

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**KÜMES HAYVANLARI ATIKLARININ KENTSEL KATI
ATIKLAR İLE KOMPOSTLAŞTIRILABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Elif Tuğçe KABAK

Danışman
Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN

Bu tez Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.19.027 nolu
Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

SAMSUN

2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Elif Tuğçe KABAK tarafından, **Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN** danışmanlığında hazırlanan “**Kümes Hayvanları Atıklarının Kentsel Katı Atıklar ile Kompostlaştırılabilirliğinin İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 27.8.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı		İmza	Sonuç
Üye (Danışman)	Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN		☒ Kabul
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Andaç AKDEMİR		☒ Kabul
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Fulya AYDIN TEMEL		☒ Kabul
	Giresun Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans Yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi? Evet ☐ Hayır ☒

... / ... / 2021

Elif Tuğçe KABAK

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Kümes Hayvanları Atıklarının Kentsel Katı Atıklar ile Kompostlaştırılabilirliğinin İncelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 16/09/2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 15

Tek kaynak oranı : % 5 çıkmıştır.

... / ... / 2021

Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN

ÖZET

KÜMES HAYVANLARI ATIKLARININ KENTSEL KATI ATIKLAR İLE KOMPOSTLAŞTIRILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Elif Tuğçe KABAK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Eylül/2021
Danışman: Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN

Organik madde içeriği yüksek olan kümes hayvanı atıkları tarımsal alanlarda bir besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda artan kümes hayvan besiciliği sonucu meydana gelen atıkların tarımsal alanlarda direkt işlenmesi ile ortaya çıkan çevre sorunları çözüm alternatiflerinin incelenmesini ihtiyaç haline getirmiştir.

Amaç: Bu çalışmada kümes hayvanı atıklarının kentsel katı atıklarla birlikte kompostlaştırılabilirliği incelenmiştir.

Yöntem: Kentsel katı atıklara 3 farklı oranda (%10, %25 ve %40) kümes hayvanı atığı ilave edilmiştir. Buna ilave olarak tamamen kümes hayvanı atığı ve tamamen kentsel katı atık içeren iki farklı sistemde de kompostlaştırma yapılmış ve elde edilen sonuçlar kompost kalite kriterleri açısından karşılaştırılmıştır. Proses süresince tüm sistemlere aynı koşullar uygulanmıştır.

Sonuç olarak, kümes hayvanları atıkları ile kentsel katı atıkların birlikte kompostlaştırılmasının kompostun kalitesini geliştirdiği görülmüştür. En etkin karıştırma oranı kentsel katı atıklara %25 kümes hayvanı atığı ilavesi ile elde edilmiştir. Kentsel katı atıklara, kümes hayvanı ilavesi ile kentsel katı atıkların yüksek nem içeriği dengelenmiş, termofilik sıcaklık derecelerine ulaşılmış ve daha az azot kaybı sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kompostlaştırma, kentsel katı atık, kümes hayvanları atığı, kompost kalitesi, kompost.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF WHETHER POULTRY WASTE CAN BE COMPOSTED WITH MUNICIPAL SOLID WASTE

Elif Tuğçe KABAK

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Master, September/2021

Supervisor: Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN

Poultry wastes with high organic matter content are used as a nutrient source in agricultural areas. Environmental problems arising from the direct processing of waste generated as a result of increasing poultry husbandry in agricultural areas made it necessary to examine solution alternatives.

Aim: In this study, compostibility of poultry wastes together with municipal solid wastes was investigated.

Method: Poultry wastes were added to municipal solid wastes at three different rates (10%, 25% and 40%). In addition, the composting was carried out in two different systems that consist of 100% of poultry waste and 100% of municipal solid waste. The results obtained were compared with the co-composting of poultry waste and municipal solid waste in terms of compost quality criteria. The same conditions are applied to all systems during the process.

As a result, it has been observed that the co-composting of poultry waste and municipal solid waste improves the quality of compost. The most effective mix ratio was achieved by adding 25% poultry waste to municipal solid waste. The addition of poultry waste to municipal solid waste balanced the high moisture content of municipal solid waste, achieved thermophilic temperature and caused less nitrogen losses.

Keywords: Composting, municipal solid waste, poultry waste, compost quality, compost.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, kümes hayvanları atığı ile meyve ve sebze atıklarından oluşan kentsel katı atıkların birlikte kompostlaştırılabilirliği incelenmiştir.

Çalışma, Çevre Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans öğrencilerimizden Elif Tuğçe KABAK'ın tez konusu olup Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde PYO.MUH.1904.19.027 nolu ve “Kümes Hayvanları Atıklarının Kentsel Katı Atıklarla Kompostlaştırılabilirliğinin İncelenmesi” isimli Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

Çalışmalarında yardımını eksik etmeyen, her zaman destekçim olan sayın hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN'a saygı ve teşekkürlerimi en içten dileklerle sunarım.

Katkılarıyla bana yön veren, pratik fikirlerinden faydalandığım Arş. Gör. Sevdâ Üstün ODABAŞI, Arş. Gör. Bilge Aydın, Arş. Gör. İsa IŞIK, Arş. Gör. Arife ŞİMŞEK, Arş. Gör. Sevdâ AKKAYA'YA sevgili eşim Elvan KABAK, arkadaşlarım Yasemin BAYINDIR, E. Ceren YILMAZ'a, ERGÜN TAVUKÇULUK'a ve emeği geçenlere sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim.

Tez çalışmamın her kısmında maddi ve manevi destek gösteren, beni büyüten ve okutan fedakâr aileme sonsuz minnetimi sunuyorum.

Elif Tuğçe KABAK

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ	1
2.KURAMSAL TEMELLER	2
2.1. Kompostlaştırmanın Tanımı	2
2.2. Kompostlaştırma Prosesi	2
2.3. Kompostlaştırma Prosesine Etki Eden Faktörler	5
2.3.1. Dane Boyutu.....	5
2.3.2. Su İçeriği	6
2.3.2.1. Su İçeriği ve Serbest Hava Boşluğu Arasındaki İlişki.....	7
2.3.2.2. Ağırlık ve Hacim İlişkileri.....	9
2.3.2.3. Porozite ve Serbest Hava Boşluğu Arasındaki İlişki.....	9
2.3.3. Karbon ve Azot	11
2.3.4. Sıcaklık.....	12
2.3.5. pH	15
2.3.6. Havalandırma ve Karıştırma	16
2.4. Kompostlaştırma Prosesinin Mikrobiyolojik Özellikleri.....	18
2.5. Katkı Malzemesi	21
2.6. Gözenek Malzemesi	22
2.7. Kompost Stabilitesini Belirleyen Faktörler	22
2.8. Kompostlaştırma Sistemleri.....	24
2.8.1. Açık Kompostlaştırma Sistemleri	25
2.8.1.1. Statik Yığın Sistemi	25
2.8.1.2. Karıştırmalı Yığın Sistemi	25
2.8.1.3. Havalandırılmalı Yığın Sistemleri	26
2.8.1. Kapalı Reaktör (In-vessel) Sistemler	28

2.9. Kompostun Faydaları ve Kullanım Alanları.....	29
2.10. Kompostun Kalitesi	30
3.MATERYAL VE YÖNTEM	32
3.1. Materyallerin Temini ve Özellikleri	32
3.1.1. Kümes Hayvanları Atıklarının Temini ve Özellikleri.....	32
3.1.2. Kentsel Katı Atıkların Temini ve Özellikleri	33
3.2. Pilot Kompostlaştırma Reaktörleri	33
3.3. Kompost Örneklerinin Alınması.....	34
3.4. Kompostlaştırma Denemeleri	34
3.5. Analizler.....	35
4.BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	36
4.1. Sıcaklık	36
4.2. pH.....	37
4.3. Nem İçeriği	39
4.4. Elektriksel İletkenlik.....	41
4.5. Toplam Azot (TN)	42
4.6. Toplam Karbon İçeriği.....	44
4.7. C/N Oranı.....	45
5.SONUÇ	48
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Aerobik kompostlaştırma prosesi	3
Şekil 2.2. Yığın sistemi.....	25
Şekil 2.3. Karıştırmalı yığın(windrow) sistemi	26
Şekil 2.4. Pasif havalandırılmalı yığın sistemi	27
Şekil 2.5. Blower ile havalandırılan yığın sistemi	28
Şekil 3.1. Pilot kompostlaştırma reaktörünün şematik görünümü	34
Şekil 4.1. Kompostlaştırma prosesi süresince sıcaklığın zamanla değişimi.....	37
Şekil 4.2. Kompostlaştırma prosesi süresince pH'nın zamanla değişimi	39
Şekil 4.3. Kompostlaştırma prosesi süresince nem içeriğinin zamanla değişimi	40
Şekil 4.4. Kompostlaştırma prosesi süresince iletkenliğin zamanla değişimi	41
Şekil 4.5. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam azotun zamanla değişimi	43
Şekil 4.6. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam karbonun zamanladeğişimi	45
Şekil 4.7. Kompostlaştırma prosesi süresince C/N oranının zamanla değişimi	47

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Farklı atıklara ait en yüksek nem içerikleri.....	8
Tablo 2.2. Kompostun kararlılık ve olgunluk parametreleri	23
Tablo 2.3. Kompostta ağır metal sınır değerleri.....	31
Tablo 3.1. Kümes hayvanları atıklarının özellikleri.....	32
Tablo 3.2. Kentsel katı atıkların özellikleri.....	33
Tablo 3.3. Kompostlaştırma denemelerinde kullanılan materyal oranları	35

1. GİRİŞ

Ülkemizde gelişmekte olan hayvan çiftliklerinin ve tarım alanlarının miktarı ve kapasitelerindeki çoğalma sebebiyle oluşan çevre sorunları her geçen gün artmaktadır. Çiftlik kapasitelerinin artmasıyla çok fazla gübre meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak çevre sorunları sürekli çoğalmaktadır. Bu kirleticilerin etrafa kötü sonuçlar getirmeyecek biçimde giderilmesi önem teşkil etmektedir.

Azot muhtevası bakımından verimli tavuk altlıklarının ziraat alanlarına direkt kullanılması, besinlerin yüzeysel akıntı ve sızıntılarla toprak altı ve yer üstü su kaynaklarına gitmesi neticesinde kaynakların bozulmasına, hastalık oluşturan maddelerin çoğalmasına ve istenmeyen kokuların var olmasına neden oluşturmaktadır. Bu nedenle tavuk altlıklarından daha faydalı biçimde yararlanılabilmesi için elverişli metotlarla giderilmesi gerekmektedir.

Tavuk altlıklarının topraklara elverişli bir biçimde uygulanması, toprağın şartlandırılması yönünden çok fazla etki gösterir. Kompostlaştırılan bu tarz atıklar neden oldukları çevre sorunlarını yararlı bir biçimde çözmesinin haricinde gübrenin kıymetini çoğaltarak faydalı bir biçimde uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Piyasanın hâli hazırdaki şartları dikkate alındığında, uygun yatırımlar ve işletme maliyetleriyle kompostlaştırma elverişli giderilme yöntemi olabilmektedir. Tavuk altlıklarının kompost işlemi yapılmasıyla hem organik madde içeriği verimli atıklara kompost uygulanarak yeniden ziraat alanlarına yüklenmesi ve böylelikle toprak niteliklerinin iyileştirilmesine neden olacak, hem de tarım getirisinin artmasına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın amacı, kümes hayvanları atıklarının, ülkemizde kentsel katı atık bileşiminde oldukça yüksek oranda bulunan yiyecek atıkları ile kompostlaştırılmasının incelenmesidir. Bu amaçla, kümes hayvanları atıkları ile yiyecek atıkları üç farklı oranda karıştırılmış ve sadece kümes hayvanları atığı ile sadece yiyecek atığının kompostlaştırıldığı sistemlerle kompost kalite kriterleri açısından kıyaslanmıştır. Proses süresince tüm sistemlere aynı koşullar uygulanmış ve birlikte kompostlaştırmanın etkisi incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kompostlaştırmanın Tanımı

Kompostlaştırma, inorganik olmayan maddelerin çevre koşullarında biyolojik şekilde ayrışmasını sağlamak ve sabit hale gelmesi sürecidir. Başka bir anlatımla; kompostlaştırma işlemi, karmaşık organik maddelerin daha basit bileşenlere aerobik bozunması ve son olarak bakteri ve mantarlar dâhil olmak üzere farklı mikropların etkisiyle olgun bir organik kompost haline getirilmesidir. Süreç sonucunda kompost diyebildiğimiz ve doğal gübre olacak şekilde uygulanabilen bir kısmı kararlı, temiz, humus benzeri şeklinde bir mamul temin edilmektedir.

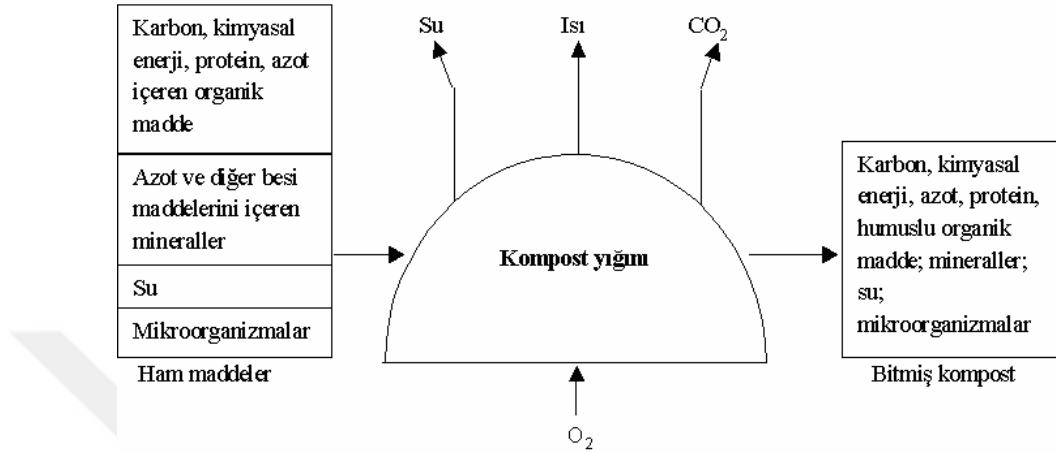
Kompostlaştırmanın işlem süreci oksijenli ya da oksijensiz durumlarda gerçekleştirilebilir. Aerobik kompostlaştırma organik maddelerin oksijenin olduğu yerlerde parçalanması prosesidir. Bu süreç sonucunda CO₂, H₂O ve ısı oluşur. Anaerobik kompostlaştırma ise, organik maddelerin serbest oksijenin bulunmadığı ortamlarda biyolojik olarak ayrıştırılması prosesidir. Kompostlaştırma, patojenleri azaltır ve elde edilen kompost, toprak düzenleyici veya gübre olarak kullanılabilir. Kompost, toprak neminin koruma kapasitesini artıran, tarım alanında suyu koruma yeteneğini geliştiren, toprağın kalın ve süngerimsi olmasını sağlayan ve topraktaki bakteri aktivitesini artıran organik madde kaynağıdır. Anaerobik kompostlaştırmada oluşan metabolik son ürünler; CH₄, CO₂ ve organik asitler gibi bileşiklerdir.

Anaerobik kompostlaştırmada parçalanmış organik madde miktarında daha düşük enerji oluşması, çıkan ara ürünler nedeniyle koku sorunlarının meydana gelmesi, sürecin tamamlanması için gerekli zamanın çok fazla olması, sıcaklığın istenen ölçülere ulaşamaması nedeniyle kompost işlemi yapılan sistemler oksijenli şekilde işletilmektedir. Genel olarak kompost dendiğinde oksijenli kompostlama işlemi akıllara gelmektedir.

2.2. Kompostlaştırma Prosesi

Aerobik kompostlama işlem süreci boyunca karbon, azot ve diğer besin elementlerini kapsayan organik maddeler, aerobik mikroorganizma sayesinde parçalanmakta ve sonuç olarak karbondioksit, ısı, su ve kompost meydana gelmektedir (Şekil 2.1).

Aerobik kompost işleminde organik maddelerin ayrışması çok hızlı şekilde olurken atığın yapısında bulunan ve olması istenilmeyen hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderilmesi için gerekli en iyi sıcaklığa erişilebilir (Erdim,2003).



Şekil 2.1. Aerobik kompostlaştırma prosesi

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere var olan yeni hücreler organik maddenin parçalanmasında etkin biokütle olarak işlev görür ve ölümünden sonra kompostun yapısına geçmektedirler.

Isı mikroorganizmaların sebep olduğu solunum işleminin sonucu olarak meydana gelir. Atık ortamından ayrı tutulduğu sürede çıkan ısı kompostlaştırma yapılacak atıkların sıcaklığını yükseltir. Sıcaklığın artması mezofilik ve termofilik yapılara tesir eder.

Aerobik kompostlaştırma işleminde biyokimyasal ayrıştırma yöntemi üç basamakta gerçekleşir:

- 1) Bakterilerdeki şeker, nişasta, glikoz, karbonhidrat tarzı hızlı ayrışabilen organikleri çok az bir zamanda parçalayabilmeleri ve ısının meydana gelmesi,
- 2) Aktinomisetlerin ve mantarların kolay ayrışmayan maddeleri (selüloz, lignin, yağlar) uzun zamanda parçalayabilmesi,
- 3) Bazı bakteriler tarafından organik maddenin, kendilerini oluşturan inorganik maddelere parçalanması. Solunumla çıkarılan karbondioksitin çevreye dönmesinden sonra karbona ayrışması (mineralizasyon).

Mineralizasyon bitiş basamağı olarak, kompostlaştırma işleminde istenilen

bir evre değildir. Çünkü bileşik haldeki organikler besin önemini yitirdiklerinden toprak iyileştiricisi yerine kullanılamamaktadırlar. Bu yüzden patojen mikroorganizmalar yok oluncaya dek kompostlaştırma işlemine ara verilmez.

