

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LAHANA ATIKLARININ KOMPOSTLANMASI ve ELDE
EDİLEN KOMPOSTUN TOPRAKTA PARÇALANMA SÜRECİ**

Nalan TOPÇU

Tez Yöneticisi
Doç. Dr. Ubeyde İPEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LAHANA ATIKLARININ KOMPOSTLANMASI ve ELDE
EDİLEN KOMPOSTUN TOPRAKTA PARÇALANMA SÜRECİ

Nalan TOPÇU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ubeyde İPEK

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıőmamın yűrűtűcűlűėűnű űstlenen ve çalıőma boyunca yardımlarını esirgemeyen danıőman hocam Sayın Doç. Dr. Ubeyde İPEK' e teőekkűr ederim.

Nalan TOPÇU

İÇİNDEKİLER

SAYFA

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLolar LİSTESİ.....	VI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	VII
EKLER LİSTESİ.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOSTLAMA	3
2.1. Kompostlaştırma Mekanizması.....	5
2.2. Aerobik Kompostlama.....	6
2.2.1. Proses Tanımlanması.....	7
2.2.2. Proses Mikrobiyolojisi.....	8
2.2.3. Dizayn ve İşletme Şartları.....	8
2.2.4. Partikül Boyutu.....	9
2.2.5. C/N Oranı.....	10
2.2.6. Harmanlama ve Aşılama.....	12
2.2.7. Nem İçeriği.....	12
2.2.8. Karıştırma ve Döndürme.....	12
2.2.9. Sıcaklık.....	12
2.2.10. Patojenlerin Kontrolü.....	13
2.2.11. Hava Gereksinimleri.....	13

2.2.12. pH Kontrolü.....	14
2.2.13. Parçalanma Düzeyi.....	14
2.2.14. Koku Kontrolü.....	14
2.2.15. Arazi İhtiyaçları.....	15
2.2.16. Pazarlama İçin İşlenen Kompost.....	15
2.3. Kompostlaştırmaya Etki Eden Faktörler.....	15
2.4. Kompost Kalite Kriterleri.....	19
2.4.1. Dünyada Kompost Kalite Kriterleri.....	20
2.4.2. Türkiyede Kompost Kalite Kriterleri.....	20
2.4.3. Kompostun Ağır Metal Muhtevası ve Sınır Değerler.....	21
3. MATERYAL ve METOT.....	23
3.1. Deneysel Düzenek.....	23
3.2. Kullanılan Analiz Yöntemleri.....	25
3.2.1. Sıcaklık.....	25
3.2.2. Uçucu Katı Madde (UKM) Tayini.....	25
3.2.3. pH ve İletkenlik.....	25
3.2.4. Toplam Koliform Bakteri	25
3.2.5. Selüloz ve C Tayini.....	25
3.2.6. TKN Tayini.....	26
3.2.7. Ağır Metal Tayini.....	26
3.2.8. Karbon Mineralizasyonu.....	26
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	27
4.1. Sıcaklık.....	27
4.2. Nem.....	27
4.3. pH	28
4.4. İletkenlik	29
4.5. Uçucu Katı Madde	31

4.6. Organik Karbon	31
4.7. Azot	32
4.8. Karbon/Azot Oranı.....	33
4.9. Selüloz.....	34
4.10. Toplam Koliformlar	35
4.11. Ağır Metaller.....	36
4.12. Parçalanma Kinetikleri.....	37
4.13. Toprakta Karbon Mineralizasyonu.....	38
5. SONUÇLAR.....	40
KAYNAKLAR	41
EKLER.....	45
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Kompost reaktörü.....	24
Şekil 3.2. Kompostlama sistemi düzeneği.....	24
Şekil 4.1. Lahana atıklarının kompostlanması esnasında gözlenen sıcaklık değerleri.....	28
Şekil 4.2. Kompostlama materyalleri nem içeriğinin zamanla değişimi.....	29
Şekil 4.3. pH'ın zamanla değişimi.....	30
Şekil 4.4. İletkenliğin zamanla değişimi.....	30
Şekil 4.5. Uçucu katı madde muhtevasının zamanla değişimi.....	31
Şekil 4.6. Organik karbon içeriğinin zamanla değişimi.....	32
Şekil 4.7. TKN içeriğinin zamanla değişimi.....	33
Şekil 4.8. C/N oranının zamanla değişimi.....	34
Şekil 4.9. Selüloz içeriğinin değişimi.....	35
Şekil 4.10. Organik madde parçalanma kinetik eğrisi.....	38
Şekil 4.11. Kompostun toprakta inkübasyonu ile CO ₂ -C oluşum hızı.....	39

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Aerobik kompostlama prosesi için önemli tasarım şartları	10
Tablo 2.2. Bazı kompostlanabilir materyallerin azot içeriği ve C/N oranları.....	11
Tablo 2.3. Çamur kalitesini belirleyen sınır değerler.....	17
Tablo 2.4. Bazı atıksu çamurlarında belirlenmiş ağır metal içerikleri.....	17
Tablo 2.5. Kentsel katı atık ile elde edilen kompost ile biyolojik atık kompostu ağır metal içerikleri ve standartlarla karşılaştırılması.....	18
Tablo 2.6. Bazı ülkelerde kullanılacak kompostların içerebileceği maksimum ağır metal derişimleri. (mg/kg KM).....	20
Tablo 2.7. Toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları (mg/kg kuru toprak).....	21
Tablo 2.8. Bir yılda araziye verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü (gr/ha.yıl).....	22
Tablo 4.1. Kompostlama esnasında materyalin toplam koliform bakteri miktarları.....	36
Tablo 4.2. Elde edilen kompostta ağır metal konsantrasyonları (mg/kg).....	37

KISALTMALAR LİSTESİ

KAKY : Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği

EKA : Evsel katı atık

UKM : Uçucu Katı Madde

TKN : Toplam Kjeldahl Azotu

EKLER LİSTESİ

EK-I. Kompostlama esnasında materyalin önemli parametre değerleri	47
EK-II. Kompostlama esnasında materyalin parçalanma hız sabitleri	48

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LAHANA ATIKLARININ KOMPOSTLANMASI ve ELDE EDİLEN KOMPOSTUN TOPRAKTA PARÇALANMA SÜRECİ

Nalan TOPÇU

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

2006, Sayfa : 46

Bu çalışmada lahana atıkları kompostlanmış ve elde edilen kompostun toprakta parçalanma süreci incelenmiştir.

Kompostlama sonucunda lahana atıklarının uçucu katı madde içeriği % 92,07'den % 88,13'e düşmüştür ve TKN içeriği % 1,72'den % 2,21'e artmıştır. Selüloz içeriği ise proses sonunda başlangıç değerlerine göre artmıştır. Lahana atıklarının selüloz içeriği % 24,4'den % 34,2'ye artmıştır. Toplam koliform bakteri miktarı kompostlama süresince azalmıştır. İnkübasyon periyodu esnasında kompostlanmış örneklerdeki maksimum C mineralizasyonunun, inkübasyonun ilk günlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Elde edilen kompostta ağır metal konsantrasyonlarının standartların altında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, kompostlama süresince atığın uçucu katı madde parçalanma kinetikleri de belirlenmiştir. Uçucu katı madde parçalanma hız sabiti $0,0354 \text{ gün}^{-1}$ ($R^2=0,94$) olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aerobik kompostlama, Lahana atıkları, Parçalanma, Mineralizasyon.

ABSTRACT

MASTER THESIS

COMPOSTING OF CABBAGE WASTES AND DEGRADATION PROCESS OF THE COMPOST IN SOIL

Nalan TOPÇU

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

2006, Page: 46

In this study, the waste of the cabbage was composted and degradation process of the compost in soil was investigated.

According to results, the volatile solid content of the cabbage waste decreased from 92,07 to 88,13 % and TKN content of these waste increased from 1,72 to 2,21 %. The cellulose in composting material increased at the end of the process. The cellulose content of the cabbage waste increased from 24,4 to 34,2 %. It was found that the total coliform decreased during composting period. It was determined that the maximum C mineralization in soil occurred at initial of incubation. It was determined that the heavy metal concentrations of the compost were below the limits established by legislations. Furthermore, the kinetics of degradation of organic matter in waste was found during composting period. The reaction rate constant of degradation of volatile solid in the wastes of the cabbage was found as $0,0354 \text{ day}^{-1}$ ($R^2=0,94$).

Keywords: Aerobic composting, Cabbage wastes, Degradation, Mineralization.

1.GİRİŞ

İnsan faaliyetlerinin hemen hemen tümü katı atık üretir. Herhangi bir atığın önemi; çevreye etki etmesi, istenmeyen özellikte olması, tekrar kullanılabilir bileşenleri veya enerji potansiyeli ile tarif edilir.

Söz konusu atıkların devamlı değişen ve heterojen bir yapıya sahip olması sebebiyle gerek giderme yöntemi seçiminde, gerekse tatbikatta önemli güçlüklerle karşılaşmaktadır. Katı atık değerlendirme veya giderme yöntemlerinin önemli gayelerinden biri hacim azaltmadır. Çünkü hiçbir katı atık değerlendirme yöntemi atıklardan % 100 kurtulmayı sağlayamaz.

Kullanılmakta olan veya düşünülen yeni yöntemler “Atıkların ekonomik bir değeri vardır ve bundan faydalanmak gerekir” fikrinden hareket etmektedirler. Fakat bu konuda seçilecek yöntem ne havaya, ne toprağa, ne de suya zarar vermemelidir. WHO'nun 1981 yılındaki tespitlerine göre katı atıkların giderme yöntemleri,

1. Katı atıkların toplanması ve yok edilmesindeki hizmet yetersizliklerini ortadan kaldırmalı,
2. Artan ihtiyacı karşılamalı,
3. Sağlığa zarar vermemeli,
4. Çevreyi daha iyi yaşanabilir hale getirmeli,
5. Malzemeleri geri kazanabilmeli,
6. Uzun süreli yok etmeyi amaçlamalıdır.

Bu tavsiyelerin ışığı altında, halen kullanılmakta olan yöntemler; açıkta yakma, düzenli depolama, yakma, açık denize boşaltma ve kompostlamadır. Atıkları değerlendirmek için düşünülen yeni yöntemler ise; piroliz, buhar elde edecek şekilde yakma, geri dönüşümlü prosesler ve yeniden kullanmadır. Bu yöntemler kıyaslandığında kompostlama işleminin düzenli depolamadan sonra ikinci sırayı aldığı görülmektedir.

Kompostlama, kontrol edilmiş şartlar altında biyolojik olarak parçalanabilir bileşenin biyolojik parçalanması ve stabilizasyonudur (Diaz ve diğ., 2003). Kompostlama işlemleri genel olarak 3 temel adım içermektedir. (1) Evsel katı atıkların işlenmesi, (2) Evsel katı atıkların organik kısımlarının biyolojik olarak parçalanması, (3) Son kompost ürününün hazırlanması ve pazarlanmasıdır (Tchobanoglous ve diğ., 1993). Kompostlama prosesi genelde aerobik bir prosesdir ve enerji kaynağı olarak organik atığı metabolize eden mikroorganizmalar tarafından yerine getirilmektedir (Diaz ve diğ., 2003). Termofilik kompostlama termofilik sıcaklık aralığında (50-80°C) organik maddelerin aerobik ayrışmasıdır. Elde edilen ürün kokusuz, mükemmel yapılı ve düşük nem içeriklidir. Tarım, bahçe ve yeşil alanlarda uygulama için satılabilmektedir (Stelmachowski ve diğ., 2003).

Katı atıkların yönetimi, gelişmekte olan ülkelerde karşılaşılan en önemli çevre sorunlarından biridir. Kompostlaştırma işleminin katı atık yönetimi açısından önem kazanmasının başlıca nedeni, katı atığın kompostlaştırma ile bertaraf sorununun çözülmesinin yanı sıra tarımsal açıdan faydalı bir ürünün kazanılmış olmasıdır.

Bu çalışmada, lahana atıklarının (yaprak, kök v.s) aerobik olarak kompostlanması süresince bazı parametreler ile bozunma düzeyi takip edilmiş ve kompostlamadan sonra elde edilen kompostun toprakta parçalanma süreci izlenmiştir. Bu çalışma, atıkların çevreye ve canlı sağlığına zarar vermemesi, geri dönüştürülerek ürün olarak ekonomiye kazandırılması bakımından önem taşımaktadır.

2. KOMPOSTLAMA

Kompostlama, katı atığın içindeki organik nitelikteki atıkların, organizmalar tarafından biyokimyasal reaksiyonlar sonucu daha basit maddelere yani bitkiler için gerekli besin maddelerine dönüştürülmesidir. Başka bir ifade ile kompostlama, ayrışabilir organik maddelerin mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu biyokimyasal yolla aerobik koşullarda parçalanmaya tabi tutularak, hiçbir patojen mikroorganizma içermeyen, bol miktarda bitki besin elementleri ihtiva eden, organik madde bakımından zengin, su tutma kapasitesi yüksek, sağlık yönünden zararsız bir tür organik humusun oluşturulması olayıdır. Bu humusça zengin maddeye kompost denir. 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 3.maddesinde; organik esaslı katı atıkların oksijen ortamında ayrıştırılması suretiyle üretilen toprak iyileştirici madde kompost olarak tanımlanmaktadır (KAKY, 1991). Kompostlama sonucu elde edilen zararlı mikroorganizma içermeyen ürün parçalanmaya dirençli organik madde kalıntıları, parçalanma ürünleri, ölü ve canlı mikroorganizmaları kapsar. Elde edilen ürün çim sahalarda, fundalıklarda, süs bitkilerinde ve sebze bahçelerinde kullanılabilir. İyi bir toprak şartlandırıcısıdır, bir dereceye kadar da gübredir. Kompostun araziye verilmesi ile N, P ve K gibi elementlerin yanında iz elementlerinde toprağa verilmesi sağlanır. Organik bileşikler toprağın su tutma kapasitesini artırır, yapışkan bileşikleri ve fungal/aktinomiset miselleri toprak partiküllerini kompost parçacıklarına bağlanmasına yardım eder. Bu faktörler rüzgar ve su erozyonuna karşı toprağın dayanıklılığını büyük ölçüde artırır, toprak havalanmasını kolaylaştırır. Ayrıca, kompost aktif kompost yığınlarından çekilen kötü kokulu havanın temizlendiği filtrelerde de kullanılmaktadır (Genç ve diğ., 1997).

Toprak iyileştirici bir madde olan kompostun yararları,

1. Toprağın havalanmasını sağlar.
2. Toprağın su tutma kapasitesini artırır.
3. Topraktaki iz elementlerin eksikliğini giderir.
4. Topraktaki mikroorganizma faaliyetlerini kolaylaştırır.

Katı atıklardan kompost üretilmesi için, çöpün kümeler halinde yığılıp zaman zaman karıştırılması gibi basit yöntemlerden, ayrışma işlemini hızlandıran komplike mekanik tesislere kadar birçok değişik teknikler vardır. Kendi halinde bırakıldığında katı atıkların bozunması aylar süreceği halde, uygun sıcaklık ve nem varlığında ve yeterli karıştırma sağlandığında bozunma 3 gün gibi bir sürede gerçekleşebilir. Bozunma sırasında atıklar, hem zararlı organizmalardan arınırlar, hem de önemli ölçüde hacimlerinin küçülmesi sağlanır.

Organik maddelerin bozunması oksijenin temin edilmesine bağlı olarak, aerobik ve anaerobik ortamda bozunma olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir.

Kompostlaştırma işleminde mikroorganizmalar yaşayabilecekleri sıcaklıklara göre 4 gruba ayrılırlar.

1. Soğukta yaşayan organizmalar (-30, -4°C)
2. Mezofilik mikroorganizmalar (10-45°C)
3. Termofilik mikroorganizmalar (50-75°C)
4. Sıcak bölge mikroorganizmaları (80°C)

Mikroorganizma faaliyetlerinin aerobik koşullarda gerçekleşmesi durumunda tam oksidasyonun son ürünleri olarak CO₂ ve H₂O oluşur. Anaerobik koşullarda ise tam oksidasyon gerçekleşmeyip H₂S, NH₃ ve CH₄ gibi başka mikroorganizmalara besin maddesi olacak ürünler meydana gelir. Kompostlaşmanın aerobik olarak gerçekleştirilmesi durumunda gerektiği kadar oksijenin sağlanması gerekir. Aksi takdirde proses yavaşlayarak anaerobik ortam koşullarında devam eder. Böylece CO₂ ve H₂O oluşumu beklenirken CH₄ oluşur. Kompostlaştırma esnasında üç safha gözlenir.

