

**HAYVANSAL ATIKLARIN
KOMPOSTLANMASI**

ABDULLAH ÇATALTAŞ



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAYVANSAL ATIKLARIN KOMPOSTLANMASI

Abdullah ÇATALTAŞ

Prof.Dr. Ufuk ALKAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA – 2013

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Abdullah ÇATALTAŞ tarafından hazırlanan “Hayvansal Atıkların Kompostlanması” 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: Prof. Dr. Ufuk Alkan

Başkan:	Prof. Dr. Ufuk ALKAN Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Prof. Dr. Hüseyin S. BAŞKAYA Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Prof. Dr. Vahap KATKAT Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü
../../....(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.

05.02.2013

İmza

Abdullah ÇATALTAŞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAYVANSAL ATIKLARIN KOMPOSTLANMASI

Abdullah ÇATALTAŞ

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ufuk ALKAN

Bu çalışmada, büyük baş hayvan atıklarının kullanım kapasitesinin artırılması amacıyla, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi büyük baş hayvan çiftliklerinden alınan gübrelerin kompostlanabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla toplanan hayvan gübrelerinin, öğütülmüş kuru çınar yaprağı, evsel nitelikli arıtma çamuru, öğütülmüş ayçiçeği sapı ve doğranmış yaş patates kabuğu ile kütlege farklı oranlarda karıştırılarak 30 litrelik reaktörlerde 21 gün süre ile kompostlanması incelenmiştir. Büyükbaş hayvan atığı, evsel nitelikli arıtma çamuru ve kuru çınar yaprağından oluşan karışıma karışım kütlesinin % 20 'si oranında patates kabuğu ilave edildiğinde kompostlama veriminin arttığı belirlenmiştir. Sıcaklık, termofilik fazda geçen süre, nihai C/N, $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ ve nitrifikasyon indeksi parametreleri incelendiğinde % 30 evsel nitelikli arıtma çamuru, % 50 gübre ve % 20 ayçiçeği sapı içeren karışımda en yüksek kompostlama verimi elde edilmiştir. Kompostun nem içeriği ve C/N oranına bağlı olarak reaktörlerdeki sıcaklıklarda farklılıklar gözlenmiştir. Sıcaklık değerleri ilk 5 gün boyunca mikrobiyal aktiviteden dolayı artış gösterirken daha sonraki zamanlarda sabitlenmiştir. Çalışma kapsamında kompostun sıcaklık, nem içeriği, UKM, pH, EC, C/N, TKN, $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ parametreleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: kompostlama, hayvansal atık, gübre, arıtma çamuru, C/N oranı, çınar yaprağı.

2013, vii + 123 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

COMPOSTING OF ANIMAL MANURE

Abdullah ÇATALTAŞ

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ufuk ALKAN

In this study, compostability of animal manure collected from Agricultural Faculty of Uludağ University was investigated in order to increase utilization capacity of animal manure. The effect of various ratios of cattle manure, crushed dried oak leaves, sewage sludge, sun flower stalk and potato skin on composting efficiency was determined using 30 liter reactors operated for 21 days. It is determined that addition of potato skin into the mixture which was composed of cattle waste, crushed dried oak leaves, sewage sludge has increased composting efficiency. When the parameters such as temperature, thermophilic phase duration, final C/N, $(C/N)_t/(C/N)_{initial}$ parameters and nitrification index investigated, the compost mixture which has the ratio of 30% domestic sewage sludge, 50% manure and 20% sun flower stalks exhibited the best composting efficiency. Temperature of the reactors varied depending on humidity and C/N ratio of compost mixture. Temperature tended to increase during the first five days due to microbial activity while it remained constant during later days. Temperature, humidity, VSS, pH, EC, C/N, TKN, NH_4-N and NO_3-N parameters were measured throughout the study.

Key words: composting, animal manure, wastewater treatment plant sludge, C/N, oak leaves.

2013, vii + 123 pages.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Hocam Prof. Dr. Ufuk ALKAN 'a ayrıca laboratuvar çalışmalarındaki katkılarından dolayı ve fikir alış verişinde bulunduğum Sayın Öğr. Gör. Dr. Selnur UÇAROĞLU 'na ve Yusuf ATALAY 'a, tez yazım aşamasında bana her konuda destek olan sevgili Araş. Gör. Özge SİVRİOĞLU 'na, Araş. Gör. Dr. Aşkın BİRGÜL 'e ve Emel YILDIRIM 'a, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli aileme teşekkür ederim.

Abdullah ÇATALTAŞ

05.02.2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Türkiye’de Hayvansal Atıkların Mevcut Durumu ve Değerlendirme	
Yöntemleri.....	3
2.1.1. Hayvansal atıkların karakterizasyonu	3
2.1.2. Türkiye’de hayvansal atıkların mevcut durumu	4
2.1.3. Hayvansal atıkların değerlendirme yöntemleri	5
2.1.4. Türkiye’de hayvansal atıkların tarımda kullanılması ile ilgili yasal	
düzenlemeler	6
2.1.5. Hayvansal atıkların kompostlanması ile ilgili yapılan çalışmalara	
örnekler	9
2.2. Kompostlama Prosesi.....	11
2.2.1. Kompostun tarihçesi	12
2.2.2. Kompostlamanın amaçları ve faydaları	14
2.2.3. Kompostun kullanım alanları	16
2.2.4. Kompostun kalitesi	16
2.2.5. Kompostlamada kullanılabilecek atıklar	19
2.2.6. Kompost karışımının hazırlanması	25
2.2.6.1. Nemin ayarlanması.....	25
2.2.6.2. Karbon / Azot oranının belirlenmesi	26
2.2.7. Kompostlama mekanizması	26
2.2.8. Kompost mikrobiyolojisi	32
2.2.8.1. Bakteriler	36
2.2.8.2. Aktinomisetler	39
2.2.8.3. Fungiler	39
2.2.8.4. Protozoalar	39
2.2.8.5. Rotiferler	40
2.2.9. Kompostlama Mekanizmasını Etkileyen Parametreler	40
2.2.9.1. Sıcaklık.....	40
2.2.9.2. Karbon/Azot oranı.....	43
2.2.9.3. Nem içeriği.....	46
2.2.9.4. Havalandırma	47
2.2.9.5 pH.....	48
2.2.9.6. Porozite ve serbest hava boşluğu (FAS)	48
2.2.9.7. Partikül boyutu	50
3. MATERYAL METOD	51
3.1 Kompost Malzemeleri ve Deney Düzenegi	51

3.2. Yöntem.....	58
3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması	58
3.2.2. Analiz yöntemleri.....	64
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	66
4.1. Kompost Ham Maddelerinin ve Başlangıç Kompost Karışımlarının Karakterizasyonu.....	66
4.2 Sıcaklık Değişimleri.....	71
4.3. Karbon/Azot oranı.....	82
4.4. Nem Değerleri.....	92
4.5. Kuru Madde Kayıpları	100
4.6. Karbon Azot Kayıpları.....	102
4.7. pH ve Elektriksel İletkenlik	105
4.8. Serbest Hava Boşluğu	108
4.9. Stabilite ve Olgunluk	109
4.10. Amonyum / Nitrat Oranı (Nitrifikasyon İndeksi)	110
5. SONUÇ.....	115
6.KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ.....	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kompost sınıflandırılması ve kullanım alanları	17
Şekil 2.2 Kompostlanmaya uygun karakteristikleri oluşturmak için ham maddelerin karıştırılması.....	20
Şekil 2.3 Kompost oluşum mekanizması.....	27
Şekil 2.4 Kompost oluşumunda sıcaklık ve pH değişimi	28
Şekil 2.5 Kompostlama prosesi ile kapalı kompostlamadaki CO ₂ ve sıcaklık değişimi grafiği	30
Şekil 2.6 Yığın kompostlanma süresince mikrobiyal popülasyon değişimi.....	32
Şekil 2.8 Laboratuvar ölçekli bir reaktörde suni hazırlanmış evsel katı atığın kompostlanması süresince sıcaklığın ve oksijen kullanımının değişimi	42
Şekil 2.9 Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki	49
Şekil 3.1 Deney düzeneğinde kullanılan kesikli aerobik kompost reaktörlerinin şematik görünümü	56
Şekil 3.2 Deneyde kullanılan kesikli aerobik kompost reaktörlerin görünümü.....	57
Şekil 3.3 Deneyde kullanılan kesikli aerobik reaktörler ve akvaryum pompaları	57
Şekil 3.4 Kompost karışımlarının hazırlanması.....	59
Şekil 3.5 Hazırlanmış kompost karışımı	59
Şekil 4.1 Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları	72
Şekil 4.2 Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri	86
Şekil 4.3 Reaktörlere ait nem değişim grafikleri	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Hayvan atıklarının fiziksel özellikleri	3
Çizelge 2.2 2010 yılı verilerine göre Türkiye’deki hayvan sayısı ve buna bağlı yaş gübre üretim miktarları	4
Çizelge 2.3. Çeşitli hayvan atıklarının biyogaz oluşturma kapasiteleri	6
Çizelge 2.4. Hayvansal içerikli organik gübrelerin üretim ve pazarlama kriterleri	7
Çizelge 2.5. Elde edilen gübredeki maksimum ağır metal oranları	8
Çizelge 2.6. Hayvanların altlıklı veya altlıksız dışkıları kullanılarak elde edilen organik gübrelerdeki zararlı mikroorganizma seviyeleri	8
Çizelge 2.7. Büyükbaş hayvan gübresi ile ilgili yapılan bazı çalışmalara ait veriler.	9
Çizelge 2.8 Nihai kullanımına bağlı olarak kompost kalite kılavuzu	18
Çizelge 2.9 Ham maddelerde olması istenilen özellikler	21
Çizelge 2.10 Kompostlama işleminde kullanılan maddelerin karakteristikleri	22
Çizelge 2.11 Nem muhtevasına göre iki maddeden oluşan karışımının formülünün belirlenmesi	26
Çizelge 2.12 Mikrobiyal ayrıştırmada sıcaklık bölgeleri	29
Çizelge 2.13 Kompostta bulunan patojenler	33
Çizelge 2.14. Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış	37
Çizelge 2.15 Hızlı kompostlanma için tavsiye edilen koşullar	40
Çizelge 2.16 Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri	43
Çizelge 2.17 Bazı kaynaklarda öngörülen optimum C/N oranları	44
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan büyük baş hayvan gübrelerinin karakteristiği	51
Çizelge 3.2 Arıtma çamurlarının karakteristiği	53
Çizelge 3.3 Çınar yaprağı, ayçiçeği sapı ve patates kabuğunun karakteristiği	55
Çizelge 3.4 Kompost karışımlarının içerikleri ve oranları	60
Çizelge 4.1 İkinci grup denemelerine ait veriler	67
Çizelge 4.2 Üçüncü grup denemelerine ait veriler	68
Çizelge 4.3 Dördüncü grup denemelerine ait veriler	70
Çizelge 4.4 Kompost reaktörlerindeki maksimum sıcaklık değerleri	82
Çizelge 4.5 Kompost reaktörlerindeki organik karbon (OC), toplam Azot (TN) ve Karbon/Azot (C/N) oranları	83
Çizelge 4.6 Reaktörlerdeki nem ve katı madde miktarları	93
Çizelge 4.7 Reaktörlerdeki kütle miktarları	101
Çizelge 4.8 Reaktörlere ait başlangıç ve bitiş % C değerleri ile C kayıpları	103
Çizelge 4.9 Reaktörlere ait başlangıç ve bitiş % N değerleri ile N kayıpları	104
Çizelge 4.10 Reaktörlerdeki pH ve EC değerleri	105
Çizelge 4.11 Reaktörlerdeki FAS değerleri	109
Çizelge 4.12 $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerleri	110
Çizelge 4.13 Deneylere ait amonyum nitrat değerleri	112

1.GİRİŞ

Organik içerikli atıkların arıtılmadan çevreye bırakılmaları, çevre ve toplum sağılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Kırsal kesimlerde hayvan dışkılarının arazide yığılması, değişik patojenlerin yaşamalarına uygun ortam yaratırken, yine toplum sağılığına etki eden ve patojenleri insanlara taşıyan karasinek gibi zararlı haşerelerin üremelerine sebep olmaktadır. Hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı bölgelerde hayvansal dışkılarının önemli bir bölümü tezek olarak yakılmakta, bu uygulama ise çeşitli çevre sorunlarını beraberinde getirmektedir. Hayvan dışkısı, tarımsal üretim için gerekli bir organik gübre materyalidir. Bu nedenle organik gübrenin üretime yönelik değerlendirilmesi gereklidir. Hayvansal gübrenin en önemli özelliğı toprağına bitki besin maddelerini sağılamasının yanında toprağın fiziksel yapısını da düzenlemesidir.

Hayvan dışkılarına benzer olarak arıtma çamurları da uygunsuz şekilde bertaraf edildiğinde çevrede kokuya, toprakta kirliliğıne neden olmaktadır. Son yıllarda gelişmiş ve gelişmekte olan ölkelerde atıksuların arıtılmasında çok büyük yol kat edilmiştir. Çamur bertaraf etme işlemleri arıtma tesisinin toplam yatırım masrafının %20- 30'unu, işletme masrafının ise %50'sini oluşturmaktadır (Yıldız ve ark. 2009). Bu maliyet kimi zaman arıtma çamurlarının uygun şekilde bertaraf edilememesine gerekçe olarak gösterilmektedir. Çamur bertarafında aerobik çürütme, anaerobik çürütme, yakma, kurutma, düzenli depolama, kompostlanma gibi pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bu bertaraf yöntemlerinin hepsinin ortak amacı organik katı maddeyi olabildiğince düşürmek, çamur miktarını azaltmak ve son olarak da çevreye en az zarar verecek şekilde uzaklaştırmaktır.

Kompostlama işlemi, organik maddelerin bakteriler ve diğer mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanarak humus adı verilen toprak benzeri bir maddeye dönüştürölme prosesidir. Kompost bir toprak düzenleyicisi olup gübre değildir. Gübre olarak tanımlanabilmesi için daha fazla miktarda azot, fosfor ve potasyum içermesi gerekmektedir.

Bu çalışmada sürdürülebilir bir yöntem izlenerek mevcut büyük baş hayvan atıklarının kullanım kapasitesini sağlıklı evre, ekonomik ve sosyal yararlar temel alınarak arttırmak amacıyla kompostlanabilirliği değerlendirilmek istenmiştir. Ayrıca evsel nitelikli arıtma amurlarının da büyükbaş hayvan atıkları ile kompostlanarak, bu prosesin evsel nitelikli arıtma amurlarının bertarafına uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmada büyük baş hayvan gübresi, öğütülmüş kuru ınar yaprağı, evsel nitelikli arıtma çamuru, ayeği sapı ve patates kabuklarının kütlece farklı oranlarının kompost verimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Türkiye’de Hayvansal Atıkların Mevcut Durumu ve Değerlendirme Yöntemleri

Hayvancılık ülkemizde halen tarımdan sonra en büyük paya sahip sektördür. Geçtiğimiz yıllardaki çiftlik kapasitelerinde ve dolayısıyla gübre miktarlarındaki büyük artışlar nedeniyle gübreden kaynaklanan çevre problemleri gündeme gelmiştir. Ülkemizdeki gelişen tarım ve entegre hayvan çiftlikleri sayı ve kapasitelerindeki artışlar nedeniyle hayvansal atıklardan kaynaklanan çevre sorunları artmaktadır (İnan 2012).

2.1.1. Hayvansal atıkların karakterizasyonu

Hayvan atıklarının karakterizasyonu Çizelge 2.1’ de özetlenmiştir. Hayvan katı atıklarının özellikleri hayvan cinsi, ağırlığı, beslenme alışkanlıkları, mevsim gibi çok çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hayvan atıklarının biyolojik proseslere uygunluğu açısından önemli faktörlerden biri biyolojik olarak çözünürlüktür. Gübrenin içerdiği yüksek miktardaki lignin mikrobiyolojik atağa karşı direnç gösterdiğinden genelde sığır katı atıklarının biyolojik çözünürlük oranı düşük olmaktadır. Sığır gübresinde kesikli reaktörler kullanılarak yapılan bir çalışmada biyolojik çözünürlük %40 olarak bulunmuştur. Bu değer hayvan gübresine maya veya maya fabrikası atıksuları ile karıştırıldığında ise %50 değerine ulaşabilmektedir (Baban 1982).

Çizelge 2.1. Hayvan atıklarının fiziksel özellikleri

Parametre	Sığır (süt üretimi)	Sığır (et üretimi)	Tavuk (et ve yumurta)	Koyun
Hayvan ağırlığı, kg	636	431	2.0-2,3	45
Katı atık üretimi, l/gün	36.8	28.3	0.095-0.160	3.1
Atık yoğunluğu, t/m ³	0.99	0.96	0.96	1.04
Katı madde miktarı, %	15	15	15-85	23

2.1.2.Türkiye’de hayvansal atıkların mevcut durumu

Çiftlik hayvanı yetiştirme endüstrisinin yoğun aktivitelerinden dolayı, biyolojik olarak bozunabilen çok fazla miktarda atık üretilmektedir. Söz konusu atıkların kötü koku, gaz emisyonları, toprak ve su kirliliği gibi negatif çevresel etkileri beraberinde getirmektedir.

Hayvanlar yedikleri yemlerdeki besin maddelerinin ancak % 45' inden yararlanabilirler, yemdeki bitki besin maddelerinin yarısından fazlası dışkı ile ahır gübresine geçer (Alibaş ve ark. 2008).

Ülkemiz hayvan varlığı içerisinde büyükbaş hayvan sayısı yaklaşık olarak 10 milyon civarında olup, bu sayının % 37’ si kültür, % 30’ u kültür melezi ve % 33’ ü de yerli ırklar oluşturmaktadır. Küçükbaş hayvan varlığımız ise 32 milyon civarındadır. 2010 yılı verilerine göre ülkemizdeki hayvan sayısı ve buna bağlı yaş gübre üretim miktarları Çizelge 2.2’ deki gibidir (<http://www.eie.gov.tr> 2010).

Çizelge 2.2 2010 yılı verilerine göre Türkiye’deki hayvan sayısı ve buna bağlı yaş gübre üretim miktarları (<http://www.eie.gov.tr> 2010)

Hayvan Cinsi	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (ton/yıl)
Sığır	11.054.000	39.794.000
Koyun-Keçi	38.030.000	26.621.000
Tavuk-Hindi	243.510.453	5.357.230
Toplam	292.594.453	71.772.630

2.1.3. Hayvansal atıkların değerlendirme yöntemleri

Hayvan atıklarının değerlendirilmesinde çok çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir.

a) Susuzlaştırma yöntemi: En basit yöntem susuzlaştırmadır. Susuzlaştırma işlemi, mekanik kurutucular vasıtasıyla ya da güneş enerjisi yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem oldukça basit ve ucuz bir yöntem olmakla birlikte kontrollü bir sistem olmadığından hem proses sırasında koku emisyonu oluşmakta, hem de yüksek miktarda azot kaybından dolayı oluşan ürünün besin-madde içeriği oldukça düşüktür.

b) Oksijenli kompostlama prosesi: Hayvan atıklarının bertarafında kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu yöntem ile yaklaşık 1 ton hayvan atığından 500 kg kompost elde edilmektedir (Kehheler ve ark. 2002). Kompostlamada sıcaklık 70°C'ye kadar çıkabildiğinden hayvan atıkları gibi patojen organizma taşıma riski yüksek atıkların hijyenizasyonu sağlanabilmektedir. Susuzlaştırmadan sonra en basit ve ucuz yöntem olan kompostlama proses kontrolü etkin bir biçimde gerçekleştirilerek nutrient içeriği yüksek, stabil ürün elde edilmesi mümkündür.

Hayvan dışkılarının başka katı atıklarla birlikte kompostlanması mümkündür. Guerra Rodriguez ve ark. (2001) kestane yeşil kabuğu, atık yaprak ve tavuk dışkılarını karıştırarak; Ball ve ark. (2000) at dışkısı ve atık gazete kâğıtlarının; Tiquia ve ark. (2001) tavuk dışkısı ve orman atıkları; Vuorinen ve ark. (1997) süt ineği ve domuz dışkıları ve arpa samanı kullanarak kompostlama çalışmaları yapmıştır. Kompostlama prosesinde nem, toplam katılar, uçucu katılar, havadaki bağıl nem ve sıcaklık gibi parametrelerin ölçülerek takip edilmesi gerekmektedir.

c) Oksijensiz kompostlama prosesi: Dünya üzerinde özellikle Çin'de pek çok biyogaz tesisi bulunmaktadır. Çin'deki biyogaz tesisi sayısı 7.000.000'dür ki bu rakam tüm dünyadaki tesislerin %80'ine tekabül etmektedir. Bu tesislerde hammadde olarak hayvan atıkları kullanılmaktadır. Biyogaz tesisi için hammadde seçiminde en önemli faktör atığın biyogaz oluşturma kapasitesidir. Çizelge 2.3'de çeşitli hayvan atıklarının biyogaz oluşturma kapasiteleri verilmektedir (Öztürk 2003).

Çizelge 2.3. Çeşitli hayvan atıklarının biyogaz oluşturma kapasiteleri

Hayvan Türü	Biyogaz Üretimi
	(m ³ /gün/1000 g. hayvan ağırlığı)
İnek	3,28
Sığır	2,66
Domuz	2,62
Kümes hayvanı	6,21

Çizelge 2.3’ de de görüleceği üzere kümes hayvanlarının 1 kg hayvan ağırlığı başına biyogaz üretim kapasiteleri oldukça yüksektir. Oksijensiz kompostlaştırma, oksijenli kompostlaştırma ile kıyaslandığında daha fazla avantaja sahip bir yöntem olmakla birlikte gerek yatırım gerekse işletme maliyeti çok daha yüksektir.

d) Direkt yakma yöntemi: Diğer bir bertaraf yöntemi ise direkt yakmadır. Atığın su içeriği kalorifik değerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bir yakma tesisinde atığın su içeriğinin fazla olması istenmez. Bir yakma tesisinde kalorifik değerden sonra dikkat edilmesi gereken hususlar, yakma sonucu oluşacak külün bertarafı, yakma sırasında oluşacak emisyonların yönetimidir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda yakma tesisinin de, biyogaz tesisi gibi yatırım ve işletme maliyetinin oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

2.1.4. Türkiye’de hayvansal atıkların tarımda kullanılması ile ilgili yasal düzenlemeler

Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik (04.06.2010 t. 27601 s. R.G.) ‘de hayvansal atık içerikli ürünlerin üretilmesi toprağa uygulanması ve piyasaya arzı için bazı kısıtlar getirilmiştir (Çizelge 2.4.) (İnan 2012).

Çizelge 2.4. Hayvansal içerikli organik gübrelerin üretim ve pazarlama kriterleri
(04.06.2010 t. 27601 s. R.G.)

Gübreler	Ürün Tanımı	Ürünün hammadde muhtevası, miktarı ile bünyesinde bulunması gereken bitki besin maddesi içeriği ve diğer kriterler	Etiket üzerinde beyan edilmesi gereken zorunlu içerik
Katı Gübresi	Çiftlik Döşemelerdeki altlıklı veya altlıksız hayvan dışkılarının ihtimarı (olgunlaştırılması/kompostlaştırılması neminin uzaklaştırılması/ azaltılması) sonucu elde edilen ürün.	Organik madde en az % 40 Toplam azot en az : % 1 Maksimum nem : % 20	-Organik madde -pH ve EC (dS/m) -Toplam azot -Organik azot -Maksimum nem -Suda çözünür potasyum oksit (K_2O) (% 1'i geçerse) - C/N -Toplam fosfor pentaoksit (P_2O_5) (% 1'i geçer ise) - Toplam(Hümik+Fülvik) asit (% 1'i geçerse)
Kanatlı Hayvan ve Yarasa Gübresi	Kümes hayvanlarının altlıklı veya altlıksız dışkılarının aerobik kompostlaştırılması ve neminin uzaklaştırılması/azaltılması sonucu elde edilen ürünler veya diğer kanatlı hayvan dışkılarının doğal ortamlarında ihtimarı (olgunlaşması) veya aerobik kompostlaştırılması ve neminin uzaklaştırılması/azaltılması sonucu elde edilen ürünler.	Organik madde en az : % 40 Azot ve fosfor pentaoksit (P_2O_5) toplamı en az : % 2 Maksimum nem : %20 C/N=15-25 (yarasa gübresi hariç)	-Organik madde - pH ve EC (dS/m) -Toplam azot -Organik azot -Toplam fosfor pentaoksit (P_2O_5) -Suda çözünür potasyum oksit (K_2O) (% 1'i geçer ise) - Toplam(Hümik+Fülvik) asit (% 1'i geçer ise) -Maksimum nem -C/N -Ürünün kaynağı tip isminde belirtilecektir.
Fermantasyon Sonucu Edilen Organik Gübre	Evsel atıkların ve/veya Hayvan dışkılarının tekli veya karışımlarının anaerobik fermentasyonu ve aerobik hijyenizasyonu sonucu elde edilen ürün.	Organik madde en az: % 15 Üründe kullanılan hammaddeler proses de belirtilecektir.	- Organik madde -Toplam azot -Organik azot -Toplam (hümik+ fulvik) asit (%2'yi geçer ise) -Serbest aminoasitler (%2'yi geçer ise) - Toplam azot (% 1'i geçerse) - Suda çözünür potasyum oksit(K_2O) - Toplam fosfor pentaoksit (P_2O_5) (% 1'i geçerse)

Bu yönetmelikte ayrıca evsel kaynaklı ve bitkisel menşeli kompost için ayrı sınırlamalar mevcuttur.

2010 yılında resmi gazetede yayımlanan ‘Tarımda kullanılan organik, organomineral gübreler ve toprak düzenleyiciler ile mikrobiyal, enzim içerikli ve diğer ürünlerin üretimi, ithalatı ve piyasaya arzına dair yönetmelik ’de (04.06.2010 t. 27601 s. R.G.) Çevre ve insan sağlığını korumak amacıyla elde edilen gübredeki ağır metal oranları Çizelge 2.5.’de verilmiştir

Çizelge 2.5. Elde edilen gübredeki maksimum ağır metal oranları (ppm) (04.06.2010 t. 27601 s. R.G.)

Kadmiyum	(Cd)	: 3
Bakır	(Cu)	: 450
Nikel	(Ni)	: 120
Kurşun	(Pb)	: 150
Çinko	(Zn)	: 1100
Civa	(Hg)	: 5
Krom	(Cr)	: 350
Kalay*	(Sn)	: 10

- Sadece hayvansal orjinli organik gübrelerin üretiminde kullanılan hammaddelerde ve mamul ürünlerde aranır.
- Yukarıda belirtilmeyen ve zararlı olabileceği bilimsel verilerle sonradan ortaya konan ağır metaller için Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ortak kodeks alimentarius kriterlerine uyulur.

Hayvanların altlıklı veya altlıksız dışkıları kullanılarak elde edilen organik gübrelerdeki zararlı mikroorganizma seviyeleri çizelge 2.6 ’da ki değerleri geçemez.

Çizelge 2.6. Hayvanların altlıklı veya altlıksız dışkıları kullanılarak elde edilen organik gübrelerdeki zararlı mikroorganizma seviyeleri (04.06.2010 t. 27601 s. R.G.)

Fekal koliform	: $<1.0 \times 10^3$ kob/g veya kob/ml
Toplam koliform	: $<1.0 \times 10^5$ kob/g veya kob/ml
Salmonella spp.	: <3 MPN/4 g veya ml
H5N1 (sadece kanatlı hayvan gübresi için)	: Yok
Kuduz virüsü analizi (Yarasa gübresi için)	: Yok

- Yukarıda belirtilmeyen ve zararlı olabileceği bilimsel verilerle sonradan ortaya konan mikroorganizmalar için Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ortak kodeks alimentarius kriterlerine uyulur.

2.1.5. Hayvansal atıkların kompostlanması ile ilgili yapılan çalışmalara örnekler

Büyükbaş hayvan gübresi ile ilgili yapılan bazı çalışmalara ait veriler Çizelge 2.7 'de gösterilmektedir. Çizelge 2.7 'de uygulanan yöntem kompostlanan malzemeler deney süreleri ve izlenen parametreler bulunmaktadır. Bu tabloya göre en çok analizlenen parametreler sıcaklık, nem, UKM, NO₃-N, NH₄-N, TKN, organik karbon (OC) , C/N oranı, pH ve elektriksel iletkenlik (EC) 'dir.

Çizelge 2.7. Büyükbaş hayvan gübresi ile ilgili yapılan bazı çalışmalara ait veriler.

Kompost karışımı malzemeleri	Kompostlama metodu	İzlenen parametreler	Maksimum sıcaklık (°C)	Kompostlanma süresi	Referans
Gübre Arpa samanı	120 L'lik polietilen varil 80 lt hacim kullanılmıştır	Nem, oksijen sıcaklık, pH, UKM, C/N, ağır metal, <i>E.coli</i> ve <i>salmonella</i>	51.5	92 gün	Tosun ve ark. 2011
Ahır gübresi + Talaş (testere atığı) Ahır gübresi + Buğday samanı	Yığın kompostlama	Nem, UKM, TC, TN,C/N, pH, NH ₄ -NO ₃ , P,K	>70 (talaş) >60 (saman)	160 gün	Michel ve ark. 2003
Gübre + arpa samanı	2 adet 120 lt. Polietilen varil	pH, EC, Nem, UKM, TKN, OC, C/N, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn, Hg, <i>salmonella</i> , <i>E.coli</i>	67.9	8 hafta	Mehmetli ve ark. 2010 b,
Gübre + yağlı atıklar + gıda atıkları + talaş (testere atığı)	3 adet 30 L'lik varil.	pH, EC, Nem, UKM, TKN, C/N, <i>E.coli</i>	-	103 gün	Neves ve ark. 2009

Mehmetli ve ark.'nın (2010b) yaptıkları çalışmada kış ve yaz olmak üzere iki ayrı mevsimde kurulan aerobik kompost reaktörlerinde hacimce 1:1 oranında büyükbaş hayvan atığı ve saman karıştırılıp mevsimsel farkın kompost verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada iki mevsimde de 8 hafta sonunda elde edilen kompostun yeterli olgunluğa ulaştığı belirlenmiştir. Fakat kompostlamanın mevsimsel sıcaklıktan dolayı yazın daha kaliteli kompost elde edildiği gösterilmiştir.

Michel ve ark.'nın 2003 yılında yaptığı çalışmada hayvan gübresinin talaş (testere atığı) ve buğday samanı ile ayrı ayrı karıştırılarak yığın kompostlama metodu ile toplam kütle ve nutrient kayıpları belirlenmek istenmiştir. Saman ilaveli karışımın yoğunluğunun düşük olduğu ve serbest hava boşluğunun fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı kütlelerde Saman ilaveli karışımın talaş ilaveli karışıma oranla 2.1 ila 2.6 kat fazla hacme sahip olduğu belirlenmiştir. Talaş ilaveli karışımların 10 günden kısa bir sürede 55°C 'nin üzerine çıktığı ve 60 günden fazla bu sıcaklıkta kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada azot kayıplarını en aza indirmek için karışımın başlangıç C/N oranının 40/1 ila 50/1 arasında olması gerektiği belirlenmiştir.

Neves ve ark.'nın 2009' da yaptıkları çalışmada büyükbaş hayvan gübresi, talaş, gıda atıkları ve yağlı atıklarla yaptıkları kompostlama çalışmasında yağ miktarının kuru kütlenin % 28'ine kadar olduğu takdirde kompostlanma verimini düşürmediği gözlemlenmiştir. Yağlı atıkların ilavesi ile kompostlama işleminin verimli şekilde gerçekleşebileceği optimum nem oranının düşürülebileceği ve atık yağ bertarafında kompostlamanın da kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Tosun ve ark.'nın (2011) yaptığı çalışmada 4 adet reaktörde farklı; hayvan atığı, düzenleyici (saman) ve hacimleştirici (polietilen boru) oranlarının (hacimce %50:%50, %25:%75, %47.5:%47.5:%5, %45: %45:%10) 92 gün boyunca kompost verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Sistem içerisinde oksijen dağılımının artırılması amacı ile hacimleştirici kullanılan reaktörlerden elde edilen verimin hayvansal atık için uygun olmadığı gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre elde edilen kompost ürünlerinde takip edilen UKM, pH, C/N, ağır metal, *E.coli* ve *Salmonella* parametre sonuçları %50:%50 oranında hayvan atığı:saman karışımının kompostlandığı ve kompostun uygun nitelikte olduğunu göstermiştir. Bu reaktördeki karışım oranı, uygun C/N oranına

göre belirlendiği için başlangıç nem içeriği literatürde önerilen değer aralığından yüksek olmuş ve üründe de istenen oranlarda azalma gözlenmemiştir. Büyükbaş hayvan atıklarının kompostlaştırılmasında arpa samanına ilave olarak ya da onun yerine alternatif düzenleyicilerin kullanılması gerekliliği sonucuna ulaşılmıştır.

2.2. Kompostlama Prosesi

Kompostlanma işlemi, organik maddelerin bakteriler ve diğer mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanarak humus adı verilen toprak benzeri bir maddeye dönüştürülme prosesidir. Kompost bir toprak düzenleyicisi olup gübre değildir. Gübre olarak tanımlanabilmesi için daha fazla miktarda azot, fosfor ve potasyum içermesi gerekmektedir.

Ayrıca kompostun içerdiği maddelerin çözünmesi, kimyasal gübrelerin aksine, ancak uzun bir süre içerisinde gerçekleşebilmekte ve alıcı ortama aktarılması zaman almaktadır. Normal olarak kompost hammaddelerinden birisi olan bitki atıklarının bünyesinde bol miktarda azot bulunmaktadır. Ancak, bu madde kompostlanma süreci sırasında kaybolduğundan, kompost bünyesinde organik bağlı azot kalmaktadır ve buda kompostun içerdiği diğer maddeler gibi gecikmeli olarak toprağa verilebilmektedir.

Kompost, uygulandığı toprağa organik madde ekler, killi toprağın geçirgenliğini artırır ve kumlu toprakların su tutma kapasitesini artırır. Bitki kök büyümesini teşvik eder, su ve hava için gerekli ortak hacmi yaratır. Humus toprağın organik madde ihtiyacını azaltır. Azotun tutulmasını sağlar ve yeraltı suyuna karışmasını önler. Humus açısından zengin topraklar, yetiştirilen bitkilerin daha sağlıklı, hastalıklara ve zararlılara karşı daha dayanıklı olmasına olanak sağlar. Böylelikle kimyasal ve zirai mücadele ihtiyacı azalır. Bunların yanı sıra kompost toprak yapısını geliştirir ve su geçirgenliğini artırır. Özellikle yağmur ile toprak yüzeyine ulaşan suyun yüzey akışa geçmek yerine daha kolay yeraltına süzülmesini sağlar ve erozyonu azaltır.