Oksijenli kompostlaştırma süreci ile; ayrışabilen organikleri toprak iyileştiricisi yerine kullanılmak istenen ve humus benzeri kısmen kararlı bir mamule çevirmek, atık yapısında var olabilecek hastalık yapıcı mikroorganizma ve diğer istenilmeyen mikroorganizmaları ortadan kaldırmak, atığın miktarını ve hacmini en aza indirmek, besin içeriğini en yüksek düzeyde tutmak ve korumak amaçlanmıştır.

Kompostlaştırma süreci; mikroorganizmaların gelişmesi için elverişli şartlar elde edildiğinde ve bu şartlar korunduğunda çok çabuk gerçekleşmektedir. Bu mikroorganizmaların etkinliklerini devam ettirebilmeleri C/N seviyesi, O₂, nem içeriği, sıcaklık ve pH etkenlerinin kontrol edilmesiyle sağlanmaktadır (NEH, 2000).

Besinler, bilhassa C ve N, mikrobiyal canlılık ve çoğalabilmek için ihtiyaç olup süreçte önemli etkiye sahiptir. Azot hücrelerin birleşimi için, karbonda organizmaların ana enerji kaynağı olduğu için önem teşkil eder. Sıcaklık, prosese tesir eden etkenlerden biri olduğundan, aerobik süreç esnasında mikrobiyolojik etkinliğin sonucunda meydana geldiğinden öncesinde denetleyebilmek mümkün olmamaktadır.

Kompostlaştırma süreci genel olarak iki aşamada oluşmaktadır:

- 1) Aktif kompostlaşma (hızlıayırışma)evresi
- 2) Olgunlaşma (iyileşme)evresi

Hızlı ayırışma aşaması ilk olarak kolayca ayrışabilen maddeleri, sonrasında selüloz tarzı bozunmalara dayanıklı malzemelerin ayrıştığı mikroorganizma etkinliğinin fazla görüldüğü dönemdir. Hızlı ayırışma işlemi bitince çoğunlukla olgunlaşma aşaması başlamaktadır. Olgunlaşma aşaması mikrobiyal etkinliğin az görüldüğü ama hızlı ayırışma aşamasındaki ürünlerin ayırışma işleminde ilerlediği safhadır.

Kompostlaştırma belli bir seviyede duraklamaz. Ayırıştırma, mikroorganizma tarafından en son ki besin maddeleri bitene dek çalışırlar; fakat kompost bu işlemde öncesinde de kısmen stabil ve kullanıma uygun bir

üründür.

Olgunlaşma evresi, mikrobiyolojik etkinliğin yavaş seviyelerde ilerlediği ve hızlı ayrışma süresindeki etkinlikler sonucunda meydana gelen ürünler ile ayrışmalara dayanıklı malzemelerin kararlılığının olduğu evredir. Kararlılık organik asitlerin ve kolayca ayrışamayan maddelerin ayrışmasını, humus bileşikleri ve nitrat-azotunu meydana getirir. Olgunlaşma safhasında mikrobiyolojik etkinliğin sürmesi için havalandırma ve nem içeriği koşulları bu safhada da kontrol edilmelidir.

Olgunlaşma sürecinde tepkimeler hızlı işlemediğinden, bu safhanın daha geç bitmesine sebep olmaktadır. Olgunlaşma evresinin süresi hızlı ayrışma süresinin ne kadar uzun olduğuna ve kompostların kullanım maksadına göre değişkenlik göstermektedir. Kafi miktarda ayrıştırmanın ve kararlılığın olması amacıyla kısa etkin kompostlama sürelerini, uzun vadeli olgunlaşma evreleri izlemelidir. Olgunlaşma safhasının tamamlanıp, kütleye ardı ardına karıştırılma yapılmasına karşın ısıнын ortamda bulunan sıcaklıkla aynı seviyede devam etmesiyle tespit edilir. Sıcaklıkta gözlemlenen stabil olma gücünün doğru olmayan işletme koşullarının neticesi değil de olgunlaşma safhasının sonlanmasının bir bildirimi olacağı fark edilmelidir.

2.3. Kompostlaştırma Prosesine Etki Eden Faktörler

2.3.1. Dane Boyutu

Dane boyutu içsel sürtünme, hacmin ağırlığını ve akış yapısını etkilemektedir. Dane boyutunun küçülmesi mikroorganizmalar için eylem gerçekleştirecekleri alanları artıracığından biyokimyasal tepkime hızları da artarlar. Dane boyutlarının ufak olmaları halinde malzemenin içerisindeki boşluklar küçüleceğinden miktar ağırlıkları artmaktadır. Buda hava akımının malzemenin iç kısımlarına girişine mani olur ve tepkime hızlarını yavaşlatırlar.

Evsel katı atıklar gibi düzgün olmayan şekillere sahip cisimlerin kompostlaştırılmadan evvel ön işlem olarak parçalara ayrılmaları ve partikül ebatlarının düşürülmesi gerekmektedir. Uygulamada en iyi partikül ebadı kitlenin maddesel özelliğinin işlevidir. Alt üst etme ve etkin hava sirkülasyonu uygulanan kurumlarda partikül ebatları, parçalara ayırma prosedürlerinden sonra 12.5 mm ebadına küçültülmelidir. Doğal havalandırmanın olduğu durağan kitlelerde ise

partikül ebadı 50 mm'den düşük ölçülerde olmalıdır.

Nem içeriği bakımından yüksek kitlelerin yapısal koşullandırılmasında içerisinde bulunan materyallerinin partikül boyutu da önem taşır. Eklenen materyaller oldukça ufak partiküllerse, kitlenin katı madde içeriği yeterince olsa dahi hava sirkülasyonu boşluğunda hedeflenen yükselme elde edilemez.

2.3.2. Su İçeriği

Biyolojik durumlarda etkisini gösteren suyun kompostlama uygulaması içinde değeri çok önemlidir. Mikroskobik organizmaların içeriğinde %80 su vardır. Mikroorganizmalar fazlalaşmaları için ihtiyaçları olan besini suda çözülmüş halde alabilirler ve mikrobiyolojik ayrışma parçacıkların yüzeylerinde ince sıvı zarlarda ortaya çıkar.

Kompostlama sürecinde nem içeriği mikroskobik organizmaların yapısal faaliyetlerinde gereksinim gösteren çözülmüş besinlerin işleyişinde süreç oluşturduğundan önemlidir. Nem içeriği mikrobiyal etkinliği, sıcaklık ve ayrışa bilme hızına etki eder. Diğer taraftan mikrobiyal nüfus ise nem içeriğinden işlenir. Nem içeriğinin yüksek olmaması; mikrobiyal etkinliği büyük miktarda düşürür, biyolojik etkinliği olumsuzlaştırır ve yapısal bakımdan kararlı, ama içerik olarak kararsız bir yapı ortaya çıkar. Nem içeriğinin artması komposttaki hava deliklerinin su ile dolma durumu oksijen geçişine mani olması kitlenin havasız olmasına ve besin kaybetmelerine sebep olur. Süreçte istenmeyen bir durumdur. Kompostlama sürecinin istenen bir biçimde devam ettirilmesinde nem içeriği %50 ile %60 arasında olmalıdır. Aerobik kompostlaştırmada en düşük nem içeriği %40'dır. Nem içeriği %40 değerinden daha düşük seviyeye geldiğinde çözünmesi yavaşlar, mikrobiyal etkinlik azalır; İçerik olarak %8 ile %12 değerlerinden düşük seviyelere gelirse bütün mikrobiyal etkinlik durma noktasına gelir. Kompostlama sürecinde nem içeriği kompostlama metoduna, katkı gösteren gözenekli maddeyle atık yapısına göre farklılık göstermekte genel olarak en az %40'lık bir nem içeriği elde edilmelidir.

Bazı küçük ölçekteki araştırmalar ile nem içeriğindeki farklılaşma değişik özellikteki üç hava akımı sistemiyle gözden geçirilmiştir. Evsel katı atıklar ile atık su arıtımı tesislerindeki çamur birleşiminin ilk nem içeriği %67.3'tür. Karıştırılmayla nem içeriği 15 gün içerisinde %55'e inerken, yaklaşık 1 ay

sonrasında %43'e düşmüştür. Hava sirkülasyonu ile birleşimin nem içeriği 15 gün içerisinde %48'e, 1 ay sonundaysa %29'a inmiştir. Negatif basınçla nem içeriği 15günde %57'ye, 30 gün içerisinde %45 değerine inmiştir. Hızlı ayrışma safhasında nem içeriği %45 ile %55 aralığında olduğu müddetçe nem içeriği sınırlayıcı bir etken olmamaktadır (Bertoldi, et al., 1982).

2.3.2.1. Su İçeriği ve Serbest Hava Boşluğu Arasındaki İlişki

Kompostlaştırma prosesinde nem muhtevasının %50–60 arasında olması istenmektedir. Sadece içerik olarak dile getirilen şartların sağlanması durumunda ayrışma, herhangi bir sınırlama olmadan tamamlanabilmektedir. Fakat uygulamada bunun gibi yaklaşımlar etik olmamaktadır (Golueke, 1997).

Kompostlaştırma yapılacak atık bünyesi katı parçacıklar ile aralarındaki boşluk kısımlarından ortaya çıkan kalıp benzerliğindedir. Parçacıkların aralarındaki boşlukları hava, su veya havayla ve suyun birleşimiyle doldurulmaktadır. Parçacık aralarındaki boşlukların su ile dolmaları, hava geçişine mani olmasına ve oksijensiz ortama sebebiyet vermektedir. Boşluğun tamamen hava sayesinde dolmasıyla oksijende ilerleme başlamaktadır ve aerobik kompostlama işlemi gerçekleşmektedir. Boşluklardan çok miktarda su uzaklaştırılırsa, su azlığı sebebiyle mikrobiyal etkinlik yavaşlamaya başlamaktadır.

Kompostlama işlemi genelde katılara ya da kısmen katı haldeki organik maddelere uygulanmaktadır. Farklı atıklara ait en yüksek nem içerikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Farklı atıklara ait en yüksek nem içerikleri (Golueke, 1977)

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

Samanın ve odunların talaşında olduğu gibi lif içerikli ya da hacmi yüksek malzemeler yapı bütünlüğünü ve gözenekliliklerini yitirmeden fazla oranlardaki suyu absorblayabilmektedirler. Nem içeriği %85 oranındaki sebzelerle samanın karıştırılmasıyla uygun biçimde kompostlama işlemi gerçekleştirilirken, samanın yerine kâğıt eklenilmesi halinde benzer sonuç sağlanamamıştır (Mc Gauhey and Gotaas, 1976).

Nem içeriği mikrobiyal etkinliği devam ettirebilecek kadar fazla, öte yandan yığındaki havanın bulunduğu boşlukları kapatmayacak derecede az olması istenmektedir.

Evsel atık, tarımsal atık benzeri malzemeler kompostlama süresine kuru halde başlamaktadırlar. Hayvansal dışkıları kompostlaştırılma işlemi yapılmaya başlanılmadan uygun yerlerde kurutma yapılır. Benzer malzemeler hacimsel ve lif içeren yapılarıyla yüksek ölçülerde su tutulmasını sağlamaktadır.

Nem içeriğinin kompostlama sürecindeki değeri mandıralardaki atıkların kompostlanması faaliyetlerinde açığa çıkmıştır (Senn, 1971). Deneysel düzenek 2400 cm derinliğine sahip ve basınçlı hava sirkülasyonu sistemleri olan fiçilerden oluşur. %66 nem içeriğine sahip atıkların kompostlaştırılması esnasında sıcaklıklar 55°C'ye kadar yükselmiştir. Yapılan benzer faaliyette, nem içeriğinin %60 olması durumunda sıcaklığın hızla 75°C civarına çıktığı, bu derecede bir süre devam ettiği saptanmıştır. Aşırı nem içeriği kompostlaştırma sürecini engellemektedir. Nem içeriğinin yüksek olması, parçacıkların

yapışmasına ve parçacıkların arasındaki boşlukların azalmasına sebep olduğundan hava faaliyetleri engellenmektedir.

Başlangıçtaki birleşimin nem içeriği ve hava boşluğundaki miktarın dengelenmesi, dengenin kompostlama işlemi süresince sabit kalacağını ifade etmemektedir. Elverişli havalandırma hızı olmazsa, termofilik sıcaklıklar önemli ölçüde suyun kaybolmasına sebep olmaktadır. Nem içeriğindeki değişkenlikleri onarmak için yığına su eklenmelidir. Su miktarının proses boyunca değişimi çoğunlukla havalandırma ve sıcaklığa bağlıdır.

Yığının içindeki havanın miktarının ve hareketinin belirlenmesinde atığın içindeki serbest hava boşlukları önem taşır. Belirli maddeler için en yüksek nem içeriği, serbest hava boşluğunun belli bir değerin üstünde kalması şartlanarak bulunabilir. Genel olarak lifli atıklar yüksek nem içeriğine sahip olsalar bile çok fazla serbest hava boşluğu içermektedirler.

2.3.2.2. Ağırlık ve Hacim İlişkileri

Kompostlaştırılma işlemi yapılacak olan atıktaki katısal maddelerin miktarı çoğaldıkça, hacimce özgül ağırlık miktarı düşer ve serbest hava boşlukları çoğalır. Kompostlama sürecinde karıştırılma işlemi hacmin ağırlık miktarını düşürmek, sıkıştırmayı engellemek amacıyla yapılmaktadır. Sıkışmanın olmasıyla serbest hava boşluğu azalır ise, hacmin ağırlık miktarında artma gözlemlenebilir. Ancak istenilmeyen bir olaydır. Kompostlama sırasında madde boyutlarının küçülmeye başlamasıyla hacimsel azalma gerçekleşmektedir.

2.3.2.3. Porozite ve Serbest Hava Boşluğu Arasındaki İlişki

Kompostlama sürecinde genel olarak kullanılmakta olan hacimsel miktarlar; gözeneklilik ile serbest havanın boşluğudur. Gözeneklilik (n) boşluk hacminin toplam hacim miktarına oranı olarak belirtilebilir (Denklemler 2.1):

$$\text{Porozite}(n) = V_{\text{boşluk}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.1)$$

$$n = (V_{\text{toplam}} - V_{\text{katı}}) / V_{\text{toplam}} = 1 - V_{\text{katı}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.2)$$

$$n = 1 - \frac{\partial_m S_m}{G_m \partial_s} \quad (2.3)$$

∂_m : Kompostlaştırılacak atıktaki karışımın birim hacim ağırlığı

S_m : Kompostlaştırılacak atıktaki karışımın katı madde%si

G_m : Kompostlaştırılacak atık karışımının özgül ağırlığı

Serbest hava boşluğu (f), gaz hacminin toplam hacim miktarına oranı olarak belirtilebilir (Epstein, 1997):

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

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

$$f = 1 - \frac{\partial_m S_m}{G_m \partial_s} - \frac{\partial_m (1-S)_m}{\partial_s} \quad (2.7)$$

Ortamdaki havanın yayılmasına serbest hava boşlukları müsaade eder, mikroorganizmalara oksijeni üretir. Çeşitli maddelerin değişken yoğunlukları aynı zamanda farklı parçacık ölçüleri olduğundan nem içeriği ve serbest hava boşluğu arasında bulunan bağlantı değişkenlik gösterebilir.

Evsel atıklarla çamurun beraber kompostlaştırılmasında serbest hava boşluğu miktarının en az %30 olmasını belirtmiştir (Schulze, 1962). Bu oran pek çok madde için kompostlama işleminde önerilen orandır. Atığın türü ile kullanılacak ekipmana bağımlı kalmadan gerekli oksijen miktarının sağlanmasında en az serbest hava boşluğu oranının %20 ile %30 arasında olması bildirilmiştir (Haug, 1993).

Evsel ve endüstriyel atık su arıtma tesis çamurları, hayvansal atık benzeri nem içeriği fazla olan atıklardaki serbest hava boşluğuna göre çok azdır (Erdim, 2003). Nem içeriğinin fazla oluşması elverişli biçimde kütleler oluşabilmesini ve hava akımını önleyeceğinden kompostlaşacak atıkların hacimlerinin azaltılabilmesi ve yapı niteliklerinin düzeltilmesi gereklidir. Nem içeriğini ayarlayabilmek için yapılabilecek dört yöntem vardır:

- Kompost geridevri
- İlave maddesi ya da ilave maddesi + kompost eklenmesi
- Fiziksel yapıyı devam ettirmek için gözenekli maddenin eklenmesi
- Kompostlaştırmadan önce nem içeriğini düşürmek için atığın kurutulması.

2.3.3. Karbon ve Azot

Mikrobiyal çözünmenin sağlanmasında besinlerden en önemli olanları karbon ile azot ihtiyaçlarıdır. Mikroorganizmaların çoğalabilmeleri için gereksinimleri olan azot haricindeki farklı besinler genel olarak organik atık içlerinde yeterli oran ve ölçülerde bulunmaktadır. İnorganik besinlere oranla çok fazla yoğunluklarda gereksinim olması nedeniyle azot miktarının değeri daha çok artış göstermektedir. Kompostlama sürecinde karbon/azot oranının, azot bakımından dengede olup olmadığının işareti olarak kullanılmaktadır. Karbon azot oranlarının saptanmasında önem verilmekte olan atığın bünyesindeki karbon miktarının bütün karbonun miktarındansa kullanılabilecek karbon miktarının olmasıdır. Mikrobiyal büyümenin devamı sırasında bir birim azot için tahmini 25 ile 30 birimin arasında karbona gereksinim vardır (Epstein,1997).

Kompostlama süreci esnasında karbonun çoğunluğu mikroorganizmanın metabolik aktiflikleri içerisinde karbondioksit oksitlenmektedir, diğer karbonlara oluşacak hücrelerde kullanılmaktadır. İlk olarak kolayca bulunabilen karbonlar bitirilmektedir, kompostlama süreci ilerledikçe kullanılabilecek karbonlar ile metabolik aktiflik düşeceğinden CO₂ oluşması azalmaktadır. Oluşmuş olan karbondioksitin ve meydana gelen suyun, sıcaklık ile aynı zamanda en üst değerlere çıktığı ve sonrasında düştüğü belirlenmiştir (Epstein, 1997). CO₂ ile uçucu katı madde miktarlarının birbirleri ile ilişkili olduğu bulunmuştur (Bach et al., 1984). Organik maddelerin uçucu katı madde miktarı ne derece çoksa, CO₂ üretimi de o derece yüksektir.