1. İlk safha: Ortamda mikroorganizma aktivitesi başlayınca organik atıkların parçalanması sonucu üretilen enerji ile ortamın sıcaklığı zamanla yükselir. 30°C'a kadar küf mantarları, sporlu ve sporsuz mezofil bakteriler, protozoalar ve nematodlar aktif rol oynar. Bunlar, katı atıklar içerisinde zor parçalanabilir maddeleri ayrıştırmaktadır. Bu safhada *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Mucor* sp., *Rhizopus* sp., *Geotrichum* sp. cinslerine ait mantarlar özellikle selülozu parçalamakta etkili rol oynamaktadır. 30-40°C arasında aktinomisetler (dallanan bakteriler) görev alır ve ortamdaki topraksı kokular yayılmaya başlar. Aktinomisetler esas humuslaştırıcı mikroorganizmalar olarak bilinmekte ve oluşturdukları hümin asidi ile parçalanmayı sağlamaktadır. Diğer taraftan ortamda antibiyotik üreterek patojen mikroorganizmaları yok etmektedirler.
2. Termofil safha: Bu safhanın ilk aşamasında sıcaklık 60-65°C'a çıkmakta bakteriler ortamda kalmakta ancak türleri azalmakta ve sporlu bakteriler hızla çoğalmaktadır. Bunun yanında küf mantarları da görev alarak atıkların parçalanmasında etkili olmaktadır. Bu safhanın ikinci aşamasında *Bacillus* sp. cinsine ait bakterilerin neden olduğu sıcaklık yükselmesiyle ortamın sıcaklığı 75°C'a kadar, bazı hallerde 85°C'a kadar çıkmaktadır. Bu aşamada 80°C'da 1-2 haftada ölmekte ve ortam dezenfekte edilmektedir. Patojen mikroorganizmalardan *Bacillus antracis*'in 70°C'de 18 günde öldüğü bulunmuştur. Gerek sıcaklık artışı ve gerekse aktinomisetlerden *Streptomyces*'ler ile *Bacillus* cinsine ait bakteriler ile antibiyotik üreten mantarların etkisiyle dezenfeksiyon çok daha kısa sürede gerçekleşmektedir.
3. Soğuma safhası: Bu safhada sıcaklık yavaş yavaş düşerek ortam sıcaklığına yaklaşmakta ve olgun kompost elde edilmektedir. Böylece kompostlama ile sağlığa zararsız, bitki besin

maddelerince zengin, su tutma kapasitesi yüksek, her tür tarımsal faaliyette kullanılabilen kaliteli bir organik gübre çeşidi elde edilmektedir.

Kompostlama prosesinin optimal şartlarda devam edebilmesi için şu koşulların oluşturulması gerekir.

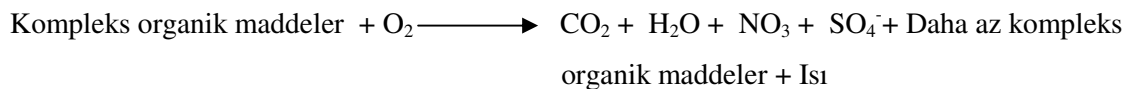
1. C/N oranının 6'dan küçük olmaması gerekir. Aksi halde azot kaybı fazla olur. C/N oranının 25'den büyük olması durumunda azotun ortamdan kaybolması ve azalışından dolayı ayrışma çok yavaş olur.
2. Hazırlanmış katı atık ortamında havalanmanın tam olabilmesi için yeterli gözenek hacmi olmalıdır. Tane çapı 1.5-2 cm'den küçük olmamalıdır.
3. Ortamın nem içeriği % 45-55 civarında olmalıdır.
4. Ayrışmanın ilk kademelerinde ortamın sıcaklığı 35-40°C civarında tutulmalı, ayrışma esnasında oluşan fazla ısı yığınlar arasındaki kanallardan tahliye edilmelidir.

Kompostlama optimum nem ve oksijen seviyeleri sağlandığı zaman çamurun içinde bulunan karışık mikroorganizma popülasyonu tarafından gerçekleştirilen bir biyolojik parçalanma işlemidir. Mikroorganizmalar çamurun içindeki organik maddeleri CO₂, H₂O ve başka organik (metabolit) ve inorganik ürünlere dönüştürür. Karbon (C) ve N'un biyolojik oksidasyonu sonucu açığa çıkan enerjinin bir bölümü metabolizmada kullanılır, kalan kısmı ise ısı enerjisi olarak ortama verilir (Genç ve diğ., 1997).

2.1. Kompostlaştırma Mekanizması

İyi çürütülmüş olsalar bile, atıksu arıtma çamurlarının doğrudan tarımsal amaçlı kullanımı veya arazide bertaraf edilmeleri uygun değildir. Çürütülmüş ve kum yataklarda kurutulmuş çamurlarda olduğu gibi, hala bir miktar patojenik organizma ve/veya kimyasal toksinler içerebilir. Kompostlaştırma, emniyet ve estetik açıdan kullanıma uygun, nihai ürün elde edilebilen bir aerobik biyolojik çamur stabilizasyonu yöntemidir (Filibeli , 1996).

Temel aerobik bozunma bağıntısı aşağıdaki gibi gösterilebilir:



İyi işletilen kompostlaştırma sistemlerinde, bu bozunma sırasında sıcaklık yaklaşık olarak 70°C'ye kadar yükselir. Reaksiyon başlangıcında ilk türler mezofilik bakterilerdir, yaklaşık bir hafta sonra termofilik bakteriler, aktinomisetler ve termofilik mantarlar ortaya çıkarlar. Bozunma yavaşlarken, sıcaklık düşer ve tekrar mezofilik bakteriler ve mantarlar görünmeye başlar. Son

kademelerde, protozoalar vb.türler de mevcuttur. Kompostta ölü ve yaşayan organizmaların konsantrasyonları % 25'den fazladır.

Yüksek mikrobiyal aktivite hızından dolayı, bakteriler için yüksek azot gereksinimi vardır. Azot gereksinimi, C/N oranı olarak belirlenir. 20/1 değerinin altındaki C/N oranlarında azot, bozunma hızını sınırlamaz. 80/1 oranının üzerindeki C/N oranlarında azot, bozunma hızını sınırladığından, termofilik kompostlaştırma oluşmaz. Aktif çamur için C/N oranı yaklaşık olarak 6.3/1, karışık çürük çamur için C/N oranı 15.7/1 civarındadır. Atıksu arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları gerekli azottan daha fazlasını içerirler. Gerçekte, pH=7'nin üzerindeki değerlerde, azot amonyum hidroksit olarak uzaklaşır. Çamur kompostlaştırma işlemlerinin çoğunda pH=8.0 civarında olduğundan mevcut azotun tamamı tutulamaz (Filibeli, 1996).

Kompost yığınının pH'ı zamanla değişir, başlangıç kademesinde pH düşer, sonra 8.0 civarına yükselir. Eğer kompost yığnında anaerobik koşullar hakim olursa, pH düşmeye başlar. Reaksiyonun aerobik olarak kaldığı alkali seviyede pH'ı kararlı tutmak için, kompost içinde yeterli tamponlama kapasitesi mevcuttur.

Kompost yığını için gerekli olan zaman; beslemeye, sağlanan izolasyon ve havalandırmaya, C/N oranına, partikül boyutu ve diğer koşullara bağlıdır. Genellikle, kentsel arıtma çamurları için iki haftalık bir sürenin yeterli kompostlaştırma için minimum süre olduğu düşünülür. Daha önceden kompostlaştırılmış olan materyalin kullanıldığı mekanik kompostlaştırma tesislerde, 2-3 günde bozunma sağlanabilir. Bununla birlikte, bu materyal hala aktiftir ve stabilize olması gerekmektedir.

2.2. Aerobik Kompostlama

Plastik, lastik ve deri bileşenlerinden başka, çoğu evsel katı atığın(EKA) organik fraksiyonunun proteinler, amino asitler, lipitler, karbonhidratlar, selüloz, lignin ve külden ibaret olduğu düşünülebilmektedir. Eğer bu organik maddeler aerobik mikrobiyal ayrışmaya maruz bırakılırsa, mikrobiyolojik aktivite esasen sona erdikten sonra arta kalan son ürün yaygın şekilde kompost olarak bilinen bir humus materyalidir. Proses oluşumu denklemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

(EKA'nın organik

fraksiyonun + O₂ + Nutrientler + M.O → Kompost + yeni hücreler + CO₂ + H₂O + NO₃ + SO₄⁻² + ısı temel bileşenleri)

Kompostlamanın genel amaçları;

1. Biyolojik olarak parçalanabilir organik maddeleri biyolojik olarak stabil bir materyale dönüştürmek,
2. Prosesteki atığın orijinal hacmini azaltmak,

3. Patojenleri, böcek yumurtalarını ve diğer istenmeyen organizmaları ve evsel katı atıkta mevcut olabilen istenmeyen bitki tohumlarını yok etmek,
4. Maksimum nütrient içeriğini sağlamak,
5. Bir toprak ıslah edicisi olarak bitki gelişimini desteklemek için kullanılabilen bir ürün üretmek.

Genelde, kompostun fiziksel ve kimyasal karakteristikleri başlangıç materyalinin doğasına, kompostlama işletiminin uygulama şartına ve ayrışmanın boyutuna göre değişmektedir. Diğer organik materyallerden ayrılan kompostun özellikleri;

1. Kahverengiden çok koyu kahverengine kadar değişmektedir.
2. Düşük C/N oranına sahiptir.
3. Mikroorganizmaların faaliyetlerinden dolayı sürekli olarak değişen doğası mevcuttur.
4. Katyon değişimi ve su absorpsiyonu için yüksek kapasiteye sahiptir.

Toprağa ilave edildiğinde, kompost ağır toprakları hafifletmeyi, hafif kumlu toprakların yapısını geliştirmeyi ve çoğu toprakların su tutma kapasitesini artırmayı sağlamaktadır.

Aerobik kompostlama, evsel katı atığın organik kısmının kompost olarak bilinen humus benzeri stabil bir materyale dönüşümü için en uygun şekilde kullanılan biyolojik prosestir. Meenemba ve diğ. (2003); aerobik kompostlama ile meyve atıklarının biyolojik olarak parçalanabilirliğini tayin etmek için bir çalışma yapmışlardır. Aldıkları örnekleri, değişik fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiklerin belirlenmesi için 4 günde bir analizlemişlerdir. 26 günün sonunda istenilen kalitede kompost elde etmişlerdir. Çalışma sonunda meyve atıklarının iyi derecede biyolojik parçalanma karakteristiklerine sahip olduğu, aerobik kompostlama tekniği ile hızlı şekilde kaliteli bir kompost üretilebildiği anlaşılmıştır.

Aerobik kompostlamanın uygulamaları;

1. Bahçe atıkları
2. Ayrılmış evsel katı atıkları
3. Karışık evsel katı atıkları
4. Atıksu çamuru ile beraber kompostlamayı içermektedir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.1. Proses Tanımlanması

Genellikle bütün aerobik kompostlama prosesleri benzerdir ve hepsi şu üç adımı içermektedir.

1. Evsel katı atıkların ön işlenmesi
2. Evsel katı atıkların organik kısımlarının parçalanması
3. Son kompost ürününü hazırlama ve pazarlama.

Organik maddenin biyolojik olarak parçalanma hızı, birçok faktörden etkilenebilir, bunlar genel olarak 2 kategoriye ayrılırsa, (1) mikrobiyal populasyonun boyutu ve aktivitesi, (2) reaksiyon kinetiklerinin doğrudan kontrolü, örneğin; populasyonun boyutu, sıcaklık ve nem içeriği (Hamoda ve diğ., 1998).

Kanalizasyon çamuru içeren atıkları ve organik materyalleri kompostlamanın birçok metodu vardır: aktif uzunlamasına serilmiş yığın(döndürmeli), pasif kompostlama yığınları, pasif veya aktif havalandırılmış uzunlamasına serilmiş yığın, kompostlama kutuları veya konteynırlar, dönen silindırlar ve biyoreaktörler (Stelmachowski ve diğ., 2003).

Genellikle kap içinde aerobik kompostlama diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Çünkü; (1) parçalanma oranı hızlıdır, (2) nem, havalandırma ve sıcaklık kontrolü daha kolaydır, (3) koku uzaklaştırma hızlıdır, (4) alan ve personel gereksinimi daha azdır (Meenembal ve diğ., 2003).

Uzunlamasına serilmiş yığın, havalandırılmış statik yığın ve kap içinde kompostlama, evsel katı atığın organik fraksiyonunu kompostlamada kullanılan üç temel metottur. Katı atığı havalandırmak için kullanılan metotlar farklı olduğu halde biyolojik prensipleri aynıdır ve uygun şekilde planlandığında ve işletildiğinde hepsinde yaklaşık olarak aynı zaman periyodunda benzer kaliteli bir kompost üretilmektedir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.2. Proses Mikrobiyolojisi

Aerobik kompostlama proseslerinde fakültatif ve zorunlu mikroorganizmalar aktiftir. Kompostlama prosesinin başlangıç fazlarında, mezofilik bakteri daha baskındır. Sonra kompost sıcaklığının artışında termofilik bakteri baskın hale geçer, 5-10 gün sonra meydana çıkar. Final aşamasında yada yanma periyodunda küfler ve aktinomisetler görülür. Bu mikroorganizmaların konsantrasyonları biyolojik olarak ayrışabilen atığın bazı türlerinde mevcut olmadığından dolayı katkı ve aşı olarak kompostlama materyaline ilave edilmesi gerekli olabilmektedir.

Bütün aerobik kompostlama proseslerinin mikrobiyolojileri benzerdir. Aerobik kompostlama proseslerinin kontrolü kritik parametreler içerir. Bunlar; nem miktarı, C/N oranı ve sıcaklıktır. Biyolojik organik atıkların çoğunun nem içeriği % 50-60'dır. Aerobik mikroorganizmalar; oksijen kullanırlar, organik madde ile beslenirler ve hücre dokularının gelişmesi için N, P, C ve nütriente ihtiyaçları vardır. C'un çoğu organizmalar için enerji kaynağı olarak hizmet görmekte ve yakılmakta ve CO₂ olarak verilmektedir. Organik karbon hem enerji kaynağı hem de hücre dokusu olarak işe yarayabildiğinden dolayı, karbon azottan daha fazla gereklidir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.3. Dizayn ve İşletme Şartları

Hazırlanmış katı atıkların aerobik biyolojik parçalanmasıyla aralarında ilişki kurulan dizayn faktörleri Tablo 2.1'de mevcuttur. Özellikle optimum sonuçlar meydana getirilecekse kompostlama prosesini hazırlamanın basit bir iş olmadığı tablodan görülmektedir. Bu sebepten gelişen ticari

kompostlama işletmelerinin çoğu yüksek derecede mekanikleştirilmekte ve Tablo 2.1’de verilen dizayn faktörleri etkili bir şekilde kontrol edilebilen özellikle planlanmış tesislerde uygulanmaktadır.

Kompostlama prosesini kavramak kolay olmasına rağmen, prosesin kontrolü ve gerçek dizaynı oldukça komplekstir. Kompostlama faaliyetlerinin dizaynında ve işletiminde dikkate alınması gereken önemli proses değişkenleri; partikül boyutu, kompostlanacak materyalin partikül boyutu dağılımı, aşılama ve karıştırma ekipmanları, gerekli karışım/döndürme programı, toplam oksijen ihtiyaçları, nem içeriği, sıcaklık ve sıcaklık kontrolü, atığın karbon-azot oranı, pH, ayrışma düzeyi, solunum hızı, patojenlerin kontrolünü içermektedir (Tchobanoglous ve diğ., 1993). Hamoda ve diğ. (1998)’nin yaptıkları çalışmada, sıcaklık, nem içeriği, atığın partikül boyutu ve C/N oranı gibi parametrelerin, parçalanma kinetikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Optimum proses performansını başarmak için bu parametreleri düzenli olarak kontrol etmişlerdir. Çalışma sonucunda ise uygun bir kinetik model geliştirmişlerdir.