Organik maddenin parçalanmasına mikro ve daha üst düzey organizmalar katılırlar. Bakteriler, aktinomitler ve mantarlar atığı doğrudan kullanırlar ve birinci düzey ayrıştırıcılar olarak adlandırılırlar. Bu mikroorganizmalar, bir üst düzeyde yer alan protozoa, rotifer mite ve çeşitli böcekler tarafından yenirler. Üçüncü düzey

parçalayıcılar ise diğer iki kademede yer alan organizmalar üzerinden beslenir ve bu kademelerdeki popülasyonu kontrol altında tutarlar. Kompostlama sırasında organik madde mikroorganizmalar tarafından parçalanır ve karbon dioksit, su enerji ve oldukça kararlı bir son ürün olan humus oluştururlar. Kompostlanma havalı ve havasız koşullar altında gerçekleşebilir (Erdem ve ark. 2001, Bayer 2008).

Aerobik kompostlanma ticari olarak anaerobik kompostlanmaya tercih edilmektedir. Fakat bu tür atıkların arıtımında birçok durumda da enerji ve havalandırma ekipmanı gerekmediğinden ve yan ürün olarak çıkan metan gazı dolayısıyla havasız ayrıştırma tercih edilmektedir. Katı madde giderimi ve stabilizasyon açısından ise her iki yöntem arasında fark yoktur. Kompostlanma prosesinde en önemli faktörler C/N oranı, nem miktarı ve uçucu katı miktarıdır. Nem miktarının proses sırasında % 40-60 aralığında olması sağlanmalıdır. Atıktaki C/N oranı 30/1, uçucu katı ise % 50' nin üzerinde olmalıdır. İşletme şartlarının optimize edilmesi ile kompostlanma sırasında besin elementi kayıpları minimize edilebilir. Partikül çapı 12mm' nin altında, pH' ı 6-7.8 aralığında çözünmüş tuz seviyesi 2500 mmhos/cm özelliklerinde bir kompost idealdir (Georgakakis ve Krintas 2000). Kompostun toprakta güvenle kullanılabilmesi için olgunlaşmanın tamamlanmış olması, fitotoksik maddelerin bulunmaması ve patojen içermemesi gerekmektedir. Suda çözünebilir organik karbon/toplam organik azot oranının 0.7nin altına indiğinde olgunlaşmanın tamamlanmış olduğu kabul edilir. Olgunlaşmanın tamamlandığı, kompostta NH_4 ün azalıp NO_3 ün artmasından da anlaşılabilmektedir. Olgun bir kompostta NH_4 konsantrasyonunun % 0.04' ün üstünde olmaması gerekmektedir. Bunların dışında kompostun olgunluğunun belirlenmesi için önerilen birçok yöntem vardır (Bernal ve ark. 1998).

2.2.1. Kompostun tarihçesi

İnsanların yerleşik hayata geçmeleriyle birlikte kentsel atık oluşumu ve yönetimi de ortaya çıkmıştır. İlk yerleşim yerlerinin kurulmasıyla beraber kentsel atık problemine çözüm olarak atık çukurları yapılmıştır. İlk atık çukuru yaklaşık altı bin yıl önce Sümer medeniyetine ait şehirlerde taştan inşa edilmiştir. Bu çukurların içinde organik atıklar depolanmış ve daha sonra bu atıklar tarım alanlarında kullanılmıştır.

Tarımla uğraşan insanlar tarafından 20. Yüzyıla kadar hayvan gübresinin en faydalı tarımsal gübre olduğu bilinirdi, dolayısı ile tarımda hayvansal gübre kullanımı çok yaygındı. Bu konu hakkında ilk yazılı kaynak Akad uygarlığına dayanmaktadır. Milattan önce 2300 yılından kalma Odise destanında Homer hayvan gübresinin tarımsal amaçlarla kullanımından bahsetmiştir. Ayrıca, Atina' lıların organik atıklarını gübre olarak kullanılması için çiftçilere sattığı belirtilmiştir.

Kompostlanma yeni bir teknoloji değildir. Doğu kültürlerinde kompostlanma ve tarımda kullanımı tarım tarihiyle paralel olduğu tahmin edilmektedir. Çin' in nehir deltalarında kompost uygulamalarıyla yüksek nüfusa rağmen 4000 yıl boyunca toprak verimliliği korunabilmiştir. Tarımda kimyasal gübrelerin kullanılmaya başlanmasıyla beraber kompost önemini kaybetmeye başlamıştır. Ancak kompostlanma metodu son yıllarda organik tarım faaliyetlerinin ve çevre bilincinin artmasıyla tekrar gündeme gelmiştir.

Medeniyetin ilk dönemlerinde Güney Amerika, Çin, Japonya ve Hindistan'da tarımın yoğun olarak uygulandığı zamanlarda insan ve hayvan atıkları gübre olarak kullanılmıştır. Kompostlanma üzerine yapılan ilk araştırmalar 1880'lerde başlamıştır. 1888'de 61 nolu bülten "Compost-Formulas, Analyses and Value" isimli çalışma ile North Carolina Agricultural Experimental Station tarafından yayınlanmıştır. 1971-1993 yılları arasında Amerika ve diğer ülkelerde kompostla ilgili olarak 11 353 yayın yapılmıştır (Öztürk ve ark. 2010).

İlk büyük ölçekli kompostlanma çalışması 1924-1931 yılları arasında, Indone, Hindistan' da Alberts Howard'a aittir. Başlangıçta anaerobik olarak çalıştırılan proses sonraları aerobik olacak şekilde modifiye edilmiş ve Banglore prosesi olarak isimlendirilmiştir. Bu proste sebze, hayvan atıkları ve insan dışkısı karışımına alkali bir madde ve su ilave edilmiş ardından da havalanmayı sağlamak amacıyla karıştırılmıştır.

Avrupa'da ilk kompostlanma tesisi 1932' de Indone prosesinin modifikasyonu olarak Van Maanen prosesi adı ile Hollanda'da kurulmuştur. Tren vagonları ile getirilen atıklar yüksek bir rampadan dökülerek büyük yığınlar oluşturulmuştur sonrasında birkaç ay boyunca hareketli vinçlerle yerleri değiştirilerek karıştırılmıştır. Çıkan kompost farklı

boyutlardaki eleklerden geçirilerek tarım ve bahçelerde kullanılmıştır. II. Dünya savaşının ardından Mierlo ve Wilster şehirlerinde de benzer tesisler kurulmuş ve tüm ülkedeki toplam atıkların üçte birinin kompostlandırıldığı tahmin edilmektedir. ABD’ de kompostlanma üzerine yapılan ilk önemli proje 1950 ve 1960’larda California niversitesi’nin Richmond istasyonun’ da Dr. Gottas ve Dr. Gaulla tarafından yürütülmüştür (ztrk ve ark. 2010).

Günümüzde Avrupa Birliği atık yönetimi alanında enerji geri dönüşümü, geri dönüşüm ve kompostlanma konuları hakkında aktif rol oynamakta ve finansal destek sağlamaktadır.

2.2.2. Kompostlamanın amaçları ve faydaları

Kompostlanmanın amaçları; ayrışabilir organik maddeleri biyolojik olarak stabil maddeye dönüştürmek, katı atıklarda bulunabilen patojenleri, böcek yumurtalarını ve diğer istenmeyen organizmaları ve yabani ot tohumlarını yok etmek, maksimum nütrient (azot, fosfor ve potasyum) içeriğine sahip olmak, bitki gelişmesini desteklemek ve toprak iyileştirici olarak kullanılabilen bir ürün üretmektir (Varank 2006).

Kompost teknolojisi günümüzde çiftçilerin ürün verimini artırmak için kullandığı ve sürdürülebilir tarım içinde uygun bir yöntemdir. Günümüzde profesyonel yetiştiriciler, kompostu daha da geliştirerek bitkilere faydasının yanı sıra haşereleri etkisiz hale getirmek ve hastalıkları önlemek için de kullanımını başarmışlardır. Kompostun bu faydalı kullanımı ile yetiştiriciler maddi açıdan fayda sağlamakta ve pestisitlerin kullanımını azalmaktadır.

Günümüzde deponi sahalarına gönderilen atıkların yarısından fazlasını bahçe atıkları, mutfak atıkları ve kâğıt ürünleri oluşturmaktadır. Bu organik materyalleri evde kompostlanmanın yanı sıra, okul ve ticari firmalar tarafından da kompostlanılarak oluşabilecek atık miktarını ciddi miktarda düşürmek ve ekonomik fayda sağlamak mümkündür.

Kompostun faydalarını iki başlık altında ele alabiliriz. Bunlar:

- Belediyelere faydaları
- Tarımsal faydaları

Belediyelere faydaları: Belediyelerde oluşan kentsel katı atıkların optimum fayda ve maliyet göz önünde bulundurularak değerlendirilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle kentsel katı atık içerisindeki organik materyalin kompostlanması ile hem ekonomik hem de çevresel yararlar elde edilir:

- Katı atığın bertarafında uygulanan diğer yöntemlere göre kompostlanma maliyeti daha düşüktür.
- Deponi sahalarına gönderilen atık miktarlarını ciddi miktarda azaltır. Dolayısı ile deponi sahasının kullanım ömrünü uzatır.
- Deponi sahalarından kaynaklı kirletici hava emisyonlarına ve yeraltı suyu kirlenmesinin önlenmesi sağlanır.
- Belediyeler, tatil yerleri, yeşil alanlar ve tarımsal alanlarda kullanılabilecek ayrıca ticari değere sahip organik ve temiz bir ürün elde edilir
- Atık geri kazanımı ile topraktan gelen organik maddelerin tekrar toprağa iadesi sağlanabilmekte ve toplum için potansiyel bir kazanç oluşmaktadır.

Tarımsal faydaları: kompostlama prosesi ile toprağı zenginleştirme imkânı sağlayan bir ürün elde etmek mümkündür. Kompost üretmek ve tarım alanlarına uygulamak, daha sürdürülebilir gıda üretim sisteminin bir parçasıdır. Amerika’da 8000’den fazla çiftlik, hayvan ölülerini, dışkılarını, ürün atıklarını, şehir veya endüstriden aldıkları bazı organik maddeleri kompostlamaktadır (Öztürk ve ark. 2010).

Kompostun tarımsal faydaları aşağıda verilmiştir:

- Zirai ürün atıkları ve hayvan gübreleri için verimli bir geri dönüşüm yöntemidir.
- Depolanan gübrenin nem, ağırlık ve hacmi azalır.
- Gübre ve diğer tarımsal yan ürünlerden kaynaklı sinek, koku ve yabancı ot problemini azaltır.

- Yeraltı sularına veya yüzeysel su kaynaklarına sızma ihtimali daha düşük bir azot yapısı elde edilir.
- Bitkiye faydalı besi maddeleri daha yavaş salınır.
- Toprağın su tutma kapasitesini ve porozitesini artırır.
- Yoğunluğu yüksek topraklarda hacmi artırır dolayısı ile süzülmeyi arttırarak erozyonu azaltır.
- Düzenli olarak kullanılması ile toprak kalitesini artırır ve sürdürülebilir tarıma olanak sağlar.

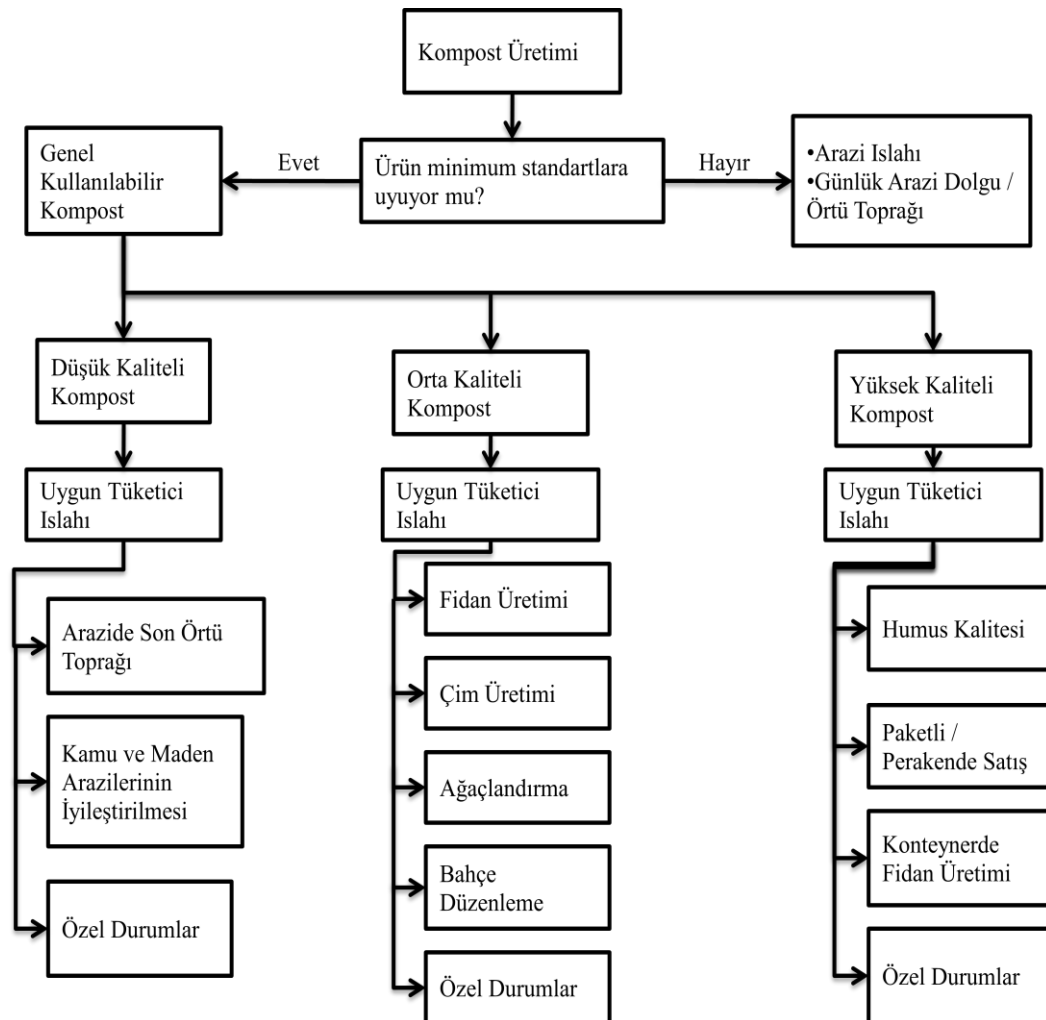
2.2.3. Kompostun kullanım alanları

Kompostun tarım, bahçe ve orman alanlarında çeşitli kullanımları mevcuttur. Sera ürünleri, seralarda yetiştirilen fidanlık bitkileri, çiçekler, tarla ürünleri, orman fideleri ve şifalı bitki üretiminde kompost yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kompost sürdürülebilir tarımın sağlanmasında; terk edilmiş maden ocakları gibi alanlarda toprağın tarıma elverişli hale getirilmesinde; park ve bahçe düzenlemelerinde; erozyon etkisindeki bölgelerde filtreleme görevinde ve arazi doldurulması gereken yerlerde örtü toprağı olarak kullanılmaktadır. Kompost çiftlik hayvanlarına altlık olarak ve biyofiltrelerde de kullanılmaktadır. İçeriğinde bulunan mikroorganizmalar sayesinde topraktaki biyolojik aktiviteyi artırır ve dolayısıyla bozulmuş ve zarar görmüş toprakların iyileştirilmesinde (biyoislah) kompost kullanımı oldukça ekonomiktir. Ayrıca kompost kullanılarak ticari değere sahip mantar türlerinin üretimi yapılmaktadır (Öztürk ve ark. 2010).

2.2.4. Kompostun kalitesi

Kompostun kalitesini kontrol ederken; kompostun kalitesine göre nihai kullanımın belirlenmesi veya nihai kullanıma göre kompostun kalitesinin belirlenmesi yaklaşımlarına göre hareket edilir. Dikkat edilmesi gereken; kullanılacak yaklaşımın kompostlamanın amaç ve öncelikleri ile ham maddelerin bulunabilirliğine bağlı olarak seçilmesidir.

Sürekli olarak yüksek kaliteli bir kompost üretimi ancak ticari bir amaç güdülerek pazarlandığı durumlarda önemlidir. Eğer kompost saksı bitkiler gibi yüksek değerli ürünlerde; besi bitkilerinde; fide yatakları gibi hassas bitkilere uygulanacaksa veya toprak ve diğer katkı maddeleriyle beraber kullanılacaksa kompost kalitesinin önemi daha da artar. Bunun dışında kompost sadece tarladaki ürünlerde, toprak düzenleyicisi olarak çiftliklerde ve fide dikmeden önce ilave edilecekse; üretilen kompostun kalitesi daha az önem arz eder. Partikül boyutu gibi kıstaslar bazı çiftlik uygulamalarında önemli değildir. Ayrıca toprak düşük kaliteli kompostun muhtemel ters etkilerini tamponlar. Şekil 2.1’ de kompostun kalitesine göre sınıflandırılması ve kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kompost sınıflandırılması ve kullanım alanları (Öztürk ve ark. 2010)

En kritik kompost kalite unsurları kompostun planlanan nihai kullanımına bağlıdır. Nihai kullanıma bağlı olarak kompost kalite kılavuzu Çizelge 2.8’ de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Nihai kullanımına bağlı olarak kompost kalite kılavuzu (Öztürk ve Bildik 2005)

Karakteristik	Kalite hatları			
	Kompostun nihai kullanımı			
	Saksı toprağı sınıfı	Saksı malzemesi iyileştirme sınıfı	Üst giydirme sınıfı	Toprağı iyileştirme sınıfı
Tavsiye edilen kullanım	İlave karıştırmazsız büyüme ortamı olarak	Saksı ürünleri için pH<7,2’de büyüme ortamını formüle etmede	Esasen üst giydirme	Tarım topraklarını düzeltme, bozulmuş toprağın onarımı, pH’ ı 7,2’den az olan peyzaj bitkilerinin bakımı ve onarımı
Renk	Koyu kahve veya siyah	Koyu kahve veya siyah	Koyu kahve veya siyah	Koyu kahve veya siyah
Koku	İyi, toprak kokusunda olmalı	İstenmeyen koku olmamalı	İstenmeyen koku olmamalı	İstenmeyen koku olmamalı
pH	5,0 - 7,6	Aralık tanımlanmalıdır	Aralık tanımlanmalıdır	Aralık tanımlanmalıdır
Partikül boyutu	< 13 mm	< 13 mm	< 7 mm	< 13 mm
Çözülür tuz konsantrasyonu (mmho/cm)	< 2,5	< 6	< 5	< 20
Yabancı maddeler	Cam, plastik ve 3-13cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının %1’inden fazlasını içermemeli	Cam, plastik ve 3-13cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının %1’inden fazlasını içermemeli	Cam, plastik ve 3-13cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının %1’inden fazlasını içermemeli	Cam, plastik ve yabancı partiküllerin ıslak karışımının %5’inden fazlasını içermemeli
Ağır metaller	Sınırsız kullanım için EPA standartlarında verilen değerleri aşmamalı	Sınırsız kullanım için EPA standartlarında verilen değerleri aşmamalı	Sınırsız kullanım için EPA standartlarında verilen değerleri aşmamalı	Sınırsız kullanım için EPA standartlarında verilen değerleri aşmamalı
Solunum oranı (mg/kg.saatt)	< 200	< 200	< 200	< 400

Uygulamaların çoğu için kompost kalitesinin en önemli göstergesi bitki büyümesi üzerindeki etkisidir. Diğer nütrient kaynaklarının ikamesi için kompostun uygulandığı tarım alanlarında kompost nütrient muhtevası en önemli unsurdur. Kompostun pH ve çözünebilir tuz muhtevası kompostun yüksek oranlarda kullanıldığı ortamlar için anahtar özellik niteliğindedir (Sullivan ve Miller 2001).

Partikül çapı 1,27 cm'den daha küçük, pH' ı 6 ile 7,8 arasında, çözülür tuz seviyesi 2,5 mmho/cm'den daha az, düşük solunum oranı, zararlı ot olmayan ve bileşen konsantrasyonları EPA' nın ve ülke standartlarının altında olan kompost bir çok alanda kullanılabilir. Solunum oranı oksijen tüketimine göre belirlenir ve stabilite ile ilgilidir. Kompost karakteristikleri bu standartları sağlamazsa kullanım alanı sınırlanır. Örneğin pH' ı 7,8'den büyük olan kompost yüksek pH' a ihtiyacı olan asidik topraklar veya ürünlerde kullanılabilir (Öztürk ve Bildik 2005).

Kompostun fiziksel ve kimyasal özelliklerini kompostlanan maddeler etkiler. Örnek olarak bahçe atıklarından yapılan kompostun nütrient seviyesi, kanalizasyon çamuru veya hayvan gübrelere yapılan komposta göre daha düşüktür. Farklı hayvan gübrelere yapılan kompostun nütrient içeriği değişiktir

Ayrıca olgunlaşma süresi de kompostun kalitesini etkiler. Üç veya dört aylık bir kompostun pH' ı düşük, daha ince yapılı ve nitrat-azot konsantrasyonu daha yüksektir. Bununla beraber pH yalnızca ham maddelere kireç ilave ederek değiştirilebilir. Zamanla daha büyük partiküller bozunur ve daha küçük partiküller birikir (Öztürk ve Bildik 2005).

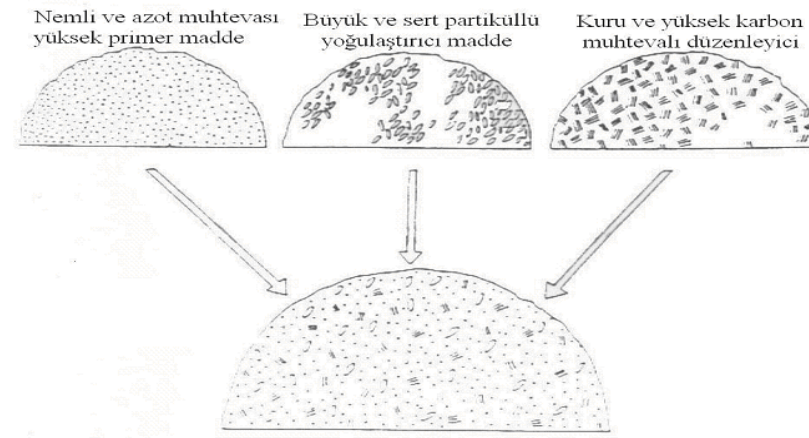
2.2.5. Kompostlamada kullanılabilecek atıklar

Organik yan ürünler veya atık maddeler kompostlamada gerekli materyallerdir. Çiftliklerde böyle maddelere örnek olarak; hayvan gübrelere, hayvan altlık malzemeleri, hasat atıkları ve bazı işlemlerin atıkları verilebilir. Genellikle gübre gibi kompostlanabilir birincil bir ham madde vardır ve buna organik maddeler eklenir. Bu birincil madde çoğunlukla arıtma ve/veya bertaraf edilmesi gereken istenmeyen atıktır. Mevcut atık maddenin verimli bir kompostlama için gerekli tüm koşulları sağlaması düşük bir ihtimaldir. Bu nedenle istenilen özelliklerde madde elde etmek için, bu

maddeler uygun oranlarda ikincil maddelerle karıştırılır (Şekil 2.2). Maddelerin bu karışımına “formül” denir.

İstenilen karakteristikte kompost elde etmek için ilave edilen maddelere düzenleyiciler, hacimleştiriciler veya karbon kaynakları denir. Düzenleyiciler karışımın nem muhtevasını, dokusunu veya C/N oranını iyileştirmek amacıyla katılırlar. Hacimleştiriciler ise maddenin yığın içinde sönmeden kalmasını sağlar ve iyi bir hava akımı sağlamak için gözenek boşluklarını iyileştirir. Karbon kaynakları ise C/N oranını ayarlamak için katılırlar. Bu üç terimde birbirinin yerine kullanılmaktadır yine de düzenleyici daha genel bir terimdir.

Kompostta kullanılan düzenleyicilerin harici kaynaklardan karşılanması maliyeti veya elde mevcut olması önemli bir faktördür. Gerekli ham maddelerin ucuz elde edilmesi kompostlanmanın maliyetini azaltır.



Şekil 2.2 Kompostlanmaya uygun karakteristikleri oluşturmak için ham maddelerin karıştırılması (Öztürk ve Bildik 2005)

Kompostlamada kullanılan ham maddelerde olması gereken karakteristikler Çizelge 2.9’ da gösterilmektedir. Bu değerler her zaman sağlanılamayabilir. Kompostlama esnek bir işlemdir. İdeal koşullardan oldukça farklı, çok geniş aralıkta meydana gelebilen bir işlemdir. Bu ideal şartlardan izin verilen sapma miktarı kompostun tamamlanması için gereken süre, koku oluşumu ve kompostun nihai kullanımına bağlı olarak belirlenir.

Hızlı kompostlamanın olması veya koku riski yüksek maddeler için Çizelge 2.9’ daki değerlere yakın değerlerin seçilmesi önemlidir (Öztürk ve Bildik 2005).

Çizelge 2.9 Ham maddelerde olması istenilen özellikler (Öztürk ve Bildik 2005)

Özellik	Makul aralık	Tavsiye edilen aralık
C/N oranı	20/1 - 40/1	25/1 – 30/1
Nem içeriği	% 40-65	% 50-60
pH	5,5 - 9	6,8 - 8,5
Yoğunluk	< 640 kg/m ³	–

Nem içeriği ve C/N oranı ham maddenin en önemli parametreleridir ve bunların hepsi karışımın formülünü belirler. Genellikle birincil maddeler nemlidir ve azot muhtevası yüksektir. Dolayısı ile kuru ve karbonlu düzenleyiciler gerektirir. Farklı bileşenlerin porozite ve ham yoğunluğu doğru tahmin edilemez. Karışımda ham yoğunluk 558-640 kg/m³’ten küçük olması genellikle uygundur. Çizelge 2.10’ da Kompostlama işleminde kullanılan maddelerin karakteristikleri verilmiştir.

Çizelge 2.10 Kompostlama işleminde kullanılan maddelerin karakteristikleri (Öztürk ve Bildik 2005)

Madde	Veri Tipi	%N (kuru ağırlık)	C/N oranı (ağırlık/ağırlık)	Nem Muhtevası% (ıslak ağırlık)	Yoğunluk kg/m ³
Mahsul Atıkları ve Meyva/Sebze İşleme Atıkları					
Elma filtre keki	Tipik	1,2	13	60	0,72
Elma pomace	Tipik	1,1	48	88	0,94
Elma-işleme çamuru	Tipik	2,8	7	59	0,85
Kakao kabukları	Tipik	2,3	22	8	481
Kahve telvesi	Tipik	–	20	–	
Mısır koçanı	Aralık	0,4–0,8	56–123	9–18	
	Ortalama	0,6	98	15	336
Mısır sapı	Tipik	0,6–0,8	60–73	12	19
Çiğit unu	Tipik	7,7	7	–	
Kızılıçık filtre keki	Tipik	2,8	31	50	0,62
(pirinç kabukları ile)	Tipik	1,2	42	71	0,78
Kızılıçık (saplar, yapraklar)	Tipik	0,9	61	61	
Cull patates	Tipik	–	18	78	0,93
Meyva atıkları	Aralık	0,9–2,6	20–49	62–88	
	Ortalama	1,4	40	80	
Zeytin kabukları	Tipik	1,2–1,5	30–35	8–10	
Patates işleme atıkları	Tipik	–	28	75	0,95
Patates tops	Tipik	1,5	25	–	
Pirinç kabukları	Aralık	0–0,4	113–1120	7–12	111,5–132
	Ortalama	0,3	121	14	122
Soya fasülyesi unu	Tipik	7,2–7,6	4–6	–	
Domates işleme atıkları	Tipik	4,5	11	62	
Sebze üretimi	Tipik	2,7	19	87	0,96
Sebze atıkları	Tipik	2,5–4	11–13	–	
Balık ve Et İşleme Atıkları					
Kan atıkları	Tipik	13–14	3–3,5	10–78	
(kesimhane atıkları ve kuru kan)					
Yengeç ve ıstakoz atıkları	Aralık	4,6–8,2	4,0–5,4	35–61	145
	Ortalama	6,1	4,9	47	
Balık-breading parçaları	Tipik	2	28	10	
Balık-işleme çamurları	Tipik	6,8	5,2	94	
Balık atıkları	Aralık	6,5–14,2	2,6–5,0	50–81	
	Ortalama	10,6	3,6	76	
Karışık kesimhane atıkları	Tipik	7–10	2–4	–	
Midye atıkları	Tipik	3,6	2,2	63	
Kümes hayvanları ölüleri	Tipik	2,4	5	65	
Karın gübresi	Tipik	1,8	20–30	80–85	0,9
Karides atıkları	Tipik	9,5	3,4	78	
Gübre					
Izgaralık piliç samanı	Aralık	1,6–3,9	12–15	22–46	456–619
	Ortalama	2,7	14	37	521
Sığır –süthane	Aralık	1,5–4,2	11–30	67–87	0,8–1
	Ortalama	2,4	19	81	0,9
bağlı ahır bölmesinden	Tipik	2,7	18	79	
bağlı olmayan ahır bölmesinden	Tipik	3,7	13	83	
at –genel	Aralık	1,4–2,3	22–50	59–79	0,7–1

Çizelge 2.10 Kompostlama işleminde kullanılan maddelerin karakteristikleri (Öztürk ve Bildik 2005) (devam)

Madde	Veri Tipi	%N (kuru ağırlık)	C/N oranı (ağırlık/ağırlık)	Nem Muhtevası% (ıslak ağırlık)	Yoğunluk kg/m ³
at –yarış pisti	Aralık	0,8–1,7	29–56	52–67	
	Ortalama	1,2	41	63	
laying heps	Aralık	4–10	3–10	62–75	0,8–1
	Ortalama	8	6	69	0,9
koyun	Aralık	1,3–3,9	13–20	60–75	
	Ortalama	2,7	16	69	
domuz	Aralık	1,9–4,3	9–19	65–91	
	Ortalama	3,1	14	80	
hindi altına serilen saman	Aralık	2,6	16	26	471,5
Belediye Atıkları					
çöp (yiyecek atıkları)	Tipik	1,9–2,9	14–16	69	
gece toprağı	Tipik	5,5–6,5	6–10	–	
kağıt –evsel çöplerden	Tipik	0,2–0,25	127–178	18–20	
eczacılık atıkları	Tipik	2,6	19	–	
istenmeyen (karışık yiyecek, kağıt vs.)	Tipik	0,6–1,3	34–80	–	
kanalizasyon çamurları	Aralık	2–6,9	5–16	72–84	0,65–1,1
aktif çamur	Tipik	5,6	6	–	
çürütülmüş çamur	Tipik	1,9	10	–	
Saman ve Yem					
buğday yemi	Tipik	1,2–1,4	38–43	65–68	
yem –genel	Aralık	0,7–3,6	15–32	8–10	
	Ortalama	2,1	–	–	
yem –tohum	Aralık	1,8–3,6	15–19	–	
	Ortalama	2,5	16	–	
yem –tohumsuz	Aralık	0,7–2,5	–	–	
	Ortalama	1,3	32	–	
saman –genel	Aralık	0,3–1,1	48–150	4–27	35–228
	Ortalama	0,7	80	12	137
saman –yulaf	Aralık	0,6–1,1	48–98	–	
	Ortalama	0,9	60	–	
saman –buğday	Aralık	0,3–0,5	100–150	–	
	Ortalama	0,4	127	–	
Odun ve Kağıt					
Ağaç kabuğu –sert ağaç	Aralık	0,1–0,41	116–436	–	
	Ortalama	0,241	223	–	
ağaç kabuğu –yumuşak ağaç	Aralık	0,04–0,39	131–1,285	–	
	Ortalama	0,14	496	–	
buruşuk karton	Tipik	0,1	563	8	156
kereste kesim yeri atıkları	Tipik	0,13	170	–	
gazate kağıdı	Tipik	0,06–0,14	398–852	3–8	117,6–146
kağıt fiberi çamuru	Tipik	–	250	66	687
kağıt fabrikası atığı	Tipik	0,56	54	81	
kağıt hamuru	Tipik	0,59	90	82	846
testere talaşı	Aralık	0,06–0,8	200–750	19–65	211–271
	Ortalama	0,24	442	39	66
telefon rehberi	Tipik	0,7	772	6	151
odun yongaları	Tipik	–	–	–	268–374

Çizelge 2.10 Kompostlama işleminde kullanılan maddelerin karakteristikleri (Öztürk ve Bildik 2005) (devam)

Madde	Veri Tipi	%N (kuru ağırlık)	C/N oranı (ağırlık/ağırlık)	Nem Muhtevası% (ıslak ağırlık)	Yoğunluk kg/m ³
(yongalar, talaşlar vs.)	Ortalama	0,09	560	–	
odun –sert ağaç	Aralık	0,04	212–1,313	–	
(yongalar, talaşlar vs.)	Ortalama	0,09	641	–	
Bahçe atıkları ve diğer bitkiler					
Çim kırıntıları	Aralık	2,0–6,0	9–25	–	
	Ortalama	3,4	17	82	
gevşek	Tipik	–	–	–	181–241
sıkı	Tipik	–	–	–	301,5–483
yaprak	Aralık	0,5–1,3	40–80	–	
	Ortalama	0,9	54	38	
gevşek ve kuru	Tipik	–	–	–	60–181
sıkışık ve nemli	Tipik	–	–	–	241–301
yosun	Aralık	1,2–3,0	5–27	–	
	Ortalama	1,9	17	53	
çalı kırıntıları	Tipik	1	53	15	259
ağaç kırıntıları	Tipik	3,1	16	70	0,8
su sümbülü –taze	Tipik	–	20–30	93	244

Karışım formülleri nem ve C/N oranına göre belirlenmesine rağmen, çözünürlük, koku ve saflıkta önemlidir.

Organik maddelerin hepsi aynı şekilde çözünmez. Örneğin, odunsu maddeler yüksek miktarda lignin içerdiğinden dolayı yavaş çözünürler. Aynı maddenin büyük partikülleri küçük partiküllerinden daha yavaş çözünür.

İstenmeyen maddeler, kimyasallar ve organizmaların beraberce oluşturduğu kirliliğin ölçüsü olarak “saflık” terimi kullanılır. Karton kutular, camların üzerine yapışmış atıklar ve yapraklarla taşınan çöpler, mahsullerdeki pestisit atıkları, ağır metaller veya çamurdaki insan patojenleri ve çamurlar bunlara örnek olarak verilebilir. Çevreye ve halk sağlığına zararlı maddeler daha sınırlayıcı düzenlemeler gerektirir. Çoğu durumda kompostta olması istenen saflık nihai kullanımına bağlı olarak belirlenir.(Öztürk ve Bildik 2005).

2.2.6. Kompost karışımının hazırlanması

Öztürk ve Bildik (2005)' e göre kompostlama için ham maddelerin başarılı bir şekilde karışımının yapılması için beş kural vardır;

- Kompostlamada istenen genel şartları bilmek,
- Kullanılacak birincil maddeleri belirlemek (örneğin kümes atıkları, süthane gübresi vs.),
- Azot ve karbon muhtevası (C/N), nem muhtevası, ham yoğunluk, pH ve koku potansiyeli gibi birincil maddenin özelliklerini bilmek,
- Birincil maddelerle karıştırıldığında kompostlama için uygun koşullar sağlayan tamamlayıcı veya ikincil maddeleri belirlemek,
- Doğal, aerobik ve yüksek sıcaklıkta kompostlama sağlayacak karışımı oluşturmak.

