



**FARKLI TİPTE KATKI MADDELERİ İLE ARITMA  
ÇAMURLARININ KOMPOSTLANABİLİRLİĞİ**

**YUSUF ATALAY**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TİPTE KATKI MADDELERİ İLE ARITMA ÇAMURLARININ  
KOMPOSTLANABİLİRLİĞİ**

**Yusuf ATALAY**

Yrd. Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA – 2016

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Yusuf ATALAY tarafından hazırlanan "farklı tipte katkı maddeleri ile arıtma çamurlarının kompostlanabilirliği" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Selnur Uçaroğlu

**Başkan:** Yrd. Doç. Dr. Selnur Uçaroğlu  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye :** Prof. Dr. Ufuk Alkan  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

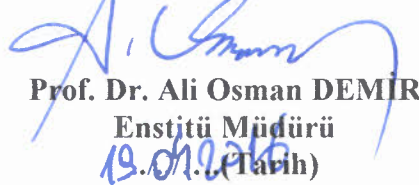
**Üye :** Yrd. Doç. Dr. Aşkın Birgül  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

  
İmza

  
İmza

  
İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

  
**Prof. Dr. Ali Osman DEMİR**  
Enstitü Müdürü  
19.07.2016 (Tarih)

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

11.04.2016

İmza

Yusuf ATALAY

## ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI TİPTE KATKI MADDELERİ İLE ARITMA ÇAMURLARININ  
KOMPOSTLANABİLİRLİĞİ

**Yusuf ATALAY**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Selnur UÇAROĞLU

Bu çalışmada, gıda endüstrisi atıksu arıtma çamurlarının (AÇ) geri kazanımı ve bertarafı için farklı tipte katkı maddeleri (BA) kullanılarak kompostlanabilirliği ve bu katkı maddelerinin kompostlama prosesine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Gıda endüstrisi arıtma çamuru ile mısır koçanı(MK), buğday saman(S), ayçiçeği sapı(AS), yer fıstığı kabuğu(FK), çınar yaprağı(ÇY), talaş(T), pamuk kozası(PK) ve pirinç kabuğu(P) 21 gün boyunca 30 litrelik reaktörlerde karıştırılarak katkı maddelerinin kompost verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Kompost denemelerinde nemli ağırlık bazında % 60 AÇ ile % 40 katkı maddesi ve % 80 AÇ ile % 20 katkı maddesi karışımı oranları kullanılmıştır. Proses süresince sıcaklık, nem içeriği, uçucu katı madde (UKM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), serbest hava alanı (FAS), karbon/azot oranı (C/N), toplam Kjeldahl azotu (TKN), amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N) ve nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N) parametreleri izlenmiştir. Kullanılan katkı maddelerinden mısır koçanı, ayçiçeği sapı, yer fıstığı kabuğu ve pamuk kozası ile arıtma çamuru kompostlanmasında proses verimini önemli düzeyde arttırdığı ve iyi bir kompostun elde edilmesi için kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir. Buğday samanı, pirinç kabuğu, talaş ve çınar yaprağının ise daha farklı oranlarda ve kolay parçalanabilir karbon içeren kosubstrat ilavesi ile kullanılabilmesi mümkün olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Arıtma Çamuru, Gıda Endüstrisi, Katkı Maddeleri, Kompostlama.

**2016, vii + 107 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **COMPOSTING OF WASTEWATER TREATMENT SLUDGE WITH DIFFERENT BULKING AGENTS**

**Yusuf ATALAY**

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

**Supervisor:** Asst. Prof. Selnur UÇAROĞLU

The aim of this study is to determine the composting of food industry wastewater treatment sludge for recovery and disposal by using different types of bulking agent and the impact of these bulking agents (BA) to composting. The food industry sludge mixed with corn cob (CC), wheat straw (WS), sunflower stalks (SS), peanut shell (PS), plane leave (PL), sawdust (S), boll (B) and rice hull (RH) for 21 days in 30 L reactors and the effect of these bulking agent to compost efficiency was investigated. The ratio of bulking agents were 60% WS+ 40% BA and 80% WS+ 20% BA in moist weight. Temperature, moisture content, volatile solids (VS), pH, conductivity (EC), free air space (FAS), C/N Ratio, total kjheldal nitrogen (TKN), ammonium nitrogen (NH<sub>4</sub>-N) and nitrate (NO<sub>3</sub>-N) parameteres were monitored during composting. It has been detemined that the usage of corn cob, sunflower stalks, peanut shell and boll with sewage sludge increase the level of compost efficiency and it is found that the usage of these bulking agents suitable to obtain a good compost. The usage of wheat straw, rice hull sawdust and the plane leaves is thought to be possible in different rates and by addition of with co-substrat containing easy degradable carbon.

**Key words:** Wastewater Treatment Sludge, Food Industry, Bulking Agents, Composting.

**2016, vii + 107 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu bitirme çalışmasının yapılması esnasında bana yardımcı olan kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU'na, her türlü konuda yardımını esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA'ya ve Prof. Dr. Ufuk ALKAN'a, bu çalışmada birlikte çalıştığım Abdullah ÇATALTAŞ'a, okul içinde ve okul dışında desteklerini esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Arş. Gör. Özge SİVRİOĞLU, İbrahim ATAŞ ve Erman ÖZTÜRK'e, yüksek lisansa başlamama sebep olan Yasemin ÖZLİMAN'a, her zaman yanımda olan ve her türlü desteklerini esirgemeyen babam Hüseyin ATALAY ve annem Hanım ATALAY'a, hayatım boyunca hep arkamda duran ve bugünlere gelmemde en büyük katkısı olan canım ablam Hülya ATALAY ELİBOL'a, üniversite hayatım boyunca her türlü desteği aldığım ev arkadaşlarım Serhat YILMAZ ve Semih ERGÜL'e, materyal bulmamda yardımcı olan Cüneyt AKYÜZ ve Ahmet AKYÜZ'e, deneysel çalışmalarımda yardımcı olan kıymetli arkadaşlarım Abdullah HOCAOĞLU, Mutlu ŞANLI ve Mustafa KÖSE'ye, lisans öğrenimimde desteğini her zaman gördüğüm Zeki ARGUÇ'a, hayatımda çok önemli yeri olan kardeşim Eren ÇELİK'e, varlığıyla bana en büyük desteği veren eşim Nurcan ATALAY'a ve yardımı olup da burada sayamadığım herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf ATALAY

11.04.2016

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. ARITMA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANMASI</b> .....	2
2.1. Arıtma Çamurları .....	2
2.1.1 Arıtma çamurlarının tanımı.....	2
2.1.2. Arıtma çamuru kaynakları .....	3
2.1.2.1. Ön çökeltim çamuru.....	3
2.1.2.2. İkincil arıtma çamuru .....	4
2.1.2.3. Fiziksel-Kimyasal arıtma çamuru .....	4
2.1.3. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri .....	4
2.1.3.1. Stabilizasyon .....	5
2.1.3.2. Şartlandırma .....	5
2.1.3.3. Yoğunlaştırma .....	6
2.1.3.4. Susuzlaştırma .....	7
2.1.3.5. Nihai bertaraf .....	8
2.2. Kompostlama .....	8
2.2.1. Kompostun tanımı ve tarihçesi.....	8
2.2.2. Aerobik kompostlama ve mekanizması .....	10
2.2.3. Kompostlaştırma işlemine etki eden faktörler .....	15
2.2.3.1. Tane çapı .....	16
2.2.3.2. C/N oranı.....	16
2.2.3.3. Mikrobiyal özellikler.....	18
2.2.3.4. Nem içeriği.....	19
2.2.3.5. Sıcaklık.....	20
2.2.3.6. pH.....	21
2.2.3.7. Havalandırma (Oksijen).....	22
2.2.3.8. Katkı maddeleri.....	22
2.2.3.9. Zehirli ve zararlı maddeler .....	23
2.2.3.10. Süre .....	23
2.2.3.11. Porozite ve serbest hava boşluğu .....	24
2.2.4. Kompost mikrobiyolojisi .....	25
2.2.5. Kompostlama sistemleri.....	29
2.2.5.1. Açık kompostlama sistemleri.....	29
2.2.5.2. Reaktör kompostlama sistemleri.....	31
2.2.6. Kompost kalite kriterleri ve yasal mevzuat.....	34
2.2.7. Kompostun kullanım alanları.....	37
2.2.8. Arıtma çamurunun kompostlanmasıyla ilgili bilimsel çalışmalar .....	38
<b>3. MATERYAL METOD</b> .....	41
3.1. Kompost Malzemeleri ve Deney Düzenegi .....	41
3.2. Yöntem.....	45
3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması .....	45



3.2.2. Analiz yöntemleri.....	48
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	49
4.1. Kompost Ham Maddelerinin ve Başlangıç Kompost Karışımlarının Karakterizasyonu.....	49
4.2 Sıcaklık Değişimleri.....	50
4.3. Karbon/Azot oranı.....	56
4.4. Nem.....	65
4.5. Kuru Madde Kayıpları .....	67
4.6. Karbon Azot Kayıpları.....	69
4.7. pH.....	72
4.8. Elektriksel İletkenlik(EC) .....	74
4.9. Serbest Hava Boşluğu .....	76
4.10. Stabilite ve Olgunluk .....	77
4.11. Amonyum / Nitrat Oranı ( Nitrifikasyon İndeksi ) .....	79
<b>5. SONUÇ</b> .....	83
<b>KAYNAKLAR</b> .....	86
<b>EKLER</b> .....	93
EK 1 Kompost Tebliği .....	93
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	107

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 2.1.</b> Çamur Bertarafında Tatbik Edilen Proses Alternatifleri .....	5
<b>Şekil 2.2.</b> Bir kompost sıralı yığımında veya yığında doğal hava hareketi .....	10
<b>Şekil 2.3.</b> Kompostun sıcaklık ve zamanla ilişkisi .....	13
<b>Şekil 2.4.</b> Kompost Oluşum Mekanizması (Biddlestone 1987, Erdin 2005).....	14
<b>Şekil 2.5.</b> Kompost Oluşumunda Sıcaklık ve pH Değişimi.....	15
<b>Şekil 2.6.</b> Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki.....	25
<b>Şekil 2.7.</b> Yığın kompostlanma süresince mikrobiyal popülasyon değişimi.....	26
<b>Şekil 2.8.</b> Psikrofil, mezofilik ve termofilik mikroorganizmaların sıcaklığa bağlı olarak oluşum zamanlar .....	27
<b>Şekil 3.1.</b> Deney düzeneğinde kullanılan kesikli aerobik kompost reaktörlerinin şematik görünümü .....	43
<b>Şekil 3.2</b> Deneyde kullanılan kesikli aerobik kompost reaktörlerin görünümü.....	44
<b>Şekil 3.3</b> Deneyde kullanılan kesikli aerobik reaktörler ve akvaryum pompaları.....	44
<b>Şekil 3.4</b> Kompost karışımlarının hazırlanması.....	46
<b>Şekil 3.5</b> Hazırlanmış kompost karışımı.....	46
<b>Şekil 4.1.</b> Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları .....	51
<b>Şekil 4.2</b> Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri .....	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Çamur proseslerindeki başlıca yoğunlaştırma teknikleri.....	7
Çizelge 2.2. Mikrobiyal Ayrıştırma Sıcaklık Bölgeleri .....	12
Çizelge 2.3. Bazı kaynaklarda öngörülen optimum C/N oranları.....	17
Çizelge 2.4. Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri .....	21
Çizelge 2.5. Seçilen madde-metot kombinasyonlarına uygun kompostlama süreleri ....	24
Çizelge 2.6 Kompostta bulunan patojenler .....	26
Çizelge 2.7. Ulusal Standartlarda Verilen Kompost Kalite Analiz Sıklıkları.....	35
Çizelge 2.8 Bazı Kompost Standartlarında Ağır Metal Limitleri (mg/kg) .....	36
Çizelge 3.1. Deneylerde Kullanılan Materyallerin Karakteristiği .....	42
Çizelge 3.2 Kompost karışımlarının içerikleri ve oranları.....	47
Çizelge 4.1. Kompost denemelere ait veriler .....	50
Çizelge 4.2 Kompost reaktörlerindeki maksimum sıcaklık değerleri.....	56
Çizelge 4.3. Kompost reaktörlerindeki organik karbon (OC), toplam azot (TN) ve Karbon/Azot (C/N) oranları .....	58
Çizelge 4.4 Reaktörlerdeki nem ve katı madde miktarları .....	66
Çizelge 4.5 Reaktörlerdeki kütle miktarları .....	68
Çizelge 4.6 Reaktörlere ait başlangıç ve bitiş % C değerleri ile C kayıpları.....	70
Çizelge 4.7 Reaktörlere ait başlangıç ve bitiş % N değerleri ile N kayıpları .....	71
Çizelge 4.8 Reaktörlerdeki pH değerleri .....	73
Çizelge 4.9 Reaktörlerdeki EC değerleri .....	74
Çizelge 4.10 Reaktörlerdeki FAS değerleri .....	77
Çizelge 4.11 $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerleri.....	78
Çizelge 4.12 Deneylere ait amonyum nitrat değerleri .....	80

## 1.GİRİŞ

Atıksu arıtma çamurları gün geçtikçe önemi hızla artan yeni bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilir tarım ve çevre düşünüldüğünde bu bileşenlerin yaşam kalitesine artı yönde bir etki yapabilmesi için kaynakları yok etmeden, kaynakların geri dönüşümlü olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Burada en önemli husus, tarımın ilerlemesinin beraberinde tüm doğal kaynakları tüketmemesi için, doğadaki en temel kural olan madde akışı döngüsünün, dengeli bir şekilde işletilmesidir. Bu amaca yönelik olarak gerek sanayi atıklarının, gerekse evsel ve tarımsal atıkların yeniden değerlendirilmesi için kullanılacak yöntemlerden birisi organik atıklardan kompost üretilmesidir. Kompostlama, arıtma çamurlarını çevresel açıdan uygun bir forma dönüştürerek toprak iyileştiricisi olarak toprak verimliliğini sağlayan prostestir.

Toprakta bitkilerin ihtiyaç duyduğu gübreyi daha ekonomik olarak karşılayabilmesi arıtma çamurlarının tarımda uygulanmasını cazip kılmaktadır. Arıtma çamurlarının yüksek organik madde içeriği (%20-40) ve yapısındaki N, P, K, Fe, Cu, Mn, Zn gibi makro mikro besin maddelerinin zenginliği, bu çamurun kullanımının tarıma yönelmesini düşündüren temel etkidir. Avrupa ülkelerinde arıtma çamurlarının tarımda kullanılma oranının %10-80 arasında olması bu materyalin önemli oranda tarım alanlarında değerlendirildiğini göstermektedir (Aycan 2011).

Arıtma çamurları saydığımız yararlı özelliklerinin yanı sıra çevreye zararlı olabilecek potansiyel toksik maddeleri ve patojen mikroorganizmaları da içeriğinde barındırır. Bu durum arıtma çamurlarının gübre olarak direk toprağa verilmesini sınırlandırmaktadır.

Bu çalışmada atık minimizasyonunda atık kavramını ortadan kaldıran “beşikten beşiğe” yaklaşımı ile arıtma çamurlarının farklı tipte katkı maddeleriyle (BA) kompostlanabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla gıda endüstrisi arıtma çamuru (AÇ) ile mısır koçanı (MK), saman (S), ayçiçeği sapı (AS), yer fıstığı kabuğu (FK), çınar yaprağı (ÇY), talaş (T), pamuk kozası (PK) ve pirinç kabuğu (P) 21 gün boyunca 30 litrelik reaktörlerde nemli ağırlıklar esas alınarak %60AÇ-%40BA ve %80AÇ-%20BA karıştırılarak BA’lerinin kompost verimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. ARITMA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANMASI

### 2.1. Arıtma Çamurları

#### 2.1.1 Arıtma çamurlarının tanımı

Atıksu arıtımı sonucu oluşan, uygulanan arıtma prosesine bağlı olarak ağırlıkça %0.25 ile %12 katı madde içeren atıklar arıtma çamuru olarak adlandırılır (Metcalf&Eddy 2004). Çamur üretiminin kişi başına günde ortalama 40–60gr kuru madde olduğu belirtilir (Caballero 1997). Arıtma çamurları, çıkış kaynaklarına göre üç başlıkta incelenebilir:

- Yerel yönetimlerce işletilen atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; sadece evsel atıksu veya evsel, endüstriyel ve yağmur sularının arıtıldığı atıksu arıtma tesisleri,
- Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları;
- İçme suyu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; içme sularının kullanımdan önce arıtılması zorunludur. İçme suyu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarı atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarına göre büyük ölçüde düşüktür (Aydın 2004).

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurun miktarı ve karakteristikleri atıksuyun bileşimine, kullanılan atıksu arıtımının tipine ve daha sonra çamura uygulanan arıtma tipine bağlıdır. Tesise giren atıksu bileşimindeki değişimlerden ve arıtma proseslerindeki değişimlerden dolayı üretilen çamurun karakteristikleri aynı tesis içinde bile yıllık, mevsimlik ve hatta günlük olarak değişebilmektedir (Filibeli 2002).

Çamur problemi komplekstir, çünkü;

- Arıtılmamış atıksu içindeki önemli miktarlarda bulunan ve ona kokulu karakterini veren maddeleri içerir.
- Biyolojik olarak oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamur, ham atıksu içerisindeki organik maddelerin bileşimi halindedir.
- Çamurun sadece küçük bir kısmı katı madde, önemli bir kısmı sudur, bu nedenle büyük hacimler işgal eder (Filibeli 1998).

Arıtma tipine ve amacına göre, arıtma çamurlarının cinsleri farklılık gösterir. Bunlar;

- Çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamur,
- İçme suyu arıtma işlemleri sonucu oluşan inorganik çamurlar, olarak sıralanabilir (Filibeli 1998).

Arıtma çamurlarının yapısı, arıtılan sudaki temel kirletici yüklere ve tesiste uygulanan teknik koşullara bağlıdır. Atıksu arıtımı, suda bulunabilecek kirleticiler üzerine yoğunlaşmaktadır ve bu nedenle arıtma çamurları askıda veya çözünmüş çok geniş çeşitlilikte maddeler içermektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanı sıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır (EEA 1998).

Bu çamurlar, çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma prosesleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan alümin çamurları gibi arıtımın tipine ve amacına bağlı olarakta sınıflandırılabilir (Aydın 2004).

### **2.1.2. Arıtma çamuru kaynakları**

Evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların alıcı ortamlara doğrudan deşarj edilmesi halinde doğal çevremizde oluşabilecek olumsuz etkileri azaltmak için tasarımılanan tesisler atıksu arıtma tesisleridir (Filibeli 1996).

Arıtma tesislerine gelen atıksu özellikleri büyük farklılıklar göstermektedir. Atıksu arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurları üç temel grupta toplamak mümkündür.

#### **2.1.2.1. Ön çökeltim çamuru**

En yaygın olarak kullanılan yöntem ön arıtmadır ve hala bazı büyük şehirlerde uygulanan tek arıtma metodudur. Ön arıtmada temel prensip çökebilir haldeki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasıdır. Katı haldeki bu maddeler ızgaralar, kum tutucular ve ön çökeltim havuzları vasıtasıyla %40-50 oranında giderilmektedir. Bir kısım BOİ de çökebilen katı maddelerle giderilebilmektedir. Çökeltim havuzu tabanında

toplanan maddeler ham çökeltim çamuru olarak isimlendirilir. Ham çökeltim çamurunun su içeriği oldukça yüksektir. Bu çamur gri-kahve renkli, kötü kokulu olup genellikle çürütülür. Anaerobik çürütme ile %50 uçucu madde giderimi sağlanır, koku azaltılır ve önemli oranda patojen giderilir. Çürütülmüş çamurlar doğrudan araziye verilebilir ya da kurutma yataklarında kurutulduktan sonra veya mekanik olarak suyu alındıktan sonra nihai bertarafı yapılabilir (Vesilind 1979, Filibeli 1996).

### **2.1.2.2. İkincil arıtma çamuru**

İkincil arıtmanın temel amacı BOİ giderimidir. En yaygın kullanılan ikincil arıtma tesisleri aktif çamur sistemleridir. Oksijene ihtiyacı olan maddeleri parçalayan biyomas, sıvı içinde süspansiyon halinde bulunur. Biyomas kültürü son çökeltim havuzunda çökeltmek zorundadır ve bir kısmı yeniden kullanılmak üzere tesis başına gönderilir. Aktif çamur sisteminde oluşan mikroorganizma miktarı sistem için gerekli olan miktarı aşarsa, fazla katı maddelerin sistemden atılması gerekir. Bu materyal atık aktif çamur olarak bilinir. Aktif çamur genellikle kahverengi, yumaksı görünümündedir (Vesilind 1979).

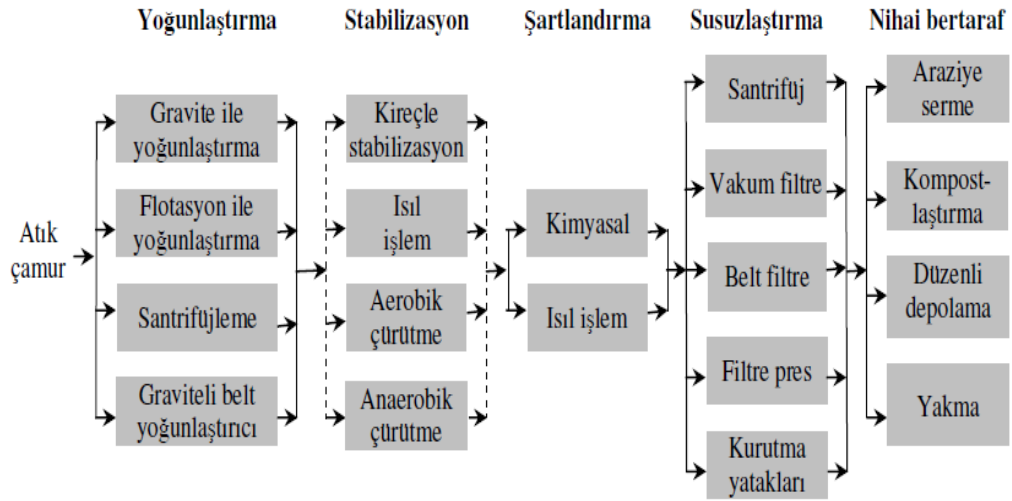
### **2.1.2.3. Fiziksel-Kimyasal arıtma çamuru**

Atıksularda BOİ giderimi kadar azot, fosfor gibi besin maddelerinin giderimi de oldukça önemli bir konudur. Bu açıdan fiziksel-kimyasal arıtma işlemleri önem kazanmaktadır. Arıtma tesislerinde pıhtılaştırma ve yumaklaştırma için yaygın olarak kullanılan alüminyum sülfat, atık alüm çamuru olarak bilinen çamuru oluşturur. İçme suları arıtımı sonucu oluşan alüm çamurunun sudan giderilen maddelerin çeşidine bağlı olarak renginde değişiklik gözlenir. Genellikle gri-sarı renkte ve kokusuzdur. Kurutma yataklarında suyunu almak zordur (Vesilind 1979, Filibeli 1996).

### **2.1.3. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri**

Atıksu arıtma tesislerinden açığa çıkan çamurun arıtılması ve depolanması için uygulanacak yöntemler ham atıksuyun karakterizasyonuna, arıtma proseslerine,

kullanılan kimyasallara, yönetmeliklere ve diğer pekçok özel koşullara bağlıdır. Ayrıca, çamur bertaraf sisteminin maliyeti ve işletme gerekleri atıksu arıtma tesisine yakın hatta belki de daha fazla olabilmektedir. Özellikle tehlikeli arıtma çamurları tehlikeli atık sınıfına giren tesislerde bu atıkların normal atıklarla karıştırılmadan özel yollarla bertaraf edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.1.'de çamur bertarafında tatbik edilen proses alternatifleri verilmiştir.



**Şekil 2.1.** Çamur Bertarafında Tatbik Edilen Proses Alternatifleri (Metcalf ve Eddy,1991)

### 2.1.3.1. Stabilizasyon

Çamurun stabilizasyonu, özellikle hacim azaltılması ve yan ürün olarak gaz üretiminde etkilidir. Özellikle istenmeyen koşulların önlenmesi için çamurun kokuşmasının engellenmesi gerekmektedir (Hararcı 2005).

### 2.1.3.2. Şartlandırma

Çamurun suyunun alınmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir prosestir. Kimyasal şartlandırma ve termal şartlandırma en yaygın yöntemlerdir. Kimyasal şartlandırma, tuzlar, kireç veya organik bileşikler kullanılarak yapılmaktadır. Termal şartlandırma ise, 30 ile 60 dakika boyunca 150-200 °C de çamurun ısıtılması ile uygulanmaktadır. Isı, susuzlaştırma işlemine yardımcı olur ve çamurun fiziksel yapısını değiştirir (Aydın



2004). Elütrasyon da kimyasal şartlandırıcı ihtiyacının azaltılması için kullanılan bir yıkama prosesidir. Kimyasal şartlandırmada kullanılan kimyasal maddelerin uygun dozajı laboratuvar testleriyle belirlenmelidir (Hararcı 2005).

### **2.1.3.3. Yoğunlaştırma**

Sistemde oluşan çamuru daha konsantre hale getirmek, dolayısıyla daha küçük hacimdeki çamurla uğraşmak ve daha ekonomik çürütücü tankı elde etmek için çamur yoğunlaştırma sistemleri kullanılır (Gökal 2014). Yoğunlaştırma su içeriğinin azaltılması için ilk adımdır. Çamurlar %10 ile %30 oranında kuru madde içermektedir. Yoğunlaştırmada yerçekimi, bant filtreler ve çözünmüş hava ile yüzdürme gibi teknikler kullanılmaktadır (Aydın 2004).

Yoğunlaştırma sonucunda katı madde konsantrasyonu 25 kat artabilir. Bu sayede Yoğunlaşan çamurun hacmi azaldığından susuzlaştırma maliyeti azaltılabilir. Çamur yoğunlaştırma prosesinin projelendirmesinde çamurun tipi, yoğunlaştırılacak çamurun konsantrasyonu, stabilitesi, kimyasal arıtma ihtiyacı, konsantre çamurun pompalanması, ilk yatırım ve işletme maliyeti, kesikli veya sürekli bir sistem olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Yoğunlaştırma da özellikle ağırlıklı çökeltme iyi sonuçlar vermektedir. Çökeltimin hızlandırılması için kimyasal koagülantlar ilave edilebilir (Gökal 2014). Tipik çamur yoğunlaştırma yöntemleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Çamur proseslerindeki başlıca yoğunlaştırma teknikleri (Metcalf ve Eddy 1991)

Metot	Çamur Tipi	Kullanma sıklığı ve verim
Graviteli	Ham birincil çamur	Çok iyi sonuç alınır. Hidrosiklon kum tutucu ile kullanılır.
Graviteli	Ham birincil ve atık çamur	Sık kullanılır. Küçük sistemlerde çamur konsantrasyonu %4-6 aralığında elde edilir. Büyük sistemde sonuçlar sınırlıdır.
Graviteli	Atık aktif çamur	Nadiren kullanılır. Düşük katı konsantrasyonları elde edilir(%2-3).
Çözülmüş hava ile yüzdürme	Ham birincil ve atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. Sonuçlar graviteli yoğunlaştırıcıya benzer.
Çözülmüş hava ile yüzdürme	Atık aktif çamur	Yaygın kullanılır. İyi sonuç verir (%3,5-5 katı madde konsantrasyonu).
Sepet santrifüj	Atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. İyi sonuç verir (%8-10 katı madde konsantrasyonu).
Helezon küreyicili santrifüj	Atık aktif çamur	Kullanımı artmakta. İyi sonuç verir (%4-6 katı madde konsantrasyonu).
Graviteli bant filtre	Atık aktif çamur	Kullanımı artmakta. İyi sonuç verir (%3-6 katı madde konsantrasyonu).
Döner elekli yoğunlaştırıcı	Atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. İyi sonuç verir (%5-9 katı madde konsantrasyonu).

#### 2.1.3.4. Susuzlaştırma

Arıtma tesisinden çıkan çamurun daha kolay uzaklaştırılabilmesi için sıvı halinden çıkıp katı hale dönmesi gerekmektedir. Çamurun su içeriğinin azaltılması için uygulanan fiziksel bir işlem olan çamur susuzlaştırma, yoğunlaştırma işlemi sonrasında uygulanır. Çamur susuzlaştırma, çamurun katı madde miktarının artırılmasıyla, arıtma ünitelerinde kullanılacak ekipmanın kapasite ihtiyacını azaltmaktadır. Ayrıca çamurun nihai bertaraf

sahasına taşınma maliyetinide önemli ölçüde azaltmaktadır. Buda bize gerek ilk yatırım maliyeti gerekse işletme maliyeti açısından pozitif fayda sağlar.

Suyu içeriği azaltılmış çamur daha kolay işlenir. Çamurdaki suyun uzaklaştırılması vakum filtrasyonu, santrifüjleme, filtre-pres ve belt filtre gibi mekanik susuzlaştırma yöntemlerine tabi tutulur.

### **2.1.3.5. Nihai bertaraf**

Katı atık yönetiminin en önemli unsurlarından birisi de geri kazanılması mümkün olmayan katı atıkların insan ve çevre sağlığına zarar vermeden bertaraf edilmesidir. Katı atıkların yönetiminde geri kazanmadan sonra yaygın olarak kullanılan en önemli üç yöntem; kompostlaştırma, yakma ve düzenli veya düzensiz depolamadır (Sağdıç 2010).

## **2.2. Kompostlama**

### **2.2.1. Kompostun tanımı ve tarihçesi**

Kompost biyokimyasal olarak ayrışabilir çok çeşitli organik maddelerin organizmalar tarafından stabilize edilmiş, mineralize olmuş ürünleridir. Kompostlama, mikroorganizma adı verilen ve çoğunluğu gözle görülmeyen canlıların, ortamın oksijenini kullanarak atık içerisindeki organik maddeleri biyokimyasal yollarla ayrıştırmasıdır (Erdin 1980).

Kompostlama; organik maddelerin aerobik veya anaerobik koşullarda mikroorganizmalar vasıtası ile kararlı hale getirildiği bir işlemdir. Kompostlamada organik maddeler ayrışırken, mikroorganizmalar oksijeni tüketirler. Aktif kompostlama esnasında fazla miktarda ısı ve karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) üretilir ve su buharı havaya karışır (Yüksel 2006).

Kompostlama ve elde edilen kompostun tarımda kullanılması, tarımın tarihiyle paralel olduğu düşünülebilir. MÖ 3000 yıllarında Çin imparatoru Huan, sarayının güneyindeki hayvan ahırlarının yakınındaki gübreliliğin ortamdaki uzaklaştırılması için mühendislerine verdiği talimat ile nehrin suyu gübreliliğe doğru yönelttiler hayvan gübreleri sel sularına kapılması sonucu vadinin aşağısındaki ovada meydana getirdiği verim artışı

üzerine bitkilerin hayvan gübresi ile gübrenmesi gerektiği fikri ortaya çıkar. Bu arada bilimsel bir başarı da sağlanmış olur. Çin'in nehir deltalarında kompost uygulamalarıyla yüksek nüfusa rağmen toprak verimliliği 4000 yıl boyunca sürdürülebilmektedir. Batı'da komposta ilgi Amerika Tarım Bölümü'nden Prof. F.H. King'in Uzak Doğu'ya sürekli ziyaretlerinden oluşan birikimini kitaplaştırmasıyla başladı. Daha sonra İngiliz Sir Albert Howard bu kitaptan yola çıkarak İndore metodunu geliştirdi. İyi bir kompostun tek kaynaktan materyal yerine değişik organik atıkların karışımıyla elde edilebileceğini belirtti. 1930'larda İndore metodu dünyanın çeşitli yerlerinde endüstrileşme dönemine girdi. Organik gübrelerin ve özellikle ahır gübrelerinin kullanımı çok eskiye dayanır. Homer (M.Ö.800) Odysee'sinde ahır gübresinin ilk önce Helenler 'de kullanılmaya başladığını yazmıştır. Romalı ilk tarım yazarlarından Cato (M.Ö. 234-149) kuş gübresinin önemine işaret ederken ahır gübresinin çok dikkatle saklanması gerektiğini ileri sürmüştür (Kaçar 1994).

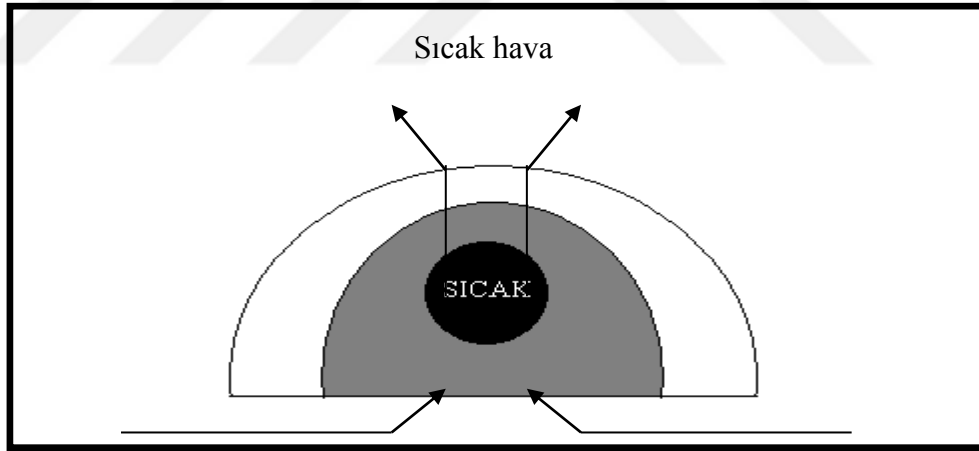
Gübre kullanımı ile ilgili son 40 yılda en az 30 değişik işleme metodu mutfak ve kanalizasyon atıklarının komposta dönüştürülmesinde kullanılmış ve Kaçar (1994)'ın belirttiğine göre Güney Amerika'da yaşayan yerliler deniz kuşlarının dışkısına (Guanaya) büyük önem vermişler ve bunları mısır, patates tarımında kullanmışlardır. Yakın tarih olarak, ABD kompost endüstrisinin en hızlı gelişen kısmı; kurumsal, ticari, endüstriyel organiklerin bir çeşitlenmesi veya yön değiştirmesidir ki; öncelikle deniz yiyeceklerini kapsayan besin ve besin oluşturma işlemi sırasındaki kalıntılar olmuştur.

Türkiye'de de kompost, ev, işyeri, esnaf ve sanayide, bahçede oluşan, mikroorganizmalar tarafından kolay ayrılan organik bileşiklerin ayrışma sonucunda oluşturduğu stabil mineralize olmuş üründür. Buna atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları da katılmaktadır. Ayrıca bir dizi yapı verici, ayrışmayı iyileştirici ve hızlandırıcı maddeler de ilave edilmektedir.