2.2.4. Partikül Boyutu

Evsel katı atığın organik farksiyonunu kapsayan çoğu materyaller düzensiz olarak bulunmaktadır. Kompostlanmadan önce organik materyaller ince şeritler halinde kesilerek esasen bu düzensizlik azaltılabilmektedir. Partikül boyutu; hacim yoğunluğu, içsel sürtünme(viskozite), akış karakteristikleri ve materyalin sürüklenme kuvvetlerine tesir etmektedir. Hepsinden önemlisi azaltılmış partikül boyutu, aerobik kompostlama prosesi boyunca biyokimyasal reaksiyon hızını arttırmaktadır. Kompostlama için en arzu edilen parça büyüklüğü 5 cm’den daha azdır, fakat daha büyük partiküller de kompostlanabilmektedir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Tablo 2.1. Aerobik kompostlama prosesi için önemli tasarım şartları (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Parametre	Açıklama
Partikül boyutu	Katı atıkların boyutunun optimum değeri 25-75 mm.
C/N oranı	Aerobik kompostlama için optimum C/N oranı 25-50 aralığıdır.
Karıştırma ve aşılama	Yaklaşık % 1-5 ağırlık içeren, kısmi olarak parçalanmış katı atıklarla aşılama ile kompostlama süresi azaltılabilir. Katı atıkların hazırlanması için kanalizasyon çamuru eklenebilir. Çamur eklenmesi ile nem içeriği kontrol edilebilir.
Nem içeriği	Nem içeriği kompostlama prosesi boyunca % 50-60 arasındadır. Optimum değer yaklaşık % 55'dir.
Sıcaklık	İyi sonuçlar elde etmek için, sıcaklık 50-55°C arasında, aktif kompostlama periyodunun tam işlevi için ilk beş gün 55-60°C arasında olmalıdır. Sıcaklık 66°C'de ise biyolojik aktivite önemli derecede azalır.
Patojenlerin kontrolü	Bu 60-70°C arasında mümkündür.
Hava gereksinimi	Hava ile başlangıçtaki oksijen konsantrasyonunun en azından % 50'si ile, özellikle mekanik sistemlerde optimum sonuçlar için kompostlama materyalinin bütün kısımlarına erişmelidir.
pH kontrolü	Optimum bir aerobik parçalanma için, pH 7-7.5 arasında olmalıdır. Amonyak gazındaki azot kaybını minimize etmek için, pH 8.5'un üstüne çıkmamalıdır.
Parçalanma derecesi	Sıcaklıktaki düşme, kompostlama materyalindeki organik madde dayanımı ve parçalanma miktarı, redox potansiyelindeki yükselme, <i>Chaetomium gracilis</i> fungusunun büyümesi ve nişasta-iyot testi ile parçalanma derecesi tahmin edilebilir.
Arazi gereksinimi	50 ton/gün'lük kapasiteli bir tesis için arazi gereksinimi 1.4-2.0 ha yüzölçümdür.

2.2.5. C/N Oranı

Kompostlama için en kritik çevresel faktör C/N oranıdır. Çoğu organik atıklar için optimum aralık 20-25'tir. Tablo 2.2'de görüldüğü gibi çamurlar düşük C/N oranına sahiptirler. Oysaki yapraklar, gazeteler ve bahçe atıkları nispeten yüksek C/N oranına sahiptirler. Tablo 2.2'de verilen C/N oranlarının organik materyalin biyolojik olarak parçalanabilir fraksiyonun kuru ağırlığına dayanmadığı, karbon ve azotun toplam kuru ağırlıklarına dayandığına dikkat edilmelidir.

Tablo 2.2. Bazı kompostlanabilir materyallerin azot içeriği ve C/N oranları (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Materyal	% N	C/N Oranı
Yiyecek işleme atıkları		
- meyve atıkları	1.52	34.8
- karışık mezbaha atıkları	7.0-10.0	2.0
- patates kabukları	1.5	25.0
Gübreler		
- inek 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
Çamurlar		
- çürütülmüş çamur	1.88	15.7
- ham aktif çamur	5.6	6.3
Odun ve Sap		
- kereste fabrikası atıkları	0.13	170.0
- yulaf samanı	1.05	48.0
- testere talaşı	0.10	200.0-500.0
- buğday samanı	0.3	128.0
- odun	0.07	723.0
Kağıt		
- karışık kağıt	0.25	173
- gazete kağıdı	0.05	983
- kahverengi kağıt	0.01	4490
- ticari dergiler	0.07	470
- değersiz posta kağıdı	0.17	223
Bahçe Atıkları		
- çimen kırıntıları	2.15	20.1
- yapraklar (taze)	0.5-1.0	40.0-80.0
Biyokütle		
- su sümbülü	1.96	20.9
- kısa çimen	1.96	24

Genelde çoğu organik bileşiklerde mevcut olan organik azotun hepsi kullanışlı olmaktadır, oysaki organik karbonun hepsi ayrışmamaktadır (atık kağıttaki lignin, vb.). Belirli atık materyale bağlı

olan C/N oranı, karbon ve azotun toplam ağırlığı temelinde hesaplanır. Örneğin azotun hepsinin kullanışlı olduğu kabul edilerek, evsel katı atığın organik fraksiyonu için C/N oranı, kullanışlı karbonun kısmen veya tamamen ayrışabildiği kabul edilirse % 34'den 60'a değiştirilebilmektedir. Azotu yüksek olan (bahçe atıkları, vb.) bir atık ile azotu düşük (gazete kağıdı, vb.) ve karbonu yüksek bir atığı karıştırmak, kompostlama için optimum C/N oranları meydana getirmek için kullanılmaktadır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.6. Harmanlama ve Aşılama

Kompostlama için evsel katı atığın organik fraksiyonunun harmanlanmasına etki edebilen iki dizayn faktörü, C/N oranı ve nem içeriğidir. Aerobik kompostlama için çeşitli organik materyallerin nasıl karıştırılması gerektiğini belirlemek için genellikle laboratuvar analizlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Evsel katı atığın organik fraksiyonu kağıdın önemli miktarlarını veya karbonca zengin diğer substratları içerirse; bahçe atıkları, gübre veya atıksu arıtma tesislerinden çamur gibi diğer materyaller yakın bir optimum C/N oranı sağlamak için karıştırılabilmektedir. Aşılama, daha hızlı bir oranda alınan materyalin parçalamasını etkilemek için kafi derecede büyük mikrobiyal kültürün ilavesini içermektedir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.7. Nem İçeriği

Aerobik kompostlama için optimum nem içeriği % 50-60 aralığındadır. Nem, bileşenlerin karıştırılmasıyla veya suyun ilavesiyle ayarlanabilmektedir. Kompostun nem içeriği % 40'ın altına düşerse kompostlama hızı yavaşlayacaktır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.8. Karıştırma ve Döndürme

Organik atıkları karıştırma, nem içeriğini optimum seviyeye yükseltmek veya indirmek için önemlidir. Karıştırma, nütrientlerin ve mikroorganizmaların daha üniform dağılımını sağlamak için kullanılabilir. Kompostlama prosesi boyunca organik materyali döndürme, korunan aerobik aktivitede çok önemli bir işletme faktörüdür. Döndürme, nem içeriği, atık karakteristikleri ve hava gereksinimleri ile tayin edilebildiğinden dolayı genel şartlarda birtakım döndürmeler veya döndürmenin minimum sıklığının tayin edilmesi mümkündür. % 50-60 maksimum nem ve 15 günlük bir kompostlama süresine sahip olan bir organik atık için, ilk döndürme 3. günde önerilmektedir. Ondan sonra 4-5 kez çevirme koşuluyla her gün döndürülmelidir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.9. Sıcaklık

Aerobik kompostlama esnasında üç sıcaklık safhası gözlenir; (1) mezofilik safha, (2) termofilik safha, (3) soğuma safhası (Hassen ve diğ., 2001). Aerobik kompostlama sistemleri mezofilik 30-38 °C'de veya termofilik 55-60 °C'de her iki sıcaklık bölgesinde işletilebilmektedir.

Aktif şekilde kompostlama atığında gözlenen sıcaklık artışı, solunum metabolizmasıyla ilgili olan ekzotermik reaksiyonlar ile meydana gelmektedir. Havalandırılmış statik yığın ve kap içinde kompostlama sistemlerinde sıcaklık, hava akışı kontrol edilerek ve sıcaklık izlenerek düzene sokulabilmektedir. Uzunluğuna serilmiş yığın kompostlamada, sıcaklık sadece dolaylı olarak sıcaklık ölçümlerine dayanan çevirme sıklığı değiştirilerek kontrol edilebilmektedir. Genelde yığın sıcaklığı döndürmeden sonra 5-10°C düşmekte, fakat birkaç saat içinde eski seviyeye geri dönmektedir. Uzunluğuna serilmiş yığın sıcaklıkları, ayrışabilen organik madde oksitlendiği zaman 5-10 gün sonra azalmaktadır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.10. Patojenlerin Kontrolü

Sıcaklık profili ve havalandırma prosesini etkileyeceği için, kompost prosesinde patojenik organizmaları yok etme önemli bir dizayn faktörüdür. Patojenlerin ölümü, sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonudur. Örneğin *Salmonella* türü bakteriler 60°C sıcaklığa maruz kaldığında 15-20 dakikada yok olabilmektedirler. Kompost yığının bütün kısımları yaklaşık 55 °C sıcaklığa ulaştığında çoğu patojenlerin hızlı bir şekilde yok olduğu görülebilmektedir. Sadece birkaçı kısa bir zaman süresinde 67 °C sıcaklıkta daha uzun ömürlü olabilmektedir. Bütün patojenik mikroorganizmaların eliminasyonu 1-2 saat 70°C sıcaklığa maruz kalındığında başarılabilir. EPA, kompostlama sistemlerinde patojen kontrolü için belirli zaman-sıcaklık standartlarına gerek duymuştur. Bu şartlar uygun bir şekilde işletilen kompostlama sistemlerinde kolay bir şekilde sağlanmaktadır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.11. Hava Gereksinimleri

Aerobik kompostlama esnasında havalandırma da önemli bir faktördür ve üç amaç için gereklidir; (1) biyolojik parçalanma için oksijen sağlanmalıdır (sitokiyometrik ihtiyaç), (2) kompostlama kütesinden nemi uzaklaştırmak için (kurutma ihtiyacı), (3) prosesdeki sıcaklığı kontrol etmek için (ısı uzaklaştırma ihtiyacı) (Meenemba ve diğ., 2003). Kompostlamada havalandırma, sıcaklığın stabilize edilmesi ve aerobik olarak mikrobiyolojik popülasyonun elverişli bir şekilde büyümesi için kontrol edilmesi gereken bir bileşendir (Barrington ve diğ., 2002b). Aerobik biyolojik aktiviteyi optimize etmek için tüm kompost materyaline uygun oksijen sağlanmalıdır (McGuckin ve diğ., 1999). Uygun olmayan havalandırma stabilize edici sıcaklıkların gelişmesini engellediğinden aktif kompostlama da aşırı havalandırma kompostu soğutur ve büyük azot kayıplarına yol açar (Diaz ve diğ., 1993).

Kompostlar; doğal, pasif ve aktif olmak üzere 3 metottan biri yoluyla havalandırılır. Bunların içinden basit ve en ucuz olanı doğal havalandırmadır. (Barrington ve diğ., 2002b). Doğal havalandırma basit difüzyon ve konveksiyon tarafından oluşturulur (Fernandes ve diğ., 1994). Havalandırılmış statik yığın ve kap içinde sistemler gibi basınçlı havalandırılmalı proseslerde, toplam hava ihtiyacı ve hava akış hızı önemli dizayn parametreleridir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.12. pH Kontrolü

pH kontrolü mikrobiyal ortamda ve atık stabilizasyonunu değerlendirmede diğer önemli parametredir. Sıcaklık gibi pH değeri kompostlama prosesi boyunca zamanla değişmektedir. Evsel katı atığın organik fraksiyonun başlangıç pH'sı tipik olarak 5-7 arasındadır. Kompostlamanın ilk birkaç gününde pH=5 ve daha aşağıya düşmektedir. Bu durumda organik kütle çevre (ortam) sıcaklığındadır. Yerli mezofilik organizmalar çoğalmaya başlamakta ve sıcaklık hızla yükselmektedir. Bu başlangıç safhasının ürünleri arasında pH'da düşüğe sebep olan basit organik asitlerdir. Yaklaşık üç gün sonra sıcaklık termofilik safhaya ulaşmakta ve pH aerobik prosesin kalıntısında yaklaşık 8 veya 8,5'a yükselmeye başlamaktadır. pH değeri soğuma safhası süresince tam manasıyla düşmekte ve olgun kompostta 7-8 aralığında bir değere ulaşmaktadır. Eğer havalandırma derecesi yeterli değilse, anaerobik şartlar meydana gelecek, pH yaklaşık 4,5'a düşecek ve kompostlama prosesi gecikecektir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.13. Parçalanma Düzeyi

Parçalanma derecesinin ölçümü için standart bir metodoloji mevcut değildir. Fakat kullanılan birkaç metodoloji mevcuttur (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

1. Sıcaklıktaki son düşüş
2. Kendini ısıtma kapasitesinin derecesi
3. Kompostlanan materyaldeki parçalanabilir ve dirençli organik maddelerin miktarı
4. Oksijen kullanımı
5. Fungus *Chaetominum gracilis*'in büyümesi
6. Nişasta-iyot deneyi

2.2.14. Koku Kontrolü

Aerobik kompostlama proseslerinde koku problemi kompost yığını içinde anaerobik şartların gelişmesiyle ilişkilidir. Çoğu büyük ölçekli aerobik kompostlama sistemlerinde kompostlanacak organik materyalde dergi veya kitap parçaları, plastikler (özellikle plastik filmler) veya benzeri materyaller yaygın şekilde bulunmaktadır. Bu materyaller normal olarak bir kompost yığnında, nispeten kısa bir sürede parçalanamazlar. Ayrıca yeterli oksijen bu gibi materyallerin merkezinde sıklıkla mevcut olmadığından dolayı anaerobik şartlar gelişebilmektedir. Anaerobik şartlar altında aşırı derecede kokulu olan organik asitler üretilecektir. Potansiyel koku problemlerini minimize etmek için; partikül boyutunu azaltmak, kompostlanacak organik materyalden plastikleri ve diğer ayrışmayan materyalleri gidermek veya kaynaktan ayırmak veya bulaşmamış ham madde kullanmak önemlidir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.15. Arazi İhtiyaçları

Arazi alanı ihtiyaçları aerobik kompostlama proseslerinde dikkate alınması gerekli diğer önemli unsurdur. Örneğin 50 ton/gün kapasiteli bir tesis için uzunluğuna serilmiş yığın kompostlamada gerekli olan arazi yaklaşık 1ha' dır. Bu toplamın 0,6 ha'ı binalara, tesis teçhizatı ve yollara tahsis edilmektedir. Her ilave 50 ton için 0,4 ha'ı yollar ve yapılar için ve 0,1 ha kompostlama işletmesi için gerekli olduğu hesaplanmaktadır. Yüksek derecede mekanikleşmiş sistemlerin arazi ihtiyacı proses ile değişmektedir. 50 ton/gün kapasiteli bir tesis için hesaplanan 0,6-0,8 ha, daha büyük tesisler için ünite alan ihtiyaçları daha az olur (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.2.16. Pazarlama İçin İşlenen Kompost

Eğer kompost satılabilirse, kompost sistemlerinin ekonomileri oldukça yükselmektedir. Satılabilir olması için kompost birbirine uygun hacimde olmalı; cam, plastik ve materyaller gibi bileşenlerden bağımsız olmalı, kötü kokudan arındırılmalıdır. Pazarlama amacıyla kompostu hazırlarken kullanılan prosesin tipi önemlidir. Öğütme ve eleme daha üniform bir ürün üretmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bazı durumlarda katkı maddeleri son ürünün değerini artırmak için eklenebilmektedir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.3. Kompostlaştırmaya Etki Eden Faktörler

Kompostlamaya etki eden temel faktörler; atığın su içeriği, havalandırma düzeyi, ısı, C/N oranı, zararlı maddeler, aşı, tane büyüklüğü, pH v.b. gibi parametrelerdir.

Tüm biyolojik olaylarda olduğu gibi kompostlaştırmada da suyun önemi büyüktür. Biyokimyasal bozunmayı gerçekleştiren organizmaların % 80'i sudur, besinlerini ancak suda çözmüşlerse alabilirler, dolayısıyla ortamda su bulunması gereklidir. Fakat mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri ile de açığa çıkan su ile işlem anaerobik şartlara dönüşebilir. Çünkü su miktarının fazla olması nedeniyle, parçacıklar arasındaki tüm boşluklar su ile dolar, bu da havanın kütle içine girmesine engel olur ve şartlar anaeroba dönüşür. Optimum su içeriği atığın yapısı ve bileşimiyle yakından ilgilidir. İri parçalı, su emici ve samana benzer kısımları fazla olan materyalde su değeri daha fazladır (İpekoğlu, 1990).