Doğadaki karbondaki ayrışması güçlüklerle olan lignin benzeri maddenin olmasından dolayı karbonunda ayrışma hızı çok azdır. Benzeri bir olay evsel katı atıkların selüloz içeriğinin fazla olması, ancak azot miktarı düşük olan atıklarda kompostlaştırma işleminde de gözlenebilmektedir (Epstein,1997).

Mikroorganizmaların proteinle birleşebilmelerinde azot gereksinimi olur. Karbon/azot değeri kompost niteliğine tesir eden etkenlerden biridir. Katı atıktaki karbon/azot oranı 35'ten büyük ise azotun bütünüyle tutulacağı, karbon/azot oranı 20'den küçük ise azotun serbest olacağı saptanmıştır. Hızlı ayrışmanın olabilmesi için başlangıçta karbon/azot miktarının 20/1 ile 35/1 aralığında olacak şekilde tavsiye edilmektedir (Graves,2000).

C/N oranının fazla olması halinde kullanılabilir azot miktarının hızlıca harcanması sebebiyle mikrobiyal aktivite yavaşlamaktadır ve kompostlama sürecinin tamamlanmasında daha fazla zamana gereksinim duyulmaktadır. C/N oranı az ise amonyak meydana çıkmaktadır, buda mikroorganizmaları olumsuz etkilemektedir ayrıca kokunun oluşumuna sebep olmaktadır. C/N değeri az miktardaki atıklarla karbon/azot değeri fazla olan atıkların birleştirilmesiyle elverişli karbon/azot değerlerine ulaşılabilir. Farklı bir anlatımla, karbon/azot değeri fazla olan atığa azot içeren atığın eklenmesiyle bu değer düşürülebilmektedir. Karbon/azot değeri çok düşük olan atığa da karbon içeren atığın eklenmesiyle bu değer yükseltilebilmektedir. Domuz atığının talaş ile kompostlaştırılması çalışmalarında C/N değerinin neticeleri incelenmiştir (Huang, et al.,2004).C/N değeri 15 olan atıkta sıcaklığın yükselmesi epeyce yavaşlamış ve düşük sıcaklıklara ulaşılmıştır. Kimyasal ve biyolojik değişkenlere bakıldıklarında C/N değeri 30 olan atık, kompostlaştırmanın 49. gün sonrasında olgunlaşmaya başlamıştır, öbür taraftan C/N değeri 15 olan atık, 63. gün bitiminde olgunlaşma evresine geçememiştir.

Başlangıç C/N değeri yüksek olmayan tavuk atıklarına katkı maddesi eklenmesiyle kompostlaştırma yaptıklarında C/N değerinin giderek yükseldiğini ve amonyak kayıplarının düştüğü belirlenmiştir (Tiqua and Tam, 2000). Kümes atıkları düşük C/N değerinde olduklarından dolayı yüksek amonyak kayıplarına neden olmaktadır.

C/N değeri fazla bulunan kompostların topraklara verilmesi durumunda mikroorganizmaların çoğalmak için ihtiyaç duydukları azotu toprağın yapısından ele geçirerek toprak alanlarını azot yönünden fakirleştirmektedir. C/N değeri düşük olan kompostlarda yüksek azot, sıcaklık ve pH seviyelerine göre amonyak şeklinde uçucu olup toprağın tekrar azot yönünden fakirleşmesine neden olmaktadır. Atık içindeki azot miktarları atık çeşidine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

2.3.4. Sıcaklık

Kompostlaştırma sırasında mikrobiyal değişiklik ortamdaki enerjiyi, ısı biçiminde meydana getirir. Sıcaklıklar kompostlama sürecinin sonucunu değiştiren ciddi bir etkidir. Mikrobiyolojik aktifliğin beraberinde popülasyon canlılığı da sıcaklıktan etkilenir. Sıcaklığın artması başlangıçtaki sıcaklığa,

metabolik ısının meydana gelmesine ve çıkan ısıların korunabilmesine bağlı olurlar. Kompostlama sürecinin faydalı biçimde devam edebilmesi için sıcaklığın belli değerler aralığında olması gerekir. Yapılan bir çalışma esnasında 20°C'nin altında bulunan sıcaklıklardaki kompostlama süreçlerinin ciddi seviyede yavaşladıklarını hatta durdukları gözlemlenmiştir (Mosher and Andersen, 1997). Benzer biçimde 60°C'nin üstündeki sıcaklıklardaki mikrobiyolojik aktivite yavaşlamaktadır. Kompostlama sürecinin ayrışma hızının en fazla olduğu 52-60°C arasında en yüksek sıcaklıkta olduğu belirlenmiştir (Mc Gregor et al., 1981). Atık, hastalık yapıcı mikroorganizmaları içerdiği durumlarda sıcaklığı, havalandırılmalı yığın ve kapalı sistemlerde 55°C ve üstünde en az 3 gün, yığın sistemlerde 5 kez karıştırılma sonucunda en az iki hafta arayla tutulabilirler.

Kompostlama süreci genel olarak zaman ile sıcaklığın ilişkileri kapsamında gözlenmektedir. İyi çalıştırılan bir yöntemde sıcaklık belirlenen hedef yönünde ayarlanabilmektedir. Örnek olarak; atıkta hastalık yapıcı mikroorganizmalar bulunuyorsa ilk amaç dezenfekte etmektir. Patojeni yok etmek için istenilen sıcaklıklar elde edilecek biçimde kontroller yapılmalıdır.

Organik maddelerin ayrışabilme hızlarını sıcaklık-zaman ilişkisi etkilediğinden dolayı dikkate değerdir. Sıcaklık seviyelerinin mikroorganizmaların üstündeki tesiri mikroorganizmaların çeşidinde ve oranında ciddi değişimlere neden olmaktadır. Bu tesir organizmaların mezofilik ve termofilik olarak ayrıştırılmasına çoğu zaman sebep olmaktadır.

Sıcaklığın 60°C'nin üstünde görüldüğünde mikroorganizmaların birçoğu ortamdaki ayrılmış olurlar ve sadece spor oluşturabilen bakteri çeşitleri ortamda kalmaktadır. Mikroorganizmaların ölümüyle beraber ayrıştırma işlevi de yavaşlamaktadır. Sıcaklıkların kompostlama işlemi boyunca farklı seviyelerde olması istenmeyen bir durumdur. Sabit sıcaklık aralığı o sıcaklıkların değerlerinde etkin olan mikroorganizma hareketlerini en düşük seviyede tutarlar.

Statik sistemlerde ve reaktör sistemlerde sıcaklığı denetleme işlemleri kütle sistemlerine göre ileri seviyede yapılmaktadır. Kompostlaşan kütlenin her yerinde sıcaklığın eşit dağılmadığı gözlemlenebilir. Yığının derinliklerinde sıcaklıklar daha fazla, yüzey alanına ilerledikçe sıcaklıklar daha az gözlemlenir. Bu sistemlerin yüz ölçümleri arttıkça, ısının kaybı da artmaktadır.

Sıcaklık genel olarak prosesin ilk başlarında artar, sonrasında azalır. Kimi yerlerde ayrışma hızı azaldıkça sıcaklıklarda düşmeye başlarlar. Çok fazla olan sıcaklık seviyelerini azaltmak için hava akımını çoğaltmak ya da karıştırma işlevini çoğaltmak gerekli olabilmektedir.

Hızlı ayrışma dönemi bazı sıcaklık aralıklarında meydana gelmektedir. Sıcaklık değişkenlik gösterdikçe, bazı mikroorganizmalar için şartlar uygun değilken bazıları için mükemmel olabilmektedir. Hızlı ayrışma sürecinde gözlenen sıcaklık aşamaları o sıcaklıklarda üstünlük gösteren mikroorganizma çeşitlerine bağlı olarak üç gruba ayrılmaktadır.

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

Sıcaklık aşamalarında kompost yığınındaki mezofilik sıcaklığa ulaşan mikroorganizmalar psikrofilik ya da termofilik sıcaklıklarda da bulunabilir. Sıcaklıkların arasındaki bazı mikroorganizmaların büyüme hızları en yüksek seviyededir. Örnek olarak; mezofilik organizmalar psikrofilik ya da termofilik sıcaklıklarda yaşayabilirler, ancak mikrobiyal varlıkları baskın olmamaktadır.

Kompostlaştırma sürecinin ilk aşaması ortamın sıcaklık değerine ve kompostlama yapılacak atık karışımına göre psikrofilik veya mezofilik sıcaklık değerlerinde gerçekleşirler. Sürecin ilk evrelerinde, sıcaklık yükselmeye başlamadan, bir süre geç oluşturma aşaması gözlemlenebilir. Bu rötör aşaması mikroorganizmaların zamanla çoğalabilmesi için ihtiyaç olan süredir. Mikroorganizmalar kolayca ayrışabilir malzemeleri tüketme aşamasına geçince türeme hızları artmakla birlikte mikrobiyal aktiflik sonucunda meydana gelen ısıнын kütle içerisinde toplanmasını ve sıcaklık artışını sağlamaktadır. Mikroorganizmalar arttıkça psikrofilik ve mezofilik sıcaklığının değerleri devamlı artmayı sürdürür. İşletme şartlarına bağlı olarak genellikle birkaç gün içinde termofilik sıcaklık değerlerine ulaşılmaktadır. Doğal olarak genelde psikrofilik aşama çok fazla gözlenmez.

Kütlenin sıcaklığı termofilik sıcaklık aralığına geldiğinde farklı mikroorganizmalar üstünlük göstererek sinek larvalarını, patojenleri, zarar veren tohumları ortadan kaldırmaktadır. Süreçte çeşitli mikroorganizmalar görev olarak

basit ve kolay ayrışabilen maddelerin yanı sıra selüloz tarzı dayanıklı karmaşık yapılar da ayrıştırılabilirler.

Sıcaklıklar artmayı sürdürdükçe, 55-75°C değerlerinde en yüksek sıcaklıklara ulaşılmaktadır. Bu en yüksek noktalara gelindiğinde oksijen düşer, kolay ayrışabilen maddeler azalır ve sıcaklığın fazla olduğu durumlarda mikroorganizma işlevlerinin tahrip olması nedeniyle mikrobiyolojik aktiflik düşmeye başlamaktadır.

Mikroorganizma grupları organikleri hücrenin içine girmeden hemen öncesinde hücre dışı enzimler ile ayrıştırma yaparlar. Sıcaklık değerleri fazla olduğunda mikroorganizmalar yaşamak için ihtiyaçları olan besinleri temin edemezler. Artan sıcaklık değerleri tüm mikroorganizmaları öldürmeyebilir, ancak mikrobiyolojik aktifliğin düşmesine neden olmaktadır. Mikroorganizmalar yaşamlarını negatif etkileyen koşullara karşılık kendilerini koruyabilmeleri için spor oluşturabilmektedir.

Mikrobiyolojik aktifliğin azalmasıyla beraber ısı oluşması azalmaktadır ve yığın soğumaya başlamaktadır. Teorikte sıcaklık 40°C'nin altındaki sıcaklıklara düşmesiyle olgunlaşma aşamasının başladığı söylenmektedir.

2.3.5. pH

pH ortamdaki asidin ya da bazın ölçüm sonucudur. pH'ın kompost üretimi sürecindeki önemi, mikrobiyolojik aktifliğe tesir etmesine göre meydana gelmektedir. Bütün mikroorganizmaların yaşayabildiği belirli pH aralıkları vardır. Bakteriler büyük pH aralıklarında yaşayabilirlerken, mantarlar asit bulunan yerleri seçmektedirler.

Kompost üretme sürecinin düşük ve yüksek pH'ları nötr düzeylere düşürme veya çıkarma niteliği bulunmaktadır. Bu durumun nedeni, mikrobiyolojik ayrışma esnasında zayıf asit yapılı CO₂ ve zayıf baz yapılı NH₃'ün ortaya çıkmasıdır. NH₃ proteinlerin ayrıştırılmasında, CO₂ ise organik maddelerin ayrıştırılması esnasında son ürün olarak ortaya çıkmaktadır. NH₃ düşük pH değerlerini nötr hale getirirken, CO₂ yüksek pH değerlerini nötr hale getirmektedir. Kompostlaştırılacak atığın ilk baştaki pH değerlerinden ayrı olacak şekilde kompostlama süreci bitiminde pH 7.5-8.0 aralığında gözlenmelidir (Graves, 2000).

Başlarda pH seviyesi ortalama 5-6 düzeylerine kadar düşmektedir. Düşmenin sebebi CO₂ ve organik asit oluşumu yüzünden meydana geldiği belirtilmiştir. Proses devam ettikçe pH 8.0 ile 8.5 değerlerine dek yükselmektedir. Tüm bunlar; proteinlerin ayrıştırılmasından ve CO₂'in yok olmasından kaynaklanabilmektedir. Termofilik kompostlaştırmanın pH 7.5-8.5 aralığında en yüksek seviyede olabildiği gözlemlenmiştir (Jeris and Regan, 1973).

2.3.6. Havalandırma ve Karıştırma

Oksijen, kompostlaştırma işlemini sağlayan aerobik mikroorganizmaların solunumları ve yapısal etkinliklerinin en önemli ögesidir. Aerobik mikroorganizmalar yaşayabilmeleri için gerekli oksijen oluşmazsa anaerobik mikroorganizmalar kompost kütlesinde üstün hale gelir, kompostlama süreci azalır ve koku oluşması meydana gelir. Aerobik koşulların devam etmesi ve mikrobiyolojik etkinliğin devamı için, hiç olmazsa %5'lik en düşük oksijen yoğunluğuna gereksinim duyulur. Çok fazla oksijen yoğunluğunun süreci olumsuz etkileyen sonucu olmamaktadır. Fakat çok fazla hava akımı kompost kütlesinin sıcaklığının düşmesine aynı zamanda işletim giderlerinin artmasına sebep olabilmektedir.

Oksijenli kompostlama sürecinde havalandırma üç hedefe bağlı gerçekleştirilmektedir.

- Biyolojik ayrışma için oksijen ihtiyacı (stokiometrik ihtiyacı)
- Kompostlaştırılacak atık yapısındaki ekstra suyun uzaklaştırılması için (kurutma gerekliliği)
- Prosesin sıcaklık değerlerini denetimlemek için ayrışma sırasında meydana gelen ekstra ısının ortamdaki giderilmesi(ısı giderim gereksinimi)

Biyolojik ayrışma için oksijen ihtiyacı atık maddenin kimyasal yapısına göre ve 1.2-2.0 g O₂/ayrışabilen UKM miktarı pek çok tepkimedeki maddeler için kullanılabilir.

Kurutmanın gereksinimi ile sürecin sıcaklığının denetimi için ihtiyaç olan O₂, stokiometrik gereksinimden daha çoktur. Proses koşullarına paralel olan hava

gereksiniminin tespit edilmesinde kurutmanın ya da sıcaklığın denetimi önemli etkenler olabilmektedir. Nem içeriği yüksek atıklar için belirleyici etken kurutma gereksinimiye, nem içeriği düşük atıklar için ısı giderimi hava ihtiyacının belirlenmesiyle oluşmaktadır. Tarımsal atıkların kompostlaştırılması üzerinde yapılan çalışmada 1 kg organik madde için 0.1, 0.2, 0.4 ve 0.8 L hava/dakika hava kompost yığınlarına uygulanmış ve en yüksek ayrışma 0.4 L hava/dakika havalandırma hızında gerçekleştiği belirlenmiştir (Külcü ve Yıldız, 2003).

Kompostlama sürecinin ilk evresinde başlangıçta kolaylıkla ayrışabilen organiklerin harcanması sebebiyle oksijen gereksinimi artmaktadır. Süreç devam ettikçe oksijen gereksinimi düşmektedir. Oksijen ihtiyacı genel anlamda üç şekilde sağlanır.

- Doğal havalandırma ile (difüzyon ve konveksiyon),
- Fiziksel olarak çevirme yoluile
- Aktif havalandırma ile (basınçlı ya da vakumlu havalandırma)

Yığın sistemlerinde genel olarak doğal havalandırma ya da fiziksel çevirme metotları kullanılmaktadır. Statik sistemlerde ve kapalı reaktör sistemlerde aktif havalandırma yöntemlerine daha çok rastlanmaktadır. Vakumlu sistemlere göre aktif havalandırma sistemleri enerji kullanımı yönünden uygun fiyatlı olmalarına rağmen vakumlu sistemlerin çıkış gazlarını pratik şekilde toplayabilmeleri en önemli avantajlarıdır.

Kompostun doğal havalandırmalı sistemlerde yığının alt kısımlarına oksijen yayılımı metabolik ihtiyaçlardan daha az olduğu için bu kısımlar havasız hale gelmektedir. Bu durumlarda karıştırma yapılarak havanın bu kısımlara da erişmesi sağlanmaktadır.

Karıştırma işlemi ile parçacıkların boyutlarını küçülterek yüzey alanlarını genişletip mikrobiyolojik etkinliklerinin hızlanması sağlanmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, farklı havalandırma hızlarıyla kompostlaştırma yapılan mandıra atıklarının pirinç kabuklarıyla amonyak konsantrasyonları ölçülmüştür (Hong, et al., 1997). Amonyak konsantrasyonunun ve sıcaklığın havalandırılmaya başladıktan 48 gün sonrasında en üst seviyeye geldiği ve daha sonrasında düzenli olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Yapılan başka çalışmalarda

domuz atıkları ile talaşın 200 litre ölçekli kaplarda kompostlaştırılması aralıklı ve devamlı havalandırmalar için test edilmiştir. Devamlı havalandırmalarda azot kayıpları %26 iken aralıklı havalandırmalarda %14 olduğu gözlemlenmiştir. Domuz atıkları ile talaşın kompostlaştırılması azot kayıplarını ve amonyak emisyonlarını azaltarak kesikli havalandırma yönteminin daha etkili olduğunu göstermiştir.