Kompostun oluşmasında biyoçöpün içinde bulunan azot ve karbonun birbirine oranı ayrışmada aktif rol alan mikroorganizmaların besin maddesi ihtiyaçlarını optimum bir şekilde karşılanması için çok önemlidir. Çeşitli biyoçöplerdeki bu oranı ideal karışımı oluşturmak veya oranı teknik olarak sağlamak açısından mutlaka bilmekte yarar vardır (Erdin 1992).

### 2.2.2. Aerobik kompostlama ve mekanizması

Aerobik kompostlama, organik maddelerin oksijenli ortamda biyolojik ayrışmasıdır. Ham maddeler önce karıştırılır ve kompostlama işleminin başlaması için ortama yeterli miktarda hava verilir. Mikroorganizmalar oksijeni çabucak harcarlar ve çökelmiş maddeler havayı gözenek boşluklarından dışarı atarlar. Ortamda ki oksijen azaldıkça aerobik bozunma yavaşlar ve eğer oksijen sağlanmazsa işlem durur. Ortama oksijen vermek için havalandırmanın sürekli yapılması gerekir. Havalandırma pasif hava değişimi (doğal ısı yayılımı ve difüzyon), veya basınçlı havalandırma (üfleyici/fan) ile yapılabilir. Kompostta mekanik karıştırma veya döndürme ile oksijen sağlanır ama bu oksijen hemen tüketildiğinden pasif veya basınçlı hava hareketi ile yeniden oksijen sağlanmalıdır. İyi bir havalandırma için döndürme gereklidir. Bu işlem ile yığımda ki gözenek boşlukları onarılır ve böylece hava yığının içinde kolayca hareket eder. Kompost yığınının havanın hareket edişi Şekil 2.2' te gösterilmiştir (Öztürk ve Bildik 2005).



**Şekil 2.2.** Bir kompost sıralı yığınının veya yığınının doğal hava hareketi

Kompostlama işlemi, nemli tutulan ve havalandırılan karışık organik atıklarda doğal olarak bulunan, kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Başlangıçta çoğunlukla bakteri olan bu organizmaların çoğalması sırasında, ısı, CO<sub>2</sub> ve su buharı açığa çıkar. Eğer ısının açığa çıkması, ısı kaybından hızlı ise, sıcaklık yükselir, ısıya karşı duyarlı organizmalar ölür ve ısıya karşı dayanıklı bakteriler çoğalır.

Ayrıştırma sırasında ısı (8-10 kcal/°C) ortamdan çok hızlı şekilde uzaklaştırılmamaktadır (Erdin 1981).

Kompostlamanın üç evresi; ilk mezofilik evre, termofilik evre ve iyileştirme (soğuma) evresi olarak adlandırılabilir. Kompostlamanın son ürünü, toprakta bitki ve hayvan kalıntılarına benzer biyolojik işlemlerle doğal olarak yapılan humusa oldukça benzeyen ve daha fazla parçalanamayan maddelerden oluşan organik bir kütledir. Filizlenen tohumlar için toksik olan amonyak ilk evrede üretilir ve soğuma evresinde uzaklaştırılır. Birinci aşamada mezofilik bakterilerle beraber aktinomisetler, mayalar ve diğer mantarlar; yağları, proteinleri ve karbonhidratları ayrıştırırlar. Protozoalar; bakteri ve mantarlarla beslenirler. Sıcaklık 30°C 'ye erişene kadar küf mantarları, bakteriler, protozoalar ve nematodlar aktif rol oynarlar. 30-40°C arasında aktinomisetler egemen olmaya başlarlar ve ortamdan topraksı koku meydana yayılır. Aktinomisetler asıl humuslaştırıcı organizmalar olarak bilinmektedir. Bunlar humik asidi çıkarmakta ve verimli kil-humus kompleksi oluşturmaktadırlar. Ayrıca aktinomisetler antibiyotik etki maddeleri üretmekte ve patojenlerin ölmesini sağlamaktadırlar. Sıcaklık 40-50°C 'ye ulaştığında kompostlamayı başlatan organizmaların hemen hemen tamamı ölür ve bunların yerini 70°C sıcaklığa kadar dayanabilen ve ısı üretebilen termofilik bakteriler alır. Ayrıca 40-50°C sıcaklıkta gelişen bakteri ve aktinomisetler katı atıkların içindeki zor parçalanabilir maddeleri ayrıştırmaktadırlar. Kompostun 60-70°C sıcaklığa ulaşan kısmında, birkaç sporun dışında temel olarak bütün patojenik organizmalar 1-2 saat içinde ölür. Termofilik bakteriler kendileri için mevcut besini tükettiklerinde ısı üretmeyi durdururlar ve kompost soğumaya başlar. Soğuyan kompostta, son özelliklerini veren; ölü bakterileri de içeren geriye kalan besinle beslenen, genellikle mantar ve aktinomisetlerden oluşan yeni bir grup mikroorganizma çoğalır (Erdin 2005). Çizelge 2.2' de mikrobiyal ayrıştırmada sıcaklık bölgeleri gösterilmektedir.

**Çizelge 2.2.** Mikrobiyal Ayrıştırma Sıcaklık Bölgeleri (Erdin 1981).

<b>Sıcaklık Bölgeleri</b>	<b>Mikroorganizma Türleri</b>	<b>Ayrışma Bölgesi</b>	<b>Hijyenik Nitelik Sınıfı</b>
<b>45 °C</b>	Mezofil Organizmalar	Oligoterm (Soğuk Ayrışma)	Tam Virulans
<b>45-55 °C</b>	Mezofilden Termofil Organizmalara Geçiş	B-Mezoterm	Biyokimyasal Dezenfeksiyon
<b>55-65 °C</b>	Termofil Organizmalar	Mezoterm	Biyofiziksel Dezenfeksiyon
<b>65-80 °C</b>	Termofil Organizmaların Harmonileşmesi	Politerm (Sıcak Ayrışma)	Termik Dezenfeksiyon

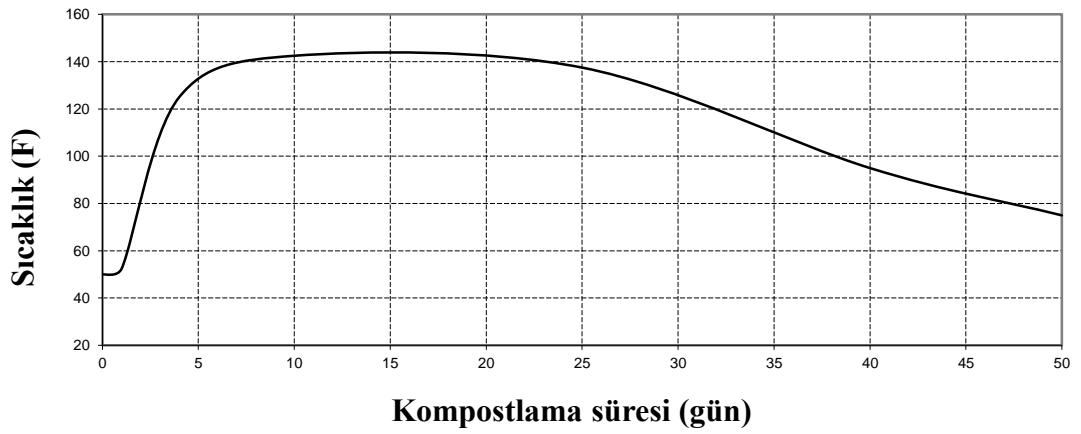
Kompostlamanın temeli biyolojik parçalanma işlemine dayanmaktadır. Doğal organik maddeler topraktaki mikroorganizmaların ve omurgasız canlıların faaliyetleri sonucunda humusa dönüştürülürler. Bu olay, ekosistemdeki nütrientlerin geri dönüşüm işlemidir bu doğal parçalanma işlemi ideal şartların oluşturulmasıyla desteklenebilir. Maddeleri etkin bir şekilde biyolojik olarak parçalayabilmek için oksijen ve suya ihtiyaç duyan bu mikroorganizmalar ve omurgasızlar, kompost oluşumunda en önemli halkayı oluştururlar (Erdin 2005).

Kompostlama prosesi aşağıda belirtilen ardışık safhaları içerir:

- Ayırma
- Parçalama (öğütme)
- Fermantasyon
- Olgunlaştırma için depolama

İşlemin başarısı, kompostlaşan organik maddelerin içeriğine ve kompostlamayı gerçekleştiren organizmaların (Bakteriler, Aktinomisetler, Mantarlar, Protozoalar, Rotiferler) türüne bağlıdır. Bazı organik maddeler diğerlerine nazaran daha kolay dekompoze olabilirler. Ayrıca kompostlaşma işlemini gerçekleştiren farklı organizmalar, farklı maddeleri değişik sıcaklık aralıklarında biyolojik olarak parçalarlar. Farklı mikroorganizma toplulukları kompostlama işlemini farklı verimliliklerde gerçekleştirebilirler. Eğer kompost yığını içerisindeki ortam belirli mikroorganizma grupları için uygunsuz hale gelirse, mikroorganizma grubu ölür, zayıf hale gelir veya kompost yığınının başka bir kısmına taşınır. Kompost yığınının dönüşüm şartları yığın

içerisinde devamlı evrim geçiren ekosistemler oluşturur (Anonim 1995a). Aktif kompostlama esnasında, eğer ortamdaki oksijen de azalır, mikrobiyal aktivite azalır ve sıcaklık düşer. Sıcaklık, karıştırma, döndürme veya basınçlı havalandırma ile tekrar yükseltilir. Eğer ortamda yeterli oksijen varsa ve mikrobiyal aktivite fazlaysa sıcaklık 60 °C'nin üstüne kolaylıkla yükselir. Bu sıcaklıkta birçok mikroorganizmayı tahrip eder veya hareketsiz kalır. Mikrobiyal aktivitenin azalmasıyla sıcaklık sabit kalır veya düşer. Döndürme veya basınçlı havalandırma ile yığını soğutarak sıcaklığın böylesine tehlikeli seviyelere gelmesi önlenir ve sıcaklık sabit tutulur. Kompostun sıcaklık ve zamanla ilişkisi Şekil 2.3' de gösterilmiştir (Öztürk ve Bildik 2005).



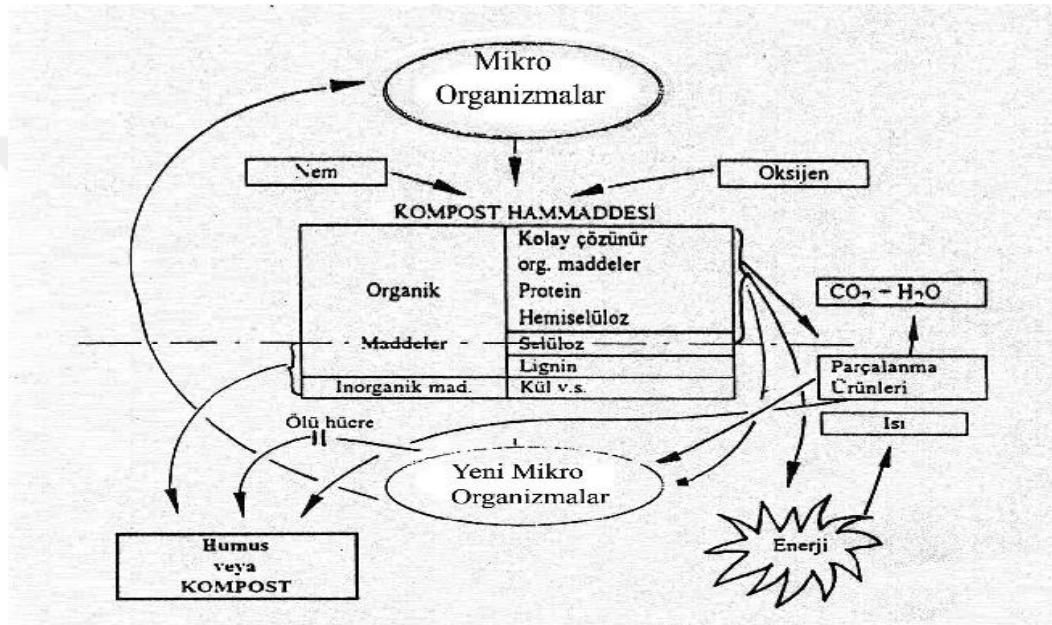
**Şekil 2.3.** Kompostun sıcaklık ve zamanla ilişkisi

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).

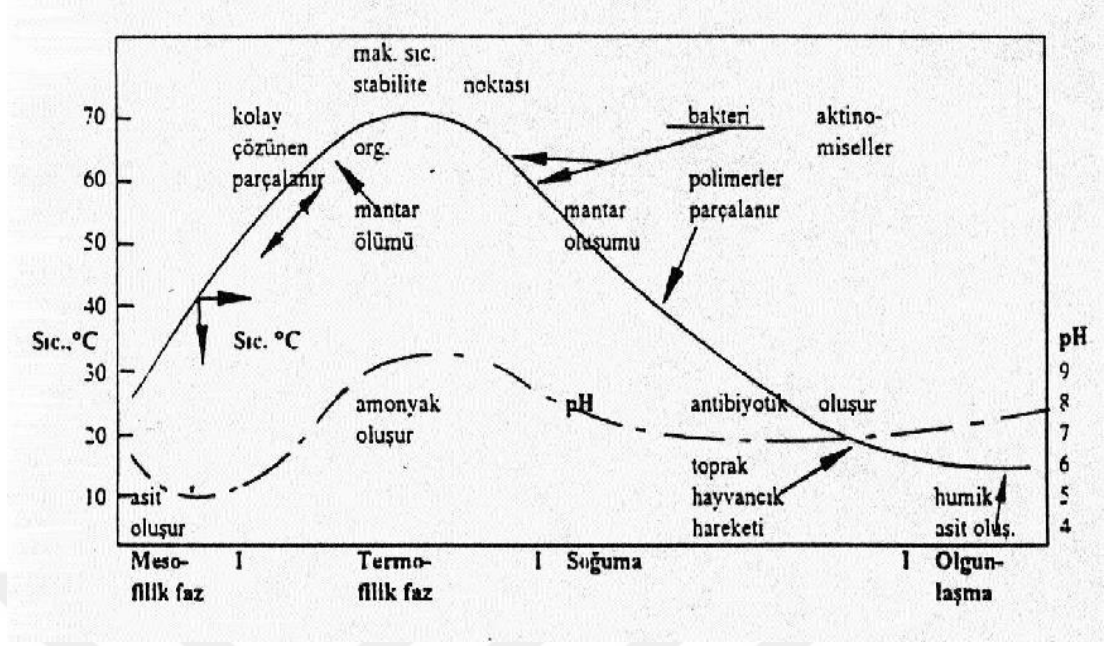
Kompost yığınının pH'ı zamanla değişir, başlangıç kademesinde pH düşer, sonra 8.0 civarına yükselir. Eğer kompost yığnında anaerobik koşullar hakim olursa, pH düşmeye başlar. Reaksiyonun aerobik olarak kaldığı alkali seviyede pH'ı kararlı tutmak için, kompost içinde yeterli tamponlama kapasitesi mevcuttur. 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. Şekil 2.4’ de kompost oluşum mekanizması ve Şekil 2.5’ de kompost oluşumunda sıcaklık ve pH değişimi şekilsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Kompost Oluşum Mekanizması (Biddlestone 1987, Erdin 2005)



Şekil 2.5. Kompost Oluşumunda Sıcaklık ve pH Değişimi (Biddlestone 1987, Erdin 2005)

Aktif kompostlamadan sonra genellikle olgunlaştırma işlemi başlar. Olgunlaşmada organik maddeler kompostlanmaya devam ederler ama daha yavaş seviyede gerçekleşir. Kompostlama işlemi belirli bir noktada durmaz. Bozunma, son kalan besin maddesi, son kalan mikroorganizma tarafından tüketilene ve karbonun tümü su buharı ve CO<sub>2</sub>'ye dönüşene kadar devam eder. Ama, kompost bu noktadan önce uzun süre nispeten kararlı ve kullanılabilir bir üründür. Kompostlamanın bittiğine C:N oranı, O<sub>2</sub> ihtiyacı, sıcaklık ve koku gibi kullanım ve yönetimi ile ilgili karakteristiklere bakılarak karar verilir (Öztürk ve Bildik 2005).

### 2.2.3. Kompostlaştırma işlemine etki eden faktörler

Kompostlamaya etki eden parametreler, tane çapı, C/N oranı, mikrobiyal özellikler, su muhtevası (nem), sıcaklık, pH, havalandırma(oksijen), katkı maddeleri, zehirli ve zararlı maddeler ve süredir.

### **2.2.3.1. Tane çapı**

Mikrobiyal aktivite organik maddelerin yüzeyinde olduğundan, partikül büyüklüğünün küçültülmesi, yüzey alanının artması nedeniyle mikrobiyal aktiviteyi teşvik eder ve parçalanma hızını artırır. Diğer bir yandan partiküllerin çok küçük ve kompakt olması ise yığın içerisindeki hava sirkülasyonunu engelleyerek mikroorganizmaların ihtiyacı olan O<sub>2</sub>'nin ve mikrobiyal aktivitenin azalmasına sebep olur (Bayer 2008). Katı atık içerisinde bulunan tanelerin çapı 8 mm'den az olduğu zaman teknolojik imkanlara göre iyi kompost elde edilemediği görülmüştür. Küçük taneli katı atıkların daha fazla karıştırılması, daha iyi havalandırılması ve kontrol edilmesi gerekmektedir (Uçaroğlu 2010).

### **2.2.3.2. C/N oranı**

Mikroorganizmalar yüksek yapılı bitkiler gibi besin maddesi olarak karbon, azot, kükürt, fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve küçük besin maddelerinden faydalanırlar. Azot hariç diğer bütün elementler evsel atıklarda yeteri kadar bulunduğundan kompostlamanın devamı için C/N oranı büyük önem arz eder. Endüstri katı atıklarında ise durum biraz daha farklıdır. Bir üretim söz konusu olduğuna göre belirli bir elementin azlığı veya çokluğu söz konusu olmaktadır (Varank 2006).

Russell (1961) tarafından yapılan araştırmalarda C/N oranının 35' den büyük olması halinde azot tutulur. C/N oranının 20' den küçük olması halinde azot açığa çıkar. Bu değerler arasında teorik olarak azot değerlerinde bir kayıp olmamaktadır. Optimal C/N oranı çeşitli araştırmacılar tarafından farklı olarak verilmiştir (Çizelge 2.2). Thompson ve Ndegwa (1999)' a göre bu değerler 33-17 arasında değişir. C/N oranının 11,6 olması halinde ayrışma işleminin duracağı iddia edilmiştir. Bu değer ise yaklaşık olarak toprağın tabii C/N oranına eşittir. C/N oranının 6' nın altına düşmesi yani ortamdaki C miktarının az olması durumunda amonyak açığa çıkarak N kaybı gözlenir (Erdin 2005).

**Çizelge 2.3.** Bazı kaynaklarda öngörülen optimum C/N oranları

<b>C/N Oranı</b>	<b>Kaynak</b>
<b>20-40</b>	Dougherty, 1995; Kilpatrick ve ark., 2002
<b>25-30</b>	Rynk, 1992
<b>30</b>	Manios and Stentiford, 2003; Hamoda ve ark., 1998
<b>20-35</b>	Epstien, 1997; Tchobanoglous ve Kreith, 2002
<b>15-30</b>	Haug, 1993

Kompostlama için C/N oranının 35' den küçük olması hali genellikle birleşilen bir husustur. Bu da şöyle bir düşünce tarzından doğmaktadır: mikroorganizmaların çeşidine göre hücre özünün C/N değeri 4 ila 10 arasındadır. Ortalama olarak 7 alınabilir. Küçük canlılar işledikleri karbonun % 20' sini yeni hücre yapımında, yani asimilasyonda, % 80' ini de disimilasyonda kullanırlar. Böylece beslenmeleri için ihtiyaç duydukları C/N değeri:

$$7 (\%20) + 28 (\%80) = 35/1 \text{ olarak bulunur.}$$

Dönerli tamburda yapılan deneylerde C/N oranının azalması ile intibak süresinin azaldığını dolayısı ile de kompostlama süresinin kısaldığını tespit etmiştir. Bu oranın 10-15 arasında olması halinde reaksiyon hemen başlamakta ve kompostlama müddetinin kısılması sebebi bir ekonomi de sağlayabilmektedir (Erdin 2005).

Kompostlamada reaksiyon hızını etkileyen parametre, karbon miktarından çok kullanılabilir karbon miktarıdır. Çünkü bir elementin kullanılabilmesi için o elementin organizmalar tarafından asimile edilebilecek bir formda olması gerekmektedir. Gerekli enzimatik komplekse sahip mikroorganizmalar tarafından bile kolayca ayrıştırılmayan lignin ve kitin gibi bazı organik maddeler, ancak optimum koşulların muhafaza edildiği durumlarda yavaşça ayrışmaktadır (Tchobanoglous and Kreith 2002). Bu nedenle C/N oranı, toplam organik kütlenin azot içeriğinin, biyobozunur kütlenin karbon içeriğine bölünmesiyle hesaplanabilmektedir. Uçucu katıların biyobozunur kesri Chandler eşitliği ile aşağıda verilmektedir (Haug 1993).

$$B = 0.830 - (0.028) X \quad (2.1)$$

B: uçucu katıların biyobozunur kesri

X: uçucu katıların lignin içeriği (%)

Chandler ve ark. (1980), 120 gün boyunca gerçekleştirdiği fermantasyon sonucunda tavuk dışkısı içindeki uçucu katıların lignin içeriğini % 3,4; bozunabilirliğini ise % 75,6 olarak tespit etmiştir. Atığın azot içeriği Kjeldahl Metoduyla tespit edilebilmektedir. Ancak karbon içeriğinin tespiti analitik metotların pahalı ve meşakkatli olması nedeniyle oldukça zordur. Bununla beraber 1960 yılında ortaya atılan karbon içeriği tahminine ilişkin formül, günümüzde halen kullanılmaktadır. Kül içeriği baz alınan formül şu şekildedir:

$$\%C = (100-\% \text{Kül}) / 1.8 \quad (2.2)$$

Karbon içeriğinin tespiti için laboratuvarında yapılan analizlerin sonuçları ile formül sonucu karşılaştırıldığında % 2-10 aralığında hataya rastlandığı bildirilmektedir (Haug 1993).

### **2.2.3.3. Mikrobiyal özellikler**

Kompost prosesinde yer alan mikroorganizmalar bakteriler, mantarlar, aktinomisetler ve protozoalardır. Kompostlaştırma işlemi, nemli tutulan ve havalandırılan karışık organik atıklarda doğal olarak bulunan, kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Başlangıçta çoğunluğunu bakterilerin oluşturduğu mikroorganizmaların çoğalması sırasında ısı, CO<sub>2</sub> ve su buharı açığa çıkar. İlk aşamada mezofilik bakterilerle beraber aktinomisetler, maya ve diğer mantarlar; yağları, proteinleri ve karbonhidratları ayrıştırırlar. Sıcaklık 40-50 °C'ye ulaştığında kompostlamayı başlatan organizmaların neredeyse tamamı ölür ve bunların yerini 70 °C sıcaklığa kadar dayanabilen ve ısı üretebilen termofilik bakteriler alır. Kompostun 60-70 °C sıcaklığa ulaşan aşamasında, birkaç sporun dışında temel olarak bütün patojenik organizmalar bir kaç saat içinde ölür. Termofilik bakteriler kendileri için mevcut besini tükettiklerinde ısı üretmeyi durdururlar ve kompost soğumaya başlar. Soğuyan kompostta, geriye kalan besinle beslenen, genellikle mantar ve aktinomisetlerden oluşan yeni bir grup organizma çoğalır(Uğurlu 1995).

#### 2.2.3.4. Nem içeriği

Kompostlama işlemi atıkların nem içeriğine bağlıdır. Ortalama nem içeriği % 40-70 arasında değişmekle birlikte optimum nem içeriği % 55 civarı olarak bilinir. Yüksek nem içeriği bakterilerin aktivitelerini arttırır ve kompostlamanın daha hızlı oluşmasını sağlar. Düşük nem içeriklerinde ise kf ve aktinomisetler aktivite gösterir. Nem miktarı % 40'a yaklaştıkça inhibe olur. % 40'ın altında mikrobik aktivite yavaşlar. Nem % 65'i aşarsa yığındaki materyalin boşluklarındaki havanın suyla yer değiştirmesine sebep olur(ztrk 2005).

Golueke (1972)' ye göre, kompostlama için ideal teorik su miktarının % 100 olması gerekmektedir. Çünkü ancak bu koşullar altında biyolojik bozunma, herhangi bir limitasyon olmaksızın gerçekleşebilmektedir (Hamoda ve ark. 1998). Ancak pratikte böyle bir yaklaşım doğru değildir. Kompost matrisi, değişik boyutlardaki açıklık ve boşluklar ile katı partiküllerden oluşan bir ağdır. Partiküller arasındaki boşluklar hava, su ya da hava-su karışımı ile doludur. Boşlukların tamamen su ile dolması durumunda oksijen transferi büyük lde kısıtlanmakta ve aerobik kompostlama, sabit karıştırmanın olmadığı durumlarda imknsız hale gelmektedir. Karışımın su içeriği çok düşük seviyelere indiğinde ise, mikroorganizmalar tarafından enerji kaynağı olarak kullanılan organik maddeler çözünmüş durumda olmadığından biyobozunma prosesinin verimi düşmektedir. Diaz ve ark. (1993), su içeriği % 8-12' nin altına düştüğünde mikrobiyal aktivitenin tamamen durduğunu, pratikte % 40 su içeriğinin altına düşülmemesi gerektiğini belirtmiştir. Herhangi bir atık için optimum su içeriği, minimum serbest hava boşluğunun korunması ile ilişkilidir. Su seviyesi, biyolojik bozunmanın yeterince hızlı olmasını sağlayacak, ancak aynı zamanda serbest hava boşluklarını yok etmeyecek kadar yüksek olmalıdır. Su tutma özelliği malzemenin yapısal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Genellikle daha lifli ve kırılğan malzemeler, daha çok su tutarken aynı hava boşluğunu muhafaza edebilmektedir (Haug 1993).

Arıkan (2003), kompostlama için optimum su içeriğini % 50-60 (maksimum % 70) olarak ifade etmiştir. Hamoda ve ark. (1998) ise, başlangıç su içeriği % 45, % 60 ve % 75 olan kentsel katı atıklarla yaptığı kapalı kompostlanma çalışmasında, optimum bozunmayı % 60 su içeriği ile sağlamıştır.

### 2.2.3.5. Sıcaklık

Mikroorganizmalar organik maddelerle beslenirken ısı açığa çıkarırlar. Ortamdaki ısının yükselmesi hem mikroorganizmaların aktivitesinin bir ölçüsü hem de patojen mikropları öldürme aracıdır. Çizelge 2.4.'te kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri verilmiştir. Patojen bakteriler sadece çıkan ısıyla değil, metabolizma ürünü bileşikler dolayısıyla da öldükleri tespit edilmiştir. Her mikroorganizma kendisine uygun bir sıcaklıkta yaşayabilir. Kompostlanan kütlede sıcaklık arttıkça ölen mikroorganizmaların yerini yeni duruma adapte olan türler alır. Bu genelde daha hızlı bir ayrışmaya yol açar. 55 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kompostlama verimi ve hızı önemli oranda düşer (Genois 1995). Yüksek reaksiyon hızları için aşırı yüksek sıcaklıklar gerekli değildir. Eğer materyaldeki sıcaklık 75 veya 85 °C'ye kadar yükselirse, yüksek sıcaklık yüzünden reaksiyon hızı muhtemelen azalacaktır. Sıcaklığı azaltmak için havalandırma oranını arttırmak veya karıştırma işlemini daha sık yapmak gerekir (Tosun 2003). Belirli bir süre devam eden sıcaklık, hastalığa yol açan mikroorganizmaların ve virüslerin oluşmasını önleyerek, iyi kalitede bir kompost açığa çıkmasına sebep olur (Genois 1995).

**Çizelge 2.4.** Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri (Tchobanoglous ve ark. 1993)

<b>Organizma</b>	<b>Gözlem Sonucu</b>
<i>Salmonella typhosa</i>	46 °C'nin üzerinde büyüme yok, 55-60 °C'de 30 dk. da veya 60 °C'de 20 dk'da ölüm
<i>Salmonella sp.</i>	55 °C'de 1 saatte veya 60 °C'de 15-20 dk'da ölüm
<i>Shigella sp.</i>	55 °C'de 1 saatte ölüm
<i>Escherichia Coli</i>	55 °C'de 1 saatte veya 60 °C'de 15-20 dk'da çoğunluğu ölüdür
<i>Entamoeba histolytica</i> sistleri	45 °C'de birkaç dk'da veya 55 °C'de birkaç sn.'de ölüm
<i>Taenia saginata</i>	55 °C'de birkaç dk.'da ölüm
<i>Trichinella spiralis</i> larvae	55 °C'de çabuk veya 60 °C'de hemen ölüdür
<i>Brucella abortus</i> or <i>Br. suis</i>	62-63 °C'de 3 dk'da veya 55 °C'de 1 saatte ölüm
<i>Micrococcus pyogenes</i> var <i>aureus</i>	50 °C'de 10 dk'da ölüm
<i>Streptococcus pyogenes</i>	54 °C'de 10 dk'da ölüm
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>Hominis</i>	66 °C'de 15-20 dk'da veya bir an için 67 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ölüm
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	55 °C'de 45 dk'da ölüm
<i>Necator americanus</i>	45 °C'de 50 dk'da ölüm
<i>Ascaris lumbricoides</i> yumurtaları	50 °C'nin üzerinde en az 1 saatte ölüm

#### 2.2.3.6. pH

Her mikroorganizma grubunun yaşadığı belli bir pH aralığı mevcuttur. Genel olarak bakterilerin optimum pH aralığının 6-8 arasında olduğu söylenebilir. Buna karşılık mantarlar asidik ortamı tercih ederler. Başlangıç değeri ne olursa olsun kompostlaşma süresi sonunda pH 7.8-8.0 arasında stabil hale gelir (Graves ve Hattemer 2000). Başlangıçta CO<sub>2</sub> ve organik asitlerin oluşumu nedeniyle pH değeri yaklaşık 5-6 seviyesine düşerken, proses ilerledikçe 8.0-8.5 seviyesine kadar ulaşabilir. Bu durum çoğunlukla, CO<sub>2</sub> eliminasyonundan olduğu kadar proteinlerin ayrışmasından da ileri gelmektedir (Sharma ve ark. 1997).



### **2.2.3.7.Havalandırma (Oksijen)**

Aerobik kompostlama için mikrobiyal aktivite oksijen varlığı ile mümkündür. Üç temel havalandırma yöntemi vardır: kütleyi fiziksel olarak karıştırma, konvektif hava akımı ve mekanik havalandırma. Statik sistemlere oksijen, bir üfleyici veya konvektif hava akımı ile temin edilirken, yığın sistemlerde ilk iki yöntemin ikisi de kullanılır. Pasif havalandırma olarak adlandırılan sonuncusu, tüm kütle hacminin porozitesine önemli derecede bağlıdır (Epstein 1997).

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

Eğer ortamda yeterli oksijen bulunmazsa ortam anaerobik olur. Anaerobik bozunma farklı mikroorganizma yapısı ve farklı biyokimyasal reaksiyonları gerektirir. Ayrıca anaerobik işlem aerobik işlemden daha yavaştır ve verimi daha azdır. Maddelerin yapısındaki suyu buharlaştırmayı sağlayan ısı üretimi de azdır. Anaerobik işlemlerde metan (CH<sub>4</sub>), karbon dioksit, organik asitler, hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) ve diğer maddeleri de içeren ara ürünler oluşur. Bu bileşiklerin birçoğu, çok ağır koku yaydığından kontrol edilmesi gerekir. Ara ürünler (organik asitler) aerobik bozunmayla oluşmasına rağmen bu maddeler oksijen varlığında bozunmaya devam eder. Anaerobik şartlarda bu ara ürünler birikir. Anaerobik koşullarda, oluşan kötü kokunun giderilmesi ve kompost ürününün daha kısa sürede elde edilebilmesi için aerobik koşulların korunması gerekir (Öztürk ve Bildik 2005).

### **2.2.3.8. Katkı maddeleri**

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

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

#### **2.2.3.9. Zehirli ve zararlı maddeler**

Bazı organik maddeler kompost için veya bakteriler için zararlı maddeler taşıyabilir. Mangan, bakır, çinko, nikel, krom ve kurşun gibi ağır metaller bunlar arasındadır. Kompostta ağır metal arttıkça sıcaklık düşer. Sıcaklık düşüşleri; mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerinin yavaşladığını, hatta bazılarının öldüklerini göstermektedir. Çünkü komposttaki sıcaklık mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu yükselmekte, belli konsantrasyonlardaki ağır metallerin mikroorganizmalara olan toksik etkileri sıcaklık düşüşlerine neden olmaktadır (Halistürk ve ark 2006).

#### **2.2.3.10. Süre**

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

Uygun nem muhtevası, C/N oranı ve sıkça havalandırma mümkün olan en kısa kompostlaştırma süresini sağlar. Yetersiz nem, yüksek C/N oranı, düşük sıcaklık, yetersiz havalandırma, büyük partiküller ve ortamda yüksek miktarda dayanıklı maddenin (odun kökenli maddeler) olması kompostlama işlemini yavaşlatan nedenlerdir. Gereken kompostlama süresi kompostun nihai kullanım amacına bağlı olarak değişir. Kompostun tamamıyla stabil olması istenmiyorsa bu süre kısadır, eğer kompost büyüme sezonundan önce tarlaya tatbik edilirse burada olgunlaştırılabilir ve bitirilebilir. Eğer kompostun kısmen kuru veya stabil olması isteniyorsa buna bağlı

olarak kompostlaştırma süresi uzatılır. Uygun koşullarda genellikle maddenin çürümesi ve stabilizasyonu için birkaç hafta yeterlidir; ama en iyisi bu sürenin iki aydan fazla olmasıdır. Değişik uygulamalar için uygun kompost süreleri Çizelge 2.5 'de verilmektedir (Öztürk ve Bildik 2005).

**Çizelge 2.5.** Seçilen madde-metot kombinasyonlarına uygun kompostlama süreleri (Öztürk ve Bildik 2005).

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

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

### 2.2.3.11. Porozite ve serbest hava boşluğu

Kompostlaştırma prosesinde en önemli hacim ifadeleri porozite ve serbest hava boşluğudur (Çataltaş 2013).