Kompostlamada kullanılacak maddeler belirlendikten ve kompostlama için uygun şartlar anlaşıldıktan sonra aşağıdaki basamaklar takip edilmelidir.

2.2.6.1. Nemin ayarlanması

Kompost karışımının nem içeriği % 40-60 arasında olması gerekmektedir. Eğer nem içeriği % 60' ın üzerinde olursa kompost karışımı içerisindeki hava boşlukları su ile dolarak gerekli oksijenin mikroorganizmalar tarafından kullanılmasına engel olur. Yüksek nem içeriği anaerobik koşullar, koku ve yavaş bozunmaya da neden olur. Ayrıca yüksek nem yığını ağırlaştırarak çökelme ve sıkışmayı artırır. Eğer nem içeriği %40' ın altında olursa da kompostlanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli olan mikroorganizmaları kurutarak aktivitelerinin durmasına sebep olur. Çizelge 2.11' de nem muhtevasına göre iki maddeden oluşan karışımın formülünün belirlenmesi gösterilmiştir.

Çizelge 2.11 Nem muhtevasına göre iki maddeden oluşan karışımının formülünün belirlenmesi (Öztürk ve Bildik 2005)

		BİRİNCİL MADDENİN NEM MUHTEVASI									
İKİNCİL MADDENİN NEM MUHTEVASI		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	10							5:1	2,5:1	1,7:1	1,3:1
	20							4:1	2:1	1,3:1	1:
	30							3:1	1,5:1	1:1	1:1,2
	40							2:1	1:1	1:1,5	1:2
	50							1:1	1:2	1:3	1:4
	60						1:1				
	70	1:5	1:4	1:3	1:2	1:1					
	80	1:2,5	1:2	1:1,5	1:1	2:1					
	90	1:1,7	1:1,3	1:1	1,5:1	3:1					
	100	1:1,3	1:1	1,3:1	2:1	4:1					

 Nem muhtevası çok düşük(<%60)
  Nem muhtevası çok yüksek(>%60)

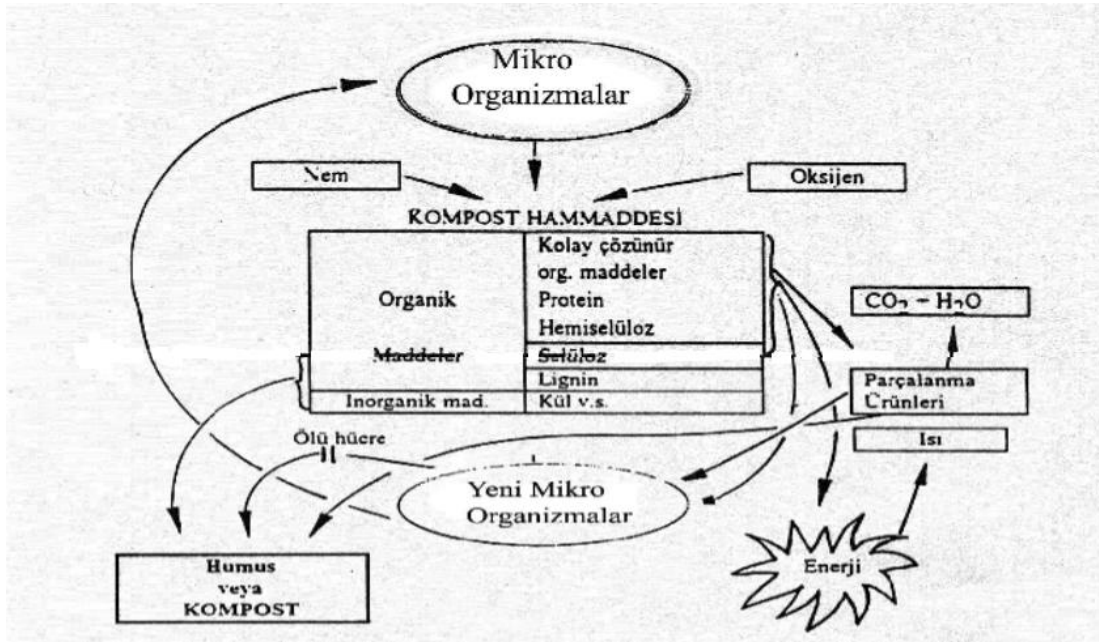
2.2.6.2. Karbon / Azot oranının belirlenmesi

Toplam organik karbonun toplam azota ağırlıkça oranını gösteren C/N oranı aktif kompostlama için önemli bir şarttır. Kompostun kalitesini belirleyen kriterlerden biri olan azot içeriği, kompostlanmak istenen karışımın C/N oranının iyi hesaplanmasıyla sağlanabilir. C/N oranının 35' ten büyük olması halinde azot tutulur fakat kompostlama işlemi daha uzun sürer. C/N oranının 20' den küçük olması halinde ise azot, amonyak formuna geçip ortamdan uzaklaşır ve dolayısı ile azot kaybı meydana gelir ayrıca bu durum koku problemine de yol açar. Ancak kompostlama süresi kısalmır.

2.2.7. Kompostlama mekanizması

Kompostlama olayı, organik ayrışabilir maddelerin mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu kontrol edilen şartlar altında biyokimyasal yollarla ayrıştırılması şeklinde tarif edilebilir. Gerçekte kompostlamada atık maddeler tam stabil hale getirilmeden kısmen kararlı halde tutulurlar. Başka bir deyişle organik maddenin tamamen ayrışıp mineralleşmesine imkân verilmez ve kompostun daha sonra kullanılacağı toprakta bir organik madde kaynağı olması sağlanır (Erdin 2005) .

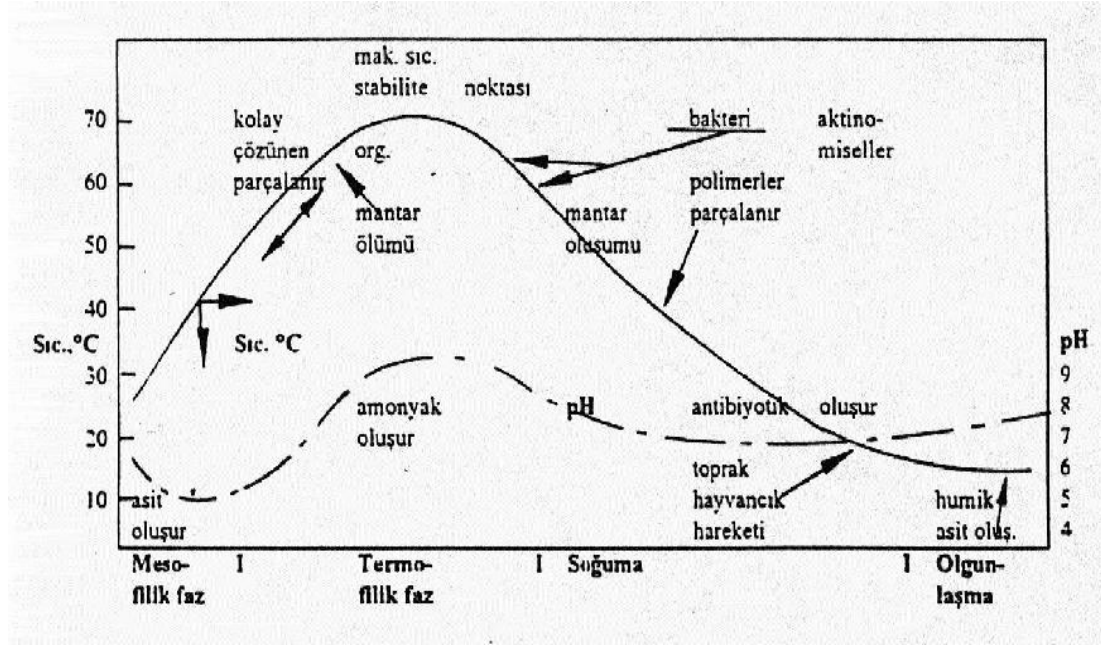
Kompostlama işlemi, nemli tutulan ve havalandırılan karışık organik atıklarda doğal olarak bulunan, kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Başlangıçta çoğunlukla bakteri olan bu organizmaların çoğalması sırasında ısı, CO₂ ve su buharı açığa çıkar. Eğer ısınin açığa çıkması, ısı kaybından hızlı ise, sıcaklık yükselir, ısıya karşı duyarlı organizmalar ölür ve ısıya dayanıklı bakteriler çoğalır. Ayrışma sırasında ısı (8-10 kcal/°C) ortamdan hızlı bir şekilde uzaklaştırılamamaktadır (Erdin 1981, 2005). Şekil 2.3’ de kompost oluşum mekanizması en temel hali ile gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kompost oluşum mekanizması (Biddlestone 1987, Erdin 2005)

Bakteri, fungi ve aktinomisetlerin kompostlamaya etki eden mikroorganizmalar olduğu bilinmektedir. Bakteriler belirtilen bu mikroorganizmalar içinde en fazla bulunan ve en hızlı ayrışmayı sağlayan gruptur. Bunlar küçük ve basit yapıda olup, çeşitli formlarda ve çevresel koşullarda yaşarlar. Fungiler, daha büyüktür ve düşük nem ile düşük pH derecelerine toleranslıdır. Ancak oksijen azlığına dayanamazlar ve odunsu dokular gibi ayrışmaya direnci olan maddelere etkilidirler. Aktinomisetler, fungiler gibi filamentler oluştursalar da boyutları daha küçüktür. Kolaylıkla ayrışan bileşikler ortamdan uzaklaştıktan sonra ve nemin azaldığı durumlarda daha fazladır. Asit şartlarda toleranslı

değillerdir. Şekil 2.4’ de kompost oluşumunda sıcaklık ve pH değişimi detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Kompost oluşumunda sıcaklık ve pH değişimi (Biddlestone 1987)

Genelde bakteriler kompostlanmanın ilk döneminde, fungi ve aktinomositler ise daha dayanıklı maddelerin kaldığı ikinci dönemde işlevde bulunurlar. Koşulların kompostlanma için ideal olduğu hallerde genelde bakteriler hâkim durumdadır. Düşük pH' lar da fungusler, düşük rutubette ise hem fungi ve hem de aktinomisetler etkin olur. Oksijen azalması durumunda ise fungusler azalır anaerobik bakteriler artar.

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 yerinin 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. Çizelge 2.12' de mikrobiyal ayrıştırmada sıcaklık bölgeleri gösterilmiştir (Erdin 2005).

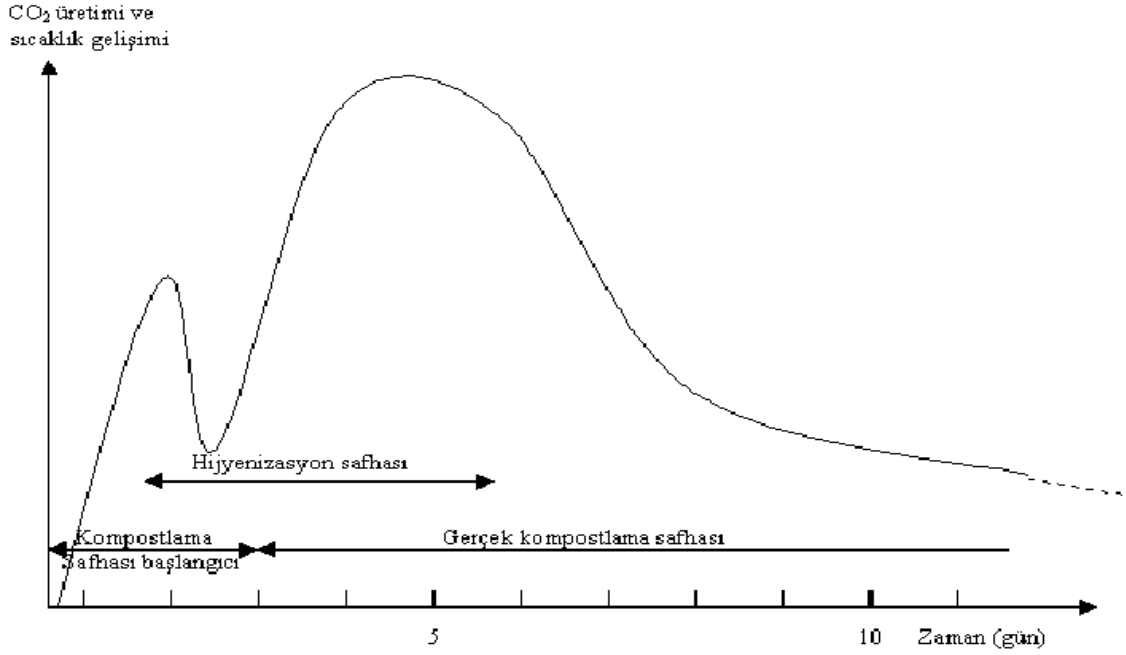
Çizelge 2.12 Mikrobiyal ayrıştırmada sıcaklık bölgeleri (Erdin 1981, 2005)

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

Kompostlamanın sonuç aşamasında, çok sayıda solucan ve böcek larvaları oluşmaktadır. 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 (Erdin 2005).

Şekil 2.5’ de kompostlama sırasındaki CO₂ ve sıcaklık değişiminin zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Kompostlama prosesi ile kapalı kompostlamadaki CO₂ ve sıcaklık değişimi grafiği (Erdin 2005)

Kompostlamanın temeli dekompozisyon işlemine dayanmaktadır. Doğal organik maddeler topraktaki mikroorganizmaların ve omurgasız canlıların faaliyetleri sonucunda humusa dönüştürülürler. Bu olay, ekosistemdeki nutrientlerin geri dönüşüm işlemidir ve bu doğal dekompozisyon işlemi ideal şartların oluşturulmasıyla desteklenebilir. Maddeleri etkin bir şekilde dekompoze edebilmek 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
- Parçalanma (öğütme)
- Fermantasyon
- Olgunlaştırma için depolama

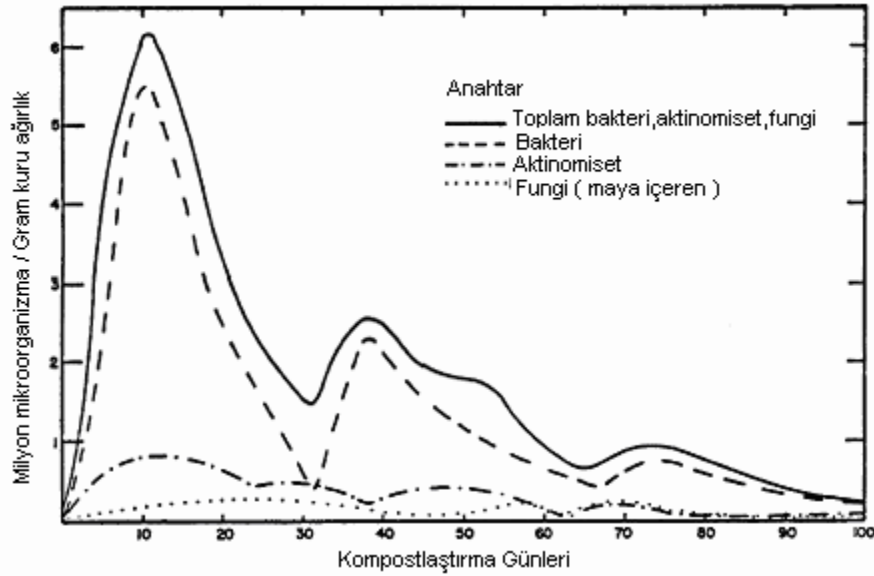
İşlemin başarısı, kompostlanan organik maddelerin içeriğine ve kompostlamayı gerçekleştiren organizmaların (bakteri, aktinomisetler, mantarlar, protozoalar, rotiferler) türüne bağlıdır. Bazı organik maddeler diğerlerine nazaran daha kolay dekompoze olabilirler. Ayrıca kompostlama işlemini gerçekleştiren farklı organizmalar, farklı maddeleri değişik sıcaklık aralıklarında dekompoze ederler. Bazı mikroorganizmalar oksijene gerek duyarken bazıları oksijene gereksinim duymazlar.

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 (Erdin 2005).

Bakteri, mantar, aktinomositlerin işbirliği ile bu organik bileşikleri parçalatıp humuslaştırmak en “çevre dostu” yaklaşım tarzı olmaktadır. Oksijenli ortamda kolay ayrışan bileşikler karbondioksit ve suya ayrışmakta ve bu arada ortama ısı verilmektedir. Bu ısı da ortamın sıcaklığını artırmaktadır. Ayrışma sırasında mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri sonucu oluşun antibiyotikler de patojen organizmalara öldürücü etki yapmakta ve onları elimine etmektedir. Ayrıca ortam sıcaklığı 70 °C ‘ye kadar çıkması da pastörizasyon etkisi yapmaktadır. Ancak mikroorganizmaların rahat faaliyet gösterebilmeleri, yeterince besin maddelerine ulaşabilmeleri, oksijen alabilmeleri için homojen bir dağılımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu ya dinamik sistemlerle sürekli karıştırmakla olur, ya da statik sistemlerde olduğu gibi zaman zaman aktarmak ve böylece de karışımı gerçekleştirmekle olur (Erdin 1981).

2.2.8. Kompost mikrobiyolojisi

Kompostlanma, organik atıkları tüketen geniş bir mikroorganizma kümesini içeren karmaşık bir prosesdir. Kompostlanma prosesinde rol alan mikroorganizmaların başlıcaları; fungi, aktinomiset ve bakterilerdir. Bu proseste algilere ve protozoalara 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 2.6’ da verilmiştir.



Şekil 2.6 Yığın kompostlanma süresince mikrobiyal popülasyon değişimi (Stoffella ve Kahn 2001, Bayer 2008)

Kompostta bulunan patojenler Çizelge 2.13’ de verilmiştir. Yüksek nem içeriği bakterilerin aktivitelerini artırır ve kompostlamanın 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*

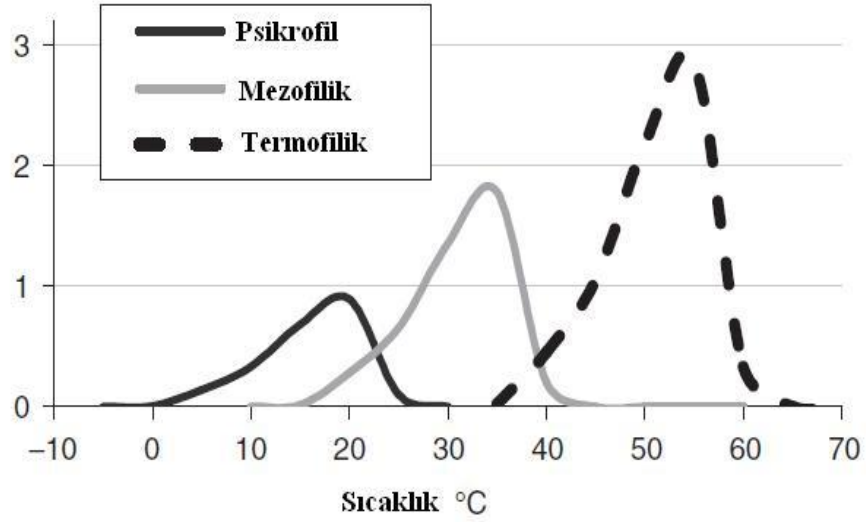
Fungiler (40-50 °C): *Aspergillus*, *Fumigatus*, *Chaetomium*, *Humicola*

Çizelge 2.13 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.türler	Sporlarla akciğer enfeksiyonu

Şekil 2.7.'de mikroorganizma türlerinin sıcaklıkla ilişkili değişimleri gösterilmiştir (Insam ve Bertoldi, 2007).

Saatlik üretim



Şekil 2.7. 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 CO₂ ve H₂O 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 yarayışlı 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 doğru düşmeye devam eder. Sıcaklık 40 °C' de ise tekrar mezofilik organizmalar aktif hale geçer ve pH tekrar düşer.

2.2.8.1. Bakteriler

Ayrışma prosesine en önemli etkide bulunan canlılar kolay ayrışabilen nutrientlerin (nce protein, karbonhidrat ve şekerler) işleyen ve kompost yığnında gözlenen ilk canlılar olan bakterilerdir (USEPA, 1994). Bakteriler kompost içerisindeki en küçük ve en fazla sayıda olan canlı organizmalardır. Bakteriler bir gram kompostta bulunan milyarlarca organizmanın %80 ila 90'ını oluştururlar. Bakteriler, komposttaki sıcaklık artışı ve organik madde parçalanmasından sorumludurlar. Kompost işleminin başlangıcında (0-40 °C) mezofilik bakteriler baskındırlar. Ayrıca bu bakteri formlarının çoğu yüzey toprağında bulunabilir. Kompost, 40 °C'nin üzerine çıktığında termofilik bakteriler devreye girer. Bu evredeki mikrobiyal popülasyonda *Bacillus* türü baskındır. *Bacillus* türlerinin eşitliliği 55-60 °C'de oldukça yüksekken kompost 60 °C'nin üzerine çıktığında önemli ölçüde azalırlar. şartlar bu tür için uygun olmayan hale geldiğinde kalın çeperli, sıcaklığa, soğuğa, kuraklığa, besin eksikliğine karşı dirençli endospor halinde ortamda yaşamaya devam ederler. Bu türler ortam koşullarının uygun hale gelmesiyle tekrar devreye girebilmek için hazır şekilde beklerler (İnan 2012).

En yüksek kompost sıcaklıklarında *Thermus* türü tek başına kalır. Kompost reticileri, doğada evrimleşerek bu bakterilerin nasıl bu yüksek sıcaklıklarda dayanabilecek hale geldiğini merak etmektedirler. *Thermus* bakterileri ilk olarak Yellowstone Milli Parkı kaplıcalarında bulunmuştur ve bu bakterilerin burada evrimleşmiş olabileceği düşünmektedir. *Thermus* türlerinin doğada bulunduğu diğer ortamlar mezofiliktir (Trautmann ve Olynciw 2001, İnan 2012).

Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış izelge 2.14.'de verilmiştir.

Çizelge 2.14. Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış (Insam ve Bertoldi, 2007)

Filogenetik Grup	Tür	Ekolojik ilişki	Bulunduğu evre	Referans
Alfa	<i>Pseudomonas putida</i> strain ATCC 11172	Patojenik		Alfreider vd. (2002)
	<i>Pseudomonas</i> sp.			Miller (1996)
	<i>Methylosinus trichosporium</i>	Metanotrofik		Murrell vd. (1998)
	<i>Caulobacter</i> spp.		Erken	Michel vd. (2002)
	<i>Erythrobacter longus</i>		Erken	Michel vd. (2002)
Beta	<i>Nitrospira briensis</i>	Nitrifikasyon bakt.		Murell vd. (1998), Kowalchuk vd. (1999)
	<i>Nitrosomonas europaea</i>	Nitrifikasyon bakt.		Murell vd. (1998), Kowalchuk vd. (1999)
	<i>Nitrosolobus multiformis</i>	Nitrifikasyon bakt.	Orta	Michel vd. (2002)
Gama	<i>Escherichia coli</i>	Potansiyel Patojen		Lott Fischer (1998)
	<i>Methylomonas methanica</i>	Metanotrof		Murrell vd. (1998)
	<i>Azotobacter chroococcum</i>	N-fixer	Geç	Bess (1999)
	<i>Salmonella</i> sp.	Patojenik		Lott Fischer (1998)
	<i>Streptomyces rectus</i>			Miller (1996)
	<i>S. thermofusus</i>			Miller (1996)
	<i>S. violaceus-ruber</i>			Miller (1996)
	<i>S. thermoviolaceus</i>			Miller (1996)
	<i>Streptomyces</i> sp.			Miller (1996)
	<i>Nocardia</i> sp.			Miller (1996)
	<i>Microbispora bispora</i>		Termofilik	Miller (1996)
	<i>Actinomadura</i> sp.		Termofilik	Degli-Innocenti vd. (2002)

Çizelge 2.14 Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış (Insam ve Bertoldi, 2007)(devam)

Filogenetik Grup	Tür	Ekolojik İlişki	Bulunduğu evre	Referans
Endospor formları	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	Komposttaki klasik termofilik		Çeşitli
	<i>B. thermodenitrificans</i>	Termofilik denitrifikasyon bakt.		Blanc vd. (1997)
	<i>B. brevis</i>			Miller (1996)
	<i>B. circulans</i>			
	<i>B. coagulans</i>			
	<i>B. sphaericus</i>			
	<i>B. subtilis</i>			
	<i>B. licheniformis</i>	Potansiyel patojen		Lott Fischer (1998)
	<i>Bacillus</i> sp.			
	<i>Clostridium thermocellum</i>	Bazıları N-Fixer	Anaerobik	de Bertoldi vd. (1983)
Aktinomisetler	<i>Clostridium</i> spp.			de Bertoldi vd. (1983)
	<i>Klebsiella</i> sp.	N-fixation		de Bertoldi vd. (1983)
	<i>Saccharomonospora viridis</i>	Patojenik		Lott Fischer (1998)
	<i>Streptomyces thermovulgaris</i>	Patojenik	Termofilik	
	<i>Actinobifida chromogena</i>			Miller (1996)
	<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>		Termofilik	Miller (1996)
	<i>Micropolyspora faeni</i>			Miller (1996)
	<i>Pseudonocardia thermophila</i>			Miller (1996)
	<i>Thermomonospora curvata</i>			Miller (1996)
	<i>Th. viridis</i>			
Deinococcus/Thermus grubu	<i>Thermus</i> sp.		Termofilik	Beffa vd. (1996)
	<i>Hydrogenobacter</i>			

2.2.8.2. Aktinomisetler

Kompostlamada selüloz, lignin, kitin gibi kompleks organiklerin ve proteinlerin parçalanmasında önemli rol oynarlar. Bazı türleri kompostun termofilik evresinde görülürken diğer türleri ise son evreye kalan en dirençli bileşiklerin parçalanmasında büyük öneme sahiptirler. Aktinomisetler, ipliksi dallanmış filamentler gibi uzun şekildedirler ve kompost içerisinde örümcek ağı gibi görünürler. Bu filamentler çoğunlukla, kompost işleminin sonlarına doğru belirirler (Trautmann ve Olynciw 2001, İnan 2012).

2.2.8.3. Fungiler

Küf ve mayalar dahil fungiler toplu olarak topraktaki ve komposttaki birçok kompleks bitki polimerlerin parçalanmasından sorumludurlar. Fungiler kompostta önemlidir, çünkü dayanıklı artıkları parçalarlar ve bakterilere parçalamalarına devam edebilmeleri için olanak sağlarlar (İnan 2012).

Birçok fungi, saprofitler olarak sınıflandırılır. Çünkü fungiler ölü veya ölmekte olan bitki ve hayvanların organik maddelerini parçalayarak enerji elde ederler. Fungi türleri kompostun hem mezofilik hem de termofilik evresinde bulunurlar. Fungilerin çoğu, kompostta sıcaklık yüksek olduğunda dış tabakada yaşarlar. (Trautmann ve Olynciw 2001, İnan 2012). Fungiler bakterilere oranla daha düşük neme tolerans gösterirler. Bazı fungi türlerinin bakterilere göre daha düşük miktarda azot gereksinimi vardır. Bu yüzden bakterilerin ayrıştıramadığı selülozlu maddeleri ayrıştırabilirler (USEPA, 1994).

2.2.8.4. Protozoalar

Protozoalar tek hücreli canlılardır. Su damlacıkları içerisinde bulunurlar ancak kompostta parçalamada kısmen küçük rolleri vardır. Protozoalar, organik maddeden besini bakterilerin yaptığı gibi sağlarlar ama aynı zamanda bakteri ve fungileri sindirerek ikincil tüketiciler olarak hareket ederler (İnan 2012).

2.2.8.5. Rotiferler

Rotiferler mikroskobik çok hücreli canlılardır ve komposttaki su tabakasında bulunurlar. Hem organik madde ile hem de bakteri ve funguslar ile beslenmektedirler. (Trautmann ve Olynciw 2001, İnan 2012).

2.2.9. Kompostlama Mekanizmasını Etkileyen Parametreler

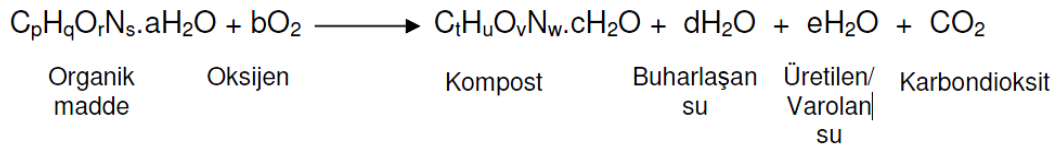
Kompostlanmaya etki eden en önemli parametreler; nem içeriği, karbon / azot oranı, pH, sıcaklık, havalandırma, porozite ve serbest hava boşluğudur. Hızlı bir kompostlanma için tavsiye edilen koşullar Çizelge 2.15’ de gösterilmektedir.

Çizelge 2.15 Hızlı kompostlanma için tavsiye edilen koşullar (Öztürk ve Bildik 2005)

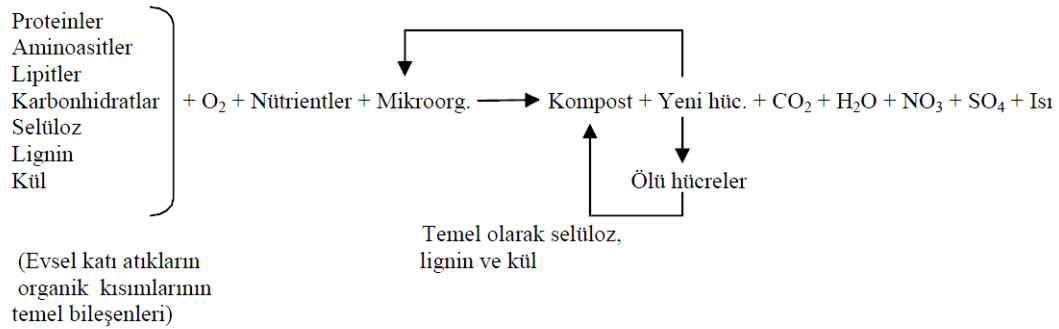
Parametre	Makul aralık	Tavsiye edilen aralık
Karbon azot oranı (C/N)	20/1 - 40/1	25/1 – 30/1
Nem muhtevası	%40 - 65	%50 - 60
Oksijen konsantrasyonu	> %5	>> %5
Partikül boyutu (cm çap)	0,32 - 1,27	Değişir
pH	5,5 - 9,0	6,5 - 8,0
Sıcaklık (°C)	43 - 65	54 - 60

2.2.9.1. Sıcaklık

Kompostlanmayı etkileyen en önemli parametrelerden biri olan sıcaklık, mikroorganizma faaliyetinin bir göstergesidir (Tchobanoglous ve Kreith, 2002). Prosesin başlangıcında kompost kütlesinin sıcaklığı atmosfer sıcaklığına eşit ya da yakınsa, organik maddelerin bozunması esnasında açığa çıkan ısı ile sıcaklık yükselmektedir. Wiley ve Pierce (1957), kompostlanma prosesini aşağıda yer alan kimyasal denklik ile ifade etmişlerdir (Epstein 1997).



Ayrıca aerobik kompostlanma prosesine giren ve çıkan maddeler aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir (Tosun 2003).

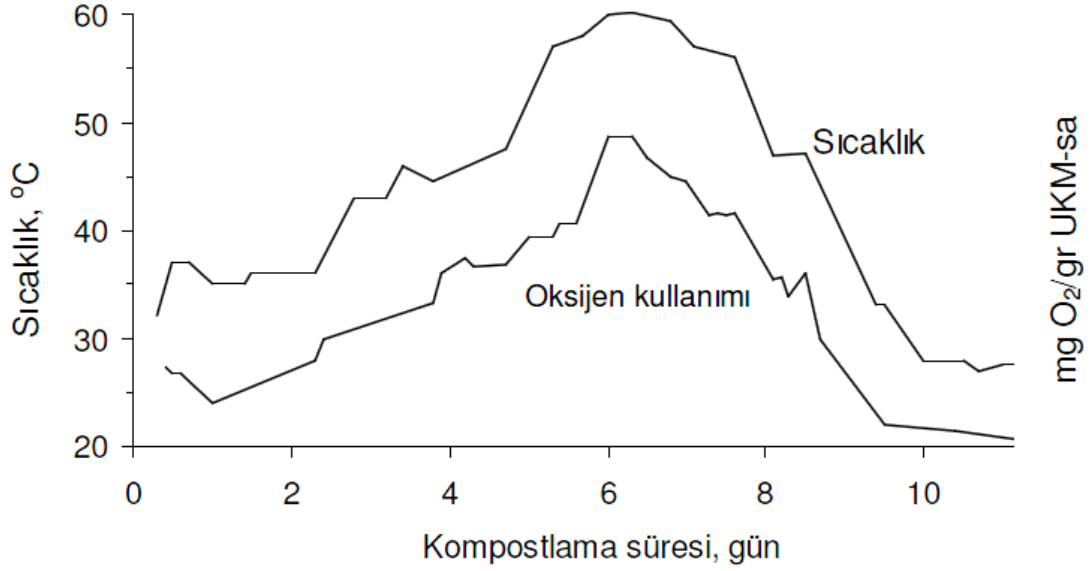


Mosher ve Anderson (1977)' in yaptıkları çalışmalar sonucunda 20 °C' nin altındaki sıcaklıklarda prosesin çok yavaşladığını hatta durduğunu, Miller (1996)' ın ise 60 °C' nin üzerindeki sıcaklıkların, mikrobiyolojik aktiviteyi zayıflattığını tespit ettikleri bilinmektedir. Haug (1993), yüksek sıcaklığın düşürülmesi için havalandırmanın artırılmasını veya karıştırma işleminin sıklaştırılmasını önermektedir (Erdim 2003).

Sıcaklık ile oksijen tüketimi arasında doğrudan bir bağlantı vardır. Oksijen tüketim hızının sıcaklıkla ilişkisini inceleyen Schulze (1960), çöp, susuzlaştırılmış çamur ve vermikülit ile yaptığı çalışma sonucunda oksijen tüketim hızının sıcaklığın fonksiyonu olduğunu ve sıcaklık 68 °C' ye ulaşınca kadar artmaya devam ettiğini tespit etmiştir (Tosun 2003).

Pek çok araştırmacı tarafından yapılan benzer çalışmalar sonucunda sıcaklığın artmasıyla mikrobiyal aktivite arttığından oksijen tüketim hızının da arttığı tespit edilmiştir. Şekil 2.8' de tipik bir sıcaklık-oksijen eğrisi görülmektedir (Epstein 1997). Şekil 2.8 'de görüleceği üzere 20 °C sıcaklıkta oksijen tüketim hızı 2 mg O₂/g UKM-

saat iken sıcaklık 60 °C' ye çıktığında oksijen tüketim hızı 6 mg O₂/g UKM-saate yükselmiştir.



