edilen reaktörlerde ise koku ilk iki hafta hissedilmiştir. Hissedilen koku ise diğer iki reaktöre göre hissedilir şekilde az olmuştur.

Kompostlaştırma prosesi süresince reaktörlerdeki su muhtevası kompostlaştırmanın sağlıklı şekilde yürümesi için gerekli aralıkta (% 40-60) kalmıştır. Karıştırma esnasında zaman zaman su ilavesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Reaktörlerin tabanında hiçbir zaman su birikimi olmamıştır. Yani su muhtevasının uygun aralıkta kalması sağlandığından herhangi bir şekilde sızıntı suyu oluşumu meydana gelmemiştir. Organik Gübre Yönetmeliğinde su muhtevası % 20 olarak istenmektedir. Bu kuruluştaki atıkların karıştırılması ve taşınması esnasında çok büyük tozlaşma olacaktır. Ayrıca bu kuruluğun proses sırasında tabii olarak sağlanması çok zordur. Bu su içeriğini sağlamak için ya hava ile yada ısı ile kurutmanın yapılması gerekmektedir. Bu ise maliyeti arttırmaktadır. Yönetmelikte bu hususun yeniden düzenlenmesinde yarar vardır.

pH değerleri başlangıçta belirlenen değerlere göre artmıştır. Altınbaş ve diğ. (2007) yılında karışık evsel katı atıkların kompostlaştırılması üzerine İstanbul'da yapılan bir örnek çalışmada da; pH başlangıçta 5-7 aralığında iken proses ilerledikçe 8-8.5 seviyelerine kadar çıkmaktadır. Bu durum çoğunlukla, ortamdan CO₂ çıkışı ve proteinlerin ayrışmasından ileri gelmektedir

Çalışmanın ilk haftalarında kolay ayrışabilir organik maddeler hızla azalmış ve UKM'nin büyük bir kısmı bu süre içerisinde giderilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen ürünler ağır metaller ve E.coli bakımından standartları sağlamıştır. Kümes atıklarından elde edilen kompostta hijyenik bakımdan herhangi bir problem bulunmamaktadır.

Bu çalışma ile tavuk atıklarının farklı gözenek malzemeleriyle ve hiçbir malzeme ilave edilmeden kompostlaşabilirliğinin uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Besi tavuğu atıklarına herhangi bir katkı malzemesi ilave edilmeden de standartlara uygun kompost elde edilebilmektedir. Ancak hiçbir katkı/gözenek malzemesi kullanılmadığında atığın etkin bir biçimde havalanmadığı ve buna bağlı olarak yığılma yer yer anaerobik bölgelerin ve reaksiyonların meydana geldiği gözlenmiştir. Katkı/gözenek malzemesi kullanımının proses süresince havalandırmanın etkinliğini ve mikrobiyal aktiviteyi arttırdığı tespit edilmiştir. Kullanılan katkı/gözenek

malzemelerinin çapı küçüktür. Buna rağmen prosese olumlu etkileri olmuştur. İlave edilen malzemelerin çaplarının büyümesi halinde olumlu etkileri daha çok olacaktır. Besi tavuğu kümesi atıkları katkı/gözenek malzemesi ilavesiz de kompost olabilmektedir. Bu malzemelerin ilave edilmesi havalandırmayı kolaylaştırmaktadır. İlave edilen malzemelerin C bakımından zengin olmaları dane boyutunun büyük olmasından kompostlaştırma prosesi bakımından daha yararlı olacaktır.

Ülkemiz için besi tavuğu kümes atıklarının bertarafı için en uygun metod aerobik kompostlaştırmadır. Kompost metodu olarak karıştırmalı yığın metodu veya havalandırılmalı karıştırmalı yığın metodu uygulanabilir. Karıştırmalı yığın metodunda ilk iki hafta sıcaklığa bağlı olarak haftada 2-3 defa, daha sonar haftada bir defa karıştırma yapılmalıdır. Yığınlar açık arazide yapılabilir. Soğuk ve çok yağışlı bölgelerde bu şartların oluştuğu zamanlarda yığınlar geotekstille kapatılmalıdır.

Yığınlar arazi problemi olan yerlerde trapez şeklinde diğer yerlerde üçgen yığın şeklinde yapılabilir. Soğuk bölgelerde kışın yığın boyutlarının büyük yapılmasında yarar vardır.

Arazi ve atık temin maliyeti hariç ton başına kompost yapım maliyeti 5-10 YTL civarında olacağı belirlenmiştir(100 ton/gün için).