Porozite(n), boşluk hacminin toplam hacme oranı olarak ifade edilmektedir.

$$n = V_{\text{bosluk}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.3)$$

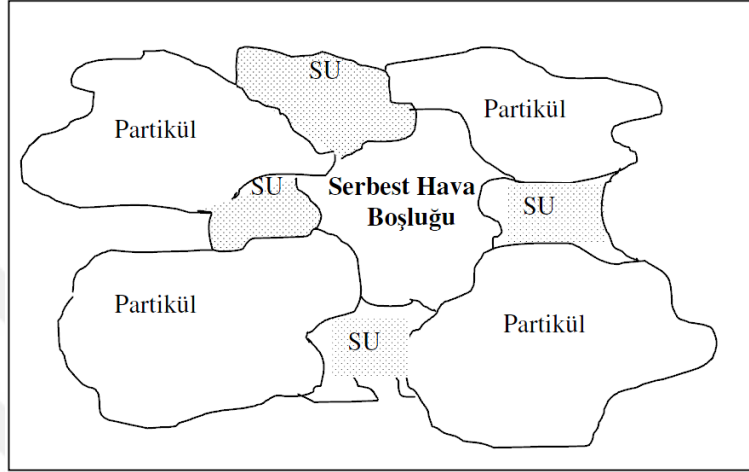
$$n = (V_{\text{toplam}} - V_{\text{katı}}) / V_{\text{toplam}} = 1 - V_{\text{katı}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.4)$$

Serbest hava boşluğu (f) ise gaz hacminin toplam hacme oranı olarak ifade edilmektedir (Haug 1993, Çataltaş 2013).

$$f = V_{\text{gaz}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.5)$$

$$f = ( V_{\text{toplam}} - V_{\text{katı}} - V_{\text{su}} ) / V_{\text{toplam}} \quad (2.6)$$

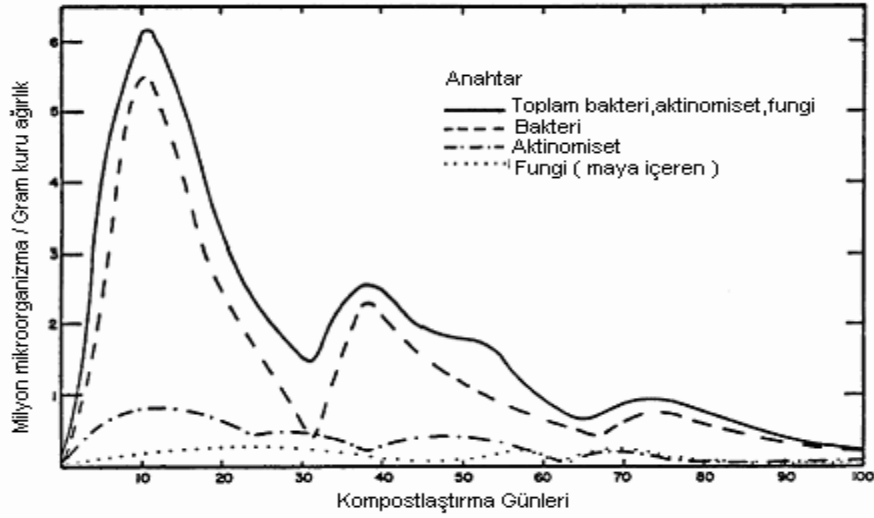
Şekil 2.6' da Serbest hava boşluğu kavramı Epstein (1997) tarafından şematik olarak ifade edilmiştir.



**Şekil 2.6.** Kompost Matrisinde Serbest Hava Boşluğu, Su ve Partikül Madde Arasındaki ilişki (Epstein 1997)

#### 2.2.4. Kompost mikrobiyolojisi

Kompostlanma, organik atıkları tüketen geniş bir mikroorganizma kümesini içeren karmaşık bir prosestir. Kompostlanma prosesinde rol alan mikroorganizmaların başlıcaları; fungi, aktinomiset ve bakterilerdir. Bu proste alglere ve protozalara rastlamak da mümkündür. Bakteri, fungi ve aktinomisetlerin mikrobiyal popülasyonu kompostlanma süresince değişim gösterir (Bayer 2008). Örnek olarak biyolojik arıtma çamurları ve ağaç parçaları ile yapılan yığın kompostlanma süresince geçerli olan bu değişimler Şekil 2.7' de verilmiştir.



**Şekil 2.7.** Yığın kompostlanma süresince mikrobiyal popülasyon değişimi (Stoffella ve Kahn 2001, Bayer 2008)

Kompostta bulunan patojenler Çizelge 2.6' da verilmiştir. Yüksek nem içeriği bakterilerin aktivitelerini artırır ve kompostlamamanın daha hızlı oluşmasını sağlar. Düşük nem içeriklerinde ise küf ve aktinomisetler aktivite gösterir. Nem miktarı %40' ın altında olduğu durumlarda mikrobiyolojik aktivite yavaşlar. Nem %65' i aşarsa yığındaki materyalin boşluklarındaki havanın suyla yer değiştirmesine sebep olur. (Öztürk 2005).

Sıcaklıklara göre aşağıdaki mikroorganizmalar ayırt edilir:

- Mezofilik (10-40 °C)

Bakteriler: *Pseudomonas*, *Proteus*, vd.

Fungiler: *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Phanaerochaeta*, *Trichoderma*

- Termofilik:

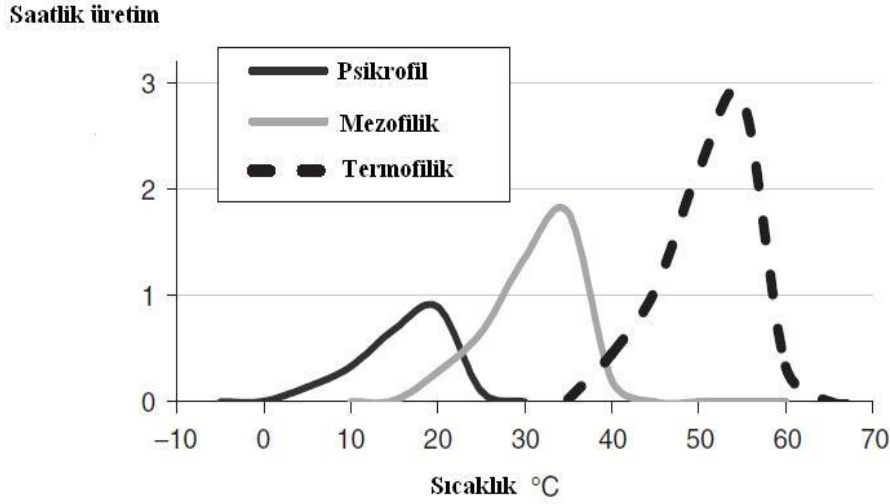
Bakteriler (30-65 °C): *Basicillus*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces*

Fungiler (40-50 °C): *Aspergillus*, *Fumigatus*, *Chaetomium*, *Humicola*

**Çizelge 2.6** Kompostta bulunan patojenler (Öztürk 2005)

Mikroorganizma türü	Hastalık
<i>Salmonella spp.</i>	Bağırsaklarda bozukluk ve tifo
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amipli dizanteri
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Yuvarlak kurt
<i>Taenia spp.</i>	Yassı kurt
<i>Aspergillus fumigatus</i> vd. türleri	Sporlarla akciğer enfeksiyonu

Şekil 2.8.'de mikroorganizma türlerinin sıcaklıkla ilişkili değişimleri gösterilmiştir (Insam ve Bertoldi 2007).



**Şekil 2.8.** Psikrofil, mezofilik ve termofilik mikroorganizmaların sıcaklığa bağlı olarak oluşum zamanları (Insam ve Bertoldi 2007).

Kompost prosesi genellikle en az 3-4 hafta sürer ve 6 aşamada gerçekleşir (Kutzner 2000):

1. Kuluçka aşaması: Mikrobiyal popülasyonun kompost ortamına uyum sağladığı süreç.
2. Mezofilik faz: Kompostlanmada nütrientleri parçalayabilen mezofilik bakteri ve mantarları içeren aşamadır. Bu fazda sıcaklık 45 °C civarına yükselir. Mezofilik mikroorganizmalar yarıyışlı oksijeni kullanır ve kompost malzemesinden enerji üretmek için karbon transferi yapar ve bu esnada CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O üretir. Bu sırada ısı üretimi olur. Kompost yığını yeterli büyüklükte ise ısı aynı seviyede kalır ve sonunda izole orta tabakadaki sıcaklık, mikrobiyal aktivitede azalmaya sebep olan mezofilik mikroorganizmaların tolerans seviyelerini aşar. Mikroorganizmalar gelişimi engeller, ölüm ve dağılmalar başlar.
3. Termofilik faz: Bu faz kısa bir ara (lag) fazdan sonra başlar. Bu fazda, baskın olarak termofilik bakteriler, mantarlar ve aktinomisetler tarafından yüksek oranda organik maddeler parçalanır. Bu mikroorganizmalar için optimum sıcaklık 50–65 °C

arasındadır ve 70-80 °C' ye kadar aktif olabilirler. Termofilik mikroorganizmalar hatta daha yüksek sıcaklıklara da sebep olabilirler. Yüksek sıcaklık patojenlerin yok olmasını sağlar. Hem mezofilik hem de termofilik proses havalandırma gerektirir. Havalandırma, kompost karışımının mekanik olarak çevrilmesi ile veya blower ile hava verilerek sağlanır. Termofiller, nütrient ve enerji kaynakları yetene kadar aktif olarak sürer. Ancak kaynaklar tükendikten sonra mikroorganizmalar ölür ve sıcaklık düşer. Bir sonraki faz başlar.

4. Soğuma aşaması: Bu fazda sıcaklık mezofilik seviyelere düşmektedir ve termofilik mikroorganizmalar, mezofilik mikroorganizmalar ile yer değiştirmektedir.

5. Olgunlaşma aşaması: Sıcaklık ortam seviyelerine düşmektedir. Daha yüksek beslenme düzeyine sahip (trofik) organizmalar kompostta kolonize olurlar (Örn: protozoa, rotiferler, böcekler, maytlar, parazitler (yuvarlak kurtçuklar)). Bu faz sırasında, proses yüksek sıcaklıklara karşı hassastır ve nitrifikasyon bozulması meydana gelir. Bu proses genelde 30 – 180 gün sürer.

6. Kuruma: Birkaç günden birkaç aya kadar değişen sürelerde devam edebilir. Kompostun satılabilmesi için % 50–60 katı içermesi gerekir. Ayrıca katkı maddesi (bulking agent) geri döngüsü yapılacaksa gerekli bir adımdır.

Proses başlangıcında, kompost malzemesi genellikle ortam sıcaklığındadır ve biraz asidiktir. Mezofilik mikroorganizmalar arttığı için, sıcaklık artar. Asetojenik bakteriler, bu mikroorganizmalardan biridir ve kompleks organik maddeleri basit organik asitlere parçalar, böylece pH düşer. Sıcaklık 40 °C' nin üzerine çıktığı zaman mezofilik aktivite düşer ve proste termofilik mikroorganizmalar yer almaya başlar. Termofilik mikroorganizmalar pH' ı alkali yönde değiştirir ve yarıyışlı azot varsa, amonyak formunda olabilir. 60 °C' de termofilik mantarlar ölür ve spor şeklinde bakteriler ve aktinomisetler proste yer alır. Bu sıcaklıklarda, proteinler ve hemiselüloz parçalanır, buna rağmen selüloz ve lignin yeterince parçalanmaz. Hızlıca parçalanan malzeme tükendiği için, reaksiyon yavaşlar, sıcaklık düşmeye başlar. Başlangıç fazlarında üretilen bakteri ve mantar içeren biyomas, daha yüksek oranda trofik olan organizmalar için yiyecek olur (Lester ve Birkett 1999). Sıcaklık 60 °C' nin altına inmeye başlayınca, termofilik mantarlar dış kısımdan kompostun merkezine doğru hücum ederler ve selüloza saldırırlar. Bu işlem çok yavaş olur. Bu yüzden de sıcaklık ortam seviyelerine

dođru dūřmeye devam eder. Sıcaklık 40 °C' de ise tekrar mezofilik organizmalar aktif hale geçer ve pH tekrar dūřer.

### **2.2.5. Kompostlama sistemleri**

Kompostlama sistemlerinin sınıflandırılmasında çeşitli metotlar kullanılsada aslında temel yaklaşım, sistemin açık veya reaktör tarzında işletilmesidir. Bu açıdan en çok kullanılan sınıflandırma;

#### **I.. Açık kompostlama sistemleri**

a. Statik yığın kompostlama sistemleri

b. Dinamik yığın kompostlama sistemleri

#### **II.. Reaktör kompostlama sistemleri**

a. Dūřey akřlı reaktör kompostlama sistemleri

b. Yatay akışlı reaktör kompostlama sistemleri

c. Akışsız-statik reaktör kompostlama sistemleri

şeklindedir (Haug, 1993).

#### **2.2.5.1. Açık kompostlama sistemleri**

Açık kompostlama sistemleri, statik ve dinamik olmak üzere iki şekilde sınıflandırılır. Sistemlerde havalandırma, doğal veya mekanik olmak üzere 2 farklı yolla sağlanmaktadır. Doğal havalandırma, periyodik olarak yığınların alt-üst edilmesi veya dōndürölerek karıştırılması ile yapılır. Mekanik havalandırma ise bu amaç için tasarlanmış özel ekipmanlarla gerçekleştirilir(Rynk 1992).

Açık kompostlama, geniş alan ihtiyacı ve iklime karşı aşırı hassasiyeti nedeniyle bazı dezavantajlara sahip olmasına rağmen yinede çok tercih edilen bir yöntemdir. Özellikle soğuk ve yağışlı iklime sahip olan bōlgelerde, kompost yığınlarının ısınmasının engellenmesi, kompostlama aktivitesinin azalması ve kompostun olgunlaşma süresinin uzaması gibi problemlerle oldukça sık karşılaşılmaktadır (Stentiford 1987).



#### a) Statik yığın kompostlama sistemleri

Reaktör olmayan açık sistemlerin ilk örneği, statik yığın kompostlama sistemleridir. Bu tür sistemler özellikle çamur kekleri gibi, nispeten yaş materyaller için uygulanmaktadır.

Sistemde kompost materyali, ağaç kabuğu veya talaş gibi hacim arttırıcılar ile karıştırılıp geniş yığınlar halinde serilmektedir. Hacim arttırıcılar, kompost materyalinin yapısal stabilitesini sağlamakta ve materyal içinde hava boşlukları oluşturarak, periyodik karıştırmanın gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Yığınlar kesikli olarak oluşturulmaktadır ve bir kompostlama döngüsü süresince yığın hiçbir şekilde karıştırılmamaktadır.

Yığının havalandırılması, hem basınçlı hava verilerek aşağıdan yukarıya doğru hemde tabanda vakum oluşturularak tersi yönde gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, yığının bulunacağı yerin alt kısmına hava kanalları yerleştirilmekte veya materyalin içine, her noktada aynı seviyede havalandırma sağlayacak borular döşenmektedir. Yığının üstü, hava şartlarından etkilenmenin en aza indirilebilmesi için, olgun kompost veya ağaç kırıntıları ile örtülebilmektedir.

#### b) Dinamik yığın kompostlama sistemleri

Dinamik yığın kompostlama sistemleri, kompost materyalinin proses süresince sürekli olarak hareket ettirildiği sistemler olup bu sistemlerde, kompost materyali paralel sıralı yığınlar halinde yerleştirilmekte ve genellikle mekanik ekipmanlar ile altüst edilerek karıştırılmaktadır. Karıştırma işlemi, haftada bir veya iki kez gerçekleştirilmektedir.

Yığınların yüksekliği ve genişliği, kompost materyalinin karakteristiğine ve kullanılan mekanik ekipmana bağlı olarak değişmektedir.

Dinamik sistemler, hayvan dışkıları, kanalizasyon çamurları ve bahçe atıkları gibi birçok organik atığın kompostlamasında başarılı olarak uygulanmaktadır. Sistemde oksijen, yığındaki sıcak gazların çıkışından kaynaklanan doğal havalandırma ve kompost materyalinin karıştırılması süresince oluşan mekanik havalandırma ile sağlanmaktadır. Mekanik havalandırma, pozitif basınç altında hava verilerek veya negatif basınç altında vakum yaratılarak yapılmaktadır. Yığından kokuların

toplanmasına ve arıtımına kolaylıkla imkan vermesi açısından, daha çok sistemde vakum yaratılarak yapılan havalandırma tercih edilmektedir(Rynk 1992).

#### **2.2.5.2. Reaktör kompostlama sistemleri**

Reaktör kompostlama sistemleri, kompostlama prosesinin tamamen kapalı şartlarda işletildiği sistemlerdir. Reaktörün kapalı şartlarda işletilmesi, sıcaklık, oksijen temini gibi çevresel faktörlerin çok iyi izlenebilmesini ve kontrolünü mümkün kılmaktadır.

Bu sistemler, özellikle soğuk iklimli ve arazisi sınırlı olan bölgelerde tercih edilmektedir. İşletme maliyetleri açık kompostlama sistemlerine oranla daha fazla olmasına rağmen, proses süresi kısadır (Haug 1993).

Reaktör kompostlama sistemleri, düşey akışlı, yatay akışlı ve akışsız-statik olmak üzere üç şekilde tasarlanmaktadır.

##### **a) Düşey akışlı reaktör kompostlama sistemleri**

Düşey akışlı reaktör kompostlama sistemleri, reaktördeki yatak şartlarına göre dinamik ve paket yataklı olmak üzere iki şekilde tasarlanmaktadır. Her iki sistem de, kesikli veya sürekli olarak çalıştırılabilmektedir.

Dinamik reaktör sistemleri, kompostlama materyalinin reaktörden aşağıya geçişi süresince, katı hareketinin sağlandığı sistemlerdir. Paket yataklı reaktör sistemleri ise, periyodik olarak reaktörün altından üstüne katı transferinin gerçekleştirildiği sistemlerdir. Sistemde, katıların hareketi bu transfer sonucunda sağlanmaktadır.

Paket yataklı reaktör sistemleri, özellikle çamur keklerinin talaş vb. gibi materyallerle kompostlaşmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu reaktörlerin dairesel ve dikdörtgen şeklinde pek çok versiyonu bulunmaktadır. Reaktörün içerisindeki materyal yüksekliği, yaklaşık 6-9 m'dir. Bu reaktörlerin en büyük popülaritesi, nispeten daha düşük maliyette çalıştırılmalarıdır (Haug 1993).

##### **b) Yatay akışlı reaktör kompostlama sistemleri**

Yatay akışlı reaktörler, döner katı yataklı, dinamik katı yataklı ve statik katı yataklı reaktörler olmak üzere değişik şekillerde tasarlanmaktadır. Bu sistemler; kentsel katı

atıklar, tarımsal atıklar ve kanalizasyon atıkları gibi birçok materyalin kompostlaşmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yatay akışlı-döner reaktör kompostlama sistemleri, reaktör içindeki katı akış modeline göre disperse akışlı, bölmeli ve tamamen karıştırmalı olmak üzere üç tipte dizayn edilmektedir.

Disperse akışlı sistemlerde, materyal girişi ve çıkışı reaktörün (tamburun) karşı uçlarına yerleştirilmektedir. Dönme faaliyeti sonucu, materyalin bazı dispersiyonu dışında; reaktör içerisinde piston akış şartları mevcuttur. Bu model, tambur sistemlerinde yaygın olarak kullanılmakta ve kentsel katı atıkların kompostlanmasında geniş uygulama alanı bulmaktadır.

Bölmeli sistemlerde, reaktör içinde materyalin kısa devresini önlemek için, tambur seri olarak birkaç hücreye bölünebilmektedir. En yaygın kullanılan modellerde, ürün son hücreden boşaltılmaktadır. İlk hücreden başlamak üzere her hücre, sırasıyla materyali bir sonraki hücreye transfer etmektedir. Materyal bittiğinde, ilk hücreye tekrar ekleme yapılmaktadır. Bu şekilde kesikli olarak çalışan reaktörde, materyalin hücrelerde iyice karışması sağlanabilmektedir.

Karıştırmalı sistemlerde ise, homojen bir kompost elde etmek için materyal tamamen karıştırılmaktadır. Bu sistemlerde, reaktör boyunca materyalin şarj ve deşarjı üniormdur. Eğer şarj ve deşarj süreklirse, önemli miktarda materyal, teorik alıkonma süresinden daha kısa bir sürede reaktörden çıkmaktadır. Bu tür durumlarda, ürünün patojenlerden arınması için daha ileri proseslere ihtiyaç duyulabilmektedir. Kesikli besleme ve geri alma ile bu problem kısmen önlenabilmektedir. Bu reaktör tipi, tamamen karıştırmalı sistemlerin sınırlı avantajlara sahip olması ve besleme-geri almadaki karmaşıklıklar nedeniyle yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Yatay akışlı-dinamik katı yataklı reaktör kompostlama sistemleri, kentsel katı atıklar, bahçe atıkları, endüstriyel ve kentsel atık su arıtma çamurları gibi birçok atık türünün kompostlanmasında yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Sistemde, katıların mekanik havalandırılması ve hareketinin sağlanması, reaktörde önemli işletim esnekliği sağlamaktadır. Reaktörlerin üzeri genellikle örtülü değildir. Ancak, koku kontrolü ve tüm hava koşullarına uyumu açısından bina içerisine yerleştirilmeleri mümkündür. Çoğu sistemler, günde bir kez besleme yapılarak çalışmaktadır. Reaktörler, dairesel veya dikdörtgen şeklinde tasarlanabilmektedir.

Dairesel sistemlerde, reaktörün merkezinden dönen bir hareketli mil boyunca burgular monte edilmiştir. Hareketli mil bir turunu yaklaşık olarak 2 saatte almaktadır. Mil dönerken, dışarıdan besleme yapılmaktadır. Burgular, reaktör içerisinde materyali hareket ettirmekte ve prosese yapılan yeni beslemenin karışmasını sağlamaktadır. Materyal, proses sonunda reaktörün merkezinden kademeli olarak aşağıda bulunan çıkış konveyörüne deşarj edilmektedir.

Dikdörtgen sistemlerde ise, katı hareketini sağlamak üzere değişik ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu sistemler; şekil, boyut ve işletme moduna göre farklılıklar göstermektedir. Kareye yakın geometrideki sistemlerde katı hareketi, dairesel sistemlere benzer şekilde bir mil üzerine monte edilmiş burgularla sağlanmaktadır. Reaktör bir uçtan beslenmekte, karşı uçtan ürün deşarj edilmektedir.

Diğer yandan, genişliğe göre daha yüksek uzunlukta sistemler de kullanılmaktadır. Bunlar arasında, tasarımcılar genellikle 2 m genişlik ve 2 m yükseklikte küçük ölçekli sistemleri tercih etmektedir. Ancak, 6 m genişlik, 3 m yükseklik ve 220 m uzunlukta büyük kapasiteli sistemler de bulunmaktadır. Büyük kapasiteli sistemler, genellikle uzunluk boyunca dizayn edilen hücreler içerisine materyalin yerleştirilmesi ile işletilmektedir. Materyal, haftada bir kez karıştırılmakta ve çoğunlukla uzaklaştırılmaya hazır oluncaya kadar bu hücrelerde kalmaktadır. Küçük kapasiteli sistemlerde, bu işlem daha farklıdır. Bu sistemlerde günlük olarak karıştırılan materyal, katıların hareket ettirilmesi ile aşağı doğru iner ve ürünün çıkışına imkan sağlamaktadır. Materyalin bir hücreden, diğer boş hücreye mekanik olarak aktarıldığı sistemler de geliştirilmiştir. Bu sistemlerde, materyal her bir karıştırma süresince seri olarak bir hücreden diğerine sürekli hareket etmektedir.

Yatay akışlı-statik katı yataklı reaktör kompostlama sistemleri, yaklaşık 1979'dan beri silo sistemleri olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler; arıtma çamurları, hayvan atıkları ve kentsel katı atıkların kompostlanmasında yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur. Reaktör, esas olarak piston akışlıdır. Boru veya dikdörtgen kesitli tünel şeklinde statik katı yataklı reaktörler bulunmaktadır. Reaktör hacmi, 10-500 m<sup>3</sup> aralığında değişmektedir. Daha büyük boyutlu sistemler genellikle takviye edilmiş betondan; küçük boyutlu sistemler ise çelikten inşa edilmektedir. Sistemde, ileri-geri hareket için tünelin besleme ucuna yerleştirilmiş itici plak kullanılmaktadır. Plak geri çekildiğinde, günlük olarak kalan materyal boş bölmeye aktarılmaktadır. Bölme dolduğunda, hidrolik

olarak ileri hareket eden plak, yeni materyali reaktörün içine doğru itmekte ve aynı zamanda oluşan kompost dışarı verilmektedir. İtici plak, bir sonraki besleme döngüsü için geri çekilinceye kadar yerinde kalmaktadır. Sistemin diğer bir versiyonunda ise, materyal reaktör boyunca yürüyen bir zeminde hareket ettirilmektedir.

### c) Akışsız reaktör kompostlama sistemleri

Akışsız reaktör sistemleri, tünel, kutu veya biyokonteyner olmak üzere değişik şekillerde tasarlanmaktadır. Sistemlerde, havalandırma çıkış gazının CO<sub>2</sub> içeriği ile sürekli kontrol edilmekte ve pozitif ve negatif modlar arasında değişimli olarak gerçekleştirilmektedir. Materyaller, proses başlangıcında, sistemlere yüklenmekte ve materyaller sistemde yaklaşık 7-14 gün boyunca kalmaktadır. Bu süre sonunda, kompost sistemden alınmakta ve açık alanda olgunlaşmaya bırakılmaktadır. Olgunlaşma, yaklaşık 10 haftada sağlanmaktadır (Haug 1993).

### **2.2.6. Kompost kalite kriterleri ve yasal mevzuat**

Kompostun toprak iyileştiricisi ve bitki yetiştirmede kullanılabilen humuslu toprak benzeri bir materyal olarak kullanılması kompostun kalitesine bağlıdır. Bunun için, besi maddesi açısından zengin, ağır metal içeriği düşük ve patojen mikroorganizma içermeyen bir kompost elde etmek son derece önemlidir.

Kompostta kalite kriterleri, ülkelerdeki yasal mevzuatlara göre değişiklik gösterse de, genellikle sınırlayıcı faktörler benzer olmaktadır. Ülkemizde kompost kalitesinin belirlenmesi için 05.03.2015 tarih 29286 sayılı resmi gazetede Kompost Tebliği yayınlanmıştır.

Bu Tebliğin amacı; bir faaliyet sonucunda ortaya çıkan veya işletmelerden kaynaklanan biyobozunur atıkların;

- Çevre ve insan sağlığına zarar vermeden kaynağında ayrı toplanarak yönetiminin sağlanmasına,
- Geri kazanımının sağlanarak düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına,
- Kompost tesislerinin teknik kriterlerinin belirlenmesine,

- Kompost tesislerinden elde edilen ürünlerin kalite kriterlerinin belirlenmesine, ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir.

Bu tebliğin 12. maddesine göre kompost tesisinde gerçekleştirilen işlemler sonucunda elde edilen ürünün toprak iyileştirici olarak kullanılabilmesi için bu Tebliğin ek-2 ve ek-3'ünde yer alan kompost kriterlerini sağlaması zorunludur. Ayrıca aynı madde de kompost kalitesinin belirlenmesinde; pH, hijyen, iz element, nem içeriği, C/N oranı, organik madde, tuz, biyobozunur olmayan yabancı madde, yabancı ot ve kararlılık parametrelerinin dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir.

Kompost kalite kriterlerinde belirlenen parametrelerin, düzenli sıklıklarla analiz edilmesi gerekmektedir. Analiz maliyetleri, analizlerin seyrek yapılması istemini getireceği için standartlarda minimum süreler belirlenmiştir. Çeşitli ulusal standartlarda belirlenen kompost kalite analiz sıklıkları Çizelge 2.7'de verilmiştir.

**Çizelge 2.7.** Ulusal Standartlarda Verilen Kompost Kalite Analiz Sıklıkları(Brinton 2000, Aycan 2011)

ÜLKELER	Kompost Kalite Analiz Sıklığı
<b>Almanya</b>	<2000 t ( 4 kez / 3 ay ) >12000 t ( 12x8 kez / yıl )
<b>Hollanda</b>	1 kez/ 5000 t veya min. 6 kez / yıl
<b>Belçika</b>	8 kez/ yıl ( 4000-1000 t / yıl kapasiteli tesislerde )
<b>Avusturya</b>	1 kez / 2000 m <sup>3</sup> veya min. 1 kez / yıl
<b>İsviçre</b>	>100 ton ( 1 kez / yıl )
<b>Danimarka</b>	1 kez / 6 ay
<b>İngiltere</b>	<5000 t ( 2 kez / yıl ); >5000 t ( 3 kez / yıl ); >20000 t ( 4 kez / yıl )
<b>Türkiye</b>	min. 1 kez / 3 ay

Kompostla ilgili mevzuatlar üretimi, işletmeyi ve ürünü düzenlemeye yönelik olarak getirilmiş ve her ülke kendine göre bir standart getirmiş ve yürürlüğe koymuştur. Standartların birbirinden farklı olmasının nedenlerinden biri kompost üretim kültürüyle alakalıdır. Kompost üretimini uzun yıllardan beri yapan ülkelerdeki bu standartlara bakıldığından bu standartların daha yaygın ve kapsamlı olduğu farkedilmektedir (Bıtrak 2013). Kompost için önemli olan ağır metal parametresinin ülkelerin kanun ve yönetmeliklerinde belirlenen sınır değerleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

**Çizelge 2.8 Bazı Kompost Standartlarında Ağır Metal Limitleri (mg/kg)**

Ülke	Düzenleme	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
<b>Avusturya</b>	Kalite sınıfı : A+	0,7	70	70	0,4	25	45	200	-
	Kalite sınıfı : A	1	70	150	0,7	60	120	500	-
	Kalite sınıfı : B	3	250	500	3	100	200	1800	-
<b>Almanya</b>	Biyoatık Yönetmeliği (I)	1	70	70	0,7	35	100	300	-
	Biyoatık Yönetmeliği (II)	1,5	100	100	1	50	150	400	-
<b>Hollanda</b>	Kompost	1	50	60	0,3	20	100	200	15
	Kompost (Çok temiz)	0,7	50	25	0,2	10	65	75	5
<b>Avrupa Komisyonu</b>	Atık Direktifi: biyoatıkların biyolojik bertarafı: Sınıf 1	0,7	100	100	0,5	50	100	200	-
	Atık Direktifi: biyoatıkların biyolojik bertarafı: Sınıf 2	1,5	150	150	1	75	150	400	-
	2092/91 EC – 1488/98 EC (Organik tarım)	0,7	70	70	0,4	25	45	200	-
<b>Birleşik Krallık</b>	UKROFS “Kompostlanmış evsel atık”	1,5	70	70	0,4	25	45	200	-
	Kompost Birliği Kalite Etiketli	16	150	200	1	50	150	400	-
<b>A.B.D</b>	Texas TNRCC Sınıf 1	16	180	1020	11	160	300	2190	10
	Texas TNRCC Sınıf 2	39	1200	1500	17	420	300	2800	41
<b>Danimarka</b>		0,4	-	1000	0,8	30	120	4000	25
<b>İrlanda</b>		1,5	100	100	1	50	150	350	15
<b>Lüksemburg</b>		1,5	100	100	1	50	150	400	-
<b>İspanya</b>		2	100	100	1	60	150	400	-
<b>İsveç</b>		1	100	100	1	50	100	300	-
<b>İngiltere</b>		1,5	100	200	1	50	150	400	-
<b>Fransa</b>		3	-	-	8	200	800	-	-
<b>İtalya</b>		10	500	600	10	200	500	2500	10
<b>Türkiye</b>	Kompost Tebliği	<b>3</b>	<b>350</b>	<b>450</b>	<b>5</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>1100</b>	<b>20</b>

Mevzuatlarda belirtilen sınır değerler bakımından AB üyesi ülkeler arasında da önemli farklar bulunmaktadır. İspanya ve İtalya’da belirlenen sınır değerler, diğer üye ülkelere

göre çok daha yüksektir. Buna karşın Hollanda, Avusturya, Belçika ve İngiltere’de ulusal bazda belirlenen sınır değerler AB mevzuatlarına oldukça yakındır.

Avrupa’da kompostlama ile ilgili yasal düzenlemelerde genellikle kompostun ağır metal muhtevası üzerinde durulduğu görülmektedir. Özellikle Avusturya’da kompost kalite sınıfları ağır metal içeriğine göre belirlenmiştir. Almanya’da kompost sınıfları, kompostun özellikleri veya kullanımına göre Belçika (Flandra)’da ise; kullanılan ham maddeye göre belirlenmektedir.

### **2.2.7. Kompostun kullanım alanları**

Kompost, yüzyıllardır değerli bir toprak ıslah materyali olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında kirlilik remediasyonu, kirlilik önleme ve düşük maliyet sağlama gibi faydaları da bulunmaktadır. EPA (1997) tarafından verilen kullanım alanları, kısa başlıklar halinde;

a) Toprak zenginleştirme;

- Fakir toprakları rejenere etmek amacıyla organik madde ve humus sağlama,
- Bitki hastalıkları ve haşere sorununun kontrol edilmesine yardımcı olma,
- Killi ve kumlu toprakların her ikisinde de, suyun tutulmasını ve toprağın nutrient içeriğini arttırma,
- Kimyasal gübrelere doğal toprak mikroplarının azalmasından sonra toprak yapısını restore etme,
- Gübre ihtiyacını azaltma veya giderme,
- Özel toprak, su ve hava problemleri ile mücadele etme.

b) Kirlilik remediasyonu;

- Uçucu organik bileşikleri parçalayabilmekte ve kokuları absorblama,
- Ağır metalleri tutmakta ve onların bitkiler tarafından absorblanmasını veya su kaynaklarına ulaşmasını engelleme,
- Kirlenmiş topraklardaki klorlu ve klorlu olmayan hidrokarbonlar, pestisitleri, petrol ürünlerini ve ahşap koruyucularını parçalama ve bazı durumlarda tamamen yok etme.

c) Kirlilik önleme;

- Düzenli depolamadaki sızıntı suyu oluşumunu ve metan üretimini engelleme,
- Şiddetli yağışlarda, su kaynaklarına kirlenici ulaşması önleme,



- Erozyonu ve dere, göl ve nehirlere şiddetli yağış ile kum ve çamur gelmesini önleme,
- Yol kenarları, yamaçlar, golf ve diğer oyun sahaları gibi alanlarda çim kaybını önleme.

d) Ekonomik yararları;

- Su, gübre ve pestisitler için duyulan ihtiyacı azaltarak önemli ölçüde tasarruf sağlama,
- Pazarlanabilir bir ürün oluşturma,
- Standart düzenli depolama örtüsüne ve suni toprak ıslah materyallerine alternatif olarak daha düşük maliyet gerektirme,
- Atık akımı içerisindeki organik atıkların kompostlanması ile kentsel katı atık depolarının ömrü uzatma,
- Klasik biyoremediasyon tekniklerine alternatif olarak daha düşük maliyet sağlama şeklinde verilmektedir.