Şekil 2.8 Laboratuvar ölçekli bir reaktörde suni hazırlanmış evsel katı atığın kompostlanması süresince sıcaklığın ve oksijen kullanımının değişimi. (Epstein 1997)

Sıcaklığın bir diğer önemi ise kompost karışımında dezenfeksiyonu sağlanmasıdır. Patojen varlığı kompostun kullanımını sınırlandıran bir faktördür. Dolayısı ile olgunlaşmış bir kompost ürününde patojen mikroorganizmaların belli değerlerin altında olması gerekmektedir. Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri Tchobanoglous ve ark. (1993) tarafından ilişkilendirilmiştir (Çizelge 2.16).

Çizelge 2.16 Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri (Tchobanoglous ve ark. 1993)

Organizma	Gözlem Sonucu
<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</i> sp.	55 °C'de 1 saatte veya 60 °C'de 15-20 dk'da ölüm
<i>Shigella</i> sp.	55 °C'de 1 saatte ölüm
<i>Escherichia Coli</i>	55 °C'de 1 saatte veya 60 °C'de 15-20 dk'da çoğunluğu ölür
<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 ölür
<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 diphteria</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

2.2.9.2. Karbon/Azot 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 2.17). 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 2.17 Bazı kaynaklarda öngörülen optimum C/N oranları

C/N Oranı	Kaynak
20-40	Dougherty, 1995; Kilpatrick et al., 2002
25-30	Rynk, 1992
30	Manios and Stentiford, 2003; Hamoda et al.,1998
20-35	Epstien, 1997; Tchobanoglous and Kreith, 2002
15-30	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 tambur 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).

Kompostlanmada 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 ayrıştırılamayan 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).

$$B = 0.830 - (0.028) X$$

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:

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

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

2.2.9.3. 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 artırır ve kompostlamanın daha hızlı oluşmasını sağlar. Düşük nem içeriklerinde ise küf 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. (Öztürk 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 gerçekteşebilmektedir (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 ölçüde kısıtlanmakta ve aerobik kompostlama, sabit karıştırmanın olmadığı durumlarda imkânsız 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 düşölmemesi 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 kırılgan 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.

2.2.9.4. Havalandırma

Oksijen, kompostlamayı havasız çürütme yönteminden farklı kılan operasyon parametresidir. Oksijen, mikroorganizmaların solunum ve metabolik aktivitelerinin anahtar elementidir (Tchobanoglous and Kreith, 2002). Kompostlamada kütledeki oksijen konsantrasyonunun % 5-15 aralığında olması gerekmektedir (Arıkan 2003). Yüksek oksijen konsantrasyonunun prosese negatif bir etkisi yoktur. Ancak aşırı havalandırma kompost yığınının sıcaklığının düşmesine ve işletme maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır.

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).

Kompostlamada havalandırma yeterli değilse anaerobik asit evresi meydana gelir. Böyle bir durumda çeşitli hidrolitik ve fermentatif bakteri popülasyonları polimerleri çözünebilir şekerlere, aminoasitlere, uzun zincirli karboksilik asitlere hidrolize eder. Bu ürünler ise ileri derecede mayalanma göstererek kısa zincirli karboksilik asitlere, karbondioksite, asetata, hidrojene ve alkollere dönüşür. Ayrışmanın son evresi (nötr pH' ta) mikroorganizmaların en karmaşık etkileşim gösterdiği evredir. Burada metajonik bakteriler metan üretir (Varank 2006).

Kompostlama prosesinde havalandırma esas olarak üç amaca yönelik olarak gerçekleştirilir.

- Biyolojik ayrışmanın sağlanabilmesi için (Stokiyometrik ihtiyaç),
- Kompostlanacak atığın bünyesindeki fazla suyu uzaklaştırmak için (kurutma ihtiyacı),

- Fazla ısıyı uzaklaştırmak için (sıcaklık kontrolü),

Stokiyometrik ihtiyaç atığın kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmekle beraber 1,2 - 2,0 g O₂/g. ayrışabilir katı madde değeri birçok substrat için kullanılabilir (Haug 1993). Külcü ve Yıldız (2004) tarafından zirai atıklar üzerine yapılan çalışmada ise hava 0,1 L hava/dakika/kg organik madde, 0,2 L hava/dakika/kg organik madde, 0,4 L hava/dakika/kg organik madde ve 0,8 L hava/dakika/kg organik madde olmak üzere dört farklı hızda kompost reaktörlerine verilmiş ve en yüksek organik madde ayrışmasının 0,4 L hava/dakika/kg organik madde havalandırma hızında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

2.2.9.5 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 kompostlama süresi sonunda pH 7,8-8,0 arasında stabil hale gelir (Graves ve Hattemer 2000, Varank 2006). Başlangıçta CO₂ ve organik asitlerin oluşumu nedeniyle pH değeri yaklaşık 5-6 seviyesine düşerken, proses ilerledikçe 8,0-8,5 seviyesine kadar ulaşabilir. Bu durum çoğunlukla, CO₂ eliminasyonundan olduğu kadar proteinlerin ayrışmasından da ileri gelmektedir (Sharma ve ark. 1997, Varank 2006).

2.2.9.6. Porozite ve serbest hava boşluğu (FAS)

Kompostlama prosesinde en önemli hacim ifadeleri porozite ve serbest hava boşluğudur.

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

$$n = V_{\text{bosluk}} / V_{\text{toplaml}}$$

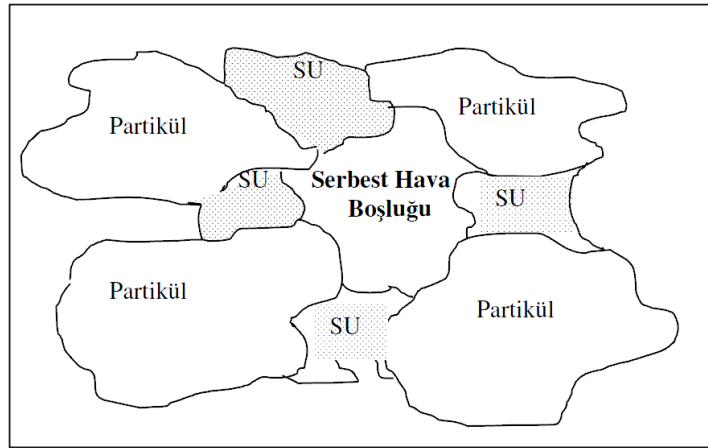
$$n = (V_{\text{toplaml}} - V_{\text{katı}}) / V_{\text{toplaml}} = 1 - V_{\text{katı}} / V_{\text{toplaml}}$$

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

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

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

Serbest hava boşluğu kavramı Epstein (1997) tarafından şematik olarak ifade edilmiştir (Şekil 2.9).



Sekil 2.9 Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki (Epstein 1997)

Schulze (1962), evsel atıkların ve çamurların 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 atıklarla yaptıkları kompostlama çalışmaları sonucunda serbest hava boşluğunun % 30-36 olması halinde en verimli sonuçları elde ettiklerini belirtmişlerdir. Haug (1993) da atık türü ve kullanılan teknolojiye bağlı olmaksızın yeterli oksijenin sağlanabilmesi için minimum serbest hava boşluğunun % 20-30 olması gerektiğini belirtmişlerdir (Spinosa and Vesilind, 2001).

2.2.9.7. Partikül boyutu

Kompostun partikül boyutu kompostlama işlemine etki etmektedir. Küçük parçalardaki kompost hammaddesi daha yüksek kompostlama oranına sahiptir. Küçük hammadde parçaları hacimlerine oranla daha geniş yüzey alanlarına sahiptirler. Bu mikroorganizmaların organik bileşikleri parçalamak için daha fazla yüzey alanında faaliyet göstermesi demektir. Küçük parçalı kompost ayrıca elektrik iletkenliğini azaltır ve daha homojen bir karışım oluşmasını sağlar. Artan yalıtım kapasitesi kompost yığınındaki optimum sıcaklığı korumaya destek olur. Aynı zamanda partikül boyutları çok da küçük olmamalıdır ki bu da oksijen için gerekli boşlukların kapanmasına sebep olur ve kompostlamayı engeller (USEPA 1994, İnan 2012). Hayvansal atıkların kompostlanmasında partikül boyutları 0,5-5,0 cm, önerilen ise 0,5-2,5 cm 'dir (Rynk 1992, İnan 2012). Arıtma çamurlarının kompostlanmasında ise partikül çapı 1,6 cm' den büyük olmamalıdır (Gouin 1992, İnan 2012).

3. MATERİYAL METOD

3.1 Kompost Malzemeleri ve Deney Düzenegi

Bu çalışmada kompostlamada kullanılan atıklar; büyük baş hayvan gübresi, atıksu arıtma tesisi çamuru, çınar yaprağı, ayçiçeği sapı ve patates kabuğudur.

Büyük baş hayvan gübresi Uludağ Üniversitesi Ziraat Mühendisliği Bölümü Çiftliklerinden temin edilmiştir. Büyük baş hayvan ahırlarından hayvanların bulunduğu açık alanın zemininden kürek yardımı ile toplanmıştır. Büyük baş hayvan gübresi reaktörlere yükleme yapılacağı gün içerisinde taze olarak alınmıştır. Çalışmada kullanılan gübrelerin karakteristiği Çizelge 3.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan büyük baş hayvan gübrelerinin karakteristiği

Parametreler	03.05.2011 Gübre	05.07.2011 Gübre	02.08.2011 Gübre	02.01.2012 Gübre
pH (1:10, saf su ekstraktı)	7,99 ±0,01	8,06±0,01	7,65±0,00	8,02±0,00
EC, mS/cm (1:10, saf su ekstraktı)	4,45±0,00	4,05±0,03	4,97±0,01	12,38±0,02
Nem, %	73,33±1,8	78,3±0,2	79,13±1,3	81,46±0,5
OM, %	67,85±2,0	77,34±0,6	82,37±1,7	80,22±0,02
OC, %	34,03±2,3	34,73±0,49	42,58±0,06	35,16±0,09
NH ₄ -N mg/kg kuru çamur	29,13±1,2	69,97±3,5	75,81±5,12	250,7±12,32
NO ₃ -N mg/kg kuru çamur	0,00	75,8±4,2	74,36±6,3	52,47±3,81
TKN, %	2±0,02	2,32±0,01	1,84±0,01	2,69±0,02
TN %	2,00	2,33	1,85	2,70
C/N	17,02	14,92	23,05	13,05

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan büyük baş hayvan gübrelerinin karakteristiği (devam)

Parametreler	18.01.2012 Gübre	28.03.2012 Gübre	18.04.2012 Gübre	23.05.2012 Gübre
pH (1:10, saf su ekstraktı)	7,66±0,01	8,02±0,00	6,67±0,01	7,88±0,01
EC, mS/cm (1:10, saf su ekstraktı)	4,54±0,01	4,13±0,01	3,38±0,05	4,53±0,00
Nem, %	82,65±0,5	81,76±0,07	81,07±1,0	82,07±0,4
OM, %	79,09±0,01	77,88±0,2	83,95±0,5	78,93±0,1
OC, %	43,94±0,77	43,27±2,67	46,63±1,27	43,85±0,25
NH₄-N mg/kg kuru çamur	99,12±3,37	104,98±0,17	151,62±4,33	104,94±5,93
NO₃-N mg/kg kuru çamur	40,82±2,11	122,48±0,76	46,65±2,25	110,76±7,36
TKN, %	1,98±0,01	2,42±0,01	2,72±0,03	1,91±0,01
TN %	1,98	2,43	2,72	1,92
C/N	22,15	17,19	17,11	22,83

Atıksu arıtma tesisi çamuru, çalışmanın başlangıcında Yenice Belediyesi' ne bağlı Yenice evsel nitelikli atıksu arıtma tesisinden temin edilmesi planlanmış ve ilk denemede buradan alınan arıtma çamuru kullanılmıştır. Ancak daha sonrasında arıtma tesisinde meydana gelen aksaklıklar yüzünden arıtma çamuru ihtiyacı Penguen Gıda A.Ş.' nin Bursa' da bulunan konserve fabrikası atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir.

Arıtma çamuru ihtiyaç doğrultusunda aralıklarla alınmıştır. Arıtma çamuruna ait karakteristikler Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Arıtma çamurlarının karakteristiği

Parametreler	14.04.2011 Yenice Çamuru	05.07.2011 Penguen Çamuru	02.01.2012 Penguen Çamuru	06.03.2012 Penguen Çamuru
pH (1:10, saf su ekstraktı)	6,94±0,01	6,99±0,01	6,66±0,01	8,45±0,01
EC, mS/cm (1:10, saf su ekstraktı)	3,83±0,01	5,8±0,01	6,53±0,01	2,62±0,06
Nem, %	83,06±1,2	82,91±2,02	84,5±2,1	84,4±4,0
OM, %	73,99±0,8	49,48±0,5	51,65±0,06	67,6±0,49
OC, %	20,8±0,23	21,24±0,54	23,35±0,47	17,5±0,39
NH₄-N mg/kg kuru çamur	1300±37,98	288,61±7,53	1638,32±59,36	70,0±0,02
NO₃-N mg/kg kuru çamur	64,11±2,31	618,03±6,37	78,71±1,65	70,0±0,02
TKN, %	6,35±0,23	3,12±0,00	3,54±0,08	2,47±0,20
TN %	6,36	3,18	3,55	2,48
C/N	3,27	6,68	6,58	7,10

Çınar yaprakları, Uludağ üniversitesi Görükle yerleşkesinde bulunan ağaçlardan temin edilmiştir. Ağaçlardan dökülen yapraklar toplanmış ve bir süre serilerek kurutulmuştur. Toplanan yapraklar daha sonra Uludağ Üniversitesi Ziraat Mühendisliği bölümüne ait öğütücülerde öğütülerek kompostlama işlemi için uygun partikül boyutuna gelecek şekilde parçalanmıştır.

Çalışmada kullanılan ayçiçeği sapları yine Uludağ Üniversitesi Ziraat Mühendisliği bölümüne ait tarlalardan hasat edilmiş ayçiçeklerinin tarlada bırakılan sapları toplanarak elde edilmiştir. Toplanan saplar daha sonra yine Uludağ Üniversitesi Ziraat Mühendisliği bölümüne ait öğütücülerde öğütülerek kompostlama işlemi için uygun partikül boyutuna gelecek şekilde parçalanmıştır.

Patates kabukları, Bursa Nilüfer Belediyesi'ne bağlı bulunan Görükle Beldesi'nde ki lokantalardan yükleme yapılacağı gün taze olarak temin edilmiştir. Toplanan patates kabukları bıçak yardımıyla elde ufak parçalar halinde doğrandıktan sonra reaktörlerde kullanılmıştır.

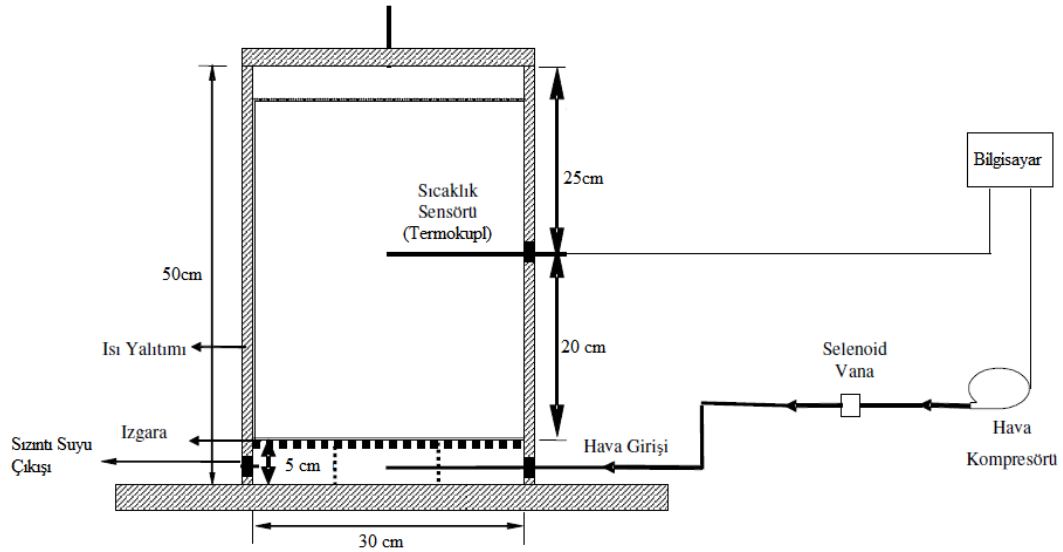
Çınar yaprağı, ayçiçeği sapı ve patates kabuklarının karakteristiği Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Çınar yaprağı, ayçiçeği sapı ve patates kabuğunun karakteristiği

Parametreler	Çınar yaprağı	Ayçiçeği Sapı	Patates Kabuğu
pH (1:10, saf su ekstraktı)	6,45±0,01	6,69±0,01	6,25±0,01
EC, mS/cm (1:10, saf su ekstraktı)	1,54±0,07	0,20±0,00	2,24±0,02
Nem, %	21,2±1,03	10,3±0,12	81,28±5,3
OM, %	80,0±6,3	91,6±2,4	84,5±3,2
OC, %	41,6±3,0	47,0±0,94	46,95± 0,5
NH ₄ -N mg/kg kuru çamur	0	0	0,00
NO ₃ -N mg/kg kuru çamur	0	0	0,00
TKN, %	0,87±0,02	0,485±0,10	1,5±0,01
TN %	0,82	0,485	1,50
C/N	50,72	96,6	31,30

Hayvan dışkılarının biyolojik proseslere uygunluğu açısından önemli faktörlerden biri biyolojik olarak çözünürlüktür. Gübrenin içerdiği yüksek miktardaki lignin mikrobiyolojik atağa karşı direnç gösterdiğinden genelde sığır katı atıklarının biyolojik çözünürlük oranı düşük olmaktadır. Sığır gübresinde kesikli reaktörler kullanılarak yapılan bir çalışmada biyolojik çözünürlük % 40 olarak bulunmuştur. Bu değer hayvan gübresine maya veya maya fabrikası atıksuları ile karıştırıldığında ise % 50 değerine ulaşabilmektedir (Baban 1982).

Denemelerde havalı kompostlama, kesikli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Reaktörlere hava 8 çıkışlı 1 adet akvaryum pompası (Şekil 3.3) 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 kütlesinin 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.



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

Optimum kompostlama veriminin hesaplanması amaçlanan bu çalışmada büyük baş hayvan gübresi, arıtma çamuru, çınar yaprağı, ayçiçeği sapı ve patates kabuğundan oluşan 19 adet farklı karışım hazırlanmıştır. Kompost karışımlarının hazırlanışı Şekil 3.4 ve 3.5 'de gösterilmiştir. Büyük baş hayvan gübresi ve arıtma çamuru her reaktörde ana materyal olarak kullanılmış olup çınar yaprağı ayçiçeği sapı ve patates kabuğu ikincil materyal olarak eklenmiştir. Reaktörler en fazla 21 gün çalıştırılmıştır. Sıcaklık artışının 40 °C' yi aşmadığı denemelerde bu süre kısaltılmıştır. Reaktörlerden başlangıç (0. Gün) ve bitiş (21. Gün) günleri haricinde 2., 7., ve 14. günlerde örnek alınmıştır. Kompost karışımının homojenliğini sağlamak ve havalandırmak için reaktörler günaşırı 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 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Kompost karışımlarının hazırlanması



Şekil 3.5 Hazırlanmış kompost karışımı

Çizelge 3.4 Kompost karışımlarının içerikleri ve oranları

	1. Deneme (S1)	2. Deneme (S2)	3. Deneme (S3)	4. Deneme (S4)	5. Deneme (S5)
Başlangıç tarihi	11.04.2011 Pazartesi	03.05.2011 Salı	05.07.2011 Salı	05.07.2011 Salı	02.08.2011 Salı
Bitiş tarihi	18.04.2011	24.05.2011	26.07.2011	26.07.2011	16.08.2011
Karışım oranı	Çamur: 30% Ç.Yaprağı: %40 Gübre: %30	Çamur: 40% Ç.Yaprağı: %30 Gübre: %30	Çamur: 50% Ç.Yaprağı: %30 Gübre: %20	Çamur: 20% Ç.Yaprağı: %30 Gübre: %50	Çamur %50 Ç.Yaprağı %20 Gübre %30
Toplam kütle (kg)	6	7	8	8	9,2
Başlangıçtaki C/N	22,77	21,72	27,85	30,06	25,72
Başlangıçtaki Nem (%)	55,39	58,60	62,64	60,29	66,80
Max. Sıcaklık (°C)	38	53,6	41,6	49,6	52,4
Notlar	1 hafta sürdü. Yapraklar öğütülmeden direk elle karıştırıldı. Yenice çamuru kullanıldı	Önceden öğütülmüş yaprak kullanıldı. Aynı gün alınan gübre kullanıldı. 15.04 de alınan Yenice çamuru kullanıldı.	Aynı gün Penguenden alınan çamur+aynı gün alınan gübre ve öğütülmüş yaprak	Aynı gün Penguenden alınan çamur+aynı gün alınan gübre ve öğütülmüş yaprak	02.08.2011 tarihinde alınan gübre ile 05.07.2011 tarihinde Penguenden alınan çamur kullanıldı

Çizelge 3.4 Kompost karışımlarının içerikleri ve oranları (devam)

	6. Deneme (S6)	7. Deneme (S7)	8. Deneme (S8)	9. Deneme (S9)	10. Deneme (S10)
Başlangıç tarihi	03.01.2012 Salı	03.01.2012 Salı	03.01.2012 Salı	18.01.2012 Çarşamba	18.01.2012 Çarşamba
Bitiş tarihi	17.01.2012	17.01.2012	17.01.2012	08.02.2012	08.02.2012
Karışım oranı	Çamur % 30 Ç.Yaprağı %20 Gübre %50	Çamur %60 Ç.Yaprağı %10 Gübre %30	Çamur %80 Ç.Yaprağı %20	Çamur %40 Ç.Yaprağı %10 Gübre %50	Çamur %40 Ç.Yaprağı %10 Gübre %50 (100gr toz halde glikoz)
Toplam kütle (kg)	9,5	14,3	10,5	12,5	12,5
Başlangıçtaki C/N	22,62	31,61	17,12	15,23	16,09
Başlangıçtaki Nem (%)	69,69	75,48	70,62	73,61	72,94
Max. Sıcaklık (°C)	36,9	34,4	33,5	40,8	43,2
Notlar	02.01.2012 tarihinde alınan Penguen çamur ve gübre kullanıldı	02.01.2012 tarihinde alınan Penguen çamur ve gübre kullanıldı	02.01.2012 tarihinde alınan Penguen çamur kullanıldı	02.01.2012 tarihinde alınan Penguen çamur ve 18.01.2012 tarihli gübre kullanıldı	02.01.2012 tarihinde alınan Penguen çamur ve 18.01.2012 tarihli gübre kullanıldı ayrıca toz halde 100 gr glikoz ilave edildi

Çizelge 3.4 Kompost karışımlarının içerikleri ve oranları (devam)

	11. Deneme (S11)	12. Deneme (S12)	13. Deneme (S13)	14. Deneme (S14)	15. Deneme (S15)
Başlangıç tarihi	18.01.2012 Çarşamba	28.03.2012 Çarşamba	28.03.2012 Çarşamba	25.04.2012 Çarşamba	25.04.2012 Çarşamba
Bitiş tarihi	08.02.2012	18.04.2012	18.04.2012	15.04.2012	15.04.2012
Karışım oranı	Çamur %40 Ayç. Sapı %10 Gübre %50	Çamur %30 Ç.Yaprağı %30 Gübre %40	Çamur %30 Ç.Yaprağı %20 Gübre %50	Çamur %30 Ç.Yaprağı %20 Gübre %50	Çamur %30 Ç.Yaprağı %20 Gübre %50
Toplam kütle (kg)	11,5	10	11,7	8,8	8,6
Başlangıçtaki C/N	17,96	32,40	24,82	26,10	25,75
Başlangıçtaki Nem (%)	72,36	61,86	73,61	70,67	67,53
Max. Sıcaklık (°C)	57,3	48,8	50,9	48,7	46,9
Notlar	02.01.2012 tarihinde alınan Penguen çamuru ve 18.01.2012 tarihli gübre kullanıldı	28.03.2012 tarihinde alınan penguen çamuru ve gübre kullanıldı	28.03.2012 tarihinde alınan penguen çamuru ve gübre kullanıldı	28.03.2012 tarihinde alınan penguen çamuru ve 18.04.2012 tarihli gübre kullanıldı	28.03.2012 tarihinde alınan penguen çamuru ve 18.04.2012 tarihli gübre kullanıldı

Çizelge 3.4 Kompost karışımlarının içerikleri ve oranları (devam)

	16. Deneme (S16)	17. Deneme (S17)	18. Deneme (S18)	19. Deneme (S19)
Başlangıç tarihi	25.04.2012 Çarşamba	25.04.2012 Çarşamba	23.05.2012 Çarşamba	23.05.2012 Çarşamba
Bitiş tarihi	15.04.2012	15.04.2012	13.06.2012	13.06.2012
Karışım oranı	Çamur %30 Ç.Yaprağı %20 Gübre %50 (+ patates k.)	Çamur %30 Ayç. Sapı. %20 Gübre %50	Çamur %50 Ç.Yaprağı %20 Gübre %30 (+ patates k.)	Çamur %40 Ç.Yaprağı %10 Gübre %50 (+ patates k.)
Toplam kütle (kg)	8,9	7,5	8,81	11,71
Başlangıçtaki C/N	26,46	31,00	22,06	19,64
Başlangıçtaki Nem (%)	70,76	63,89	72,00	77,37
Max. Sıcaklık (°C)	61,5	65,1	49,9	56,9
Notlar	28.03.2012 tarihinde alınan Penguen çamuru ve 18.04.2012 tarihli gübre kullanıldı 25,04,2012 de alınan patates kabukları kullanıldı	28.03.2012 tarihinde alınan Penguen çamuru ve 18.04.2012 tarihli gübre kullanıldı	28.03.2012 tarihinde alınan Penguen çamuru ve 23.05.2012 tarihli gübre kullanıldı aynı gün alınana patates kabukları küçük parçalara ayrılarak toplam karışımın %20 sini oluşturacak miktarda ilave edildi	28.03.2012 tarihinde alınan Penguen çamuru ve 23.05.2012 tarihli gübre kullanıldı aynı gün alınana patates kabukları küçük parçalara ayrılarak toplam karışımın %20 sini oluşturacak miktarda ilave edildi

3.2.2. Analiz yöntemleri

Reaktörlere konulan karışımlardan 0, 2, 7, 14 ve 21. günlerde örnekler alınmış ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Büyük baş hayvan gübresi, 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 vd., 1993; Diaz vd. 2007; Khalil vd., 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). Katkı maddelerinin kolay okside olabilir organik karbon konsantrasyonları, örnekler 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.

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

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

$$FAS = \% n * 1 - \frac{\% nem}{100}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kompost Ham Maddelerinin ve Başlangıç Kompost Karışımlarının Karakterizasyonu

Deneylerde kullanılan büyük baş hayvan gübresi, arıtma çamuru ve diğer katkı maddelerinin karakterizasyonuna ait veriler daha önceki bölümde Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3’ de verilmiştir. Büyük baş hayvan gübresi azotça zengindir, çok nemlidir ve kolay bozunur. Nem içeriği ve C/N oranı; hayvanlarda kullanılan altlığa, operasyon türüne ve mevsime göre değişir. Kompostlama için genellikle kuru ve karbonca zengin düzenleyici gerektirmektedir. Yatak malzemesiyle karışık dışkının C/N oranı yüksek ve kurudur. Kompost karışımlarında çok miktarda kullanıldığında, sıvı dışkı elekten geçirilmeli veya kurutulmalıdır. Sonuç olarak iyi bir kompostlama maddesidir (Öztürk 2005).

Bu çalışmada büyük baş hayvan gübresi ve arıtma çamuru sabit kalacak şekilde öncelikle çınar yaprağı ikincil ham madde olarak kullanılmış ve kompostlanabilirliği incelenmiştir. Ardından yapılan denemelerden en iyi sonuç elde edildiği düşünülen karışım oranında çınar yaprağı yerine ayçiçeği sapı kullanılarak karşılaştırma yapılmak istenmiştir. Son olarak da çınar yaprağının kullanıldığı karışım oranına patates kabuğu ilave edilerek kompostlamaya etkisi incelenmek istenmiştir. Kompost karışımları ham maddelerin kütlece oranları bazında hazırlanmıştır. Çalışmada hazırlanan kompost karışımlarının içerikleri ve oranları Çizelge 3.4’ de verilmiştir.

Yapılan 19 denemenin daha kolay yorumlana bilmesi için denemeler ikincil ham madde olarak kullanılan kuru çınar yaprağı oranlarına (%40, %30, %20 ve % 10) göre dört ana grupta incelenebilir.

Birinci grupta ikincil hammadde oranı %40 olan 1. deneme (S1) bulunmaktadır. İlk denemede ham maddelerin karışım oranları olabildiğince birbirine yakın seçilmiştir. Fakat kuru çınar yaprağı oranının (% 40) fazla olması dolayısı ile karışımın nem değeri düşüktür bu nedenle reaktörün maksimum sıcaklığı 40⁰ C’ nin üstüne çıkamamış ve başarısız kabul edilmiştir.

İkinci grupta ikincil ham madde oranı %30 olan denemeler bulunmaktadır. Bu denemeler; S2, S12, S3 ve S4'dür. Çizelge 4.1'de bu denemelere ait veriler yer almaktadır.

Çizelge 4.1 İkinci grup denemelerine ait veriler

Deneme No	S4	S12	S2	S3
Karışım oranı	Çamur: 20% Ç.yaprağı: %30 Gübre: %50	Çamur %30 Ç.yaprağı %30 Gübre: %40	Çamur: 40% Ç.yaprağı: %30 Gübre: %30	Çamur: 50% Ç.yaprağı: %30 Gübre: %20
Max. Sıcaklık	49,6	48,8	53,6	41,6
Başlangıçtaki C/N	30,06	32,4	21,72	27,85
Başlangıçtaki Nem	60,29	61,86	58,6	62,64
FAS	28,27	27,37	28,28	23,43

Çizelge 4.1' de de görüldüğü üzere kompost karışımının birincil ham maddeleri olan arıtma çamuru ve gübrenin oranları değiştirilerek verimleri karşılaştırılmak istenmiştir. Bu grup içerisinde yapılan denemelerin hepsinde C/N ve nem değeri olarak literatürde verilen optimum değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir. Fakat ulaşılan maksimum sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonuç S2 denemesinde elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak da C/N oranının düşük olması dolayısı ile toplam azot değerinin fazla olması ve buna bağlı olarak mikrobiyal aktivitenin hızlı bir şekilde gerçekleştiği söylenebilir. Erdin (2005)' in dönerli tamburla yaptığı deneylerde C/N oranının azalması ile intibak süresinin azaldığını dolayısı ile kompostlama süresinin kısaldığını tespit etmiştir.

Üçüncü grupta ikincil ham madde oranı %20 olan denemeler bulunmaktadır. Bu denemeler; S5, S6, S8, S13, S14, S15, S16, S17 ve S18'dir. Çizelge 4.2' de bu denemelere ait veriler yer almaktadır.

Çizelge 4.2 Üçüncü grup denemelerine ait veriler

	S5	S18	S6	S13	S14	S15	S16	S17	S8
Karışım oranı	Çamur %50 Ç.yaprakı %20 Gübre %30	Çamur %50 Ç.yaprakı %20 Gübre %30 (+ Patates k.)	Çamur %30 Ç.yaprakı %20 Gübre %50	Çamur %30 Ç.yaprakı %20 Gübre %50	Çamur %30 Ç.yaprakı %20 Gübre %50	Çamur %30 Ç.yaprakı %20 Gübre %50	Çamur %30 Ç.yaprakı %20 Gübre %50 (+ Patates k.)	Çamur %30 Ayçiçeği s. %20 Gübre %50	Çamur %80 ç.Yaprakı %20
Max. Sıcaklık	52,4	49,9	36,9	50,9	48,7	46,9	61,5	65,1	33,5
Başlangıçtaki C/N	25,72	22,06	22,62	24,82	26,1	25,75	26,46	31	17,12
Başlangıçtaki Nem	66,88	72	69,69	73,61	70,67	67,53	70,76	63,89	70,62
FAS	20,12	17,07	20,86	17,34	19,37	22,16	18,72	23,47	15,84

Çizelge 4.2’ de de görüldüğü üzere üçüncü gruptaki deneylerde kuru çınar yaprağının kullanıldığı oranlara patates kabuğu ilave edilerek kompostlama verimine etkisi incelenmiştir. Patates kabuğu içerdiği yüksek miktarda kolay parçalanabilen C oranı sayesinde kompostlama prosesinde biyolojik aktivitenin artması dolayısı ile de kompost veriminin artması amaçlanmıştır. Ayrıca S17 denemesinde ikincil ham madde olarak ayçiçeği sapı ilave edilmiştir bu sayede kuru çınar yaprağı ile kompostlama verimine etkileri karşılaştırılmıştır. S8 denemesinde ise birincil ham madde olarak sadece arıtma çamuru kullanılmıştır.

S6, S13, S14 ve S15 denemelerinde aynı oran kullanılmıştır. Bu sayede yapılan denemelerin doğruluğu belirlenmek istenmiştir. S13, S14 ve S15 denemelerinde elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır buda yapılan denemelerin güvenilirliğini göstermektedir. Kütlece aynı oranda olmalarına karşın C/N ve nem değerlerinde ki küçük farklılıklardan dolayı ulaşılan maksimum sıcaklıklarda da küçük farklar gözlenmektedir.

S6 denemesi S13, S14 ve S15 denemeleriyle kütlece aynı oranda olmasına rağmen S6 denemesinde sıcaklık artışı çok düşük olmuştur. Bunun sebebi ise kompost karışımında

kullanılan gübre olduğu düşünülmektedir. Çünkü aynı gübre ile yapılan S7 denemesinde de sıcaklık artışı olmamıştır.

S16 denemesinde S6, S13, S14 ve S15 denemeleriyle aynı karışım oranı kullanılmıştır fakat bu karışıma ek olarak toplam karışım kütlelerinin %20 sini oluşturacak şekilde doğranmış taze patates kabuğu ilave edilmiştir. İlave edilen patates kabuğu C/N oranı ve nem değerlerinde çok büyük bir değişime sebep olmamıştır. Fakat içerdiği yüksek miktarda kolay parçalanabilen C sayesinde mikrobiyolojik aktiviteyi hızlandırmış ve dolayısı ile diğer denemelere nazaran çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşmıştır (Tchobanoglous and Kreith 2002).