Tavuk atıklarının kompostlaştırılması için bölgesel kooperatifler, birlikler veya şirketler kurulmalıdır. Bu kuruluşlar altlıkların kümeden çıkarılması, kümeslerin temizlenmesi, ilaçlanması ve atıkların bertaraf işlemlerini yapmalıdır. Elde edilen kompostun kullanım alanlarından birisi de kümeslerde altlık malzemesi olarak kullanılmasıdır. Kompost altlık olarak tek başına kullanılabileceği gibi diğer altlık malzemeleri ile karıştırılarak da kullanılabilir.

Yeni kümeslerin kurulmasına izin verilmeden önce atıklarını ne yapacaklarının belirlenmesi ve kümeslerle birlikte bunların da inşasının sağlanması zorunludur. Kendi atığını bertaraf etmeyecek kuruluşların da kurulu bir tesisle atıklarını orada işleteceğine dair anlaşma yapmaları sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altınbaş, M., Arıkan, O., Demir, İ., Yıldız, Ş., Öztürk, Ç., Öztürk, İ., 2007. *Karışık Evsel Katı Atıkların Kompostlaştırılması: İstanbul Örneği*, Türkiye 2007, AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, YTÜ, İstanbul.
- Baban, A., Timur, H., Cılız, N., Olgun, H. Ve Akgün, F., 2002. *Kümes ve ahır gübrelerinin geri kazanılması ve bertarafı projesi* . TÜBİTAK-MAM.
- Bach, P.D., Shoda, M. And Kubota, H., 1984. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continuously mixed isothermal reactor, *J.Ferment. Technol.* **62** (3), 285-292.
- Bayındır, Ş., Şahin, S., Uysal, F., 2004, Türkiye’de çiftlik gübresi kullanım potansiyeli, *Üçüncü Ulusal Gübre Kongresi Bildirileri*, 11-13 Ekim 2004, Tokat.
- Bertoldi, M.D., Valini, G., and Pera, A., 1982. Comparison of three windrow compost systems, *Biocycle*, **23** (2), 5-50.
- Bertoldi, M., Valini, G., and Pera, A., 1983. The biology of composting, *Waste Manage. Res.*, **1**, 157-176.
- Bonazzi, G., Vialli, L. And Piccinini, S., 1990. Controlling ammonia emissions at composting plants, *Biocycle*, **31** ,68-71.
- Borat, M., 1997. Ders Notları, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Coppola, S., S. Dumontet, and P. Marino, 1983. Composting raw sewage sludge in mixture with organic or inert bulking agents, *Proc. Of the Int’l. Conf. On Composting of Solid Wastes and Slurries. The Univ.of Leeds, England*, pp 125-147.
- Çelik, S., Sabah, E., 1998. Sepiyolit oluşumu, özellikleri, kullanım alanları, Afyon.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2006. 22.07.2006 tarih ve 26236 sayılı Resmi Gazete, Ankara, 2006.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991. 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 2005. 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Davraz, M., 2004. Pomzanın Endüstriyel Kullanım Alanları, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- DPT, 2007. *Dokuzuncu Kalkınma Planı - Gıda Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Ankara.

- Elwell D.L., Keener, H.M., Carey, D.S., Schlak, P. P.**,1998. Composting unamended chicken manure, *Compost Science and Utilization*, **6**, 22-35
- European Commission, Commission Decision On European Waste Catalogue**, Official Journal No: 226, Date: 06.09.2000. **2000/532/EC**, Brussels.
- European Commission, Regulation of the European Parliament and of the Council**, 2002. Laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption, Official Journal No: L 273, Date: 10.10.2002, **1774/2002**, Brussels.
- Erdim, E.**, 2003. İleri biyolojik atıksu arıtma tesisi çamurlarının Kompostlaştırılmasında farklı katkı maddelerinin etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Epstein, E.**, 1997. The Science of Composting, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Finstein, M.S. and Morris, M.I.**, 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. In: The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend, (Liang, C., Das, K.C., McClendon, R.W.), 2002. *Bioresource Technology*, pp:132
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Strom, P.F.**, 1986. Waste treatment composting as a controlled system, *Biotechnology*, **8**, 396 – 443.
- Golueke, C.G.**,1977. Biological Reclamation of Solid Wastes,Rodale Emmaus,PA.
- Graves, R. E., Hattemer, G.M.**, 2000. Composting, Chapter 2, *Environmental Engineering National Engineering Handbook*, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Gray, K.R., Sherman, K., Biddlestone,A. J.**,1971. A review of composting, Part 1 & Part 2. In: *Process Biochemistry* **6**.
- Guerra-Rodriguez, E., Vazquez, M., Diaz-Ravina, M.**, 2001. Co-composting of chestnut burr and leaf litter with solid poultry manure, *Bioresource Technology*, **75**, 223-225.
- Hamoda, M. F., Abu Qdais, H. A. And Newham, J.**, 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics, *Resources, Conservation and Recycling*. **23(4)**, 209-223.
- Hart, S. A.**,1960. The Management of Livestock Wastes, *Journal of the Water Pollution Control Federation*, **3(2)**, 78-80.
- Haug, R.T.**, 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, London.
- Hong, J.H., Park, K.J. and Shon, B.K.**, 1997. Influence of Aeration Rate on Ammonia Emission in High Rate Composting of Dairy Manure and Rice Hulls Mixtures. *A progress report*, In: American Society of Agricultural Engineering (ASAE), 974114, **8**.Annual International Meeting, St. Joseph, Mich.