#### **2.2.8. Arıtma çamurunun kompostlanmasıyla ilgili bilimsel çalışmalar**

Paredes ve ark. (2002)'nin yapmış olduğu çalışmada, biri mısır silajı(MS) ve zeytin karasuyu arıtma çamuruyla(ZKAÇ); diğeri ise pamuk posası(PP) ve zeytin karasuyu arıtma çamurundan(ZKAÇ) oluşan 2 adet reaktör hazırlayarak bunların kompostlanabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışma pilot ölçekli kompost tesisinde 182 gün boyunca sürdürülmüştür. Birinci reaktörde %20 PP ,%80 ZKAÇ; ikinci reaktörde ise %11 MS, %89 ZKAÇ oranlarına sahip olan malzemelerle kompost karışımı hazırlanmıştır. İkinci haftanın başında birinci reaktör 65°C görürken ikinci reaktör 54°C'de kalmıştır böylelikle PP ve ZKAÇ karışımından oluşan reaktörün daha yüksek sıcaklığa ulaştığı; daha yüksek konsantrasyonlardaki organik madde ve daha fazla stabil madde sahip olduğu kaydedilmiştir.

Arias ve ark. (2007)'nin yapmış olduğu çalışmada, arıtma çamuru ve zeytin posası katı atığının 1:2 oranındaki karışımına ferrosülfür (SF) dozlanmasıyla kompostlamada üzerindeki etkisi incelenmiştir. Reaktör için 175 günlük bekletme süresi uygun görülmüştür. Karışım pilot ölçekli 6m<sup>3</sup> hacmindeki kompost reaktöründe yapılmıştır. Bu araştırmada %0 SF, %10 SF ve %20 SF olan 3 ayrı doz oranı kompost karışıma katılmıştır. Bu araştırmada sonuç olarak yaklaşık 35. günde SF'siz reaktör 55°C' ye, 60.

günde de 65°C 'yi ulaşmıştır. %10 SF'lik yaklaşık olarak 110 günde 55°C yi görmüş %20'lik SF oranına sahip reaktör ise mezofilik fazda kaldığı sonuçları kaydedilmiştir.

Margesin ve ark. (2005) tarafından yapılmış olan araştırmada, düşük sıcaklık derecesinde bulunan arıtma çamuru kompostundaki biyolojik aktivite incelenmiştir. Reaktör trapez şekilli olarak inşa edilmiştir. Aerobik kompost reaktörü (40x4x2) ölçüleriyle yaklaşık iç hacmi 200m<sup>3</sup> olarak yapılmıştır. Karışım 40:60 oranında arıtma çamuru ve çalı çırpmı ile hazırlanmış; 48 günlük süreyle kompostlanmıştır. Maksimum dış ortam sıcaklığı 10.1°C, minimum dış ortam ise sıcaklığı 2.2°C olmasına rağmen karışım sıcaklığı 66°C' ye ulaşmıştır. Bu çalışmada 3:2 oranında olmak üzere 2 paralel reaktör yüklenmiştir. Birinci kompost reaktörü, ikinci reaktöre göre haftada 2 kez olmak kaydıyla daha sık olarak karıştırılmıştır. Bu işlem sonunda ısı kaybının yanı sıra istatistiksel olarak daha yüksek kuruluk gözlemlenmiştir. Bu dönüşüm mikrobiyal proste belirli olumsuz etkiler göstermiştir. Bu mikrobiyal belirtiler, düşük C:N oranındaki olumsuz azalma, enzim aktivitelerinde azalma, solunum ve biyokütle de azalma olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada düşük nem içeriği ve düşük ortam sıcaklığına göre kompost için daha sınırlayıcı bir faktör olduğuna karar verilmiştir.

Rihani ve ark. (2010)' ları tarafından yapılmış olan çalışmada, kentsel arıtma çamurunun aerobik olarak kompostlama yoluyla tekrar kullanılması araştırılmıştır. Bu çalışmada iki adet paralel reaktör yüklenmiş ve birinci reaktöre; çamur (700kg) ve şeker pancarı yaprağı (650kg), ikinci reaktöre ise çamur (520kg), koyun gübresi (250kg), şeker pancarı yaprağı ( 490kg) ve samandan (50kg) oluşan karışımlar hazırlanmıştır. Birinci karışım için 30 günlük bekleme süresi, ikinci karışım için ise 23 günlük bekleme süresinde kompostlama yapılmıştır. Birinci reaktör, 8. günde 60°C'nin üstüne çıkmış; ikinci reaktör ise 7. günde 60°C' nin üstüne çıkmıştır. Birinci reaktörün C:N oranı başlangıçta 18'den 10.2'ye, ikinci reaktörün C:N oranı ise 20'den 12'ye düşmüştür. Sonuç olarak nihai kompostta düşük oranda ağır metal içeriğine sahip olması, yüksek miktarda besin kaynağı olması ve önemli ölçüde patojen giderilmesi ile kompostun tarımsal amaçlı kullanılmasında hiçbir sorun olmayacağı kanısına varılmıştır.

Villasenor ve ark (2010)' nın yapmış olduğu çalışmada, doğal zeolitlerle arıtma çamurunun kompostlanabilirliği incelenmiştir. Karışım 100lt'lik reaktörde 100 gün boyunca kompostlanmış ve karışımın C:N oranı 29 olarak belirlenmiş. Arpa samanı ve

arıtma çamurundan oluşan karışım 7 paralel reaktör şeklinde hazırlanmıştır. Aynı oranda 3 çeşit zeolit içeriği ile 1 adet zeolisis içeriği karıştırılmış ve en yüksek sıcaklık 65°C zeolisis karışımı olarak kaydedilmiştir. Diğer bir karşılaştırmada aynı zeolitin 3 farklı miktarda karışımı ile zeolisis karşılaştırılmış tekrar en yüksek sıcaklık kaydı zeoliste alınmıştır. Sonuç olarak en yüksek sıcaklık değerini veren zeolisis miktarı optimum doz olarak belirlenmiştir.



### 3. MATERYAL METOD

#### 3.1. Kompost Malzemeleri ve Deney Düzenegi

Bu çalışmada kompostlamada kullanılan atıklar; gıda endüstrisi arıtma tesisi çamuru, mısır koçanı, saman, ayçiçeği sapı, yer fıstığı kabuğu, çınar yaprağı, talaş, pamuk kozası ve pirinç kabuğudur. Deneylerde kullanılan materyallerin karakteristiği ile ilgili deney sonuçları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Araştırmada kullanılan arıtma çamuru örnekleri Bursa-İzmir karayolu 22. km'sinde bulunan Penguen Gıda Sanayi A.Ş. Arıtma Tesisi'nden alınmıştır. Fabrikanın arıtma tesisi 4000 m<sup>2</sup> alan üzerine kurulmuştur. Tesisin atık su kapasitesi 5500 m<sup>3</sup>/gün'dür. Tesisten ortalama 15 ton/ay ham arıtma çamuru çıkmaktadır. Arıtma tesisinin tipi tek kademeli biyolojik arıtmadır (Aşık ve Katkat 2004). Arıtma çamuru örnekleri arıtım işlemleri sonunda filtre presin çıkışından alınmıştır.

Mısır koçanı, Cargill Bursa Orhangazi Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Saman, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesine ait çiftliklerden balyalar halinde alınmıştır. Çalışmada kullanılan ayçiçeği sapsarı yine Uludağ Üniversitesi Ziraat Mühendisliği bölümüne ait tarlalardan hasat edilmiş ayçiçeklerin tarlada bırakılan sapsarı toplanarak elde edilmiştir. Yer fıstığı kabuğu, Peyman A.Ş. aracılığıyla Osmaniye ilinden fıstığı ayrılmış halde kabuk olarak çuvalla gönderilmiştir. Çınar yaprakları, Uludağ Üniversitesi Kampüsü park-bahçelerinden temin edilmiştir. Ağaçlardan dökülen yapraklar toplanmış ve bir süre serilerek kurutulmuştur. Pamuk kozası, Şanlıurfa'da bulunan pamuk işleme tesisinden alınmıştır. Tüm bu materyallerin boyutları büyük olması sebebiyle Uludağ Üniversitesi Ziraat Mühendisliği bölümüne ait öğütücülerde kompostlama işlemi için uygun partikül boyutuna (1-2 cm) gelecek şekilde öğütülmüştür.

Talaş, Bursa ili, İnegöl ilçesinde bulunan bir mobilya firmasından ağaç şekillendirme işlemi sonucu oluşan tahta yongalarından temin edilmiştir. Pirinç kabuğu, Balıkesir ili Bandırma ilçesinde bulunan yem fabrikasından alınmıştır. Bu iki materyalin partikül boyutu kompost için ideal olup ön işlem yapmadan kompostlamada kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1.** Deneyleerde Kullanılan Materyallerin Karakteristiği

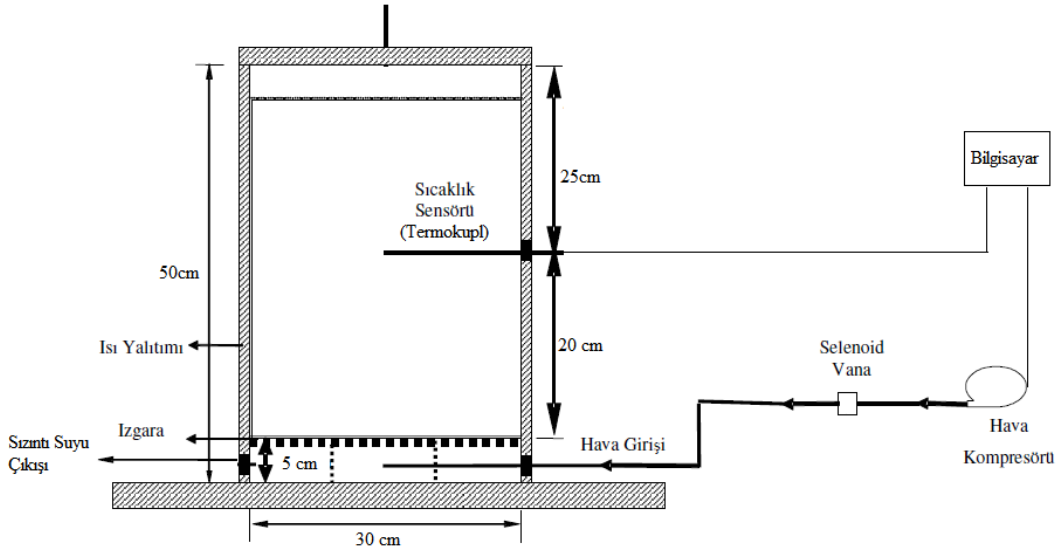
Parametreler	Aritma Çamuru	Mısır Koçanı	Saman	Ayçiçeği Sapı	Fıstık Kabuğu
pH (1:10, saf su ekstraktı)	8,45±0,01	5,16±0,00	6,67±0,04	6,69±0,01	5,60±0,01
EC, mS/cm (1:10, saf su ekstraktı)	2,63±0,06	3,08±0,01	1,98±0,02	0,20±0,00	3,52±0,00
Nem, %	84,4±4,0	12,17±0,24	9,97±0,15	10,3±0,12	21,50±0,11
OM, %	67,60±0,49	82,93±3,6	87,2±2,8	91,6±2,4	85,80±2,2
OC, %	17,5±0,39	36,71±2,4	38,41±2,44	47,0±0,94	32,97±0,25
NH <sub>4</sub> -N mg/kg kuru çamur	70,0±0,02	70,0±10,10	0	0	0
NO <sub>3</sub> -N mg/kg kuru çamur	70,0±0,02	17,5±0,00	0	0	0
TKN, %	2,47±0,01	0,50±0,02	0,37±0,01	0,485±0,10	0,54±0,0
TN %	2,48	0,51	0,37	0,485	0,54
C/N	7,1	73,40	104	95,82	61,06

**Çizelge 3.1.** Deneyleerde Kullanılan Materyallerin Karakteristiği (Devamı)

Parametreler	Çınar Yaprağı	Talaş	Pamuk Kozası	Pirinç Kabuğu
pH (1:10, saf su ekstraktı)	6,45±0,01	5,95±0,01	5,73±0,01	6,4±0,00
EC, mS/cm (1:10, saf su ekstraktı)	1,54±0,07	1,12±0,02	6,22±0,00	1,40±0,01
Nem, %	21,2±1,03	19,03±0,12	18,63±0,12	12,38±0,02
OM, %	80,0±6,3		83,47±2,4	80,65±2,6
OC, %	41,6±3,0	42,59	31,64±0,94	40,66±1,2
NH <sub>4</sub> -N mg/kg kuru çamur	0	23,25	0	0
NO <sub>3</sub> -N mg/kg kuru çamur	0	0	0	0
TKN, %	0,87±0,02	0,3±0,08	0,81±0,10	0,40±0,06
TN %	0,82	0,3	0,81	0,40
C/N	50,72	142	39,06	101,65

Bu çalışmada sürdürülebilir bir yöntem izlenerek evsel nitelikli arıtma çamurlarının kullanım kapasitesini sağlıklı çevre, ekonomik ve sosyal yararlar temel alınarak arttırmak amacıyla kompostlanabilirliği değerlendirilmek istenmiştir. Evsel nitelikli arıtma çamurları azot bakımından zengindir. Kompost oluşumu belirli bir C/N oranıyla sağlanır. Bu oranı sağlamak ve nemi ayarlamak için arıtma çamuruna karbonca zengin mısır koçanı, saman, ayçiçeği sapı, yer fıstığı kabuğu, çınar yaprağı, talaş, pamuk kozası ve pirinç kabuğu gibi materyaller kullanılmıştır.

Denemelerde havalı kompostlama, kesikli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Reaktörlere hava 8 çıkışlı 1 adet akvaryum pompası vasıtasıyla debisi ayarlanarak bir rotometreden geçirilerek verilmiş ve on-line hava miktarları kaydedilmiştir. Havalandırma, zaman ayarlayıcıya bağlı selenoid vana kullanılmak suretiyle 1 saatte 15 dakika 600–700 ml/dk hava verecek şekilde yapılmıştır. Reaktördeki sıcaklık probu ile on-line sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Atık kütesinin sıcaklığını korumak, çevreyle ısı alış-verişini önlemek amacıyla reaktörün yan tarafları ve alt kısmı yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Havanın atığın içine homojen olarak dağılmasını sağlamak için, reaktör tabanından 5cm yükseklikte ızgara konulmuştur. Havalı kompostlama reaktörü, paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. Reaktörün iç çapı 300 mm, et kalınlığı 10 mm ve yüksekliği 450 mm'dir. Faydalı hacmi ise 30 litredir. Havalı(aerobik) kompostlama reaktörünün şematik görünümü Şekil 3.1. 'de görünümü Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de kullanılan ekipmanlar gösterilmiştir.



**Şekil 3.1.** Deney düzeneğinde kullanılan kesikli aerobik kompost reaktörlerinin şematik görünümü



**Şekil 3.2** Deneyde kullanılan kesikli aerobik kompost reaktörlerin görünümü



**Şekil 3.3** Deneyde kullanılan kesikli aerobik reaktörler ve akvaryum pompaları

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması

Gıda endüstrisi arıtma tesisinden kaynaklanan arıtma çamurlarının kompostlanmasında kullanılabilir uygun katkı maddeleri ve optimum kompostlama veriminin hesaplanması amaçlanan bu çalışmada, gıda endüstrisi arıtma tesisi çamuru, mısır koçanı, saman, ayçiçeği sapı, yer fıstığı kabuğu, çınar yaprağı, talaş, pamuk kozası ve pirinç kabuğundan oluşan 11 adet farklı karışım hazırlanmıştır. Kompost karışımlarının hazırlanışı Şekil 3.4 ve 3.5 'de gösterilmiştir. Arıtma çamuru her reaktörde ana materyal olarak kullanılmış olup mısır koçanı, saman, ayçiçeği sapı, yer fıstığı kabuğu, çınar yaprağı, talaş, pamuk kozası ve pirinç kabuğu ikincil materyal olarak eklenmiştir. Reaktörler aktif kompost fazında 21 gün çalıştırılmıştır. Reaktörlerden başlangıç (0. Gün) ve bitiş (21. Gün) günleri haricinde 2., 7., ve 14. günlerde örnek alınmıştır Ayrıca reaktörlerde 21 gün sonra aktif kompost fazı tamamlanan kompost karışımları olgunlaşma fazını gerçekleştirmek amacıyla bir kabın içinde 60 gün bekletilmiştir. Olgunlaşma fazında karışımlar belirli aralıklarla karıştırılarak 60. gün örnek alınmıştır. Kompost karışımının homojenliğini sağlamak ve havalandırmak için reaktörler günün başı ve örnek alma günlerinde manuel olarak karıştırılmıştır. Reaktörlerde gerçekleşen kuru madde (KM) ve organik madde (OM) kayıplarını hesaplayabilmek için reaktör deneme başlangıcında, her örnek alma gününde (2., 7. ve 14. gün) ve deneme sonunda tartılmıştır. Ayrıca örnek olarak oluşan kütle kayıplarını da hesaba katabilmek için alınan örneklerde tartılmıştır. Proseste her dakikada 1 veri olacak şekilde sıcaklık ve hava değerleri SCADA programı ile sürekli kontrol edilmiştir. Çalışmada hazırlanan kompost karışımlarının içerikleri ve oranları Çizelge 3.2' de verilmiştir.





**Şekil 3.4** Kompost karışımlarının hazırlanması



**Şekil 3.5** Hazırlanmış kompost karışımı

**Çizelge 3.2** Kompost karışımlarının içerikleri ve oranları

	<b>1. Deneme Y1</b>	<b>2. Deneme Y2</b>	<b>3. Deneme Y3</b>	<b>4. Deneme Y4</b>	<b>5. Deneme Y5</b>	<b>6. Deneme Y6</b>
<b>Başlangıç Tarihi</b>	07.03.2012	07.03.2012	07.03.2012	28.03.2012	28.03.2012	23.05.2012
<b>Bitiş Tarihi</b>	28.03.2012	28.03.2012	28.03.2012	18.04.2012	18.04.2012	13.06.2012
<b>Karışım oranı</b>	Çamur %60 Mısır K. %40	Çamur %60 Saman %40	Çamur %60 Ayçiçeği sapı %40	Çamur %60 Çınar Yaprağı %40	Çamur %60 Yer Fıstığı kabuğu %40	Çamur %60 Pirinç Kabluğu %40
<b>Toplam kütle (kg)</b>	9,59	3,264	4,936	6,1	9,166	5,46
<b>Başlangıçtaki C/N</b>	38,87	62,13	69,21	29,97	19,49	38,20
<b>Başlangıçtaki Nem (%)</b>	52,05	50,86	47,67	57,67	58,16	50,57
<b>Max. Sıcaklık (°C)</b>	63,5	46,4	56,8	48,5	58,5	34,1

**Çizelge 3.2** Kompost karışımlarının içerikleri ve oranları(devamı)

	<b>7. Deneme Y7</b>	<b>8. Deneme Y8</b>	<b>9. Deneme Y9</b>	<b>10. Deneme Y10</b>	<b>11. Deneme Y11</b>
<b>Başlangıç Tarihi</b>	23.05.2012	13.06.2012	13.06.2012	13.06.2012	13.06.2012
<b>Bitiş Tarihi</b>	13.06.2012	04.07.2012	04.07.2012	04.07.2012	04.07.2012
<b>Karışım oranı</b>	Çamur %60 Pamuk Kozası %40	Çamur %60 Talaş. %40	Çamur %80 Yer Fıstığı kabuğu %20	Çamur %80 Mısır K. %20	Çamur %80 Pamuk Kozası %20
<b>Toplam kütle (kg)</b>	6,868	3,638	14,59	14,262	13,288
<b>Başlangıçtaki C/N</b>	31,44	66,40	18,33	22,81	22,59
<b>Başlangıçtaki Nem (%)</b>	53,11	57,27	69,32	67,46	68,19
<b>Max. Sıcaklık (°C)</b>	53,30	36,9	68,7	68,6	65,2

### 3.2.2. Analiz yöntemleri

Reaktörlere konulan karışımlardan 0, 2, 7, 14, 21. ve 60. günlerde örnekler alınmış ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Arıtma çamuru, katkı maddeleri ve kompost örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri 1:10 saf su ekstraktında belirlenmiştir (Rhoades, 1982; Mc Lean, 1982). Çamur örneklerindeki kuru madde miktarı 105 °C’de kurutulan örneklerdeki ağırlık kaybı, uçucu madde miktarı da 550 °C’ de yanma kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır (APHA, AWWA, WEF, 1998). Birçok araştırmacının da belirttiği gibi OM (%)= 100 – kül (%) olarak hesaplanmıştır (Okalebo ve ark., 1993; Diaz ve ark. 2007; Khalil ve ark., 2011). Amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonlarının belirlenmesi için örnekler 2M KCl ile ekstrakte edilmiş, ekstraktlardaki konsantrasyonlar MgO ve devarda alaşımı kullanılmak suretiyle su buharı destilasyonu ve titrasyon yoluyla ölçülmüştür (Keeney ve Nelson 1982). Örneklerin toplam azot içerikleri Kjeldahl yaş yakma yöntemiyle tayin edilmiştir (Bremner ve Mulvaney 1982). Arıtma çamuru ve katkı maddelerinin kolay okside olabilir organik karbon konsantrasyonları, potasyum dikromat çözeltisi ile okside edildikten sonra 590 nm’ de spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir (Nelson ve Sommers, 1982). Kompost karışımlarından alınan örneklerin kolay okside olabilir organik karbon konsantrasyonları, örneklerin kül içerikleri baz alınarak aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır (Haug 1993).

$$\%C = (100 - \% \text{Kül}) / 1.8$$

Kompost karışımlarına ait serbest hava boşluğu (FAS) değerleri, karışım içerisindeki gaz hacminin toplam hacme bölünmesiyle hesaplanmıştır (Haug 1993). FAS değeri hesaplamak için, 1 litrelik beher kullanılmıştır. İlk olarak beherin darası tartılmıştır ( $M_1$ ), darası alınan beher çizgisine kadar kompost karışımı ile doldurulup tartılmıştır ( $M_2$ ) son olarak da içerisinde örnek bulunan karışımın üstüne beherin çizgisine kadar saf su eklenip tartılmıştır ( $M_3$ ). Bu üç değer aşağıdaki denklemde yerlerine konarak % porozite (n) hesaplanmıştır (Çataltaş 2013).

$$\% n = \left( \frac{M_3 - M_2}{1000(\text{Beher Hacmi})} \right) * 100$$

Porozite ve nem oranı aşağıdaki denklemde yerlerine yazılarak serbest hava boşluğu hesaplanmıştır (Madejon ve ark. 2002).

$$FAS = \% n * \left( 1 - \frac{\% nem}{100} \right)$$

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Kompost Ham Maddelerinin ve Başlangıç Kompost Karışımlarının Karakterizasyonu

Deneyleerde kullanılan arıtma çamuru ve katkı maddelerinin karakterizasyonuna ait veriler daha önceki bölümde Çizelge 3.1' de verilmiştir. Arıtma Çamurunun kompostlanmasında kullanılan katkı maddeleri % 80,0 ile % 91,6 aralığında organik madde miktarına sahipken, arıtma çamurunda bu değer % 67,6'dır. Benzer şekilde katkı maddelerinde organik karbon %31,6 ile % 47 aralığında olup arıtma çamuru, % 17,5 gibi daha düşük organik karbon içeriğine sahiptir. Arıtma çamuru yüksek nem içeriğine (% 84,4) ve düşük C/N oranına (7,1) sahiptir. Bu nedenle bu arıtma çamurundan kompost elde edilmesi için nem ve C/N oranını düzenleyen katkı maddeleri ile karıştırılması gerekli olmuştur. Kompost karışımları ham maddelerin nemli ağırlıkları esas alınarak hazırlanmıştır. Çalışmada hazırlanan kompost karışımlarının içerikleri ve oranları Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Yapılan 11 denemenin ilk 8 denemesinde arıtma çamuru kütlece %60 oranında olup katkı maddeleri %40, diğer 3 denemede ise arıtma çamurları %80 oranında olup önceki 8 denemede kullanılan ve termofilik fazı gören katkı maddelerinden, mısır koçanı, fıstık kabuğu ve pamuk kozasından %20 oranında alınmıştır. Çizelge 4.1'de bu denemelere ait veriler yer almaktadır.

**Çizelge 4.1.** Kompost denemelere ait veriler

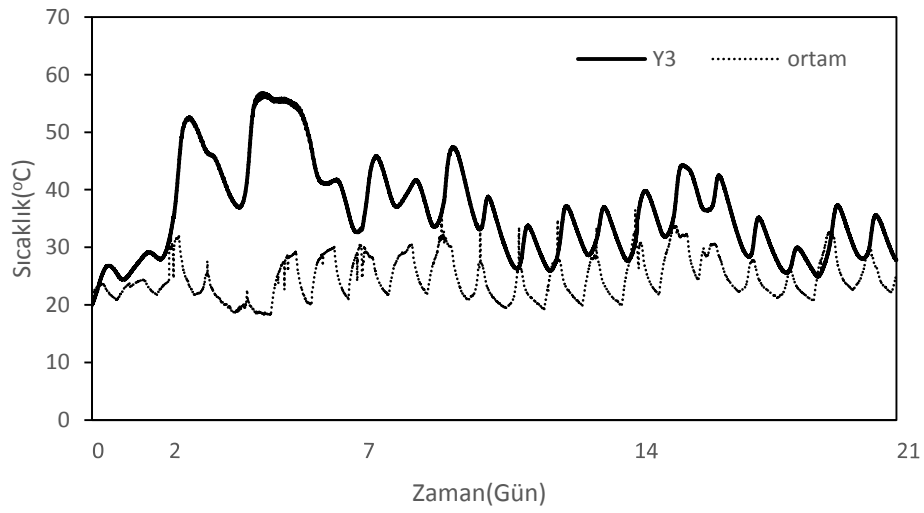
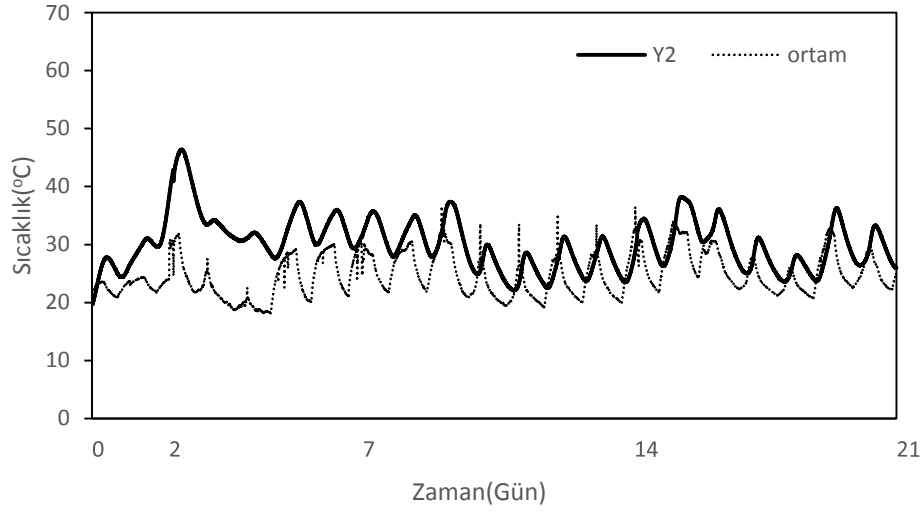
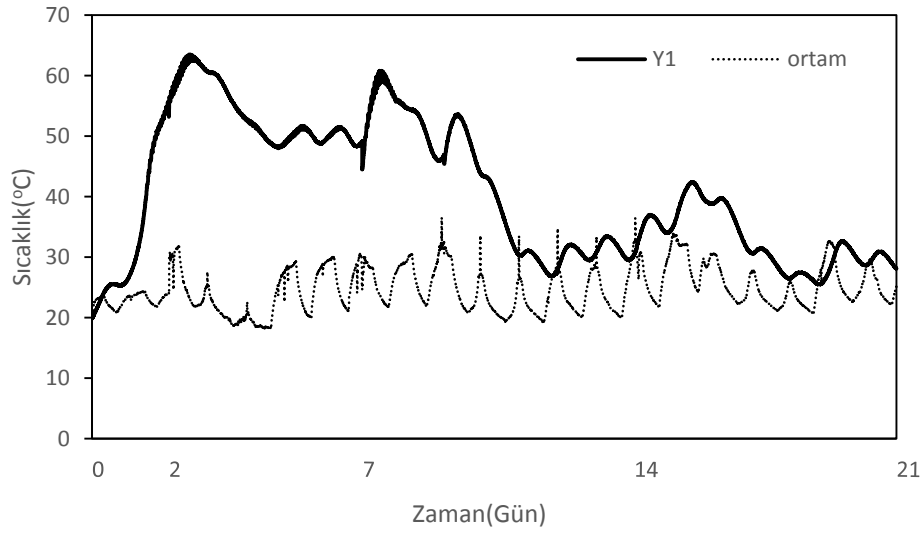
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
<b>Karışım oranı</b>	Çamur %60 Mısır K. %40	Çamur %60 Saman %40	Çamur %60 Ayçiçeği sapı %40	Çamur %60 Çınar Yaprağı %40	Çamur %60 Yer Fıstığı kabuğu %40	Çamur %60 Pirinç Kabuğu %40
<b>Max. Sıcaklık (°C)</b>	63,5	46,4	56,8	48,5	58,5	34,1
<b>Başlangıçtaki C/N</b>	38,87	62,13	69,21	29,97	19,49	38,20
<b>Başlangıçtaki Nem (%)</b>	52,05	50,86	47,67	57,67	58,16	50,57
<b>FAS</b>	27,64	37,10	35,70	29,94	24,69	36,60

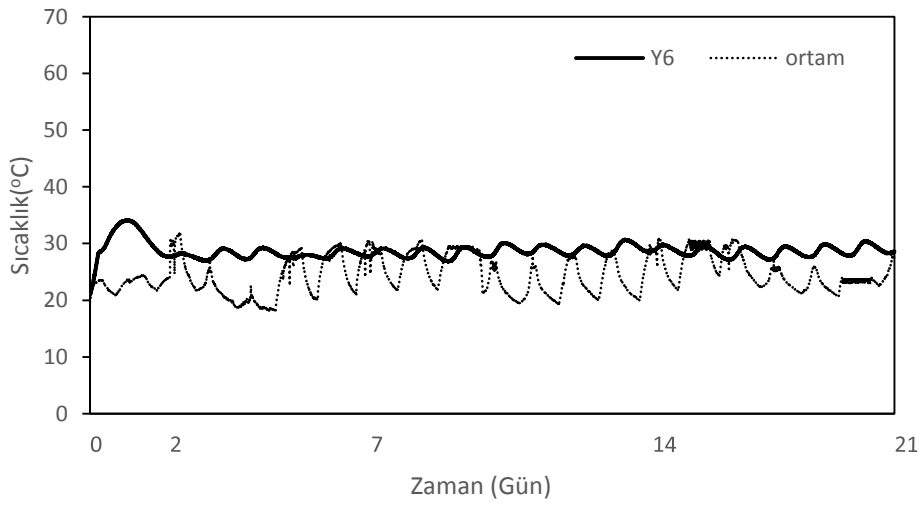
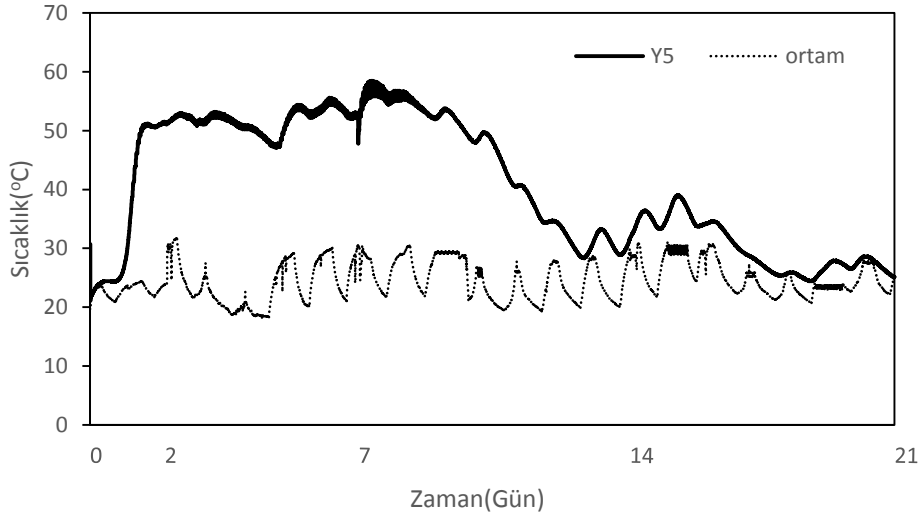
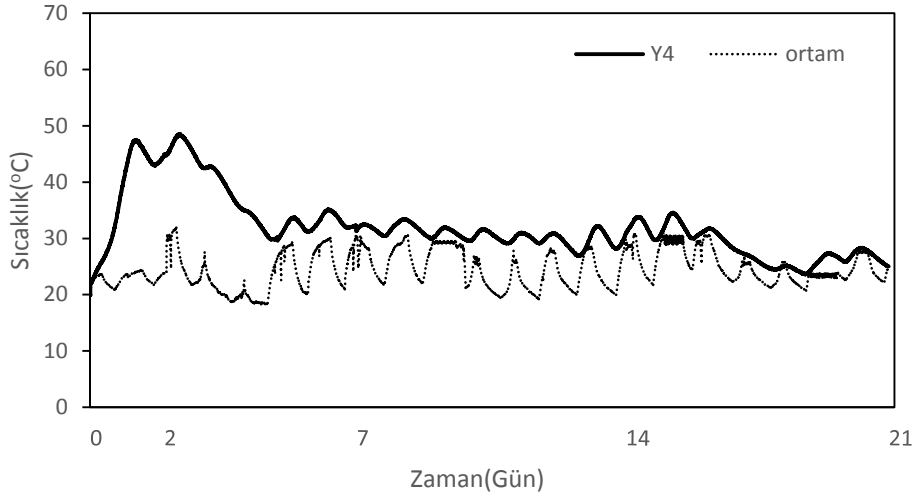
	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11
<b>Karışım oranı</b>	Çamur %60 Pamuk Kozası %40	Çamur %60 Talaş. %40	Çamur %80 Yer Fıstığı kabuğu %20	Çamur %80 Mısır K. %20	Çamur %80 Pamuk Kozası %20
<b>Max. Sıcaklık (°C)</b>	53,3	36,9	68,7	68,6	65,2
<b>Başlangıçtaki C/N</b>	31,44	66,40	18,33	22,81	22,59
<b>Başlangıçtaki Nem (%)</b>	53,11	57,27	69,32	67,46	68,19
<b>FAS</b>	32,99	36,06	15,58	16,71	17,52