S17 denemesinde ikincil ham madde olarak kuru çınar yaprağı yerine öğütülmüş ayçiçeği sapı kullanılmıştır. Bilindiği üzere ayçiçeği sapının dış kısmı sert ve lifli iç kısmı ise süngerimsi bir dokuya sahiptir. Dış kısmı kompost karışımı için iyi bir hacimleştirici olarak görev alırken iç kısmı ise kolay parçalanabilir olduğundan dolayı kompost karışımına gerekli C' u sağlayabilmektedir. Kuru çınar yaprağı ise zor parçalanır ve iyi bir hacimleştirici değildir. Fakat ayçiçeği sapına nazaran elde etmesi daha kolay bir malzemedir. S17 denemesini S6, S13, S14, S15 ve S16 denemeleri ile karşılaştırdığımızda karışımların aynı oranda hazırlanmış olmasına rağmen daha iyi C/N ve nem değerleri elde edilmiştir. Bunun dışında ulaşılan maksimum sıcaklık değeri ise patates kabuğu ilavesinin yapılmış olduğu S16 denemesinden bile yüksektir. Bunun sebebi olarak ise ayçiçeği sapının iyi bir C kaynağı olmasının yanında iyi de bir hacimleştirici olduğu söylenebilir.

S5 ve S18 denemeleri kütlece aynı oranlarda hazırlanmıştır. S18 denemesine toplam kütlelerinin %20 sini oluşturacak kadar doğranmış taze patates kabuğu ilave edilmiştir. İlave edilen patates kabuğu C/N oranını düşürmüştür fakat nemin artmasına sebep olmuştur. Patates kabuğu ilavesinin S16 da olduğu gibi sıcaklık artışına sebep olmayışının nedeni S18 denemesi esnasında meydana gelen teknik bir arızadan dolayı reaktöre verilen havanın 2. ve 4. günler arasında kesilmesidir. Sıcaklık artışının en çok olduğu bu dönemde reaktör içerisinde yeterli oksijen bulunmamasından dolayı sıcaklık artışı S5 denemesini geçememiştir. Buna rağmen S18 denemesinde sıcaklık 49.9⁰C' ye kadar çıkmıştır.

S8 denemesinde düşük C/N oranına sahip arıtma çamuruna karbon kaynağı olarak sadece kuru çınar yaprağı eklenmiş ve kompostlanabilirliği incelenmek istenmiştir. Fakat kuru çınar yaprağının C değeri yüksek olmasına rağmen kolay parçalanabilir C değerinin düşük olması mikrobiyolojik aktivite yavaş gerçekleşmesine sebep olmuştur ve bunun sonucu olarak da reaktör sıcaklığı maksimum 33.5°C' yi görmüştür (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

Dördüncü grupta ikincil ham madde oranı %10 olan denemeler bulunmaktadır. Bu denemeler; S7, S9, S10, S19 ve S11'dir. Çizelge 4.3'de bu denemelere ait veriler yer almaktadır.

Çizelge 4.3 Dördüncü grup denemelerine ait veriler

	S7	S9	S10	S19	S11
Karışım oranı	Çamur %60 Ç.yaprağı %10 Gübre %30	Çamur %40 Ç.yaprağı %10 Gübre %50	Çamur %40 Ç.yaprağı %10 Gübre %50 (100gr toz halde glikoz)	Çamur %40 Ç.yaprağı %10 Gübre %50 (+ patates k.)	Çamur %40 Ayçiçeği. s. %10 Gübre %50
Max. Sıcaklık	34,4	40,8	43,2	56,9	57,3
Başlangıçtaki C/N	31,61	15,23	16,09	19,64	17,96
Başlangıçtaki Nem	75,48	73,61	72,94	77,37	72,36
FAS	11,22	12,66	12,98	11,74	15,42

Üçüncü grup denemelerine ait yorumlarda da bahsedildiği üzere S6 ve S7 denemelerinde kompost karışımında kullanılan gübreden kaynaklı bir inhibisyon olduğu düşünülmektedir.

Dördüncü grupta S9 denemesi temel alınarak, S10 da toz glikoz ilavesi, S19' da patates kabuğu ilavesi ve S11'de de ikincil ham madde olarak ayçiçeği sapı kullanılmıştır.

İlk olarak S9 denemesi düşük C/N oranına sahip olmasına rağmen hızlı bir mikrobiyal aktivite geçekleşmemiştir (Erdin 2005). Bunun sebebi olarak kullanılabilir karbon miktarının yetersiz olması gösterilebilir (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Ayrıca

yüksek nem içeriğinden dolayı yeterli serbest hava boşluğunun (FAS) bulunmaması da etkili olduğu söylenebilir.

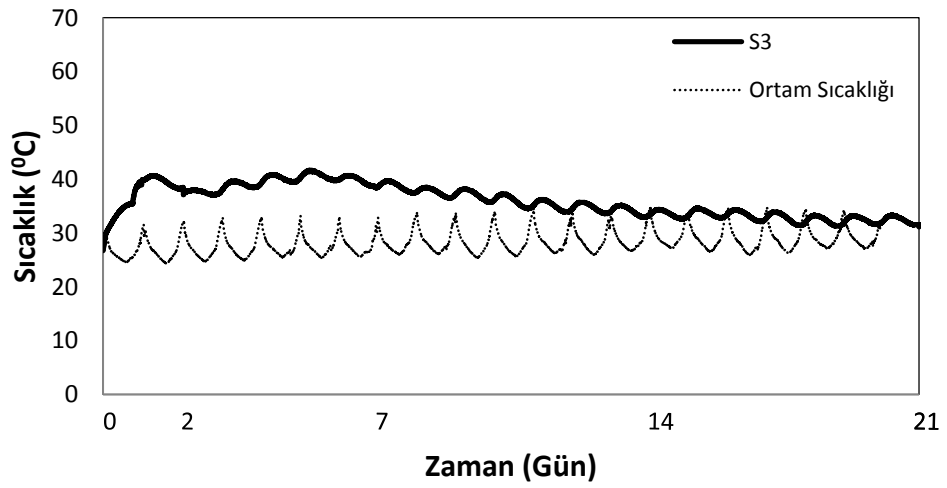
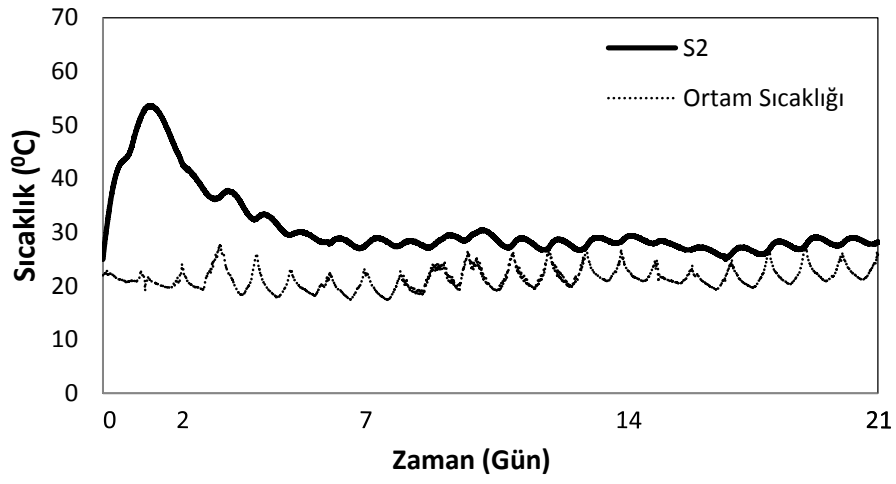
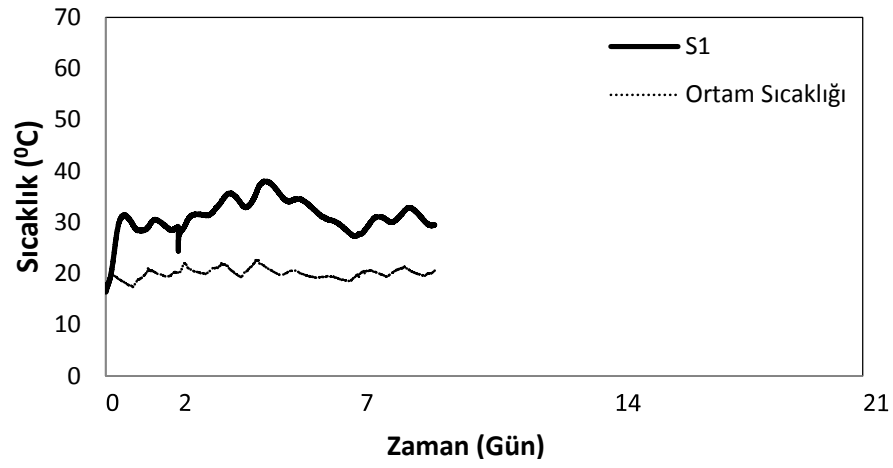
S10 denemesinde S9 denemesine ilave olarak eklenen 100 gr toz halde glikoz kompost karışımı için kolay parçalanabilir C' nu sağlamak için ilave edilmiştir. Fakat ilave edilen toz glikoz C/N oranını çok az etkilemiştir. Buna rağmen ulaşılan maksimum sıcaklık değerinde yaklaşık olarak 3⁰C' lik bir artışa sebep olmuştur. Fakat kompostlama verimini artırmak amacıyla toz glikoz ilavesi çok maliyetli bir işlemdir.

S19 denemesinde de patates kabuğunun kompostlama verimini artırıcı özelliği olduğu görülmektedir. Patates kabukları diğer denemelerde uygulandığı şekilde uygulanmıştır. Patates kabuğu ilavesi sonucunda karışım C/N oranı daha makul değerlere ulaşmıştır. Fakat nem değeri çok yükselmiştir buna rağmen karışımın sıcaklığı kolay parçalanabilen karbonun mikrobiyal aktiviteyi artırması sonucu çok daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Nem değerinin bu kadar yüksek olması karışımın yeterli miktarda havalandırılmasına engel olmaktadır.

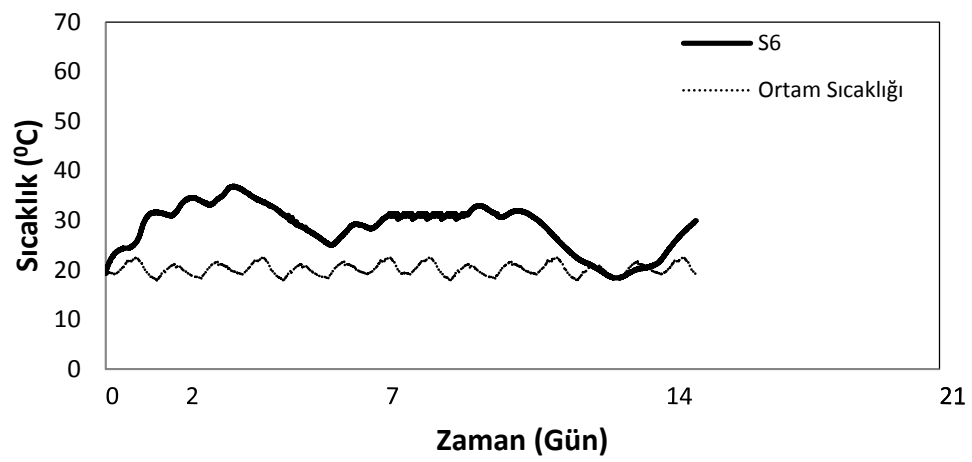
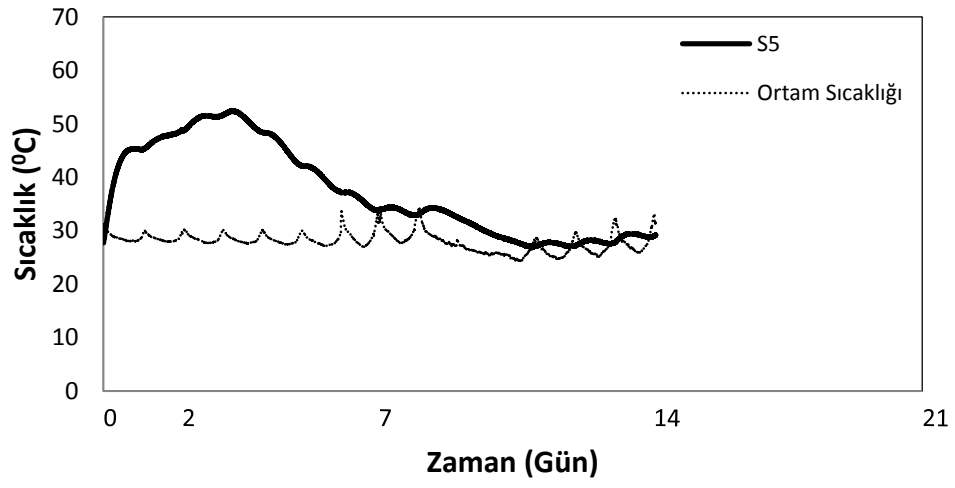
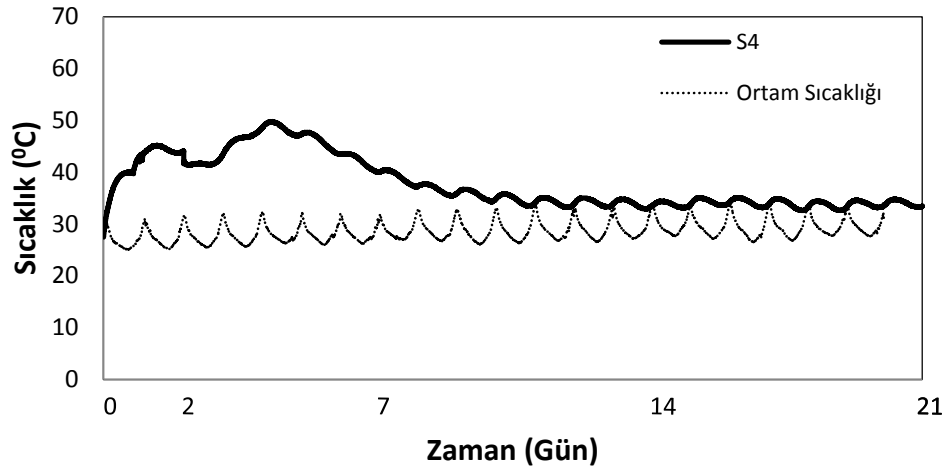
S11 denemesinde ikincil ham madde olarak kullanılan ayçiçeği sapı karışım C/N oranını patates kabuğu kadar artırmamıştır. Buna karşın nem değerini S9 denemesine göre az da olsa düşürmüştür. Buda daha fazla serbest hava boşluğu (FAS) oluşumuna dolayısı ile karışımın daha iyi havalanmasına sebep olmuştur. Optimum kompostlama verimi için literatürde FAS değeri minimum 20 maksimum 36 olarak belirtilmiştir. Daha düşük FAS değerlerinde kompost karışımının yeterli miktarda havalandırılmayacağı belirtilmiştir. Ulaşılan maksimum sıcaklık açısından S19' u azda olsa geçmeyi başarmıştır.

4.2 Sıcaklık Değişimleri

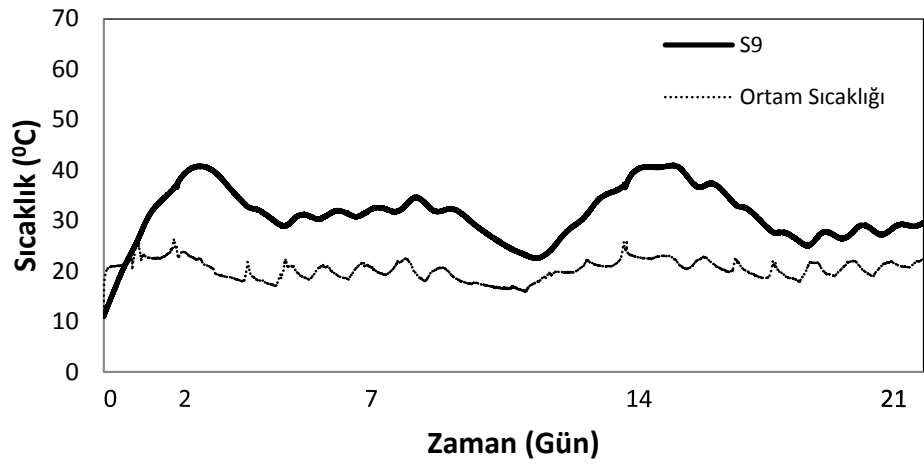
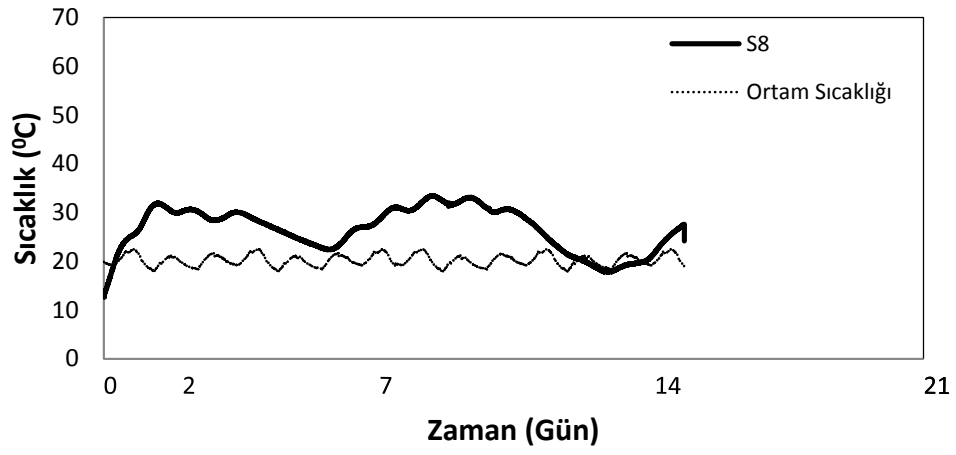
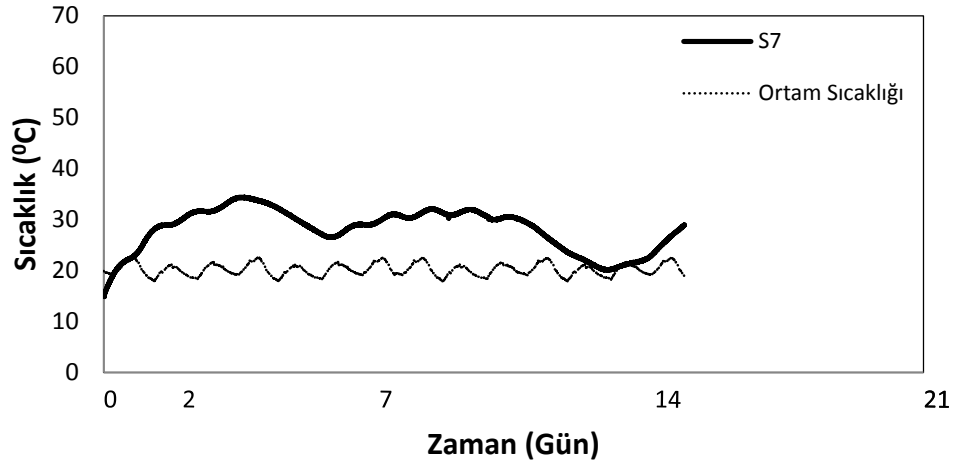
Çalışmada sıcaklık ölçümleri dakikada bir veri kaydedilecek şekilde reaktörlerin merkezine yerleştirilen problarla gerçekleştirilmiştir. Kompostlama reaktörlerinde ki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Kompostlama reaktöründe sıcaklığı ilk 14 günde 40°C' nin üzerine çıkamayan denemeler (S1, S6, S7 ve S8) başarısız kabul edilip 21 günü tamamlaması beklemeden bitirilmiştir.



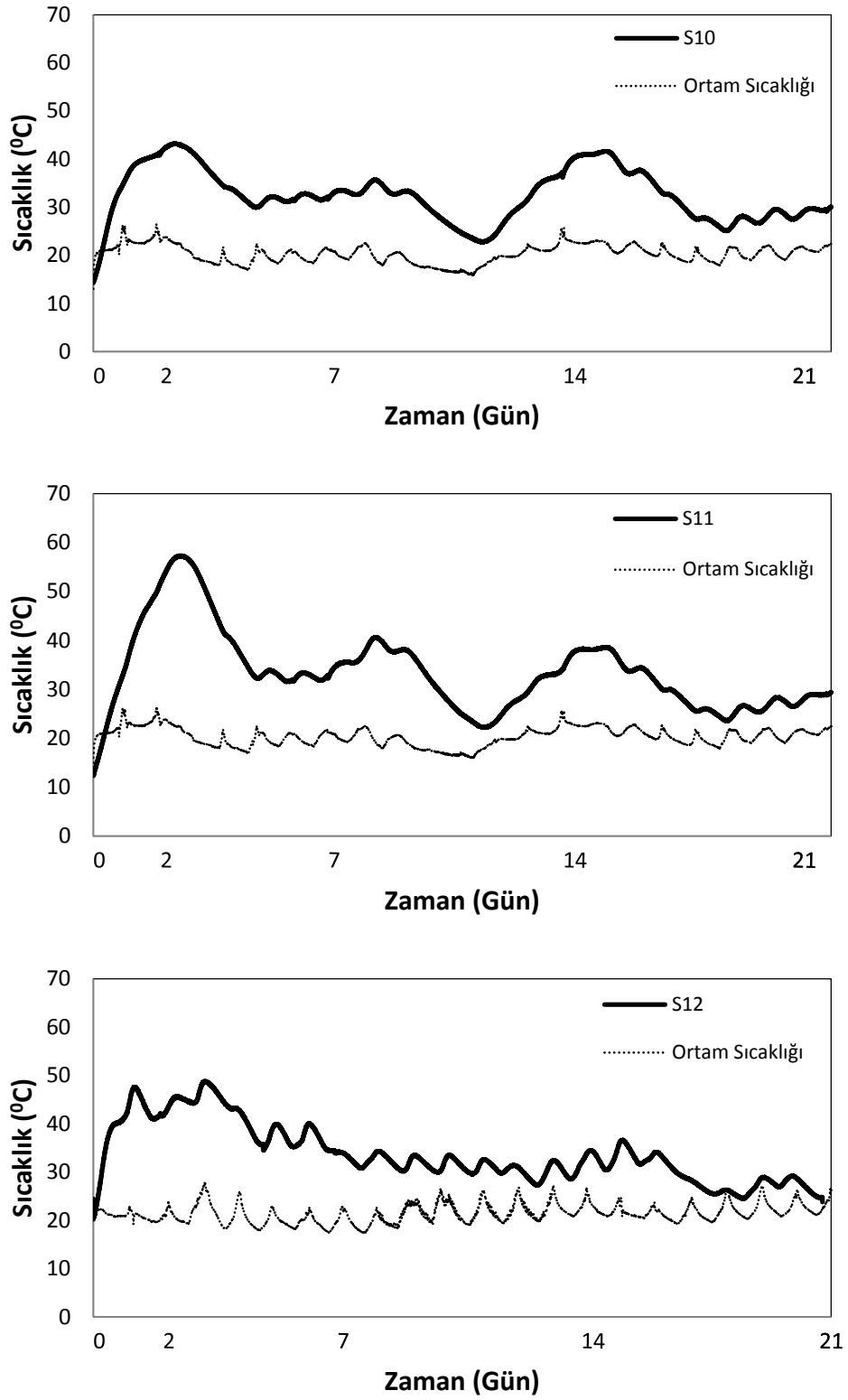
Şekil 4.1 Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları



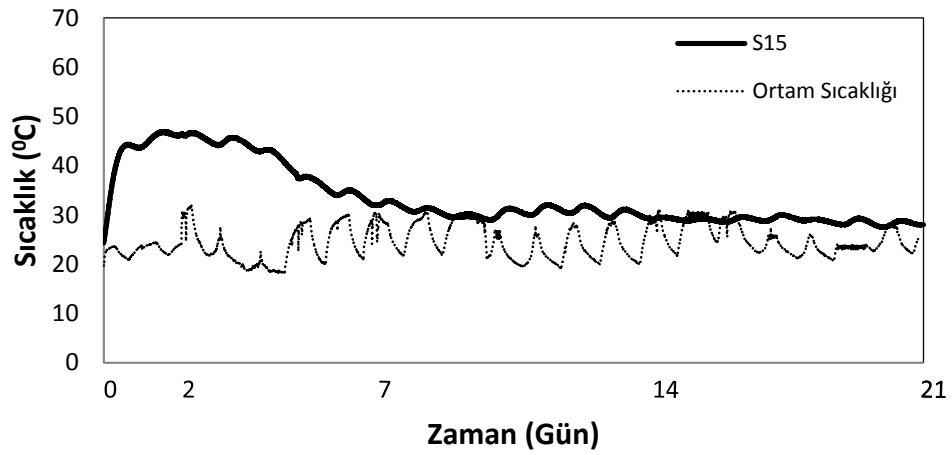
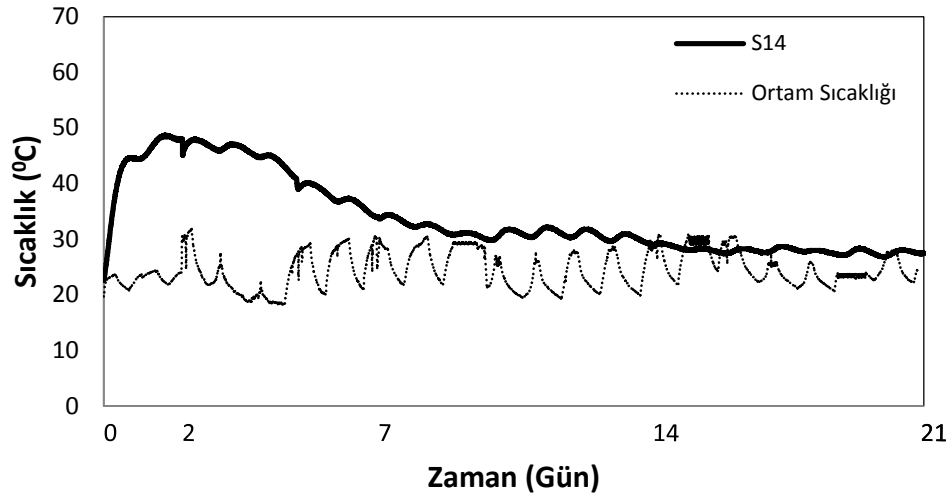
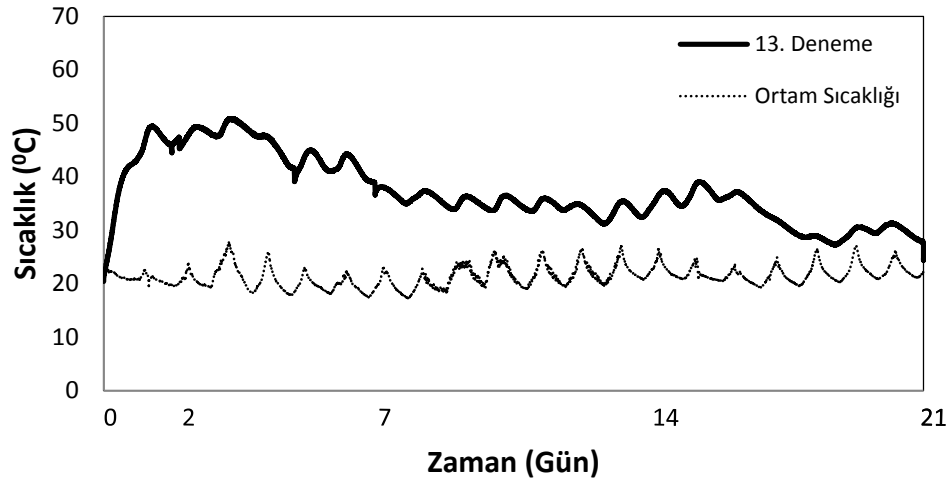
Şekil 4.1 Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devam)



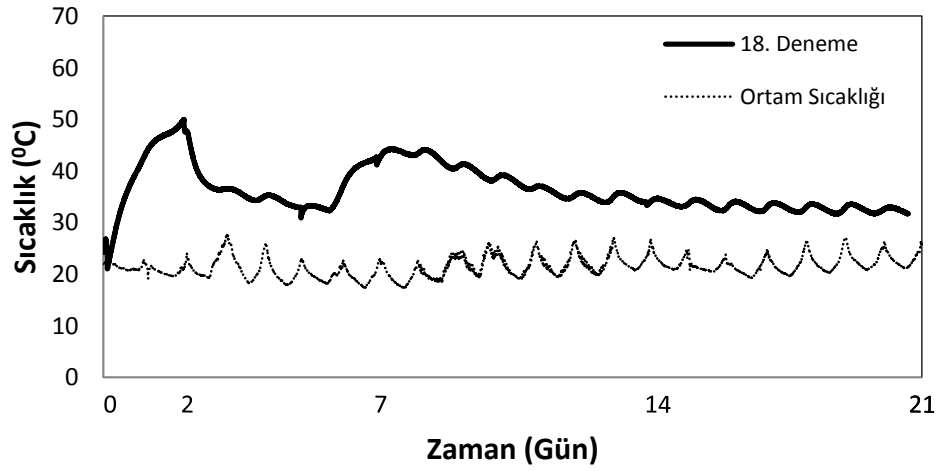
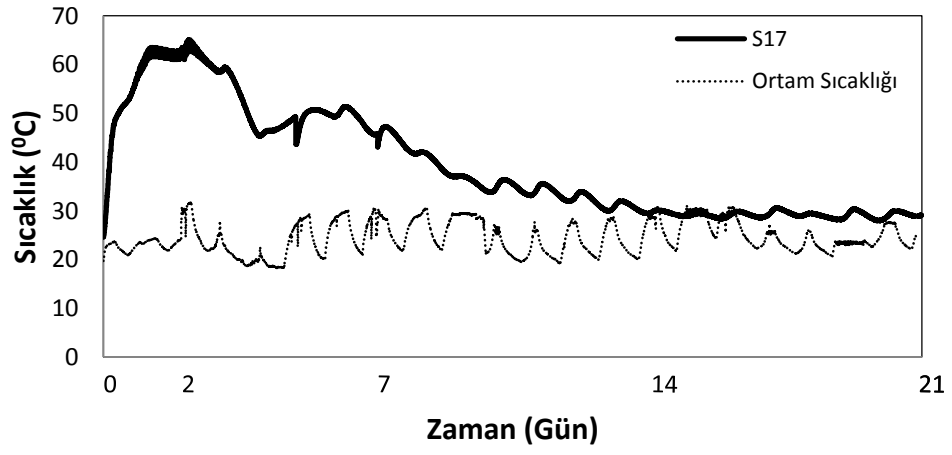
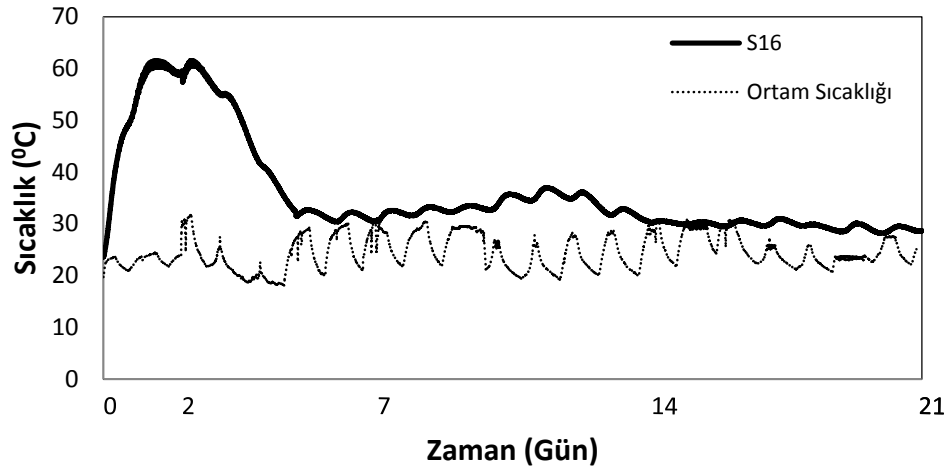
Şekil 4.1 Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devam)



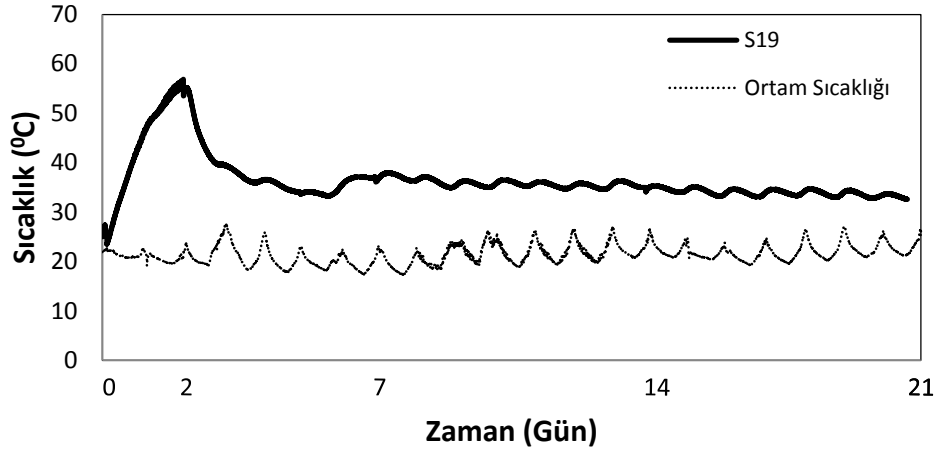
Şekil 4.1 Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devam)



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 (devam)

S1 denemesinde ikincil ham madde olarak kullanılan kuru çınar yaprağı karışımının toplam kütlesinin %40' ını oluşturmaktadır. Çınar yaprağının yapısından kaynaklı olarak yoğunluğu düşük fakat serbest hava boşluğu fazla bir karışım oluşturmaktadır bu da ısı transferinin fazla olmasına sebep olur. Ayrıca çınar yaprağının kolay parçalanabilir C içeriği düşüktür. Dolayısı ile ulaşılan maksimum sıcaklık değeri 40°C'nin altında kalmıştır.

S6 ve S7 denemeleri hakkında bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi karışımında kullanılan gübreden kaynaklı bir inhibisyon olduğu düşünülmektedir.

S8 denemesinde karışım sadece arıtma çamuru ve kuru çınar yaprağından oluşmaktadır. Arıtma çamurunun C/N oranı çok düşüktür. Karışımın C/N oranını artırmak amacıyla eklenen kuru çınar yaprağı yapısında ki yüksek C oranına rağmen içerdiği C' ni kolay parçalanamaması sebebiyle sıcaklık artışı çok düşük olmuştur.

Kompostlama için optimum sıcaklığın saptanması oldukça zordur. Literatürde farklı özellikteki atık türleri için optimum kompostlama sıcaklığının tespitine yönelik pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür.