Oksijen ihtiyacı nem içeriğiyle bağlantılıdır. Nem içeriğindeki düşüş serbest hava boşluğunu artırarak mikrobiyolojik etkinliği hızlandırabilmektedir. Yapılan çalışmalarda nem içeriği %56 olan çalışmada oksijen kullanımının, %85 nem içeriğine sahip çalışmaya göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Regan and Jeris, 1970).

Oksijen tüketimi ile sıcaklık arasında, oksijen tüketiminin logaritmik değerde belirtilmesi durumunda, çizgisel bağ (Denklem 2.8) olduğu gösterilmektedir (Epstein, 1997). Oksijen tüketim hızı şu şekilde gösterilmiştir:

$$Y = a \cdot 10^K \quad (2.8)$$

a : Sabit katsayı (0.1)

K : 0.28 (20°C - 70°C arasında bulunun sıcaklıklar için)

Bu ilişki mikrobiyolojik etkinliğin en yüksekte olduğu ilk bir haftada çıkan sonuçlara göre yapılmıştır.

Kompostlaştırma sürecinde karıştırma, kütlede her noktanın benzer şekilde olmasını elde etmek için gerekmektedir. İyi bir karıştırma işleminin yapıldığı zamanlarda hava akımı verim kazandırmaktadır. Mekanik havalandırma sistemlerinde eğer karıştırma yapılmaz ise gelen hava, yığın içinde hep aynı yönü takip ederek yığını terk edebilmektedir. Bu durumda yığının içinde bazı yerlerde anaerobik bozunma gözlenebilmektedir. Ayrıca karıştırma yapılarak yığın içindeki sıcaklık, besin ve mikroorganizmaların eşit şekilde dağılması ve organik maddelerin bozunma hızının artması sağlanılabilmektedir. Mekanik karıştırma yapan reaktörler en etkili karıştırmayı gerçekleştirebilmektedir.

2.4. Kompostlaştırma Prosesinin Mikrobiyolojik Özellikleri

Kompostlaştırma sürecinde kütle içerisinde birden fazla mikroorganizmalar grubu görev almaktadır. Buradaki farklı mikroorganizma grupları çeşitli çevre

şartlarında kompostlaştırma sürecinin etkili bir biçimde sürdürülmesine olanak sağlamaktadır. Kompostlaştırmayı sağlayan mikroorganizmalar farklı nitelikler bulunduran pek çok maddeyi ayrıştırabilmektedir. Sıcaklık düzeyleri ve hazırda bulunan besin kaynakları, mikrobiyolojik grupların oluşmasında hangi organizma çeşitlerinin hakim olacağını belirlemektedir.

Kolay ayrışabilen maddeler molekül ağırlıklarının düşük ve basit kimyasal yapılarının özellikleriyle, suda çözünerek ve organizmaların hücre çeperlerinden kolayca geçerek kompostlaştırma sürecinin ilk evresinde hızlı bir biçimde ayrışmaktadırlar.

Kolay ayrışabilen maddelerin azalması ile beraber mikroorganizmalar yüksek molekül ağırlığına sahip, uzun zincir halinde bulunan yapılara ve hücre çeperinden direkt ilerleyemeyen karışık ve zor ayrışabilen yapılara geçerler. Zor ayrışabilen yapılar hücre dışındaki enzimlerin sayesinde hücre çeperinden içeriye girebilir duruma gelirler. Mantar ve benzeri organizmalar buralardaki ayrışmaları gerçekleştirebilirler.

Kompostlaştırma sürecinde görev yapan etkili mikroorganizma çeşitleri bakteriler, aktinomisetler ve mantarlardır. Bu canlılar oksijen ihtiyaçlarına bağlı olarak anaerobik, aerobik veya fakültatif anaerobik olabilmektedirler. Aerobik mikroorganizma grupları oksijenli yerlerde, anaerobik mikroorganizma grupları oksijensiz yerlerde yaşamlarını devam ettirirler. Fakültatif anaerobik mikroorganizmalar da bölgede oksijen varsa bunu kullanırlar, ama yoksa da yaşayabilmektedirler.

Bakteriler; aerobik ya da anaerobik yerlerde hızlıca büyüme becerilerine sahiptirler. Kompostlaştırma sürecinde özellikle ilk baştaki evrelerde görünen küçük, basit yapısı, tek hücresi olan bakterilerdir. Yapılarında %80 su ve %20 kuru madde bulundururlar. İçerdikleri kuru maddelerin yapılarında organikler %90, inorganikler %10'u kapsamaktadır. Organik kısımlar hücrelerin farklı kısmında yer alan protein, karbonhidrat ve yağları içermektedir. İnorganik kısımlarda fosfor, kalsiyum, magnezyum, demir, sodyum, potasyum ve eser elementlerden oluşmaktadır.

Değişen ortam şartlarında yaşayabilecek büyük organizma grubu meydana getirirler ve çok miktarda kolayca ayrışabilen yapıların yok edilmesinden

sorumlu tutulurlar. Mantar ve aktinomisetlere göre ufak olmalarına karşın sayıları epey fazladır.

Bakteriler ayrışma işini çok hızlı yaparlar. Bazıları selülozu dahi ayrıştırabilirler. pH 6-7,5 arasındayken en iyi seviyede çalışırlar ve çalışmaları nem içeriğindeki azalmalara göre azalabilir. Bakterilerde çok fazla sıcaklığa sahip negatif ortam şartlarından etkilenmemek adına spor oluşturmaktadır. Koşulların kullanışlı duruma gelmesi ile yeniden aktif hale geçebilirler (NEH, 2000).

Mantarlar bakterilere göre daha büyük organizmalardır. Nemin ve sıcaklığın düşük olduğu ve geniş pH aralığında farklı çeşitlerdeki organik maddeleri ayrıştırabilen, iplikli yapıya sahip, spor oluşturan, dış ortama bağlı mikroorganizmalardır. Mantarlar kompostlaştırma sürecinin ilerleyen safhalarında, hemiselüloz, lignin ve pektin gibi ayrışmaya dayanıklı maddelerle odun yapısındaki maddelerin ayrıştırılmasını sağlarlar. Bakterilere göre mantarlar mecburi aerobik olmalarından dolayı yüksek olmayan oksijen seviyelerine karşı fazla hassas olup düşük nem ve pH koşullarına karşı daha toleranslıdır. Ayrıca 60°C üstündeki sıcaklıklarda hiçbir mantar yaşayamaz (NEH, 2000).

Mantarlar 60°C'nin üstündeki sıcak ortamlarda hayatlarını devam ettiremedikleri ve ayrışma işlemine dayanıklı yapıların ayrıştırılmalarında görevli olduklarından dolayı yüksek sıcaklıklar kompostlaştırma sürecinde ayrışmanın tamamlanmasını engellemektedir. Patojenlerin yok edilmesi için gerekli yüksek sıcaklık, bu organizma çeşidinin hayatını devam ettirmesi için bu değerin üstüne çıkartılmayacak biçimde ayarlanmalıdır (NEH, 2000).

Aktinomisetler hem bakteri, hem de mantara benzer özelliklere sahip mikroorganizma topluluğudur. Yapıları ve büyüklükleri bakterilere benzetilen bu canlılar, iplikli yapıya sahip olduklarından da mantarlara benzetilirler (NEH, 2000).

İşinsal mantarlar, hücrelerin dışına enzimler salgılamalarıyla bakterileri yok edebilmektedirler. Bu canlılar kolayca ayrışabilen yapıların birçoğunun yok edildiği, su miktarının ve pH değerinin düştüğü kompostlaşma sürecinin ilerleyen evrelerinde görülmektedir (NEH, 2000).

Kompostlaştırma sürecinin son aşamalarında, sıcaklığın elverişli düzeylere indiği zamandan sonra protozoa, rotifer ve nematod türündeki organizmalar kompostta gözlenmeye başlamaktadır. Hem mantar hem de bakterilerle beslenirler ve ligninlerin ve pektinlerin ayrışmalarında görev alırlar. Ayrıca bazı organizmalarda kompost maddede hastalık yapan niteliklerinin uzaklaştırılmasını ve kalitesinde yükselme olmasını sağlamaktadırlar (NEH, 2000).

Kompostlaştırma sürecinin ilk evrelerinde mezofilik bakteriler etkilidirler. Kompostun sıcaklığının artmasıyla birlikte termofilik bakteriler, yaklaşık bir hafta sonrasında da mantarlar etkili hale gelmektedirler. Son evrede aktinomisetler meydana gelmektedirler. Bakterilere kompost kütlesinin tüm alanlarında rastlanırken, aktinomiset ve mantarlara kompost yığın yüzeyinin alt kısımlarında, dış yüzeyin 5-12cm'lik alanlarında bulunmaktadır.

Bütün aerobik kompostlaştırma süreçlerinin mikrobiyolojik özellikleri benzerdir ve önemli kriterleri nem içeriği, ortamın sıcaklığı, oksijeni ve C/N oranlarıdır.

2.5. Katkı Malzemesi

Katkı malzemeleri kompostlaştırılması gereken atığın iyileştirilmesi için ilave edilen maddelerdir. İki çeşit katkı malzemesi bulunmaktadır.

- Yapısal katkı maddeleri: Hacim ağırlıklarını düşürmek ve hava boşluklarını çoğaltmak için ilave edilen organik ya da inorganik maddelerden oluşur.
- Enerji temin eden katkı maddeleri: Atıkların enerji içeriklerini artırmak için ilave edilen organik yapıya sahip, hemen ayrışabilen maddeler yönünden verimli katkı maddeleridir.

Katkı malzemeleri atıkların C/N oranlarının dengesini sağlamak, pH'ını düzenlemek, nem içeriğini elverişli düzeylere ulaştırabilmek için eklenmektedir. Kompost yığınının pek çok katkı maddesi eklenebilmektedir. İdeal katkı maddesi yaş olmamalı, hacim ağırlığı az olmalı ve ayrışabilme durumu çok iyi olmalıdır. En fazla kullanılabilen katkı maddeleri talaşlar, samanlar, pirinçlerin kabuğu, pamukların artık maddeleri, evsel atıklar ve çiftliklerdeki atık maddeler olarak sayabiliriz.

2.6. Gözenek Malzemesi

Gözenekli maddeler ayrışma işlemine dayanıklı organik ya da inorganik yapıya sahip malzemelerdir ve kompostlama işlemindeki atıkların parçacıklarının aralarında mesafeler oluşturarak atık bünyesine güç kazandırmaktadırlar. Hava akımının düzgün bir şekilde olmasını sağlamaktadırlar.

Gözenek maddeleri su tutma özelliklerine göre de ayrılabilirler. Doğal selülozik malzemelerin birçoğu gözenekli yapıda oldukları için su tutma kabiliyetleri yüksektir. Plastikler gibi gözenekli yapıda olmayan malzemelerin ise suyu hiç tutamadıkları kabul edilmektedir. Aynı biçimde suya doymuş duruma gelen gözenek maddesi de suyu tutamamaktadır. Gözenek maddesinin su tutma gücü yapısal iyileştirme için gerekli olan malzeme ölçüsünü belirlemek için önemli olmaktadır. Bunla beraber uygun bir katkı maddesi aynı zamanda gözenek maddesi olarak da görev alabilmektedir.

Fıstıkların kabuğu, ağaçların kırpıntısı, lastiklerin parçası, küçültülmüş evsel çöpler, pirinçlerin kabuğu gibi malzemeler çok görülen gözenek maddeleridir. Bu malzemelerden birçoğu selülozik yapılardan oluşmaktadır ayrıca kompostlama işlemi sırasında belli oranlarda ayrışabilirler.

2.7. Kompost Stabilitesini Belirleyen Faktörler

Kompostlaştırma işleminde son amaç, toprağın şartlandırıcısında kullanılan humusa benzer maddeler oluşturmaktır. Kompost maddenin hem kararlı hem de olgun olabilmesi amaca ulaşırken epey kritiktir.

Organik minerallerin oksitlenme seviyesini anlatmak için stabilizasyon ifadesi, söylenmektedir. Kompostlama sonunda meydana gelen maddeler hızlı olmasa da hala ayrışabilme yeteneğine sahip olurlar, ancak ilk başta atık içerisindeki organik maddelerle kıyaslandığında ayrışabilme yönünden daha kararlı bir durum söz konusu olmaktadır. Kompostlaştırma süreci bitiminde ortaya çıkan kompost maddenin toprağın iyileştiricisi şeklinde kullanabilmek için tümüyle kararlı durumda olması hedeflenmez.

Kompost maddenin toprağa güvenle uygulanabilmesi için kararlılık veya olgunluk derecesinin öğrenilmesi gerekmektedir. Kararlılık kompostun mikrobiyal etkinlik düzeyi ile alakalıyken; olgunluk, bitkinin gelişmesindeki potansiyeliyle alakalıdır.

Kompostun kararlılığını ve olgunluğunu ölçebilmek için Tablo 2.2’de verilen parametrelere bakılmıştır.

Tablo 2.2. Kompostun kararlılık ve olgunluk parametreleri (Epstein,1997)

	Kimyasal Yöntemler	Fiziksel Yöntemler	Bitki Testleri	Mikrobiyolojik Testler
Parametreler	C/N	Sıcaklık	Tere tohumu	Solunum-O ₂ tüketimi
	Azot türler	Renk	Bitki kök incelemeleri	Solunum-CO ₂ değişimi
	Organik madde	Koku		
	Kasyon değişirme kapasitesi	Spesifik ağırlık		
	Organik kimyasal maddeler	Su içeriği		
	Humus parametreleri			
	pH			

Bu değişkenlerin yalnız başlarına kararlılık ve olgunluk belirtisi olarak kullanılması uygun değildir, olması gereken nitelikler aşağıda kısaca anlatılmıştır:

- *C/Noranı:* Kompost maddenin kararlılığını saptamakta kullanılmaktadır. C/N oranının 20’den küçük olması kararlı kompostun bulgusudur. Malzemedeki C/N seviyesinin ilk baştaki C/N seviyesine oranı 0.49-0.85 arasında beklenmektedir. Su İçerisinde Çözünen Organik Karbon/Toplam Organik Azot oranlarında 0.7’nin alt seviyelerine inmesiyle kararlılığın sonlanmış olacağı kabul edilmektedir.
- *N türleri:* Olgunlaşma safhasında NH₄⁺-N yoğunluğunda düşme ve NO₃-N yoğunluğunda yükselme gözlenebilir. NH₃ olgunlaşmamış kompost maddesinin, NO₃ ise olgunlaşmış kompost maddesinin işaretidir. Kararlı kompost maddesinde NH₄ yoğunluğunun %0.04’ün üzerine çıkmaması

gereklidir.

- *Kasyon değiştirme kapasitesi:* Organik veya inorganik parçacıkların kasyonlarının yüzey alanında tutunma kabiliyetinin lmdr. Aerobik kompostlaştırma işleminde 1-2 ay boyunca kasyon değiştirme kapasite değeri 40meq/100g değerinden 80meq/100g değerine kadar çıkmaktadır. Olgunlaşmış kompostta en düşük kasyon değiştirebilme kapasite değerleri 60meq/100g olduğu kabul edilebilir.
- *Organik kimyasal bileşenler:* Selülozun ayrışma süreci fazla olduğundan kompost maddenin olgunluk seviyesinin belirtisidir. Selüloz kompost işlemi süresince azalmaktadır.
- *Hmikleşme parametreleri:* Organik maddelerin içeriğindeki farklılıklar kararlılık seviyesini belirtirler. Kompostlaştırma boyunca hümik maddelerin oluşmasında artış gözlemlenmektedir.
- *pH:* Biyolojik etkinliğin sonucu olarak ilk başta düşüş olur, sonra yükselmektedir. pH aralığı kompost maddenin hem kararlılık hem de olgunluğuna dair net bir belirteç olmamaktadır.

Renk, koku ve sıcaklık gibi fiziksel özellikler varılan kararlılık seviyesine dair genel bir görüş sunarken olgunlaşma seviyesi için direkt fikir vermemektedirler. Olgun kompost madde koyu kahverenginde olur, kokusu ormanda bulunan toprakları andırmaktadır.

Bitkilere yapılan testler kararlılık için değil, kompost maddesinin olgunluk seviyesini ölçmek adına yapılmaktadır.

Mikrobiyal etkinliği takip etmek için O₂ tüketimi, çıkan CO₂'in değişmesi ve mikrobiyal değişimlere bakılmaktadır.CO₂ dört günlük sürecin sonunda belirlenebilmektedir. Solunum hızı <5 mg CO₂-C/gr kompost olduğu zaman kompost olgun denilebilmektedir.

2.8. Kompostlaştırma Sistemleri

Kompostlaştırma sistemleri; açık (yığın) ve kapalı reaktör (in-vessel) sistemleri olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Açık (yığın) sistemlere kompostlaştırılması gereken maddeler kütle olarak hazırlanmaktadır ve farklı biçimlerde havalandırılması sağlanmaktadır. En bilindik statik sistemler; yığın,

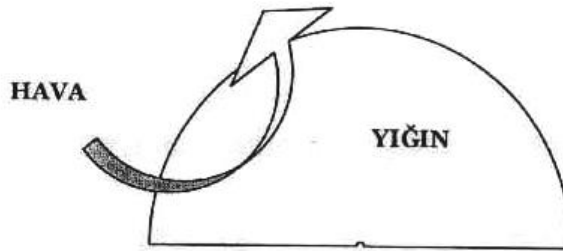
karıştırmalı yığın, havalandırmalı yığın ve havalandırmalı-karıştırmalı yığın sistemleridir. Kapalı reaktör sistemlerinde kompostlaştırma yapılacak maddenin içerisine oksijen girişini temin etmek, sıcaklıkları denetleyebilmek, kararlı ürüne ulaşabilmeyi kaplanması sağlanmış ekipmanlar da havalandırılıp, karıştırma yapılmaktadır. Sıklıkla görölen kapatılmış sistemler ise; karıştırmalı dikdörtgen reaktörler (tünel sistemi), silo sistemi, döner tambur ve konteynır sistemleridir.