#### 4.2 Sıcaklık Değişimleri

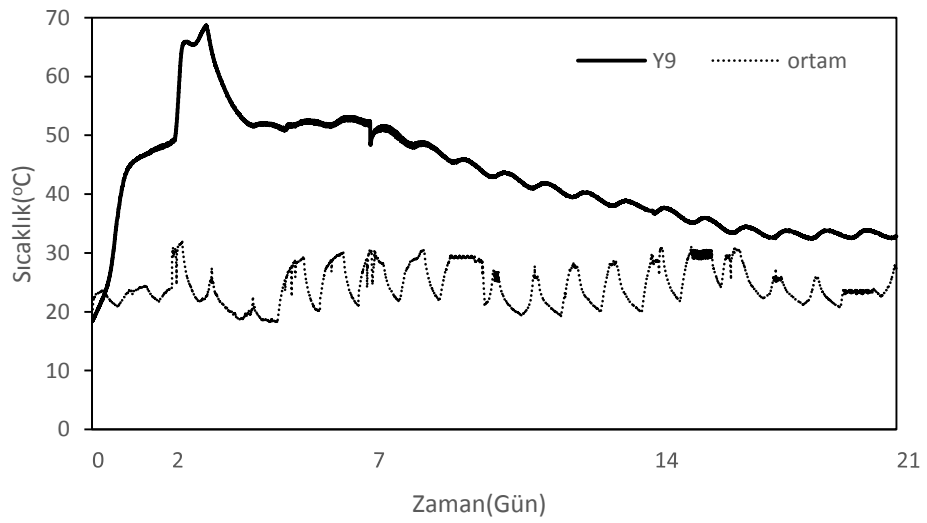
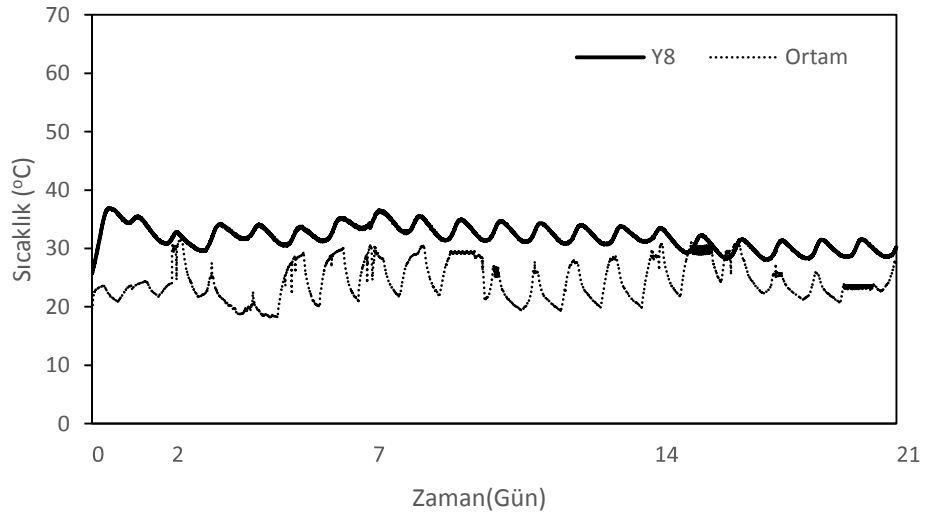
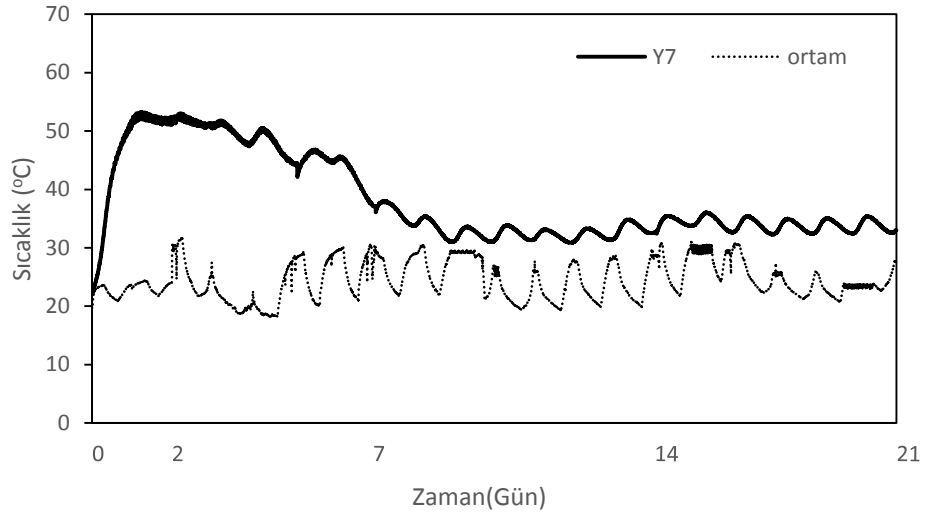
Çalışmada sıcaklık ölçümleri dakikada bir veri kaydedilecek şekilde reaktörlerin merkezine yerleştirilen problarla gerçekleştirilmiştir. Buna ilaveten kompost reaktörlerin bulunduğu bölümde ortam sıcaklığını aynı şekilde paralel olarak dakikada bir veri olarak kaydeden ortam sıcaklık ölçüm cihazı vardır. Kompostlama reaktörlerinde ki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları

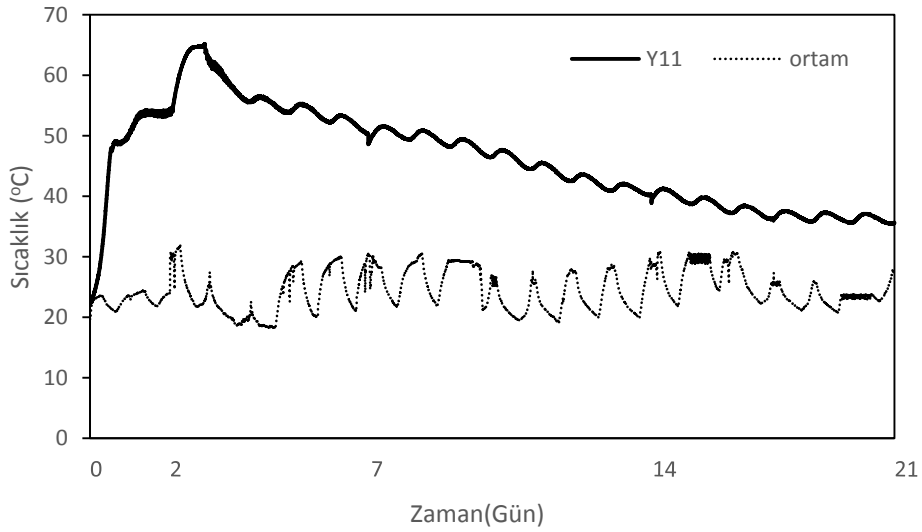
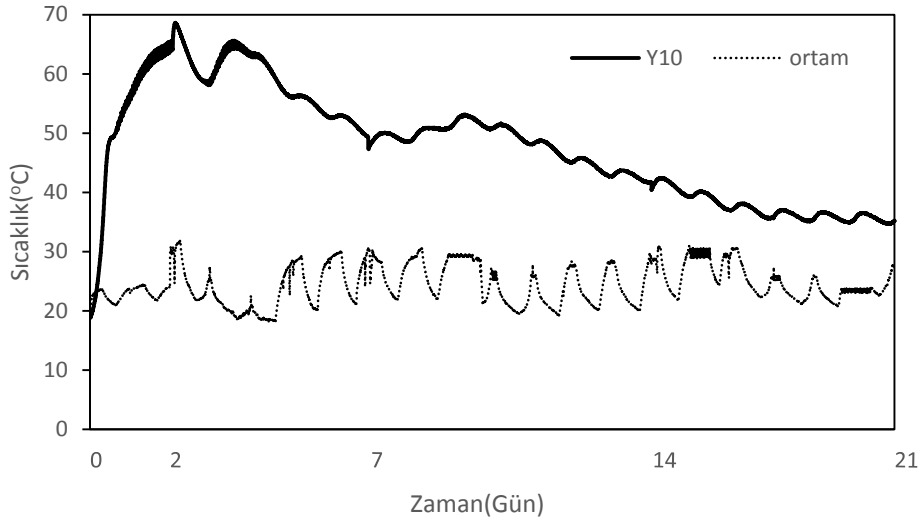


**Şekil 4.1** Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devam)



**Şekil 4.1** Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devam)





**Şekil 4.1** Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devamı)

Sıcaklık, organik atıkların aerobik degradasyonu ile kompostlama prosesi esnasında üretilir. Kompostlama ekzotermik bir prostedir. Biyolojik aktivite sonucu ısı açığa çıkması nedeniyle reaktörlerdeki sıcaklıklarda hızlı bir artış görülmektedir. 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 (Robin ve ark. 2002). Dresbøll 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. Yaptığımız kompost çalışmalarında ise Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sıcaklıklar önce belirli bir güne kadar artmış, sonra ise düşmeye başlayıp ortam sıcaklığına yaklaşmıştır.

Patojen kontrolü için kompost ham maddeleri reaktörde en az 5 gün 40°C’de kalmalıdır ve bu süre içinde sıcaklık en az 4 saat boyunca 55°C’yi aşmalıdır(USEPA 1993). Grafiklerde de görüldüğü gibi sıcaklığı 40°C’nin üzerine çıkabilen denemelerde, aktif fazda mezofilik evre 0-2 gün arasında sürmüştür. Bu süre sonunda termofilik evre başlamış ve 40°C üzerine çıkabilen denemeler için bu evre kompost karışımının içeriğine ve karışım oranına göre yaklaşık 1 ila 13 gün arasında değişiklik göstermiştir. Karışım oranlarına göre arıtma çamurunun kütleli olarak %60 oranında kullanıldığı ilk 8 deneme baz alındığında 40°C üzerinde en uzun süre kalan deneme 9 gün 7 saat ile kütlece %40 yer fıstığı kabuğunun kullanıldığı Y5 denemesidir. Arıtma çamurunun kütleli olarak %80 oranında kullanıldığı Y9, Y10 ve Y11 denemelerinde ise 40°C üzerinde en uzun süre kalan deneme 13 gün ile Y10 (%20 mısır koçanı) ve Y11 (%20 pamuk kozası) denemesi olup Y9 (%20 yer fıstığı kabuğu) denemesi de 10 gün kalmıştır. Termofilik fazda 55°C ‘yi en uzun süre aşan 58 saat ile Y1 (%40 mısır koçanı) ve 4 gün 6 saat ile Y10 (%20 mısır koçanı) denemesidir. Yapılan kompost çalışmalarında Y6 (%40 pirinç kabuğu) ve Y8 (%40 talaş) denemeleri 40 °C altında kaldığı, Y2 (%40 saman), Y4 (%40 çınar yaprağı), ve Y7 (%40 pamuk kozası) denemelerinin ise 55 °C üstüne çıkamadığı gözlemlenmiştir. Karbon kaynaklarındaki biyolojik olarak ayrışabilirlikleri arasındaki farklılıkların kompost sıcaklarına etki ettiği söylenebilir (Çataltaş 2013).

Patojen kontrolü için yukarıda bahsedilen EPA kriterleri göz önünde bulundurulduğunda Y1, Y3, Y5, Y9, Y10, ve Y11 denemeleri 55°C’yi en az 4 saat aşmış bulunup 40°C’de en az 5gün kalmıştır. Deneyle ilgili maksimum sıcaklık değerleri, 40°C’ nin ve 55°C’ nin üzerinde kalma süreleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde Y1, Y3, Y5, Y9, Y10, ve Y11 denemeleri gerekli stabilizasyonu sağladıkları tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma süresince gözlenen en yüksek sıcaklık %60 oranında arıtma çamurunun bulunduğu denemelerde Y1 (%40 mısır koçanı) 63,5°C , %80 oranında arıtma çamurunun bulunduğu denemelerde ise Y10 (%20 mısır koçanı) 68,7°C dir. Sıcaklık açısından %60 ve %80 arıtma çamuru içeren

denemeler kıyaslandığında hem patojen giderimi konusunda termofilik fazda en fazla süre kalan ve en yüksek sıcaklığa ulaşan hemde daha fazla çamurun kullanılması açısından %80 arıtma çamuru %20 mısır koçanı içeren deneme Y10 denemesidir. Farklı oranlarda arıtma çamuru ve mısır koçanının kullanıldığı her iki denemede (Y1 ve Y10) maksimum sıcaklıkları görmesi ve 55°C 'nin üzerinde en uzun süre kalmaları, mısır koçanın arıtma çamurlarının kompostlanmasında başarılı bir katkı maddesi olduğunu göstermiştir. Arıtma çamurunun kütlece %80 kullanıldığı tüm denemeler termofilik fazda uzun süreler kalması da ayrıca dikkat çekicidir. Arıtma çamurunda ki kolay parçalanabilir organik maddenin daha fazla olduğu ve bu durum reaksiyonda katalizör etki yarattığı, katkı maddelerindeki organik maddeleri parçalayabilmede ivme kazandırdığı söylenebilir. Çünkü %60 arıtma çamuru ve %40 pamuk kozası kullanılarak hazırlanan Y7 denemesinde termofilik faza geçiş sağlanamazken %80 arıtma çamuru ve %20 pamuk kozası kullanılan Y11 denemesinde termofilik faz 2 günden fazla sürmüştür.

**Çizelge 4.2** Kompost reaktörlerindeki maksimum sıcaklık değerleri

Deney No	Ulaşılan maksimum Sıcaklık (°C)	40 °C ' nin üstünde geçen süre (Gün)	55 °C ' nin üstünde geçen süre
Y1	63,5	8 gün 18 Saat	58 saat
Y2	46,4	0,53 gün(12,8 saat)	-
Y3	56,8	5,5 gün	21 saat 26 dakika
Y4	48,5	2,4 gün	-
Y5	58,5	9,3 gün	31 Saat 24 Dakika
Y6	34,1	-	-
Y7	53,3	5,8 gün	-
Y8	36,9	-	-
Y9	68,7	10,4 gün	30 Saat 23 Dakika
Y10	68,6	13,31 gün	4Gün 6Saat 14Dakika
Y11	65,2	13 gün	2Gün 13Saat 12 Dakika

### 4.3. Karbon/Azot oranı

Prosesteki hetetrofik mikroorganizmaların aktivitelerinin gelişimi, N ve C içeriğine bağlıdır. Mikroorganizmalar enerji kaynağı olarak C'ü kullanırlar, buna karşılık N ise protein sentezi için kullanılır. Oksidasyon reaksiyonları esnasında CO<sub>2</sub> 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. Kompostlama için yeterli olan C/N oranı aralığı 25-35'tir. Yüksek

C/N oranları durumunda ortamda mikroorganizmalar için fazla miktarda bozunur madde olduğundan proses yavaşlamaktadır. Düşük C/N oranlarında ise bozunabilen her C için fazla miktarda azot bulunur ve fazla miktarda inorganik N üretilir. Bu N ya buharlaşma sonucunda amonyak olarak kaybolur ya da kompost kütesinden toprağa sızar. Bu nedenle kompost karışımına düzenleyici madde katılmasıyla bozunabilen organik-C elde edilerek düşük C/N oranları artırılabilir (Mehmetli ve ark. 2010).

Yapılan denemelerin başlangıç, bitiş ve örnek alma günlerine ait; toplam organik karbon (C), toplam Azot (N), ve Karbon/Azot (C/N) oranları Çizelge 4.3' de verilmiştir. Reaktörlere ait C/N oranında ki değişim grafikleri Şekil 4.2' de verilmiştir.

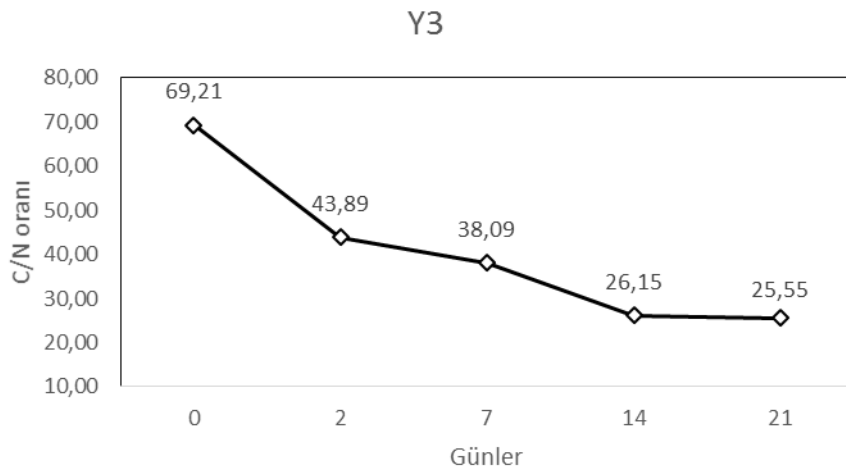
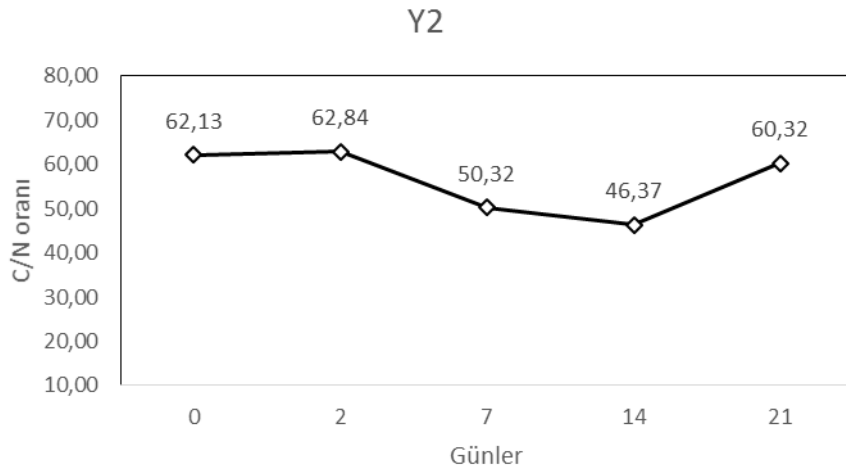
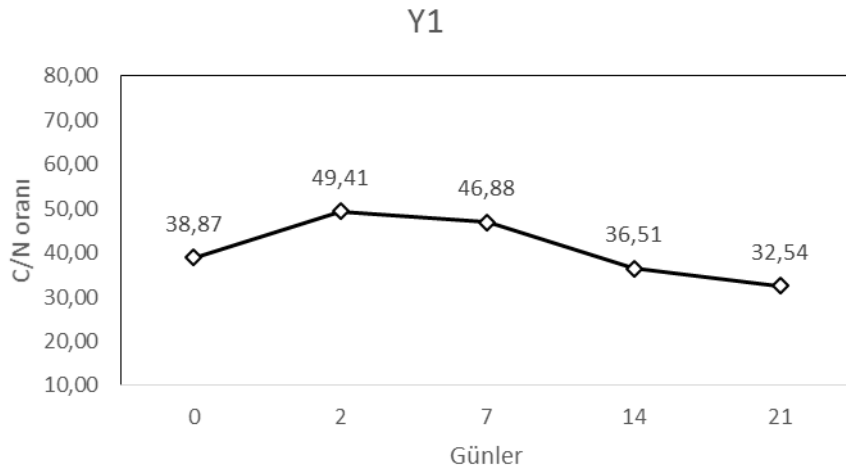


**Çizelge 4.3.** Kompost reaktörlerindeki organik karbon (OC), toplam Azot (TN) ve Karbon/Azot (C/N) oranları

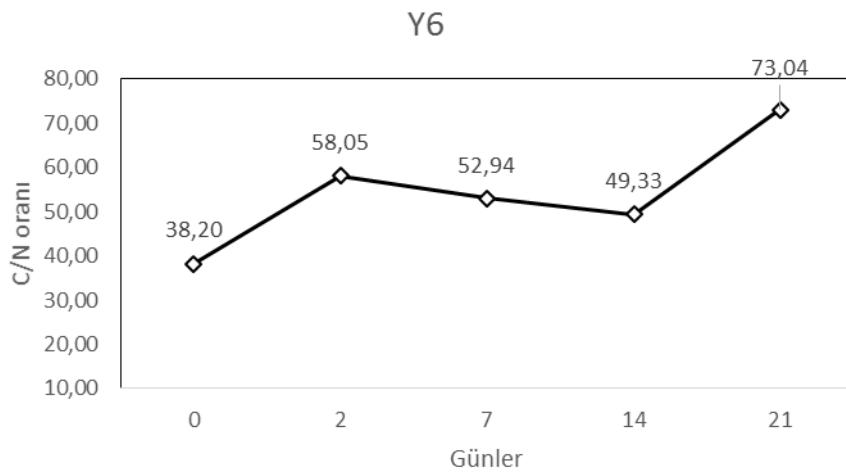
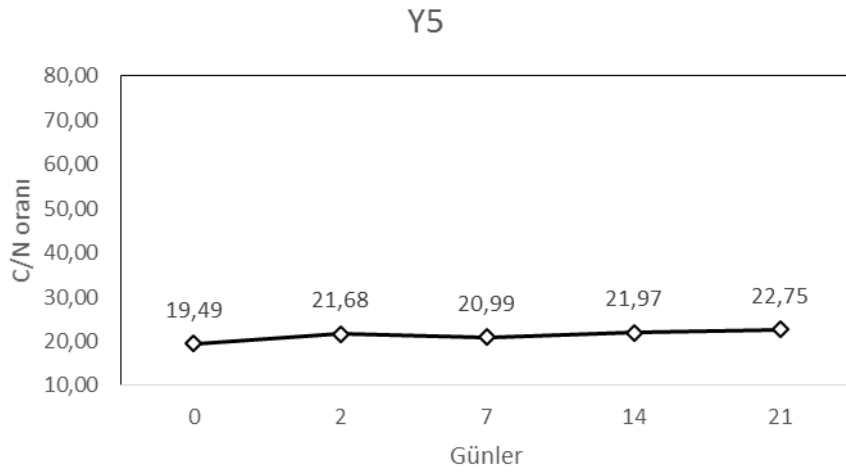
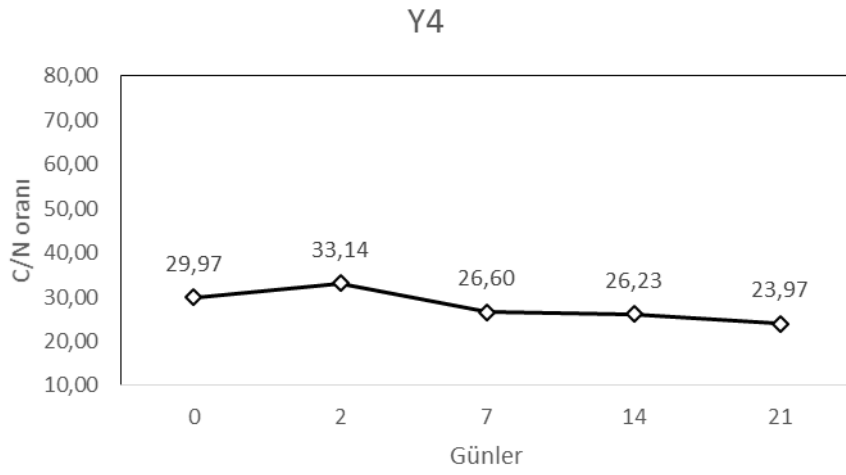
Deney No	Zaman (Gün)	Ort. OC (%)	Standart Sapma	Ort. TN (%)	Standart Sapma	C/N
<b>Y1</b>	0	42,76	± 3,15	1,10	± 0,04	38,87
	2	42,49	± 6,75	0,86	± 0,04	49,41
	7	42,66	± 6,78	0,91	± 0,18	46,88
	14	40,89	± 2,96	1,12	± 0,12	36,51
	21	37,10	± 1,92	1,14	± 0,11	32,54
<b>Y2</b>	0	44,73	± 2,43	0,72	± 0,04	62,13
	2	47,13	± 3,72	0,75	± 0,20	62,84
	7	47,81	± 4,36	0,95	± 0,04	50,32
	14	44,05	± 5,51	0,95	± 0,04	46,37
	21	44,63	± 4,29	0,74	± 0,08	60,32
<b>Y3</b>	0	44,98	± 3,85	0,65	± 0,04	69,21
	2	45,21	± 4,27	1,03	± 0,04	43,89
	7	43,04	± 0,96	1,13	± 0,07	38,09
	14	43,67	± 3,76	1,67	± 0,00	26,15
	21	40,11	± 3,03	1,57	± 0,06	25,55
<b>Y4</b>	0	38,97	± 0,47	1,30	± 0,04	29,97
	2	41,42	± 2,13	1,25	± 0,00	33,14
	7	38,84	± 1,61	1,46	± 0,00	26,60
	14	39,09	± 1,51	1,49	± 0,04	26,23
	21	36,92	± 2,31	1,54	± 0,00	23,97
<b>Y5</b>	0	42,28	± 2,53	2,17	± 0,00	19,49
	2	42,27	± 2,31	1,95	± 0,14	21,68
	7	41,14	± 5,41	1,96	± 0,00	20,99
	14	39,77	± 0,94	1,81	± 0,25	21,97
	21	41,41	± 2,14	1,82	± 0,25	22,75
<b>Y6</b>	0	40,11	± 1,66	1,05	± 0,02	38,20
	2	39,47	± 1,4	0,68	± 0,04	58,05
	7	39,18	± 1,82	0,74	± 0,04	52,94
	14	37,98	± 2,41	0,77	± 0,00	49,33
	21	37,98	± 1,84	0,52	± 0,03	73,04

**Çizelge 4.3** Kompost reaktörlerindeki organik karbon (OC), toplam Azot (TN) ve Karbon/Azot (C/N) oranları(devamı)

Deney No	Zaman (Gün)	Ort. OC (%)	Standart Sapma	Ortalama TN (%)	Standart Sapma	C/N
<b>Y7</b>	0	41,82	± 1,62	1,33	± 0,00	31,44
	2	43,13	± 2,35	1,28	± 0,11	33,69
	7	40,09	± 2,80	1,65	± 0,04	24,30
	14	39,00	± 0,83	1,82	± 0,00	21,43
	21	38,37	± 2,06	1,98	± 0,08	19,38
<b>Y8</b>	0	43,82	± 2,71	0,66	± 0,05	66,40
	2	46,91	± 1,14	0,74	± 0,11	63,39
	7	47,29	± 3,74	0,69	± 0,02	68,54
	14	45,96	± 4,04	0,70	± 0,04	65,65
	21	46,62	± 2,47	0,75	± 0,04	62,16
<b>Y9</b>	0	35,38	± 0,69	1,93	± 0,05	18,33
	2	35,77	± 0,94	2,14	± 0,04	16,71
	7	34,34	± 1,41	1,91	± 0,04	17,98
	14	32,12	± 1,00	1,74	± 0,07	18,46
	21	30,95	± 1,25	1,84	± 0,04	16,82
<b>Y10</b>	0	38,32	± 0,28	1,68	± 0,00	22,81
	2	41,24	± 0,68	1,49	± 0,08	27,68
	7	35,33	± 2,25	1,70	± 0,04	20,78
	14	32,91	± 1,45	2,01	± 0,02	16,37
	21	30,36	± 1,12	2	± 0,05	15,18
<b>Y11</b>	0	35,69	± 0,55	1,58	± 0,04	22,59
	2	34,84	± 0,39	1,62	± 0,02	21,51
	7	32,55	± 0,29	1,73	± 0,02	18,82
	14	33,04	± 1,12	1,95	± 0,00	16,94
	21	28,30	± 0,47	1,99	± 0,03	14,22

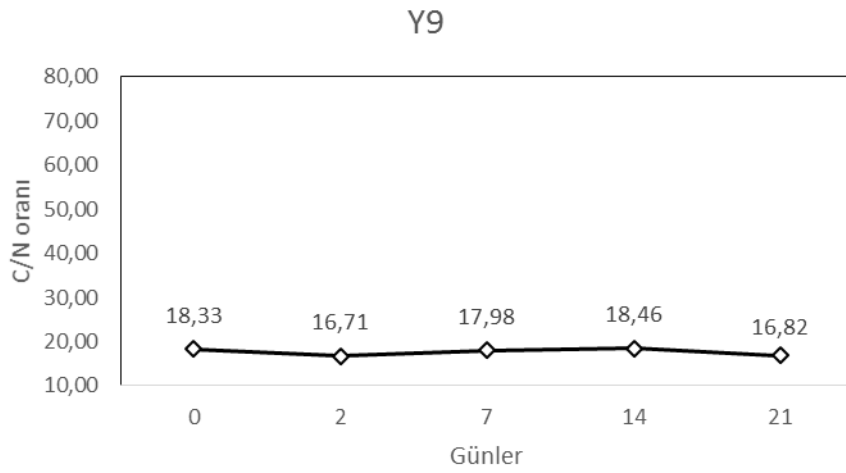
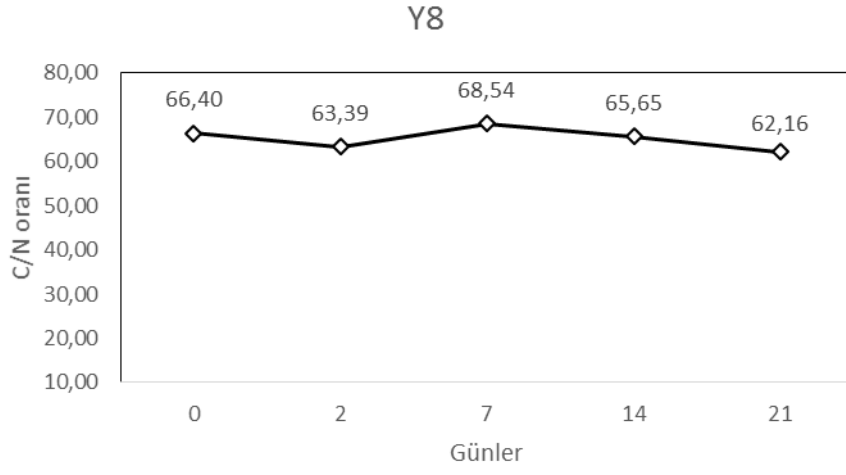
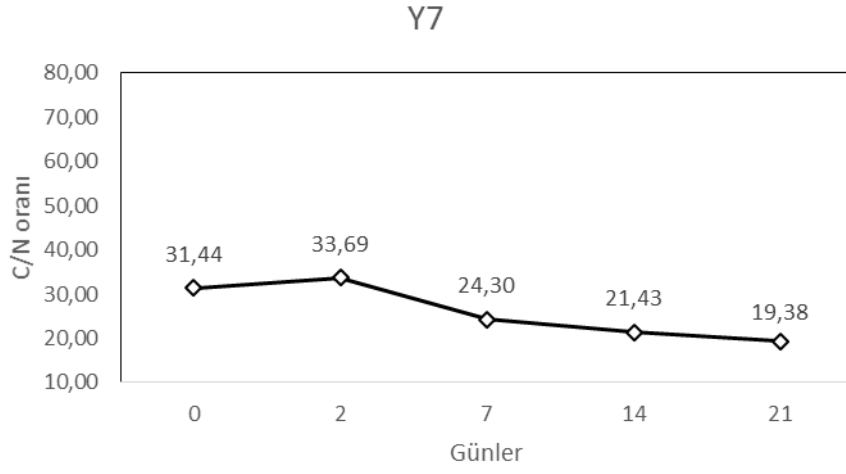


Şekil 4.2 Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri

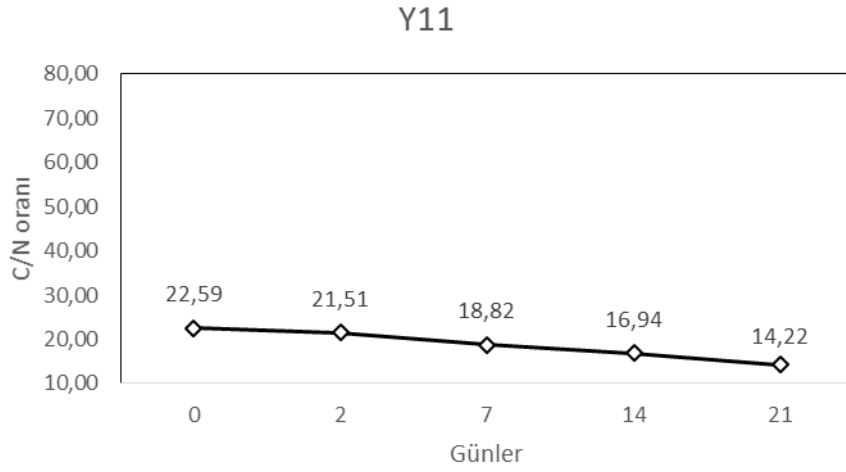
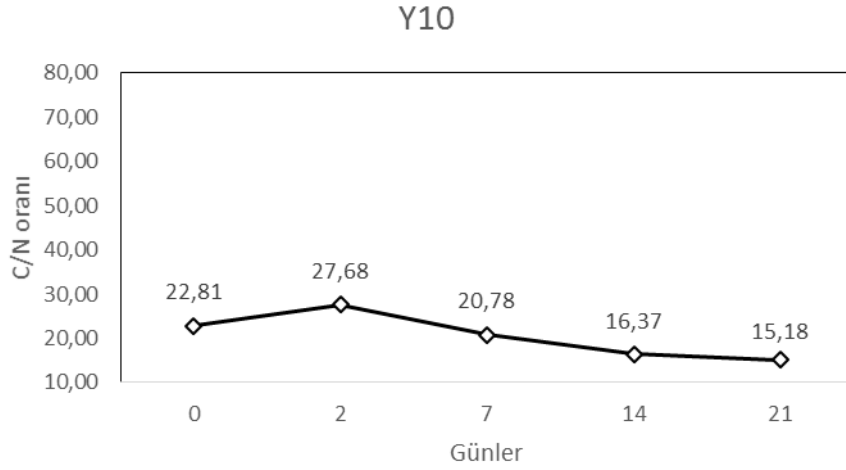


Şekil 4.2 Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri (devam)





Şekil 4.2 Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri (devam)



**Şekil 4.2** Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri (devam)

Yapılan 21 günlük kompost çalışmalarında C/N değişimlerinin Y5 ve Y6 karışımları dışında başlangıç C/N oranının 21 gün sonunda azaldığı Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu azalmalar en yüksek %63'lük oranla Y3 (%40 ayçiçeği sapı+%60 arıtma çamuru) reaktöründe gözlemlenmiştir. Yine bu azalmaları %38 ile pamuk kozası kullanılan Y7 ile Y11 reaktörleri ardından %33 azalma ile Y10 (%20 mısır koçanı+%80 arıtma çamuru) takip etmektedir. Azalmaların en düşük olduğu karışımlar ise %2 ile Y2 (%40 buğday samanı+%60 arıtma çamuru) ve %6 ile Y8 (%40 talaş+%60 arıtma çamuru) dir. Bu sonuçlara bakıldığında buğday samanı ve talaşa bulunan karbonun diğer materyallere göre zor parçalanabilir olduğu veya mikroorganizmalar için yararlı karbon içeriğinin daha düşük olduğu ve bu nedenle C/N oranlarında daha düşük azalma

değerleri gerçekleştiği şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca mikroorganizmalar tarafından kolay parçalanabilir karbonun tüketilerek termofilik faza ulaşıldığı ve termofilik fazın oluşmasıyla gerçekleşen toplam karbon içeriğindeki azalmanın, C/N oranında azalmalara neden olduğu söylenebilir.