- Hong, J.H., Keener, H.M., Elwell, D.L.**, 1998. Preliminary Study of the Effect of Continuous and Intermittent Aeration on Composting Hog Manure Amended with Sawdust. *Compost Sci. Util.*, **6(3)**, 74-88.
- Huang, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T., Nagar, B.B.**, 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust, *Waste Management*, **24**, 805-813.
- Joshua, R.S., Macauley, B.J., Mitchell, H.J.**, 1998. Characterization of temperature and oxygen profiles in windrow processing systems. *Compost Sci. Util.*, **6**, 15-28
- Jeris, J.S., Regan, R.W.**, 1973. Controlling environmental parameters for optimal composting, *Part II. Compost Sci.* **14(1)**, 10-15. In: The Practical Handbook of Compost Engineering (Haug, R.T.), pp.213, Lewis Publishers, London.
- Kelleher, B.P., Leahy, J. J., Henihan, A.M., O'Dwyer, T.F., Sutton, D.**, 2002. Advances in poultry litter disposal technology- a review, *Bioresource Technology*, **83**, 27-36
- Kithome, M., Paul, J. W. And Bomke, A.A.**, 1999. Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments, *Journal of Environmental Quality*, **28 (1)**, 194-202.
- Kocakuşak, S., Savaşçı, Ö.T., Turhan, A.**, 2001. Doğal zeolitler ve uygulama alanları, TÜBİTAK MAM.
- Kocasoy, G.**, 1994, Atıksu arıtma çamuru ve katı atık ve kompost örneklerinin analiz yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Kulcu, R., Yıldız, O.**, 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes, *Bioresource Technology*, **93**, 49-57.
- Mahmairaja, S., Bolan, N.S., Hedley, M.J. and Mc Gregor, A.N.**, 1994. Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: An incubation experiment . *Biores. Technol.*, **47**, 265-273
- Martins, O., and T. Dewes**, 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes, *Bioresource Technology*, **42 (2)** , 103-111.
- Mc Cartney, D., Tingley, J.**, 1998. Development of a rapid moisture content method for compost materials. *Compost Sci. Util.*, **6**, 14-25.
- Mc Gauhey, P.H. and Gotaas, H.G.**, 1976. Stabilization of municipal refuse by composting, *Trans.Am.Soc.Civil Eng.*, paper no: 2767.
- Mc Gregor, S.T., Miller, F.C., Psarianos, K.M., Finstein, M.S.**, 1981. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature, *Appl. Environ. Microbiol.* **41**, 1321-1330.
- Mc Kinley, V.L., Vestal, J.R., Eralp, A.E.**, 1985. Microbial activity in composting, *Biocycle*, **26 (6)**: 39-43