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 ortalama yaklaşık 4 gün sürmüştür. Termofilik evrede en uzun süre kalan deneme 7 gün 15 saat ile S17 denemesidir. Karbon kaynaklarındaki biyolojik olarak ayrışabilirlikleri arasındaki farklılıkların kompost sıcaklarına etki ettiği söylenebilir. Bir önceki bölümde üçüncü grup içerisinde incelediğimiz S17 denemesinde ikincil ham madde olarak öğütülmüş ayçiçeği sapı kullanılmıştır. Ortamın erişebileceği maksimum sıcaklığın canlılar ile alakası yoktur. Bu durum ortamdaki besin maddesi miktarı ile ilişkilidir (Erdin 2005). Bilindiği üzere ayçiçeği sapının dış kısmı sert ve lifli iç kısmı ise süngerimsi bir dokuya sahiptir. Dış kısmı kompost karışımı için iyi bir hacimleştirici ve daha zor parçalanabilir C içermekteyken iç kısmı kolay parçalanabilir C açısından zengindir. Bu sayede daha yüksek sıcaklıklara ulaşabilmekte ve termofilik evrenin daha uzun sürmesini sağlamaktadır. Kuru çınar yaprağının ise kolay parçalanabilir C içeriği düşüktür. S17 denemesini S6, S13, S14, S15 ve S16 denemeleri ile karşılaştırdığımızda karışımların aynı oranda hazırlanmış olmasına rağmen ulaşılan maksimum sıcaklık değeri patates kabuğu ilavesinin yapılmış olduğu S16 denemesinden bile yüksektir. S16 denemesinde patates kabuğu ortamdaki kolay parçalanabilir C miktarını artırmış ve bu sayede ulaşılan maksimum sıcaklık değeri de artmıştır. Fakat içerdiği C çok hızlı bir şekilde tüketilmiştir dolayısı ile termofilik faz S17’ nin nerdeyse yarısı kadar sürmüştür.

Üçüncü grupta yer alan diğer iki deneme olan S5 ve S18 denemeleri kütlece aynı oranlarda hazırlanmıştır. S18 denemesine patates kabuğu ilavesi yapılmış fakat ilave edilen patates kabuğu S16 denemesinde olduğu gibi sıcaklık artışına sebep olmayışının nedeni S18 denemesi esnasında meydana gelen teknik bir arızadan dolayı reaktöre verilen havanın 2. ve 4. günler arasında kesilmesidir. Sıcaklık artışının en çok olduğu bu dönemde reaktör içerisinde yeterli oksijen bulunmamasından dolayı sıcaklık artışı S5 denemesini geçememiştir. Buna rağmen S18 denemesinde sıcaklık 49.9°C’ ye kadar çıkmıştır. Fakat yukarıda da bahsedildiği üzere patates kabuğu çok hızlı bir şekilde parçalanabildiğinden dolayı termofilik faz kısa sürmüştür.

İkinci grup (S2, S3, S4 ve S12) denemelerine ait maksimum sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonuç S2 denemesinde elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak da C/N oranının düşük olması dolayısı ile toplam azot değerinin fazla olması ve buna bağlı olarak mikrobiyal aktivitenin hızlı bir şekilde gerçekleştiği söylenebilir. Erdin (2005)' in dönerli tamburla yaptığı deneylerde C/N oranının azalması ile intibak süresinin azaldığını dolayısı ile kompostlama süresinin kısaldığını tespit etmiştir. Fakat 40°C' nin üzerinde kalma süreleri göz önüne alındığında bu grup içerisinde ki en uzun süre yaklaşık 6 gün 2.5 saat ile S4 denemesine aittir. En uzun ikinci süre ise S12 denemesine aittir. S4 denemesinde % 50 oranında gübre, %20 oranında arıtma çamuru ve S12 denemesinde ise %40 gübre, %30 arıtma çamuru kullanılmıştır. Bu değerler göz önüne alındığında ortamda gübreden dolayı daha fazla kolay parçalanabilir karbonun olduğu fakat arıtma çamurundan kaynaklı toplam N değerinin düşük olduğu kabul edilebilir. N değerinin düşük olması mikroorganizmaların çoğalmasını sınırlayıcı bir etki göstermektedir. Bunun sonucunda ortamda bulunan C' nin tüketimi daha uzun sürmüş ve dolayısı ile de termofilik faz uzamıştır.

Dördüncü grup (S9, S10, S11 ve S19) denemelerine ait sıcaklık verileri değerlendirildiğinde en yüksek sıcaklığın ayçiçeği sapı ile hazırlanan S11 denemesine ait olduğu görülmektedir. Fakat S19 denemesinin ulaşabildiği en yüksek sıcaklık değeri de S11 e çok yakındır. S9 ve S10 denemelerinde ise sıcaklık artışı çok fazla olmamıştır. Dolayısı ile kompost karışımlarına ilave edilen doğranmış taze patates kabuğu ilavesinin kompost verimini ulaşılan maksimum sıcaklıklar göz önüne alındığında arttırdığı tespit edilmiştir.

Dördüncü grup denemeleri arasında 40°C' nin üzerinde geçen süreler göz önünde bulundurulduğunda en uzun süre yaklaşık 3 gün ile S11 denemesinde elde edilmiştir. S10 denemesinde glikoz ilavesinin sıcaklığı çok fazla arttırmadığı fakat 40°C' nin üzerinde kalma süresini arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak glikozun karışımda görev alan mikroorganizma gruplarına kolay parçalanabilir C sağlaması ve artan mikroorganizma popülasyonu dolayısı ile ortamda bulunan zor parçalananan C' nin da az da olsa parçalanması gösterilebilir. S19 denemesinde ise patates kabuğu ile kolay parçalanabilir C miktarı arttırılmış ve ortam sıcaklığı büyük ölçüde yükselmiştir. Bunun

sonucunda mikrobiyal aktivite artmıştır ve dolayısı ile daha fazla oksijen ihtiyacının oluştuğu, fakat patates kabuğu nem oranını büyük ölçüde arttırdığı için karışımın yeterli seviyede oksijenlendirilemediği düşünülmektedir. Sonuç olarak patates kabuğu 40°C üzerinde geçen süreyi kayda değer miktarda uzatamamış.

Grafiklerde ortam sıcaklıklarında ki dalgalanma gece ve gündüz sıcaklık farklarından kaynaklanmaktadır. Termofilik evreden sonra gelen mezofilik evrede karışım içerisindeki parçalanma reaksiyonları azalmış dolayısı ile ısı üretimi düşmüştür. Reaktör sıcaklığı ortam sıcaklığına yaklaşmış ve ortam sıcaklık değişimleri reaktör sıcaklığını daha çok etkilemeye başlamıştır.

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). Buna göre yapılan çalışmada S1, S6, S7 ve S8 denemeleri hariç bütün denemelerde 40°C' nin üstüne çıkmıştır. Fakat yalnız S4, S13 ve S17 denemeleri 5 gün 40°C' nin üstünde kalabilmişlerdir. Yapılan denemeler arasında 55°C' nin üstüne çıkabilen denemeler ve 55°C'nin üzerinde geçirdikleri süreler sırası ile; S11: 17 saat 26 dakika, S16: 49 saat 5dakika, S17: 59 saat ve S19: 5 saat 33 dakika şeklindedir. Deneylere ait maksimum sıcaklık değerleri, 40°C' nin ve 55°C' nin üzerinde kalma süreleri Çizelge 4.4' de verilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde yalnızca S17 denemesinin gerekli stabilizasyonu sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma süresince gözlenen en yüksek sıcaklık 65,1°C' dir ve bu sıcaklık S17 denemesinde prosesin başlangıcından 48 saat sonra gözlenmiştir.

Çizelge 4.4 Kompost reaktörlerindeki maksimum sıcaklık değerleri

Deney No	Ulaşılan maksimum Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	40 $^{\circ}\text{C}$ ' nin üstünde geçen süre (Gün)	55 $^{\circ}\text{C}$ ' nin üstünde geçen süre
S1	38	-	-
S2	53,6	2,03	-
S3	41,6	2,09	-
S4	49,8	6,2	-
S5	52,4	4,84	-
S6	36,9	-	-
S7	34,4	-	-
S8	33,5	-	-
S9	41	1,73	-
S10	43,2	2,69	-
S11	57,3	2,97	17 saat 26 dakika
S12	48,8	3,5	-
S13	50,9	5,61	-
S14	48,7	4,39	-
S15	46,9	4,01	-
S16	61,5	3,61	49 saat 5 dakika
S17	65,1	7,63	59 saat
S18	49,9	4,37	-
S19	56,9	1,97	5 saat 33 dakika

4.3. Karbon/Azot oranı

Besinsel denge başlıca C/N oranı olarak tanımlanmaktadır. Mikroorganizmalar gelişimleri ve aktivasyonları için bir enerji kaynağına (bozunabilen organik-C) ve azota ihtiyaç duymaktadırlar. 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 kütlelerinden toprağa sızar. Bu nedenle hayvan atığına düzenleyici madde katılmasıyla bozunabilen organik-C elde edilerek düşük C/N oranları artırılabilir. (Mehmetli ve ark. 2010a).

Kompostlamada gerçekleşen mineralizasyon prosesi, reaktörlerdeki kompost karışımının karbon (C) içeriğinin düşmesiyle sonuçlanır. Kompostlama prosesi devam

ettikçe C/N oranı son ürün için 10-15/1 oranına düştüğü bilinmektedir (Arıkan 2003). Yapılan denemelerin başlangıç, bitiş ve örnek alma günlerine ait; toplam organik karbon (C), toplam Azot (N), ve Karbon/Azot (C/N) oranları Çizelge 4.5’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Kompost reaktörlerindeki organik karbon (OC), toplam Azot (TN) ve Karbon/Azot (C/N) oranları

Deney No	Zaman (Gün)	Ort. OC (%)	Standart Sapma	Ortalama TN (%)	Standart Sapma	C/N
S2	0	46,01	±	2,12	±	21,72
	2	43,65	±	1,97	±	22,14
	7	38,53	±	1,00	±	38,37
	14	42,22	±	1,65	±	25,62
	21	45,46	±	1,31	±	34,75
S3	0	41,96	± 1,81	1,51	±	27,85
	2	44,30	± 0,55	1,59	± 0,04	27,89
	7	42,90	± 0,57	1,64	± 0,03	26,09
	14	41,32	± 0,61	1,87	± 0,00	22,11
	21	40,57	± 1,19	1,83	± 0,08	22,13
S4	0	44,25	± 0,22	1,47	±	30,06
	2	43,13	± 1,26	1,77	± 0,21	24,40
	7	42,46	± 0,96	1,53	± 0,06	27,67
	14	42,14	± 1,01	1,69	± 0,01	24,90
	21	42,20	± 1,06	1,72	± 0,12	24,60
S5	0	41,06	± 0,59	1,60	±	25,72
	2	40,34	± 0,63	1,56	± 0,11	25,78
	7	40,80	± 0,67	1,69	± 0,02	24,20
	14	39,95	± 0,62	1,79	± 0,04	22,27
	21					
S6	0	43,49	± 0,61	1,92	±	22,62
	2	43,52	± 0,92	2,09	± 0,06	20,85
	7	42,04	± 0,24	2,03	± 0,04	20,76
	14	41,12	1,57			
	21					
S7	0	38,88	± 1,09	1,23	±	31,61
	2	39,93	± 0,96	2,60	± 0,01	15,37
	7	37,45	± 1,56	2,37	± 0,04	15,81
	14	35,74	1,33			
	21					

Çizelge 4.5 Kompost reaktörlerindeki organik karbon (OC), toplam Azot (TN) ve Karbon/Azot (C/N) oranları (devam)

Deney No	Zaman (Gün)	Ort. OC (%)	Standart Sapma	Ortalama TN (%)	Standart Sapma	C/N
S8	0	38,88	± 0,54	2,27	±	17,12
	2	38,84	± 0,45	1,96	± 0,06	19,81
	7	38,01	± 0,50	2,22	± 0,04	17,08
	14	36,98	0,57			
	21					
S9	0	37,12	± 2,30	2,44	±	15,23
	2	40,72	± 0,70	2,48	± 0,08	16,41
	7	38,83	± 0,74	2,47	± 0,14	15,73
	14	37,67	± 0,18	2,43	± 0,00	15,53
	21	36,51	± 0,61	2,20	± 0,03	16,59
S10	0	39,16	± 1,09	2,43	±	16,09
	2	40,02	± 1,22	2,40	± 0,04	16,64
	7	39,36	± 0,42	2,49	± 0,04	15,79
	14	37,85	± 0,79	2,50	± 0,02	15,17
	21	36,28	± 0,05	2,18	± 0,04	16,65
S11	0	41,59	± 0,56	2,32	±	17,96
	2	39,15	± 4,29	2,34	± 0,11	16,75
	7	40,30	± 1,21	2,30	± 0,11	17,49
	14	38,87	± 1,88	2,08	± 0,24	18,66
	21	38,68	± 0,88	2,34	± 0,09	16,56
S12	0	44,20	± 1,71	1,36	±	32,40
	2	45,25	± 0,76	1,63	± 0,16	27,76
	7	41,60	± 2,31	1,65	± 0,04	25,16
	14	41,32	± 0,43	1,73	± 0,02	23,87
	21	43,14	± 1,03	1,68	± 0,00	25,71
S13	0	43,30	± 1,54	1,74	±	24,82
	2	43,87	± 0,29	1,61	± 0,07	27,27
	7	41,41	± 0,80	1,94	± 0,04	21,32
	14	40,14	± 1,02	2,12	± 0,04	18,94
	21	40,80	± 0,78	2,09	± 0,00	19,48
S14	0	44,67	± 0,48	1,71	±	26,10
	2	44,05	± 0,51	1,60	± 0,36	27,58
	7	41,94	± 0,72	2,00	± 0,06	21,01
	14	41,64	± 0,56	2,13	± 0,04	19,53
	21	40,54	± 0,80	2,26	± 0,03	17,94
S15	0	44,21	± 0,33	1,72	±	25,75
	2	43,04	± 0,62	1,56	± 0,08	27,61
	7	42,40	± 0,37	1,89	± 0,01	22,45
	14	41,36	± 0,67	2,08	± 0,02	19,84
	21	41,20	± 0,80	2,19	± 0,04	18,77

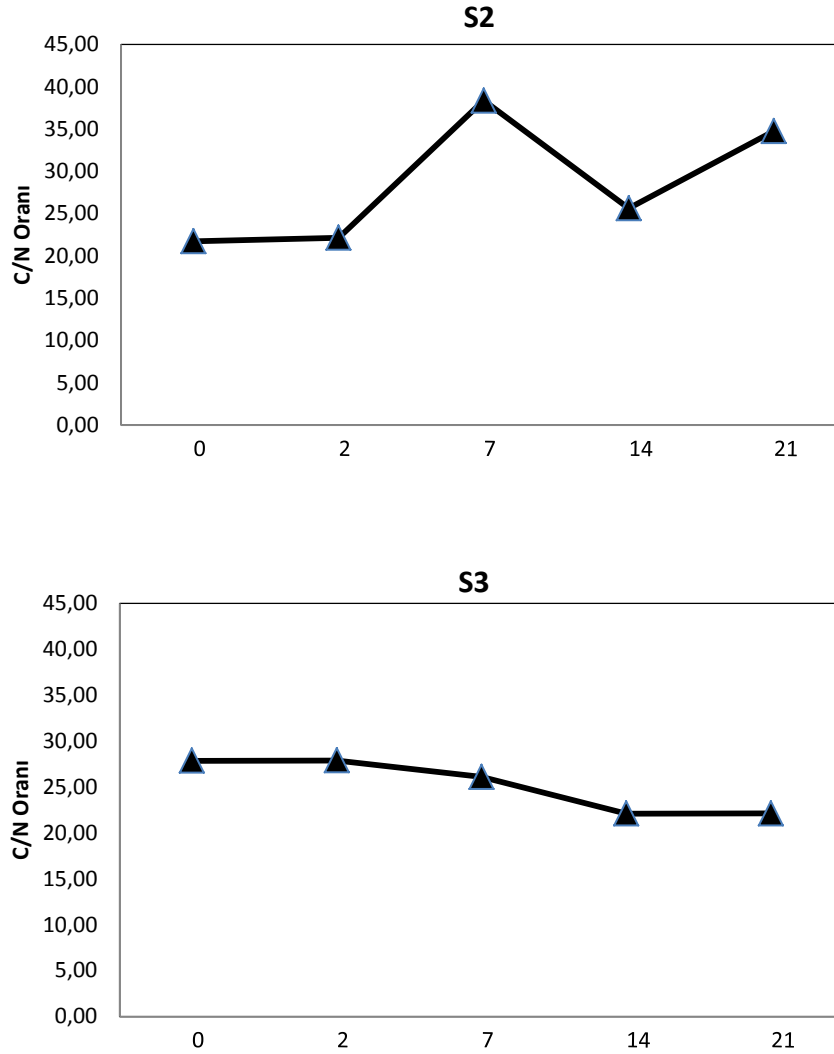
Çizelge 4.5 Kompost reaktörlerindeki organik karbon (OC), toplam Azot (TN) ve Karbon/Azot (C/N) oranları (devam)

Deney No	Zaman (Gün)	Ort. OC (%)	Standart Sapma	Ortalama TN (%)	Standart Sapma	C/N
S16	0	45,29	± 0,47	1,71	±	26,46
	2	45,16	± 0,42	1,76	± 0,02	25,66
	7	42,44	± 1,01	1,87	± 0,04	22,71
	14	41,50	± 1,82	2,09	± 0,00	19,82
	21	41,43	± 0,43	2,24	± 0,00	18,53
S17	0	46,85	± 0,11	1,51	±	31,00
	2	45,94	± 1,65	1,61	± 0,14	28,52
	7	43,60	± 0,63	2,05	± 0,08	21,27
	14	40,32	± 1,22	2,43	± 0,04	16,62
	21	39,49	± 0,37	2,56	± 0,01	15,40
S18	0	41,73	± 1,50	1,89	±	22,06
	2	44,02	± 2,04	1,77	± 0,04	24,87
	7	40,00	± 1,54	2,03	± 0,00	19,72
	14	38,11	± 1,52	1,84	± 0,25	20,71
	21	39,09	± 0,69	2,27	± 0,10	17,22
S19	0	43,29	± 1,88	2,20	±	19,64
	2	43,30	± 0,75	2,08	± 0,04	20,83
	7	40,69	± 0,69	2,05	± 0,04	19,89
	14	29,45	± 14,43	2,11	± 0,07	13,94
	21	36,89	± 1,32	2,21	± 0,08	16,67

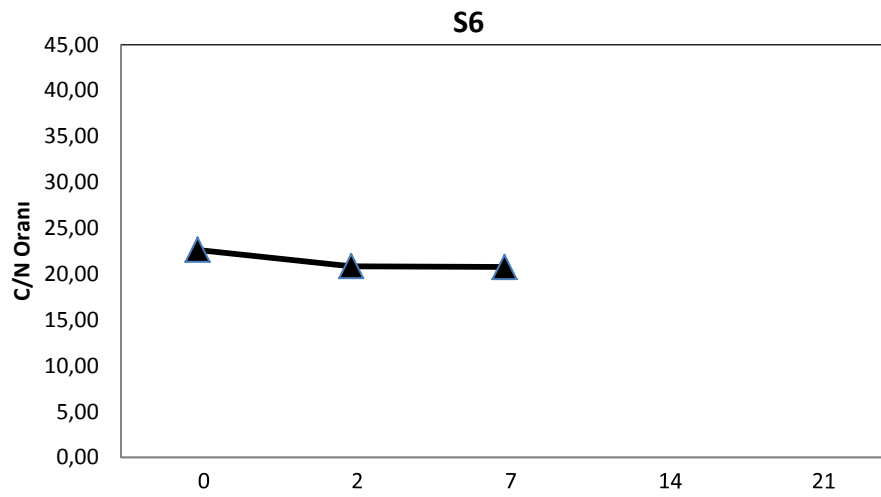
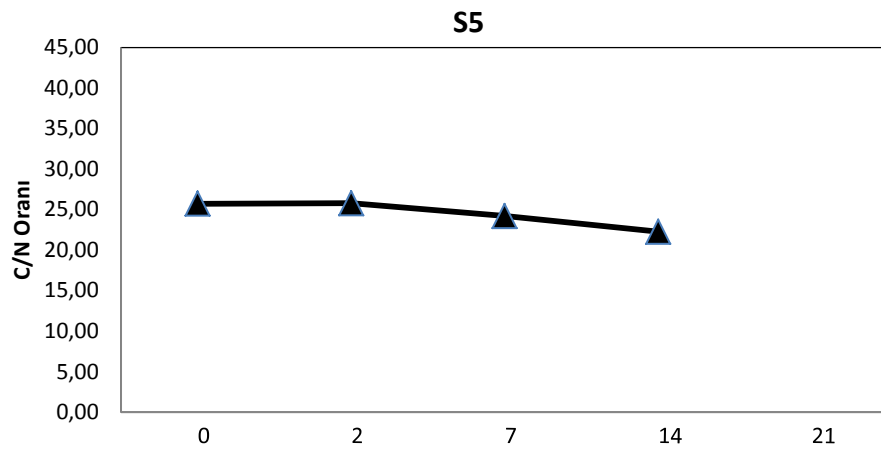
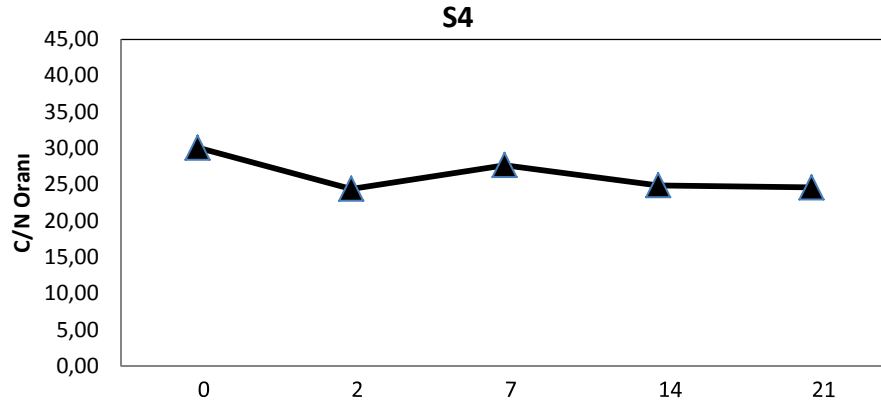
Çizelge 4.5’ de de görüldüğü üzere C/N oranı 18 ve üzerindeki değerlerde ki kompost karışımlarında düşüş eğilimindedir. Fakat 18 den küçük olan kompost karışımlarında yükselmektedir. Toplam organik Karbon değeri ise hemen hemen bütün kompost karışımlarında başlangıç ve bitiş günleri arasında azalmıştır. Toplam Azot değerleri C/N oranına bağlı olarak C/N oranının yüksek olduğu karışımlarda artış, düşük olduğu karışımlardaysa azalma gözlenmiştir.

C/N oranı uzun yıllardır kompostun stabilitesinin bir göstergesi olarak kullanılmıştır. 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) ‘a göre olgunlaşmış bir kompost da C/N oranı yaklaşık 10 civarındadır. Yapılan denemelerde S2, S3, S4, S5, S6 ve S12 denemelerinden elde edilen kompostun stabil olmadığı diğer reaktörlerden elde

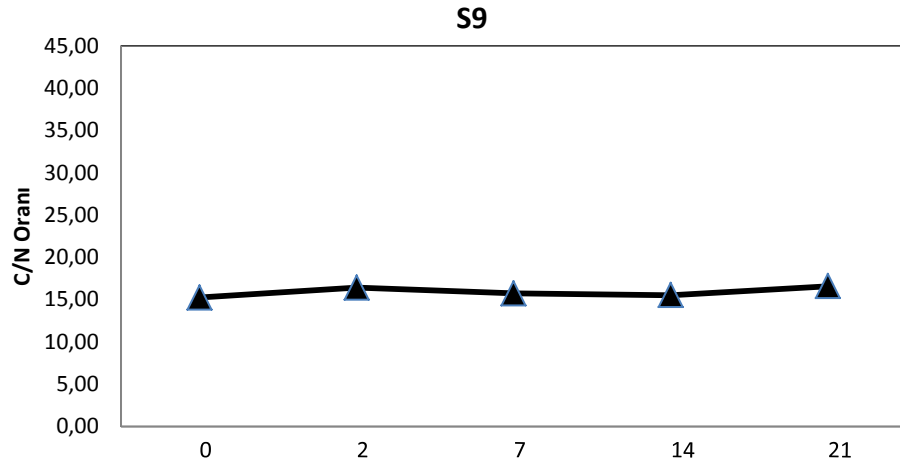
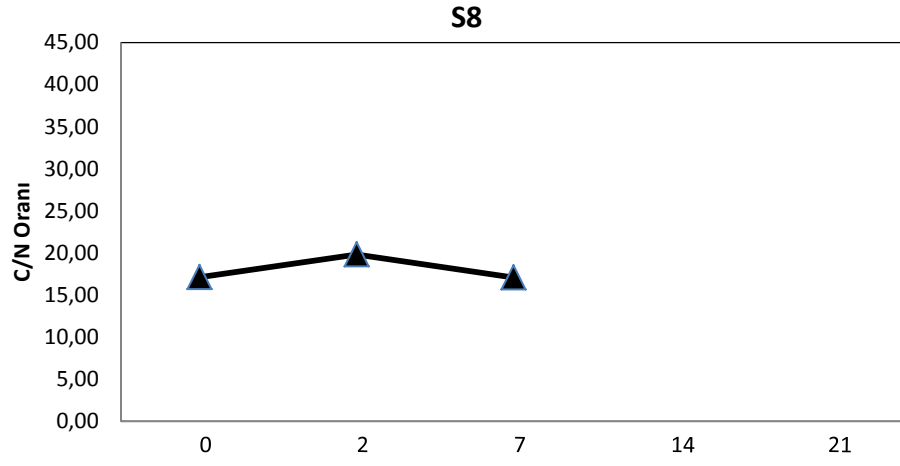
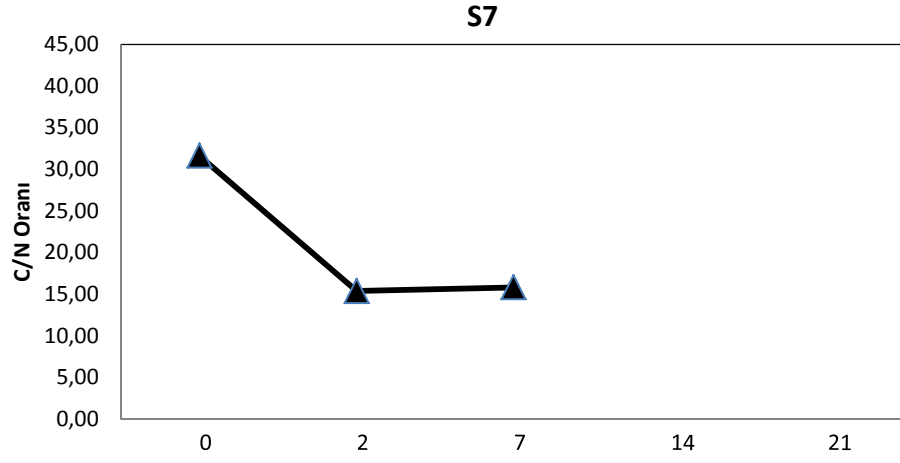
edilen kompostun ise stabil olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, C/N oranı parametresinin kullanımı bazen yanıltıcı olabilmektedir. Örnek olarak ligninin C içeriği yüksek olmakla birlikte, mikroorganizmalar için iyi bir besin kaynağı değildir (Aydın ve Kocasoy 2002). Reaktörlere ait C/N oranında ki değişim grafikleri Şekil 4.2’ de verilmiştir.



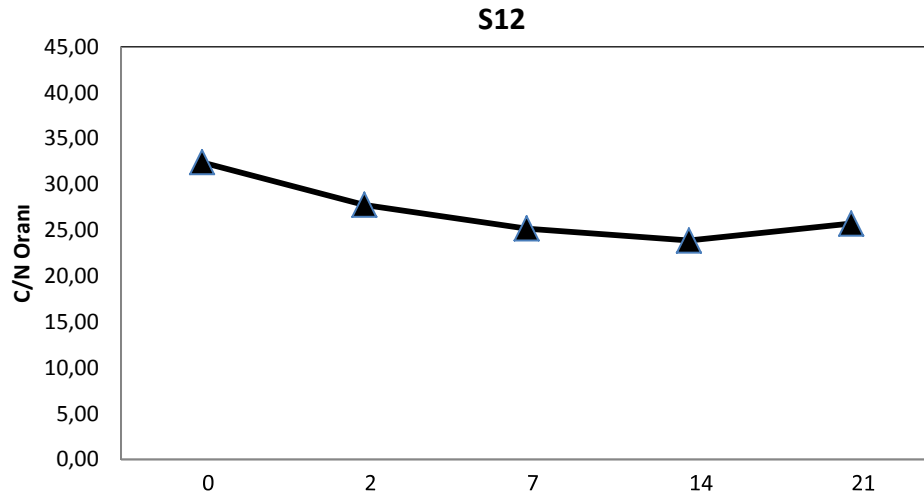
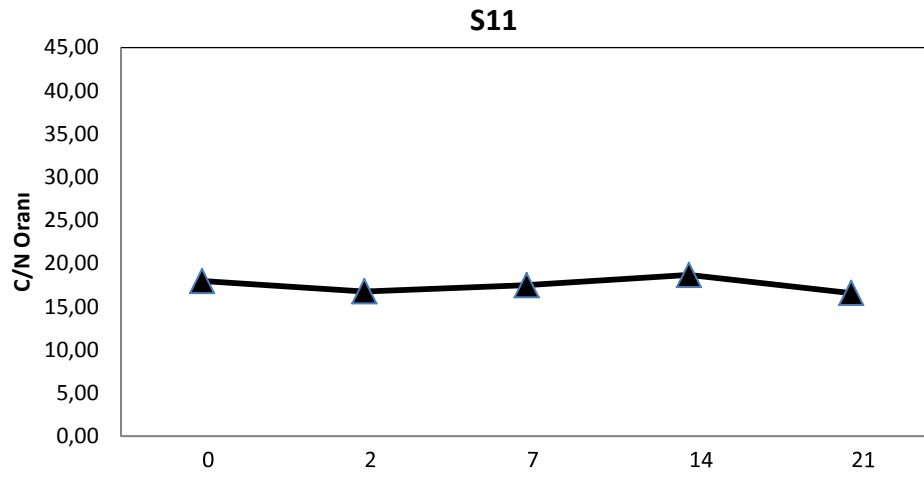
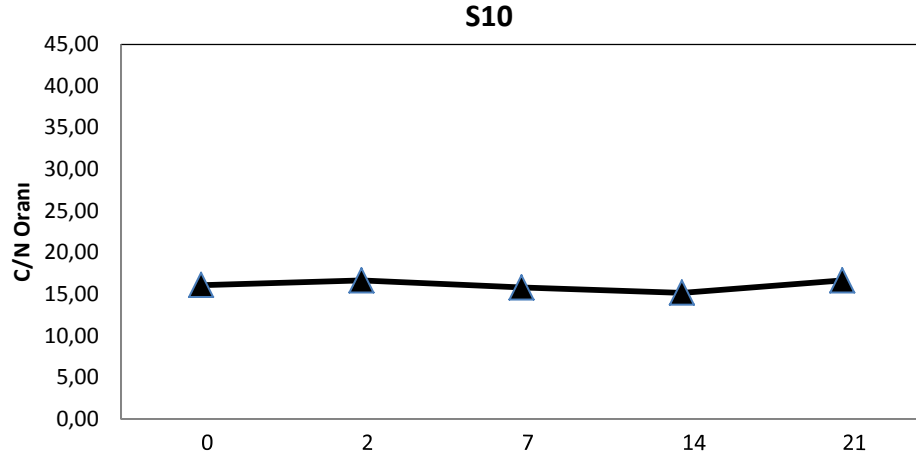
Şekil 4.2 Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri



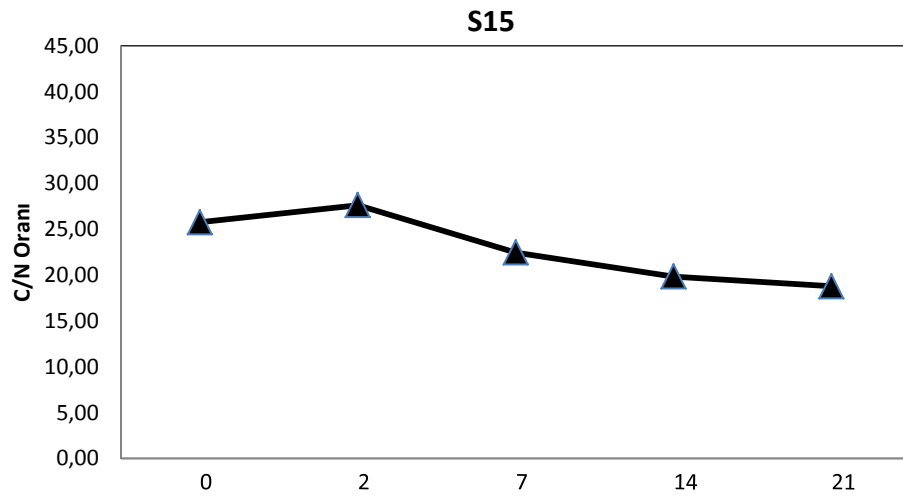
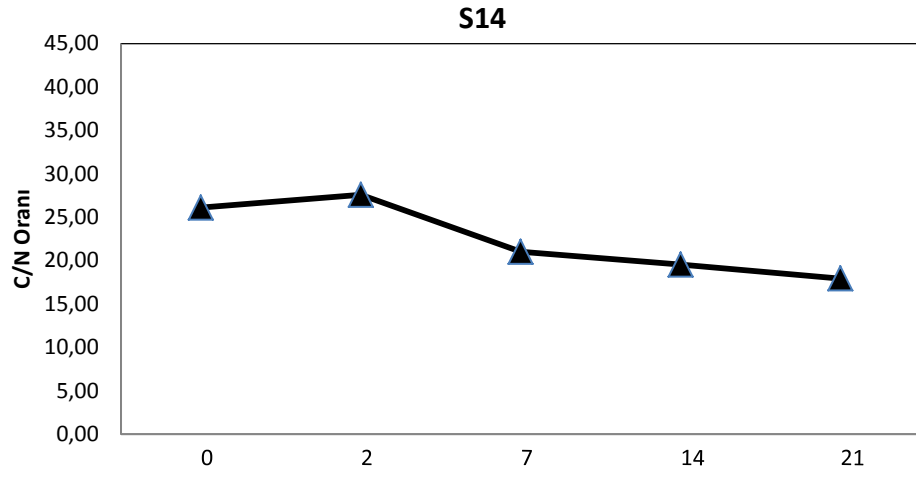
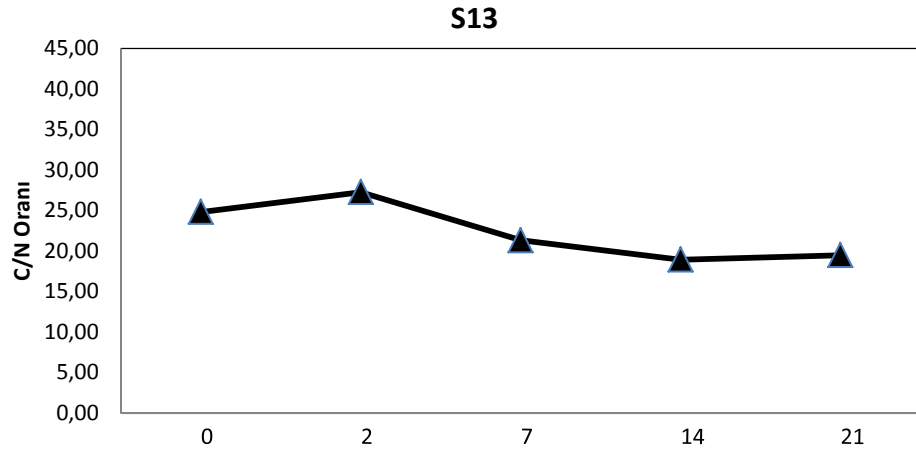
Şekil 4.2 Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri (devam)