Y6 (%40 pirinç kabuğu + %60 arıtma çamuru) karışımında, C/N oranındaki %91'lik artışın sebebi olarak, C azalma hızının N azalma hızına göre daha düşük olmasının C/N oranında yükselmeye neden olduğu söylenebilir. Bu denemede kullanılan pirinç kabuğunun zor parçalanabilir C'a sahip olduğundan sıcaklık termofilik faza çıkmamıştır. Mikroorganizmalar pirinç kabuğundaki karbonu parçalayamadığından nutrient olarak ortamdaki azotu tüketmiş ve bu sebeple %50'lik N kaybı yaşanmıştır.

Y5 (%40 yer fıstığı kabuğu + %60 arıtma çamuru) karışımında ise azotta görülen %16'lık azalmaya rağmen karbondaki %2'lik azalma, C/N oranının başlangıç ve bitiş günlerindeki değerlerinde artışa sebep olmuştur. Yine yer fıstığı kabuğunun kullanıldığı Y9 (%20 yer fıstığı kabuğu + %80 arıtma çamuru) denemesinde de aynı şekilde azot miktarında azalmalar gözlemlenmiş ve C/N oranı başlangıç gününe göre azalmıştır. Her iki reaktörde de sıcaklık termofilik fazda uzun süre kalmış olmasına rağmen azot miktarındaki azalış kompostun olgunlaşma için bir süre bekletilmesi gerektiğini göstermektedir. Y5 ve Y9 karışımlarının kompostlama esnasında ortama çok fazla amonyak kokusu verdiği tespit edilmiştir. C/N oranındaki artışlar, kompostlama sırasındaki amonyak kaybı ile ilişkilidir (Michel ve Reddy 1998).

EPA, C/N değerinin toprak kalitesini bozmaması açısından 25'in altında olması gerektiğini ön görmektedir (Herity 2003). Barral Salvia ve ark. (2007'nin yaptığı çalışmada, komposttaki 17 ve altındaki C/N değerlerini, stabil kompostun göstergesi olarak kabul etmiştir. Hoitink ve Keener (1992) yaptığı çalışmada ise olgunlaşmış komposttaki toplam karbonun %8-35 oranında, N değerinin ise %0,4-3,5 aralığında olmasını tavsiye etmektedirler. Keller (1961) tarafından 20' nin altındaki oranlar, stabil kompost olarak ifade edilmiştir. Fakat yine Keller (1961)' e göre C/N oranı kompostun geniş çeşitliliğindeki stabilite göstergesine bağlı olarak güvenilir değildir ifadesini kullanmıştır. De Baere ve ark. (1985) ise bu sınırı 18 olarak ifade etmişlerdir. Mathur (1991) tarafından ifade edilen olgunlaşmış bir kompost da C/N oranı yaklaşık 10'dur. 05.03.2015 tarihinde Resmi gazetede yayımlanan Kompost Tebliği Ek-2'ye göre olgunlaşmış kompostta C/N %10-30 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Yapılan 21

günlük kompostlama çalışmalarında, Y3, Y4, Y5, Y7, Y9, Y10 ve Y11 karışımlarının C/N oranı bakımından olgunlaşma fazına geçmeden bile stabil değerlerde olduğu, diğer karışımların olgunlaşma için bir süre daha bekletilmeleri gerektiği düşünülebilir. Ancak patojen giderimide göz önünde bulundurulduğunda termofilik faza ulaşamayan Y4 ve Y7 denemeleri bu durumun dışındadır. Bununla birlikte, C/N oranı parametresinin kullanımı bazen yanıltıcı olabilmektedir. Çünkü C oranı yüksek olan talaş, saman ve pirinç kabuğu materyallerinin mikroorganizmalar için iyi bir besin kaynağı olmadığı bu sebeple C/N oranlarındaki azalmaların az olduğu ve termofilik faza ulaşma konusunda da yetersiz kaldığı söylenebilir. Reaktörlere ait C/N oranında ki değişim grafikleri Şekil 4.2' de verilmiştir.

#### **4.4. Nem**

Biyokimyasal bozunmayı gerçekleştiren organizmalar, 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, buda havanın kütle içine girmesine engel olur ve şartlar anaeroba dönüşür(Topçu 2006).

Kompostlama da materyallerin başlangıçta ve kompostlama esnasında nem içerikleri oldukça önemlidir. Kompostlama işlemi optimum nem sınırı olan (%50-70) arasında gerçekleştirildiğinde ayrışma işlemi nem açısından etkilenmemektedir (Rynk 1992). Çizelge 4.4' de reaktörlerdeki kompost karışımlarına ait nem ve katı madde miktarlarının, başlangıç, bitiş ve örnek alma günlerindeki değerleri yer almaktadır.

**Çizelge 4.4** Reaktörlerdeki nem ve katı madde miktarları

Deney No	Zaman (Gün)	Nem (%)	KM (%)	Standart Sapma	Deney No	Zaman (Gün)	Nem (%)	KM (%)	Standart Sapma
<b>Y1</b>	0	52,05	47,95	± 2,62	<b>Y2</b>	0	50,86	49,14	± 5,71
	2	55,74	44,26	± 3,51		2	46,93	53,07	± 1,98
	7	47,24	52,76	± 4,37		7	45,52	54,48	± 3,13
	14	56,84	43,16	± 5,58		14	49,37	50,63	± 4,04
	21	52,04	47,96	± 0,78		21	39,61	60,39	± 3,74
<b>Y3</b>	0	47,67	52,33	± 5,62	<b>Y4</b>	0	57,67	42,33	± 0,98
	2	52,7	47,3	± 4,12		2	47,68	52,32	± 1,29
	7	54,66	45,34	± 2,91		7	75,94	24,06	± 2,03
	14	61,89	38,11	± 3,16		14	52,33	47,67	± 1,11
	21	44,35	55,65	± 4,49		21	63,62	36,38	± 4,52
<b>Y5</b>	0	58,16	41,84	± 1,82	<b>Y6</b>	0	50,57	49,43	± 3,83
	2	53,66	46,34	± 0,35		2	55,1	44,9	± 5,32
	7	55,98	44,02	± 2,30		7	50,23	49,77	± 1,11
	14	51,24	48,76	± 2,93		14	54,4	45,6	± 0,41
	21	59,2	40,8	± 6,83		21	49,89	50,11	± 2,17
<b>Y7</b>	0	53,11	46,89	± 2,98	<b>Y8</b>	0	57,27	42,73	± 9,84
	2	53,48	46,52	± 4,38		2	51,17	48,83	± 1,25
	7	48,89	51,11	± 1,59		7	43,4	56,6	± 2,82
	14	59,59	40,41	± 3,33		14	44,7	55,3	± 3,96
	21	56,86	43,14	± 1,23		21	50	50	± 2,37
<b>Y9</b>	0	69,32	30,68	± 0,15	<b>Y10</b>	0	67,46	32,54	± 0,36
	2	70,14	29,86	± 0,83		2	64,88	35,12	± 0,35
	7	68,69	31,31	± 1,01		7	66,67	33,33	± 2,85
	14	70,81	29,19	± 1,77		14	68,46	31,54	± 0,31
	21	70,47	29,53	± 1,12		21	69,98	30,02	± 0,94
<b>Y11</b>	0	68,19	31,81	± 1,47					
	2	70,77	29,23	± 0,79					
	7	68,97	31,03	± 0,37					
	14	66,27	33,73	± 1,28					
	21	70,01	29,99	± 0,46					

Yapılan denemelerde başlangıç nem oranları incelendiğinde en yüksek nem oranı %80 arıtma çamuru ile %20 yer fıstığı kabuğunun kullanıldığı %69,32 nem içeriğine sahip Y9 denemesidir. Arıtma çamurundaki yüksek nem içeriğinden dolayı %80 arıtma çamurunun kullanıldığı denemler diğer denemelere göre daha yüksek nem içeriğine sahiptirler. Y9 denemesini %68,19 ile Y11 ve %67,46 ile Y10 karışımları takip etmektedir. Bu değerler bir miktar yüksek olmakla birlikte, kompostlamamanın devam

etmesi için gerekli aralığın üst sınırında kalmaktadır. Arıtma çamurunun %60 oranında karıştırılarak yapıldığı denemelerde en yüksek nem içeriği %58,16 ile yer fıstığı kabuğunun kullanıldığı Y5 denemesidir. Y5 denemesini sırasıyla çınar yaprağı kullanılan %57,67 nem içeriğine sahip Y4 denemesi ve talaşın kullanıldığı Y8(%57,27) denemesidir. Nem içeriğinin en düşük olduğu deneme ise %47,67nem içeriğine sahip %40 oranında ayçiçeği sapının kullanıldığı Y3 denemesidir.

Yapılan denemelerde başlangıç ve bitiş günleri arasındaki nem değerleri göz önüne alındığında nem oranı sadece Y2, Y3, Y6 ve Y8 denemelerinde sırasıyla %11, %3, %0,7 ve %7 civarında azalma göstermiştir. Y1 denemesinde başlangıç ve bitiş nem değerleri ortalama aynıdır. Geri kalan denemelerde ise nem oranı artmıştır. En yüksek nem oranı artışı Y7 denemesinde %53,11'den %56,86' ye çıkması ile gerçekleşmiş olup diğer denemelerde bu artış %1 civarında kalmıştır. Denemelerin geneline bakıldığında sıcaklık artışıyla birlikte nem miktarında azalmalar olmuş ve devam eden günlerde ortam sıcaklığına yaklaştıkça nem değerleri tekrar arttığı söylenebilir. Arıkan ve Öztürk (2005)'e göre kompostlama işleminde ilk 20-30 gün nem oranı başlangıç seviyesi civarında seyretmektedir. Bunun nedeni olarak da uçucu katı maddenin azalmasından kaynaklanan azalma ile su kaybının bir birine yakın olmasıdır. Bitmiş kompostta istenilen nem içeriği %30-50 arasında değişmektedir. Bilgili (2013)'e göre kompost içerisinde ki su ihtivası %60'dan fazla olduğu zaman araziye uygulanması zordur. Kompost Tebliği Ek-2'ye göre de olgun kompostta nem içeriği %30'un altında olmalıdır. Tüm bu denemeler nem içeriği açısından bakıldığında tebliğ sınırının üstünde olup kompostun olgunlaşması için bir süre beklenmesi gerektiği söylenebilir.

#### **4.5. Kuru Madde Kayıpları**

Kompostlama amacıyla reaktör içerisine yerleştirilen materyalde kuru madde kaybı, deneme başlangıcında, her örnek alma gününde (2., 7. ve 14. gün) ve deneme sonunda (21. gün) reaktörde bulunan kompost karışımları tartılarak hesaplanmıştır. Ayrıca örnek olarak oluşan kütle kayıplarını da hesaba katabilmek için alınan örnekler de tartılmıştır. Çizelge 4.5' de reaktörlerdeki kuru madde miktarları ve bir önceki örnek alma gününden itibaren toplam meydana gelen kuru madde kayıpları gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5** Reaktörlerdeki kütle miktarları

Deney No	Zaman (Gün)	KM (gr)	KM kayıpları (gr)	Toplam KM Kayıpları (gr)	Deney No	Zaman (Gün)	KM (gr)	KM kayıpları (gr)	Toplam KM Kayıpları (gr)
Y1	0	4598,405			Y2	0	1603,93		
	2	4179,914	418,4906			2	1725,836	-121,907	
	7	4631,273	-562,008	692,68		7	1634,4	11,8314	5,58
	14	3516,677	1009,076			14	1355,871	171,7478	
	21	3598,918	-172,878			21	1337,035	-56,0956	
Y3	0	2583,009			Y4	0	2582,13		
	2	2308,24	274,7688			2	3159,082	-576,952	
	7	1927,857	285,7832	493,27		7	1352,172	1685,527	488,30
	14	1483,241	344,8676			14	2522,696	-1218,64	
	21	1813,077	-412,153			21	1817,545	598,38	
Y5	0	3835,054			Y6	0	2698,878		
	2	4156,698	-321,644			2	2436,274	262,604	
	7	3677,431	351,3688	500,92		7	2540,261	-203,665	143,07
	14	3787,677	-198,286			14	2171,472	258,30	
	21	3021,648	669,484			21	2260,828	-174,172	
Y7	0	3220,405			Y8	0	155,4517		
	2	3130,796	89,6092			2	1761,786	-207,269	
	7	3140,198	-112,677	623,12		7	1713,606	-55,3392	66,90
	14	2308,219	714,4262			14	1560,566	48,91	
	21	2291,597	-68,2386			21	1169,36	280,606	
Y9	0	4476,212			Y10	0	4640,855		
	2	4266,994	209,218			2	4998,278	-357,424	
	7	4165,482	31,6392	663,55		7	4366,23	550,57	965,17
	14	3684,362	414,1172			14	3825,802	417,107	
	21	3565,452	8,5714			21	3714,15	354,9124	
Y11	0	4226,91							
	2	3878,821	348,092						
	7	3811,725	-9,4868	551,54					
	14	4847,676	-1141,45						
	21	3395,468	1354,391						

Kompost kütleindeki kuru madde kayıpları kompostlama işleminin gösterge değeri olarak değerlendirilmektedir (Çataltaş 2013).

Kütlesel olarak %60 arıtma çamuru ile yapılan çalışmalarda kuru madde miktarlarındaki toplam azalma değerlendirildiğinde en yüksek azalma 40 oranında ayçiçeği sapının kullanıldığı Y1 (692,68 gr) ve %40 mısır koçanının kullanıldığı Y7 (623,12 gr)

denemelerinde meydana gelmiştir. Kuru maddedeki en az azalma ise sırasıyla %40 buğday samanının kullanıldığı Y2 (5,58 gr) denemesi, %40 talaş kullanıldığı Y8 (66,9 gr) ve %40 pirinç kabuğunun kullanıldığı Y6 (143,07 gr) denemesidir. Buğday samanı, talaş ve pirinç kabuğuyla yapılan denemelerde fermantasyon aşaması tamamlanamamıştır.

Kütlesel olarak %80 arıtma çamuru ile yapılan çalışmalarda ise kuru madde miktarlarındaki toplam azalma değerlendirildiğinde en yüksek azalma Y10 (965,17 gr) ve Y9 (663,55 gr) denemelerinde meydana gelmiştir. Kuru madde miktarında yüksek azalma gözlenen karışımlarda %20 mısır koçanı (Y10) ve %20 yer fıstığı kabuğu (Y9) katkı maddesi olarak kullanılmıştır. %20 pamuk kozasının kullanıldığı Y11 denemesinde de 551,54 gr azalma görülmüştür.

Tüm denemelere bakıldığında reaktörlerin tamamında kuru madde kaybı meydana gelmiştir. Ancak kuru madde kaybının en az olduğu denemelerde (Y2, Y6 ve Y8) sıcaklık artışı olamamış kompostlama mezofilik fazda tamamlanmıştır. Bu sebeple kolay parçalanabilir C'un yeterli olmadığı katkı maddesi olarak sırasıyla saman, pirinç kabuğu ve talaş kullanılan bu denemeler için kuru madde kaybı da gözlemlenmediği söylenebilir.

#### **4.6. Karbon Azot Kayıpları**

Yapılan karışımlarda yüklenen ilk 7 reaktördeki 0., 2., 7., 14. ve 21. günlerdeki KM miktarları hesaplandıktan sonra kompostlama süresince oluşan Karbon (C) ve Azot (N) kayıpları belirlenmiştir. Çizelge 4.6' da yapılan çalışmalara ait başlangıç ve bitiş % C oranları, kütle ve yüzde olarak C kayıpları yer almaktadır. Çizelgede verilen % C kaybı değeri başlangıçtaki C kütlesine göre reaktörden uzaklaşan C kütlesinin yüzdesidir.

Çizelge 4.7' de yapılan çalışmalara ait başlangıç ve bitiş % azot oranları, kütle ve yüzde olarak N kayıpları yer almaktadır. Çizelge 4.7 de verilen % azot kaybı değeri başlangıçtaki azot kütlesine göre reaktörden uzaklaşan azot kütlesinin yüzdesidir.



**Çizelge 4.6** Reaktörlere ait başlangıç ve bitiş % C değerleri ile C kayıpları

Deney No	Başlangıç C (%)	Bitiş C (%)	Başlangıç C / Bitiş C	Toplam C Kaybı (gr)	% C Kaybı
Y1	42,76	37,10	1,15	286,60	14,58
Y2	45,51	44,63	1,02	-1,19	-0,16
Y3	44,98	40,11	1,12	232,48	20,01
Y4	38,97	36,92	1,06	160,20	15,92
Y5	42,28	41,41	1,02	206,96	12,76
Y6	40,11	37,98	1,06	55,82	5,16
Y7	41,82	38,37	1,09	245,91	18,26
Y8	43,82	46,62	0,94	29,91	4,39
Y9	35,38	30,95	1,14	221,35	13,98
Y10	38,32	30,36	1,26	292,14	16,43
Y11	35,69	28,30	1,26	124,66	8,26

Kompostlama çalışmalarında yapılan analiz ve hesaplamalar sonucu karbon başlangıç ve bitiş oranlarına baktığımızda bütün karışımlarda karbon azaldığı görülmüştür. 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.

Başlangıç karbon içeriğine bakıldığında en yüksek karbon kaybı %20,01 ile %40 ayçiçeği sapının kullanıldığı Y3 denemesinde gerçekleşmiştir. Sırasıyla %40 pamuk kozasının kullanıldığı Y7 (%18,26) %20 mısır koçanının kullanıldığı Y10 (%16,43) denemesi takip etmiştir. En düşük karbon kayıpları ise %40 saman, pirinç kabuğu ve talaş kullanılan Y2, Y6 ve Y8 denemeleridir. Bu sonuç ile kullanılan bu katkı maddelerinin kolay parçalanabilir C ihtiva etmediği söylenebilir.

**Çizelge 4.7** Reaktörlere ait başlangıç ve bitiş % N değerleri ile N kayıpları

Deney No	Başlangıç N (%)	Bitiş N (%)	Başlangıç N / Bitiş N	Toplam N Kaybı (gr)	% N Kaybı
Y1	1,10	1,14	0,96	7,82	15,45
Y2	0,72	0,74	0,97	0,41	3,59
Y3	0,65	1,57	0,41	5,35	31,85
Y4	1,30	1,54	0,84	8,45	25,19
Y5	2,17	1,82	1,19	9,21	11,07
Y6	1,05	0,52	2,02	1,36	4,81
Y7	1,33	1,98	0,67	10,94	25,54
Y8	0,66	0,75	0,88	0,53	5,18
Y9	1,93	1,84	1,05	12,44	14,41
Y10	1,68	2	0,84	19,52	25,03
Y11	1,58	1,99	0,79	10,18	15,25

Yukarıdaki deney sonuçlarına baktığımızda başlangıç ve bitiş günleri arasında kütesel olarak azotun Y5, Y6 ve Y9 karışımları dışındaki bütün karışımlarda artış gösterdiğini görmekteyiz. Yapılan çalışmalarda en yüksek azot artışı Y3 ve Y7 denemelerinde (0,41 ve 0,67) gerçekleşmiştir. Başlangıç N içeriğine göre ise en fazla N kaybı yine Y3 ve Y7 denemelerinde (%31,85 ve %25,54) gerçekleşmiştir.

Karışımların genelinde N artışı gözlemlenmekte olup bu istenen bir durumdur. Azot artışı (% olarak) reaktörde gerçekleşen kuru madde kayıpları ile ilgilidir. Azotun artması C/N oranının düşmesine ve dolayısıyla kompostun olgunlaşmaya başladığına işarettir. Vallini ve ark. (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 ark. 1993). Azot miktarının artışı çoğunlukla, karbonun parçalanarak CO<sub>2</sub> dönüşümü nedeniyle görülen konsantrasyon etkisine bağlanmaktadır (Charest ve Beauchamp 2002).

Azot kaybının yaşandığı Y5 karışımında ise başlangıç gününde karışımdaki azot %2,17'den 21 gün sonunda %1,81'e düşmüştür. Aynı şekilde Y6 karışımında da başlangıç azot miktarı %1,05'den 21 gün sonunda %0,52'e düşmüş ve son olarak Y9 reaktöründe de 21 gün sonunda benzer düşüşler gözlemlenmiştir. Azot içeriğindeki azalmalar, amonyak buharlaşması nedeniyle azot kaybına bağlanabilir (Charest ve

Beauchamp 2002). Organik atıkların kompostlanması sırasında, amonyanın buharlaşmasında 3 esas faktör etkindir. Bunlar, ilk olarak C/N oranında düşme (Larsen ve McCartney 2000), yüksek pH (Korner ve Stegman, 1998) ve yüksek O<sub>2</sub> 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 ark. (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 NH<sub>3</sub> buharlaşmasına bağlanmıştır.

#### **4.7. pH**

pH mikroorganizmaların büyümelerinde önemli bir role sahiptir. Kompostlama işlemine farklı türde mikroorganizmalar katıldığından her mikroorganizma grubunun yaşadığı belli bir pH aralığı mevcuttur. Genel olarak bakteriler için optimum pH aralığının 6-8 arasında olduğu söylenebilir. Yapılan çalışmalarda, kompost prosesindeki aktif organizmalar için özellikle glikoz ve protein ayrışmasında optimum pH aralığının 7-8 olduğu ve glikozun 6-9 arasındaki pH değerlerinde daha hızlı ayrıştığı belirlenmiştir (Nakasaki ve ark. 1993). Demir ve ark. (1999) tarafından yapılan anason atıklarının kompostlaştırılması çalışmasında ise, pH'nın başlangıç aşamasında arttığı ve stabilizasyon sonrasında 8,5 değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Kompostun pH'ı genellikle 6-8 arasında değişmektedir. Asidik veya bazik kompost bitki büyümesine zarar verebilmektedir. Özellikle pH 5,5-6,5 arasında kompost toprağa döküldüğünde filiz oluşumuna yardımcı olmakta ve pH 5,5-7,8 arasında toprak ıslahında kullanılmakta, bitki köklerinin soğukta ve sıcaklıkta kuraklıktan korunmasını sağlamaktadır (Varank 2006).

Örnek alınan günlerdeki pH değerlerinin değişimi Çizelge 4.8'de verilmiştir.

**Çizelge 4.8** Reaktörlerdeki pH değerleri

Deney No	Zaman (Gün)	pH	Standart Sapma	Deney No	Zaman (Gün)	pH	Standart Sapma
<b>Y1</b>	0	6,83	± 0,02	<b>Y7</b>	0	6,59	± 0,03
	2	6,46	± 0,01		2	6,82	± 0,02
	7	6,28	± 0,01		7	6,93	± 0,01
	14	6,34	± 0,02		14	7,02	± 0,01
	21	6,48	± 0,00		21	7,11	± 0,01
	60	7,66	± 0,01		60	7,81	± 0,02
<b>Y2</b>	0	6,94	± 0,03	<b>Y8</b>	0	6,58	± 0,00
	2	6,78	± 0,01		2	7,14	± 0,00
	7	6,65	± 0,00		7	7,05	± 0,00
	14	6,93	± 0,00		14	6,88	± 0,00
	21	6,88	± 0,00		21	6,90	± 0,00
	60	6,99	± 0,00		60	7,04	± 0,01
<b>Y3</b>	0	7,53	± 0,02	<b>Y9</b>	0	6,76	± 0,01
	2	6,96	± 0,01		2	6,92	± 0,01
	7	6,60	± 0,00		7	7,08	± 0,01
	14	6,90	± 0,01		14	7,51	± 0,01
	21	7,02	± 0,05		21	7,58	± 0,01
	60	7,48	± 0,00		60	7,86	± 0,00
<b>Y4</b>	0	6,91	± 0	<b>Y10</b>	0	6,50	± 0,01
	2	6,91	± 0,03		2	6,98	± 0,01
	7	6,88	± 0,01		7	6,72	± 0,01
	14	7,20	± 0,00		14	6,50	± 0,02
	21	6,98	± 0,03		21	6,75	± 0,02
	60	7,62	± 0,05		60	7,36	± 0,02
<b>Y5</b>	0	5,97	± 0,03	<b>Y11</b>	0	6,87	± 0,01
	2	6,16	± 0,03		2	7,22	± 0,01
	7	6,66	± 0,02		7	7,41	± 0,00
	14	7,04	± 0,02		14	6,60	± 0,01
	21	7,02	± 0,01		21	7,43	± 0,01
	60	7,69	± 0,00		60	7,88	± 0,02
<b>Y6</b>	0	6,63	± 0,01				
	2	6,67	± 0,2				
	7	6,93	± 0,01				
	14	7,15	± 0,02				
	21	7,29	± 0,01				
	60	7,66	± 0,00				

Yapılan kompost çalışmasında proses başlangıcında (0. Gün) pH değeri en yüksek olan karışım, % 60 arıtma çamuru ve %40 ayçiçeği sapı kullanılan Y3 (pH=7,53) karışımı, en düşük olanı ise %80 arıtma çamuru ve %20 mısır koçanı kullanılan Y10 (pH=6,50) karışımıdır. Y1, Y2 ve Y3 reaktörleri dışındaki bütün reaktörlerde pH bitiş değeri başlangıç değerinin üzerinde olmuştur. Y1, Y2 ve Y3 reaktörlerinde ise proses sonunda pH değeri başlangıç değerinin altında olmuş yani azalma gözlemlenmiştir. Bu

durum kompostlama işleminin tamponlama kapasitesi ile açıklanabilir (Rynk 1992, Ekinci ve ark. 2004). Proses sonunda (21. Gün) pH değerleri sırasıyla maksimum pH 7,58 ile Y9 ve minimum 6,48 ile Y1 denemesinde tespit edilmiştir. Bu değerler tavsiye edilen aralıktadır dolayısı ile ayrışma prosesi ve bakteriler bakımından, kompost karışımlarının pH değerleri optimum aralıktadır. Reaktörden çıktıktan sonra 60. güne kadar bekletilen karışımlarda alınan örneklerde genellikle pH artışı gözlemlenmiştir. Bu karışımlarda ortamda amonyak kokusu çok yoğun biçimde hissedilmiş dolayısıyla nitrifikasyon bakterileri için uygun ortam mevcut olduğu söylenebilir. Termofilik faza ulaşan reaktörlerde termofilik fazın sonlanmasını takiben pH değerlerinde önemli ölçüde olmasa da artışlar meydana gelmiştir.

pH'daki artışlar, Bishop ve Godfrey (1983)'in de belirttiği gibi amonifikasyon esnasında amonyağın 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.

Kompost Tebliği Ek-2'ye göre de olgun kompostta pH değeri 5,5-8,5 arasında olmalıdır. Tebliğe göre 60. gün değerlerine bakıldığında pH açısından kompost karışımlarının uygun aralıkta olduğu söylenebilir.

#### **4.8. Elektriksel İletkenlik(EC)**

Elektriksel iletkenlik komposttaki çözülmüş tuz konsantrasyonunun göstergesi olup, bitki büyümesi ve gelişmesi üzerinde etkili olan bir faktördür. Kompostun tarım uygulamasında kullanılabilmesi için çözülmüş tuz konsantrasyonunun 2 – 3,5 mS aralığında tercih edilmelidir (Bayer 2008).

Kompostlama süresi boyunca örnek alınan günlerdeki EC değerlerinin değişimi Çizelge 4.9'da verilmiştir.

**Çizelge 4.9** Reaktörlerdeki EC değerleri

Deney No	Zaman (Gün)	EC (mS/cm)	Standart Sapma	Deney No	Zaman (Gün)	EC (mS/cm)	Standart Sapma
<b>Y1</b>	0	3,30	± 0,21	<b>Y7</b>	0	6,60	± 0,04
	2	3,52	± 0,07		2	5,99	± 0,05
	7	4,09	± 0,08		7	5,92	± 0,02
	14	3,84	± 0,04		14	6,26	± 0,03
	21	3,47	± 0,02		21	6,24	± 0,00
	60	2,76	± 0,01		60	6,60	± 0,00
<b>Y2</b>	0	2,35	± 0,06	<b>Y8</b>	0	1,75	± 0,00
	2	2,66	± 0,14		2	1,42	± 0,09
	7	2,67	± 0,08		7	1,43	± 0,05
	14	2,29	± 0,01		14	1,71	± 0,04
	21	2,86	± 0,07		21	1,67	± 0,05
	60	2,56	± 0,00		60	1,42	± 0,07
<b>Y3</b>	0	3,19	± 0,09	<b>Y9</b>	0	4,56	± 0,10
	2	3,73	± 0,07		2	3,94	± 0,03
	7	4,21	± 0,04		7	3,21	± 0,13
	14	3,83	± 0,01		14	2,53	± 0,26
	21	3,53	± 0,08		21	2,89	± 0,03
	60	3,40	± 0,01		60	2,59	± 0,08
<b>Y4</b>	0	2,55	± 0,00	<b>Y10</b>	0	4,03	± 0,02
	2	2,19	± 0,05		2	2,69	± 0,12
	7	2,48	± 0,03		7	3,43	± 0,01
	14	2,03	± 0,04		14	3,89	± 0,02
	21	2,47	± 0,02		21	3,69	± 0,02
	60	6,05	± 0,02		60	3,81	± 0,01
<b>Y5</b>	0	6,17	± 0,23	<b>Y11</b>	0	4,99	± 0,06
	2	5,32	± 0,33		2	4,22	± 0,01
	7	4,00	± 0,28		7	4,41	± 0,03
	14	2,83	± 0,10		14	3,81	± 0,03
	21	3,41	± 0,18		21	4,92	± 0,03
	60	2,74	± 0,00		60	5,25	± 0,01
<b>Y6</b>	0	2,21	± 0,12				
	2	2,40	± 0,05				
	7	2,25	± 0,06				
	14	2,27	± 0,21				
	21	2,01	± 0,23				
	60	1,71	± 0,02				

İletkenliklerdeki değişimler, tuzların çözünme hızlarının değişmesinden kaynaklanabilir. Kompostun tuzluluk düzeyi, topraklarda meydana getireceği etkiler açısından çok önemlidir. Kompost karışımında EC değerleri başlangıç gününde en yüksek olan 6,60 mS/cm ile Y7 denemesidir. Başlangıç EC değerlerinden en düşük ise 1,75 mS/cm ile talaş kullanılan Y8 denemesidir. Bunun sebebi kompost içerisinde %40 oranında bulunan pamuk kozasının EC'sinin (6,22 mS/cm) diğer materyallere göre daha

yüksek olması ve talaşın EC'sinin de (1,12 mS/cm) diğer materyallere göre nispeten daha düşük olmasıdır.

Yapılan çalışmalarda 21 gün boyunca EC değerlerinde fazla değişim olmamış olsa da % 40 yer fıstığı kabuğu kullanılan Y5 ve %20 yer fıstığı kabuğu kullanılan Y9 reaktörlerinde diğerlerine göre gözle görülür bir azalma izlenmiştir. Y5 karışımının EC değeri 6,57 mS/cm'den 21 gün sonunda 3,41 mS/cm'e, Y9 karışımı ise 4,56 mS/cm'den 2,89 mS/cm'e düşerek tavsiye edilen seviyelere gelmiştir.

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından yayınlanan Tarımda Kullanılacak Organik, Organomineral, Özel, Mikrobiyal ve Enzim içerikli Organik Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Üretimi, İthalatı, İhracatı, Piyasaya Arzı ve Denetimine Dair Yönetmelik' inde Ek IV'te belirtilen organik toprak düzenleyicilerden kompost için tuzluluk değeri en fazla 10 dS/m olarak belirtilmiştir. Benzer şekilde Meksika kompost standartlarında 1:5 sulu çözeltilerde kompost EC değerinin 10 dS/m'i aşmaması gerektiği belirtilmiştir (20 NMAC 9.1). Avrupa Birliği standartlarında kompost ürünün EC değerinin 1:5 sulu çözeltilerde 1,5 dS/m'i aşmaması gerektiği ifade edilmiştir(EC/eco label2001/688/EC).

60. Gün değerlerine bakıldığında EC değerleri 1,70-6,60 mS/cm(dS/m) arasında değişmektedir. Türkiye ve Meksika standartlarına göre (<10 dS/m) uygun aralıktadır.

#### **4.9. Serbest Hava Boşluğu**

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

Schulze (1962), evsel atıklar ile arıtma çamurlarının birlikte kompostlanabilmesi için serbest hava boşluğunun minimum % 30 olması gerektiğini belirtmektedir. Bu değer birçok substrat ve kompost sistemi için uygun görülmektedir. Jeris ve Regan (1973) ise farklı su muhtevalarına sahip çeşitli katkı maddeleriyle yaptıkları kompostlama çalışmaları sonucunda serbest hava boşluğunun % 30-36 olması halinde en verimli sonuçları elde ettiklerini belirtmişlerdir (Çataltaş, 2013). Atık türü ve kullanılan teknolojiye bakılmaksızın kompostlamada yeterli oksijenin sağlanabilmesi için

minimum serbest hava boşluğunun %20-30 olması gerekmektedir (Spinosa ve Vesilind 2001, Gençsoy 2010). Çizelge 4.10' da reaktörlerdeki FAS değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Reaktörlerdeki FAS değerleri

FAS (%)		FAS (%)	
Y1	27,64	Y7	32,99
Y2	37,10	Y8	36,06
Y3	35,70	Y9	15,58
Y4	29,94	Y10	16,71
Y5	24,96	Y11	17,52
Y6	36,60		

Yapılan çalışmalarda %60 arıtma çamuru kullanılan karışımların FAS değerleri en düşük %24,96 ile yer fıstığı kabuğu ile yapılan karışım olup en yüksek FAS değeri ise 37,10 ile buğday samanı karışımıdır. Arıtma çamurunun %80 oranında kullanıldığı denemeler de ise FAS değerleri en düşük %15,58 ile yer fıstığı kabuğu en yüksek %17,52 pamuk kozası olduğu tespit edilmiştir. Çamur oranının %80 olduğu çalışmaların tamamında serbest hava boşluğu tavsiye edilen aralığın altındadır. Katkı madde oranlarının artması durumunda porozitenin artmasından dolayı, çamur oranının %60 olduğu çalışmalarda, serbest hava boşluğu tavsiye edilen aralıktadır ya da bu aralıklara yakın aralıktadır.