- Michel, F.C., Forney, L.J., Huang, A.J.F., Drew, S., Czupredski, M., Lindeberg, J.D., Reddy, C.A.,** 1996. Effects of turning frequency, leaves to grass mix ratio and windrow vs. Pile configuration on the composting of yard trimmings, *Compost Sci. Util.*, **4**, 126-143.
- Miller, F.C.,** 1992. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors, *Bioresource Technology*, pp.132.
- Mosher, D., Andersen, R.K.,**1977. Composting sewage sludge by high rate suction aeration techniques- the process as conducted at Bangor, *Bioresource Technology*, pp.132.
- Namkoong, W. And Hwang, E.Y.,** 1997. Operational parameters for composting night. *Compost Sci.*, **5 (4)**, 46-51.
- NEH,** 2000. Composting, United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, Fort Worth, Texas.
- Öztürk, M., Bildik, B.,** 2005. *Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Rymshaw, E., Walter, M. And Richard, T.,** 1992. Agricultural composting: Environmental monitoring and management practices In: *On farm Composting Handbook, chapter 6-Management*, Robert Rynk, ed., Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, NY.
- Rynk, R., Kamp, M., Richard, T., Klega J., Gouin, F.,**1992. On Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 152. Rile- Robb Hall, Cooperative Extension, Ithaca, N.Y. 14853-5701, USA.
- Schulze, K.L.,**1962. Continuous thermophilic composting, *Appl. Microbiol.*, **10**: 108-122. In: The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend, (Liang, C., Das, K.C., McClendon, R.W.),2002, *Bioresource Technology*, pp.132.
- Senn, C.L.,** 1971. *Dairy Waste Management Project- Final Report*, University of California Agricultural Extension Service, Public Health Foundation of Los Angeles County. In: The Practical Handbook of Compost Engineering (Haug, R.T.), PP.206, Lewis Publishers, London.
- Sharma, V.K., Canditelli, F. Fortuna and G. Cornacchia,** 1997. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: Review, *Energy Convers. Mgmt.*, **38 (5)** , 453-478.
- SSSA,** 1996. Methods of Soil Analyses, Chemical Methods, Part 3, Eds. Sparks, D.L., American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.
- Stentiford, E.I.,** 1993. Diversity of composting systems, in H. A. J. Hoitink and H.M. Keener (eds). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Pub., Worthington, OH, 95-110.
- Stentiford, E.I.,** 1996. Composting control: principles and practice. In: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (Eds.), *The Science of Composting: Part I*: Chapman and Hall Inc., London, pp. 49-59.

- Suler , D.J., Finstein, M.S.,** 1977. Effect of temperature, aeration and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Appl. Environ. Microbiol.*, **33**, 345-350.
- Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, Hayvancılık İşletmelerinin Kuruluş, Çalışma, Denetleme Usul ve Esaslarına Dair Yönetmelik,** 2006. 09.08.2006 tarih ve 26254 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral, Özel, Mikrobiyal ve Enzim İçerikli Organik Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Üretimi, İthalatı, İhracatı, Piyasaya Arzı ve Denetimine Dair Yönetmelik,** 2004. 04.05.2004 tarih ve 25452 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.,** 1993. Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues, Mc. Graw Hill, Inc., New York.
- Tinsley, J. And Nowakowski,T.Z.,** 1959. The composition and manurial value of poultry excreta, straw-droppings composts and deep litter.II- Experimental studies on composts, *J.Sci.Food Agric.* **10(3)**:150-167
- Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y., Hodgkiss, I. J.,**1998. Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents, *Agric. Ecosys. Environ.* ,**67**, 79-89.
- Tiquia, S.M. and Tam, N.F.Y.,** 2000. Fate of nitrogen during composting of chicken litter, *Environmental Pollution*, **110**, 535-541.
- Tiquia, S.M., Wan, J.H.C., Tam, N.F.Y.,**2001. Extracellular Enzyme Profiles During co-composting of Poultry Manure and Yard Trimmings, *Process Biochemistry*, **36**, 813-820.
- U.S. EPA,** 1995. A Guide to Biosolids Risk Assesments for the EPA Part 40CFR 503 Rule, *U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)*, Office of Wastewater Management, **EPA 832-B-93-005**, Washigton D.C.
- U.S. EPA,** 2004. Manure Management, Regional Priority Animal Feeding Operations Science Question Synthesis Document, *United States Enviromental Protection Agency*, Washigton D.C.
- Wei, Y.S., Fan, Y.B., Wang, M.J. AND Wang, J.S.,** 2000. Composting and compost application in China, *Resources, Conservation and Recycling*, **30 (4)**,277-300
- Yıldız, N.,** 2002. Ülkemizde ve Dünyada Madencilik Sektörünün Genel Bir Değerlendirmesi, Kütahya.
- Zucconi, F., Monaco, A., Forte, M. and de Bertoldi, M.,**1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In: *Composting of agricultural and other wastes*, ed J.K.R. Gasser, Elsevier Applied Science Publ. London, pp.73-85.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: IŞIL TANUĞUR

Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL / 05.09.1980

Lisans Üniversite: KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