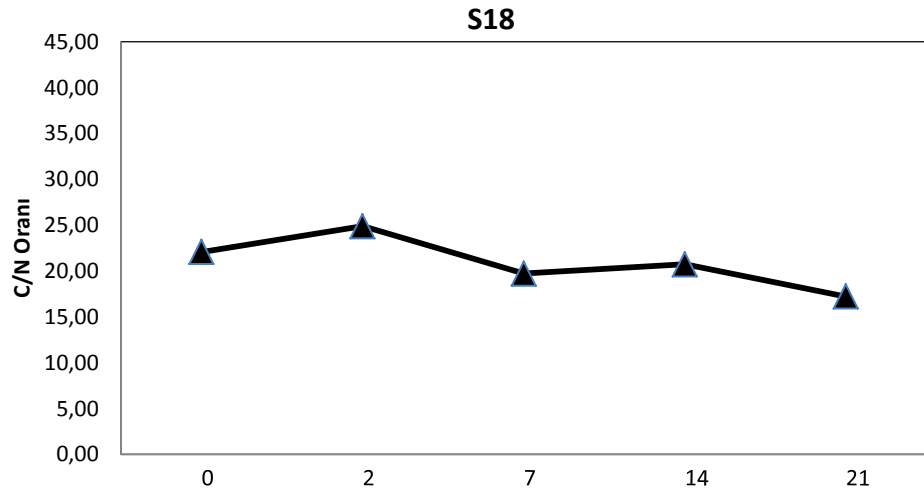
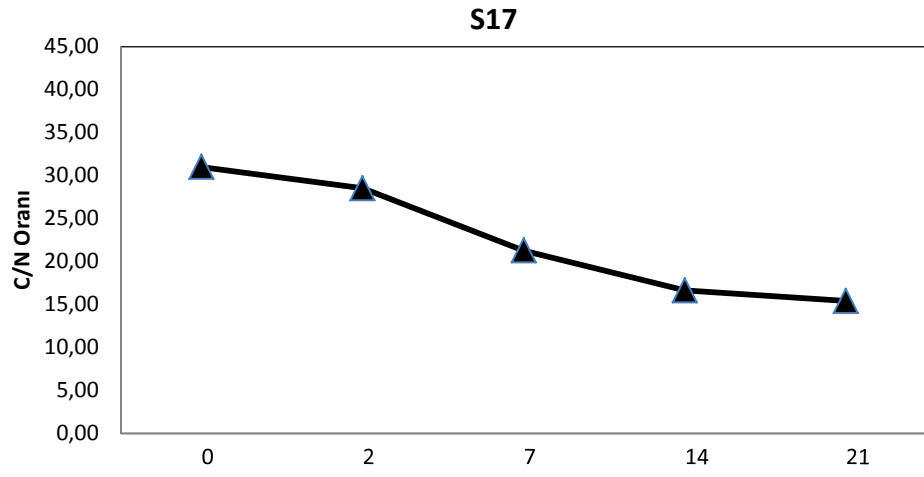
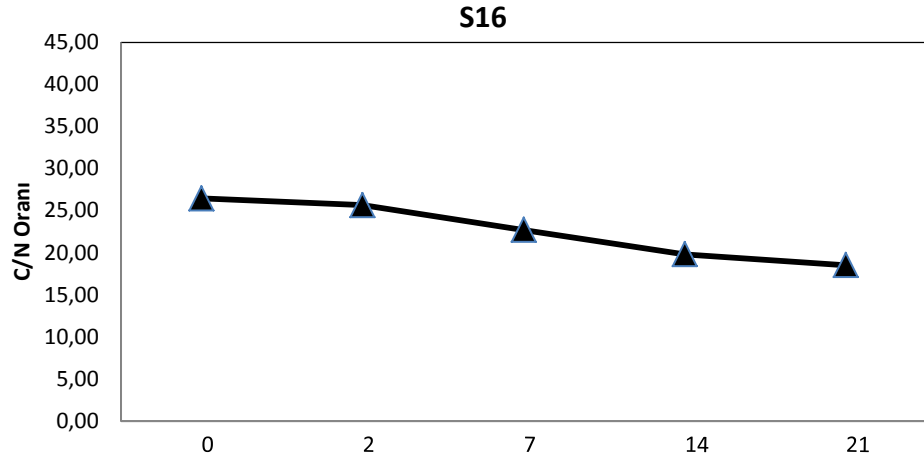
Şekil 4.2 Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri (devam)



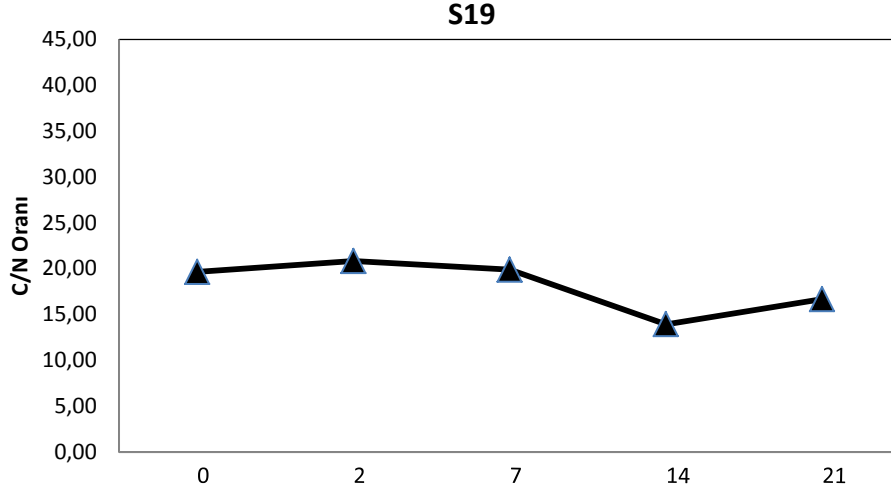
Şekil 4.2 Reaktörlere ait C/N değişim grafikleri (devam)



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)

4.4. Nem Değerleri

Kompostlama işlemi optimum nem sınırı olan (% 50-70) arasında gerçekleştirildiğinde ayrışma işlemi nem açısından etkilenmemektedir (Rynk 1992). Denemelere ait başlangıç nem değerleri minimum 55,39' ile S1 denemesinde ve maksimum 77,37 ile S19 denemesindedir. Yapılan denemelerinden S7, S8, S9, S10, S11, S13, S14, S16, S18 ve S19 denemelerinde başlangıç nem değeri optimum aralığın üstündedir. Öztürk (2005)' e nem % 65'i aşarsa yığındaki materyalin boşluklarındaki havanın suyla yer değiştirmesine sebep olur dolayısı ile de karışıma yeterli oksijen sağlanamaz. Fakat kompost karışımının karıştırılma sıklığı artırılarak bu etki en aza indirilebilir. Çalışma boyunca reaktörler gün aşırı karıştırılarak karışımın yeterli seviyede havalandırılması sağlanmıştır.

Yapılan denemelerde başlangıç ve bitiş günleri arasındaki nem değerleri göz önüne alındığında nem oranı sadece S3, S6 ve S12 denemelerinde %1 civarında azalma göstermiştir. Geri kalan denemelerin tamamında nem oranı artmıştır. En yüksek nem oranı artışı S17 denemesinde %63,89'dan %77,02' ye çıkması ile gerçekleşmiştir. Arıkan ve Öztürk (2005)' e göre kompostlama prosesinde ilk 3-4 haftada nem oranı başlangıç seviyesi civarında seyretmektedir. Bunun nedeni olarak da uçucu katı

maddenin azalmasından kaynaklanan azalma ile su kaybının bir birine yakın olmasıdır. Bu bilgiler ışığında S17 denemesinde uçucu katı maddede ki azalmanın buharlaşma yoluyla oluşan su kaybından daha hızlı gerçekleştiği söylenebilir. Bununla beraber yapılan çalışmada kullanılan reaktörlerin üst kısmında bulunan paslanmaz çelik kapak dolayısı ile buharlaşan nemin bir kısmı kapakta yoğunlaşarak kompost karışımına geri dönmektedir. Buda su kaybının daha da azalmasına sebep olmuştur.

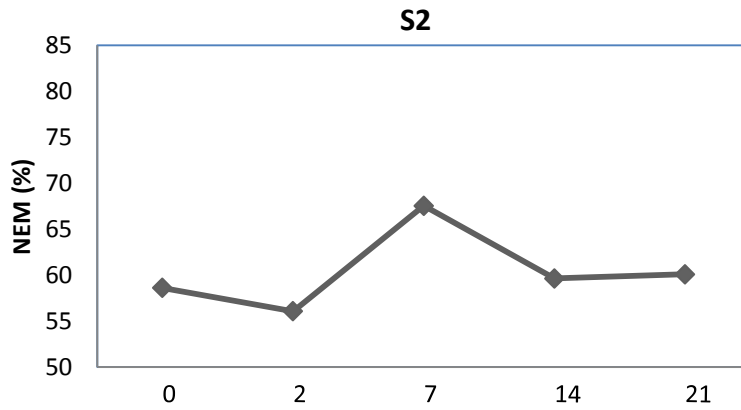
Çizelge 4.6’ de reaktörlerdeki kompost karışımlarına ait nem ve katı madde miktarlarının, başlangıç, bitiş ve örnek alma günlerindeki değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.6 Reaktörlerdeki nem ve katı madde miktarları

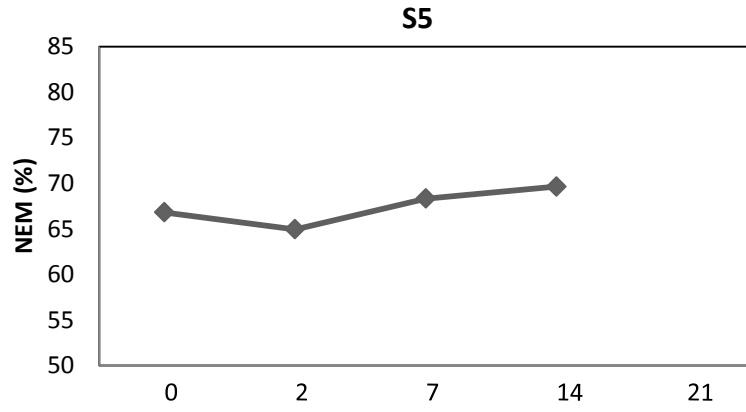
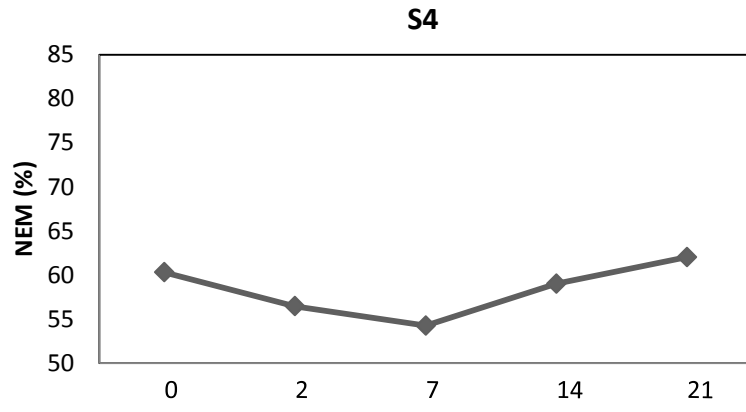
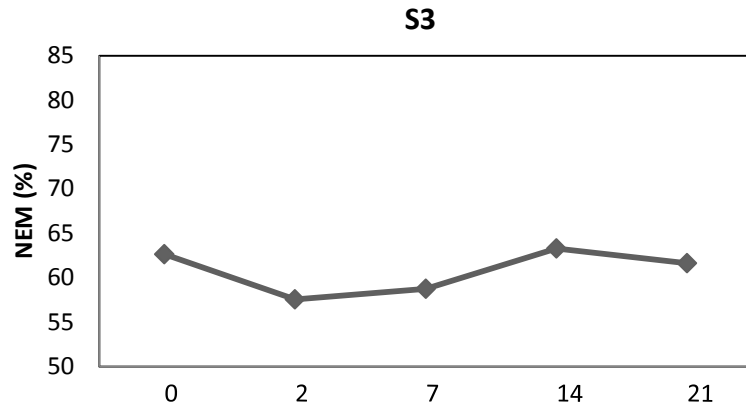
Deney No	Zaman (Gün)	Nem (%)	KM (%)	Standart Sapma	Deney No	Zaman (Gün)	Nem (%)	KM (%)	Standart Sapma
S2	0	58,6	41,4	±	S3	0	62,64	37,36	± 4,94
	2	56,07	43,93	±		2	57,55	42,45	± 0,05
	7	67,54	32,46	±		7	58,74	41,26	± 0,43
	14	59,64	40,36	±		14	63,28	36,72	± 0,18
	21	60,09	39,91	±		21	61,62	38,38	± 0,81
S4	0	60,29	39,71	± 4,44	S5	0	66,8	33,2	± 0,55
	2	56,44	43,56	± 7,07		2	64,94	35,06	± 0,54
	7	54,24	45,76	± 1,48		7	68,3	31,7	± 0,57
	14	58,99	41,01	± 0,22		14	69,63	30,37	± 0,49
	21	62,01	37,99	± 0,83		21			±
S6	0	69,69	30,31	± 0,46	S7	0	75,48	24,52	± 0,62
	2	66,92	33,08	± 1,05		2	75,2	24,8	± 0,38
	7	66,43	33,57	± 0,68		7	77,59	22,41	± 2,43
	14	69,2	30,8	± 1,15		14	76,08	23,92	± 0,45
	21			±		21			±
S8	0	70,62	29,38	± 0,99	S9	0	73,61	26,39	± 0,99
	2	70,96	29,04	± 0,43		2	73,09	26,91	± 0,17
	7	70,41	29,59	± 0,83		7	73,94	26,06	± 0,61
	14	71,94	28,06	± 0,58		14	75,27	24,73	± 0,51
	21			±		21	77,4	22,6	± 0,91
S10	0	72,94	27,06	± 0,45	S11	0	72,36	27,64	± 0,60
	2	73,05	26,95	± 0,20		2	73,42	26,58	± 0,35
	7	74,45	25,55	± 0,27		7	74,87	25,13	± 0,71
	14	74,8	25,2	± 0,66		14	77,48	22,52	± 0,65
	21	77,69	22,31	± 0,35		21	80,14	19,86	± 0,82

Çizelge 4.6 Reaktörlerdeki nem ve katı madde miktarları (devam)

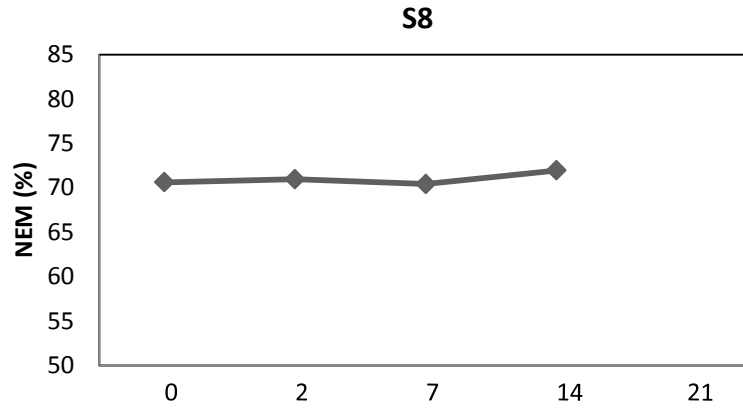
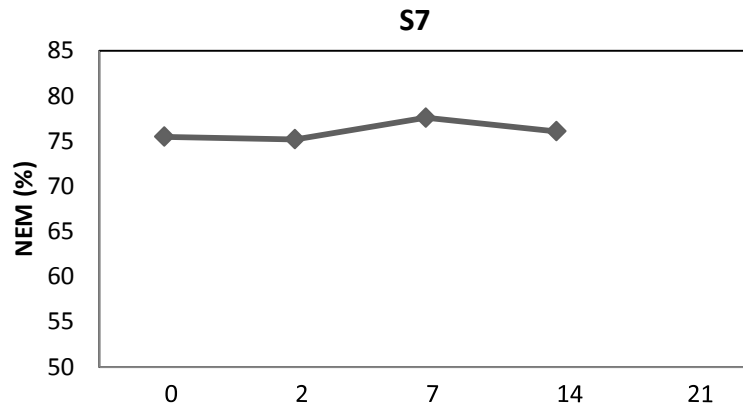
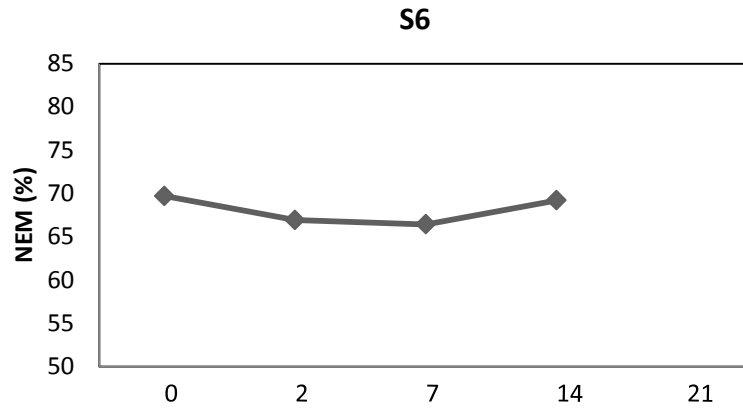
Deney No	Zaman (Gün)	Nem (%)	KM (%)	Standart Sapma	Deney No	Zaman (Gün)	Nem (%)	KM (%)	Standart Sapma
S12	0	61,86	38,14	± 3,93	S13	0	73,61	26,39	± 0,59
	2	57,4	42,6	± 1,49		2	68,02	31,98	± 0,34
	7	63,52	36,48	± 5,28		7	72,66	27,34	± 0,78
	14	64,16	35,84	± 2,73		14	74,41	25,59	± 1,66
	21	60,86	39,14	± 3,38		21	73,86	26,14	± 0,76
S14	0	70,67	29,33	± 0,79	S15	0	67,53	32,47	± 1,09
	2	69,57	30,43	± 1,94		2	69,65	30,35	± 1,25
	7	70,42	29,58	± 0,93		7	68,25	31,75	± 0,99
	14	71,3	28,7	± 3,49		14	69,62	30,38	± 0,58
	21	74,43	25,57	± 1,29		21	75,45	24,55	± 1,50
S16	0	70,76	29,24	± 2,69	S17	0	63,89	36,11	± 1,12
	2	70,54	29,46	± 1,58		2	66,46	33,54	± 2,44
	7	72,03	27,97	± 0,86		7	75,95	24,05	± 3,62
	14	73,23	26,77	± 2,18		14	62,38	37,62	± 5,50
	21	76,98	23,02	± 1,40		21	77,02	22,98	± 0,39
S18	0	72	28	± 1,85	S19	0	77,37	22,63	± 0,22
	2	74,94	25,06	± 2,05		2	78,72	21,28	± 0,78
	7	73,3	26,7	± 1,43		7	80,19	19,81	± 1,26
	14	78,02	21,98	± 0,98		14	83,41	16,59	± 0,97
	21	77,62	22,38	± 2,42		21	81,25	18,75	± 0,52



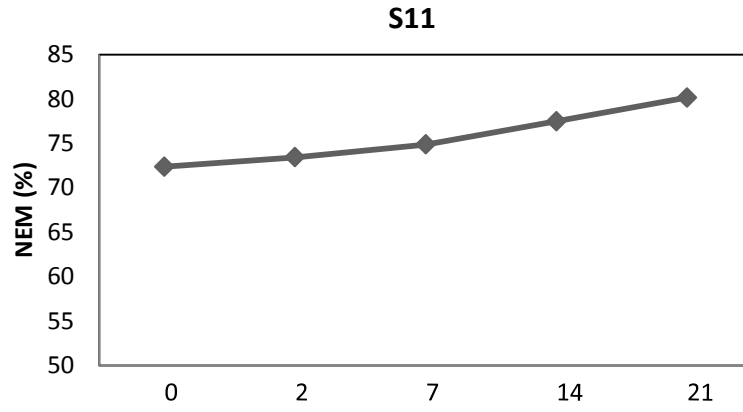
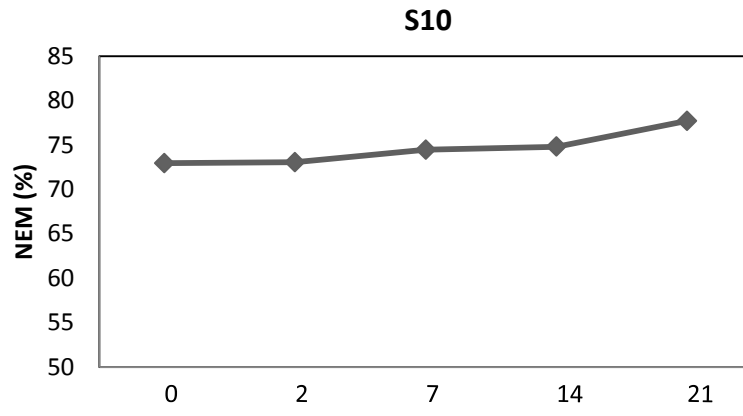
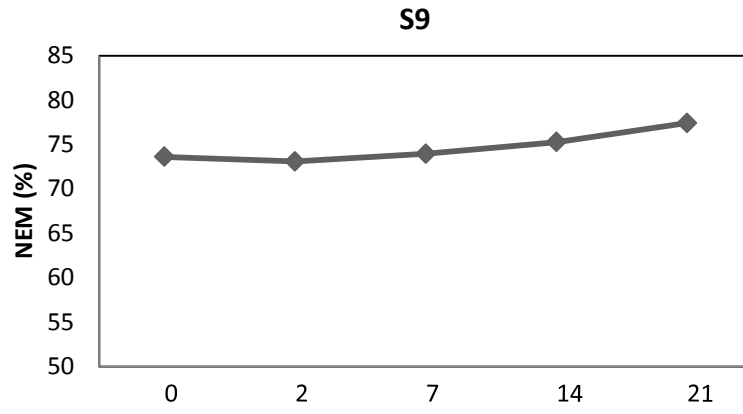
Şekil 4.3 Reaktörlere ait nem değişim grafikleri



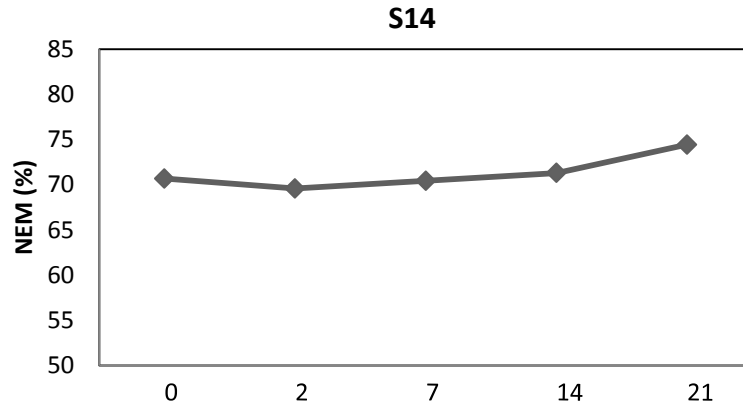
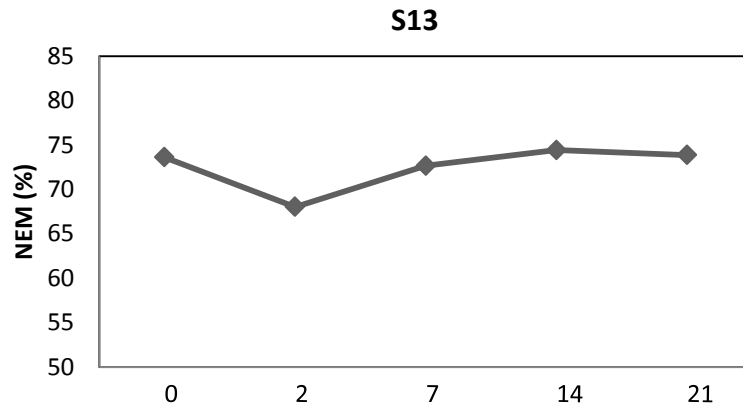
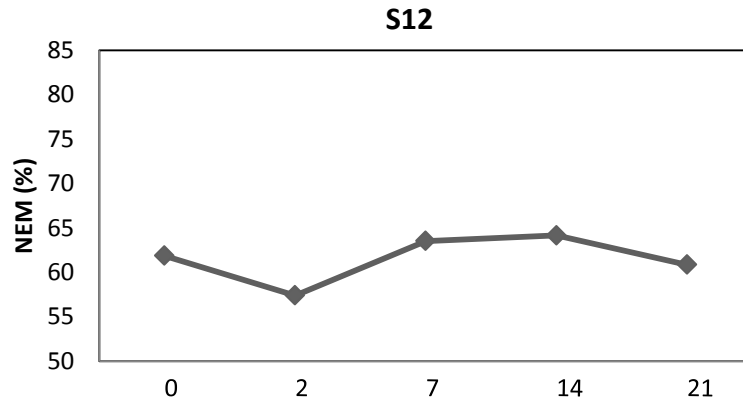
Şekil 4.3 Reaktörlere ait nem değişim grafikleri (devam)



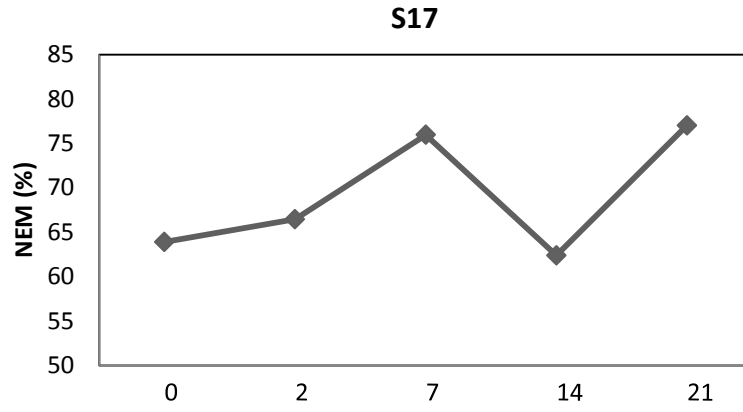
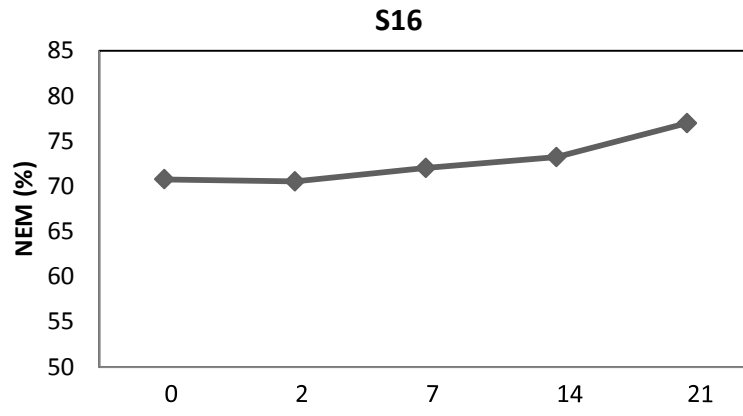
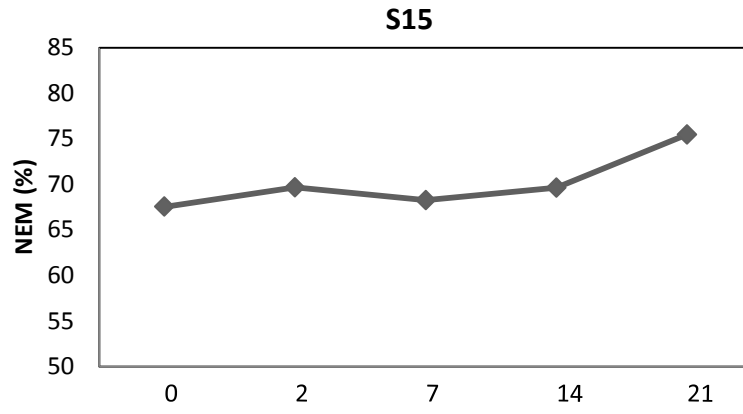
Şekil 4.3 Reaktörlere ait nem değişim grafikleri (devam)



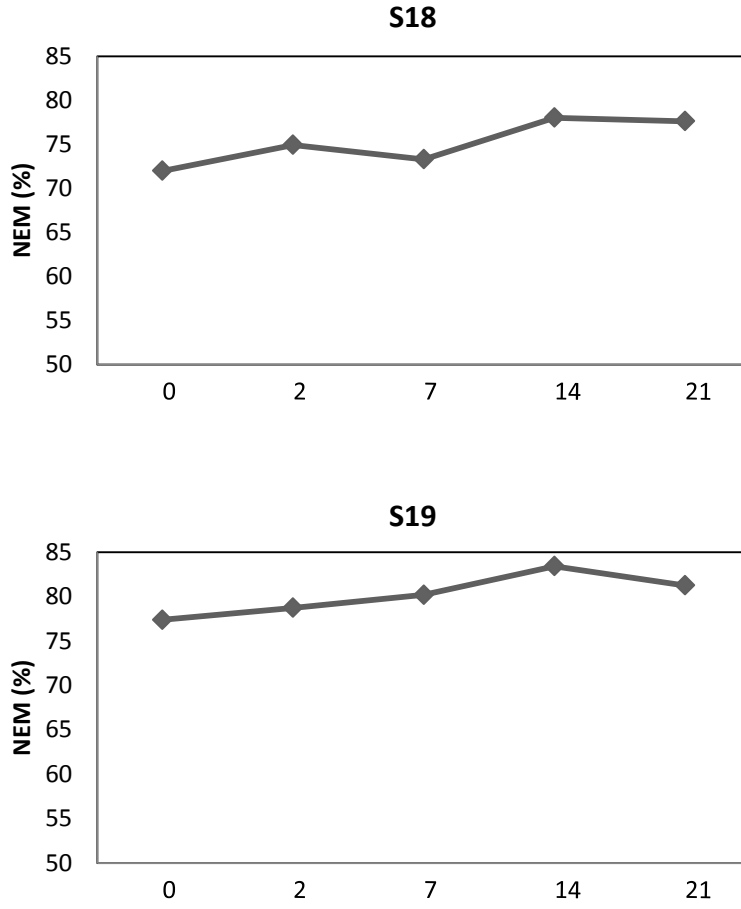
Şekil 4.3 Reaktörlere ait nem değişim grafikleri (devam)



Şekil 4.3 Reaktörlere ait nem değişim grafikleri (devam)



Şekil 4.3 Reaktörlere ait nem değişim grafikleri (devam)



Şekil 4.3 Reaktörlere ait nem değişim grafikleri (devam)

4.5. Kuru Madde Kayıpları

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 (21. gün) tartılmıştır. Ayrıca örnek olarak oluşan kütle kayıplarını da hesaba katabilmek için alınan örneklerde tartılmıştır. 19 denemenin 17 sinde bu tartımlar gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.7’ de reaktörlerdeki kuru madde miktarları ve bir önceki örnek alma gününden itibaren toplam meydana gelen kuru madde kayıpları gösterilmiştir. Çizelgede gösterilen bu değerlerde kuru madde kayıpları hesaplanırken alınan örnek miktarları dikkate alınmış ve bu değerler kuru madde kaybı olarak gösterilmemiştir.

Çizelge 4.7 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)
S3	0	2988,8			S4	0	3176,8		
	2	3183,75	-407,2			2	3223,44	-220,88	
	7	2888,2	213,03	394,55		7	3294,72	-162,8	625,6
	14	2203,2	611,56			14	2378,58	834,12	
	21	2226,04	-22,84			21	2203,42	175,16	
S5	0	3220,4			S6	0	2424,8		
	2	3330,7	-180,42			2	2553,776	-208,368	
	7	2504,3	763	748,39		7	2430,468	39,383	120,883
	14	2338,49	165,81			14	2140,6	289,868	
S7	0	3131,204			S8	0	3079,024		
	2	3090,08	-23,356			2	2973,696	38,536	
	7	2695,923	340,373	166,46		7	2920,533	-14,894	213,937
	14	2846,48	-150,557			14	2730,238	190,295	
S9	0	2900,261			S10	0	3182,256		
	2	2868,606	-43,693			2	3069,605	45,276	
	7	2676,362	127,094	544,158		7	2807,945	197,785	736,719
	14	2423,54	190,997			14	2580,48	182,105	
	21	2153,78	269,76			21	2268,927	311,553	
S11	0	3170,308			S12	0	2327,303		
	2	2929,116	174,742			2	2463,132	-229,5492	
	7	2636,137	230,154	1046,397		7	1956,058	434,1144	217,268
	14	2252	327,837			14	1785,549	98,8288	
	21	1938,336	313,664			21	1871,675	-86,126	
S13	0	2214,649			S14	0	2572,828		
	2	2578,228	-437,1328			2	2547,6	-47,804	
	7	2075,653	447,8948	189,283		7	2325,58	153,986	487,7762
	14	1850,669	171,245			14	2118,634	135,1956	
	21	1843,393	7,276			21	1872,235	246,3986	
S15	0	2785,277			S16	0	2603,53		
	2	2521,478	184,8886			2	2482,3	44,634	
	7	2494,915	-46,462	768,1876		7	2228,09	192,6754	721,2374
	14	2244,474	174,4906			14	1985,263	175,902	
	21	1789,204	455,2704			21	1677,237	308,026	
S17	0	2682,251			S18	0	2466,8		
	2	2343,104	251,9424			2	2128,596	280,5656	
	7	1552,668	737,5264	1115,962		7	2169,108	-96,5816	636,5308
	14	2225,599	-755,6952			14	1677,953	442,7988	
	21	1343,411	882,1884			21	1668,205	9,748	
S19	0	2649,52							
	2	2398,256	202,3204						
	7	2151,366	197,365	593,8264					
	14	2467,837	-376,196						
	21	1897,5	570,337						

Kompost kütlesindeki kuru madde kayıpları kompostlama işleminin gösterge değeri olarak değerlendirilmektedir. Reaktörlerin hepsinde kuru madde kaybı meydana gelmiştir. Çizelge 4.7’ de bazı günlerde kuru madde artışı meydana gelmiş gibi

gözükmesinin sebebi nem tayininde kompost karışımının homojen olmaması dolayısı ile de alınan örneklerin kompost karışımını temsil edebilecek yapıda olamamasıdır.