2.8.1. Açık Kompostlaştırma Sistemleri

2.8.1.1. Statik Yığın Sistemi

Bu sistemlerde kompostlaştırılması yapılacak atığın karıştırma yapılmadan kütleler şeklinde bekletilmesi gerekmektedir. Hava sirkölasyonu, hem kütlenin içindeki hava akımının hareket etmesi hem de esinti yardımıyla sağlanmaktadır (şekil 2.2).

Uygulamadaki kritik konu kütlenin boyutunun tayin edilmesidir. Kütlenin boyutunun yüksek olduğu durumda, hava akımının kütle içerisinde dolaşımını sınırlayacağından ayrıca oksijensiz ortam oluşurmaya sebep olmasından dolayı istenilmeyen durumlardır. Bundan dolayı ebatları genel olarak birkaç metreden yüksek olması istenmemektedir. Ayrı zamanda atık parçacıklarındaki boşlukların oranları yeteri kadar sağlanmalıdır.



şekil 2.2. Yığın sistemi (NEH, 2000).

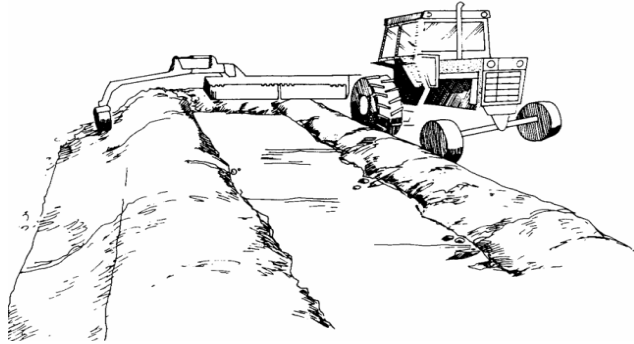
Bu yöntem daha düşük değerde güç ve donanım gereksinimi olan sistemlerdir. Ancak süreç uzun olduğundan ve koku sorununa neden olduğundan büyük hacimli atıkların kompostlaştırılması için tercih edilmemektedir. Genel olarak az atık bulunan bölgelerde ve çiftliklerde uygulanmaktadır.

2.8.1.2. Karıştırmalı Yığın Sistemi

Yığın yönteminin ilerlemiş durumudur. Sistemde kompost kütleleri belirli

aralıklarda bireylerin kuvveti ya da bazı teknolojik makineler sayesinde aktarma işlemiyle karıştırılmaktadır. Kütlelerin boyutu, atıkların miktarlarına ve türlerine, kullanılacak saha genişliğine ve iklime göre değişkenlik gösterirler ve yükseklikleri genel olarak 100 cm ile 300cm, genişlik ölçüsü 130 cm ile 800 cm aralığında olması istenmektedir (Şekil 2.3). Mineral bakımından zengin olan gübre benzeri atıkların yığın boyutu fazla olmamalıdır. Ayrıca oluşan ısının hem korunabilmesi hem de hava akımının kitlenin aşağı tabakalarına doğru inmesine dikkat edilmelidir. Kütleler sistemli olacak şekilde düzenli olarak karıştırılmalı ve havalandırılmalıdır.

Yığınlar oluşmadan önce, kompostlaştırılacak atığın parçacık ölçüsü 25 mm ile 75 mm arasında öğütülüp daha sonra elekten geçirilmelidir. Kitlenin içeriği ile karıştırmanın hangi aralıklarla yapıldığına bakılarak proses süreci 21-63 gün sürebilmektedir. Atığa kompostlaştırılma işlemi uygulanmasına 2 aylık süreç oldukça yeterlidir. Olgunlaşma safhasında alt üst işlemi yapmadan yaklaşık 1 ay beklenmektedir. Bu süre zarfında kompostlaşma işlemine maruz kalamayan atık parçaları mantar, ipliksi bakteriler gibi canlılar yardımıyla azaltılmaktadır.



Şekil 2.3. Karıştırılmalı yığın (windrow) sistemi (NEH, 2000)

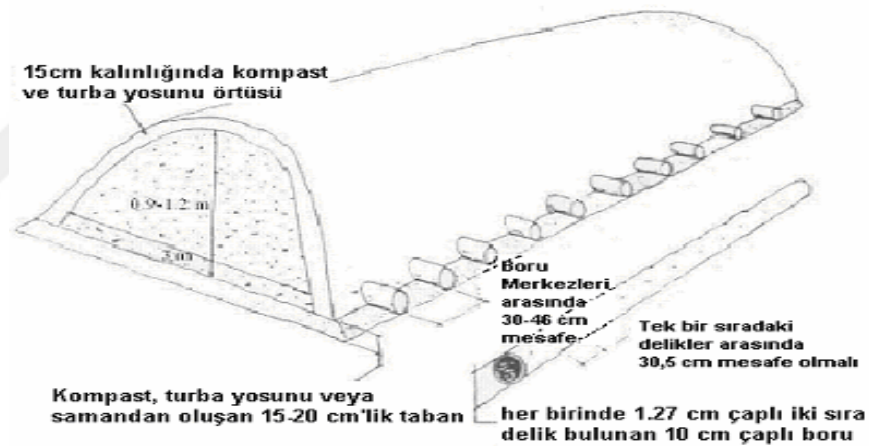
2.8.1.3. Havalandırılmalı Yığın Sistemleri

Bu sistem statik yığın yönteminden, sürekli devam eden hava verme işlemiyle ayrılmaktadır. Olması gereken miktarlarda yığılmış atık farklı havalandırma metotlarıyla havalandırılabilir. Yalıtımı sağlayabilmek ve koku sorununu kontrol edebilmek için yeni oluşan yığının üst yüzeyine elekten geçirilmiş kompost katman halinde serilmektedir. Bu sistemde karıştırılma

yapılmamalıdır. Havalandırma işlemi iki biçimde yapılabilir.

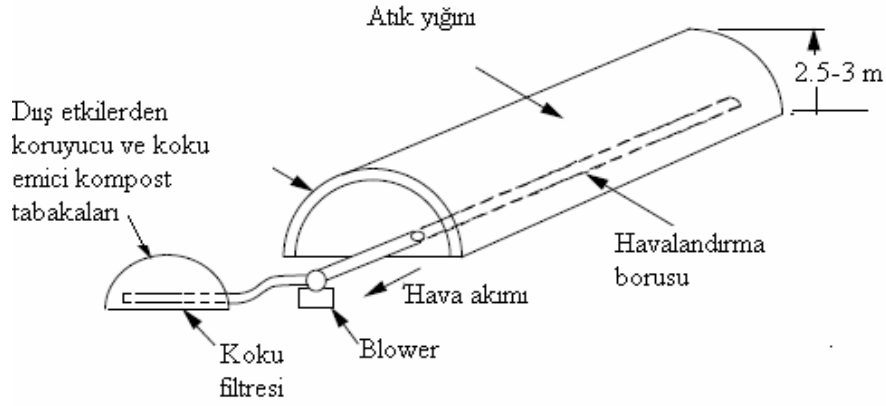
İlki atığın kütesinin alt kısmına elverişli boşluklar bırakılarak döşeme yapılmış borular yardımıyla yapılabilen pasif havalandırma işlemidir. Kompostun içerisinde sıcaklık artışıyla yukarı çıkan hava yerine, yığının alt kısmına yerleştirilmiş delikleri olan boruların sayesinde yeni ve serin havanın girmesi sağlanmaktadır. Bu sayede sürecin gereksinimi olan oksijen sağlanmaktadır.

Uygulamada atığa hava girişlerinin önlenmemesi için borular yığının alt kısmına enine konulmalıdır. Proses sürecinde başarı sağlanabilmesinde, atık yığınının genişlik ebadı 1-1.5 m, atık yığınının alt kısmına konulan delikli boru çapı 10 cm, boruların arasındaki mesafeler 30-45 cm, boruların üzerinde bulunan delik çapları 1-1.5 cm ve boruların üzerinde bulunan deliklerin arasındaki mesafeler yaklaşık 300 mm olması gerekmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Pasif havalandırma yığın sistemi (Rynk, 1992).

İkinci havalandırma biçimi, üfleyiciler ile yapılmakta olan aktif havalandırma sistemidir. Bu metotta atık kütesinin alt kısmına döşenen delinmiş borulara kompresörün sayesinde hava pompalanmakta ya da vakumlamayla borulardan hava çekilmektedir. Ayrıca, eğer kompostlaştırılan bölgede çok fazla kütle var ise bir kütleden emilen hava diğer kütleye verilerek de havalandırma yapılabilir. Böylelikle koku denetimi sağlanmaktadır. Kütlein boyutu kullanılacak olan üfleyici sisteminin gücüne göre değişmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Blower ile havalandırılan yığın sistemi (Rynk,1992).

2.8.1. Kapalı Reaktör (In-vessel) Sistemler

Bu sistemlerde kompostlaştırma işlemi kapaklı bir kutu ya da varil içerisinde gerçekleştirilen sistemlerdir. Kapalı reaktör sistemlerinde havalandırmayı, sıcaklığı ve oksijen yoğunluğu gibi çevre şartlarının kontrolü yapılarak prosesin zamanını ve koku sorununu en aza indirmek ve kompostlaşma için gereken zamanı azaltmak için tasarlanmıştır. Bu sistemlerde düzenek olarak kapalı kaplar, yatay dikdörtgen tanklar ve döner tanklar kullanılabilmektedir.

Bu sistemler, piston akımlı ve karıştırmalı yatak olarak iki gruba ayrılırlar. Piston akımlı sistemlerde kompostlaştırılacak kütlelerin birbirleriyle bağları süreç boyunca hep aynıdır ve sistemi önce içeriye sonra dışarıya şeklinde sırayla çalışmaktadır. Karıştırmalı sistemlerde, kompostlaşan malzeme süreç boyunca makine ile karıştırılmaktadır.

Geçmiş senelerde hem çalışan ücretlerinin hem de alan gereksiniminin az olmaları ve koku sorununun gözetimde tutulması tarzında faydaları sebebiyle bu sistemler seçim nedeni olmuşlardır. Kapalı reaktör sistemlerinde etkili kompostlaştırma süreleri 7-14 gün sürebilirken, olgunlaşma süresi 4-12 hafta sürebilmektedir.

2.9. Kompostun Faydaları ve Kullanım Alanları

Kompost yararları şu şekilde sıraya koyulabilir:

- Kompostlama süreciyle organik atığın kararlı nihai ürüne dönüşmesinin sağlanması
- Ortaya çıkan ürünün tarım,bahçeve farklı yerlerdeki toprağın iyileştirilmesi ile organik maddesel içeriğinin zenginleştirilmesinde kullanılır.
- Atık içersinde hastalık oluşturan mikroorganizmaların etkili şekilde giderilmesinde
- Düzenli depolama alanlarında azalma sağlanmasında
- Erozyon yaşanmış bölgelerde kaybedilen organik maddeleri sağlaması ayrıca toprağın rejenerasyonuna katkı sağlamasında. Kompost bitkilerin tekrardan gelişmeleri için elverişli bir alan oluşturması ve erozyonu önlemesi
- Kompost maddenin eklenen toprakiçerisindeki organik maddelerin içeriğindeki yükselmeye göre boşluk hacmini, su ve besin tutma kapasitesini artırması
- Yerin altındaki su niteliğinin korunabilmesini sağlaması
- Toprakta bulunan besinleri tutabilmek için katyon değiştirme gücünü artırması ve bitki yapısına hasar verebilen asidik koşulları engellemek içintamponlama işlemi sağlaması
- Suni gübre tüketilmesinin en aza inmesinin sağlanması
- Belediye katı atıklarının kompostlanması, son zamanlarda çöp depolama alanından ve yakma maliyetinden tasarruf sağlanması ve bitkisel üretim için kullanılması gibi geniş kapsamlı kullanımı nedeniyle büyük ilgi görmüştür.

Kompost eklenmesi topraktaki yapısal özellikleri iyileştirmektedir; ancak kimyasal maddelerle farklı kirleticiler dikkat edilmesi gerekli değişkenlerdir. Kimyasal madde miktarı çok fazla bulunan kompost maddeler sadece düzenli depolama sahalarında yüzey örtüsü ve atık madde giderimine özgü ayarlanmış

bölgelerde kullanılmaktadırlar. Kompost maddenin gübre olarak kullanılması da çok yaygındır. İnorganik gübreler belirli oranlarda azot-fosfor-potasyum içermektedirler. Kanatlı gübresi, mahsullerin büyümesi ve verimliliği üzerinde olumlu etkisi olan yüksek fosfor içerir. Çiftlik kullanımı için mineral fosforlu gübre ile kombine edildiğinde de etkilidir.

2.10. Kompostun Kalitesi

Kompost kalitesi kompost maddenin yapısal özelliklerinin göstergesidir. Kompost maddenin kararlılığı ile olgun olması kompost maddede ki kaliteyi etkilemektedir. Olgunluğa ulaşmamış kompost ziraat alanlarına uygulandığında bitkilerin büyüebilmelerine engel olur. Kompost kalitesini belirli kılan en etkili değişken hastalık oluşturan mikroorganizmaların içerikleri, ağır metallerin içerikleri, besin içerikleri, fiziksel ve kimyasal yapıları kompost kalitesini belirleyebilir.

Metallerin sınır değerleri, kompostun verildiği toprak pH değerine göre değişebilmektedir. Metal tuzları asidik alanlarda bitki özüne elverişli biçimde çözülmüş yapıda bulunmaktadır. Nötr ve bazı pH seviyelerinde, kimyasal maddeler çözünemeyen bileşiklere dönüşürler. Bu durumda bitki yapılarına çok fazla zarar vermezler, yer altı sularında ise düşük seviyede kirlilik tehlikesi oluştururlar. Başka bir ifadeyle, metal yoğunluğunun artması ve yer altı suyunun kirlenme riski düşük pH seviyelerinde yüksektir.

Ülkemizde kompostun toprakta uygulanabilmesi için gerekli olan bazı özellikleri 05.03.2015 tarih ve 29286 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Kompost Tebliği”nde belirtilmektedir. Buna göre;

- Kompostun pH değeri 5.5-8.5 arasında olmalıdır.
- Kompostta hijyenin tam olarak sağlanması için sıcaklığın 55 °C’de 2 hafta, 60°C’de 1 hafta, 65 °C’de 5 gün veya 70 °C’de 1 saat işlem görmüş olması gerekmektedir.
- Kompostun nem içeriği %30’un altında olmalıdır.
- Kompostun C/N oranı 10-30 arasında olmalıdır.
- Kompostun organik madde içeriği (kuru madde içerisinde) %35’ten büyük olmalıdır.

- Mineral iyonlar halindeki tuz miktarı 10 dS/cm'den küçük olmalıdır.
- Kompostta biyobozunur olmayan yabancı madde miktarı %2'den küçük olmalıdır.
- Kompostta bulunan yabancı ot miktarı ise 5 adet/L'den az olmalıdır.
- 10 mm'lik elekten ürünün %90'ının geçmelidir.
- Plastik madde veya diğer mevcut muhtemelen geri dönüşümü olmayan madde partiküllerinin büyüklüğü 10 mm'yi geçmemelidir.
- Üründe kullanılan hammaddenin kaynağı belirtilmelidir.
- Kompostta ağır metallerin sınır değerleri Tablo 2.3'te sunulmaktadır.

Tablo 2.3. Kompostta ağır metal sınır değerleri (Kompost Tebliği)

Ağır Metal (Toplam)	Değer (ppm) (mg/kg kuru madde)
Kurşun (Pb)	150
Kadmiyum (Cd)	3
Krom (Cr)	350
Bakır (Cu)	450
Nikel (Ni)	120
Civa (Hg)	5
Çinko (Zn)	1100
Kalay (Sn)	10
Arsenik (As)	20

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyallerin Temini ve Özellikleri

3.1.1. Kümes Hayvanları Atıklarının Temini ve Özellikleri

Kümes hayvanı katı atıklarının içeriği; hayvanların cinsi, ağırlığı, beslenme durumları, mevsimsel koşullar, çalışmada kullanılmış olan altlık malzemesi türü ve miktarı gibi çok farklı parametrelere göre farklılık gösterebilmektedir. Kümes hayvanları üretiminde oluşan atıklar, üretimin amacına (tavuğun et ve yumurta üretimi için) ve üretimin şartlarına göre de değişkenlik gösterebilir.