Kompostlaştırmanın iyi ve çabuk olabilmesi için ortamda yeterince hava yani oksijen bulunmalıdır. Aksi halde işlem anaerobik reaksiyona döner, bozunma süresi uzar ve etrafa kötü kokular yayılır, ayrıca ortam yeteri kadar ısınmadığından patojen organizmalar yok edilemez. Havanın az olması kompost için ne kadar tehlikeli ise, bol havada o kadar olumsuz etkiye sahiptir. Çünkü fazla hava parçacıklar arasını doldurarak kütledeki oksijeni soğumasına neden olur. Bu nedenlerden dolayı optimal miktarda hava vermek gereklidir (İpekoğlu, 1990).

Eğer kütle izole edilecek olursa mikroorganizmaların metabolizma olayları sonucunda açığa çıkan ısı ile kütle 60-65°C ısınır. Kompostlaştırmayı kontrol altına alabilmek için çeşitli canlıların,

özellikle patojen organizmaların ölme derecelerinin bilinmesi gereklidir. Patojen bakteriler sadece ısının yükselmesi ile değil, metabolizma ürünü bileşikler sebebiyle de ölmektedirler (İpekoğlu, 1990).

Kompostlama ünitelerinde biyokimyasal parçalanma, mikroorganizmalarca gerçekleştirilir. Karbon mikroorganizmaların enerji ihtiyacı, azot ise mikroorganizmaların hücre yapısı ve çoğalması için gereklidir. Çoğunlukla azottan daha çok karbon gereklidir. Kompostlanan bir karışımda besin dengesi C/N oranı, kompostlama işleminin başında yüksek, sonuna doğru ise düşüktür.

Değişik iklim bölgelerinde toprağın bileşenleri üzerinde yapılan çalışmalarda C/N oranının 8 ile 15 arasında olduğu saptanmıştır. Kompostlaştırma için C/N oranının 35'den küçük olması (25-35) istenmektedir. Bu oran 10-15 arasında ise reaksiyon hemen başlamakta ve süre kısalmaktadır. Genellikle evlerde üretilen katı atıklarda bu oran 30-60'dır. Bu oranı düşürmek için katı atıklarına atıksu arıtma tesisinde oluşan çamuru katmak uygun olmaktadır.

Zehir tesiri yapabilecek bileşikler (ağır metaller, petrol) reaksiyonu engelleyebilirler. Özellikle sanayi katı atıklarıyla çalışılıyorsa dikkatli olmak gerekir (İpekoğlu, 1990). Sanayi atık sularının arıtılmasından elde edilen arıtma çamurunun kompostlamada kullanılması halinde; toksik etki yapan bileşikler (siyanür, fenol, radonid ve katranımsı bileşikler) ve Cd, Ni, Zn, Pb, Cr, Hg, gibi tehlikeli ağır metaller bulunup bulunmadığı tayin edilmelidir.

Arıtma çamurunun kimyasal bileşimi, kullanılmış su kaynaklarına bağlı olarak değişiklik arz eder. Araziye uygulanması bakımından çamurda N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg gibi elementlerin 2-6 ay aralıklarla ölçümü yapılmalıdır ve katı atıkların kontrolü yönetmeliğinde ise arıtma çamurlarının tarımda kullanılması durumunda yukarıda belirtilen ağır metallerin 6 ay aralıklarla ölçümü ve belirli konsantrasyonları aşması durumunda araziye verme yasağı getirilmiştir (Gökçe ve diğ., 2001).

Çamurun kimyasal özelliklerinin bilinmesindeki amaç, çamurda bulunabilecek elementlerin ölçüm periyodunun belirlenmesi, çamurun araziye verilme hızının ve birim alana uygulanacak miktarının tespitidir. Gübre olarak kullanılacak çamurların kalitesini belirleyici sınır değerleri Tablo 2.3'de verilmiştir (Aral, 1992). Toksiditesi yüksek çamurların araziye verilmesindeki diğer bir tehlike de toksik bileşenlerin bitkilere yerleşmesi ve beslenme zinciri içinde önce hayvanlara sonrada insanlara geçmesidir. Benzer olarak patojenik organizmalar ürünlere yapışabilir ve çevreye yayılabilir (Gökçe ve diğ., 2001).

Tablo 2.3. Çamur kalitesini belirleyen sınır değerler (Aral, 1992)

Parametre(ppm)	Serbest	Kısmen sınırlı	Oldukça sınırlı	Üst sınır
Kadmiyum	5,6	5,6-28,0	28-140	140
Krom	56,0	56-1 120	1120-5600	5 600
Bakır	280,0	280-1 120	1120-2240	2 240
Kurşun	280,0	280-560	560-2240	2 240
Civa	2,24	2,24-5,60	5,6-11,2	11,2
Nikel	28,0	28-224	224-1120	1 120
Çinko	840	840-2800	2800-5600	5 600
Selenyum	11,0	11-45	45-90	90
Molibden	11,0	11-22	22-56	56
Arsenik	112,0	112-560	560-2 240	2 240
Poliklorin Bifenil	1,12	1,12-11,00	11-56	56
Polibromin Bifenil	1,12	1,12-11,00	11-56	56

Evsel ve endüstriyel kaynaklardan arıtma çamuruna geçen ağır metaller büyük bir problem teşkil etmektedir. Bazı durumlarda endüstriyel olmayan kaynaklardan gelen toksik etki % 50'yi aşmaktadır. Kobalt ve bor gibi bitkilere toksik etki yapan elementlerin yanı sıra çinko, bakır ve nikel gibi bazı iz elementler fazla konsantrasyonda toksik etki yaparlar.

Burada iki nokta dikkate alınmalıdır:

1. Metal konsantrasyonlarında geniş çeşitlilik vardır.
2. Çoğu yüksek metal iyonlu çamurlar endüstriyel kaynaklıdır.

Tablo 2.4. Bazı atıksu çamurlarında belirlenmiş ağır metal içerikleri (Aral, 1992)

	Parametre (ppm)								
	Cr	Ni	Co	Zn	Cd	Cu	Pb	Mg	Ag
Tipik evsel atıksu çamuru	42	20	6	13,80	7	123	218	5	13
Evsel-endüstriyel atık su karışımı çamuru	163	33	10	36,65	10	514	317	33	100

14 Mart 1991 tarihli ve 20814 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren “KAKY” nde madde 2’de yönetmeliğin kapsamı tanıtılmaktadır. Bu maddeye göre evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının, zararlı atık sınıfına girmeyen sanayi arıtma tesisi çamurlarının, hafriyat toprağı ve inşaat molozunun toplanması, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi, bertaraf edilmesi ve zararsız hale getirilmesine ilişkin esasların KAKY(Katı Atık Kontrolü Yönetmeliğı)’ne uygun olması zorunluluğı getirilmiştir. Yönetmeliğın dokuzuncu bölümü “Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması” başlığı altında madde 44’de arıtma çamurlarının tarımda kullanılabilme şartları, madde 45’de ise arıtma çamurlarının kullanma sınırlamaları ve yasakları verilmektedir. Bu maddeler aşağıdaki gibidir:

Madde 44: Evsel ve evsel nitelikli endüstri sularının arıtılması sonucu elde edilen arıtma çamurlarının tarımda kullanılabilmesi için; her 6 ayda bir çamurdaki Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Zn gibi ağır metaller ile N, P, K, Ca ve Mg gibi elementlerin tayin edilmesi; çamuru kullanmadan önce toprağın pH değerinin ölçülmesi gerekmektedir.

Madde 45: Ham çamurun tarımda ve ormanda, sebze ve meyve tarımında kullanılması yasaktır.

Kompost kalitesi ile ilgili ilk çalışmalardan biri Alman Atık Kurumu tarafından yayınlanan “ Kentsel Atık ve Kentsel Atık Çamuru Kompostu Kalite Kriterleri ve Uygulama Önerileri ” isimli rapordur. 1982 ile 1990 yılları arasında birçok araştırmacı bu rapor ışığında evsel atıklarda ağır metal seviyelerini tespit etmişlerdir. On yıl sonra Amerika’da tehlikeli atık oluşturan ve metal içeren toprak iyileştiricileri tanımlanmıştır.

Kentsel katı atıktan elde edilen kompost ile farklı kaynaklı kompostlar Tablo 2.5’de karşılaştırılmış ve biyolojik atık kompostunun kentsel katı atık kompostuna oranla ¼ ‘ü kadar metal içerdiğini tespit etmişlerdir (Kraus ve Grammel, 1992).

Tablo 2.5. Kentsel katı atıktan elde edilen kompostta ve biyolojik atık kompostunda ağır metal içerikleri ve standartlarla karşılaştırılması (Kraus ve Grammel, 1992)

Element	Kentsel-Katı-Atık Kompostu Karışımı mg/kg	Biyo-atık Kompostu mg/kg	Alman Standardı mg/kg
Pb	420	83	150
Cu	222	41	150
Zn	919	224	500
Cr	107	61	150
Ni	84	26	50
Cd	2.8	0.4	3
Hg	1.9	<0.2	3

Yapılan bazı incelemelerde aşılı ve aşısız kompostlaştırmada bir farklılık olmadığı bildirilmiştir. Çünkü katı ve sıvı atıklarda yeterli sayıda mikroorganizma mevcuttur (İpekoğlu, 1990).

Katı atıkları parçalamadaki amaç, mikroorganizmalara mümkün olduğu kadar fazla faaliyet imkanı sağlamaktır. Katı atıkların öğütülmesi kapalı kompost ünitelerinde olumlu sonuçlar vermektedir (İpekoğlu, 1990).

Mikrobiyolojik olaylar; hava, besin, su gibi etkenlerin yanında ortamın pH'ından da etkilenmektedirler. Bu etkilenmenin derecesi de mikroorganizmaların cinsine göre çok farklı olmaktadır. Kompostlaştırma işleminde başlangıçta herhangi bir katkı maddesi olmadığı takdirde normal evsel katı atıklarda pH 7 civarındadır. Ortam ısınmaya başlayınca çoğalan kükürt bakterilerinin salgıladığı organik asitlerle pH düşer, sıcaklığın yüksek değerlere erişmesi halinde bu tür bakteriler ölür ve ortamın pH'ı yeniden yükselir (İpekoğlu, 1990).

2.4. Kompost Kalite Kriterleri

Kompostun toprağa uygulanması sonucu toprakta meydana gelen değişiklikler incelendiğinde, kompostun toprak düzenleyici değerinin gübre değerinden daha üstün olduğu görülmektedir. Kompostun toprağa yaptığı bu kadar olumlu etkinin yanında bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Özellikle kentsel atıklardan yapılan kompost, içerisinde bulunabilecek ağır metaller, bitkiler dolayısıyla insanlar ve hayvanlar üzerinde toksik etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle kompost içerisindeki ağır metallerin sürekli analiz edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Kompost içerisinde bulunabilecek toksik etkiye sahip ağır metaller; kadmiyum, civa, kurşun vb.'dir.

Kadmiyum (Cd), hayvanlar ve insanlar için çok düşük konsantrasyonlarda toksite gösteren bir elementtir. Konuyla ilgili çalışmalar, kadmiyumun kanserojen etkili olduğunu ortaya koymuştur. Dünya sağlık örgütü (WHO)'nün bildirdiğine göre haftalık 0.4-0.5 mg (60 kg ağırlığında bir insan için) Cd alımı "tolere edilebilir" kabul edilmektedir. Cd konsantrasyonunun toksik etki yapabilmek için toprak çözeltili içinde sahip olması gereken değeri; kadmiyumun toplam miktarına, pH'ya ve topraktaki diğer maddelere bağlıdır. Bu nedenle toksik etkinin topraklardaki toplam Cd derişiminin 2-30 mg/kg olması durumunda ortaya çıktığı belirtilmektedir (Külcü ve Topkaya, 2001).

Civa (Hg), civalı bileşikler hayvan ve insanlar için kuvvetli bir zehirdir. Civanın toksik etkilerinin, besin çözeltili denemelerinde civa derişiminin 1-4 mg Hg/l yada bitkilerde 0.5-5 mg Hg/kg kuru madde olması durumunda görüldüğü belirtilmektedir (Külcü ve Topkaya, 2001).

Kurşun (Pb), kadmiyum ve civaya oranla daha az toksidite göstermektedir. WHO tarafından kişi başına 3.5 mg/haftalık (70 kg insan için) kurşun alımı, tolere edilebilir sınırlar içerisinde kabul edilmektedir (Külcü ve Topkaya, 2001).

Aynı şekilde Ni, Cr, Cu ve Zn gibi ağır metaller de canlılar ve bitkiler için toksik etkiye sahiptirler. Toprakta iz elementlerini oluşturan ağır metaller bitkiler ve insanlar için gerekli elementlerdir. Ancak bir çoğunun toprakta yüksek oranlarda bulunması zararlı sonuçlar doğurmaktadır. Ağır metaller bitkiler tarafından çok az miktarlarda alınır bu nedenle toprakta

birikme gösterirler. Topraktaki ağır metal artışları, arıtma çamurları ve kentsel çöp kompostlarının toprağa uygulanması veya sanayi atıklarının toprakla karışması yoluyla olmaktadır. Kompost kalitesinde en önemli kriter, içerdiği ağır metal konsantrasyonlarıdır. Bu nedenle ülkeler kompost kalite kriterlerini belirlerken ağır metal içeriklerine öncelik vermişlerdir. Kompost kullanılmasının toprakta iz elementlerinin yanı sıra göz önünde bulundurulması gereken bir nokta da bunun doğal sonucu olarak yer altı sularının da kirlenmesine neden olacağıdır (Erdin, 1980).

2.4.1. Dünyada Kompost Kalite Kriterleri

Kompost kalite kriterlerinin belirlenmesinde en önemli faktör, içeriğindeki ağır metal konsantrasyonu ve patojen miktarlarıdır. Toprağa uygulanan kompost içerisinde ağır metal yükü fazla ise zamanla topraklarda yetişen ürünlerde zehirleyici etkiler oluşturabilmektedir (Külcü ve Topkaya, 2001). Tablo 2.6 bazı ülkelerde toprak iyileştiricisi olarak kompostun kullanılabilmesi için ağır metal derişimindeki sınırlamaları göstermektedir.

Tablo 2.6. Bazı ülkelerde kullanılacak kompostların içerebileceği maksimum ağır metal derişimleri (Külcü ve Topkaya, 2001)

	Cd*	Cr*	Cu*	Pb*	Hg*	Ni*	Zn*
Küba	10	1000	500	500	5	100	1000
Belçika	5	150	100	600	5	50	100
Almanya	3	100	100	100	2	50	300
Kore	10	1000	500	500	5	100	1000
İspanya	10	1000	500	500	5	100	1000
İtalya	10	150	600	500	10	200	2500
İngiltere	10	1000	500	500	5	100	1000
Hollanda	1	50	60	100	0.3	20	200
Avusturya	4	150	400	500	4	100	1000

* Değerler mg/kg kuru madde birimince verilmiştir.

2.4.2. Türkiyede Kompost Kalite Kriterleri

Ülkemizde 1991 yılında 20814 sayılı resmi gazetede yayınlanan katı atıkların kontrolü yönetmeliğinde kompost ile ilgili kalite kriterleri belirlenmiştir. Bu yönetmeliğe göre Türkiye’de tarımda kullanılacak kompostun kalite kriterleri;

Kompostun tarımda kullanılabilmesi için (madde 36);

1. Kompostun, hijyenik yönden kusursuz olması, insan ve tüm canlı sağlığını tehdit etmemesi,
2. C/N oranının 35'den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktördeki kompostta azot beslemesinin yapılması,
3. Toprak ıslahı için kullanılacak kompostta, organik madde derişiminin kuru maddenin en az % 35'i olması,
4. Piyasaya sürülen kompostun su muhteva oranının % 50'yi geçmemesi,
5. Üretilen kompostun dane büyüklüğü itibariyle sınıflandırılması,
6. Piyasaya sürülen kompost içerisinde, cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığının % 2'sini geçmemesi, gerekir.