Kuru madde miktarlarındaki toplam azalma değerlendirildiğinde en yüksek azalma S17 (1115,96 gr) ve S11 (1046,397 gr) denemelerinde meydana gelmiştir. Kuru maddedeki en az azalma ise sırası ile S6 (120,883 gr) S7 (166,46) ve S13 (189,283) denemelerinde gerçekleşmiştir. Kuru madde miktarındaki azalmanın en fazla olduğu 2 denemede ayçiçeği sapı kullanılan denemelerdir. Kuru madde miktarındaki azalmanın en az olduğu S6 ve S7 denemelerinde gübreden kaynaklı inhibisyon olduğu düşünülmektedir. S13 denemesinde ise ikincil ham madde olarak kuru yaprak kullanılmıştır.

Kuru madde kayıpları göz önünde bulundurulduğunda en iyi kompost verimi S17 denemesinde gerçekleşmiştir. En düşük verim ise S6 ve S7 denemeleri göz ardı edildiğinde karışım oranı; %20 kuru çınar yaprağı, %30 çamur ve %50 gübre içeren S13 denemesinde gerçekleşmiştir.

4.6. Karbon Azot Kayıpları

Her bir reaktör için 0., 2., 7., 14., ve 21. günlerdeki KM miktarları hesaplandıktan sonra kompostlanma süresince oluşan Karbon (C) ve Azot (N) kayıpları belirlenmiştir. Çizelge 4.8' de 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 4.8 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
S3	41,96	40,57	1,03	154,47	12,32
S4	44,25	42,20	1,05	261,04	18,57
S5	41,06	39,95	1,03	304,75	23,05
S6	43,49	41,12	1,06	45,07	4,27
S7	38,88	35,74	1,09	64,35	5,29
S8	38,88	36,98	1,05	79,67	6,65
S9	37,12	36,51	1,02	201,99	18,76
S10	39,16	36,28	1,08	277,92	22,30
S11	41,59	38,68	1,08	409,94	31,09
S12	44,20	43,14	1,02	80,39	7,81
S13	43,30	40,80	1,06	65,39	6,82
S14	44,67	40,54	1,10	199,70	17,38
S15	44,21	41,20	1,07	319,64	25,96
S16	45,29	41,43	1,09	302,54	25,66
S17	46,85	39,49	1,19	481,04	38,28
S18	41,73	39,09	1,07	257,43	25,01
S19	43,29	36,89	1,17	267,53	23,32

Kompostlamada gerçekleşen mineralizasyon prosesi sonucu reaktöre yerleştirilen kompost karışımının karbon içeriği azalmaktadır. Organik karbon içerikleri tüm kompost denemelerinde azalmıştır. 21 günlük kompost prosesi boyunca en yüksek karbon kaybı S17 reaktöründe (başlangıç karbon içeriğine göre 38,28%) oluşurken, en düşük karbon kaybı S6 reaktöründe (4,27%) oluşmuştur. Reaktörlerde ki kuru madde kayıpları göz önüne alınarak hesaplanan karbon kayıpları değerlendirildiğinde, S17 reaktöründeki karbon mineralizasyonu diğer reaktörlerin büyük bir çoğunluğundan çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun başlıca sebepleri ise en yüksek başlangıç C yüzdesine sahip olması (kolay parçalanabilir C içeriği fazla), karışımın C/N oranının literatürde belirlenen optimum C/N oranında olması ve termofilik fazın en uzun sürdüğü deneme olmasıdır.

Çizelge 4.9’ da yapılan çalışmalara ait başlangıç ve bitiş % N oranları, kütle ve yüzde olarak N kayıpları yer almaktadır. Çizelgede verilen % N kaybı değeri başlangıçtaki N kütlesine göre reaktörden uzaklaşan N kütlesinin yüzdesidir.

Çizelge 4.9 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
S3	1,51	1,83	0,82	8,05	17,87
S4	1,47	1,72	0,86	10,72	22,93
S5	1,60	1,79	0,89	13,01	25,31
S6	1,92	2,03	0,95	-3,55	-7,62
S7	1,23	2,37	0,52	7,46	19,36
S8	2,27	2,22	1,02	0,42	0,61
S9	2,44	2,20	1,11	12,62	17,86
S10	2,43	2,18	1,12	17,35	22,40
S11	2,32	2,34	0,99	23,54	32,07
S12	1,36	1,68	0,81	3,70	11,65
S13	1,74	2,09	0,83	5,45	14,10
S14	1,71	2,26	0,76	10,76	24,43
S15	1,72	2,19	0,78	15,64	32,70
S16	1,71	2,24	0,77	14,96	33,56
S17	1,51	2,56	0,59	23,48	57,91
S18	1,89	2,27	0,83	11,37	24,38
S19	2,20	2,21	1,00	12,92	22,11

Başlangıç ve bitiş N oranlarına bakıldığında S8, S9 ve S10 reaktörleri haricinde bütün reaktörlerde N artışı olmuştur. Bu veriler doğrultusunda en yüksek N artışı S7 ve S17 reaktörlerinde (0,52 ve 0,59) gerçekleşmiştir. Fakat başlangıç N içeriğine göre en fazla N kaybı S17 reaktöründe (57,91%) gerçekleşmiştir.

Kompostun N içeriği kompost kalitesini etkileyen bir faktördür. Dolayısı ile kompostlama prosesinde N kaybı istenmeyen bir durumdur. Düşük C/N oranına sahip kompost karışımlarında fazla azot amonyak gazı ya da suda çözünen nitrat kaybına neden olur. Bunlarda koku, değerli bitki besin maddeleri kaybı gibi çevresel sorunlara yol açarlar (Öztürk ve ark. 2010).

Kompost karışımının N yüzdesinin artması; karışımın C/N oranının düşmesi ve buna bağlı olarak kompostun olgunlaşmaya başladığının bir göstergesidir.

4.7. pH ve Elektriksel İletkenlik

pH değeri, kompost prosesini etkileyen bir parametredir. İyi bir kompostlama için hazırlanan karışımın pH değerinin 6-8 arasında olması tavsiye edilir. Yapılan denemelerin hepsinde pH değerinde artış gözlenmiştir ve bitiş günü örneklerinde bütün kompost karışımlarının pH' ı nötral seviyelerdedir. Elektriksel iletkenlik seviyelerinde çoğunlukla kayda değer değişimler olmamıştır. pH ve EC ye ait veriler Çizelge 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Reaktörlerdeki pH ve EC değerleri

Deney No	Zaman (Gün)	pH	Standart Sapma	EC (mS/cm)	Standart Sapma
S2	0	6,5	± 0,1	3,25	± 0,05
	2	6,72	± 0,04	3,05	± 0,11
	7	6,85	± 0,03	3,19	± 0,05
	14	7,05	± 0,02	3,18	± 0,04
	21	7,16	± 0,02	3,22	± 0,01
S3	0	6,74	± 0,04	2,16	± 0,09
	2	7,14	± 0,01	2,47	± 0,06
	7	6,96	± 0,01	2,46	± 0,05
	14	7,26	± 0,02	2,5	± 0,03
	21	7,39	± 0,01	2,81	± 0,03
S4	0	7,02	± 0,01	2,41	± 0,05
	2	6,88	± 0,01	2,31	± 0,07
	7	7,09	± 0,01	3,04	± 0,04
	14	7,48	± 0	2,8	± 0,01
	21	7,57	± 0	2,85	± 0,01
S5	0	7	± 0,05	1,95	± 0,03
	2	6,97	± 0,01	2	± 0,01
	7	7,07	± 0,03	2,08	± 0,02
	14	7,09	± 0	2,26	± 0,03
	21		±		±

Çizelge 4.10 Reaktörlerdeki pH ve EC değerleri (devam)

Deney No	Zaman (Gün)	pH	Standart Sapma	EC (mS/cm)	Standart Sapma
S6	0	7,09	± 0,02	2,7	± 0,21
	2	7,1	± 0,04	2,64	± 0,16
	7	7,19	± 0,01	2,9	± 0,04
	14				
	21				
S7	0	6,9	± 0,02	3,12	± 0,4
	2	7,04	± 0,01	3,03	± 0,03
	7	7,01	± 0,02	3,13	± 0,02
	14				
	21				
S8	0	6,59	± 0,01	2,29	± 0,03
	2	6,63	± 0,01	2,38	± 0,01
	7	6,56	± 0,04	2,57	± 0,06
	14				
	21				
S9	0	7,3	± 0	4,42	± 0,09
	2	7,38	± 0,01	4,5	± 0,14
	7	7,42	± 0,01	4,34	± 0,16
	14	7,56	± 0,02	4,33	± 0,06
	21	7,85	± 0,01	4,34	± 0,19
S10	0	6,94	± 0,03	4,22	± 0,03
	2	7,33	± 0,01	3,95	± 0,03
	7	7,37	± 0	4,11	± 0,12
	14	7,55	± 0,01	4,18	± 0,17
	21	7,82	± 0,01	4,26	± 0,1
S11	0	7,23	± 0,01	5,2	± 0,12
	2	7,5	± 0,2	5,26	± 0,05
	7	7,68	± 0,01	4,89	± 0,06
	14	7,73	± 0,02	5,08	± 0,21
	21	7,62	± 0,01	5,57	± 0,19
S12	0	6,52	± 0	2,7	± 0,05
	2	6,38	± 0,01	2,83	± 0,03
	7	6,63	± 0,01	2,61	± 0,02
	14	6,83	± 0,01	2,83	± 0,02
	21	7,05	± 0,01	2,75	± 0,05
S13	0	6,68	± 0,01	2,72	± 0,06
	2	6,86	± 0,01	2,52	± 0,04
	7	6,64	± 0,03	2,92	± 0,02
	14	7,07	± 0,01	2,76	± 0,01
	21	7,13	± 0	2,82	± 0,01
S14	0	6,41	± 0,01	2,97	± 0,04
	2	6,6	± 0,01	2,79	± 0,05
	7	6,75	± 0,01	2,73	± 0,03
	14	7,01	± 0,01	2,74	± 0,02
	21	7,14	± 0,01	2,8	± 0,02

Çizelge 4.10 Reaktörlerdeki pH ve EC değerleri (devam)

Deney No	Zaman (Gün)	pH	Standart Sapma	EC (mS/cm)	Standart Sapma
S15	0	6,36	± 0,01	3,05	± 0,06
	2	6,6	± 0,01	2,67	± 0,01
	7	6,69	± 0,03	2,61	± 0,04
	14	6,81	± 0,01	2,9	± 0
	21	6,98	± 0,01	2,69	± 0,01
S16	0	6,06	± 0,01	3,18	± 0,03
	2	6,44	± 0,02	2,54	± 0,03
	7	6,67	± 0	2,51	± 0,01
	14	6,76	± 0,01	2,74	± 0,08
	21	6,86	± 0	2,77	± 0,02
S17	0	6,57	± 0,02	4,42	± 0,08
	2	6,75	± 0,01	3,97	± 0,08
	7	6,92	± 0,01	4,31	± 0,09
	14	6,97	± 0	4,57	± 0,14
	21	7,04	± 0,01	4,85	± 0,13
S18	0	5,98	± 0,01	3,1	± 0,04
	2	6,17	± 0,01	3,03	± 0,02
	7	6,41	± 0,01	2,81	± 0,04
	14	6,83	± 0,03	2,81	± 0,03
	21	7,14	± 0,02	2,87	± 0,01
S19	0	5,88	± 0	3,88	± 0,02
	2	6,47	± 0,01	3,33	± 0,03
	7	6,79	± 0,01	3,2	± 0,04
	14	6,99	± 0,01	3,1	± 0,01
	21	7,22	± 0,01	3	± 0,03

Yapılan denemelerde başlangıç pH değeri en düşük S19 (pH 5,88) ve en yüksek S9 (pH 7,3) denemelerinde ölçülmüştür. Başlangıçta CO₂ ve organik asitlerin oluşumu nedeniyle pH değeri yaklaşık 5-6 seviyesine düşerken, proses ilerledikçe 8,0-8,5 seviyesine kadar ulaşabilir. Bu durum çoğunlukla, CO₂ eliminasyonundan olduğu kadar proteinlerin ayrışmasından da ileri gelmektedir (Sharma ve ark. 1997, Varank 2006). Yapılan denemelerde pH değeri 0 ve 2.günler arasında sadece S4, S5, S6 ve S12 denemelerinde en fazla 0.14' lük bir düşüş göstermiştir. Bununla birlikte bu denemelerde 7. gün örneklerinde başlangıç pH 'ndan bile daha yüksek pH değerleri belirlenmiştir. Ayrıca Demir ve ark. (1999) tarafından yapılan anason atıklarının kompostlanması çalışmasında ise, pH 'ın başlangıç aşamasında arttığı ve stabilizasyon sonrasında 8,5 değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde yapılan çalışmada

S4, S5, S6 ve S12 denemeleri haricindeki bütün denemelerde az da olsa başlangıç aşamasında pH artışı gözlenmiştir.

Denemelere ait son gün pH değerleri sırasıyla maksimum pH 7,85 ile S9 ve minimum 6,56 ile S8 denemesidir. Bu değerler tavsiye edilen aralıktadır dolayısı ile ayırma prosesi ve bakteriler bakımından, kompost karışımlarının pH değerleri optimum aralıktadır.

Elektriksel iletkenlik (EC), çözünmüş tuz konsantrasyonunun göstergesi olmasından dolayı önemli bir parametredir. İletkenlik, çözünmüş iyonların miktarı ve türü ile değişmektedir. İletkenlik, kompostun toprak iyileştiricisi olarak kullanılmasında, fitotoksosite potansiyelini değerlendirmek için özel önem taşımaktadır. Yapılan denemelerde başlangıç da ki EC değerleri incelendiğinde en yüksek EC' lik değeri 5200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile ayçiçeği sapının kullanıldığı S11 denemesinde en düşük EC ise 1950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile S5 denemesindedir. Gübre oranının yüksek olduğu veya ayçiçeği sapının kullanıldığı denemelerde yüksek EC değerleri gözlenmiştir. EC' nin kompostlama sürecinde en fazla değişim gösterdiği deneme 880 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lik artışla patates kabuğu ilaveli S19 denemesindedir. En az değişim ise 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ artışla S7 denemesinde belirlenmiştir.

4.8. Serbest Hava Boşluğu

Schulze (1962), evsel atıkların ve çamurların 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 atıklarla yaptıkları kompostlama çalışmaları sonucunda serbest hava boşluğunun % 30-36 olması halinde en verimli sonuçları elde ettiklerini belirtmişlerdir. Haug (1993) da atık türü ve kullanılan teknolojiye bağlı olmaksızın yeterli oksijenin sağlanabilmesi için minimum serbest hava boşluğunun % 20-30 olması gerektiğini belirtmişlerdir (Spinosa and Vesilind, 2001). Çizelge 4.11' de reaktörlerdeki FAS değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.11 Reaktörlerdeki FAS değerleri

FAS (%)		FAS (%)	
S2	28,28	S11	15,42
S3	23,43	S12	27,37
S4	28,27	S13	17,34
S5	20,12	S14	19,37
S6	20,86	S15	22,16
S7	11,22	S16	18,72
S8	15,84	S17	23,47
S9	12,66	S18	17,07
S10	12,98	S19	11,74

Görüldüğü üzere yapılan çalışmaları yarısından fazlasında serbest hava boşluğu tavsiye edilen aralığın altındadır. Nem değeri % 70’ den fazla olan bütün denemelerin FAS değeri 20’nin altın olduğu belirlenmiştir.

4.9. Stabilité ve Olgunluk

Kompostlama işleminde stabilité ve olgunluk belirtisi olarak elde edilen kompostta C/N’in 20 ’nin altındaki oranlarda olması stabil bir kompost olduğu ifade edilmiştir. De Baere ve diğerleri (1985) ise bu sınırın 18 olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalara ait nihai C/N oranları daha önceki bölümlerde Çizelge 4.5’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5’ e göre S7, S8, S9, S10, S11, S14, S17, S18 ve S19 denemelerinden elde edilen kompostun stabil olduğu söylenebilir. Fakat C/N oranı parametresinin kullanımı bazı durumlarda yanıltıcı olabilmektedir. Buna örnek olarak ligninin karbon içeriği yüksek olmasına rağmen, mikroorganizmalar için iyi bir besi kaynağı değildir (Aydın ve Kocasoy, 2002). Ayrıca özellikle arıtma çamuru kompostlanmasında başlangıç C/N oranı 18’in altında olabilmektedir. 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. Morel ve diğerleri (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), $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerinin farklı kompostlama süreleri için, 0,49 ila 0,85 arasında değiştiğini belirtmiştir. Aydın ve Kocasoy (2002) tarafından yapılan çalışmada $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ oranı 0,55-0,7, Tosun (2003) tarafından ise 0,45 ila 0,6 aralığında bulunmuştur. Çizelge 4.12’ de yapılan çalışmalara ait $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.12 $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerleri

$(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$		$(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$	
S2	1,60	S11	0,92
S3	0,80	S12	0,79
S4	0,83	S13	0,78
S5	0,86	S14	0,69
S6	0,91	S15	0,73
S7	0,50	S16	0,70
S8	1,00	S17	0,50
S9	1,09	S18	0,78
S10	1,04	S19	0,85

Bu çalışmada, S2, S5, S6, S8, S9, S10 ve S11 numaralı denemelerin yeterli olgunluğa ulaşamadıkları anlaşılmaktadır. Diğer denemelerin ise Aydın ve Kocasoy (2002) ile Tosun’un (2003) ortaya koyduğu değerlerden yüksek olmakla birlikte, Jimenez ve Garcia (1989) tarafından elde edilen değerlerle uyum göstermektedir.

4.10. Amonyum / Nitrat Oranı (Nitrifikasyon İndeksi)

Kompost olgunluğunu analiz etmek için suda çözünen amonyum ve nitrat oranı ($\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$) kullanılabilir. Yalnız 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'e dönüştürülmesi 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. Genel olarak bu oranın $< 0,5$ olması ürünün çok olgun olduğunu, 0,5-3 arasında olması olgun olduğunu ve > 3 olması olgunlaşmamış olduğunu göstermektedir (Öztürk ve ark. 2010).

Bu bilgiler doğrultusunda yapılan deneylerin neredeyse tamamında $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının toplamının 75 mg/kg' dan büyük olduğu ve kompostun olgunluğunun ölçülmesinde $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ oranının kullanılabilir olduğu söylenebilir. Yapılan deneylerde sadece S12 ve S16 numaralı reaktörlerde son ürün $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ oranı 3 ün üzerinde kalmıştır. Sonuç olarak $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ oranı göze alındığında deneylerin büyük çoğunluğunun başarılı sonuçlanmıştır. Fakat deney sonuçlarının tamamı 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. Çizelge 4.13'de yapılan denemelere ait amonyum nitrat değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.13 Deneylere ait amonyum nitrat değerleri

Deney No	Örnek (Gün)	Ort. NH ₄ -N (mg/kg)	Ort. NO ₃ -N (mg/kg)	NH ₄ -N + NO ₃ -N	NH ₄ -N / NO ₃ -N
S2	0	236,21	30,61	266,82	7,72
	2	905,35	26,24	931,59	34,51
	7	1206,99	271,14	1478,13	4,45
	14	852,63	463,45	1316,08	1,84
	21	533,61	887,85	1421,46	0,60
S3	0	138,53	91,24	229,76	1,52
	2	34,62	82,73	117,35	0,42
	7	52,32	266,20	318,52	0,20
	14	87,79	1241,86	1329,65	0,07
	21	69,97	1586,08	1656,06	0,04
S4	0	88,71	60,33	149,05	1,47
	2	63,66	191,64	255,29	0,33
	7	88,72	71,64	160,37	1,24
	14	67,73	277,48	345,21	0,24
	21	57,67	458,33	516,00	0,13
S5	0	69,97	69,97	139,93	1,00
	2	285,70	53,32	339,02	5,36
	7	361,55	204,10	565,66	1,77
	14	131,23	682,41	813,64	0,19
	21				
S6	0	113,73	61,24	174,97	1,86
	2	0,00	151,66	151,66	0,00
	7	0,00	233,31	233,31	0,00
	14				
	21				
S7	0	61,23	61,22	122,44	1,00
	2	78,35	708,50	786,85	0,11
	7	53,43	396,61	450,05	0,13
	14				
	21				
S8	0	1,00	88,75	89,75	0,01
	2	59,00	187,00	246,00	0,32
	7	60,67	78,67	139,33	0,77
	14				
	21				
S9	0	131,19	13,12	144,31	10,00
	2	91,67	225,00	316,67	0,41
	7	78,91	62,00	140,91	1,27
	14	233,44	489,81	723,25	0,48
	21	114,90	886,34	1001,24	0,13

Çizelge 4.13 Deneylere ait amonyum nitrat değerleri (devam)

Deney No	Örnek (Gün)	Ort. NH ₄ -N (mg/kg)	Ort. NO ₃ -N (mg/kg)	NH ₄ -N + NO ₃ -N	NH ₄ -N / NO ₃ -N
S10	0	218,69	1,00	219,69	218,69
	2	0,00	128,26	128,26	0,00
	7	151,62	83,82	235,44	1,81
	14	187,78	647,40	835,18	0,29
	21	85,51	1049,60	1135,10	0,08
S11	0	148,71	109,34	258,05	1,36
	2	113,24	76,40	189,65	1,48
	7	184,91	1038,02	1222,93	0,18
	14	69,98	110,80	180,78	0,63
	21	55,78	67,33	123,11	0,83
S12	0	100,58	1,00	101,58	100,58
	2	99,12	1,00	100,12	99,12
	7	77,34	1,00	78,34	77,34
	14	78,62	1,00	79,62	78,62
	21	67,76	1,00	68,76	67,76
S13	0	43,73	1,00	44,73	43,73
	2	192,46	17,50	209,96	11,00
	7	103,12	70,00	173,11	1,47
	14	90,95	20,33	111,28	4,47
	21	71,13	38,00	109,13	1,87
S14	0	96,21	17,49	113,70	5,50
	2	104,97	50,24	155,21	2,09
	7	88,76	55,41	144,17	1,60
	14	86,77	34,99	121,76	2,48
	21	85,70	173,31	259,01	0,49
S15	0	192,49	30,62	223,11	6,29
	2	228,60	1,00	229,60	228,60
	7	175,07	1,00	176,07	175,07
	14	176,43	1,00	177,43	176,43
	21	188,33	77,49	265,82	2,43
S16	0	323,67	26,24	349,91	12,33
	2	209,07	1,00	210,07	209,07
	7	151,64	58,33	209,98	2,60
	14	157,45	1,00	158,45	157,45
	21	168,33	21,00	189,33	8,02
S17	0	131,22	19,25	150,47	6,82
	2	113,69	17,99	131,68	6,32
	7	115,49	17,49	132,98	6,60
	14	141,10	26,50	167,60	5,32
	21	138,45	52,22	190,67	2,65

Çizelge 4.13 Deneylere ait amonyum nitrat değerleri (devam)

Deney No	Örnek (Gün)	Ort. NH₄-N (mg/kg)	Ort. NO₃-N (mg/kg)	NH₄-N + NO₃-N	NH₄-N / NO₃-N
S18	0	314,98	43,75	358,72	7,20
	2	247,89	45,50	293,39	5,45
	7	175,89	78,87	254,76	2,23
	14	240,02	253,67	493,69	0,95
	21	331,85	1409,64	1741,49	0,24
S19	0	297,36	8,74	306,10	34,01
	2	191,41	52,98	244,39	3,61
	7	157,40	1,00	158,40	157,40
	14	137,05	177,87	314,93	0,77
	21	157,46	242,02	399,48	0,65

5. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada büyük baş hayvan gübrelerinin kullanım kapasitelerini arttırmak amacıyla kompostlanabilirliği incelenmiştir. Ayrıca evsel nitelikli arıtma çamurlarının da büyük baş hayvan gübreleri ile kompostlanarak, bu prosesin evsel nitelikli arıtma çamurlarının bertarafına uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle büyük baş hayvan gübresi, evsel nitelikli arıtma çamuru ve çınar yaprağından oluşan farklı oranlara sahip karışımlar yapılmış bunlardan elde edilen veriler incelenmiştir. Daha sonra belli karışım oranlarında çınar yaprağı yerine ayçiçeği sapı kullanılarak kompostlanma verimleri karşılaştırılmıştır. Büyük baş hayvan gübresi, evsel nitelikli atıksu arıtma çamuru ve çınar yaprağı ile yapılan kompostlama çalışmalarının verimlerini arttırmak için patates kabuğu ilavesi de yapılarak sonuçlar incelenmiştir.

Büyük baş hayvan gübresi, evsel nitelikli arıtma çamuru ve çınar yaprağından oluşan on iki adet kompost karışımı hazırlanmıştır. Bu 12 denemeden sadece arıtma çamuru, çınar yaprağı ve gübre karışım oranları sırası ile verilen; S2: %40, %30, %30; S5: %50, %20, %30 ve S13: %30, %20, %50 denemeleri 50°C 'nin üzerine çıkabilmiştir. Bu 12 denemeden hiçbirinde yeterli dezenfeksiyon gerçekleşmemiştir. Literatürde kompost olgunluğunu belirlemede kullanılan Nihai C/N, Nitrifikasyon indeksi ve $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ parametrelerinin hepsi göz önünde bulundurulduğunda bu 12 deneme içerisinde %30 arıtma çamuru, % 20 çınar yaprağı ve % 50 gübre içeren denemenin en iyi sonuçları verdiği söylenebilir.

Karışım kütlelerinin %20' sini oluşturacak kadar doğranmış yaş Patates kabuğu eklenen arıtma çamuru, çınar yaprağı ve hayvan gübresi karışım oranları; S16: %30, %20, %50 ve S19: %40, %10, %50 olan bu denemelerde yapılan ilavenin kompostlama verimini arttırdığı ortaya konulmuştur.

Yapılan 19 denemenin tamamı değerlendirildiğinde en iyi kompostlama verimi % 30 arıtma çamuru, % 20 ayçiçeği sapı ve % 50 gübre içeren denemede elde edildiği belirlenmiştir. Bu deneme çalışmadaki en yüksek sıcaklık değerine (65,1 °C) ulaşan ve termofilik fazın en uzun sürdüğü ve bu sayede yapılan denemeler arasında dezenfeksiyonun gerçekleşebilmesi için literatürde belirtilen süre ve sıcaklıkların

sağlandığı tek deneme olmuştur. Nihai C/N değeri açısından bakıldığında bu çalışmadaki en düşük nihai C/N değeri bu denemede elde edilmiş ve yeterli olgunluğa ulaşmıştır. $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ parametresine göre bu deneme 0,5 ile çalışmadaki en düşük değerde ve literatürde verilen sınır değerler arasındadır. Nitrifikasyon indeksi açısından incelendiğinde de elde edilen değer 2,65' tir ve bu değer karışımın yeterli olgunluğa ulaştığının göstergesidir. Sonuç olarak nihai C/N, $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ ve nitrifikasyon indeksi açısından bu denemenin yeterli olgunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. Bunların dışında kuru madde kaybı ve % C kaybı açısından yapılan çalışmadaki en iyi sonuçlar da yine bu karışım oranında elde edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda çınar yaprağının tek başına, kompost karışımını başarılı bir kompostlama için yeterli sıcaklık değerlerine ulaştıramadığı belirlenmiştir. Bunun başlıca nedeni yapısında bulunan yüksek miktardaki karbonun büyük bir bölümünün kolay parçalanabilir bir formda olmamasıdır. Fakat çınar yaprağının yapısı nem düşürücü ve poroziteyi artırıcı özelliğe sahiptir. Patates kabuğu ise bünyesinde ki kolay parçalanabilen karbon sayesinde biyolojik reaksiyonların daha hızlı gerçekleşebilmesini sağlar. Bu sayede çınar yaprağı ile patates kabuğunun birlikte kullanılması ile karışımın hem nem dengesi ve porozitesi hem de kolay parçalanabilir karbon içeriği artırılmış olur. Ayçiçeği sapı çınar yaprağının aksine daha fazla parçalanabilir karbona sahip ve iyi bir hacimleştiricidir. Bu nedenle iyi bir kompostlama için uygundur. Toz halde glikoz eklenen denemede amaç; ortamdaki kolay parçalanabilir karbon miktarını artırıp kompost karışımının bünyesindeki mikroorganizmaların aktivitelerini hızlandırmak ve dolayısı ile ani bir sıcaklık artışı sağlamaktır. Fakat eklenen glikoz miktarı yeterli gelmemiştir. Miktarın artırılması daha büyük çaplı kompostlama çalışmalarında ekonomik olarak maliyet artırıcı bir etken olacağından denenmemiştir.

6.KAYNAKLAR

APHA, AWWA, WPCF 1998. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, Copyright by American Public Health Association, 20th edition, Baltimore, USA, 1269.

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.

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.

Baban, A., Timur, H., Cılız, N., Olgun, H. ve Akgün, F. 2001. Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi Başlangıç Raporu, TÜBİTAK-MAM.

Ball, A.S. Shah, D., Wheatley, C.F. 2000. Assessment of the potential of a novel newspaper/horse manure-based compost. *Bioresource Tech.*, 73: 163-167.

Bayer, Y. 2008. Ayrı toplamanın kompostlanma üzerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Bernal, M.P., Navarro, A.F., Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A., Cegarra, J. 1998. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 30: 305-313.

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

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.

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.

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.

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

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

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

Erdem, A., Topkaya, B., Dursun, D., Güney, N., 2001. Katı Atık Bertarafında Kompostun Yeri. 1. Ulusal Katı Atık Kongresi, 18-21 Nisan 2001, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü ve Çevre Araştırma ve Uygulama Merkezi (ÇEVMER), İzmir.

Erdim, E. 2003. İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Kompostlaştırılmasında Farklı Katkı Maddelerinin Etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

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

Georgakakis, D., Krintas, T. 2000. Optimal use of the system in composting poultry manure. *Bioresource technology*, 72 (3): 227-233.

Golueke, C.G. 1972. Composting – A Study of the Process and Its Principles, Rodale Press, Inc., Emmaus, Pennsylvania.

Gouin, F.R. 1992. Using Compost Sawage sludge in the production and maintenance of ornamental plants. Maryland Cooperative Extension. University of Maryland. Department of Horticulture.

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.

Guerra-Rodriguez, E., Diaz-Ravina, M., Vazquez, M. 2001. Co-composting of chestnut burr and leaf litter with solid poultry manure. *Bioresource Technology*, 78 (1): 107-109.

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.

- İnan, İ. 2012.** Hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının stabilizasyonunda kullanılan kompostlama ve anaerobik çürütme proseslerinin verimliliklerinin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh., Bursa.
- 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. Elsevier Science Ltd.
- Jeris, J.S., Regan R.W. 1973.** Controlling environmental parameters for optimum composting. Part 2. Compost Sci. 14, 8-15.
- Jimenez E.I. ve Garcia V.P. 1989.** Evaluation of city refuse compost maturity, Biological Wastes, 27: 115-142.
- 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.
- Kutzner, H.J. 2000.** Microbiology of composting. *Biotechnology*, 11: 35–100.
- Külcü, R. ve Yaldız, O. 2004.** Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Bioresource Technology*, 93: 49-57.
- Lester, J.N., Birkett, J.W. 1999.** Microbiology and Chemistry for Environmental Scientists and Engineers. Spon Press, New York, USA, 380-400 s.
- 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.
- 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, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, ed: A.L. Page, ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA, 199-223.
- Mehmetli, E., Binici, M.S., Tosun, C. ve Baban, A. 2010a.** Büyükbaş hayvan atıklarının kompostlanması: Türkiye örneği. IWES, 4-5 kasım 2010, WOW Convention Center, İstanbul.

- Mehmetli, E., Tosun, C., Binici, M.S., Baban, A., Manav, N., oşkun, T. ve Debik, E. 2010b.** Bykbaş hayvan atıklarının kompostlanmasında mevsimsel etkilerin incelenmesi. ORAK, 8-9 Haziran 2010, İstanbul.
- Michel, F.C., Pecchia, J.A., Rigot, J., Keener, M. 2003.** Mass and nutrient losses during composting of dairy manure with sawdust versus straw amendment. Manuscript Submitted to Compost Science and Utilization journal, 8/5/2003.
- Miller, F.C. 1996.** Heat Evolution During Composting of Sewage sludge: Science of Composting, Editr: Bertoldi, M., USA, 106-117s.
- 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.
- Mosher, D. ve Anderson, R. K 1977.** Composting Sewage Sludge by High-Rate Suction Aeration Techniques. EPA interim report, SW-614d
- 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.
- Neves, L., Ferreira, V. Ve Oliveira, R. 2009.** Co-composting cow manure with food waste: The influence of lipids content, World Academy of science, Engineering and technology, 58: 986-991.
- Okalebo, J.R., Gathua, K.W., Woomer, P.L. 1993.** Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual, TSBF programe, Soil Science Society of East Africa technical publication no. 1, UNESCO, Rosta, Kenya.
- ztrk, İ., Demir, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O., ifti, T., akmak, İ., Öztürk, L., Yıldız, ř., Kiriş, A. 2010.** Kompost El Kitabı. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 15-16 s.
- ztrk, İ., Timur, H., Koşkan, U. 2005.** Atıksu Arıtımının Esasları. T.C. evre ve Orman Bakanlığı, İstanbul, Türkiye, 315-326 s.
- ztrk, M., Bildik, B., 2005.** Hayvan iftliklerinde Kompost retimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 151-153 s.
- 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.
- 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, Ithaca NY, USA.

Schulze, K.L. 1960. Rate of Oxygen Consumption and Respiratory Quotient During the Aerobic Decomposition of synthetic Garbage, *Compost Science*. 1,1,36-40

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,

Stoffella, P.J., Kahn, B.A. 2001. Compost Utilization in horticultural cropping systems. lewis publishers, NewYork, USA 480 pp.

Sullivan, D.M. ve Miller, R.O. 2001., Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems. Compost Quality Attributes, Measurements and Variability lewis publishers, NewYork, USA.

Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik, 04.06.2010, Çevre ve Orman 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.

Trautmann, N. ve Olynciw, E. 2001. The Science and Engineering of Composting. Cornell Composting. <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>.

Tosun, İ. 2003. Gül İşleme Posasının Evsel Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaşabilirliği, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.

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, 1994. Composting yard trimmings Municipal solid waste. United States

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.

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.

Vladmaa, K. 1973. Composting of wastes: Environmental Engineering: A chemical Engineering Discipline, Editörler: Lindner G. Ve Nyberg K., D. Reidel P.C., Dordrecht, Holland, s.445-449

Vuorinen, A.H. ve Saharinen, M.H. 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 66 (1): 19-29

Wiley, J. S. and Pearce, G. W. 1957. A preliminary study of high-rate composting. *Trans. ASCE*, 122, 1009-1034.

Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş, A. 2009. Kompost teknolojileri ve İstanbul'daki uygulamaları. *Kompostlanma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı*. 18-19 Haziran.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Abdullah ÇATALTAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi :İstanbul 23.07.1985

Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Özel İhlas Marmara Evleri Anadolu Lisesi

Lisans :Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, 2009.

Yüksek Lisans :Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

İletişim (e-posta) :acataltas@hotmail.com

Yayınları (SCI ve diğer) :Toksik Organik Bileşiklerin Solar Fotokataliz Yöntemiyle Bertarafı 2009., Uludağ Üniversitesi Lisans Tezi, Bursa.