Bu çalışmada, Samsun ili Kavak ilçesinde yer alan Ergün Tavukçuluk San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen besi tavukçuluk atıkları kullanılmıştır. Atık örnekleri 10 L'lik plastik kaplarla alınmış ve 4 saati aşmayan sürede sistemlere yerleştirilmiştir. Kullanılan atıkların özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kümes hayvanları atıklarının özellikleri

Parametre	Değer
pH	8.44
İletkenlik (mS/cm)	3.56
Nem içeriği (%)	26.45
Katı madde miktarı (%)	73.5
Organik madde miktarı (%)	84.75
N (%)	3.25

3.1.2. Kentsel Katı Atıkların Temini ve Özellikleri

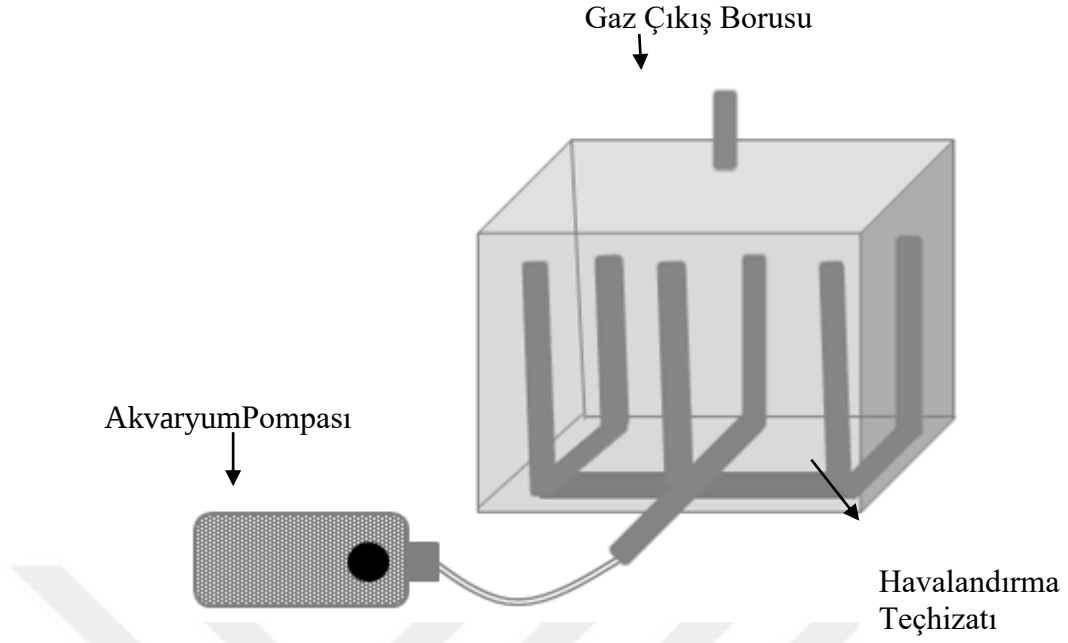
Çalışmada kullanılan kentsel katı atık örnekleri, Samsun meyve ve sebze halinden temin edilmiştir. Sistemlere yerleştirilirken aynı türden atıkların eşit miktarda kullanılmasına özen gösterilmiştir. Atık örnekleri 10 L'lik plastik kaplarla alınmış ve 4 saati aşmayan sürede, sistemlere yaklaşık aynı boyutlarda parçalanma işlemi uygulanarak yerleştirilmiştir. Kullanılan atıkların özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kentsel katı atıklarının özellikleri

Parametre	Değer
pH	4.17
İletkenlik (mS/cm)	1.46
Nem içeriği (%)	69.12
Katı madde miktarı (%)	30.9
Organik madde miktarı (%)	93.2
N (%)	2.4

3.2. Pilot Kompostlaştırma Reaktörleri

Pilot kompostlaştırma sistemleri kapalı reaktör tarzında tasarlanmıştır. Pilot reaktör, kompost oluşumunun devamlı izlenmesi için şeffaf plastikten imal edilmiştir. Reaktörün hacmi 30 L olup ölçüleri 40 cm x 30 cm x 25 cm (en x boy x yükseklik) şeklindedir. Tabandan 5 cm yükseklikte, 2 cm çaplı PVC borudan yatayda ve düşeyde tarak şeklinde havalandırma teçhizatı döşenmiştir. Akvaryum pompasına bağlantısı olan ana boru dışındaki tüm borularda 3 mm çapında çaprazlama delikler açılmıştır. Akvaryum pompasının kapasitesi tüm sistemlerde aynı olup, kompostlaştırma prosesi süresince 10 L/dak olarak çalıştırılmıştır. Gaz çıkışı ve sıcaklık ölçümü için kapak kısmında birer baca oluşturulmuştur. Pilot kompostlaştırma reaktörünün şematik görünümü şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Pilot kompostlaştırma reaktörünün şematik görünümü

3.3. Kompost Örneklerinin Alınması

Numune alımında, kompostlanan maddeyi yansıtıcı nitelikte olmasına özen gösterilmiştir. Bu amaçla, her numune alımından önce kompostlanan içerik karıştırılmış ve sonrasında örnekleme yapılmıştır. Numune alma ve analizler arasında geçen sürede, numunelerin nemini kaybetmemesi ve diğer değişimlere uğramaması için numuneler analizden hemen önce alınmış ve bekletilmemiştir. Deneyler iki tekrarlı olarak yapılmış ve analiz sonucu olarak ortalamaları kullanılmıştır. Numune alma periyodu, haftada bir kez olarak gerçekleştirilmiş ve 100 gün (15 hafta) boyunca devam etmiştir. Sıcaklık ölçümleri, proses süresince her gün yapılmış ve haftanın en yüksek değeri kayda alınmıştır.

3.4. Kompostlaştırma Denemeleri

Çalışmada 5 farklı materyal oranı ile kompostlaştırma denemesi gerçekleştirilmiştir. Materyal oranları Tablo 3.3'te verilmektedir.

Tablo 3.3. Kompost denemelerinde kullanılan materyal oranları

Set No	Karışım Oranı
Set 1	%10 Kümes Hayvanı Atığı + %90 Kentsel Katı Atık
Set 2	%25 Kümes Hayvanı Atığı + %75 Kentsel Katı Atık
Set 3	%40 Kümes Hayvanı Atığı + %60 Kentsel Katı Atık
Set 4	%100 Kümes Hayvanı Atığı
Set 5	%100 Kentsel Katı Atık

3.5. Analizler

Alınan kompost numunelerinde, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, toplam karbon (TC) ve toplam azot (TN) analizleri yapılmıştır. PH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği analizlerinde orijinal atık numunesi kullanılmıştır. Diğer parametrelerde, 103-105 °C’de kurutulmuş analitik örnekler kullanılmış ve elde edilen veriler gram kuru ağırlık üzerinden verilmiştir. Analizlerde kompost için standart yöntemler kullanılmıştır (FCQAO, 1994).

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Kümes hayvanları atığı ile kentsel katı atıkların birlikte kompostlaştırılabilirliğini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, üç farklı karışım oranında kompostlaştırma denemeleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar sadece kümes hayvanları atığının ve sadece kentsel katı atığın kompostlaştırıldığı sistemlerle karşılaştırılmıştır. Proses süresince sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, toplam azot (TN) ve toplam karbon (TC) değişimleri incelenmiştir. Her bir parametrenin proses süresince değişimi aşağıda incelenmiştir.

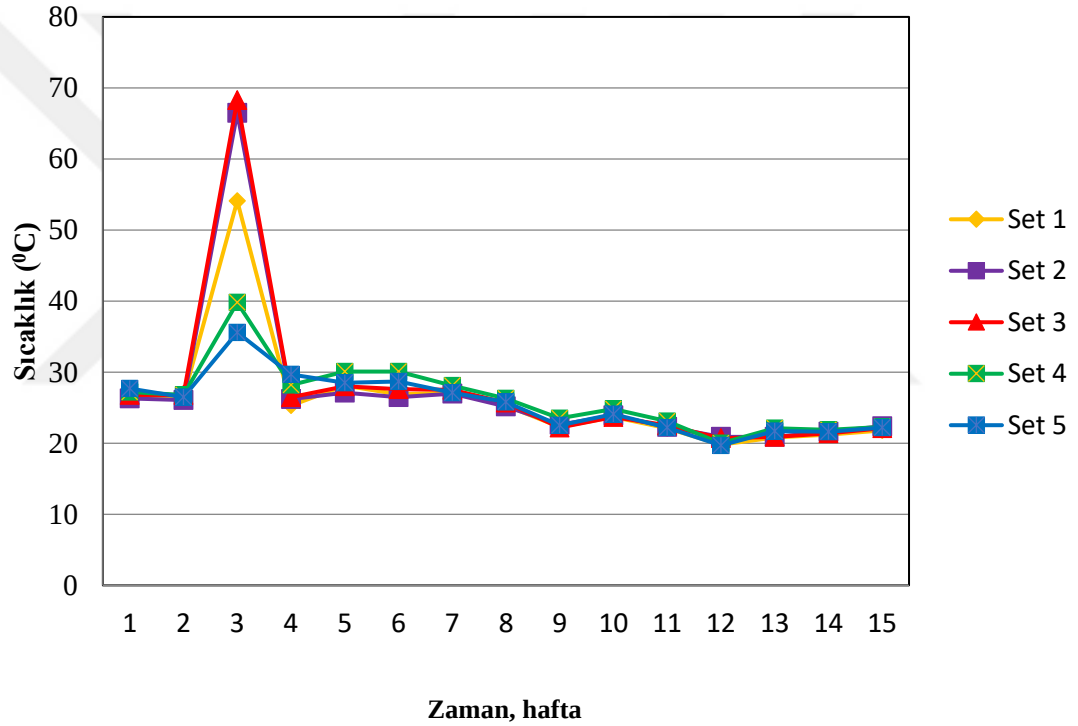
4.1. Sıcaklık

Kompostlama prosesi süresince organik maddeler mikroorganizmalar tarafından parçalanmakta ve aerobik parçalanma ürünleri olarak karbondioksit ve su oluşmaktadır. Kompostlama esnasında mikrobiyal bozunma ile fazla miktarda enerji, ısı şeklinde açığa çıkmaktadır. Kompostlama maddesinin kendi kendini çürütme özelliği sıcaklığın yükselmesine neden olan ısı birikimine yol açmaktadır. Meydana gelen ısı, kompostta bulunması istenmeyen hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderimini sağlamaktadır.

Proses süresince incelenen 5 kompostlaştırma sisteminde gözlenen sıcaklık değerleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Tüm sistemlerde sıcaklık değerleri ilk 3 hafta boyunca artış göstermiştir. 3.haftadan sonra sıcaklık değerleri azalma göstermiştir. 7. haftadan sonra sıcaklık değerlerinde önemli değişim gözlenmemiştir.

05.03.2015 tarih ve 29286 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Kompost Tebliği’nin Ek-2 “Kompost Kalite Parametreleri” bölümünde proste kesintisiz olarak hijyenik bir kompost üretimini sağlamak için 55 °C’de 2 hafta, 60 °C’de 1 hafta, 65 °C’de 5 gün, 70 °C’de 1 saat, işlem görmüş olması gerekmektedir. Tebliğin 11. maddesi 5. bendinde hayvansal atık kullanılması durumunda, kompostlaştırma ünitesinde 70 °C sıcaklığın en az 1 saat boyunca kesintisiz olarak sağlanması gerektiği belirtilmektedir. Maksimum sıcaklık değerleri, %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1’de 54,1°C, %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2’de 66.5°C, %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3’te 68.3°C olarak ölçülmüştür. Kümes hayvanı ve kentsel katı atık

karışımı ile gerçekleştirilen her üç sette de termofilik sıcaklıklara ulaşılmıştır. %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te maksimum sıcaklık 39.8°C olarak ölçülürken, %100 kentsel katı atık içeren sistemde 35.6°C sıcaklığa ulaşılabilmiştir. Gerek sadece kentsel katı atıkların, gerekse sadece kümes hayvanları atıklarının kompostlaştırıldığı setlerde mikrobiyal aktivite ile organik maddelerin parçalanması sonucu beklenen ısı artışının, istenilen oran ve sürede gerçekleşmemiş olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin, %100 kümes hayvanı atığı içeren setteki porozitenin daha düşük olmasından ve %100 kentsel katı atık içeren setteki yüksek nem içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu setlerde, partiküller arası boşluklar su ile dolarak ısınmayı engellemiştir.



Şekil 4.1. Kompostlaştırma prosesi süresince sıcaklığın zamanla değişimi

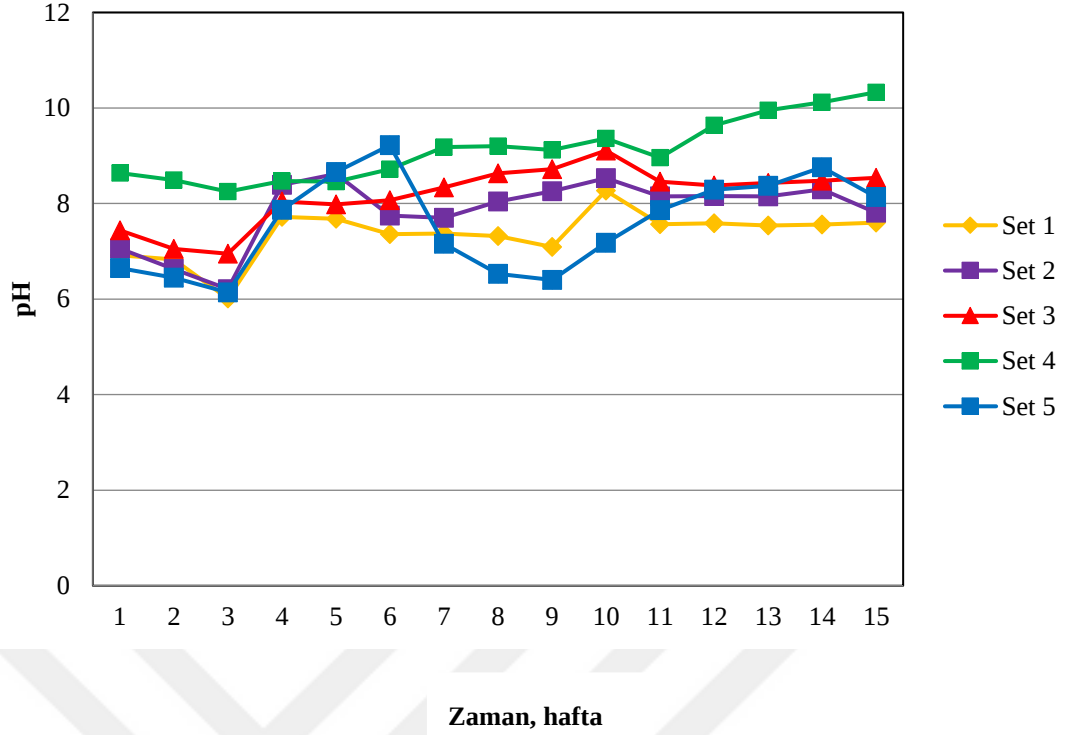
4.2. pH

Kompostlaştırma prosesi başlangıcında, kümes hayvanları atıklarının pH değeri 8,44; meyve ve sebze atıklarını içeren kentsel katı atıkların pH değeri ise 4,17 olarak belirlenmiştir. Kümes hayvanları atıkları ile kentsel katı atıkların karışımları sonucu pH değeri, %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1'de 6.92; %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2'de 7.06; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3'te ise

7.44 olarak ölçülmüştür. Tüm sistemlerde pH değerleri sıcaklığın pik yaptığı 3. haftaya kadar hızlı bir azalma göstermiştir. Bu azalmaların, organik maddenin ilk haftalarda hızla parçalanarak CO₂ ve organik asit oluşturmamasından dolayı meydana geldiği belirtilmektedir.

pH değeri, 3. haftadan sonra tüm sistemlerde yeniden artış göstermiştir. 9. haftadan sonraki pH değişimleri ise çok salınım göstermemiştir. Kompostlaştırma prosesi sonunda %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te pH değeri 10.33 olarak ölçülürken, %100 kentsel katı atık içeren Set 5'te 8.14 olarak ölçülmüştür. pH değerleri, %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1'de 7.6; %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2'de 7.81; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3'te 8.54 °C olarak belirlenmiştir. Proses süresince tüm sistemlerdeki pH değişimi Şekil 4.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

05.03.2015 tarih ve 29286 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Kompost Tebliği'nin Ek-2 "Kompost Kalite Parametreleri" bölümünde kaliteli bir kompost üretimini sağlamak için pH değerinin 5.5-8.5 arasında olması gerektiği belirtilmektedir. Buna göre, %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te pH değeri aralığın dışında ve oldukça yüksek bulunmuştur. %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3'te ise pH değeri sınırdadır. %100 kentsel katı atık içeren Set 5'te; %10 kümes hayvanı atığı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1'de; %25 kümes hayvanı atığı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2'de proses sonunda üretilen kompost pH değerleri kompost kalite kriterleri açısından uygundur.



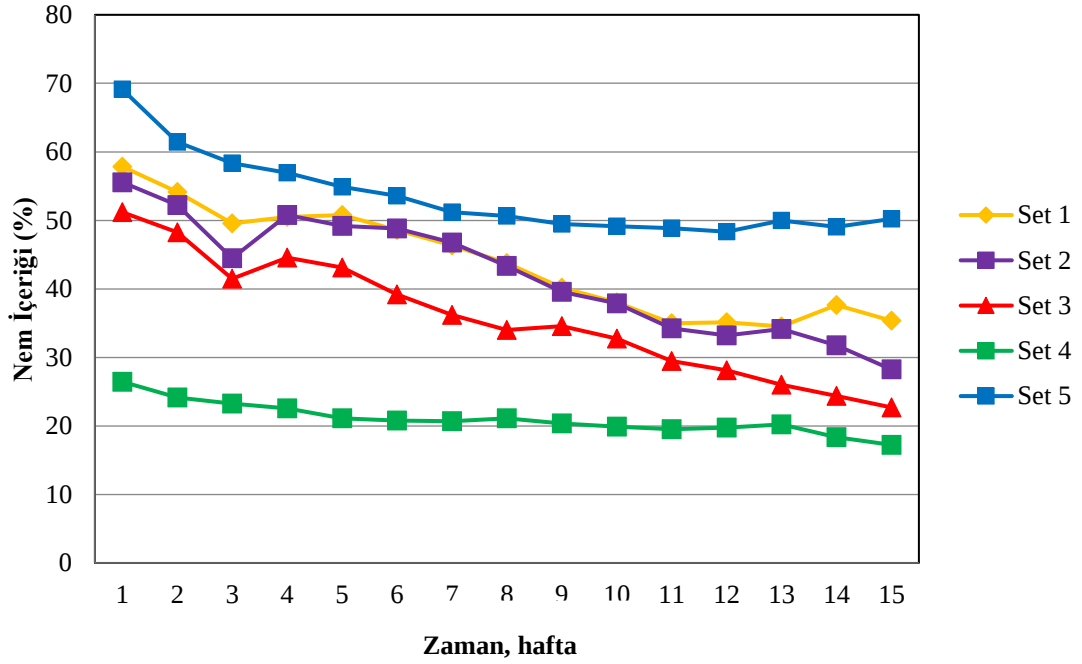
Şekil 4.2. Kompostlaştırma prosesi süresince pH'nın zamanla değişimi

4.3. Nem İçeriği

Mikroorganizmaların, metabolik faaliyetleri için neme ihtiyaçları vardır. Organik madde içindeki nem içeriği %15'in altına düştüğünde biyolojik aktivite tamamen durmaktadır. Kompostlaştırma prosesi için nem içeriğinin proses başlangıcında %50-60 gibi daha dar bir aralıkta olması gerekmektedir.