#### **4.10. Stabilite ve Olgunluk**

Kompostlamada C/N oranı uzun yıllardır stabilite ve olgunluğun belirtisi olarak kullanılmıştır. Genel olarak kompost prosesi başlangıcında kompost eğer gübre olarak kullanılacaksa C/N oranının 20-40 değerleri arasında olması istenmektedir (Wilkinson ve ark. 1998). C/N oranı kompost prosesinin planlanmasında yardımcı olsa da, söz konusu mayeryalin biyolojik indirgenabilirlik derecesine göre bu oranda düzeltme yapılması gereklidir. Kompostlanabilir maddeler içerisindeki maddelerde bulunan azotun büyük bir kısmı kullanılabilir şekilde iken, karbonun bir kısmı biyolojik parçalanmaya dirençli olan bileşiklere bağlı olabilir (Kay 2005). Keller (1961) tarafından, bitmiş kompostaki C/N oranı 20'nin altında bulunanlar, stabil kompost olarak ifade edilmiştir. Hiari ve ark. (1983), farklı besi maddeleri için bu değer 5-20



arasında değişiklik gösterdiğini tesbit etmiştir. Inbar ve ark. (1990) ile De Baere ve ark. (1985) ise bu sınırı 18 olarak ortaya koymuşlardır. Stofella ve Kahn (2001) genelde bu değerin 15 - 20 arasında olması gerektiğini fakat ideal olan değerin 10 olduğunu bildirmişlerdir. TMECC (2001)'ye göre olgun kompost için beklenen C/N oranının 21'in altında olmalıdır. Ayrıca özellikle arıtma çamuru kompostlanmasında başlangıç C/N oranı 18'in altında olabilmektedir. Bu farklılıklardan dolayı bu parametrenin yanında başka parametrelerin de kullanılması önerilmiştir. Morel ve ark. (1985), Jimenez ve Garcia (1989), Aydın ve Kocasoy (2002), Tosun (2003) stabilizasyon göstergesi olarak  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  parametresini kullanmışlardır. Jimenez ve Garcia (1989),  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerinin farklı kompostlama süreleri için, 0.49 ila 0.85 arasında değiştiğini, Aydın ve Kocasoy (2002)  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerinin 0.55-0.7 arasında değiştiğini, Tosun (2003) ise  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerinin 0.45-0.6 aralığında olduğunu bulmuştur. Çizelge 4.11' da reaktörlere ait  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.11**  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerleri

	$(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$		$(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$
<b>Y1</b>	0,84	<b>Y7</b>	0,62
<b>Y2</b>	0,95	<b>Y8</b>	0,94
<b>Y3</b>	0,37	<b>Y9</b>	0,92
<b>Y4</b>	0,80	<b>Y10</b>	0,67
<b>Y5</b>	1,17	<b>Y11</b>	0,63
<b>Y6</b>	1,91		

Yapılan çalışmalarda Y3 (%40 AS) denemesinin literatürde verilen  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerlerine göre nispeten daha düşük olduğu Y2 (%40 S), Y5 (%40 FK), Y6 (%40 P), Y8 (%40 T) ve Y9 (%20 FK) denemelerinin ise daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Yine bu değerler göz önünde bulundurulduğunda Y1(%40 MK) ve Y4 (%40 ÇY) denemelerinin değerleri, Jimenez ve Garcia (1989) tarafından elde edilen değerlerle Y7 (%40 PK), Y10 (%20 MK) ve Y11 (%20 PK) denemelerinde bulunan değerler ise Jimenez ve Garcia (1989) ile Aydın ve Kocasoy (2002) çalışmalarında bulunan değerlerle uyum göstermektedir.

#### 4.11. Amonyum / Nitrat Oranı ( Nitrifikasyon İndeksi )

Nitrat-azotu ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )' nun belirgin miktarlarda bulunması, kompostun olgunluğunun göstergelerindedir. Olgun kompostlarda  $\text{NO}_3\text{-N}$  seviyesi, amonyum-azotu ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) seviyesini normal olarak aşar. Bu nedenle  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  oranı, olgunluğun derecesini belirlemede yararlı bir parametredir (Brinton, 2000). Yüksek  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  oranı kompostun olgunluğunu gösterir (Aviani ve ark. 2010, Himanen ve Hanninen 2011).

Kompost olgunluğunu analiz etmek için suda çözünen amonyum ve nitrat oranı ( $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ ) kullanılabilir. Ancak bu durum amonyum ve nitrat konsantrasyonlarının toplamının 75 mg/kg (kuru ağırlık)' dan büyük olması durumunda geçerlidir.  $\text{NH}_4\text{-N}$  ve  $\text{NO}_3\text{-N}$  konsantrasyonlarının toplamının 75-100 mg/kg' dan küçük olduğu durumlarda  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  oranı düşük olmaktadır. Bu nedenle olgunluk ölçümü için kullanılmamalıdır (Öztürk ve ark. 2010).

Kompostlama prosesinde organik karbonun ve diğer bileşiklerin karbondioksit döndürülmesi sırasında mikrobiyal aktiviteler sonucunda amonyak nitrata oksitlenmektedir. Kompostlamanın başlangıç evresinde nitrat azotu düşük konsantrasyonlarda görülmektedir. Bu nedenle,  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  oranı başlangıçta çok yüksek (2000:1) olmaktadır. Kompostlama süreci esnasında amonyağın nitrata dönüşmesi sonucunda bu oran önemli miktarda düşüş göstermektedir. Proses sonuna doğru kompostun olgunluğu artarken  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  oranı 1:1 değerine düşerek nitrat azotu baskın hale gelir. (Öztürk ve ark. 2010).

ABD' de, CCQC'nin kompostu olgunluğuna göre değerlendirmedeki Grup B parametrelerinden birisi olan  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  oranı; çok olgun, olgun ve olgun olmayan kompostlar için sırasıyla  $<0,5$ ;  $0,5-3$  ve  $>3$  olarak bildirilmiştir (Brinton 2000). Türkiye' de ise komposttaki  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  oranı ile ilgili bir sınırlama bulunmamaktadır. Çizelge 4.12' de yapılan denemelere ait amonyum nitrat değerleri yer almaktadır.

**Çizelge 4.12** Deneylere ait amonyum nitrat değerleri

Deney No	Örnek (Gün)	Ort. NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	Ort. NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N / NO <sub>3</sub> -N
<b>Y1</b>	0	104,75	39,30	144,04	2,67
	2	96,11	43,69	139,80	2,20
	7	78,73	43,74	122,47	1,80
	14	100,61	17,50	118,11	5,75
	21	69,67	26,23	96,20	2,67
	60	236,23	78,74	314,98	3,00
<b>Y2</b>	0	96,16	30,60	126,76	3,14
	2	74,34	34,98	109,32	2,13
	7	104,91	34,98	139,89	3,00
	14	78,74	52,48	131,22	1,50
	21	96,18	69,94	166,12	1,38
	60	166,22	69,99	236,21	2,37
<b>Y3</b>	0	61,24	21,87	83,11	2,80
	2	126,84	48,11	174,95	2,64
	7	96,22	8,75	104,96	11,00
	14	34,99	8,75	43,73	4,00
	21	17,50	1,00	18,50	17,50
	60	78,73	35	113,73	2,25
<b>Y4</b>	0	104,97	39,36	144,33	2,67
	2	113,70	30,61	144,31	3,71
	7	166,20	30,61	196,81	5,43
	14	192,44	26,25	218,69	7,33
	21	30,60	1,00	31,60	30,60
	60	96,22	874,76	970,98	0,11
<b>Y5</b>	0	227,49	1,00	228,49	227,49
	2	109,36	1,00	110,36	109,36
	7	87,45	1,00	88,45	87,45
	14	458,97	39,34	458,97	10,67
	21	397,87	48,09	397,87	7,27
	60	214,34	0,00	-	-
<b>Y6</b>	0	0,00	0,00	-	-
	2	0,00	0,00	-	-
	7	8,75	1,00	9,75	8,75
	14	30,60	1,00	31,60	30,60
	21	100,55	1,00	101,55	100,55
	60	26,25	892,37	918,62	0,03
<b>Y7</b>	0	126,83	8,75	135,58	14,50
	2	174,88	17,48	192,37	10,00
	7	761,01	96,22	857,23	7,91
	14	113,71	43,73	157,44	2,60
	21	69,99	30,62	100,62	2,29
	60	78,71	1049,42	1128,13	0,08

**Çizelge 4.12** Deneylere ait amonyum nitrat değerleri (devam)

Deney No	Örnek (Gün)	Ort. NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	Ort. NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N / NO <sub>3</sub> -N
<b>Y8</b>	0	100,59	21,87	122,46	4,60
	2	135,59	8,75	144,33	15,50
	7	61,24	43,74	104,98	1,40
	14	35,00	1,00	36,00	36,00
	21	0,00	0,00	0,00	0,00
	60	104,98	52,49	157,47	2,00
<b>Y9</b>	0	104,98	1,00	105,98	104,98
	2	122,48	69,99	192,46	1,75
	7	43,73	8,75	52,47	5,00
	14	323,62	48,10	371,72	6,73
	21	358,67	30,62	389,29	11,71
	60	419,92	0,00	419,92	-
<b>Y10</b>	0	122,45	26,24	148,69	4,67
	2	61,23	26,24	87,47	2,33
	7	87,47	34,99	122,46	2,50
	14	139,95	69,97	209,92	2,00
	21	74,36	39,36	113,72	1,89
	60	74,36	332,44	406,80	0,22
<b>Y11</b>	0	104,98	43,74	148,72	2,40
	2	118,10	53,49	170,58	2,25
	7	122,48	39,37	161,85	3,11
	14	48,72	48,11	126,82	1,64
	21	148,67	0,00	148,67	-
	60				

Yapılan deneyler sonucu analizlerin büyük çoğunluğunda NH<sub>4</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonlarının toplamının 75 mg/kg' dan büyük olduğu ve kompostun olgunluğunun ölçülmesinde NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N oranının kullanılabilir olduğu söylenebilir. 21 günlük reaktör içerisinde yapılan kompostlama çalışması için yapılan deneylerde sadece Y1(%40 MK),Y2(%40 S), Y7(%40 PK), Y10(%20 MK) ve Y11(%20 PK) numaralı reaktörlerde son ürün NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N oranı 0,5-3 ün arasında kalmıştır. Diğer 6 reaktör 3'ün üzerinde olduğu yapılan analiz sonucu tespit edilmiştir. 60. gün deney sonuçlarına bakıldığında genelinde NO<sub>3</sub>-N miktarında artış gözlemlenmiş olup NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N oranın 3ün altında olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N oranı göze alındığında Y1,Y2, Y7, Y10 ve Y11 karışımları başarılı sonuçlanmıştır. Ancak bu duruma ek olarak deney sonuçlarının bütünü göze

alındığında bu çalışma için  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  oranı tek başına kompost olgunluğunun ölçümü için yeterli olmadığı söylenebilir (Çataltaş 2013).



## 5. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada, gıda endüstrisi arıtma tesisinden çıkan arıtma çamurun farklı tipte katkı maddeleriyle kompostlanabilirliği incelenmiştir. Katkı maddesi olarak mısır koçanı, saman, ayçiçeği sapı, yer fıstığı kabuğu, çınar yaprağı, talaş, pamuk kozası ve pirinç kabuğu %40 oranında ve yer fıstığı kabuğu, mısır koçanı ve pamuk kozası da ayrı olarak %20 oranında arıtma çamuruna eklenmiştir. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Arıtma çamuru ve katkı maddeleriyle yapılan 11 çalışmadan 9 tanesi 40 °C'yi aşip termofilik faza geçmiş ve bu 9 çalışmadan 6 tanesi 55 °C'nin üstüne çıkmıştır. Bu 6 denemenin tamamı (Y1, Y3, Y5, Y9, Y10 ve Y11) dezenfeksiyonun gerçekleşebilmesi için literatürde belirtilen süre ve sıcaklıkların sağlandığı denemeler olmuştur. Termofilik faza ulaşan tüm denemelerde uzun süre termofilik faz izlenmiş ve uzun süren bu faz sonucunda önemli oranda mikrobiyal stabilizasyon sağlanmıştır. Termofilik fazda 55 °C'nin üzerinde en uzun kalan % 80 arıtma çamurunun kullanıldığı Y10 (%20 MK) ve Y11 (%20 PK), %60 arıtma çamurunun kullanıldığı Y1 (%40 MK) denemeleridir. Mısır koçanı her iki oranda arıtma çamuru kullanılan karışımda da başarılı sonuçlar vermiştir.
- Yapılan çalışmalarda C/N oranlarına bakıldığında 05.03.2015 tarihinde Resmi gazetede yayımlanan Kompost Tebliği Ek-2'ye göre olgunlaşmış kompostta C/N %10-30 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Tebliğe göre Y3 (%40 AS), Y4 (%40 ÇY), Y5 (%40 FK), Y7 (%40 PK), Y9 (%20 FK), Y10 (%20 MK) ve Y11 (%20 PK) karışımlarının C/N oranı bakımından olgunlaşma fazına geçmeden bile stabil değerlerde olduğu, diğer karışımların olgunlaşma için bir süre daha bekletilmeleri gerektiği düşünülebilir.
- Kompostlamada C/N oranı çalışmadaki materyallere ve kompostun kullanım amacına göre değişiklik gösterdiğinden tek başına stabilizasyon göstergesi olamamaktadır. Bu nedenle, stabilizasyonun daha net bir şekilde belirlenebilmesi için bu parametrenin yanında başka parametrelerin de kullanılması gerekmektedir. Bunun için  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  parametresinin kullanımı daha net bir sonuç verebilmektedir. Yapılan çalışmada Y1(%40 MK),

Y4(%40 ÇY), Y7(%40 PK), Y10(%20 MK) ve Y11(%20 PK) denemeleri  $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$  parametresi açısından yeterli olgunluğa ulaştığı söylenebilir.

- Başlangıç nem içeriği açısından, arıtma çamurundaki yüksek nem içeriğinden dolayı %80 arıtma çamurunun kullanıldığı denemeler diğer denemelere göre daha yüksektir. Kompostlama süresi boyunca nem içeriği bazı reaktörlerde artış veya azalış gösterebilir genel itibarıyla başlangıç seviyelerine yakın kalmıştır. Kompost Tebliği'ne göre elde edilen kompostun araziye uygulanması için nem içeriğinin % 30'un altında olması gerekmektedir. Tüm reaktörlerdeki karışımların proses sonundaki nem içeriğinin bu değerin üstünde olması nedeniyle olgunlaşma için süreye ihtiyaç olduğu söylenebilir.
- Hazırlanan 11 karışımının 21 gün kompostlanması sonrasında, tüm reaktörlerde kuru madde kayıpları meydana gelmiştir. Sıcaklığın yükselmediği Y2 (%40 S), Y6 (%40 P) ve Y8 (%40 T) denemelerinde kütle kayıpları çok az miktarda olmuştur. Bu durum kolay parçalanabilir organik maddenin yeterli olmamasından kaynaklanabilir. Termofilik fazda uzun süre kalan karışımlarda kuru madde kayıplarının nispeten daha fazla olduğu görülmektedir. Katkı maddelerinden mısır koçanının kullanıldığı her iki karışımda da (Y1 ve Y10) en yüksek kuru madde kaybına ulaşılmıştır.
- Hem aktif kompost fazında 21. günün sonunda, hemde olgunlaşma fazında 60 günün sonunda, pH ve EC değerlerinin standartlara uygun aralıkta olduğu tespit edilmiştir.
- Çamur oranının %80 olduğu çalışmaların tamamında serbest hava boşluğu %20'nin altında, çamur oranının %60 olduğu çalışmaların tamamında ise %20'nin üstündedir. Kompost karışımlarında katkı madde oranlarının artması durumunda, porozitenin artmasından dolayı, çamur oranının %60 olduğu çalışmalarda, serbest hava boşluğu tavsiye edilen aralıkta ya da bu aralıklara yakın aralıktadır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda buğday samanı, pirinç kabuğu ve talaş kullanılan karışımlar istenilen stabilizasyona ulaşmadığı gözlemlenmiştir. %80 arıtma çamurunun kullanıldığı denemelerde Y10 (%20 MK) ve Y11 (%20 PK) denemeleri stabilizasyonun gerçekleştiği, C/N oranının 20'nin altında olduğu, gerek

$(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$  parametresi açısından gerekse nitrifikasyon indeksi parametresi açısından olgunluğa ulaştığı Y9 (%20 FK)'a göre nispeten daha çok öne çıkmaktadır. %60 arıtma çamurlarının kullanıldığı denemelerde Y7 (%40 PK) denemesi sıcaklık bakımında 55 °C'nin altında kalsa da diğer parametrelerde gerekli stabilizeteye ulaşmıştır. Kullanılan katkı maddelerinden mısır koçanı, ayçiçeği sapı, yer fıstığı kabuğu ve pamuk kozası arıtma çamuru kompostlanmasında proses verimini önemli düzeyde arttırdığı ve iyi bir kompostun elde edilmesi için kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir. Buğday samanı, pirinç kabuğu, talaş ve çınar yaprağının ise daha farklı oranlarda ve kolay parçalanabilir karbon içeren kosubstrat ilavesi ile kullanılabilmesi mümkün olabileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- APHA, AWWA, WPCF 1998.** Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, Copyright by American Public Health Association, 20th edition, Baltimore, USA, 1269pp.
- Arıkan, O.A. 2003.** Farklı Tipte Organik Katı Atıkların Havalı ve Havasız kompostlaştırılması. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arıkan, O. A. ve Öztürk, İ. 2005.** Arıtma çamuru kompostlaştırılmasında organik evsel katı atık ilavesinin etkisi. *İtü dergisi*, 4 (1): 15-24.
- Arias V., Fernandez F., Villasenor J., Rodriguez L., 2008,** Enhancing the co-composting of olive mill wastes and sewage sludge by the addition of an industrial waste. *Bioresource Technology* 99 (2008): 6346–6353
- Aşık, B. B. ve Katkat, A. V. 2004** Gıda Sanayi Arıtma Tesisi Atığının (Arıtma Çamuru) Tarımsal Alanlarda Kullanım Olanakları. *Uludağ.Üniv.Zir.Fak.Derg.*, 18(2): 59-71
- Aviani I., Laor Y., Medina Sh., Krassnovsky A., Raviv M., 2010** Co-composting of solid and liquid olive mill wastes: Management aspects and the horticultural value of the resulting composts. *Bioresource Technology*, 101 (17): 6699-6706.
- Aycan, Y. 2011.** Arıtma Çamurlarının Tarımsal Atıklar Kullanılarak Kompostlaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, On Dokuz Mayıs Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Ana Bilim Dalı, Samsun.
- Aydın S. 2004.** Atıksu arıtma tesisi çamurlarının değişik amaçlarla kullanımının araştırılması. *Doktora Tezi*. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Aydın, G.G. ve Kocasoy, G. 2002.** Investigation of appropriate initial composting and aeration method for co-composting of yard waste and market wastes, Proceedings, Appropriate environmental and solid waste management and technologies for developing countries, *ISWA 2002 Dünya Çevre Kongre ve Fuarı*, 1277-1284, İstanbul.
- Barrington S., Choinière D., Trigui M., Knight W. 2002.** Effect carbon source on compost nitrogen and carbon losses, *Bioresource Technology*, 83, 189-194.
- Barral Salvia, M. T., Menduina, A. M., Seijo, Y. C., Viqueira, F. D. 2007.** Assesment of municipal solid waste compost quality using standarized methods before preparation of plant growth media, *Waste Management ve Research*, 25, 99-108.
- Bayer, Y. 2008.** Ayrı toplamanın kompostlanma üzerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Bitrak, N. B. 2013.** Evsel Kullanıma Yönelik Kompostlaştırıcıların Performanslarının Araştırılması *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Ana Bilim Dalı, Isparta.
- Biddlestone, A.J., Gray, K.R., Day, C.A. 1987.** Composting and Straw decomposition: Environmental Biotechnology, Editörler: Forster, C.F. ve Wase, D.A., John Wiley and Sons, New York, s. 135-175,
- Bishop P.L., Godfrey C., 1983.** Nitrogen transformations during sludge composting. *Biocycle*, 24, 34-39.
- Bremner, J.M., Mulvaney, C.S. 1982.** Nitrogen-total, Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties ed: A.L. Page, SSSA Book Series No 9,

Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI., 595-622.

**Brinton, W.F., 2000.** Compost Quality, Standards & Guidelines, Final Report, Woods End Research Laboratory, Inc., USA, 42 pp.

**Chandler, J.A., Jewell, W.J., Gossett, J.M., Soest, P.J., Robertson, J.B. 1980.** Predicting methane fermentation biodegradability. *Biotechnology and Bioengineering Symposium 10*, 93-107.

**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 physicochemical parameters, *Bioresource Technology*, 81, (1): 7-17.

**Caballero, J.A., 1997.** Characterisation of Sewage Sludges by Primary and Secondary Pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 40 (41); 433-450.

**Çataltaş, A. 2013.** Hayvansal Atıkların Kompostlanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Anabilim Dalı, Bursa

**De Baere, L., Verdonc, O. ve Verstrate, W. 1985.** High rate dry anaerobic composting process for the organic fraction of solid waste, *Proceedings, Biotechnology and Bioengineering Symposium*, 321-330.

**Demir, İ.; Baştürk, A., Arıkan, O., Altınbaş, M. 1999.** İstanbul'da Kompost Üretimi, Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu'99. 282-291, 17-19 İstanbul.

**Diaz, L.F., Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. Stentiford, E. 2007.** Compost Science and Technology, *Elsevier Publishers*, 51, (8):1478-7482, 8:.

**Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L. Golueke, C.G. 1993.** Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Lewis Publishers, California, Environmental Protection agency. 296 p. EPA530-R-94-003

**Dresbøll D.B., Thorup-Kristensen K. 2004.** Delayed nutrient application affect mineralisation rate during composting of plant residues, *Bioresource Technology*, 96, 1093-1101.

**Dougherty, M. 1995,** Field guide to on-farm composting, NRAES-114, Ithaca, New York, 118p.

**Ecolable, 2001.** Commission Decision of 28 August 2001: Establishing ecological criteria for the award of the community Eco-label to soil improvers and growing media, 2001/688/EC.

**Ekinci, K., Keener H.M., Michel F.C., Elwell D.L. 2004.** Modeling composting rate as a Gaussian function of temperature and initial moisture content. *Compost Science and Utilization*.

**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.

**Epstein, E. 1997.** The Science of Composting, Technomic Publishing Co., Inc., Basel, 19, 20, 483p.

**Erdin, E. 1980.** Çöp ve Katı Atıklar Kurs Notları, E.Ü., İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü s. 13-13.

**Erdin, E. 1981.** Atıksuların sulamada Kullanılması. Su kimyası ve Teknolojisindeki Son gelişmeler Semineri, 8-12 Haziran, 1981, AKM, Konak, İzmir.

**Erdin, E. 1992** Biyoçöp ve Kompost Nedir / Nerede Kullanılır? *Ekoloji Çevre Dergisi*, 2(5): 9-13 s.

**Erdin, E. 2005.** Atıkların Kompostlanması, Dokuz Eylül Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Ders Notları, s. 8-35

- European Environment Agency, 1998**, Sludge treatment and disposal: management approaches and experiences; Environmental Issues Series, n° 7.
- Filibeli A., 2002**, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:255, Üçüncü Baskı, İzmir.
- Filibeli, A., 1998**, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları No:225, İzmir 975s.
- Filibeli, A., 1996**. “Arıtma Çamurlarının İşlenmesi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi No:255, İzmir.
- Gençsoy E.B. 2010**, Farklı Katkı Maddelerinin Kompost Kalitesi Üzerine Etkileri, *Doktora Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Genois, C., 1995**. “Kompost Tesisleri”, Türk-Kanada Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, İller Bankası Genel Müdürlüğü, 17-18 Ekim, Ankara.
- Golueke, C.G. 1972**. Composting – A Study of the Process and Its Principles, Rodale Press, Inc., Emmaus, Pennsylvania.
- Gökal C.A. 2014**. Konya Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamurlarının Ağır Metaller Açısından İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Necmettin Erbakan Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya
- Graves, R.E. ve Hattemer, G.M. 2000**. Environmental Engineering National Engineering Handbook. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USA, 9-10 p.
- Hararcı, S., 2005**. Arıtma çamuru nasıl bertaraf edilir? <http://www.bcm.org.tr/pdf/aritma%20%C3%A7amuru%20bertaraf.pdf> Erişim Tarihi: [15.06.2012]
- Halistürk, İ. Topcu, B. Yoldaş, S. 2006**. Atıkların Arıtılmasında Mikroorganizmaların Kullanılması Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği 2006.
- Hamoda, M. F., Abu Qdais, H. A. ve Newham, J. 1998**. Evaluation of Municipal Solid Waste Composting Kinetics, Resources. *Conservation and Recycling*. 23(4): 209-223.
- Haug, R.T. 1993**. The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, USA, 752p.
- Herity, L., 2003**. A study of the quality of waste derived compost in Ireland, *The Composting Association*, Ireland.
- Himanen M., Hänninen K. 2010** Composting of bio-waste aerobic and anaerobic sludges – Effect of feedstock on the process and quality of compost. *Bioresource Technology*, 102, (3): 2842-2852.
- Inbar, Y., Chen, Y. and Hadar, Y., 1990**. Humic substances formed during the composting of organic matter, *Soil, Sci, Soc. Am. J.*, **54**, 1316-1323.
- Insam, H. ve Bertoldi, M. de. 2007**. Microbiology of Composting Process. Chapter 3. In Golueke C., Bidlingmaier W., de Bertoldi M., Diaz L., ve ark. *Compost Science and Technology*.
- Jouraphy A., Amir S., Ghorous M., Revel J., Hafidi M., 2005**. Chemical and spectrascopic analysis of organic matte transformation during composting of sewage sludge and gren plant waste, Fransa. *International Biodeterioration & Biodegradation* 56 (2005): 101–108
- Jeris, J.S., Regan R.W. 1973**. Controlling environmental parameters for optimum composting. *Compost Sci.* 2, (14): 8-15.

- Jimenez E.I. ve Garcia V.P. 1989.** Evaluation of city refuse compost maturity, *Biological Wastes*, 27: 115-142.
- Kaçar, B., 1994.** Gübre Bilgisi A. Ü. Ziraat Fak. Yayınları No: 198, Ders Kitabı S. 397 Ankara.
- Karabulut,S.B., 2005,** Tavuk Dışkılarının Klinoptilolit ve Ponza Taşı İle Aerobik Kompostlaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*.Hacettepe Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı. Ankara.
- Kay, 2005,** TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İzmir Şubesi “Katı Atıkların Yönetimi” İzmir 2005.
- Keeney, D.R., Nelson, D.W. 1982.** Nitrogen-inorganic forms : Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, ed: A.L. Page, SSSA Book Series No 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI., 643-693.
- Keller, P. 1961.** Methods to evaluate maturity of compost, *Compost Science.*, 2, (7): 20-26.
- Khalil A.I., Hassouna M.S., El-Ashqar H.M.A, Fawzi M. 2011.** Changes In Physical, Chemical And Microbial Parameters During The Composting Of Municipal Sewage Sludge, *World J. Microbiol Biotechnol.*, (27): 2359–2369
- Kompost Tebliği, 05.03.2015,** Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara
- 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, (1998): 97-109.
- Kutzner, H.J. 2000.** Microbiology of composting. *Biotechnology*, (11): 35–100.
- Larsen K.L., McCartney D.M., 2000.** Effect of C:N ratio on microbial activity and N retention: benchscale study using pulp and paper biosolids, *Compost Sci. Util.* 8,(2000): 147-159.
- Lester, J.N., Birkett, J.W. 1999.** Microbiology and Chemistry for Environmental Scientists and Engineers. Spon Press, New York, USA, 380-400 p.
- Madejon, E., Diaz, M. J., Lopez, R., Cabrera, F. 2002.** New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. *Bioresources Technology*, 85: 73-78.
- Margesin R., Cimadom J., Schinner F., 2005.** Biological activity during composting of sewage sludge at low temperature, *Avusturya. International Biodeterioration & Biodegradation* 57 (2006): 88–92
- Mathur, S.P. 1991.** “Composting Processes”, In A.M. Martin(ed.). *Bioconversion of waste materials to Industrial Products*, Elsevier, New York. pp. 147-186
- Mc Lean, E.O. 1982.** Soil pH and Lime Requirement” in *Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties*, ed: A.L. Page, ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA, 2, (1982): 199-223.
- Mehmetli, E., Binici, M.S., Tosun, C. ve Baban, A. 2010.** Büyükbaş hayvan atıklarının kompostlanması: Türkiye örneği. IWES, 4-5 kısımlar 2010, WOW Convention Center, İstanbul.
- Metcalf & Eddy inc., 1991,** Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, 3rd ed. *Mc Graw-Hill Inc.*, New York.
- Metcalf & Eddy 2004,** Wastewater Engineering: Treatment And Reuse Fourth Edition. Revised by G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel, The McGraw- Hill Companies, Inc., New York, USA.

- 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.
- Morel, J.L., Colin, F., Germon, J.C., Godin, P. ve Juste, C. 1985.** Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost, Ed. Glasser, J. K. R., In *Composting of Agricultural and Other Wastes*, 56-72, Elsevier Applied Sci. Pub., New York.
- Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., Kubota, H., 1993.** "Effects of pH Control on Composting Garbage", *Waste Management and Research*, 11, (1993): 117-125.
- Nelson, D.W. ve Sommers, L.E. 1982.** Total carbon, organic carbon and organic matter: Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, ed: A.L. Page, SSSA Book Series No 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 539- 577.
- Okalebo, J.R., Gathua, K.W., Woomer, P.L. 1993.** Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual, TSBF progame, Soil Science Society of East Africa technical publication no. 1, UNESCO, Rosta, Kenya.
- Öztürk, İ., Demir, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O., Çiftçi, T., Çakmak, İ., Öztürk, L., Yıldız, Ş., Kiriş, A. 2010.** *Kompost El Kitabı*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 15-16 s.
- Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U. 2005.** *Atıksu Arıtımının Esasları*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Türkiye, 315-326 s.
- Öztürk, M., Bildik, B., 2005.** *Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 151-153 s.
- Parades C., Bernal M.P., Cegarra J., Roig A., 2002,** Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes, *İspanya. Bioresource Technology* 85 (2002) : 1–8
- 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.
- Rhoades, J.D. 1982.** Soluble Salts: Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, ed: A.L. Page, ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA, 167-178.
- Rihani M., Malamis D., Bihaous B., Etahiri J., Lozidou M., Assobhei O., 2010,** In-vessel treatment of urban primary sludge by aerobic composting, *Yunanistan Bioresource Technology* 101 (2010): 5988–5995
- Robin P., Hacala S., Paillat J.M., 2002.** Heat partition during composting process of cattle manure, *Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture*, France.
- Russell, E. W. 1961.** *Soil Conditions and Plant Growth*. Edited by Wild, A. 1988. 11th Ed. Longman Books. England
- Rynk, R. 1992.** *On farm composting handbook*. NRAES-54, Cooperative Extension Service, Northeast Regional Agricultural Engineering Services, USA.
- Sağdıç E. 2010.** *Gıda Endüstrisi Atık Çamurlarının Eysel Atıklarla Kompostlaştırılması. Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Schulze, K.L. 1962.** Continuous thermophilic composting. *Appl. Microbiol.* 10, 108-122

- Sharma, V.K., Caudatelli, M., Fortuna, F., Cornacchia, G. 1997.** Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by Aerobic Composting: Review. *Energy Conversion & Management*, 38:5, 453-478.
- Spinosa, L., Vesilind, P.A. 2001.** Sludge into Biosolids: Processing, Disposal, Utilization, IWA Publishing, UK, pp. 400.
- Stentiford, E.I. 1987.** Recent development in composting. In *Compost: Production Quality and Use. Elsevier Applied Science*, London. p.52-60.
- Stofella P.J., Kahn B.A, 2001** “Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems”, CRC Pres LLC.
- Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral, Özel, Mikrobiyal ve Enzim İçerikli Organik Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Üretimi, İthalatı, İhracatı, Piyasaya Arzı ve Denetimine Dair Yönetmelik, 2004.** Yayın tarihi: 4.5.2004, resmi gazete sayısı: 25452, *Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı*, Ankara.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A. 1993.** Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues, McGraw Hill, Inc., USA, 188 s.
- Tchobanoglous, G. ve Kreith, F. 2002.** Handbook of Solid Waste Management, McGraw Hill Handbooks, New York, USA 12 pp.
- Thompson, S.A., Ndegwa, P.M. 1999.** Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* 75 (2000), 7-12.
- Tiquia, M. S. ve Tam, F.Y. N. 2001.** Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry*, 37 (8): 869-880.
- Tisdale S., Nelson W.L., Beaton J.D., Havlin J.L., 1993.** Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed., Macmillan, New York.
- TMECC, 2001.** The US Composting Council Research and Education Foundation, and The United States Department of Agriculture “Test Methods for the Examination of Composting and Compost”.
- Topçu, N., 2006,** Lahana atıklarının kompostlanması ve elde edilen kompostun toprakta parçalanma süreci. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Tosun, İ. 2003.** Gül İşleme Posasının Evsel Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaşabilirliği, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Tosun, C., Binici, M.S., Mehmetli, E., Baban, A., Manav, N., Çoşkun, T. ve Debik, E. 2011.** Büyükbaş hayvan atıklarının kompostlaştırılması. *Sigma* 3, 117-125.
- Uçaroğlu S. 2010.** Katı Atık Yönetimi, Uludağ Ü., Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Ders Notları.
- Uğurlu, A., 1995.** Katı Atık Yönetimi, *Çevre Müh. Odası* yayını, Ankara
- USEPA, 1993.** Standards for the use and disposal of sewage, 40 CFR Parts 257, 403, and 503 (FRO-4203-3), final rule, Fed. Register, 58, 9248, US Government Printing Office, Washington, DC. February 19.
- USEPA, 1997.** Innovative Uses of Compost Disease Control for Plants and Animals <http://www.epa.gov/osw/conservation/rrr/composting/pubs/disease.pdf> EPA530-F-97-044 USA. Utilization. IWA Publishing, UK, 400p.
- Vallini G., Bertoldi M., Pera A., 1983.** The biology of composting : A review *Waste Manage. Res.* 1:157-176.

**Varank, G. 2006.** Aerobik olarak stabilize edilmiş katı atıklar ile kompost ürününün karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız T. Ü. , Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Anabilim Dalı, İstanbul.

**Vesilind, P. A. 1979.** Treatment And Disposal Of Wastewater Sludges. Ann Arbor Sciences, Michigan, USA. P.5,1-37.

**Villasenor J., Rodriguez L., Fernandez J., 2010,** Composting domestic sewage sludge with natural zeolites ina rotary drum reactor, İspanya. *Bioresource Technology* 102 (2010): 1447–1454

**Vuorinen, A.H. ve 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.

**Wilkinson, K., Tymms, S., Hood, V. and Tee, E., 1998.** “Guide to Best Practice, Composting Green Organics”, EcoRecycle Victoria.