2.4.3. Kompostun Ağır Metal Muhtevası ve Sınır Değerler

Bazı ağır metaller yüksek konsantrasyonlarda, canlılar üzerinde zehirlenme etkisi gösterebileceğinden tarım alanlarına kontrollü verilebilmesi için (madde 37);

1. Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en fazla üçer aylık aralarla, ihtiva ettikleri kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa, çinko yönünden incelenmesi,
2. Kompostun kullanılacağı arazi 1 hektardan büyükse toprağın pH değeri, ihtiva ettiği kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa, çinko yönünden analiz edilmesi,
3. Numunelerin tekniğine ve usulüne uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
4. Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin Tablo 2.7'de yer alan değerleri aşması halinde söz konusu arazide kompostun uygulanmaması,
5. Kompostun arazide tekrarlanan bir şekilde kullanılması halinde, ağır metaller itibarı ile araziye verilen yükün Tablo 2.8'de belirtilen değerleri aşmaması gerekir.

Tablo 2.7. Toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları (Katı Atıkların Kontrollü Yönetmeliği, 1991)

Ağır Metal	Topraktaki Sınır Değerler (mg/kg kuru toprak)
Kurşun	100
Kadmiyum	3
Krom	100
Bakır	100
Nikel	50
Civa	2
Çinko	300

Tablo 2.8. Bir yılda araziye verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü (Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991)

Ağır metal	Sınır Yük Değerler, gr/ha.yıl
Kurşun	2 000
Kadmiyum	33
Krom	2 000
Bakır	2 000
Nikel	330
Civa	42
Çinko	5 000

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Deneysel Düzenek

Bu çalışmada kullanılan materyaller, lahana atıkları, ağaç talaşı ve arıtma amurudur. Karışımın azot içeriğine katkıda bulunmak amacıyla arıtma çamuru, nem içeriğini ayarlamak içinde ağaç talaşları kullanılmıştır. Lahana atıkları Elazığ Sebze Hali'nden, ağaç talaşları marangoz atölyelerinden ve arıtma tesisi çamuru ise Elazığ Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden temin edilmiştir.

Kompostlaştırma reakt rindeki materyal oranları, atıkların nem içeriği ve karbon/azot oranı hesaplanarak belirlenmiştir.

Araştırmada, 30 cm çap ve 50 cm y kseklige sahip fiberglastan yapılmış aerobik kompost reaktörü kullanılmıştır. Reaktöre hava sağlayacak olan kompresörün reaktöre bağlantısı sağlanmıştır. Verilecek hava miktarını ayarlamak için kompresörün çıkışına hava flowmetresi ve basınca regülatörleri yerleştirilmiş ve reaktöre verilecek hava miktarının bu şekilde ayarlanması sağlanmıştır. Reaktöre belirli periyotlarla hava akışını sağlamak için selenoid vanalar ve zaman ayar sistemi yerleştirilmiştir. Bu teçhizatlarla, reaktöre hava 6.5 dakika durdurulup 1.5 dakika süreyle verilmiştir. Reaktöre uygulanan hava debisi 10 l/dakika olmuştur. Reaktördeki ısı kaybının önlenmesi için reaktörün dışı izolasyon malzemesiyle sarılmıştır. Kullanılan aerobik kompost reaktörü şekil 3.1'de gösterilmektedir. Kompostlama sistemi düzeneği ise şekil 3.2'de gösterilmiştir. Reaktörün günlük sıcaklıkları ölçülmüş ve kompostlanan atığın haftalık ağırlıkları, su muhtevası, pH, iletkenlik, organik madde içeriği, azot içeriği gibi parametrelerine bakılmıştır. Atık kompostlandıktan sonra elde edilen kompost toprağa karıştırılmış ve bu topraklarda organik maddenin degradasyonu oluşan CO₂ miktarı ile ilişkilendirilmiştir.

Reaktörden numune alınırken reaktör içerisindeki tüm malzeme önce iyi bir şekilde karıştırılmış sonrada reaktörün farklı noktalarından numuneler alınmış ve alınan bu numuneler de tekrar karıştırılmıştır. Böylece alınan numunelerin reaktör içindeki tüm malzemeyi temsil etmesi sağlanmıştır. Alınan numuneler 105  C'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan numuneler kahve  ğ t c s nde öğütülmüş ve 60 mesh elekten elenmiştir. Numunelerin nem ve uçucu katı madde içeriği tespit edilmiştir. Ayrıca elenen numunelerde TKN, selüloz, pH ve iletkenlik gibi parametreler belirlenmiştir. Mikrobiyolojik analizleri ise kurutulmayan numunelerde yapılmıştır.



Şekil 3.1. Kompost reaktörü



Şekil 3.2. Kompostlama sistemi düzeneği

3.2. Kullanılan Analiz Yöntemleri

3.2.1. Sıcaklık

Kompostlama işlemi süresince sıcaklığın ölçülebilmesi ve reaktör içindeki karışımlarda farklı derinliklerdeki sıcaklık farkının belirlenebilmesi amacıyla reaktöre belirli aralıklarla termometreler yerleştirilmiştir. Sıcaklık okumaları bu termometreler vasıtasıyla sağlanmıştır.

3.2.2. Uçucu Katı Madde (UKM) Tayini

Numuneler 103° C’de 24 saat bekletildikten sonra kroze ve içinde kalan maddeler 550±50 °C’de fırında tutulmuş ve kroze desikatörde soğutulduktan sonra tekrar tartılmıştır.

Hesaplama :

$$UKM(\%) = \left(\frac{A - C}{A - B} \right) \times 100$$

Burada ; A : Porselen kroze + içinde kalan maddelerin ağırlığı (mg) (103 °C’den sonra)

C : Porselen kroze + içinde kalan maddelerin ağırlığı (mg) (550 °C’den sonra)

B : Porselen kroze ağırlığı (mg)

3.2.3. pH ve İletkenlik

pH, WTW pH 330 pH metre ile (1:10), iletkenlik ise WTW LF 330 iletkenlik ölçer ile (1:10) ölçülmüştür. Alınan 1 gr numuneye 10 ml saf su eklenerek pH ve iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

3.2.4. Toplam Koliform Bakteri

Toplam koliform bakteri analizleri Standart Metotlara (APHA, 1989) göre en muhtemel sayı yöntemiyle yapılmıştır.

3.2.5. Selüloz ve Karbon Tayini

Selüloz tayininde, alınan numune asetik asit ve nitrik asit karışımıyla muameleye tabi tutulmuş daha sonra bu numuneler süzülerek kurutulmuş ve kül fırınında muameleden sonra da numunelerin selüloz içerikleri tespit edilmiştir. Karbon, literatürde verilen formüle (Adams ve diğ., 1951) dayanarak uçucu katı madde değerleri esas alınarak hesaplanmıştır.

3.2.6. TKN Tayini

TKN Toprak Analizleri Metotlarına (SSSA, 1996) göre analizlenmiştir. 1 gr numune 250 ml'lik tüplere alınmış, 25 ml sülfirik asit (H_2SO_4) ve katalizör (Na_2SO_4) ile muameleye tabi tutulmuş ve 430 °C'de 1,5 saat süre ile bekletilmiştir ve içine 25 ml 0,1 N HCl ve indikatör çözeltisi konulan erlenlerle Gerhardt cihazında 5 dk süre ile muamele edilmiştir. Daha sonra erlenler de bulunan çözelti pembe renk sarıya dönüşene kadar 1N NaOH ile titre edilmiştir.

3.2.7. Ağır Metal Tayini

Kompost numunelerindeki ağır metal içeriklerini belirlemek için 1 gr numune 250 ml'lik tüplere alınmış ve 10 ml derişik HNO_3 eklenmiştir. Numune 90 °C'de 45 dakika ısıtılmış ve sonra sıcaklık 150 °C'ye çıkarılarak berrak bir çözelti elde edinceye kadar en az 8 saat kaynatılmıştır. Bu süre içerisinde en az 3 kez 5 ml derişik HNO_3 çözeltisi numuneye eklenmiş ve hacim yaklaşık 1 ml'ye düşüncüye kadar işleme devam edilmiştir. İçinde az da olsa numune kalmaması için tüpün duvarları destile su ile yıkanmıştır. Soğuduktan sonra 5 ml %1'lik HNO_3 çözeltisi numuneye eklenmiştir. Çözelti Whatman 42 nolu filtre kağıdında filtrelenmiş ve sonra 25 ml'lik balonlara alınarak hacmi destile suyla 25 ml'ye tamamlanmıştır (Zheljazkov ve Nielson, 1996). Ağır metal konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ile tayin edilmiştir.

3.2.8. Karbon Mineralizasyonu

Elde edilen kompostun, karbon mineralizasyonu, aerobik inkübasyon deneyleriyle araştırılmıştır. 10 gr toprak örneği (<2 mm, % 25,2 kum ve % 74,8 kil + silt), 200 mg kompostla karıştırılmış ve inkübasyon şişelerine konulmuştur. Toprak kontrol numunelerine herhangi bir madde ilave edilmemiştir. Toprağın nem içeriğini su tutma kapasitesinin % 70'ine getirmek için toprak ve toprak + kompost numunelerine 2,6 ml saf su ilave edilmiştir. Oluşan CO_2 , inkübasyon şişelerinin içerisine konulan 10 ml 0,1 M NaOH'de tutulmuştur. İnkübasyon şişeleri kapatılmış fakat yeterli O_2 seviyelerini sürdürmek için farklı zamanlarda açılmıştır. İnkübasyon şişelerinde tutulan CO_2 , $BaCl_2$ fazlalığında NaOH çözeltisi 0,1 M HCl çözeltisiyle titre edilerek tayin edilmiştir (Bernal ve diğ., 1998). İnkübasyon sıcaklık-kontrollü inkübatörde gerçekleştirilmiştir. Kompostlanan materyallerin CO_2 -C değerleri, 30 gün boyunca, 28°C'de aerobik inkübasyonu sonucunda tespit edilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Sıcaklık

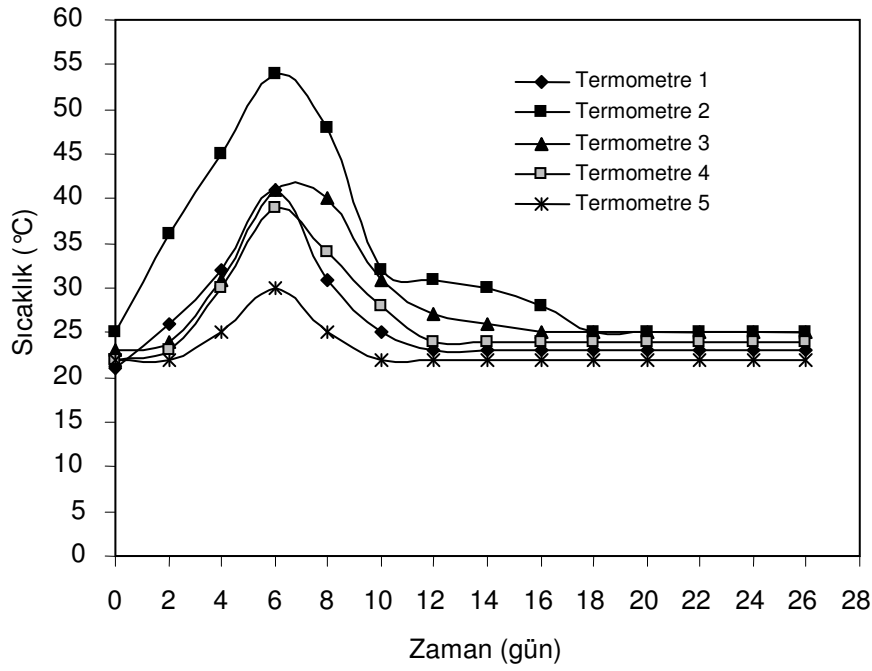
Kompostlama proseslerinin değişik fazlarında sıcaklığın etkisi çok önemlidir. Bakteriyele aktivitelere bağlı olarak sıcaklık değerlerinde artma veya azalmalar görülebilir. Aerobik kompostlama sistemlerinde mezofilik (30-40 °C) yada termofilik (60-65 °C) sıcaklıklar gözlenebilir. Mezofilik parçalanma aşaması esnasında, atıklar hızlıca biyolojik olarak parçalanır, sıcaklık artar ve zamanla sıcaklık değerlerinde düşüş gözlenir. Termofilik parçalanma esnasında sıcaklık 60-65 °C'dir (Sharma ve diğ., 1996).

Sıcaklık, organik atıkların aerobik değredasyonu ile kompostlama prosesi esnasında üretilir (Robin ve diğ., 2002). Dresbll ve Thorup-Kristensen (2004)'in yaptıkları çalışmada, kompostlama prosesinde sıcaklık, termofilik şartlarda 68 °C'ye çıkıp hızlı bir artış göstermiştir. Daha sonra sıcaklık yaklaşık 40 °C civarında kalmıştır. Sonraki günlerde ise sıcaklıkta devamlı bir azalma gözlenmiştir. Bu çalışmada ise şekil 4.1'de görüldüğü gibi sıcaklık önce belirli bir güne kadar artmış, sonra ise düşmeye başlamıştır. En yüksek sıcaklık 6. ve 8. günlerde gözlenmiştir. 6. ve 8. günlerin sonunda ise düşmeye başlamıştır. Kompostlama esnasında mevcut olan mikroorganizmaların metabolik aktivitesi, organik maddenin kimyasal bileşimini değiştirir ve kompostlanan materyallerin ısısı artar. Kompostlamada meydana gelen sıcaklık artışları, solunum metabolizmasıyla ilişkili ekzotermik reaksiyonlardan meydana gelir. Biyolojik olarak kolayca parçalanabilir organik maddeler tükendiğinde bakteriyel aktivite azalır. Bunun sonucunda kompostlanan materyalin sıcaklığı azalmaya başlar ve aktif kompostlama tamamlandığında sıcaklık ortam sıcaklığına yaklaşır. şekil 4.1'de gösterilen termometre numaraları reaktörün en üst kısmından altına doğru olan kısımlarına yerleştirilen termometre sıralamasına göre verilmiştir.

4.2. Nem

Biyokimyasal bozunmayı gerçekleştiren organizmalar, besinlerini ancak suda zmşlerse alabilirler, dolayısıyla ortamda su bulunması gereklidir. Fakat mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri ile de açığa çıkan su ile işlem anaerobik şartlara dönüşebilir. Çünkü su miktarının fazla olması nedeniyle, parçacıklar arasındaki tüm boşluklar su ile dolar, buda havanın kütle içine girmesine engel olur ve şartlar anaeroba dönüşür.

Bu nedenle kompostlama da materyallerin başlangıçta ve kompostlama esnasında nem içerikleri oldukça önemlidir. Kompostlama sırasında materyalin nem içeriklerinin zamanla değişimi şekil 4.2'de verilmiştir.

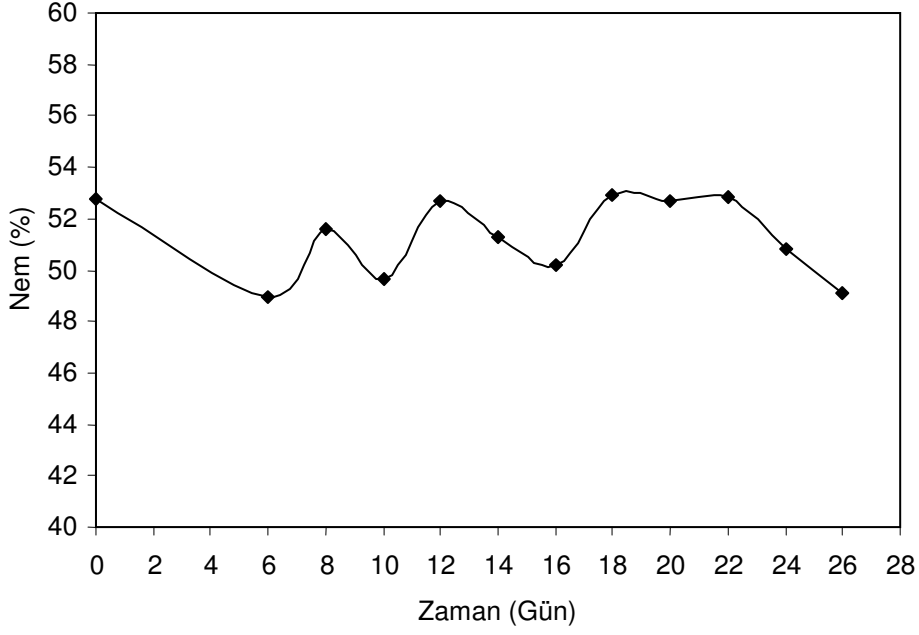


Şekil 4.1. Lahana atıklarının kompostlanması esnasında gözlenen sıcaklık değerleri

Reaktör içindeki atığın nem içeriği, kompostlamayı iyi bir şekilde başarmak için önemli bir parametredir. Mikrobiyal aktivite için de önemli bir faktördür. Nem içeriği kompostlama prosesi boyunca % 50-60 arasında tutulmalıdır (Meenembal ve diğ., 2003). Bu çalışmada nem içerikleri literatürde verilen bu değere yakındır. Kompostlama esnasında nem içeriği başlangıçta % 52,73 iken kompostlama sonunda % 49,12'dir.