Kompostlaştırma prosesi başlangıcında, %100 kümes hayvanları atığı içeren Set 4'te nem içeriği değeri %26.45; %100 meyve ve sebze atıklarını içeren kentsel katı atıkların yer aldığı Set 5'te ise nem içeriği değeri %69.12 olarak belirlenmiştir. Buna göre, sadece kümes hayvanları atığını içeren Set 4'ün nem içeriği değeri çok düşük, sadece kentsel katı atık içeren Set 5'in nem içeriği değeri ise çok yüksek bulunmuştur. Kümes hayvanı atığı ile kentsel katı atık karışımından oluşan Set 1, Set 2 ve Set 3'te ise proses başlangıcında nem içeriği değerleri optimum aralıkta yer almıştır. Nem içeriği değerleri, organik maddenin parçalanması ve oluşan ısı sonucu buharlaşma ile proses süresince azalma göstermiştir.

Proses sonunda nem içeriği değerleri, %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1’de %35.36; %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2’de %28.25; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3’te %22.70 olarak belirlenmiştir. %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4’te nem içeriği değeri, proses sonunda %17.24; %100 kentsel katı atık içeren Set 5’te ise %50.21 olarak ölçülmüştür.

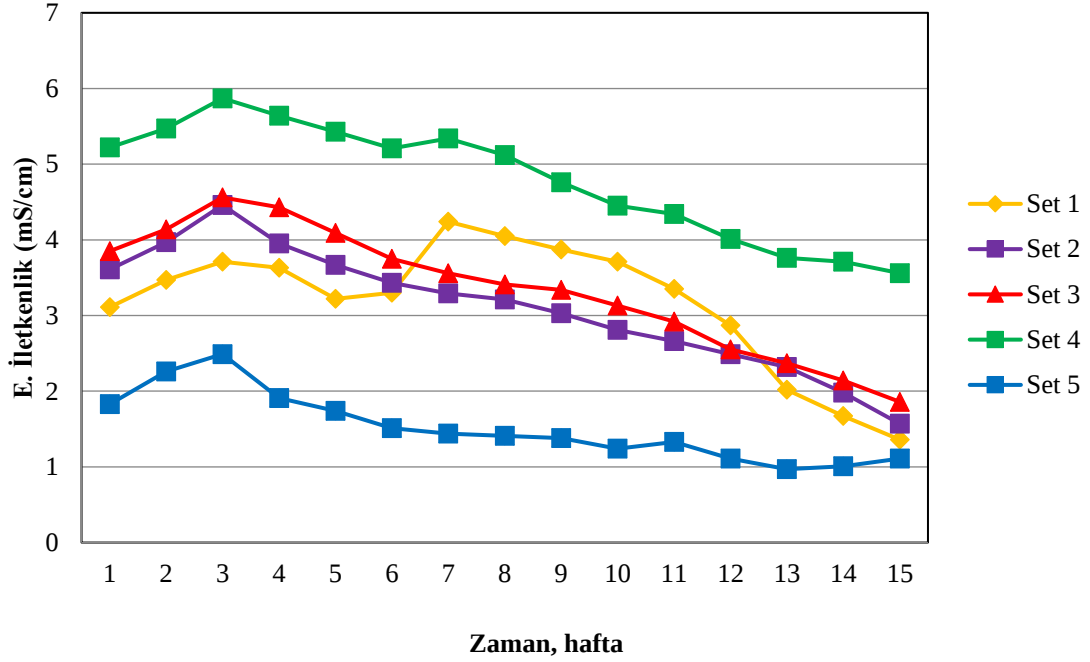


Şekil 4.3. Kompostlaştırma prosesi süresince nem içeriğinin zamanla değişimi

05.03.2015 tarih ve 29286 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Kompost Tebliği’nin Ek-2 “Kompost Kalite Parametreleri” bölümünde kaliteli bir kompost üretimini sağlamak için kompostun nem içeriği değerinin %30’dan küçük olması gerektiği belirtilmektedir. Buna göre, %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2’de; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3’te ve %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4’te üretilen kompostların nem içeriği değerleri kompost kalite kriterleri açısından uygunken; %100 kentsel katı atık içeren Set 5’te ve %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1’de üretilen kompostların nem içeriği değerleri kompost kalite kriterleri açısından uygun değildir.

4.4. Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik değeri, kompostun tuzluluğunun bir göstergesidir. Kompostun tuzluluğu, toprakta kullanımını kısıtlayan bir parametre olduğu için kompostlaştırma proseslerinde elektriksel iletkenlik değeri önemli bir yer tutmaktadır. Kompostlaştırma prosesi süresince setlerde gözlenen iletkenlik değerleri Şekil 4.4'te grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Kompostlaştırma prosesi süresince elektriksel iletkenliğin zamanla değişimi

Proses başlangıcında %100 kentsel katı atık içeren Set 5'te iletkenlik değeri 1.83 mS/cm; %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te ise 5.22 mS/cm olarak ölçülmüştür. Çalışmada en yüksek iletkenlik değeri, %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te gözlenmiştir. Kümes hayvanı atığı ile kentsel katı atıkların birlikte kompostlaştırıldığı Set 1, set 2 ve Set 3'te kompostlaştırma prosesi başlangıcında iletkenlik değerleri 3-4 mS/cm arasındadır. Elektriksel iletkenlik değerleri, termofilik sıcaklıkların pik yaptığı ilk 3 haftada artış göstermiş, sonrasında da düzgün azalan bir eğri sergilemiştir.

Kompostlaştırma prosesi sonunda, %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te iletkenlik değeri 3,56 mS/cm; %100 kentsel katı atık içeren Set 5'te 1.11 mS/cm; %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1'de 1.36

mS/cm; %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2’de 1.57 mS/cm; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3’te 1.86 mS/cm olarak belirlenmiştir.

Elektriksel iletkenlik değerine göre, 1 mS/cm’den daha az iletkenliğe sahip olan kompostun tuzluluk derecesi “çok iyi”, 1-2 mS/cm arasında olan kompostun tuzluluk derecesi “orta” ve 2 mS/cm’den büyük olan kompostun derecesi de “tuzlu” olarak nitelendirilmektedir (Penwarn, 2002). Buna göre %100 kentsel katı atık içeren Set 5, %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1, %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2 ve %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3’ten elde edilen kompostların tuzluluk derecesi “orta”, %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4’ten elde edilen kompostun tuzluluk derecesi de “tuzlu” olarak belirlenmiştir. Kümes hayvanı atığı bulunan bütün setlere bakıldığında kümes hayvanı atık miktarı arttıkça elektriksel iletkenlik değeri de artmaktadır.

4.5. Toplam Azot (TN)

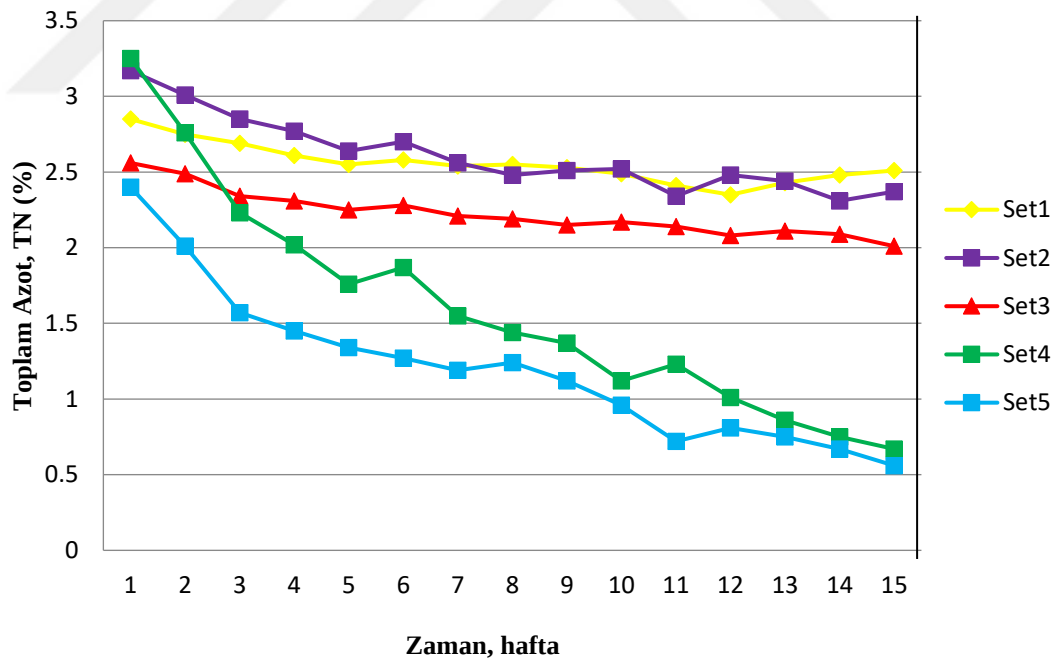
Azot, mikroorganizmaların faaliyetleri ve üremeleri için gerekli olduğundan, kompostlaştırma prosesinde önemli bir yere sahiptir. Mikroorganizmaların üremeleri için gerekli bulunan azot dışındaki diğer besleyici elementler çoğunlukla organik maddelerin içerisinde yeterli düzeyde bulunmaktadır. İnorganik besin elementlerine göre daha fazla gereksinim duyulması nedeniyle azot içeriği, kompostlaştırma proseslerinde incelenen parametreler arasındadır.

Proses başlangıcında %100 kentsel katı atık içeren Set 5’te toplam azot içeriği %2,4; %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4’te ise %3,25 olarak belirlenmiştir. Buna göre kümes hayvanları atığı, meyve ve sebze atıklarından oluşan kentsel atıklara oranla daha yüksek miktarda azot içermektedir.

Kümes hayvanları atıkları ile kentsel katı atıkların karışımları sonucu toplam azot içeriği, %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1’de %2.56; %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2’de %2.85; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3’te ise %3.17 olarak ölçülmüştür. Tüm sistemlerde toplam azot içeriği proses süresince azalma göstermiştir. En kayda değer azalmalar, yüksek termofilik sıcaklıklarda

gözlenmiştir. Kompostlaştırma prosesi süresince sistemlerde gözlenen toplam azot içeriği değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.5'te gösterilmektedir.

Proses sonunda her sistemdeki azot kaybı hesaplanmıştır. Yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarını kirlenme potansiyeli, koku oluşturmaları ve kompostun besleyici madde içeriğinin azalması nedeniyle azot kayıpları oldukça önem arz etmektedir. Hayvan atıklarının içerdiği azotun yaklaşık %20-77'si kompostlaştırma sürecinde kaybolmaktadır (Tiquia and Tam, 2000). Kompostlaştırma esnasında nütrient kayıpları esas olarak gaz emisyonları şeklinde gerçekleşmektedir. Bazı çalışmalarda azot kayıplarının yaklaşık %47-77'sinin gaz halinde olduğu belirtilmiştir (Martins and Dewes, 1992). Bunun ise önemli bir bölümü NH_3 şeklinde, az bir kısmı ise N_2O şeklinde gerçekleşmektedir. Azot kayıpları özellikle sıcaklığın oldukça yüksek ve pH'nın 7'nin üzerinde olduğu durumlarda NH_3 buharlaşması şeklinde gerçekleşmektedir. Düşük C/N oranında kümes atıklarında NH_3 kayıplarını artırmaktadır.



Şekil 4.5. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam azotun zamanla değişimi

En yüksek azot kaybı sırasıyla %79.38 ile %100 kümes hayvanı atığı içeren sistemde gerçekleşmiştir. %100 kentsel katı atık içeren sistemde ise azot kaybı %76.67 olarak belirlenmiştir. Kümes hayvanları atıklarındaki azot kaybının,

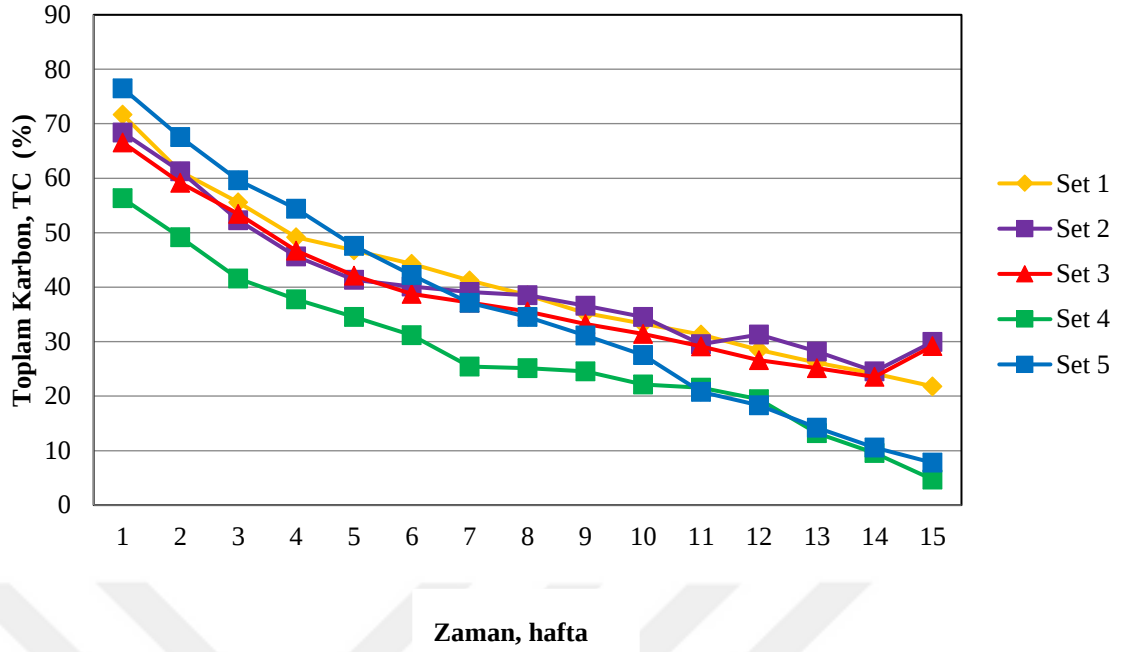
yüksek pH değerinden, kentsel katı atıklardaki azot kaybının ise yüksek nem içeriği değerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. En az azot kaybı %25 kümes hayvanı atığı ve %75 kentsel katı atık içeren sistemde %11.93 olarak gerçekleşmiştir. %10 kümes hayvanı atığı ve %90 kentsel katı atık içeren sistemde azot kaybı %21.48; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren sistemde %25,24 olarak belirlenmiştir. En uygun set değeri ise %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren, azot kaybı %11.93 bulunan Set 2 reaktörüdür.

4.6. Toplam Karbon İçeriği

Karbon, organizmalar için ana enerji kaynağı olarak kullanıldığından kompostlaştırma prosesinde oldukça önemli rol oynamaktadır. Kompostlaştırma prosesinde karbonun büyük bir bölümü mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri esnasında CO₂'e oksitlenmektedir, geriye kalan karbon ise yeni hücre sentezinde kullanılmaktadır. Öncelikle kolay parçalanabilir karbon tüketilmektedir. Kompostlaştırma prosesinin ilerlemesiyle kullanılabilir karbon ve metabolik faaliyetler azalacağından CO₂ oluşumu da azalmaktadır. Oluşan CO₂'in ve açığa çıkan suyun sıcaklıkla eşzamanlı olarak maksimum değerlere ulaştığı ve daha sonra ise azaldığı belirtilmiştir (Epstein, 2007).

Kompostlaştırma prosesi başlangıcında toplam karbon içeriği %100 kümes hayvanı atığı içeren sistemde %56.31; %100 kentsel katı atık içeren sistemde %76.52 olarak belirlenmiştir. %10 kümes hayvanı atığı ve %90 kentsel katı atık içeren sistemde toplam karbon içeriği %71.68; 25 kümes hayvanı atığı ve %75 kentsel katı atık içeren sistemde %68.41; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren sistemde %66.57 olarak belirlenmiştir. Kompostlaştırma prosesi süresince sistemlerde gözlenen toplam azot içeriği değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

Proseslerde organik maddelerin parçalanması ve ısının yükselmesiyle, ilk haftadan itibaren toplam karbon içeriklerinde azalmalar görülmüştür. Bu azalma sıcaklığın pik yaptığı süre ile eş zamanlı olarak yüksek oranda gerçekleşmiştir. Toplam karbon içeriği değerlerinde, proses süresince görülen azalmaların temel nedeni, organik maddenin parçalanarak önemli miktarda CO₂ üretmesi olarak açıklanabilir.



Şekil 4.6. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam karbonun zamanla değişimi

Kompostlaştırma prosesi sonunda, %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te toplam karbon içeriği değeri %4.71; %100 kentsel katı atık içeren Set 5'te %7.78; %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1'de %21.81; %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2'de %29.94; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3'te %29.2 olarak belirlenmiştir. Olgunlaşmış kompostta, toplam karbon %8-35 oranında bulunmaktadır (Rynk, 1992). Buna göre %100 kümes hayvanı atığı ve %100 kentsel katı atık içeren Set 4 ve Set 5'ten elde edilen kompostların toplam karbon içeriği değerlerine göre olgunlaşmadığı görülmektedir. Kümes hayvanı atığı ile kentsel katı atıkların birlikte kompostlaştırıldığı Set 1, Set 2 ve set 3'ten elde edilen kompostların toplam karbon içeriği değerleri optimum aralıktadır.