**20NMAC9.1,** 2005. The State of New Mexico Solid Waste Managemnet Regulations.



## EKLER

### EK 1 Kompost Tebliği

Resmi Gazete Tarihi: 05.03.2015 Resmi Gazete Sayısı: 29286

#### KOMPOST TEBLİĞİ BİRİNCİ BÖLÜM

##### Amaç, Kapsam, Dayanak ve Tanımlar

###### Amaç

**MADDE 1 –** (1) Bu Tebliğin amacı; bir faaliyet sonucunda ortaya çıkan veya işletmelerden kaynaklanan biyobozunur atıkların;

- a) Çevre ve insan sağlığına zarar vermeden kaynağında ayrı toplanarak yönetiminin sağlanmasına,
- b) Geri kazanımının sağlanarak düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına,
- c) Kompost tesislerinin teknik kriterlerinin belirlenmesine,
- ç) Kompost tesislerinden elde edilen ürünlerin kalite kriterlerinin belirlenmesine, ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir.

###### Kapsam

**MADDE 2 –** (1) Bu Tebliğ, işletmelerin faaliyetlerinden ve/veya tüketimden kaynaklanan, bu Tebliğin ek-1 atık listesinde yer alan biyobozunur atıkların kompost tesislerinde işlenmesi, oluşan ürünün özellikleri ve kullanımına ilişkin teknik esasları kapsar.

(2) Bu Tebliğ hükümleri,

- a) Radyoaktif atıkları,
- b) Atıksuları,
- c) Hayvan kadavralarını, tarımsal amaçlı kullanılan hayvansal dışkıyı,
- ç) 24/12/2011 tarihli ve 28152 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği hükümleri saklı kalmak şartıyla biyogaz ya da kompost gibi geri kazanım tesisleri ile beraber yakma, yakma veya düzenli depolama tesislerine gönderilen hayvansal atıklar hariç diğer hayvansal yan ürünleri, kapsamaz.

###### Dayanak

**MADDE 3 –** (1) Bu Tebliğ;

- a) 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 8, 11 ve 12 nci maddeleri,
- b) 11/7/2001 tarihli ve 4703 sayılı Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanun,
- c) 29/6/2011 tarihli ve 644 sayılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararnamenin 9 uncu maddesi,
- ç) 5/7/2008 tarihli ve 26927 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik,
- d) 26/3/2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, hükümlerine dayanarak hazırlanmıştır.



## **Tanımlar**

**MADDE 4 – (1)** Bu Tebliğde geçen;

- a) Atık işleme: Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin ek-2/A ve ek-2/B'deki geri kazanım ya da bertaraf işlemlerini,
- b) Atık işleme tesisi: Atıkları, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin ek-2/A ve ek-2/B'deki faaliyetlerle geri kazanan ve/veya bertaraf eden tesisi,
- c) Bakanlık: Çevre ve Şehircilik Bakanlığını,
- ç) Bakiye atık: İşlenmek üzere atık işleme tesisine kabul edilen atıklardan işlenemeyen veya işleme sonucunda geriye kalan atıkları, d) Biyobozunur atık: Park, bahçe ve evler ile lokantalar, satış noktaları, gıda üretim ve benzeri tesislerden kaynaklanan oksijenli veya oksijensiz ortamda bozunmaya uğrayabilen atıklar arasında bu Tebliğin ek-1'inde yer alan atıkları,
- e) Çevre lisansı: 10/9/2014 tarihli ve 29115 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında düzenlenen lisansı,
- f) Geri kazanım: Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin ek-2/B'sinde listelenen işlemleri,
- g) İl müdürlüğü: Çevre ve şehircilik il müdürlüğünü,
- ğ) İşletmeci: Tesislerin işletilmesinden sorumlu gerçek veya tüzel kişiyi,
- h) Kompost: Organik esaslı atıkların oksijenli veya oksijensiz ortamda ayrıştırılması suretiyle üretilen ürünü,
- ı) Ön işlem: Ayırma işlemi dâhil olmak üzere atıkların hacmini veya tehlikelilik özelliklerini azaltmak, yönetimini kolaylaştırmak veya geri kazanımını artırmak amacıyla atığa uygulanan fiziksel, ısıl, kimyasal veya biyolojik işlemlerden bir veya birkaçını,
- i) Tesis sahibi: Aynı zamanda tesisin işletmecisi de olabilen, tesisinin mülkiyetine sahip gerçek veya tüzel kişiyi,
- j) Ürün: Atığın işlenmesi sonucunda elde edilen ve kullanım amacına uygun olarak belirli kriterleri sağlayan maddeyi,
- k) Ürün biriktirme alanı: Ürünün tesiste bekletildiği yeri, ifade eder.

## **İKİNCİ BÖLÜM**

### **Genel İlkeler, Görev, Yetki ve Yükümlülükler**

#### **Genel ilkeler**

**MADDE 5 – (1)** Kompost ve kompost tesislerinin yönetimine ilişkin genel ilkeler şunlardır:

- a) Atık yönetim planları dahilinde biyobozunur atıkların, kaynağında veya üretildikleri yerde diğer atıklarla karıştırılmaksızın, sınıflandırılarak ayrı toplanması esastır.
- b) Atıkların, görünüş, koku, toz, sızdırma ve benzeri faktörler yönünden çevreyi kirletmeyecek şekilde kapalı olarak taşınması zorunludur.
- c) Atıkların yönetiminden sorumlu kişi, kurum ve kuruluşlar, atık yönetiminin her aşamasında çevre ve insan sağlığına zarar vermesini önleyecek tedbirleri almakla yükümlüdür.
- ç) Biyobozunur atıkların ön işleme tabi tutulması esastır.

d) Atığın kabulünden itibaren gerekli tedbirler alınarak işletmeden kaynaklanan ve insan sağlığı açısından doğrudan risk oluşturan kirlilik kaynaklarının ortaya çıkarabileceği olumsuz etkilerin önlenmesi zorunludur.

e) Düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek biyobozunur atık miktarının azaltılması esastır. Atıkların düzenli depolama yöntemi ile bertaraf edilmesi ve depolanacak olan biyobozunur atık miktarı hedefleri için, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik hükümleri uygulanır.

f) Biyobozunur atıkların, bakiye atıkların ve/veya değerlendirilemeyen kompostun, atıktan türetilmiş yakıt üretiminde kullanılmasında, 20/6/2014 tarihli ve 29036 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği hükümleri uygulanır.

g) Kurulması planlanan kompost tesislerine ait bu Tebliğin ek-4’ünde yer alan formata uygun olarak hazırlanan ön fizibilite raporu ile teknoloji ve projelerin uygulanmasına ilişkin bu Tebliğin ek-5’inde yer alan formata uygun olarak hazırlanan uygulama projelerine Bakanlıktan uygun görüş alınması zorunludur.

ğ) Ön fizibilite raporu ve uygulama projeleri, çevresel etki değerlendirme yeterlilik belgesine haiz kurum ve kuruluşlar veya Bakanlıkça yetkilendirilmiş çevre danışmanlık firmaları tarafından hazırlanır.

h) Kompost tesisleri, Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliğine göre çevre lisansı almak zorundadır.

(2) Bu Tebliğ kapsamında yer alan ürünlerin çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde piyasaya arz edilmesi esastır.

(3) Sorumlu olan taraflar, ürünlerin ve atıkların çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması ve güvenli bir şekilde yönetilmesi amacıyla ilgili personeline eğitim vermek/verdirmekle, kamuoyunda farkındalık yaratmakla, sosyal sorumluluk projeleri ve çevre eğitim projeleri yapmakla veya katkı sağlamakla, yazılı ve görsel basında spot yayınlar yapmakla veya bu amaçla yapılan çalışmalarla katkı sağlamakla yükümlüdürler.

#### **Bakanlığın görev ve yetkileri**

##### **MADDE 6 – (1) Bakanlık;**

a) Bu Tebliğin uygulanmasına yönelik işbirliği, koordinasyonu sağlamak ve gerekli idari tedbirleri almakla,

b) Kurulması planlanan kompost tesislerine ait ön fizibilite raporu ile uygulama projelerini değerlendirmek ve uygun görüş vermekle,

c) Uygulama projesi Bakanlıkça uygun görülen tesisin inşaatının, uygulama projesi ve teknik şartnamesine uygun olarak tamamlandığına dair tesis onay yazısı düzenlemekle,

ç) Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliğine göre kompost tesislerine çevre lisansı vermek ve denetlemekle, yükümlüdür.

(2) Bakanlık, gerekli gördüğü durumlarda birinci fıkrada belirtilen yetkilerini il müdürlüklerine devredebilir.

## **İl müdürlüklerinin görev ve yetkileri**

**MADDE 7 – (1)** İl müdürlükleri;

- a) Bu Tebliğin uygulanmasına yönelik işbirliği ve koordinasyonu sağlamakla, denetim yapmakla,
- b) Belediyelerin atık yönetim planı dahilinde toplanan biyobozunur atıklara ilişkin bilgi ve belgeleri Bakanlığa bildirmekle, yükümlüdür.

## **Mahalli idarelerin, özel ve tüzel kişilerin görev ve yükümlülükleri**

**MADDE 8 – (1)** Büyükşehir belediyeleri, mahalli idare birlikleri, il ve ilçe belediyeleri, özel ve tüzel kişiler;

- a) Sorumlulukları çerçevesinde atık yönetim planı dahilinde, biyobozunur atıkları kaynağında ayrı toplamak/toplattırmakla,
- b) Toplanan atıklara ilişkin bilgi ve belgeleri, takip eden yılın mart ayı sonuna kadar il müdürlüğüne sunmakla,
- c) Bu Tebliğ kapsamında yer alan biyobozunur atıkların yetkili olmayan kişiler tarafından toplanmasını, taşınmasını ve işlenmesini önlemek amacıyla gerekli tedbirleri almakla,
- ç) Kurulması planlanan kompost tesisi için bu Tebliğin ek-4'ünde yer alan formata uygun olarak ön fizibilite raporu hazırlamakla ve Bakanlığa sunarak uygun görüş almakla,
- d) Kurulması planlanan kompost tesislerine ait imar planına uygun şekilde bu Tebliğin ek-5'inde yer alan formata uygun olarak uygulama projesi hazırlamak ve projeyi Bakanlığa sunarak uygun görüş almakla,
- e) Tesis inşaatı bitiminde bu Tebliğin ek-6'sında yer alan formata uygun olarak hazırlanan işletme planını Bakanlığa sunmak ve uygun görüş almakla,
- f) Biyobozunur atık yönetiminde görev alan personelin, periyodik olarak eğitimini sağlamakla, sağlık kontrolünden geçirmekle, mesleki risklerin önlenmesi, eğitim ve bilgi verilmesi dâhil her türlü tedbirin alınması ve organizasyonunun yapılması ile gerekli araç ve gereçlerin sağlanması, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesi için çalışmalar yapmakla ve diğer koruyucu, önleyici tedbirleri almakla, yükümlüdürler.

(2) Mahalli idareler, bu maddenin birinci fıkrasındaki hükümlere ek olarak, biyobozunur atıkların yönetimi kapsamında, bu Tebliğ ile sorumluluk verilen taraflarla birlikte bilinçlendirme ve eğitim faaliyetleri yapmak veya katkıda bulunmakla yükümlüdür.

## **İşletmecinin yükümlülükleri**

**MADDE 9 – (1)** İşletmeci;

- a) Tesisin işletilmesi ile ilgili işletme planını uygulamakla,
- b) Tesisin faaliyetleri sonucu oluşan atıklar ile bakiye atıkların ilgili mevzuatta belirtilen hükümlere uygun olarak yönetimini sağlamakla,
- c) İşletme sürecinde sera etkisi de dâhil olmak üzere tesisten kaynaklanabilecek gazların toplanması, işlenmesi ve kullanılması işlemlerini çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yapmakla,
- ç) Tesise, işlenmeye uygun olmayan atıkları kabul etmemekle,

- d) Tesise gelen ve işlenmeye uygun olmayan atıklar ile tesisten çıkan ve kullanıma uygun olmayan ürünleri ilgili mevzuata uygun olarak bertaraf etmekle,
- e) Atıklara ilişkin bilgi ve belgeleri takip eden yılın mart ayı sonuna kadar il müdürlüğüne sunmakla,
- f) Acil durumlarda alınacak önlemlerle ilgili personelin eğitimini sağlamakla, acil durum söz konusu olduğu zaman Bakanlığa bilgi vermekle,
- g) Tesisin risk taşıyan bölümlerinde çalışan personelin her türlü sağlık ve güvenliğini sağlamak, bu bölümlere yetkili kişilerin dışında ve izinsiz olarak girişleri önlemekle, yükümlüdür.
- (2) Tesis sahibi ile işletmecinin farklı kişiler olması halinde tesislerin bulunduğu alanlarda, tesis hizmet süresini doldurduktan sonra olası çevresel kirliliğin engellenmesi amacıyla tesis sahibi tarafından gerekli tedbirler alınır.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### Kompost Tesislerinin Özellikleri

#### Kompost tesislerinin genel özellikleri

- MADDE 10** – (1) Düzenli depolama tesisi sınırları içerisinde kurulanlar hariç olmak üzere, tesis sınırının yerleşim alanlarına en yakın mesafesinin 250 metre olacak şekilde, hakim rüzgar yönü de dikkate alınarak yer seçimi yapılır. Alıcı ortamın, toprağın, yüzeysel suların ve yeraltı sularının kirlenmesini önleyecek şekilde tasarımı yapılır.
- (2) Tesisten kaynaklanabilecek koku, toz, sızıntı suyu, gaz ve benzeri olumsuz etkileri asgari düzeye indirmek için her türlü önleyici tedbir alınır.
- (3) Atıklar, çevresel risk oluşturmayacak şekilde tesise kabul edilir ve atıkların işlendiğinin takip edilmesi için gerekli kontrol sistemleri kurulur.
- (4) Tesiste, araç parkı, kantar, tekerlek yıkama ünitesi ve idari bina bulunması zorunludur. Tesislerin entegre tesis olması durumunda bu ünitelerden birer adet olması yeterlidir.
- (5) Üretim öncesi, atıkların en az bir gün süre ile biriktirilebileceği büyüklükte, boşaltma, ön şartlandırma hattına yükleme işlemlerinin gerçekleştirileceği, atık kabul birimi yapılır.
- (6) Atık kabul birimleri yağış etkisine karşı üstü kapalı olarak inşa edilir. Atık kabul birimi tabanı, sızdırmazlığı sağlayacak şekilde en az 30 cm kalınlığında, C30 beton ve tutuşmaz malzemedir yapılır. Tabanda atığın kanalizasyon veya yüzey suyuyla temas etmesini engelleyecek şekilde ayrı toplama mekanizması geliştirilir. Atık kabul alanında oluşacak sızıntı suyunun toplanabilmesi için zemine uygun şekilde eğim verilir.
- (7) Tesiste, atıkların işlenmesi sonucunda oluşan ürünün yağışlardan etkilenmeyecek şekilde biriktirileceği kapalı ürün deposu teşkil edilir.
- (8) Tesise gelen ve işlenmeye uygun olmayan atıklar ile tesisten çıkan ve kullanıma uygun olmayan ürün ve bakiye atıklar için

uygun alanlar oluşturularak ilgili mevzuata uygun olarak bertaraf edilir.

(9) Tesis genelinde oluşacak yağmur suları, yıkama ve benzeri atık sulardan ayrı toplanır.

(10) Tesise kabul edilen atığın kaynağı, kodu, miktarı, tesise erişim şekli gibi bilgileri içeren veri kayıt sistemi oluşturulur.

(11) Tesislerde, kokuya neden olan tüm emisyon kaynaklarında, 19/7/2013 tarihli ve 28712 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan

Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik hükümlerine uyulur.

(12) Tesislerin işletilmesi sırasında oluşan sızıntı suyu, yıkama suyu ve benzeri atıksular 31/12/2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî

Gazete’de yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği doğrultusunda deşarj standartlarına uygun hâle getirmek için arıtılır.

(13) Sızıntı suyu arıtma tesisi bulunmayan tesislerde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği hükümlerine uygun olarak atıksu altyapı

tesisi bulunan yerlerde kanalizasyon sistemine bağlantı esaslarına uyulması şartıyla bağlantı izni alınır.

#### **Kompost tesislerinin teknik özellikleri**

**MADDE 11 –** (1) Kompost tesisleri, bu Tebliğin 10 uncu maddesinde belirtilen hükümlere uymakla yükümlüdür. Bu hükümlere ek olarak;

a) Ayırma işlemi, mikroorganizmaların gerçekleştirdikleri bozunma prosesinin kolaylaştırılması amacıyla boyut küçültme veya parçalama ve eleme işlemlerinin yapıldığı ön şartlandırma ünitesi,

b) Kompostlaştırma ünitesi,

c) Son şartlandırma ünitesi,

ç) Son eleme ünitesi,

d) Ürün biriktirme alanı,

bulunur.

(2) Kompostlaştırma sürecini kontrol etmek amacıyla yığın sıcaklığı günlük olarak, nem içeriği ise haftalık olarak takip edilir ve kayıt sistemi oluşturulur.

(3) Kapalı veya yığın kompost tesislerinde; havalandırma sisteminin, uçucu bileşikler, çürüme sonucu ortaya çıkabilecek

kirleticiler, mikroorganizma ve alerjenlerin, ortama verilecek emisyonların ve kokunun temizlenmesini sağlayacak şekilde kurulması ve çalıştırılması zorunludur.

(4) Atıkların kaynağında işlendiği bahçe tipi kompost sistemleri ve solucan tipi kompost sistemleri için bu Tebliğ hükümleri

uygulanmaz. Ancak, solucan tipi kompost sistemlerinde sızıntı suyu kontrol sistemi kurulur.

(5) Hayvansal atık kullanılması durumunda, kompostlaştırma ünitesinde 70 °C sıcaklığın en az 1 saat boyunca kesintisiz olarak

sağlanması ve sağlandığının belgelenmesi veya tesiste 1 saat 70 °C sıcaklığın uygulanacağı hijyenizasyon ünitesi şartı aranır.

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM** **Ürünler ve Bakiye Atıklar**

### **Kompostun kullanılması**

**MADDE 12** – (1) Biyobozunur atıkların işlenmesiyle elde edilen ürün özelliklerinin belirlenmesinde;

- a) Beslenen hammadde özelliklerine,
  - b) Kompost tesisi proses şartlarına,
- uyulması zorunludur.

(2) Kompost tesisinde gerçekleştirilen işlemler sonucunda elde edilen ürünün toprak iyileştirici olarak kullanılabilmesi için bu

Tebliğin ek-2 ve ek-3'ünde yer alan kompost kriterlerini sağlaması zorunludur.

(3) Kompost kalitesinin belirlenmesinde; pH, hijyen, iz element, nem içeriği, C/N oranı, organik madde, tuz, biyobozunur olmayan yabancı madde, yabancı ot ve kararlılık parametreleri dikkate alınır.

(4) Kompostun tarımda kullanılması ve kompostun uygun olarak üretildiğinin belirlenmesinde 29/3/2014 tarihli ve 28956 sayılı

Resmî Gazete'de yayımlanan Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı, İhracatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik hükümleri uygulanır.

(5) Ürünü temsil eden numunelerin alınması, 29/3/2014 tarihli ve 28956 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Gübrelerin Piyasa

Gözetimi ve Denetimi Yönetmeliği çerçevesinde belirtilen numune alma metotları esasına göre, üçer aylık periyotlarla yılda dört numune olacak şekilde yapılır.

### **Ürünün piyasaya arz edilmesi**

**MADDE 13** – (1) Bu Tebliğ kapsamında yer alan kompost, ambalajlanmış olarak piyasaya arz edilir. Ambalajların geri kazanıma

uygun olması tercih edilmelidir. Kompostun piyasaya arz edilmesinde, Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı, İhracatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik hükümleri uygulanır.

(2) Piyasaya arz edilen ürün ambalajının etiketi üzerinde;

- a) pH,
- b) Toplam organik maddesi,
- c) Azami nem değeri,
- ç) Toplam azot değeri (% 1'i geçerse),
- d) Toplam fosfor pentaoksit (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) değeri (% 1'i geçerse),
- e) Suda çözünür potasyum oksit (K<sup>2</sup>O) değeri (% 1'i geçerse),
- f) C/N oranı,
- g) Kompost kararlılık bilgileri,
- ğ) Kompost üretiminde kullanılan hammadde kaynağı,
- h) Suda çözünür klorür (Cl<sup>-</sup>) bilgilerine yer verilmesi gerekmektedir.

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

### **Çeşitli ve Son Hükümler**

#### **İdari yaptırım**

**MADDE 14** – (1) Bu Tebliğ hükümlerine aykırı hareket edenler hakkında, 2872 sayılı Kanununun 12 ve 20 nci maddeleri ve 4703 sayılı Kanunun ilgili maddelerinde öngörülen müeyyideler uygulanır.

Düzenleme yetkisi

**MADDE 15** – (1) Bakanlık bu Tebliğ kapsamındaki atıkların ve ürünlerin yönetimine ilişkin her türlü düzenlemeyi yapmaya yetkilidir.

#### **Mevcut kompost tesisleri**

**GEÇİCİ MADDE 1** – (1) Bu Tebliğin yürürlüğe girdiği tarihten önce işletilen mevcut tesisler, bu Tebliğ ile fiziksel koşullara bir yıl içerisinde, diğer hükümlere bu Tebliğin yayımı tarihinde uyum sağlamakla yükümlüdür.

#### **Yürürlük**

**MADDE 16** – (1) Bu Tebliğ yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

#### **Yürütme**

**MADDE 17** – (1) Bu Tebliğ hükümlerini Çevre ve Şehircilik Bakanı yürütür.

## ATIK LİSTESİ

<b>ATIK GRUPLARI</b>	
<b>Bitkisel İçerikli Atıklar ve Ormancılık Atıkları</b>	
02 01 03	Bitki dokusu atıkları
02 01 07	Ormancılık atıkları
<b>Hayvansal İçerikli Atıklar</b>	
02 01	Tarım, Bahçivanlık, Su Ürünleri Üretimi, Ormancılık, Avcılık ve Balıkçılıktan Kaynaklanan Atıklar
02 01 02	Hayvan dokusu atıkları
02 01 06	Ayrı toplanmış ve saha dışında işlem görecekt hayvan dışkısı, idrar ve tezek (ve bunlarla temas etmiş saman dahil), akan sıvılar
02 02	Et, balık ve diğer hayvansal kökenli gıda maddelerinin hazırlanmasından ve işlenmesinden kaynaklanan atıklar
02 02 02	Hayvan dokusu atığı
<b>Gıda Üretimi Atıkları</b>	
02 02	Et, balık ve diğer hayvansal kökenli gıda maddelerinin hazırlanmasından ve işlenmesinden kaynaklanan atıklar
02 02 03	Tüketime ya da işlenmeye uygun olmayan maddeler
02 03	Meyve, sebze, tahıl, yenilebilir yağlar, kakao, kahve, çay ve tütünün hazırlanmasından ve işlenmesinden; konserve üretiminden, maya ve maya özütü üretiminden, molas hazırlanması ve fermantasyonundan kaynaklanan atıklar
02 03 04	Tüketime ya da işlenmeye uygun olmayan maddeler
02 05	Süt ürünleri endüstrisinden kaynaklanan atıklar
02 05 01	Tüketime ya da işlenmeye uygun olmayan maddeler
02 06	Unlu mamuller ve şekerleme endüstrisinden kaynaklanan atıklar
02 06 01	Tüketime ve işlenmeye uygun olmayan maddeler
02 07	Alkollü ve alkolsüz içeceklerin (kahve, çay ve kakao hariç) üretiminden kaynaklanan atıklar
02 07 01	Hammaddelerin yıkanmasından, temizlenmesinden ve mekanik olarak sıkılmasından kaynaklanan atıklar
02 07 02	Alkol damıtılmasından kaynaklanan atıklar
02 07 04	Tüketime ya da işlenmeye uygun olmayan maddeler
<b>Ahşap İşleme, Kağıt ve Kağıt Üretimi Atıkları</b>	
03 01 01	Ağaç kabuğu ve mantar atıkları
03 03	Kağıt hamuru, kağıt ve kağıt karton üretim ve işlenmesinden kaynaklanan atıklar
03 03 01	Ağaç kabuğu ve odun atıkları
03 03 07	Atık kağıt ve kartonun hamur haline getirilmesi sırasında mekanik olarak ayrılan iskartalar
03 03 08	Geri dönüşüme gitmek üzere sınıflandırılan kağıt ve kartondan kaynaklanan atıklar
20 01 01	Kağıt ve karton
<b>Tekstil Endüstrisi Atıkları</b>	
04 02 10	Doğal ürünlerden oluşan organik maddeler (örneğin yağ, mum)
<b>Anaerobik Arıtım Atıkları</b>	
19 06 04	Belediye atıklarının anaerobik arıtımından kaynaklanan posalar
19 06 06	Hayvansal ve bitkisel atıkların anaerobik arıtımından kaynaklanan posalar
<b>Mutfak Atıkları</b>	
20 01 08	Biyolojik olarak bozunabilir mutfak ve kantin atıkları
20 01 25	Yenilebilir sıvı ve katı yağlar
<b>Park, Bahçe ve Diğer Yeşil Atıklar</b>	
20 02 01	Biyolojik olarak bozunabilir atıklar
20 03 02	Pazarlardan kaynaklanan atıklar



## KOMPOST KALİTE PARAMETRELERİ

Parametre	Değer	
pH	5,5 – 8,5	
Hijyen değeri	Kesintisiz olarak 55 °C'de 2 hafta, 60 °C'de 1 hafta, 65 °C'de 5 gün, 70 °C'de 1 saat, işlem görmüş olacaktır.	
	<b>Patojenler</b>	
	Toplam Bakteri	1x10 <sup>3</sup> kob/g veya kob/ml
	Enterobactericea grubu bakteriler	< 3cfu/ml
	Mycobacterium spp	Yok (25 g veya ml)
	Toplam maya ve küf	1<10 <sup>4</sup> kob/gr-ml
	Salmonella spp	Yok (25 g veya ml)
	Staphylococcus aureus	Yok (25 g veya ml)
	Bacillus cereus	Yok (25 g veya ml)
	Bacillus anthracis	Yok (25 g veya ml)
	Clostridium spp	<2 kob/g veya kob/ml
	Clostridium perfiringens	Yok
	Listeria spp	Yok
	Staphylococcal Enterotoksin	Yok
	E.coli	Yok
	E.coli	0157 Yok
İz elementler	<b>Parametre</b>	<b>Kompostta ppm (mg/kg kuru madde)</b>
	Arsenik (As)	20
	Kadmiyum (Cd)	3
	Krom (Cr)	350
	Bakır (Cu)	450
	Cıva (Hg)	5
	Nikel (Ni)	120
	Kurşun (Pb)	150
	Çinko (Zn)	1100
	Kalay (Sn)	10
Kompostun Nem İçeriği	< % 30	

Karbon/Azot Oranı (C/N)	10-30
Organik Madde (kuru madde içerisinde)	> %35
Mineral iyonlar halindeki tuzlar	< 10dS/cm
Biyobozunur Olmayan Yabancı Madde İçeriği (Kuru Ağırlık Olarak)	< % 2
Komposttaki yabancı ot değeri	< 5 adet/lt
10 mm'lik elekten ürünün % 90'ı geçecektir.	
Plastik madde ya da diğer mevcut muhtemelen geri dönüşümü olmayan madde parçacıklarının büyüklüğü 10 mm'yi geçmeyecektir.	

### KARARLILIK PARAMETRELERİ

Grup (A) Testler: CO<sub>2</sub> Oluşum ve Solunum, O<sub>2</sub> ihtiyacı, Dewar Testlerini içerir. Ürünlerin piyasaya arzı için kararlılık özelliklerini sağlaması zorunludur.

	Birim	KARARLILI K	
OUR Testi	mg O <sub>2</sub> / gr OM /saat	< 0,4	
CO <sub>2</sub> Oluşum Oranı	mg CO <sub>2</sub> -C / gr OM /gün	< 2	
Dewar Testi	Sıcaklık Sınıfı	V	
	Dewar İndeksi:		
	Sıcaklık Yükselmesi	Sınıf	Stabilite Tanımlaması
	0-10 °C	V	Tamamen stabil kompost, depolanabilir
Solvita Testi	İndeks Değeri	7 - 8	

\*OM: Organik Madde

## ÖN FİZİBİLİTE RAPORU FORMATI

1. Tesis yeri ile ilgili genel bilgiler
  - a. En yakın yerleşim birimine olan mesafeler
  - b. Saha kapasitesi, büyüklüğü
  - c. Mülkiyet durumu
  - d. Tesis ömrü
2. Kabul edilecek atık türleri ve kodları
3. Mevcut nüfus ve nüfus projeksiyonu
4. Atık miktarı ve projeksiyonu
5. Yapılması öngörülen kompost tesisi
6. Tesiste yer alacak üniteler ve bu üniteler ile ilgili bilgiler (kantar, tekerlek yıkama, idari bina, trafo, jeneratör, ve benzeri)
  - a. Varsa diğer üniteler ile ilgili bilgiler
7. Gaz ve sızıntı suyu yönetimi
8. Yüzeysel su ve atıksu yönetimi
9. Maliyet analizi

## UYGULAMA PROJESİ FORMATI

Sıra	Pafta Adı	Açıklama
1	Genel Vaziyet Planı	Tesisin genel olarak yerleşimini göstermeli ve ülke koordinatları aplike edilmelidir. Arazi üzerinde mevcut yol, su birikintileri, yapılar, elektrik, su ve doğalgaz hatları ve eğim başlangıç bitiş noktaları belirtilmelidir.
2	Ön Hazırlama Ünitesi Vaziyet Planı	Ön hazırlama ünitesinde kullanılan ekipmanlara ait yerleşim planlarını göstermelidir.
3	Ön Hazırlama Ünitesi Kesit Planları	Ön hazırlama ünitesinde bulunan ekipmanların kesit planlarını içermelidir.
4	Kompostlaştırma Ünitesi Plan ve Kesitleri	Kompostlaştırma ünitesi planı ile enine ve boyuna kesit planlarını içermelidir.
5	Konveyör Köprüsü Vaziyet Planı	Konveyör köprüsü kullanılmışsa planları verilmelidir.
6	Kompost Aktarma Makinesi Vaziyet Planı ve Kesiti	Kompost aktarma makinesinin sahadaki konumu gösteren plan ve kesitler verilmelidir.
7	Kapalı/Yıgın Kompost Tesislerinde Havalandırma Sistemi Plan ve Kesitleri	Havalandırma sistemi konumunu, plan ve kesitlerini içermelidir.
8	Proses Akış Şeması	Tüm sistemdeki proseslerin akışlarını göstermelidir.
9	Atıksu P&I Diyagramı	Tesiste oluşan atıksuyun toplama ve iletim sisteminin gösterildiği şemalardır.
10	Atık Hava P&I Diyagramı	Tesis bünyesinde oluşan atık havanın toplanmasını ve akışını gösteren diyagramlardır.
11	Tesis Ekipman Listesi	Tesis ekipmanlarının fonksiyonu, yerini ve spesifik özelliklerini gösteren listelerdir.
12	Son Şartlandırma Ünitesi Plan ve Kesitleri	
13	Son Eleme Ünitesi Plan ve Kesitleri	
14	Ürün Deposu Plan ve Kesitleri	
15. Diğer Paftalar		
Tesis Binası Projesi	Tesis Binası Elektrik Projesi	Tesis Binası Tesisat Projeleri
İdari Bina Projesi	Güvenlik Binası Elektrik Projesi	İdari Bina Sıhhi Tesisat Projesi
Güvenlik Binası	İdari Bina Elektrik Projesi	İdari Bina Isıtma Tesisatı Projesi
Su Deposu	Çevre Aydınlatma Projesi	Atölye Binası Sıhhi Tesisat Projesi
Atölye Binası	Orta ve Alçak Gerilim Dağıtım Proj.	Atıksu Kanalizasyon Hattı Planı
Kantar	Atölye Binası Elektrik Projesi	Yangın ve Servis Suyu Planı
Telçit Detayı	Trafo	Su Deposu
Kantar Elektrik Projesi	Paratoner	

## İŞLETME PLANI FORMATI

### 1. TESİS GENEL YERLEŞİM PLANI

- a. Saha altyapısı
- b. Genel vaziyet planı (1/5000)

### 2. TESİS İŞLETME ESASLARI

- a. Akım şeması
- b. Atık kabul ve kayıt
- c. Kurulan tesislerdeki ünitelerde işletme koşulları (ünite kapasitesi, alanı, kullanılan ekipmanlar, sıcaklık, pH, C/N oranı, bekletme süresi, hijyenizasyon, nem içeriği, organik madde içeriği, elek boyutları, karıştırıcı özellikleri, havalandırma sistemi, gaz yönetimi, gibi tesis ünitelerinde yapılan faaliyetlere göre sıra ile yer alması gerekir.)

### 3. Ürünün depolanması ve yönetimi

### 4. TESİSTE KONTROL VE İZLEME

- a. Atık Miktarı, Tartım ve Analizi
- b. Kuşaklama Kanalı ve Yüzey Suyu
- c. Sızıntı Suyu
- d. Yeraltı Suyu
- e. Gaz Yönetimi

### 5. İŞLETME SONUNDA KAPATILMASI

- a. İşletme Sonrası Kontrol ve İzleme

### 6. EKİPMAN-PERSONEL

- a. İş Makineleri
- b. Personel (tesis personeline ait görev tanımları, yetkinlik kriterleri belgelendirilmelidir.)

### 7. İŞÇİ SAĞLIĞI İŞ GÜVENLİĞİ

(Tesiste görev yapacak olan tüm personelin alacağı aşamalı eğitimler, kullanılacak kişisel koruyucu donanımlar ve kullanımda uyulacak esaslar, yangından korunma ve müdahale, acil durum eylem planı, tesis güvenlik tedbirleri vb. yer almalıdır.)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yusuf ATALAY  
Doğum Yeri ve Tarihi : Kocaeli 10.07.1987  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Darıca (Y.dil Ağırlıklı) Lisesi  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, 2010.  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kroman Çelik San. A.Ş.  
İletişim (e-posta) : ysfatalay@gmail.com  
Yayımları (SCI ve diğer) :

**Atalay Y. 2010.** Arıtma Çamurlarının Kompostlanmasında Sıcaklık ve Nem Değişimleri, *Lisans Tezi* Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği, Bursa.

**Uçaroğlu S., Alkan U. Başkaya S.H., Atalay Y. Çataltaş A. 2012.** Gıda Endüstrisi Arıtma Çamurlarının Kompostlanmasında Farklı Katkı Maddelerinin Kullanımı

**Uçaroğlu S., Alkan U. Başkaya S.H., Atalay Y. Çataltaş A. 2012.** Arıtma Çamurlarının Kompostlanarak Tarımda Kullanılması, Uludağ Ü. Arge Günleri