4.3. pH

Kompostlama proseslerinde pH parametresi de önemlidir ve düzenli olarak gözlenmelidir. Kompostlama prosesi boyunca pH'da değişiklikler gözlenebilir. Prosesin başlangıcında, CO₂ ve organik asitler nedeniyle pH 5-6 değerinde iken, prosesin sonlarında bu değer 8-8,5'a çıkabilir. Bunun nedeni CO₂'in eliminasyonu olduğu kadar, proteinlerin parçalanması da buna etkindir (Sharma ve diğ., 1996). Mikrobiyal aktivitenin çok aktif olduğu başlangıç fazında NH₄⁺ birikebilir, bu da pH'ın yükselmesine neden olur (Beck-Friis ve diğ., 2003). Dresbøll ve Thorup-Kristensen (2004)'in yaptıkları çalışmada, kompostlama prosesi boyunca pH'nın 7.6-8.9 arasında değiştiği gözlenmiştir ve en yüksek değerler 3-4 haftanın sonunda bulunmuştur. Kompostlama periyodu sonunda ise azalma gözlenmiştir. Gea ve diğ. (2004), kağıt üretimi endüstrisi atıkları ile arıtma çamurunu kullanarak yaptıkları kompostlama çalışmasında, pH'nın 7,6'dan 8,0'e arttığını tespit etmişlerdir.

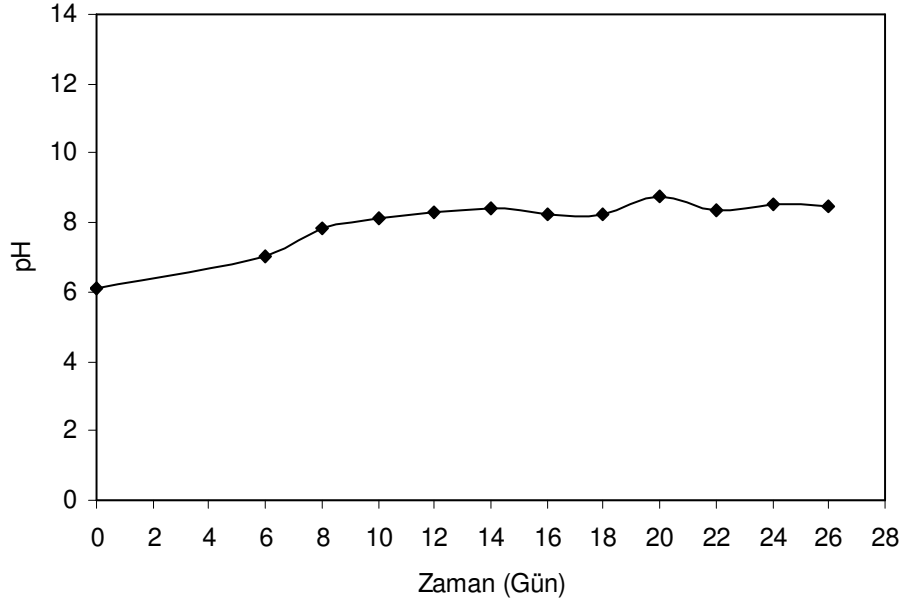


Şekil 4.2. Kompostlama materyalleri nem içeriğinin zamanla değişimi

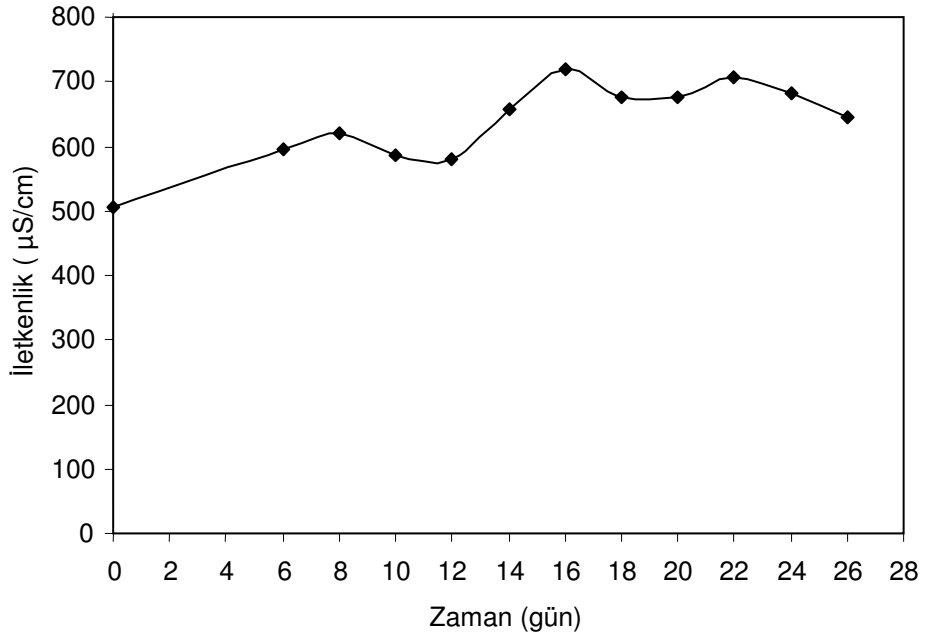
Evsel atıkların başlangıç pH değerleri 5-7 arasında değişir. Bu çalışmadaki materyalin pH değerleri Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan materyalin başlangıç pH değeri 6,12’dir. Kompostlama esnasında sıcaklık artışıyla termofilik faza geçilmiş ve pH’larda gözle görülür bir artış kaydedilmiştir. Kompostlama esnasındaki pH değerleri 6.12-8.55 aralığında değişmiştir. Kompostlama sonundaki pH değeri ise 8,48’dir. pH’daki artışlar Bishop ve Godfrey (1983)’in de belirttiği gibi amonifikasyon esnasında amonyakın üretiminden kaynaklanmış olabilir. pH’lardaki düşüşler ise, Eklind ve Kirchmann (2000)’ında belirttiği gibi nitrifikasyon bakterilerinin gerçekleştirdiği mikrobiyal nitrifikasyon prosesinin sonucu olarak amonyak azotunun uzaklaşması ve H⁺ iyonunun serbest kalışı ile açıklanabilir.

4.4. İletkenlik

Materyallerin kompostlama esnasındaki iletkenlik değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.4’de verilmiştir. Lahana atıklarının iletkenliği 504 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den 644 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’ye yükselmiştir. İletkenliklerdeki değişimler, tuzların çözünme hızlarının değişmesinden kaynaklanabilir. Kompostun tuzluluk düzeyi, topraklarda meydana getireceği etkiler açısından çok önemlidir.



Şekil 4.3. pH'ın zamanla değişimi



Şekil 4.4. İletkenliğin zamanla değişimi

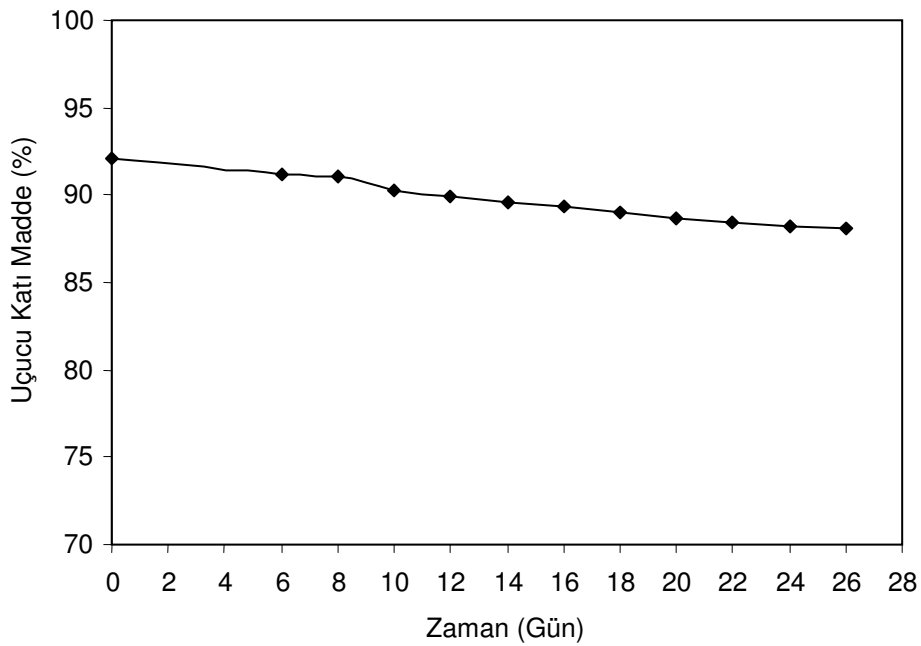
4.5. Uçucu Katı Madde

Lahana atıklarının kompostlanması esnasında, uçucu katı madde muhtevalarının zamanla değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir. Uçucu katı madde içeriği % 92,07’den % 88,13’e, düşmüştür. Organik karbon miktarındaki azalmaya bağlı olarak uçucu katı madde içeriğinde de düşüşler gözlenmiştir.

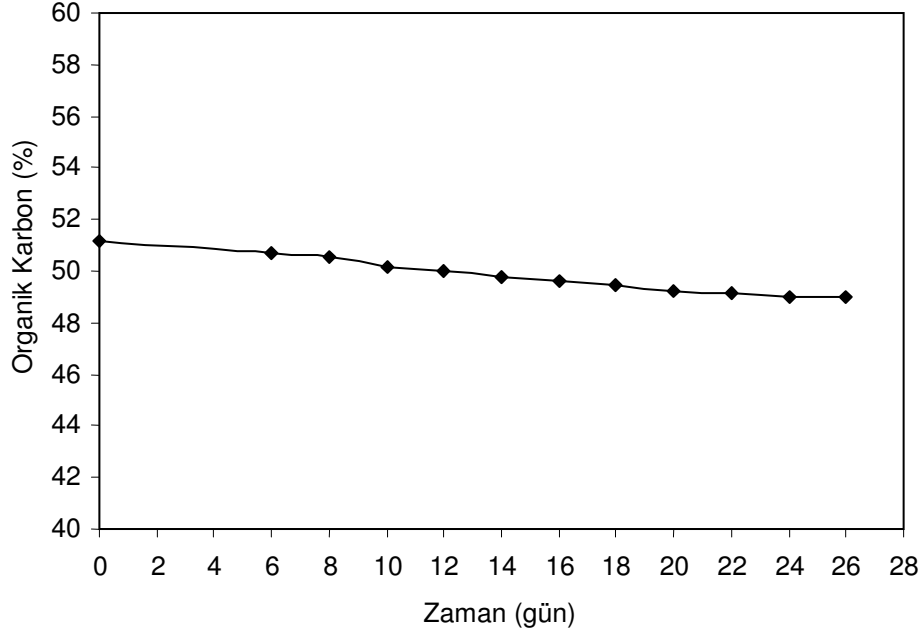
4.6. Organik Karbon

Lahana atıklarının kompostlanması esnasında organik karbon içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 4.6’da verilmiştir. Organik karbon içeriği % 51,15’den % 48,96’ya düşmüştür.

Pietro ve Paola (2003), evsel katı atıkların seçilmiş organik kısımları ve sebze atıkları ile 100 gün boyunca yaptıkları aerobik kompostlama çalışmasında toplam organik karbonun başlangıç değerlerine göre düştüğünü tespit etmişlerdir.



Şekil 4.5. Uçucu katı madde muhtevalarının zamanla değişimi



Şekil 4.6. Organik karbon içeriğinin zamanla değişimi

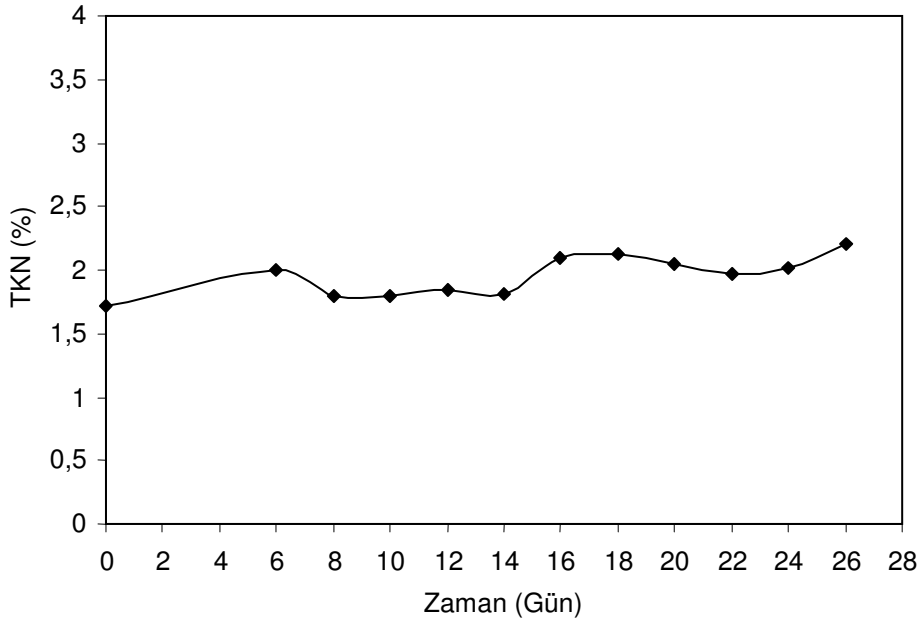
4.7. Azot

Azot içeriğindeki azalmalar, amonyak buharlaşması nedeniyle azot kaybına bağlanabilir (Charest ve Beauchamp, 2002). Organik atıkların kompostlanması sırasında, amonyağın buharlaşmasında 3 esas faktör etkindir. Bunlar, ilk olarak C/N oranında düşme (Larsen ve McCartney, 2000), yüksek pH (Korner ve Stegman, 1998) ve yüksek O₂ hızı (Michel ve Reddy, 1998)'dir.

Aerobik kompostlamada, başlangıçtaki N içeriğinin geniş bir kısmı kaybolabilir. Vuorinen ve Saharinen (1998)'in belirttiği gibi N kaybı değerleri yaklaşık % 16-74 bulunmuştur. Kompostlama sırasında, kompostun pH'ı düşürülerek yada C/N oranı artırılarak, N kaybı azaltılabilir (Michel ve Reddy, 1998). Barrington ve diğ. (2002a)'in yaptıkları çalışmada toplam N'un % 85'inin mikrobiyal degradasyon sonucunda azaldığını saptamışlardır. Tiquia ve Tam (2002), yaptıkları kompostlama çalışmasında kompostlama periyodu boyunca kompost kütlesi içerisindeki toplam azotun (azot konsantrasyonu × yığının kütlesi) 31 kg.'dan 13 kg.'a düştüğünü tespit etmişlerdir. N kayıpları büyük oranda NH₃ buharlaşmasına bağlanmıştır. Ferrer ve diğ., (2001); yalnız başına ve kuş gübresiyle birlikte üzüm atıklarını 25 gün havalandırmalı yığınlarda kompostlamış ve azot içerikleri başlangıçta % 1,73 iken işlem sonunda sırasıyla % 2,14 ve % 2,17 olmuştur.

Bu çalışmadaki materyalin TKN içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Materyalin TKN içeriği % 1,72'den % 2,21'e artmıştır.

Martins ve Dewes (1992), kompostlama sırasında N kayıplarının çoğunlukla kompostlamanın ilk 10 günü esnasında oluştuğunu bildirmişlerdir. Vallini ve diğ. (1983), farklı tipteki organik maddeleri kompostladıklarında azot içeriğini başlangıçta % 1,5 ve kompostlama sonunda % 2,5 olarak bildirmişlerdir. Böyle bir artış kompostlama esnasındaki buharlaşmayla kuru kütledeki kayıplara ek olarak simbiyotik olmayan bazı toprak mikroorganizmalarının azotu bağladığı gerçeğiyle ilgili olabilir (Tisdale ve diğ., 1993). Azot miktarının artışı çoğunlukla, karbonun parçalanarak karbondioksit dönüşümü nedeniyle görülen konsantrasyon etkisine bağlanmaktadır (Charest ve Beauchamp, 2002).