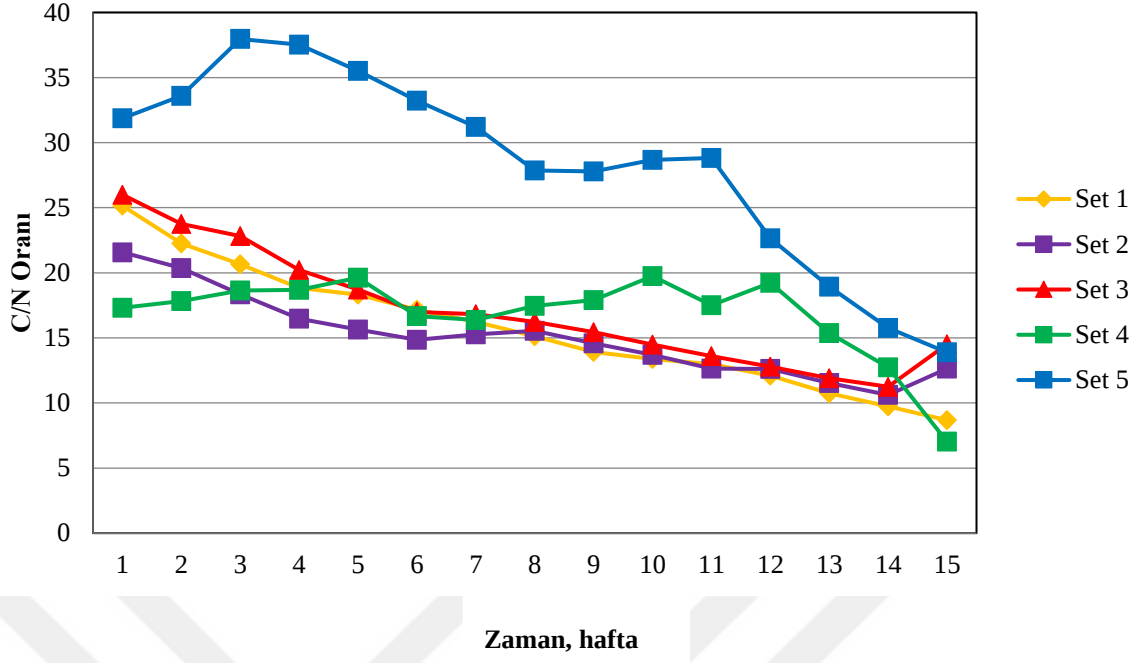
4.7. C/N Oranı

C/N oranı, kompost kalite kriterleri arasında önemli bir parametredir. Atıktaki C/N oranı 35'ten büyük olduğunda azotun tamamen tutulacağı, C/N oranı 20'den küçük olduğunda ise azotun serbest kalacağı belirtilmektedir. Bu nedenle, kompostlaştırma prosesinde optimum C/N oranı 20-35 olarak belirlenmiştir (Graves, 2000). C/N oranı yüksek olduğunda kullanılabilir azotun hızla tüketilmesinden dolayı, mikrobiyal faaliyetler yavaşlamaktadır ve kompostlaştırma prosesi daha uzun sürede gerçekleşmektedir. C/N oranı düşük

olduğunda ise amonyak gazı oluşmaktadır. Bu da mikroorganizmalara zarar vermekte, kompostta azot kaybına neden olmakta ve koku oluşumuna yol açmaktadır. C/N oranı yüksek olan atıklara azotlu atıklar ilave edilerek, C/N oranı düşük olan atıklara da karbonlu atıklar ilave edilerek C/N oranları ayarlanabilmektedir.

Kompostlaştırma prosesinin başlangıcında C/N oranı, %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4 dışındaki, diğer tüm setlerde optimum aralıkta bulunmaktadır. %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te proses başlangıcındaki C/N oranı 17,32'dir. C/N oranı kompostlaştırma prosesi sonunda tüm sistemlerde de azalma göstermiştir. Proses sonunda C/N oranları %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'te 7.03; %100 kentsel katı atık içeren Set 5'te 13.89; %10 kümes hayvanı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1'de 10.85; %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2'de 11.93; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3'te 12.32 olarak belirlenmiştir.

05.03.2015 tarih ve 29286 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Kompost Tebliği'nin Ek-2 "Kompost Kalite Parametreleri" bölümünde kaliteli bir kompost üretimini sağlamak için kompostun C/N oranı değerinin 10-30 arasında olması gerektiği belirtilmektedir. Buna göre, %10 kümes hayvanı atığı ve %90 kentsel katı atık içeren Set 1'den, %25 kümes hayvanı ve %75 kentsel katı atık içeren Set 2'den; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren Set 3'ten ve %100 kentsel katı atık içeren Set 5'ten üretilen kompostların C/N oranı değerleri kompost kalite kriterleri açısından uygunken; %100 kümes hayvanı atığı içeren Set 4'ten üretilen kompostların C/N oranı değeri kompost kalite kriterleri açısından uygun değildir.



Şekil 4.7. Kompostlaştırma prosesi süresince C/N oranının zamanla değişimi

5. SONUÇ

Bu çalışmada, kümes hayvanları atıklarının meyve ve sebze atıklarından oluşan kentsel katı atıklarla kompostlaştırılabilirliği incelenmiştir. Kentsel katı atıklara %10, %25 ve %40 oranlarında kümes hayvanı atığı ilave edilmiştir. Kompostlaştırma prosesi süresince sıcaklık, pH, iletkenlik, nem içeriği, toplam azot, toplam karbon ve C/N parametreleri incelenmiştir. Aynı koşullarda sadece kentsel katı atık ve sadece kümes hayvanı atığı da kompostlaştırmaya tabi tutulmuş ve veriler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Meyve ve sebze atıklarından oluşan kentsel katı atıklarla yürütülen kompostlaştırma prosesinde, atıkların yüksek nem içeriği, oksijen difüzyonunun azalmasına ve istenilen sıcaklık derecelerine ulaşamamasına neden olmuştur. Sistemlerde, maksimum sıcaklık artışları 35,6 °C civarında gerçekleşmiş; pH değerleri ise 8'in üzerinde bulunmuştur. Yüksek pH değerleri, proste önemli derecede azot kaybına yol açmıştır. Bu sistemde, azot kaybı yaklaşık %76.66 olarak elde edilmiştir. Bu değerler, meyve ve sebze atıklarından oluşan kentsel katı atıkların kompostlaştırılmasında doğal şartlarda kompostun olgunlaşmadığını ilave katkı materyaline ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.
- Kümes hayvanları atığının nem içeriği %26,45 olup, kompostlaştırma prosesinin başlangıcında olması istenen %50 değerinden oldukça düşüktür. Bu durum, sadece kümes hayvanları atıkları ile yürütülen kompostlaştırma prosesinde atıkların parçalanmasını ve beklenen ısının oluşumunu olumsuz yönde etkilemiştir. Sistemde, en yüksek sıcaklık 39.8°C olarak belirlenmiştir. 05.03.2015 tarih ve 29286 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Kompost Tebliği'nin 11. maddesi 5. bendinde hayvansal atık kullanılması durumunda, kompostlaştırma ünitesinde 70 °C sıcaklığın en az 1 saat boyunca kesintisiz olarak sağlanması gerektiği belirtilmektedir. Ancak, sadece kümes hayvanları atığı ile yürütülen kompostlaştırma sisteminde, bu sıcaklık derecelerine ulaşamamıştır. Bu sistemden elde edilen kompostta pH değeri de proses sonunda 10.3 olarak belirlenmiştir. Bu da Tebliğde belirtilen kabul edilebilir pH aralığı olan 5.5-8.5 aralığının oldukça üzerindedir. pH değerinin çok yüksek olması, azot kaybını artırmış

ve bu sistemde yaklaşık %80 azot kaybı gerçekleşmiştir.

- Kentsel katı atıklarla kümes hayvanları atıklarının birlikte kompostlaştırılması ile elde edilen kompostun özelliklerine bakıldığında, %10 kümes hayvanı atığı ve %90 kentsel atık içeren sistemde 54.1°C sıcaklık değerine; %25 kümes hayvanı atığı ve %75 kentsel katı atık ile %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren sistemlerde ise 65 °C'nin üzerinde sıcaklık değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Proses başlangıcında iki farklı atık karışımı ile gerçekleştirilen birlikte kompostlaştırma sistemlerinde nem içeriği değerleri optimum aralık olan %50-60 aralığındadır. Proses sonunda elde edilen kompostlarda %10 kümes hayvanı atığı ve %90 kentsel atık içeren sistemde nem içeriği değeri maksimum müsaade edilen değer olan %30'dan büyük bulunurken, %25 kümes hayvanı atığı ve %75 kentsel katı atık ile %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren sistemlerde nem içeriği değerleri %30'un altındadır. En az azot kaybı %25 kümes hayvanı atığı ve %75 kentsel katı atık içeren sistemde %11.93 olarak gerçekleşmiştir. %10 kümes hayvanı atığı ve %90 kentsel katı atık içeren sistemde azot kaybı %21.48; %40 kümes hayvanı atığı ve %60 kentsel katı atık içeren sistemde %25.24 olarak belirlenmiştir. C/N oranı kümes hayvanı atığı ve kentsel katı atık içeren her üç sistemde de kompostlaştırma prosesi başlangıcında 20-30 aralığında bulunmuştur. İletkenlik değerleri, birlikte kompostlaştırma sistemlerinde 1-2 mS/cm aralığında olup, tuzluluk seviyesi “orta” olarak belirlenmiştir.
- Ülkemizde kümes hayvanları yetiştiriciliği önemli bir yer tutmaktadır. Hızlı bir büyüme süreci içerisinde olan kümes hayvanları üretimi 2005-2017 yılları arasında % 128 artmıştır. Hayvan atıklarının karakteristikleri; hayvanın cinsine, ağırlığına, beslenme şartlarına, iklime ve altlık materyaline göre farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca üretim amacı (yumurta ve et üretimi) ve üretim şartları da kümes hayvanları atıklarının özelliklerini etkileyen faktörler arasındadır. Kümes hayvanları atıkları üzerine yapılan çalışmalar, hayvanın civciv aşamasından itibaren kesime hazır oluncaya kadar talaş ve saman altlık ile beraber bir tavuğun ortalama 1.25 kg katı atık ürettiğini

göstermektedir. Türkiye’de besi tavukçuluğundan yılda 550 bin ton civarında kümes hayvanı atığı ortaya çıkmaktadır. Kümes hayvanları atıkları herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın direkt olarak tarımda kullanıldığından ya da atık olarak boş arazilerde yığınlar halinde bırakıldığından yağışlarla taşınarak yüzeysel suları ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Ayrıca bu tip atıklar aşırı sinek üremesine yol açmakta ve bunların giderimi için kullanılan pestisitler de çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır.

- Sonuç olarak, bu çalışma kümes hayvanları atıkları ile kentsel katı atıkların birlikte kompostlaştırılabileceğini ve birlikte kompostlaştırmanın kompost kalitesini arttırdığını göstermiştir. Kompostlaştırma bu tür atıkların bertarafında çevresel ve ekonomik kazançlar sağlanmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Baban, A., vd. (2002). *Kümes ve ahır gübrelerinin geri kazanılması ve bertarafı projesi*, TÜBİTAK-MAM, İstanbul.
- Belin, H. (2016). Tavuk Çiftliklerinde Sürdürülebilir Üretim İçin Atık Yönetimi. <https://prezi.com/lxytnnlo3kdk/tavuk-ciftliklerinde-surdurulebilir-uretim-icin-atik-yonet/>
- Bhilatiya, S., et al. (2021). Environmentally Sustainable Municipal Solid Waste Management- A Case Study of Kolhapur, India, *International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications*, 3(2), 117-123.
- Çerçioğlu, M. (2019). Sürdürülebilir Atık Yönetiminde Sera Atıklarının Kompost Olarak Değerlendirilmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33 (1), 167-177.
- ÇKD (2012). Kompostlama / Kompostlaştırılabilir Atıklar / Hangi Atıklar Kompostlaştırılabilir, *Çevre Koruma Dairesi* Erişim: 20 Şubat 2021, <http://cevrekorumadairesi.org/solidwaste/tr-subpages.php.no=31>
- Eleroğlu, H. (2013). Tavuk Dışkısının Çevre Sorunu Olmaktan Çıkarılmasında Uygulanan Yöntemler, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi* 2, <http://dergipark.org.tr> 14–24.
- Erdim, E. (2003). *İleri biyolojik atık su arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılmasında farklı katkı maddelerinin etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdin, E. (2005). *İzmir Katı Atıkların Kompostlaştırılması*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, <http://www.web.deu.edu.tr/katıatıklarınkompostlastırılması.pdf>
- FCQAO, (1994). *Methods Book for Analysis of Compost*, Federal Compost Quality Assurance Organisation, Stuttgart, Germany, 125 p.
- Graves, R.E. and Hattmer, G.M. (2000). Composting, Chapter 2, *Environmental Engineering National Engineering Handbook*, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USA.
- Guerra-Rodriguez, E., et al. (2001). Co-composting of chestnut burr and leaf litter with solid poultry manure, *Bioresource Technology*, 75, 223-225.
- Hayvancılık İstatistikleri* (2019). Türkiye: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kumes-Hayvanciligi-Uretimi-Temmuz-2021>
- Huang, G.F., et al.. (2004). Effect of C/N on composting of pigmanure with saw dust, *Waste Management*, 24,805- 813.
- Kelleher, B.P., et al. (2002). Advancesin poultry litter disposal technology-areview, *Bioresource Technology*, 83,27-36
- Kulcu, R., and Yıldız, O., (2004). Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes, *Bioresource Technology*, 93, 49-57.
- NEH (2000). Composting, *United StatesDepartment of Agriculture Natural Resources Conservation Service*, Fort Worth, Texas, USA.
- Öztürk, M. (2017). *Hayvan Gübresinden ve Atıklardan Kompost Üretimi*, Ankara.
- Resmi Gazete (2010). Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Tarih: 08.06.2010, Sayı: 27605, Erişim : 25.04.2021, <https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=14026&MevzuatTur=7&MevzuatTertip>

- Resmi Gazete (2009). Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Tarih: 03.07.2009, Sayı: 27277, Erişim Tarihi: 25.04.2021, <https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13184&MevzuatTur=7&MevzuatTertip>
- Resmi Gazete (2015). Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Tarih: 02.04.2015, Sayı: 29314, Erişim Tarihi: 25.04.2021, <https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20644&MevzuatTur=7&MevzuatTertip>
- Resmi Gazete (2018). Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelerle Dair Yönetmelik, Tarih: 08.06.2010, Sayı: 27605, Erişim tarihi: 23.02.2018, <https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24410&MevzuatTur=7&MevzuatTertip>
- Rezayi-moadab, A.R. and Nabavi-calat, S.M. (2013). “The effect of vermicompost and organic fertilizer on yield and yield components of basil (*Ocimumbasilicum* L.)”, *Journal of Eco-physiology of plants*, 16(22), 157-170.
- Singh, P., et al. (2018). Poultry Waste Management, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* Vol 7(8), 701-712.
- Steiner, M. and Wiegel, U. (2009). Katı Atık Yönetimi. *Atık Yönetiminin Temellerine Yönelik Rehber Kitap*, 1.Baskı, Efil Yayınevi, Ankara.
- Sultana, M. (2020). *Nutrient enrichment of MSW composrt by organic amendments and its effects on soils and crops*. PhDThesis, Department of Soil Science, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh, Bangladesh.
- Şenol, Y., vd. (2019) Kompost Teknolojileri ve İstanbul Uygulamaları İstaç, Erişim Tarihi: 20 Şubat 2021, <http://www.istac.istanbul.com.tr/contents/44/cevre-makaleleri.pdf>
- Tanuğur I. (2009). Besi Tavuğu Kümes Atıklarının Farklı Katkı Malzemeleriyle Aerobik Kompostlaştırılması, Erişim Tarihi: 20 Şubat 2021, <http://www.polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/8989/1/9445.pdf>
- Tarım ve Orman Bakanlığı (2018). Kanatlı Hayvancılık Sektör Politika Belgesi. Erişim Tarihi: 20 Şubat 2021, http://www.tarimorman.gov.tr/Kanatlı_hayvancılık_sektör_politika_belgesi.pdf
- Thyagarajan, D., et al. (2013). Scope of Poultry Waste Utilization, *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 6 (5), 29-35.
- Tiquia, S.M. and Tam, N.F.Y. (2000). Fate of nitrogen during composting of chicken litter, *Environmental Pollution*, 110, 535-541.
- Tiquia, S.M., et al. (2001). Extracellular Enzyme Profiles During composting of Poultry Manure and Yard Trimmings, *Process Biochemistry*, 36, 813-820.
- Tözsér, G.G. and Zoltán, S. (2010). Analizing Certain Chracteristics of Municipal Solid Waste Generation in the Process of Waste Management, *International Journal of Social Sciences and Humanity Studies*, 2(1), 1-11.
- Turan, N.G. (2003). *Samsun Kentsel Katı Atıkların Kompostlaştırılmasında Genleştirilmiş Perlit ve Doğal Zeolitin Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Uygun, S. (2012). *Ülkemizde Kompost Üretimi Yapan Bazı Tesislerdeki Mekanizasyon Uygulamalarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Ankara.
- Waqas, M., et al. (2019). Untapped potential of zeolites in optimization of food waste composting, *Journal of Environmental Management* 241, 99-112.

ÖZGEÇMİŞ

Fotoğraf

Elif Tuğçe Kabak, Bergama Anadolu Meslek Lisesi’ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’nden 2017 yılında mezun oldu. 2018 yılında OMÜ LEE Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans programına girdi. Halen aynı bölümde yüksek lisansına devam edip, orta derecede İngilizce bilmektedir. (29.09.2021).

İletişim Bilgileri

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0652-9901>