Şekil 4.7. TKN içeriğinin zamanla değişimi

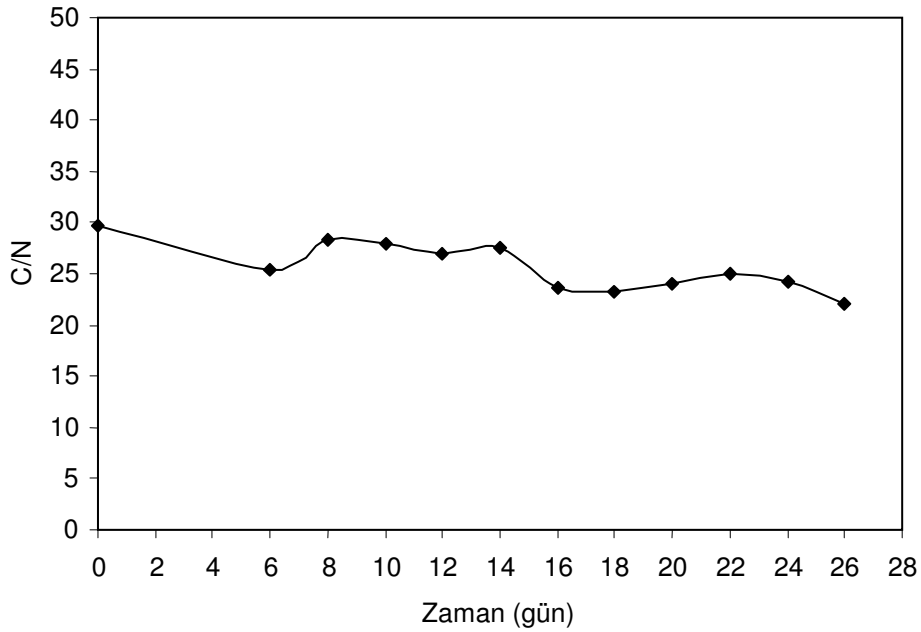
4.8. Karbon/Azot Oranı

Bu çalışmadaki materyalin C/N oranlarının zamanla değişimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. C/N oranı 29,73’den 22,15’e azalmıştır.

Prosesteki hetetrofik mikroorganizmaların aktivitelerinin gelişimi, N ve C içeriğine bağlıdır. Mikroorganizmalar enerji kaynağı olarak C’u kullanırlar, buna karşılık N ise protein sentezi için kullanılır. Oksidasyon reaksiyonları esnasında CO₂ serbest kalır, C’un büyük bir kısmı (yaklaşık 2/3’ü) mikroorganizmalar tarafından enerji kaynağı olarak kullanılır. Amonyum iyonları formundaki azot, genellikle önemli bir nütrient olarak gereklidir. Optimum C/N oranı 25-30 olmalıdır. Aksi takdirde mikrobiyal aktiviteler yavaşlar. Deneysel çalışmalar sonunda, C/N oranı 15-20 olduğunda iyi bir kalitede ürün elde edildiği görülmüştür (Sharma ve diğ., 1996). C/N oranındaki artışlar, kompostlama sırasındaki amonyak kaybı ile ilişkilidir (Michel ve Reddy, 1998).

İpek (2001) tarafından yapılan çalışmada; aerobik ve anaerobik kompostlaştırma yöntemleri kullanılarak arıtma çamurlarının, şarap fabrikası atıkları, sap atıkları ve şeker pancarı yaprağı atıkları ile kompostlanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla atıkların C/N oranı ele alınarak atıklar farklı kombinasyonlarda karıştırılmış, aerobik ve anaerobik kompostlaştırmaya tabi tutulmuştur. Şeker pancarı yaprağı, sap atıkları ve arıtma çamuru bileşimi hem aerobik hem de anaerobik kompostlaştırma sonunda C/N oranı bakımından stabil hale gelmiştir.

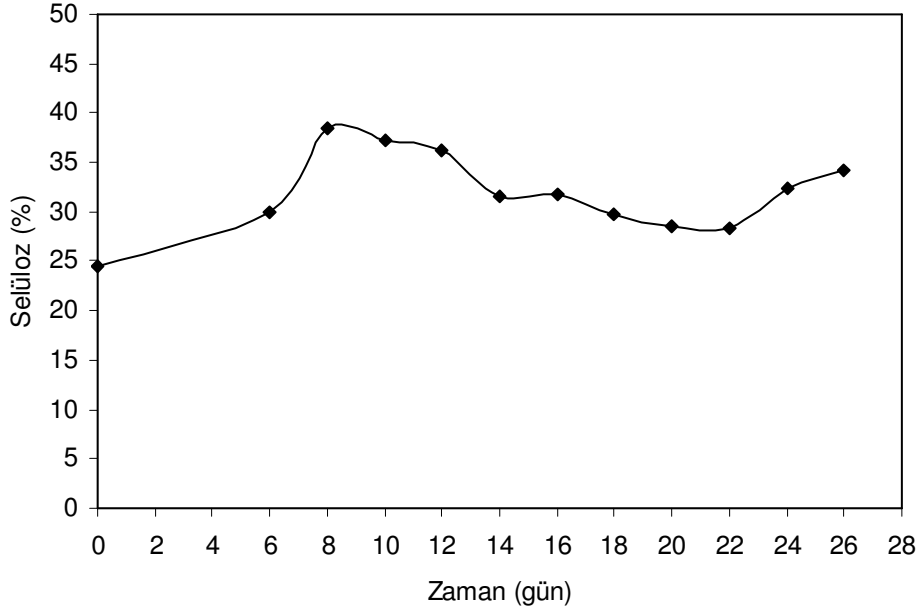
C/N oranında kompostlama prosesi boyunca artma ve azalmalar gözlenebilir. En yüksek C/N oranı daha çok olgun fazın tamamlanması için gereklidir (Sharma ve diğ., 1996). Gea ve diğ. (2004), kağıt üretimi endüstrisi atıkları ile arıtma çamurunu kullanarak yaptıkları kompostlama çalışmasında, C/N oranının 34'den 26'ya düştüğünü tespit etmişlerdir.



Şekil 4.8. C/N içeriğinin zamanla değişimi

4.9. Selüloz

Materyalin selüloz içeriğinin zamanla değişimi Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Materyalin selüloz değerleri % 24,4'den % 34,2'ye yükselmiştir. Bu artışın nedeni kompostlama esnasında alınan numunelere bağlı olarak materyal miktarındaki azalmaya bağlanabilir. Eklind ve Kirchmann (2000), evsel katı atığın organik kısmının çeşitli maddelerle birlikte kompostlanmasını çalışmışlardır. Evsel katı atığın organik kısmının hem yapraklarla hem de bataklık yosunu turbası ile kompostlanmasında selüloz içeriğinde artışlar tespit etmişlerdir.



Şekil 4.9. Selüloz içeriğinin zamanla değişimi

4.10. Toplam Koliformlar

Koliform organizmalar grubu; toprakta, insanda, sıcak ve soğuk kanlı hayvanlarda bulunabilir. Koliform organizmalar grubu, aşağıdaki sebeplerle bulaşma ve kirlenmeyi gösteren bir indikatör olarak kullanılır (Muslu, 1985);

1. Koliform organizmalar insanların ve sıcak kanlı hayvanların bağırsaklarında bulunurlar ve dışkı ile çevreye karışırlar. İnsanlarda bağırsak hastalıklarına sebep olan patojen bakteri ve virüsler de bunlarla aynı yerde bulunmaktadır. Bu sebeple koliform bakterinin bulunması, bu nevi patojen etkilerinin de bulunabileceğini gösterir.
2. Bu organizmalar, patojen bağırsak bakterilerine nazaran dezenfeksiyona karşı daha dayanıklıdır. Bu sebeple bakteri bulunmaması, petojen bakterilerinin de mevcut olmadığını bir delili olur.
3. Koliform organizma grubundaki bakterilerin tayini, hatta sayılarının bulunması, laboratuar personeli eliyle dahi yapılabilecek derecede kolay ve standart hale getirilmiştir.

Kompostlama prosesi süresince izlenen toplam koliform bakteri miktarları Tablo 4.1'de verilmiştir. Toplam koliform bakteri miktarlarının zamanla azaldığı tespit edilmiştir. Koliformların azalmasında, yüksek sıcaklığın yanında kompostlamanın son kademesinde organik maddedeki azalma da etkili olmaktadır. Sesay ve diğ. (1997), Tiquia ve diğ.,(1998), Tiquia ve Tam (2000), yaptıkları

çalışmalarda kompostlama prosesi sonunda toplam koliform bakterilerin zamanla azaldığını bildirmişlerdir.

Tablo 4.1. Kompostlama esnasında materyalin toplam koliform bakteri miktarları

Zaman (gün)	Toplam Koliform Bakteri (adet/100 g yaş ağırlık)
0	13×10^8
6	20×10^8
8	20×10^8
10	28×10^8
12	20×10^8
14	11×10^8
16	$5,5 \times 10^8$
18	$3,6 \times 10^8$
20	2×10^8
22	$1,8 \times 10^8$
24	$0,011 \times 10^8$
26	$0,011 \times 10^8$

4.11. Ağır Metaller

Kompostun toprak üzerinde oluşturduğu olumlu etkilerin yanında olumsuz etkileri de vardır. Kompost içerisinde bulunabilecek ağır metaller, bitkiler dolayısıyla insanlar ve hayvanlar üzerinde toksik etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle kompost içerisindeki ağır metallerin sürekli analiz edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında kompost kalite kriterleri incelenen ülkelerde, kullanılabilir kompostun içeriğindeki ağır metal konsantrasyonlarının sınırlandırılarak hem üretimde belli bir standardın oluşturulduğu hem de toprakların kirlenmesini engellemek amacıyla pratikte uygulanabilir bir sınırlamanın konulduğu görülmektedir.

Tablo 4.2' de kompostta bulunan ağır metal düzeyleri verilmiştir. Komposttaki ağır metal konsantrasyonlarının standartların altında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki ağır metal konsantrasyon değerlerini Tablo 2.6'daki bazı ülkelerde kullanılabilir kompostların içerebileceği maksimum ağır metal derişimleri ile karşılaştıracak olursak, rneğin; Almanya'da kompostların içerebileceği maksimum Cu derişimi 100 mg/kg iken bu çalışmada Cu derişimi tayin liimitinin altında bir değerdedir. İngiltere'de kompostların içerebileceği maksimum Zn derişimi değer 1000 mg/kg iken bu çalışmada 30,25 mg/kg gibi çok küçük bir değerdedir. Pb derişimine bakılacak olursa, İspanya'da kompostların içerebileceği maksimum değer 500 mg/kg iken bu çalışmada ise yine tayin limitinin altındadır.

Tablo 4.2. Elde edilen kompostta ağır metal konsantrasyonları (mg/kg)

	Cu	Cr	Fe	Cd	Co	Pb	Zn	Mn
Materyal Başlangıç	*	*	173,75	*	*	*	18,75	6,75
Materyal Bitiş	*	*	198	*	*	*	30,25	25,75

* Tayin limitinin altında

4.12. Parçalanma Kinetikleri

Kompostlama esnasında organik madde parçalanma kinetikleri malzemelerin uçucu katı madde içerikleri göz önünde bulundurularak tespit edilmiştir. Organik madde parçalanma süreci, birinci derece kinetikler göz önünde bulundurularak zamanın fonksiyonu şeklinde incelenmiştir. Elde edilen kinetik eğrisinden kompostlama materyeli için reaksiyon hız sabiti (k) ve korelasyon katsayısı (R^2) bulunmuştur. Birinci dereceden kinetik şu şekilde ifade edilir.

$$\frac{dC}{dt} = -kC \dots\dots\dots(4.1)$$

C : herhangi bir zamanda biyolojik olarak parçalanabilir uçucu katıların kg olarak miktarı,

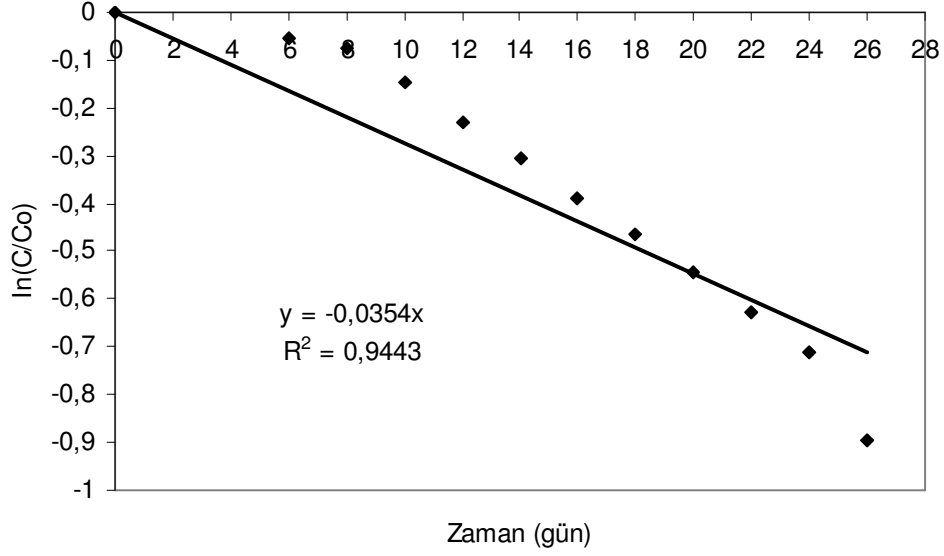
t : gün olarak zamanı,

k : reaksiyon hız sabiti (gün^{-1}) göstermektedir.

(4.1) denklemini entegre edilir ve $C=C_0$ alınırsa ifade (4.2)'de ki denklem haline gelir.

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt \dots\dots\dots(4.2)$$

Kompostlama materyalinin parçalanma kinetik eğrisi Şekil 4.10'da verilmiştir. Lahana atıklarının uçucu katı madde parçalanmasının reaksiyon hız sabiti $0,0354 \text{ gün}^{-1}$ ($R^2 = 0,94$) olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10. Organik madde parçalanma kinetik eğrisi

4.13. Toprakta Karbon Mineralizasyonu

Kompost organik madde kaynağı olarak bilinmektedir. Organik madde miktarını; besin miktarı, besin karakteristikleri ve kirleticilerin seviyesi gibi parametreler belirlemektedir. Kompost, toprağın fiziksel özelliklerinde değişiklik yaparak toprağın mahsul üretimini artırdığından çoğunlukla 'toprak iyileştiricisi' olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca toprağın su tutma kapasitesini ve bitkiler için faydalı su miktarını artırdığı belirlenmiştir.

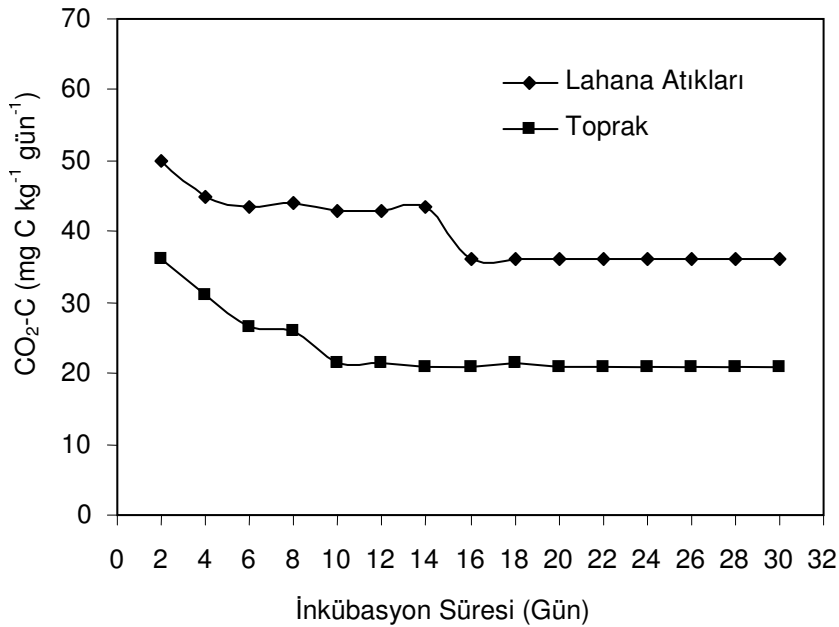
Kompostla beraber toprağa organik madde eklenmesiyle toprağın pH'ı, elektriksel iletkenliği ve mikronütrientler gibi toprağın bazı önemli kimyasal özellikleri de etkilenir. Kompost, toprağın porozitesi, havalanma kapasitesi, erozyon, hidrolik iletkenlik gibi birçok parametresini dolaylı veya direkt etkiler. Mikrobiyal hareketin sonucu olarak atığın ham organik kısmı humus maddesine dönüştürülür. Kompostlaştırma humus üretmez. Humus, topraktaki organik maddenin uzun dönemde ayrışmasının sonucudur. Kompostlaştırma kısmen ayrılmış organik madde üretir. Eğer proses gereği gibi gerçekleşirse kompostun ayrışma oranı düşüktür ve toprağa eklenince biyolojik olarak parçalanmaya devam eder ve neticede humus olur. Kompost bünyesinde, mikroorganizmaların aktivitesi için yeterli besin ihtiva eder. Kompost kumlu humuslu topraktan, killi humuslu toprağa kadar değişen toprak türlerinde toplam poroziteyi artırabilmektedir.

Kompost toprağa ilave edildikten sonra komposttan maksimum yarar elde edilecekse kompostun toprakta parçalanma hızının bilinmesi gereklidir. Bu bilgi, toprakta kompostla inkübasyon deneyleriyle C mineralizasyonu tespit edilerek elde edilebilir. Bu amaçla, lahana atıklarında elde

edilen kompost, toprakta inkübasyona maruz bırakılmış ve oluşan CO₂ miktarlarına göre mineralizasyon düzeyleri tespit edilmiştir.

Kompostun biyolojik parçalanması, nütrient içeriğiyle birlikte mevcut farklı C (karbonhidratlar, amino asitler, yağ asitleri, lignin gibi) bileşiklerinin parçalanma hızına bağlıdır. Topraktaki organik atıklardan ortaya çıkan CO₂-C miktarının kullanılan materyallere (bitki atıkları, hayvansal gübreler, arıtma çamurları gibi) bağlı olduğu tespit edilmiştir (Ajva ve Tabatabai, 1994). Amino asit, karbonhidrat formunda yüksek miktarda çözünebilir organik karbon içeren atıkların parçalanması, toprağa ilave edildikten sonra hızlı bir şekilde CO₂-C üretimine yol açar (Marstorp, 1996). Bernal ve diğ. (1998); kompostlanan materyallerin CO₂-C değerlerini 70 gün boyunca 28°C’de aerobik inkübasyon sonucunda tespit etmişlerdir. İnkübasyon periyodu sırasında, kompostlanan örneklerde maksimum C mineralizasyon hızının, inkübasyonun ilk günlerinde oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

İnkübasyon periyodu sırasında, kompostlanan örneklerde maksimum C mineralizasyon hızının, inkübasyonun ilk günlerinde oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 4.11). Bu başlangıçta kompostta yüksek konsantrasyonda kolayca parçalanabilir organik karbonun mevcudiyeti nedeniyle oluşmaktadır. Yüksek konsantrasyonda bu maddelerin mevcudiyeti toprakta mikrobiyal büyümeyi arttırmaktadır (Bernal ve diğ., 1998). Bu artış oluşan CO₂ miktarını doğrudan etkilemektedir. Belirli bir süreden sonra oluşan CO₂ miktarları toprak örneklerinde oluşan miktarlara yaklaşmıştır.



Şekil 4.11. Kompostun toprakta inkübasyonu ile CO₂-C oluşum hızı

5. SONUÇLAR

Ülkemiz gibi gelişmekte olan, hızlı nüfus artışı olan ve kentleşme sürecini yaşayan toplumlarda oluşan atıklar büyük problemler meydana getirmektedir. Katı atıkların zarar vermeden bertaraf edilmesi ve değerlendirilmesi sureti ile çeşitli şekillerde istifade edilmesi, başta insan sağlığı olmak üzere yurt ekonomisini yakından ilgilendirmekte ve etkilemektedir. Bu atıkların bertarafı ve çevre açısından daha kabul edilebilir hale getirilmesi amacıyla kompostlama işlemi uygulanmaktadır.

Katı atıkların sağlığa uygun şekilde idaresi ve değerlendirilmesi yönündeki gayretler arttırılmalı ve kompostlama tesislerinin arttırılması teşvik edilerek çevreye zarar vermeden verimli bir şekilde çalıştırılması sağlanmalıdır.

Bu çalışmada, organik bir atık olan lahana atıklarının aerobik kompostlanması sonunda iyi kalitede bir kompost elde edildiği gözlenmiştir. Kompostun toprakta parçalanma sürecinin incelenmesi sonucunda, kompostun toprağa ilavesiyle yüksek verim elde edilebileceği sonucuna varılabilir. Lahana atıklarının kompostlanması esnasında uçucu katı madde içeriği % 92,07'den % 88,13'e düşmüş, TKN içeriği % 1,72'den % 2,21'e artmış ve C/N oranı 29,73'den 22,15'e azalmıştır. Selüloz içeriği ise başlangıçta % 24,4 iken kompostlama sonunda % 34,2' ye yükselmiştir. Başlangıçta kullanılan materyalin pH'ı 6,12 iken kompostlama sonunda 8,48'e yükselmiştir. İnkübasyon periyodu esnasında kompostlanmış örneklerdeki maksimum C mineralizasyonunun, inkübasyonun ilk günlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Özellikle toprak iyileştirici bir madde olan kompostun ağır metal muhtevasının standartların altında olması nedeniyle toprağa ve canlılara bu bakımdan zararlı etkisinin olmayacağı söylenebilir.

Bu çalışma, atıkların çevreye ve canlı sağlığına zarar vermemesi, geri dönüştürülerek ürün olarak ekonomiye kazandırılması bakımından önem taşımaktadır. Bu nedenlerden dolayı tarımsal atıklardan lahana atıklarıyla kompostlama ülke yararına düşünülebilecek bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

- Adams R.C., MacLean F.S., Dixon J.K., Bennett F.M., Martin G.I. and Lough R.C., 1951, The utilization of organic wastes in N.Z.: Second interim report of the interdepartmental committee, New Zeland Engineering, November 15, 396-424.
- Ajva H.A., Tabatabai M.A., 1994, Decomposition of different organic materials in soils, *Biol. Fertil. Soils* 18, 175-182.
- APHA, AWWA, WPCF, 1989, Standard methods for examination of water and wastewater, Americal Public Health Association, USA.
- Aral N., 1992, *Aritma Çamurlarının Tarım Amaçlı Kullanımı*, Çevre Kongresi Bildiri Kitabı, İstanbul.
- Barrington S., Choinière D., Trigui M., Knight W., 2002a, Effect carbon source on compost nitrogen and carbon losses, *Bioresource Technology*, 83, 189-194.
- Barrington S., Choinière D., Trigui M., Knight W., 2002b, Compost convective airflow under passive aeration, *Bioresource Techonology*, 86, 259-266.
- Beck-Friis B., Smars S., Jönsson H., Eklind Y., Kirchmann H., 2003, Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: gaining an understanding of the emission dynamics, *Compost Sci. Util.* 11, 41-50.
- Bernal M.P., Sanchez-Monodero M.A., Paredes C., Roig A., 1998, Carbon mineralisation from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69, 175-189.
- Bishop P.L., Godfrey C., 1983. Nitrogen transformations during sludge composting. *Biocycle*, 24, 34-39.
- Charest M.H., Beauchamp C.J., 2002, Composting of de-inking paper sludge with poultry manure at three nitrogen levels using mechanical turning: behaviour of physicachemical parameters, *Bioresource Technology*, 81, 1, 7-17.
- Diaz M.J., Eugenio, M.E., Jimenez L., Madejon E., and Cabrera F., 2003, Modelling Vinasse/Cotton Waste Ratio Incubation For Optimum Composting, *Chemical Engineering Journal*, 93, 233-240.
- Dresbøll D.B., Thorup-Kristensen K., 2004, Delayed nutrient application affect mineralisation rate during composting of plant residues, *Bioresource Technology*, 96, 1093-1101.

- Eklind Y., Kirchmann H., 2000, Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses. *Bioresource Technology*, 74, 125-133.
- Erdin E., 1980, *Çöp ve Katı Atıklar Kurs Notları*, E.Ü., İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü 13-13p.
- Fernandes L., Zhan W., Patni N.K., Jui P.Y., 1994, Temperature distribution and variation in passively aerated static compost piles, *Transactions of the ASAE*, 48, 257-263.
- Ferrer J., Páez G., Mármol Z., Ramones E., Chandler C., Marín M., Ferrer A., 2001, Agronomic use of biotechnologically processes grape wastes. *Bioresource Technology*, 76, 39-44.
- Filibeli, A., 1996, *Aritma Çamurlarının İşlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Gea T., Artola A., Sánchez A., 2004, Composting of de-inking sludge from the recycled paper manufacturing industry, *Bioresource Technology*, 96, 1161-1167.
- Genç N., Arhan Y., Dağışan L., 1997, Aritma Çamurlarının Talaş İle Birlikte Kapalı Kap İçinde Kompostlanması, III. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi Programı, Biyologlar Derneği, Kırşehir.
- Gökçe F.G., Yalçın N., Çakır G., Sümer B., 2001, Aritma çamurlarının değerlendirilmesinde ekonomik yöntem, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 54100, Sakarya.
- Hamoda M.F., Abu Qdais H.A., Newham J., 1998, Evaluation of municipal solid waste composting kinetics, *Resources, Conservation and Recycling* 23, 209-223.
- Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Cherif A., Cherif M., Boudabous A., 2001, Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 80, 217-225.
- İpek U., 2001, Aritma çamuru ile bazı atıkların aerobik ve anaerobik kompostlanabilirliği, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- İpekoğlu (Batur) A.N., 1990, *Katı Atıkların Kompostlama Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Katı Atık Tanımı, Toplanması ve Uzaklaştırılması, Kurs Notları*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991, T.C. Çevre Bakanlığı 20814 Sayılı Resmi Gazete.
- Korner I., Stegmann R., 1998, Influence of biowaste composition and composting parameters on the nitrogen dynamics during composting and on nitrogen contents in composts, *Acta Horti*, 469, 97-109.

- Kraus P., Grammel U., 1992, <http://compost.css.cornell.edu/Brinton.pdf>.
- Külcü R., Topkaya B., 2001, Türkiye ve Avrupa Birliği ülkelerinde kompost kalite kriterleri, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Anabilimdalı, 07070, Antalya.
- Larsen K.L., McCartney D.M., 2000, Effect of C:N ratio on microbial activity and N retention: bench-scale study using pulp and paper biosolids, *Compost Sci. Util.* 8, 147-159.
- Marstorp H., 1996, Influence of soluble carbohydrates, free amino acids and protein content on the decomposition of *Lolium multiflorum* shoots, *Biol. Fertil. Soils* 21, 257-263.
- Martins O., Dewes T., 1992, Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes, *Bioresource Technology*, 42, 103-111.
- McGuckin R.L., Eiteman M.A., Das K., 1999, Pressure drop through raw food waste compost containing synthetic bulking agents, *J. Agric. Enging. Res.*, 72, 375-384.
- Meenambal T., Uma R.N., Saravannan S., 2003, Study on biodegradation of fruit waste aerobic composting, Department of Geography, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University, Pages 441-450.
- Michel F.C., Reddy C.A., 1998, Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production and compost quality in bench-scale reactors, *Compost Sci. Util.* 6 (4), 6-14.
- Muslu Y., 1985, *Su Temini ve Çevre Sağlığı*. Cilt III, İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 1314.
- Pietro M., Paola C., 2003, Thermal analysis for the evaluation of the organic matter evolution during municipal solid waste aerobic composting process, *Thermochimica Acta* 413, 209-214.
- Raviv M., Oka Y., Katan J., Hadar Y., Yogev A., Medina S., Krasnovsky A., Ziadna H., 2004, High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops, *Bioresource Technology* 96, 419-427.
- Robin P., Hacala S., Paullat J.M., 2002, Heat partition during composting process of cattle manure, *Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, France*.
- Sesay A.A., Lasaridi K., Stentiford E., Budd T., 1997, Controlled composting of paper pulp sludge using the aerated static pile method. *Compost Sci. Util.*, 5, 1, 82-96.
- Sharma V.K., Canditelli M., Fortuna F. and Cornacchia G., 1996, Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting, ENEA Research Centre, Trisaia, Department of Environment, Resource, Conservation and Recycling 23, 209-223.
- SSSA Soil Science Society of America, 1996, *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series, USA.

- Stelmachowski M., Jastrzebska M., and Zarzycki R., 2003, In-Vessel Composting For Utilizing Of Municipal Sewage-Sludge, *Applied Energy* 75, 249-256.
- Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S.A., 1993, *Integrated Solid Waste Management*, Mc-Graw-Hill, International Editions, Civil Engineering Series.
- Tiquia S.M., Tam N.F.Y., Hodgkiss I.J., 1998, *Salmonella* elimination during composting of spent pig litter. *Bioresource Tech.*, 63, 193-196.
- Tiquia S.M., Tam N.F.Y., 2000, Co-composting of spent pig litter and sludge with forced-aeration. *Bioresource Tech.*, 72, 1, 1-7.
- Tiquia S.M., Tam N.F.Y., 2002, Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles, *Process Biochemistry*, 37, 869-880.
- Tisdale S., Nelson W.L., Beaton J.D., Havlin J.L., 1993, *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th ed., Macmillan, New York.
- Vallini G., Bertoldi M., Pera A., 1983, The biology of composting : A review *Waste Manage. Res.* 1: 157-176.
- Vuorinen A.H., Saharinen M.H., 1998, Effects of conditions on composting efficiency and nitrogen immobilization during composting of manure in a drum composting, *Hortic.* 469, 89-95.
- WHO, 1981, İstanbul Metropolitan Alanı Katı Atık Projesi.
- Zheljzkov V.D., Nielson N.E., 1996, Effect of heavy metals on peppermint and cornmint. *Plant Soil*, 178, 59-66.

EKLER

EK-I: Kompostlama esnasında materyalin önemli parametre değerleri

Zaman (gün)	Nem (%)	pH	İletkenlik (μ S/cm)	UKM (%)	Karbon (%)	Azot (%)	C/N	Selüloz (%)
Başl.	52,73	6,12	504	92,07	51,15	1,72	29,73	24,4
6	48,93	7,03	594	91,24	50,68	2,00	25,34	30,0
8	51,59	7,81	620	91,05	50,58	1,79	28,26	38,5
10	49,68	8,15	587	90,30	50,17	1,80	27,87	37,3
12	52,70	8,32	580	89,97	49,98	1,85	27,02	36,2
14	51,25	8,42	656	89,63	49,79	1,81	27,51	31,6
16	50,20	8,22	718	89,37	49,65	2,10	23,71	31,8
18	52,94	8,26	677	88,96	49,42	2,12	23,31	29,7
20	52,68	8,73	675	88,63	49,24	2,05	24,02	28,5
22	52,82	8,33	708	88,44	49,13	1,97	24,94	28,3
24	50,79	8,55	682	88,24	49,02	2,02	24,27	32,3
26	49,12	8,48	644	88,13	48,96	2,21	22,15	34,2

EK-II: Kompostlama esnasında materyalin parçalanma hız sabitleri

Zaman (gün)	Materyal (kg)	UKM (%)	UKM (kg)	C/C ₀	ln(C/C ₀)
Başl.	6,88	92,07	6,33	1	0
6	6,58	91,24	6,00	0,948	-0,053
8	6,45	91,05	5,87	0,927	-0,076
10	6,05	90,30	5,46	0,863	-0,147
12	5,58	89,97	5,02	0,793	-0,232
14	5,20	89,63	4,66	0,736	-0,307
16	4,80	89,37	4,29	0,678	-0,389
18	4,47	88,96	3,98	0,629	-0,464
20	4,15	88,63	3,68	0,581	-0,543
22	3,82	88,44	3,38	0,534	-0,627
24	3,52	88,24	3,11	0,491	-0,711
26	2,93	88,13	2,58	0,408	-0,896
$\ln(C/C_0) = -0,0354 t$ $R^2 = 0,944$					
$k = 0,0354 \text{ gün}^{-1}$					

ÖZGEÇMİŞ

03.04.1981 tarihinde Elazığ'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Elazığ'da tamamladım. 1998 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazandım. 2002 yılında bu bölümden mezun oldum. 2003'de Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya başladım.